

ELV-Schaltnetzteil SPS 9000

0-30 V / 0-20 A

Teil 1

Ein primär getaktetes Schaltnetzteil mit einer Dauer-Ausgangsleistung von 600 W (!) bei einem Wirkungsgrad über 90 % stellen wir in diesem zweiteiligen Artikel vor. Für den anspruchsvollen Techniker ist es dabei schon faszinierend zu sehen, wenn im Dauerbetrieb bei einem Ausgangsstrom von 20 A das Netzteil nur handwarm wird. Obwohl es sich um ein recht komplexes technisches Gerät handelt, ist dennoch ein Selbstbau aufgrund der ausgereiften und erprobten Schaltungstechnik möglich.

Allgemeines

Basierend auf dem innovativen, äußerst zuverlässigen und sicheren Schaltungskonzept des ELV-SPS 7000 wurde ein weiteres Schaltnetzteil von ELV konzipiert.

Das 0-30 V / 0-20 A-Netzteil trägt die Bezeichnung SPS 9000 und wird, wie die Bezeichnung schon andeutet, in dem großen ELV-Gehäuse der Serie 9000 eingebaut.

Ausgangsspannung und Ausgangsstrom sind getrennt über je einen Grob- und Feinregler einstellbar. Zwei große LED-Displays informieren jederzeit über den gegenwärtig fließenden Ausgangsstrom bzw. die anstehende Spannung. Die digitale Stromanzeige des SPS 9000 ist 4stellig bei einer Auflösung von 10 mA und die Spannungsanzeige 3stellig mit 100 mV-Auflösung ausgeführt.

Bedingt durch den ausgezeichneten Wirkungsgrad in Verbindung mit dem leise arbeitenden Lüfter und der großzügigen Schaltungsdimensionierung wird das SPS

9000 auch bei Dauer-Vollastbetrieb nur handwarm.

Durch die angewendete Primärtaktung kommt das SPS 9000 völlig ohne voluminöse Netztrafos aus und vereint somit alle für Schaltnetzteile erreichbaren Vorzüge gegenüber einem konventionellen Netzteil in sich. Eindrucksvoll wird dieses durch das geringe Gewicht von nur ca. 2400 g bei 600 W Ausgangsleistung unterstrichen.

Die komplexe Technik und die großen geschalteten Leistungen entsprechender Netzteile führen jedoch dazu, daß sich Störanteile und Restwelligkeit der Ausgangsspannung nicht ganz auf die Daten von konventionellen, längseregulierten Netzteilen minimieren lassen. Mit einer Restwelligkeit von 20 mV_{eff} wartet das SPS 9000 aber auch hier mit einem ausgezeichneten Wert auf.

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 9000 zur Serienreife ausgefeilt, unter Berücksichtigung der Aspekte auch eines Eigenbaus. Drei 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 9000 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.

Aufgrund der positiven Erfahrungen mit dem ELV-Bausatz SPS 7000 bieten wir als Ausweichlösung für diejenigen unter den ELV-Lesern, die auf das Nachbauvergnügen des SPS 9000 nicht verzichten möch-

ten, jedoch wegen vorstehend Gesagtem dazu nicht befugt sind, auch hier folgende 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 komplette Inbetriebnahme vornimmt. Sie erhalten dann das von Ihnen aufgebaute Fertiggerät in funktionsfähigem Zustand zurück. Die Durchlaufzeit in unserem Service beträgt hierbei rund eine Woche.

Funktionsprinzip

Bevor wir uns der detaillierten Schaltung des 600 W-Schaltnetzteils zuwenden, wollen wir zunächst zur Erläuterung der prinzipiellen Funktion des SPS 9000 das Blockschaltbild in Abbildung 1 betrachten. Nach diesen Vorbetrachtungen folgt

auf die mit den Leistungstransistoren T 101 bis T 104 bestückten, primärseitige Leistungsstufen des SPS 9000.

Da im Block Nr. 1 keine Transformatoren zur „Herunterteilung“ der Netzwechselspannung vorhanden sind, beträgt die Spannungshöhe der mit +UB und -UB bezeichneten Versorgungsspannung für die Leistungsendstufe über 300 V. In Verbindung mit der Tatsache, daß an dieser Stelle noch keine galvanische Trennung vom 230 V-Wechselspannungsnetz vorliegt, birgt dieser Bereich extreme Lebensgefahr bei unsachgemäßem Umgang.

Bei den Transistoren T 101 bis T 104 handelt es sich um spezielle hochspannungsfeste Leistungs-Power-Mosfets, die in Verbindung mit dem Leistungstransformator TR 102, dem Steuertrafo TR 101 sowie der zugehörigen sekundärseitigen Beschaltung einen sogenannten Vollbrückenflußwandler bilden.

Durch die wechselseitige Ansteuerung der Leistungs-Mosfets wird die primärsei-

den Siebelko C 113. Die so gewonnene Gleichspannung wird über eine zusätzliche Filterstufe (Block 5) auf die Ausgangsklemmen des SPS 9000 gegeben.

Bei dem im Massezweig liegenden Widerstand mit der Bezeichnung PR 101 handelt es sich um einen Präzisions-Shunt-Widerstand, über den eine dem jeweils gerade fließenden Strom proportionale Meßspannung erzeugt wird.

Für die Regelung der Ausgangsspannung bzw. des Ausgangsstromes ist eine komplexe Regelstruktur erforderlich, die sich im Block Nr. 4 befindet. Wie aus dem Blockschaltbild ersichtlich, ist die Regel elektronik, bestehend aus U-Regler (Spannungsregler) und I-Regler (Stromregler), auf der sekundären Seite der Leistungsstufe des SPS 9000 angekopfelt.

Der I-Regler bekommt seine Istwert-Information von dem bereits angesprochenen Shunt-Widerstand, während der Spannungsregler direkt vor der Filterstufe abgeschlossen ist.

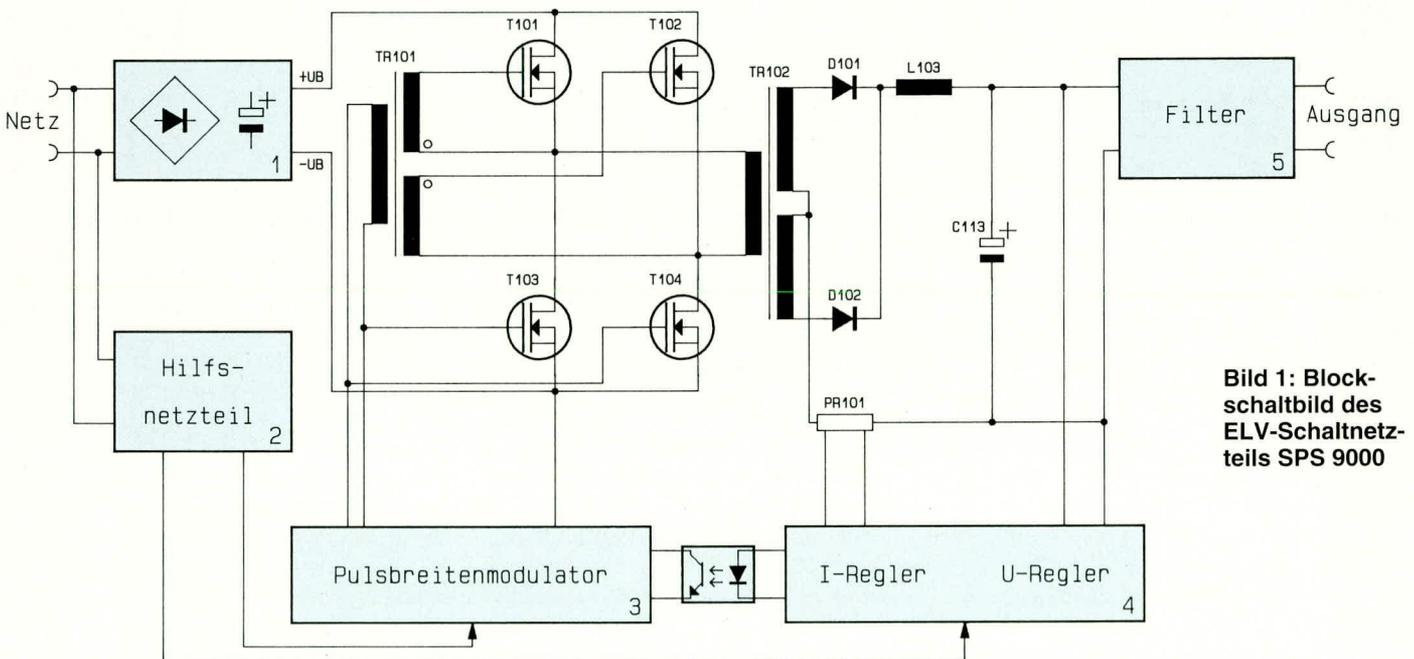


Bild 1: Blockschaltbild des ELV-Schaltnetzteils SPS 9000

dann die ausführliche Beschreibung der in 6 Einzelschaltbilder unterteilten Gesamtschaltung.

Blockschaltbild

Abbildung 1 zeigt das Blockschaltbild des ELV-Schaltnetzteils SPS 9000. Im linken, oben eingezeichneten Block wird aus der Netzwechselspannung eine Gleichspannung für die Versorgung der Leistungsstufe des SPS 9000 gewonnen. Wie in diesem ersten Block angedeutet, wird hierzu die 230V-Netzwechselspannung auf einen Brückengleichrichter gegeben und anschließend mit entsprechenden Hochvolt-Elkos gepuffert. Die mit +UB und -UB bezeichnete Gleichspannung führt direkt

tige Wicklung des Übertragers TR 102 wechselweise mit der Versorgungsspannung (-UB, +UB) beaufschlagt.

Durch dieses Schaltungskonzept in Verbindung mit einer hohen Schaltfrequenz wird die äußerst geringe Baugröße des Leistungstransformators TR 102 bei einer sekundärseitigen Ausgangsleistung von 600 W möglich. Die Abmessungen des Trafos TR 102 betragen nur ca. 38 x 54 x 52 mm. (In konventioneller Technik entsprechen diese Abmessungen lediglich einem ca. 15 bis 20 VA-Transformator!)

Die sekundärseitige Ausgangsspannung des Trafos TR 102 wird über die Dioden D 101 und D 102 gleichgerichtet und gelangt über die Speicherdrossel L 103 auf

Genau wie die Regler in konventionellen Netzgeräten, arbeiten auch die Regler des SPS 9000. Der Sollwert für Strom und Spannung wird über entsprechende Potentiometer auf der Frontplatte vorgegeben, der jeweils aktive Regler vergleicht nun Soll- und Istwert miteinander und steuert daraufhin die Leistungsstufe des SPS 9000 entsprechend an.

Da es sich beim SPS 9000 um ein primärgetaktetes Schaltnetzteil handelt, muß die sekundärseitig erzeugte Reglerinformation auf die primäre, galvanisch von der Netzwechselspannung nicht getrennte Seite der Schaltung übertragen werden. Diese Aufgabe übernimmt der zwischen Block 4 und Block 3 eingezeichnete Optokoppler.

In der Weiterverarbeitung der Reglerinformation liegt der wesentliche Unterschied zwischen einem „konventionellen“ Netzteil und dem Schaltnetzteil SPS 9000. Während bei herkömmlichen Netzteilen die Endstufen linear von der Regelelektronik angesteuert werden, erfolgt die Endstufenansteuerung beim SPS 9000 über einen sogenannten Pulsbreitenmodulator. Die Information über die zu liefernde Leistung liegt also in der Pulsbreite des Ansteuersignals, d. h. die Leistungstransistoren arbeiten im Schalterbetrieb. Neben dem eigentlichen Pulsbreitenmodulator befindet sich im Block Nr. 3 ebenfalls der Oszillator, über den die Schaltfrequenz von ca. 30 kHz generiert wird.

Die Leistungstransistoren T 103 und T 104 werden direkt vom Ausgangssignal des Pulsbreitenmodulators angesteuert. Damit dieses möglich ist, liegt die Pulsbreitenstufe auf -UB-Potential. Die „oben“ liegenden Transistoren T 101 und T 102 werden über den Steuertransformator TR 101 angesteuert.

Sowohl der Pulsbreitenmodulator als auch die Reglereinheit mit dem Regler

für Spannung und Strom müssen mit einer separaten Betriebsspannung versorgt werden. Da der Pulsbreitenmodulator im Primärkreis und die Reglereinheit im Sekundärkreis angeordnet sind, müssen die jeweiligen Versorgungsspannungen zuverlässig galvanisch voneinander getrennt sein. Diese Aufgabe wird von dem kleinen Hilfsnetzteil (siehe Block Nr. 2) übernommen.

Für ein Labornetzgerät wie das SPS 9000 ist eine zuverlässige galvanische Trennung der Ausgangsspannung von der lebensgefährlichen Netzwechselspannung von entscheidender Bedeutung. Bei der Konzeption dieses Labornetzgerätes wurde diesem Punkt daher besondere Aufmerksamkeit geschenkt. Erfüllt wird diese Forderung neben dem Layoutaufbau im wesentlichen durch drei Bauelemente.

Im Leistungskreis übernimmt der Übertrager TR 102 diese Aufgabe. Der Optokoppler zwischen Reglereinheit und dem Pulsbreitenmodulator sorgt für eine sichere galvanische Trennung im Steuerkreis. Der speziell für diese Anwendungen entwickelte Netztransformator des Hilfsnetzteils entkoppelt die Versorgungsspannungen der Reglereinheit und des Pulsbreitenmodulators.

Nach der vorstehenden prinzipiellen Funktionsbeschreibung des SPS 9000 anhand des Blockschaltbildes kommen wir nun zu der detaillierten Schaltung dieses außergewöhnlich leistungsfähigen Labornetzgerätes.

Schaltung

Die recht umfangreiche und komplexe Schaltung des SPS 9000 ist in 6 Teilschaltbildern dargestellt:

Bild 2: Hauptschaltbild mit den Leistungsschaltstufen

Bild 3: Pulsbreitenmodulator

Bild 4: Reglereinheit für Strom und Spannung

Bild 5: Lüfterregelung

Bild 6: Digitale Spannungsanzeige

Bild 7: Digitale Stromanzeige.

Hauptschaltbild (Bild 2)

Die galvanisch mit der 230 V-Netzwechselspannung verbundenen Bauteile sind in Abbildung 2 durch eine gestrichelte Linie gekennzeichnet. An dem rechts unten im Schaltbild dargestellten Lötverbinder STL 102 ist die in Abbildung 4 gezeigte Reglereinheit angeschlossen. Der zweite Lötverbinder STL 101 führt zu dem in Abbildung

*SPS 9000: 0-30 V / 0 - 20 A / 600 W
bei einem Gewicht von nur 2400 g*

3 dargestellten Pulsbreitenmodulator zur Ansteuerung der primärseitigen Leistungsschalttransistoren.

Über die an den Lötstützpunkten ST 101 bis ST 103 angeschlossene Netzzuleitung gelangt die Netzspannung auf die mit SI 101 bezeichnete Schmelzsicherung. Von dort geht es über den Netzschalter S 101 auf die erste mit C 101 bis C 104 sowie der stromkompensierten Ringkern-Drossel DR 101 aufgebauten Filterstufe. Diese auch als Netzstörfilter bezeichnete Schaltungseinheit verhindert, daß die auf dem Wechselspannungsnetz vorhandenen Störsignale die Funktion des SPS 9000 beeinträchtigen. Die Hauptaufgabe liegt jedoch darin, das Versorgungsnetz vor den in einem Schaltnetzteil auftretenden Störsignalen zu schützen.

Über die zur Einschaltstrombegrenzung dienenden Heißeiter NTC 1 und NTC 2 gelangt die Netzwechselspannung auf den Gleichrichter GL 101. Die durch die Gleichrichtung gewonnene pulsierende Gleichspannung wird durch die nachgeschalteten Siebelkos C 105 bis C 107 sowie die zwischengeschalteten Drosseln L 101 und L 102 geglättet.

Die durch die vorstehend beschriebenen Maßnahmen erzeugte Gleichspannung mit einer Spannungshöhe von ca. 330 V gelangt nun direkt auf die mit den Transistoren T 101 bis T 104 aufgebaute Leistungsstufe des SPS 9000. Wie eingangs bereits geschrieben, bilden diese 4 Leistungsstran-

sistoren in Verbindung mit den Übertragern TR 101 und TR 102 sowie den Dioden D 101 und D 102, der Speicher-Drossel L 103 und den Ladeelkos C 113 und C 114 einen sogenannten Vollbrückenflußwandler.

Die Ansteuerung der Leistungsstufe erfolgt so, daß in einer Schaltphase die Transistoren T 101 und T 104 und in der darauffolgenden Schaltphase die Transistoren T 102 und T 103 durchgeschaltet sind. Dies hat zur Folge, daß in Schaltphase 1 der Anschluß 1 des Leistungsübertragers TR 102 mit +UB beaufschlagt wird, während der Anschluß 4 auf -UB liegt. In der zweiten Schaltphase liegt der Übertrageranschluß 1 auf -UB und am Anschluß 4 liegt nun +UB.

Der primärseitig an den Mittelpunktschlüssen 2 und 3 des TR 102 eingeschleifte Stromwandler TR 103 ist ein wesentlicher Bestandteil einer sogenannten dynamischen Strombegrenzung. Sie dient dem Schutze der Schalttransistoren T 101 bis T 104. In diesem Zusammenhang arbeiten zusätzlich die beiden Transistoren T 106 und T 107, die Widerstände

R 122/R 123 sowie der Kondensator C 118, wobei die eigentliche Auswertung von dem noch zu beschreibenden Pulsbreitenmodulator vorgenommen wird.

Die sekundärseitige Ausgangsspannung des Leistungs-Ferrit-Übertragers TR 102 wird über die Doppeldioden D 101 und D 102 gleichgerichtet und gelangt dann über die Speicher-Drossel L 103 und den Shunt-Widerstand PR 101 im Massezweig auf C 113, dem ersten Ausgangsladeelko. Es schließen sich eine symmetrische Doppeldrossel (L 105) und der Ausgangselko C 114 an, welche ganz wesentlich zur hohen Ausgangsspannungsqualität des SPS 9000 beitragen.

Wird die Ausgangsspannung von einem zuvor hohen Wert auf einen niedrigen zurückgedreht und das insbesondere, wenn keine äußere Last angeschlossen ist, so wird dieses durch die relativ großen Ladeelkos im Ausgangszweig behindert. Abhilfe schafft hier die mit den Bauelementen T 105, R 116, R 118 und den Dioden D 103 und D 104 aufgebaute Stromenke. Der Konstantstrom von ca. 200 mA sorgt hier für eine rasche Entladung der Elkos C 113 und C 114. Unterstützt wird dieser Vorgang durch den Grundlastwiderstand R 119.

Am linken, unteren Rand des Hauptschaltbildes ist das Hilfsnetzteil zur Versorgung der sekundärseitig angeordneten Schaltungsteile dargestellt. Hierzu gehören neben der Reglereinheit die Lüftersteuer-

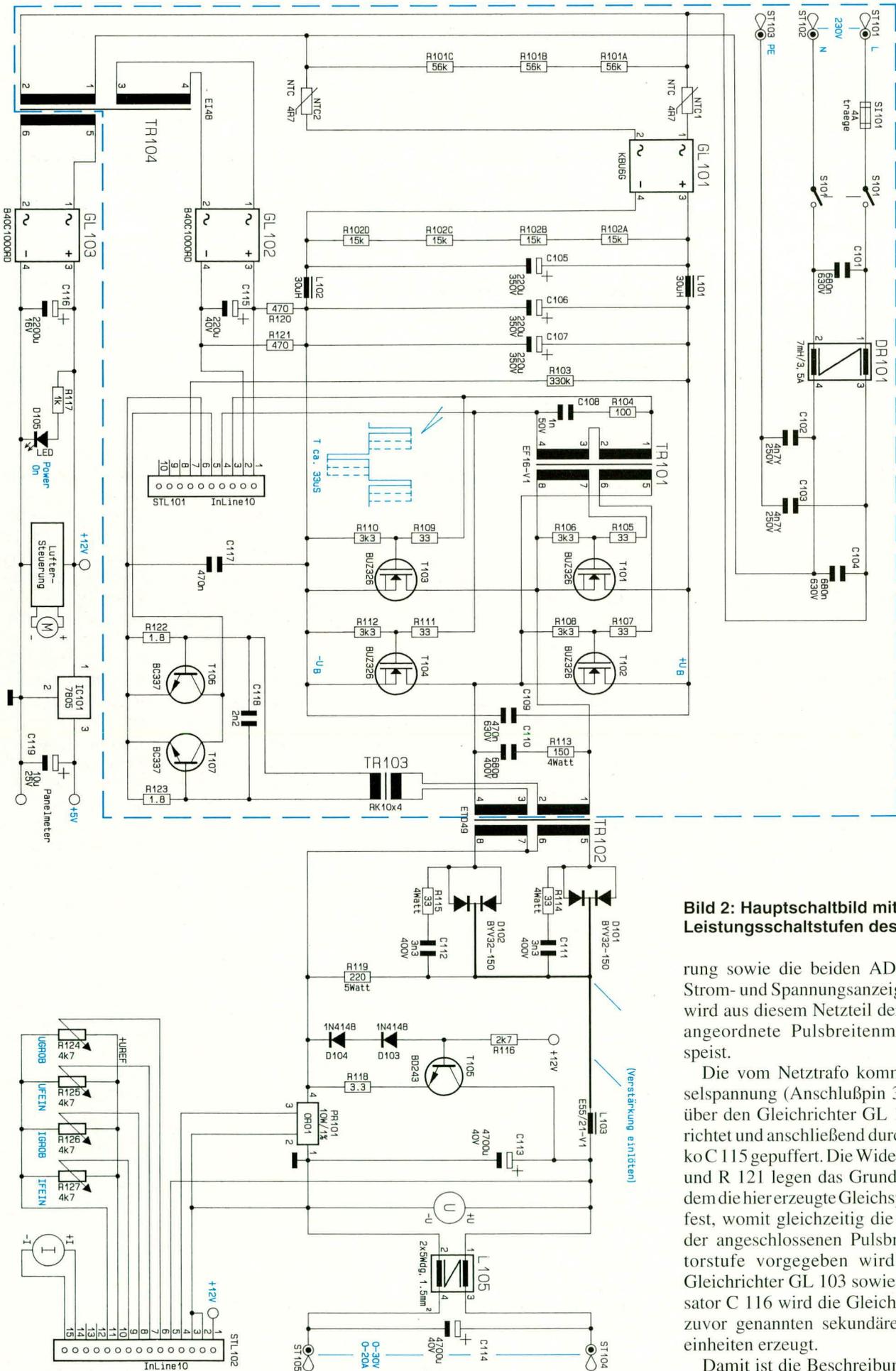


Bild 2: Hauptschaltbild mit den Leistungschaltstufen des SPS 900

Die vom Netztrafo kommende Wechselspannung (Anschlußpin 3 und 4) wird über den Gleichrichter GL 102 gleichgerichtet und anschließend durch den Siebelko C 115 gepuffert. Die Widerstände R 120 und R 121 legen das Grundpotential, auf dem die hier erzeugte Gleichspannung liegt, fest, womit gleichzeitig die Potentiallage der angeschlossenen Pulsbreitenmodulatorstufe vorgegeben wird. Durch den Gleichrichter GL 103 sowie den Kondensator C 116 wird die Gleichspannung der zuvor genannten sekundären Funktionseinheiten erzeugt.

Damit ist die Beschreibung des Haupt-

schaltbildes abgeschlossen und wir wenden uns dem in Abbildung 3 dargestellten Pulsbreitenmodulator zu.

Pulsbreitenmodulator (Bild 3)

Kernstück der Steuerschaltung ist der integrierte Baustein IC 202 mit der Bezeichnung SG 3525A.

Die Ausgangsspannung des SPS 9000 wird auf der Primärseite durch das Impuls-Pausen-Verhältnis des Ansteuersignals für die Leistungstristoren T 101 bis T 104 gesteuert. Die konstante Oszillatorfrequenz und damit die Schaltfrequenz des gesamten Netzteils wird durch die Bauelemente R 205 und C 201 vorgegeben. Bei der gewählten Dimensionierung dieser Bauelemente ergibt sich eine Schaltfrequenz von ca. 30 kHz.

Das Puls-Pausen-Verhältnis des an Pin 11 und Pin 14 anstehenden Steuersignals wird in Abhängigkeit von der Eingangsinformation an Pin 1 gesteuert.

Diese Eingangsinformation kommt wiederum von der in Abbildung 4 dargestellten Reglereinheit der Sekundärseite, über den Optokoppler IC 201.

Nach dem Einschalten wird die Impulsbreite des Ansteuersignals langsam auf den über die Reglereinheit eingestellten Wert hochgefahren. Diese Schaltungseigenschaft wird auch als Soft-Start bezeichnet und durch die Beschaltung des IC 202 mit dem Kondensator C 202 an Pin 8 erreicht.

Die unstabilisierte Versorgungsspannung der Pulsbreitenmodulatorstufe wird durch den Transistor T 201 in Verbindung mit der Z-Diode D 202 sowie den Widerständen R 208, R 211 und R 212 überwacht. Unterschreitet diese einen bestimm-

ten, festgelegten Wert, so wird der Shut-Down-Anschluß (Pin 10) des IC 202 auf High-Potential gelegt, wodurch die Leistungsstufen des SPS 9000 deaktiviert werden.

Durch diese Maßnahme wird das SPS 9000 bei zu niedriger Netzspannung praktisch abgeschaltet, wodurch die aufwendige Leistungselektronik wirksam geschützt ist.

Wie bereits erwähnt, erhält IC 202 seine Eingangs-Steuerinformation über den Optokoppler IC 201 in Verbindung mit den Widerständen R 201 und R 202. Über R 203 in Verbindung mit R 207 und C 205 ge-

regler für Ausgangsspannung und Ausgangsstrom.

Für die Spannungseinstellung gelangen die Schleiferspannungen der Potentiometer R 124 und R 125 über die Widerstände R 214 und R 215 sowie R 218 auf den invertierenden Eingang des IC 204 A. Die so erzeugte, einstellbare Spannung stellt den sogenannten Sollwert dar. Durch die unterschiedliche Dimensionierung der Widerstände R 214 und R 215 ergibt sich für das Potentiometer R 124 die Grob-Einstellfunktion und die Fein-Einstellung erfolgt über R 125.

Der Istwert, d. h. der tatsächlich vorhandene Wert der Ausgangsspannung, gelangt über den Widerstandsteiler R 216, R 235 und R 219 an den nicht-invertierenden (+)-Eingang (Pin 3) des OPs IC 204 A.

Der Ausgang des U-Reglers (IC 204, Pin 1) ist über R 221 und D 204 mit dem nicht-invertierenden (+)-Eingang (Pin 5) des für die Stromregelung verantwortlichen IC 204 B verbunden.

Der Sollwert, d. h. die Vorgabe für den jeweils zulässigen Ausgangsstrom, wird in ähnlicher Weise wie beim bereits beschriebenen Spannungsregler erzeugt. Hierzu dienen neben den beiden Einstellpotentiometern R 126 und R 127 (siehe Abbildung 2) die Widerstände R 223 und R 224. An dem gemeinsamen Anschlußpunkt der Widerstände R 223, R 224 und R 227 wird zusätzlich über die Widerstände R 225, R 226 sowie R 233 der Istwert des gerade fließenden Ausgangsstromes eingespeist.

Wie in der Beschreibung des Blockschaltbildes dargelegt, wird die zum Ausgangsstrom proportionale Meßspannung

Spannungs- und Stromeinstellung stufenlos von Null bis zum Maximalwert

langt ein zusätzliches Signal vom Lötverbinder ST 201 auf die Eingänge des IC 202. Im Zusammenhang mit den bereits beschriebenen Bauelementen aus dem Hauptschaltbild stellt dies die sogenannte dynamische Strombegrenzung dar.

Reglereinheit (Bild 4)

Abbildung 4 zeigt die Reglereinheit des SPS 9000.

Die Referenzspannung für den U-Regler (IC 204 A) sowie für den I-Regler (IC 204 B) wird durch IC 203 erzeugt.

C 208 - C 210 vor und hinter dem Spannungsregler dienen in diesem Zusammenhang der Schwingneigungsunterdrückung bzw. Pufferung.

Die durch die Stabilisierung gewonnene Gleichspannung gelangt über ST 202, Pin 9 auf die im Hauptschaltbild eingezeichneten Potentiometer R 124 bis R 127. Das SPS 9000 verfügt über jeweils 2 Einstell-

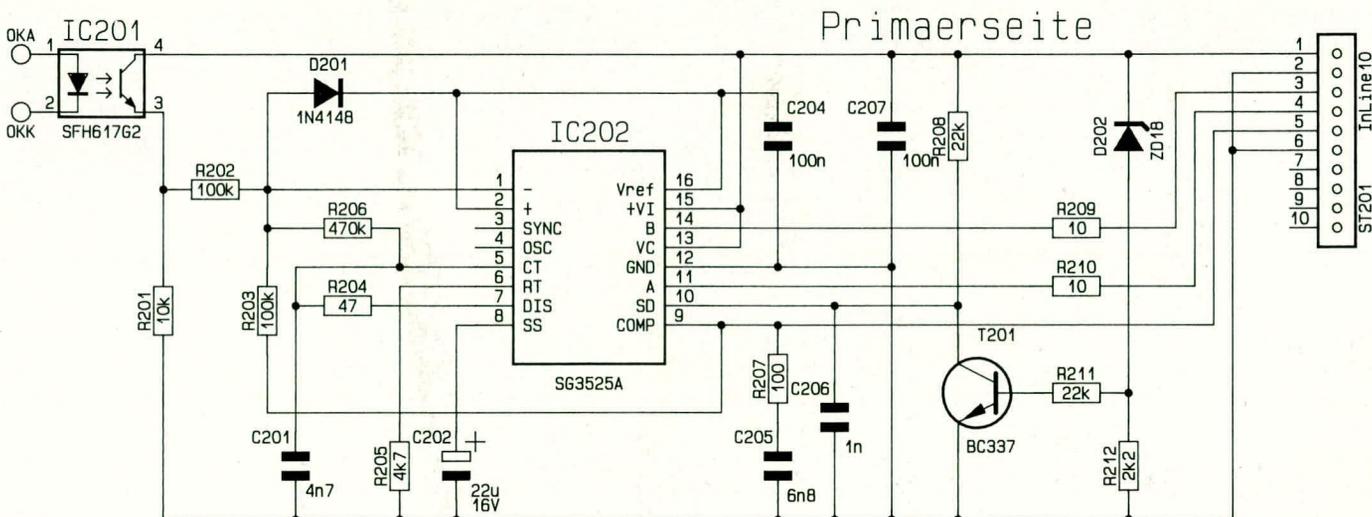


Bild 3: Pulsbreitenmodulator der Leistungsschaltstufen, angeschlossen an ST 101 des Hauptschaltbildes

(Istwert) von dem Präzisions-Shunt-Widerstand PR 101 aus der Abbildung 2 erzeugt. Diese Meßspannung gelangt über den Lötverbinder STL102 / ST 202 auf die oben genannten Widerstände und schließlich auf den invertierenden Eingang (Pin 6) des IC 204 B.

Der Ausgang des IC 204 B (Pin 7) ist über den Widerstand R 230 mit der Eingangsdiode des Optokopplers (siehe auch Abbildung 3) verbunden, womit der Regelkreis des SPS 9000 geschlossen wäre.

Der Kondensator C 212 sowie der Widerstand R 220 für den U-Regler und C 214, C 213 sowie R 229 für den I-Regler bestimmen den jeweiligen Regler-Typ. Erst durch die genaue Dimensionierung dieser Bauelemente wird es möglich, eine solche komplexe Regelstrecke wie sie beim SPS 9000 vorhanden ist, optimal zu stabilisieren.

Lüftersteuerung (Bild 5)

Das von ELV konzipierte Schaltnetzteil SPS 9000 besitzt einen außerordentlich hohen Wirkungsgrad von über 90 % bei Vollast. Bezogen auf die maximale Ausgangsleistung von 600 W beträgt die anfallende Verlustleistung jedoch immerhin noch rund 50 W. Eine Verlustleistung dieser Größenordnung abzuführen, stellt in der Regel kein Problem dar, sie könnte ohne weiteres über außenliegende Kühlkörper auch ohne zusätzlichen Lüfter abgegeben werden. Aufgrund der hohen und galvanisch nicht getrennten Betriebsspannungen würden außenliegende Kühlkörper mit isolierender Transistorbefestigung jedoch ein zu großes Sicherheitsrisiko in sich bergen. Aus diesem Grunde werden beim SPS 9000 zwei Kühlkörper im Geräteinernen eingesetzt, wobei, bedingt durch die relativ geringe Konvektion im Gehäuseinneren, ein zusätzlicher Lüfter unabdingbar ist.

Abbildung 5 zeigt die elektronische Lüfterregelung des SPS 9000. Sie hat die Aufgabe, die Lüfterdrehzahl der jeweils anfallenden Verlustwärme anzupassen. Wird dem SPS 9000 nur eine geringe Leistung abverlangt, so ist auch nur eine niedrige Lüfterdrehzahl erforderlich, entsprechend einer Geräuschkentwicklung „im Flüster-ton“. Erst bei hohen Ausgangsleistungen bzw. hohen Umgebungstemperaturen wird die volle Lüfterleistung erreicht, wobei die Kühlkörpertemperatur die 60°C-Grenze unter normalen Bedingungen nicht überschreitet.

Unten rechts im Schaltbild (angeschlossen an ST 501 und ST 502) ist der Lüfter dargestellt. Über den Längstransistor T 502 erfolgt die Steuerung der am Lüfter anstehenden Betriebsspannung, wobei der Lüfter mit der unstabilierten +12 V-Betriebsspannung betrieben wird. Die Lüfterregelung des SPS 9000 besteht aus

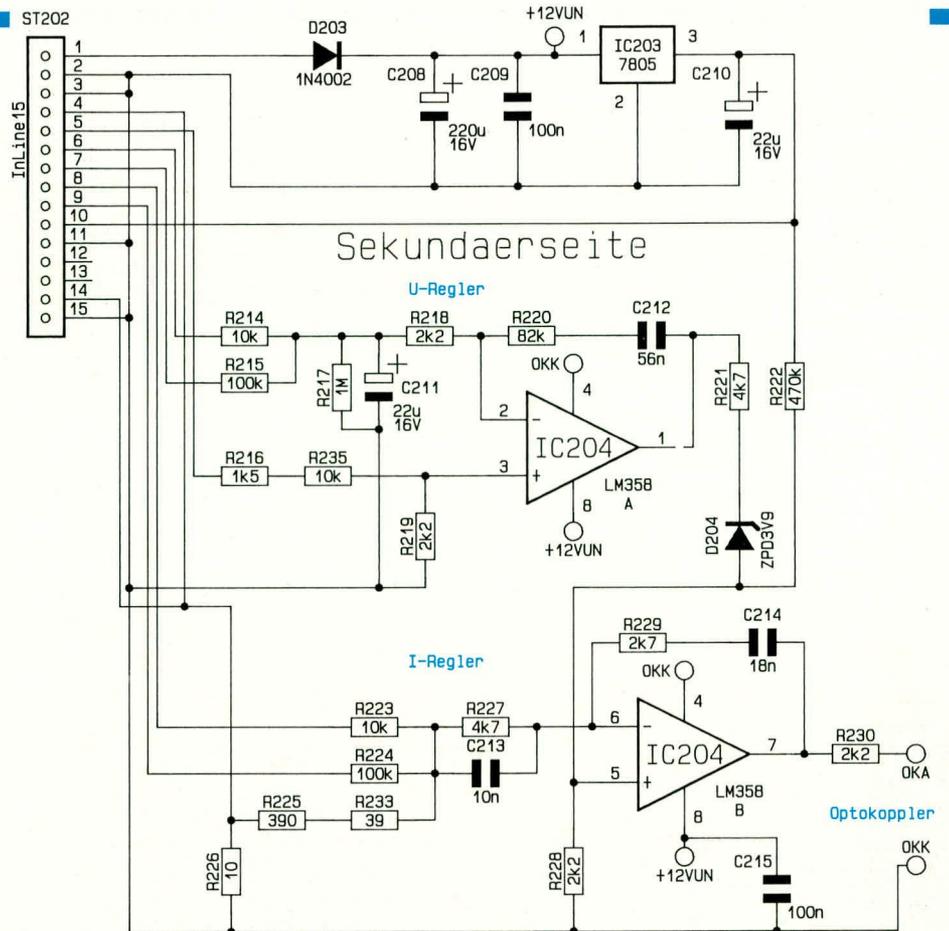


Bild 4: Reglereinheit des SPS 9000

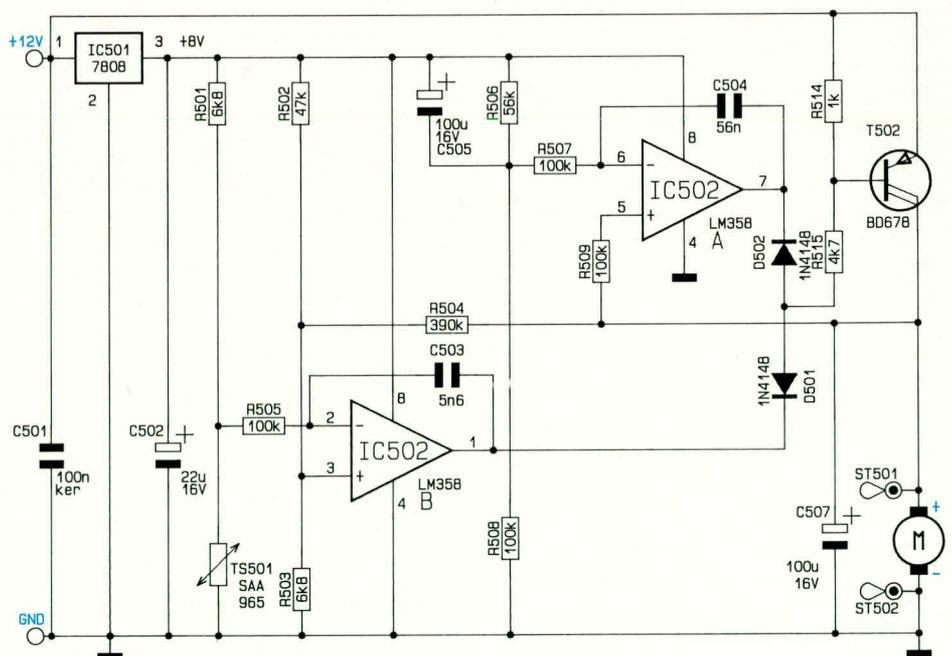


Bild 5: Elektronische Lüfterregelung des SPS 9000

zwei unabhängigen Reglern.

Der Temperatursensor TS 501 ist nicht wie im allgemeinen üblich, mit den Kühlkörpern verbunden, sondern befindet sich aus sicherheitstechnischen Gründen im Luftstrom der vom Lüfter aus dem Gerät gesaugten, erwärmten Abluft. Damit eine solche Messung exakt vorgenommen werden kann, ist eine gewisse Grundkonvektion erforderlich.

Diese wird durch den Grundlast-Regler IC 502 B sichergestellt. Der Istwert, d. h. die Spannung, die am Lüfter ansteht, gelangt über den Widerstand R 509 auf den nicht-invertierenden Eingang (Pin 5) des IC 502 B. Der Sollwert wird durch den Widerstandsteiler R506 / R 508 gebildet und über den Widerstand R 507 auf den invertierenden Eingang des IC 502 B geleitet.

Der Ausgang des IC 502 B steuert über die Diode D 502 sowie die Widerstände R 514 und R 515 die Basis des Längstransistors T 502, womit der Grundlastregelkreis geschlossen ist. Durch die gegebene Dimensionierung stellt sich stets eine Spannung von ca. 5,1 V über dem Lüfter ein, wodurch die Forderung nach einer definierten Grundkonvektion erfüllt ist.

Im Einschaltmoment wird durch den Kondensator C 505 ein sicheres Anlaufen des Lüfters gewährleistet. Über den Kondensator C 504 im Gegenkoppelzweig in

Verbindung mit dem Widerstand R 507 wird der Regelkreis stabilisiert.

IC 502 A mit Zusatzbeschriftung bildet den eigentlichen Temperaturregler. Über R 502 bis R 504 gelangt der Istwert (am Lüfter anliegende Spannung) auf den nichtinvertierenden Eingang des Reglers. Die Messung der Temperatur erfolgt über den Sensor TS 501. Die in Verbindung mit dem Widerstand R 501 gewonnene Meßspannung (Sollwert) gelangt über R 505 auf den invertierenden Eingang des IC 502 A.

Der Ausgang des OPs steuert über die

Diode D 501 ebenfalls die Basis des Längstransistors T 502, wodurch auch hier der Regelkreis geschlossen ist. D 501 und D 502 (am Ausgang der beiden Regler) dienen zur Entkopplung der einzelnen Regler, wodurch sichergestellt ist, daß jeweils nur ein Regler aktiv ist und die Regelung der Lüfterspannung übernimmt.

Sowohl der Grundlastregler als auch der Temperaturregler werden mit der durch IC 501 vom Typ 7808 erzeugten stabilisierten Spannung betrieben. Die Kondensatoren C 501 und C 502 dienen der Pufferung und Schwingneigungsunterdrückung für IC 501.

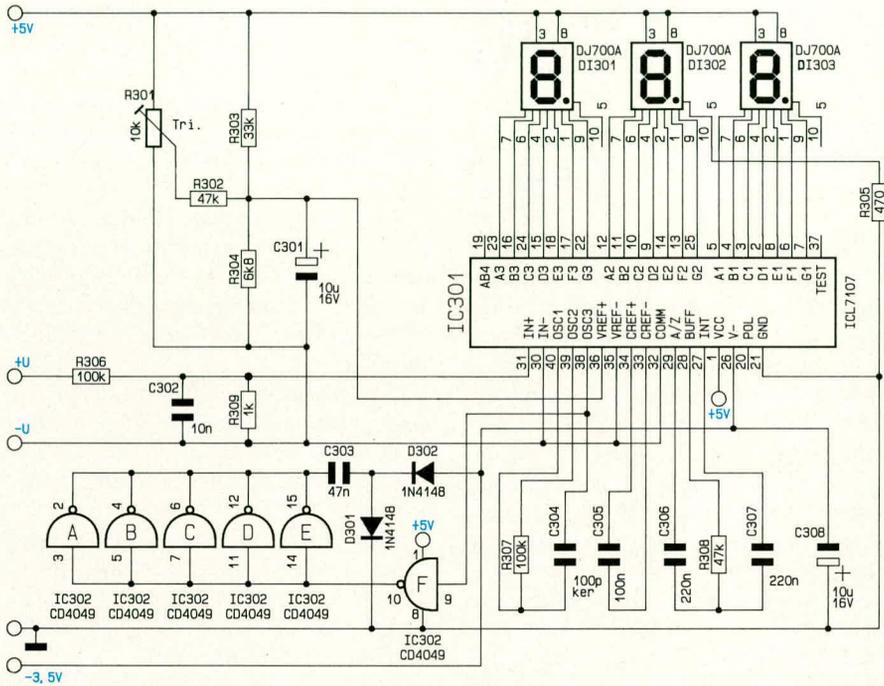


Bild 6: Spannungsanzeigeschaltung des SPS 9000

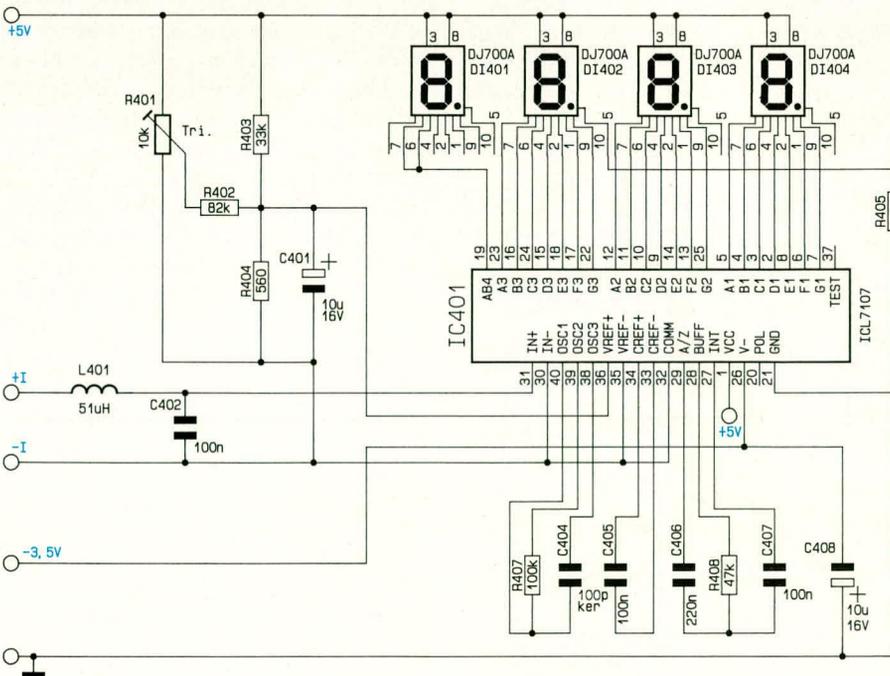


Bild 7: Stromanzeigeschaltung, bis auf wenige Einzelheiten identisch aufgebaut zur Spannungsanzeige von Bild 6

Digitale Spannungsanzeige (Bild 6)

Die im SPS 9000 eingesetzte, digitale Spannungsanzeige besitzt eine 3stellige Auflösung. Zentrales Bauelement der Schaltung ist der integrierte AD-Wandler des Typs ICL 7107. Neben der eigentlichen Analog-Digital-Umsetzung verfügt dieser Schaltkreis über einen integrierten 7-Segment-LED-Treiber zur Ansteuerung von DI 301 bis DI 303.

Über die externen Bauelemente R 307 und C 304 für den Oszillator sowie C 306, C 307 und R 308 für die Integrationsstufe werden das Timing bzw. die Taktfrequenz dieses komplexen Schaltkreises vorgegeben.

Als Referenzspannung dient die +5 V-Versorgungsspannung, bezogen auf den -U-Eingang. Der Abgleich erfolgt über R 301 in Verbindung mit den Festwiderständen R 302 bis R 304. Die an den Eingängen (+U und -U) anliegende Spannung wird zunächst durch den Spannungsteiler R 306 / R 309 heruntergeteilt, bevor diese von IC 301 in den entsprechenden digitalen Anzeigewert umgesetzt und zur Anzeige gebracht wird.

Die erforderliche negative Versorgungs-spannung von ca. -3,5 V wird über den 6fach-Inverter IC 302 in Verbindung mit C 303 sowie D 301, D 302 erzeugt.

Digitale Stromanzeige (Bild 7)

Die Stromanzeige des SPS 9000 besitzt eine 4stellige Auflösung, ist jedoch weitgehend identisch zur Spannungsanzeige aufgebaut. Eine Herunterteilung der zu messenden Größe ist hier nicht erforderlich. Die Meßspannung gelangt daher direkt über die Spule L 401 auf den Eingang des Wandlers-ICs. Die erforderliche negative Spannungsversorgung wird an dieser Stelle nicht noch einmal separat erzeugt, sondern von der bereits beschriebenen Inverter-Schaltstufe aus Abbildung 6 mit übernommen.

Damit ist die Schaltungsbeschreibung des SPS 9000 soweit abgeschlossen, und wir wenden uns im zweiten, abschließenden Teil dieses Artikels dem Nachbau und der Inbetriebnahme zu. **ELV**