

1000-VA-Prozessornetzteil

SPS 9540 Teil 2

Nachdem im „ELVjournal“ 3/2002 die Bedienung und Funktion sowie die Schaltung der Bedieneinheit mit dem zentralen Mikrocontroller ausführlich beschrieben wurden, kommen wir nun zur Schaltung des eigentlichen Schaltnetzteils.

Hauptschaltbild (Abbildung 5)

Im Vergleich zu einem herkömmlichen, linear geregelten Netzgerät sind beim SPS 9540 wesentlich mehr Stufen und Komponenten mit der Netz-Wechselspannung verbunden. Dementsprechend ist beim Umgang mit einer derartigen Schaltung höchste Vorsicht geboten.

Die galvanisch mit der 230-V-Netzwechselspannung verbundenen Bauteile sind in Abbildung 5 durch eine gestrichelte Linie gekennzeichnet. Über die an die Schraubklemmleiste KL 1 (oben links) angeschlossene Netzzuleitung gelangt die Netzspannung auf die mit SI 101 bezeichnete Schmelzsicherung. Von dort geht es auf eine recht aufwändige Filtergruppe, die die Aufgabe hat, das Versorgungsnetz vor den im SPS 9540 auftretenden Störsignalen zu schützen. Das erste Filter ist mit der stromkompensierten Ringkerndrossel DR 101

und den Kondensatoren C 1 und C 3 aufgebaut. Eine weitere Entstördrossel DR 103 ist direkt nachgeschaltet, bevor es auf den 2-poligen Netzschalter geht.

Hinter dem Netzschalter wird direkt die Spannung für das Hilfsnetzteil abgenommen, während in den Leitungen zum Hauptgleichrichter noch 2 weitere stromkompensierte Ringkerndrosseln geschaltet werden.

Über den zur Einschaltstrombegrenzung dienenden Heißleiter NTC 1 gelangt die Netz-Wechselspannung auf den Brückengleichrichter GL 101. Die Kondensatoren C 147 sowie C 149-C 152 dienen dabei zur weiteren Störunterdrückung.

Die zwischen +UG und -UG anstehende Gleichspannung dient zur Versorgung des eigentlichen Schaltnetzteils, wobei zur sinusförmigen Stromaufnahme aus dem Netz eine Power-Faktor-Korrektur dazwischen geschaltet ist.

Die Arbeitsweise der Power-Faktor-Korrektur gleicht der eines Step-Up-Wand-

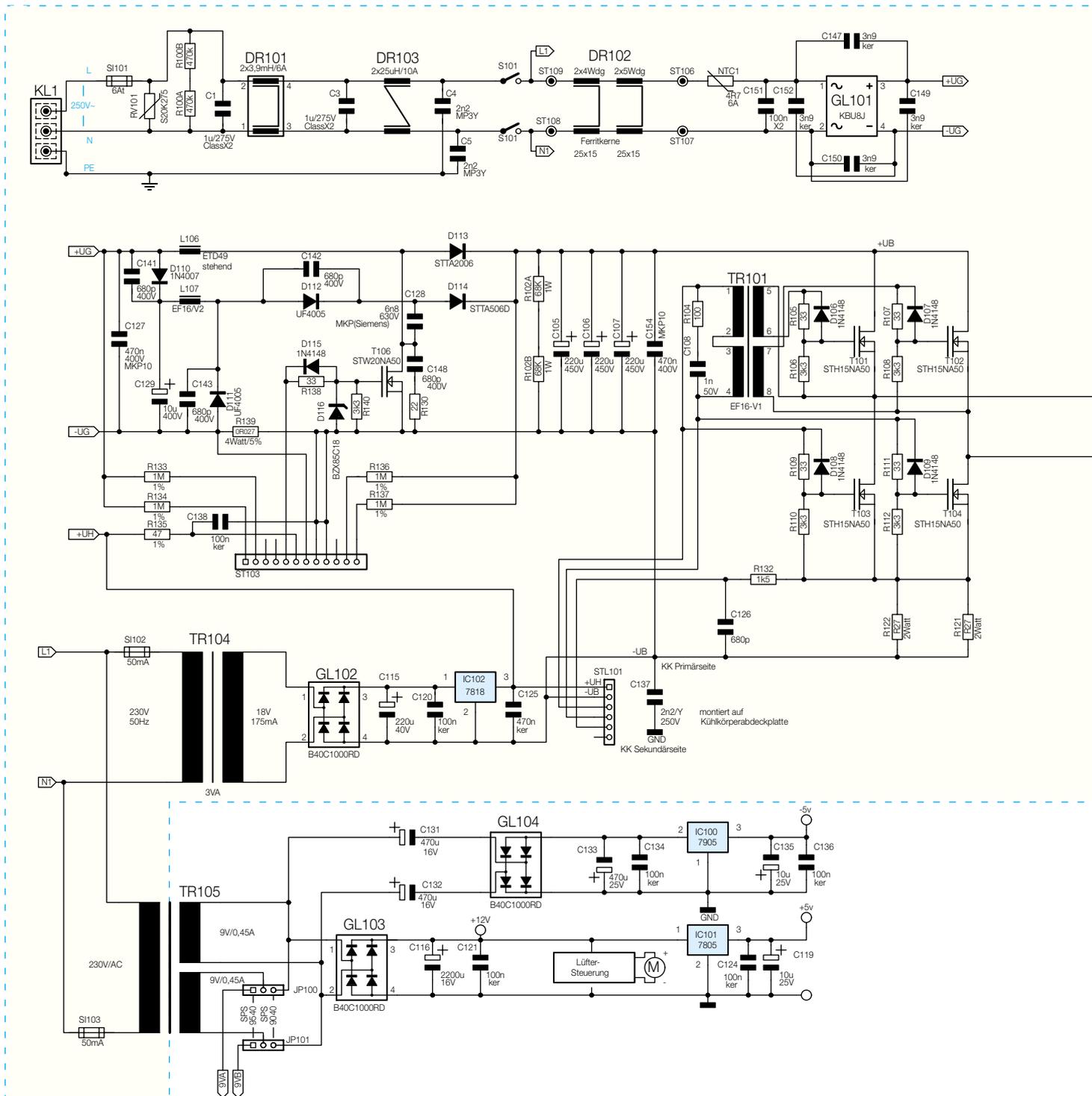
lers, mit dem Unterschied, dass der aufgenommene Strom der Kurvenform des Netzes folgt.

Dazu wird die gleichgerichtete Netzspannung mit Hilfe des Feldeffekt-Transistors T 106 mit einer Frequenz von ca. 35 kHz zerhackt und über die Diode D 113 wieder gleichgerichtet.

In der Versorgungsspannung liegt die PFC-Speicherdrossel L 106, die den primärseitigen Strom des SPS 9540 führt. In diesem Schaltungskonzept ist der Stromfluss durch die Speicherdrossel kontinuierlich (Continuous-Mode). Der Strom wird über den Shunt R 139 gemessen.

Um die Schaltverluste des FETs zu reduzieren, dient das aus L 107, D 112, D 114 und C 128 bestehende Entlastungsnetzwerk. Der über D 110 aufgeladene Elko C 129 speist dieses Entlastungsnetzwerk.

Der PFC-Regler zur Steuerung des Leistungs-FETs wird an die Stiftleiste ST 103 angeschlossen und über R 135 mit Span-



nung (+ 18 V) versorgt. R 133, R 134, R 136 und R 137 sind Messwiderstände für den Regler.

Die mit D 113 gleichgerichtete Spannung wird durch die nachgeschalteten Siebelkos C 105-C 107 geglättet, wobei C 154 zur Störunterdrückung dient. Danach gelangt die durch die vorstehend beschriebene Maßnahme erzeugte Gleichspannung mit einer Spannungshöhe von ca. 410 V direkt auf die mit den Feldeffekt-Transistoren T 101-T104 aufgebaute Leistungsstufe des SPS 9540.

Wie eingangs bereits beschrieben, bil-

den diese 4 Leistungstransistoren in Verbindung mit den Übertragern TR 101 und TR 102 sowie den Dioden D 101 und D 102, der Speicherdrossel L 103 und den Ladeelkos C 113 und C 114 einen so genannten Vollbrückenflusswandler.

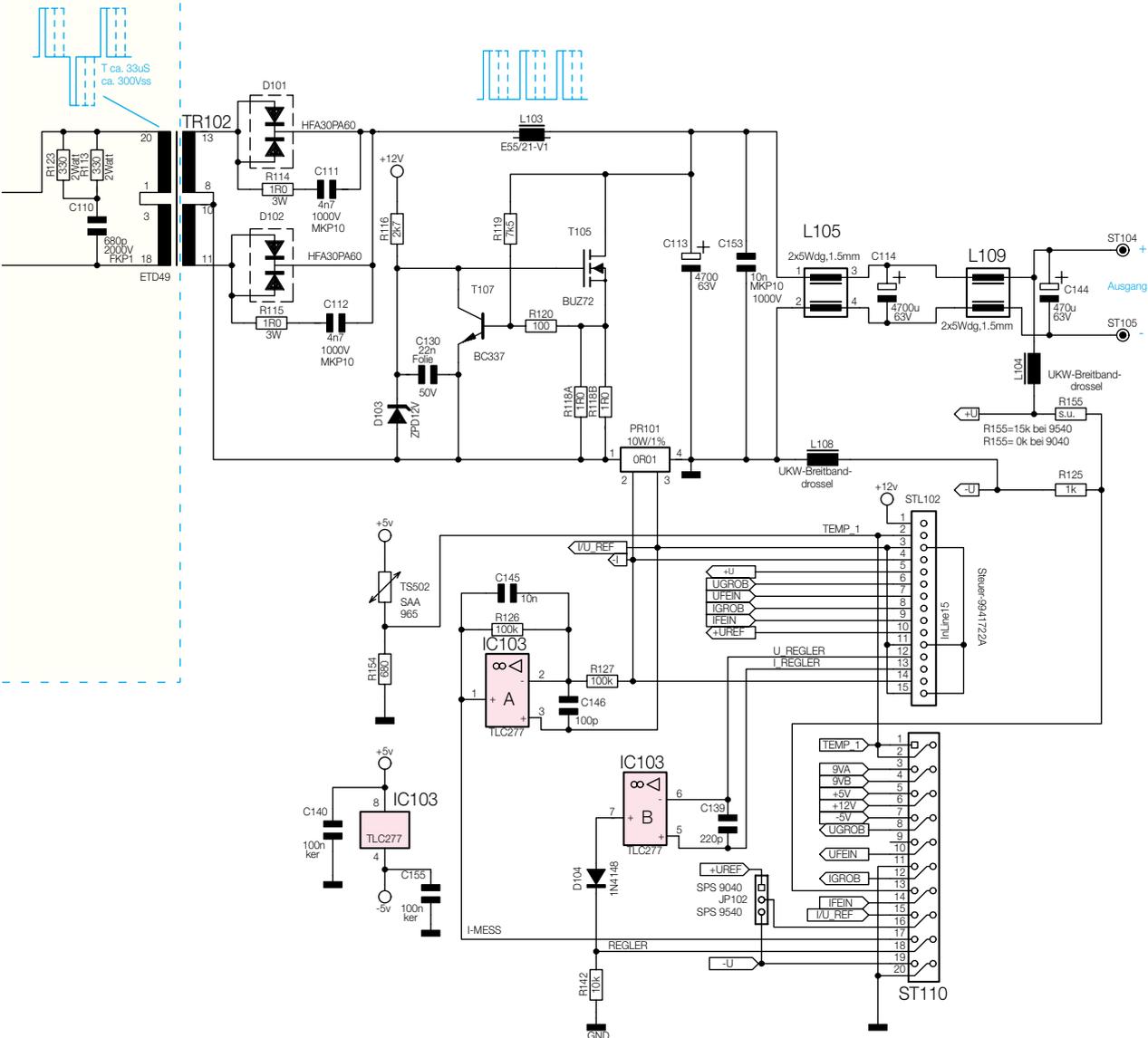
Die Ansteuerung der Leistungsstufe erfolgt so, dass in einer Schaltphase die Transistoren T 101 und T 104 und in der darauf folgenden Schaltphase die Transistoren T 102 und T 103 durchgeschaltet sind. Dies hat zur Folge, dass in Schaltphase 1 der Anschluss 20 des Leistungsübertragers TR 102 mit +UB beaufschlagt wird,

während der Anschluss 18 auf -UB liegt. In der zweiten Schaltphase liegt der Übertragerschluss 20 auf -UB, und am Anschluss 18 liegt nun +UB.

Über die Widerstände R 121, R 122 wird eine zum Endstufenstrom proportionale Spannung gewonnen, die zur Strombegrenzung über R 132 zur Reglerplatine geführt wird. C 126 dient dabei zur Störunterdrückung.

Die sekundärseitige Ausgangsspannung des Leistungs-Ferrit-Übertragers TR 102 wird über die Doppeldioden D 101 und D 102 gleichgerichtet und gelangt dann über die Speicherdrossel L 103 und den

Bild 5: Hauptschaltbild des SPS 9540



Shunt-Widerstand PR 101 im Massezweig auf C 113, den ersten Ausgangsladeelko. Es schließen sich eine symmetrische Doppeldrossel (L 105) und der Ausgangselko C 114 an, welche ganz wesentlich zur hohen Ausgangsspannungsqualität des SPS 9540 beitragen.

Wird die Ausgangsspannung von einem zuvor hohen Wert auf einen niedrigen zurückgedreht und das insbesondere, wenn keine äußere Last angeschlossen ist, so wird dies durch die relativ großen Ladeelkos im Ausgangszweig behindert.

Abhilfe schafft hier die mit den Bauele-

menten T 105, T 107, D 103, R 116 sowie R 118-R 120 aufgebaute spannungsabhängige Vorlast.

Über die weitere Ringkern-drossel zur Störunterdrückung (L 109) gelangt die Ausgangsspannung dann zu den an ST 104 und ST 105 angeschlossenen Polklemmen des Netzgerätes. C 144 sorgt für eine weitere Siebung.

Am linken, unteren Rand des Hauptschaltbildes ist das Hilfsnetzteil zur Versorgung der sekundärseitig angeordneten Schaltungsteile dargestellt.

Jeweils über eine Feinsicherung gelangt

die Netzspannung auf die Hilfsstrafos TR 104 und TR 105. Die sekundärseitige Wechselspannung von TR 104 wird mit GL 102 gleichgerichtet und auf den Eingang des Spannungsreglers IC 102 gegeben, wobei C 115 zur Pufferung dient. Am Ausgang des Spannungsreglers steht dann eine stabilisierte Spannung von 18 V zur Versorgung des PFC-Reglers und des Pulsbreitenmodulators zur Verfügung. Zu beachten ist, dass in diesem Bereich auch die Sekundärseite des Hilfsstrafos direkt galvanisch mit dem 230-V-Wechselspannungsnetz verbunden ist.

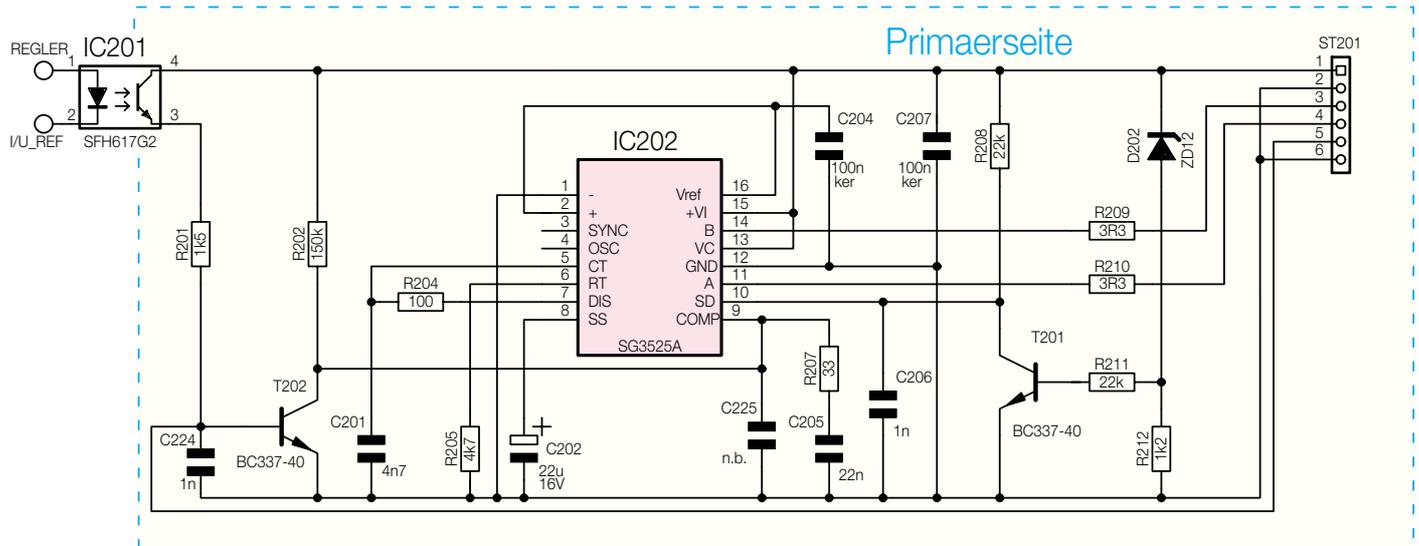


Bild 6: Pulsbreitenmodulator des SPS 9540

Der Transformator TR 105 dient zur Versorgung der sekundärseitigen elektronischen Komponenten des SPS 9540, wozu auch die Prozessoreinheit und die temperaturgesteuerte Lüfterreglung gehört.

Die sekundärseitige Spannung der oberen Wicklung gelangt direkt auf den Gleichrichter GL 103 und über die Elkos C 131, C 132 potentialfrei auf den Gleichrichter

GL 104. Gegenüber dem Massepotential erhalten wir dann an C 133 eine negative und an C 116 eine positive unstabilisierte Gleichspannung, die jeweils einem 5-V-Spannungsregler zugeführt werden. Hier stehen ausgangseitig die stabilisierten Kleinspannungen zur Versorgung der Prozessoreinheit und der weiteren Steuerelemente zur Verfügung.

Die temperaturgeregelte Lüftersteuerung wird mit der unstabilisierten positiven Gleichspannung versorgt und die untere Sekundärwicklung von TR 105 dient beim SPS 9540 zur potentialfreien Versorgung der seriellen Schnittstelle.

Mit Hilfe des Komparators IC 103 B erhalten wir die Information, welcher Regler (U oder I) gerade aktiv ist und IC 103A

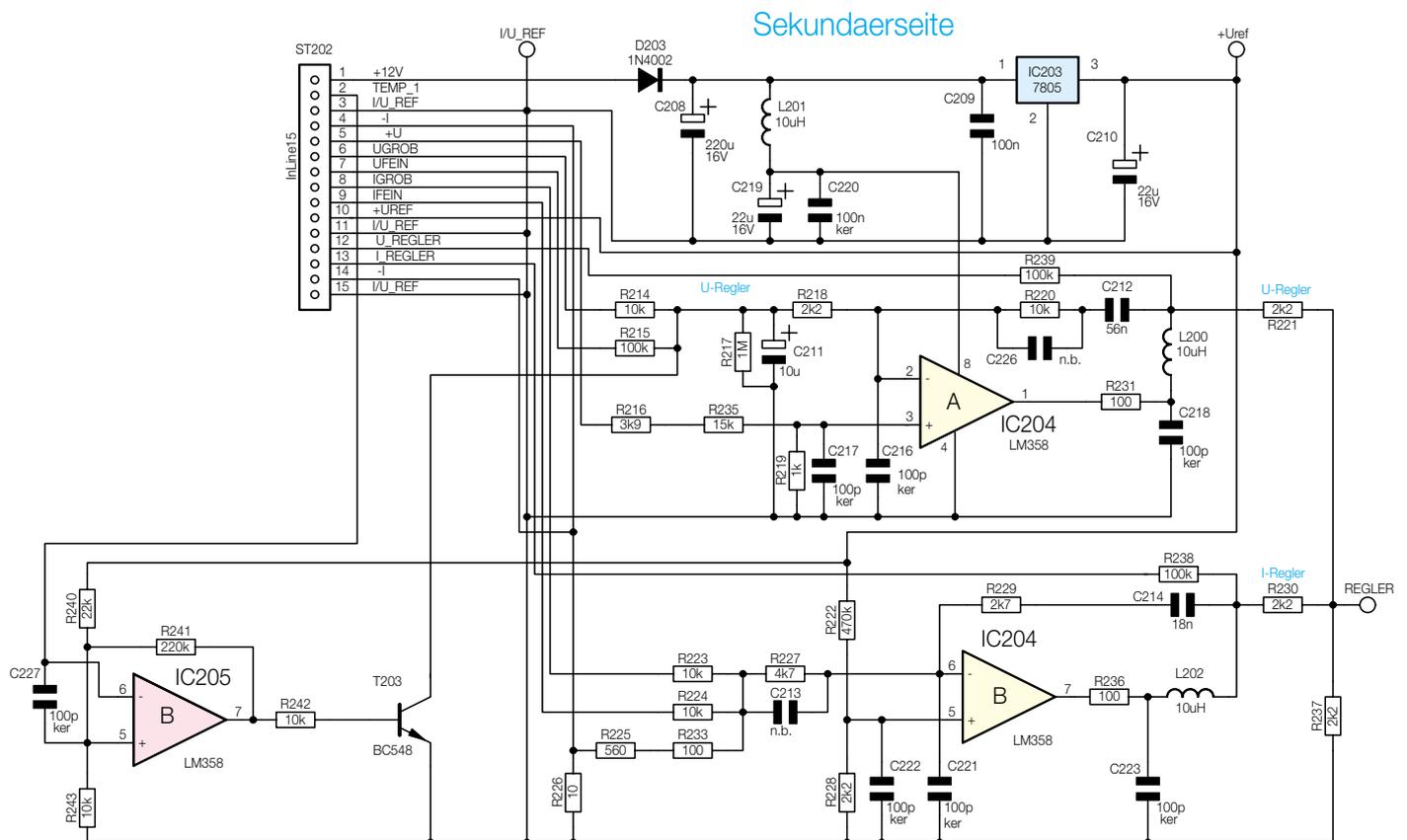


Bild 7: Reglereinheit des SPS 9540

nimmt eine Invertierung der am Stromshunt PR 101 gewonnenen stromproportionalen Spannung vor.

Damit ist die Beschreibung des Hauptschaltbildes abgeschlossen, und wir wenden uns dem in Abbildung 6 dargestellten Pulsbreitenmodulator zu.

Pulsbreitenmodulator (Abbildung 6)

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

Die Ausgangsspannung des SPS 9540 wird auf der Primärseite durch das Puls-Pausen-Verhältnis des Ansteuersignals für die Leistungstransistoren 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 9 gesteuert.

Diese Eingangsinformation kommt wiederum von der in Abbildung 7 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 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 bestimmten, festgelegten Wert, so wird der Shut-Down-Anschluss (Pin 10) des IC 202 auf „High-Potential“ gelegt, wodurch die Leistungsstufen des SPS 9540 deaktiviert werden.

Durch diese Maßnahme wird das SPS 9540 bei zu niedriger Netzspannung praktisch abgeschaltet, wodurch die aufwändige Leistungselektronik wirksam geschützt ist.

Wie bereits erwähnt, erhält IC 202 seine Eingangs-Steuerinformation über den Optokoppler IC 201 in Verbindung mit der Transistorstufe T 202.

Ein weiteres, von Pin 5 des Steckverbinders ST 201 kommendes Signal sorgt für eine Strombegrenzung in den Schalt-Transistoren.

Reglereinheit (Abbildung 7)

Abbildung 7 zeigt die Reglereinheit des SPS 9540. 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.

Für die Spannungseinstellung gelangen die Sollwert-Informationen vom Abtast-Halteglied über die Widerstände R 214 und R 215 sowie R 218 auf den invertierenden Eingang des IC 204 A.

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 231, L 200 und R 221 mit der Anode, der in IC 201 integrierten Fotodiode verbunden, sodass über den Pulsbreitenmodulator der Regelkreis geschlossen wird.

Der Sollwert, d. h. die Vorgabe für den jeweils zulässigen Ausgangsstrom, wird in ähnlicher Weise wie beim bereits beschriebenen Spannungsregler erzeugt. 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 (Istwert) von dem Präzisions-Shunt-Widerstand PR 101 aus der Abbildung 5 erzeugt. Diese Messspannung gelangt über den Steckverbinder STL 102/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 ebenfalls über R 236, L 202 und R 230 mit der Eingangsdiode des Optokopplers (siehe auch Abbildung 6) verbunden, womit der Regelkreis des SPS 9540 geschlossen wäre.

Der Kondensator C 212 sowie der Widerstand R 220 für den U-Regler und C 214, sowie R 229 für den I-Regler bestimmen den jeweiligen Regler-Typ. Erst

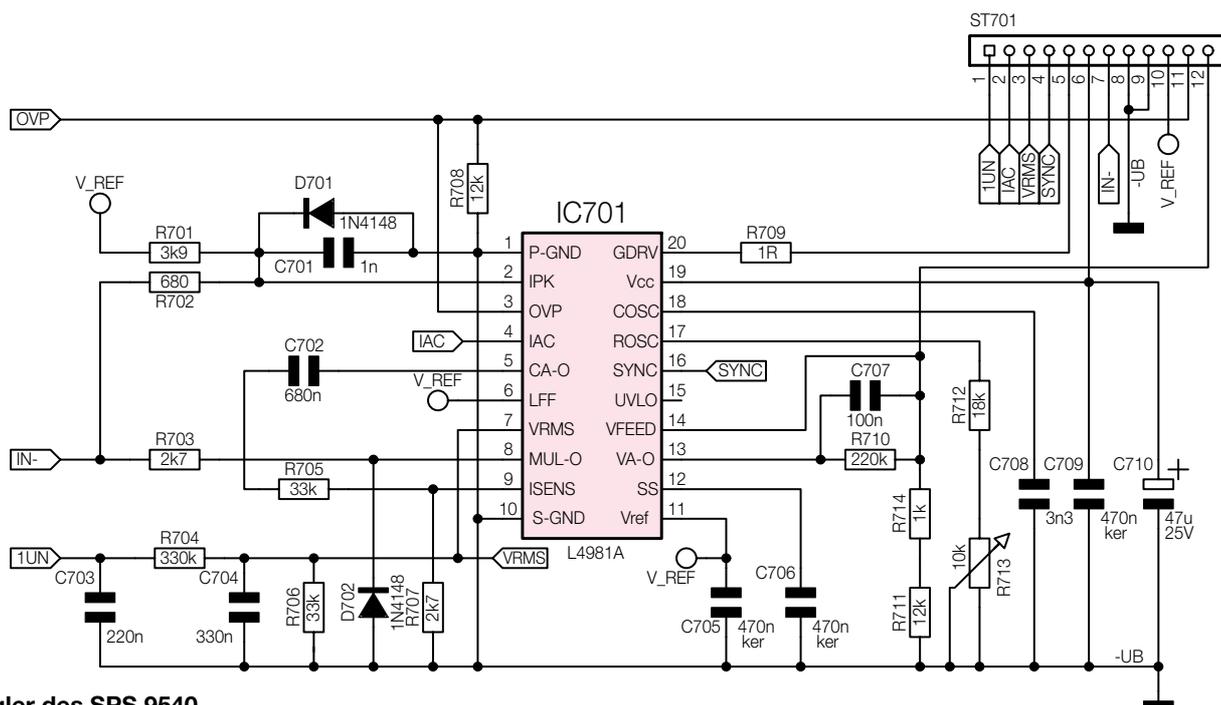


Bild 8: PFC-Regler des SPS 9540

durch die genaue Dimensionierung dieser Bauelemente wird es möglich, eine solche komplexe Regelstrecke, wie sie beim SPS 9540 vorhanden ist, optimal zu stabilisieren.

Power-Faktor-Korrektur, PFC (Abbildung 8)

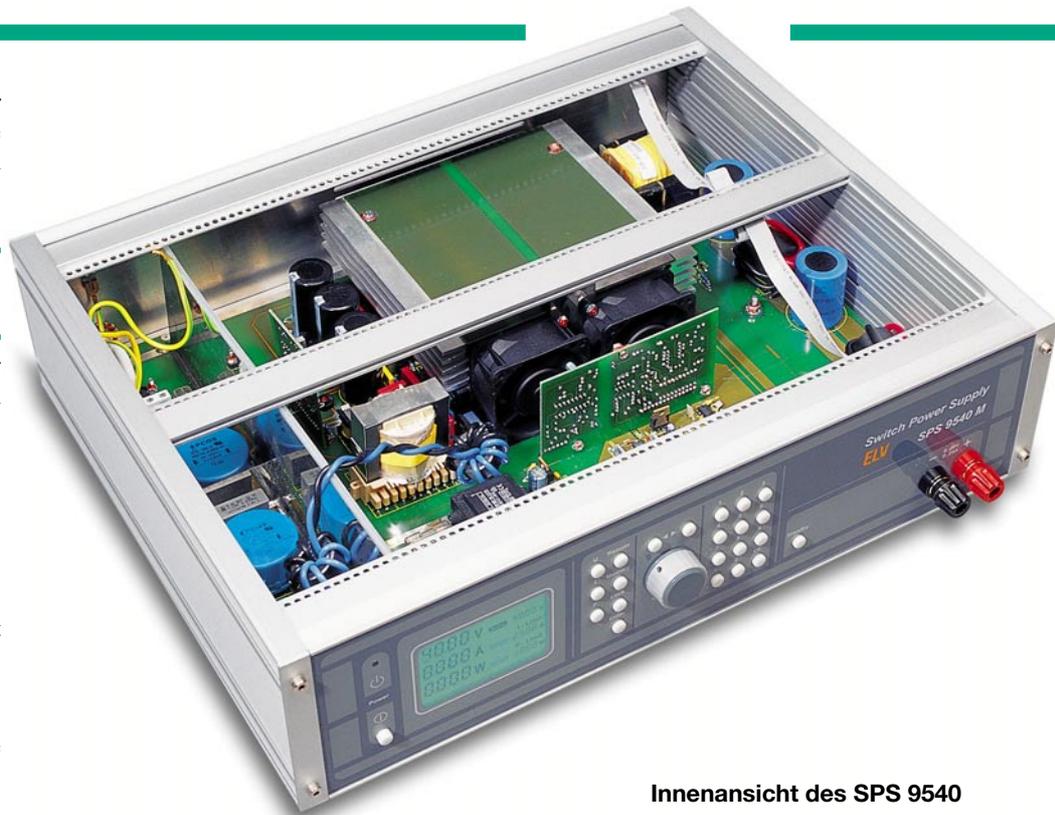
Die Power-Faktor-Korrektur sorgt für eine sinusförmige Stromaufnahme aus dem Netz, wobei die Arbeitsweise einem Step-Up-Wandler gleicht.

Der speziell für diese Aufgabe entwickelte Regler ist in Abbildung 8 dargestellt. Zentrales Bauelement des PFC-Reglers ist der L4981A, in dem sämtliche aktiven Komponenten des eigentlichen PFC-Reglers integriert sind. Abbildung 9 zeigt die komplexe interne Struktur dieses Bausteins.

Der vom Shunt-Widerstand R 139 (Abbildung 5) kommende stromproportionale Spannungsabfall gelangt über ST 701, ST 103, Pin 7 und dem mit R 701, R 702 aufgebauten Spannungsteiler auf Pin 2 des L 4981A. Abhängig von der Dimensionierung dieses Spannungsteilers erfolgt chip-intern die Begrenzung des Spitzenstromes.

Zur Regelung des Netzstromes gelangt die Information vom Shunt-Widerstand über R 703 auf Pin 8 des Bausteins. Neben R 703 sind an externer Beschaltung die Komponenten C 702, R 705 und R 707 für die Stromregelung zuständig.

Die an den Hochvolt-Elkos C 105-C 107 anstehende Zwischenkreisspannung wird



Innenansicht des SPS 9540

über die Widerstände R 136, R 137 (Abbildung 5) abgefragt und gelangt über ST 103, ST 701 zum PFC-Regler. Die Spannungsregelung ist dann abhängig von der Dimensionierung der Bauelemente R 137, R 709, R 711, R 714 und C 707. Für den Überspannungsschutz ist die Dimensionierung der Bauelemente R 136 und R 708 zuständig.

Der Stromverlauf wird an Pin 4 des L4981A über den Widerstand R 133 in Abbildung 5 überwacht.

Für den Effektivwert der Spannung (V_{RMS}) sind die Bauelemente C 703, R 704, C 704, R 706 sowie R 134 zuständig.

Die Schaltfrequenz des PFC-Reglers wird durch die Bauelemente C 708, R 712 und den Trimmer R 713 bestimmt. Beim SPS 9540 wird mit R 713 eine Frequenz von 35 kHz eingestellt.

C 706 sorgt für einen Softstart und die Dioden D 701 und D 702 dienen als Einschaltenschutz für das IC.

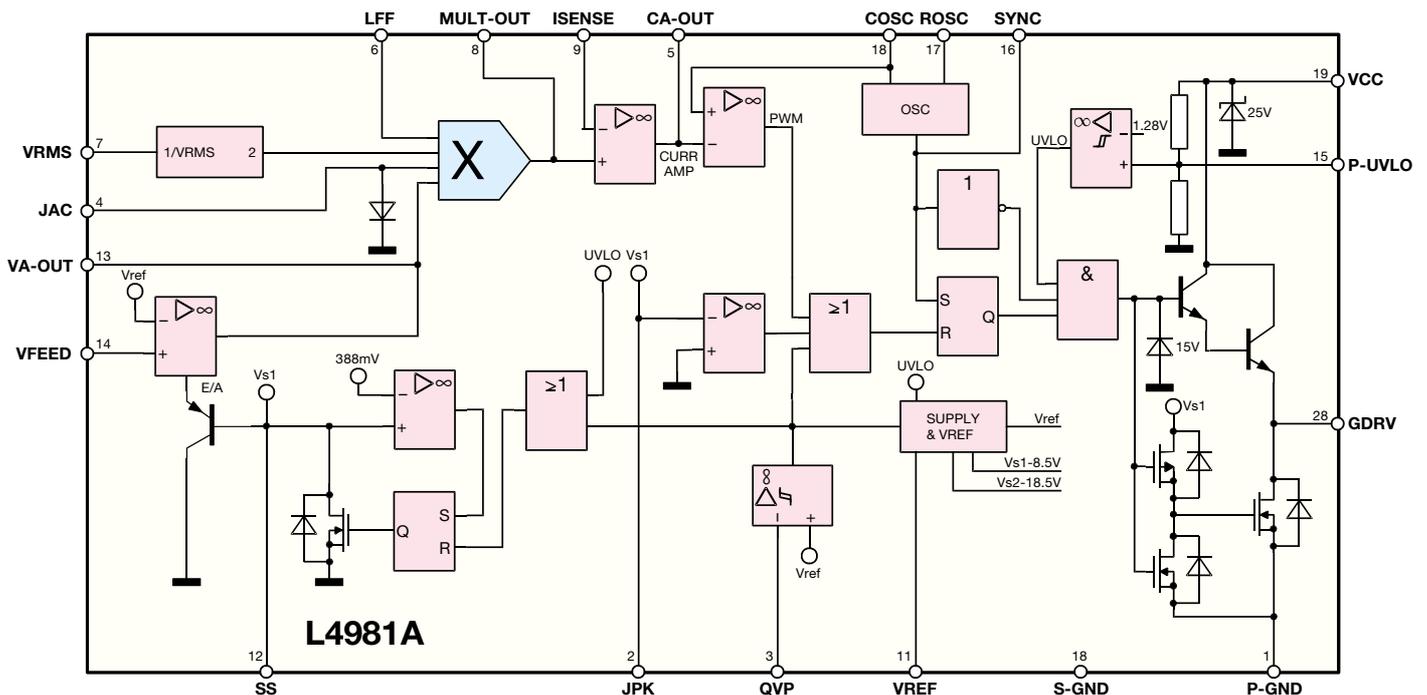


Bild 9: Interner Aufbau des PFC-Reglers L 4981 A

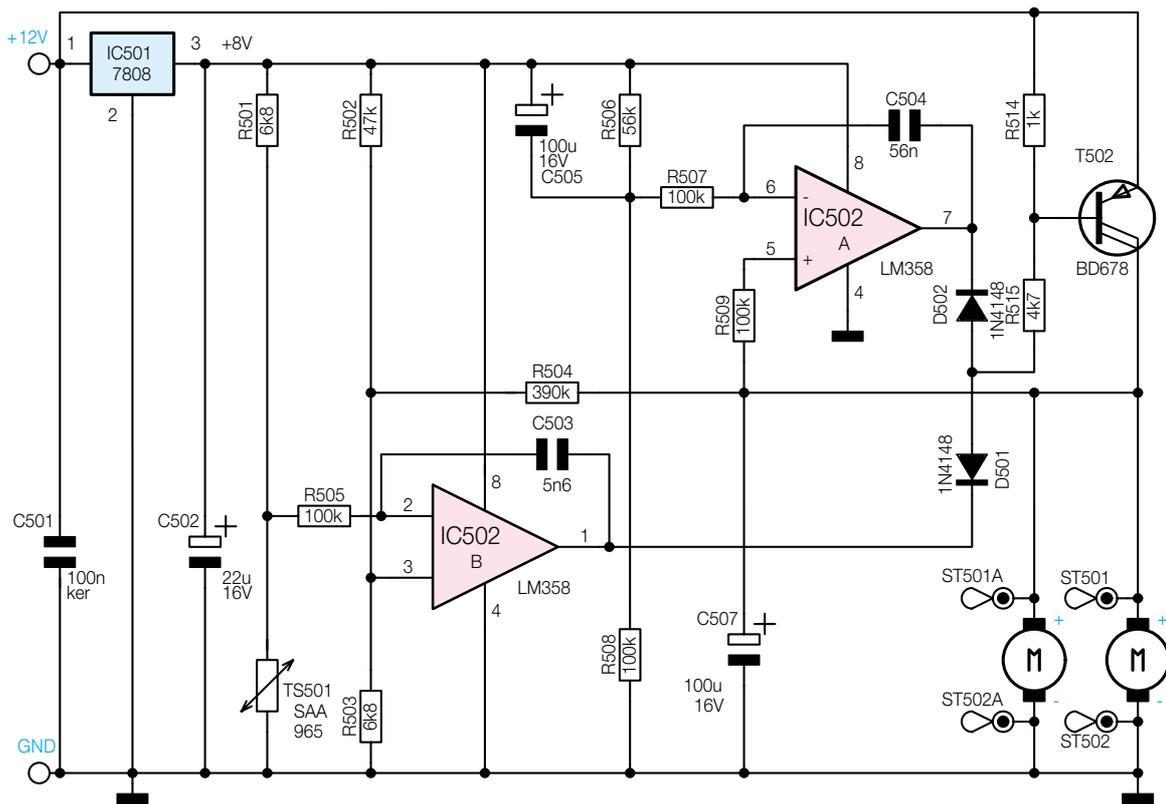


Bild 10: Lüftersteuerung des SPS 9540

Lüftersteuerung (Abbildung 10)

Das von ELV konzipierte Schaltnetzteil SPS 9540 besitzt einen außerordentlich hohen Wirkungsgrad von ca. 85 %. Bezogen auf die maximale Ausgangsleistung von 1000 W beträgt die anfallende Verlustleistung jedoch immerhin noch bis zu 150 W. Eine Verlustleistung dieser Größenordnung abzuführen, stellt in der Regel kein Problem dar, sie könnte ohne Weiteres über außen liegende Kühlkörper auch ohne zusätzlichen Lüfter abgegeben werden. Aufgrund der hohen und galvanisch nicht getrennten Betriebsspannungen würden außen liegende Kühlkörper mit isolierender Transistorbefestigung jedoch ein zu großes Sicherheitsrisiko in sich bergen. Aus diesem Grunde werden beim SPS 9540 zwei Kühlkörper im Geräteinneren eingesetzt, wobei bedingt durch die relativ geringe Konvektion im Gehäuseinneren zwei zusätzliche Lüfter unabdingbar sind.

Abbildung 10 zeigt die elektronische Lüfterregelung des SPS 9540. Sie hat die Aufgabe, die Lüfterdrehzahl der jeweils anfallenden Verlustwärme anzupassen. Wird dem SPS 9540 nur eine geringe Leistung abverlangt, so ist auch nur eine niedrige Lüfterdrehzahl erforderlich, entsprechend einer Geräuschkentwicklung „im Flüsterton“. Erst bei hohen Ausgangsleistungen bzw. hohen Umgebungstemperaturen wird die volle Lüf-

terleistung erreicht, wobei die Kühlkörpertemperatur die 60-°C-Grenze unter normalen Bedingungen nicht überschreitet.

Unten rechts im Schaltbild (angeschlossen an ST 501, ST 501 A und ST 502, ST 502 A) sind die Lüfter dargestellt. Über den Längstransistor T 502 erfolgt die Steuerung der an den Lüfter anstehenden Betriebsspannung, wobei die Lüfter mit der ungestabilisierten +12-V-Betriebsspannung betrieben werden. Die Lüfterregelung des SPS 9540 besteht aus zwei unabhängigen Reglern.

Der obere, mit IC 502 A aufgebaute Regler sorgt für eine gewisse Grundkonvektion.

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 A. Der Sollwert wird durch den Widerstandsteiler R 506/ R 508 gebildet und über den Widerstand R 507 auf den invertierenden Eingang des IC 502 A geleitet.

Der Ausgang des IC 502 A 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 Kon-

densator C 504 im Gegenkoppelzweig in Verbindung mit dem Widerstand R 507 wird der Regelkreis stabilisiert.

IC 502 B mit Zusatzbeschaltung bildet den eigentlichen Temperaturregler. Über R 502 bis R 504 gelangt auch hier der Istwert (am Lüfter anliegende Spannung) auf den nicht invertierenden 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 B.

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 Entkoppelung 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 erzeugten stabilisierten Spannung betrieben. Die Kondensatoren C 501 und C 502 dienen der Pufferung und Schwingneigungsunterdrückung für IC 501.

Die komplette Schaltungsbeschreibung dieses innovativen Hochleistungsnetzteils ist damit abgeschlossen. Im dritten Teil erfolgt die Beschreibung des praktischen Aufbaus.