

PWM-Schaltnetzteil

*Wenig Verlustleistung, selbst bei geringen Spannungen
und hohen Strömen, sind die Vorteile dieser universell einsetzbaren Netzteilplatine*

Allgemeines

Diese neue für die Spannungsversorgung im Laborbereich konzipierte Leiterplatte arbeitet nach dem Prinzip des sekundär getakteten Schaltreglers und ist mit konventionellen Bauelementen realisiert.

Gegenüber linear geregelten Netzgeräten hat der sogenannte Step-Down-Wandler besonders bei der Belastung mit hohen Strömen bei geringer Spannung besondere Vorteile durch seinen hohen Wirkungsgrad.

Die Ausgangsspannung ist stufenlos von 0 - 30 V und die Strombegrenzung von 10 mA bis 4 A einstellbar. Zur Spannungs- und Stromanzeige sind 2 Panelmeter (0-200 mV) direkt an die dafür vorgesehenen Lötstifte anschließbar (nicht im Lieferumfang).

Eine einzige doppelseitig durchkontaktierte Leiterplatte mit den Abmessungen 131 x 112 mm dient zur Aufnahme sämtlicher aktiver und passiver Bauteile inklusive Netz-Gleichrichter und Endstufe, so daß extern nur noch der geeignete Netztransformator anzuschließen ist.

Das Netzgerät kann wahlweise als Spannungs- oder als Stromregler arbeiten, wobei der jeweils aktive Regler durch eine Leuchtdiode angezeigt wird.

Des weiteren ist auf der Platine sowohl für die Endstufe als auch für den anzuschließenden Netztrafo eine elektronische Temperatursicherung vorhanden. Bei Über-temperatur leuchtet die jeweils zugehörige Leuchtdiode auf, und die Ausgangsspannung wird abgeschaltet.

Wie bei nahezu allen Schaltnetzteilen, ist auch bei der ELV-PWM-Schaltnetzteil-Platine eine minimale Ausgangslast sinnvoll.

Das Netzgerät arbeitet im sogenannten „Burst-Mode“ (Endstufe wird periodisch getaktet), wenn die Ausgangslast 3 VA unterschreitet. Im Gegensatz zu den meisten Schaltnetzteilen (z. B. PC-Netzteile) führt eine geringe Ausgangslast bei dem PWM-Schaltnetzteil zu keiner Beschädigung. Der einzige Nachteil bei weniger als 3 VA Last ist eine höhere Ausgangswelligkeit.

Beim Netztransformator (nicht im Lieferumfang) sind neben der Leistungswicklung noch 2 Hilfswicklungen mit jeweils 8 V/500 mA zur Versorgung der elektronischen Komponenten erforderlich. Natürlich besteht auch die Möglichkeit, 2 getrennte Trafos einzusetzen. Standardmäßig steht für das Netzteil ein Transformator

mit 27 V/3,5 A und 2 x 8 V/500 mA zur Verfügung.

Mit diesem Transformator ist ein 20 V/4A Netzgerät realisierbar.

Schaltung

Die Schaltung unseres ausschließlich mit Standard-Bauelementen aufgebauten PWM-Schaltnetzteil ist in Abbildung 1 zu sehen. Anhand des P-Kanal-Feldeffekttransistors T 1, der schnellen Schottky-Diode D 1, der Ringkern-Speicherdrossel L 1 und des Puffer-Elkos C 5 betrachten wir zunächst die grundsätzliche Funktionsweise.

Der als Leistungsschalter dienende P-Kanal Feldeffekttransistor T 1 wird von der Steuerelektronik periodisch in den leitenden Zustand versetzt. In der Schaltphase, in der der Transistor durchgesteuert ist, fließt über die Speicherdrossel L 1 der Strom zum Puffer-Elko C 5. Wird nun der Transistor T 1 gesperrt, kann die Speicherdrossel L 1 aufgrund der nun auftretenden Gegeninduktion den Stromfluß über die Schottky-Diode D 1 aufrecht erhalten.

Die Ausgangsspannung am Elko C 5 entspricht dem arithmetischen Mittelwert

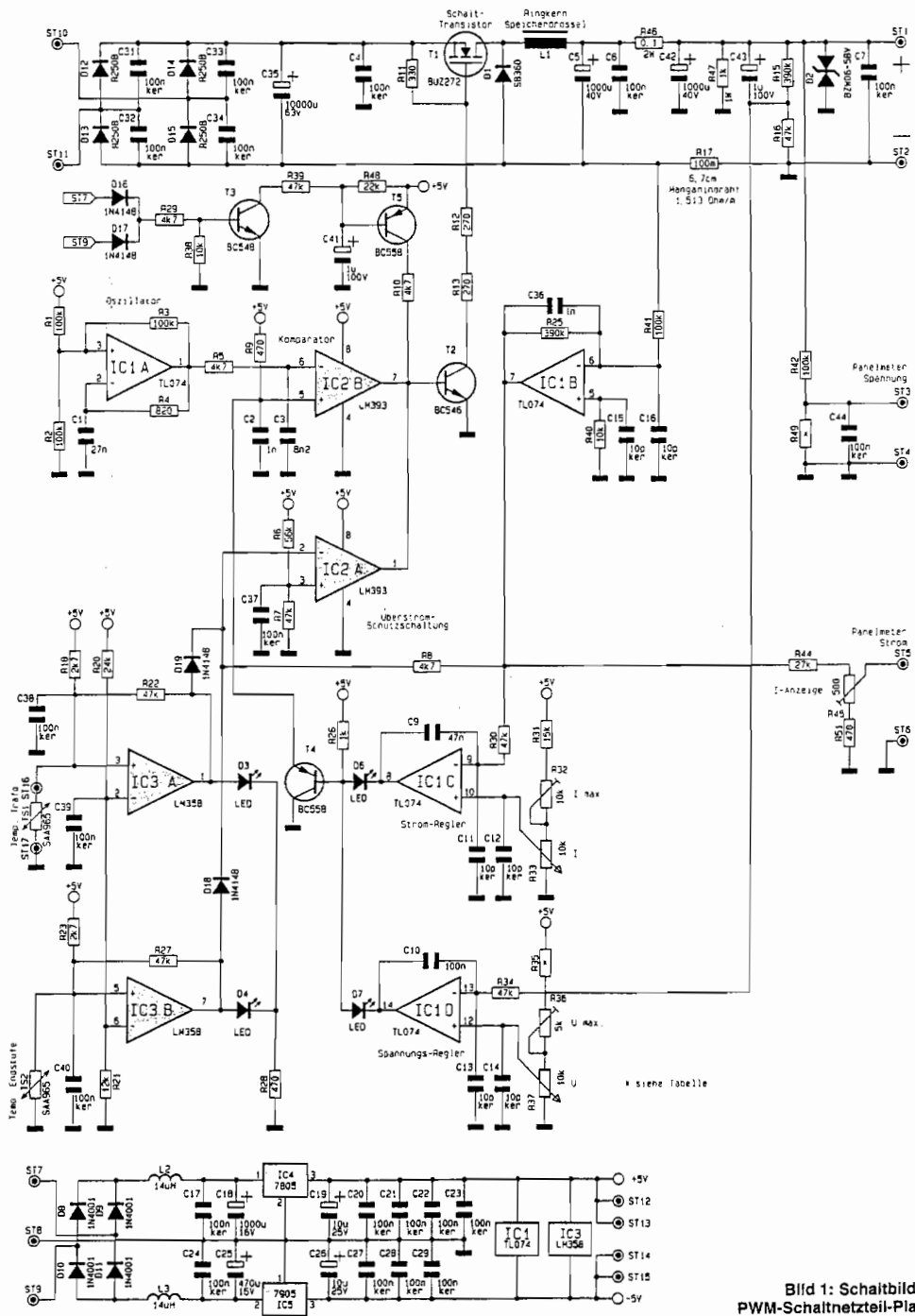
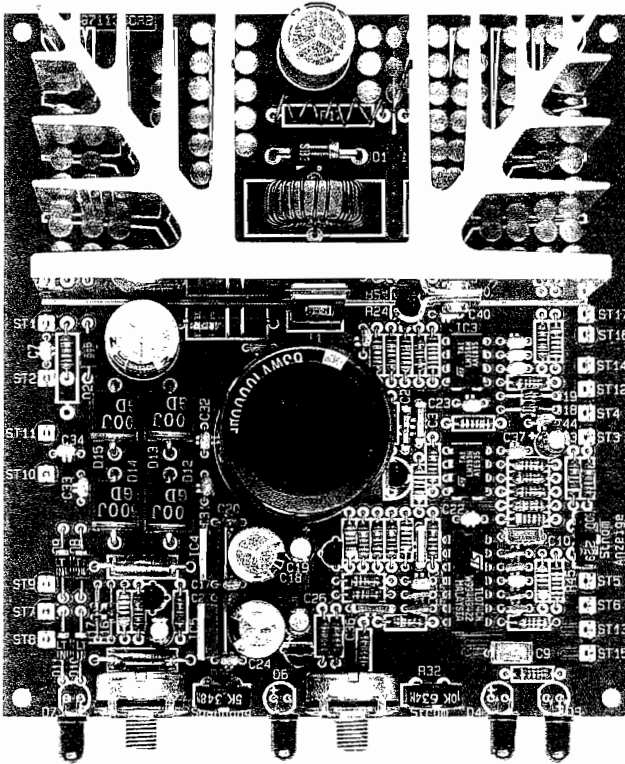


Bild 1: Schaltbild der PWM-Schaltnetzteil-Platine



Ansicht der fertig bestückten Platine

des Tastverhältnisses, mit dem der Schalttransistor durchgesteuert wird.

Zur Verringerung der Ausgangswelligkeit dienen das mit R 46 und C 42 aufgebaute Siebglied, wobei hochfrequente Störspitzen mit C 4, C 6 und C 7 weitestgehend eliminiert werden.

Kommen wir nun zur Ansteuerung des Leistungsteils. Über den mit R 15, R 16 aufgebauten Spannungsteiler wird die Ausgangsspannung abgegriffen und über R 34 dem mit IC 1 D aufgebauten Spannungsregler zugeführt, der die Ausgangsspannung (Ist-Wert) mit dem Soll-Wert am nicht invertierenden Eingang des Operationsverstärkers IC 1 D vergleicht. Die Soll-Wert-Vorgabe erfolgt mit Hilfe des Einstellreglers R 37, wobei mit dem Einstelltrimmer R 36 der Maximalwert festgelegt wird.

Am Shunt-Widerstand R 17 erhalten wir einen zum Ausgangsstrom proportionalen Spannungsabfall, der mit Hilfe des invertierenden Verstärkers IC 1 B um den Faktor 3,9 verstärkt wird.

Über R 30 gelangt dann der Ist-Wert des Stromes auf den invertierenden Eingang des Operationsverstärkers IC 1 C. Der zum

Ausgangsstrom proportionale Spannungswert wird mit der Strom-Soll-Wert-Vorgabe an IC 1 C Pin 10 verglichen, wobei R 33 zur Einstellung des Ausgangsstromes und R 32 zur Maximalwert-Begrenzung auf 4 A dienen.

Bei aktiver Stromregelung leuchtet die Leuchtdiode D 6, während D 7 leuchtet, wenn eine Spannungsregelung erfolgt.

Die Schaltfrequenz des PWM-Schaltreglers (Step-Down-Wandler) wird durch den mit IC 1 A und externer Beschaltung aufgebauten Oszillator bestimmt. Durch die Beschaltung mit den Widerständen R 1 bis R 3 arbeitet IC 1 A zunächst als Inverter mit Schmitt-Trigger-Funktion. Durch den Widerstand R 4 im Gegenkopplungsweig und den Kondensator C 1 entsteht daraus ein Rechteck-Oszillator, der mit ca. 22 kHz schwingt.

Das rechteckförmige Oszillator-Ausgangssignal wird mit Hilfe des Widerstandes R 5 und des Kondensators C 3 zu einem sägezahnförmigen Signal integriert und dem invertierenden Eingang des Komparators IC 2 B zugeführt.

Der Gleichspannungspegel am nicht invertierenden Eingang des Komparators

bestimmt nun die Schaltschwelle. In Verbindung mit dem sägezahnförmigen Signal am nicht invertierenden Eingang erhalten wir am Komparator-Ausgang (IC 2 Pin 7) ein pulsweiten-moduliertes Rechtecksignal. Dieses PWM-Signal steuert über den Treibertransistor T 2 den selbstsperrenden P-Kanal-Leistungs-FET T 1.

Mit Hilfe des Komparators IC 2 A wurde eine Schutzschaltung realisiert. Sobald die über R 8 zugeführte stromproportionale Meßspannung an IC 2 A Pin 2, die mit R 6, R 7 an IC 2 Pin 3 eingestellte Spannung übersteigt, wird schlagartig die Endstufe an der Basis des Transistors T 2 gesperrt. T 3 und T 5 mit den zugehörigen externen Komponenten verhindern Spannungsspitzen im Ausschaltmoment.

Die an ST 7, ST 9 anstehende Wechselspannung gelangt über D 16, D 17 auf die Basis des Transistors T 3, an dessen Kollektor wir dann netzfrequente Rechteckimpulse erhalten. Solange die Impulse anliegen, wird T 5 über die mit R 39 und C 41 realisierte Zeitkonstante im leitenden Zustand gehalten.

Im Ausschaltmoment wird durch diese Schaltung die Endstufe bereits gesperrt, bevor die Betriebsspannungen des Netzteils zusammenbrechen.

Die Temperaturüberwachung der Endstufe und des Netztransformators erfolgt mit IC 3 und den zugehörigen externen Bauelementen.

Während der Sensor TS 1 (ST 16, ST 17), mit einer zweifach isolierten Leitung verlängert, direkt am Trafo zu befestigen ist, überwacht TS 2 die Endstufentemperatur.

Über den Spannungsteiler R 20, R 21 liegen die nicht invertierenden Eingänge von IC 3 A und IC 3 B auf ca. 1,67 V.

Betrachten wir zunächst die mit IC 3 A aufgebaute Schaltung. Der am nicht invertierenden Eingang angeschlossene Temperatursensor wird über R 18 mit Spannung versorgt. Mit steigender Temperatur wird der Widerstandswert des Sensors größer, und der Spannungsabfall steigt proportional. Übersteigt die Spannung den am invertierenden Eingang vorgegebenen Wert, wechselt der Ausgang (Pin 1) von „LOW“ nach „HIGH“. Die Endstufe wird nun über D 19 abgeschaltet, und die Leuchtdiode D 3 signalisiert Übertemperatur. Für eine ausreichende Schalthysterese sorgt in diesem Zusammenhang der Widerstand R 22.

Die Funktionsweise des mit IC 3 B aufgebauten Schaltungsteiles ist völlig identisch.

An ST 3 und ST 4 ist das Panelimeter zur Spannungsanzeige anzuschließen, und an ST 5 steht eine auf Schaltungsmasse (ST 6) bezogene stromproportionale Spannung für die Stromanzeige zur Verfügung.

Die Bestückung der Widerstände R 35 und R 49 ist entsprechend Tabelle 1 vom

gewünschten Maximalwert der Ausgangsspannung abhängig.

Bei 20 V Ausgangsspannung beträgt die Auflösung dann 0,01 V und bei 30 V Ausgangsspannung 0,1 V.

Tabelle 1

Ausgangsspannung	R 35	R 49
20 V	10 k	1 k
30 V	2 k 7	100 Ω

Zur Spannungsversorgung der Steuerelektronik ist eine sekundärseitige Trafowicklung mit Mittelanzapfung (2 x 8 V/500 mA) erforderlich, die an die Lötstifte ST 7 bis ST 9 anzuschließen ist. Mit D 8 und D 9 ist eine Mittelpunkt-Zweiweg-Gleichrichter-Schaltung aufgebaut, wobei die unstabilierte Gleichspannung über L 2 auf den Puffer-Elko C 18 und Pin 1 des Positiv-Spannungsreglers IC 4 gelangt. Am Ausgang des Reglers steht dann eine stabilisierte Spannung von +5V zur Verfügung.

Eine weitere mit D 10 und D 11 aufgebaute Zweiweg-Gleichrichter-Schaltung versorgt über L 3 den Eingang des Negativ-Spannungsreglers IC 5 mit der unstabilierten Versorgungsspannung, wobei C 25 zur ersten Glättung dient. Während die Keramik-Kondensatoren C 20 bis C 23 und C 27 bis C 29 direkt an den Versorgungspins der einzelnen ICs angeordnet sind, dienen C 19 und C 26 zur Schwingneigungsunterdrückung an den Festspannungsreglern.

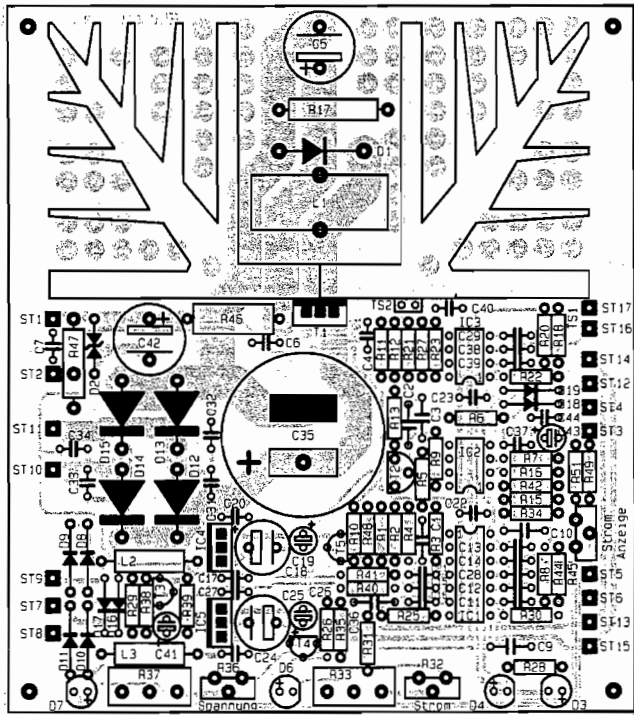
Eine weitere sekundärseitigeTrafowicklung ist zur Versorgung des Leistungsteils (Endstufe) erforderlich. Die Gleichrichtung der an ST 10 und ST 11 zugeführten Wechselspannung erfolgt mit Hilfe der zum Brückengleichrichter geschalteten Dioden D 12 bis D 15. Störspitzen werden mit C 31 bis C 34 unterdrückt, und C 35 dient zur Pufferung der unstabilierten Spannung.

Nachbau

Der praktische Aufbau des PWM-Schaltnetzteils ist dank einer doppelseitig durchkontaktierten Leiterplatte besonders einfach und schnell möglich. Mit Ausnahme des Netztrafos finden hier sämtliche passiven und aktiven Bauelemente Platz.

Achtung: Aufbau und Inbetriebnahme des Schaltnetzteils dürfen aufgrund der darin frei geführten Netzspannung ausschließlich von Fachleuten durchgeführt werden, die hierzu aufgrund ihrer Ausbildung befugt sind. Die geltenden VDE- und Sicherheitsvorschriften sind zu beachten.

Die Bestückungsarbeiten werden entsprechend der Stückliste und des Bestückungsplanes vorgenommen, wobei es sinnvoll ist, mit den niedrigsten Komponenten zu beginnen. Daher werden zuerst die Anschlußbeinchen der 1%igen Metallfilmwi-



Bestückungsplan der PWM-Schaltnetzteil

derstände entsprechend dem Rastermaß abgewinkelt, durch die zugehörigen Bohrungen der Platine geführt und an der Platinenunterseite leicht angewinkelt.

Alsdann ist die Platine umzudrehen, auf eine ebene Unterlage zu legen (z. B. Schaumgummiplatte) und alle Anschlußbeinchen der Widerstände nacheinander zu verlöten. Die überstehenden Drahtenden werden mit einem scharfen Seitenschneider, wie auch bei den nachfolgend einzusetzenden bedrahteten Bauelementen, direkt oberhalb der Lötstelle abgeschnitten.

Insgesamt 17 Lötstifte mit Öse sind stramm in die dafür vorgesehenen Bohrungen der Platine zu pressen und anschließend unter Zugabe von ausreichend Lötzinns festzusetzen. Danach folgen die Keramik- und Folien-Kondensatoren mit beliebiger Polarität.

Beim Einlöten der Dioden ist darauf zu achten, daß die Leistungsdioden D 12 bis D 15 und die schnelle Schottky-Diode D 1 mit einem Abstand von 10 mm zur Platinenoberfläche angelötet werden.

Die nachfolgend einzusetzenden Elektrolyt-Kondensatoren sind gepolte Bauele-

mente und üblicherweise am Minuspol gekennzeichnet. Danach werden die beiden zur HF-Abblockung dienenden Spulen L 2 und L 3 sowie die Speicherdrossel L 1 eingelötet.

Die Kleinsignaltransistoren sind mit möglichst kurzen Anschlußbeinchen zu bestücken, und die Einstelltrimmer dürfen beim Lötvorgang nicht zu heiß werden. Die beiden Festspannungsregler IC 4 und IC 5 werden stehend eingelötet.

Es folgen die Einstellpotis (R 33, R 37) und die 4 Leuchtdioden, deren Einbauhöhe sich nach den individuellen Gegebenheiten richtet.

Der untere Gehäusekragen der Leuchtdioden ist an der Kathodenseite abgeflacht (diejenige Seite, in welche die Pfeilspitze des Schaltungssymbols weist).

Vor der Montage des Leistungskühlkörpers ist der Schalttransistor T 1 und der Temperatursensor TS 2 anzuschrauben. Zur elektrischen Isolation ist der Transistor mit Glimmerscheibe und Isolierbuchse zu montieren, wobei die Glimmerscheibe zur besseren thermischen Kopplung auf beiden Seiten mit Wärmeleitpaste dünn zu bestreichen ist. Die Montage erfolgt mit einer

Schraube M3x12mm und zugehöriger Mutter.

Die abgeflachte Seite des Endstufen-Temperaturensors ist ebenfalls mit Wärmeleitpaste zu versehen und an die vorgesehene Stelle auf den Kühlkörper zu drücken. Mit Hilfe einer Metallscheibe und einer gewindeschneidenden Schraube erfolgt die mechanische Befestigung am Kühlkörper. Danach wird der Kühlkörper mit den vormontierten Bauteilen auf die Leiterplatte gesetzt, mit 2 gewindeschneidenden Schrauben mechanisch befestigt und die Anschlußbeinchen des Leistungstransistors und des Temperatursensors unter Zugabe von ausreichend Lötlötlut festgesetzt.

Der Strom-Shunt R 17 ist aus 7 cm Manganindraht mit 1,513 Ω/m herzustellen, der auf den Schaft eines M4-Bohrers gewickelt eine „Widerstandswendel“ mit 4 Windungen ergibt. Nach dem Einlöten bleiben dann ca. 6,6 bis 6,7 cm des Widerstandsdrahtes wirksam, wobei unbedingt darauf zu achten ist, daß keine Windung die Platinenoberfläche berührt.

Nun kommen wir zum Anschluß des 230V-Netztransformators. Während die sekundärseitigen Anschlüsse der 2 x 8 V/500mA-Wicklung zur Spannungsversorgung der Regelelektronik an ST 7 bis ST 9 (Mittelanzapfung an ST 8) anzulöten sind, werden die Sekundäranschlüsse der Leistungswicklung an ST 10 und ST 11 ange­lötet. Die einstellbare Ausgangsspannung des Netzgerätes steht an den Lötstiften ST 1 (Pluspol) und ST 2 (Minuspol) zur Verfügung. Zur Strom- und Spannungsan­zeige können Standard-LED-Panelmeter eingesetzt werden. Über die Lötstifte ST 12 bis ST 15 erfolgt die Spannungsversorgung der Panelmeter mit ±5 V. ST 3 ist mit dem positiven Meßeingang (+V_{in}) des Panelmeters zur Spannungsanzeige und ST 5 mit dem entsprechenden Meßeingang der Stromanzeige zu verbinden.

Die vorgesehenen LED-Panelmeter sind üblicherweise für Anwendungen konzipiert, wo das Eingangssignal keinen Bezug zur Spannungsversorgung hat. Da die vom PWM-Schaltnetzteil gelieferten strom- und spannungsproportionalen Meßspannungen sich auf Schaltungsmasse beziehen, ist nicht der negative Meßeingang (-V_{in}) mit der Schaltungsmasse des PWM-Schaltnetzteils (ST 4, ST 6) zu verbinden, sondern jeweils Pin 30 der beiden Panelmeter-Chips des Typs ICL 7107. Zur Modifikation der beiden Panelmeter ist einfach der Chip mit einem Schraubendreher aus dem Sockel zu hebeln, Pin 30 des ICL 7107 vorsichtig nach oben umzubiegen und nach Einsetzen an Pin 30 eine flexible Leitung anzulöten. Diese Leitung wird dann mit dem Masseanschluß des PWM-Schaltnetzteils (ST 4, ST 6) verbunden.

Die fertig bestückte Leiterplatte ist nach

eigenen Vorstellungen in ein geeignetes voll isoliertes Gehäuse einzubauen, da ohne ein entsprechendes Gehäuse der Betrieb nicht zulässig ist.

Besonders beim Anschluß und Einbau des Netztransformators sind sämtliche geltenden VDE- und Sicherheitsvorschriften unbedingt zu beachten. Im Primärkreis des Netztransformators ist eine Feinsicherung (1 A-träge) erforderlich. Des weiteren ist es sinnvoll, einen Netzschalter zum Ein- und Ausschalten des Netzgerätes einzufügen.

Abgleich

Mit einem Multimeter ist der Abgleich des PWM-Schaltnetzteils schnell und einfach durchzuführen. Zuerst wird der Einstellregler für die Ausgangsspannung an den Rechtsanschlag gebracht und die Span-

nung mit dem Multimeter gemessen. Mit dem Trimmer R 36 ist nun die Ausgangsspannung auf den gewünschten Endwert (z. B. 30 V) einzustellen.

Danach wird das Netzgerät über das Multimeter im Strombereich (10 A oder 20 A) kurzgeschlossen, R 33 an den Rechtsanschlag gebracht, und der maximal zulässige Ausgangsstrom von 4 A mit R 32 eingestellt. Im letzten Abgleichschritt sind die Anzeigen der beiden Panelmeter (sofern angeschlossen) abzugleichen.

Während die korrekte Anzeige des Ausgangsstromes mit R 45 einzustellen ist, erfolgt die Einstellung der Spannungsanzeige direkt am entsprechenden Panelmeter.

Nach erfolgreich durchgeführtem Abgleich steht dem Einsatz dieses sekundärgetakteten Netzgerätes mit geringer Verlustleistung nichts mehr entgegen. **EW**

Stückliste: PWM-Schaltnetzteil

Widerstände:	100nF	C10
7 cm Manganindraht 1,513 Ω/m ... R17	1µF/100V	C41, C43
0,1Ω/2W	10µF/25V	C19, C26
100Ω	470µF/16V	C25
270Ω	1000µF/16V	C18
330Ω	1000µF/40V	C5, C42
470Ω	1000µF/63V	C35
820Ω		
1kΩ	Halbleiter:	
1 kΩ/1W	TL074	IC1
2,7kΩ	LM393	IC2
4,7kΩ	LM358	IC3
10kΩ	7805	IC4
12kΩ	7905	IC5
15kΩ	BUZ272	T1
22kΩ	BC546	T2
24kΩ	BC548	T3
27kΩ	BC558	T4, T5
47kΩ	SB360	D1
..... R7, R16, R22,	BZW06-58V	D2
..... R27, R30, R34, R39	1N4001	D8-D11
56kΩ	R250B	D12-D15
100kΩ	1N4148	D16-D19
390kΩ	LED, 5mm, rot	D3, D4, D6, D7
PT10, stehend, 500Ω		
PT10, stehend, 5kΩ	Sonstiges:	
PT10, stehend, 10kΩ	Speicherdrossel, 40µH, 3,15A	L1
Poti, 4mm, 10kΩ	Entstörspule, 14µH	L2, L3
Temperatursensor,	Lötstifte mit Lötöse	ST1-ST17
SAA965	1 Kühlkörper, SK88, bearbeitet	
	1 Isolierbuchse	
Kondensatoren:	1 Glimmerscheibe, TOP66	
10pF/ker	1 Zylinderkopfschraube, M3 x 12 mm	
1nF	3 Zylinderkopfschrauben, selbst-	
8,2nF	schneidend, M3 x 6mm	
27nF	1 Mutter, M3	
47nF	1 Sensorschelle	
100nF/ker	4cm Schrumpfschlauch, 1mm Ø	
..... C2, C36	60cm Schaltlitze, ST1 x 0,22mm, grün	
..... C3		
..... C1		
..... C9		
..... C4, C6, C7, C17,		
..... C20-C24, C27-C29,		
..... C31-C34, C37-C40, C44		

* siehe Tabelle 1

Hinweisblatt zum PWM-Schaltnetzteil

Die Bohrung des Widerstandes R46 ist bei einigen Leiterplatten an der zu C42 weisenden Seite nicht durchkontaktiert. Das Anschlußbeinchen des Widerstandes ist daher sowohl an der Löt- als auch an der Bestückungsseite anzulöten.

EG-Konformitätserklärung

Für das folgend bezeichnete Erzeugnis

PWM-Schaltnetzteil-Platine

wird hiermit bestätigt, daß es den Schutzanforderungen entspricht, die in der Richtlinie des Rates zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die elektromagnetische Verträglichkeit (89/336/EWG) festgelegt sind. Diese Erklärung gilt für alle Exemplare, die nach den entsprechenden Fertigungsunterlagen hergestellt werden. Zur Beurteilung des Erzeugnisses hinsichtlich elektromagnetischer Verträglichkeit wurden folgende Normen herangezogen:

EN 50081-1:1992 / EN 55022

EN 55014

EN 50082-1:1992 / IEC 801-2 (8kV AD)

IEC 801-3 (3V/m unmod.) / ENV 50140 (3V/m mod.)

IEC 801-4 (1kV auf Netz; 0,5kV auf Signal.)

Diese Erklärung wird verantwortlich für den Hersteller/Importeur

Elektronik-Literatur-Verlag GmbH
26789 Leer

abgegeben durch

Dipl.-Ing. Lothar Schäfer
Entwicklungingenieur / EMV-Beauftragter

Leer, den 20. Februar 1997



(Rechtsgültige Unterschrift)

Hinweise zur Betriebsumgebung im Rahmen des EMVG

Die zur Beurteilung des Produktes herangezogenen Normen legen Grenzwerte für den Einsatz im Wohnbereich, Geschäfts- und Gewerbebereich sowie in Kleinbetrieben fest, wodurch der Einsatz des Erzeugnisses für diese Betriebsumgebung vorgesehen ist. Hierzu gehören folgende, typische Einsatzorte und Räumlichkeiten:

- Wohngebäude/Wohnflächen wie Häuser, Wohnungen, Zimmer usw.;
- Verkaufsräume wie Läden, Großmärkte usw.;
- Geschäftsräume wie Ämter und Behörden, Banken usw.;
- Unterhaltungsbetriebe wie Lichtspielhäuser, öffentliche Gaststätten, Tanzlokale usw.;
- im Freien befindliche Stellen wie Tankstellen, Parkplätze, Vergnügungs- und Sportanlagen usw.;
- Räume von Kleinbetrieben wie Werkstätten, Laboratorien, Dienstleistungszentren usw.

Alle Einsatzorte sind dadurch gekennzeichnet, daß sie an die öffentliche Niederspannungs-Stromversorgung angeschlossen sind. Bei dem Einsatz in einer elektromagnetisch stärker gestörten Umgebung wie z.B. der typischen Industrieumgebung, können insbesondere Probleme mit einer nicht ausreichenden Störfestigkeit des Erzeugnisses auftreten.

