



Lastunabhängiger Drehzahlregler für Elektrowerkzeuge

Durch Vorschalten dieses Drehzahlreglers läßt sich die Drehzahl von Elektrowerkzeugen mit Kollektormotor, wie Bohrmaschinen, Stichsäge, Schleifern usw. stufenlos einstellen. Als Besonderheit weist die Schaltung ein drehzahlstabilisierendes Verhalten auf, d. h. die Drehzahl wird weitgehend lastunabhängig automatisch nachgeregelt. Ein weiteres Einsatzgebiet kann die Verwendung als Vorschaltdimmer für Lampen oder auch induktive Lasten, wie z. B. Halogenlampen mit Vorschalttrafo sein.

Allgemeines

Gerade bei vielen preisgünstigen oder älteren Elektrowerkzeugen besteht keine Möglichkeit, die Drehzahl einzustellen. Die Geräte arbeiten entweder ausschließlich mit der Höchstdrehzahl oder besitzen einen Umschalter zwischen zwei Drehzahlen (High/Low), wobei intern Wicklungen geschaltet werden. Bei älteren Maschinen findet man manchmal noch ein mechanisch umschaltbares Getriebe vor, das zwischen verschiedenen Drehzahlen unterscheidet.

Aufgrund dessen sind diese Geräte für

viele in der Praxis auftretende Aufgaben nicht einsetzbar, wie z. B. das Arbeiten einer Bohrmaschine in Verbindung mit einem Aufsatz für das Anziehen von Schrauben usw..

Speziell für Geräte ohne vorhandenen Drehzahlregler wurde diese Schaltung im praktischen Stecker-Steckdosengehäuse entwickelt, die durch einfaches Vorschalten schnell und universell einsetzbar ist. So läßt sich die Drehzahl des Motors im Bereich von sehr niedrigen Drehzahlen bis zur Maximaldrehzahl stufenlos und weitgehend lastunabhängig einstellen. Bevor wir uns mit der Schaltung selbst beschäf-

tigen, noch einige Vorbetrachtungen.

Drehzahleinstellung von Kollektormotoren

Voraussetzung für die Einstellung der Motordrehzahl mit der hier vorgestellten Schaltung ist es, daß es sich um einen Kollektormotor handelt. Dies sind im Bereich von Elektrowerkzeugen die derzeit am weitest verbreiteten Motoren, nicht zuletzt wegen des hohen Drehmoments.

Drehzahleinstellung durch Variation des Stromflußwinkels

Die einfachste und preiswerteste Mög-

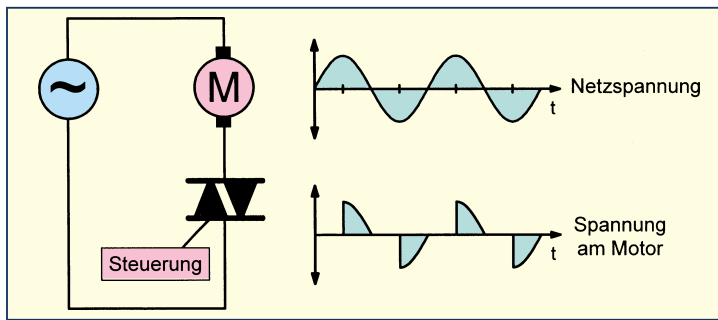


Bild 1: Vereinfachte Grundschaltung einer Phasenanschnittsteuerung

nung als Steuergröße zur Motorregeldient. Mit diesem Regelprinzip lassen sich hochwertige elektronische Drehzahlstabilisierungen realisieren, die aber aufgrund des großen Aufwands verhältnismäßig teuer sind.

Unter Verwendung des Temic ICs U210B1 hat ELV eine Drehzahlregelung entwickelt, die auf einen Tachogenerator verzichtet. Dabei stützt sich die Schaltung auf den Effekt, daß bei steigender Belastung die Stromaufnahme des Motors ebenfalls ansteigt. Der Drehzahlregler mißt die Stromaufnahme des Gerätes und vergrößert bei steigender Stromaufnahme automatisch den Stromflußwinkel. So wird dem Motor mehr Leistung zugeführt, was dem Absinken der Drehzahl entgegenwirkt. Die im ELV-Labor erzielten Ergebnisse zeigen ein deutliches und gut ausgeprägtes Nachregelverhalten der Schaltung bei sich ändernden Belastungsverhältnissen.

Wir möchten an dieser Stelle jedoch darauf hinweisen, daß man nicht ganz die Ergebnisse einer erheblich aufwendigeren Regelung mit Tachogenerator erwarten darf. Eine gewisse Drehzahlveränderung muß dennoch in Kauf genommen werden. Im Vergleich zu einer einfachen Drehzeleinstellung ohne Nachführung des Phasenwinkels ergibt sich jedoch eine erhebliche Verbesserung in Richtung „steife“ Motordrehzahl.

Bedienung und Funktion

Die Bedienung der Drehzahlregelung ist denkbar einfach und beschränkt sich auf das Verbinden mit einer Netzsteckdose und den Anschluß der Last. Die gewünschte Drehzahl läßt sich mit dem Drehknopf zwischen 0 und 100% einstellen. Nach dem Einschalten der Last wird diese dann zügig erreicht und weitgehend konstant gehalten. Selbstverständlich kann auch während des Betriebes der Last die Drehzahl verändert werden.

lichkeit der Drehzeleinstellung eines Kollektormotors ist die Variation des Stromflußwinkels (z. B. Phasenanschnitt per Triac). Dabei gilt: Je größer der Stromflußwinkel, desto höher die Motordrehzahl. In Abbildung 1 ist die vereinfachte Grundschaltung dargestellt.

Nach diesem Prinzip wird auch die Motordrehzahl beim ELV-Drehzahlregler eingestellt. Im mittleren Drehzahlbereich, d. h. Schalten bei 90° und 270°, enthält der Laststrom neben der Grundschwingung Harmonische mit erheblicher Amplitude. Deshalb ist es erforderlich, die Schaltung ausreichend zu entstoren, um die Grenzwerte der geltenden EMV-Normen einzuhalten.

Drehzeleinstellung per Chopper

Eine weitere Möglichkeit, die Drehzahl einzustellen, ist das aufwendigere Chopper-Prinzip, bei dem die Netzspannung zunächst gleichgerichtet und dann mit einem Power-MOS-FET bei höherer Frequenz (z. B. 20 kHz) auf den Motor geschaltet wird. Dabei erfolgt die Drehzeleinstellung durch Variation des Tastverhältnisses des Schaltsignals. Abbildung 2 zeigt die Grundschaltung dazu. Besondere Vorteile im Vergleich zur Stromflußwinkel-Drehzeleinstellung sind geringere Harmonische aufgrund des gleichmäßigeren Stromflusses und besserer Wirkungsgrad durch geringere Eisen- und Kupferverluste. Auch hier sind Entstörbauelemente erforderlich, die aber aufgrund der

hohen Schaltfrequenz kleiner ausfallen können.

Drehzeleinstellung - Drehzahlregelung

Bis jetzt haben wir uns lediglich mit der Einstellung von Drehzahlen beschäftigt, wobei eine feste Steuergröße eine bestimmte Drehzahl vorgibt. Wechselt die Belastung eines Motors, z. B. beim Bohren eines Loches mit einer Bohrmaschine, verändert sich die Drehzahl entsprechend der Belastung. Bei vielen Anwendungen ist es erforderlich, die Drehzahl des Motors unabhängig von der Last konstant zu halten.

In diesem Fall wird die einfache Einstellung durch eine Regelung ersetzt, die den Istwert der Drehzahl mit dem Sollwert vergleicht und die Steuergröße stets so verändert, daß die Drehzahl konstant bleibt.

Exakt diesen entscheidenden Vorteil bietet auch die ELV-Drehzahlregelung, die die Motordrehzahl lastabhängig nachregelt und weitgehend stabil hält.

Drehzahlregelung - verschiedene Methoden

Eine konventionelle Methode, Drehzahlen elektronisch zu regeln und zu stabilisieren besteht darin, daß der Ist-Wert der Drehzahl über einen Tachogenerator ermittelt und mit dem Sollwert verglichen wird. Die Differenz wird einem Regelverstärker zugeführt, dessen Ausgangsspan-

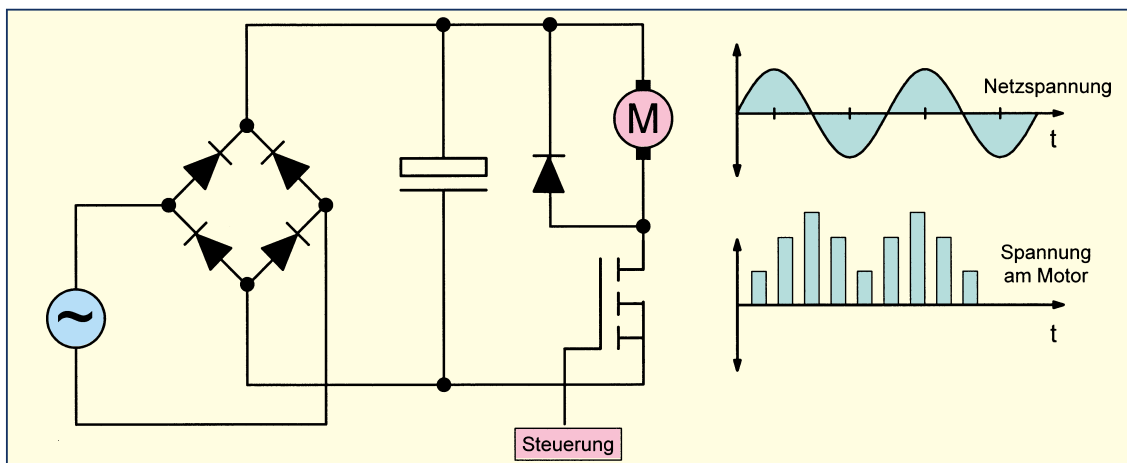


Bild 2: Schaltungsprinzip einer drehzahlregelung per Chopper

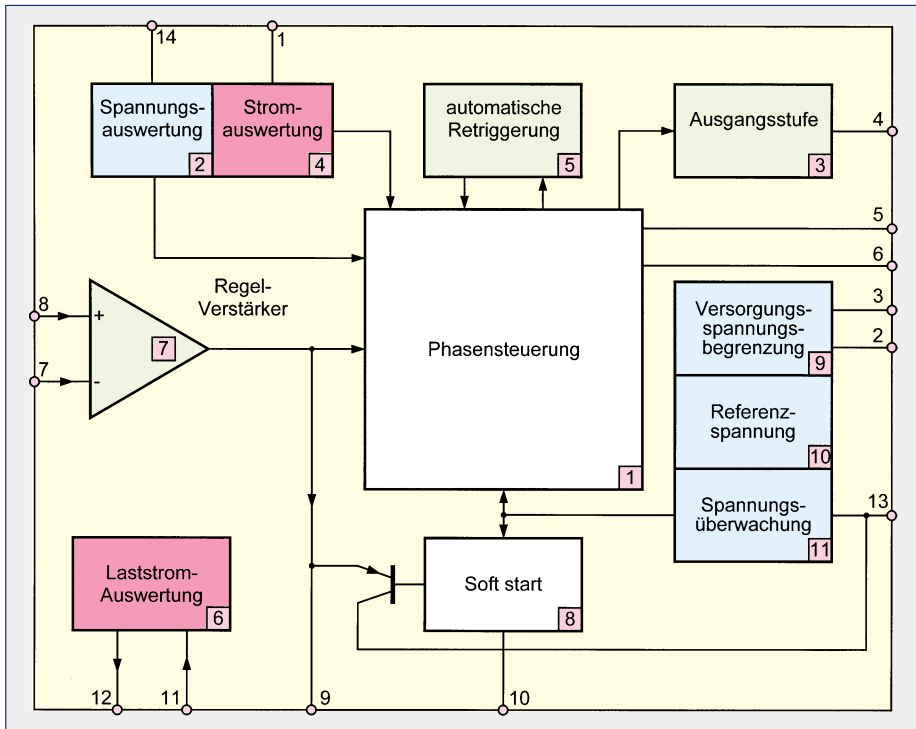


Bild 3: Innenschaltung des U210B1 von Temic.

Die Schaltung ist für eine Dauerlast von maximal 600 VA ausgelegt. Für eine Dauer von 10 Min. darf eine Maximallast von 1000 VA angeschlossen werden. Um die Schaltung vor Überlast zu schützen, ist zwischen den Steckkontakten des Steckerteils eine 5A-Feinsicherung untergebracht.

Der Chip U210B1

Zentrales Bauelement der Drehzahlregelung ist der Temic Baustein U210B1,

der alle wesentlichen Funktionen der Triac-Ansteuerung beinhaltet und ein einfaches, nur wenige Bauelemente umfassendes Schaltungsdesign ermöglicht. Für den interessierten Leser ist die Innenschaltung in Abbildung 3 dargestellt.

Die interne Einheit Phasensteuerung (1) entspricht im wesentlichen der Phasensteuerung des weit verbreiteten und bereits im „ELVjournal“ 5/97 ausführlich beschriebenen Bausteins TEA1007. Deshalb wollen wir an dieser Stelle nur in Kurzform darauf eingehen:

Technische Daten: Drehzahlregler LD 100

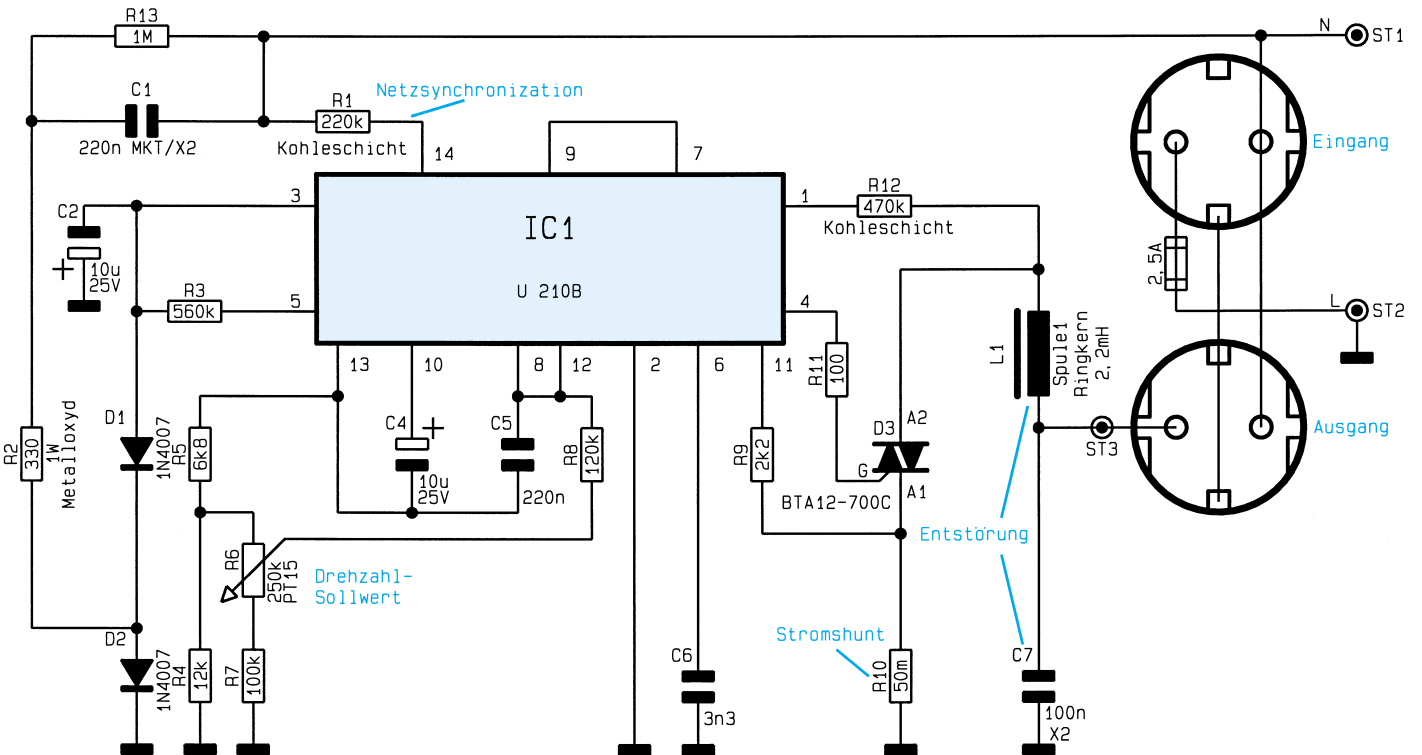
Betriebsspannung: 230 V / 50Hz
 Dauer-Anschlußleistung: 600 VA
 max. Anschlußleistung (10 Min.): 1000 VA
 Abmessungen: 131 x 77 x 68mm

Der Phasenwinkel des Triac-Zündimpulses wird durch den Vergleich einer IC-intern generierten und durch die Spannungs-auswertung (2) netzsynchronisierten Rampenspannung mit der an Pin 9 anliegenden Steuerspannung bestimmt. Die Steigung der Rampenspannung legen ein externer Kondensator von Pin 6 nach Masse (C 6 im Schaltbild, Abbildung 4) und der intern erzeugte Ladestrom fest. Die Größe des Ladestroms selbst bestimmt ein von Pin 5 gegen die Versorgungsspannung geschalteter Widerstand (R3 im Schaltbild). Mit diesem Widerstand wird ebenfalls der maximale Phasenwinkel α_{max} festgelegt.

Erreicht die Rampenspannung an Pin 6 den Wert der eingestellten Steuerspannung an Pin 9, wird über die Ausgangsstufe (3) ein Zündimpuls ausgegeben.

Die Stromauswertung (4) stellt über die Messung an Pin 1 sicher, daß beim Betrieb induktiver Last kein neuer Zündimpuls ausgegeben wird, solange der Strom aus der vorangegangenen Halbwelle noch fließt. Der Zündimpuls wird dann entsprechend verschoben. Dies verhindert den sogenannten „Halbwellenbetrieb“, der zur

Bild 4: Schaltbild des Drehzahlreglers



Zerstörung gerade induktiver Lasten führen kann.

Die automatische Retriggerung (5) verhindert Halbwellen ohne Stromfluß. Dies könnte z. B. bei nicht exakt zentriertem Kollektor (Bürstenversatz) oder bei erfolgloser Zündung entstehen. Es werden dann in bestimmten Abständen erneute Triggerimpulse ausgegeben, bis der Triac zündet.

Die für die Regelung erforderliche Messung des Laststromes erfolgt über den Shuntwiderstand R 10, siehe Schaltbild. Der Spannungsabfall über R 10 erzeugt über R 9 einen Eingangsstrom an Pin 11. Die Laststromauswertung (6) bewertet diesen Strom mit einem Faktor, so daß der Ausgangsstrom an Pin 12 abhängig von der Phasenlage und der Amplitude des Laststromes ist. Er wird über C 5 integriert und dem Regelverstärker (7) zusammen mit der an R 6 abgegriffenen Sollgröße zugeführt. Die Ausgangsspannung des Regelverstärkers steht an Pin 9 an und ist intern mit der Phasensteuerung verbunden.

Da der Motor unmittelbar nach dem Einschalten die volle Drehzahl aufweisen soll, wird die Softstart-Funktion (8) bei dieser Schaltung nicht verwendet.

Die Versorgungsspannungsbegrenzung (9) stabilisiert die Versorgungsspannung auf maximal 15,5 V. Der Funktionsblock (10) dient zur IC-internen Erzeugung einer Referenzspannung von 8,9 V, von der unter anderem die Sollwerteinstellung mit R 6 abgeleitet wird. Die Spannungsüberwachung (11) überwacht die Betriebsspannung und sorgt für ein definiertes Hochfahren der Schaltung nach dem Einschalten oder nach Unterbrechungen der Betriebsspannung. Mit diesen Informationen über das Innenleben des U210B1 läßt sich das nachfolgend detailliert betrachtete Schaltbild leicht verstehen.

Schaltung

In Abbildung 4 ist die mit geringem Aufwand realisierte Schaltung des Drehzahlreglers dargestellt. Die über den im Gehäuse integrierten Stecker abgenommene Netzspannung liegt an ST 1 und über der Sicherung an ST 2 an.

Um die Verlustleistung im Gehäuse möglichst gering zu halten, wird die Schaltung mit Hilfe eines Kondensatornetzteils versorgt, das aus dem X2-Kondensator C 1, den Dioden D 1 und D 2, dem Elko C 2 sowie der IC-internen Spannungsbegrenzung besteht. R 2 dient beim Verbinden mit dem Netz als Strombegrenzungswiderstand. Damit am Netzstecker bei herausgezogenem Gerät keine Restspannung ansteht, ist der Entladewiderstand R 1 zum schnellen Entladen von C 1 eingefügt.

Für die Netzsynchrosation der bereits erwähnten Rampenspannung wird die Netz-

spannung über den Widerstand R 1 abgegriffen und dem IC an Pin 14 zugeführt.

Die Stromauswertung erfolgt über die Ermittlung des Triac-Zustandes durch eine Spannungsüberwachung mit Hilfe von R 12. Leitet der Triac, ist die Spannung über R 12 nahezu 0 V, ist er gesperrt, steht die volle Netzspannung an. Diese Information wird für den Betrieb induktiver Lasten und die entsprechende zeitliche Positionierung des Zündimpulses benötigt.

Der Lastzweig führt von der Sicherung im Steckereinsatz über ST 2 zur Schaltungsmasse, von dort über den Shuntwiderstand R 10, den Triac D 3, die Drossel L 1 bis hin zum Ausgang ST 3. Die Zündung des Triacs erfolgt durch einen Zündstrom vom Gate zur Anode A 1, der von Pin 4 über R 11 in das Gate eingespeist wird. Zur Entstörung der Schaltung dienen der X2-Kondensator C 7 und die Drossel L 1.

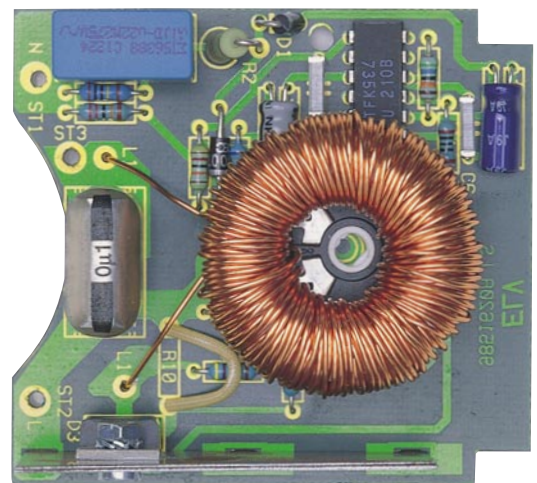
Der Drehzahl-Sollwert wird mit dem Poti R 6 als Spannung zwischen -1,6 V und -5,6 V eingestellt und dem IC wie bereits erläutert über R 8 zugeführt.

Die zur Regelung notwendige Laststrommessung erfolgt in Verbindung mit dem Shuntwiderstand R 10. Die an ihm abfallende, stromproportionale Spannung gelangt über R 9 an Pin 11 und wird dort durch die Laststromauswertung verarbeitet.

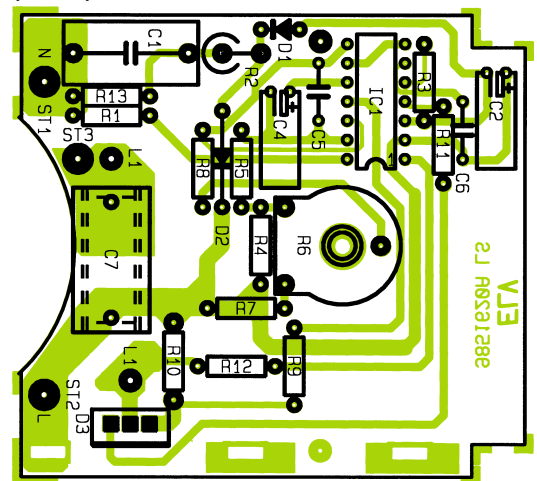
Nachbau

Der Drehzahlregler besteht aus-

schließlich aus bedrahteten Bauelementen, wodurch sich der Nachbau recht einfach gestaltet. Bevor wir mit dem Nachbau



Ansicht der fertig bestückten Leiterplatte (oben) mit zugehörigem Bestückungsplan (unten)



Stückliste: Lastunabhängiger Drehzahlregler für Elektrowerkzeuge

Widerstände:

3cm Widerstandsdraht,	
1,95Ω/m, 50mΩ	R10
100Ω	R11
330Ω/1W/Metalloxyd	R2
2,2kΩ	R9
6,8kΩ	R5
12kΩ	R4
100kΩ	R7
120kΩ	R8
220kΩ/Kohleschicht	R1
470kΩ/Kohleschicht	R12
560kΩ	R3
1MΩ	R13
PT15, liegend, 250kΩ	R6

Kondensatoren:

3,3nF	C6
100nF/X2/250V~	C7
220nF	C5
220nF/MKT/X2/275V~	C1
10µF/25V	C2, C4

Halbleiter:

U210B	IC1
1N4007	D1, D2
BTA12-700C	D3

Sonstiges:

Ringkernspule, 2,2 mH	L1
1 Sicherung, 2,5 A, träge	
1 Zylinderkopfschraube,	
M3 x 6 mm	
1 Mutter, M3	
1 Fächerscheibe, M3	
1 Isolierplatte, gebohrt	
1 Kühlblech, gebohrt	
1 Design-Stecker-Steckdosengehäuse,	
OM53C, bedruckt	
1 Einstellzylinder für PT15	
3 cm Gewebeschauch	
16 cm flexible Leitung, ST1 x 1,5 mm,	
schwarz	
7 cm flexible Leitung, ST1 x 1,5 mm,	
blau	

beginnen, möchten wir auf die Gefahr durch die im Gerät frei geführte Netzspannung hinweisen.

Achtung! Aufgrund der im Gerät frei geführten lebensgefährlichen Netzspannung dürfen Aufbau und Inbetriebnahme ausschließlich von Fachkräften vorgenommen werden, die aufgrund ihrer Ausbildung dazu befugt sind. Die einschlägigen Sicherheits- und VDE-Bestimmungen sind unbedingt zu beachten.

Nach diesen wichtigen Hinweisen ist nun die 67 x 61 mm messende einseitige Platine anhand von Bestückungsplan, Platinenfoto und Stückliste zunächst mit Widerständen, Kondensatoren, Dioden und dem Poti zu bestücken. Bei den Elkos und den Dioden ist auf richtige Polung zu achten, alle Elkos sind liegend zu montieren.

Nach Einsetzen der Bauelemente werden die Anschlußbeine auf der Lötseite leicht auseinandergebogen. Es folgt das Verlöten und Kürzen der überstehenden Anschlußdrähte mit einem Seitenschneider, ohne dabei die Lötstellen zu beschädigen. Bei der Montage des ICs ist auf die Übereinstimmung der Markierungen im Bestückungsdruck und am Bauteil zu achten.

Der Shuntwiderstand R 10 besteht aus 30mm Widerstandsdraht, der vor der Montage mit Isolierschlauch zu überziehen ist. Die Enden sind vor dem Verlöten blank zu kratzen. Nach dem Verlöten wird der Shunt in Richtung Poti nach unten gebogen.

Im nächsten Schritt folgt die Montage des Triacs. Dieser wird zunächst mit etwas Wärmeleitpaste bestrichen und dann am Kühlblech wie auf dem Foto erkennbar verschraubt. Anschließend sind die Fahnen des Kühlbleches und die Triac-Anschlußbeine in die Fräsungen bzw. Bohrungen der Platine bis zum Anschlagpunkt einzuführen. Mit einer Zange werden die Kühlblechfahnen leicht gedreht, bis das Kühlblech einen festen Sitz erreicht hat. Jetzt erfolgt das Verlöten des Triacs.

Für die Montage der Drossel L 1 sind zunächst die Anschlußdrähte um je eine Windung abzuwickeln, damit sie eine Mindestlänge von 30 mm aufweisen. Mit einem Messer muß die Isolation auf den letzten 5 mm entfernt werden. Jetzt sind die Anschlußdrähte in die Bohrungen einzuführen und leicht umzubiegen. Im Anschluß wird die Isolierplatte mit der größeren Aussparung nach rechts obenweisend unter die Drossel geschoben und der Drehknopf durch das Loch in der Isolierplatte in das Poti gesteckt. Der Shuntwiderstand sollte sich jetzt unterhalb der Isolierplatte befinden. Bevor die Anschlußbeine verlötet werden, ist die Drossel so zu positionieren, daß sich der Drehknopf in der Mitte des Innenlochs befindet. Nachdem die vorher beschriebenen Schritte ausgeführt sind,

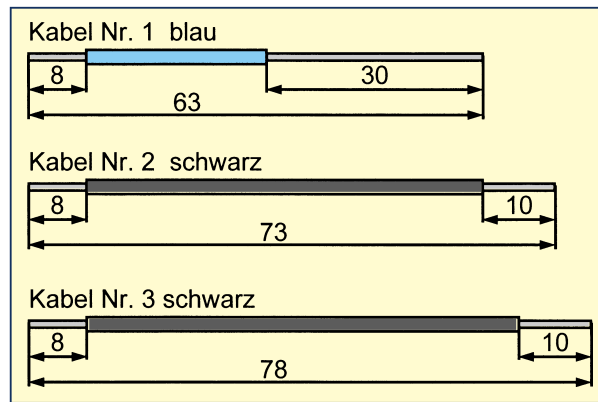


Bild 5: Anzufertigende Kabelabschnitte für die Verkabelung der Steckereinheit

ist die korrekte Bestückung zu überprüfen, eventuell vorhandene Lötzinnbrücken sind zu entfernen.

Bevor die Verkabelung mit der Steckereinheit erfolgt, sind die Buchsenkontakte und der Sicherungskontakt in die seitlichen Schlitze des Steckers zu schieben und die in Abbildung 5 gezeigten Kabelabschnitte anzufertigen.

Das auf 8 mm abisolierte Ende von Kabel Nr. 1 wird in die Bohrung ST 1 eingeführt und so umgebogen, daß es auf der vom Lötstoplack befreiten Fläche aufliegt.

und verlötet. In gleicher Weise verbindet man Kabel Nr. 3 mit dem Anschluß ST 5 der Steckereinheit.

Bevor die so fertiggestellte und komplett mit dem Stecker verkabelte Platine in das Gehäuseunterteil eingesetzt wird, müssen nochmals sowohl die korrekte Bestückung als auch das saubere Verlöten kontrolliert werden. Der Stecker ist in das Loch des Gehäuseunterteils einzusetzen und fest anzudrücken. Die Platine wird mit einer Knippingschraube 2,2 x 6,5 mm auf der rechten Platinenseite festgeschraubt.

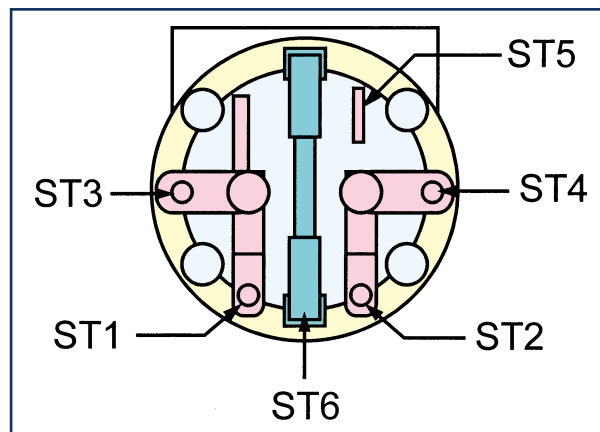


Bild 6: Anschlußbelegung der Steckereinheit

Beim Einführen ist darauf zu achten, daß jede einzelne Ader mit durch die Bohrung geschoben wird. Es erfolgt das Verlöten unter Zugabe von ausreichend Lötzinn. Kabel Nr. 2 ist mit dem auf 8 mm abisolierten Ende in die Bohrung ST 3 einzuführen, umzubiegen und in gleicher Weise zu verlöten. Kabel Nr. 3 wird mit dem auf 8 mm abisolierten Ende in die Bohrung ST 1 eingeführt, ebenfalls umgebogen und verlötet. Alle 3 Kabel sind auf der Platine mit etwas Heißkleber zu fixieren.

Abbildung 6 zeigt detailliert die Anschlußbelegung der Steckereinheit.

Das auf 30 mm abisolierte Ende von Kabel Nr. 1 wird von der Unterseite her in ST 2 eingeführt, dann von oben durch ST 4 geschoben und so umgebogen, daß kein Herausrutschen mehr möglich ist. Anschließend erfolgt das Verlöten an ST 2 und ST 4 unter Zugabe von ausreichend Lötzinn. Kabel Nr. 2 wird in die Bohrung von ST 3 der Steckereinheit eingeführt, umgebogen

Nachfolgend ist der Schutzkontaktverbinder in den Steckereinsatz einzusetzen.

In die Steckdosenabdeckung muß die Kindersicherung wie folgt eingebaut werden:

- Einsetzen des Abdeckplättchens
- Einbau der Feder
- Aufsetzen der Abdeckung

Die so komplettierte Steckdosenabdeckung ist mit der runden Seite nach untenweisend in den Steckereinsatz einzusetzen und so weit wie möglich hineinzudrücken. Es folgt das Aufsetzen der Gehäuseoberhalbschale und das Verschrauben mit den 4 Gehäuseschrauben auf der Unterseite. Damit ist der Nachbau fertiggestellt, und das Gerät kann in Betrieb genommen werden. Bei korrektem Aufbau ist der Drehzahlregler sofort betriebsbereit. Nach Verbinden mit einer Netzsteckdose und Anschließen einer Last muß sich die Drehzahl des angeschlossenen Gerätes von 0 bis 100% einstellen lassen. **ELV**