



# Lastunabhängiger Drehzahlregler LD 101

***Durch Vorschalten dieses Drehzahlreglers lässt sich die Drehzahl von Elektromotoren, wie z. B. Bohrmaschinen, Stichsagen usw. stufenlos einstellen. Durch eine Lastkompensation wird die eingestellte Drehzahl bei sich ändernder Last automatisch nachgeregelt und bleibt so stets konstant.***

## **Elektromaschinen vielseitiger nutzen**

Elektrisch angetriebene Maschinen und Geräte bevölkern inzwischen zuhauf unsere Haushalte, Hobbykeller und Werkstätten. Das beginnt in der Küche mit dem einfachen Mixer, geht über Ventilatoren bis hin zu den vielen Maschinen, die dem (Heim-) Handwerker zu Hilfe kommen, wie z. B. Bohrmaschinen, diverse Sägen,

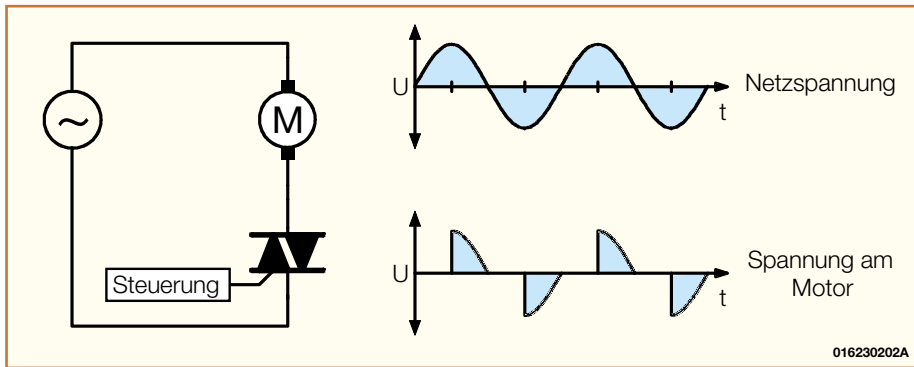
Schleifmaschinen, ja, sogar kleine Drehbänke. Jedoch fehlt bei vielen preisgünstigen oder älteren Elektrowerkzeugen die Möglichkeit, die Motor-Drehzahl einzustellen. Die Geräte arbeiten entweder ausschließlich mit der Höchstdrehzahl oder besitzen einen Umschalter zwischen zwei Drehzahlen (High/Low), wobei intern einfach nur Motorwicklungen umgeschaltet werden. Bei älteren Maschinen findet man sogar manchmal noch ein mechanisch umschaltbares Getriebe vor, das zwischen ver-

schiedenen Drehzahlen unterscheidet.

Deshalb sind diese Geräte für viele in der Praxis auftretende Aufgaben nicht einsetz-

### **Technische Daten: Drehzahlregler LD 101**

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



**Bild 1: Grundschialtung einer Phasenanschnittsteuerung**

bar, wie z. B. eine normale Bohrmaschine zum gefühlvollen Anziehen von Schrauben, ein (kleiner) Küchenmixer zum langsamen Kneten von schwerem Teig oder der Standventilator mit mittleren Drehzahlen.

Ein zweiter Nachteil vieler, auch mancher elektronisch geregelter Geräte, ist der starke Drehzahlabfall bei Belastung der Maschine. Ist dieser nicht nachregelbar, bleibt die Bohrmaschine eben stehen, was im Extremfall sogar zur Beschädigung des Motors führen kann.

Solche Maschinen sind aber dennoch deutlich vielseitiger einsetzbar, schaltet man nur einen kleinen Drehzahlsteller vor. Versieht man die Stellelektronik noch mit einer Regelschaltung, die für eine Nachregelung abfallender Drehzahlen sorgt, hat man wieder Freude an sauber durchgebohrten Löchern in Metallen, kann mit der Handbohrmaschine sanft und gefühlvoll Schrauben auch in weiches Holz eindrehen, die Stichsäge mit konstanter Geschwindigkeit ohne Klemmen betreiben usw. Solch einen Regler stellt der LD 101 dar. Er ist im praktischen ELV-Stecker-Steckdosengehäuse untergebracht und wird einfach zwischen Netzsteckdose und Maschine gesteckt. Er erlaubt die feinfühligste, stufenlose und weitgehend lastunabhängige Drehzahleinstellung von sehr niedrigen Drehzahlen bis hin zur Maximaldrehzahl. Der LD 101 ist äußerst universell einsetzbar - nicht nur für Elektrowerkzeuge, sondern auch für Ventilatoren oder als Dimmer für Beleuchtungen. Hier ist er sogar als Primärdimmer für Halogenlampen mit Vorschalttrafo einsetzbar!

Die maximale Belastbarkeit des Reglers liegt dauernd bei 600 VA und für bis zu 10 Minuten sogar bei 1000 VA!

Einzigste Bedingung für den Einsatz mit Elektromaschinen ist die, dass die Maschine mit einem Kollektormotor angetrieben wird, was jedoch in den meisten Fällen der Fall ist. Diese Motoren kommen aufgrund der einfachen Herstellungstechnologie, kompakter Maße und des für relativ kleine Motoren hohen Drehmoments fast ausschließlich zum Einsatz.

Weitgehend lastunabhängig heißt hier

übrigens, dass natürlich auch die ausgeklügeltste Drehzahlregelung nicht „zaubern“ kann - beim maximalen Drehmoment des Antriebs ist natürlich nach wie vor Schluss!

Eine interne Sicherung schützt Maschine, Bediener und die Steuerschaltung.

## Die Drehzahleinstellung

Eine einfache und preiswerte Möglichkeit der Drehzahleinstellung eines Kollektormotors ist die Variation des Stromflusswinkels, z. B. als Phasenanschnitt per Triac. Dabei gilt: Je größer der Stromflusswinkel, desto höher die Motordrehzahl. In Abbildung 1 ist die vereinfachte Grundschialtung einer Phasenanschnittsteuerung dargestellt.

Nach diesem Prinzip wird auch die Motordrehzahl beim LD 101 eingestellt.

Ein, wenn auch beherrschbarer Nachteil dieser Schaltungstechnik ist das auftretende Störspektrum. 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 entstören, um

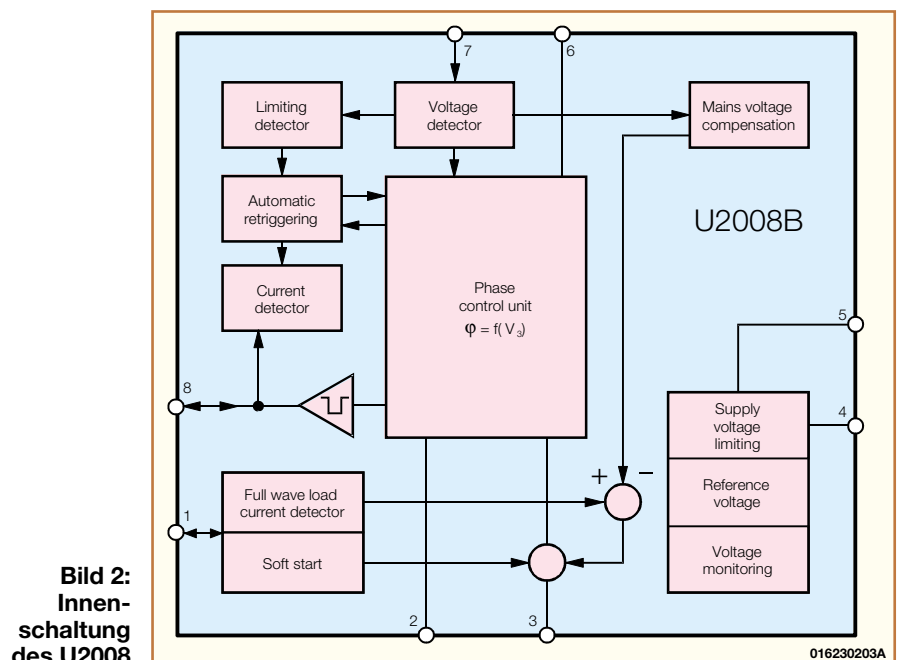
die Grenzwerte der EMV-Normen einzuhalten.

## Drehzahlregelung

Einstellen und Regeln sind zwei verschiedene, wenn auch zusammenhängende Dinge, die leider in der Umgangssprache immer wieder verwechselt bzw. vermischt werden.

Beim Einstellen einer Drehzahl gibt eine feste Steuergröße, im einfachsten Falle eine Spannung, hier der diskutierte Stromflusswinkel, die Drehzahl vor. Variiert die Belastung des Motors, typisch etwa beim Bohren eines Loches oder Voranschreiten eines Sägeschnittes, folgt die Drehzahl dieser Variation. Ergebnisse sind schlecht ausgeführte Arbeiten, erhöhter Werkzeugverschleiß oder sogar der Abbruch der Aufgabe mit dieser Maschine. Denn bei zahlreichen Anwendungen, einige haben wir beispielhaft bereits am Anfang aufgeführt, ist es notwendig, dass die Drehzahl des Maschinenantriebs bis zum Schluss der Arbeit konstant bleibt, unabhängig von der Belastung.

Unsere hier vorgestellte Schaltung stützt sich 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 elektrische 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 auf-



**Bild 2: Innenschaltung des U2008**

wändigeren und teureren Regelung, etwa mit Tachogenerator, erwarten darf. Eine gewisse Drehzahlveränderung muss, abhängig von der eingesetzten Maschine, dennoch in Kauf genommen werden. Im Vergleich zu einer einfachen Drehzahlleistung ohne Nachführung des Phasenwinkels ergibt sich jedoch eine erhebliche Verbesserung in Richtung konstanter Motordrehzahl. So lassen sich auch Maschinen, die nur über eine Drehzahlleistung verfügen, jetzt nach Ausschaltung der internen Drehzahlleistung weitgehend lastunabhängig betreiben und so erheblich aufwerten.

### 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 einem Drehknopf zwischen 0 und 100 % einstellen. Nach dem Einschalten der Last wird die vorgegebene Drehzahl dann zügig erreicht und weitgehend konstant gehalten. Selbstverständlich kann man auch während des Betriebes die Drehzahl verändern!

### U2008 - komplexe Steuerzentrale

Zentrales Bauelement der Drehzahlregelung ist der Baustein U2008, der alle

wesentlichen Funktionen für die Triac-Ansteuerung beinhaltet und ein einfaches, nur wenige Bauelemente umfassendes Schaltungsdesign ermöglicht. Die Innenschaltung des U2008 ist in Abbildung 2 dargestellt und soll nachfolgend kurz beschrieben werden.

Der Phasenwinkel des Triac-Zündimpulses wird durch den Vergleich einer IC-intern generierten und durch die Spannungsauswertung (Pin 7) netzsynchronisierten Rampenspannung mit der an Pin 3 anliegenden Steuerspannung bestimmt. Die Steigung der Rampenspannung legen ein externer Kondensator von Pin 2 nach Masse (C 1 im Schaltbild, Abbildung 3) und der intern erzeugte Ladestrom fest. Die Größe des Ladestroms selbst bestimmt ein von Pin 6 gegen die Versorgungsspannung geschalteter Widerstand (R 5 im Schaltbild). Mit diesem Widerstand wird ebenfalls der maximale Phasenwinkel  $\alpha_{max}$  festgelegt.

Erreicht die Rampenspannung an Pin 2 den Wert der eingestellten Steuerspannung an Pin 3, wird über die Ausgangsstufe (Pin 8) ein Zündimpuls ausgegeben.

Der Anschluss Pin 8 hat eine Doppelfunktion: Zum einen wird hier der Zündimpuls ausgegeben und zum anderen die Spannung am Gate des Triacs gemessen. Nach der Triggerung des Triacs erfolgt die Spannungsmessung am Gate, die Aufschluss darüber gibt, ob der Triac auch wirklich durchgeschaltet hat. Die Stromauswertung

(Current Detector) stellt sicher, dass beim Betrieb induktiver Last kein neuer Zündimpuls ausgegeben wird, wenn der Strom aus der vorangegangenen Halbwelle noch fließt. Der Zündimpuls wird dann entsprechend verschoben. Dies verhindert den so genannten „Halbwellenbetrieb“, der zur Zerstörung induktiver Lasten führen kann.

Eine automatische Retriggierung (Automatic Retriggierung) verhindert Halbwellen ohne Stromfluss. Dies könnte z. B. bei nicht exakt zentriertem Kollektor (Bürstenversatz) oder bei erfolgloser Zündung entstehen. Es werden in bestimmten Abständen erneute Triggerimpulse ausgegeben, bis der Triac zündet.

Die für die Regelung erforderliche Messung des Laststromes erfolgt über den Shuntwiderstand R 11 (siehe Schaltbild). Der Spannungsabfall über R 11 erzeugt einen Eingangsstrom an Pin 1. Die Laststromauswertung bewertet diesen Strom mit einem Faktor und wird dann dem Regelverstärker (Phase control unit) zusammen mit der an Pin 3 abgegriffenen Sollgröße zugeführt.

Da der Motor unmittelbar nach dem Einschalten die volle Drehzahl aufweisen soll, kommt die mögliche Softstartfunktion bei dieser Schaltung nicht zum Einsatz.

Die Versorgungsspannungsbegrenzung stabilisiert die Versorgungsspannung (Pin 5) auf maximal -15,5 V. Die Spannungsüberwachung (Voltage monitoring) über-

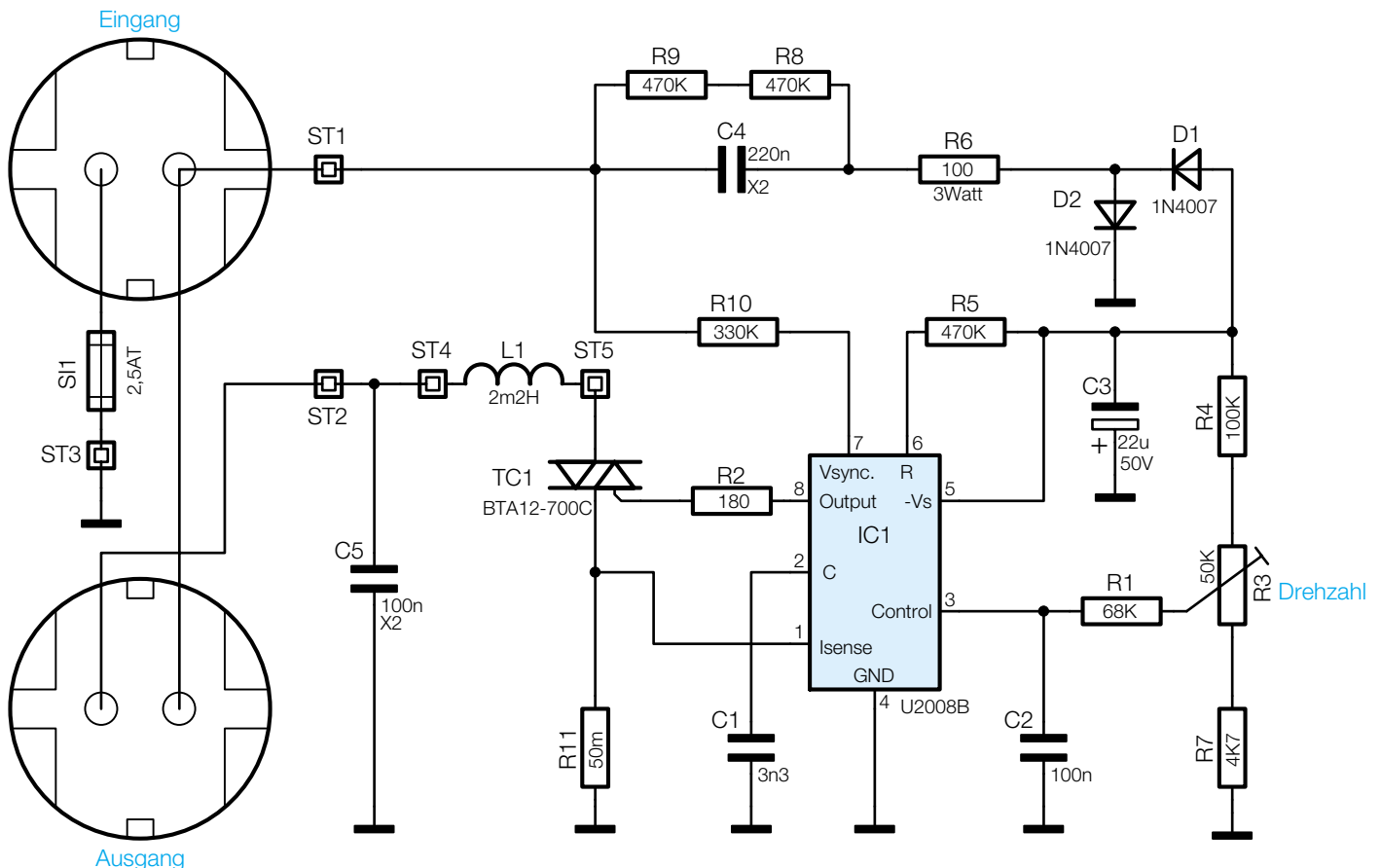
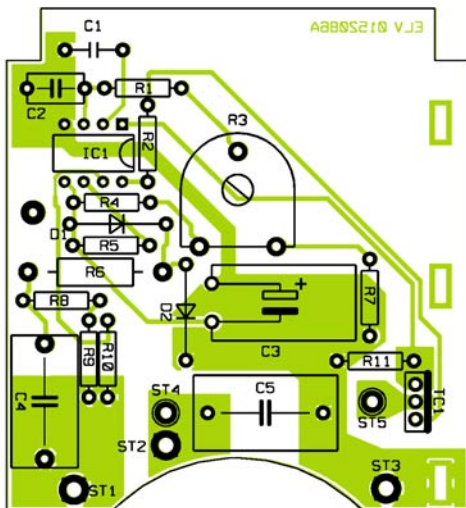
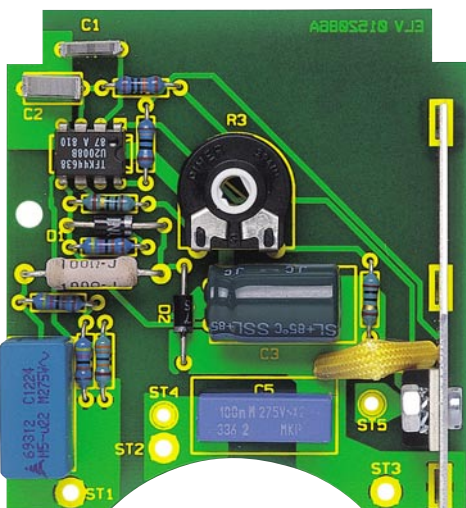


Bild 3: Schaltung des LD 101

016230201A





**Ansicht der fertig bestückten Platine des LD 101 mit zugehörigem Bestückungsplan**

wacht 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 U2008 lässt sich das nachfolgend detailliert betrachtete Schaltbild schnell verstehen.

## Schaltung

In Abbildung 3 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 die Sicherung an ST 3 an.

Um die Verlustleistung möglichst gering zu halten, wird die Schaltung mit Hilfe eines Kondensatornetzteils versorgt, das aus dem X2-Kondensator C 4, den Dioden D 1 und D 2, dem Elko C 3 sowie der IC-internen Spannungsbegrenzung besteht. R 6 dient beim Verbinden mit dem Netz als Strombegrenzungswiderstand. Damit am Netzstecker bei herausgezogenem Gerät

keine Restspannung ansteht, sind die beiden Entladewiderstände R 8 und R 9 zum schnellen Entladen von C 4 eingefügt.

Für die Netzsynchronisation der bereits erwähnten Rampenspannung wird die Netzspannung über den Widerstand R 10 abgegriffen und dem IC an Pin 7 zugeführt.

Der Lastzweig führt von der Sicherung im Steckereinsatz über ST 2 zur Schaltungsmasse, von dort über den Shuntwiderstand R 11, den Triac TC 1, die Drossel L 1 bis hin zum Ausgang ST 2. Die Zündung des Triacs erfolgt durch einen Zündstrom vom Gate zur Anode A1, der von Pin 8 über R 2 in das Gate eingespeist wird. Zur Entstörung der Schaltung dienen der X2-Kondensator C 5 und die Drossel L 1.

Der Drehzahl-Sollwert wird mit dem Poti R 3 als Spannung zwischen -0,6 V und -7,6 V eingestellt und dem IC, wie bereits erläutert, über R 1 zugeführt.

Die zur Regelung notwendige Laststrommessung übernimmt der Shuntwiderstand R 11. Die an ihm abfallende, stromproportionale Spannung gelangt an Pin 1 und wird dort durch die Laststromauswertung bewertet.

## Nachbau

Der Aufbau des Drehzahlreglers erfolgt ausschließlich mit bedrahteten Bauelementen, wodurch sich der Nachbau recht einfach gestaltet.

**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.

Die 67 x 61 mm messende einseitige Platine ist 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 (Dioden: Markierungsring = Kathode, Elko am Minuspol gekennzeichnet), weiterhin ist der Elko liegend zu montieren.

Nach Einsetzen der Bauelemente werden die Anschlussbeine auf der Lötseite leicht auseinander gebogen. 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

## Stückliste: Lastunabhängiger Drehzahlregler LD 101

### Widerstände:

3 cm Manganindraht (1,95Ω/m),	
50mΩ .....	R11
100Ω/3W .....	R6
180Ω .....	R2
4,7kΩ .....	R7
68kΩ .....	R1
100kΩ .....	R4
330kΩ .....	R10
470kΩ .....	R5, R8, R9
PT15, liegend, 50kΩ .....	R3

### Kondensatoren:

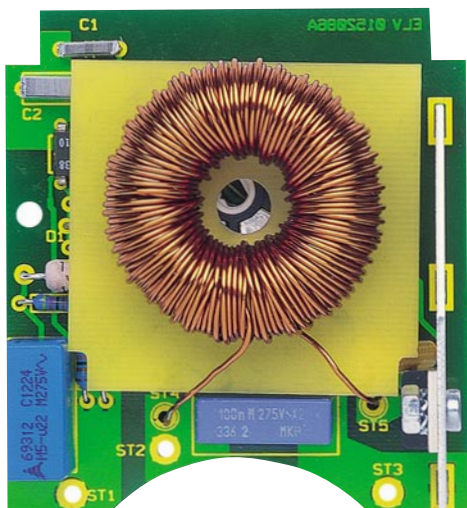
3,3nF/400V .....	C1
100nF/250V .....	C2
100nF/X2/275V~ .....	C5
220nF/X2/275V~ .....	C4
22µF/50V .....	C3

### Halbleiter:

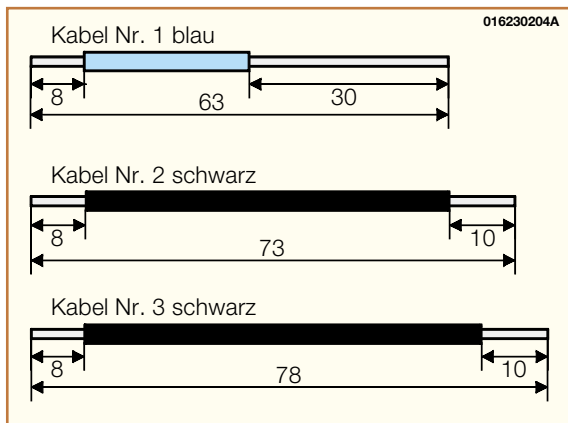
U2008B .....	IC1
BTA12-700C .....	TC1
1N4007 .....	D1, D2

### Sonstiges:

- Einfach-Ringkerndrossel, 2,2 mH, 2,3 A .....
- 1 Sicherung, 2,5 A, träge .....
- 1 Zylinderkopfschraube, M3 x 8 mm
- 1 Mutter, M3
- 1 Fächerscheibe, M3
- 1 Kühlblech
- 1 Isolierplatte, gebohrt
- 1 Einsteckdose
- 1 Typenschild-Aufkleber
- 1 Stecker-Steckdosengehäuse, OM53C, komplett, bedruckt
- 3 cm Gewebe-Isolierschlauch
- 16 cm flexible Leitung, 1,5 mm<sup>2</sup>, schwarz
- 7 cm flexible Leitung, 1,5 mm<sup>2</sup>, blau



**Ansicht der Platine mit montierter Spule**



**Bild 4: Anfertigung der Kabelabschnitte**

der Markierungen im Bestückungsdruck und am Bauteil zu achten.

Der Shuntwiderstand R 11 besteht aus 30 mm 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 leicht gegen die Platine nach unten gebogen.

Im nächsten Schritt erfolgt die Montage des Triacs. Dieser wird am Kühlblech, wie auf dem Foto erkennbar, mittels einer M3x6-mm-Schraube, Zahnscheibe und Mutter 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 auf der Lötseite leicht gedreht, bis das Kühlblech fest und senkrecht auf der Platine sitzt. Jetzt erst erfolgt das Verlöten des Triacs.

Für die Montage der bereits bewickelten 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 (Lack ringsum abkratzen). Jetzt sind die Anschlussdrähte in die Bohrungen einzuführen und leicht umzubiegen. Im Anschluss wird die Isolierplatte mit den Aussparungen 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 (siehe Bestückungsfoto). 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, ist die Platine auf eventuell vorhandene Lötbrücken zu überprüfen.

Bevor die Verkabelung mit der Steckereinheit erfolgt, sind die Buchsenkontakte und der Sicherungskontakt in die seitlichen Schlitz des Steckers zu schieben und die in Abbildung 4 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 Lötstopplack befreiten Fläche aufliegt. Beim Einführen ist darauf zu achten, dass jede einzelne Ader mit durch die Bohrung geschoben wird, noch besser ist ein vorheriges, sparsames Verzinnen. Es erfolgt das Verlöten unter Zugabe von ausreichend Lötzinn. Kabel Nr. 2 ist mit dem auf 8 mm abisolierten Ende in die Bohrung ST 2 einzuführen und in gleicher Weise zu verlöten. Kabel Nr. 3 wird mit dem auf 8 mm abisolierten Ende in die Bohrung ST 3 eingeführt, ebenfalls umgebogen und verlötet. Alle 3 Kabel sind auf der Platine mit etwas Heißkleber zu fixieren.

Abbildung 5 zeigt detailliert die Anschlussbelegung der Steckereinheit.

Das auf 30 mm abisolierte Ende von Kabel Nr. 1 ist jetzt mit den beiden Kontakten ST 1 des Steckereinsatzes zu verbinden. Hierbei wird das Kabel zuerst durch die Lötöse des ersten Kontaktes ST 1 (Abbildung 5, unten rechts) und anschließend

durch den zweiten Kontakt ST 1 geführt, umgebogen und dann unter Zugabe von reichlich Lötzinn mit den Kontakten verlötet.

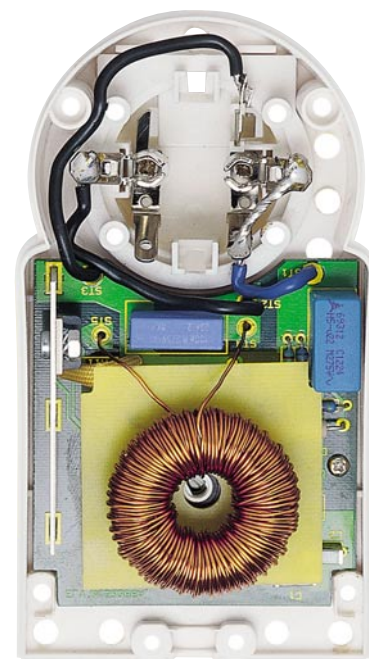
Nun ist Kabel Nr. 2 in die Bohrung von ST 2 der Steckereinheit einzuführen, umzubiegen und zu verlöten. In gleicher Weise verbindet man Kabel Nr. 3 mit dem Anschluss ST 3 der Steckereinheit.

Bevor man die so fertiggestellte und komplett mit der Steckereinheit verkabelte Platine in das Gehäuseunterteil einsetzt, sind nochmals sowohl die korrekte Bestückung als auch das saubere Verlöten zu kontrollieren. Die Steckereinheit 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. Nachfolgend ist der Schutzkontaktverbinder in den Steckereinsatz einzusetzen.

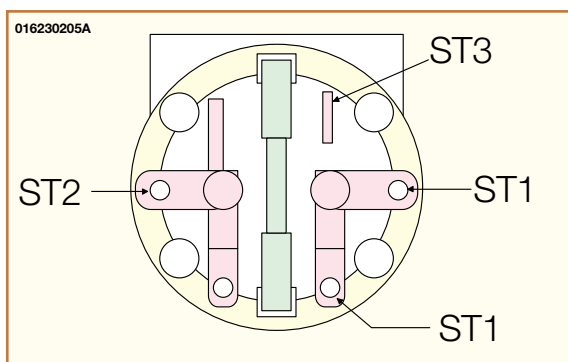
Jetzt baut man die Kindersicherung in die Steckdosenabdeckung wie folgt ein:

- 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. Nach Einsetzen der Einsteckachse erfolgt 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 deren Drehzahl stufenlos von 0 bis 100 % einstellen lassen. **ELV**



**Ansicht der in das Gehäuse eingearbeiteten Platine**



**Bild 5: Anschlussbelegung der Steckereinheit**