



Lastunabhängige Drehzahl-Regelung für DC-Motoren

Elektronischer Drehzahlsteller mit lastunabhängiger Drehzahlstabilisierung und verlustarmer Regelung. Damit werden Drehmoment- und Drehzahlverluste bei höheren Lasten vermieden und ein gleichmäßiger Motorlauf auch bei niedrigen Drehzahlen erreicht. Der Einsatz kann für Gleichstrommotoren bis 25 V Betriebsspannung und eine Stromaufnahme von bis zu 10 A erfolgen, wie sie beispielsweise in kleinen Elektrowerkzeugen, Modellbahnen und Modellfahrzeugen installiert sind.

Stabil bleiben

Wohl jeder kennt das Problem, das auftritt, wenn ein Elektromotor während seiner Arbeit höher belastet wird - die Drehzahl fällt bis hin zum Stillstand des Motors ab. Das kann man bei allen Kollektor-Gleichstrom-Motoren, die wir hier auf-

grund ihrer großen Verbreitung betrachten, beobachten, man denke nur an entsprechende Kleinbohrmaschinen, Mini-Kreissägen, Modellbau-Fahrzeugantriebe usw.

Solange der Motor mit hoher Drehzahl ohne nennenswerten Widerstand läuft, gibt es keine Probleme. Sobald der Motor höher belastet wird, steigt die Stromaufnahme stark an, bis neben motorphysikali-

Technische Daten:

Versorgungsspannung: 10 bis 15 V*
Stromaufnahme (ohne Last): 20 mA
max. Laststrom: 10 A
Sicherung: 10 A, träge
Abm. (Gehäuse): 120 x 60 x 30 mm

* siehe Text

schon Gründen die Grenzen der Spannungsquelle erreicht sind und der Motor schließlich stehenbleibt.

So ist auch eine Drehzahlregelung dieser Motoren, die ja über den gesamten nutzbaren Drehzahlbereich reichen sollte, bei niedrigen Drehzahlen und schon gar bei Belastung, sehr schwierig.

Abhilfe kann hier eine Motorregelung schaffen, die zwei Forderungen erfüllt: Stufenlose Drehzahleinstellung über den gesamten, für den Motor verfügbaren Drehzahlbereich und Ausregelung von Drehmomentverlusten, ebenfalls über den gesamten Drehzahlbereich, insbesondere bei niedrigen Drehzahlen.

Der hier vorgestellte Drehzahlregler erfüllt diese Forderungen. Er ermöglicht es, DC-Motoren mit einer Leistung von bis zu 250 W (siehe technische Daten) stufenlos in der Drehzahl einzustellen und dabei deren Drehmoment auch bei geringen Drehzahlen aufrechtzuerhalten.

Nicht nur einstellen - regeln!

Im einfachsten Fall wird zur Drehzahleinstellung eines Elektromotors dessen Betriebsspannung mit einem elektronischen Längsregler verändert. In diesem Fall entsteht am Längstransistor der Steuereinheit eine hohe Verlustleistung, da über ihn ständig der gesamte Laststrom fließt, der bei starker Belastung und Anlauf des Motors stark ansteigt.

Günstiger ist da schon die Pulsweitensteuerung, die mit einer Frequenz von 100 Hz arbeitet. Bei maximaler Drehzahl ist der Impuls lang und die Pause sehr kurz. Soll der Motor langsamer laufen, wird die Pause verlängert und der Impuls verkürzt. Die Verlustleistung bleibt auf diese Weise selbst bei niedrigen Drehzahlen gering, während das Anlaufverhalten günstig beeinflusst wird.

Um im gesamten Drehzahlbereich, d. h. auch bei niedrigen Drehzahlen, dem Motor ein hohes Drehmoment zu verleihen, ist eine elektronische Regelung, d. h. ein geschlossener Regelkreis unumgänglich. Voraussetzung hierfür ist die Kenntnis der tatsächlichen Motordrehzahl, damit bei einem Absinken die Ansteuerleistung erhöht werden kann, um so wieder die gewünschte Drehzahl (Soll-Drehzahl) zu erreichen.

Die hier vorgestellte Schaltung erfüllt alle diese Anforderungen. Zur besseren Veranschaulichung der Funktion ist in Abbildung 1 das Blockschaltbild dargestellt.

Ca. 125mal in der Sekunde wird der angeschlossene Motor für eine über einen PWM-Regler variabel einstellbare Zeitdauer eingeschaltet. Als Leistungsschalter kommt hier ein MOS-FET-Transistor (T 4)

zum Einsatz, der einen Einschaltwiderstand $R_{bs(on)}$ von nur 20 m Ω aufweist, wodurch die Verlustleistung und die damit verbundene Wärmeentwicklung sehr niedrig sind.

Nach jedem Ansteuerimpuls wird eine gewisse Zeitspanne abgewartet, damit der Induktionsstrom der Motorwicklung abfließen kann. Danach arbeitet der Motor als Generator und gibt eine Spannung ab, die seiner momentanen Drehzahl direkt proportional ist. Diese Spannung gelangt über einen elektronischen Schalter für einen kurzen Moment auf einen Speicherkondensator, dessen Spannung ein Maß für die Ist-Drehzahl des Motors darstellt.

Ein elektronischer Regler (IC 2 C) vergleicht die über das Poti vorgegebene, der Soll-Drehzahl entsprechende Spannung mit der zurückgeführten, der Ist-Drehzahl entsprechenden Spannung. Die aus diesen beiden Informationen gewonnene Regelspannung dient der Einstellung der Breite der Ansteuerimpulse. Hierdurch kann die Drehzahl des angeschlossenen Motors weitgehend unabhängig von der Belastung konstant gehalten werden.

Schaltung

Das Schaltbild für die Drehzahl-Regelung ist in Abbildung 2 dargestellt. IC 2 C stellt mit seiner Zusatzbeschaltung einen Sägezahngenerator dar, dessen Spannung über C 4 abgegriffen und auf die beiden Steuereingänge (Pin 2 und Pin 6) der OPs IC 2 A und IC 2 B gegeben wird.

Durch Vergleichen mit einer an Pin 5 liegenden Referenzspannung gewinnt IC 2 B aus dieser Information die Ansteuerimpulse für den elektronischen Schalter IC 5. Über das Differenzierglied C 7/R 18 wird daraus bei jeder negativen Flanke ein Start-Impuls zum Setzen des RS-Flip-Flops IC 3 A/IC 3 D gewonnen. Dies ist jeweils der Einschaltzeitpunkt eines jeden Ansteuerimpulses für den Elektromotor.

Das Impulsende wird mit IC 2 A festgelegt, und zwar durch Vergleichen der Regelspannung an Pin 3 mit der Sägezahnspannung an Pin 2.

An Pin 3 von IC 3 A steht ein digitales Steuersignal zur Verfügung, dessen Pulsdauer sich in Abhängigkeit von der Regelspannung (Pin 3, IC 2 A) ändert. Nach der Pufferung durch IC 3 B und IC 3 C gelangt dieses Signal auf die Treiberschaltung T 1

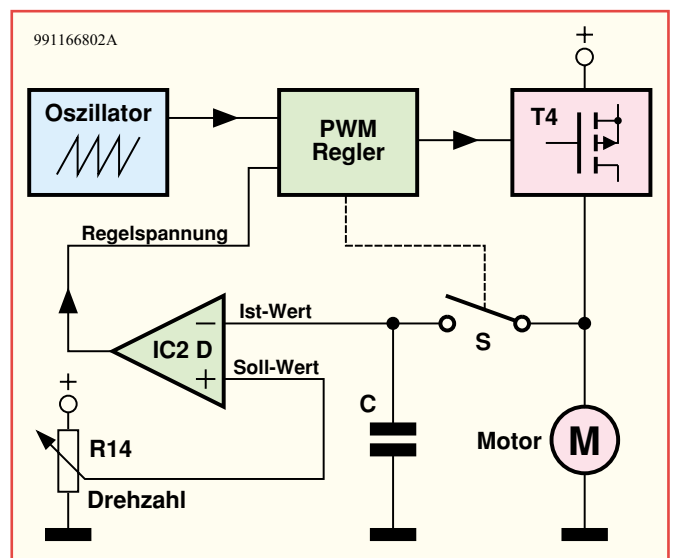


Bild 1: Blockschaltbild des Drehzahl-Reglers

bis T 3, die letztlich den MOS-FET-Transistor T 4 ansteuert.

Die Gewinnung der Regelspannung erfolgt durch Vergleichen von 2 Spannungen mit Hilfe eines PI-Reglers (IC 2 D), dessen maximale Verstärkung aus Stabilitätsgründen mit R 13 begrenzt ist.

Die erste mit dem Einstellpoti R 14 vorgegebene Spannung steht an Pin 12 von IC 2 D an und entspricht der Soll-Drehzahl (gewünschte Drehzahl).

Die zweite Spannung wird im Generatorbetrieb über R 24 bis R 27 vom Motor abgegriffen und auf den elektronischen Schalter (IC 5) gegeben. Jeweils während der Impulspausen (Steuerung durch Ausgang Pin 7, IC 2 B) wird die Generatorspannung abgefragt und gelangt auf den Speicherkondensator C 12. IC 4 dient hierbei lediglich zur hochohmigen Impedanzanpassung und Pufferung.

Über R 19 gelangt dann die Generatorspannung, die der Ist-Drehzahl entspricht, auf den zweiten Eingang Pin 13 von IC 2 D.

Der Ausgang Pin 14 von IC 2 D stellt sich automatisch so ein, daß die tatsächliche Drehzahl des angeschlossenen Elektromotors weitgehend identisch ist mit der Soll-Drehzahl, die über R 14 als Spannungswert vorgegeben wurde.

Wird bei einer bestimmten Drehzahl die Belastung des Motors erhöht, sinkt die Motor-Drehzahl ab und damit die Generatorspannung des Motors. Dies bedeutet auch ein Absinken der Spannung an Pin 6 von IC 4, wodurch die Ausgangsspannung an Pin 14 (IC 2 D) ansteigt. Dies wiederum hat eine Verlängerung der Ansteuerimpulse zur Folge, so daß die dem Motor zur Verfügung gestellte Ansteuerleistung steigt. Die Drehzahl erhöht sich wieder nahezu auf den ursprünglichen Wert.

Je größer die Verstärkung des mit IC 2 D aufgebauten Reglers angesetzt wird,

desto „steifer“ wird die Regelkennlinie des Elektromotors.

In der vorliegenden Dimensionierung wurde ein Optimum zwischen Stabilität und Nachregelverhalten angestrebt. Durch Vergrößern von R 13 kann das ohnehin schon gute Nachregelverhalten noch weiter verbessert werden, wobei nach oben hin Stabilitätsprobleme eine Begrenzung darstellen (die Drehzahl beginnt zu „pumpen“, d. h., sie schwankt in kurzen Abständen). Die Stabilität läßt sich hingegen erhöhen, wenn R 13 verkleinert wird. In der Praxis sollte für R 13 ein Wert von 10 kΩ nicht unter- und ein Wert von 220 kΩ nicht überschritten werden.

Die Dioden D 3 bis D 5 schützen die Schaltung vor induktiven Spannungsspitzen. Mit IC 1 wird die Spannung zur Versorgung der gesamten Elektronik stabilisiert.

In der hier dargestellten Dimensionierung ist die Schaltung für den Betrieb mit einer Spannung von 10 bis 15 V ausgelegt. Ohne weiteres kann die Versorgungsspannung bis auf maximal 25 V erhöht werden, wobei lediglich der Widerstand R 27 entsprechend der Tabelle 1 zu ändern ist.

Anschließend sei noch angemerkt, daß aufgrund der Impulsbreitensteuerung auch bei niedrigen Drehzahlen der Spitzenstrom verhältnismäßig hoch ist. Er liegt in der Größenordnung des Maximalstromes, obwohl der arithmetische Mittelwert viel geringer ist. Dies kann dazu führen, daß bei stabilisierten Netzgeräten mit elektronischer Sicherung ein vorzeitiges Ansprechen erfolgt. Abhilfe schafft im allgemeinen ein möglichst großer Elko (100000 µF/25 V) parallel zur Spannungsversorgung, der genügend Leistung puffern kann, um die Spitzenströme quasi vom Netzteil selbst „fernzuhalten“.

Nachbau

Durch die Kombination von SMD- mit bedrahteten Bauteilen konnten die Abmessungen der Platine sehr gering gehalten werden, wodurch sich am Ende ein kompaktes Gerät ergibt.

Zunächst werden die SMD-Bauteile auf der Lötseite bestückt. Zum Verlöten sollte ein LötKolben mit einer möglichst schlanken Spitze zum Einsatz kommen. Außerdem empfiehlt es sich, Lötzinn mit einem Durchmesser von 0,5 mm zu verwenden. Das SMD-Bauteil wird entsprechend der Stückliste und des Bestückungsplans pla-

Tabelle 1:	
UB	R 27
10-15 V	10 kΩ
15- 20 V	18 kΩ
20 -25 V	27 kΩ

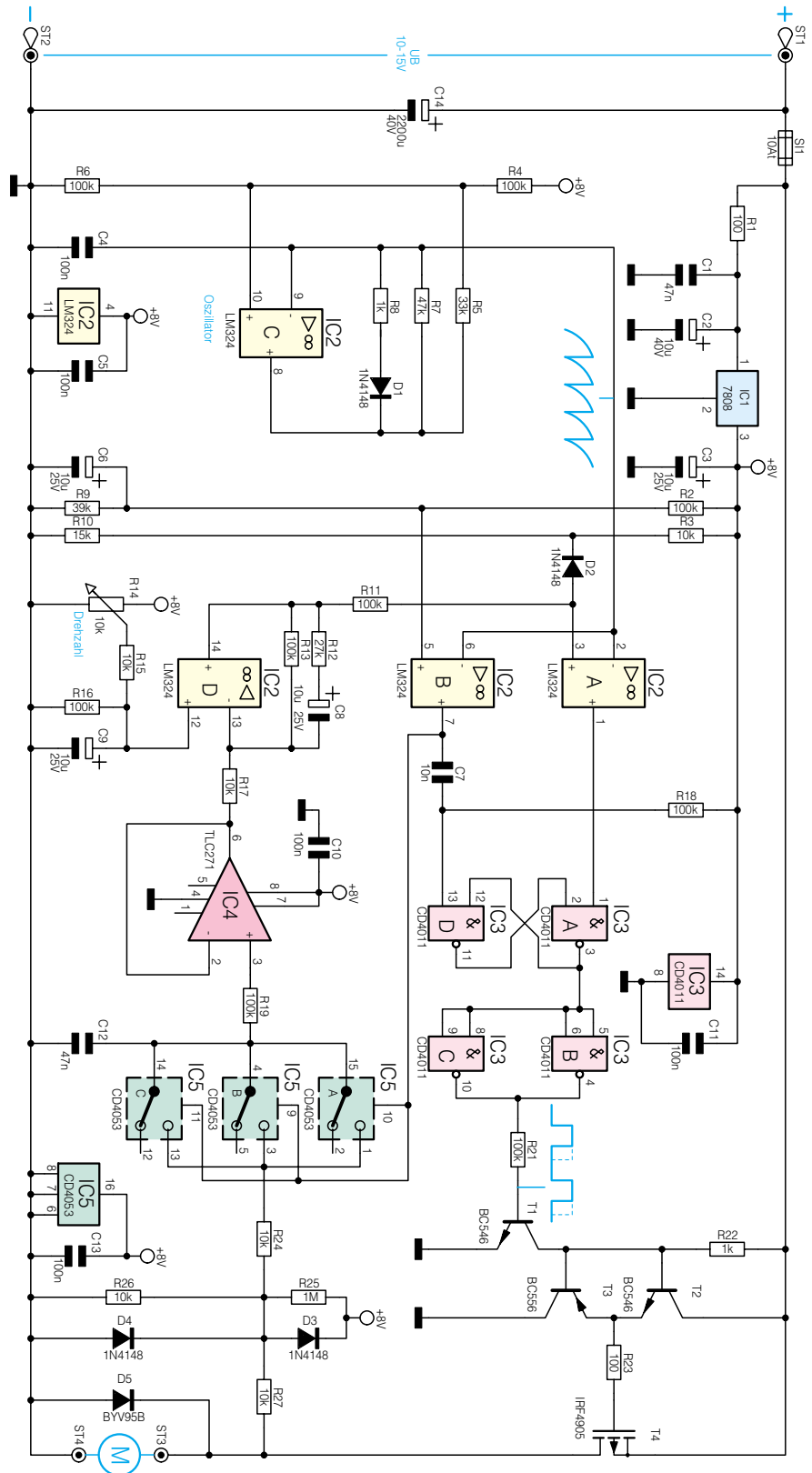


Bild 2: Schaltbild des Drehzahl-Reglers

991166801A

ziert und zunächst nur an einem Anschlußpin verlötet. Nach Kontrolle der korrekten Position sind die restlichen Pins unter Zugabe von wenig Lötzinn zu verlöten. Die richtige Einbaulage der ICs ist durch eine abgeflachte Gehäuseseite erkennbar.

Als nächstes folgt die Bestückung der bedrahteten Bauteile auf der Platinenoberseite, beginnend mit den Drahtbrücken und

den Dioden. Die Drahtbrücken sind aus 0,6 mm Silberdraht herzustellen und entsprechend dem Rastermaß abzuwinkeln.

Bei den Elkos ist unbedingt auf die richtige Polung (Einbaulage) zu achten. Zum späteren Anschluß der Telefonbuchsen werden die Platinenanschlußpunkte ST 1 bis ST 4 jeweils mit einem kurzen Stück Silberdraht (ca. 2 cm) versehen.

Der Spannungsregler (IC 1) und der MOS-FET-Transistor (T 4) werden liegend montiert, wobei T 4 zusätzlich auf einem Kühlkörper anzubringen ist (siehe Platinenfoto). Zur Befestigung dient eine M3x8mm-Schraube mit Fächerscheibe und Mutter.

Nach sorgfältiger Kontrolle der Platine auf Bestückungsfehler und eventuelle Löt-zinnbrücken kann der Einbau ins Gehäuse erfolgen. Die fertig aufgebaute Platine wird im Gehäuseoberteil mit vier Knippingschrauben befestigt. Die vorhandene Boh-

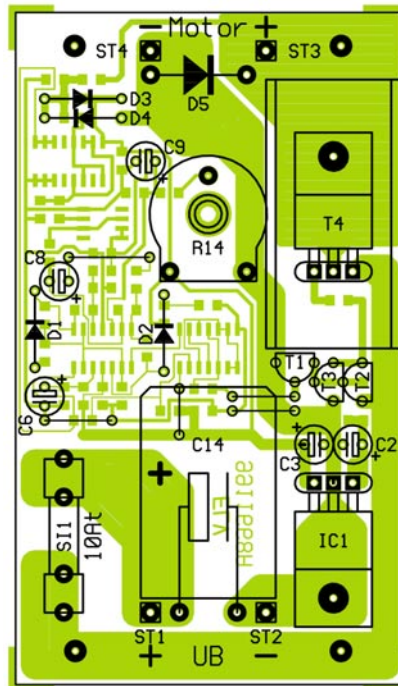
rung im Gehäuse dient zur Aufnahme der Kunststoff-Steckachse des Potis.

In die beiden Gehäuseseitenteile sind jeweils eine schwarze und eine rote Telefonbuchse einzuschrauben, wobei die roten Buchsen den „+“-Anschluß des Motors (ST 3) sowie den der Versorgungsspannung („+“, ST 1) kennzeichnen. Anschließend wird die elektrische Verbindung der Buchsen mit den Anschlußpunkten ST 1 bis ST 4 hergestellt (Anlöten des Silberdrahtes). Aufgrund der möglichen hohen Strombelastung dieser Anschluß-

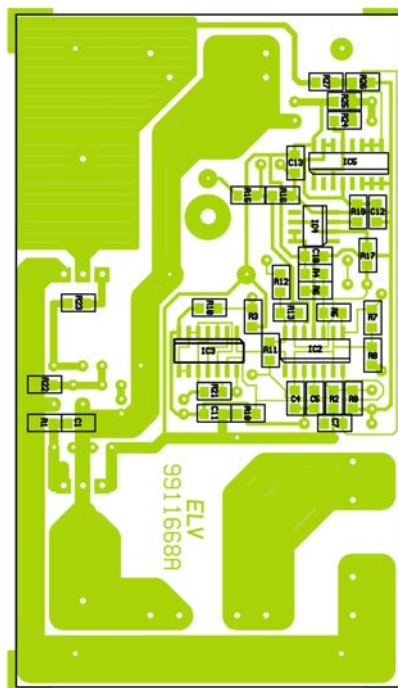
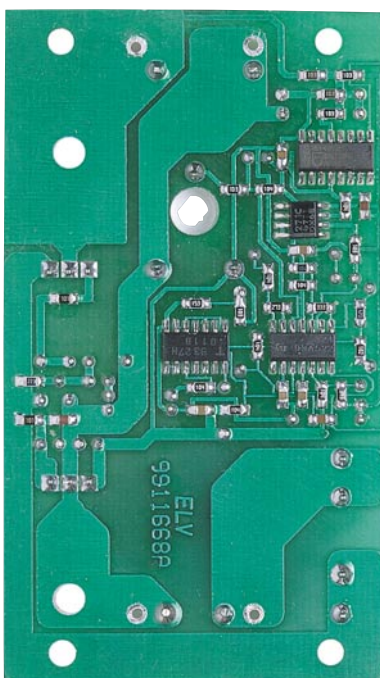
punkte ist hier mit reichlich Lötzinn zu arbeiten.

Jetzt können beide Gehäusehälften miteinander verschraubt und der Drehknopf befestigt werden.

Im Betrieb erfolgt der Einsatz des Reglers ganz einfach durch das Zwischenschalten zwischen DC-Stromversorgung und anzuschließenden Motor. **ELV**



Oben: Ansicht der fertig bestückten Platine mit zugehörigem Bestückungsplan von der Bestückungsseite
Unten: Ansicht der fertig bestückten Platine mit zugehörigem Bestückungsplan von der Lötseite



Stückliste: Drehzahl-Regelung für DC-Motoren

Widerstände:

100Ω/SMD	R1, R23
1kΩ/SMD	R8, R22
10kΩ/SMD	R3, R15, R17, R24, R26, R27
15kΩ/SMD	R10
27kΩ/SMD	R12
33kΩ/SMD	R5
39kΩ/SMD	R9
47kΩ/SMD	R7
100kΩ/SMD	R2, R4, R6, R11, R13, R16, R18, R19, R21
1MΩ/SMD	R25
PT15, liegend, 10kΩ	R14

Kondensatoren:

10nF/SMD	C7
47nF/SMD	C1, C12
100nF/SMD ...	C4, C5, C10, C11, C13
10µF/25V	C3, C6, C8, C9
10µF/40V	C2
2200µF/40V	C14

Halbleiter:

7808	IC1
LM324/SMD	IC2
CD4011/SMD	IC3
TLC271/SMD	IC4
CD4053/SMD	IC5
BC546	T1, T2
BC556	T3
IRF4905	T4
1N4148	D1-D4
BYV95B	D5

Sonstiges:

- Sicherung, 10 A, träge
- 1 Platinsicherungshalter (2 Hälften)
- 1 Kunststoff-Steckachse, 6 ø x 23 mm
- 1 Drehknopf, grau, 29 mm
- 1 Knopfkappe, grau, 29 mm
- 1 Pfeilscheibe, grau, 29 mm
- 2 Telefonbuchsen, 4 mm, rot
- 2 Telefonbuchsen, 4 mm, schwarz
- 1 U-Kühlkörper, SK13
- 2 Zylinderkopfschrauben, M3 x 8 mm
- 2 Muttern, M3
- 2 Fächerscheiben, M3
- 1 Kunststoff-Element-Gehäuse,
bedruckt und bearbeitet, komplett
- 22 cm Schaltdraht, blank, versilbert