

Steuerung für Gleichstrommotoren

Immer den richtigen Dreh raus!

Von **Martin Weiß**

Mit dieser Steuerschaltung können Drehzahl und Drehrichtung eines 12-V-Gleichstrommotors eingestellt werden. Nichts Besonderes? Doch, denn die Möglichkeiten der Ansteuerung sind vielfältig. So lässt sich etwa die Drehzahl manuell per Poti, über eine Gleichspannung von 0...5 V/10 V oder auch digital via I²C einstellen.

frei, dessen Drehzahl durch ein analoges Signal von 0...5 V oder auch 0...10 V bestimmt wird.

National Instruments bietet USB-Module mit analogen Ausgangssignalen von 0...5 V (preisgünstig) und von 0...10 V (leider nicht so preisgünstig) an. Natürlich lässt sich die Drehzahl des Gleichstrommotors mit einem 0/10 V-Signal feiner einstellen, aber mit dem 0/5 V-Signal funktioniert es auch – zwar nicht so präzise, aber billiger. So haben wir schon beim Schaltungsentwurf die Möglichkeiten der NI-Produktreihe berücksichtigt. Je länger wir über den Entwurf nachdachten, desto mehr kam uns in den Sinn, dass eine solche Steuerschaltung durchaus für viele Menschen brauchbar wäre. Denn viele vertraute motorbetriebene Vorrichtungen und Maschinen kann man dank moderner Software wie LabView mit einer Intelligenz ausstatten, die sie in einfachen Schritten immer wiederkehrende Positionen möglichst genau anfahren lässt.

So haben wir uns an das Elektor-Team gewandt, um eine auch für andere Menschen universell einsetzbare, offene Schaltung zu entwickeln. Erste Vorgabe war, dass die Schaltung mit einer (einzigen) Spannungsquelle von +12 V auskommen sollte. Zweitens sollte die Schaltung mit einer seriellen I²C-Schnittstelle ausgestattet werden, damit sich ein

Mikrocontroller zur Steuerung einsetzen lässt. Drittens: Eine manuelle Bedienungsmöglichkeit per Poti und Schalter für eine einfache Inbetriebnahme ohne vorgelagerte Systeme wie LabView oder Mikrocontroller sollte die Schaltung abrunden.

Im Großen und Ganzen ...

Werfen wir einen Blick auf die Blockschaltung in **Bild 1**. Die drei Blöcke in der Mitte stellen den gemeinsamen Teil für alle Arten der Steuerung dar. Zur Regelung der Drehzahl haben wir den Pulsweitenmodulator SG3524D von Texas Instruments eingesetzt [1]. Heutzutage steuert man die Drehzahl von Gleichstrommotoren nicht mehr über die Spannungshöhe, sondern über das Tastverhältnis eines pulsweitenmodulierten Signals. Genau diese Aufgabe übernimmt der SG3524D: Er erzeugt aus dem analogen Eingangsein ein entsprechendes PWM-Ausgangssignal. Die für den angesteuerten Motor optimale PWM-Frequenz kann (an Poti P1) zwischen 18 kHz und 56 kHz eingestellt werden. Der SG3524D hält noch ein Bonbon für uns parat: Er erzeugt aus seiner 12-V-Betriebsspannung eine mit 50 mA belastbare Referenzspannung von +5 V, die wir zur Versorgung aller Bauteile auf der Platine nutzen können, die darauf angewiesen sind.

Wir haben am Fachgebiet Strömungslehre und Aerodynamik der TU Darmstadt nach einer kleinen Schaltung gesucht, die über die Software LabView von National Instruments (NI) hochsensible Strömungssensoren kalibrieren kann. Die dazu verwendete Kalibriervorrichtung wird von einem 12-V-Getriebemotor angetrieben. LabView legt mit digitalen Signalen die Drehrichtung fest und gibt den Getriebemotor

Eigenschaften

(Referenzspannung = 4,93 V)

- Spannungsversorgung: 12 V
- Maximaler Ausgangsstrom: 2 A
- Minimaler Versorgungsstrom: 11,2 mA
- PWM-Bereich: 0...100 %
- Externe Steuerspannung:
 - 0,16 V (PWM 0 %, 0/5-V-Bereich)
 - 4,88 V (PWM 100 %, 0/5-V-Bereich)
 - 0,27 V (PWM 0 %, 0/10-V-Bereich)
 - 9,7 V (PWM 100 %, 0/10-V-Bereich)
- Eingangsimpedanz (Pin 2 von K2):
 - 6,43 k Ω (0/5-V-Bereich)
 - 15,36 k Ω (0/10-V-Bereich)

Für die Endstufe haben wir nach einer H-Brücke für Bürstenmotoren Ausschau gehalten, mit der relativ einfach die Drehrichtung des Motors umgeschaltet beziehungsweise vorgegeben werden kann. Wir haben uns für ein Produkt des Herstellers ROHM, den BD6222 [2] entschieden, dessen Eckdaten, Versorgungsspannung bis 18 V und Ausgangsstrom bis 2 A ausreichend für viele Motortypen sind. Auch der Frequenzbereich von 20...100 kHz ist für unser PWM-Signal ausreichend (allerdings sollten PWM-Frequenzen von 18...20 kHz vermieden werden). Der Brückentreiber verfügt über Unterspannungsschutz (UVLO), Überspannungsschutz (OVP), Übertemperaturabschaltung (TSD) und Überstromschutz.

Zwischen PWM-Modulator und Endstufe ist ein dreifacher Analogschalter 74HC4053 geschaltet. Je nach Lage der Dinge am \bar{F}/R -Eingang tauscht der 74HC4053 das PWM-Signal an den Treibereingängen. Bei einer logischen null am \bar{F}/R -Eingang dreht der Motor vorwärts, bei einer logischen eins rückwärts. Und noch etwas kann der 74HC4053: Wenn die Freigabe am \bar{EN} -Eingang nicht vorliegt, sind beide Schalterausgänge hochohmig (und zwei Pull-up-Widerstände ziehen die Eingänge des Treibers auf High). Der Treiber erkennt dies und bremst den Motor recht schnell ab.

Jetzt noch der Block links unten, den wir bisher beharrlich ignoriert haben. Es handelt sich um den Digital/Analog-Wandler AD5301 von Analog Devices [3], der I²C-Daten in eine analoge Spannung im

Über den Autor Martin Weiß

E-Mail: martinweiss-elektronik@gmx.de

Als staatlich geprüfter Techniker bin ich im Fachgebiet Strömungslehre und Aerodynamik der TU Darmstadt tätig. Der Schwerpunkt meiner Tätigkeit ist die hardwareseitige Anbindung verschiedener Systeme und Komponenten der Mess- und Steuerungstechnik an den fachgebietseigenen Versuchsständen. Individuelle Lösungen (Elektronikschaltungen) werden von mir entwickelt und für den Anwendungsfall umgesetzt.

Bereich 0...5 V verwandelt. Dieser DAC löst das Signal mit 8 Bit auf, man kann je nach Präzisionsbedarf und steuerndem Mikrocontroller auch die pinkompatible 10-bit-Variante AD5311 oder den 12-bit-Typ AD5321 einsetzen. Mit einem Jumper (JP1) legt man fest, ob die analoge Spannung, die dem PWM-Modulator zugeführt wird, von der Klemme K2 oder vom D/A-Wandler stammen soll.

Das Blockschaltbild zeigt weiterhin Anschlussmöglichkeiten für das Vorwärts/Rückwärts-Signal \bar{F}/R und die Freigabe \bar{EN} (K1A), das I²C-Signal (K1B), die analoge Drehzahl-Spannung (K2), die 12-V-Spannungsversorgung (K3) und den Motor (K4). Links daneben sind die vier Ansteuerungsmöglichkeiten abgebildet: mit I²C, mit einer analogen Spannung von 0/5 V beziehungsweise 0/10 V und manuell mit Poti und Schaltern.

... und im Detail

Die Schaltung in **Bild 2** sieht nur wenig komplizierter aus als das Blockschaltbild, einige Details sind aber wirklich „tricky“. Man würde für die beiden Steuerspannungen

gen 0/5 V und 0/10 V eigentlich einen simplen Spannungsteiler mit zwei Widerständen am Eingang des PWM-Modulators SG3542D erwarten. Dies ist aber nicht möglich, da der erlaubte Steuerspannungsbereich an Pin 2 etwa 0,74 V bis 3,58 V beträgt. Es muss also ein Offset hinzugefügt werden, wenn das PWM-Signal tatsächlich zwischen 0 und 100 % variieren soll. Und dieser Offset ist für die beiden Steuerspannungsbereiche natürlich unterschiedlich. Statt nun zwei (platzraubende) Jumper einzusetzen, haben wir einen 3-Wege-Lötjumper JP2 in das Platinenlayout aufgenommen, der für 0/10 V offen bleibt und für 0/5 V mit einem Lötzinnklecks komplett geschlossen wird, so dass er die beiden Widerstände R2 und R4 kurzschließt und damit aus dem Verkehr zieht. Zusammen mit der Stellung des (echten) Jumpers JP1 kann man eine der vier Ansteuerarten auswählen, wie **Tabelle 1** zeigt.

Der zweite Schaltungstrick betrifft die Umschaltung des Pulsweitenmodulations-signals entweder auf den FIN- oder den RIN-Pin des Motortreibers. Ein Enable-Si-

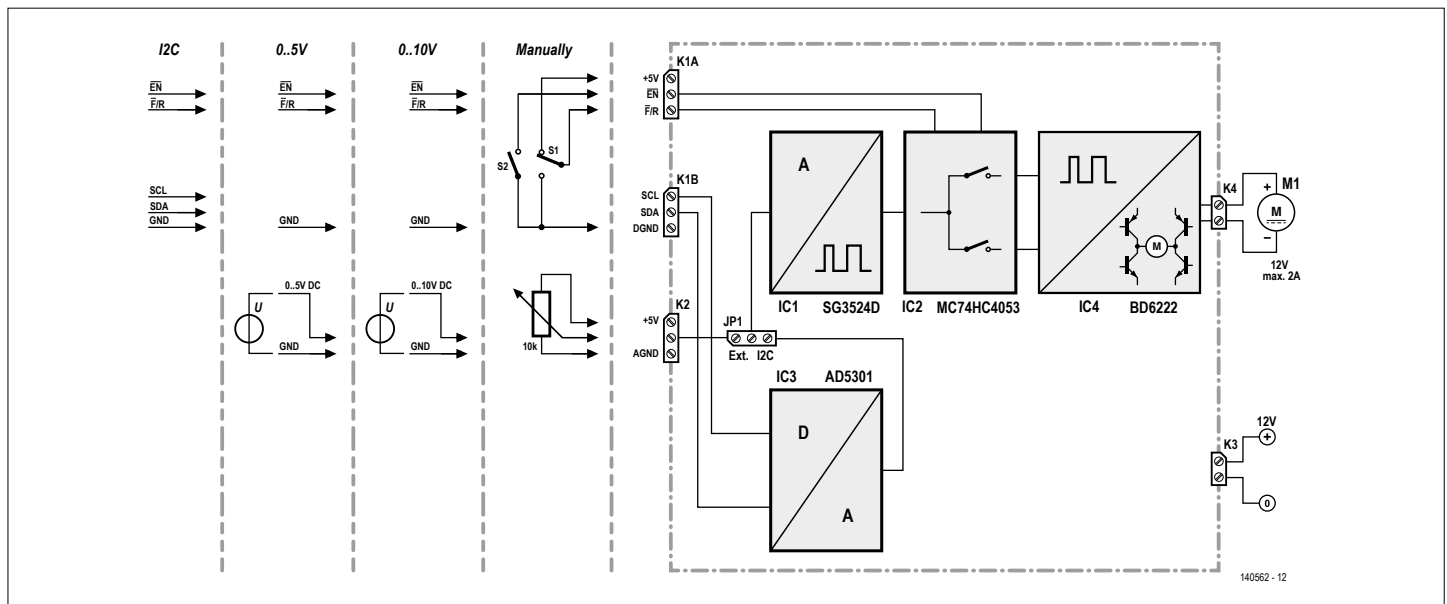


Bild 1. Das übersichtliche Blockschaltbild der Motorsteuerung mit allen Ansteuermöglichkeiten.

gnal $\overline{\text{EN}}$ verhindert, dass der Motor permanent in die eine oder die andere Richtung dreht. Ist $\overline{\text{EN}}$ logisch 1, sind die Ausgänge des Analogschalters hochohmig und die Eingänge FIN und RIN des Motortreibers werden über die Widerstände R11 und R12 auf +5 V gezogen: Die H-Brücke schaltet in den Brake-Modus. Im Brake-Modus liegen am Ausgang der H-Bridge für den Gleichstrommotor 0 V an und der Motor bleibt sofort stehen. Bei $\overline{\text{EN}} = 0$ schaltet der Analogschalter entsprechend der Vorgabe am $\overline{\text{F/R}}$ -Eingang in den Vor- oder Rückwärtsbetrieb und die Drehzahl des Motors wird über die analoge Spannung gesteuert. Sollte der $\overline{\text{EN}}$ -Eingang an K1A offen sein, verhindert Pull-up-Widerstand R10 ein unbeabsichtigtes Anlaufen des Motors. Sofern ein langsames Anfahren des Motors erwünscht ist, muss dies vom vorgelagerten System gesteuert werden. Die Widerstände R9 und R10 (und die Verbindungen der unbenutzten Switches des Analogschalters) verhindern offene Anschlüsse, wenn man

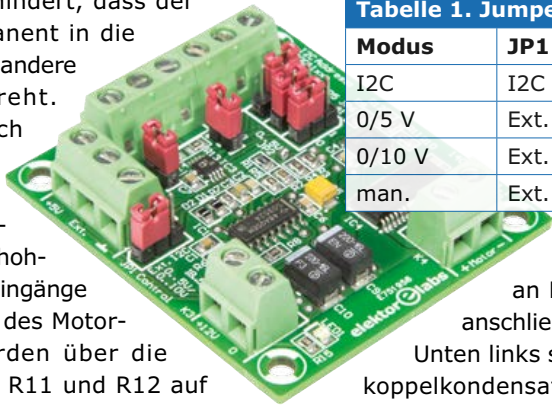


Tabelle 1. Jumpereinstellungen

Modus	JP1	JP2
I2C	I2C	geschlossen
0/5 V	Ext.	geschlossen
0/10 V	Ext.	offen
man.	Ext.	geschlossen

an K1A überhaupt nichts anschließt.

Unten links sieht man etliche Entkoppelkondensatoren für die (stabilisierte) 12-V-Spannungsversorgung samt Betriebsanzeige-LED1. Die beiden Elkos C9 und C10 werden auch mit den hohen geschalteten Strömen des H-Brückentreibers gut fertig. Die Bauteile am I LIM-Eingang stellen eine Standard-Beschaltung des Strombegrenzungs-Verstärkers im Inneren des SG3524D dar.

Die I²C-Schnittstelle

An den beiden I²C-Leitungen SDA und SCL sind die Pull-up-Widerstände R13 und R14 angebracht, die mit den Jumpers JP3 und JP4 aktiviert werden können. Dies ist natürlich nur dann erforderlich, wenn am I²C-Bus des ansteuernden Systems keine solchen Pull-up-Widerstände vorhanden sind. Die Adresse des D/A-Wandlers lässt sich mit Hilfe der beiden Jumper JP5 und

JP6 von 0001100 bis 0001111 wählen. So lassen sich vier Gleichstrommotoren an einem I²C-Bus unabhängig steuern. Wenn die Schaltung „unter Strom“ ist, ist auch der D/A-Wandler stets eingeschaltet. Seine Stromaufnahme liegt zwar nur bei 150 μA , lässt sich aber durch drei Power-Down-Modi weiter auf bis zu 200 nA absenken. Per seriellen Datenbefehl kann ein definierter Ausgangswiderstand des abgeschalteten Spannungsausgangs gewählt werden: 1 k Ω , 100 k Ω oder three-state (hochohmig). Bei sicherheitsrelevanten Anwendungen, wenn keine Ansteuerspannung für die PWM-Modulation am Eingang des SG3524 anliegen darf, ist die Variante mit 1-k Ω -Ausgangswiderstand gegen GND empfehlenswert. Wenn man diese softwareseitige Konfiguration nutzen möchte, muss der $\overline{\text{PD}}$ -Jumper JP7 auf 0-Position gesteckt werden, ansonsten setzt man den Jumper auf Position 1.

Die Ausgangsspannung des DAC ist praktisch gleich der Versorgungsspannung. Bei einer Referenzspannung des PWM-Modulators von 4,934 V beträgt die maximale Ausgangsspannung des AD5301 4,898 V, nur 36 mV weniger. Als Minimalspannung haben wir an einem ersten Prototyp 9,28 mV gemessen.

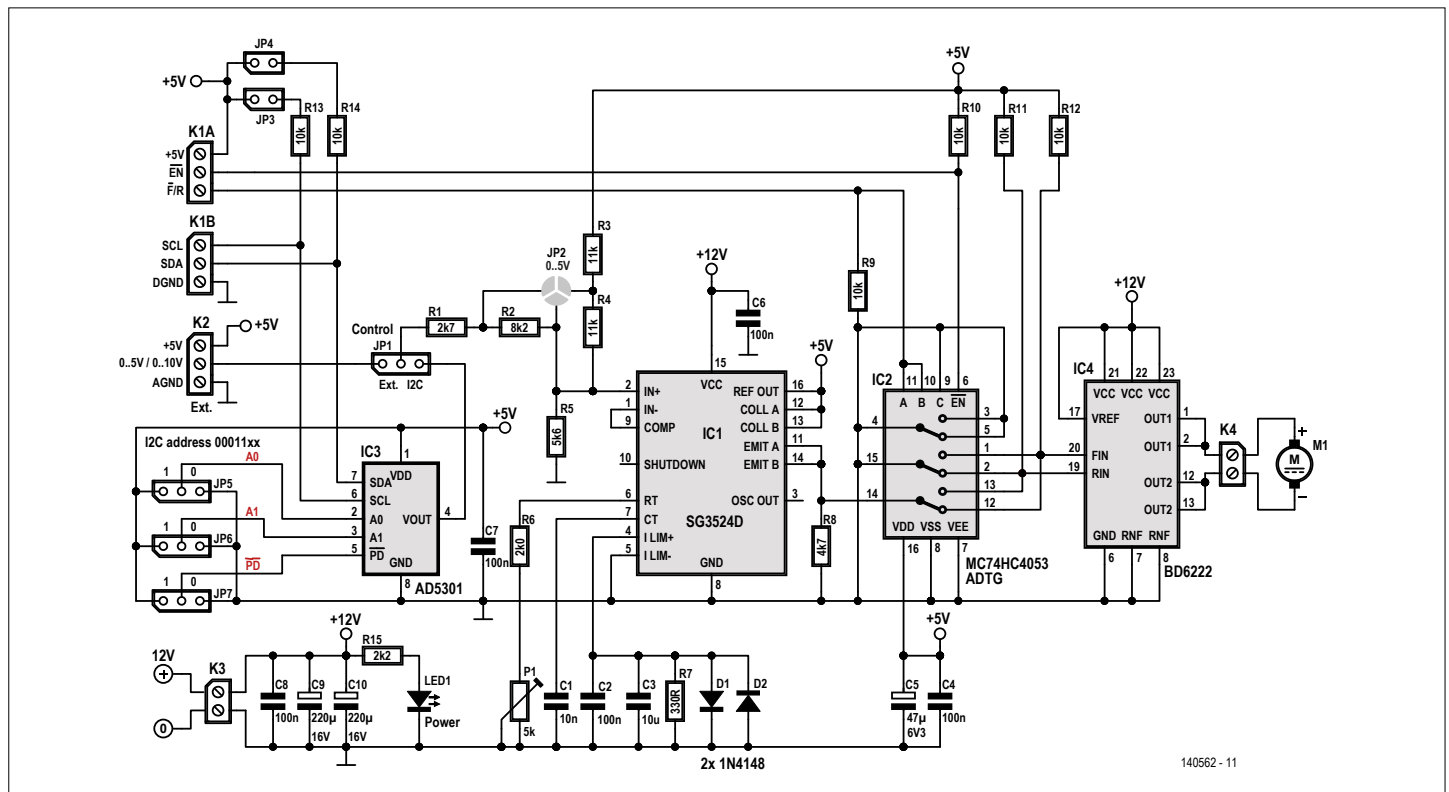


Bild 2. Die Schaltung der Motorsteuerung.

Nachbau und Inbetriebnahme

Damit die (im Elektor-Shop [4] erhältliche) Platine schön kompakt bleiben kann, setzen wir vor allem SMD-Bauteile ein (eine Ausrede, die meisten ICs sind ohnehin nur noch als solche Winzlinge zu haben). Nur die fünf Platinenanschlussklemmen und die sechs Jumper sind als Durchsteckbauteile ausgeführt und nehmen deshalb auch das Gros der nur 56,5 x 50,2 mm² kleinen Platinenfläche ein. Den Jumper JP1 kann man auch durch eine Drahtbrücke ersetzen, wenn man den Steuermodus nicht wechseln will, und die restlichen Jumper ganz weglassen, wenn man auf die I²C-Ansteuerung verzichtet.

Trotz aller SMDs dürfte der Nachbau der Schaltung dem geübten Elektroniker nicht schwerfallen, wenn er den Bestückungsplan in **Bild 3** und die Stückliste zur Verfügung hat. Nach dem Aufbau und einer Sichtprüfung kann man ohne aufwendige Programmierung und/oder zusätzliche Spannungsquelle die Schaltung testen, wenn man gemäß der manuellen Ansteuerkonfiguration in Bild 1 ein Poti (10...100 k Ω) und zwei Schalter anschließt.

Ein wichtiger Hinweis: Für die +5-V-Spannung sorgt einzig und allein der PWM-Modulator! Die +5-V-Anschlüsse an K1A und K2 dürfen nur als AUSGÄNGE verwendet werden. Schließen Sie nie, nie, niemals (!) die aktive Betriebsspannung beispielsweise einer Mikrocontrollerschaltung an die +5-V-Pins an. Im Gegenteil: Wenn ein Mikrocontroller sich mit wenigen Milliampere zufrieden gibt, kann er sogar aus der Steuerschaltung versorgt werden.

Der Abgleich der Schaltung beschränkt sich auf die Frequenz der PWM-Modulation. Mit Trimpoti P1 lässt sich eine (gemessene) Frequenz von 16...48 kHz einstellen. Die optimale Frequenz kann man dem Datenblatt des Motors entnehmen oder – wenn man kein Datenblatt auftreiben kann – durch Probieren ermitteln. Wenn der Motor stottert, ist die Frequenz zu niedrig, wird er heiß (ein Brummen oder Pfeifen dürfte bei diesen Frequenzen kaum zu hören sein, wenn man nicht über Fledermausohren verfügt), ist die Frequenz zu hoch gewählt. Auf jeden Fall sollte die PWM-Frequenz über 20 kHz liegen, da sonst die H-Brücke in den Streik tritt. In der Regel ist man mit dem Poti in Mittelstellung gut bedient. Als minimale Stromaufnahme der Schal-

Stückliste

Widerstände:

(alle SMD 0805, 150 V 5 %, 0,1 W)
 R1 = 2k Ω
 R2 = 8k Ω
 R3,R4 = 11 k Ω
 R5 = 5k Ω
 R6 = 2k Ω
 R7 = 330 Ω
 R8 = 4k Ω
 R9...R14 = 10 k Ω
 R15 = 2k Ω
 P1 = SMD-Trimpoti 5 k
 (Bourns 3314G-502E)

Kondensatoren:

C1 = 10 n, 50 V, X7R, SMD 0805
 C2,C4,C6,C7,C8 = 100 n, 50 V, X7R, SMD 0805
 C3 = 10 μ , 16 V, X5R, SMD 0805
 C5 = 47 μ , 6,3 V, 0,5 Ω , Tantal, SMD-Gehäuse B
 C9,C10 = 220 μ , 16 V, 0,1 Ω , Tantal, SMD-Gehäuse E

Halbleiter:

D1,D2 = TS4148RY, SMD 0805
 (Taiwan Semiconductor)
 LED1 = LED, grün
 IC1 = SG3524D, SMD SOIC-16
 (Texas Instruments)
 IC2 = MC74HC4053ADTG, SMD TSSOP-16
 (ON Semiconductor)
 IC3 = AD5301BRMZ, SMD MSOP-8, nur bei I²C-Bestückung (Analog Devices)
 IC4 = BD6222FP-E2, SMD HSOP-25 (ROHM)

Außerdem:

K1A,K1B,K2 = 3-polige Platinenanschlussklemme, RM 5
 K3,K4 = 2-polige Platinenanschlussklemme, RM 5
 JP1,JP5,P6,JP7 = 3-polige Stiftleiste, vertikal, RM 2,5

JP3,JP4 = 2-polige Stiftleiste, vertikal, RM 2,5
 JP1,JP3...JP7 = Jumper, RM 2,5
 Platine 140562-1 im Elektor-Shop

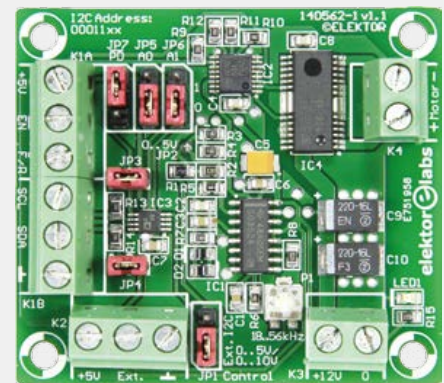
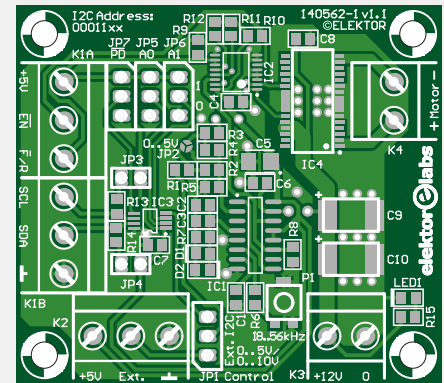


Bild 3. Leer und bestückt: die kleine Platine der Motorsteuerung.

tung haben wir im Elektor-Labor 11,2 mA ermittelt, wenn an K1 und Pin 1 von K2 nichts angeschlossen ist sowie Pin 2 von K2 und Jumper JP7 an Low liegen. Zieht man den Jumper JP1 ganz, dann sollte die Eingangsspannung von IC1 (Pin 2) 1,68 V (im 0/5 V-Bereich) beziehungsweise 1 V (im 0/10 V-Bereich) betragen. Beide Spannungen liegen im Steuerbereich des SG3524D, so dass die Stromaufnahme höher ist und bei 14...15 mA liegt.

Die I²C-Ansteuerung kann zum Beispiel mit dem FT311D-Break-out-Board [5] getestet werden. Am Jumper JP1 des FT311D-Boards muss nur CFG2 geschlossen werden, um den FT311D in den I²C-Modus zu versetzen. Die I²C-Demo von FTDI ist einfach, aber sehr nützlich: Man muss nur die Device-Adresse des AD5301 auf 0001100 (JP5 und JP6 auf 0) einstellen, die drei Datenfelder *device address* (eben die Geräteadresse

des AD5301), *address* (der MSB-Teil der Daten, eine Register-Adresse) und *write bytes* (der LSB-Teil der Daten) eintragen und schon erscheint die korrespondierende Spannung am Ausgang des ICs. Wenn Sie zum Beispiel 0C, 0F und F0 eintragen, wird der DAC auf seine maximale Ausgangsspannung eingestellt. ◀

(140562)

Weblinks:

- [1] www.ti.com/product/sg3524/description
- [2] www.rohm.com/web/global/products/-/product/BD6222FP
- [3] www.analog.com/en/products/digital-to-analog-converters/da-converters/ad5301.html
- [4] www.elektormagazine.de/140562
- [5] www.elektormagazine.de/130516