www.elektor-magazine.de

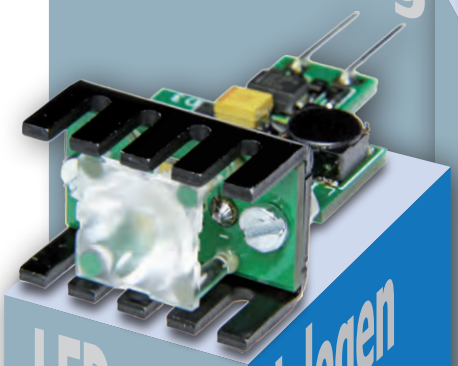
.magazine

Januar/Februar 2014 | Nr. 517/518

elektor

FPGA-Board-Erweiterung

Audio-DSP-Board



LED statt Halogen

555 AMP

Kompakter Röhren-verstärker

WINTER-DOPPELHEFT

132 SEITEN PROJEKTE, GRUNDLAGEN UND TIPPS!

G3078 E

(D) € 14,90 | CHF 27,00 | (A, B, L) € 16,00

4 198630 314904 02

elektor ACADEMY
the school of electronics

2-tägiges Seminar MATLAB & Regelungstechnik

Die Teilnehmer/-innen erhalten Kenntnisse in Grundbegriffen der Regelungstechnik und lernen Regelstrecken und deren Problematik erkennen. Einführung in die Programmierung mit MATLAB: Arbeitsumgebung & Hilfe, Programmstrukturen, Matrizen, Vektoren & weitere Datentypen, Gültigkeitsbereiche von Variablen & Pfaden, m-Files & Funktionen, Numerische Mathematik, Gleichungssysteme, Polynome, Integrale, Grafische Ausgabe, Lesen & Schreiben von Dateien.

Veranstaltungsorte/-termin: 12. und 13. März 2014, MCI Innsbruck
Referent: Name folgt.
Teilnahmegebühr: 1.399,- Euro (Inkl. MwSt.)
Im Preis sind jeweils Mittagessen, Seminarunterlagen, Dokumentation, Hard- & Software und Teilnahmezertifikat inbegriffen.

1-tägiges Seminar Raspberry Pi Grundlagen

Der Raspberry Pi ist ein Ein-Platinen-Computer für gerade mal 40 € und hat innerhalb kürzester Zeit eine große Fangemeinde gefunden. Er ist mit seinen 700 MHz, 512 MB Arbeitsspeicher und einem leistungsstarken Grafikchip nicht nur in der Lage als einfacher Linux-Rechner verwendet zu werden - sondern dank seiner weitreichenden Schnittstellen (GPIO, I2C, SPI, Serial, USB) auch geeignet in komplexeren elektronischen Schaltungen Anwendung zu finden. Doch bevor man die erste LED mittels des kleinen Computers schalten kann, sind einige Vorarbeiten zu erledigen. An diesem Punkt setzt das Seminar an, erklärt die Grundlagen des Raspberry Pi, seine Geschichte und Konkurenten, seine Hardware Komponenten, die Vorbereitung des Raspbian Linux und schließlich die Verwendung in eigenen Projekten.

Veranstaltungsorte/-termin: 3. April 2014, Hanau
Referent: Nico Maas
Teilnahmegebühr: 349,- Euro (inkl. MwSt.)
Im Preis sind jeweils Mittagessen, Seminarunterlagen, Dokumentation und Teilnahmezertifikat inbegriffen.

2-tägiges Seminar USB-Treiber für Mikrocontroller

Moderne Mikrocontroller verfügen seit einiger Zeit über integrierte USB-Schnittstellen. Diese kann man recht einfach in eigene Anwendungen integrieren. In diesem Seminar wird gezeigt, wie man für diese integrierten USB-Schnittstellen eine Kommunikation mit Betriebssystemen (Windows und Linux) über Treiber und Bibliotheken realisiert. Das Seminar ist mit vielen praktischen Beispielen abgerundet, um verschiedene Möglichkeiten für eine Anbindung kennenzulernen.

Veranstaltungsorte/-termin: 21. und 22. Mai 2014, München
Referent: Dipl.-Inf. (FH) Benedikt Sauter, M.Sc.
Teilnahmegebühr: 749,- Euro (inkl. MwSt.)
Im Preis sind jeweils Mittagessen, Seminarunterlagen, Dokumentation und Teilnahmezertifikat inbegriffen.

elektor ACADEMY
the school of electronics

Alle elektor-Events 2014 auf einem Blick

Workshops * Masterclasses * Seminare

Top-Fachleute aus der Branche referieren über ein faszinierendes Thema!

Jetzt auch in Ihrer Nähe

2-tägiges Seminar
‚MATLAB & Regelungstechnik'
Innsbruck (AU) 12. und 13. März 2014

1-tägiges Seminar
‚Raspberry Pi für Einsteiger'
Hanau 3. April 2014
München 9. Oktober 2014

2-tägiges Seminar
‚USB-Treiber'
München 21. Und 22. Mai 2014

3-tägiges Seminar
‚Embedded Linux in Theorie und Praxis'
Hanau 21. bis 23. Oktober 2014

Änderungen vorbehalten

Weitere Infos & Anmeldung:
www.elektor.de/events

SEHR GUT
9 von 10 Seminaren werden von unseren Teilnehmern mit sehr gut bewertet.

INKLUSIVE elektor ZERTIFIKAT

Lesen Sie die neue Elektor ein Jahr lang in der ultimativen GOLD-Mitgliedschaft und profitieren Sie von allen Premium-Vorteilen!

Die Elektor-GOLD-Jahresmitgliedschaft bietet Ihnen folgende Leistungen/Vorteile:

- Sie erhalten **10 Elektor-Hefte** (8 Einzelhefte + 2 Doppelausgaben Januar/Februar und Juli/August) pünktlich und zuverlässig frei Haus.
- **Extra:** Jedes Heft steht Ihnen außerdem als PDF zum sofortigen Download unter www.elektor-magazine.de (für PC/Notebook) oder via App (für Tablet) bereit.
- **Neu & Exklusiv:** Sie erhalten alle 2 Wochen per E-Mail ein neues Extra-Schaltungsprojekt (frisch aus dem Elektor-Labor).
- **Neu & Exklusiv:** Wir gewähren Ihnen bei jeder Online-Bestellung 10% Rabatt auf alle unsere Webshop-Produkte – dauerhaft!
- **Neu & Exklusiv:** Der Online-Zugang zum neuen Community-Bereich www.elektor-labs.com bietet Ihnen zusätzliche Bauprojekte und Schaltungsideen.
- **Extra:** Die neue Elektor-Jahrgangs-DVD (Wert: 27,50 €) ist bereits im Mitgliedsbeitrag inbegriffen. Diese DVD schicken wir Ihnen sofort nach Erscheinen automatisch zu.
- **Extra:** Top-Wunschprämie (im Wert von 30 €) gibts als Dankeschön GRATIS obendrauf!

elektor GOLD membership

UMWELTSCHONEND – GÜNSTIG – GREEN

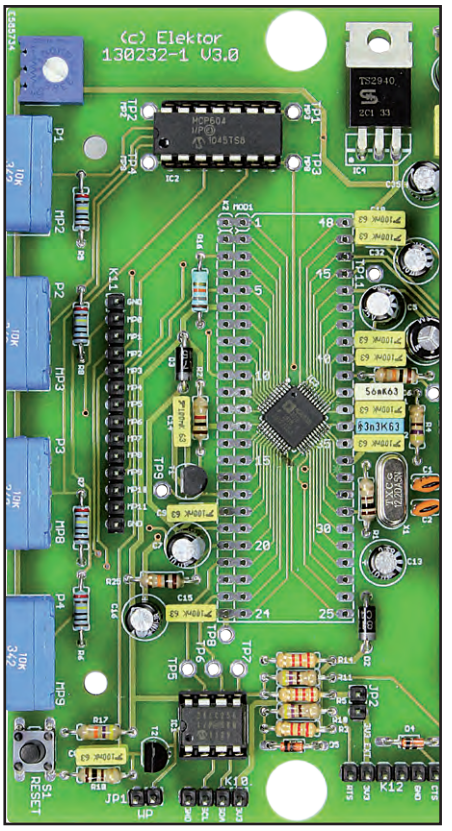
Möchten Sie Elektor lieber im elektronischen Format beziehen? Dann ist die neue GREEN-Mitgliedschaft ideal für Sie!
Die GREEN-Mitgliedschaft bietet (abgesehen von den 10 Printausgaben) alle Leistungen und Vorteile der GOLD-Mitgliedschaft.

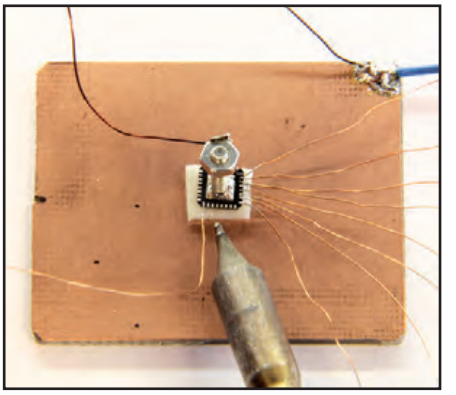
elektor GREEN membership

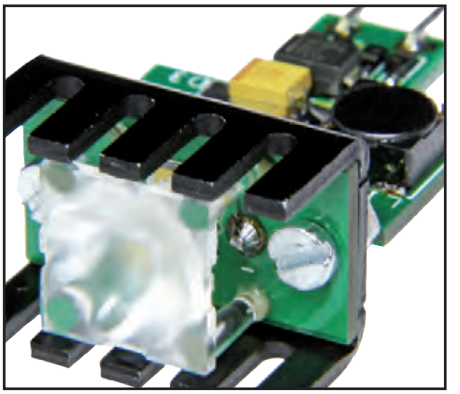
Jetzt Mitglied werden unter www.elektor.de/mitglied!

Inhalt

elektor magazine







Community

6 Impressum

8 Aktuell
Elektor World – Leserbriefe – News

Labs

58 Bringen wir eine LED zum Blinken!

59 Wo Rauch ist, ist auch Feuer
Unser Praktikant Aurélien Moulin hatte die Idee, eine E-Zigarette zu entwickeln, die via USB mit Strom versorgt wird...

60 Die Vierte Industrielle Revolution

61 Negative Energie

62 DesignSpark Tipps & Tricks

65 Null-Ohm-Widerstand

Projects

12 Universelles Audio-DSP-Board
Digitale Signalverarbeitung erfordert herausragende SMD-Lötfähigkeiten und eine Menge Mathematik? Nein! Hier kommt eine universelle Audio-DSP-Platine mit vorbestücktem DSP ADAU1701 von Analog Devices, der grafisch programmiert werden kann.

20 555-Audioverstärker
Ein unkomplizierter Klasse-D-Audioverstärker, mit einem 555 im Oszillator- und Modulatorteil!

26 LED statt Halogen
Diese LED-Lampe ersetzt eine Halogen-Stiftsockellampe 12 V/10 W mit Sockel GU4. Der Energiebedarf beträgt nur ein Zehntel des Originals: Eine Alternative, die sich rechnet!

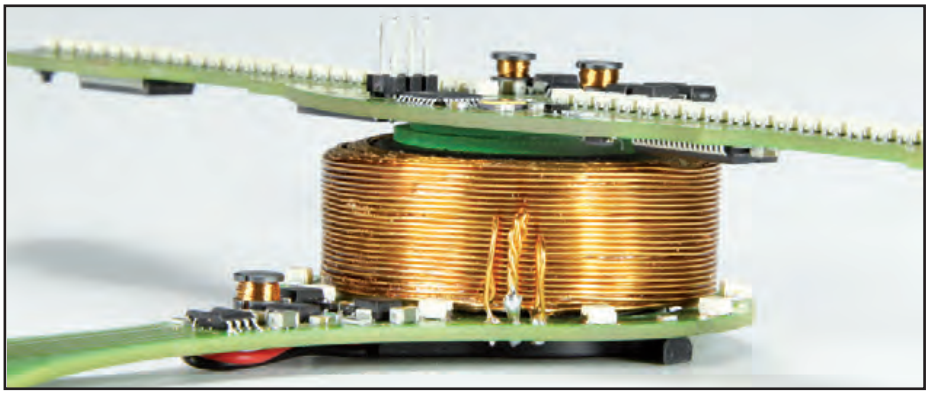
30 Photovoltaik-Systeme
Ein einführender Überblick über grundlegende Zusammenhänge zum Thema Stromgewinnung aus der Sonne, mit einem Beispiel für das Berechnen und Installieren einer kleinen Solaranlage.

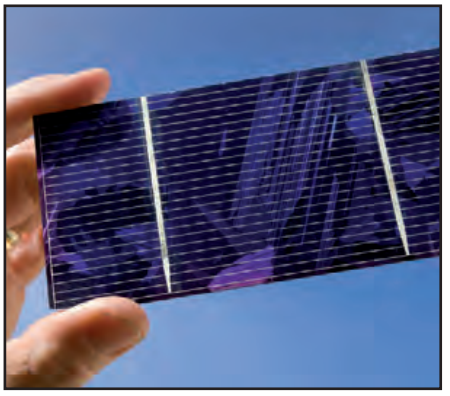
36 Solar-Laderegler (50 W)
Dieser Solar-Laderegler war ursprünglich für den Einsatz in einer abgelegenen Wetterstation gedacht, er kann aber auch andere Geräte oder Systeme mit Strom versorgen.

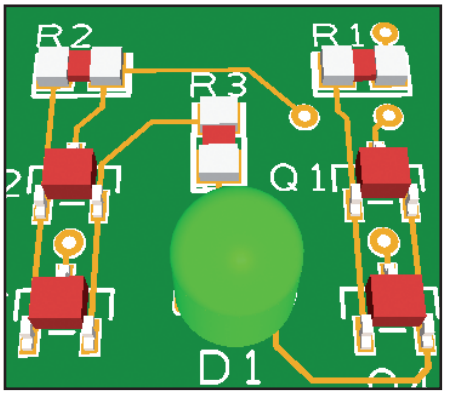
44 Kompakter Röhrenverstärker
Haben Sie schon einmal den Bau eines Röhrenverstärkers erwogen, wurden aber durch hohe Kosten, ein aufwendiges Gehäuse, klobige Trafos und dicke Kabelbäume abgeschreckt? Hier ist eine kompakte, kostengünstige Alternative mit schnell beschaffbaren Bauteilen.

50 Erweiterungsplatine für das FPGA-Board (2)
In der letzten Ausgabe wurde eine Erweiterungsplatine für das Elektor FPGA-Board veröffentlicht. Diesmal wird gezeigt, wie man die nötige Software in VHDL programmiert.

66 Zuverlässig Daten funken
Für eine robuste, in beide Richtungen übertragende drahtlose Verbindung hat der Autor eine Pascal-Bibliothek für RFM12-Module programmiert.







70 Zug-Fernsteuerung
Eine elegante Lösung mit 433-MHz-RFM12-Transceiver-Modulen.

76 LFCSP-Chip verdrahtet montiert
Chips im „Lead Frame Chip Scale Package" messen oft nur wenige Quadratmillimeter. Einen solchen Chip von Hand auf einer Platine zu montieren, erscheint unmöglich. Wir zeigen, dass es dennoch geht.

78 Funkgesteuerter LED-Dimmer
Diese Schaltung ist universell einsetzbar und kann vom Anwender leicht erweitert werden.

81 Einfacher Generator für Strompulse
Zeitabhängige Spannungen kann man einfach mit einem Oszilloskop messen. Die Messung von Strömen gestaltet sich dabei um einiges schwieriger. Um eigene Strommessungen mit Shunts oder Stromzangen zu überprüfen ist ein Pulsgenerator für Ströme hilfreich.

84 Propelleruhr (2)
Im ersten Teil dieser Artikelserie hatten wir die Hintergründe der Propelleruhr ausgiebig beleuchtet. In diesem zweiten Teil geht es um den Bau, den Test und die Einstellung der attraktiven Uhr.

90 Chiptuning für RC-Modelle
Einen Bürstenmotor in einem RC-Modell gegen ein bürstenloses Exemplar auszutauschen, erfordert einiges an Umbauten. Doch das Unterfangen wird zum Kinderspiel, wenn man die hier beschriebene Schaltung einsetzt.

93 Aktive ESD-Schutzbeschaltung
Wenn man in einer Applikation keine ICs mit ausreichend gegen ESD geschützten I/O-Ports verwenden kann, sorgt diese Schaltung für einen alternativen ESD-Schutz.

96 Drahtlose Energieübertragung
Drahtlose Energieübertragung liegt im Trend der Zeit. Die vielversprechende Technik kann man mit einem einfachen Versuchsaufbau selbst erproben.

100 Kapazitiver Taster in „low cost"
Dies ist wahrscheinlich der einfachste Weg, einen kapazitiven Taster an einen Mikrocontroller oder FPGA anzuschließen. Das Design ist billig, sehr praktisch und robust genug für die meisten Anwendungen.

104 Vogeltränkeheizung

108 LED-Leuchtstofflampen-Ersatz

110 Elektronik plus Mechanik mit Flowcode 6

116 Nanoampere mit DMM

118 Elex-Platinen in LochMaster

120 Monitor für Dreiwegeventil

Magazine

122 Retronik
Isolationsprüfgerät Bendix 60B4-1-A

127 Hexadoku
Sudoku für Elektroniker

130 Vorschau
Nächsten Monat in Elektor

Impressum

45. Jahrgang, Nr. 517/518 Januar/Februar 2014
Erscheinungsweise: 10 x jährlich
(inkl. Doppelhefte Januar/Februar und Juli/August)

Verlag
Elektor-Verlag GmbH
Süsterfeldstraße 25
52072 Aachen
Tel. 02 41/88 909-0
Fax 02 41/88 909-77

Technische Fragen bitten wir per E-Mail an redaktion@elektor.de zu richten.

Hauptsitz des Verlags
Elektor International Media
Allee 1, NL-6141 AV Limbricht

Anzeigen:
Margriet Debeij (verantwortlich)
Tel.: 0241 88 90 913 / Fax: 0241 88 90 977
Mobil: 0031 6 510 530 39
E-Mail: m.debeij@elektor.com

Julia Grotenrath
Tel.: 0241 88 90 916 / Fax: 0241 88 90 977
E-Mail: j.grotenrath@elektor.com

Es gilt die Anzeigenpreisliste Nr. 44 ab 01.01.2014

Distribution:
IPS Pressevertrieb GmbH
Postfach 12 11, 53334 Meckenheim
Tel. 0 22 25/88 01-0 | Fax 0 22 25/88 01-199
E-Mail: elektor@ips-pressevertrieb.de

Der Herausgeber ist nicht verpflichtet, unverlangt eingesandte Manuskripte oder Geräte zurückzusenden. Auch wird für diese Gegenstände keine Haftung übernommen. Nimmt der Herausgeber einen Beitrag zur Veröffentlichung an, so erwirbt er gleichzeitig das Nachdruckrecht für alle ausländischen Ausgaben inklusive Lizenzen. Die in dieser Zeitschrift veröffentlichten Beiträge, insbesondere alle Aufsätze und Artikel sowie alle Entwürfe, Pläne, Zeichnungen einschließlich Platinen sind urheberrechtlich geschützt. Ihre auch teilweise Vervielfältigung und Verbreitung ist grundsätzlich nur mit vorheriger schriftlicher Zustimmung des Herausgebers gestattet. Die veröffentlichten Schaltungen können unter Patent- oder Gebrauchsmusterschutz stehen. Herstellen, Feilhalten, Inverkehrbringen und gewerblicher Gebrauch der Beiträge sind nur mit Zustimmung des Verlages und ggf. des Schutzrechtsinhabers zulässig. Nur der private Gebrauch ist frei. Bei den benutzten Warenbezeichnungen kann es sich um geschützte Warenzeichen handeln, die nur mit Zustimmung ihrer Inhaber warenzeichengemäß benutzt werden dürfen. Die geltenden gesetzlichen Bestimmungen hinsichtlich Bau, Erwerb und Betrieb von Sende- und Empfangseinrichtungen und der elektrischen Sicherheit sind unbedingt zu beachten. Eine Haftung des Herausgebers für die Richtigkeit und Brauchbarkeit der veröffentlichten Schaltungen und sonstigen Anordnungen sowie für die Richtigkeit des technischen Inhalts der veröffentlichten Aufsätze und sonstigen Beiträge ist ausgeschlossen.

© 2014 elektor international media b.v.
Druck: Senefelder Misset, Doetinchem (NL)
ISSN 0932-5468

Analoges

Häufig bekommen wir Mails, in denen Leser die große Zahl von Mikrocontroller-Projekten in unserer Zeitschrift beklagen. Dem allgemeinen Trend in der Elektronikwelt folgend, rutscht auch bei den Elektor-Projekten immer mehr Intelligenz in immer leistungsfähigere Chips, die immer mehr Funktionen integriert haben. Die berühmten Tricks, weswegen auch gestandene Profis sehr gern zur Elektor greifen, stecken nun oft nicht mehr im Schaltplan, sondern im Quellcode der Software. Doch es gibt auch noch die andere, analoge Seite der Elektronik. Es mag Zufall sein, dass wir den Geschmack der oben angesprochenen Lesergruppe mit dieser Doppelausgabe besonders ausgiebig bedienen. Gleich zwei Audio-Verstärker haben wir im Heft, die sich vortrefflich ergänzen. Der Klasse-D-Verstärker kommt ohne Spezialbausteine aus, an ICs finden sich nur zwei 555er und ein 7815 auf der Platine. Unkompliziert ist auch der Röhrenverstärker in dieser Ausgabe, das erstaunlich kompakte Board sollten Sie sich auf Seite 44 gleich einmal ansehen. Ein weiteres interessantes, software-loses Projekt finden Sie auf der Seite 26. Die Platine der LED-Beleuchtung hat so kleine Abmessungen, dass sich damit eine GU4-Halogenlampe ersetzen lässt. Freunde des Experimentierens im eigenen Labor kommen wiederum mit den Artikeln „Generator für Strompulse“ und „Drahtlose Energieübertragung“ auf ihre Kosten.
Übrigens: Vielleicht hat der eine oder andere Analog-Fan Lust, doch einmal erste Schritte in die Welt der Mikrocontroller zu wagen. Für die kommenden Ausgaben bereiten wir gleich mehrere Mikrocontroller-Einsteiger-Kurse vor, für BASCOM und C. Statt hierfür noch einmal völlig neue Controller-Boards zu entwerfen, wollen wir den günstigen „Arduino Uno“ als Hardwarebasis benutzen. Doch wird es Elektor-Aufsteckplatinen („Shields“) geben, die Anfänger genauso wie Fortgeschrittene zu eigenen Entwicklungen einladen. Bleiben Sie dran!

Jens Nickel

Unser Team

Chefredakteur:	Jens Nickel (v.i.S.d.P.) (redaktion@elektor.de)
Ständige Mitarbeiter:	Dr. Thomas Scherer, Rolf Gerstendorf
Korrekturen und Leserservice:	Klaus Boda
Internationale Redaktion:	Harry Baggen, Jan Buiting, Jaime Gonzalez Arintero, Denis Meyer
Elektor-Labor:	Thijs Beckers, Ton Giesberts, Wisse Hettinga, Luc Lemmens, Mart Schroijen, Jan Visser, Clemens Valens, Patrick Wielders
Grafik & Layout:	Giel Dols

Germany
Ferdinand te Walvaart
+49 241 88 909-17
f.tewalvaart@elektor.de

United Kingdom
Carlo van Nistelrooy
+44 20 7692 8344
c.vannistelrooy@elektor.com

Netherlands
Ferdinand te Walvaart
+31 46 43 89 444
f.tewalvaart@elektor.nl

France
Denis Meyer
+31 46 4389435
d.meyer@elektor.fr

USA
Carlo van Nistelrooy
+1 860-289-0800
c.vannistelrooy@elektor.com

Spain
Jaime Gonzalez Arintero
+34 6 16 99 74 86
j.glez.arintero@gmail.com

Italy
Maurizio del Corso
+39 2.66504755
m.delcorso@inware.it

Sweden
Carlo van Nistelrooy
+31 46 43 89 418
c.vannistelrooy@elektor.com

Brazil
João Martins
+31 46 4389444
j.martins@elektor.com

Portugal
João Martins
+31 46 4389444
j.martins@elektor.com

India
Sunil D. Malekar
+91 9833168815
ts@elektor.in

Russia
Nataliya Melnikova
+7 (965) 395 33 36
Elektor.Russia@gmail.com

Turkey
Zeynep Köksal
+90 532 277 48 26
zkoksal@beti.com.tr

South Africa
Johan Dijk
+31 6 1589 4245
j.dijk@elektor.com

China
Cees Baay
+86 21 6445 2811
CeesBaay@gmail.com

Unser Netzwerk

elektor · VOICE COIL · circuit cellar · hifi.nl MUZIEK - FILM - LIFESTYLE · audioXPRESS · techthe future

Die Elektor-Community

Unsere Partner und Sponsoren

Batronix
www.batronix.com/go/30 49

Beta Layout
www.pcb-pool.com 43

Funkamateur
www.funkamateur.de 43

LeitOn
www.leiton.de 95

Pico
www.picotech.com/PS246 57

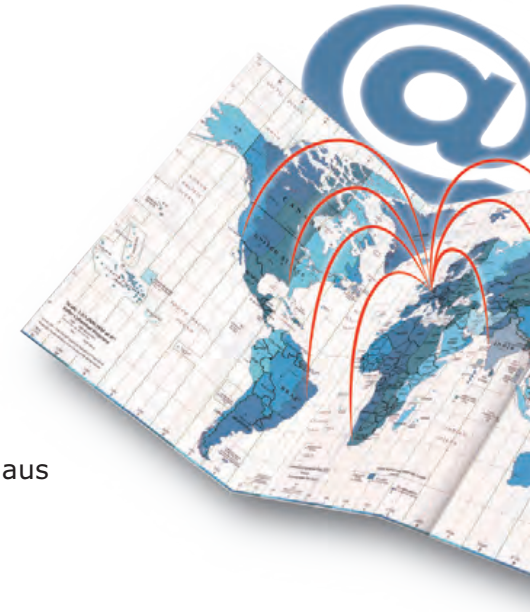
Reichelt
www.reichelt.de 132

WIZnet
www.wiznet.eu 95

Sie möchten Partner werden?

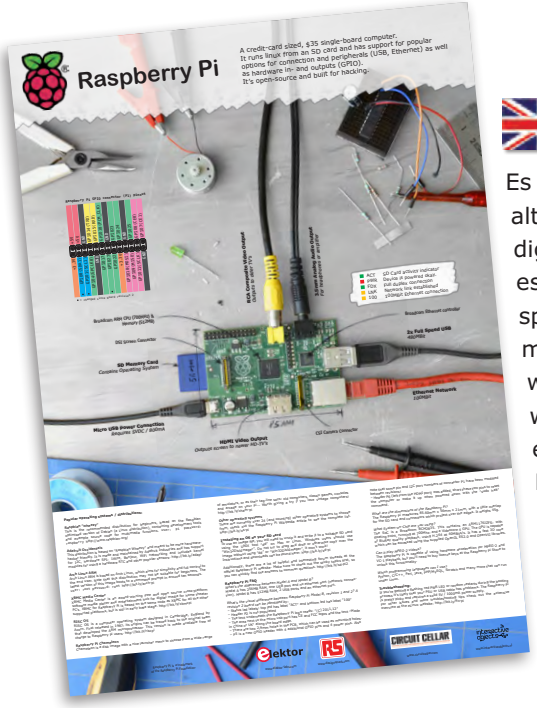
Kontaktieren Sie uns bitte unter service@id-medienservice.de (Tel. 0511/616595-0).

Elektor World



Zusammengestellt von
Wisse Hettinga

Jeden Tag, jede Stunde, jede Minute, ja, in jedem Augenblick schaffen, optimieren, rekonstruieren und entwickeln Ingenieure und Enthusiasten neue Elektronik. Hauptsächlich zum Spaß, aber manchmal wird aus Spaß (beruflicher) Ernst…

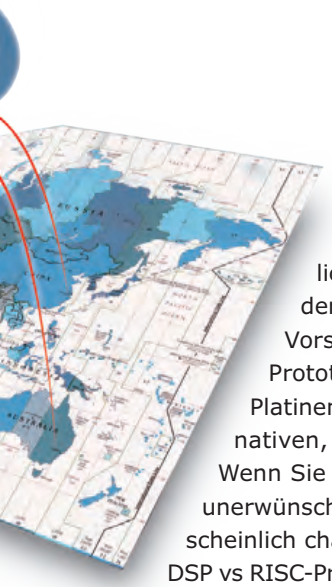


Postermania

Es sind interessante Zeiten für die Verlagswelt. Neue Online-Angebote machen den alten, etablierten Medien Beine. Wer glaubt immer noch, man könne einen anständigen Gewinn mit so etwas Altmodischem wie einem Buch erzielen? Und wie sieht es mit Postern aus? Vor vielen Jahren waren in Elektor Poster zu finden, zum Beispiel mit Steckeranschlüssen. Sie können sie immer noch in manchen Klassenzimmern finden. Ist das nur für Althistoriker interessant? Zu unserer Überraschung war das RaspberryPi-Poster, das wir in diesem Jahr online stellten, ein Renner. Es wurde mehr als 35.000 Mal heruntergeladen! Während Sie dies lesen, stellen wir ein Arduino-Poster ins Netz. Und wir haben noch mehr auf der Pfanne! Alles zum Herunterladen. Jawohl, das ist sicher der einfachste und ökonomischste/logischste Weg, um Ware an Sie zu liefern.

Das Elektor-Studio

Es gibt ein paar bemerkenswerte Stellen in der Elektor-Verlagszentrale. Hinter dem ständigen Chaos von Drähten und Metern verbirgt sich das Labor, es gibt ein „Verlies“ (welche Geheimnisse könnten uns seine Wände erzählen...) und wir haben unseren Dachboden. Jahrelang war der Dachboden ungenutzt und verstaubte. Wir entschieden uns deshalb, die Besen zu schwingen und den Raum in ein echtes Video- und Fotostudio zu verwandeln. In unserem Dachstudio entstehen unsere monatlichen „Webinare“ in Zusammenarbeit mit Element 14. Auch Videos erhalten mehr und mehr Bedeutung für die neuen Elektor-Inhalte. Wir haben die ersten Lektionen gelernt und sind immer besser geworden; für eine zunehmende Zahl von Produkten wird es Videos geben.
Patrick Wielders ist unser Mann hinter der Kamera und Herr des Studios.



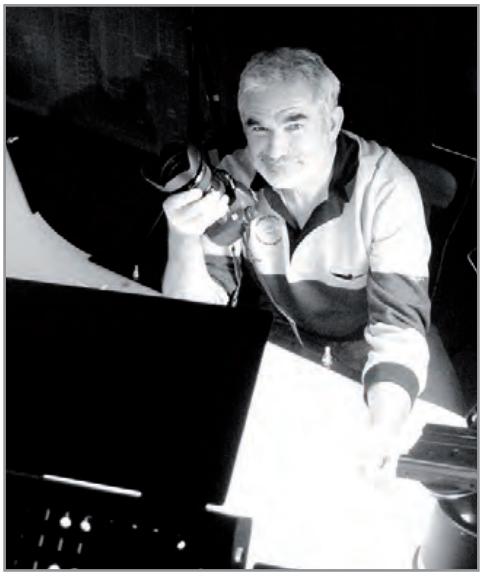
Weltklassetipps

In den letzten paar Monaten hat die Zeitschrift Circuit Cellar jede Woche einen Tipp für die Elektronikentwicklung bei CircuitCellar.com veröffentlicht. Die Resonanz war überragend. Ingenieure aus der ganzen Welt haben die Tipps gelesen und eigene Vorschläge gemacht.

Prototyping-Tipps für Ingenieure: Pro-Ingenieur und CC-Kolumnist Jeff Bachiochi stellt drei Optionen der Platinenerstellung für Prototypen vor und diskutiert ihre Vor- und Nachteile. Er schreibt: „Es gibt zwei Alternativen, um eine Platine zu fertigen: Entweder machen Sie es selber (DIY) oder Sie lassen sie anfertigen. Wenn Sie den DIY-Ansatz wählen, müssen Sie mit Eisenchlorid (oder einer anderen Säure) arbeiten, um das unerwünschte Kupfer zu entfernen. Sie können so ein paar Leiterplatten schnell produzieren, aber es wird wahrscheinlich chaotisch (und gefährlich).“ (http://bit.ly/1bB4a40)

DSP vs RISC-Prozessoren: Ingenieur Bernard Debbash erläutert ein paar grundlegende Unterschiede zwischen DSP- und RISC-Prozessoren. RISC-Prozessoren verhalten sich anders als DSPs, wenn man sie übersteuert beziehungsweise übersättigt. „Daher ist es wichtig sicherzustellen, dass die Eingabewerte oder die Größe der Variablen korrekt skaliert sind, um einen Überlauf zu verhindern. Dieses Problem kann mit einer gründlichen Simulation vermieden werden.“ (http://bit.ly/1aBFPKb)

Besuchen Sie die Website CircuitCellar.com oder folgen Sie der Redaktion via Twitter (https://twitter.com/circuitcellar), Facebook (https://www.facebook.com/circuitcellar) und Google+, um Ihre wöchentliche Ration Tipps abzuholen. Und schämen Sie Sich nicht, eigene Vorschläge zu machen.



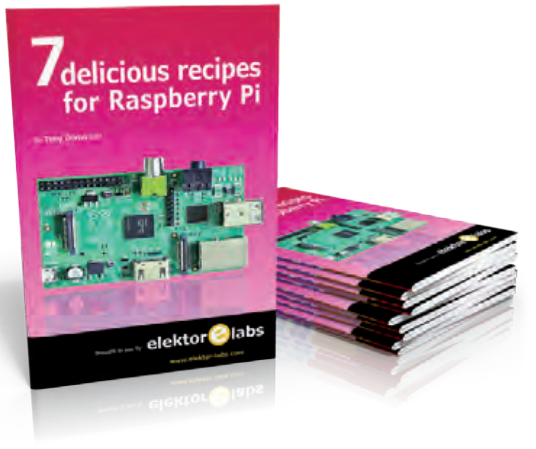
Vom Zeichenpapier zu CAD: Das Elektor-Schaltplan-Layout

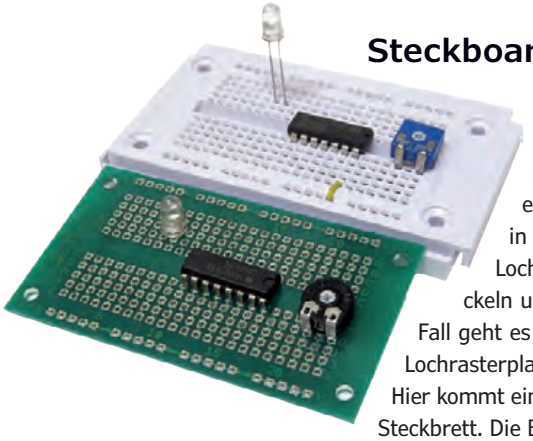
Wenn es irgendetwas Beständiges bei Elektor gibt, so ist es die Art und Weise, wie Schaltpläne gezeichnet werden. Seit dem Beginn in den frühen 70ern ist es *eine* Kraft, die hinter den charakteristischen Schaltplänen steckt, und diese hat sogar einen Namen: Mart Schroijen! Mart kümmert sich seit 36 Jahren (!) um die Zeichnungen, anfangs ausgestattet mit dickem Transparentpapier und einem Satz Rotring-Stifte, greift er mittlerweile auf die Hilfe eines Computers und seines Kollegen Patrick Wielders zurück. Im Laufe der Jahre hat Mart tausende von Zeichnungen erstellt und viele technische Fotos geknipst, die in der Zeitschrift erschienen sind.

Der größte Vorteil der Elektor-Schaltungen ist der hohe Wiedererkennungswert. Manchmal erhalten wir Projektvorschläge, die aus unseren Publikationen stammen, und wir erkennen illegale Downloads unserer veröffentlichten Artikel sofort…

Raspberry Pi Kochbuch

Im vergangenen Jahr konnten sich Elektor-Mitglieder über viele Rpi-Projekte und Artikel freuen, die sie jede zweite Woche im Rahmen ihres Elektor.POST-Abonnements erreichten. Die ersten sieben Projekte wurden in einem kleinen Kochbuch zusammengefasst, das jedem den sofortigen Start in die RaspberryPi-Welt ermöglicht. Die Broschüre gibt es für alle, die im Januar ein Projekt auf www.elektor-labs.com starten.





Steckboardplatine

Praktisch jeder Elektroniker kennt das: Man hat eine Schaltung auf einem der kleinen Steckboards mit den 270 Kontakten ausgetüftelt, aufgebaut und (nach Optimierungen) schließlich erfolgreich getestet. Nun wäre die Elektronik eigentlich fertig. Der Aufbau auf einem Steckbrett ist aber weder stabil genug noch rüttelfest und schon gar nicht zum Einbau in ein transportables Gehäuse geeignet. Man müsste jetzt entweder die Schaltung auf eine Lochrasterplatine übertragen und nochmal aufbauen oder aber erst noch eine Platine entwickeln und ätzen oder herstellen lassen. Im letzteren Fall viel Arbeit und Zeitaufwand. Im ersten Fall geht es schneller, aber man muss peinlichst auf die geänderte Leiterbahnführung achten, denn Lochrasterplatinen mit Lötinseln oder Kupferstreifen sind eben anders. Warum eigentlich?

Hier kommt eine Lösung von AK Modul-Bus: Die Experimentierplatine hat exakt das gleiche Layout wie ein Steckbrett. Die Bauteile und die nötigen Brücken kann man so 1:1 vom Steckbrett auf die Platine übertragen. Man kann sogar ein Bauteil nacheinander vom Steckbrett nehmen, an die gleiche Stelle der Platine stecken, anschließend verlöten und diese Abfolge solange wiederholen, bis das Steckbrett leer ist. So entsteht im Handumdrehen aus dem experimentellen Aufbau ein fertiges, stabiles und direkt einsatzbereites Stück Elektronik. In vielen Fällen kann man sich so die Entwicklung einer speziellen Platine sparen.

www.ak-modul-bus.de/stat/steckboardplatine.html

Mailbox

Doch kein Charlieplexing

8x8-Duo-LED-Matrix, Elektor 10/2013, S. 28

Meiner Meinung nach wird in diesem Artikel das Charlieplexing nicht angewandt, sondern das ganz normale Multiplexing. Eine schöne Anwendung für wirkliches Charlieplexing findet man bei Maxim Integrated, wenn man das Schlagwort „charlieplexing“ sucht. Mit 12 I/O Ports kann man 12*(12-1) = 132 LEDs betreiben. Ich hatte das vor einigen Jahren mit neun Siebensegment-Anzeigen nachgebaut, mehr hatte ich nicht zur Hand. Insgesamt benötigte der PIC16F84 nur neun I/O-Ports. Man konnte dabei den Nachteil des Charlieplexings sehen: Der konstante Strom verteilt sich auf die leuchtenden Segmente der Anzeige, dadurch leuchten die beiden Segmente der „1“ wesentlich heller als die 6 Segmente der „8“. Aber mit effektiveren Anzeigen und dann möglichen Vorwiderständen kann man den Effekt minimieren.

Wolfgang Metzler

Sie haben Recht. Die Autoren haben uns geschrieben, dass sie ein Design mit Charlieplexing begonnen haben, sich dann aber herausstellte, dass dies schwierig zu realisieren war. Im Artikel blieb fälschlicherweise stehen, dass es sich um Charlieplexing handelt.

Redaktion

Heizung im Kühlschrank

Programmierbarer Kühlschrankwächter, Elektor.Post Projekt Nr. 22

Eine kleine Anmerkung (von einem ehemaligen Kühlschrankentwickler). Sie detektieren Helligkeit und reagieren darauf. Bei vielen Kühl/Gefrierkombinationen wird die Lampe im Kühlfach mit in den Regelkreis für die Temperatur einbezogen, sie brennt dann nicht nur bei offener Tür. Bei diesen Kombinationsgeräten wird nur die Temperatur im Gefrierfach geregelt und das Kühlfach hängt als „Anhängsel“ mit dran. Immer wenn das Gefrierfach Kälte braucht, wird auch das Kühlfach gekühlt. Das führt oft dazu, dass es im Kühlfach unter 0°C kalt wird. Um das zu vermeiden wird bei diesen Geräten dann die Lampe im Kühlfach eingeschaltet, um mit der Abwärme wieder über 0°C zu kommen. Das bedeutet: Immer wenn die Regelung die Lampe zu lange aktiviert, würde der Kühlschrankwächter zu piepsen beginnen und eine offene Tür melden...

Ralf Puchta

Tierfreundliche Mückenfalle

Elektor World, Elektor 10/2013, S. 11

Zur spannenden Frage, welche sich im Beitrag der Mückenfalle des Elektor-Labs-Praktikanten Aurélien Moulin auftat: „Wie konnten die Mücken die tödliche Geschwindigkeit der rotierenden Ventilatorblätter überleben?“, erreichten uns gleich 2 Leserbriefe:

Liebe Redaktion,
ich vermute, dass das mit dem Bernoulli-Effekt zu tun hat. Die Mücken sind so leicht, dass sie von den Luftpolstern, die die Flügel umgeben, in der Mitte der Luftpolster gehalten werden.

Roland Lupp

Hallo Elektor Team!
Ich glaube dass die Mücken mit dem Luftstrom in einer für sie extrem hohen Geschwindigkeit durch den Freiraum der Flügel hinein gesaugt werden, so dass sie gar nicht erst in Berührung mit den Flügeln kommen. Das hat auch mit der schaufelähnlichen Form dieser Flügel zu tun.

Uwe Lorenz

Neuer Elektor-Shop

Seit Anfang des neuen Jahres findet man unter der bekannten Adresse www.elektor.de den neuen Web-Shop von Elektor. Gleich auf der Homepage fällt das frische Layout ins Auge, das nach der Devise „weniger ist mehr" gestaltet wurde. Dank des sogenannten Responsive Webdesign machen die Seiten nicht nur auf dem Computermonitor, sondern auch auf Tablets und sogar Smartphones eine gute Figur.

- Noch wichtiger als das dürfte allerdings sein, dass auch die Suchfunktion stark verbessert wurde, die – das geben wir offen zu – nicht zu den Stärken des vorangegangenen Online-Auftritts zählte.
  Über das Hauptmenü bekommt man Zugang zu den Produktgruppen „Bücher", „Controller", „Platinen", „Kits & Module" und mehr. Neu ist die Suche nach verschiedenen, auf den jeweiligen Produkttyp zugeschnittenen Kriterien. So lassen sich zum Beispiel Controller nicht nur anhand der bekannten Produktnummer finden; die Liste lässt sich auch eingrenzen nach Parametern wie Betriebsspannung und Gehäuse. Sämtliche Produkte kann man auch über die Auswahl eines Preisbereichs finden; auf Wunsch lässt sich die Trefferliste außerdem nach dem Preis ordnen.

- Zu jedem Produkt gibt es eine eigene Seite, die alle Daten übersichtlich anzeigt. Doch nicht nur das: Hier hat man auch Zugriff auf Bilder, Bedienungsanleitungen und häufig sogar Videos, die das Elektor-Labor produziert hat. Interessant sind auch die Kombi- und Aktions-Angebote, die man hier entdecken kann. Denn damit lässt sich mancher Euro sparen!
  Übrigens: Auch die Liste der Bezahlmöglichkeiten wurde erweitert, hier seien mit MasterCard, Bankeinzug und PayPal nur die wichtigsten genannt. Weggefallen ist dagegen das System der Credits. Elektor-Hefte und Specials lassen sich nun ohne Umweg über diese Verrechnungseinheit direkt im Shop bezahlen.

- Der neue Elektor-Shop unter www.elektor.de enthält die bekannten „Projektseiten" nicht mehr, diese findet man nun unter www.elektor-magazine.de. Die Projektseiten sind erste Anlaufstelle für alle Downloads zu Elektor-Projekten, wie zum Beispiel Software und Platinen-PDFs. Schnell zur jeweiligen Projektseite kommt man über den Deeplink www.elektor-magazine.de/xxxxxx, wobei xxxxxx die sechsstellige Artikelnummer ist, die man immer am Ende des Artikeltexts findet. Doch die alten Links www.elektor.de/xxxxxx sind weiterhin funktionsfähig, es wurden Umleitungen zur Magazine-Site programmiert. Und auch auf das Forum müssen Elektor-Leser nicht verzichten: Über den Link http://forum.elektor.com gelangt man zum neuen deutsch-, englisch-, französisch- und niederländischsprachigen Leserforum.

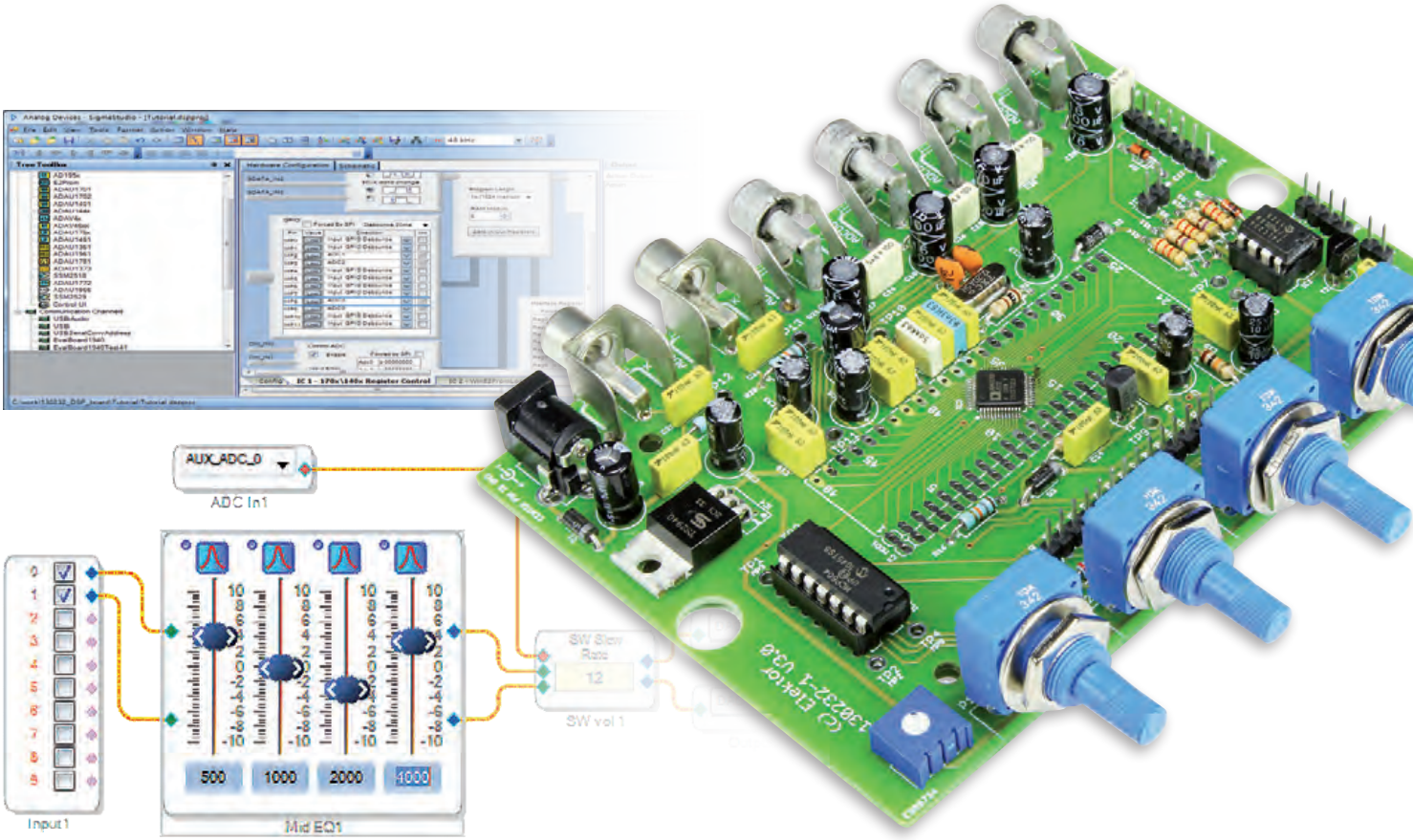
- Noch ein Wort zur Registrierung im Elektor-Shop: Wer bereits einmal etwas im bisherigen Online-Shop bestellt hat, muss seine Daten nicht noch einmal neu eingeben.

- Doch nun genug der Theorie: Schauen Sie doch einfach mal in den neuen Shop unter www.elektor.de, es warten interessante Angebote auf Sie!

(130402)

Universelles Audio-DSP-Board

Digitale Signalverarbeitung ganz einfach



Von **Ramkumar Ramaswamy** (Indien)

Wenn Sie den dicken Zeh in den Ozean der digitalen Signalverarbeitung stecken, scheint es, dass Sie ohne herausragende SMD-Lötfähigkeiten und einer Menge Mathematik nicht in die Materie eintauchen können. Es scheint! Denn hier kommt eine universelle Audio-DSP-Platine mit vorbestücktem DSP ADAU1701 von Analog Devices, ideal auch für den Hobby-Elektroniker.

Analog Devices ADAU1701 DSP stellt eine wunderbare Möglichkeit dar, die Welt der digitalen Signalverarbeitung kennenzulernen. Zusammen mit der dazugehörigen (kostenlosen!) Entwicklungsumgebung namens *SigmaStudio* ist der Chip für alle prädestiniert, die einen einfachen Weg suchen, um von der analogen Audiosignalverarbeitung in die digitale Domäne umzuziehen.

SigmaStudio erfordert keine Programmierkünste: einfach vorgefertigte Bausteine wie „State Variable Filter“ über den Monitor ziehen und schwupps haben Sie in Minuten eine Schaltung, die entweder als DSP-Plattform implementiert oder mit Hilfe dieses Boards simuliert und dann als Analog-Plattform realisiert werden kann. Eine einfach aufzubauende DSP-Karte mit Analog- und Digital-I/O, einfach ohne spezielle Hardware programmierbar, in einer Umgebung, die ein DSP-basiertes oder analoges Endprodukt erzeugt. Ganz ohne Mathe! So, wie der ADAU1701 geliefert wird, erlaubt er Abtastraten von 44,1 kHz und 48 kHz. Höhere Abtastraten wie 96 kHz sind möglich, aber sie erfordern eine tiefere Konfiguration. Das Board wird mit dem DSP-Chip (einem 48-beinigen SMD!) **vormontiert** geliefert, und wer es noch bequemer haben möchte, bestellt direkt einen Bausatz mit vorbestücktem Board und allen anderen notwendigen Bauteilen.

Bild 1.
Schaltung des ADAU1701 Audio-DSP-Boards. Achtung: Transistor T2 darf nicht bestückt werden.

Das DSP-Board

Die Schaltung in **Bild 1** basiert auf der im Datenblatt des ADAU1701 angegebenen Self-boot-Konstellation und wurde mit einigen Ergänzungen erweitert. Alle Teile außer dem DSP-Chip (IC3)

Stückliste

Widerstände:
(alle 5 %, 0,25 W)
R1,R18 = 100 Ω
R15 = 330 Ω
R4,R10,R11,R12,R13 = 470 Ω
R21,R22,R23,R24 = 560 Ω
R2 = 1 k
R3,R5,R14 = 2k2
R25,R26 = 10 k
R16,R19,R20 = 18 k
R17 = 47 k
R6,R7,R8,R9 = 1 M
P1,P2,P3,P4 = Poti 10 k linear
P5 = 470 Ω Trimmpoti

Kondensatoren:
C1,C2 = 22 p
C4 = 3n3
C24,C26,C28,C30 = 5n6
C6 = 56 n
C3,C8,C9,C10,C11,C12,C14,C15, C21,C22,C32,C34,C36 = 100 n
C5,C7,C13,C16,C33,C35 = 10 µ, 16 V, radial, RM 2,5 mm
C23,C31 = 47 µ, 25 V, radial, RM 2,5 mm
C17,C18,C19,C20 = 100 µ, 16 V, RM 2,5 mm

Halbleiter:
D1,D2,D3 = 1N5817
D4,D5,D6,D7 = BZX79-C3V3, Z-Diode 3,3 V
IC1 = 24LC256-I/P, DIL8
IC2 = MCP6004, DIL14
IC3 = ADAU1701JSTZ (LQFP48)
IC4 = TS2940CZ-3.3
T1 = BC327
T2 = nicht bestücken!

Außerdem:
K3,K4,K5,K6,K7,K8 = Cinch-Buchse für Platinenmontage
K1 = DC–Kleinspannungsbuchse
S1 = Taster
X1 = Quarz 12,88 MHz
JP1 = 2-polige Stiftleiste
K10 = 4-polige Stiftleiste, RM 2,54 mm
K9 = 5-polige Stiftleiste, RM 2,54 mm
K11 = 14-polige Stiftleiste, RM 2,54 mm
K12 = 7-polige Stiftleiste, RM 2,54 mm
Jumper
Platine 130232-1
oder
Bausatz 130232-71, enthält die Platine 130232-1, vorbestückt mit IC3, und alle Durchsteck-Bauteile

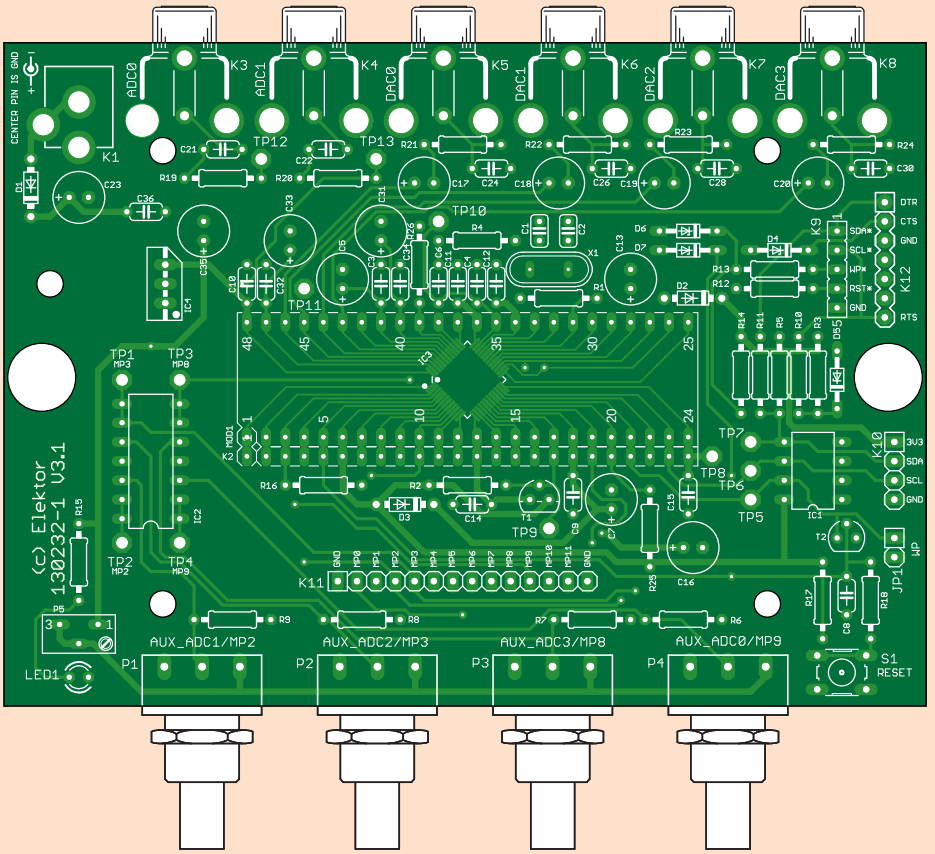


Bild 2.
Platinenlayout des Audio-DSP-Boards. Zur allgemeinen Erleichterung wird das Board mit vorbestücktem DSP-Chip und allen anderen Bauteilen im Bausatz geliefert.

www.elektorpcbservice.com

sind gewöhnliche bedrahtete Bauteile. Eine unstabilisierte Gleichspannung von 5...12 V erreicht die Schaltung über Buchse K1. Die Schottky-Diode D1 bietet Schutz gegen eine Verpolung der Eingangsspannung. Alle Bauteile auf der Platine arbeiten mit 3,3 V, die vom Spannungsregler IC4 geliefert werden. Das Stereo-Analogsignal wird über K3 und K4 zu den DSP-Audioeingängen ADC0 und ADC1 geführt. Die digital vom DSP erzeugten Audiosignale von DAC0...DAC3 stehen an den Cinch-Buchsen K5...K8 zur Verfügung.
Die Potis P1...P4 stellen Analogeingänge für den DSP dar. Sie liefern eine Spannung von 0 V bis zu einem an Trimmpoti P5 einstellbaren Grenzwert. Die Schleiferspannungen der Potis werden von den Rail-to-Rail-Operationsverstärkern IC2.A bis IC2.D gepuffert. Der Drucktaster S1 wird verwendet, um den DSP über seinen $\overline{\text{RESET}}$-Anschluss (5) zurückzusetzen.
Der Jumper JP1 auf der CLATCH-Leitung muss gesteckt sein, wenn das On-Board-EEPROM AT24CP (IC1) programmiert werden soll. Der DSP bootet aber nicht, wenn JP1 gesteckt ist! Deshalb muss er nach der Programmierung entfernt werden, bevor man S1 drückt, um den DSP zu starten.
K10 ist für die Programmierung des EEPROMs mit einem speziellen Programmiergerät vorgesehen.
K12 ermöglicht die Programmierung des EEPROMs mit der Elektor-Applikation *S.Studio to EEPROM Converter* und dem Elektor-FTDI-BOB-Modul 110553-91. Das ist zwar recht langsam, funktioniert aber bestens.
K9 ist für die Programmierung des EEPROMs mit benutzerdefinierter Hardware wie dem Arduino-Board geeignet. Die Anschlüsse akzeptieren 5-V-Spannung und werden von den 3,3-V-Z-Dioden D6 und D7 geschützt.
K11 schließlich erlaubt den Zugriff auf alle GPIO-Pins des DSPs. Vier Leitungen (2, 3, 8, 9) werden durch die Potentiometer P1...P4 belegt.

Bestückung des DSP-Boards

Elektor.Labs hat für die Schaltung eine kompakte Leiterplatte ausgearbeitet (**Bild 2**). Dieses Board

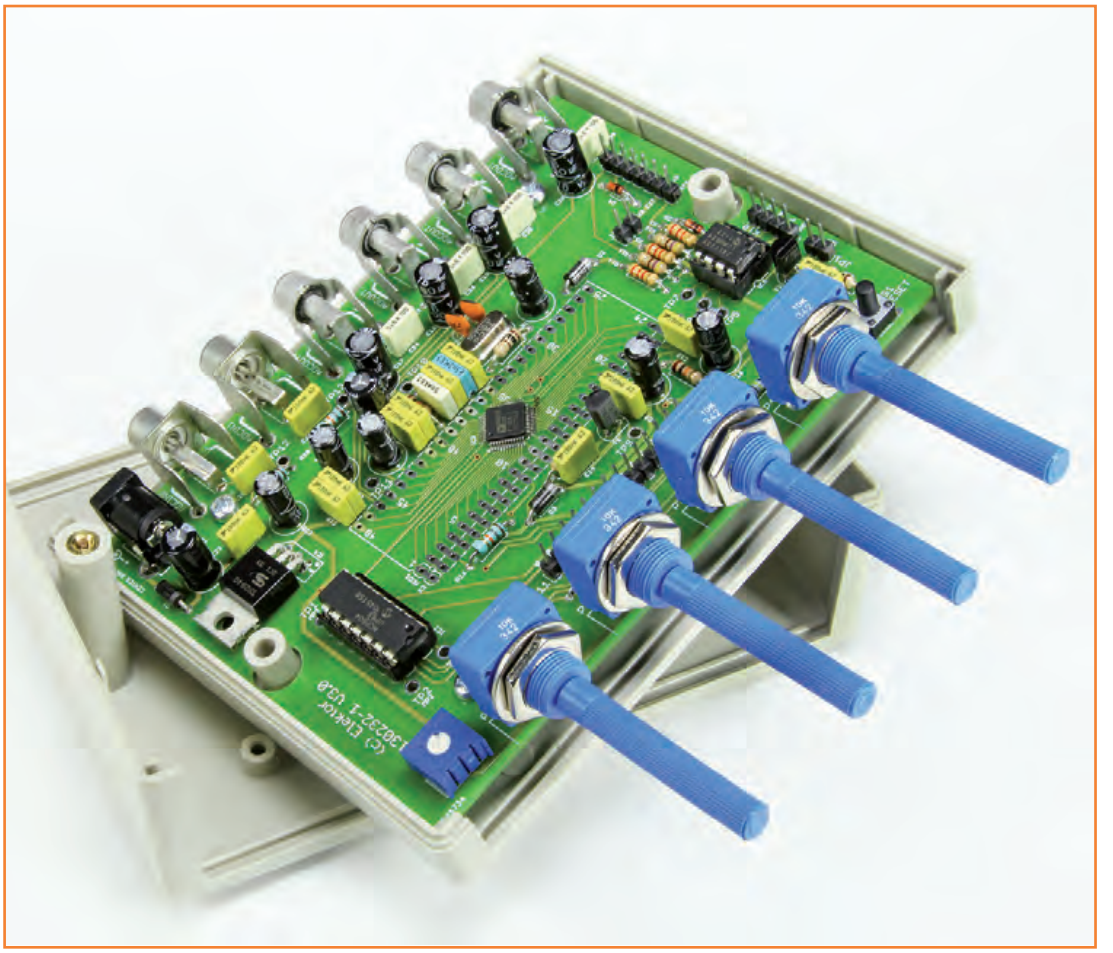


Bild 3.
Ansicht der fertig bestückten Platine und der unteren Gehäusehälfte.

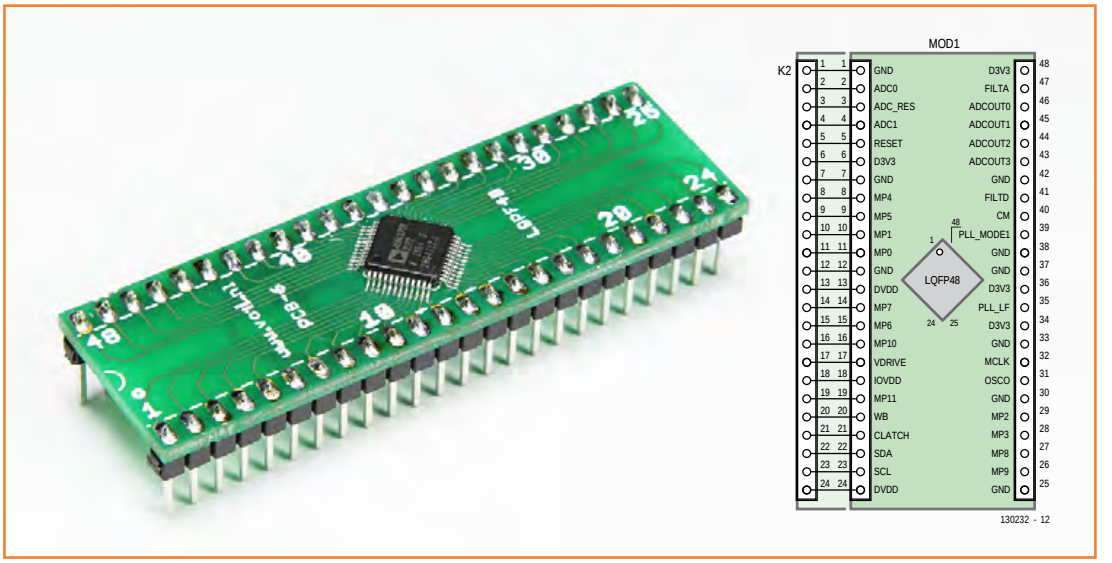
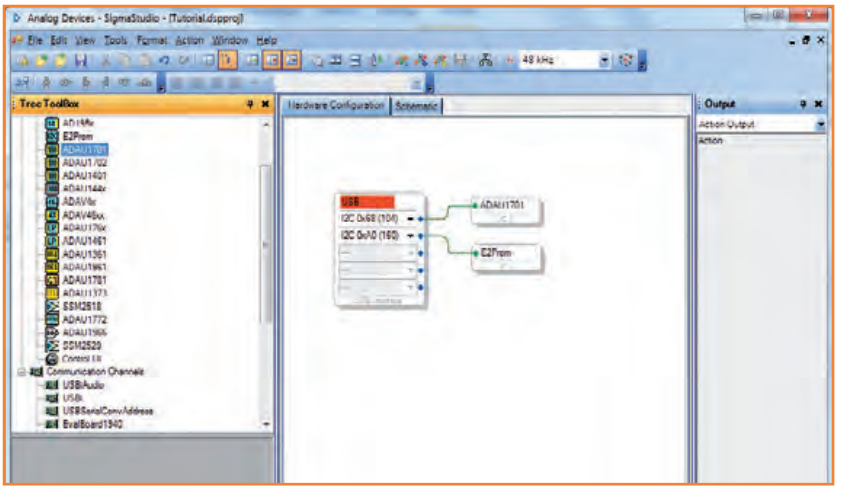


Bild 4.
Ein ADAU1701-SMD auf einem SMD-zu-DIP-Adapter (Voti PCB-06 für LQFP48). Daneben die Anschlussbelegung des Platinchens.

wird mit dem vormontierten DSP-Chip und allen anderen Bauteilen im Kit geliefert, der Rest der Bestückungsarbeiten ist ein Kinderspiel. **Bild 3** zeigt den fertig aufgebauten Prototypen des Elektor.Labs. **Beachten Sie, dass der Transistor T2 nicht montiert wird**. Er wurde in einer frühen Phase des Projekts eingesetzt, verursacht aber eine Fehlfunktion im ultimativen Entwurf.

Wer daran interessiert ist, den ADAU1701 auf einer separaten Platine in ein eigenes Projekt (Stomp-Box-, Audio-Prozessor, Amateurfunk TRX) einzubauen, freut sich über LQFP48-nach-DIP-Adapterplatinen von Voti [1], Dipmicro [2], Proto-Advantage [3], SchmartBoard [4] und ... Ebay! Das SchmartBoard ist unser Favorit, was Lötbarkeit und gute Ausstattung (mitgelieferte Stiftleisten) betrifft. **Bild 4** zeigt die im Labor aufgebaute Voti-Adapterplatine. Das Layout des DSP-Boards akzeptiert sowohl 0,6 Zoll als auch 0,7 Zoll breite Adapterplatinen in Position MOD1 (neben Pin 1 des Moduls), aber nur, wenn der DSP-Chip nicht auf der DSP-Hauptplatine montiert ist. Dies gilt für diejenigen, die eine eigene Platine ätzen und bohren wollen [5].

Bild 5.
Erstellen eines Projektes im SigmaStudio.



Grafisches DSProgrammieren

Viele Menschen sind zwar am Einsatz von DSPs interessiert, werden aber von der damit verbundenen Mathematik abgeschreckt. Glücklicherweise folgt Analog Devices mit seinem SigmaStudio einem fast völlig grafischen Ansatz für die Konfiguration des komplexen DSP-Chips. Im SigmaStudio ersetzt Drag&Drop die Mathematik. Mal sehen, wie das Tutorial vorgeht.
Die Voraussetzungen sind:

- Windows 7 x86/x64, Vista, XP Professional oder Home Edition mit SP2;
- ein COM-Port oder ein USB-nach-Seriell-Adapter;
- .NET Framework 4 + 3.5;
- SigmaStudio 3.9 (Download unter [7], kostenlose Anmeldung erforderlich);
- Elektor SigmaStudio nach EEPROM-Konverter-Utility [5], ein Arduino Uno- oder Mega-Board oder ein I²C EEPROM-Programmer, der AT24CP unterstützt.

Schritt 1. Ein SigmaStudio-Projekt öffnen

Starten Sie SigmaStudio. Wählen Sie Select File -> New Project und warten Sie, bis das Projekt

eröffnet ist. Sie sehen nun Elemente in der Toolbox zur Linken. Ziehen sie „ADAU1701“, „USBi“ und „E2Prom“ in das Hauptfenster namens Hardware Configuration. Verbinden Sie dann einen der blauen Punkte des Blocks USBi mit dem grünen Punkt von ADAU1701 und einen anderen blauen Punkt von USBi mit dem grünen von E2Prom. Das Ergebnis sehen Sie in **Bild 5**. Speichern Sie das Projekt (zum Beispiel als „Tutorial“) in einem Ordner mit dem gleichen Namen.

Jetzt klicken Sie auf den Tab „Schematic“. Man beachte die Änderung der Toolbox auf der linken Seite.

- Unter IO- -> Input ziehen Sie ein „Input“-Element.
- Unter IO- -> Output ziehen Sie zweimal ein „Output“-Element.
- Unter GPIO -> Input ziehen Sie ein „Auxiliary ADC Input“-Element.
- Unter Volume Controls -> Adjustable Gain -> Ext Control -> Clickless SW Slew ziehen Sie „Single slew ext vol“.
- Rechts auf den Block „SW vol 1” klicken und Grow Algorithm -> 1. Ext vol (SW slew) -> 1. Block „SW vol 1“ wählen. Sie sollten nun drei Eingänge und zwei Ausgänge sehen.
- Von Filters -> Second order -> Single precision -> 2 Ch nun „Medium Size Eq.“ ziehen.
- Rechts auf den Block „Mid EQ 1“ klicken und Grow Algorithm -> 1. 2 Channel – Single Precision -> 3. Block „Mid EQ 1“ wählen. Sie verfügen nun über vier Schieberegler.
- Verbinden Sie die Blöcke wie in **Bild 6** dargestellt.

Jetzt müssen wir GPIO9 als Hilfs-ADC-Eingang konfigurieren.

- Rückkehr auf die Registerkarte „Hardware Configuration“ und dann auf die Registerkarte „IC1 -170x\140x Register Control“ am unteren Rand des Fensters klicken.
- Wählen Sie „MP9 In“ im GPIO-Block und ändern Sie „Input GPIO Debounce“ in „ADC0“. Dann zurück zur Registerkarte „Config“ wie in **Bild 7** dargestellt.

Zurück zum Schaltplan. Ändern Sie die Werte der Schieberegler-Frequenzen im Equalizer und die Verstärkung nach Ihrem Geschmack. Das Projekt ist fertig, speichern Sie es nun.
Drücken Sie F7 oder wählen Sie im Menü Action -> Link Compile Download. Sie erhalten und ignorieren einen Kommunikationsfehler, weil Sie nicht den offiziellen Programmer besitzen. Irgendwann während der Erstellung des Schaltplans erscheint auch eine Meldung zu USB-Problemen. Sie können diese Meldung ebenfalls ignorieren.
Zurück zum Tab Hardware Configuration. Klicken Sie rechts auf IC1 und wählen Sie „Write Latest Compilation to E2PROM“. Damit wird eine aus-

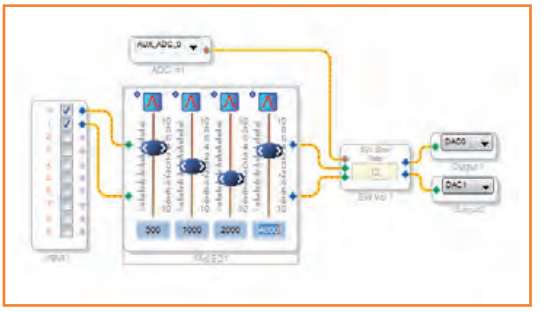


Bild 6.
Diese vier virtuellen Schieberegler sind die Äquivalente der Potis auf dem DSP-Board. Hier erschaffen wir einen Equalizer, ganz ohne Mathematik!

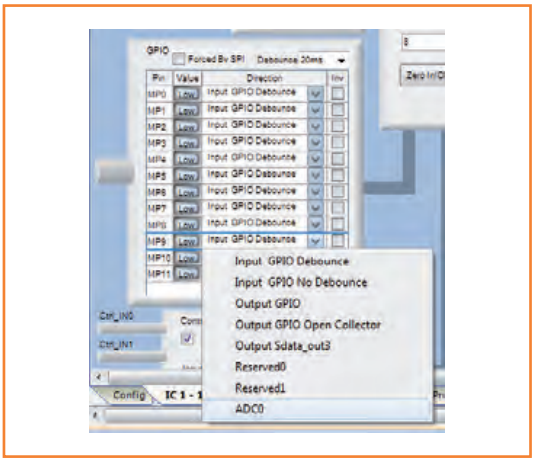


Bild 7.
Ein wenig GPIO-Konfiguration in SigmaStudio.

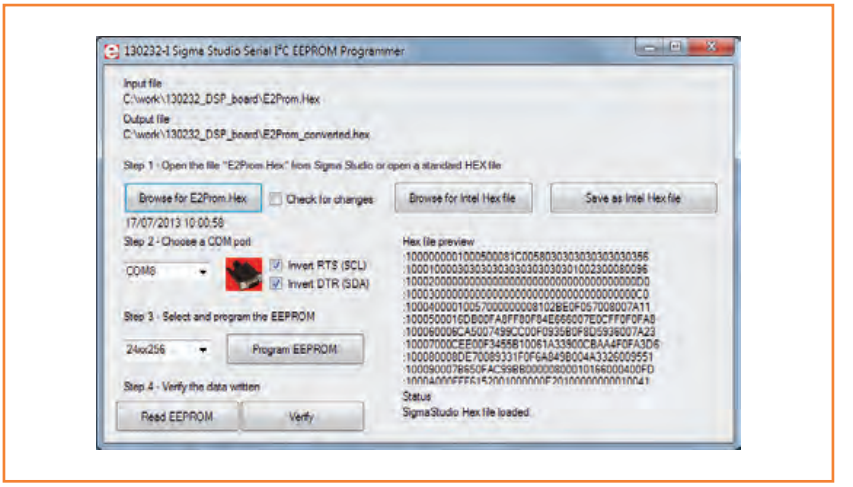


Bild 8.
Der serielle I2C-EEPROM-Programmer des Elektor-Sigma-Studios in Aktion.

Eigenschaften:

- Analog Devices ADAU1701 DSP
- SigmaStudio 3.9: Grafikorientierte DSP-Unterstützungssoftware (gratis)
- Beispiele für Stereo-Chorus, Short-delay und State-variable-Filter
- Entwickeln Sie eigene Soundeffekte
- Stereo-Audioeingang
- 4 DAC-Ausgänge
- 4 Potis an den ADV-Aux-Eingängen
- 8 GPIO-Anschlüsse
- I²C-EEPROM zur Abspeicherung der Effekte
- DSP-Chip vorbestückt auf Platine
- Optional: DSP-Chip auf 48-poligem DIP-Trägerplatinchen (0,6 oder 0,7 Zoll)
- Bausatz von Elektor (SMD vorbestückt und alle Durchsteckbauteile)

Eine EEPROM-Datei zum Brennen

Wichtig, aber teilweise schwer nachzuvollziehen ist es, mit SigmaStudio erzeugte EEPROM-Textdateien in etwas zu konvertieren, das Sie brennen können. Ich habe das folgende Verfahren aus verschiedenen Beiträgen der SigmaDSP-Foren destilliert.

Schritt 1. Öffnen Sie die Projektdatei (.dspprog) in SigmaStudio und navigieren Sie zur Schaltplanseite.

Schritt 2. Klicken Sie auf die Registerkarte Hardware Configuration. Drücken Sie F7 oder Menüpunkt Action -> Link Compile Download. *(Wenn das Entwicklungsboard von Analog Devices nicht angeschlossen ist, erhalten Sie die Meldung „Communication Failure“, die bei allem Respekt ignoriert werden kann.)*

Schritt 3. Klicken Sie rechts auf die ADAU1701-Box und wählen Sie „Write latest compilation to E2PROM“. Im Projektordner (der die .dsppproj-Datei enthält) schauen Sie im Unterordner IC2 nach der Datei E2Prom.hex.

Schritt 4. Öffnen Sie E2Prom.hex in einem Texteditor. Verwenden Sie Suchen und Ersetzen, um alle Kommas und „0x“ zu entfernen und speichern Sie die Datei.

Schritt 5. Öffnen Sie den HxD Hex-Editor. Klicken Sie auf New, kopieren Sie den gesamten Inhalt der modifizierten E2PRom.hex-Datei und fügen Sie ihn in HxD ein.

Schritt 6. Verwenden Sie den File-Export, um die Datei im Intel-Hex- oder Motorola-S-Record-Format zu exportieren. Brennen Sie die exportierte Datei in das EEPROM mit Ihrem EEPROM-Brenner.

führbare Datei erzeugt, mit der das EEPROM programmiert werden kann.

Schritt 2. Programmierung des EEPROMs
Es gibt die drei nachfolgend beschriebenen Möglichkeiten.

a) Programmierung über die serielle Schnittstelle mit dem wegen des seriellen Port-Treibers ziemlich langsamen Elektor SigmaStudio Serial I²C EEPROM-Programmer-Utility (**Bild 8**).

- Schließen Sie eine Stereo-Audioquelle an ADC0 und ADC1 und einen Kopfhörer oder Verstärker an DAC0 und DAC1 an.
- Verbinden Sie die Leitungen DTR, RTS und GND eines seriellen Ports mit K12, entweder mit einer echten RS232-Schnittstelle oder einem USB-zu-Seriell-Wandler wie dem Elektor-BOB. Beachten Sie, dass es abhängig von der Art des Ports nötig sein kann, die Signale RTS und DTR zu invertieren. Dazu gibt es Checkboxen, die standardmäßig für den Elektor BOB eingestellt sind.
- Stecken Sie einen Jumper auf JP1.
- Schalten Sie die Spannungsversorgung der DSP-Platine ein.
- Starten Sie das Programm und öffnen Sie die Datei E2Prom.Hex, die Sie im SigmaStudio erstellt haben. Eine Vorschau im Intel-Hex-Format wird angezeigt. Sie können auch eine andere Datei im Intel-Hex-Format laden.
- Wählen Sie die serielle Schnittstelle.
- Wählen Sie die richtige EEPROM-Größe und klicken Sie auf die Schaltfläche „Program EEPROM“. Die Programmierung wird gestartet und kann einige Minuten in Anspruch nehmen, je nach Größe der Datei.
- Um zu überprüfen, ob alles gut gegangen ist, klicken Sie zuerst auf „Read EEPROM“ (dies wird wiederum eine Weile dauern) und anschließend auf „Verify“.
- Wenn alles in Ordnung ist, entfernen Sie den Jumper von JP1 und drücken Sie den Reset-Taster. Stellen Sie sicher, dass Sie die Lautstärke durch Drehen an P4 einstellen können.

Hinweis 1: Dieses Tool ermöglicht die Umwandlung einer E2Prom.Hex-Datei im proprietären AnalogDevices-Format in eine Standard-Intel-Hex-Datei, die mit einem kommerziellen EEPROM-Programmierer verwendet werden kann. Dies geschieht mit der Schaltfläche „Save as Intel Hex File“.

Hinweis 2: Dieses Werkzeug kann auch verwendet werden, um ein EEPROM auszulesen und den Inhalt als Intel-Hex-Datei zu speichern. Dazu starten Sie das Programm ohne Hex-Datei. Klicken Sie dann auf „Read EEPROM“ (dies wird wieder eine Weile dauern), dann auf „Save as Intel Hex file“. Übrigens, es werden nicht mehr als 10.000 Bytes gelesen, da die Obergrenze bei einem ADAU1701-Programm bei etwa 9.200 Bytes liegt.

b) Verwenden Sie ein Arduino-Board als Programmer (empfohlen). Zur Beschleunigung der Programmierung haben wir ein Arduino Sketch geschrieben, die eine Datei in E2Prom-Format akzeptiert und sie in das EEPROM programmiert. Das Arduino-Board kann an Verbinder K9 angeschlossen werden:

Signal	Arduino Pin
SDA	10
SCL	11
WP	12
Reset	13
GND	GND

Der Sketch steht natürlich zum Download zur Verfügung [5].
Verwenden Sie ein Terminal-Programm für den seriellen Port, um die E2Prom.Hex-Datei zum Arduino-Board zu senden (Option „Send file“ in TeraTerm). Als Baudrate sollte man 19.200 Bd einstellen.

c) Verwenden Sie ein EEPROM-Programmiergerät. Die Vorgehensweise finden Sie in der Bedienungsanleitung des Geräts. Sie können das unter a) genannte Elektor-Utility verwenden, um verwendbare Dateien zu erstellen. Die I²C-Pins des EEPROMs stehen an Verbinder K10 direkt zur Verfügung.

Schritt 3: Probieren Sie die Beispiele aus
Wir haben ein paar Beispiele ausgearbeitet wie Stereo-Chorus, ShortDelay und State variable Filter mit drei Ausgängen; diese finden Sie im Software-Archiv [5].

Das war es mit der Schritt-für-Schritt-Programmierung. Die EEPROM-Programmierung kann bei laufendem DSP-Board durchgeführt werden.
K12 für den Elektor-USB-Seriell-BOB ist ein 7-poliger Stecker, der an der Frontseite des BOBs angeschlossen wird. Hier wird normalerweise nur ein 5-poliger Steckverbinder montiert. Die Anschlüsse für RTS und DTS, die zusätzlich erforderlich sind, befinden sich beim BOB aber direkt neben den fünf Standard-Anschlüssen, so dass ein 7-poliger Stecker leicht angeschlossen werden kann.

Das SigmaDSP-Forum

Die Kunst des Schreibens ausführlicher Handbücher und Hilfe-Dateien wird im Zeitalter des Internets sehr vernachlässigt. Heutzutage wird ein Produkt auf den Markt geworfen, lange bevor seine Dokumentation vollständig ist. SigmaStudio ist da keine Ausnahme und es gibt viele wichtigen Informationen, die leider nicht in den Hilfedateien enthalten sind. Um die vollständige Nutzung der Plattform zu gewährleisten, müssen wir deshalb auf das SigmaDSP-Forum in der AnalogDevices EngineerZone [7] verweisen. Sie können fast sicher sein, dass Sie dort landen und Fragen stellen werden (und dann auch Antworten geben können). Für Fragen, die sich speziell auf diesen Artikel beziehen, steht Ihnen natürlich auch das Elektor-Forum offen.

(130232)

Weblinks

[1] Voti 48-Pin-LQFP-Adapterplatine: www.voti.nl/winkel/catalog.html

[2] Dipmicro 48-Pin-LQFP-Adapterplatine: www.dipmicro.com/store/PCB-LQFP48-DIP48B

[3] Proto Advantage 48-Pin-LQFP-Adapterplatine: www.proto-advantage.com/store/product_info.php?products_id=2200109

[4] Schmartboard 48-Pin-LQFP-Adapterplatine: schmartboard.com/index.asp?page=products_smttodip&id=451

[5] www.elektor-magazine.de/130232

[6] SigmaStudio: www.analog.com/en/dsp-software/ss_sigst_02/sw.html

[7] SigmaDSP-Forum: ez.analog.com/community/dsp/sigmadsp

555-Audioverstärker

Klasse D mit Oldtimer

Von
Frederik Crevits
(B)

Von seinen Entwicklern wurde der 555 zwar als Timer konzipiert, doch kreative Köpfe fanden für ihn im Lauf der Jahre zahllose weitere Wirkungskreise. In diese Gruppe reiht sich unser Klasse-D-Audioverstärker ein, mit einem 555 im Oszillator- und Modulatorteil. Das unkomplizierte Projekt beweist, dass Audio Klasse D auch einfach sein kann.

Unser Audioverstärker mit dem 555 ist ein unkomplizierter Klasse-D-Leistungsverstärker, der ohne Über-alles-Gegenkopplung arbeitet. Weil keine schwierig beschaffbaren Spezialbauteile vorkommen und keine komplizierten Einstellungen vorzunehmen sind, ist der Verstärker im Handumdrehen betriebsfertig aufgebaut. Über den zugedachten Zweck hinaus kann er als Lehr- und Lernobjekt zum Thema „Einsatz digitaler Konzepte in der Audiotechnik“ dienen.

Obwohl der 555 bereits 1971 auf den Markt kam (!), hat dieser buchstäbliche *Old-Timer* nichts an Aktualität eingebüßt. Das liegt nicht zuletzt daran, dass der 555 in seinem Bereich ein unübertroffen vielseitiger, unkomplizierter und zuverlässiger Baustein ist. In unserem Klasse-D-Audioverstärker steuert der 555 über eine Pegelanpassung zwei MOSFETs des Typs IRF530, sie stellen eine Ausgangsleistung von gut 6 W bei THD+N = 1 % bereit. Die Betriebsspannung ist asymmetrisch, so dass auch das Netzteil auf der Linie der unkomplizierten Schaltungstechnik liegt. Allerdings bedeutet dies, dass die Lautsprecher über Koppelelkos angeschlossen werden müssen.

Schaltung

Bild 1 zeigt die Schaltung des Klasse-D-Verstärkers in der Stereo-Version. Die folgende Beschreibung nimmt Bezug auf die Bauelemente des Kanals oben im Bild. Für den zweiten Kanal gelten sie in gleicher Weise.

Ein Klasse-D-Audioverstärker setzt das analoge Audio-Eingangssignal in ein pulsbreiten-moduliertes Signal um. Dieses Signal steuert die Transistoren der Endstufe. Die Pulsbreiten-Modulation ist hier mit dem 555 realisiert, er ist als Rechteckoszillator (astabiler Multivibrator, AMV) geschaltet. Das analoge Audiosignal wird der Spannung an Ladekondensator C2 überlagert. Normalerweise lädt eine konstante Span-

Messwerte

• Eingangsempfindlichkeit:	580 mV (THD+N = 1 %) 830 mV (THD+N = 10 %)
• Eingangsimpedanz:	11 kΩ
• Dauerausgangsleistung:	6,3 W (THD+N = 1 %) 10,8 W (THD+N = 10 %)
• Leistungsbandbreite:	11 Hz...37,5 kHz (-3 dB) 21,5 Hz...31 kHz (-1 dB)
• Signalrauschverhältnis:	69 dB (1 W/8 Ω, B = 22 Hz...22 kHz)
• Harmonische Verzerrungen und Rauschen:	0,23 % (1 kHz, 1 W/8 Ω)
• Kanaltrennung:	42 dB (100 Hz, P_{max} 54 dB (1 kHz, P_{max}) 60 dB (20 kHz, P_{max})
• Stromaufnahme:	0,8 A bei 2 · 6,3 W/8 Ω

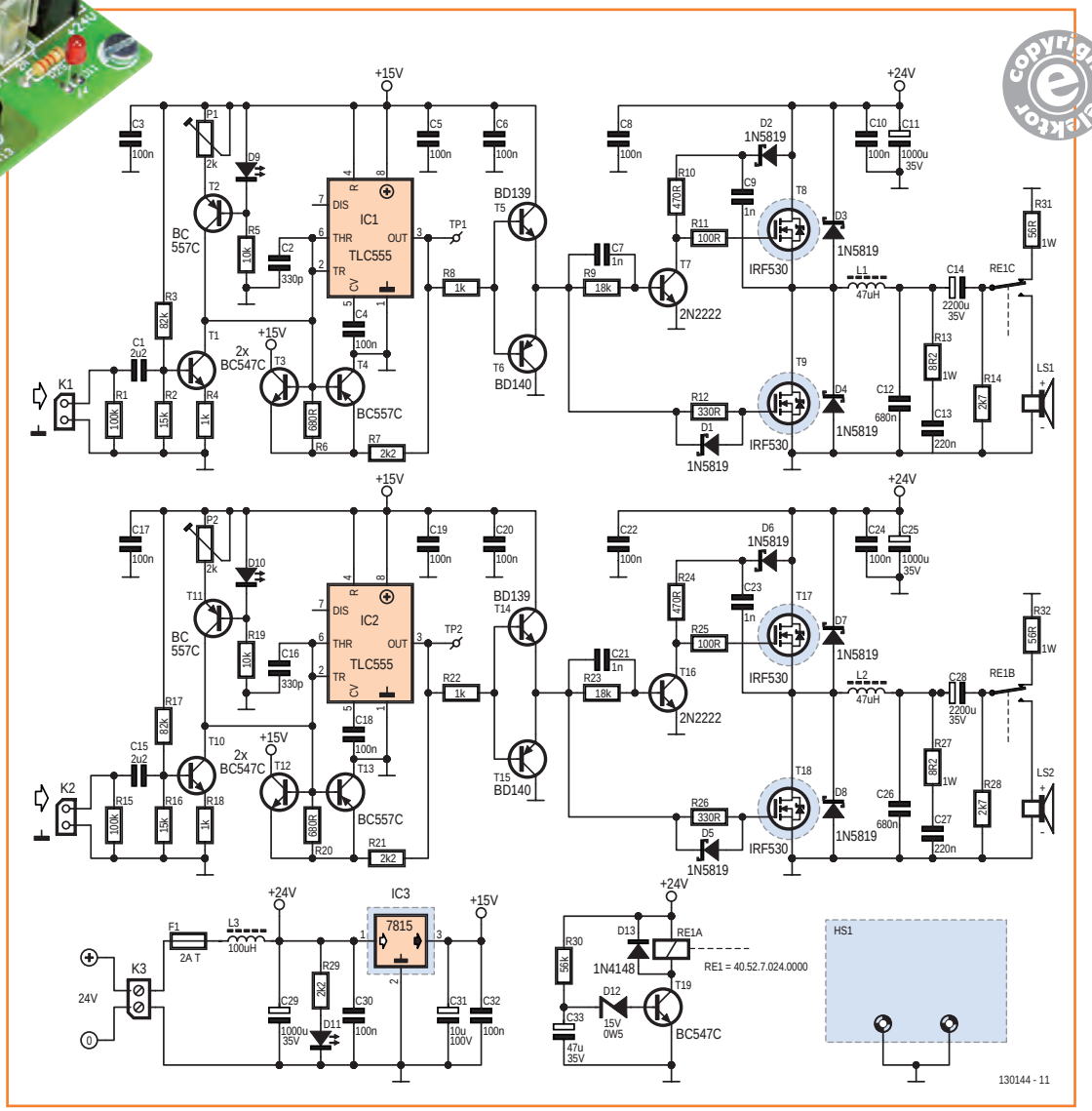


Bild 1.
Schaltung des Klasse-D-Audioverstärkers mit dem 555, hier in der Stereo-Version. Die Lautsprecher werden von einem Relais verzögert an den Ausgang gelegt.

U/I-Umsetzer: Nur fast ideal

Die Schaltung mit T3 und T4 verbessert die Linearität erheblich, diese Lösung ist jedoch noch nicht ideal. Der Strom, der durch den Kondensator C4 fließt, ist die Summe von zwei Strömen: Der Strom, der von der Basis-Emitter-Spannung an R6 abhängt sowie der Strom, der in die Basis von T3 oder T4 fließt. Da der Kollektorstrom von T3 oder T4 vom Strom durch R7 beeinflusst wird, ändert sich auch die Basis-Emitter-Spannung und mit ihr der Basisstrom. Die Abhängigkeit ist nicht linear, weil die Transistoren nicht exakt komplementär sind. Dies hat zur Folge, dass Spannungsanstieg und Spannungsabfall unterschiedlich verlaufen.

Stückliste

Widerstände:

R1,R15 = 100 k
R2,R16 = 15 k
R3,R17 = 82 k
R4,R8,R18,R22 = 1 k
R5,R19 = 10 k
R6,R20 = 680 Ω
R7,R21,R29 = 2k2
R9,R23 = 18 k
R10,R24 = 470 Ω
R11,R25 = 100 Ω
R12,R26 = 330 Ω
R13,R27 = 8Ω2, 1 W
R14,R28 = 2k7
R30 = 56 k
R31,R32 = 56 Ω, 1 W
P1,P2 = 2 k Mehrgang-Einstellpoti (Vishay Sfernice T93YB202KT20)

Kondensatoren:

C1,C15 = 2µ2/50 V, Raster 5/7,5 mm (z. B. Panasonic ECQV1H225JL)
C2,C16 = 330 pF 1 % Polystyrol, Raster 7,18 mm (z. B. LCR Components EXFS/HR 330PF +/- 1%)
C3...C6,C8,C10,C17...C20,C22,C24,C30,C32 = 100 n X7R, Raster 5,08 mm
C7,C9,C21,C23 = 1 n MKT, Raster 5 mm
C11,C25,C29 = 1000 µ/35 V stehend, Ø 12,5 mm, Raster 5 mm (z. B. Rubycon 35YXF1000MEFC12.5X25)
C12,C26 = 680 n Polypropylen, Raster 15 mm (z. B. Panasonic ECWF2684JAQ)
C13,C27 = 220 n MKT, Raster 5 mm
C14,C28, = 2200 µ/35 V stehend, Ø 18 mm, Raster 5/7,5 mm (z. B. Panasonic EEUTP1V222)
C31 = 10 µ/100 V stehend, Ø 6,3 mm, Raster 2,5 mm
C33 = 47 µ/35 V stehend, Ø max. 8,5 mm, Raster 2,5 mm

Induktivitäten:

L1,L2 = 47 µH, 21 mΩ/8,5 A, Schalenkern (Murata Power Solutions 1447385C)
L3 = 100 µH, 35 mΩ/5 A Ringkern (Würth Elektronik 7447070)

Halbleiter:

D1...D8 = 1N5819
D9,D10 = LED rot, rechteckig 2 · 5 mm
D11 = LED rot, 3 mm
D12 = Zenerdiode 15 V/0,5 W
D13 = 1N4148
T1,T3,T10,T12,T19 = BC547C
T2,T4,T11,T13 = BC557C
T5,T14 = BD139
T6,T15 = BD140
T7,T16 = 2N2222
T8,T9,T17,T18 = IRF530
IC1,IC2 = TLC555CP
IC3 = 7815

Außerdem:

K1,K2 = Stiftkontaktleiste 2-polig, Raster 2,54 mm
K3,LS1,LS2 = Schraub-Anschlussklemme 2-polig, Raster 5,08 mm
RE1 = Relais 24 V/1,2 kΩ, 8 A, DPDT-CO (z. B. Finder 40.52.7.024.0000)
F1 = Sicherung 2 AT, mit Sicherungshalter und Kappe für Platinenmontage
TP1,TP2 = Stiftkontakt 1-polig
HS1 = Kühlkörper für MOSFETs (Aluplatte 130 · 50 mm, 1...2 mm stark)
4 · Isolierscheibe für Gehäuse TO-220 (z. B. Bergquist SIL-PAD K-10, .006“, TO-220)
4 · Isolierring 3 mm
Kühlkörper für IC3, 30 K/W (z. B. Fischer Elektronik SK 12 SA 32)
Schaltnetzteil 24 V / ≥ 2,5 A
Platine 130144-1 [1]

www.elektorpcbservice.com

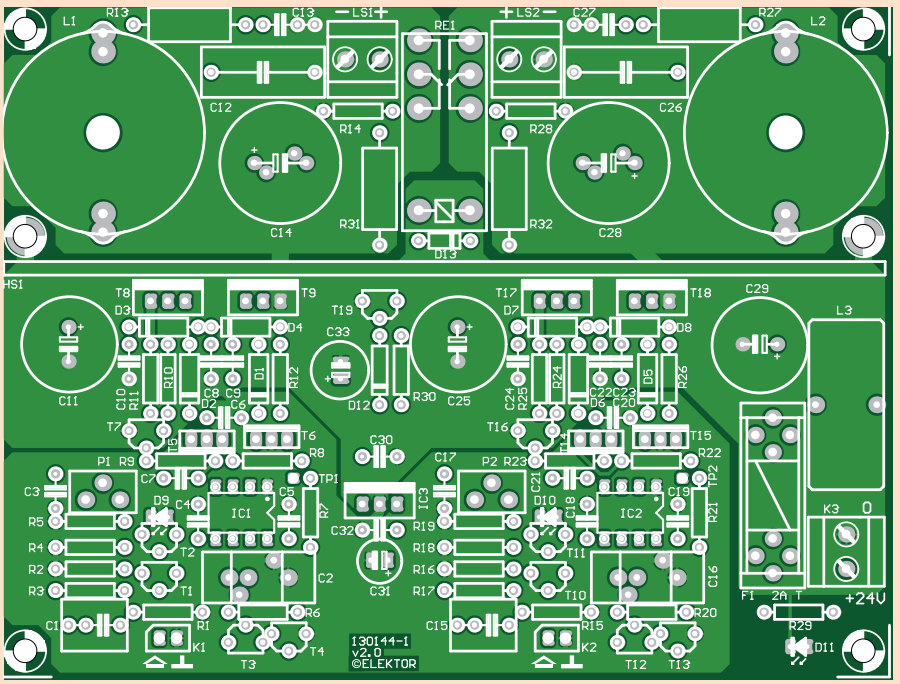


Bild 2. Platine für den Verstärker in der Stereo-Version. Die Aluplatte zur Kühlung der Endstufen-MOSFETs steht senkrecht auf der Platine. Wegen des Klasse-D-Konzepts ist die Wärmeentwicklung gering.

nung diesen Kondensator über einen Widerstand. Weil die Lade- und Entladespannung logarithmisch verlaufen, sind starke Nichtlinearitäten die Folge, was die Qualität eines Audioverstärkers sicher nicht steigert. Das Problem ist lösbar, indem der Kondensator nicht mit konstanter Spannung, sondern konstantem Strom geladen wird. Das übernehmen hier die Stromquelle mit T2 und der Spannungs-Strom-Umsetzer mit T3 und T4. Die Spannung an C2 verläuft nun nahezu dreieckförmig, das PWM-Ausgangssignal des 555 verhält sich bezogen auf das Eingangssignal fast linear. Das Audiosignal an K1 beeinflusst über T1 die Lade- und Entladezeiten des Kondensators C2, so dass ein pulsbreiten-moduliertes Ausgangssignal entsteht. Die Schaltfrequenz beträgt ungefähr 250 kHz.

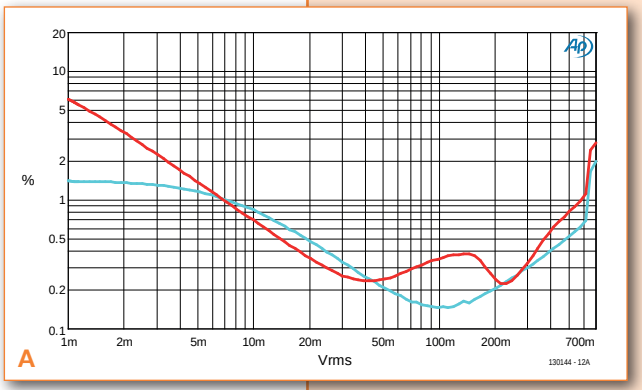
Damit die nachfolgende Stufe den 555 nicht unzulässig belastet, ist die aus T5 und T6 bestehende Pufferstufe nachgeschaltet.
Das gepufferte PWM-Signal steuert die mit den MOSFETs T8 und T9 aufgebaute Push-Pull-Leistungsstufe, sie liefert genügend Strom für den 4-Ω- oder 8-Ω-Lautsprecher. Wichtig ist hier, dass T8 und T9 niemals gleichzeitig im Leitzustand sein dürfen, in diesem Fall ist die Betriebsspannung kurzgeschlossen. Außerdem muss die so genannte Totzeit möglichst kurz sein, weil sie Verzerrungen im Audiosignal zur Folge hat. Die Totzeit ist die Zeit, in der beide MOSFETs gleichzeitig sperren. Bei der Betriebsspannung 15 V des 555 sind mit diesem Konzept an 4-Ω-Lasten nur geringe Ausgangsleistungen erzielbar. Um die Ausgangsleistung anzuheben, liegen die MOSFETs an der höheren Betriebsspannung 24 V.
In der Konfiguration von T8 und T9, wie sie in Bild 1 dargestellt ist, kann die steuernde Gatespannung an T8 nicht den Wert erreichen, der diesen MOSFET vollständig in die Sättigung steuert. Die Ausgangsspannung bleibt immer unter 15 V, viel Leistung wird als Verlustwärme an die Umwelt abgegeben.
Transistor T7 löst dieses Problem durch Bootstrapping der an T8 liegenden Gatespannung. Wenn am Eingang des Puffers T5/T6 die hohe Spannung 15 V liegt, wird T7 in den Leitzustand gesteuert, so dass T8 sperrt. Kondensator C9 lädt sich über D2 und T9 bis ungefähr 24 V auf. Zu dieser Zeit ist T9 im Leitzustand, denn sein Gate ist unmittelbar mit Puffer T5/T6 verbunden. Geht der Ausgang des Puffers auf die niedrige Spannung 0 V, sperren T7 und T9. Das hat zur Folge, dass die Betriebsspannung 24 V in Reihe mit der an C9 liegenden Spannung geschaltet ist. Die Summe der Spannungen beträgt bezogen auf Masse ungefähr 45 V. Die hohe Spannung steuert T8 vollständig in den Leitzustand, die Schaltung arbeitet wie gewollt. Jetzt beträgt die Amplitude des PWM-Ausgangssignals 24 V, und die MOSFETs T8 und T9 bleiben fast kalt.
Die Totzeit wird von der Kombination D1/R12 so beeinflusst, dass die Einschaltzeit und die Ausschaltzeit von T9 unterschiedlich sind. Die Gate-Kapazität lädt sich langsam über R11 auf und entlädt sich schnell über D1.
Das LC-Glied L1/C12 am Verstärkerausgang dämpft die rechteckförmige 250-kHz-Komponente im Ausgangssignal. Die Werte sind so dimensioniert, dass die Eckfrequenz (-3-dB-Wert) bei 37 kHz liegt. Die RC-Kombination R13/C13 beugt unerwünschter Schwingneigung vor, falls keine Last am Ausgang angeschaltet ist.
Ein Spannungsregler 7815 (IC3) stellt die stabilisierte Spannung 15 V für den Schaltungsteil mit dem 555 bereit. Auf einen Überlastschutz wurde verzichtet, die Anschaltverzögerung mit T19 sorgt lediglich dafür, dass der Lautsprecher kein Einschaltgeräusch von sich gibt.
Als Stromversorgung eignet sich beispielsweise ein handelsübliches Schaltnetzteil, das 24 V liefert und mit mindestens 2,5 A belastbar ist. Die Drossel L3 in der Leitung der Betriebsspannung hält überlagerte, durch den Schaltbetrieb verursachte Störsignale vom Verstärker fern.

Aufbauen

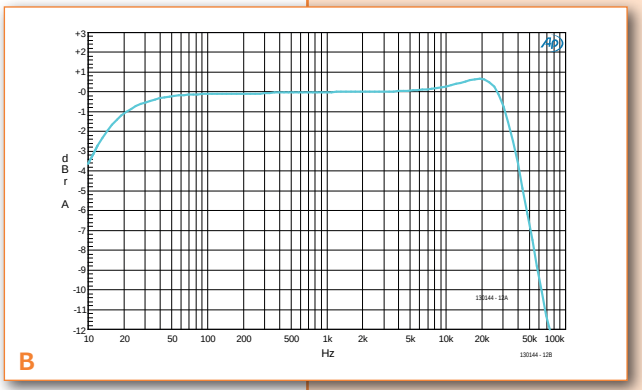
Das Layout der Platine für den Verstärker in der Stereo-Version ist in **Bild 2** wiedergegeben. Alle verwendeten Bauelemente sind bedrahtet, so dass die Montage mit einfachem Lötgerät möglich ist. Auf der Platine steht die Kühlplatte der Endtransistoren senkrecht, sie dient hauptsächlich der Betriebssicherheit, denn die Endtransistoren werden höchstens lauwarm.

Die frequenzbestimmenden Kondensatoren C2 und C16 müssen von hoher Qualität sein, wir empfehlen den Einsatz von Polystyrol- oder Glimmer-Kondensatoren. Um die Temperaturdrift der Stromquellen T2 und T11 niedrig zu halten, müssen die rechteckförmigen LEDs D9 und D10 mit den Transistoren T2 und T11 paarweise in flächigem thermischem Kontakt stehen. Auf der Platine sind die zusammengehörigen Bauelemente benachbart angeordnet. Für die Induktivitäten L1

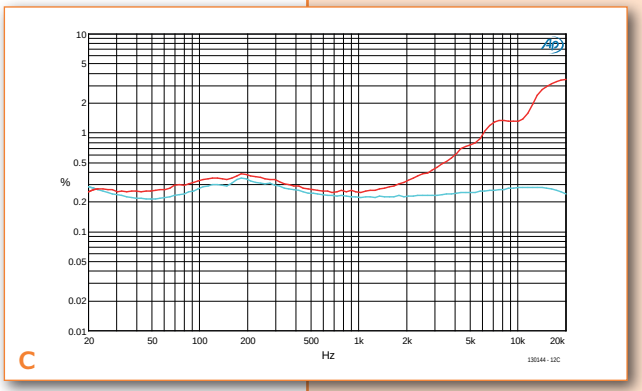
Messungen



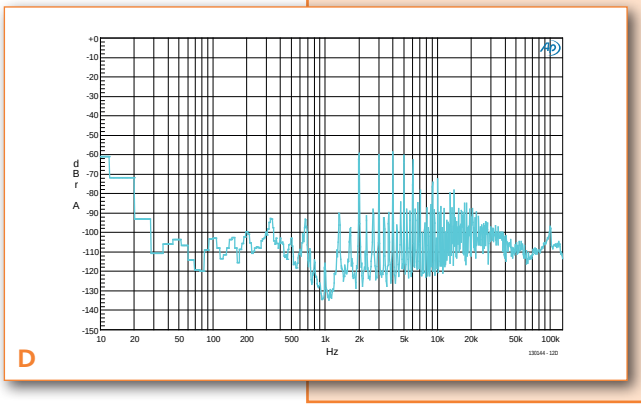
A



B



C



D

Wegen des vereinfachten Konzepts und der fehlenden Überalles-Gegenkopplung können Verzerrungsmessungen natürlich keine sensationell niedrigen Werte ergeben. Trotzdem sind die Ergebnisse mehr als zufriedenstellend. Uns erscheint bemerkenswert, dass sich die Anteile der Stufen an den Verzerrungen in bestimmten Aussteuerbereichen ganz oder teilweise kompensieren.

Plot A, der den Verlauf der THD abhängig vom Eingangssignal zeigt, führt den genannten Kompensationseffekt vor Augen (f=1 kHz, B=22 kHz). Die blaue Kurve stellt die Verzerrungen am Ausgang des 555 (Pin 3) nach Filtern des Oszillatorsignals dar, während die rote Kurve die Verzerrungen am Verstärkerausgang wiedergibt. Wenn die Eingangsspannung im Bereich 7...40 mV liegt, sind die Verzerrungen am Verstärkerausgang niedriger als am Ausgang des 555. Ursache können die Totzeit in der Endstufe (vergleichbar mit den Verzerrungen bei Klasse-B-Verstärkern) oder der passive Ausgangsfilter sein.

Plot B zeigt den Frequenzgang bei der Leistung 1 W an 8 Ω. Die untere Eckfrequenz (-3-dB-Wert) liegt bei 11 Hz, die obere Eckfrequenz bei 38 kHz, und bei etwa 19 kHz ist eine leichte Überhöhung um 0,66 dB zu beobachten. Die Überhöhung lässt sich mindern, indem die Kapazität von C12 (im anderen Kanal C26) auf 390 nF herabgesetzt wird. Allerdings hat dies auch zur Folge, dass die Unterdrückung der Oszillatorfrequenz um etwa 4 dB sinkt.

Plot C macht die Harmonischen Verzerrungen plus Rauschen (THD+N) als Funktion der Frequenz bei 8 Ω als Last sichtbar. Die rote Kurve gehört zu dem Signal vor dem Ausgangsfilter, die blaue Kurve zu dem Signal hinter diesem Filter. Daraus lässt sich entnehmen, dass der Filter seinen Zweck gut erfüllt und bei hohen Frequenzen die Intermodulationsprodukte effizient unterdrückt. Bei beiden Messungen kam das Klasse-D-Messfilter aus dem Jahr 2011 zum Einsatz [3], die Bandbreite des Analysers war auf 80 kHz begrenzt.

Plot D ist die FFT eines 1-kHz-Signals bei 1 W an 8 Ω. Die fünf Harmonischen, die für die Verzerrungen verantwortlich sind (THD+N = 0,23 %), liegen auf dem Pegel -60 dB. Außerdem sind Intermodulationsprodukte in Frequenzabständen von 326 Hz sichtbar. Ursache ist hier die Differenz der Taktfrequenzen, mit denen die Modulatoren arbeiten. Die Intermodulationsprodukte liegen unter -85 dB, sie verschwinden beim Abschalten eines Kanals. Die Intermodulationsprodukte treten nicht auf, wenn die Taktfrequenzen einen Abstand von mindestens 40 kHz haben.

und L2 an den Ausgängen empfehlen wir einen Schalenkern-Typ von Murata, für die Kondensatoren C12 und C26 einen Typ mit dem Dielektrikum Polypropylen.

Die MOSFETs haben wir durch keramische Unterlegscheiben von der Kühlplatte isoliert, Scheiben aus anderen Materialien wie beispielsweise Glimmer erfüllen den gleichen Zweck. Der erste Schritt beim Aufbau der Endstufe ist die mechanische Montage der MOSFETs auf der Kühlplatte. Die Anschlussdrähte werden so gebogen, dass sie in die zugehörigen Platinenbohrungen ragen, ohne dass auf die MOSFETs seitliche Kräfte einwirken. Die Kühlplatte wird mit zwei Bügeln auf der Platine befestigt, die Bügel stellen auch die Verbindung mit Masse her. Die Anschlussdrähte der MOSFETs werden erst nach der mechanischen Montage an die Platine gelötet.

Der Spannungsregler IC3, ein 7815, erhält ebenfalls einen Kühlkörper, zum Beispiel vom Typ SK12 SA32 des Herstellers Fischer Elektronik. Der Kühlkörper darf den Kondensator C33 thermisch nicht beeinflussen.

Einstellen

Verbinden Sie den Audiosignaleingang mit Masse und stellen Sie das Ausgangssignal des 555 (IC1) mit dem Mehrgang-Trimmpoti P1 auf bestmögliche Symmetrie ein. Am Ausgang hinter L1 muss nun die halbe Betriebsspannung 12 V liegen. Damit ist der Klasse-D-Audioverstärker einsatzbereit. Schließen Sie eine Signalquelle und ein Boxenpaar an und lassen Sie sich vom ausgewogenen Klangbild dieses Verstärkers überraschen. Mit einem Röhrenverstärker hat er einiges gemeinsam.

(130144)gd

Weblinks

[1] www.elektor-magazine.de/130144

[2] www.elektor-labs.com/130144

[3] www.elektor-magazine.de/100540

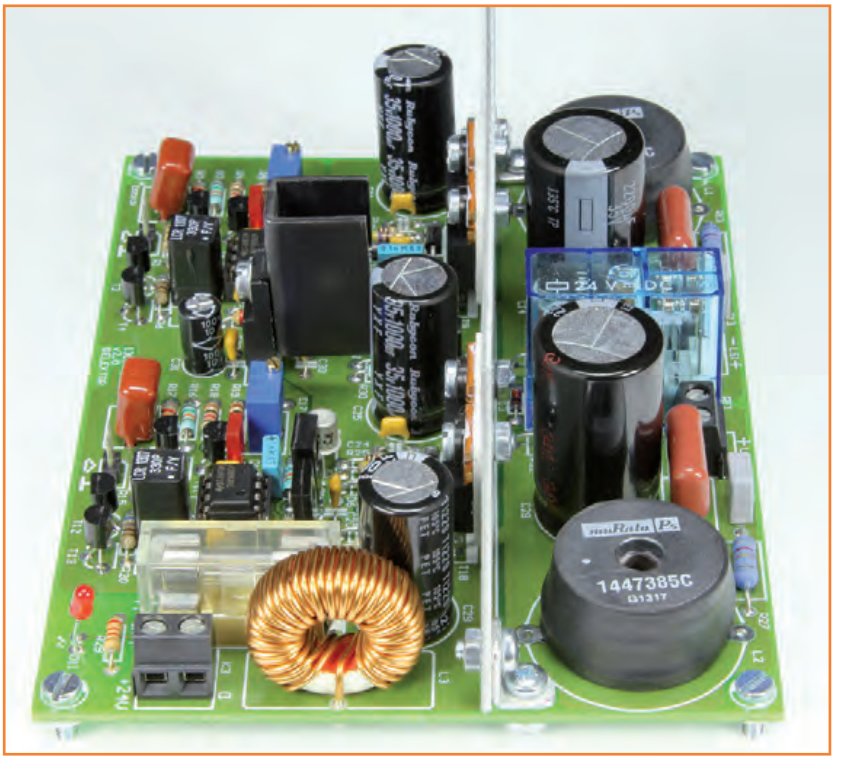
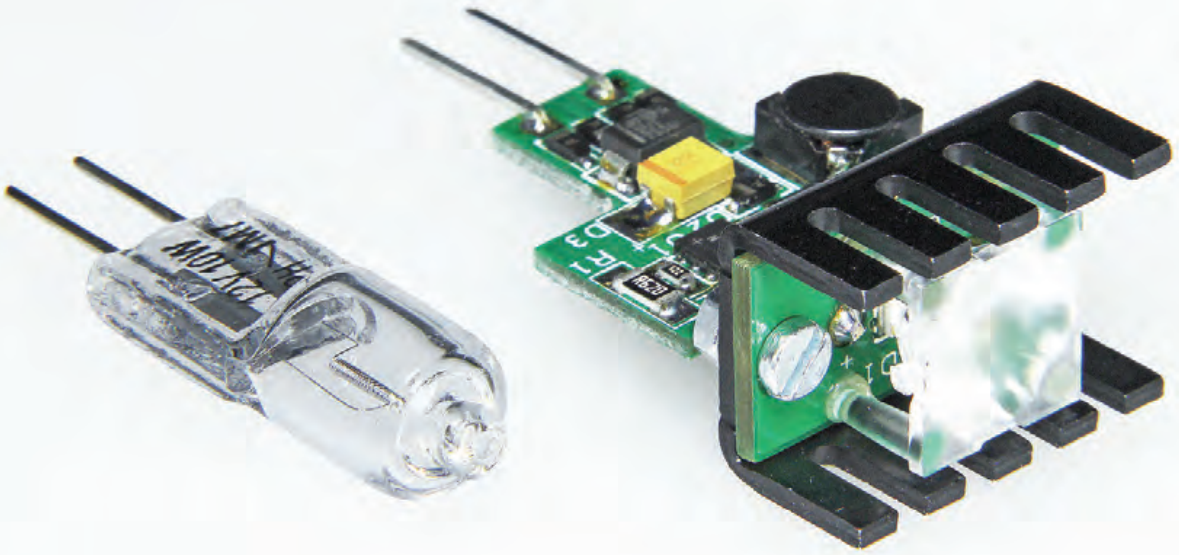


Bild 3. Im Foto, aufgenommen von der Seite, sind die Bauelemente links und rechts der Kühlplatte sichtbar.

Bild 4. Bei diesem Laboraufbau wurden die Endstufen-MOSFETs auf keramischen Isolierscheiben mit der Kühlplatte verschraubt.

LED statt Halogen

Ersatz für Halogenlampe GU4



Von
Fons Janssen
(Maxim Integrated)

Die Beleuchtung im Wohn- und Arbeitsbereich steht im Zeichen sparsamer LED-Leuchtmittel, die zu herkömmlichen Glüh- und Leuchtstofflampen elektrisch und mechanisch kompatibel sind. Diese LED-Lampe ersetzt eine Halogen-Stiftsockellampe 12 V/10 W mit Sockel GU4. Der Energiebedarf beträgt nur ein Zehntel des Originals: Eine Alternative, die sich rechnet!

LED-Leuchtmittel sind auf dem Vormarsch, erst recht seit die EU-Kommission die gute alte Edison-Glühlampe mit einem Bann belegt hat. Die Entwicklung von LED-Lampen, die in den elektrischen, mechanischen, optischen und thermischen Eigenschaften kompatibel sind, ist ein komplexes Unterfangen. Diese Aufgabe bleibt den Laboren der Leuchtmittel-Industrie vorbehalten. Das kann uns jedoch nicht hindern, ein Äquivalent für eine 12-V-Stiftsockellampe zu bauen. Auch wenn einige Kompromisse unvermeidbar sind, das Ergebnis ist eine voll funktionstüchtige LED-Lampe, die viel Energie spart.

LED-Alternative

Die hier vorgestellte LED-Lampe ist eine Alternative für eine Halogen-Stiftsockellampe der Bauform GU4. Die Zahl „4“ in der Typenbezeichnung weist darauf hin, dass der Abstand der Stifte 4 mm beträgt. Im Titelfoto sind die beiden Lampentypen einander gegenüber gestellt. Die Lichtausbeute der LED-Lampe, Energiebedarf etwa 1 W, ist mit einer 10-W-Halogenlampe vergleichbar. Der Spareffekt beträgt stolze 90 %! Bei der Betriebsspannung 12 V sind die Anforderungen an die elektrische Sicherheit weniger streng als bei der Netzspannung 230 V. Der Transformator von 230 V auf 12 V trennt die LED-Lampe galvanisch vom Netz. Spannungsführende Teile der Lampe dürfen berührt werden, ohne dass der Fehlerstrom-Schutzschalter im Sicherungskasten auslöst. Wie das Foto zeigt, hat unsere LED-Variante etwas größere Abmessungen als das Original, so dass sie nicht in jede enge Leuchte mit GU4-Fassung passt. Bei den meisten Anwendungen ist jedoch genügend Raum vorhanden, zum Beispiel beim so genannten „Sternenhimmel“. Das sind GU4-Lampen, die über

die Decke eines Raums verteilt sind, so dass sie an einen Sternenhimmel erinnern. Unsere LED-Lampe passt dort in die Fassungen, verglichen mit der Halogen-Lampe ragt sie jedoch geringfügig tiefer in den Raum hinein. Da die Lampe frei hängt, wird sie von der umgebenden Luft optimal gekühlt. Der direkte Blick in das Licht der LED kann die die Augen schädigen, denn die LED ist eine starke, punktförmige Lichtquelle. Damit dies nicht geschieht, wird das Licht von einer speziellen Linse (LED-Optik) gestreut.

Konstruktion

Auf der Wunschliste steht, dass die LED-Lampe unkompliziert, robust und natürlich sparsam sein soll. Die Bauteile sollen preisgünstig sein, sie sollen zum gängigen Sortiment des Handels gehören.

Wie das Foto zeigt, ist die Konstruktion denkbar einfach. Zwei Miniplatinen werden über abgewinkelte Stiftkontakte miteinander verbunden, ein Gehäuse ist nicht nötig. Zwei Gewindeschrauben M2 pressen die LED-Platine auf einen Kühlkörper des Typs TO-220. Die LED-Optik wird mit einem Tropfen Sofortkleber auf der LED-Platine fixiert. Die Kontakte, die in die Fassung gesteckt werden, sind vom gleichen Typ wie die Kontakte, die die Platinen miteinander verbinden.

Die LED gehört zur Produktreihe Luxeon Rebel von Luxeon Lumileds. Diese LEDs sind in diversen Farben und Farbtemperaturen im Handel. Die Leistung der Steuerelektronik ist auf 1 W begrenzt, was den Vorteil hat, dass jeder LED-Typ aus der Lumiled-Rebel-Reihe anschließbar ist. Die Kühlung der LED ist unbedingt notwendig, außerdem arbeiten LEDs bei niedrigen Temperaturen effizienter als bei hohen Temperaturen. Die mäßige Wärmeentwicklung der Lumiled Rebel erlaubt eine knappe Dimensionierung des Kühlkörpers.

Schaltung

Wie die Steuerelektronik unserer LED-Lampe geschaltet ist, geht aus **Bild 1** hervor. Die Dioden D1a...D1d richten die angelegte Wechselspannung 12 V gleich, Elko C1 glättet die Gleichspannung. Dieser Kondensator ist ein Tantal-Elko, denn andere Typen können mit der Frequenz 100 Hz mechanisch schwingen und störende Brummgeräusche verursachen. Diode D3 schützt die Schaltung vor Beschädigung durch Spannungsspitzen, die der Betriebsspannung überlagert sein können. Der steuernde Baustein MAX16820 von Maxim ist ein Step-down-LED-Treiber, mit dem Ausgang ist ein Schalt-MOSFET des Typs IRLML2030 (T1) verbunden. Der MAX16820 regelt die Spannung am Stromfühler-Widerstand R1 auf 200 mV ein, so dass der Strom durch R1, L1 und die LED gleich 200 mV / 620 mΩ ≈ 320 mA ist. Da die LED-Durchlassspannung etwa 3 V beträgt, liegt die elektrische Leistung der LED bei 3 V · 320 mA ≈ 1 W. Die Arbeitsweise der Stromregelung ist schnell erklärt: Wenn die an R1 abfallende Spannung kleiner als 190 mV ist, wird MOSFET T1 in den Leitzustand gesteuert. Der Strom steigt mit der Geschwindigkeit $dI/dt \approx (V_{in} - V_{LED}) / L$ linear an. Sobald die Spannung an R1 die Schwelle 210 mV übersteigt, sperrt MOSFET T1. Der Strom sinkt linear mit der Geschwindigkeit $dI/dt \approx V_{LED} / L$, denn er wird über D2 zum Eingang rückgeführt. Ist die untere Schwelle 190 mV erreicht, wird MOSFET T1 wieder in den Leitzustand gesteuert, der Zyklus beginnt von vorn. Es fließt ein sägezahnförmiger

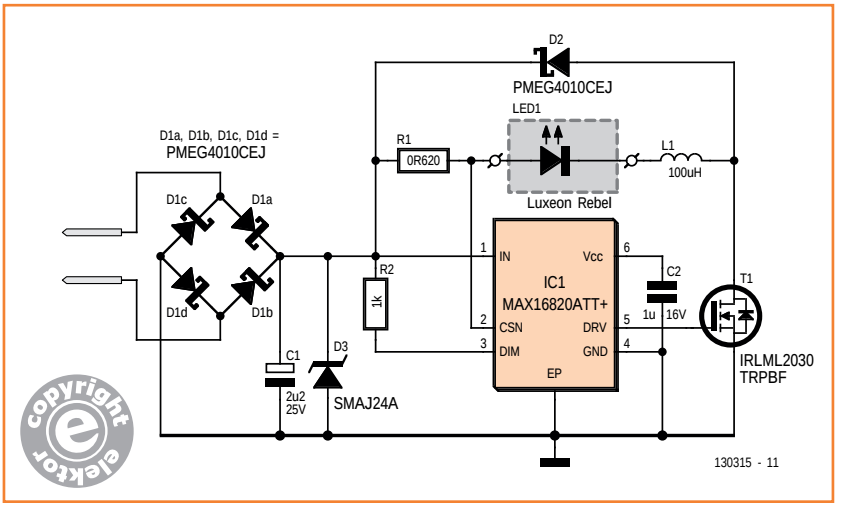
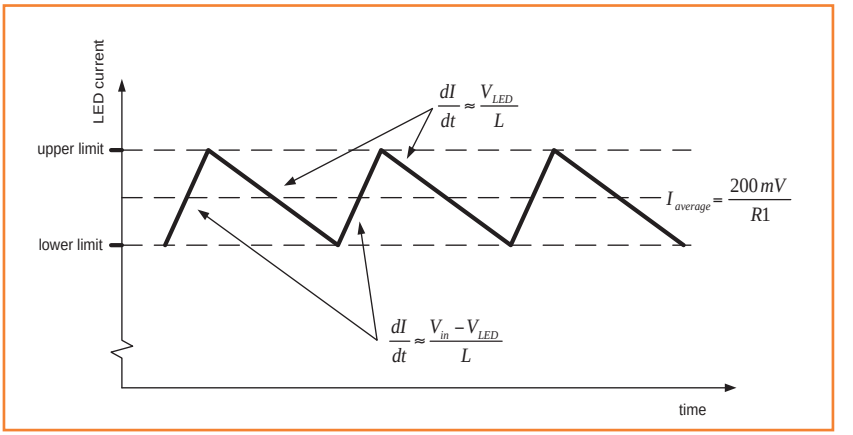


Bild 1.
Der Treiberbaustein der LED-Lampe ist der MAX16820 von Maxim.

Bild 2.
Der Strom, der durch die LED fließt, hat die Form eines Sägezahns.



Stückliste

Widerstände:
R1 = 0Ω620 (SMD1206)
R2 = 1 k (SMD0603)

Kondensatoren:
C1 = 2µ2/25 V (SMD3528)
C2 = 1 µ/16 V (SMD0603)

Induktivitäten:
L1 = 100 µH (z. B. LPS5030-104MLB)

Halbleiter:
D1a,b,c,d,D2 = PMEG4010CEJ (SOD323F)
D3 = SMAJ24A (SMA)
LED1 = LED Luxeon Rebel
T1 = IRLML2030TRPBF (SOT23)
U1 = MAX16820ATT+ (6 TDFN–EP)

Außerdem:
PL1 = 4 Stiftkontakte, abgewinkelt

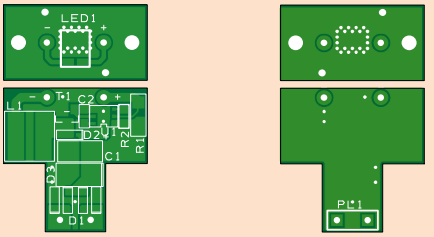


Bild 3. Auf der zweiteiligen Platine sind die Dioden D1a...D1d aus Platzmangel mit D1 bezeichnet.

LED-Optik: RS Components 697-4288 oder Conrad 183213
Sternenhimmel: Z. B. Conrad 570590, 570591, 570592 oder 570593

Strom, sein Verlauf ist in **Bild 2** skizziert. Die Schaltfrequenz hängt von der Eingangsspannung ab. Da hier die Eingangsspannung nicht konstant ist, schwankt auch die Schaltfrequenz. Weitere Informationen zum LED-Treiber MAX16820 enthält der Elektor-Beitrag „LED-Treiber-Simulation“ vom Juni 2009 [1].

Platine

Die Miniplatinen wurden mit dem CAD-Programm DesignSpark entworfen. Durchsteckend sind nur vier Stiftkontakte zu montieren, alle übrigen Bauelemente haben SMD-Bauform. In **Bild 3** sind die Layouts dargestellt. Die Dateien für DesignSpark können frei von der Projektseite [2] heruntergeladen werden.
Diverse Durchkontaktierungen leiten die LED-Wärme zur Platinenunterseite, sie hat thermischen Kontakt zum Kühlkörper. Die LED-Platine ist gleichzeitig die Bohrschablone für den Kühlkörper. Die vorhandene Bohrung eines gängigen TO-220-Kühlkörpers stimmt mit einem LED-Anschlusspunkt überein. Die übrigen Bohrungen werden mit einem 2-mm-Bohrer gebohrt.

Um Kurzschlüsse zu vermeiden, überdeckt die Lötmaske auf der Unterseite der LED-Platine alle elektrischen Anschlüsse. Die Stiftkontakte der Anschlüsse werden deshalb auf der Oberseite verlötet. Auf beiden Seiten der LED befinden sich zwei Bohrungen, die der LED-Optik Halt geben. Für die Montage der meisten SMD-Bauelemente genügen ein Lötkolben mit feiner Spitze, eine Pinzette und eine ruhige Hand. Der MAX16820 und die LED sind etwas schwieriger handhabbar, hier sind ein Heißluft-Lötkolben oder ein Reflow-Lötofen die passenden Werkzeuge.

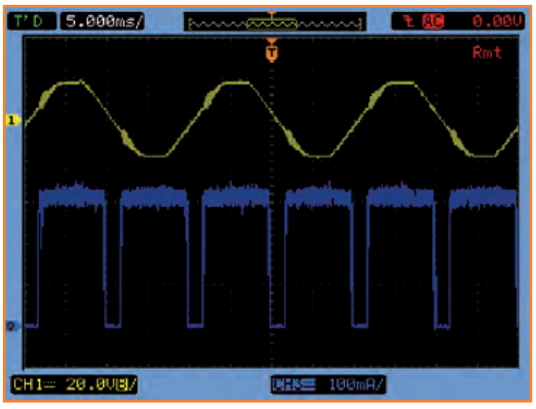


Bild 4.
Das Oszillogramm stellt den LED-Strom (unten) abhängig von der Eingangsspannung (oben) dar.

Messungen

Die Abhängigkeit des LED-Stroms von der Eingangsspannung ist in **Bild 4** dargestellt. Den Hauptteil der Zeit nimmt die Regelung auf den Sollwert 320 mA in Anspruch. Da die untere Spannungsgrenze des MAX16820 4,5 V beträgt, wird der LED-Strom nahe den Nulldurchgängen der sinusförmigen 50-Hz-Spannung unterbrochen. Wegen der Trägheit des menschlichen Auges ist das Flackern mit der Frequenz 100 Hz nicht wahrnehmbar. Für den Glättungskondensator bedeutet

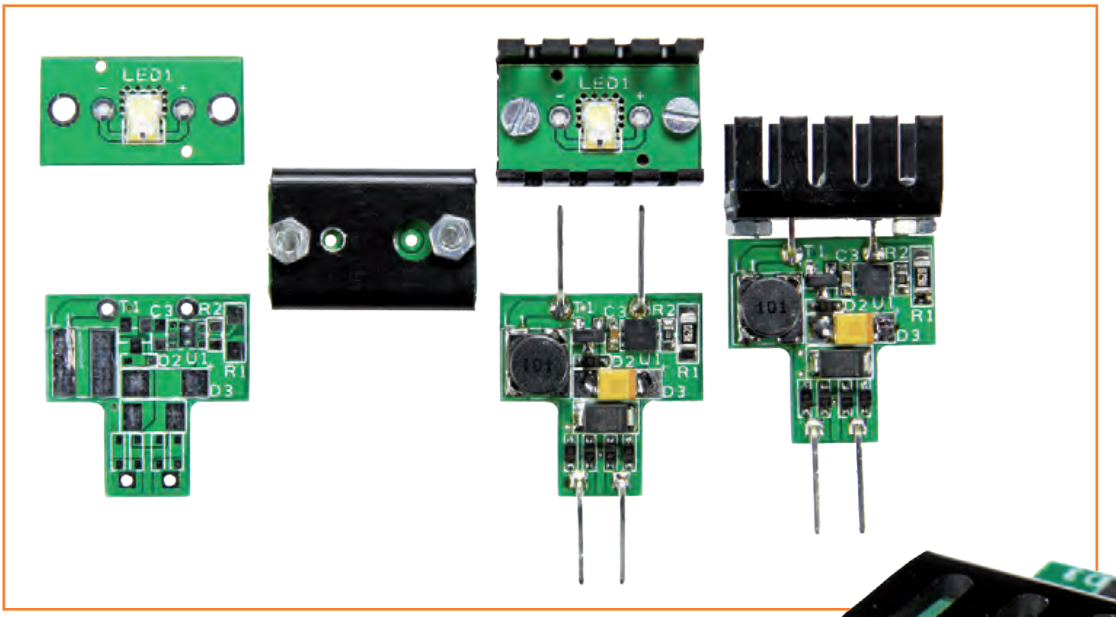
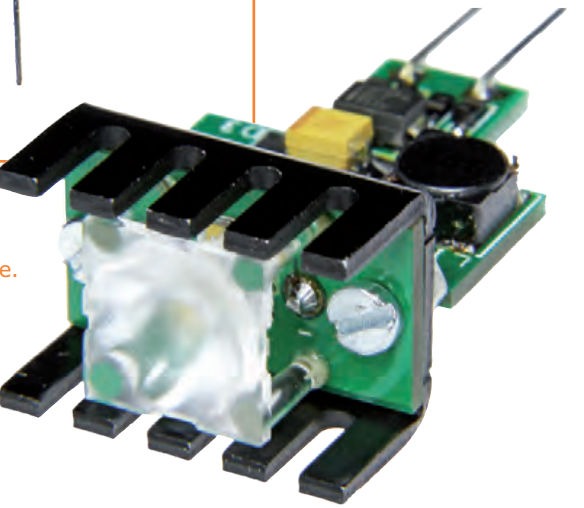


Bild 5.
Die Fotos zeigen die Bauphasen der LED-Lampe: Die vorbereiteten Platinen (die LED ist bereits montiert), die Bohrungen auf der Unterseite des Kühlkörpers, die bestückten Platinen mit montiertem Kühlkörper, die miteinander verbundenen Platinen, und ferner eine Nahaufnahme der LED-Optik.



dies, dass eine niedrige Kapazität ausreicht. Die LED ist während etwa 80 % der Zeit eingeschaltet, so dass die effektive Leistung 0,8 · 320 mA · 3 V = 0,77 W beträgt. Damit liegt die von der LED-Lampe aufgenommene Gesamtleistung nahe 1 W. Der LED-Strom lässt sich einstellen, indem der Wert von R1 geändert wird. Für höhere LED-Ströme gilt, dass die obere Temperaturgrenze der LED nicht überschritten werden darf.

(130315)gd

Weblinks

[1] www.elektor-magazine.de/080888

[2] www.elektor-magazine.de/130315

Elektronische Transformatoren

Ein besonderes Thema ist die Kompatibilität der LED-Lampe mit so genannten elektronischen Trafos. Diese Spannungswandler gibt es in vielen Varianten, doch fast allen ist gemeinsam, dass eine bestimmte Mindestlast angeschaltet sein muss. Wenn diese Last unterschritten wird, was für unsere LED-Lampe zutrifft, versagt der Spannungswandler seinen Dienst. Entweder leuchtet die LED-Lampe überhaupt nicht auf, oder sie beginnt unangenehm zu flackern. Dieser lästige Effekt lässt sich nur durch eine ziemlich komplexe Schaltung beheben, was jedoch den Rahmen dieses Beitrags sprengt. Aus dem genannten Grund eignet sich unsere LED-Lampe nur für den Betrieb an konventionellen 12 V/50 Hz-Netztrafos. Ein ausgemustertes Laptop-Netzteil, das an seinem Ausgang die Gleichspannung 12 V bereitstellt, ist eine clevere Alternative. In diesem Fall sind die Dioden D1a...D1d entbehrlich, sie sollten jedoch als Verpolungsschutz in der Schaltung verbleiben. Die LED-Leistung ist an Gleichspannung etwa 25 % höher als an Wechselspannung. Das liegt daran, dass die LED kontinuierlich leuchtet, an den Nulldurchgängen treten keine Pausen auf.

Photovoltaik-Systeme

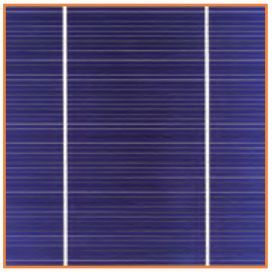
Berechnen und realisieren

Hier kommt ein einführender Überblick über grundlegende Zusammenhänge und neue Entwicklungen zum Thema Energiegewinnung aus der Sonne, mit einem elementaren Beispiel für das Berechnen und Installieren einer Solaranlage.

Von
Pascal Rondane (F)
pascal.tours@gmail.com

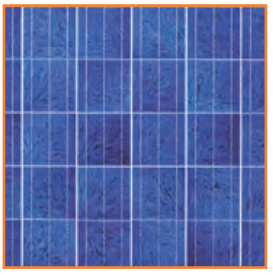
Zuerst sei vorangeschickt, dass die Photovoltaik eine recht junge Disziplin ist. Vieles befindet sich im Stadium der Entwicklung, noch längst ist nicht alles ausgereizt. Solarzellen, die auf der chemischen Verbindung Galliumarsenid basieren, führen heute mit 20...25 % die Skala der Wirkungsgrade an. Diese Systeme verursachen jedoch so hohe Kosten, dass sie fast ausschließlich für die Stromversorgung von Satelliten eingesetzt werden.

Nachfolgend sind die heute verbreitet angewendeten Technologien kurz zusammengefasst:



Silizium, monokristallin

Solarzellen aus monokristallinem Silizium weisen gute Wirkungsgrade auf, unter normierten Testbedingungen werden ungefähr 15 % erreicht. Die Zellen mit der charakteristischen blauen Färbung bestehen aus einem einzigen Kristall. Chemisches Grundelement ist Silizium in Form von Stäben. Nach Schmelzen und langsamem Abkühlen der Stäbe entsteht eine homogene Kristallstruktur.



Silizium, polykristallin

Polykristallin bedeutet, dass diese Solarzellen aus Silizium bestehen, das aus unterschiedlichen Kristallstrukturen zusammengesetzt ist. Bei der Betrachtung von außen wird dies durch das typische Bild eines Mosaiks sichtbar. Verglichen mit monokristallinen Solarzellen lassen sich polykristalline Zellen preiswerter herstellen, dies wird jedoch mit niedrigeren Wirkungsgraden von etwa 12...14 % erkauft.

Silizium, amorph

Solarzellen aus amorphem Silizium haben niedrige Wirkungsgrade, sie betragen nur 5...7 %. Da diese Zellen weitgehend unbeeinflusst von ihrer Umgebung arbeiten, werden sie gern in Massenprodukten wie Armbanduhren und Taschenrechnern verbaut.

CIS

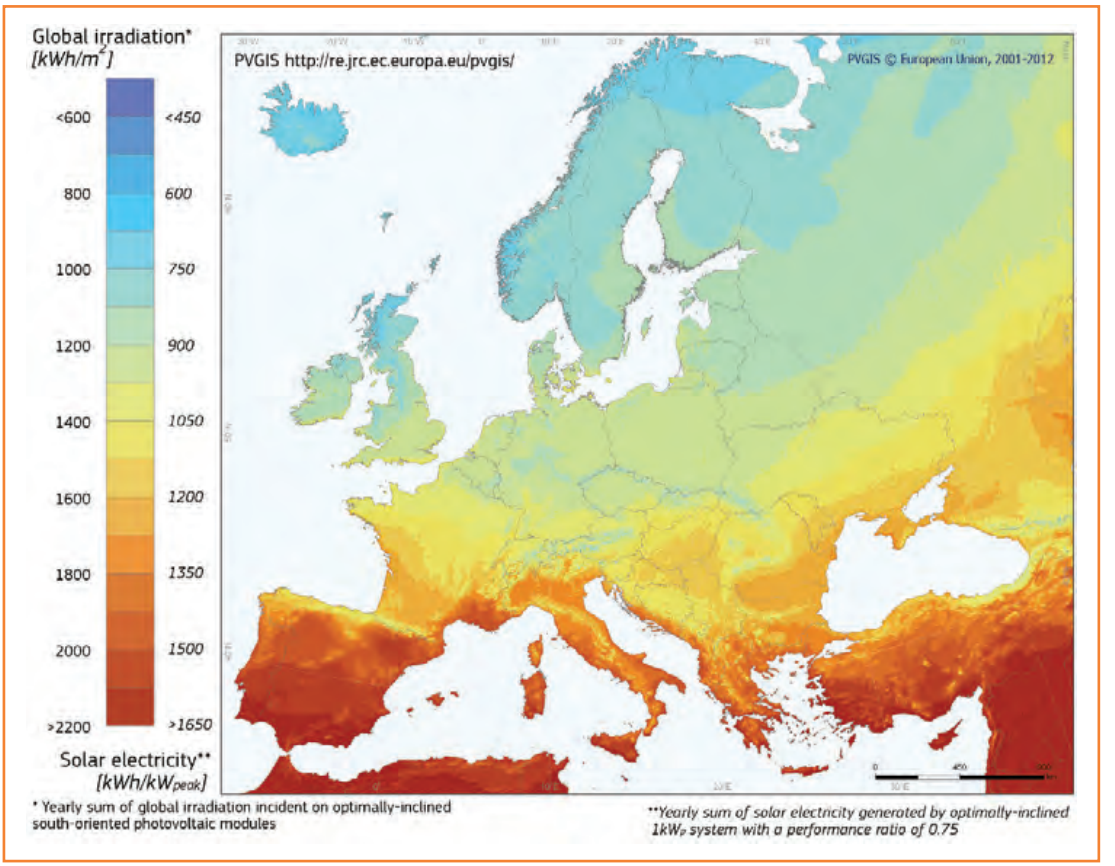
Das Kürzel CIS steht für Kupfer-Indium-Selen, es bezeichnet eine neue Generation von Dünnfilm-Solarzellen. Die zur Herstellung benötigten Stoffe sind leicht zugänglich und umweltverträglich. Solarzellen dieses Typs können als flexible Module gebaut werden, allerdings ist der Herstellungsprozess bisher noch ziemlich komplex. CIS-Solarzellen haben Wirkungsgrade von 10...14 % oder mehr. Gegenwärtig werden sie überwiegend für Anwendungen in der Industrie produziert.

Solarenergie, was ist das?

Photovoltaische Systeme setzen die Strahlungsenergie der Sonne in elektrischen Strom um. Da die Sonneneinstrahlung auf der Erde wetter- und jahreszeitabhängig nicht konstant ist, müssen nachgeschaltete Systeme die Energie puffern. Bei hochstehender Sonne und unbewölktem Himmel beträgt die Strahlungsleistung auf der Erdoberfläche ungefähr 1000 W/m². Ein bewölkter Himmel reduziert diesen Wert auf etwa 500 W/m², an trüben, regnerischen Tagen sinkt die Strahlungsleistung auf 100...50 W/m² oder sogar auf 0 W/m².

Die Strahlungsleistung wird auf die Einstrahlfläche bezogen und in Watt pro Quadratmeter (W/m²) ausgedrückt. Die nominale elektrische Leistung ist die Leistung, die das Solarsystem bei der Strahlungsleistung 1000 W/m² und der Temperatur 25 °C abgibt. Konkret bedeutet dies, dass ein Solarmodul mit der Nennleistung 20 W diese Leistung nur bei der Strahlungsleistung 1000 W/m², also bei strahlender Sonne und unbewölktem Himmel erreicht. Eine Wolkendecke reduziert die Leistung auf etwa die Hälfte. Der Wirkungsgrad eines Solarmoduls hängt auch von der Sperrschichttemperatur der Zellen ab. Für jedes Grad Celsius, das die Temperatur steigt, müssen etwa 0,4 % Verlust kalkuliert werden. Auf die Betriebstemperatur eines Solarmoduls haben die Sonneneinstrahlung, die Umgebungstemperatur, die Materialfarbe und nicht zuletzt die Windgeschwindigkeit mit 5...14 % einen Einfluss.

Ein weiteres wichtiges Kriterium für die Wirtschaftlichkeit ist die mittlere Anzahl der Sonnenstunden am Standort. Die Sonneneinstrahlung ist



auch an einem klaren Sommertag im Tagesverlauf erheblichen Schwankungen unterworfen. In vielen Erdregionen beläuft sich die Zeit der maximalen Sonneneinstrahlung auf wenige Stunden. Im Winter ist die Einstrahlung deutlich geringer, bei andauerndem Nebel oder Schneefall kann sie sogar für einige Tage auf Null sinken.

Dimensionierung und Inbetriebnahme

Beim Dimensionieren und Inbetriebnehmen photovoltaischer Systeme ist schrittweises Vorgehen eine bewährte Methode.

Berechnen des Energiebedarfs

Vor dem Durchführen von Berechnungen kann es nicht schaden, sich den Unterschied zwischen Leistung und Energie ins Gedächtnis zurückzurufen.

Die Leistung ist eine von der Zeit unabhängige Größe, die charakteristisch für ein umsetzendes System ist. Beispielsweise nimmt eine Glühlampe die Leistung 25 W auf und setzt sie in Strahlungsleistung (Licht) und Verlustleistung (Wärme) um. Elektrische Leistung wird in Watt (W), Kilowatt (kW) oder Megawatt (MW) gemessen.

Die Energie ist als Leistung integriert über eine endliche Zeit definiert, oder vereinfacht ausgedrückt:

Energie = Leistung · Zeit

Daraus lässt sich ableiten, dass die Einheit der elektrischen Energie die Wattstunde (Wh), die Kilowattstunde (kWh) oder die Megawattstunde (MWh) ist. Für Energiespeicher wie Akkus ist gebräuchlich, die Kapazität (Fassungsvermögen) in Amperestunden (Ah) anzugeben. Die Energie ergibt sich aus der Kapazität multipliziert mit der Akku-Spannung.

Solarmodule liefern nur während der Tagesstunden Energie, bei Berechnungen wird trotzdem der aus Tag und Nacht bestehende Zeitraum von 24 h als Zeiteinheit angesetzt.

Dimensionieren des Akkus

Da Solarmodule nur Energie liefern, solange sie beleuchtet werden, die Energie jedoch ständig verfügbar sein soll, müssen Akkus (Energiesammler) die Energie speichern. Die Überbrückungszeit ist die Zeit, in der ein Akku die angeschaltete Last mit Strom versorgen kann, ohne vom Solarmodul nachgeladen zu werden. Von Solarsystemen für den allgemeinen Gebrauch wird gefordert, dass die Überbrückungszeit unter winterlichen Bedingungen und geringer Sonneneinstrahlung drei Tage beträgt.

Die erforderliche Kapazität des Akkus lässt sich wie folgt berechnen: Der Bedarf in Ah/Tag wird mit der Überbrückungszeit in Tagen multipliziert und dann durch den Verlustfaktor 0,7 dividiert. Der Verlustfaktor berücksichtigt die niedrigste mögliche Betriebstemperatur, den Wirkungsgrad und die Selbstentladung des Akku, den Wirkungsgrad des Reglers sowie sonstige, kleinere Verluste. Aus der Rechnung ergibt sich der reale, von der Zeit unabhängige Energievorrat. In nachstehendem Beispiel beträgt die Kapazität (der Energievorrat) 70 % der nominalen Akku-Kapazität.

Tatsächliche Kapazität =
Nominale Kapazität · Verluste in %

Tabelle 1

Verbraucher	Anzahl	Strombedarf	Betriebsdauer pro 24 h	Energie = Strom · Zeit
Solarregler	1	0,020 A	24 h	0,020 x 24 = 480 mAh
LED-Lampe	3	0,150 A	4 h	0,150 x 3 x 4 = 1,8 Ah
Energiebedarf pro 24 h			2,28 Ah	
Energiebedarf pro Tag			2,28 x 12 V = 27,36 Wh/Tag	

$$C(Ah) = \frac{Energiebedarf\ während\ 24\ h \cdot Überbrückungszeit\ in\ Tagen}{0,7}$$

Damit ist

$$C(Ah) = \frac{2,736 Ah/Tag \cdot 5\ Tage}{0,7} \simeq 20 Ah$$

Der Akku-Typ soll vorzugsweise ein wartungsfreier Bleigel-Akku sein, ein Beispiel ist der Yuasa 12 V/15 Ah. Motorrad-Akkus sind für Solarsysteme weniger geeignet, weil dort regelmäßig der Flüssigkeitsstand geprüft werden muss.

Berechnen der nutzbaren Sonnenenergie

Die Sonneneinstrahlung in W/m², die das Solarmodul in elektrische Energie umsetzen kann, variiert während des Tagesablaufs, sie hängt von den meteorologischen Bedingungen ab. Diverse Websites geben Auskunft über die Sonneneinstrahlung in Wh/m² als Funktion der Zeit, bezogen auf markante Orte der Erde. Für die Monate des Jahres sind die mittleren Werte angegeben. Bei der Projektierung einer Solaranlage muss der ungünstigste Wert in Ansatz gebracht werden. Eine Vorstellung von den erheblichen Unterschieden geben die folgenden Beispiele.

Berlin:	0,4	kWh/m²/Tag
Süd-Frankreich:	3	kWh/m²/Tag
Nord-Afrika:	5	kWh/m²/Tag

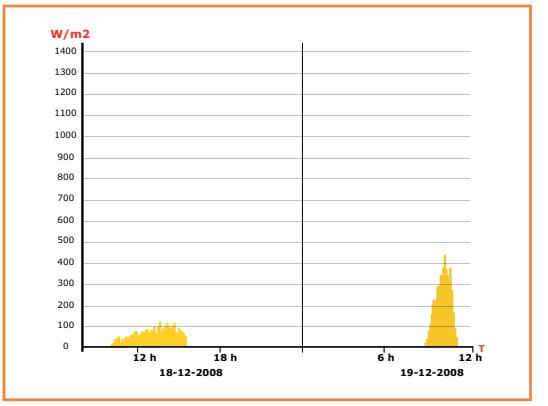
$$\text{Leistungs des Solarmoduls} = \frac{\text{Strombedarf während 24 h (Wh/Tag)}}{\text{Tägliche Sonneneinstrahlung (kWh/m}^2\text{/Tag)} \times \text{VerlustFaktor}}$$

$$= \frac{32,8\ Wh/Tag}{1,120 \times 0,7} \simeq 41\ W$$

Folglich muss das benötigte Solarmodul ein Typ sein, der 50 W leistet. Ein Solarmodul, dessen Leistung nur 20 W bei identischer Last beträgt, wäre stark unterdimensioniert.

Beispiel für gemessene Sonneneinstrahlung

Aus der Übersicht für den Monat Dezember geht hervor, dass die Sonneneinstrahlung am Standort des Autors nur mäßige Werte erreichte: 50 W/m² am 18. Dezember und 200 W/m² am 19. Dezember. Die Messungen wurden mit einem



Solarimeter vorgenommen, das unmittelbar die Einstrahlung in W/m² anzeigt.

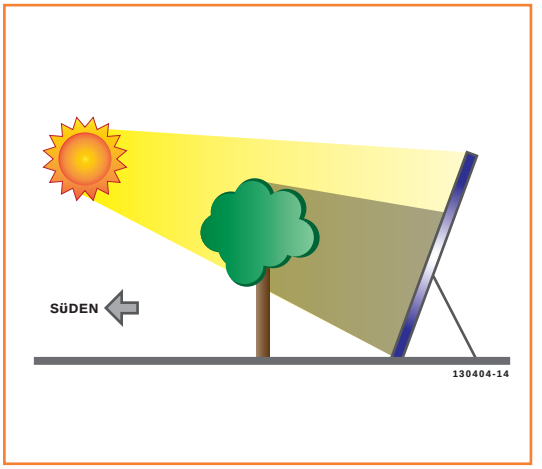
Inbetriebnahme von Solarmodulen

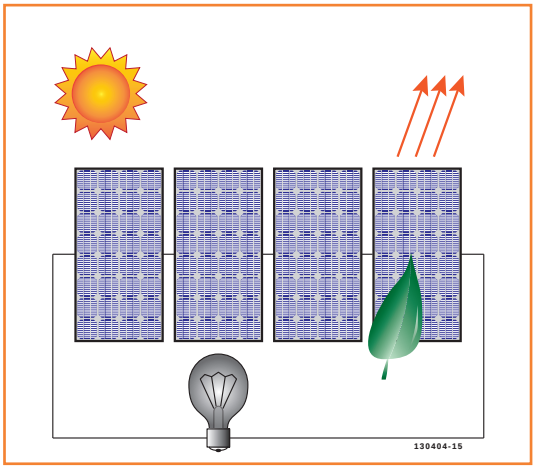
An der Effizienz eines Solarmoduls sind der Standort und die räumliche Ausrichtung maßgeblich beteiligt.

Orientierung: Das Solarmodul muss auf den höchsten Punkt ausgerichtet werden, den die Sonne erreicht. Wenn der Standort auf der nördlichen Erdhalbkugel liegt, ist Süden die Richtung, südlich des Äquators ist dies Norden.

Inklination: Als Faustregel gilt für den Neigungswinkel bezogen auf eine horizontale Fläche, dass zum Breitengrad des Standorts 15° addiert werden, das Ergebnis ist der erforderliche Neigungswinkel. Dieser Wert orientiert sich am höchsten Energieertrag während der sonnenarmen Wintermonate. Kommt das Solarmodul ausschließlich im Sommer zum Einsatz, ist der optimale Neigungswinkel wesentlich kleiner. Eine Website der Europäischen Kommission [2] gibt die optimale Inklination für jeden Monat des Jahres an. In **Tabelle 2** ist ein Beispiel wiedergegeben.

Der Energieertrag von Solarmodulen wird durch Abschattungen beeinträchtigt. Ursache sind meistens Schornsteine, Bäume oder nahegelegene Gebäude.
Ein Teil der Solarmodul-Fläche kann auch von herabgefallenem Laub, Vogelexkrementen oder anderen Verunreinigungen verdeckt sein. Solche störenden Einflüsse, die den Energieertrag mindern, müssen regelmäßig beseitigt werden. Wenn Strom durch abgedunkelte Zellen fließt, wird Energie in Verlustwärme umgesetzt. Dieser Effekt wird auch *Hot Spot Effekt* genannt.





Wartung: Bei Neigungswinkeln ab etwa 60° werden Solarmodule vom natürlichen Regen ausreichend sauber gehalten. Dann beschränken sich die Wartungsarbeiten darauf, die elektrischen Anschlüsse regelmäßig auf Lockerung und Oxidation zu überprüfen.

Tabelle für einen Standort in Zentral-Frankreich

Quelle: PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) [2]

Monatliche Sonnenscheindauer | Langzeit-Mittelwerte (PVGIS)
Standort: 47°13'10" Nord, 2°11'50" Ost, Höhe: 113 m über Normalnull
Datenbank: PVGIS-CMSAF
Optimaler Neigungswinkel: 36°
Jährliche Verluste durch Schatten (horizontal): 0,0 %

Monat	H_h	H_{opt}	H(36)	I_{opt}	T_{24h}	N_{DD}
Jan	1070	1710	1710	63	4.5	400
Feb	1780	2580	2580	57	5.4	341
Mär	3160	4120	4120	47	8.2	273
Apr	4590	5180	5180	33	10.4	173
Mai	5370	5390	5390	19	14.6	65
Jun	6050	5820	5820	13	18.3	16
Jul	5860	5780	5780	17	20.1	2
Aug	4960	5360	5360	28	20.2	15
Sep	3920	4920	4920	43	16.4	97
Okt	2290	3250	3250	54	13.3	214
Nov	1220	1910	1910	62	7.4	368
Dez	971	1530	1530	63	4.7	414
Jahr	3440	3970	3970	36	11.9	2378

H_h: Sonneneinstrahlung auf horizontaler Fläche (Wh/m²/Tag)
H_{opt}: Sonneneinstrahlung auf Fläche mit optimalem Neigungswinkel (Wh/m²/Tag)
$H(36)$: Sonneneinstrahlung auf Fläche mit Neigungswinkel 36° (Wh/m²/Tag)
I_{opt}: Optimaler Neigungswinkel (Inklination) (°)
T_{24h}: Temperatur, Mittelwert über 24 Stunden (°C)
N_{DD}: Anzahl der *Heating Degree Days* (HDD)
PVGIS © European Communities, 2001-2012

Prinzip eines Solar-Laderegelers

Ein Laderegler, wie er in diesem Heft [1] vorgestellt wird, schützt den Akku gegen Überladung und Tiefentladung. Beide Betriebszustände können den Akku irreparabel beschädigen. Im regulären Betrieb lädt das Solarmodul den Akku, der Akku versorgt die Last mit elektrischer Energie. Die wichtigsten Bestandteile eines Solar-Laderegelers werden nachfolgend kurz beschrieben:

Rückwärtssperrdiode

Diese Diode verhindert, dass sich der Akku über das Solarmodul entlädt, wenn das Solarmodul beispielsweise nachts nur wenig beleuchtet ist. In diesem Fall übersteigt die Akku-Spannung die Spannung des Solarmoduls, so dass ein rückwärts gerichtetes Spannungsgefälle entsteht. Wegen ihrer niedrigen Schwellenspannung von 0,4...0,6 V werden meistens Schottky-Dioden eingesetzt. Dagegen verursachen einfache Silizium-Dioden einen Spannungsabfall von etwa 0,8 V. Der höhere Spannungsabfall darf nicht vernachlässigt werden, bei einem 12-V-Solarmodul betragen die Verluste ungefähr 7 %.

Laderegler

Hauptaufgabe des Ladereglers ist das Verlängern der Akku-Lebensdauer. Wenn die Akku-Spannung die obere Grenze 14,4 V erreicht, unterbricht der Regler den Ladeprozess. Der Ladeprozess wird wieder aufgenommen, sobald die Akku-Spannung unter die untere Grenze 12,6 V sinkt. Die meisten Akku-Regler der neuen Generation verwenden für das Laden und Entladen Algorithmen, die für maximale Akku-Lebensdauer optimiert sind.

Entladebegrenzung

Die Entladebegrenzung verhindert die Tiefent-

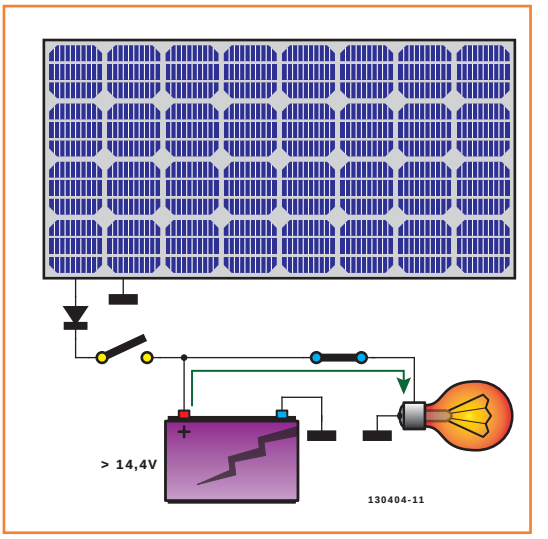
ladung des Akkus. Die vom Solarsystem versorgte Last wird abgeschaltet, wenn der Akku die Spannung 11,6 V unterschreitet. Erst wenn die Akku-Spannung über 12,6 V steigt, wird die Last wieder angeschaltet. Es existieren Akku-Typen, die Tiefentladungen tolerieren, sie sind jedoch kostenaufwendiger als Standard-Akkus. Oft enthalten die Datenblätter Diagramme, die Aufschluss über die Lebensdauer in Abhängigkeit von der Anzahl der Tiefentladungen geben. Grundregel ist, dass Tiefentladungen die Lebensdauer spürbar verkürzen.

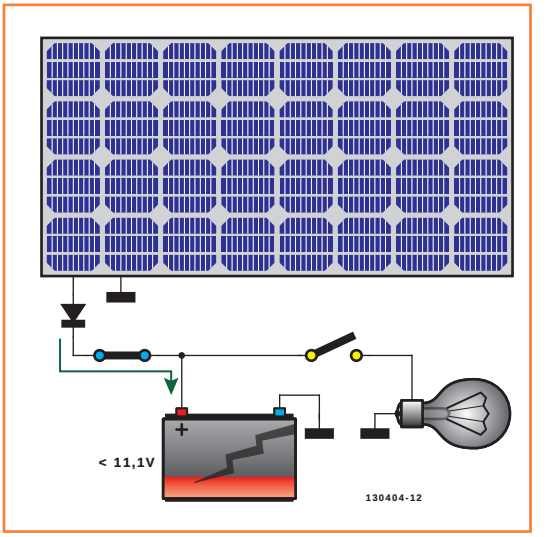
Betriebszustände

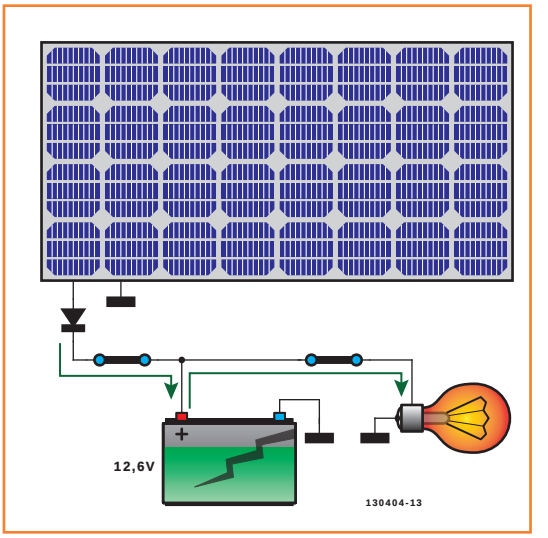
Nebenstehend sind drei Betriebszustände einer Solaranlage dargestellt. Oben ist der Akku vollständig geladen, die Last wird aus dem Akku versorgt, das Solarmodul ist abgeschaltet. In der Mitte ist der Akku tiefentladen, die Last ist deshalb abgeschaltet, der Akku wird vom Solarmodul geladen. Unten ist der Akku teilweise entladen, das Solarmodul und die Last sind gleichzeitig mit dem Akku verbunden.

Unterstützung beim Umsetzen der beschriebenen Grundprinzipien in die Praxis leistet ein Tabellenblatt, das von der zum Beitrag gehörenden Website [3] heruntergeladen werden kann. Unter anderem lässt sich die Überbrückungszeit einer photovoltaischen Anlage bestimmen, und für die Auswahl des Solarmoduls, des Reglers und des Akkus werden Entscheidungshilfen gegeben.

(130404)gd







Weblinks

[1] www.elektor-magazine.de/080305

[2] http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php#

[3] www.elektor-magazine.de/130404

Weiterführende Quellen

http://de.wikipedia.org/wiki/Photovoltaik

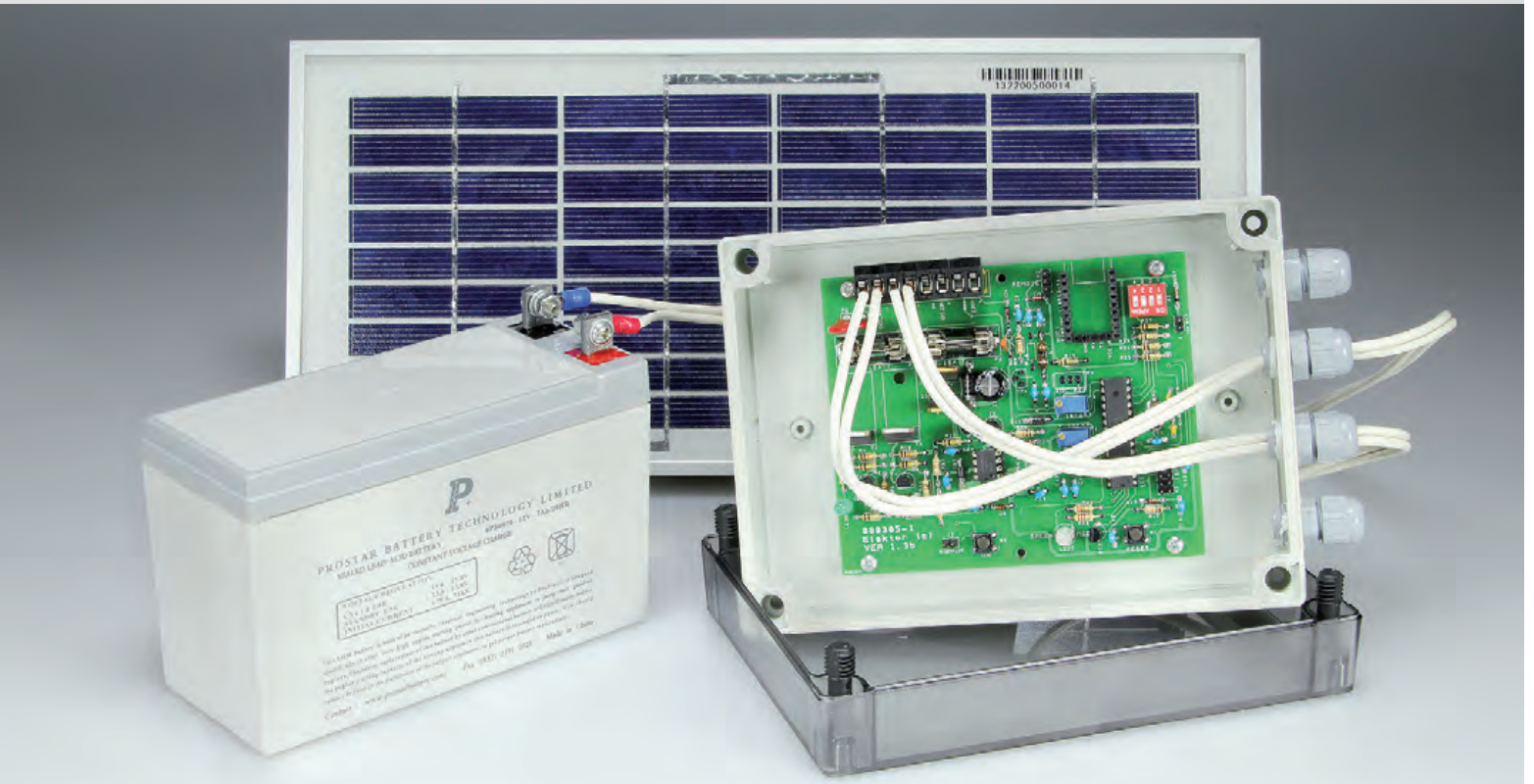
www.elektor.de/products/books/home/photovoltaik-anlagen.246019.lynkx

www.elektor.de/products/books/english/your-own-eco-electrical-home-power-system.1253582.lynkx

www.elektor.de/products/books/english/practical-eco-electrical-home-power-electronics.1253577.lynkx

Solar-Laderegler (50 W)

Für 12-V-Bleiakkus und 15-V-Solarmodule



Von
Pascal Rondane (F)
pascal.rondane@gmail.com

Dieser Solar-Laderegler war ursprünglich für den Einsatz in einer abgelegenen Wetterstation gedacht, er kann aber auch andere Geräte oder Systeme mit Strom versorgen. Ein Beispiel für einen Verbraucher mit niedrigem Leistungsbedarf ist eine LED-Außenbeleuchtung, die von einer Zeitschaltuhr gesteuert wird.

Ein Solar-Laderegler ist das Bindeglied zwischen einem Solarmodul, das die Strahlung der Sonne in elektrische Energie umsetzt, und einem Akku, der die Energie speichert. Das Konzept des hier beschriebenen Solar-Ladereglers geht aus dem Funktionsschema in **Bild 1** hervor. Eine Besonderheit ist die serielle Schnittstelle, hier kann ein PC mit Terminalprogramm zum Steuern und Überwachen der Lade- und Entladevorgänge angeschlossen werden. Die Funktionen sind in der Schaltung realisiert, die in **Bild 2** dargestellt ist. Mit Strom können alle Verbraucher versorgt werden, die an der Gleichspannung 12 V arbeiten und einen Leistungsbedarf zwischen 10 W und 50 W haben. An höhere Leistungen lässt sich der Solar-Laderegler mit wenig Aufwand anpassen.

Betriebsspannung und Schwellenwerte

Der Mikrocontroller arbeitet an der Spannung +5 V, hier mit Vcc bezeichnet. Da möglichst niedrige Ver-

Wichtige Eigenschaften

- Der von einem Mikrocontroller ATmega8 gesteuerte Solar-Laderegler arbeitet zusammen mit Solarmodulen, Nennspannung 12 V, Leistung 10...50 W.
- Der Einsatz eines Schaltreglers für die Betriebsspannung der Steuerung reduziert die Verluste und steigert den Wirkungsgrad.
- Der Mikrocontroller schaltet die Steuerung ab, wenn der Akku entladen ist. Die Steuerung wird eingeschaltet, sobald die Klemmenspannung die Einschaltschwelle erreicht.
- Die obere Schaltschwelle ist ebenso wie die untere Schaltschwelle manuell einstellbar.
- Der Laderegler berücksichtigt den Akku-Typ (Blei oder Bleigel) sowie die Anzahl der Lade- und Entladezyklen, um Memory-Effekten entgegenzuwirken.
- Über eine optionale USB-Schnittstelle mit dem aufsteckbaren Modul BOB-FT232R von Elektor werden diverse Betriebsparameter zu einem PC übertragen.
- Das Anschalten der Last ist extern steuerbar, zum Beispiel mit einer programmierbaren Schaltuhr.
- Das unter Bascom-AVR geschriebene Mikrocontroller-Programm [1] lässt sich unkompliziert individuell anpassen.

luste und ein hoher Wirkungsgrad angestrebt werden, setzt ein Schaltregler LM2674 von Texas Instruments die Akkuspannung auf +5 V um.
Von Steckverbinder K1.B gelangt die Akkuspannung über die Sicherung F1 zum Eingang V_{in} des Schaltreglers IC1. Diode D5 schützt die Elektronik vor falscher Polung des Akkus. Der Schaltregler wird über Transistor T5 und MOSFET T6 freigegeben. Zenerdiode D13 begrenzt die Gatespannung des MOSFETs T6 auf 5,1 V. Wenn der Akku geladen ist, übersteigt die Akkuspannung die Schwelle 11 V der Zenerdiode D1. Transistor T5 leitet und zieht das Gate von T6 nach 0 V, so dass die Betriebsspannung Vcc eingeschaltet ist. Die Diode D11 verhindert, dass die Akkuspannung zum Mikrocontroller gelangt. Diese Diode entfällt, wenn der Solar-Laderegler nur von Hand eingeschaltet werden soll.
Von Hand lässt sich der Laderegler mit Taster S3 (*START*) einschalten. Danach legt der Mikrocontroller über seine Leitung PB2 (Pin 16) hohe Spannung an Diode D11, so dass der Schaltregler über T5 und T6 eingeschaltet bleibt. Bei Akkuspannungen unter 10,8 V, gemessen mit dem A/D-Wandler des Mikrocontrollers, wird die Spannung auf Leitung PB2 niedrig. Der Mikrocontroller schaltet die Betriebsspannung Vcc zur Schonung des Akkus ab. Wieder einschalten lässt sich Vcc nun nur noch von Hand. Ist Diode D1 vorhanden, dann wechselt die Schaltung in den *Sleep*-Modus. In diesem Modus liegt der Strombedarf bei 800 µA. Erst wenn die Akkuspannung die Schwelle 12,6 V übersteigt, wird die Zenerdiode D1 leitend, so dass der Schaltregler, gesteuert über T5 und T6, seinen Betrieb wieder aufnimmt. Durch Setzen von Jumper J2 (*OVERRIDE*) kann die Betriebsspannung Vcc ständig eingeschaltet bleiben, beispielsweise beim Programmieren des Mikrocontrollers oder beim Debuggen eines geänderten oder ergänzten Programms.

Hardware

Schaltzentrale des Ladereglers ist ein Mikrocontroller ATmega8, er wird mit 4 MHz getaktet. Der Mikrocontroller misst die an K1.B liegende Akkuspannung über Spannungsteiler R13/R14 mit seinem internen A/D-Wandler an Eingang ADC0. An den Eingängen ADC1 und ADC2 werden die Spannungen gemessen, die mit den Potis P1 und P2 eingestellt sind. Diese Spannungen sind maßgebend für den oberen und unteren Schwellenwert der Akkuspannung. Der serielle Datenaustausch mit einem PC, auf dem ein Terminalprogramm wie beispielsweise das *Hyperterminal* läuft, ist über den TTL/USB-Umsetzer BOB-FT232R (MOD1) möglich. Besonders nützlich ist diese Option, wenn Tests durchgeführt werden sollen oder die Mikrocontroller-Software nach einer Änderung debugged werden muss. Im regulären Betrieb geben die zum PC übertragenen Daten Auskunft über die Software-Version, die gemessenen Spannungen und die Ladezyklen des Akkus. Wenn Jumper J1 gesteckt ist, wird die Betriebsspannung des Ladereglers dem

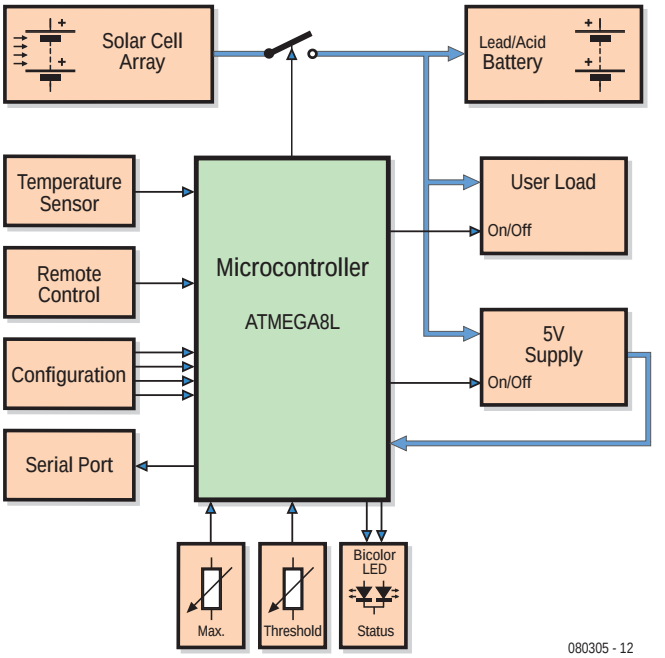


Bild 1.
Funktionsschema des Solar-Ladereglers.

USB-Port des PCs entnommen. Diode D14 sperrt die Verbindung, solange der Akku die Betriebsspannung liefert.

Wichtig: Wenn der Akku oder das Solarmodul abgeklemmt sind und der USB-Port die Betriebsspannung liefert, können nicht alle Funktionstests durchgeführt werden. Diese Konstellation ist hauptsächlich zum Debuggen vorgesehen.

Der Betriebszustand des Ladereglers wird von einer Zweifarben-LED (LED2) signalisiert. Um Energie zu sparen, leuchtet die LED nicht kontinuierlich. Kurze Einschaltzeiten (T_{on}) und lange Pausen (T_{off}) wechseln einander ab.

Mit dem Vierfach-DIP-Schalter (S2) können die Einstellungen vorgenommen werden, die in der Tabelle zusammengefasst sind:

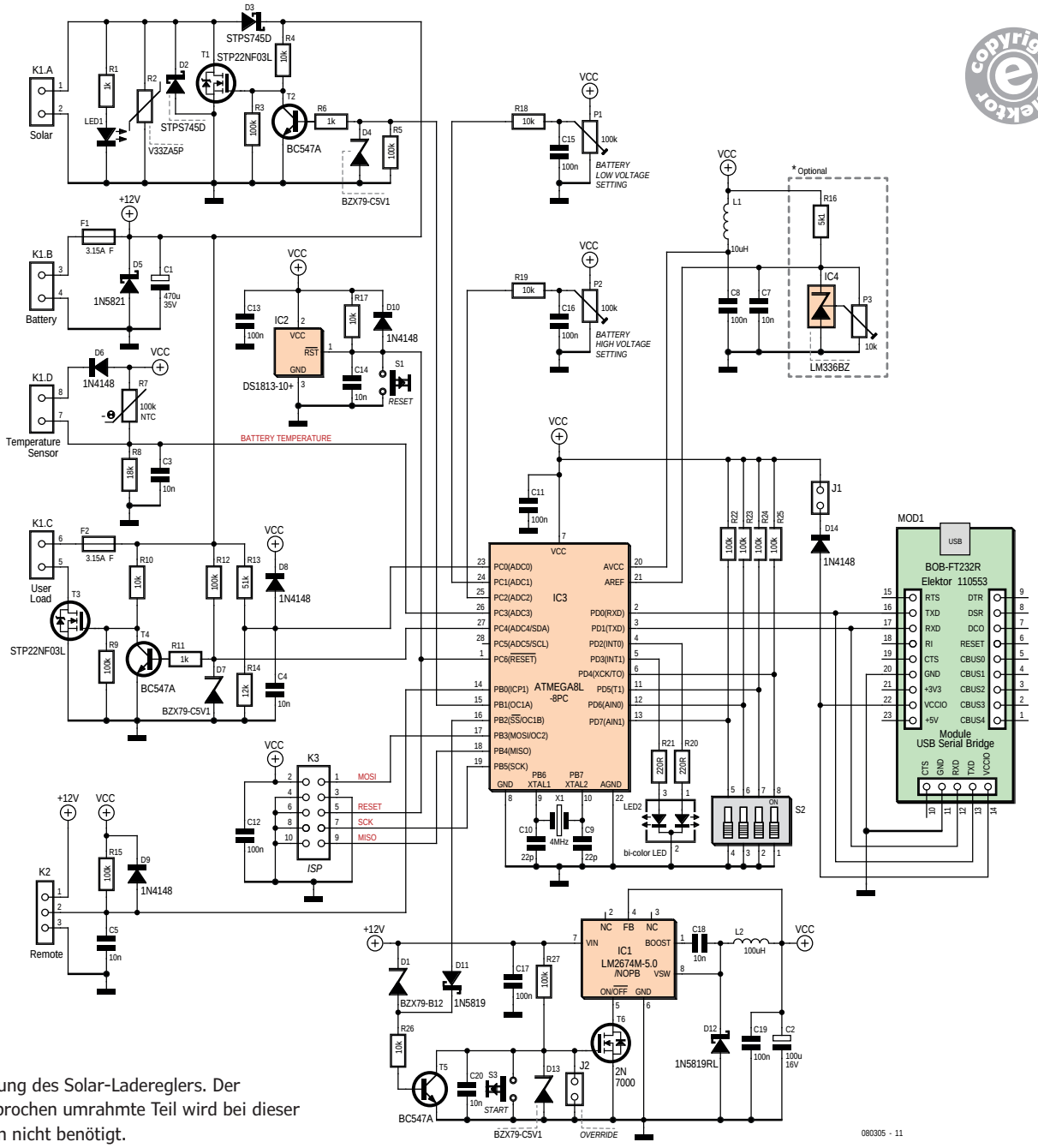


Bild 2.
Schaltung des Solar-Ladereglers. Der durchbrochen umrahmte Teil wird bei dieser Version nicht benötigt.

Steckverbinder		Funktion
K1	Stiftkontaktleiste(n) 1x 1x8 oder 2x 1x4 oder 4x 1x2 Raster 5,08 mm	Kontakt 1, 2: Solarmodul (Plus = 1) Kontakt 3, 4: Akku (Plus = 3) Kontakt 5, 6: Last (Plus = 6) Kontakt 7, 8: Thermistor (NTC), optional
K2	Stiftkontaktleiste 1x3, Raster 2,54 mm	Externe Steuerung der Last (S2=ON)
K3	Stiftkontaktleiste 2x5, Raster 2,54 mm	ISP-Schnittstelle des Mikrocontrollers

Jumper	Funktion
J1	Laderegler wird über USB-Schnittstelle versorgt (eingeschränkte Funktionalität!)
J2	Laderegler bleibt unabhängig von der Akku-Spannung in Betrieb

Der Verbraucher, der mit Solarenergie versorgt werden soll, wird an Steckverbinder K1.C (*USER*) angeschlossen. Die Leitung ist gegen Überlast und Kurzschluss durch Sicherung F2 geschützt. MOSFET T3 schaltet die Last ab, wenn die Klemmenspannung des Akkus unter 11,3 V sinkt. Diese Maßnahme schützt den Akku vor Tiefentladungen. Angeschaltet wird die Last erst wieder, wenn die Akkuspannung über 12,6 V steigt. Der Abstand zwischen der Einschalt- und Ausschaltschwelle verhindert unerwünschte, schnell aufeinander folgende Schaltvorgänge nahe der Schaltschwelle. In der Betriebsart *REMOTE* des Ladereglers lässt sich die Last über MOSFET T3 von außen schalten, beispielsweise mit einer externen programmierbaren Schaltuhr. Der externe Schaltkontakt wird an K2 (Kontakte 2 und 3) gelegt, das schaltende Gerät kann über die Kontakte 1 und 3 mit der Betriebsspannung 12 V aus dem Akku versorgt werden. Steckverbinder K1.C ist der Anschluss für das Solarmodul. Die Low-current-LED LED1 signalisiert, dass das Modul in Betrieb ist und Strom liefert. Schottky-Diode D3 verhindert, dass sich der Akku über das Solarmodul entlädt. Eine wichtige Funktion im Laderegler hat MOSFET T1, gesteuert über T2 vom Mikrocontroller. Wenn der Akku vollständig geladen ist, bildet T1 einen Kurzschluss (*Shunt*) für das Solarmodul, so dass überschüssige Energie in Wärme umgesetzt wird. Falls das Solarmodul verpolt angeschlossen ist, wird MOSFET T1 von der parallelen Diode D2 geschützt. Sollte der Akku entladen und die Spannung Vcc abgeschaltet sein, zieht Pulldown-Widerstand R3 das Gate von T1 nach Masse. T1 sperrt, so dass das Solarmodul den Akku laden kann. Oberhalb der Akkuspannung 12,6 V wird wieder die Betriebsspannung Vcc an die Elektronik gelegt und der Mikrocontroller übernimmt die Steuerung des Ladevorgangs. Die Last bleibt abgeschaltet, denn der Pulldown-Widerstand R9 zieht das Gate von MOSFET T3 nach Masse.

Software

Das Mikrocontroller-Programm [1], geschrieben in Bascom-AVR, lässt sich unkompliziert nach Wunsch anpassen. Allerdings ist dazu die Vollversion nötig, das Programm überschreitet die Grenze 4 KB der freien Version. Ein Kunstgriff,

LED2				
Farbe	**Blinkfolge (Duty-Cycle)**	**Solarmodul**	**Last (S2=OFF)**	**Akku**
Gelb	langsam (33 %)	nicht vorhanden	angeschlossen	geladen
Grün	langsam (2 %)	angeschlossen	angeschlossen	wird geladen
Gelb	schnell (10 %)	angeschlossen	angeschlossen	schwach
Rot	langsam (2 %)	angeschlossen	nicht vorhanden	entladen
Dunkel	-	angeschlossen	nicht vorhanden	sehr schwach
Nach dem Einschalten leuchtet die LED2 in der Folge Rot, Gelb, Grün, Aus, dann zwei Sekunden Grün, anschließend wird der Status nach der Tabelle angezeigt. Wenn die Akkuspannung unter 10,8 V sinkt, wird die Betriebsspannung 5 V abgeschaltet, der Mikrocontroller stoppt.				

unter dieser Grenze zu bleiben, ist das zeitweilige Auskommentieren aller Kommandos, die Spannungen und Schalterstellungen lesen.
Nach dem Start initialisiert das Programm die Variablen und der Schaltregler IC1 wird über die Portleitung PB2 eingeschaltet. Dann liest der Mikrocontroller die Positionen der Konfigurationsschalter, er schaltet das Solarmodul und die Last an. Nachdem dies geschehen ist, verzweigt der Mikrocontroller in das Hauptprogramm. Das Hauptprogramm liest zyklisch die vom internen A/D-Wandler gemessenen Spannungswerte. Aus einer Reihe aufeinander folgender Werte werden Mittelwerte gebildet. Damit sind Schwankungen in den Werten des Solarmoduls, des Akkus und der Last eliminiert. Die gemittelten Werte sind die Größen, die das Abschalten der Last bei zu niedriger Spannung und das Einschalten der Last nach Laden des Akkus auslösen. Die gleiche Methode wird angewendet, um das Solarmodul abhängig von der Klemmenspannung des Akkus zuzuschalten. Die diversen Spannungswerte sind im Mikrocontroller-Programm festgeschrieben, sie werden dort in Kommentaren erläutert.
Um Memory-Effekten entgegenzuwirken, zählt das Programm die Anzahl der Lade- und Entlade-

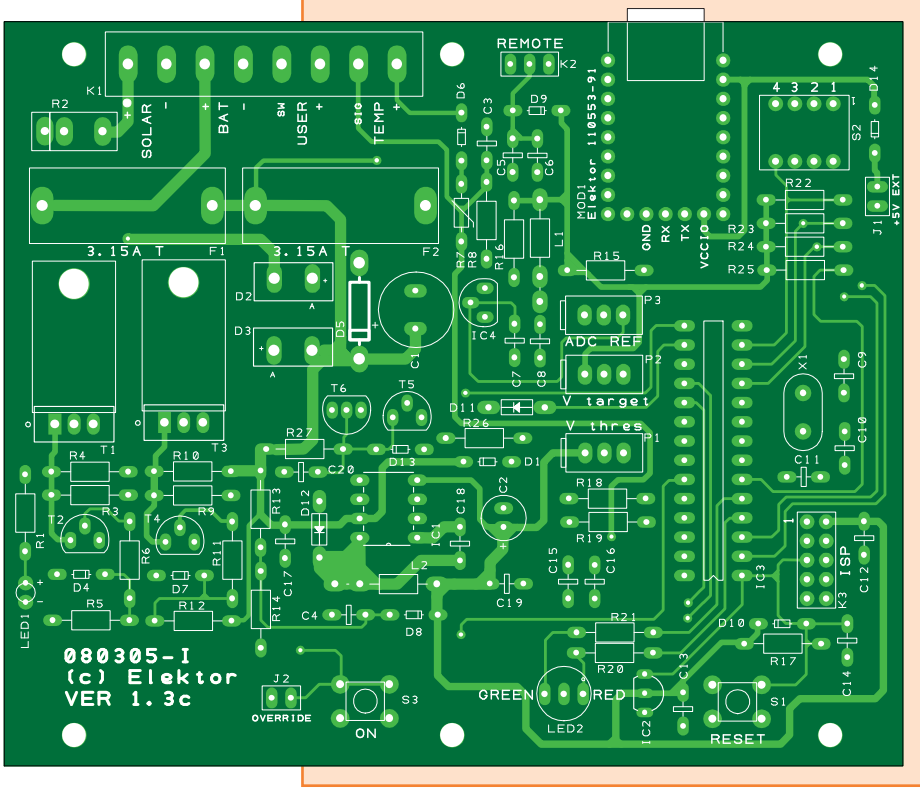


Bild 3.
Die doppelseitige Platine passt in ein Gehäuse aus der Fibox-Reihe.

Stückliste

Widerstände:
1/4 W 5 %, wenn nicht anders angegeben
R1,R6,R11 = 1 k
R4,R10,R17,R18,R19,R26 = 10 k
R3,R5,R9,R12,R15,R22...R25,R27 = 100 k
R20,R21 = 220 Ω
R13 = 51 k, 1 %
R14 = 12 k, 1 %
R8 = 18 k, 1 %
R2 = Varistor V33ZA5P
R7 = NTC 100 k
P1,P2 = Trimmpoti 100 k

Kondensatoren:
C1 = 470 µ/35 V
C2 = 100 µ/16 V
C3..C5,C7,C14,C18,C20 = 10 n
C8,C11...C13,C15...C17,C19 = 100 n
C9,C10 = 22 p

Induktivitäten:
L1 = 10 µH
L2 = 100 µH

Halbleiter:
D1 = Zenerdiode 11 V
D2,D3 = STPS745D
D4,D7,D13 = Zenerdiode 5V1
D5 = 1N5821
D6,D8...D10,D14 = 1N4148
D11,D12 = 1N5819
LED1 = LED grün, 5 mm Low current
LED2 = LED rot/grün (zweifarbig), 5 mm
T1,T3 = STP22NF03L
T2,T4,T5 = BC547A
T6 = 2N7000
IC1 = LM2674N-5.0/NOPB (DIP)
IC2 = DS1813-10
IC3 = ATmega8-16PU oder ATmega8L-8PC

Außerdem:
X1 = Quarz 4 MHz
S2 = DIP-Schalter vierfach
S1,S3 = Drucktaster
F1,F2 = Sicherung 3,15 AT
K1 = Stiftkontaktleiste 1x8-polig, Raster 5,08 mm
K2 = Stiftkontaktleiste 1x3-polig, Raster 2,54 mm
K3 = Stiftkontaktleiste 2x5-polig, Raster 2,54 mm
J1,J2 = Stiftkontaktleiste 1x2-polig mit Jumper
2 Sicherungshalter 5x20 mm, mit Kappe
2 Kühlkörper für TO-220
Gehäuse 180 · 130 · 50 mm, z. B. Fibox PC 150/50 LT
2 Kabelverschraubungen gerade, PG9
2 Nylonmuttern
MOD1 = Elektor BOB-FT232R (optional)
Platine 080305-1, siehe [1]

R16,C7,IC4,P3 = entfällt

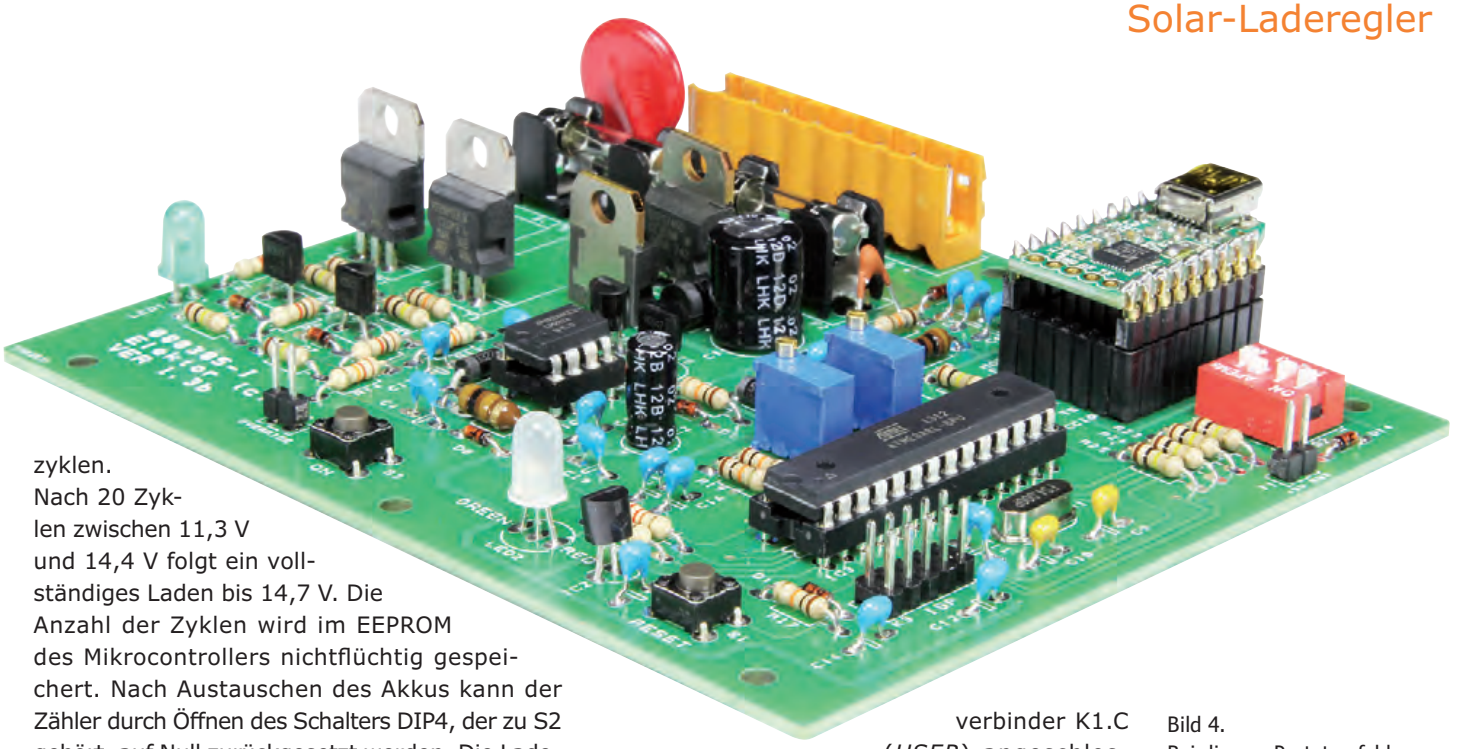


Bild 4.
Bei diesem Prototyp fehlen noch die Kühlkörper für T1 und T3. Die Kühlkörper-Abmessungen hängen von den Strömen ab.

zyklen.
Nach 20 Zyklen zwischen 11,3 V und 14,4 V folgt ein vollständiges Laden bis 14,7 V. Die Anzahl der Zyklen wird im EEPROM des Mikrocontrollers nichtflüchtig gespeichert. Nach Austauschen des Akkus kann der Zähler durch Öffnen des Schalters DIP4, der zu S2 gehört, auf Null zurückgesetzt werden. Die Lade- und Entladezyklen werden erst wieder gezählt, wenn dieser Schalter geschlossen ist.
Im Hintergrund generiert ein Timer periodische Interrupts, sie lassen die Zweifarben-LED LED2 blinken und steuern die Abtastfrequenz des internen A/D-Wandlers.

Bau und Inbetriebnahme

Das Elektor-Labor hat eine doppelseitige Platine für den Solar-Laderegler entworfen, **Bild 3** gibt das Layout wieder. Die Montage der Bauelemente gelingt am schnellsten, wenn zuerst die Widerstände, dann die Kondensatoren und zum Schluss die aktiven Komponenten montiert werden. Vor Anschließen der Spannungen ist eine genaue Sichtprüfung angebracht. Es kann nicht schaden, sich auch vom seitenrichtigen Einbau der ICs zu überzeugen. Das Foto in **Bild 4** zeigt die montierte Platine.

Legen Sie an Steckverbinder K1.B, die normalerweise mit dem Akku verbunden ist, die Gleichspannung 12,6 V. Stecken Sie Jumper J2 auf seine Kontakte und prüfen Sie, ob am Ausgang des Schaltreglers (IC1) die Spannung 5 V vorhanden ist. Falls noch nicht geschehen, laden Sie das von der Projektseite [1] heruntergeladene Programm in den Mikrocontroller. Verbinden Sie die USB-Buchse von MOD1 mit dem PC, auf dem ein Terminalprogramm läuft (Parameter 9600/8/1/N). Prüfen Sie, ob die dort ausgegebenen Daten mit den eingestellten Werten und mit den Stellungen des DIP-Schalters S2 übereinstimmen. Normalerweise sind alle Schalter offen. Eine an Steckverbinder K1.C (*USER*) angeschlossene Last muss nun unter Spannung stehen.
Schließen Sie am Vierfach-DIP-Schalter S2 den Schalter DIP2. Jetzt muss die Last an K1.C spannungslos sein. Schließen Sie an Steckverbinder K2 die Kontakte 2 und 3 kurz. Die Spannung an der Last muss wiederkehren.

Beim folgenden Test der oberen und unteren Schaltschwelle für die Akku-Spannung ist ein einstellbares Labornetzgerät mit Strombegrenzung eine nützliche Hilfe. Stellen Sie die Strombegrenzung auf den maximalen Strom des MOSFET T1 ein und verbinden Sie den Ausgang des Netzgeräts mit Steckverbinder K1.A (*SOLAR*). Steckverbinder K1.B (*BAT*) verbinden Sie mit dem Akku. Beginnen Sie den Test mit der Spannung 12,6 V, anschließend steigern Sie vorsichtig die Spannung. Sie können nun verfolgen, wie gleichzeitig der Ladestrom zunimmt. Bei der Spannung 13,8 V stoppt der Ladevorgang, weil das Netzgerät von T1 kurzgeschlossen wird. Wenn Sie die Spannung langsam senken, können Sie die Statusanzeige der Zweifarben-LED LED2 testen. Außerdem können Sie beobachten, wie der Ladevorgang stoppt und die Betriebsspannung Vcc abgeschaltet wird. Die übrigen Funktionen können Sie anhand der Beschreibungen in der Funktionstabelle für den Vierfach-DIP-Schalter S2 testen.

Die in der Schaltung (Bild 2) durchbrochen umrahmten Bauelemente R16, C7, IC4 und P3 sind eine Spannungsreferenz, sie wird in dieser Version des Solar-Ladereglers nicht benötigt. In der

Schalter	OFF	ON
S2-1	Schwellenwerte im Programm festgelegt	Mit P1 und P2 eingestellte Schwellenwerte
S2-2	Last wird vom Laderegler geschaltet	Last wird extern geschaltet
S2-3	Akku-Typ: Bleigel	Akku-Typ: Blei
S2-4	Lade- und Entladezyklen zählen	Lade- und Entladezyklen nicht zählen, Zähler rücksetzen

Stückliste sind die Bauelemente nicht enthalten. NTC-Widerstand R7 ist vorgesehen, um die Temperatur des Akkus zu messen. Die Spannung am Verbindungspunkt R7/R8 liegt am A/D-Wandler-Eingang ADC3 des Mikrocontrollers. Ausgehend vom Wert dieser Spannung kann der Mikrocontroller den Ladevorgang als Funktion der Akku-Temperatur steuern. Wenn ein externer NTC-Widerstand an K1.D angeschlossenen wird, muss R7 entfallen. Die aufgebaute Platine passt in das in der Stückliste angegebene, wasserdichte Fibox-Gehäuse. Die Kabel werden über Kabelverschraubungen herausgeführt. Auf der nach unten gerichteten Gehäuseseite müssen zwei Bohrungen angebracht werden, Durchmesser 2 mm, damit Kondenswasser abfließen kann.

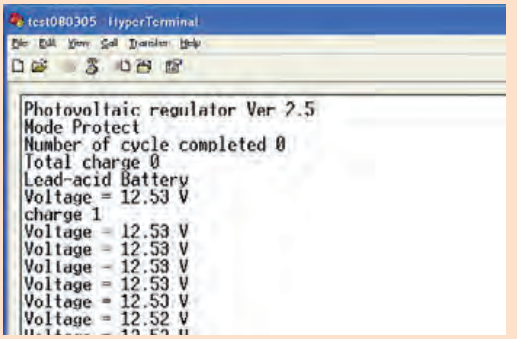
Der Autor hat den Solar-Akkulader seit mehr als vier Jahren in Betrieb, um zwei LED-Spots für zwei Stunden am Tag mit Strom aus einem Solarmodul zu versorgen.

(080305)gd

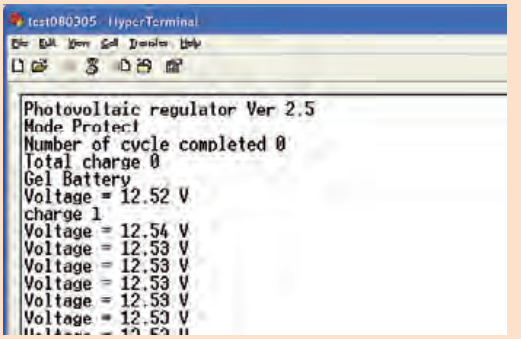
Weblink

[1] www.elektor-magazine.de/080305

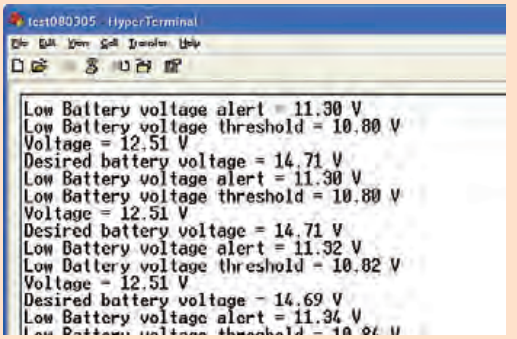
Datenausgabe über die serielle Schnittstelle:



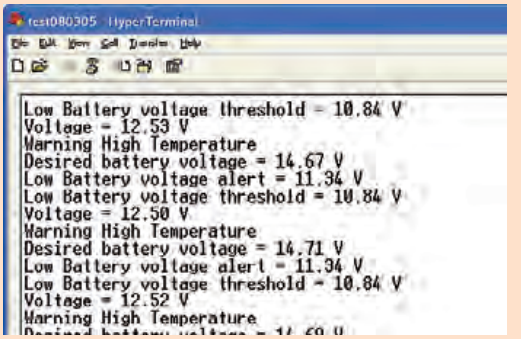
Im Modus „Blei-Akku“



Im Modus „Bleigel-Akku“



Einstellungen von Hand



Vorsicht, hier wird es heiß

DAS ORIGINAL SEIT 1994
PCB-POOL®
Beta LAYOUT

Kostenlos!

Edelstahl SMD-Schablone
bei jeder PCB Prototyp-Bestellung inklusive

Ohne Aufpreis: Gold!
Hochwertigste Oberfläche: ENIG

PCB-POOL® ist ein eingetragenes Warenzeichen der Beta LAYOUT GmbH
Alle eingetragenen Warenzeichen sind eingetragene Warenzeichen der jeweiligen Hersteller!

p-cad 2006 TORCH Designer EDWin cadence GraphiCode PROTEUS NATIONAL INSTRUMENTS DIPTRACE RS-274-X Easy-PC PULSONIX

www.pcb-pool.com

Beta LAYOUT
create : electronics

Supergünstige Elektronikbücher

Messen, Steuern und Regeln mit USB
Franzis · 2010 · 182 Seiten · mit CD
F-8784 statt **39,95** jetzt für **9,95**

Das neue Werkbuch der Elektronik
Franzis · 6. Auflage 2011 · 762 Seiten
F-0946 **statt 29,95 jetzt für 15,-**

Schaltungssammlung Mikrocontroller und USB
Franzis · 2010 · 370 Seiten
F 8242 **statt 49,95 jetzt für nur 5,-**

Schaltungssammlung LEDs, LCDs und Lasertechnik
Franzis · 2010 · 360 S.
F-2776 **statt 29,95 jetzt für 14,95**

Schaltungssammlung Mess- und Prüftechnik
Franzis · 2009 · 552 S.
F-0864 **statt 49,95 jetzt für 24,95**

Ganz neu!

Rothammels Antennenbuch · 13. Auflage
Krischke · DARC-Verlag · 2013 · 1504 Seiten
Bestell-Nr. D-RH13 **59,-**

Interessante Bausätze & Bauelemente

Bauteiltester für NPN/PNP-Transistoren, N- und P-Kanal-MOSFETs, JFETs, Dioden, Thyristoren und TRIACs, Widerstände, Kondensatoren und Spulen
Komplettbausatz
BX-230 **79,-**

Frequenzzähler-Modul FA-ZM
für Eingangsfrequenzen bis mind. 50 MHz, Offset und Vorteilerfaktor einstellbar, mit TCXO und beleuchtetem Display, Spannungsanzeige-Option, Platine weitgehend SMD-vorbestückt
Komplettbausatz Best-Nr. BX-039 **39,-**

IQ-DDS-Generator mit 2 separaten Kanälen (10 Hz bis 165 MHz), Ausgangspegel in 0,1-dB-Schritten um 40 dB absenkbar, 500-MHz-Takt, USB-Anschluss, Platinen SMD-vorbestückt. **Komplettbausatz** Bestell-Nr. BX-210 **395,-**

FiFi-SDR Superkompakter SDR-Empfänger für 0,1 bis 30 MHz. Eingebaute 192-kHz-Soundkarte, Steuerung per PC über USB. Platinen SMD-vorbestückt
Komplettbausatz Best.-Nr. BX-222.0 **139,-**

BA1404	UKW-Stereosender	**5,-**
BH1415F	UKW-Stereosender	**8,80**
7,600 MHz	passender Quarz	**4,50**
SSM2165-1P	Audio-Kompressor	**9,95**
SSM2166P	Audio-Kompressor	**9,95**
TCA440	Audio-Kompressor	**9,95**
MC3340P	HF-Dämpfungssteller	**4,50**
RF2420	HF-Dämpfungssteller	**9,50**
TDA1072A	AM-Empfänger	**4,90**
TSA6060T	PLL	**9,80**
Si570	progr. SiLab-XOs	ab **24,50**
TUF-1	Mixer	**9,95**
BF981	DG-MOSFET	**1,50**
BB112	AM-Kapazitätsdiode	**2,90**
Foliendrehko	140+60 pF	**2,90**
Neosid	Filterspulen	ab **1,95**
Ferritstäbe	verschiedene	ab **0,40**

und vieles mehr zu entdecken auf ...

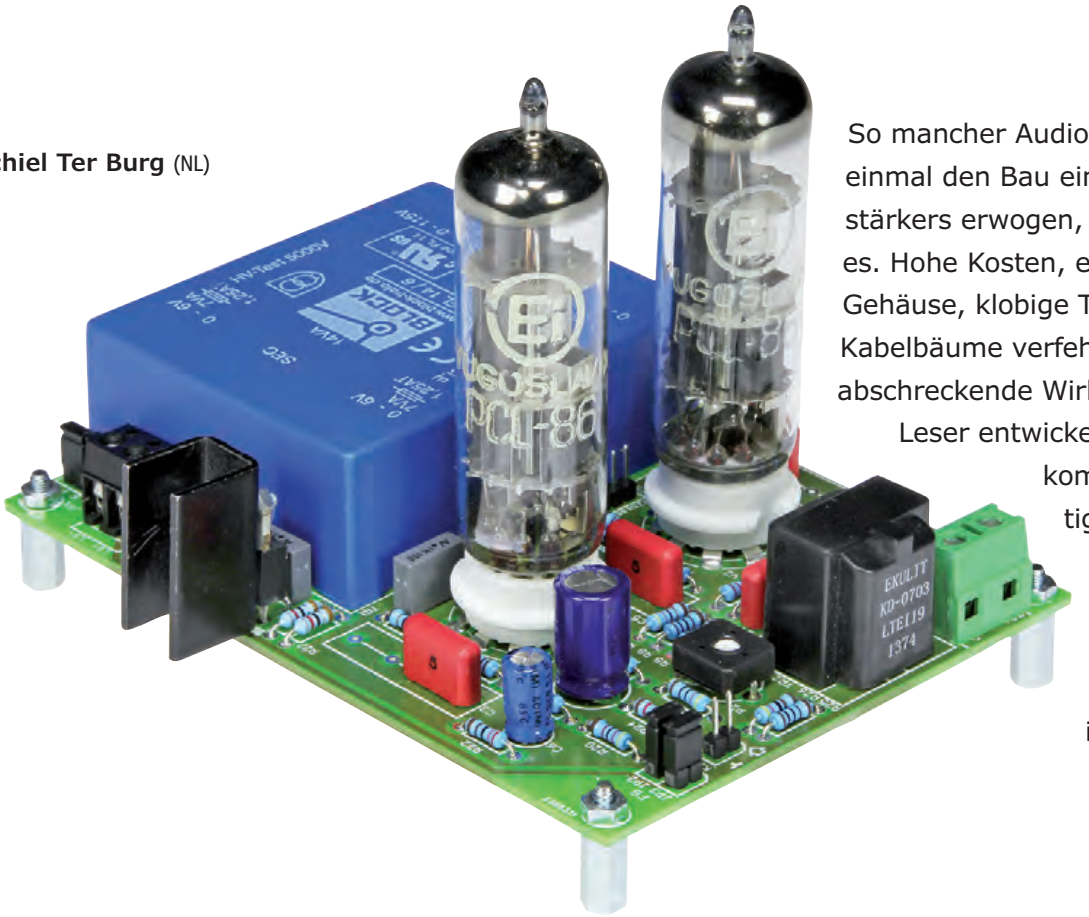
Box 73 Amateurfunkservice GmbH
Majakowskiring 38 · 13156 Berlin

www.funkamateur.de > Online-Shop

Kompakter Röhrenverstärker

Mit Netztrafo als Ausgangsübertrager

Von
Michiel Ter Burg (NL)



So mancher Audio-Freund hatte schon einmal den Bau eines Röhrenverstärkers erwogen, doch dabei blieb es. Hohe Kosten, ein aufwendiges Gehäuse, klobige Trafos und dicke Kabelbäume verfehlten nicht ihre abschreckende Wirkung. Für diese Leser entwickelte der Autor eine kompakte, kostengünstige Alternative mit schnell beschaffbaren Bauteilen. Nun steht dem Röhrenklang nichts mehr im Weg!

Röhrenverstärker, die 10 W oder mehr leisten und einen exzellenten HiFi-Frequenzgang bieten, lassen sich nur mit mehr oder weniger voluminösen Trafos am Verstärkerausgang und im Netzteil realisieren. Die Erfahrung hat jedoch gezeigt, dass hohe Leistungen nicht notwendig sind, um zwei Lautsprecherboxen mit durchschnittlichem Wirkungsgrad in häuslicher Umgebung angemessen zu betreiben. Auch an den Frequenzumfang werden keine allzu hohen Forderungen gestellt, denn in Musiksignalen kommen Frequenzen unter 50 Hz und über 10 kHz relativ selten vor.

Mit einigen Abstrichen an die qualitätsbestimmenden Parameter lässt sich ein Röhrenverstärker realisieren, der ein paar Watt leistet und als Ausgangsübertrager einen handelsüblichen Platinen-Netztrafo verwendet. Auch die übrigen Bauteile bietet der Handel kostengünstig an. Die Röhre PCL86 war in der Zeit um 1961 eine moderne NF-Endpentode, kombiniert mit einer Triode als Vorverstärker. In diesem Audio-Röhrenverstärker sind zwei Pentoden als klassische Gegentaktendstufe geschaltet, während die zugehörigen Trioden als Phasendreher arbeiten. Für die Frequenzbandgrenzen ist hauptsächlich der Ausgangsübertrager verantwortlich. Die untere Grenze hängt von der Induktivität der Primärwicklung ab, die obere Grenze wird vom Kopplungsfaktor bestimmt. Der Kopplungsfaktor

ist bei dem hier zweckentfremdeten Netztrafo niedrig, weil die primäre und sekundäre Wicklung in getrennten Kammern untergebracht sind. Nur mit dieser Bauform wird die für Netztrafos geforderte Prüfspannung 5 kV erreicht.
Der Verstärkereingang ist über einen NF-Trafo gekoppelt, damit die Verstärkung bei offener Schleife genügend hoch ist. Die Eingangsimpedanz liegt deshalb vergleichsweise niedrig, sie beträgt ungefähr 1 kΩ. Die meisten Audio-Signalquellen wie Vorverstärker, Soundkarten oder MP3-Player haben mit dieser Eingangsimpedanz kein Problem.

Schaltung

Bild 1 zeigt die Schaltung des Audio-Röhrenverstärkers ohne die Stromversorgung. Das Audiosignal gelangt über K1 zum Eingangstrafo TR2. Die Sekundärwicklung steuert über R8 und R12 gegenphasig die Gitter der Trioden. Die Anoden der Pentoden V1 und V2 sind mit den Primärwicklungen des Trafos Tr1 verbunden. TR1 ist ein handelsüblicher, vergossener Netztrafo, der hier die Funktion des Ausgangsübertragers übernimmt. Die Signale an den Anoden der Trioden werden über C3 und R3 sowie C5 und R16 zu den Gittern der Pentoden geführt. Die Sekundärwicklungen von TR1 steuern über JP1 und K2 den Lautsprecher. Auf der Jumperleiste JP1 legen die Jumper fest, ob die Sekundärwicklungen von TR1 parallel oder in Reihe geschaltet sind. Der Gegenkoppelzweig zwischen dem Eingang und Ausgang verläuft über JP2 und R26. Durch Variieren des Werts von R26 lässt sich der Grad der Gegenkopplung ändern. Wenn Jumper JP2 fehlt, ist die Gegenkopplung blockiert. Jumper JP3 verbindet die Masse des Signaleingangs mit der Masse des Lautsprecherausgangs.
Die negative Gittervorspannung der Pentoden ist mit Trimmpoti P2 einstellbar, von der Gittervorspannung hängt der Ruhestrom der Röhren ab. Die Spannung wird aus der negativen Heizspannung abgeleitet. Trimmpoti P1 dient zum Einstellen der Symmetrie. Auskunft über die Ruheströme geben die Spannungen an Kontaktleiste K5. Der Umrechnungsfaktor beträgt 10 V/A, so dass beim empfohlenen Ruhestrom 25 mA die Spannung 250 mV zu messen ist. Vor dem Einstellen des Ruhestroms müssen die Röhren ihre Betriebstemperatur erreicht haben.
Die Heizfäden der Röhren sind in Reihe geschaltet, der Heizstrom beträgt 300 mA. Stromspitzen

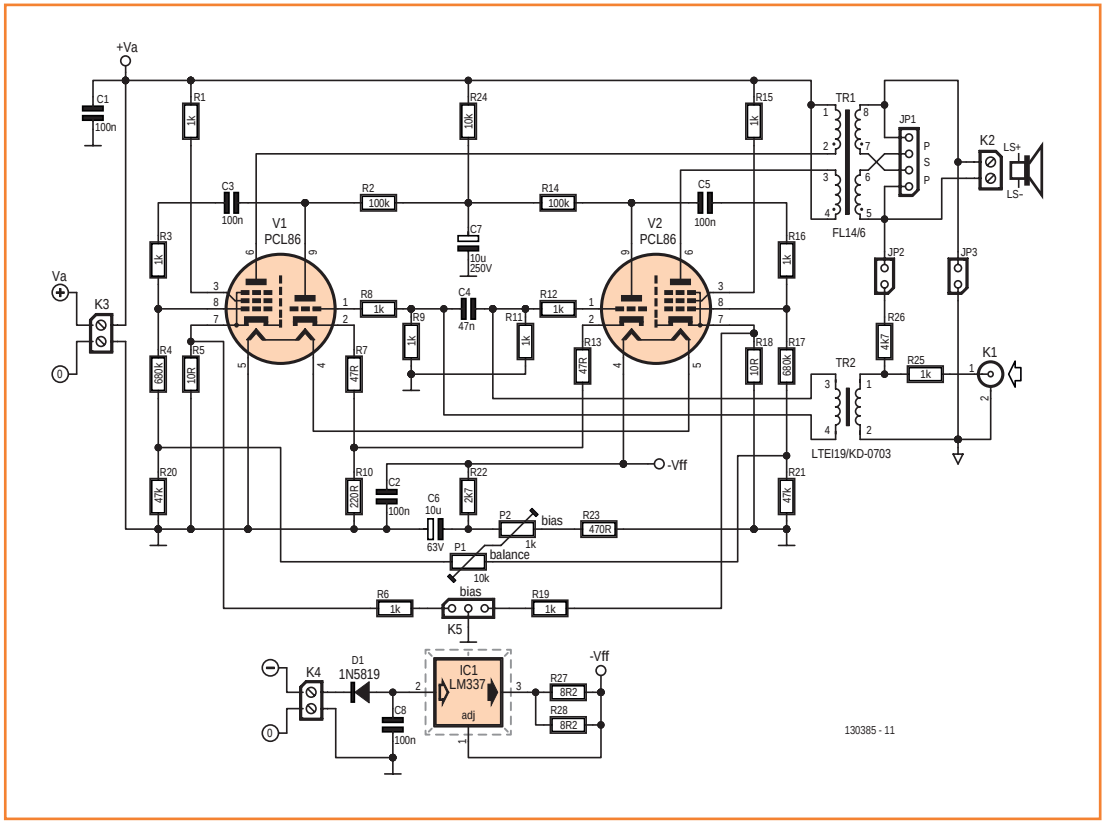


Bild 1.
Beschaffungsprobleme bei den Bauteilen gibt es nicht, weder bei den Röhren noch beim Ausgangsübertrager.

nach dem Einschalten verhindert ein LM337 (IC1), er begrenzt den Heizstrom auf diesen Wert. Die Begrenzung ist notwendig, weil die Heizfäden im kalten Zustand einen niedrigeren Widerstand als bei der Betriebstemperatur haben. Die Eingangsspannung des LM337 an K4 muss mindestens -31 V betragen, die Anodenspannung Va an K3 soll im Bereich 160...200 V liegen.

Platine

Für diesen Röhrenverstärker hat das Elektor-Labor eine doppelseitige Platine entworfen, **Bild 2** zeigt das Layout. Auf einer Seite befindet sich eine ausgedehnte Massefläche, sie schirmt die hochohmigen Signalwege auf der anderen Seite ab. Die Abstände zu den Leiterbahnen, die Anodenspannung führen, sind wegen der notwendi-

Stückliste

Widerstände (1 %, 0,6 W/350 V):

R1,R3,R6,R8,R9,R11,R12,R15,R16,R19,R25 = 1 k
R2,R14 = 100 k
R4,R17 = 680 k
R5,R18 = 10 Ω
R7,R13 = 47 Ω
R10 = 220 Ω
R20,R21 = 47 k
R22 = 2k7
R23 = 470 Ω
R24 = 10 k
R26 = 4k7
R27,R28 = 8Ω2
P1 = Trimmpoti 10 k, 0,15 W, liegend
P2 = Trimmpoti 1 k, 0,15 W, liegend

Kondensatoren:

C1,C3,C5 = 100 n/250 V, 5 %, MKP, Raster 5/7,5/10/15/22,5 mm
C2,C8 = 100 n/100 V, 10 %, MKT, Raster 5/7,5 mm
C4 = 47 n/250 V, 10 %, MKP, Raster 5/7,5/10 mm
C6 = 10 µ/63 V stehend, Raster 2,5 mm, Ø 6,3 mm
C7 = 10 µ/250 V stehend, Raster 5 mm, Ø 10 mm

Röhren und Halbleiter:

V1,V2 = PCL86 (Conrad 130632)
D1 = 1N5819
IC1 = LM337

Außerdem:

TR1 = Netztrafo Block FL 14/6 (prim. 2 · 115 V, sek. 2 · 6 V, 14 VA)
TR2 = Audio-Trafo 1:5, LTEI19/KD-0703 (Conrad 515701)
K1,JP2,JP3 = Stiftkontaktleiste 2-polig, Raster 2,54 mm
K2,K4 = Schraubklemmverbinder 2-polig, Raster 5 mm
K3 = Schraubklemmverbinder 2-polig, Raster 7,5 mm
K5 = Stiftkontaktleiste 3-polig, Raster 2,54 mm
JP1 = Stiftkontaktleiste 4-polig, Raster 2,54 mm
4 Jumper für JP1...JP3
V1,V2 = Röhrenfassung Noval (9-polig), keramisch, für Platinenmontage (Conrad 120529)
Kühlkörper für IC1, 30 K/W (z. B. Fischer Elektronik SK 12 SA 32)
Platine 130385-1, siehe [1]

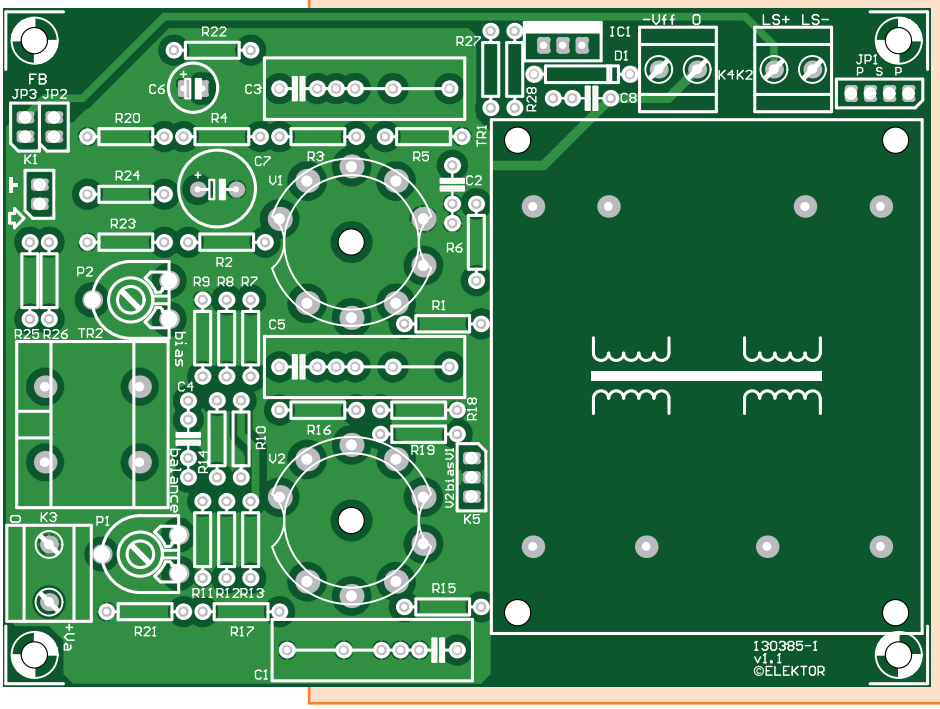


Bild 2.
Die Platine für den Röhrenverstärker in der einkanaligen Version, für Stereo werden zwei Platinen aufgebaut.

Netzteil

Widerstände:

R1 = 270 k, 0,5 W/350 V
R2 = 10 k, 0,25 W/250 V

Kondensatoren:

C1..C4 = 4n7/400 V
C5..C8 = 47 n/100 V keramisch
C9 = 100 µ/350 V
C10,C11 = 1000 µ/50 V

Halbleiter:

D1...D4 = 1N4007
D5...D8 = 1N5819
D9,D10 = LED, Low current

Außerdem:

F1 = Sicherung 200 mA/T mit Halter (400 mA/T bei 115 V_{AC})
F2 = Sicherung 750 mA/T mit Halter
K1,K2 = Schraubklemmverbinder 2-polig, Raster 7,5 mm
K3 = Schraubklemmverbinder 2-polig, Raster 5 mm
TR1 = Netztrafo Block FL 30/12 (prim. 2 · 115 V, sek. 2 · 12 V, 30 VA)
TR2 = Netztrafo Block FL 18/12 (prim. 2 · 115 V, sek. 2 · 12 V, 18 VA)

gen Isolation breit bemessen. Eingangstrafo und Ausgangsübertrager haben maximalen Abstand, um die magnetische Kopplung zu minimieren. Einige Leiterbahnen verlaufen unter dem Eingangstrafo. Wegen der dadurch bedingen eingeschränkten Isolation darf der Verstärker nicht unmittelbar an der (gleichgerichteten) Netzspannung betrieben werden. Eine galvanische Trennung ist unbedingt notwendig.

Die Fotos zeigen den konstruktiven Aufbau des Röhrenverstärkers auf der Platine. Alle Bauelemente sind bedrahtet, SMDs kommen nicht vor. Für die Anschlüsse der Betriebsspannungen und des Lautsprechers sind Kabelschraubklemmen vorgesehen. Da an K3 die hohe Anodenspannung liegt, ist diese Kabelklemme ein Typ mit dem Raster 7,5 mm. Der LM337 erhält einen Kühlkörper, die Größe hängt von der Höhe der Eingangsspannung ab. Die Temperaturdifferenz zur Umgebungstemperatur darf 40 °C nicht übersteigen.

Stecken Sie vor Anschließen der Betriebsspannungen die Jumper in den korrekten Positionen auf die Kontakte. Die Jumper JP2 (Gegenkopplung) und JP3 (Masseleitung zwischen Eingang und Ausgang) müssen vorhanden sein. Auch bei JP1 müssen Sie mindestens einen Jumper aufstecken. Wenn dieser Jumper in der Mitte steckt, liegen die Sekundärwicklungen des Ausgangsübertragers in Reihe. Um die Wicklungen parallel zu schalten, müssen Sie zwei Jumper (links und rechts) aufstecken.

Netzteil

Die Stromversorgung des Röhrenverstärkers lässt sich auf unterschiedlichen Wegen realisieren. Der Autor verwendete ein Schaltnetzteil, das gleichzeitig den Verstärker galvanisch vom Stromnetz trennt. Das Elektor-Labor baute eine einfachere Stromversorgung mit zwei gängigen Netztrafos auf, wobei die Sekundärseiten der Trafos miteinander verbunden sind (**Bild 3**). Dadurch wird eine gute galvanische Trennung erreicht, ein teurer, schwierig beschaffbarer Spezialtrafo wird nicht benötigt. Die negative Heizspannung liefert die Sekundärseite des ersten Netztrafos TR1 zusammen mit dem Brückengleichrichter D5... D8 und den Siebelkos C10 und C11. Aus diesem Grund ist TR1 ein 30-VA-Typ, während für TR2 ein 18-VA-Typ genügt. Die Hochspannung am Ausgang von TR2 kann nicht 230 V betragen, da im Normalbetrieb die Leerlaufspannung laut Datenblatt um den Faktor 1,22 höher als die Nominalspannung liegt. Folglich ist hier die Leerlaufspannung 230 V / 1,22 = 188,5 V, sie sinkt bei Nennlast um den Faktor 1,22 auf 154,5 V. Weil der Trafo nicht für den inversen Betrieb konstruiert ist, können beim Laden der Siebelkos kurze Stromspitzen auftreten. Tests im Elektor-Labor ergaben, dass die Spannung an den Siebelkos ohne Verstärker-Eingangssignal bei 188 V_{DC} lag, bei Vollaussteuerung brach sie relativ stark ein. Die angegebenen Arbeitsspannungen der Kondensatoren müssen unbedingt gewährleistet sein. Wenn der Verstärker nicht an diesem Netzteil betrieben wird, sondern an einem Netzteil, das

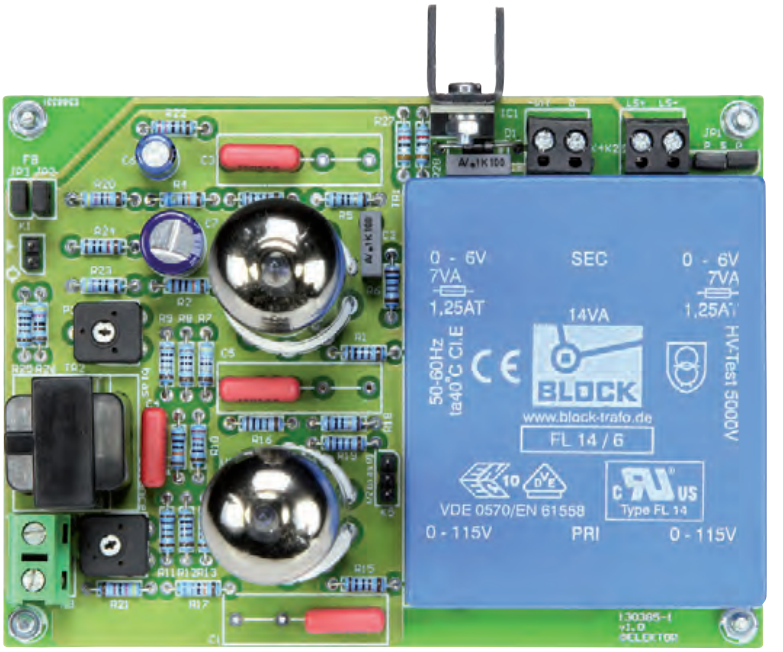
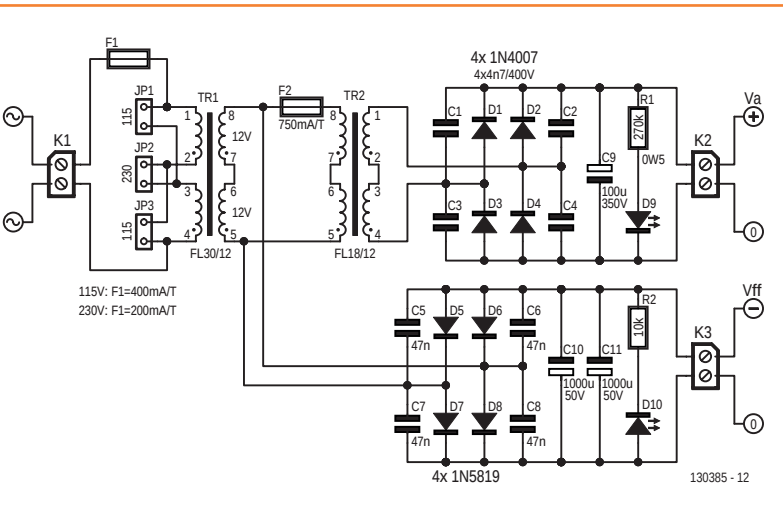


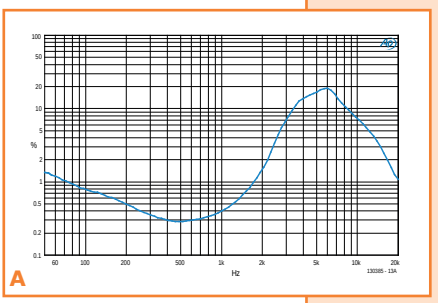
Bild 3.
Im Netzteil des Röhrenverstärkers arbeitet der Trafo, der die Hochspannung liefert, im inversen Betrieb.



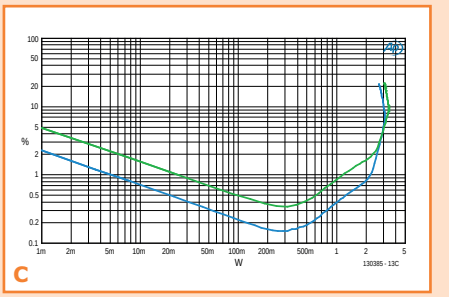
Messdiagramme

Diagramm A zeigt die harmonischen Verzerrungen plus Rauschen als Funktion der Frequenz bei der Ausgangsleistung 1 W an 8 Ω. Die sekundären Wicklungen des Ausgangsübertragers liegen parallel, die Gegenkopplung ist aktiv (Jumper JP2 und JP3 gesteckt). Hier tritt das ungünstigere Verhalten des Netztrafos als Ausgangsübertrager verglichen mit einem „echten“ Ausgangsübertrager deutlich in Erscheinung.

Diagramm B stellt die Amplitude als Funktion der Frequenz bei 1 W an 8 Ω dar. Auch hier sind die sekundären Wicklungen des Ausgangsübertragers parallel geschaltet. Die Kurve mit der höheren Bandbreite wurde bei aktiver Gegenkopplung gemessen (Eingangssignal 850 mV), bei der zweiten Kurve ist die Gegenkopplung deaktiviert (Eingangssignal 235 mV). Die Kurven wurden für die Frequenz 1 kHz normiert.

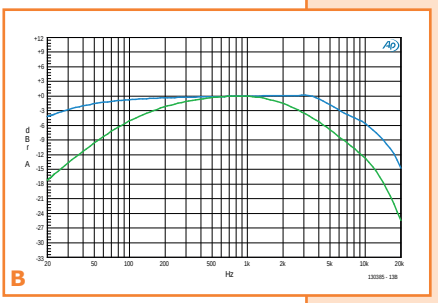


A

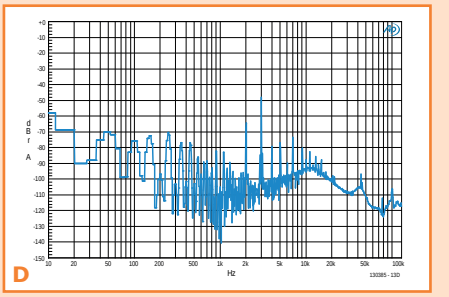


C

Diagramm C gibt die harmonischen Verzerrungen plus Rauschen als Funktion der Ausgangsleistung bei der Last 8 Ω wieder. Die sekundären Wicklungen des Ausgangsübertragers sind parallel geschaltet. Bei der oberen Kurve ist die Gegenkopplung deaktiviert, die untere Kurve zeigt den Verlauf bei eingeschalteter Gegenkopplung.



B



D

Diagramm D zeigt eine FFT eines 1-kHz-Signals bei 1 W an 8 Ω, die sekundären Wicklungen des Ausgangsübertragers sind parallel geschaltet. Die gesamten harmonischen Verzerrungen plus Rauschen betragen 0,4 %. Außer den beiden höheren Harmonischen des 1-kHz-Signals ist ein breites Störspektrum sichtbar, das seine Ursache in der Welligkeit der Betriebsspannung hat.

Messwerte

Eingangsempfindlichkeit	Ausgänge parallel; mit Gegenkopplung:	1,7 V (P_{max} = 3,1 W)
	Ausgänge in Reihe; mit Gegenkopplung:	1,3 V (P_{max} = 1,04 W)
Eingangsimpedanz bei 1 kHz:		1,01 kΩ
Dauerausgangsleistung	Ausgänge parallel:	> 3 W
	Ausgänge in Reihe:	≈ 1 W
Leistungsbandbreite	Ausgänge parallel; mit Gegenkopplung:	28 Hz...6,2 kHz (bis 12 kHz bei 0,1 W)
	Ausgänge in Reihe; mit Gegenkopplung:	46 Hz...4,8 kHz
S/N bei 1 W/8 Ω	Ausgänge parallel; mit Gegenkopplung:	> 64 dB (> 72 dBA)
THD + N bei 1 W/8 Ω	Ausgänge parallel; mit Gegenkopplung:	0,4 %
	Ausgänge in Reihe; mit Gegenkopplung:	5 %
Dämpfungsfaktor bei 1 W/8 Ω	Ausgänge parallel; mit Gegenkopplung:	2,75
	Ausgänge in Reihe; mit Gegenkopplung:	1,25
Strom im Hochspannungszweig	Ausgänge parallel; in Ruhe; Va = 188 V:	52 mA
	Ausgänge parallel; P = 3 W, Va = 181 V:	59 mA

höhere Spannungen liefert, ist der Einsatz von Kondensator-Typen mit der Arbeitsspannung 350 V ratsam.
In beiden Spannungszweigen zeigt eine LED die Funktion an, die LED im Hochspannungsteil ist gleichzeitig eine Mindestlast. Die Mindestlast verhindert, dass die Spannung hochläuft, wenn unmittelbar nach dem Einschalten noch kein Anodenstrom fließt. Versuche mit unterschiedlichen Anodenspannungen können recht aufschlussreich sein. Der Autor brachte den Verstärker mit einem leistungsstarken Netzteil, 200 V Anodenspannung und einem höheren Ruhestrom auf die Ausgangsleistung 10 W bei 10 % THD.

Inbetriebnahme

Nachdem der Verstärker und das Netzteil aufgebaut sind, steht der Inbetriebnahme nichts im Weg. Bevor Sie mit P2 den Ruhestrom einstellen, warten Sie eine Anwärmzeit von etwa fünf Minuten ab. Den Ruhestrom stellen Sie bei beiden Röhren auf 250 mA ein, was 250 mV an K5 entspricht. Die Symmetrie ist ausgewogen, wenn Sie P1 so einstellen, dass die Ruheströme beider Röhren übereinstimmen.
Jetzt ist der Zeitpunkt gekommen, das Klangbild des Röhrenverstärkers zu genießen. Der Autor berichtet, dass der Verstärker an seinen Lautsprecherboxen optimal arbeitet, wenn die Wicklungen des Ausgangsübertragers parallel geschaltet sind und Widerstand R26 im Gegenkoppelzweig den Wert 4,7 kΩ erhält. Nach unseren Erfahrungen entspricht das Klangbild der Charakteristik, die einem Röhrenverstärker eigen ist: Detaillierte Wiedergabe der Bässe, weiche Übersteuerungen bei Signalen mit hohen Amplituden.

(130385)gd

Weblinks

[1] www.elektor-magazine.de/130385
[2] www.elektor-labs.de/node/2999

Anzeige

BATRONIX

FÜHRENDE PROGRAMMIER- UND MESSLÖSUNGEN

Batronix Elektronik - Ihr Messtechnik Partner

- Attraktive Preise
- Kompetente Beratung
- Große Auswahl ab Lager
- Lieferung auf Rechnung
- Einfach 30 Tage testen
- Geld zurück Garantie

BATRONIX
RIGOL
Premium Distributor
★★★★★

Aktuelle Neuheiten

Rigol DS1000Z Oszilloskope
4 Kanäle, 70/100 MHz, 1 GSa/s, 12 Mpts Speicher, FFT, USB, LAN, professionelle Mess- & Analysefunktionen, optional mit eingebautem Funktionsgenerator, 3 Jahre Garantie

ab € 535,50 inkl. MwSt.

Rigol DG1000Z Funktionsgeneratoren
2 Kanäle, 30/60 MHz, 200 MSa/s, 2 Mpts Speicher, USB, LAN, arbiträre Signalgenerierung, analoge und digitale Modulation, 3 Jahre Garantie

ab € 555,73 inkl. MwSt.

Jetzt Neuheiten ansehen und Angebote nutzen:
www.batronix.com/go/30

NEU

Batronix Elektronik | Lise-Meitner-Str. 1-7 | 24223 Schwentinental | Tel.: +49 (0)4307/8243-20 | Fax: +49 (0)4307/8243-39 | www.batronix.com | service@batronix.com

Erweiterungsplatine für das FPGA-Board (Teil 2)

Programmierung in VHDL

Von
Andreas Mokroß, Dominik Riepl, Christian Winkler und **Prof. Dr. Thomas Fuhrmann** (D)

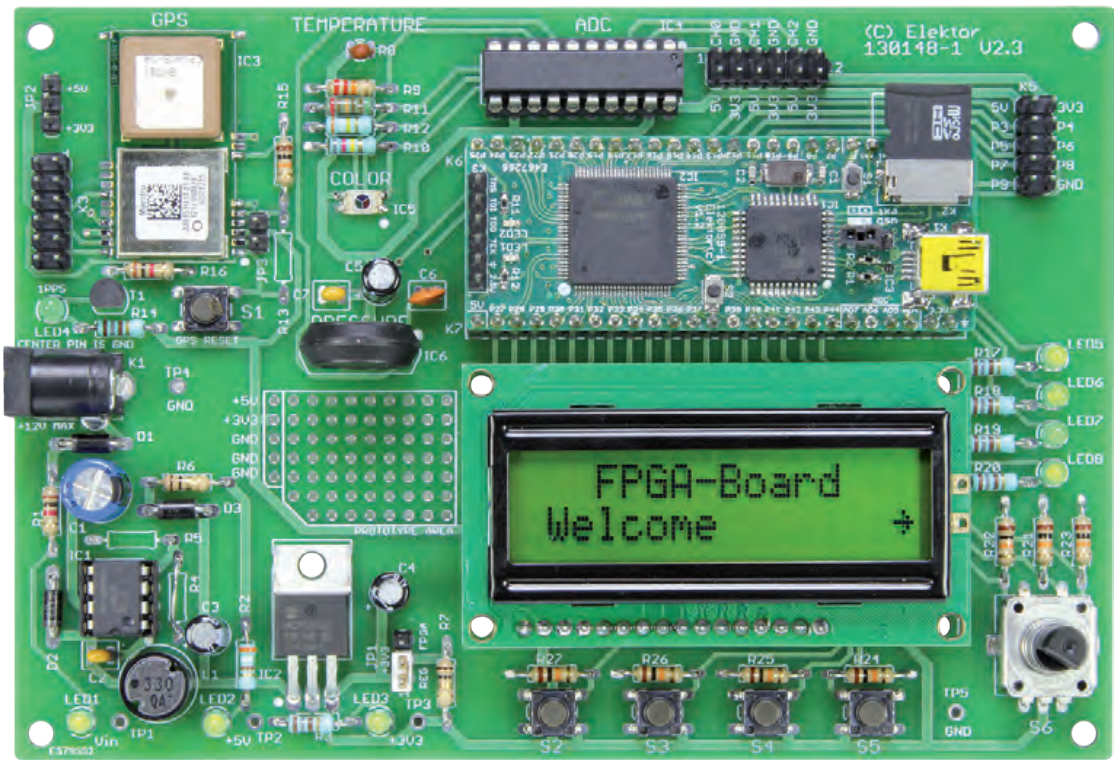


Bild 1.
Board mit Startbildschirm.

In Elektor Dezember 2013 wurde eine Erweiterungsplatine für das Elektor FPGA-Board veröffentlicht. Damit kann man die tollen Möglichkeiten solcher programmierbarer Logikchips sehr einfach ausprobieren. Die Erweiterungsplatine bietet umfangreiche Peripherie, doch muss man auch wissen, wie man diese programmiert. Dies wird nachfolgend beschrieben.

Im Dezember 2012 wurde das Elektor FPGA-Board vorgestellt, das im Elektor-Shop unter der Nummer 120099-91 erhältlich ist. Auf diesem Board sind keine Peripheriekomponenten integriert. Aus diesem Grund wurde im Rahmen eines studentischen Projektes an der Ostbayerischen Technischen Hochschule Regensburg ein Erweiterungsboard gebaut, auf dem zahlreiche ausgewählte Peripheriebauteile vorhanden sind, die mit dem FPGA relativ einfach in VHDL angesteuert werden können, wodurch viele Anwendungen möglich werden. Das komplett aufgebaute Board ist in **Bild 1** zu sehen. Nachdem die Hardware des Boards bereits vorgestellt wurde [1], wird hier die Ansteuerung der Peripheriebauelemente mittels VHDL beschrieben, was als mögliche Basis für eigene Projekte dienen kann.
Das Gesamtprojekt wurde mit der Design Suite XILINX ISE 14.5 entwickelt, die kostenlos im Internet erhältlich ist [2].

Hierarchische Entwicklung

Um größere Projekte in VHDL effektiv zu realisieren ist es sinnvoll, die gesamte Aufgabe ähnlich wie bei konventionellen Programmiersprachen in kleinere Teilaufgaben zu zerlegen. Es entstehen hier jedoch keine Funktionen oder Klassen, sondern Beschreibungen von Hardware, die sogenannten Module.

Jedes Modul wird in einer eigenen Datei beschrieben und hat eine fest definierte Schnittstelle nach außen. Funktioniert ein Modul für sich alleine und ist es mithilfe einer Test-Bench simuliert worden, kann es als funktionierende Blackbox angesehen werden, die in das Gesamtprojekt integriert wird. Diese Modularisierung reduziert den Aufwand bei der Fehlersuche enorm.

Das VHDL-Projekt wurde anhand der Sensor-, Anzeige- und Steuereinheiten sowie deren Ansteuerung in folgende Bereiche unterteilt (siehe **Bild 2**):

- `menu_control`: Zentrales Modul, in dem die Daten zusammen laufen und das die Menüsteuerung übernimmt.
- `taster`: Interface mit Entprell-Logik für die Taster.
- `lcd`: Steuert das LCD an und stellt die Daten dar.
- `gps_control`: Stellt die Ansteuerung für das GPS-Modul bereit und liefert sowohl Positionssignale als auch die Uhrzeit.
- `ADC_control`: Übernimmt die Steuerung des A/D-Wandlers.

Im Top-Level werden die einzelnen Module verbunden und nicht etwa logische Prozesse beschrieben. Die Verbindung geschieht, indem im Modul `top_level` die Teilmodule mit dem Schlüsselwort `component` bekannt gemacht werden. So wird dem Compiler mitgeteilt, welche Komponenten vorhanden sind und welche Ein- und Ausgänge sie besitzen. Die Verbindung der Module erfolgt mit dem Schlüsselwort `port map`, mit dem die Ein- und Ausgänge der Teilmodule mit in den im Top-Level definierten Signalen verbunden werden.

Da es sich bei VHDL um eine Hardware-Beschreibungssprache handelt, die direkt in Gatter übersetzt wird, und da zudem die Module parallel arbeiten, muss keine Rücksicht auf die Reihenfolge der Module genommen werden.

Alle Module sind mit einem Takteingang für die 8 MHz des Taktoszillators versehen, damit jeder Prozess taktsynchron abläuft. Außerdem erhalten

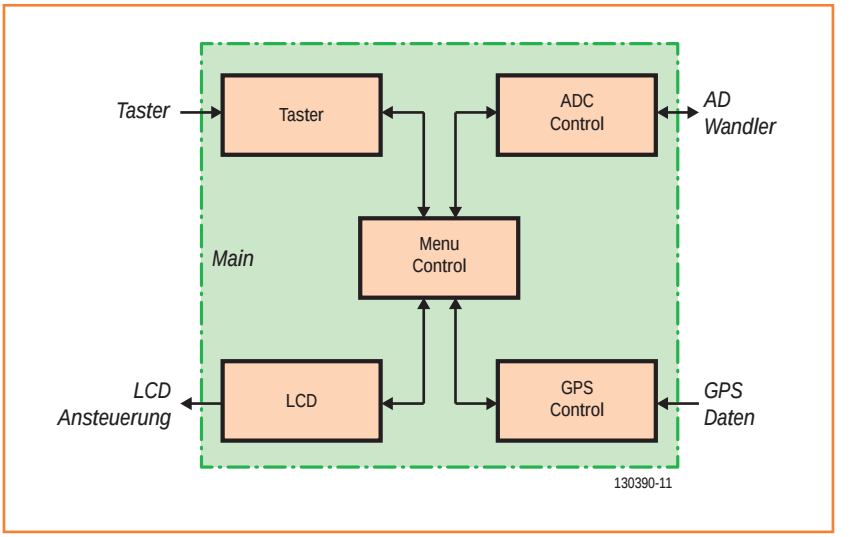


Bild 2. Blockschaltbild des Gesamtprojektes.

die Datenausgänge der Module Enable-Signale. Diese werden einen Takt lang auf logisch „1“ gelegt, sobald die Verarbeitung im Modul fertig ist. Damit wird angezeigt, dass die Werte an den Datenausgängen gültig sind und verwendet werden können.

Package: self_defined_types

In diesem Package sind globale Definitionen für das Gesamtprojekt festgelegt, um oft benutzte Datentypen und Umrechnungen übersichtlicher darzustellen.

Es werden folgende Datentypen definiert:

- `BYTE`:
  Ein 8 bit breites Array des Typs `std_logic`
- `BYTE_ARRAY`:
  Beliebig breites Array des Typs `BYTE`

Darüber hinaus wurde noch eine Funktion `HEXtoASCII` definiert, die einen 4 bit breiten `std_logic_vector` mit einem Hexadezimalwert in den Wert des darstellbaren ASCII-Zeichens wandelt. Die Einbindung dieses Packages erfolgt wie bei anderen Bibliotheken über folgende Befehle:

```
library work;
use work.self_defined_types.all;
```

Modul ADC

Das erste hier beschriebene Modul dient zur Steuerung des A/D-Wandlers und zum Auslesen seiner Daten. Das Modul besitzt den 3 bit langen `std_logic`-Eingabevektor `in_channel` zum Auswählen des Kanals und den 8 bit langen `std_logic`-Ausgabevektor `out_adval` zur

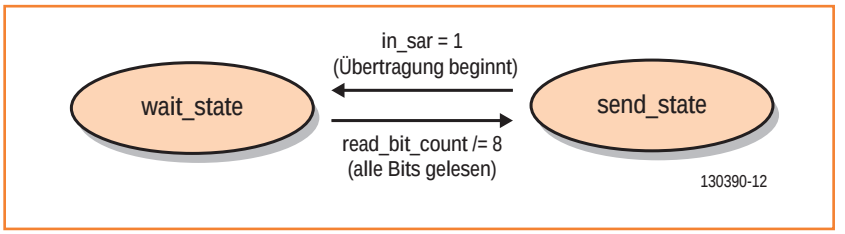


Bild 3.
Zustandsdiagramm des ADC-Leseprozesses.

Ausgabe der Daten. Die restlichen Ein- und Ausgänge sind zur Kommunikation mit dem IC nötig (`in_sar`, `in_do`, `out_clk`, `out_di`, `out_not_cs`, `out_not_se`).

Taktprozess

Laut dem Datenblatt des A/D-Wandlers [3] muss das IC mit einem Takt zwischen 10 kHz und 400 kHz angesprochen werden. Hier werden 100 kHz verwendet. Dieser Takt wird in einem eigenen Prozess erzeugt **(Listing 1)**.

Dabei wird der Zähler `cnt_clock` bei jeder steigenden Taktflanke des 8-MHz-Takteingangs `in_clk` erhöht und der interne Takt `adc_clk` bei `(const_divider - 1) / 2` und `(const_divider - 1)` jeweils invertiert, sodass die Zeit, die bei einem Zählerdurchlauf von 0 bis zum Rücksetzen vergeht, genau einer Taktperiode des zu erzeugenden Takts entspricht.

Für die Konstante `const_divider` ergibt sich mit der gegebenen Taktfrequenz des externen Oszillators und des gewünschten Wandlertakts folgende Formel zur Berechnung:

$$const_divider = \frac{Taktfrequenz\ des\ Oszillators}{Taktfrequenz\ des\ Wandlers}$$

Außerdem werden noch die Enable-Signale `rising_clk` und `falling_clk` für die Zustandsautomaten zur Kommunikation mit dem Wandler erzeugt.

Listing 1

```
constant const_divider: integer := 80;
signal cnt_clock: integer range 0 to const_divider - 1 := 0;
signal rising_clk: std_logic;
signal falling_clk: std_logic;
signal adc_clk: std_logic := '0';

process(in_clk)
begin
  if rising_edge(in_clk) then
    if cnt_clock = const_divider - 1 then
      adc_clk <= '1';
      rising_clk <= '1';
      cnt_clock <= 0;
    elsif cnt_clock = (const_divider - 1)/2 then
      adc_clk <= '0';
      falling_clk <= '1';
      cnt_clock <= cnt_clock + 1;
    else
      rising_clk <= '0';
      falling_clk <= '0';
      cnt_clock <= cnt_clock + 1;
    end if;
  end if;
end process;
```

Leseprozess – Implementierung einer State Machine

Die Steuerung der FPGA-Funktionen wurde zwecks Übersichtlichkeit in den Modulen mit Zustandsautomaten implementiert. Im Folgenden wird eine Implementierung anhand des A/D-Wandlers vorgestellt. Das Zustandsdiagramm des Automaten ist in **Bild 3** zu sehen. Die einzelnen Zustände werden in dieser Grafik durch Kreise und die Übergänge in einen anderen Zustand mit Pfeilen dargestellt, an denen die Übergangsbedingung steht.

Um Daten vom Wandler zu lesen sind zwei Zustände nötig: Im `wait_state` wartet der Zustandsautomat, bis Daten des Wandlers zur Verfügung stehen und damit der SAR-STATUS des A/D-Wandlers auf logisch „1“ gesetzt wird. Anschließend springt der Zustandsautomat in den `send_state` und liest die 8 Bits des Wandlers ein. Zur Beschreibung des Zustandsdiagramms aus Bild 3 in VHDL wird zunächst ein eigener Datentyp `state_type_read` mit allen möglichen Zuständen definiert und danach ein Signal, das von diesem Typ ist. Vom Compiler wird dieses Konstrukt in einen Zähler übersetzt. Für den Entwickler ist die hier benutzte Form jedoch leichter verständlich. Es wird ein Prozess mit einer Case-Anweisung geschrieben, in dem jeder mögliche Zustand des Automaten beschrieben wird **(Listing 2)**.

Die beiden Zustände des Automaten können nun getrennt voneinander beschrieben werden:

`wait_state`: Beginnt der A/D-Wandler mit der Ausgabe des Wertes, setzt er den SAR-Status-Pin auf logisch „1“. Daraufhin wechselt der Zustand des Automaten auf `read_state`.

`read_state`: Hier wird die serielle Ausgabe des A/D-Wandlers Bit für Bit eingelesen und mit dem MSB startend in ein Schieberegister geschrieben. Wurden 8 Bits gelesen, wird das Value-Enable-Bit `int_val_en` auf logisch „1“ gesetzt und wieder in den `wait_state` gewechselt. Nach dem Wechsel wird das Value-Enable-Bit wieder auf logisch „0“ gesetzt.

Der Wandler ändert seine Signale bei jeder fallenden Taktflanke des 100-kHz-Taktes. Somit werden die Werte bei jeder steigenden Flanke mithilfe des Enable-Signals aus dem Taktprozess eingelesen. Da diese Implementierung bei allen weiteren Zustandsautomaten gleichartig verwendet wird, werden nur noch die einzelnen Zustände und Übergänge erklärt und nicht mehr das Prinzip selbst.

Sendeprozess

Die Wandlung muss durch das Senden eines Telegramms an den A/D-Wandler angestoßen werden. Hierfür ist ein eigener Prozess zuständig. Laut dem Timing-Diagramm des Wandlers (siehe Datenblatt [3] bzw. Bild 20) liest dieser die anliegenden Steuerbits des FPGAs bei steigender Taktflanke. Der Wandler gibt bei jeder steigenden Taktflanke ein neues Bit aus. Um stabile Daten zu gewährleisten, liest der implementierte Zustandsautomat die Wandlerwerte bei den fallenden Taktflanken ein.

In **Bild 4** ist das Zustandsdiagramm des Sendeprozesses abgebildet. Die Implementierung des Prozesses ist ein Zustandsautomat mit drei Zuständen:

`wait_state`: Wartet auf das Channel_Enable-Signal, um die Wandlung anzustoßen. Wird dieses Signal logisch „1“, so wird das Chip-Select-Signal auf logisch „0“ gesetzt und das erste Bit des Telegramms gesendet. Der Zustandsautomat wechselt in den Zustand `send_state` und decodiert die restlichen Bits des Telegramms.

`send_state`: In diesem Zustand werden die Bits nacheinander auf die Datenleitung zum A/D-Wandler gelegt. Gleichzeitig wird mitgezählt, wie viele Bits schon gesendet wurden. Sind alle Bits gesendet, wird in den Zustand `wait_for_rec_ready` gewechselt.

`wait_for_rec_ready`: In diesem Zustand wird darauf gewartet, dass die Wandlung der Spannung beendet ist. Dies geschieht mithilfe des Signals `int_val_en`. Ist das Auslesen beendet, wird die Kommunikation durch Setzen des Chip-Select-Signals auf logisch „1“ unterbrochen. Der Automat geht wieder in den Ausgangszustand `wait_state` zurück und die nächste Anfrage kann verarbeitet werden.

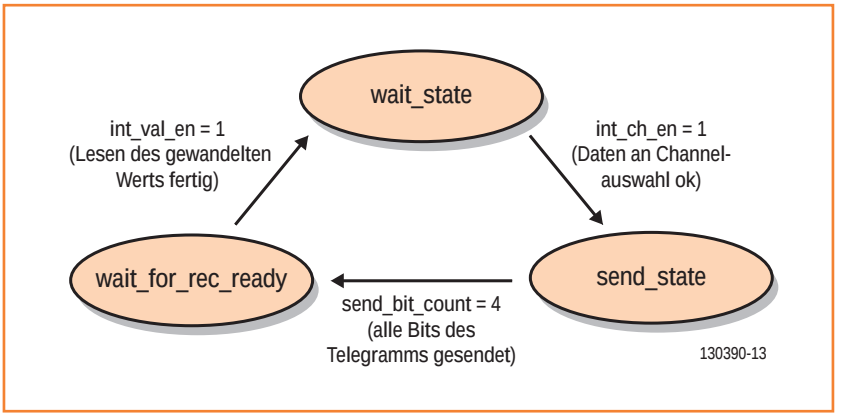


Bild 4. Zustandsdiagramm des ADC-Sendeprozesses.

Listing 2

```
type state_type_read is (wait_state, read_state);

signal read_state_machine : state_type_read := wait_state;

process(in_clk) begin
  if rising_edge(in_clk) then
    if rising_clk = '1' then
      case read_state_machine is
      when wait_state =>
        read_bit_count <= 0;
        int_val_en     <= '0';

        if in_sar = '1' then
          read_state_machine <= read_state;
        end if;

      when read_state =>
        if read_bit_count /= 8 then
          int_adval (7 downto 1)   <= int_adval (6 downto 0);
          int_adval (0) <= in_do;
          read_bit_count <= read_bit_count + 1;
        else
          read_state_machine <= wait_state;
          int_val_en <= '1';
        end if;
      end case;
    end if;
  end if;
end process;
```

Modul Taster

Der Prozess zur Reaktion auf Tasteneingaben befindet sich in einem eigenen VHDL-Modul. Seine Hauptfunktion ist das Entprellen (siehe Artikel zur Hardware des Boards [4]).
Dazu wird ein Zähler gestartet, sobald ein sich änderndes Signal von den Tastern erkannt wurde. Erst nach Ablauf dieses Zählers und der damit definierten Verzögerungszeit wird das Signal gültig. Um auszuschließen, dass bei einem längeren Tastendruck sehr viele Signale kurz hintereinander gültig werden, wird bei jeder steigenden Flanke des Takts überprüft, ob der aktuell betätigte Taster bereits gedrückt war: Hierzu wird das aktuelle Eingangssignal mit dem nach dem letzten Durchlauf des Zählers gespeicherten Eingangssignal verglichen. Stimmen sie überein wird der Zähler auf null gesetzt. Andernfalls wird der Zähler solange inkrementiert, bis die durch den Wert des Zählers eingestellte Verzögerungszeit erreicht wird.
Nach Ablauf der Verzögerungszeit ist das Taster-Signal sicher entprellt. Das Signal wird in den temporären Speicher geschrieben und es wird ein kurzer Puls ausgegeben.

Listing 3

```
generic (WAIT_40MS: integer := 320100;
         WAIT_4_1MS: integer := 32900;
         WAIT_1_52MS: integer := 12200;
         WAIT_100US: integer := 900;
         WAIT_38US: integer := 400;
         WAIT_450NS: integer := 10);
```

Listing 4

```
when send_data =>
  out_enable <= '1';
  if wait_counter = WAIT_450NS - 1 then
    state <= wait_state;
    wait_counter   <= 0;
  else
    wait_counter <= wait_counter + 1;
  end if;

when wait_state =>
  out_enable <= '0';
  if wait_counter = wait_time - 1 then
    if prev_state = '0' then
      state <= init;
    else
      state <= write_data;
    end if;
    wait_counter <= 0;
  else
    wait_counter <= wait_counter + 1;
  end if;
```

Modul LCD

Die LC-Anzeige wird mittels paralleler Übertragung von Steuer- und Datenworten angesprochen. Nach jedem Wort benötigt sie eine festgelegte Zeit zur Verarbeitung. Aus diesem Grund werden Wartezeiten definiert. Dies geschieht mit dem Befehl `generic`, durch den im Modul gültige Konstanten festgelegt werden. Diese werden in der Entity-Deklaration definiert **(Listing 3)**.

Die Wartezeiten sind durch Integer-Werte festgelegt, bis zu welchen die Takte bei einer Taktfrequenz von 8 MHz hochgezählt werden.

Zustandsautomat LCD

Zur Ansteuerung der LC-Anzeige wird ein Zustandsautomat mit sechs Zuständen implementiert. Das vereinfachte Zustandsdiagramm für das LCD ist in **Bild 5** dargestellt. Der Zustandsautomat beginnt mit `start_up`. Hier wird 40 ms auf das Hochfahren des LCD gewartet. Nach dieser Zeit wird der Zustand `init` durchlaufen, in dem das LCD initialisiert wird.
Nach der Initialisierung springt der Zustandsautomat in `wait_for_data`. Hier wird so lange gewartet, bis `in_data_en` (der Eingang von außen) logisch „1“ ist. Damit wird angezeigt, dass Displaydaten anliegen, die geschrieben werden sollen.
Anschließend wird in den Zustand `write_data` gesprungen, in dem das gesamte Display beschrieben wird. Für jeden Schreibvorgang eines Zeichens benötigt das Display ein „1“-Signal von mindestens 450 ns Dauer an der Enable-Leitung. Dies wird sichergestellt, indem nach der Ausgabe jedes Zeichens in den Zustand `send_data` gesprungen wird. In diesem wird `out_enable` gesetzt und 450 ns gewartet.
Das Display benötigt zur Verarbeitung jedes gesendeten Zeichens 38 µs Zeit. Diese Zeit wird im Zustand `wait_state` abgewartet, bevor das nächste Zeichen gesendet wird.
Nach der Wartezeit im Zustand `wait_state`

wird wieder in den Zustand `write_data` zurück gesprungen, bis alle Zeichen auf dem Display ausgegeben sind.
Nachfolgend der VHDL-Ausschnitt der Zustände `send_data` und `wait_state` **(Listing 4)**.

GPS

Die VHDL-Beschreibung des GPS-Moduls besteht aus vier einzelnen Modulen. Das Hauptmodul zur GPS-Steuerung ist `gps_control` und enthält die drei Untermodule `gps_serial_parallel`, `gps_checksum` und `gps_parser`.

GPS Steuerung (gps_control)

Im Hauptmodul `gps_control` werden die oben beschriebenen Module als `component` eingefügt und mit den entsprechenden Ports verbunden. In diesem Modul findet man den Prozess, mit dessen Hilfe das GPS-Modul ein- und ausgeschaltet werden kann. Hinzu kommt ein kurzer Prozess, der eine LED jedes Mal blinken lässt, wenn ein korrektes GGA-Telegramm eingelesen wurde.

Umwandlungsprozess (gps_serial_parallel)

Im Modul `gps_serial_parallel` werden die vom GPS-Modul per UART-Protokoll seriell übertragenen Daten in 1 Byte breite parallele Signale umgewandelt. Durch einen vorher berechneten konstanten Teiler kann der Prozess an die Übertragungsgeschwindigkeit des verwendeten GPS-Moduls (hier 4.800 bit/s) angepasst werden. Ein wichtiger Punkt ist die Synchronisation des Abtastzeitpunktes der GPS-Daten. Dazu wird die fallende Flanke des Startbits am Anfang jedes Bytes detektiert, indem das Eingangssignal der GPS-Daten `gps_data` mit dem internen 8-MHz-Takt eingelesen, in den Vektor `data_shift` geschoben und auf die Bitfolge „1110“ überprüft wird.
Ist die fallende Taktflanke detektiert, so wird eine halbe Bit-Dauer der GPS-Daten gewartet und in der Mitte der folgenden Bits werden die Daten in das Schieberegister `int_data` eingelesen, bis ein Datenbyte empfangen wurde.
Die gültigen parallelen Daten werden ausgegeben, indem `int_data` auf den Ausgang `out_data` geschrieben und das Enable-Signal gesetzt wird.

Prüfsummenberechnung (gps_checksum)

Das Modul `gps_checksum` berechnet die Prüfsumme der übertragenen Datenbits und vergleicht das Ergebnis mit der vom GPS-Modul übertragenen Prüfsumme. So wird gewährleistet, dass nur korrekte Daten ausgegeben werden. Fehlerhafte Daten werden verworfen.
Das Einlesen, Berechnen und Auswerten der Prüfsumme wurde mit einem Zustandsautomaten mit fünf Zuständen realisiert:
`reset`: Hier werden die benötigten Signale für die Berechnungen mit Null vorbelegt. Wenn gültige Daten aus der Seriell/Parallel-Wandlung (`out_data_enable` = 1) anliegen, wird in den Zustand `zeichen_in` gewechselt, sobald ein „$“-Zeichen (0x24) in den Daten erkannt wird. Dieses Zeichen ist das Startsymbol einer Datenübertragung des GPS.
`zeichen_in`: Hier wird überprüft, wann im Datensatz die übertragene Prüfsumme beginnt und dann in den Zustand `checksum_in_1` gewechselt. Durch eine „if“-Abfrage wird geprüft, ob das Ende des Datentelegramms erreicht ist. Dies ist der Fall, wenn ein Stern in den Daten vorkommt. Die beiden Zeichen nach dem Stern bilden die zwei Bytes der Prüfsumme.
`checksum_in_1`: Hier wird das erste Zeichen der Prüfsumme eingelesen. Je nach Wert des eingelesenen Zeichens wird es mit einem anderen Wert XOR-verknüpft. Falls es kein gültiges Zeichen ist, wird dem Signal `int_checksum_err` eine logische „1“ zugewiesen.
`checksum_in_2`: Hier wird das zweite Zeichen der Prüfsumme eingelesen. Ansonsten ist dieser

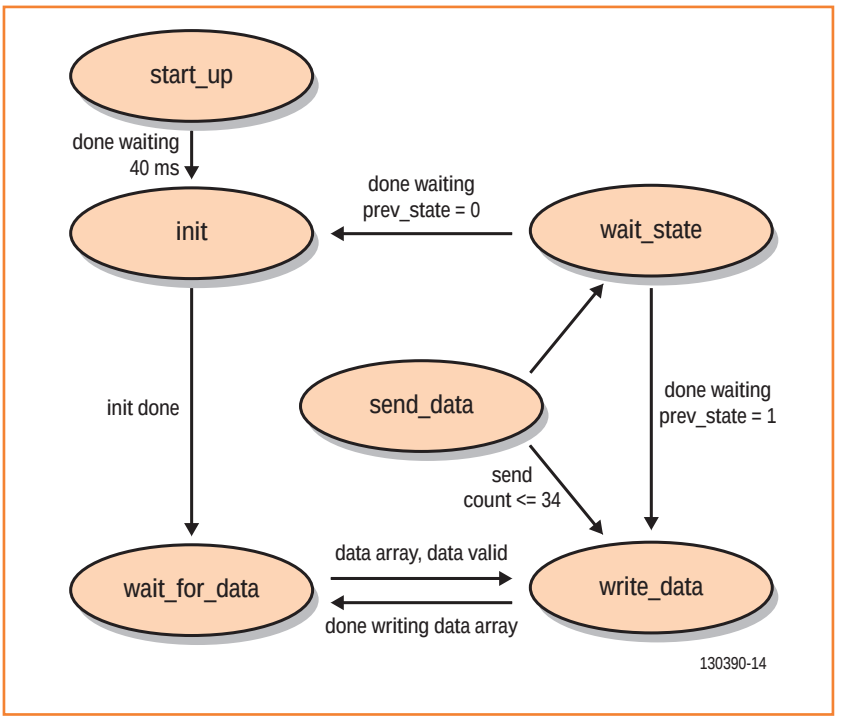


Bild 5.
Zustandsdiagramm der LC-Anzeige.

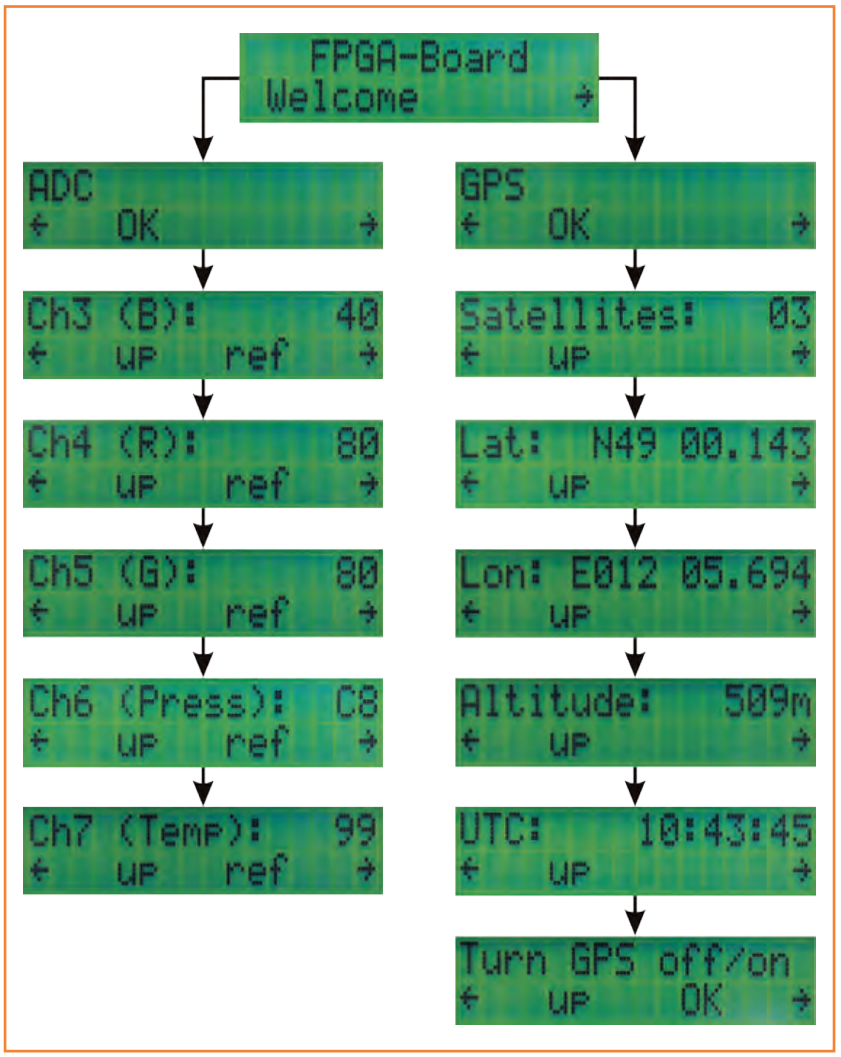


Bild 6.
Menüführung der Bedienung.

Zustand identisch zu `checksum_in_1`.
`output`: Ist die Prüfsumme korrekt, wird hier dem Signal `int_checksum_ok` eine logische „1“ zugewiesen, ansonsten eine „0“.

GPS Daten einlesen (gps_parser)

Im Modul `gps_parser` werden aus dem Datenstrom des GPS-Moduls die relevanten Daten herausgefiltert und zur Weiterverarbeitung aufbereitet. Das GPS-Modul sendet alle ihm bekannten Datentelegramme des NMEA-Protokolls nacheinander. Es muss also das Telegramm mit den relevanten Daten (hier das GGA-Telegramm) aus dem Datenstrom herausgefiltert werden.
Ein „$“-Zeichen in den GPS-Daten zeigt den Beginn eines neuen Datentelegramms an. Mit einem Zustandsautomaten wird überprüft, wann es auftritt. Folgen diesem dann die Symbole „GPGGA“, so beginnt der Lesevorgang der GPS-Daten. Für jeden gewünschten Datensatz gibt es einen Zustand, in welchem die Daten eingelesen werden. Da die Datensätze durch ein Komma getrennt sind, ist das Komma die Übergangsbedingung für den Zustandswechsel des Automaten. So werden nacheinander alle Daten eingelesen und dann auf die entsprechenden Ausgänge gelegt.

Menüsteuerung in VHDL

Um das Evaluations-Board zu steuern, wurde ein Menü auf dem Display implementiert, mit dem das GPS-Modul und der A/D-Wandler gesteuert werden. Mit den Tastern unterhalb des Displays kann auf intuitive Weise durch das Menü navigiert werden. **Bild 6** zeigt die Menüführung. Nach dem Startbildschirm gibt es auf der obersten Menü-Ebene die Auswahl zwischen den Untermenüs „GPS“ und „ADC“.
Im Untermenü „GPS“ findet man die Möglichkeit, das GPS-Modul ein- bzw. auszuschalten. Auf weiteren Seiten des Menüs können verschiedene Daten wie z.B. Längen- oder Breitengrade angezeigt werden. Durch den Befehl „up“ kommt man zurück in die übergeordnete Menü-Ebene.
Wählt man dort das Menü „ADC“, gelangt man zur Auswahl der verschiedenen A/D-Wandler-Kanäle, deren Werte jeweils auf einer Seite des Untermenüs dargestellt werden. Durch „ref“ (refresh) wird eine Wandlung des entsprechenden Kanals angestoßen. Nach einer Wandlung wird das Display aktualisiert.

GPS-Menüsteuerung

Die Menüsteuerung ist ebenfalls mit einem Zustandsautomaten aufgebaut und kann dadurch jederzeit umstrukturiert (andere Übergangsbedingungen) oder erweitert (neue Zustände) werden. Der Menü-Aufbau und der zugehörige Zustandsautomat wird exemplarisch am Beispiel des GPS-Menüs erklärt.
Für jede Seite im Menü gibt es einen entsprechenden State des Zustandsautomaten für die Menüsteuerung. Der augenblickliche Zustand wird im Signal `state` gespeichert. Der Automat startet im Zustand `state_init`, aus dem sofort in den Zustand `state_welcome` gewechselt wird. Nun ist der Startbildschirm zu sehen. Durch Betätigen des rechten Tasters wird in den Zustand `state_gps` gewechselt. Dieser Zustand bildet die oberste Menü-Ebene des GPS-Menüs. In den unteren Ecken des Displays sind kleine Pfeile nach

rechts und links zu sehen. Durch Betätigung der Taster unterhalb der Pfeile wird der Zustand auf `state_adc` geändert, und man kann das Menü des A/D-Wandlers sehen.
Bleibt man im GPS-Menü, gelangt man durch Betätigen von „OK“ in das erste GPS-Untermenü, in dem man das GPS-Modul ein- und ausschalten kann (`state_GPS_toggle`). Vor Abschalten der Spannungsversorgung ist das korrekte Ausschalten des GPS wichtig, um Beschädigungen des internen Speichers des GPS-Moduls zu vermeiden. Auf einer Ebene mit dem Zustand zum Ein- und Ausschalten befinden sich die verschiedenen Anzeigemöglichkeiten des GPS wie zum Beispiel Längen- und Breitengrad, die ebenfalls durch den linken und rechten Taster gesteuert werden.
Am Beispiel der Längengrade wird gezeigt, wie man die Daten auf das Display ausgeben kann. Im Zustand `state_longitude` (Längengrad) wird - automatisch nach Anliegen von gültigen Daten - den Vektorelementen von `out_lcd_line` das anzuzeigende Datenelement zugewiesen. In der VHDL-Beschreibung wird z.B. dem Vektorelement `out_lcd_line1(5)` das Datenelement `in_lon_pre` zugewiesen. An der fünften Stelle der ersten Zeile im Display wird der Wert von `in_lon_pre` angezeigt - in unserem Fall die Buchstaben „E“ oder „W“ für östlich oder westlich des Nullmeridians. Nach diesem Prinzip wird jeder Stelle des Displays das Signal des anzuzeigenden Wertes zugewiesen. Danach wird das Display mittels `refresh_lcd` aktualisiert.
In den anderen Menüseiten funktioniert der Zustandswechsel und die Anzeige der Daten analog zum oben beschriebenen Prinzip.

Zusammenfassung

Als Beispielprojekt wurde eine menügeführte Steuerung des Erweiterungsboards für das FPGA demonstriert. Alle Module enthalten Zustandsautomaten für eine systematische Implementierung. Für dieses Projekt wurden etwa 40 % der Gatter und Look-Up-Tables des FPGAs genutzt. Es gibt also noch genug Reserven. Man könnte leicht noch eine Funktion zur Wandlung des A/D-Wertes in eine Temperatur oder eine Spannung hinzufügen.

(130390)

Weblinks

[1] Teil 1: www.elektor-magazine.de/130148

[2] Xilinx ISE: www.xilinx.com/support/download/index.html/content/xilinx/en/downloadNav/design-tools/v2012_4---14_5.html

[3] Datenblatt A/D-Wandler: www.ti.com/lit/ds/snas531b/snas531b.pdf

[4] www.elektor.de/130390

Anzeige

Elektra2013 WINNER

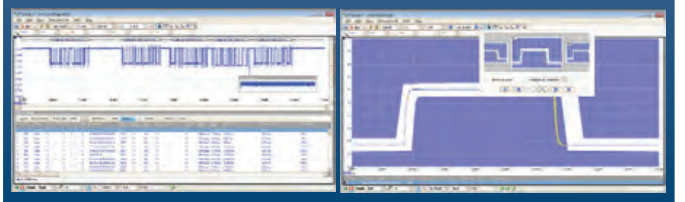
pico Technology

KEINE KOMPROMISSE
GESCHWINDIGKEIT
VS
GENAUIGKEIT
SIE BEKOMMEN BEIDES

PicoScope	PicoScope 5442	PicoScope 5443	PicoScope 5444
Kanäle	4		
Bandbreite	Alle Modelle: 60 MHz	8 bis 15-bit-Modus: 100 MHz 16-bit-Modus: 60 MHz	8 bis 15-bit-Modus: 200 MHz 16-bit-Modus: 60 MHz
Sampling-Rate - Echtzeit	2.5 GS/s	5 GS/s	10 GS/s
Puffer-Speicher (8-bit) *	32 MS	128 MS	512 MS
Puffer-Speicher (≥ 12-bit)*	16 MS	64 MS	256 MS
Auflösung (erweitert)**	8 bits, 12 bits, 14 bits, 15 bits, 16 bits (Hardware-Auflösung + 4 bits)		
Signal-Generator	Funktionsgenerator or AWG		

* Aufgeteilt auf die aktiven Kanäle. ** Maximale Auflösung ist begrenzt auf den niedrigsten Spannungsbereich • ±10 mV = 8 bits • ±20 mV = 12 bits. Alle anderen Bereiche können die volle Auflösung nutzen

FLEXIBLE AUFLÖSUNG OSZILLOSKOP



ALLE MODELLE INKLUSIVE TASTKÖPFEN, VOLLER SOFTWAREUNTERSTÜTZUNG UND 5 JAHREN GEWÄHRLEISTUNG. SOFTWARE ENTHÄLT STANDARDMÄßIG MESSUNG, SPEKTRUM-ANALYSATOR, SDK, ERWEITERTE TRIGGER, FARB-PERSISTENZ, SERIELLES DECODING (CAN, LIN, RS232, I²C, I²S, FLEXRAY, SPI), MASKEN, MATHEMATIK-KANÄLE. MIT FREIEN UPDATES.

www.picotech.com/PS246

Bringen wir eine LED zum Blinken!

Von
Thijs Beckers
(Elektor-Labor)

In den alten Tagen wurde eine LED mit nicht mehr als einem Schalter oder Timer-IC und dem unvermeidlichen Strombegrenzungswiderstand zum Blinken gebracht. Heute scheint die Menge der benötigten - oder besser, der *eingesetzten* – Elektronik, die die einfachsten Aufgaben zu erfüllen hat, außergewöhnliche Ausmaße angenommen zu haben.

Obwohl Mikrocontroller-Entwicklungsplattformen leistungsfähiger sind als jemals zuvor (sehen Sie, die potenten Boards Raspberry Pi und Beagle Bone Black stecken genauso im Haufen wie das Xilinx Zedboard FPGA-Entwicklungssystem), beginnen viele Tutorials mit einem doofen Vortrag der Marke „Wie bringen wir eine LED zum Blinken“ (in Worten: eine (!) LED). Bei all der unglaublichen Komplexität moderner Systeme: Manchmal erinnere ich mich in melancholischen Momenten der guten alten Zeiten, als das Leben noch so schön einfach war.

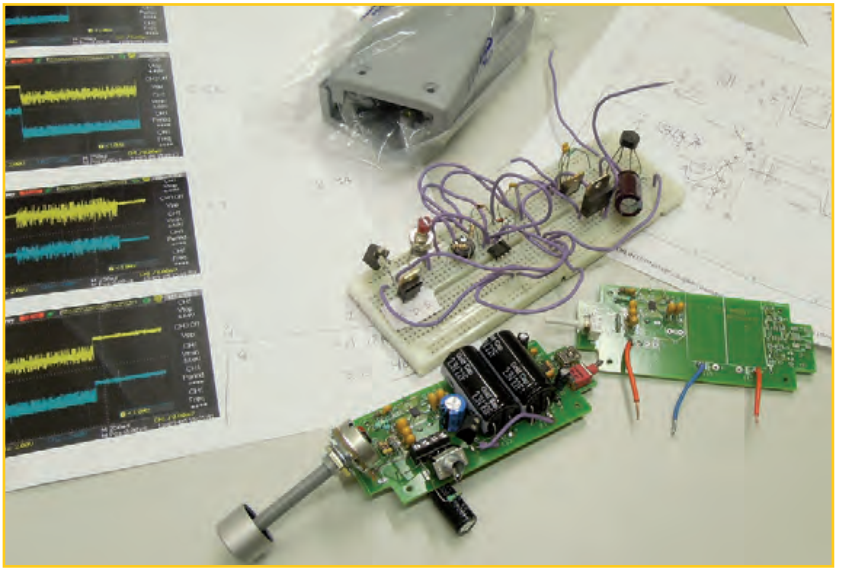
(130417)

Wo Rauch ist, ist auch Feuer

Von **Thijs Beckers**
(Elektor.Labs)

Kürzlich hat das Europa-Parlament eine neue Ergänzung zum Artikel 18 der Direktive des Europäischen Parlaments und des Europa-Rats für die Anwendung von Gesetzen, Regulierungen und Verwaltungsvorschriften durch die Mitgliedsstaaten bezüglich der Herstellung, des Anbietens und des Verkaufs von Tabak und verwandten Produkten [1] angenommen.
Wenn Sie nach diesem Schwurbelsatz die Augenbraue heben: Es geht um das aktuelle Thema E-Zigarette. Die Ergänzung Nr. 170 schreibt eine Höchstgrenze für Nikotin von 30 mg/ml in Flüssigkeiten vor. Außerdem müssen alle Inhaltsstoffe und die Emissionen bei der Anwendung des Produkts auf den Ampullen und der Anleitung angegeben sein. Geschmacksstoffe sind erlaubt. Dafür wird Werbung, Sponsoring, kommerzielle audiovisuelle Kommunikation und Product-Placement aller Nikotin enthaltenden Produkte eingeschränkt. Der Verkauf an Minderjährige wird verboten. Etliche weitere Details werden präzisiert.

Zusammengefasst: Die E-Zigarette wird es in der EU weiter geben, obwohl bestimmte politische Gruppierungen letztlich erfolglos versucht haben, sie als pharmazeutisches Produkt einstufen zu lassen. Stattdessen wurden präzise Regeln und verbesserte Qualitätsstandards verabschiedet.
Unser ehemaliger Praktikant Aurélien Moulin aus Frankreich brachte die Idee auf, eine E-Zigarette zu entwickeln, die via USB mit Strom versorgt wird. Da das Inhalieren per elektrischem Zerstäuber ja auch an Orten erlaubt ist, wo Rauchverbot herrscht, wäre dies die optimale Lösung in Büros arbeitende Nikotinsüchtige. Kein leerer Akku mehr und keine unbefriedigten Bedürfnisse…
Aurélien startete also ein Projekt. Bald wurde klar, dass die Elektronik nicht einfach wird. Der eigentliche Zerstäuber benötigt (viel) mehr Spitzenleistung, als eine normale USB-Buchse liefern kann. Also integrierte er zwei Gold-Caps mit unglaublichen 22 Farad(!) bei maximal 2,3 V - um Stromspitzen abzufangen und eine gleichmäßigere Stromaufnahme zu realisieren.
Es gelang ihm nicht, sein Projekt während seines Praktikums abzuschließen, da andere „noch wichtigere“ Projekte dazwischen kamen. Aber es lebte in seinem Unterbewusstsein fort. Doch sein Studium verhindert vorerst eine weitere intensivere Beschäftigung damit. Von daher würden wir es für eine gute Idee halten, wenn ein Kollege, ein Mitglied von Elektor.Labs [2] oder Sie die Idee von Aurélien aufnehmen und sie zu einem brauchbaren Produkt weiterentwickeln würde.



Hinweis: Man hat es dabei mit allerhand Einschränkungen zu tun, die Werbung und kommerzielle Kommunikation von Tabak-Produkten betreffen - siehe die Direktiven 2003/33/EC und 2010/13/EC. Technisch gesehen enthält das fertige Produkt zwar (noch) kein Nikotin, doch kann es als verwandtes Produkt gesehen werden, für das all diese erwähnten Regeln gelten. Gut für Rechtsanwälte, vermutlich.

(130246)

Weblinks

[1] www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-%2F%2FEP%2F%2FNONSGML%2BAMD%2BA7-2013-0276%2B169-170%2BDOC%2BPDF%2BV0%2F%2FEN (oder nach „amendment 170 tobacco“ googeln)

[2] www.elektor-labs.com

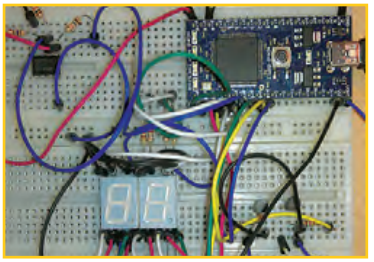
Die Vierte Industrielle Revolution

Von **Clemens Valens**
(Elektor.Labs)

Intelligent miteinander vernetzte Objekte, Geräte und Maschinen revolutionieren die Welt, in der wir leben. Von diesem weltumspannenden Netzwerk, dem Internet der Dinge (IOT), wird erwartet, dass es die Art, wie wir mit unserer Umwelt interagieren, radikal und in einer dramatischen Art und Weise ändert. Wireless-und Energy-Harvesting-Technologien sind Schlüssel dieser vierten Industriellen Revolution. Elektor.Labs und seine Nutzer sind schon auf diesen fahrenden Zug gesprungen - was ist mit Ihnen?

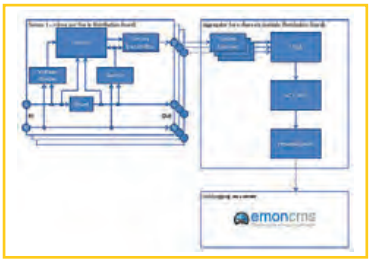
Wireless Resonant Power for a 2.4GHz Security Camera

In diesem Projekt wird eine „drahtlose“ Überwachungskamera wirklich drahtlos: es braucht keine Netzkabel und keine Batterien mehr. Die Kamera wird über ein Paar von luftgekoppelten Spulen (Sender, Empfänger, unterstützt von Resonanzkondensatoren) mit Energie versorgt.
www.elektor-labs.com/node/3653



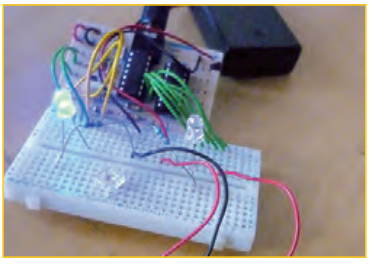
Tweeting Freezer

OP **mvnieuw** stellt einen intelligenten Gefrierschrank vor. Das Projekt nutzt ein mbed-NXP-Modul, nicht nur, um die 2-stellige 7-Segment-LED-Temperaturanzeige des Gefrierschranks zu überwachen, sondern auch, um seinen Status auf Twitter zu veröffentlichen. Natürlich wurde ich ein überzeugter Follower dieses Gefrierschranks, ich fühle mich einfach unwohl, wenn ich nicht weiß, wie es ihm geht.
www.elektor-labs.com/node/3065



Multi-channel Isolated Smart Energy Meter for Distribution Board

Smart Metering und Smart Grid sind zwei heiße Themen des Internet of Things. OP **markusrr** arbeitet an einem solchen Projekt. Das Ziel ist es, den eigenen Energieverbrauch so detailliert wie möglich zu überwachen.
www.elektor-labs.com/node/3322



Charge Controller for Off-Grid Systems

Eine ganze Reihe von Menschen arbeitet auf dem Gebiet der alternativen Energiequellen. Ein Problem hierbei ist es, eine Batterie optimal aus Stromquellen wie Solarpanel oder Hydro-/Windkraftanlage zu laden. OP **Chunky** arbeitet an einem Laderegler für Batterie-basierte Inselanlagen bei Gleichspannungen von 12 V oder 24 V und Strömen bis 20 A DC.
www.elektor-labs.com/node/3482

Anmerkung: OP steht für Original Poster, der Person, die ein Online-Projekt oder eine Diskussion beginnt. OPs, die die Chance wahren wollen, dass ihr Projekt in Elektor veröffentlicht wird, sollten immer darauf achten, dass ihre E-Mail-Adresse für den Zugang zu Elektor.Labs korrekt ist. Nur so können wir auch Kontakt mit Ihnen aufnehmen.

Negative Energie

Wie das so ist: Just als ich zu Besuch bei meinen Schwiegereltern war, versagte eine batteriebetriebene Funktürklingel, die ich vor etwa zwei Jahren an einem selten benutzten Seiteneingang installiert hatte. „Nanu!“ sagte ich verwundert zu meinem Schwiegervater. „Erst vor zwei Monaten hatte ich doch die Batterien gewechselt und seither wurde die Klingel kaum genutzt. Wie kann das sein?“ Mein pragmatischer Schwiegervater entgegnete: „Egal. Machen wir einfach neue Batterien rein.“ Der sichtlich an Ursachen interessierte Gatte seiner Tochter aber meinte: „Moment… Hast Du ein Multimeter?“

Er hatte. Und zwar so ein altertümliches Ding mit Drehspulinstrument, auf dem „Batterietester“ prangte. Das sollte reichen, dachte ich mir. Der Klingelknopf alias Sender sollte eigentlich in Ordnung sein, denn ein Druck auf die Taste ließ die rote Kontroll-LED leuchten. Doch bei der Glocke alias Empfänger wollte weder etwas leuchten noch war die eingestellte Tonfolge von Big Ben zu vernehmen, obwohl Sender und Empfänger keine Handbreit voneinander entfernt waren. Aha, der Empfänger also!

Vor dem geistigen Auge eines Elektronikers scrollen in solchen Momenten (automatisch wie auf einer imaginären Konsole) die Hypothesen samt Bewertung herunter:

1. Spielt mir der Schwiegervater einen Streich? (möglich, aber verworfen)
2. Vermutlich schlechte Batterien. (dann läge Schwiegervater richtig – ungern)
3. Gerät kaputt. (soll vorkommen)
4. Etwas anderes. (immer möglich)

Was vermuten Sie?

Im aufgeklappten Batteriefach des Empfängers waren die drei AA-Zellen zu sehen, die ich da vor zwei Monaten platziert hatte. Der Batterietester hatte eine Stellung für 4,5-V-Batterien. Et voilá – einfach mal über alle drei Zellen messen. Resultat: 1,5 V.

Also doch Hypothese Nr. 2? Mein Schwiegervater grinste schon. Ich entnahm die einzelnen Batterien und schaltete den Tester in den 1,5-V-Bereich. Die erste Batterie brachte etwa 1,5 V. Oha! Waren da etwa zwei Zellen defekt? Doch die nächste Zelle hatte ebenfalls 1,5 V.

Bevor Sie sich fragen: Ja, alle Zellen waren richtig herum eingelegt. „Ich staune!“ sagte ich zu meinem Schwiegervater. „Zweimal 1,5 V, aber die Gesamtspannung ist 1,5 V!“ und freute mich schon, weil es spannender wurde als gewöhnlich. Nun die dritte Zelle gemessen: „Huch“, entfuhr es mir, „der Zeiger schlägt falsch rum aus!“. Ich vertauschte die Prüfspitzen, also rot an den Minuspol und schwarz an den Pluspol: 1,5 V!!!

1,5 V + 1,5 V – 1,5 V = 1,5 V. Kein Wunder!

Die negative Zelle wurde ersetzt und alles funktionierte prächtig. Doch eine Frage blieb: Eine Batterie mit negativer Spannung. Gibt’s das? Natürlich nicht. Schließlich hat der Empfänger ja funktioniert, als ich die Batterien vor zwei Monaten neu bestückt hatte. Ich nahm die Zelle mit der negativen Spannung mit nach Hause und testete sie am nächsten Morgen mit meinem genauen Digitalmultimeter. Es war, wie ich es erwartet hatte: Zwar hatte sie immer noch „negative Energie drauf“, aber die Spannung war nach einigen Stunden Lagerzeit auf -35,9 mV zurückgegangen.

Des Rätsels Lösung ist eigentlich recht simpel: Die negative Zelle hatte wohl einfach durch einen Fabrikationsfehler sehr wenig Kapazität. Als die erschöpft war, floss der Strom bedingt durch die 3 V der restlichen beiden Zellen immer noch weiter, da der Empfänger ja dauerhaft eingeschaltet war. Und dieser Stromfluss hat die defekte Zelle umgepolt.

(130108)

Von
Dr. Thomas Scherer
(D)

DesignSpark Tipps & Tricks

3D-Modelle

Von
Neil Gruending
(Kanada)

In dieser Folge geht es darum, die 3D-Ansicht einer Beispiel-Platine zu erzeugen. Zudem wird gezeigt, wie man diese Daten passend für DesignSpark Mechanical exportieren kann. 3D-Ansichten sind nicht nur eine nette Zugabe zum Layout, sie helfen sehr beim Design der mechanischen Aspekte eines Geräts.

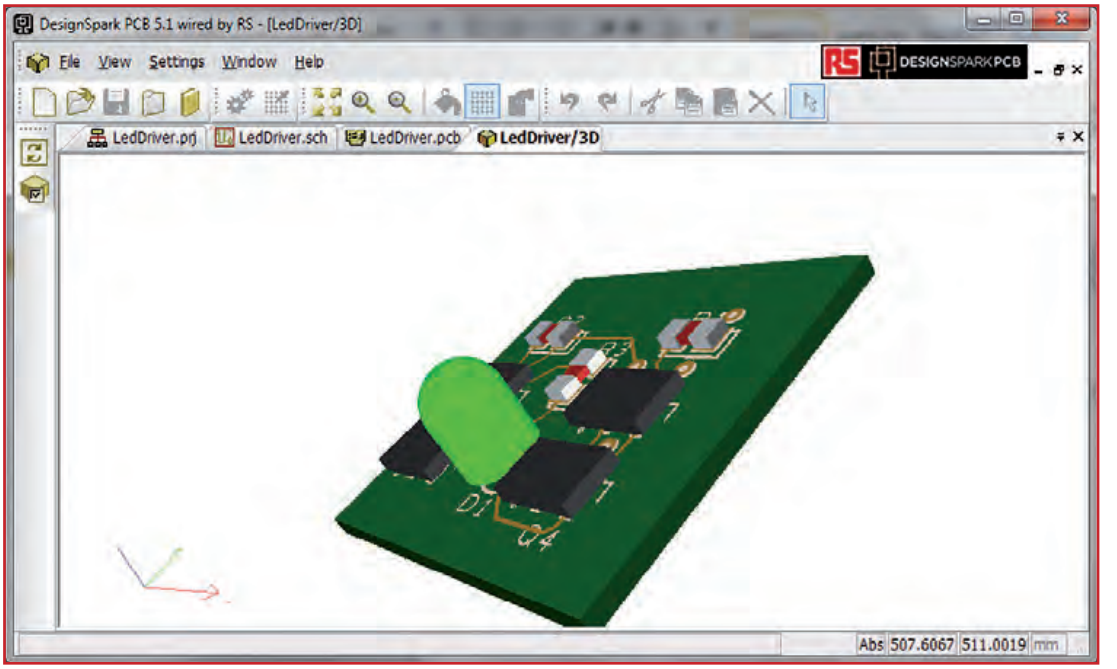


Bild 1.
3D-Rendering der Beispielplatine mit DesignSpark PCB.

Einführung in die 3D-Library

Mit DesignSpark kann man recht bequem eine 3D-Ansicht einer Platine erstellen: Man öffnet die Platinen-Datei und wechselt ins Menü „3D->3D View“. **Bild 1** zeigt die Beispiel-Platine.
DesignSpark kann sogar dann eine 3D-Ansicht erstellen, wenn in der verwendeten Library keine 3D-Modelle stecken. Es gibt nämlich Standard-Modelle, die auf dem Platinen-Layout der Bauteile basieren. Das ist bei DesignSpark anders als bei vergleichbarer Software, wo die 3D-Modelle direkt mit den Bauteilen in der Library verknüpft sind. Bei DesignSpark sind die 3D-Libraries komplett unabhängig von den Bauteile-Libraries. Hier werden die 3D-Informationen nämlich mit den Bezeichnungen der Layout-Daten der Bauteile – gewissermaßen mit ihrem Fußabdruck auf der Platine – verknüpft. Dabei kommt eine Mustererkennung ähnlich wie bei einer Suche mit Regulären Ausdrücken zum Einsatz, die in der 3D-Library hinterlegt ist.

Man kann keine fertige 3D-Form (wie etwa ein STEP-Modell) für ein Bauteil verwenden, jedoch verfügt DesignSpark über ein 3D-Modeling-Tool, das die meisten Formen von Bauteilen generieren kann. Ein tolles Feature des 3D-Tools ist, dass es parametrisch ist, weshalb sich ein 3D-Modell für etliche unterschiedliche reale Bauteile verwenden lässt. Beispielsweise kann ein Modell

für einen Pinheader mit einem Rastermaß von 0,1“ für Header mit unterschiedlichen Polzahlen verwendet werden, da man die Anzahl an Pins eines Bauteils leicht über die Bezeichnung seines Layouts ändern kann.

Erstellung eines 3D-Modells

Das Standard-3D-Modell für das SOT23-Gehäuse eines Transistors bildet die physische Form nicht sonderlich gut ab. Also macht man selbst ein besseres Modell. Ein möglichst einfaches Modell reduziert die Komplexität des Designs insgesamt, wodurch der Export in Mechanik-Dateien für andere (in Zukunft unterstützte) CAD-Pakete einfacher wird. Das ist auch bei anderen Layout-Programmen für Platinen angebracht, da sonst die exportierten Dateien so groß werden könnten, dass die CAD-Software damit Probleme bekommt.

Zunächst klickt man im Tab „3D View“ des Library Managers auf „New Item“. Als Symbol-Name für das Layout gibt man „SOT-23-L“ ein, denn das Symbol wird vom Transistor verwendet. Der Name sollte so spezifisch wie nötig sein, damit DesignSpark dieses Modell mit Sicherheit verwendet, wenn es die Bauteile der Platine mit der 3D-Bibliothek abgleicht. **Bild 2** zeigt, wie das Edit-Fenster des 3D-Pakets nach den nötigen Änderungen aussieht.

Der Package-Style wird zu „Shape“ geändert, damit DesignSpark eine passende Fläche generiert, die den Lötstopplack und die Pads enthalten, die dann ein bestimmtes Maß in die Z-Richtung ausgedehnt werden. Hier beträgt die Z-Höhe 1,10 mm – das Maximum der Bauteilehöhe laut Datenblatt. Der Inside-Parameter reduziert die Größe dieser Form. Hier sind 0,80 mm ein guter Wert, denn so werden die Pads sichtbar. Man kann diese Werte berechnen oder sie anhand der Breite der Lötstoppfläche schätzen. Am einfachsten klickt man auf das Preview-Fenster und rotiert bis man die Ränder der Form und des Lötstopplacks sehen kann. Als Pin-Style eignet sich Gullwing.

Das gesicherte 3D-Modell sollte so aussehen wie in **Bild 3**. Das ist zwar schon besser, doch der Transistorkörper ist nicht zentriert. Eine 3D-Form versucht eine Anpassung der Bauteile via Lötstopplack und den Pads. Hier hat man es mit einem Pin-1-Bezeichner zu tun, der weit von der linken Seite der verwendeten Transistoren weg ist. Um das zu korrigieren, öffnet man das Layout-Symbol für SOT-23-L der Library und

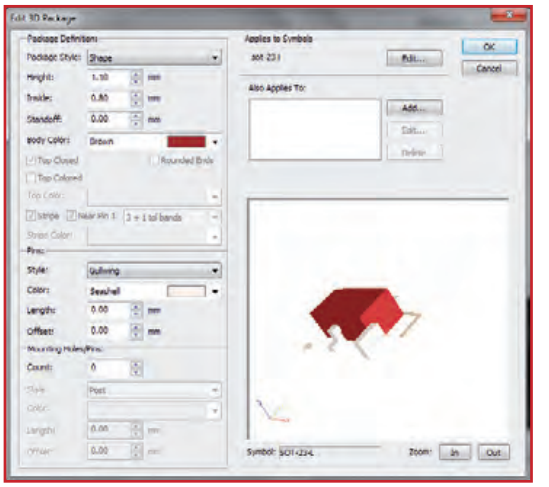


Bild 2.
Eingabe der 3D-Gehäuse-Parameter für SOT-23-L.

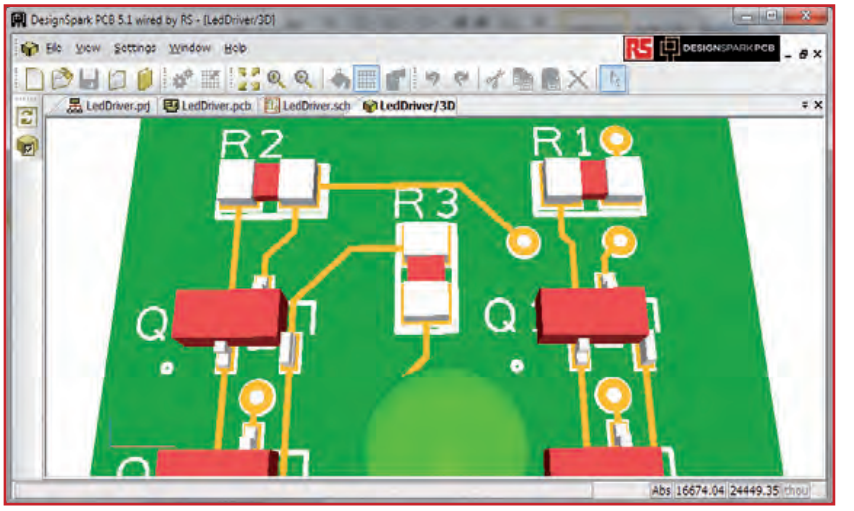


Bild 3. Jetzt sehen die Transistoren realistischer aus.

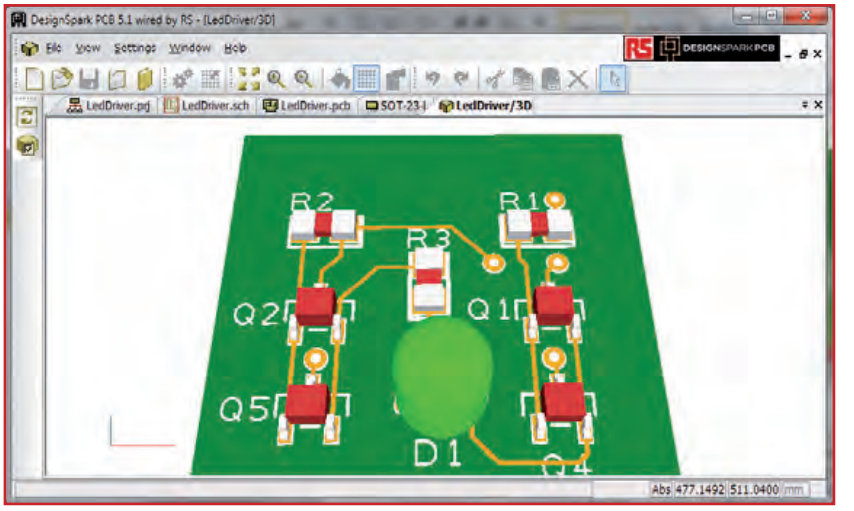


Bild 4. Auch wenn die Körper der Transistoren Q1, Q2, Q4 und Q5 nun richtig platziert sind, sind sie noch nicht breit genug.

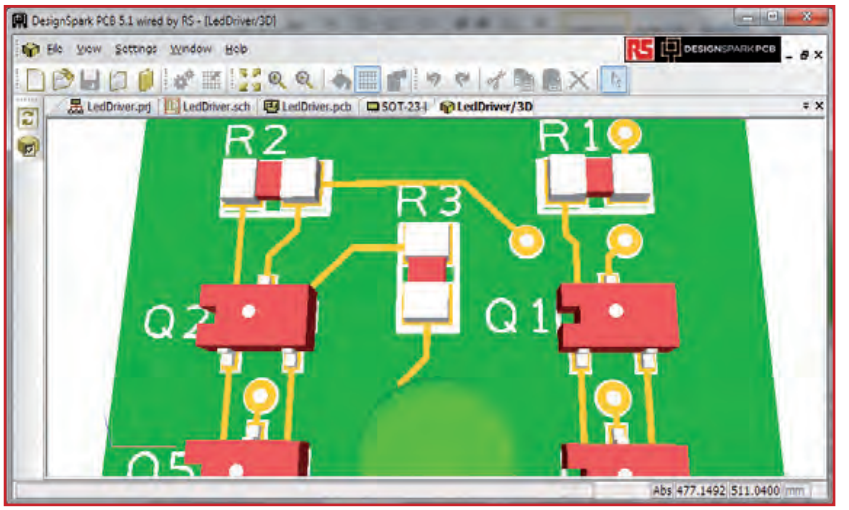


Bild 5. Langsam entsteht eine realistischere Form.

löscht die Pin-1-Bezeichnung. Nun ein Update des Bauteils der Platine und die nächste 3D-Ansicht sollte **Bild 4** entsprechen. Die Transistorkörper sind jetzt zwar zentriert, aber nicht breit genug. Aber die Pins sehen nun gut aus. Zuvor wurde ja ein Pin jeweils als Quader gerendert. Bei DesignSpark gibt es leider keine unabhängige Einstellung der 3D-Inside-Parameter für Breite und Länge der Form, weshalb man sich etwas einfallen lassen muss. Man könnte einige Punkte und Linien 0,8 mm vom linken und rechten Rand platzieren, um die 3D-Berechnung auszutricksen. Von Nachteil sind dann aber unnütze Flächen im Lötstopplack, was bei der Platine verwirren kann. Eine weitere Option wäre, unterschiedliche 3D-Package-Styles wie „DIL“ oder „DILSwitch“ zu verwenden, die am besten passen. Beim DIL-Style gibt es eine Kerbe für Pin 1 und bei DILSwitch kommt eine schalterartige Struktur bei der Ansicht hinzu. Mit DIL und einem Inside-Parameter von „0“ ergibt sich das Layout von **Bild 5**. Nicht perfekt, aber schon ziemlich nahe an der Wirklichkeit - eine gute Vorlage für eine realistische 3D-Ansicht.

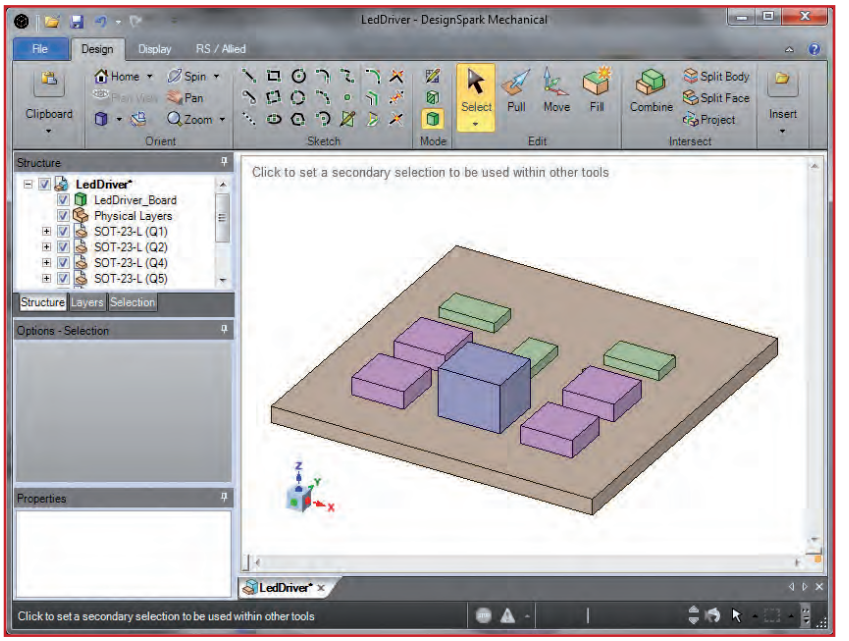


Bild 6. Ergebnis des ersten 3D-Modell-Imports der Beispielplatine in DesignSpark Mechanical.

Import in DesignSpark Mechanical

DesignSpark PCB kann die 3D-Ansicht leider nicht direkt für ein CAD-Programm exportieren. Stattdessen exportiert man in das Austauschformat IDF, das viele CAD-Programme inklusive DesignSpark Mechanical importieren können. Hierzu wählt man in DesignSpark PCB das Menü „Output->IDF“. Dabei muss man die Platinenstärke angeben (1,6 mm) und welcher Layer der Bestückungsaufdruck (normalerweise „Silk Screen“) ist. **Bild 6** zeigt, wie das Resultat in DesignSpark Mechanical aussieht.

Alle wichtigen Design-Parameter wie Bauteilhöhen und ihre Platzierungen sind vorhanden, auch wenn die 3D-Informationen der Bauteile nicht voll integriert sind. Auf der Webseite von DesignSpark kann man in den Tutorials [1][2] mehr zu diesem Thema erfahren.

Schlussbemerkung

In diesem Beitrag wurden die grundlegenden 3D-Fähigkeiten von DesignSpark ausgelotet. Im nächsten Beitrag dieser Serie wird es um weitere mechanische Spezialitäten von DesignSpark gehen.

(130303)

Weblinks

[1] http://designspark.com/eng/tutorial/exporting-designs-from-designspark-pcb-to-mechanical-cad

[2] www.designspark.com/eng/tutorial/designspark-mechanical-importing-elektronic-designs-pcbs

Null-Ohm-Widerstand

Seltsame Bauteile

Wenn ich mit den Technikern des Elektor-Labors diskutiere, ist eines meiner Lieblings-Themen die Existenz des Null-Ohm-Widerstands. Warum existiert der Null-Ohm-Widerstand und warum ist es überhaupt ein „Widerstand“, wenn sein Wert Null ist?

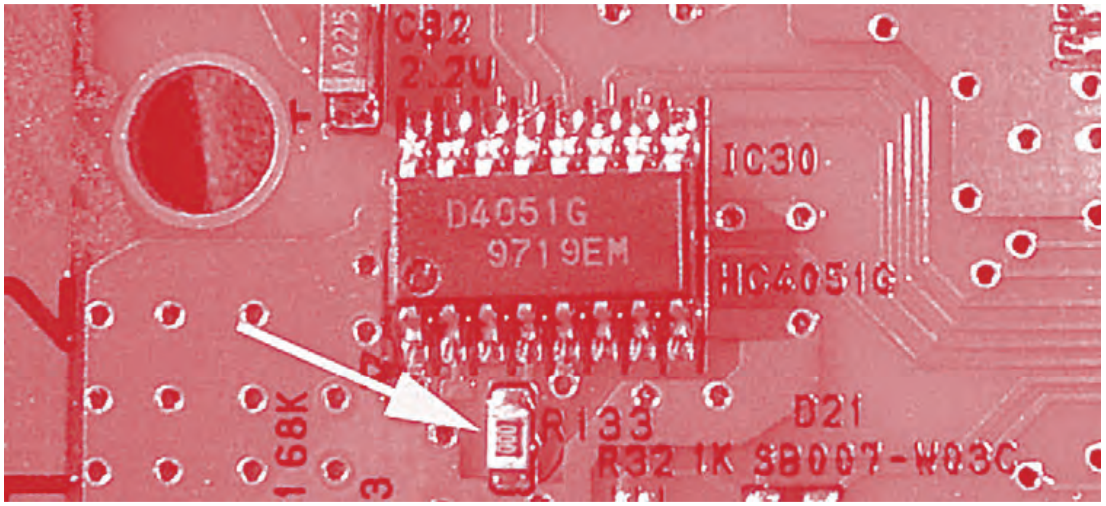
Von **Wisse Hettinga**

Könnte er auch „Leiter“ genannt werden? Warum nennen wir ihn nicht einfach Brücke? Die Diskussion mit meinen Kollegen wird wirklich schwierig, wenn wir beginnen, über die Toleranz eines Null-Ohm-Widerstands zu diskutieren. Üblicherweise wird die Toleranz eines Widerstands mit ±% definiert. Theoretisch könnte dies bedeuten, dass der tolerante Widerstand einen Wert kleiner Null Ohm aufweist! Der Null-Ohm-Widerstand ist im wahrsten Sinne des Wortes ein Grenzfall - nur wenige elektronische Bauteile haben das Vergnügen einer solch existentialistischen Natur. An dieser Stelle erklären mich meine Kollegen üblicherweise für wahnsinnig und stürzen sich auf ihre Arbeit, aber Sie werden mich nicht so leicht loszuwerden!

In der Praxis hat sich der Null-Ohm-Widerstand aber als sehr nützlich erwiesen. Was es so kompliziert macht, ist die Tatsache, dass wir es leicht mit einer Drahtbrücke oder einem Jumper verwechseln. Was ja – elektronisch gesehen – richtig ist. Aber wegen seines Gehäuses wird dieses Bauteil oft als fester Jumper oder Drahtbrücke benutzt, um einen festen Pegel an einen Controller-Pin zu legen oder einfach, weil der Platinenentwickler keinen anderen Weg sah, zwei Punkte miteinander zu verbinden. Der Entwickler würde dies jedoch niemals zugeben, es wäre zu beschämend. Was zählt, ist, dass die Platine mit diesem Widerstand am Fließband gefertigt werden kann.

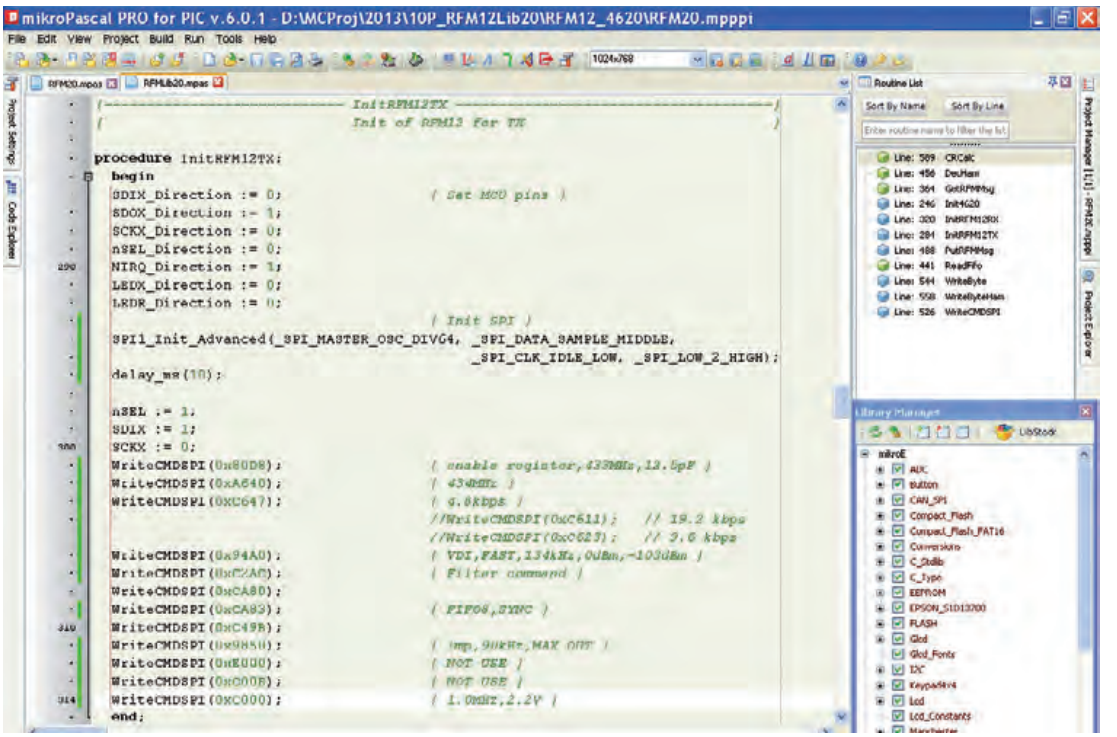
Lassen wir meinen Kollegen etwas Zeit, wieder zu Atem zu kommen. Vielleicht sollte ich sie über Kondensatoren ausfragen? Über die mit unendlicher Kapazität?

(130396)



Zuverlässig Daten funken

Pascal-Bibliothek für RFM12-Module



Von **Walter Trojan**

Die Haussteuerung des Autors war verkabelt, alle erreichbaren Punkte mit dem RS485-Protokoll angebunden. Aber einige Plätze sollten noch integriert werden, wobei die Verlegung von Kabeln auf den nicht-ohmschen Widerstand der Hausfrau stießen. Also musste eine zuverlässige, in beide Richtungen übertragende drahtlose Verbindung mit preiswerten HF-Modulen realisiert werden.

Bei der Suche nach einem geeigneten Transceiver fiel der RFM12 der Firma HopeRF [1] angenehm auf. Dieses Modul ist mit ungefähr 5 € preisgünstig, weist eine gute Empfangsempfindlichkeit (-102 dBm) und eine genehmigte Sendeleistung (0 dBm) auf. Das Modul ist für die ISM-Frequenzbänder 434 MHz und 868 MHz lieferbar. Vorteilhaft wurde auch die FSK-Modulation (Frequency Key Modulation) bewertet, die während der Übertragung zwei Frequenzen „hart“ im Rhythmus der Datenbits umschaltet. Dabei ist immer ein HF-Träger vorhanden, so dass der Empfänger sich optimal auf die Stärke des Sendesignals einstellen kann. Wegen der höheren Reichweite und der Durchdringung von zwei mit viel Stahl bewehrten Betondecken entschied sich der Autor für die 434-MHz-Variante.

Schon bald wurde klar, dass die Handhabung nicht so einfach sein würde wie bei den Chips mit einfacher RX/TX-Ansteuerung. Der RFM12 kennt Dutzende Parameter, mit denen sich zahlreiche Betriebsarten bis hin zu Übertragungsraten

von 250 kBit/s einstellen lassen. Zudem müssen Parameter und Daten über die SPI-Schnittstelle eingegeben beziehungsweise ausgelesen werden. Erfreulicherweise stellt HopeRF Softwarebeispiele in C zur Verfügung, die bereits eine gute Ausgangsbasis für eigene Weiterentwicklungen darstellen.

Hardware-Plattform

Da der Autor Mikrocontroller aus der PIC18-Familie bevorzugt, wurde natürlich auch die Test- und Entwicklungsplattform entsprechend ausgestattet. Eine Station besteht aus einem PIC-Ready-Board der Firma MikroElektronika [2], bestückt mit einem PIC18F4620, die andere ist eine kleine Selbstbauplatine mit einem PIC18F14K22. Die Taktfrequenz beträgt jeweils 10 MHz, wobei der Takt auch vom Quarz-Oszillator des RFM12 geliefert werden kann. Beide Stationen sind mit je einem RFM12-Modul bestückt, die über eine Lambda/4-Drahtantenne (etwa 17 cm lang) abstrahlen. Ähnliche Schaltungen sind im Artikel zur Eisenbahnsteuerung in diesem Heft dargestellt.

In drei Schritten zum Erfolg

Meistens zahlt sich eine pragmatische, auf einem Phasenkonzept basierende Vorgehensweise aus. Ziel von **Phase 1** war es, die RFM12 auf der oben genannten Hardwareplattform „anzutesten“. Mit dem C-Code von HopeRF funktionierte die HF-Verbindung auf Anhieb. Kompiliert wurde mit mikroC Pro von MikroElektronika. Auch die erzielte Reichweite entsprach den Anforderungen des Autors.

Nun galt es in **Phase 2**, diese Lösung auf die Zielsprache Pascal zu überführen, damit war dann die Basis für ein definiertes Übertragungsprotokoll gelegt.

In **Phase 3** entstand das Release 1.0 mit folgenden von der Anwendung nutzbaren Kernprozeduren:

- **InitRFM12TX**: Initialisiert den RFM12 für den Sendebetrieb.
- **InitRFM12RX**: Initialisiert den RFM12 für den Empfang.
- **PutRFMMsg**: sendet den Inhalt des Sendepuffers inklusive Header und Trailer.
- **GetRFMMsg(Tout:word)**: Wartet auf den Eingang einer Nachricht und speichert diese im Empfangspuffer. Mit dem Parameter Tout legt man die maximale Wartezeit in Stufen von 0,1 ms fest. Als Rückgabe liefert diese Funktion die Werte:
  - 0 = keine Nachricht während der Wartezeit
  - 1 = Message erfolgreich empfangen, Infos sind im Empfangspuffer
  - 9 = Meldung mit Übertragungsfehlern empfangen

Die Ein-/Ausgabepuffer sind wie folgt definiert, wobei BUmax als Konstante den Wert 32 (erweiterbar bis 255) enthält.

- **TXBU:** array [0...BUmax] of byte;
  // TX Buffer
- **RXBU:** array [0...BUmax] of byte;
  // RX Buffer

Damit sind Datenübertragungen einfach in der Anwendung machbar:

Senden:

```
InitRFM12TX;
TXBU füllen
PutRFMMsg;
```

Empfang:

```
InitRFM12RX
Result := GetRFMMsg(10000); // max.
   Wartezeit 1 Sek.
if Result = 1 then  // Message
   erfolgreich empfangen, Daten in RXBU
if Result = 0 then  // keine Meldung
   während der Wartezeit
if Result = 9 then  // Fehler bei der
   Übertragung
```

Als Compiler wurde Pascal Pro 5.60 und 6.01 von MikroElektronika eingesetzt, wobei der Code etwa 1500 Bytes lang ist, so dass auch mit der kostenlosen, aber voll funktionsfähigen Demoversion kleinere Anpassungen für individuelle Projekte durchgeführt werden können.
Header und Trailer dienen der Synchronisation des RFM12 und werden mit der Payload gesendet. Im Empfangspuffer FIFO des RFM12 landet allerdings lediglich die Payload. Da die Reichweite wesentlich von der Übertragungsrate abhängt, wurden die 4800 Baud des HopeRF-Beispiels beibehalten.

Das reicht noch nicht ganz...

Das obige Übertragungsprotokoll weist allerdings ein großes Manko auf. Falls in der Pay-

Das verwendete Übertragungsprotokoll hat folgende Struktur:		
	Byte	**Bedeutung**
Header:	0	0xAA=HF-Sync
	1	0xAA=HF-Sync
	2	0xAA=HF-Sync
	3	0x2D=FIFO-Sync
	4	0xD4=FIFO-Sync
Payload:	0	Adresse Zielknoten
	1	Adresse Absenderknoten
	2	Message-Länge von Payload Byte 0 bis n+2
	3...n	Daten
	n+1	CRC16high
	n+2	CRC16low von Payload Byte 0 bis n
Trailer:	0	0xAA=HF-Sync

load Sync-Bytes wie 0xAA, 0x2D, 0xD4 enthalten sind, können diese unerwünschte Reaktionen des RFM12 wie ein Ende der Übertragung oder Löschung des Empfangspuffers auslösen. Eine Lösung des Problems ist es, ein Datenbyte mit zwei Bytes zu übertragen, also zum Beispiel störende Codes wie 0xAA durch 0x0A und 0x0A zu übertragen und diese im Empfänger wieder zusammen zusetzen. Aber es geht dank Herrn Hamming noch besser, indem man auch die Übertragungssicherheit noch erhöht.
Der Hamming-Code ist ein von Richard Wesley Hamming entwickelter linearer fehlerkorrigierender Blockcode, der in der digitalen Signalverarbeitung und der Nachrichtentechnik zur gesicherten Datenübertragung oder Datenspeicherung verwendet wird. Weitergehende Ausführungen dazu würden den Rahmen dieses Artikels sprengen, aber Wikipedia & Co. haben alle Details dazu [3]. Aber kommen wir zur praktischen Umsetzung, die der Autor beim Release 2.0 dieser Entwicklung vorgenommen hat. Die Software mit Beispielprojekten ist von der Elektor-Website downloadbar [4]. In **Bild 1** ist der Algorithmus der Hamming-Codierung aufgezeigt. Das Nutzdatenbyte wird geteilt und die 4-bit-Werte als Index für die Tabelle darunter verwendet. Die damit adressierten Bytewerte werden als 16-bit-Codewort übermittelt. Das Beispiel soll diesen Vorgang verdeutlichen.

Vor der Datenübertragung werden alle Bytes der Payload nach diesem Verfahren codiert und beim Empfänger entsprechend decodiert. Hat ein Byte keinen gültigen Hamming-Code, wurde es falsch übertragen und die ganze Message wird als falsch deklariert. Gewonnen werden also Transparenz und erhöhte Sicherheit, als Preis zahlt man die halbierte Nettoübertragungsgeschwindigkeit.
Release 2.0 kann noch mit weiteren Verbesserungen aufwarten. Die bisherige Software-codierte SPI-Übertragung zwischen PIC und RFM12 wurde durch die Nutzung der SPI-Hardware-Schnittstelle des Controllers abgelöst. Damit konnte auch die PIC-Taktfrequenz frei gewählt und auf 40 MHz erhöht werden. Getestet wurden SPI-Taktraten von Fosz/64 = 625 kHz und Fosz/16 = 2,5 MHz. Bei den niedrigen Datenübertragungsraten von 4800...19200 Baud sind 625 kHz absolut ausreichend.

Gute Erfahrungen

Bei einer Übertragungsrate von 4800 Baud brutto strahlt der RFM12 vom Computer-Keller durch zwei Betondecken bis ins Obergeschoss, was selbst die FritzBox mit WLAN nicht schafft. Zudem wird auch das Gartengrundstück fast vollständig abgedeckt. Bei der Erhöhung auf 9600 Baud beziehungsweise 19200 Baud sank die Reichweite merklich, im Garten reichte es nur bis zur Terrasse. So beließ es der Autor für seine Anwendungen bei 4800 Baud brutto/2400 Baud netto. Denn bei den relativ kurzen Nachrichten von etwa 16 Bytes dauert eine Nachricht ungefähr 60 ms, das heißt, es können 16 Messages pro Sekunde übermittelt werden. Das ist ausreichend für die meisten Anwendungen.

Realisiert wurde bereits eine Fernsteuerung für eine Spielzeugeisenbahn (siehe an anderer Stelle in diesem Heft) und einige Knoten der Haussteuerung (im Test). Und stark interessierte Kreise aus der Enkelgeneration wollen Erfahrungen mit Robotern sammeln und fordern eine Fernsteuerung beziehungsweise eine Telemetrie-Verbindung dafür.

Solange besser möglich ist...

...ist gut nicht gut genug. Ein gravierender Nachteil dieser Entwicklung ist die Blockade der Applikation während der Datenübertragung und beim Warten auf eingehende Nachrichten (bis zum Timeout). Das stört besonders, wenn die Anwendung aus einer oder mehreren Finite State Machines aufgebaut ist, denn es gibt keine Delay-Loops und kein Polling. Dafür plant der Autor ein weiteres Release, basierend auf Interrupts und Timer-Nutzung. Es bleibt also immer etwas zu

	Algorithmus		Beispiel	
1:	8-Bit Wert		10010110	
2:	4-7	0-3	1001	0110
3:	HammingE[(4-7)]	HammingE[(0-3)]	0xC7	0x38
4:	high	low	11000111	00111000
5:	16-Bit Codewort		11000111 00111000	

HammingE

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
0x15	0x02	0x49	0x5E	0x64	0x73	0x38	0x2F	0xD0	0xC7	0x8C	0x9B	0xA1	0xB6	0xFD	0xEA

Bild 1.
Hamming-Codierung
(Quelle: Manuel Stahl, http://www.mikrocontroller.net/articles/RFM12_Protokoll_Stack).

tun, aber das ist ja gerade das Reizvolle bei dieser Profession. Wenn Sie dazu beitragen möchten, finden Sie auf der Elektor-Labs-Webseite [5] den richtigen Ansprechpartner!

(130161)

Weblinks

[1] Infos: www.hoperf.com/rf/fsk_module/

[2] www.mikroe.com

[3] Hamming-Code: www.mikrocontroller.net/articles/RFM12_Protokoll_Stack
https://de.wikipedia.org/wiki/Hamming-Code

[4] Software: www.elektor-magazine.de/130161

[5] www.elektor-labs.com/130161

Gute Zusatzinfos:
www.mikrocontroller.net/articles/RFM12

Bild 2.
Darstellung eines Bytes mit dem Logic-Analyzer.

Zug-Fernsteuerung
Mit 433-MHz-Funkmodulen

Von **Walter Trojan**

Wie kann man zwei Enkel mit je einer Modelleisenbahn beglücken, wenn die mitgelieferten Fernsteuerungen über den gleichen Kanal senden und sich somit beide Züge nicht unabhängig steuern lassen? Um den Familienfrieden zu sichern und den Spaß am Spiel zu erhöhen, hat der Autor das Problem elegant mit RFM-Modulen gelöst.

Der Royal Express [1] ist eine aus Fernost importierte Modelleisenbahn mit Dampflok, Tender und Waggons, mit Bäumen, Bahnhof, Häusern, Felsen, kurz, mit allem, was dazugehört. Sie wird über eine Infrarot-Fernbedienung gesteuert, fährt vorwärts und rückwärts, macht mehrere Geräusche, qualmt und leuchtet und vor allem: Die Stromversorgung erfolgt ungefährlich mit Batterien. Das prädestiniert die Bahn als Spielzeug, besonders für Kinder von vier bis acht Jahren. Das Ganze ist so preisgünstig, dass zwar Kindertränen fließen dürften, es aber keinen allzu großen finanziellen Verlust bedeutet, wenn einmal etwas kaputt geht.

Von IR nach HF

Von solchen preisgünstigen chinesischen Produkten kann man nicht erwarten, dass sie viele technische Möglichkeiten zulassen. Hauptproblem für den Autor war, dass für die Steuerung nur ein Kanal vorgesehen ist, was es unmöglich machte, zwei Modellbahnen in einem Raum gleichzeitig unabhängig zu steuern oder gar zwei Loks auf einer Strecke fahren zu lassen.

Um einen unterschiedlichen Steuerkanal für eine der beiden Bahnen zu schaffen, wurde zunächst untersucht, ob die Original-Fernsteuerung Modifikationen zulässt. Doch weder Umschalter noch Lötbrücken deuteten auf eine Kanalwahl hin. Und das Hacking eines ungekannten Controllers erschien dem Autor zu aufwändig oder gar unmöglich.

Wie gut, dass der Autor gerade mit der Entwicklung einer drahtlosen Kommunikation per RFM12-Transceiver fertig war. Die damit geplante Haussteuerung konnte warten, die Enkel genossen natürlich oberste Priorität. Es mussten lediglich noch die mechanischen Voraussetzungen abgeklärt werden. Tatsächlich war unter dem

Dach des Tenders Platz für eine kleine Zusatzplatine, die den HF-Empfänger aufnehmen konnte. Damit waren die Vorgaben klar: Über eine zusätzliche HF-Fernsteuerung sollten Befehle abgesetzt und vom Empfänger in Signale umgewandelt werden, wie sie ein IR-Detektor an seinem Ausgang erzeugt, so dass sie dem Eisenbahn-Controller zugespielt werden konnten. Für die drahtlose Verbindung standen die RFM12-Module bereit, die im 433-MHz-Band funken.

Zuerst galt es, die IR-Signale der einzelnen Kommandos zu entschlüsseln. Mit einem Logikanalysator am Ausgang des IR-Detektors war das kein Problem. Es stellte sich heraus, dass die Bahn mit einer Sequenz von fünf Impulsen angesteuert wird. Die Zwischenräume aus kurzen und langen Pausen stellen die Codierung der Kommandos dar. Die ermittelten Telegramme sind in **Tabelle 1** aufgeführt.

Statt dieser Infrarot-Telegramme werden über die neue HF-Verbindung Kommando-Bytes übertragen, die dann vom Empfänger interpretiert und in die dem Mikrocontroller der Eisenbahn bekannten Impuls-Sequenzen umgewandelt werden. Das Transportprotokoll für die HF-Übertragung hatte der Autor bereits entwickelt (siehe den Artikel „Zuverlässig Daten funken“ in diesem Heft). In der **Tabelle 2** wird der Aufbau der Nutzdaten skizziert.

Störende Steuerzeichen für den RFM12 wie 0xAA können bei diesen Meldungen nicht entstehen, so dass die Version 1.0 des Protokolls eingesetzt werden kann (mittlerweile ist das Release 2.0 mit erhöhter Übertragungssicherheit dank Hamming-Code [2] entwickelt). Eine Übertragungsgeschwindigkeit von 4800 Baud ist für diese Anwendung absolut ausreichend.

Sender und Empfänger: beinahe gleiche Hardware

Die Sender-Schaltung in **Bild 1** ist eine Kombination eines 20-poligen Microchip-Mikrocontrollers PIC18F14K22 (IC2) und eines kleinen ISM-Transceivermoduls RFM12B-433-D (MOD1) von Hope RF [3]. Das Modul taktet den Controller quarzgenau über Pin 2 (RA5/Osc1). Den Datentransfer zwischen den ICs übernehmen die SPI-Anschlüsse des PIC, die mit SDI, SDO und SCK des RFM12 verbunden sind. Dabei wird die SPI-Hardware des PIC nicht genutzt, die Generierung der SPI-Signale übernimmt die Firmware. Über nSEL/RC6 wird das Sende-IC aktiviert und mit nIRQ/RC0 ein geleerter Sendepuffer sig-

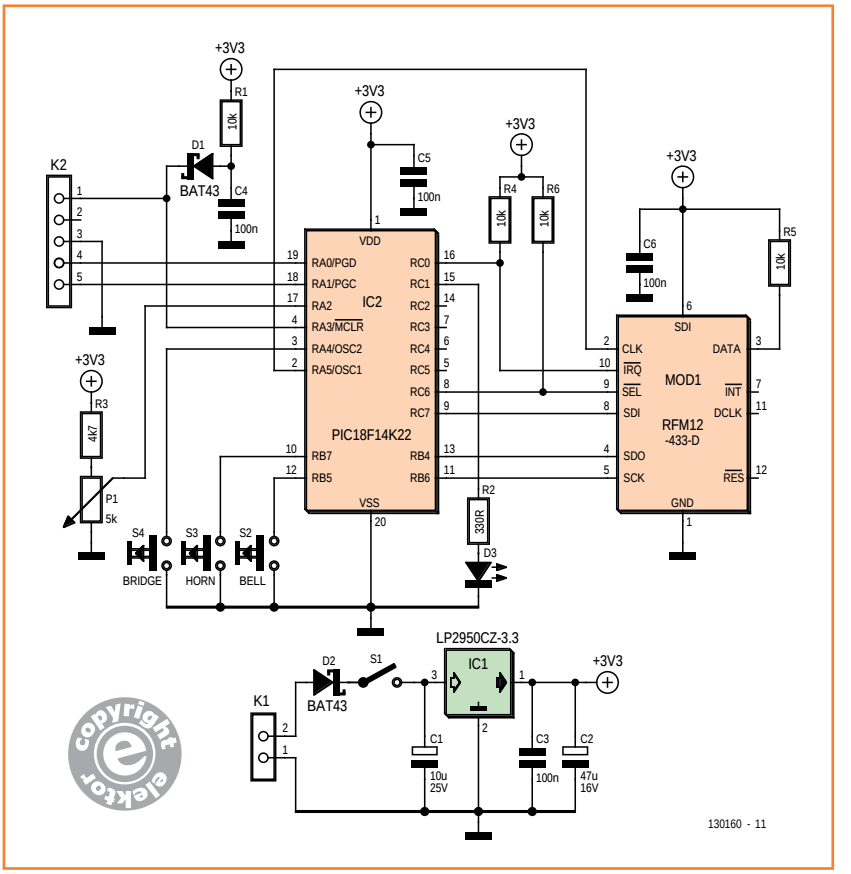


Bild 1. Die Schaltung des Senders.

Tabelle 1. IR-Telegramme vs HF-Befehle

Funktion	IR-Telegramm	HF-Befehl
Langsam vorwärts	I L I P I P I P I E	0x51
Schnell vorwärts	I P I L I P I P I E	0x52
Stopp	I P I P I P I L I E	0x59
Langsam rückwärts	I L I L I P I P I E	0x53
Schnell rückwärts	I P I P I L I P I E	0x54
Ton1 Horn	I L I P I L I P I E	0x55
Ton2 Glocke	I P I L I L I P I E	0x56
Ton3 Brücke	I L I L I L I P I E	0x57

darin bedeuten: I = Impuls, active low, Dauer 660 µs
P = kurze Pause, high, Dauer 1130 µs
L = lange Pause, high, Dauer 2270 µs
E = Ende, high, 5 ms

Tabelle 2. Übertragungsprotokoll der HF-Verbindung

Byte	Funktion	Wert
0	Adresse Zielknoten	0x22
1	Adresse Absender	0x11
2	Message-Länge	0x08
3	Kommando	0x51…0x59
4…6	Reserve-Bytes	0x55
7	CRC16 high	0xXX
8	CRC16 low	0xXX

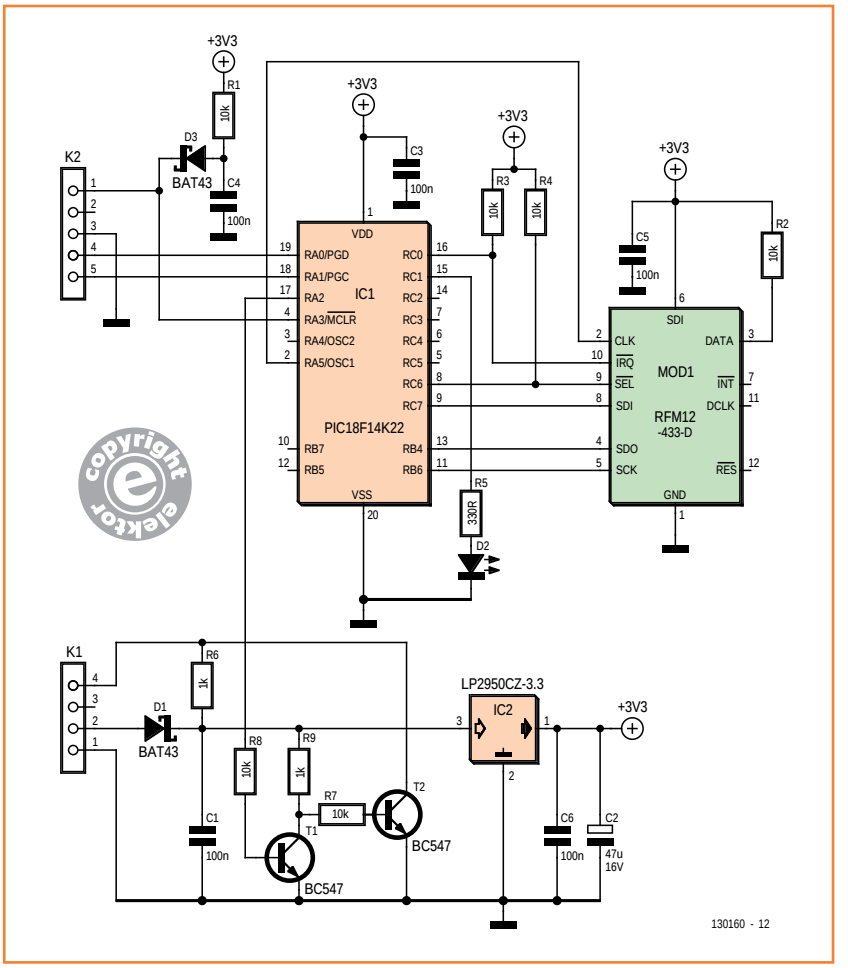


Bild 2.
Verwechslungsgefahr: Die Schaltung des Empfängers ist beinahe identisch zum Sender.

nalisiert. Spätere Tests mit dem Hardware-SPI des PICs zeigten, dass der RFM12 problemlos SPI-Taktfrequenzen von 2,5 MHz erlaubt. Abgestrahlt wird das HF-Signal über eine Lambda/4-Antenne. Die Pullup-Widerstände R4, R5, R6 sorgen für die korrekten Pegel der mit „Active-low“ geschalteten Signale nSel und nIRQ.

Die Bedienung der Steuerung wurde modifiziert, die fünf Tasten des Originals für langsam/schnell vorwärts beziehungsweise langsam/schnell rückwärts und Stopp mussten einem Potentiometer weichen. Die Mittelstellung markiert die Stopp-Position, ein wenig rechts bedeutet langsam vorwärts und ganz rechts heißt schnell vorwärts. Genau so wird durch Drehen nach links langsam und schnell rückwärts gefahren. Die Steuerung per Drehknopf ist nicht nur eleganter, es hat sich auch gezeigt, dass die Kinder sie der Tasteneingabe vorziehen.

Tabelle 3.
Zusammenhang zwischen Potistellung und Geschwindigkeit

Wert	Kommando
<22	schnell rückwärts
23…43	langsam rückwärts
44…82	Stopp
83…104	langsam vorwärts
>104	schnell vorwärts

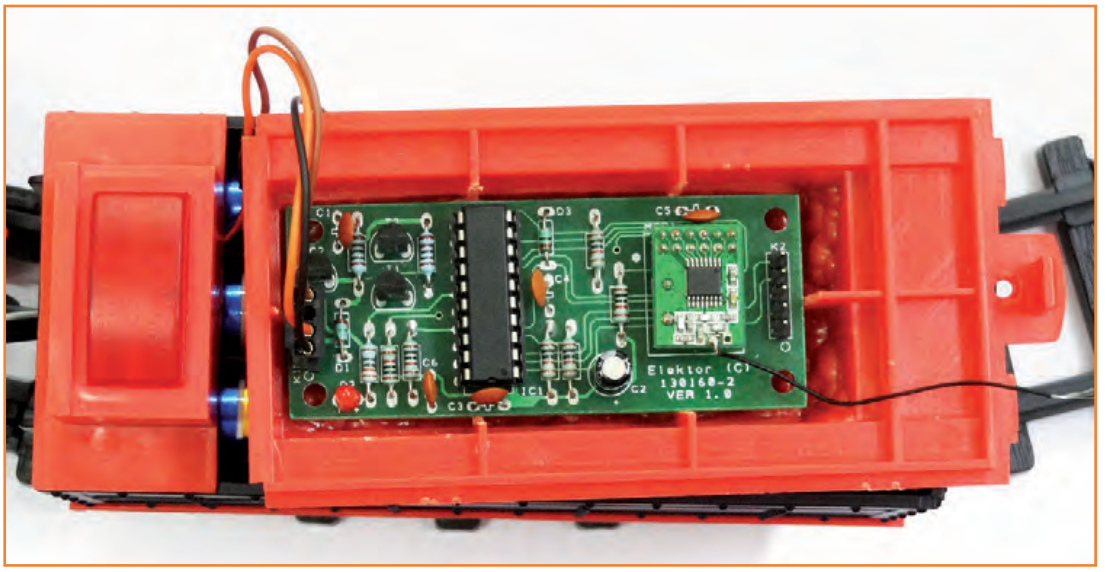
Hardwaretechnisch wird dem Analogeingang RA2 eine Spannung zwischen Null und der halben Betriebsspannung zugeführt, was nach der Konvertierung im Analog/Digital-Wandler zu Bytewerten von 0..128 führt. Wie die Bytewerte zu den fünf verschiedenen Geschwindigkeiten zusammengefasst werden (wohlgemerkt, es handelt sich nicht um eine analoge Steuerung), ist in **Tabelle 3** zu sehen.

Beibehalten wurden die Geräusch-Tasten für die Glocke (S2), das Horn (S3) und die „Brücke“ (S4) (Geräusch, als ob der Zug über eine Brücke fahren würde), deren Status von den Eingängen RB5, RB7 und RA4 (mit internen Pullup-Widerständen) erfasst wird. Die an RC1 angeschlossene LED signalisiert den Transfer einer Kommandomeldung.

Die doppelseitige Platine für den Sender wurde vom Elektor-Labor mit der kostenlosen Design-Software DesignSpark [4] entwickelt. Die Bestückung ist nicht kompliziert, SMDs werden nicht verwendet. Das ISM-Modul gibt es nämlich nicht nur als SMD, sondern auch in einer DIP-Version mit einem 2-reihigen Pfostenverbinder (im 2-mm-Raster) als Anschluss. Dieser Verbinder kann direkt auf die Platine gelötet werden. Nicht vergessen: Die Antenne, ein simpler, 17 cm langer Kupferdraht, wird auf der Oberseite des Moduls neben den SMDs festgelötet (siehe Fotos bei Stückliste).

Zur Versorgung der Schaltung steht eine Betriebsspannung von 3,3 V, geregelt vom Low-Drop-Regler LP2950CZ-3.3, zur Verfügung. Eine 9-V-Blockbatterie an K1 wird damit bis zum bitteren Ende ausgesaugt. Die Diode D2 in der Versorgungsleitung schützt die Elektronik vor Verpolung. An S1 kann man einen Pfostenverbinder oder direkt einen An/Aus-Schiebeschalter anschließen, das hängt vom verwendeten Gehäuse ab. Der Stromverbrauch des Senders aus einem 9-V-Block beträgt im Ruhezustand rund 4,5 mA, beim Senden sind es etwa 11,8 mA.

Der PIC-Mikrocontroller kann (genau wie die Platine) fertig programmiert über [5] erworben werden, man kann aber auch selber ans (Programmier-) Werk gehen. Die Software gibt es nicht nur assembliert, sondern auch als Pascal-Quellcode



auf der Elektor-Site. Die Firmware wurde mit dem Pascal Pro Compiler Version 5.60 beziehungsweise 6.01 von MikroElektronika [6] übersetzt. Der Compiler ist (voll funktionsfähig) für Programme bis 2 kB kostenlos. Der Mikrocontroller lässt sich sogar in der Schaltung programmieren. Der dafür zuständige Verbinder K2 ist für Microchips PICKit3 [7] vorbereitet.

Die Schaltung des Empfängers (**Bild 2**) stimmt in hohem Maße mit der des Senders überein. Auch hier arbeiten ein PIC18F14K22 und ein RFM12B-433 zusammen. Beide ICs sind auch gleichartig zusammengeschaltet. Der Mikrocontroller in der Lok wird über einen zweistufigen Treiber, bestehend aus T1 und T2, mit „Active-low"-Impulsen im Rhythmus der in Tabelle 1 gezeigten Telegramme angesteuert.

Zur Spannungsversorgung wird hier natürlich das Batteriepack der Lok herangezogen (2x3 Mignonzellen). Die Betriebsspannung gelangt über Verbinder K1 und Schutzdiode D1 zum Regler IC2. Dessen Ausgangsspannung von 3,3 V versorgt die Schaltung. Die LED D2 arbeitet als Statusanzeige, sie blinkt im Abstand von 2 s kurz, wenn keine Meldung empfangen wurde oder doppelt so lang, wenn eine Nachricht eingegangen ist. Die Programmierung des PICs erfolgt wie beim Sender mittels PICKit3 über den Stecker K2.

Stückliste Receiver

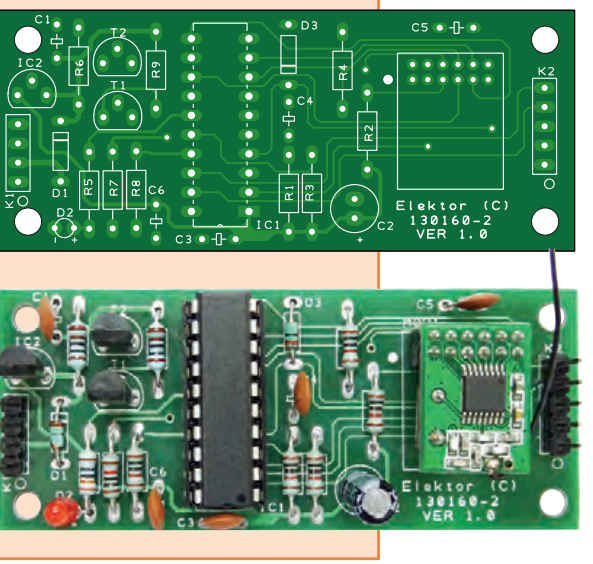
Widerstände:
R1...R4,R7,R8 = 10 k
R6,R9 = 1 k
R5 = 330 Ω

Kondensatoren:
C1,C3...C6 = 100 n
C2 = 47 µ, 16 V

Halbleiter:
D1,D3 = BAT43
D2 = LED 3 mm, rot
T1,T2 = BC547
IC1 = LP2950CZ-3.3
IC2 = PIC18F14K22-I/P (Microchip, programmiert: 130160-42) [5]

Außerdem:
MOD1 = RFM12B-433-D 3,3 V
K1 = 1x4-poliger Pfostenverbinder
K2 = 1x5-poliger Pfostenverbinder
Platine 130160-2 [5]

www.elektorpcbservice.com



Der Stromverbrauch des Empfängers aus dem 4,5-V-Batteriepack der Lokomotive beträgt im Ruhezustand 19,5 mA, beim Empfang 21,2 mA.

Firmware

Aufgabe der Sender-Firmware ist die permanente Abfrage des Potis und der Taster. Nur bei Veränderungen wird ein entsprechendes Kommando an die Modellbahn gesendet. Dazu wird nach Initialisierung des PICs und des RFM12 in einer Endlosschleife zuerst der Pegel des Geschwindigkeitsreglers abgefragt und daraus ein Kommando abgeleitet. Ist dieses mit dem zuletzt ausgeführten Kommando identisch, passiert nichts. Nur bei einem neuen Kommando werden eine oder mehrere Nachrichten an die Lok gesendet. Um diese nicht zu verwirren, wird dabei die bisherige Fahrsituation intelligent berücksichtigt. Wenn zum Beispiel durch rasche Drehung des Potis von schneller Vorwärtsfahrt in den schnellen Rückwärtsgang geschaltet wird, erfolgt zuerst ein Stopp, dann geht es langsam rückwärts und erst danach schnell rückwärts. Abgestimmte Pausen dazwischen sorgen für einen harmonischen Fahrbetrieb. Im zweiten Teil der Endlosschleife werden die Geräusch-Tasten abgefragt und – wenn der Zug fährt – ein entsprechendes Kommando abgesetzt.

Ähnlich übersichtlich ist die Empfänger-Firmware. Auch hier übernimmt eine Endlosschleife nach der Initialisierung die Kontrolle. Permanent wird hierbei überprüft, ob eine neue Meldung empfangen wurde. Bei fehlerfrei eingegangenen Nachrichten wird das Kommando-Byte interpretiert, das passende Telegramm ausgewählt und die darin enthaltene Sequenz von Impulsen und Pausen an den Lok-Controller übermittelt. Und das zur Sicherheit dreimal.

Nun herrscht wieder Friede im Kinderzimmer. Nur muss manchmal ausgelost werden, wer mit Opas neuer Fernsteuerung fahren darf!

(130160)

Weblinks

[1] Hersteller: www.golden-bright.com/

[2] https://de.wikipedia.org/wiki/Hamming-Code

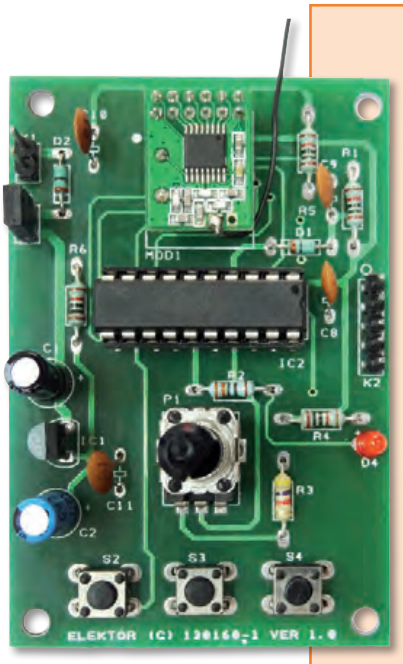
[3] www.hoperf.com/rf/fsk_module/RFM12B.htm

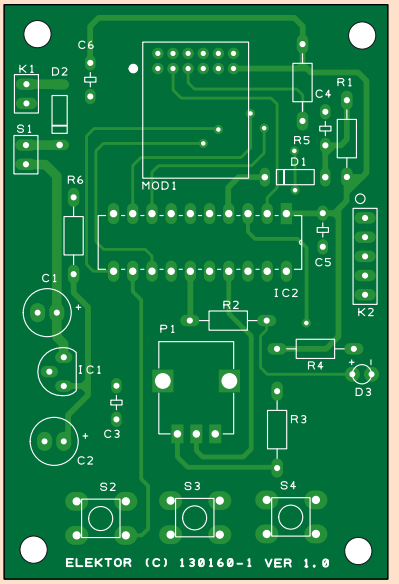
[4] www.designspark.com/deu/page/designspark-pcb-home-page

[5] www.elektor-magazine.de/130160

[6] www.mikroe.com

[7] www.microchip.com/pickit3





Stückliste Sender

Widerstände:
R1,R4...R6 = 10 k
R2 = 330 Ω
R3 = 4k7
P1 = 5 k Trimmpoti

Kondensatoren:
C1 = 10 µ, 25 V
C2 = 47 µ, 16 V
C3...C6 = 100 n

Halbleiter:
D1,D2 = BAT43
D3 = LED 3 mm, rot
IC1 = LP2950CZ-3.3
IC2 = PIC18F14K22-I/P (Microchip, programmiert: 130160-41) [5]

Außerdem:
MOD1 = RFM12B-433 3,3 V(Hope RF)
K1 = 1x2-poliger Pfostenverbinder
K2 = 1x5-poliger Pfostenverbinder
S1 = 1x2-poliger Pfostenverbinder und/oder (Schiebe-) Schalter 1x an
S2...S4 = Taster
Platine 130160-1 [5]

www.elektorpcbservice.com

Elektor 3D-Drucker

Drucken und Modellieren in der dritten Dimension

Elektor bietet in Kooperation mit dem 3D-Drucksystem-Spezialisten German RepRap diesen 3D-Drucker (mit blauer Speziallackierung) in der Sonderausführung mit exklusivem Lieferumfang an.
Der neue Elektor 3D-Drucker ermöglicht bessere Druckergebnisse und einen wesentlich schnelleren Aufbau als gängige Drucker-Bausätze. Für die im Vergleich wesentlich kürzere Aufbauzeit sorgen Steckanschlüsse bei den Schrittmotoren, bestückte Platinen und ein fester, stabiler Edelstahlrahmen.

Technische Daten:

- Abmessungen (B x H x T): 500 x 460 x 460 mm
- Druckvolumen (X x Y x Z): 230 x 230 x 125 mm
- Geschwindigkeit: 3 mm Material bis 100 mm/Sekunde, 1,75 mm Material bis ca. 180 mm/Sekunde, Leerlauf bis 350 mm/Sekunde
- Betriebsspannung: 230/115 V Wechselspannung
- Material: ABS / PLA / PS / PVA / Laywood (Holzdraht) / Laybrick

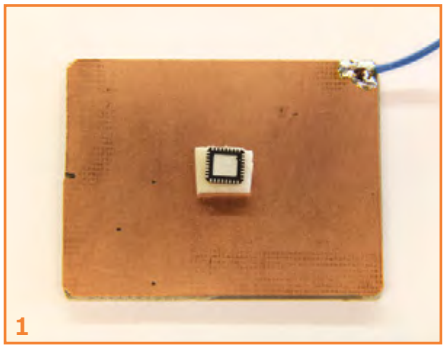
Lieferumfang:

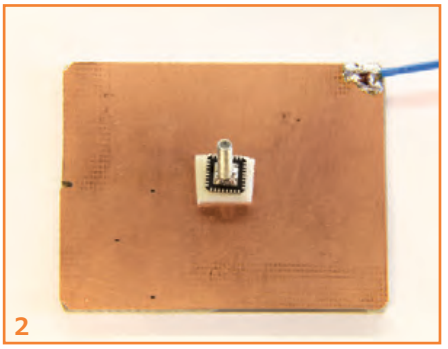
- Kunststoffteile (Polyamid-Kunststoff, besonders schlagfest und belastbar)
- Edelstahlrahmen (in blau) mit Nivellierfüßen, Schrauben, Gewindestangen, Wellen, Linearkugelbuchsen, Kugel- und Gleitlager
- T 2.5 Antriebsriemen und gefräste Riemenscheiben
- 5x NEMA17 Schrittmotor mit 0,52 Nm Drehmoment
- Ramps v1.4 Elektronik inkl. Kabel und Netzteil
- Modulares Hot-End 3 mm mit 0,5 mm Düse (optional auch mit 0,4 / 0,3 mm Düse)
- Beheiztes Druckbett 12 V
- 1x PLA Plastik 750 g (rot 3 mm)
- 1x PLA Plastik 750 g (gelb-grün 3 mm)
- 1x PLA Plastik 750 g (blau 3 mm)
- Software-CD inkl. Druckcode für ein Druckobjekt

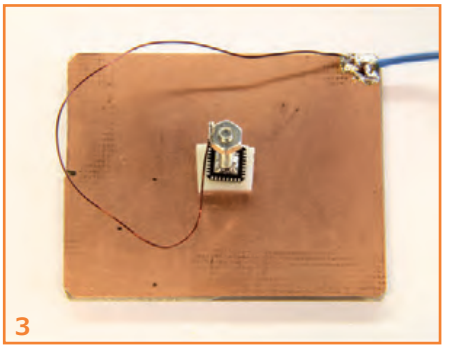
Preis: 1.199,00 Euro (inkl. MwSt.)

Die Lieferung innerhalb Deutschlands erfolgt frei Haus.

Weitere Infos & Bestellung unter www.elektor.de/3d-drucker


1


2


3

LFCSP-Chip verdrahtet montiert

Von **W.T. Knoeff,**
PA3EHN (NL)

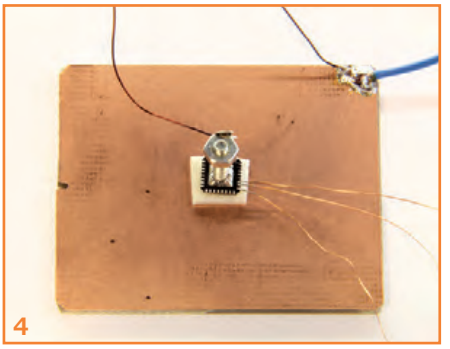
Lead Frame Chip Scale Package (LFCSP) heißt eine Chip-Bauform mit Dimensionen, die von der Anzahl der Anschlüsse abhängen. Oft messen diese Bausteine nur wenige Quadratmillimeter. Für die Verbindung zur Außenwelt befinden sich auf der Unterseite an den vier Kanten winzige Kontaktflächen, die 0,6 · 0,25 mm klein sind. Der Abstand zueinander beträgt 0,4 mm. Im Zentrum des Kontaktflächen-Quadrats hat eine etwas größere Massefläche ihren Platz. Einen solchen Chip von Hand auf einer Platine zu montieren, erscheint unmöglich. Hinzu kommt, dass diese Chips hoch empfindlich gegen elektrostatische Ladungen sind, sie können den Chip unbemerkt ruinieren!

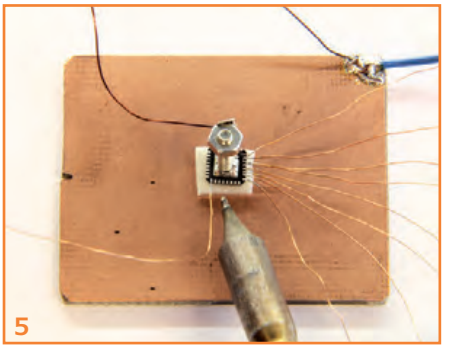
Wir wollen hier zeigen, dass es auch anders geht. Zuerst werden feine Kupferdrähte an die einzelnen Anschlussflächen gelötet, dann wird das IC auf einer herkömmlichen Platine montiert. Der Anlass, diese Methode zu entwickeln, war für den Autor der Bau eines HF-Oszillators mit dem DDS-Chip AD9913 von Analog Devices (der AD9913 wird in einer folgenden Elektor-Ausgabe näher beschrieben). Dem Autor stand keine Maschine zur Verfügung, die den 5 · 5 mm messenden LFCSP-Chip mit seinen 32 Anschlussflächen zuzüglich Masse auf die Platine setzt. Bei Lötversuchen von Hand kann viel passieren, insbesondere Kurzschlüsse unter dem IC können das Vorhaben scheitern lassen. Und dann ist da noch die nahezu unerreichbare Massefläche...

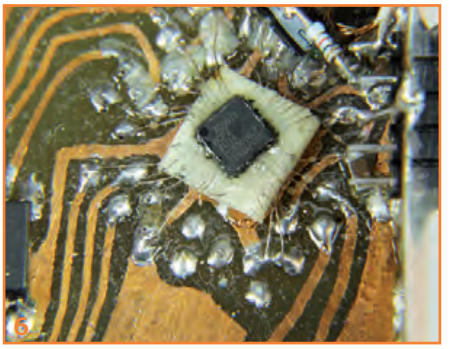
Schon bald entstand die Idee, zuerst freie Drähte an die Anschlussflächen zu löten, so dass das IC wie ein Durchsteck-Bauteil auf der Platine montiert werden kann. Ein wichtiger zusätzlicher Vorteil dieser Methode: Ultraschmale, mechanisch anfällige Leiterbahnen, die extrem nahe beieinander liegen, entfallen. Gebraucht werden ein Stück doppelseitiges Klebeband, ein Stück TV-Koaxkabel (mit geflochtener Abschirmung), ein Tropfen Sekundenkleber, eine lötbare 2-mm-Schraube mit Mutter, eine standfeste Lupenlampe sowie ein Lötkolben niedriger Leistung mit sehr feiner Spitze. Ferner darf es an einer ruhigen Hand und der nötigen Geduld nicht fehlen.

Damit elektrostatische Ladungen keine Chance haben, ihre zerstörerische Kraft zu entfalten, müssen der Lötkolben, die Arbeitsunterlage und auch der Operator (!) zuverlässig geerdet sein. Als Arbeitsunterlage können Sie ein Stück unbearbeitetes Platinenmaterial nehmen, die Kupferseite wird geerdet (**Bild 1**). Darauf kleben Sie ein Stück doppelseitiges Klebeband, es dient zum Fixieren des umgedrehten Chips (Anschlussflächen nach oben). Gängiges Klebeband klebt so kraftvoll, dass es den Chip während der Lötarbeit festhält, auch wenn der Chip kurzzeitig stark aufgeheizt werden sollte. Um mit der gebotenen Präzision arbeiten zu können, ist der Einsatz einer Lupenlampe empfehlenswert.

Beginnen Sie mit dem Verzinnen der zentralen Massefläche. Eine Hand hält ein Stück dünnen Lötdrahts, während die andere Hand den Lötkolben führt. Sägen Sie den Kopf der 2-mm-Schraube ab, verzinnen Sie das abgesägte Gewindeende und löten Sie es genau senkrecht stehend auf die Mitte der Massefläche (**Bild 2**). Später wird der Chip mit dem Gewinde auf der Platine befestigt. Jetzt erden Sie den Chip, indem Sie an die


4


5


6

2-mm-Mutter einen Draht löten, den Draht mit der Erdung der Arbeitsunterlage verbinden und die Mutter auf das Gewinde schrauben (**Bild 3**). Löten Sie nicht an der aufgeschraubten Mutter, es besteht die Gefahr, dass sich die Schraube infolge der Wärmeleitung vom Chip löst.

Der nächste Schritt ist das Verzinnen der Anschlussflächen. Die vier Seiten des Chips sind besser erreichbar, wenn die Arbeitsunterlage für jede Seite um 90° gedreht wird.

Es folgt der schwierigste Teil der Arbeit, das Löten der Anschlussdrähte an die verzinnten Kontaktflächen. Diese Drähte ziehen Sie aus dem Geflecht des Abschirmmantels eines TV-Koaxkabels, der Drahtquerschnitt passt zu den Abmessungen der Kontaktflächen. Falls dies ausnahmsweise nicht zutrifft, nehmen Sie einen anderen Kabeltyp, denn die Stärke des Drahts, aus dem die Abschirmung geflochten ist, kann variieren. Zuerst verzinnen Sie ein Drahtende mit Lötpaste. Halten Sie mit einer Hand dieses Ende an die ebenfalls verzinnte Kontaktfläche und erhitzen Sie diese und das Drahtende mit dem Lötkolben. Drücken Sie die Lötspitze dazu etwa eine halbe Sekunde seitlich auf Draht und Kontaktfläche. Diese Zeit muss genügen, um das Lötmittel ineinander fließen zu lassen. Wenn das geschehen ist, prüfen Sie durch Bewegen des Drahts, ob eine feste Verbindung zustande gekommen ist. **Bild 4** zeigt den Chip nach dem Anlöten einiger Drähte.

Wenn eine Chip-Seite verdrahtet ist, können Sie die Drähte mit Isolierband auf der Arbeitsunterlage fixieren. Drehen Sie die Arbeitsunterlage um 90° und verdrahten Sie die nächste Chip-Seite. In **Bild 5** ist bereits ein Draht der nächsten Seite angelötet, das Isolierband zum Fixieren der bereits verdrahteten Seite fehlt hier.

Nachdem die vier Chip-Seiten erfolgreich verdrahtet sind, können Sie überschüssige Lötpaste mit einem feinen Stift entfernen. Danach lösen Sie den Chip mit den Anschlussdrähten vorsichtig vom doppelseitigen Klebeband.

Die Stabilität dieser Konstruktion wird erhöht, indem Sie ein passendes quadratisches Stück doppelseitiges Klebeband mit einer runden 2-mm-Öffnung in der Mitte über die Erdflächenschraube schieben und gegen den Chip pressen. Wenn Sie vorher einen Tropfen Sekundenkleber auf dem Chip verteilen, wird diese Kombination zu einer mechanisch stabilen Konstruktion. Die Anschlussdrähte werden daran gehindert, bei der Chip-Montage vom Chip abzureißen. Außerdem gleicht das Klebeband Unebenheiten aus, die durch das Anlöten der Drähte und der Schraube entstanden sind. Die andere Klebebandseite tritt in Aktion, wenn die Konstruktion auf der Platine montiert wird.

Auf der Platine verteilen Sie die Anschlusspunkte der Drähte kreisförmig um den Chip. Falls der Chip sehr viele Anschlüsse besitzt, ist das das Verteilen auf zwei konzentrische Kreise mit springenden Anschlusspunkten eine gute Lösung. Im Zentrum des Kreises bringen Sie eine 2,5-mm-Bohrung an, hier wird die am Chip angelötete 2-mm-Schraube hindurch gesteckt. Vorher bestreichen Sie Schraube und Masseflächen auf der Platine (Ober- und Unterseite) mit Wärmeleitpaste und stecken einen schmalen Kupferstreifen durch die Bohrung, der die Masseflächen beider Seiten miteinander verbindet.

Die letzte Aktion ist die Montage des Chips auf der Platine. Gehen Sie beim Anschrauben mit Gefühl vor und lassen Sie nur wenig Kraft walten, anderenfalls reißt die angelötete Schraube vom Chip ab. Die Anschlussdrähte löten Sie an die zugehörigen Anschlusspunkte auf der Platine. Das Ergebnis Ihrer Mühe könnte dann so aussehen, wie in **Bild 6** gezeigt.

In einer folgenden Elektor-Ausgabe werden wir den erwähnten, mit einem LFCSP-Chip aufgebauten DDS-Generator vorstellen.

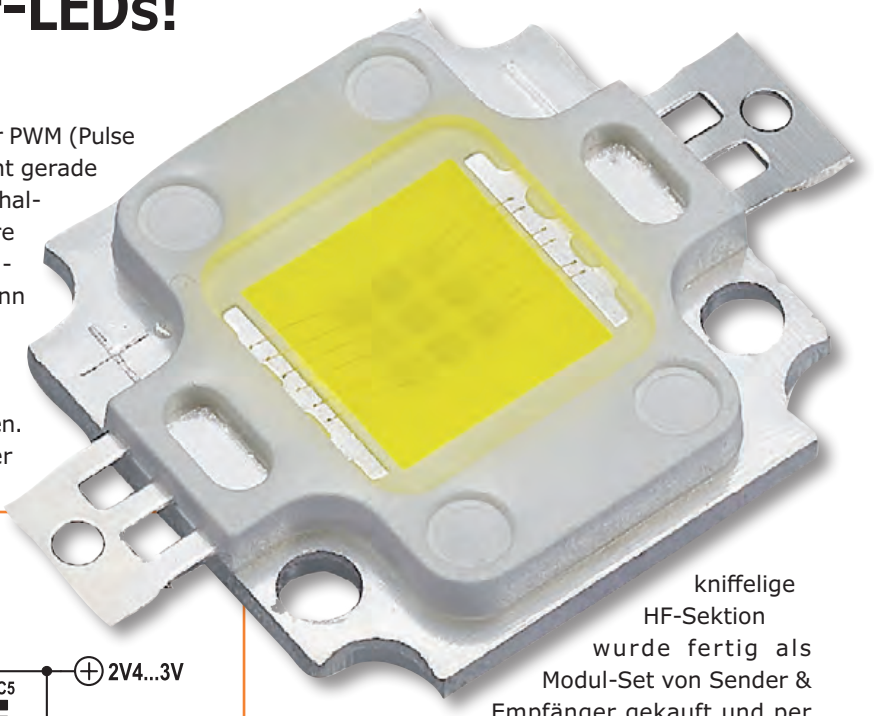
(120246)gd

Funkgesteuerter LED-Dimmer

Für Power-LEDs!

Von
Jürgen Stannieder,
DG6JS (D)

Das Dimmen von LEDs per PWM (Pulse Width Modulation) ist nicht gerade umwerfend neu. Diese Schaltung ist jedoch durch ihre Funksteuerung sehr universell einsetzbar und kann vom (kundigen) Anwender leicht erweitert werden. Dabei wurde das Rad nicht komplett neu erfunden. Die für den Selbstbau eher kniffelige HF-Sektion wurde fertig als Modul-Set von Sender & Empfänger gekauft und per Mikrocontroller für den geplanten Einsatzzweck angepasst. So ein Kit aus Funksender- und Funkempfänger-Modul zur Datenübertragung ist heute für deutlich unter 20 Euro zu haben. Der Luxus einer Funksteuerung ist also mittlerweile ein preiswertes Vergnügen.



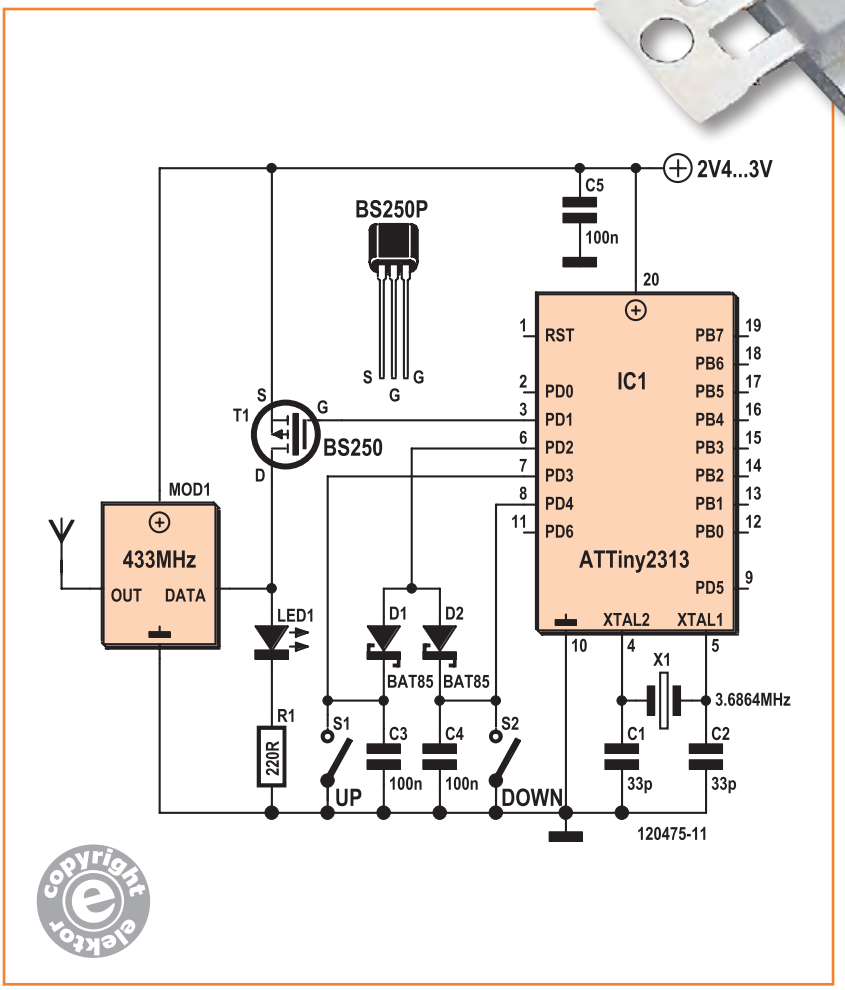


Bild 1.
Die Schaltung des Senders besteht im Wesentlichen aus dem HF-Sende-Modul plus einem Mikrocontroller.

Sender

Der Sender ist eine simple Kombination des fertigen Sende-HF-Moduls mit einem entsprechend programmierten Mikrocontroller und zwei Tastern. IC1 übernimmt dabei die Auswertung der Zustände von S1 und S2 und legt (je nachdem ob S1, S2 oder beide Taster betätigt wurden) entsprechende Daten an den Dateneingang des Sende-Moduls, das diese Daten dann per Funk verbreitet. Dank der LED kann man sehen, wenn Daten verschickt werden und demnach mindestens ein Taster betätigt wurde.

Die komplette Schaltung wird am einfachsten von zwei in Serie geschalteten AA- oder AAA-Zellen versorgt. Es fließt nur dann „richtig“ Strom, wenn ein Taster betätigt wurde und der Mikrocontroller

aufgewacht ist. Anschließend schläft er und sein Stromverbrauch ist wie bei jeder Fernbedienung praktisch vernachlässigbar.

Empfänger

Der Empfänger ist natürlich etwas komplexer, aber nicht viel. Neben dem passenden Funk-Empfänger-Modul und dem obligatorischen Mikrocontroller zur Decodierung der Daten und Erzeugung eines PWM-Signals sind noch eine Endstufe für die Power-LEDs und ein paar Bauelemente für die direkte Bedienung vorhanden. Die vom Sender in den Äther geblasenen Steuersignale werden vom Empfänger-Modul in für IC1 verständliche serielle Daten gewandelt. Der Mikrocontroller erkennt so, wenn eine oder gar beide Taster des Senders gedrückt sind und macht die LEDs entsprechend heller, dunkler oder schaltet sie ganz aus. Damit man die Beleuchtung auch direkt am LED-Dimmer bedienen und überhaupt einschalten kann, ist dort noch ein Taster vorgesehen. Beim Anlegen der Betriebsspannung ist der Dimmer nämlich zunächst stromlos, da IC2 über den noch sperrenden T2 abgeschaltet ist. Erst ein kurzer Druck auf den Taster lässt T2 durchschalten. Anschließend kann der Controller über seinen Pin PD5 und T1 dafür sorgen, dass T2 durchgesteuert bleibt.

Zur Helligkeitssteuerung variiert der Mikrocontroller einfach das PWM-Tastverhältnis an seinem Ausgang PB4. Mit diesem Signal wird die Stromquelle aus T3, T4 und R4 gesteuert. Der fließende Maximalstrom ist der Quotient aus der Basis-Emitter-Spannung von T4 und R4 und liegt mit dem angegebenen Wert von R4 bei etwa 550 mA. Bei der angegebenen Betriebsspannung passt das gut für drei 3-W-Power-LEDs in Serie, die mit ihrem typischem Maximalstrom von >700 mA sogar etwas unterfordert sind. Bei drei 1-W-LEDs sollte man den Strom durch einen Wert von 2,2 Ω für R4 auf 300 mA reduzieren.

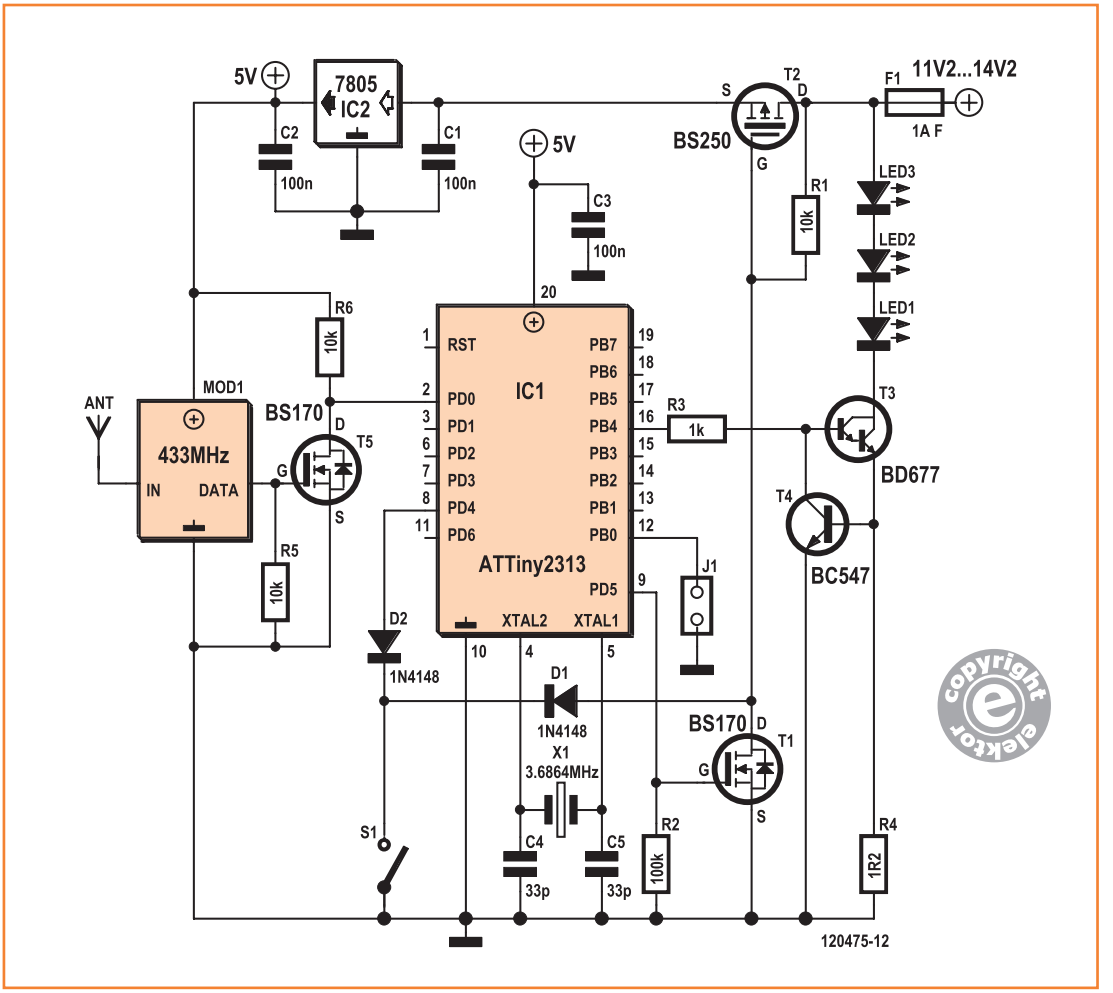


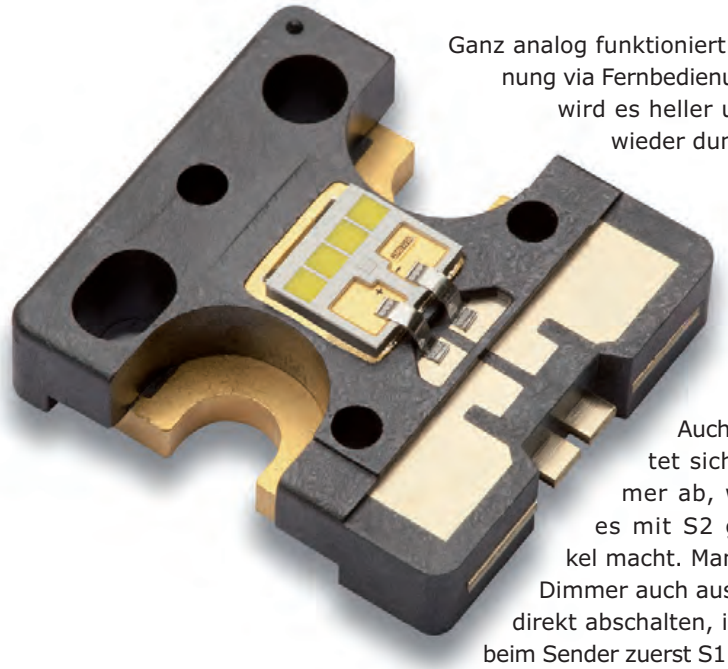
Bild 2.
Die Schaltung des Dimmers ist nicht viel komplizierter als der Sender: Neben HF-Modul und Controller ist noch die Stromversorgung und eine Endstufe für die Power-LEDs zu sehen.

Funktion

Der Dimmer verfügt über einen dualen modus operandi: Im Modus 1 ist der Jumper J1 offen und im Modus 2 entsprechend gesteckt.

Modus 1

Zunächst ist der Dimmer über T2 abgeschaltet und es fließt kein Strom. Erst ein Druck auf den Taster S1 schaltet T2 durch und aktiviert den Mikrocontroller (über PB4), der daraufhin die Selbsthaltung aktiviert. Die Helligkeit ändert sich, solange man den Finger auf dem Taster lässt. Hat man den gewünschten Wert erreicht, lässt man los. Die Schaltung deaktiviert T2 wieder, wenn der dunkelste Punkt im Zyklus erreicht wird.



Ganz analog funktioniert die Bedienung via Fernbedienung: Mit S1 wird es heller und mit S2 wieder dunkler.

Auch hier schaltet sich der Dimmer ab, wenn man es mit S2 ganz dunkel macht. Man kann den Dimmer auch aus der Ferne direkt abschalten, indem man beim Sender zuerst S1 drückt und hält sowie dann zusätzlich kurz S2 betätigt. Damit man den Dimmer mit der Fernbedienung steuern kann, muss dieser immer zuerst über den Taster am Empfänger eingeschaltet sein.

Modus 2

Auch hier muss der Dimmer zuerst mit dem Taster S1 aktiviert werden – aber nur einmal: Der Unterschied zum Modus 1 liegt darin, dass der Mikrocontroller die Selbsthaltung dann permanent aktiviert und die Dimmer-Elektronik daher nicht von der 12-V-Versorgung getrennt wird, wenn auf „ganz dunkel“ eingestellt wird. Das ist bequemer, aber dafür fließen immer einige Milliampere Ruhestrom im Dimmer. Wer diesen auf rund 5 mA drücken will, kann für IC2 auch einen Low-Power-Spannungsregler wie den Typ LP2950-5 (oder ähnlich) verwenden. Außerdem lässt sich in diesem Modus die Helligkeit mit einem einzigen kurzen Druck auf S2 ganz herunterdimmen. Die Schaltung bleibt solange unter Strom, wie sie nicht (so wie im Modus 1) durch gleichzeitiges Betätigen von S1 und S2 des Senders ganz abgeschaltet wird.

Schlussbemerkungen

Als Stromversorgung für den Dimmer empfiehlt sich ein kleines Stecker-Schaltnetzteil mit 12 V Ausgangsspannung und ausreichender Belastbarkeit. Wärme entsteht an T3 und den drei Power-LEDs. Besonders Letztere müssen zwecks guter Lichtausbeute und hoher Lebensdauer gut gekühlt werden. Das gilt selbst dann, wenn man nur 1-W-LEDs einsetzt.

Die Schaltungen kann man leicht auf einem Stück Lochrasterplatine aufbauen, da der kompliziertere HF-Teil ja fix und fertig in Modulen steckt. Die Software für die beiden Mikrocontroller ist wie immer kostenlos über die Elektor-Webseite zu diesem Artikel [1] als Bascom-Source-Code und als fertige Hex-Datei verfügbar. Man muss auch nicht unbedingt die angegebenen Mikrocontroller verwenden. Wer weiß, was er tut, kann den Quelltext leicht an andere Typen (z.B. der Tiny- oder Mega-Serie von Atmel) anpassen. Was allerdings für störungsfreien Betrieb und gute Reichweite wichtig ist, das ist die Verwendung von Quarzen als Taktgeber. Mit internem Takt können die Baudraten von Sender und Empfänger sonst nämlich leicht um einige Prozent differieren.

Bei Conrad ist zurzeit ein preiswertes Modul-Set aus Sender und Empfänger für 433 MHz unter der Bestellnummer 130428 erhältlich. Aber selbstverständlich kann man problemlos andere HF-Module für den seriellen Datentransport verwenden, die z.B. auch auf der freien Frequenz von 868 MHz funken. Die Steuercodes werden ja durch den Mikrocontroller erzeugt und den hat man per Source-Code unter Kontrolle.

(120475)

Weblink:

[1] www.elektor-magazine.de/120475

Einfacher Generator für Strompulse

Ein Hilfsmittel zum Test breitbandiger Strommessung

Von **Martin Oßmann**
(Deutschland)

Zeitabhängige Spannungen kann man einfach mit einem Tastkopf und Oszilloskop messen. Dabei lassen sich Signale von DC bis zu einigen zig MHz heutzutage problemlos darstellen und analysieren. Die Messung von Strömen gestaltet sich dabei um einiges schwieriger. Um eigene Strommessungen mit Shunts oder Stromzangen zu überprüfen ist ein Pulsgenerator für Ströme hilfreich. Der vorliegende Artikel stellt einen einfachen Strom-Pulsgenerator vor und zeigt, wie man mit ihm verschiedene Aufbauten von Shunts vergleichen und testen kann.

Ein einfacher Pulsgenerator

Um eigene Messmittel zu testen braucht man einen Pulsgenerator, der auch stärkere Strompulse mit kleinen Anstiegszeiten liefern kann. Dazu benutzen wir den MOSFET-Gate-Treiber MCP1407 in der Schaltung nach **Bild 1**.
Damit wird aus einem normalen TTL-Rechteckgenerator ein Stromgenerator. Der Treiber kann (im DIL-Gehäuse) einen Strom von dauerhaft 500 mA liefern, kurze Pulse im Bereich bis 2 A sind auch kein Problem. Die spezifizierte Anstiegszeit ist 20 ns bei einem Innenwiderstand von ca. 2,5 Ω. Im Folgenden werden wir zeigen, wie sich entsprechend breitbandig Strommessungen durchführen lassen.

Messung mit Shunt

Zuerst soll untersucht werden, wie man mit einem klassischen Shunt den Strom erfassen kann. Der Shunt wurde aus fünf parallelgeschalteten 1-Ω-Metallfilmwiderständen gebaut. Um das kleine Signal ohne Störungen zum Scope zu leiten wird eine 50-Ω-Koaxleitung verwendet, die auf beiden Seiten mit dem Wellenwiderstand von 50 Ω abgeschlossen ist (**Bild 2**). Dadurch wird das Signal am Shunt um den Faktor 2 gedämpft. Der Signalgenerator wird nun verwendet, um an einem Widerstand von 10 Ω einen Impuls von 1 A zu erzeugen. Dazu wird die Spannungsversorgung so eingestellt (ca. 12 V), dass der mit dem Oszilloskop gemessene Spannungspuls eine Amplitude von 10 V hat. In Reihe zu unserem Lastwiderstand liegt der Shunt mit 0,2 Ω (**Bild 2** und **Bild 3**). Bei 1 A fallen an ihm 200 mV ab, wodurch am Oszilloskop ein 100-mV-Rechteckimpuls sichtbar sein sollte.
Im **Bild 4** sind der Spannungsverlauf (blau) und das Shunt-Signal (rot) dargestellt. Die Anstiegszeit des Spannungspulses ist deutlich kleiner als 20 ns. Das Überschwingen ist relativ gering.

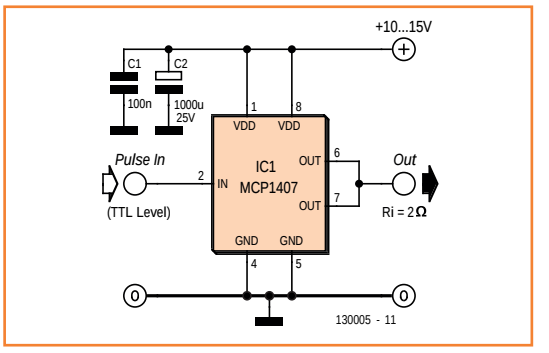


Bild 1.
Impulsverstärker für Strompulse.

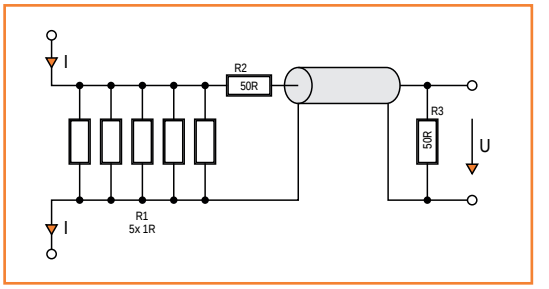


Bild 2.
Schaltung zur Strommessung.

Das Shunt-Signal sieht dabei nicht rechteckig aus, wie erwartet. Es schwingt erst auf 200 mV über und hat auch deutliche HF-Störungen. Zum Überschwingen kommt es, weil die schnelle Stromänderung eine Spannung in der Schleife bewirkt, die durch den 50-Ω-Widerstand und die 50-Ω-Kabelanschlüsse gebildet wird.

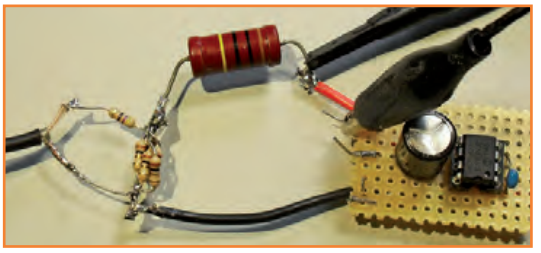


Bild 3.
Strommessung mit Shunt nach Bild 2.

Bild 4.
Gemessene Signale der Schaltung aus Bild 3.

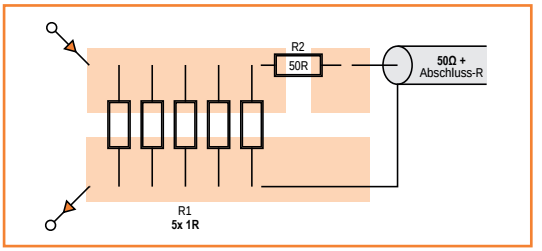


Bild 5.
Layout für kleine Induktionswirkung.

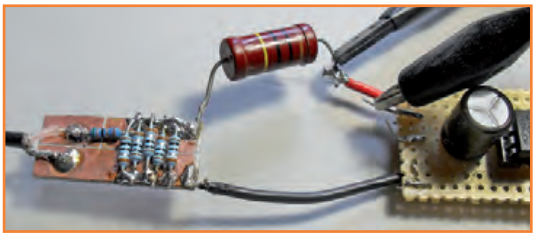


Bild 6.
Praktischer Einsatz der Schaltung nach Bild 5.

Bild 7.
Signalverläufe des Aufbaus von Bild 6.

Damit ist klar, was man tun muss: den Aufbau induktionsärmer machen. Dazu wurde ein Stück kupferkaschierter Platte mit zwei Ritzen versehen, so wie in **Bild 5** gezeigt. Die Widerstände wurden direkt aufgelötet (**Bild 6**).

Das in **Bild 7** dargestellte Resultat zeigt, dass sich die Messung schon wesentlich verbessert hat. Jetzt wollen wir noch etwas gegen die HF-Störung tun. Dazu führen wir die 50-Ω-Leitung zweimal durch einen Klappferrit. Dies ist in **Bild 8** links zu sehen.

Damit erreichen wir noch eine gewisse Dämpfung der HF-Störung. Der Kurvenverlauf in **Bild 9** ist nun akzeptabel.

Klappferrit effektiv einsetzen

Es soll nun einmal erklärt werden, warum ein Klappferrit an dieser Stelle hilft. Das lohnt sich, weil man damit erkennt, wann man mit einem Klappferrit Messungen verbessern kann.

In **Bild 10** ist die Situation dargestellt. Eine Spannungsquelle erzeugt einen 10-V-Spannungsimpuls mit kurzer Anstiegszeit. Die Spannung generiert im Widerstand R1 = 10 Ω einen Strom, der im eingeschwungenen Zustand 1 A beträgt. Dieser Stromkreis ist rot eingezeichnet. Der Spannungsimpuls wird mittels eines 1-MΩ-Tastkopfes und Oszilloskops gemessen. Die abgeschirmte Tastkopfleitung ist in Bild 10 unten dargestellt.

Der Widerstand R2 ist der Strom-Messshunt und die Spannung an ihm gelangt über ein abgeschirmtes 50-Ω-Kabel ebenfalls ans Oszilloskop. Durch die beiden Abschirmungen entsteht eine „Masseschleife“ (grün). Das Problem besteht nun darin, dass der rote Stromkreis und die grüne Masseschleife ein Stückchen Draht (blau) gemeinsam haben. Der ohmsche Widerstand ist oft relativ klein und nicht der Übeltäter, aber schon 1 cm Draht hat eine typische Induktivität von 10 nH (geschätzt). Der Spannungsimpuls besitzt eine Anstiegsgeschwindigkeit von ca. 5 ns. Idealerweise steigt dann der Strom auch in ca. 5 ns von 0 auf 1 A. Diese rasante Stromänderung induziert an der kurzen Leitungsinduktivität eine Spannung von $U = L(\Delta I/\Delta T) = 2$ V. Die induzierte Spannung führt in der grünen Schleife zu einem Strom. Dieser Strom wiederum erzeugt Spannungen an den Abschirmungen der Leitungen, die zum Originalsignal hinzukommen. Bei schnellen

Pulsen können diese Spannungen beträchtlich sein, insbesondere im Vergleich zu den geringen Spannungen am Shunt R2.

In **Bild 11** ist nun die Situation mit Klappferrit dargestellt. Die beiden Leiter der abgeschirmten Leitung des Stromsignals sind gleichsinnig um den Ferrit gewickelt. Das führt dazu, dass in der Abschirmung eine kleine Induktivität entsteht. Für hohe Frequenzen stellt diese einen beträchtlichen Widerstand dar. Dadurch wird die Masseschleife quasi unterbrochen, und die im blauen Draht induzierte Spannung fällt an dieser Induktivität ab. Da die Seele des Kabels genau wie die Abschirmung um den Ferrit gewunden wurde, wird die induzierte Spannung in beiden Leitern induziert, so dass sich die Differenzspannung (unser Strommesssignal) nicht ändert. Der Ferrit wirkt im Grunde als Common-Mode-Drossel.

Da bei Messungen mit dem Oszilloskop oft mehrere Tastköpfe mit Masseverbindungen verwendet werden, ist es oft sinnvoll einen Klappferrit einzusetzen. Dann kann man genauer messen, wenn zwischen den verschiedenen (vermeintlichen) Masseanschlüssen hochfrequente Spannungen (Groundbounce) liegen.

Induktionsarme Widerstände

In diesen Artikel haben wir zu Tests eine Puls-Spannungsquelle (10 V) mit einem Widerstand benutzt, um rechteckige Strompulse zu erzeugen. Aber auch hier lauern Tücken im Detail. In Bild 8 ist ein Aufbau mit einem 10-Ω/50-Watt-Leistungswiderstand gezeigt. Der zugehörige Spannungs- und Stromverlauf ist in **Bild 12** abgebildet.

Diesmal braucht der Strom ca. 500 ns, um auf den Endwert von 1 A einzuschwingen. Mit solch einem langsamen Anstieg kann man natürlich keine Strommessungen charakterisieren. Worin liegt die Ursache? Nun, der Drahtwiderstand ist gewickelt und hat damit eine Induktivität von rund 2,5 µH. Diese parasitäre Induktivität bedingt den langsamen Anstieg. Um schnelle Anstiege zu erreichen muss man also unbedingt induktionsarme Widerstände verwenden (z.B. von Caddock). Auch der Aufbau selbst ist induktionsarm zu gestalten, mit so kleinen Stromkreisen wie möglich. Mit der Zeit gewinnt man übrigens ein Gefühl für diese Problematik.

Die vorgestellten Beispiele haben gezeigt, wie man den Stromgenerator benutzen kann, um verlässlich arbeitende Shunts für die breitbandige Strommessung selbst zu bauen und zu testen. Nach dem Test können diese dann z.B. bei der Schaltnetzteilentwicklung zum Einsatz kommen.

(130005)

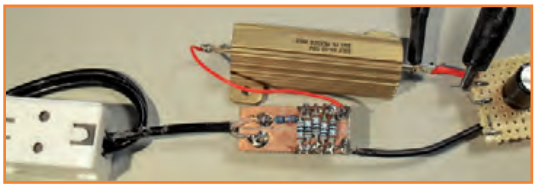


Bild 8.
Einsatz eines Klappferrits über dem 50-Ω-Kabel.

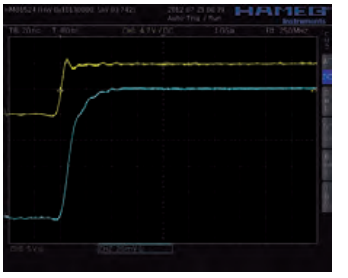


Bild 9.
Signal mit Klappferrit.

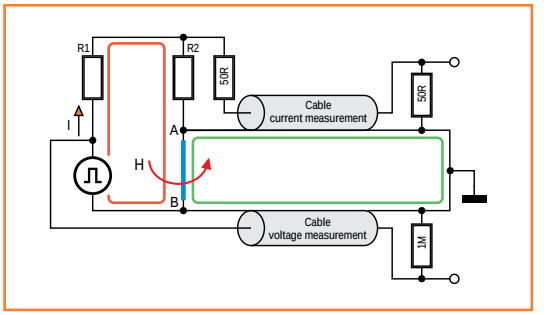


Bild 10.
Induktive Kopplung in die Masseschleife.

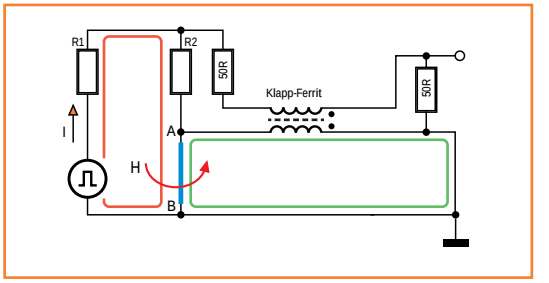


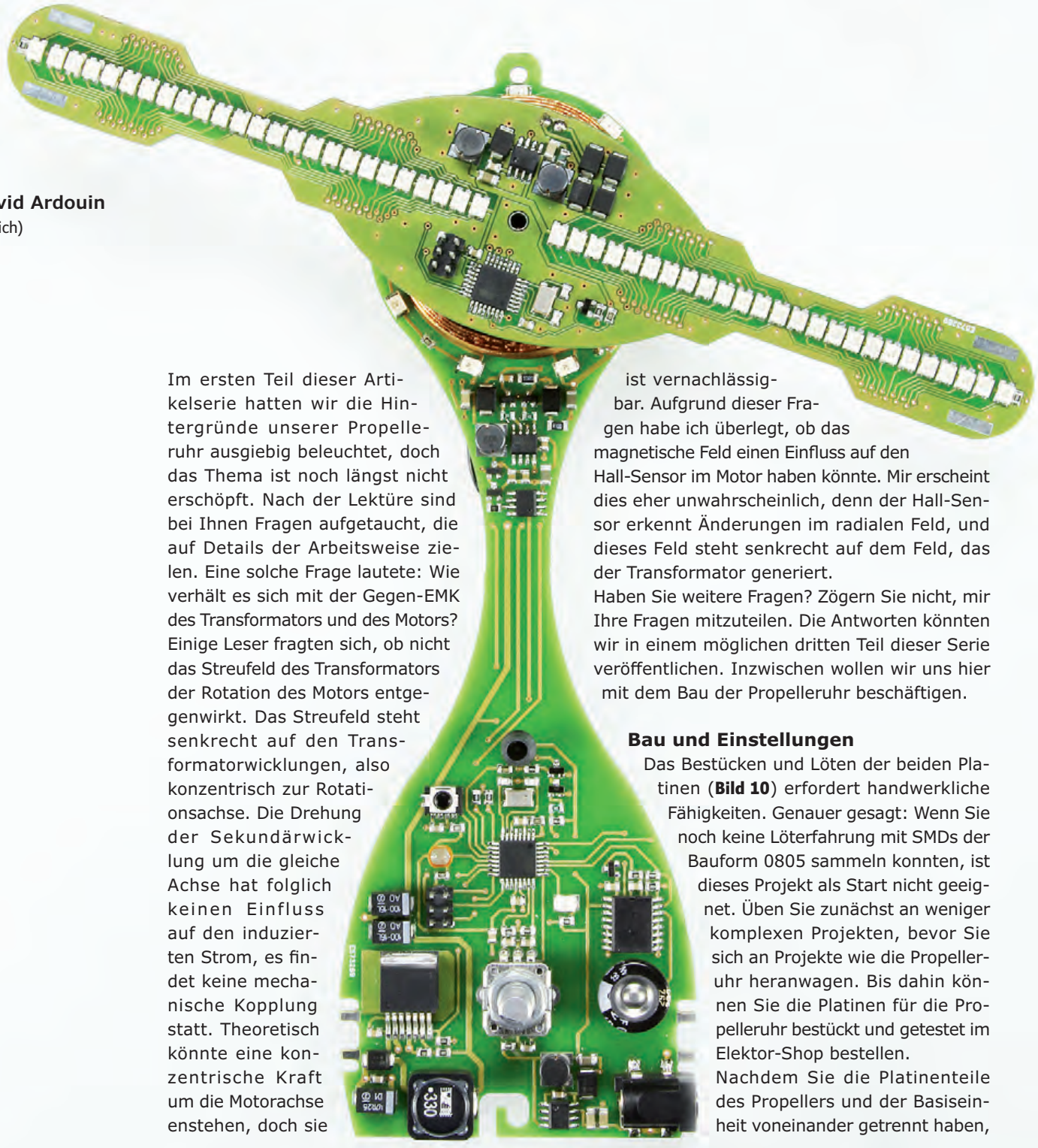
Bild 11.
Wirkung des Klappferrits.

Bild 12.
Signale bei Widerstand mit parasitärer Induktion.

Propelleruhr (2)

Mit ultra-stylischem Ziffernblatt

Von **David Ardouin**
(Frankreich)



Im ersten Teil dieser Artikelserie hatten wir die Hintergründe unserer Propelleruhr ausgiebig beleuchtet, doch das Thema ist noch längst nicht erschöpft. Nach der Lektüre sind bei Ihnen Fragen aufgetaucht, die auf Details der Arbeitsweise zielen. Eine solche Frage lautete: Wie verhält es sich mit der Gegen-EMK des Transformators und des Motors? Einige Leser fragten sich, ob nicht das Streufeld des Transformators der Rotation des Motors entgegenwirkt. Das Streufeld steht senkrecht auf den Transformatorwicklungen, also konzentrisch zur Rotationsachse. Die Drehung der Sekundärwicklung um die gleiche Achse hat folglich keinen Einfluss auf den induzierten Strom, es findet keine mechanische Kopplung statt. Theoretisch könnte eine konzentrische Kraft um die Motorachse enstehen, doch sie ist vernachlässigbar. Aufgrund dieser Fragen habe ich überlegt, ob das magnetische Feld einen Einfluss auf den Hall-Sensor im Motor haben könnte. Mir erscheint dies eher unwahrscheinlich, denn der Hall-Sensor erkennt Änderungen im radialen Feld, und dieses Feld steht senkrecht auf dem Feld, das der Transformator generiert.

Haben Sie weitere Fragen? Zögern Sie nicht, mir Ihre Fragen mitzuteilen. Die Antworten könnten wir in einem möglichen dritten Teil dieser Serie veröffentlichen. Inzwischen wollen wir uns hier mit dem Bau der Propelleruhr beschäftigen.

Bau und Einstellungen

Das Bestücken und Löten der beiden Platinen (**Bild 10**) erfordert handwerkliche Fähigkeiten. Genauer gesagt: Wenn Sie noch keine Löterfahrung mit SMDs der Bauform 0805 sammeln konnten, ist dieses Projekt als Start nicht geeignet. Üben Sie zunächst an weniger komplexen Projekten, bevor Sie sich an Projekte wie die Propelleruhr heranwagen. Bis dahin können Sie die Platinen für die Propelleruhr bestückt und getestet im Elektor-Shop bestellen.

Nachdem Sie die Platinenteile des Propellers und der Basiseinheit voneinander getrennt haben,

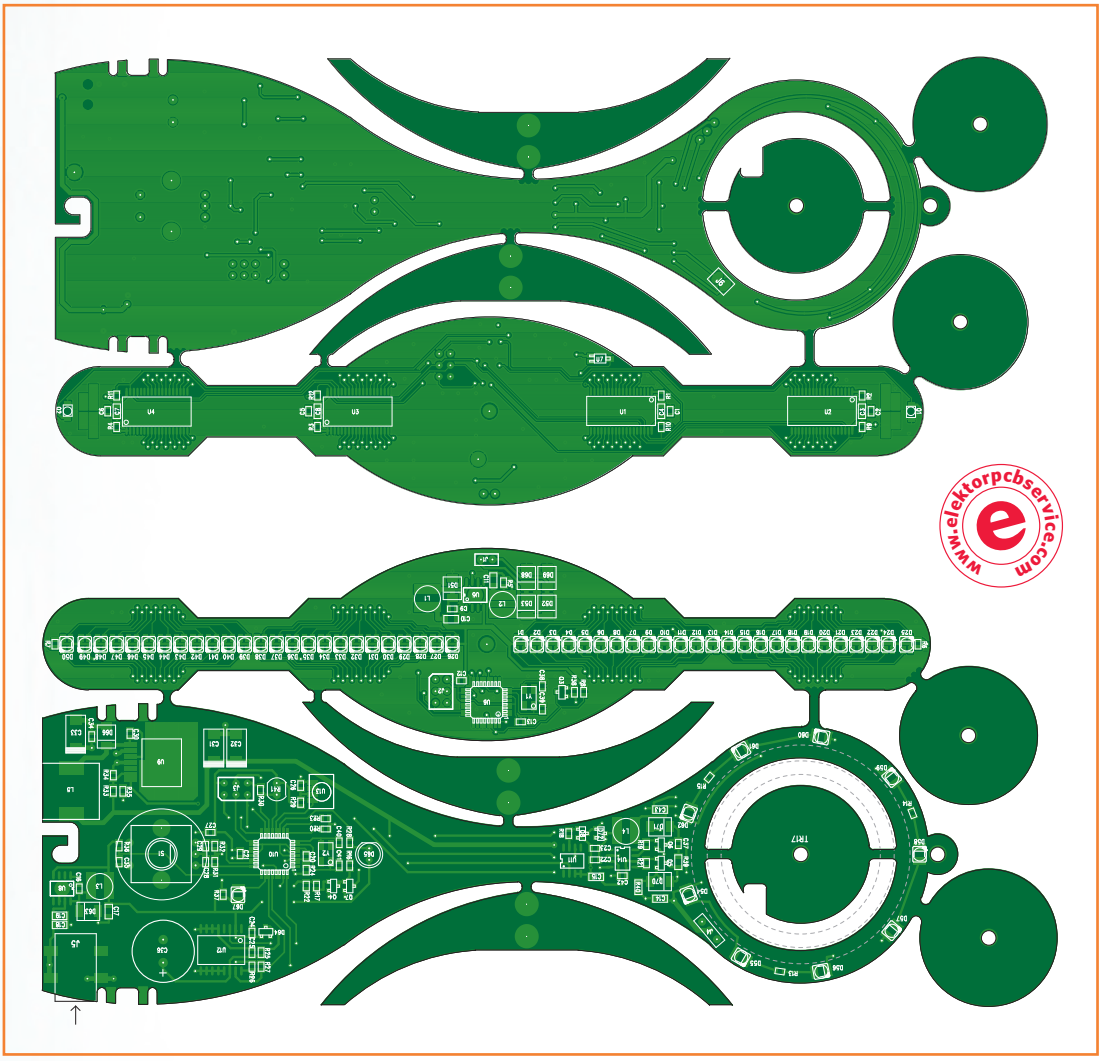


Bild 10a.
Platine für die High-End-Propelleruhr. Meistens muss der Propeller nicht ausgewuchtet werden. Falls dies nötig sein sollte, können auf den rechteckigen Flächen an den Flügelenden kleine Mengen Lötzinn aufgetragen werden.

müssen Sie eventuelle Grate an den Platinenrändern mit einer flachen Feile beseitigen. Einige Teile haben lediglich mechanische Funktion, zum Beispiel die Zwischenringe (englisch: washer), die den Propeller bei der Montage auf Abstand vom Motor halten, sowie die halbmondförmigen Teile, die als Füße dienen.

Wenn es um das Löten von SMD-ICs geht, löte ich zuerst mit einem Lötkolben, der eine relativ breite Spitze hat. Fast alle IC-Anschlüsse werden beim Löten kurzgeschlossen, doch das ist unbedenklich. Wenn das IC montiert ist, entferne ich überschüssiges Lötmittel mit einem Stück Entlötlitze. Übrig bleibt dann nur das Lötmittel zwischen

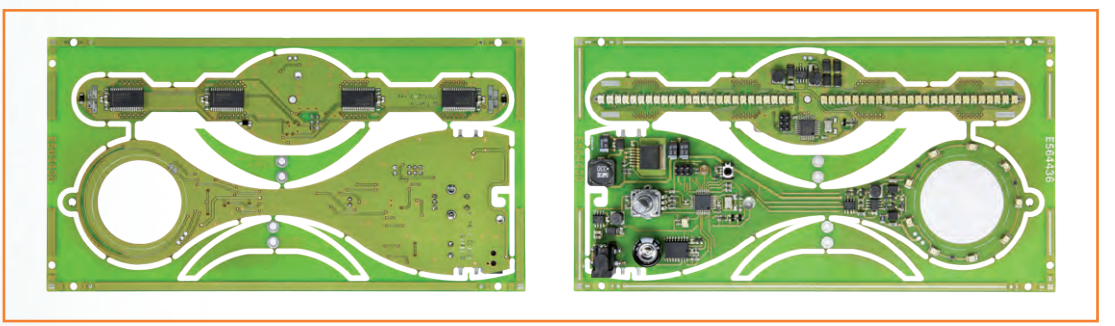


Bild 10b.
Bei dieser Platinenversion fehlen noch die drei Zwischenringe (siehe Bild 10a und 13c).

Bild 11a.
Fuse-Bits für den ATmega328 auf der Basiseinheit...

Fuses	Extended	0xFC	*Brown-Out* Trigger bei 4,3 V
	High	0xD9	Externer Takt 20 MHz, maximale Startzeit
	Low	0xFF	

Bild 11b.
... und für den ATmega328 auf dem Propeller.

Fuses	Extended	0xFD	*Brown-Out* Trigger bei 2,7 V
	High	0xD9	Externer Takt 20 MHz, maximale Startzeit
	Low	0xFF	

IC-Anschlüssen und Kupferbahnen. Bei den ICs U5 und U8 befindet sich eine Lötfläche auf der Unterseite. Zuerst löten Sie die Beine dieser ICs an die Platine. Anschließend löten Sie die IC-Fläche durch die dafür bestimmten Bohrungen von der Unterseite. Im PDF-Dokument zur Platine ist für diese Bohrungen der Durchmesser 0,5 mm angegeben. Bei den Platinen aus dem Elektor-Shop wurde der Durchmesser auf 3 mm geweitet, so dass die Spitzen üblicher Lötkolben hindurch passen. Die Bohrung kann vollständig mit Lötmittel gefüllt werden, dies steigert die thermische Leitfähigkeit.
Auf dem Propeller sind 50 SMD-LEDs zu montieren. Die LEDs müssen perfekt ausgerichtet sein, denn wenn sich der Propeller dreht, tritt die geringste Abweichung störend in Erscheinung. Die beiden LED-Reihen müssen perfekt symmetrisch zueinander stehen. Bereits im ersten Teil dieses Beitrags hatten wir den Grund beschrieben.
Auf dem Foto unseres Prototyps ist erkennbar, dass die Infrarot-LED D65 eine Blende aus schwarzem Schrumpfschlauch erhalten hat. Die Blende sorgt dafür, dass das infrarote Strahlenbündel eng abgegrenzt wird. Das Signal, das beim Passieren der Propellerflügel entsteht, wird nur wenig verwaschen.
Die Software für die Mikrocontroller können Sie von der Projektseite [2] herunterladen und über die ISP-Schnittstellen in die Mikrocontroller übertragen. Für beide Mikrocontroller ist die Software fast identisch, sie unterscheidet sich jedoch in den Einstellungen der Fuse-Bits (siehe Tabellen in **Bild 11a** und **11b**). Die Unterspannungsschwelle (brown out) ist beim Mikrocontroller des Propellers niedriger eingestellt, sie wurde auf 2,7 V gelegt. Falls die Spannung des induktiv versorgten Propellers infolge einer plötzlichen Stromspitze einbricht, ist dem hiermit Rechnung getragen.

Selbsttest

Bevor Sie den Bau der Propelluhr fortsetzen, ist ein Test beider Platinen angebracht. Testen Sie

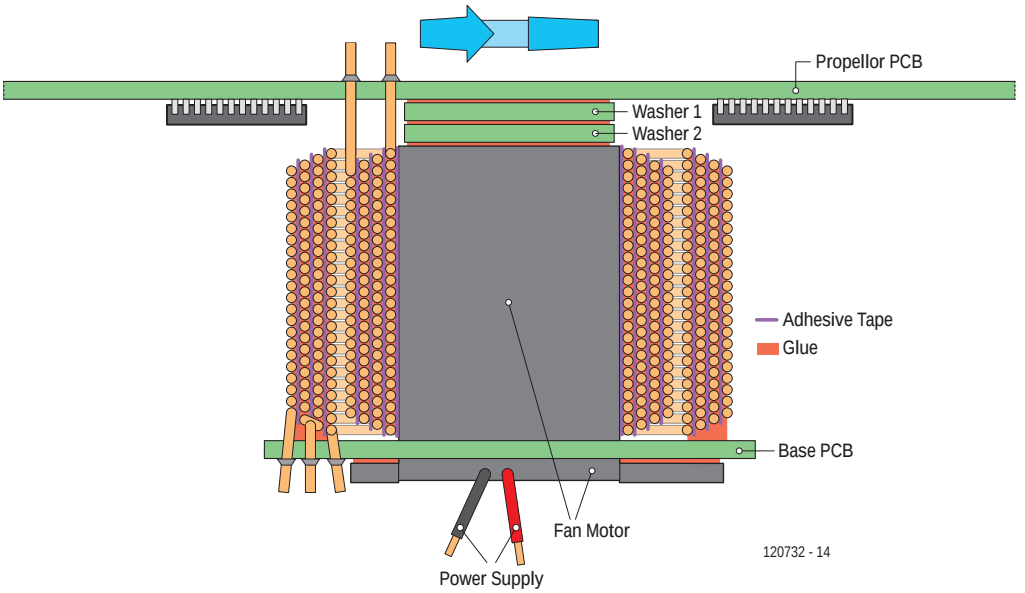


Bild 12.
Querschnitt durch den Drehmechanismus mit dem Transformator.

die Platinen zuerst einzeln, danach testen sie die Platinen gemeinsam. Der Propeller bleibt bei den Tests in Ruhestellung.

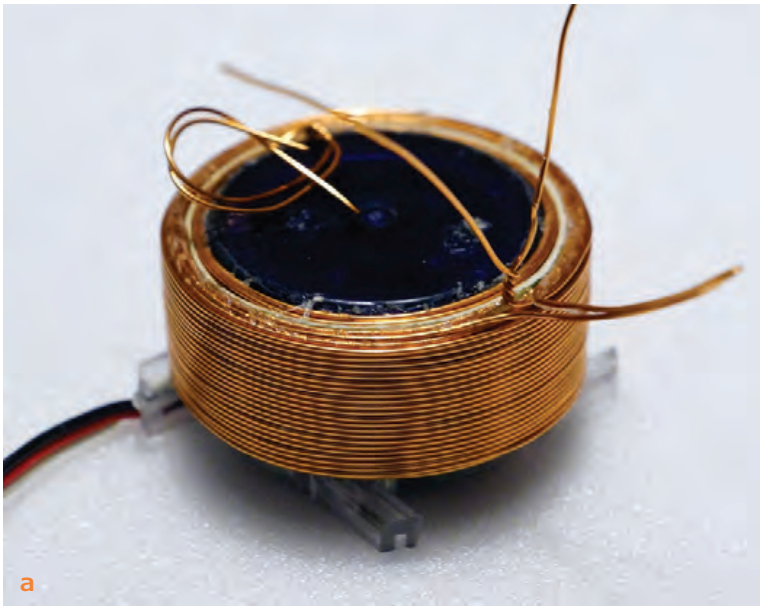
Beginnen Sie mit der Basiseinheit der Propelleruhr. Halten Sie S1 gedrückt, während Sie die Betriebsspannung einschalten. Die Test-LED D67 blinkt mit der Frequenz 2 Hz, was besagt, dass über die Infrarot-Verbindung Frames gesendet werden. Wenn Sie genau hinsehen, bemerken Sie bei LED D65 eine rötliche Färbung. Gleichzeitig muss der provisorisch angeschlossene Motor auf vollen Touren laufen, ein Zeichen dafür, dass die Spannung für den Transformator vorhanden ist. Mit zwei Pullup-Widerständen 1...10 kΩ zwischen den Pins 1 und 2 sowie 2 und 3 von J4 können Sie die steuernde Spannung für den Transformator auf einem Oszilloskop betrachten. Dort muss ein rechteckförmiges Signal mit der Frequenz 50 kHz und der Amplitude 9 V erscheinen.

Zweites Testobjekt ist der Propeller, zuerst allein. Schließen Sie eine 9-V-Batterie über J1 an, die Polarität ist beliebig. Die LEDs ganz nah an der Mitte müssen jetzt aufleuchten. Wenn Sie Q1 oder Q2 vor der Infrarot-Diode D65 bewegen, muss eine dritte LED aufleuchten. Das ist das Zeichen dafür, dass das Signal für die Propeller-Positionierung empfangen wird und der Propeller höchstwahrscheinlich funktionstüchtig ist. Anschließend halten Sie die Mitte des Propellers in Richtung der Basiseinheit, so wie er später auf den Motor montiert wird. Dabei ist U7 auf den Ring gerichtet, den die Infrarot-LEDs D54...D62 bilden. U7 befindet sich auf der Unterseite des Propellers. Die Propellerschaltung muss nun signalisieren, dass Daten-Frames empfangen werden. Das geschieht, indem die 50 LEDs auf den Propeller-Flügeln aufleuchten.

Haben Ihre Platinen diese Tests bestanden? Schön, dann können wir uns jetzt der mechanischen Konstruktion zuwenden.

Mechanische Konstruktion

Die größte Tat in dieser Bauphase ist die Konstruktion des Transformators. Nehmen Sie einen PC-Lüfter mit 80 mm Durchmesser und entfernen sie außer dem Motor alle Teile einschließ-



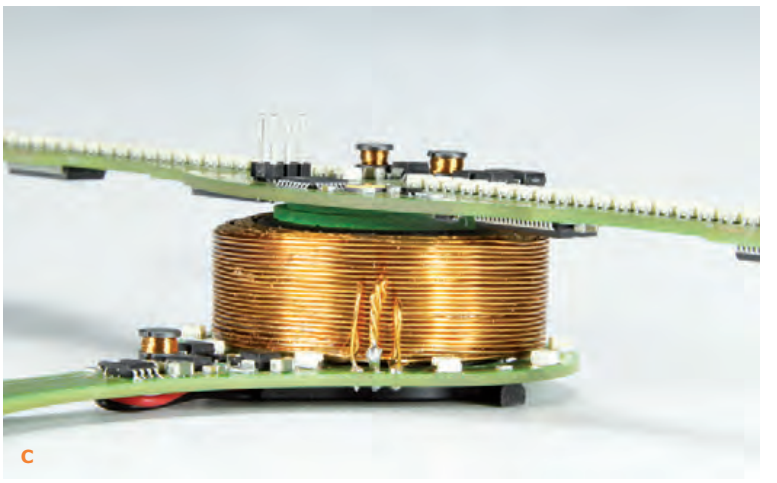


Bild 13.
Nahaufnahmen des Transformators: Nach dem Wickeln (a), einzeln (b) und montiert (c). Bei (a) ist der Pappring sichtbar, der die primäre und sekundäre Wicklung auf Abstand hält, und (c) zeigt die Zwischenringe, die den Propeller auf Abstand von der Basiseinheit halten.

lich Lüfterschaufeln. Dann wickeln Sie dort den Transformator auf. An dieser Stelle müssen wir nicht ins Detail gehen, denn der Arbeitsablauf wird schrittweise in einem besonderen Dokument erklärt, das Sie von der Projektseite [1] herunterladen können. Wenn Sie den Anweisungen strikt folgen und die nötige Geduld aufbringen, werden Sie den Transformator mit Erfolg wickeln. Die Schnittzeichnung in **Bild 12** und das Foto in **Bild 13** veranschaulichen, wie der Antrieb konstruiert ist. Die äußere Wicklung ist die Primärseite des Transformators, sie ist an der Basiseinheit fixiert. Auch der Stator des Motors wird an der Basiseinheit befestigt.

Die sekundäre Wicklung des Transformators dreht sich in der primären Wicklung, sie hat deshalb einen kleineren Durchmesser. Diese Wicklung wickeln Sie um den Rotor des Motors, den Propeller verbinden Sie später mit der Rotorachse. Wenn eine Lage gewickelt ist, legen Sie eine Schicht doppelseitiges Klebeband guter Qualität darüber, und darauf wickeln Sie die nächste Lage. Nehmen Sie Sekundenkleber, gering dosiert, um die Wicklungen zu fixieren.

Die beiden halbmondförmigen Teile der Platine sind die Füße, auf die Sie die Basiseinheit aufsetzen. Zuletzt löten Sie die Füße rechtwinklig an die Basisplatine. Falls Sie vorhaben, die Uhr an die Wand zu hängen, lassen Sie die Füße weg. Oben an der Basiseinheit befindet sich eine Öse, an der die Propelluhr aufgehängt werden kann. Der Haken unten in der Mitte ist als Zugentlastung für das Stromversorgungskabel gedacht. Natürlich darf das Kabel nicht mit dem Propeller in Berührung kommen.

Wir möchten Sie daran erinnern, dass einige Bauteile mechanisch empfindlich sind. Dies gilt insbesondere für Q1 und Q2 an den Flügelspitzen. Achten Sie darauf, dass die Flügelspitzen nirgends anstoßen, wenn sich der Propeller mit hoher Geschwindigkeit dreht.

Uhr mit Charakter

Nehmen Sie sich Zeit, kurz durchzuatmen! Wenn Ihre Platinen die Tests bestanden haben und alle mechanischen Arbeiten geschafft sind, müssen Sie nicht mehr lange warten, bis Sie Ihre High-End-Propelleruhr in vollem Glanz betrachten können. Was jetzt noch fehlt, ist ein Netzteil, das 10...14 V bei einem Strom von mindestens 250 mA liefert. Wenn Sie die Betriebsspannung einschalten, initialisieren die Mikrocontroller die Systeme, danach beginnt der Motor zu laufen. Zuerst leuchten die LEDs D1 und D26 auf zum Zeichen dafür, dass die Betriebsspannung vorhanden ist. Einige Sekunden später signalisiert LED D65, dass die Zeitanzeige startet. Jetzt muss das virtuelle Ziffernblatt die Zeit und darunter einen Willkommenstext anzeigen.

Nachdem Sie bis hierhin gekommen sind, können Sie die Propelleruhr mit der Fernbedienung (**Bild 14**) oder mit dem Drehknopf der Basiseinheit einstellen. Wenn Sie den Knopf drücken, versetzen Sie die Uhr in den Standby-Betrieb, oder Sie holen die Uhr von dort zurück. Drehen Sie nun den Knopf nach rechts oder links, dann durchlaufen Sie einige Dutzend Anzeigevarianten. Unterschiedliche Farbkombinationen, Ziffernblät-

Stückliste

Widerstände (SMD 0805, 5 %):
R1...R5, R17, R30 = 47 kΩ
R6, R7, R16, R20, R22, R23, R24, R26, R27, R31, R32, R36, R37 = 4,7 kΩ
R8...R12 = 22 kΩ
R13...R15, R18, R19, R21, R29 = 100 Ω
R25, R34 = 1,5 kΩ
R28 = 330 Ω
R33, R35 = 10 kΩ
R38 = 1 MΩ

Widerstände (SMD 1206, 5 %)**:**
R39 = 10 Ω
R40 = 0,1 Ω

Kondensatoren, keramisch (SMD 0805, 20 %)**:**
C1, C2, C5, C6, C12, C13, C20, C21, C22, C23, C24, C25, C27, C34, C42 = 100 n / 50 V
C9, C16, C30 = 10 n / 50 V
C26, C28, C29, C35 = 1 µ / 10 V
C37 = 1 n / 50 V
C38...C41 = 33 p / 10 V

Kondensatoren, keramisch (SMD 1206, 20 %)**:**
C3, C4, C7, C8, C10, C17 = 22 µ / 10 V
C11, C18, C19, C43 = 1 µ / 50 V
C14, C15 = 10 µ / 16 V

Kondensatoren, sonstige**:**
C31, C32 = 100 µ / 16 V, Vishay - 593D
C33 = 47 µ / 25 V, Vishay - 593D
C36 = 0,1 F / 5,5 V, Panasonic - EECF5R5U104 (9692703)

Induktivitäten:
L1, L3 = 68 µH, 0,84 A, Bourns - SDR0604-680KL (1828011)
L2 = 220 µH, 0,38 A, Bourns - SDR0604-221KL (1828016)
L4 = 1 mH, 0,12 A, Bourns - SDR0604-102KL (1828020)
L5 = 33 µH, 3 A, Würth – 744771133 (2082608)

Dioden:
D1...D50 = LED, zweifarbig PLCC4, Farben nach Wahl, z. B. Vishay VLMKE3400-GS08 (1328370)
D51...D53, D63, D66, D68, D69 = ON - MBRS140T3G (9557237)
D54...D62 = Infrarot-LED, Osram - SFH421-Z (1226346)
D64, D72 = BAT54
D65 = VSLY5850 Infrarot-LED, Vishay

ter, Zeigerformen mit oder ohne Sekundenzeiger, die Datums- und Temperaturanzeige sowie die analoge oder digitale Darstellung stehen zur Wahl. Wenn Sie gefunden haben, was Ihrem Geschmack entspricht, ändern Sie während der nächsten zehn Sekunden nichts. Ihre Wahl wird dann permanent gespeichert, so dass die Propelleruhr beim nächsten Einschalten im gewählten Anzeigemodus läuft.
Halten Sie den Knopf zwei Sekunden gedrückt, dann gelangen Sie in das Konfigurationsmenü. Dort können Sie Zeit, Datum, Sprache, Rotationsgeschwindigkeit, die Tages- und Nachtanzeige und die Helligkeit einstellen. Dieses Menü durchlaufen Sie, indem Sie den Knopf kurz drücken. Den gewünschten Wert stellen Sie durch Drehen des Knopfs ein. Falls Sie für den Nachtbetrieb die Geschwindigkeit Null wählen, nimmt die Uhr ihren Betrieb erst auf, wenn Licht den Raum erhellt. Das dürfte ideal für das Schlafzimmer sein! Dann allerdings weigert sich die Uhr anzulaufen, wenn die Lichtintensität unter der Einschaltschwelle liegt. Bevor Sie einen Defekt mutmaßen, bringen Sie die Propelleruhr in eine hellere Umgebung, anschließend können Sie die Einschaltschwelle niedriger einstellen.

Damit sind wir am Ende des zweiten Teils dieser Serie angekommen. Ich hoffe, Sie haben beim Bau der Propelleruhr ebenso viel Freude, wie ich bei der Entwicklung und Realisierung hatte. Ich würde mich freuen, wenn Sie Ihre Erfahrungen und Ideen im Elektor-Forum mit anderen Lesern teilen!

(130389)gd

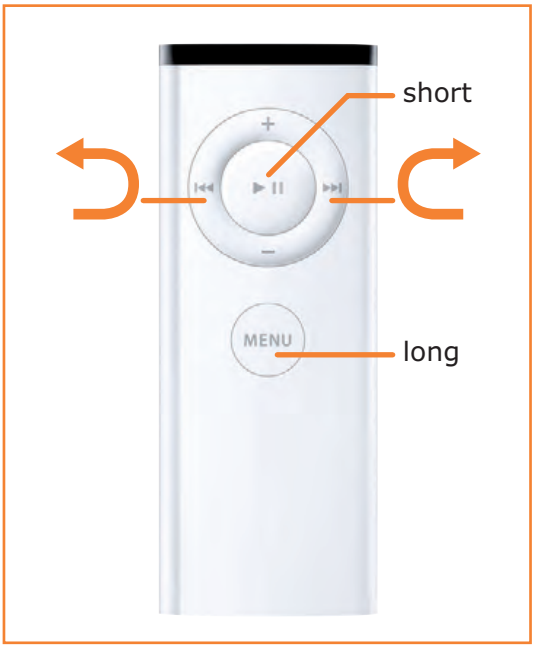


Bild 14.
Steuerung mit einer Fernbedienung von Apple.

Weblinks

[1] Montageanleitung: www.elektor-magazine.de/120732
[2] Software-Download einschließlich Quellcode: www.elektor-magazine.de/120732
[3] Fernbedienung für Apple Universal Dock: http://store.apple.com/de/product/MC746ZA/A/apple-universal-dock

(1870807)
D67 = PLCC2 LED orange
D70, D71 = SMBJ48A TVS-Diode, Bourns (1899472)

Halbleiter, sonstige**:**
Q1, Q2 = TEMT1020 Fototransistor, Vishay (1470165)
Q3, Q4, Q7 = BC847A
Q5, Q6, Q8 = IRLML0060 IR-Transistor (1783927)
U1...U4 = MAX6957AAX Maxim [Digikey: MAX6957AAX+T-ND]
U5, U8 = LM22674MR-5.0 (1679666)
U6, U10 = ATmega328P-AU (1715486)
U7 = SFH2400FA-Z Fotodiode, Osram (1226452)
U9 = LM2670S-ADJ (1286849)
U12 = DS3231S, Maxim (1593292)
U13 = TSOP6238 Infrarotsensor 38 kHz, Vishay (4913220)
U14, U11 = TC4427ACOA, Microchip (1467705)

Außerdem:
Y1, Y2 = Quarz 20 MHz, TXC – 7B-20.000MAAJ-T (1841988)
S1 = Incremental Encoder PEC11-4215F-S0024, Bourns (1653380)
R41 = Fotowiderstand VT935G, Excelitas Tech (1652638)
J2, J3 = Siftkontaktleiste, 2·3-polig, Raster 2,54 mm
J4 = Stiftkontaktleiste, 3-polig, Raster 2,54 mm
J5 = DC-Anschlussbuchse DC10AS 2,1 mm, Cliff (1889309)
J6 = PC-Lüfter 80 mm, 2000...3000 U/min
TR1 = Transformator mit zwei konzentrischen Wicklungen [1]
Lackierter Kupferdraht, ∅ 0,56 mm, Länge etwa 25 m
Sekundenkleber und dünnes, doppelseitiges Klebeband, siehe Montageanleitung [1]
Platinen 120732-1...7

Nachträgliche Korrekturen der Schaltung (Elektor Dezember 2013, S. 15/16):
- Bild 3a: R15 muss R12 heißen.
- Bild 3b: J1 ist keine Steckleiste, sondern der Anschluss von Trafo TR1 (siehe Bild 2).

Falls Bilder und Stückliste voneinander abweichen, ist die Stückliste maßgebend.

(in Klammern: Bestellnummern Farnell, sofern nicht anders angegeben)

Chiptuning für RC-Modelle

Mehr Power ohne Bürste!

Von **Jörg Prim**

Einen Bürstenmotor in einem RC-Modell gegen ein bürstenloses Exemplar auszutauschen, erfordert einiges an Umbauten. Doch das Unterfangen wird zum Kinderspiel, wenn man die hier beschriebene Schaltung einsetzt.

Viele Hersteller von RC-Flugmodellen bieten günstige „Ready To Fly"-Modelle (RTF) an. RTF bedeutet, dass keine Bastelarbeiten notwendig sind; die Modelle können quasi aus dem Baukasten heraus geflogen werden. Es müssen vor dem ersten Flugeinsatz meistens nur die Batterien in den Sender eingelegt und der Akku aufgeladen werden. Diese Modelle machen viel Spaß und sind auch gerade für Anfänger geeignet.

Oftmals wünscht man sich aber nach einigen Flugversuchen einen stärkeren Antrieb. Aus Kostengründen besitzen RTF-Modelle meistens einen Bürstenmotor. Auf einer zentralen Platine sind der 2,4-GHz-Empfänger, der Motorsteller und manchmal auch die Servos untergebracht.

Eine Aufrüstung sollte doch keine Probleme bereiten; man braucht doch bloß das schwächliche Original gegen einen stärkeren Bürstenmotor zu tauschen? Doch was so einfach klingt, ist in der Regel zum Scheitern verurteilt. Denn der neue, stärkere Motor ist schwerer und benötigt auch mehr Strom, so dass ein dickerer Akku erforderlich ist. Das alles rechnet sich nicht, der stärkere Motor ist in der Regel nicht in der Lage, das Übergewicht des Modells auszugleichen.

Leichter, stärker, weiter

Hier bietet sich der Einsatz eines bürstenlosen Motors an. Diese Motoren bieten bei gleichem Gewicht eine höhere Leistung und sind dabei noch verschleißärmer, da es keinen Kommutator gibt. Ein Motorsteller für den Bürstenmotor wird mit Impulsen (Frequenz einige Kilohertz) angesteuert und erzeugt daraus Motorsteuerimpulse mit einer Frequenz von etwa 3 kHz. Bei einer Eingangsimpulslänge von 1 ms steht der Motor still, bei 2 ms läuft der Motor mit maximaler Geschwindigkeit. Ein bürstenloser Motor (BL) möchte allerdings

dreiphasig (mit Drehstrom) angesteuert werden, der bisherige Motorsteller ist nicht geeignet. Die Drehzahl des BL-Motors ist proportional zur Drehstromfrequenz. Der Brushless-Motorsteller ist viel komplizierter aufgebaut, da er nicht nur die gewünschte Frequenz erzeugen, sondern auch die Drehungen des Motors berücksichtigen muss, damit Motor und Drehstrom gleich laufen. Glücklicherweise stellt der Handel viele preisgünstige BL-Motorsteller zur Verfügung, so dass der Lötkolben (noch) kalt bleiben kann.

Jetzt bleibt nur noch ein letztes Problemchen zu beseitigen: Der BL-Motorsteller erwartet am Eingang ein Servo-Signal (**Bild 1**). Dabei handelt es sich um Impulse von 0,9 ms bis 2,1 ms Länge, die sich alle 20 ms wiederholen. 0,9 ms entsprechen dabei „Motor aus“ und 2,1 ms „Vollgas“. Die Empfängereinheit des Modells besitzt aber keinen Servoausgang für den Motor, da sich der Steller für den Bürstenmotor schon auf der Platine befindet. Der Ausgang der Empfängereinheit sieht im Prinzip aus wie in **Bild 2**.

Ein Leistungs-MOSFET wird mit einem PWM-Signal versorgt. Es handelt sich meistens um einen N-Kanal MOSFET, der mit einem massebezogenen Signal angesteuert wird, also den Motor gegen Masse schaltet. Das PWM-Signal ist ein Rechteck von mehreren Kilohertz. Die Pulsweite wird dabei von 0...100 % (oft nur von 20...90 %) variiert. Im Motor wird die pulsartige Ansteuerung in Bewegungsenergie umgesetzt: Je höher die Pulsweite, desto höher die Drehzahl des Motors. Bei 100 % ist der MOSFET dauerhaft durchgeschaltet, der Motor läuft mit maximaler Leistung.

Servosignal vom Mikrocontroller

Die hier beschriebene Schaltung setzt nun das PWM-Signal der Empfängereinheit in ein Servosignal für den Steller um (**Bild 3**). Statt des Bürstenmotors wird der Eingang K2 an die Empfängereinheit angeschlossen. Dabei ist nur der Pin 1 belegt, der durch den MOSFET der Empfängereinheit nach Masse gebrückt wird. R3 ist ein relativ niederohmiger Pullup-Widerstand, damit das PWM-Signal am Mikrocontroller-Eingang PB4 möglichst steilflankig ankommt.

An D1 kann man kontrollieren, ob der Controller arbeitet. An K3 wird der BL-Steller mit einem dreipoligen Servokabel angeschlossen. Pin 3 ist Masse, Pin 2 die positive Betriebsspannung (5 V)

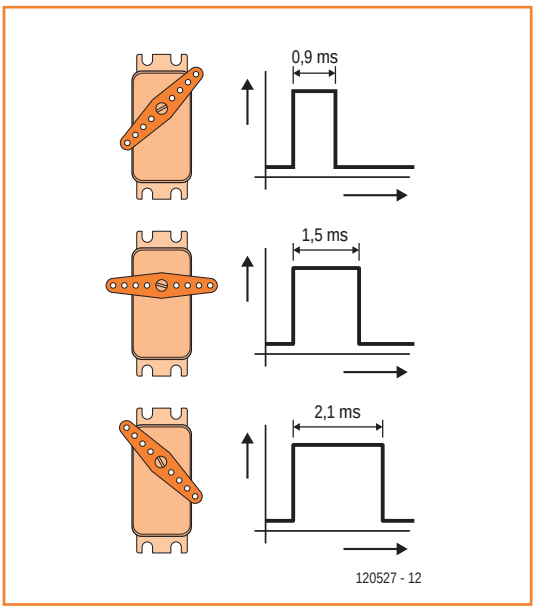


Bild 1.
So sieht ein Servosignal aus.

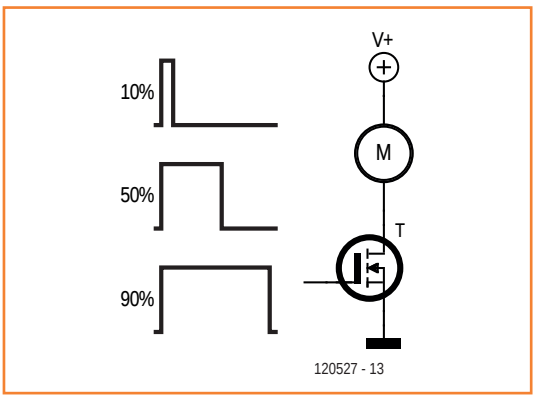


Bild 2.
Typische Konfiguration eines Stellers für Bürstenmotoren.

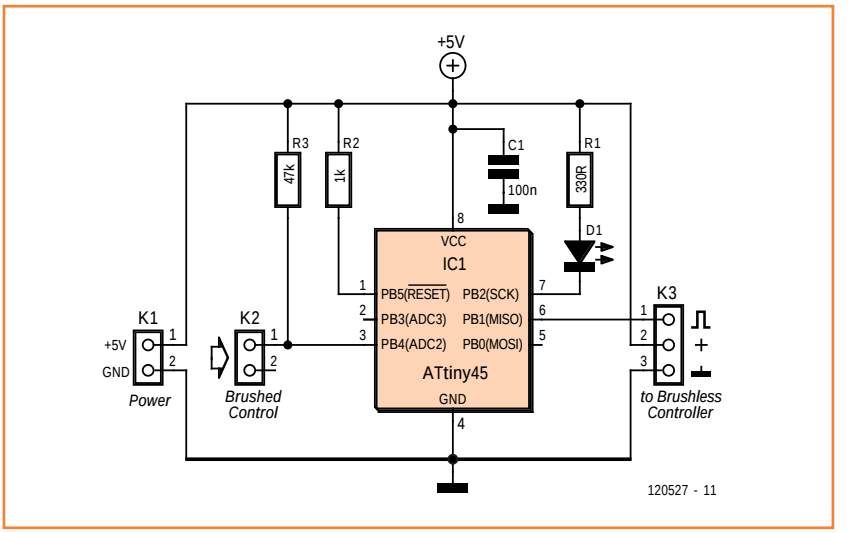


Bild 3. Eine kleine Schaltung mit kleinem Mikrocontroller!

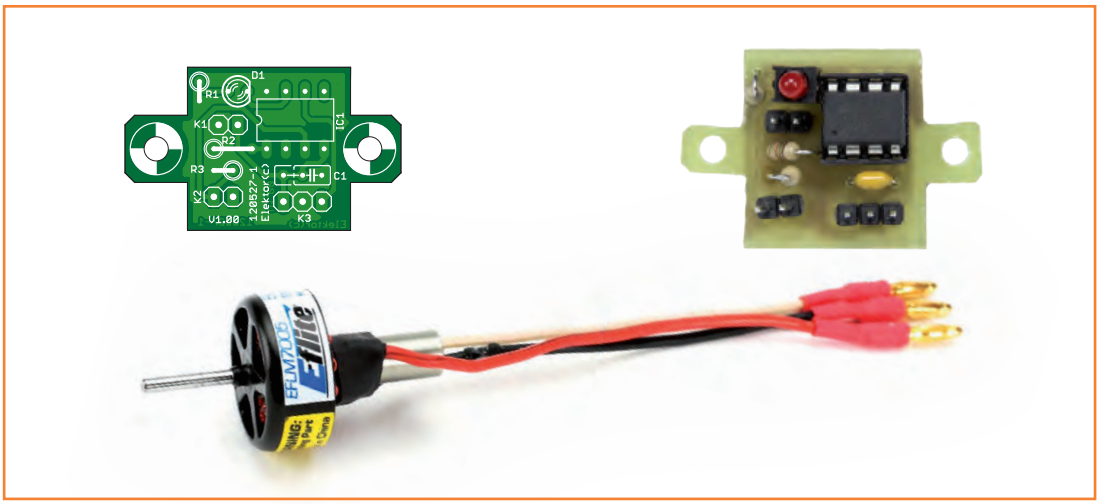


Bild 4.
Und eine besonders kleine Platine...

für den Steller. Pin 1 leitet das Servosignal vom Mikrocontroller an den Steller.
Die Software des Mikrocontrollers wertet das Signal an PB4 aus und verträgt dabei PWM-Frequenzen von etwa 500 Hz bis 10 kHz. Am Ausgang PB1 wird ein Servosignal in Abhängigkeit von der Pulsweite des PWM-Signals generiert. Erkennt die Software kein geeignetes PWM-Signal, wird am Ausgang immer ein Servosignal mit 0,9 ms (Motorstopp) ausgegeben.

Die Software kalibriert sich dabei selbst, das heißt, man sollte nach dem Einschalten kurz einmal Vollgas geben, damit die Software die maximale PWM-Pulslänge „lernen“ kann. Natürlich muss man dabei wie der fliegende Robert den Schirm das Modell gut festhalten. Die LED blinkt nach dem Einschalten ein paar Mal kurz, um die Betriebsbereitschaft zu signalisieren. Im Stillstand ist die LED dunkel, sobald der Motor aber dreht, leuchtet auch die LED.

Der Aufbau auf der kleinen, einseitigen Platine in **Bild 4** ist ein Kinderspiel. Der nur 8-beinige ATtiny-Controller von Atmel darf sogar in eine Fassung gesteckt werden, die allerdings so gut sein muss, dass sie das IC auch bei den kühnsten Flugmanövern sicher festhält. Der Controller ist im Prinzip in der Schaltung programmierbar, wir haben aus Platzgründen allerdings auf eine entsprechende Schnittstelle auf der Platine verzichtet. Wenn Sie keine Möglichkeit (oder Lust) haben, den Controller selbst zu programmieren, können Sie ihn genau wie die Platine auch fertig erstehen [1]. Die Software (Source und Hex) steht natürlich auch zur Verfügung.

Bitte beachten Sie, dass die Schaltung nur für Empfängereinheiten mit nach Masse geschalteten Motoren und für PWM-Frequenzen von 500 Hz bis 10 kHz geeignet ist.

(120527)

Weblink

[1] www.elektor-magazine.de/120527

Stückliste

Widerstände:
R1 = 330 Ω
R2 = 1 k
R3 = 47 k

Kondensatoren:
C1 = 100 n

Halbleiter:
D1 = LED, 3 mm, rot
IC1 = ATtiny45-20PU, programmiert 120527-41

Außerdem:
8-polige IC-Fassung
K1,K2 = 2x1-Stiftleiste
K3 = 3x1-Stiftleiste
Platine 120527-1

Aktive ESD-Schutzbeschaltung

Für Mikrocontroller und mehr

Wenn man in einer Applikation keine ICs mit ausreichend gegen ESD geschützten I/O-Ports verwenden kann, sorgt diese Schaltung für einen alternativen ESD-Schutz. Es wird zwar eine Vielzahl von ESD-Klemmarrays angeboten, diese bewirken aber keine präzise Klemmung von Über- und Unterspannungen.

Von **Peter Krüger**

Normalerweise haben wir es mit Mikrocontrollern und anderen „digitalen“ Schaltkreisen zu tun, die über vor elektrostatischer Entladung (electrostatic discharge ESD) geschützte Anschlüsse verfügen. Dennoch sind wir es gewohnt, solche empfindlichen ICs besonders vorsichtig zu behandeln und darauf zu achten, dass wir möglichst nicht statisch aufgeladen sind. Das Labor legen wir mit antistatischem Bodenbelag aus, wir tragen keine Nylons und achten auch darauf, dass die Sohlen unserer Schuhe nicht aus Isolationsmaterial bestehen. Und zur letzten Sicherheit legen wir noch ein antistatisches Armband an, wenn wir das kritische Bauteil aus der antistatischen Tüte auf die antistatische Oberfläche des Labortischs schütteln. Womit haben wir es aber überhaupt zu tun, wenn wir von ESD reden?

Human Body und andere Modelle

Das älteste, bereits im 19. Jahrhundert diskutierte Modell der Entladung einer Spannung von bis zu 40 kV ist das *Human Body Model*. Dabei wird von einer Kapazität des menschlichen Körpers von einigen 100 pF und einem (Haut-)Widerstand von 1,5 kΩ ausgegangen. Beim Entladen einer statischen Spannung von 10 kV, wie sie mit Kunststoffsohlen auf Kunstfaserteppich locker erreicht werden kann, muss man mit Stromspitzen bis 20 A (!) bei einer Entladung über die Fingerspitze rechnen. Das Ganze geht ziemlich schnell, die Entladeflanke liegt im Nanosekundenbereich. Das HBM wurde in der Elektronikindustrie in den 1970er Jahren mit der Einführung von empfindlichen JFETs in der Raumfahrt übernommen. Die Bauteile wurden mit einer simplen RC-Schaltung wie in **Bild 1** getestet. Die Höhe des Entladestroms ist nur vom Widerstand abhängig, die gedämpfte Kurvenform ist weitgehend oszillationsfrei und sehr gut reproduzierbar.

Es gibt noch andere Modelle, die eine Entladung über das empfindliche Bauteil behandeln, wenn beispielsweise eine niederohmige galvanische Verbindung über ein Gerät (*Machine Model*, MM) oder eine niederohmige statische Entladung des Bauteils selbst (*Charged Device Model*, CDM) vorliegen. Eine gute Einführung in die Materie stellen die Broschüren in [1] und [2] dar.

ESD-Klemmschaltungen

In **Bild 2** ist die typische Schutzbeschaltung eines I/O-Ports eines (ATMega-)Mikrocontrollers zu sehen. Bei anderen Controllertypen oder Logik-ICs dürfte es ähnlich aussehen. Zwei bipolare Schutzdioden sollen Über- und Unterspannun-

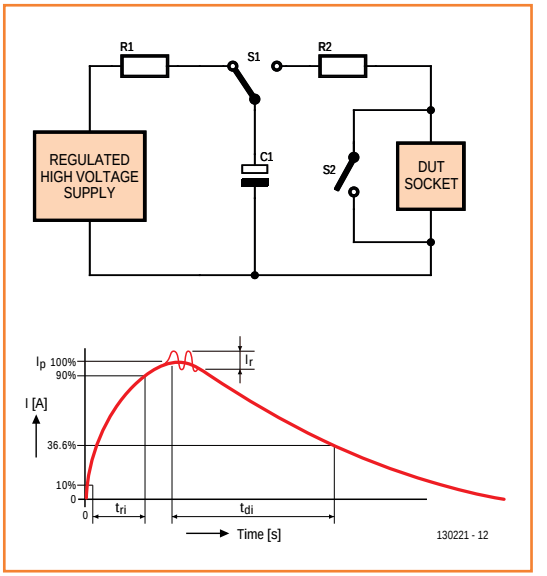


Bild 1.
Genormte Testschaltung und Stromverlauf nach dem HBM.

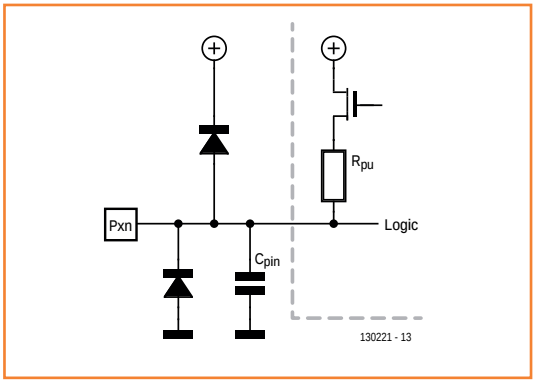


Bild 2.
Typischer ESD-Schutz in einem Atmel-Controller.

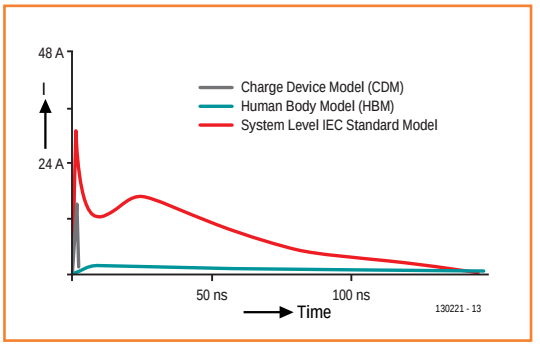


Bild 3.
Stromverlauf nach dem System Level Model.

gen zur Versorgungsspannungsleitung (VCC oder Masse) ableiten. Allerdings benötigen die Dioden rund 6 ns, bevor sie richtig leiten. ESD-Transienten können aber im Picosekunden-Bereich liegen und die CMOS-Strukturen schädigen, lange bevor die Dioden leitfähig werden. Die Pinkapazität liegt bei rund 10 pF. Sie nimmt auch sehr schnell ein Quantum der Energie des ESD-Impulses auf. Allerdings kann man sie nicht beliebig groß machen, da die Eingangsimpedanz des Pins nicht zu groß werden darf.

Solche klassischen ESD-Schutzschaltungen erfüllen bestimmte, von der ESD Association [3] festgelegte Anforderungen. Allerdings scheinen die althergebrachten Modelle nicht mehr dem Zeitgeist zu entsprechen. Seit kurzem versucht man ein neues *System Level Model* SLM zu entwickeln, das die verschiedenen Aspekte der alten Modelle berücksichtigt. In dem Modell wird von zwei Ladungsspeichern mit unterschiedlichen Entladungen ausgegangen, die einen hohen, sehr schnell abklingenden und einen niedrigen, aber langsam kleiner werdenden Strom verursachen. Die Energie, die nach dem SLM übertragen wird, kann sehr viel höher sein als bei den herkömmlichen Modellen (**Bild 3**).

Es wird schnell klar, dass die übliche Pinbeschaltung der ICs nicht ausreicht, um einen ESD-Schutz nach diesem Modell zu gewährleisten. Doch der fortwährende Kampf der Industrie um immer kleinere, komplexere Strukturen macht es den Entwicklungsingenieuren sehr schwer, das Niveau des ESD-Schutzes zu erhalten, geschweige denn zu erweitern. Will heißen: Die Siliziumfläche für den ESD-Schutz nach dem SLM steht innerhalb der ICs nicht zur Verfügung!

Aus diesem Grund gewinnen externe ESD-Klemmschaltungen [4] an Bedeutung. Wenn die Bauteile keinen oder nur einen schlechten ESD-Schutz aufweisen, kann man mit diesen Klemmschaltungen besonders gefährdete Bereiche schützen. Die Klemmschaltungen benutzen meist sogenannte Supressordioden (Transils oder Transzorbs), die ähnlich Z-Dioden ab einer gewissen Schwellspannung leiten, aber viel schneller sind und ungleich höhere Stromimpulse vertragen können. Doch so variantenreich diese Klemmschaltungen auch sein mögen, sie stellen nur „Standardlösungen" dar und bieten zudem keine präzise Unter- und Überspannungsklemmung.

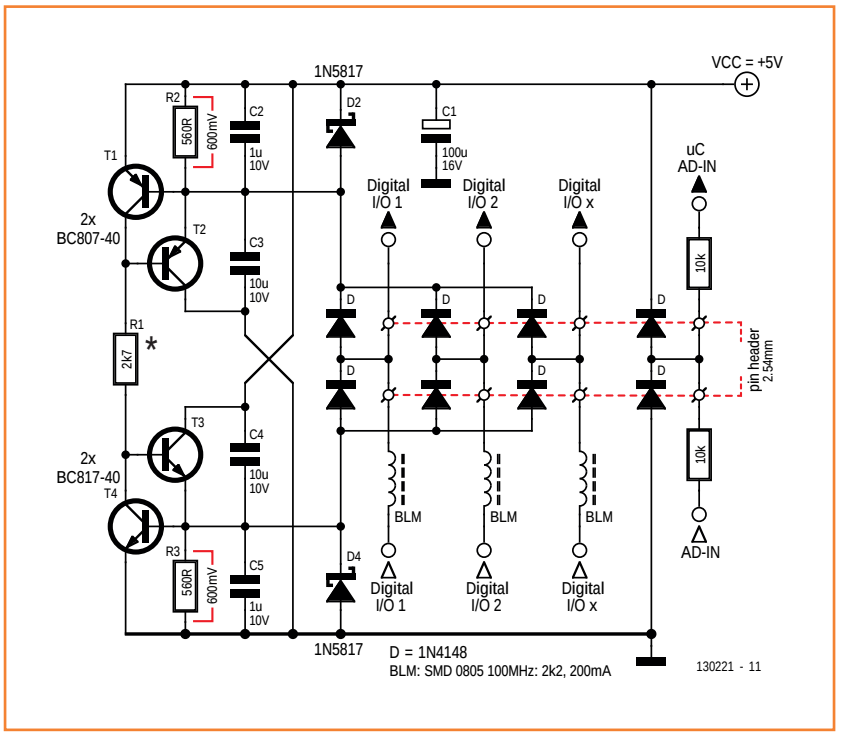


Bild 4. Diese Klemmschaltung bietet einen definierten Über- und Unterspannungsschutz.

ESD-Klemmung „state of the art“

Wir, die wir nicht unbedingt auf Mehrkosten von wenigen Cent, Arbeitsaufwand und mikroskopische Baugröße schauen müssen, können leicht eine diskrete aktive ESD-Klemmschaltung „state of the art“ einsetzen (**Bild 4**).

Die Transistorschaltung stellt eine Art geregelter Spannungsteiler dar. Der Strom durch die beiden Widerstände R2 und R3 wird genau so groß, dass der Spannungsabfall über ihnen ausreicht, damit die Transistoren T1/T4 ein wenig öffnen und T2/T3 ein wenig schließen. So liegt über den beiden Widerständen immer eine UBE, das Potential an den Emittern von T2 und T3 beträgt also 600 mV unter VCC respektive über Masse. Die Transistorschaltung ist für VCC=5 V berechnet, durch eine andere Dimensionierung von R1 kann sie an die diversen üblichen Logik-Betriebsspannungen von 3,3 V oder 2,7 V angepasst werden. Dieser Aufwand hat nur einen Zweck:

Ist der I/O-Pin High (+5 V), so leitet die Schaltdiode 1N4148 bereits voll, da ja an ihrer Kathode nur 4,4 V anliegen. Tritt nun eine Überspannung auf, kann diese ohne Schaltverzögerung durch die 1N4148 über die schnelle Schottky-Diode D2 (1N5817) mit ihrer niedrigen Vorwärtsspannung abgeleitet werden. Genauso verhält es sich im unteren Zweig auch mit Unterspannungen <GND. Damit sind alle digitalen Ein/Ausgänge gegen Über- und Unterspannungen in Bezug auf die Versorgungsspannungsleitungen (VCC und Masse) geschützt. Zusätzlich werden Spannungsspitzen durch Suppressor-Induktivitäten begrenzt. Diese BLM-Induktivitäten von Murata [5] werden bei 100 MHz im Picosekunden-Bereich hochohmig und können so schnelle Eingangsimpulse wirksam unterdrücken.

Ein solches Vorgehen ist bei digitalen Pegeln kein Problem, doch bei analogen Signalen für den A/D-Wandler eines Mikrocontrollers ist das nicht möglich. Hier muss je eine Diode in Sperrrichtung zu den Versorgungsspannungsleitungen reichen, um Überspannungen abzuleiten. Der Klemmstrom wird dabei von den 10-k-Widerständen begrenzt.

Durch die Serienbeschaltung von C2 und C3 wird die Strecke VCC und GND gegenüber Spannungsspitzen niederohmig. Damit werden auch Störungen auf den Versorgungsspannungsleitungen abgeleitet.

(130221)

Weblinks

[1] www.teseq.de/de/de/service_support/technical_information/01_Transient_immunity_testing_e.pdf

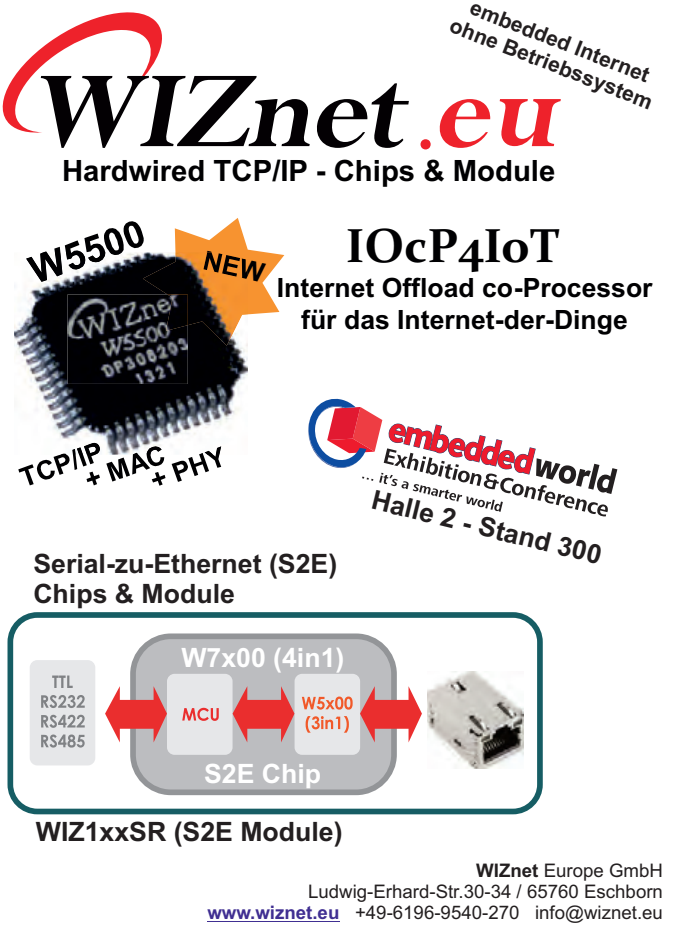
[2] www.ti.com/lit/sg/sszb130b/sszb130b.pdf

[3] www.esda.org

[4] zum Beispiel: www.semtech.com/circuit-protection/esd-protection/

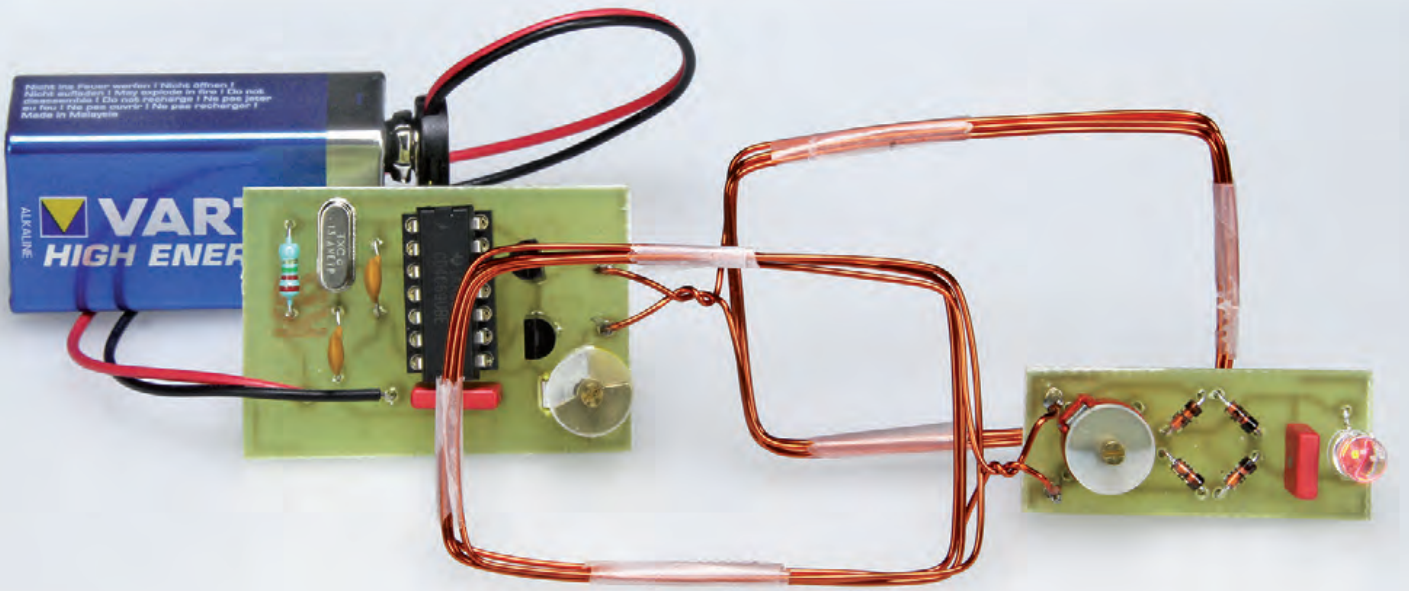
[5] www.murata.com/products/emc/basic/feature/bl_intro.html

Anzeige



Drahtlose Energieübertragung

Erste Schritte leicht gemacht



Die drahtlose Energieübertragung liegt im Trend der Zeit. Diese vielversprechende Technik können Sie mit einem einfachen Versuchsaufbau erproben, ohne viel zu investieren. Wir zeigen hier, wie eine kleine Energiemenge über kurze Distanzen, etwa 10 bis 20 cm, übertragen werden kann.

Von
Wouter Eisema (NL)

Das drahtlose Aufladen der Energiespeicher mobiler Geräte wird wahrscheinlich in einigen Jahren Standard sein. Geräte, die bereits heute die drahtlose Energieübertragung anwenden, transportieren die Energie in der Regel mit zwei gekoppelten Induktivitäten über ein elektromagnetisches Feld. Ein Beispiel ist die Propelleruhr, die Elektor im Dezember 2013 sowie in dieser Ausgabe veröffentlicht hat. Dort wird Energie drahtlos vom mechanisch statischen Teil der Uhr zum drehenden Ziffernblatt übertragen.

Ganz einfach

Der Energiesender (**Bild 1**) ist hier ein Oszillator (Schwingungserzeuger), er ist mit vier Invertern eines Standard-CMOS-IC 4069 aufgebaut. Die Frequenz ist die Schwingfrequenz des Quarzes X1, sie beträgt 13,56 MHz. Auf der Platine steht das Oszillatorsignal an einem herausgeführten Anschluss für andere Versuche zur Verfügung.

Der Inverter IC1.A ist zusammen mit Widerstand R1 und den Bürdekondensatoren C1 und C2 als quarzgesteuerter Oszillator geschaltet. Das von IC1.B gepufferte Signal gelangt über die Push-Pull-Ausgangsstufe mit IC1.C und IC1.D zu den Kleinsignal-MOSFETs T1 und T2. Am Senderausgang liegt ein LC-Schwingkreis, der aus einer zu wickelnden Induktivität und einem Trimmkondensator besteht. Dieser Serienresonanzkreis wird mit dem Trimmer auf die Schwingfrequenz abgeglichen, so dass das erzeugte elektromagne-

tische Feld sein Maximum erreicht. Die Frequenz 13,56 MHz liegt in einem so genannten ISM-Band, hier arbeiten auch zahlreiche RFID-Systeme. Damit fremde Geräte nicht gestört werden, strahlt der Sender nur eine geringe Leistung ab. Der Empfänger (**Bild 2**) ist noch simpler aufgebaut, er besteht ausschließlich aus passiven Bauelementen. Auf den LC-Serienresonanzkreis, der identisch mit dem Sender ist, folgen Brückengleichrichter D1...D4 und Ladekondensator C2. Indikator für die übertragene Energie ist LED1, eine rote Low-current-LED. Mit dem Trimmer C1 wird der LC-Kreis auf die Sendefrequenz 13,56 MHz abgeglichen, erkennbar an der maximalen Helligkeit von LED1.

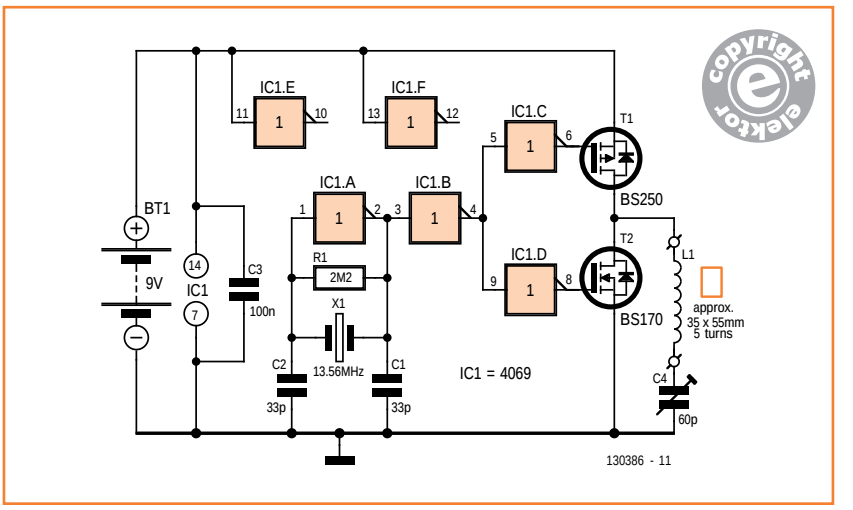


Bild 1.
Im Sender wird das Signal eines Quarzoszillators verstärkt und über einen LC-Serienresonanzkreis abgestrahlt.

Schnell gebaut

Sender und Empfänger sind so einfach konzipiert, dass eigentlich zwei kleine Abschnitte einer Lötpunktraster-Platine genügen. Trotzdem wurden für den Sender und Empfänger Platinen entworfen, die Layouts im Format *Sprint Layout 6* sind auf der Projektseite [1] verfügbar.
Beim Sender werden alle Bauelemente unmittelbar auf die Platine gelötet. Das CMOS-IC 4069 kann in einer Fassung montiert werden, damit es austauschbar ist. Für die Kleinsignal-MOSFETs T1 und T2 (BS250 und BS170) gilt eine Besonderheit: Normalerweise muss auf der Platine die flache Gehäuseseite zum Komponentenaufdruck zeigen (Richtung „T1“ oder „T2“). Es sind jedoch auch Chargen mit abweichenden Anschlussbelegungen im Handel. Verbindliche Auskunft kann nur das Datenblatt des Herstellers geben, der die verwendeten MOSFETs produziert hat.
Die Induktivität besteht aus 5 Windungen lackierter Kupferdraht, Abmessungen etwa 3,5 · 5,5 cm. Für dieses rechteckige Format kann eine Streichholzschachtel als Wickelkörper dienen. Gebraucht werden zwei identische Induktivitäten, ein Exemplar für den Sender und eins für den Empfänger. Die Stromquelle des Senders ist eine 9-V-Batterie. Wenn die Experimente nicht zu lange ausgedehnt werden, hält sie eine Weile durch.

Der Empfänger ist noch schneller aufgebaut als der Sender. Hier ist lediglich auf die Polarität der Dioden und der LED zu achten, die kurzen Anschlüsse sind die Kathoden.
Die Trimmkondensatoren der Resonanzkreise werden wie folgt eingestellt: Zuerst schauen Sie nach, ob alle Komponenten lagerichtig montiert und angelötet sind. Stellen Sie den Sender und den Empfänger im Abstand von etwa 10 cm auf und schließen Sie die 9-V-Batterie an. Wahrscheinlich leuchtet jetzt bereits die LED auf.
Wenn sie nicht aufleuchtet, können die Trimmer, sowohl des Senders als auch des Empfängers, grob fehlerhaft eingestellt sein. Stellen Sie beide Trimmer nach. Dazu brauchen Sie einen nicht metallischen Schraubendreher, notfalls kommen Sie auch mit einem flach angespitzten Streichholz zum Ziel. Drehen Sie die Trimmer-Stellschraube am Sender langsam bis zu dem Punkt, an dem die Helligkeit der LED ihr Maximum erreicht. Anschließend nehmen Sie beim Empfänger die gleiche Prozedur vor. Sie können den Einstellvorgang wiederholen, zum Beispiel nach Ändern der Entfernung zwischen Sender und Empfänger. Ein metallischer Schraubendreher in räumlicher Nähe zum Resonanzkreis verschiebt die Frequenz, so dass anschließend die Einstellung nicht exakt ist.

Experimente

Ihren Versuchen mit der drahtlosen Energieübertragung steht nun nichts mehr im Weg. Variieren

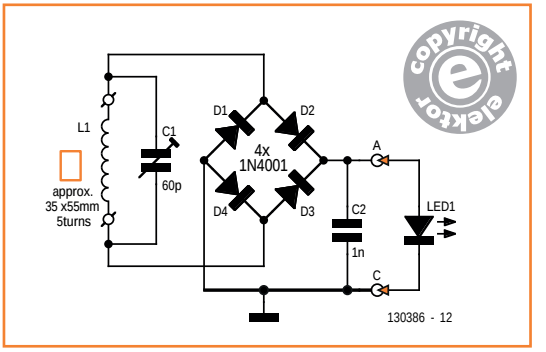


Bild 2.
Der Empfänger verhält sich passiv. Das über den LC-Serienresonanzkreis empfangene und gleichgerichtete Signal steuert eine LED.

Stückliste

Sender

Widerstände:
R1 = 2M2

Kondensatoren:
C1,C2 = 33 p
C3 = 100 n
C4 = Trimmer 60 p

Induktivitäten:
L1 = 5 Windungen Kupferlackdraht, Wicklung ca. 3,5 · 5,5 cm

Halbleiter:
T1 = BS250
T2 = BS170
IC1 = 4069

Außerdem:
X1 = Quarz 13,56 MHz
9-V-Batterie mit Anschlussclip

Empfänger

Kondensatoren:
C1 = Trimmer 60 p
C2 = 1 n

Induktivitäten:
L1 = 5 Windungen Kupferlackdraht, Wicklung ca. 3,5 · 5,5 cm

Halbleiter:
D1..D4 = 1N4001
LED1 = LED rot, Low-current

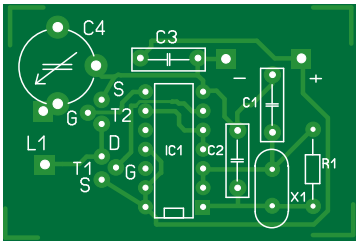


Bild 3.
Die Platine für den Sender...

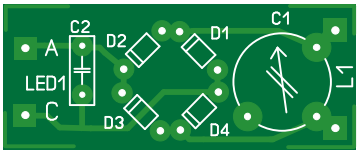


Bild 4.
...und für den Empfänger.

Sie den Abstand und die Ausrichtung der „Antennen“ und beobachten Sie, wie sich die LED-Helligkeit ändert. Recht aufschlussreich können auch Experimente mit anderen Antennenformen und Antennengrößen sein. Dann dürfen Sie allerdings nicht vergessen, die Trimmkondensatoren neu einzustellen.

Die LED des Versuchsaufbaus im Elektor-Labor leuchtete noch deutlich sichtbar auf, als die Distanz bei 25 cm lag.

(130386)gd

Weblink

[1] www.elektor-magazine.de/130386

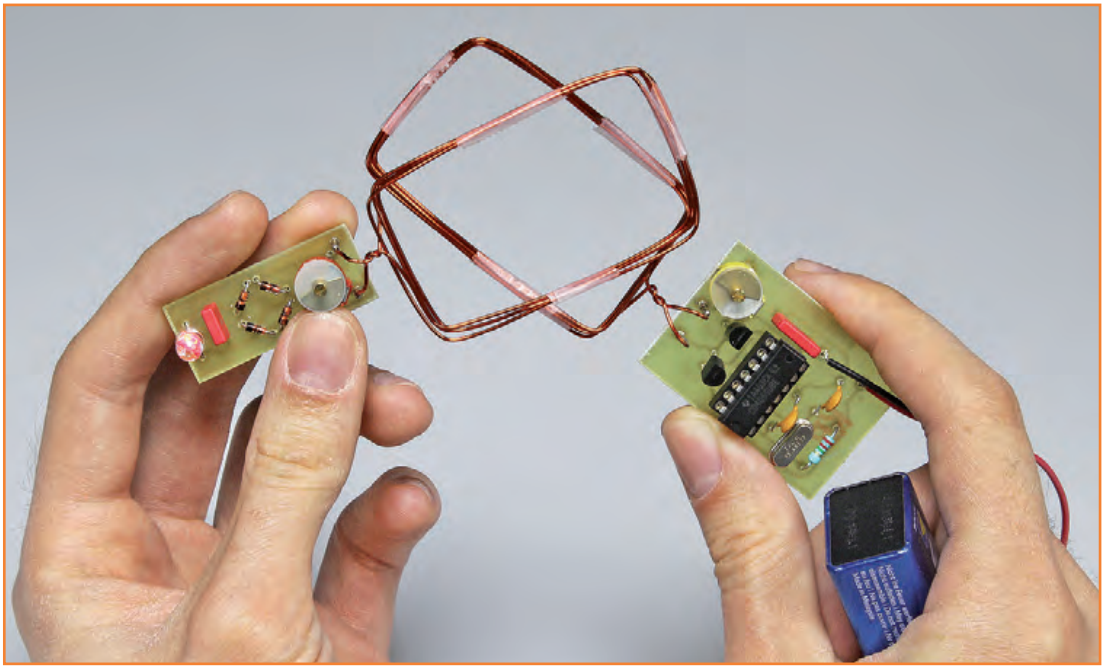


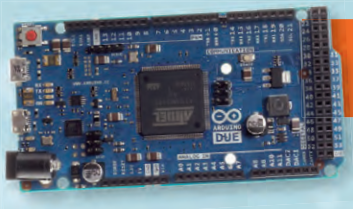
Bild 5.
Die Effizienz der Energieübertragung hängt von den Positionen der „Antennen“ zueinander ab.

www.elektorpcbservice.com

Arduino

GOLD- und GREEN-Mitglieder erhalten 10% Rabatt!

Elektor ist offizieller Arduino™-Vertriebspartner!

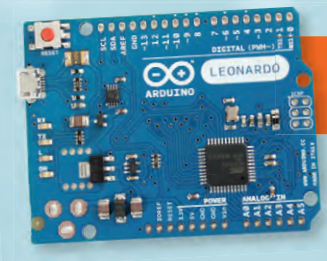


ARDUINO DUE
ARM Cortex-M3 32-Bit-Prozessor

Eigenschaften

Mikrocontroller:	AT91SAM3X8E
Betriebsspannung:	3,3 V
Externes NT (empfohlen):	7-12 V
Externes NT (Grenzwerte):	6-20 V
Digitale I/O-Pins:	54 (davon 12 als PWM)
PWM-Kanäle:	12
Analoge Eingänge:	12
Analoge Ausgänge:	2 (DAC)
Strom pro I/O-Pin:	130 mA (max.)
3,3-V-Belastbarkeit:	0,8 A (max.)
5-V-Belastbarkeit:	0,8 A (max.)
Flashspeicher:	512 KB
SRAM:	96 KB
Taktrate:	84 MHz

€ 52,90 • CHF 65,60

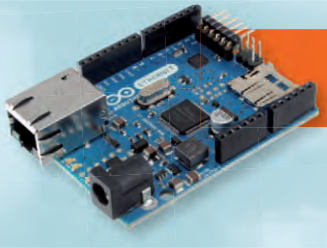


ARDUINO LEONARDO
Mit integrierter USB-Schnittstelle

Eigenschaften

Mikrocontroller:	ATmega32u4
Betriebsspannung:	5 V
Externes NT (empfohlen):	7-12 V
Externes NT (Grenzwerte):	6-20 V
Digitale I/O-Pins:	20 (davon 7 als PWM)
PWM-Kanäle:	7
Analoge Eingänge:	12
Strom pro I/O-Pin:	40 mA (max.)
3,3-V-Belastbarkeit:	50 mA (max.)
Flashspeicher:	32 KB (davon 4 KB für Bootloader)
SRAM:	2,5 KB (ATmega32u4)
EEPROM:	1 KB (ATmega32u4)
Taktrate:	16 MHz

€ 24,90 • CHF 30,90



ARDUINO ETHERNET
Mit WIZnet-Ethernet-Schnittstelle

Eigenschaften

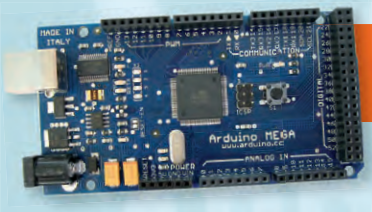
Mikrocontroller:	ATmega328
Betriebsspannung:	5 V
Externes NT (empfohlen):	7-12 V
Externes NT (Grenzwerte):	6-20 V
Digitale I/O-Pins:	14 (davon 4 als PWM)
Analoge Eingänge:	6
Strom pro I/O-Pin:	40 mA (max.)
3,3-V-Belastbarkeit:	50 mA (max.)
Flashspeicher:	32 KB (davon 0,5 KB für Bootloader)
SRAM:	2 KB (ATmega328)
EEPROM:	1 KB (ATmega328)
Taktrate:	16 MHz

Embedded Ethernet-Controller W5100 TCP/IP
PoE-geeigneter magnetischer Anschluss
microSD-Karte (mit aktivem Spannungskonverter)

€ 53,90 • CHF 66,90

ARDUINO

elektor



Arduino Mega 2560
Nachfolger des Arduino Mega

Eigenschaften

Mikrocontroller:	ATmega2560
Betriebsspannung:	5 V
Externes NT (empfohlen):	7-12 V
Externes NT (Grenzwerte):	6-20 V
Digitale I/O-Pins:	54 (davon 15 als PWM)
Analoge Eingänge:	16
Strom pro I/O-Pin:	40 mA (max.)
3,3-V-Belastbarkeit:	50 mA (max.)
Flashspeicher:	256 KB (davon 8 KB für Bootloader)
SRAM:	8 KB
EEPROM:	4 KB
Taktrate:	16 MHz

€ 52,90 • CHF 65,60

Arduino Uno Rev. 3
Der Topseller schechthin!

Eigenschaften

Mikrocontroller:	ATmega328
Betriebsspannung:	5 V
Externes NT (empfohlen):	7-12 V
Externes NT (Grenzwerte):	6-20 V
Digitale I/O-Pins:	14 (davon 6 als PWM)
PWM-Kanäle:	6
Analoge Eingänge:	6
Strom pro I/O-Pin:	40 mA (max.)
3,3-V-Belastbarkeit:	50 mA (max.)
Flashspeicher:	32 KB (davon 0,5 KB für Bootloader)
SRAM:	2 KB (ATmega328)
EEPROM:	1 KB (ATmega328)
Taktrate:	16 MHz

€ 27,50 • CHF 34,10

NEU!

ARDUINO YÚN
WLAN und Linux für die Cloud

Eigenschaften AVR-Controller

Mikrocontroller:	ATmega32u4
Betriebsspannung:	5 V
Externes NT:	5 V
Digitale I/O-Pins:	20
PWM-Kanäle:	7
Analoge Eingänge:	12
Strom pro I/O-Pin:	40 mA (max.)
3,3-V-Belastbarkeit:	50 mA (max.)
Flashspeicher:	32 KB (davon 4 KB für Bootloader)
SRAM:	2,5 KB
EEPROM:	1 KB
Taktrate:	16 MHz

Eigenschaften Linux-Prozessor

Mikroprozessor:	Atheros AR9331
Architektur:	MIPS @400MHz
Betriebsspannung:	3,3 V
Ethernet:	IEEE 802.3 10/100Mbit/s
WLAN:	IEEE 802.11b/g/n
USB:	2.0 Typ A
Kartenleser:	microSD
RAM:	64 MB DDR2
Flashspeicher:	16 MB
802.3af-PoE-kompatibel	

€ 69,95 • CHF 86,80

Mehr Infos & Bestellung unter www.elektor.de/arduino

Kapazitiver Taster in „low cost“

In seiner Einfachheit nicht zu schlagen

Dies ist wahrscheinlich der einfachste Weg, einen kapazitiven Taster an einen Mikrocontroller oder FPGA anzuschließen. Das Design ist billig, sehr praktisch und robust genug für die meisten Anwendungen.

Von
Radovan Stojanovic
(Montenegro)
Co-Autoren:
Nedjeljko Lekic und Zoran Mijanovic

In einer Single-Touch-Konfiguration ist der kapazitive Taster in der Regel mit einem bidirektionalen Anschluss P_n eines Mikrocontrollers oder FPGA über den Widerstand R verbunden, wie in **Bild 1** dargestellt. Die logische „Richtung“ des Pins (also Eingang oder Ausgang) wird vom DDR-Register bestimmt, während der Eingangsstatus durch das IN-Register gelesen wird. Die Pin-Kapazität C_p bei einem Mikrocontroller oder FPGA liegt bei 4…5 pF. Element C_b repräsentiert die Kapazität vom Körper zur Erde und kann bis zu 400 pF betragen. Typisch sind aber Werte von 100…150 pF. C_{x0} und C_{x1} bezeichnen die Kapazität des un- beziehungsweise berührten Tasters. Normalerweise ist $C_b >> C_{x1}$ und $C_x \approx C_{x0}+C_{x1}$. Mit C_{x0} konstant bei 6,5 pF für D=10 m zeigt die Kurve in **Bild 2**, dass C_{x1} von 7 pF auf 1,5 pF fällt, wenn 0,1 mm<d_{x1}<1 mm ist.

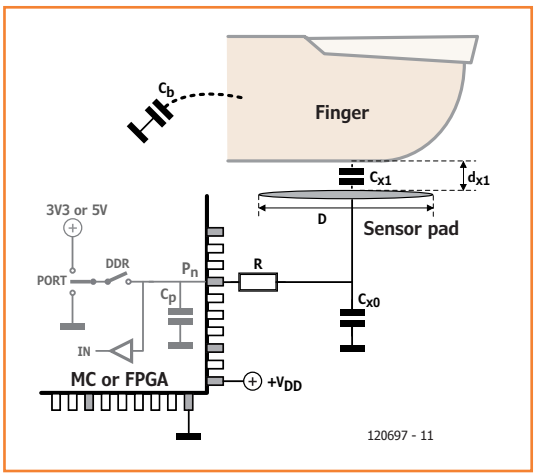


Bild 1.
So wird eine kapazitive Taste an einen Mikrocontroller oder FPGA angeschlossen.

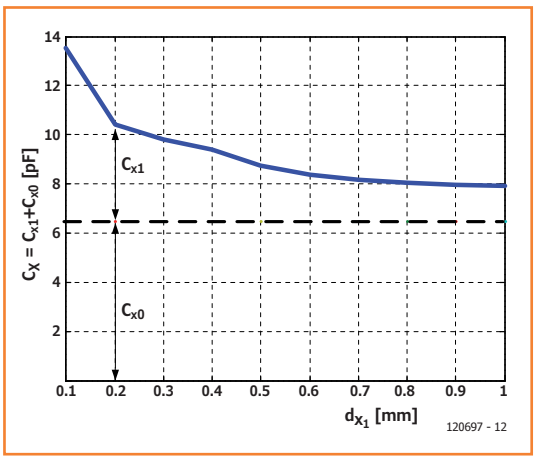


Bild 2.
Äquivalente Kapazität von Finger und Taste als Funktion des Abstands d_{x1} für D = 10 mm.

Prinzip der Kapazitätserfassung

Der Erfassungsvorgang kann mit dem Gießen einer Menge Wasser von einer Schale in eine andere verglichen werden (**Bild 3**), wobei der Wasserstand mit der Spannung U, die Größe der Schale mit der Kapazität C und die Wassermenge mit der elektrischen Ladung Q korrespondiert.
Die CHARGE-Phase beginnt, indem eine logische 1 (3,3 V oder 5 V) auf den relevanten Pin P_n gelegt wird, und zwar für eine Zeit t_c=0,75…2 µs, was ausreichend ist, um C_p und C_x auf den logischen High-Pegel U_1=U_2=3,3 V aufzuladen.
Während der DISCHARGE-Phase für t_d zwischen 200 ns und 750 ns wird C_p voll entladen, während U_2 durch die Zeitkonstante RC_x fällt und schließlich den Wert $V_{2(td)}$ erreicht, mit einer Restladung von $QC_{x(td)}$.

Während der SHARE-Phase wird Pin P_n für die Dauer von t_s hochohmig (Z-Modus) und $QC_{x(td)}$ „verteilt“ die Ladung proportional auf C_p und C_x. Am Ende dieses Verteilvorgangs ist $U_1 \approx U_2$, $i \approx 0$, die MEASURE-Phase beginnt und die Spannung U_1 erreicht einen Wert unter- oder oberhalb des Schwellwerts V_{TR} des Pins, je nachdem, ob die Taste nun berührt wurde oder nicht. In Digitalsprache bedeutet dies eine logische 0 oder 1 für das korrespondierende Bit im IN-Register.

Ein Problem kann die Bestimmung des richtigen Werts für R sein. In unseren Experimenten haben wir mit R=68 kΩ den optimalen Wert für U_{DD}=3,3 V und R=47 kΩ für U_{DD}=5 V gefunden. Zusätzlich schützt R die Controller/FPGA-Pins vor statischen Entladungen bis zu 1.000 V.

Softwareunterstützung

Der gesamte Abtastvorgang wird von Softwareroutinen gesteuert. Für einen Mikrocontroller (wir haben als Zielobjekt einen ATmega16 aus Atmels 8-bit-RISC-Serie verwendet) haben wir Pseudo-Code im Format des WinAVR GNU GCC Compilers (**Listing 1**) abgedruckt, für ein FPGA ein VHDL-Programm in **Listing 2**. Hier ist ein Port mit drei Anschlüssen (Takt CLK, Sensoreingang S und Sensorstatus SS) realisiert. Wir haben es – kurz gesagt - mit einem Zähler und einem Komparator zu tun. Die generischen Konstanten CHARGE_TIME_NS, DISCHARGE_TIME_NS, START_READ_NS, entsprechen t_c, t_d und t_s+t_m, während PERIOD_NS den Lesezyklus markiert.

Experimente und Resultate

Der vorgeschlagene Ansatz wurde auf einem Atmel ATmega16 Mikrocontroller und einem EP1C6Q240C8 FPGA-Chip der Altera Cyclone Serie überprüft. Nach dem Schreiben, Compilieren und Debuggen des Codes haben wir beide Chips entsprechend programmiert. Die Taste (ein Kupferpad auf der Platine) mit einem Durchmesser von 10 mm wurde mit einer 0,1 mm dicken Papierschicht isoliert. Wie in **Bild 4a** zu sehen, wurden Oszilloskop-Elektroden mit den Anschlüssen des Widerstands R verbunden, was eine zusätzliche Kapazität C_{op} von 15 pF parallel zu C_x und C_p verursacht. Wir verwendeten zur Messung ein

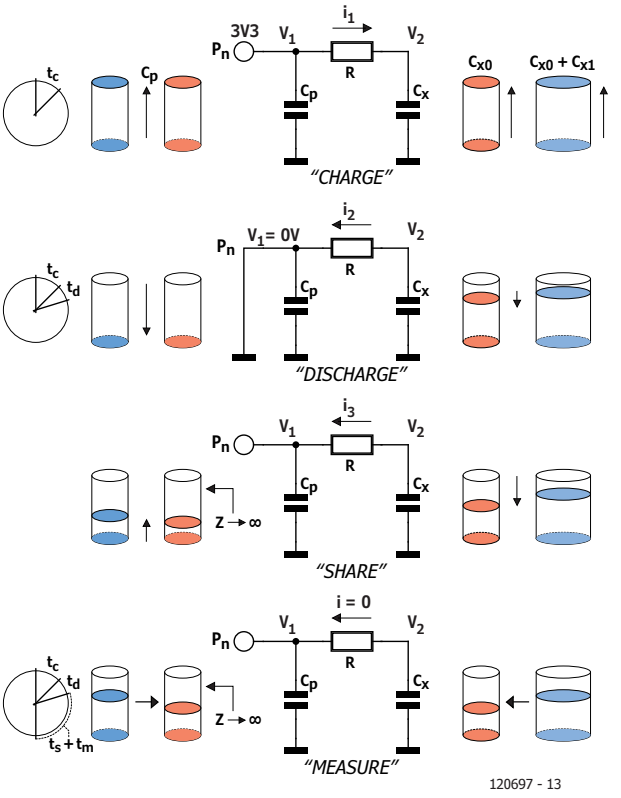


Bild 3.
Die vier Phasen der Erfassung.

Listing 1: Pseudo-Code für die Implementierung eines kapazitiven Tasters bei einem Mikrocontroller.

```
// MC CAP PAD PSEUDOCODE
//"DISCHARGE" phase.
// Initially PORT=1.
PORTC &= ~TOUCH;  // PORT=0
short_delay();  // Delay 750ns

//"SHARE" phase.
DDRC &= ~TOUCH; // DDR=open. Touch port set as input
short_delay();  // Delay of 750ns

//"MEASURE" phase
if(PINC & TOUCH) PORTD |= LED; // If PIN is high turn on LED
else PORTD &= ~LED;// else turn off LED

// "CHARGE" phase.
PORTC |= TOUCH; //Touch port=1
  DDRC |= TOUCH;  // DDR=close. Touch port set as output
```

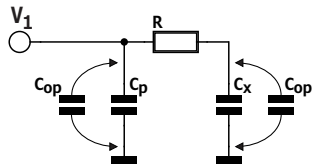
digitales Speicheroszi vom Typ Agilent Tech-Typ DSO3102A und die Elektroden N2862A. Angesichts der etwa 7 pF von C_{x1} ist der Sensoreffekt deutlich reduziert. Für eine bessere Darstellung auf dem Oszillogramm wurden die Lade-, Entlade- und Sharing-Zeiten auf t_c=24 µs, t_d=2,5 µs und t_s+t_m=15 µs erhöht. Das Oszillogramm in **Bild 4b** zeigt Kurven äquivalent zum Ersatzschaltbild in Bild 3. Die Anwesenheit des Fingers wird deutlich erkannt. In der Realität dürfte dieser Effekt sogar noch stärker sein.

Ein Mikrocontroller kann natürlich auch mehr als eine Taste auswerten, zum Beispiel acht oder 16, die mit PORTB und/oder PORTC verbunden sind. Der Algorithmus bleibt beinahe gleich, weil alle Kapazitäten parallel in einem Rutsch als Status des ganzen Ports eingelesen werden.

Allerdings ist für die parallele Verarbeitung ein FPGA die bessere Lösung. Eine einzelne Taste belegt etwa 60 LEs (logische Elemente) des FPGAs, dies ist nur ungefähr 1 % der 5980 LEs im hier eingesetzten FPGA. So belegen dann 2, 4, 8, 16, 32 und 64 Tasten nur 140, 151, 168, 213, 297 und 462 LEs. Eine Anordnung mit 64 Tasten beansprucht nur 7,7 % der Ressourcen und 72 Anschlüsse von insgesamt 240. Ein Nichts! Das Design ist auch ein gutes Beispiel für Rauschunempfindlichkeit. Durch die parallele Verarbeitung wird die Sampling-Periode nicht mit der Anzahl der Tasten erhöht und kann so problemlos im Bereich 5...20 µs auf die „realen" Einsatzbedingungen eingestellt werden. Die Eingangsimpedanz des Pins P_n ist während der Phasen CHARGE und DISCHARGE niedrig und kann von Störungen nur während der kurzen, nur etwa 1 µs andauernden hochimpedanten Phasen SHARE und MEASURE beeinflusst werden. Dadurch ist der kapazitive Taster weitge-

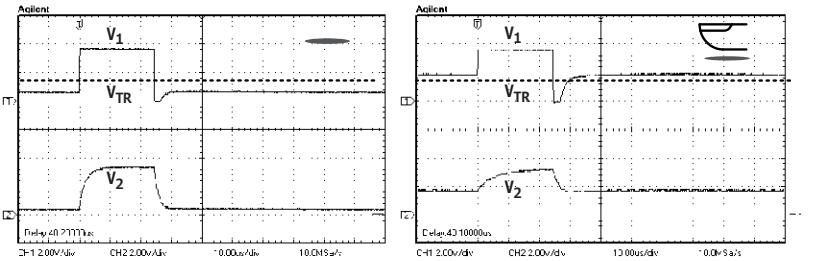
Listing 2: VHDL-Code für die Erfassung kapazitiver Taster bei FPGAs.

```
-- FPGA CAP SENSOR, VHDL CODE
LIBRARY ieee;
USE ieee.std_logic_1164.all;
USE ieee.numeric_std.all;

ENTITY FPGA_tri_state IS
generic (CHARGE_TIME_NS       : integer := 144405;
         DISCHARGE_TIME_NS    : integer := 4545;
         START_READ_NS        : integer := 10000;
         PERIOD_NS            : integer := 400000
         );
    PORT(
            CLK    : in std_logic;
            S  : inout std_logic;
            SS : out std_logic
        );
END FPGA_tri_state;

ARCHITECTURE arh OF FPGA_tri_state IS

constant clock_cycle  : integer := 21;
constant one_time: integer := CHARGE_TIME_NS / clock_cycle;
constant zero_time    : integer := (CHARGE_TIME_NS + DISCHARGE_TIME_NS) / clock_cycle;
constant read_time    : integer := (START_READ_NS + CHARGE_TIME_NS + DISCHARGE_TIME_NS) / clock_cycle;
constant max_time     : integer := PERIOD_NS / clock_cycle;

SIGNAL  b  : STD_LOGIC; -- DFF that stores feedback value.
shared variable counter : integer range 0 to PERIOD_NS/clock_cycle :=0;
signal dir      : std_logic;

BEGIN
    PROCESS(CLK)
    BEGIN
```



120697 - 14a

a



120697 - 14b

b

hend resistent gegen niederfrequentes Rauschen der 50-Hz-Netzspannung. So hat zum Beispiel Netzspannungsrauschen mit einer induzierten Amplitude von 100 V einen Anstieg von nur U_{ACmax}=22 mV während der Messphase zur Folge. Solch niederfrequente Störungen können quasi als Gleichspannungssignal – also ohne Auswirkung auf den Erfassungsvorgang - betrachtet werden.

Den Einfluss von hochfrequenten Störungen verringert man bei Bedarf durch den Einsatz von Softwarefiltern in VHDL oder C.

(120697)

Bild 4.
„Echte“ Oszillogramme für eine unberührte (oben) und berührte Taste (unten) mit D = 10 mm und d_{x1} = 0,1 mm (Papierisolation).

```
        IF rising_edge(CLK) THEN  -- Creates the flipflops
            if counter < max_time then
                counter := counter + 1;
                if counter < zero_time then
                    dir <= '1';
                else
                    dir <= '0';
                end if;
            else
                dir <= '0';
                counter := 0;
            end if;
        END IF;

        SS <= b;

        IF( dir = '0') THEN
            if counter = zero_time then
                S <= 'Z';
            else
                if counter = read_time then
                    b <= S;
                end if;
            end if;
        ELSE
            if counter < one_time then
                S <= '1';
            elsif counter >= one_time and counter < zero_time then
                S <= '0';
            end if;
        END IF;
    END PROCESS;
END arh;
```

Vogeltränkeheizung

Eisfrei mit 2N3055

Unsere heimischen Vögel müssen im Winter nicht Not leiden, denn Menschen mit Herz stellen für die gefiederten Freunde Futterplätze auf. Gern bedienen sich die hier überwinternden Vögel der Saatkörner und Meisenknödel, doch nicht nur Hunger treibt sie, sondern auch Durst. Wenn tiefer Frost das Wasser in der Natur zu Eis erstarren lässt, ist eine elektrisch beheizte Tränke eine Zuflucht.

Von
Bas Schmidt (NL)

Das Wärmeelement unserer Vogeltränkeheizung ist ein Leistungstransistor 2N3055, nach seiner Markteinführung vor Jahrzehnten auch „Arbeitspferd der Elektronik“ genannt. Die Idee, den 2N3055 im TO-3-Gehäuse als Wärmespender zu zweckentfremden, wurde in Elektor schon wiederholt aufgegriffen. Diese Methode ist nicht neu, sie hat sich bewährt. Die Energie für unsere Vogeltränkeheizung liefern vier Akkuzellen. Zusammen mit einem NTC-Widerstand regelt ein zweifacher Komparator die Wassertemperatur, gleichzeitig schützt er den Akku vor Tiefentladung. Der Betriebszustand wird von zwei LEDs angezeigt.

Tränke

Wir haben als Gefäß für die Tränke eine Blechdose verwendet, in der sich zuvor Tomatenmark befand. Die Dose steht auf einem Kästchen, das die Heizelektronik und die Akkus aufnimmt. Der Autor bevorzugte eine ausgediente hölzerne Zigarrenkiste, doch ein Kunststoffgehäuse aus dem Elektronikbereich, wie im Foto gezeigt, leistet gleichwertige Dienste.

Das Gefäß der Tränke darf nur wenig Inhalt haben, denn wenn nur wenig Wasser warm zu halten ist, reicht eine Akkuladung für lange Zeit. Außerdem muss verhindert werden, dass die Vögel im Wasser ein Bad nehmen. Nach einem Bad kann das Federkleid vereisen, was für den Vogel lebensbedrohliche Folgen haben kann. Ein Gefäß in der Größe der Tomatenmarkdose genügt, Vögel haben im Winter nur wenig Durst.

Der Autor hat die Zigarrenkiste zweimal grün lackiert, um sie gegen Feuchtigkeit zu schützen. Ein Kunststoffgehäuse ist bereits wasserfest, doch mit einem grünen Anstrich passt es sich dem Grün der Umwelt an, zum Beispiel im Garten.

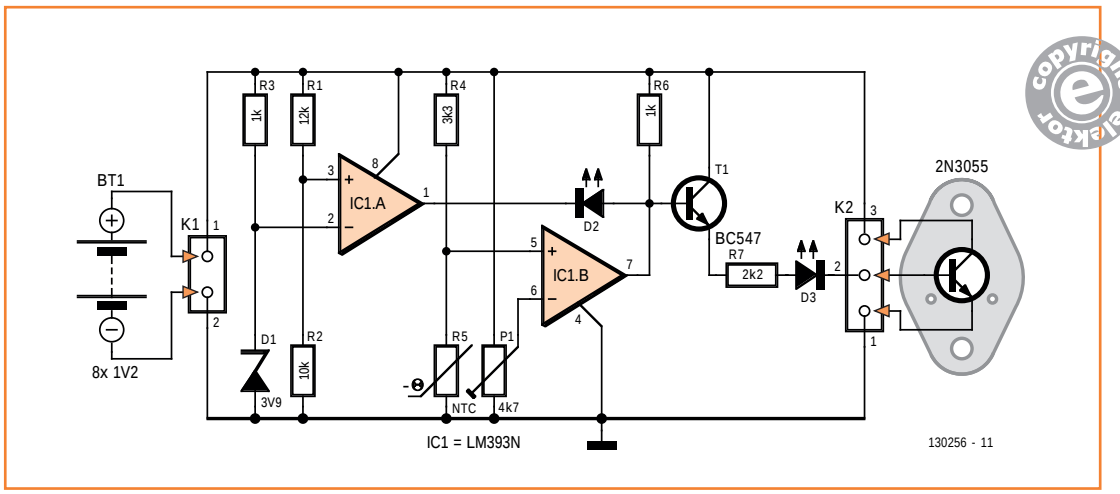


Bild 1.
Komparator IC1.B und ein NTC-Widerstand regeln die Temperatur, während Komparator IC1.A die Akkuspannung überwacht.

Außer den Akkus hat im Gehäuse die Platine mit der Steuerung ihren Platz. Die Blechdose ist mit dem Gehäusedeckel verschraubt, der 2N3055 im TO-3-Gehäuse ist auf dem Boden der Blechdose montiert. Damit das Wasser nicht wegsickert, muss das Transistorgehäuse mit Silikon gegen den Boden abgedichtet werden. Der NTC-Widerstand (Temperaturfühler) wird an der Dosenwand mit Silikon oder Epoxidkleber fixiert.

Elektronik

Die Schaltung in **Bild 1** besteht aus nur wenigen Bauteilen, sie ist schnell erklärt: Die Energie liefern acht in Reihe geschaltete NiMH-Akkuzellen. Komparator IC1.A vergleicht die Akkuspannung (genauer: 5/11 der Akkuspannung, über Spannungsteiler R1/R2) mit der Bezugsspannung 3,9 V, die an der Zenerdiode D1 liegt. Wenn die Akkuspannung unter 7,8 V sinkt, geht der Ausgang von IC1.A auf niedrige Spannung. Transistor T1 und der 2N3055 sperren. Die rote LED D2 leuchtet auf, sie signalisiert, dass die Heizung kalt bleibt und die Akkus geladen werden müssen.
Der zweite Komparator IC1.B vergleicht die Spannung an NTC-Widerstand R5 mit einer Spannung, die mit Trimmpoti P1 einstellbar ist. Der Widerstand des NTC steigt mit sinkender Temperatur, so dass die Spannung am NTC zunimmt. Ist am NTC die mit P1 eingestellte Spannung erreicht, geht der Ausgang von IC1.B auf hohe Spannung. Transistor T1 schaltet den 2N3055 ein, so dass das Wasser in der Tränke erwärmt wird. Bis zum Abschalten der Heizung leuchtet die orange LED D3 auf. Widerstand R7 begrenzt den Strom des 2N3055 auf ungefähr 100 mA, was einer in Wärme umgesetzten Leistung von knapp 1 W entspricht. Der Strom des 2N3055 hängt maßgeblich von der Stromverstärkung dieses Transistors ab, sie kann bei einzelnen Exemplaren stark streuen. Deshalb ist ratsam, den Strom zu messen und gegebenenfalls den Wert für Widerstand R7 anzupassen.

Die Umgebungstemperatur, bei der das erwärmte Wasser zu Eis wird, lässt sich überschlägig wie folgt berechnen: Für den 2N3055 im TO-3-Gehäuse ist $R_{th\ jc}$ = 1,5 °C/W und $R_{th\ ca}$ = 175 °C/W. Dies gilt, wenn das Gehäuse von Luft umgeben ist. Die thermische Leitfähigkeit der Luft beträgt 0,024 W/(m·K), für Wasser ist sie 0,6 W/(m·K). Wasser leitet Wärme folglich 0,6/0,024 = 25 Mal besser als Luft. Daraus folgt, dass $R_{th\ c\ -\ a\ (Wasser)}$ = 175/25 = 7 °C/W ist. In diesem Fall (Verlustleistung 0,96 W) friert das Wasser bei Temperaturen ein, die niedriger als 0,96 · (1,5+7) ≈ –8 °C sind. Der Energiespeicher besteht aus acht wiederaufladbaren Rundzellen der Bauform R6 (AA, Mignon). Wenn die Kapazität 2700 mAh beträgt, reicht die Energie für den Betrieb über 24 Stunden. Ein zweiter Satz Akkuzellen zusammen mit einem Schnellladegerät sind für den täglichen Austausch von Vorteil. Bevor die Akkus geladen werden, sollen sie die Innenraumtemperatur angenommen haben. Ferner ist es nicht falsch, die Vogeltränke über Nacht ins Haus zu holen. In der Dunkelheit sind Vögel normalerweise nicht auf Nahrungssuche.

Platine

Das Elektor-Labor hat für die Schaltung eine kleine Platine entworfen, **Bild 2** zeigt das Layout. Die Bauelemente sind bedrahtet, so dass

Stückliste

Widerstände:
R1 = 12 k
R2 = 10 k
R4 = 3k3
R3,R6 = 1 k
R7 = 2k2
R5 = NTC 4k7
P1 = Trimmpoti 4k7

Halbleiter:
D1 = Zenerdiode 3,9 V/1 W
D2 = LED rot, 5 mm
D3 = LED orange, 5 mm
T1 = BC547B
T2 = 2N3055 (TO-3-Gehäuse)
IC1 = LM393N

Außerdem:
K1 = Schraubklemmverbinder, 2-polig
K2 = Schraubklemmverbinder, 3-polig
Platine 130256-1, siehe [1]

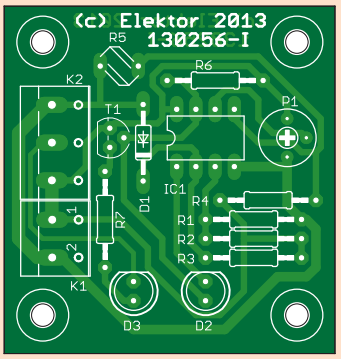


Bild 2. Die Platine ist schnell aufgebaut. Der NTC-Widerstand wird unmittelbar angeschlossen, für den 2N3055 und die Akkus sind Schraubklemmen vorgesehen.

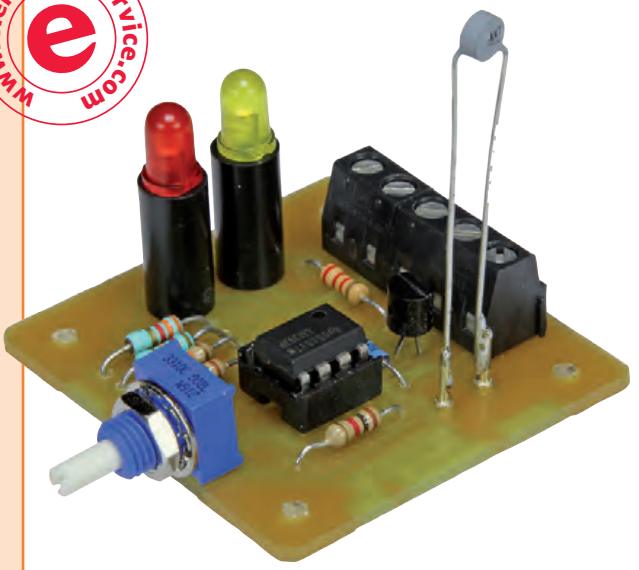


Bild 3. Das Foto zeigt den 2N3055, montiert auf dem Boden des blechernen Wassergefäßes. Hier fehlt noch die notwendige Abdichtung.

die Montage nicht schwierig ist. Da nur wenige Bauelemente vorhanden sind, genügt auch ein Stück Experimentierplatine, wie sie der Autor verwendet hat (siehe Beitrag des Autors auf Elektor.Labs [2]). Abhängig vom Platz der Platine im Gehäuse können die Bauelemente auf der Ober- oder Unterseite montiert werden. Das Trimmpoti ist von außen erreichbar, wenn eine passende Öffnung in das Gehäuse gebohrt wird. Die Öffnung muss später mit einem Tropfen Silikon verschlossen werden. Auch für die LEDs werden Löcher gebohrt, sie werden ebenfalls mit Silikon abgedichtet.

Was noch fehlt, sind die Montage des 2N3055 auf dem Boden des Wassergefäßes (**Bild 3**) und der Einbau der Platine und der Akkus in das Gehäuse. Wenn notwendig müssen die Anschlüsse des NTC-Widerstands (Temperaturfühler) mit isolierten Leitungen verlängert werden. Der NTC-Widerstand wird an die Seitenwand des Wassergefäßes geklebt. Die Schaubklemmen auf der Platine dienen zum Anschluss des 2N3055 und der Akkus über Leitungen. Das Trimmpoti muss so eingestellt werden, dass das Wasser bei einigen Minusgraden nicht gefriert. Bei unnötig niedrigen Einstellungen geht Energie nutzlos verloren. Der Winter kann kommen, die Vögel werden es danken!

(130256)gd

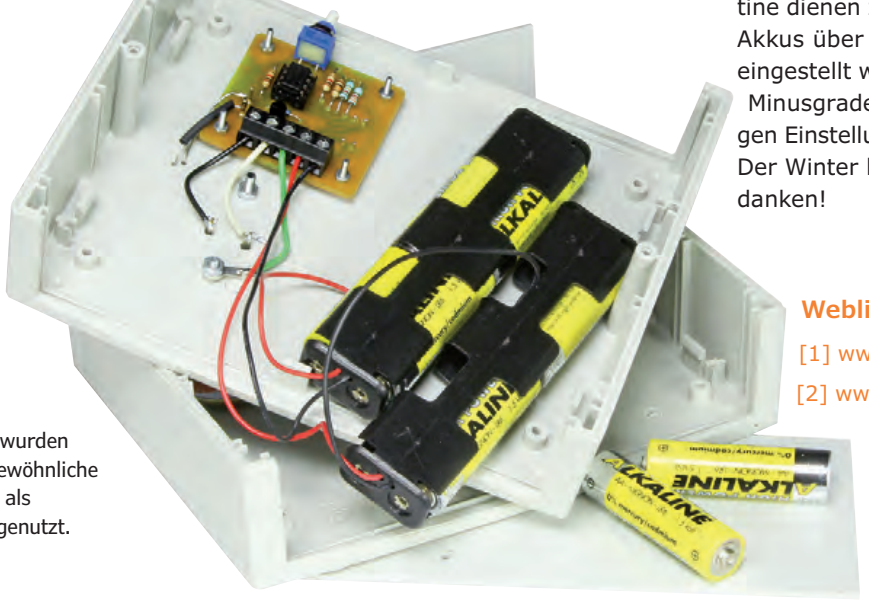


Bild 4. Bei dem im Elektor-Labor entstandenen Musteraufbau wurden provisorisch gewöhnliche Alkaline-Zellen als Energiequelle genutzt.

Weblinks

[1] www.elektor-magazine.de/130256
[2] www.elektor-labs.com/130256

magazine
elektor
Lesen Sie jetzt Elektor auf Ihrem Tablet!
Einzelheft: nur 7,99 €
Doppelheft: nur 14,99 €
Elektor-Mitglieder erhalten jede App-Ausgabe kostenlos!
Elektor-App herunterladen:
• www.elektor.de/ios-app
• www.elektor.de/android-app

LED-Leuchtstofflampen-Ersatz

Der Teufel steckt im Detail

Von
Dr. Thomas Scherer
(D)

Was macht ein Elektroniker, wenn er in einem Supermarkt an einem Grabbeltisch vorbeiläuft, auf dem LED-Röhren als Ersatz konventioneller Leuchtstofflampen besonders preiswert feil gehalten werden? Klar: Er nimmt die längliche Schachtel in die Hand, dreht und wendet sie, liest was drauf steht (zu wenig), schaut in die Verpackung und – schon längst hat der Jäger- und Sammler-Trieb die Oberhand gewonnen - legt das Ding in seinen Einkaufswagen. Um Sekunden später ein zweites Exemplar dazu zu legen. Denn erstens ist es wirklich preiswert und zweitens kann man so etwas immer gebrauchen.

Umbauversuch 1

So ging es mir - und freudig zu Hause angekommen, wollte ich so eine LED-Röhre in die Unterschrankbeleuchtung einbauen. Dort drin steckte eine 18-W-Leuchtstoffröhre, die es zwar noch tat, aber dem 10-W-LED-Ersatzleuchtmittel in Sachen Helligkeit mit Sicherheit deutlich unterlegen war, oder? Vorweg: Zum Abschluss des erfolgreichen Umbaus zeigte das Messgerät bei gleichem Abstand tatsächlich 30 % mehr Licht.
Eigentlich sollte der Umbau eine Lappalie sein. Also Lampe öffnen, Leuchtstoffröhre um 90° drehen, diese entnehmen, LED-Ersatz reindrücken, um 90° drehen, Lampe zu machen und fertig. Denkste!
Das kann (fast) so klappen. Es muss aber nicht. Und bei mir war Letzteres der Fall. Wenn man nämlich eine Leuchtstofflampe hat, bei der althergebracht eine Drossel als „Vorschaltgerät“ und ein so genannter „Starter“ vorhanden ist, dann ist alles gut. **Bild 1** zeigt, wie eine konventionelle Leuchtstofflampe beschaltet ist. Die Röhre hat Heizwendeln an den Enden, die beim Einschalten vom Strom durch den kurzschließenden Starter und der Drossel als induktivem Vorwiderstand kurz erhitzt werden, damit das Gas in der Röhre warm wird und ein Zünden durch die Induktionsspannung beim thermischen Öffnen des Starters erleichtert wird. Man kennt das: zwei, drei Mal Klackern und Flackern - dann brennt die Lampe.
Bild 2 zeigt, wie ein LED-Ersatz für Leuchtstoffröhren innen verschaltet ist. Links ist statt der Heizwendel ein LED-Treiber-Modul angeschlossen und rechts statt der zweiten Heizwendel ein Kurzschluss. Drückt man so einen LED-Ersatz statt der Leuchtstoffröhre in die Lampenfassung, dann wird die Sache im besten Fall flackern, bis die Induktionsspannung die Primärseite des LED-Treibers erledigt hat. Aber schön leuchten würde es keinesfalls. Um das zu verhindern, wird solchen LED-Ersatzröhren ein Pseudostarter beigelegt, der innendrin nichts als ein Stückchen Draht beherbergt, wie man in **Bild 3** aufgrund des transparenten Gehäuses erkennen kann. Ersetzt man den konventionellen Starter durch diesen Kurzschluss zum Stecken, dann ist alles in Ordnung: Die Netzspannung liegt nun direkt am Eingang des LED-Treibers – egal wie herum man die Röhre in die Fassung steckt. Alles paletti. Bloß meine moderne Schrankunterbaulampe sagt zu mir: „Isch abe gar kein Starter!“
Umbauversuch 1 wurde demnach als gescheitert abgebrochen.

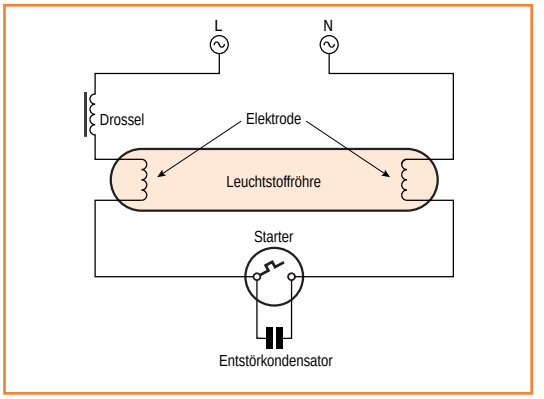


Bild 1.
Die Innenschaltung einer konventionellen Leuchtstofflampe mit Drossel-Vorschaltgerät, Starter und Röhre, bei der die Heizwendeln eingezeichnet sind.

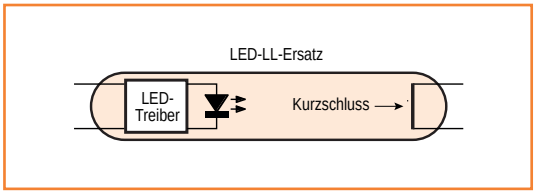


Bild 2.
Modulare Innenschaltung eines LED-Leuchtmittels zum Ersatz einer Leuchtstoffröhre. Rechts ist ein Kurzschluss.

Aller guten Dinge sind 2

Beim Kauf meiner Lampe hatte ich damals extra darauf geachtet, dass es ein Exemplar mit eingebautem elektronischem Vorschaltgerät war. Denn so klackert da nichts und die Lampe wird nur wenige zig Millisekunden nach dem Einschalten einfach hell. Dieser Vorteil stellte sich jetzt als Problem heraus. Da kein Starter zu ersetzen war, traute ich mich nicht einfach, die LED-Röhre einmal testweise hineinzudrücken. Und die Anleitung, die der Röhre beilag (gelesen wird so etwas eh nur bei Problemen, also jetzt), warnte auch explizit vor dem Betrieb in solch einer Lampe; sprach gar davon, dass das elektronische Vorschaltgerät zu entfernen wäre.

Gelesen und Lampe geöffnet (**Bild 4**) präsentierte sich das Vorschaltgerät als Modul „Electronic Ballast“ mit einem zweiadrigen Eingang für die Netzspannung und zwei zweiadrigen Ausgängen für die beiden Heizwendeln der Leuchtstoffröhre. Daraus ergibt sich die Schaltung der Lampe nach **Bild 5**. Man sieht schnell, dass es richtig war zu zögern. Ein Tausch des Leuchtmittels gegen eine LED-Variante nach Bild 2 würde vermutlich nicht ohne Quittung durch Rauchzeichen bleiben. Der (für mich) naheliegende Gedanke war daher: Electronic Ballast raus und die Netzspannung durch Neuverdrahtung einfach auf die Seite der LED-Röhre gelegt, an welcher der interne LED-Treiber angeschlossen wird. Doch „Halt!“ rief mein Unterbewusstsein, „Was ist, wenn man die Röhre umdreht?“

Tatsächlich würde sie dann nicht nur nicht leuchten, sondern es gäbe einen Knall und die Sicherung im Sicherungskasten würde ansprechen. Schließlich wäre dann die Kurzschlussseite der Röhre direkt mit der Netzspannung verbunden. Nicht schön.

Stattdessen muss die Lampe nach Ballast-Entfernung wie in **Bild 6** verkabelt werden. Dann kann man sie ohne Knall und Fall drehen und wenden. Die Schaltung entspricht dann der einer konventionellen Leuchtstofflampe mit kurzschließendem Pseudostarter, aber ohne Drossel. Eigentlich völlig klar. Diese Überlegungen führten zu Umbauversuch 2, und der war von Erfolg gekrönt: Nach dieser Erkenntnis und nur wenige Lüsterklemmen später leuchtete die Lampe, wie sie soll. Und richtig hell. Der Elektroniker freute sich.

Noch eine Warnung

Sollte nach Jahr und Tag jemand auf die Idee kommen, bei einer solch frisierten ehemaligen Leuchtstofflampe eine konventionelle Leuchtstoffröhre reinzudrehen, wird das bei einer konventionellen Lampe mit Drossel zu deutlichem Brummen aber keinem Licht führen. Bei der modernen, vollkommen gerupften Ausführung aber wird es hellrot an den Enden der Röhre glühen, doch werden die Heizwendeln der Röhre das nicht lang mitmachen. Es empfiehlt sich daher, vor dem Eindrehen der LED-Röhre mit entsprechend haltbarem Filzstift den Hinweis anzubringen: „**Nur LED-Leuchtmittel einsetzen!**“. Man kann die Beschriftung leicht so platzieren, dass sie von der eingebauten LED-Röhre verdeckt wird und ästhetisch nicht stört.

(130403)

Bild 3.
Im mitgelieferten Starter-Ersatz steckt gut zu erkennen nur ein Stück Draht.

Bild 4.
Die geöffnete Lampe gibt den Blick auf das elektronische Vorschaltgerät frei.

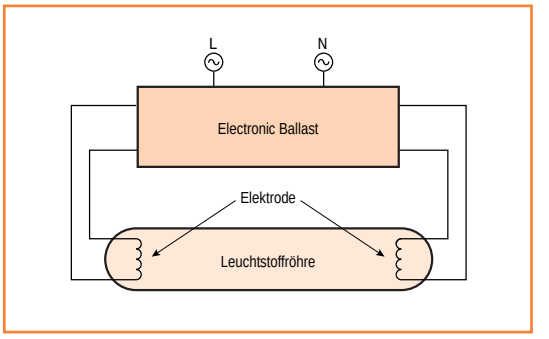


Bild 5.
Aus Bild 4 resultiert diese Verdrahtung einer modernen „elektronischen“ Leuchtstofflampe.

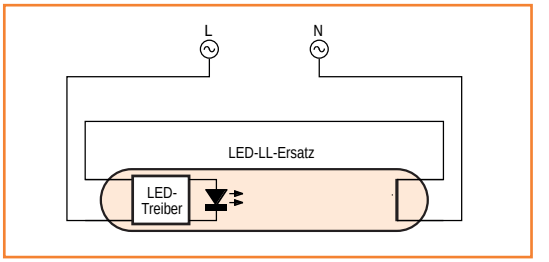


Bild 6.
Wird die moderne Lampe auf diese Weise verkabelt, funktioniert die LED-Röhre als Ersatz der ehemaligen Leuchtstoffröhre wunderbar.

Elektronik plus Mechanik mit

FLOWCODE 6

Electronic system design software

Aus dem Nähkästchen eines Entwicklers

Von **Paul Newill**
(Software-Ingenieur @ Matrix Multimedia, UK)

Flowcode 6 ist die neueste Version der auf Flussdiagrammen basierenden IDE von Matrix Multimedia. Neben Verbesserungen gegenüber der Vorversion weist die Version 6 viele neue Funktionen auf. Dieser Artikel stellt wichtige Aspekte wie die 3D-Modellierung und die elektromechanische Simulation vor.

Programmierung per drag & drop

Flowcode ist eine grafische Programmiersprache, bei der die Programmstruktur eben nicht klassisch durch Text, sondern durch Flussdiagramme definiert wird. Das vermeidet nicht nur Syntax-Fehler, sondern ermöglicht zudem die einfache Programmierung durch drag & drop von Icons. Die einzelnen Flussdiagramm-Funktionen konfiguriert man durch Editieren der Properties (Eigenschaften). So können beispielsweise im „Properties Panel“ einer „While Loop“ sowohl die Schleifenbedingungen als auch die Anzahl der Durchläufe und die Abbruch-Bedingung (wenn eine Variable einen bestimmten Wert erreicht) definiert werden. In Flowcode 6 ist eine umfangreiche Library mit Standardkomponenten enthalten, die durch Komponenten-Makros wie LEDs, Schalter, LCDs, verschiedene Kommunikations-Module und mehr genutzt werden können. Komponenten-Makros vereinfachen die Programmierung von komplexen Systemen massiv. Zum Beispiel lässt sich ein LCD einfach nutzen, indem man lediglich das entsprechende Komponenten-Makro in das jeweilige Flussdiagramm zieht. In konventionellen IDEs müsste man hierfür seitenweise C-Code oder Assembler portieren.

Erste Schritte mit Schrittmotoren

Eine der in Flowcode 6 zur Verfügung stehenden Komponenten ist der Schrittmotor. Solche Antriebe werden üblicherweise in Plottern oder 3D-Druckern eingesetzt, da man damit präzise Bewegungen realisieren kann. Der typische Schrittwinkel solcher Motoren liegt bei 1...10°. Das erste Beispiel zeigt, wie simpel es ist, einen Schrittmotor in ein Projekt zu integrieren. In Flowcode gibt es zwei Panels: das „Dashboard“ und das „System Panel“. Das Dashboard bietet eine 2D-Ansicht, in dem zugehörige Objekte platziert werden. Typische Objekte für das Dashboard wären LEDs, Schalter und Tastaturen. Das System Panel bietet eine 3D-Ansicht. Es eignet

sich mehr für Objekte wie Motoren, Servos oder Elektromagnete. Wenn man einen Schrittmotor auf dem System-Panel platziert, erscheint dort eine Grundform. Diese wurde dann so modifiziert, dass ein langer Balken auf der Motorachse zu sehen ist.

Das zur Rotation des Balkens nötige Flussdiagramm ist in **Bild 1** zu sehen. Hierfür werden nur vier Funktionen benötigt. Das erste Komponenten-Makro aktiviert den Schrittmotor. Als nächste Aktion folgt eine Schleife, die 50 Mal durchlaufen wird. Da der Schrittmotor hier so konfiguriert ist, dass er 100 Schritte pro Umdrehung benötigt, rotiert die Achse bei 50 Schleifendurchläufen um 180°. In dieser Schleife werden zwei Befehle abgearbeitet: Der erste Befehl ist ein (weiterer) Schritt des Motors und der zweite besteht aus einer kleinen Verzögerung. Die Verzögerung bremst die Simulation und erlaubt es dem Anwender, die Aktion genau zu verfolgen. Wenn das Programm tatsächlich in einen Controller geladen wird, dann verhindert diese Verzögerung eine zu schnelle Ansteuerung und das Blockieren des Motors.

Bild 2a zeigt die 3D-Komponente des Schrittmotors. Die **Bilder 2b...d** zeigen die geänderte Form mit dem Balken in den simulierten Positionen am Anfang, in der Mitte und am Ende der Rotation. Der Motor hat seine Achse tatsächlich um 180° gedreht.

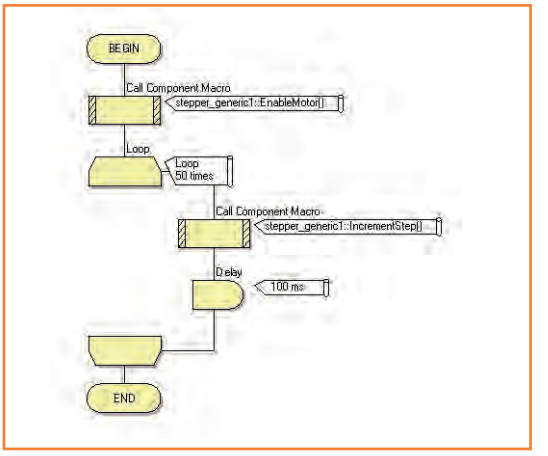


Bild 1.
Beispiel 1: Flussdiagramm für die Schrittmotor-Simulation.

Lineare Bewegung

Das zweite Beispiel demonstriert, wie man mit Flowcode die Rotation eines Schrittmotors in eine lineare Bewegung transformiert. Wie schon erwähnt, werden Schrittmotoren in Plottern und in 3D-Druckern etc. eingesetzt. In diesen Anwendungen braucht man aber statt der rotierenden eine lineare Bewegung, um etwas in der X-, Y- oder Z-Achse zu bewegen. Dies kann man z.B. erreichen, wenn eine Motorachse eine Gewindestange antreibt. Die Gewindestange kann dann wiederum z.B. eine Platte mit entsprechendem Gewinde antreiben und so die Bewegung in einer Achse realisieren. In diesem Beispiel werden die Properties des Schrittmotors so eingestellt, dass bei jedem Aufruf des Komponenten-Makros „Increment Step“ durch das Hauptprogramm eine definierte lineare Bewegung erfolgt. Diese lineare Bewegung wird dann mit einer entsprechenden Form in der 3D-Umgebung verknüpft.

Das komplette Programm hierzu ist zu umfangreich zum Abdruck. Deshalb ist es in den Beispiel-Dateien zu diesem Artikel [1] enthalten, und man kann sich so das entsprechende Flussdiagramm auch mit der Demo-Version von Flowcode selbst am Rechner anschauen. **Bild 3** zeigt das 3D-Modell zur Demonstration einer linearen Bewegung in zwei Achsen. Wenn die Achsen der Schrittmotoren rotieren, bewegen sich die rotgoldenen Scheiben linear auf ihren Führungsschienen. Dieses Beispiel nutzt ein Flag in Flowcode, das die Bewegungsrichtung bestimmt. Wenn das Flag den Wert „0“ hat, bewegt sich die Motorachse gegen den Uhrzeigersinn - umgekehrt, wenn der Wert „1“ ist. Die Schwierigkeit dieses Beispiels besteht darin zu bestimmen, wann das sich bewegende Objekt das Ende der Achsen erreicht und folglich die Richtung in der Simulation umgekehrt werden muss.

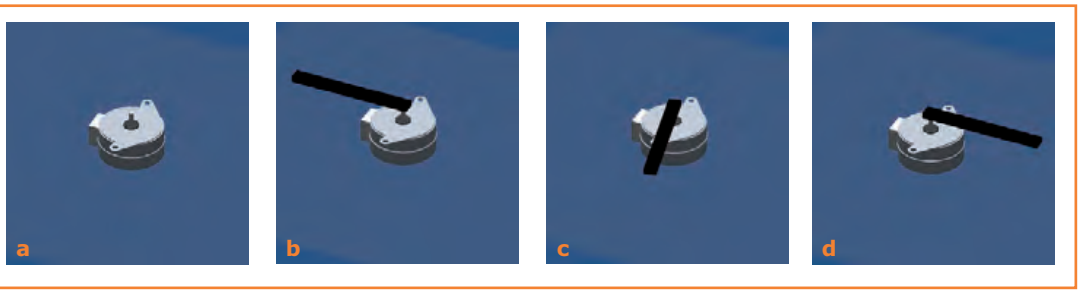


Bild 2.
Beispiel 1: 3D-Modell und Simulation des Schrittmotors (a-d).

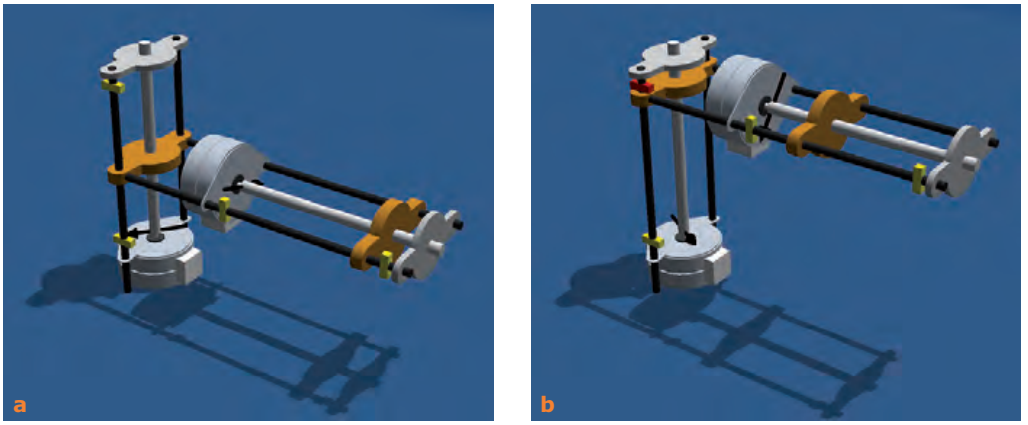


Bild 3.
Beispiel 2: Simulation linearer Bewegung mit Schrittmotoren in Flowcode 6.

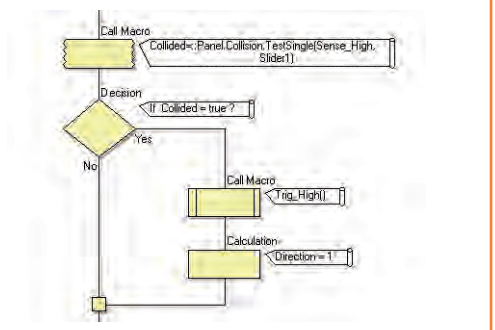


Bild 4.
Beispiel 2: Makro zur Kollisionserkennung.

Da es sich bei den bisherigen Beispielen lediglich um Simulationen handelt, wurden die entsprechenden Befehle in Flowcode lediglich als „SIM Commands“ implementiert. Ein SIM Command ist ein Befehl, der nur in Flowcode ausgeführt wird. Lädt man das kompilierte Programm in einen Mikrocontroller, werden die SIM Commands nicht übertragen. In diesem Beispiel kann man eine Schalter-Komponente des Taster-Typs so konfigurieren, dass sie in Flowcode und der Realität gleich funktioniert. SIM Commands wurden hier dazu benutzt, ihre Einfachheit und Flexibilität zu demonstrieren, da es durchaus Anwendungen gibt, die lediglich SIM Commands benötigen. Und es gibt noch mehr SIM Commands.
In **Bild 3b** kann man sehen, das die vorher gelbe obere Marke jetzt rot ist. Dies ist passiert, weil Flowcode eine Kollision zweier Objekte erkannt hat, wie das im Code-Abschnitt in **Bild 4** zu sehen ist. Bei einer Kollision wird der „Yes“-Ausgang der bedingten Verzweigung gewählt. In diesem Zweig gehört das erste Icon zu einem Makro namens „Trig_High“. In diesem Makro hat der Autor ein Flussdiagramm erstellt, das bei einer Kollision zur Information des Anwenders die gelbe Marke kurzfristig rot einfärbt. Der zweite Befehl in diesem Zweig ändert die Bewegungsrichtung durch Setzen des Flags auf „1“.

3D-Modelle

Das letzte Beispiel vollendet die vorherigen Beispiele in einem praktischen Projekt. Hier wird ein XY-Plotter nicht nur simuliert, sondern auch real mit aktueller Hardware aufgebaut. Dies beweist gleichzeitig, mit wie wenig Software-Aufwand man in Flowcode 6 recht komplexe Projekte realisieren kann. In diesem Beispiel wurde das 3D-Modell des Plotters (**Bild 5**) zuerst mit SolidWorks erstellt. Das Modell wurde dann in fünf Sektionen geteilt und einzeln als STL-Datei exportiert. Die fünf Dateien wurden dann einfach per drag & drop in das System-Panel von Flowcode importiert und nach dem Import entsprechend konfiguriert.
Die Spezifikation des Plotters erfolgte durch Einlesen einer Reihe von XYZ-Koordinaten aus einem Array durch das Programm und Zeichnen der Form anhand der Koordinaten. Die im Array befindlichen Koordinaten wurden in der Einheit mm abgelegt. Um die richtigen Koordinaten-Positionen zu erhalten, muss die Distanz zwischen den aktuellen und den Ziel-Koordinaten berechnet werden. Dieser Wert muss dann noch an die Steigung der Gewindestange und die Schrittweite des Motors angepasst werden. Die Motoren des Beispielplotters benötigen 200 Schritte für volle 360°. Die Steigung des Gewindes beträgt 1,25 mm. Daher muss der Motor 160 Schritte tun, um eine Bewegung von 1 mm zu erreichen. Für

eine diagonale Bewegung wurde eine Funktion generiert, bei der beide Motoren abwechselnd und schnell nacheinander angesprochen werden. Die Steigung der Diagonalen ist dabei vom Wert eines Skalierungsfaktors abhängig, der anhand des Bresenham-Algorithmus berechnet wurde. Die letzte Koordinate betrifft die Z-Achse. Auch wenn es sich „nur“ um einen 2D-Plotter handelt, ist die Z-Achse doch erforderlich, um damit den Stift anzuheben oder zum Zeichnen abzusenken. Hierfür genügt aber ein Flag. Wenn es den Wert „1“ hat, wird der Stift abgesenkt und gezeichnet. Bei einem Wert von „0“ ist der Stift angehoben. Das Anheben und Absenken des Stifts wird mit einem Elektromagneten bewerkstelligt.

„GetCoords“ in der realen Welt

Für die Simulation des XY-Plotters müssen einige 3D-Modelle durch die Group-Funktion kombiniert werden. Das ist vor allem bei Systemen nützlich, wo sich individuelle aber verbundene Teile wie hier der Stift und der Stifthalter (für die X- und die Y-Achse) gemeinsam, aber auch unabhängig voneinander bewegen können. Mit Simulationsbefehlen steht eine Simulation zur Verfügung, welche die reale Bewegung des Stifts und die Zeichenfläche des XY-Plotters widerspiegelt. Die Bewegung in zwei Achsen wird erreicht, in dem man die 3D-Objekte im System-Panel mit den Schrittmotoren verbindet (hierzu muss man die Eigenschaften der Schrittmotoren entsprechend konfigurieren). Das aber reicht noch nicht, um in der Simulation die entsprechenden Objekte so wiederzugeben, wie sie sich in Wirklichkeit bewegen. Hierzu braucht es noch zusätzliche SIM-Commands. Dazu eignet sich der Befehl GetCoords, mit dem regelmäßig die XYZ-Position des 3D-Objekts abgefragt wird, das den Stift repräsentiert. Wenn man dessen Position kennt, kann man damit einen Punkt exakt an der entsprechenden XY-Stelle zeichnen. Wenn man dies für jeden Schritt jedes Motors macht, erhält man eine Pseudo-Linie, die aus Punkten zusammengesetzt ist. Da es sich hier um ein aufwändiges Projekt handelt, kommen mehr als 20 Flussdiagramme zum Zuge. Zudem werden Hardware- und Software-Interrupts sowie viele Simulationsbefehle benutzt, damit die Flussdiagramme sowohl rein zur Simulation als auch zur Programmierung eines Mikrocontrollers taugen.

Von Software zu Hardware

Für die Hardware des XY-Plotters ist ein Mikrocontroller-Board wie das E-blocks-Modul ECIO40 erforderlich, das hier für den Zugriff auf die Ports A...E mit dem Modul EB061 verbunden ist. PORT A steuert ein Motor-Board, dessen angeschlossener Schrittmotor für die X-Achse zuständig ist. Der zweite Motor für die Y-Achse wird von PORT D gesteuert. An PORT B ist eine numerische Tastatur als User-Interface angeschlossen. Hierdurch sind auch manuelle Bewegungen der X- und Y-Achse möglich. An PORT C ist ein E-blocks-Modul mit

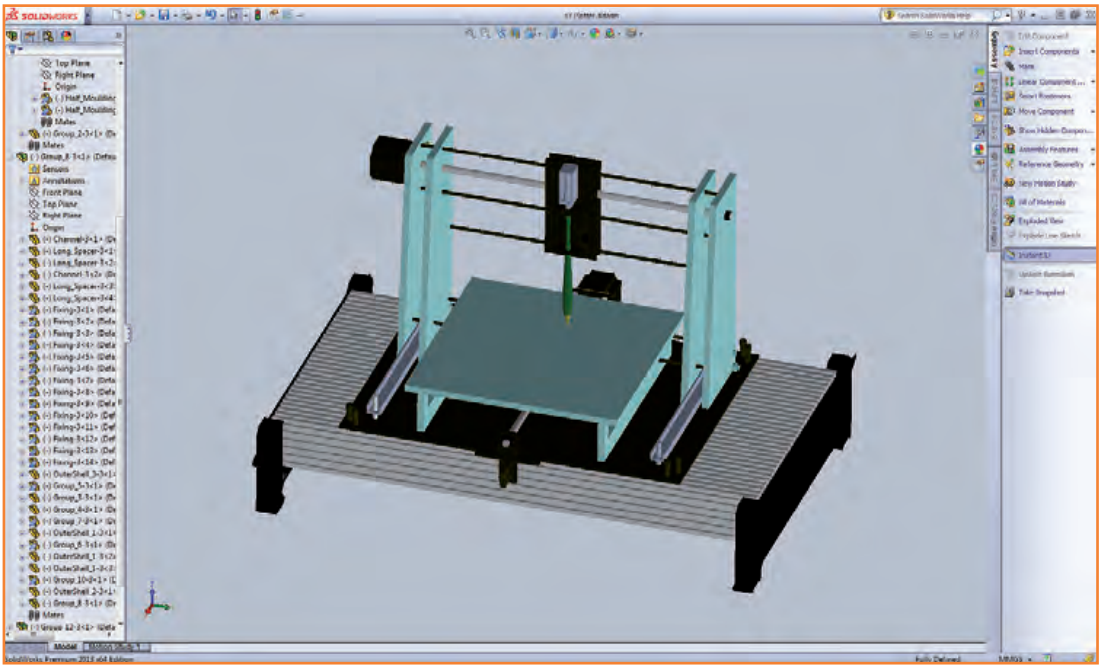


Bild 5.
Beispiel 3: XY-Plotter in SolidWorks.

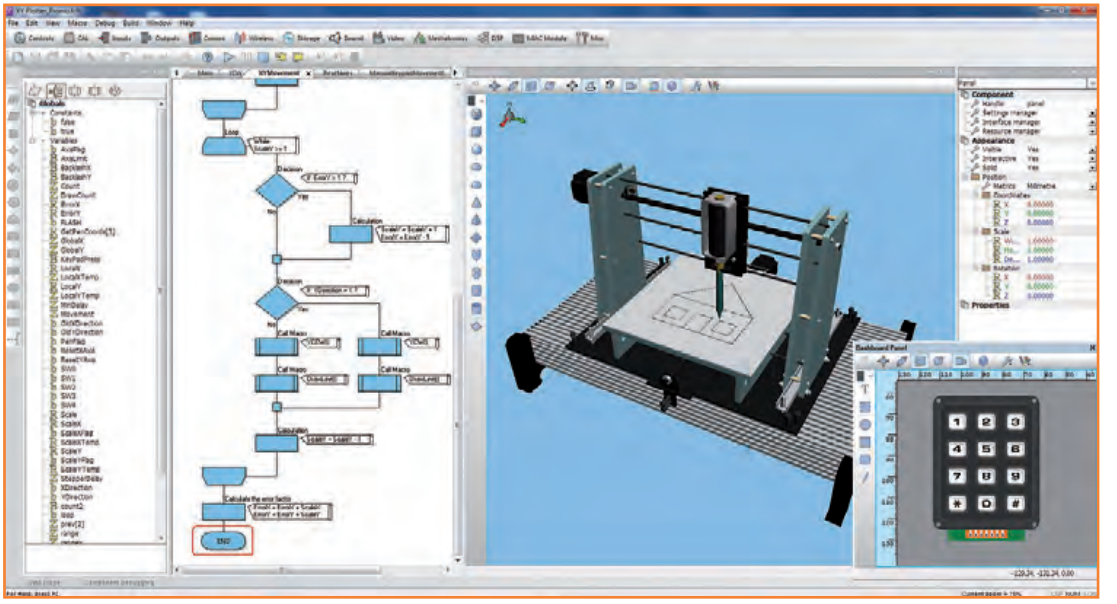


Bild 6.
Beispiel 3: 3D-Modell des XY-Plotters in Flowcode 6.

Klemmen angeschlossen, die mit den Endschaltern der Achsen verbunden werden. Diese lösen dann im Mikrocontroller Hardware-Interrupts aus, die den Plotter augenblicklich stoppen. Das ist zur Vermeidung von Schäden notwendig, wenn die zu zeichnenden Koordinaten die Zeichenfläche des Plotters überschreiten. Letztlich wurde zur Stromversorgung noch ein E-blocks-Modul eingesetzt, das die erforderlichen 7,5 V für den Elektromagneten liefert, der den Stift anhebt.

Zum Schluss

Die folgenden Bilder zeigen die Simulation des XY-Plotters in Flowcode und die reale Hardware. In **Bild 6** sieht man, dass die Simulation des Plotters tatsächlich eine Zeichnung rein über die XY-Koordinaten anfertigen kann. **Bild 7** zeigt die konkrete Hardware des real existierenden Plotter-Aufbaus.

(130391)

Zusätzliche Information

Elektor International Media ist der offizielle Distributor von Flowcode 6 und den E-blocks-Modulen. Weitere Artikel und Bestellinformationen finden sich unter www.elektor.de/flowcode.

Matrix Multimedia via Twitter: @MatrixFlowcode

Der Blog von Matrix Multimedia: www.matrixltd.com/blog

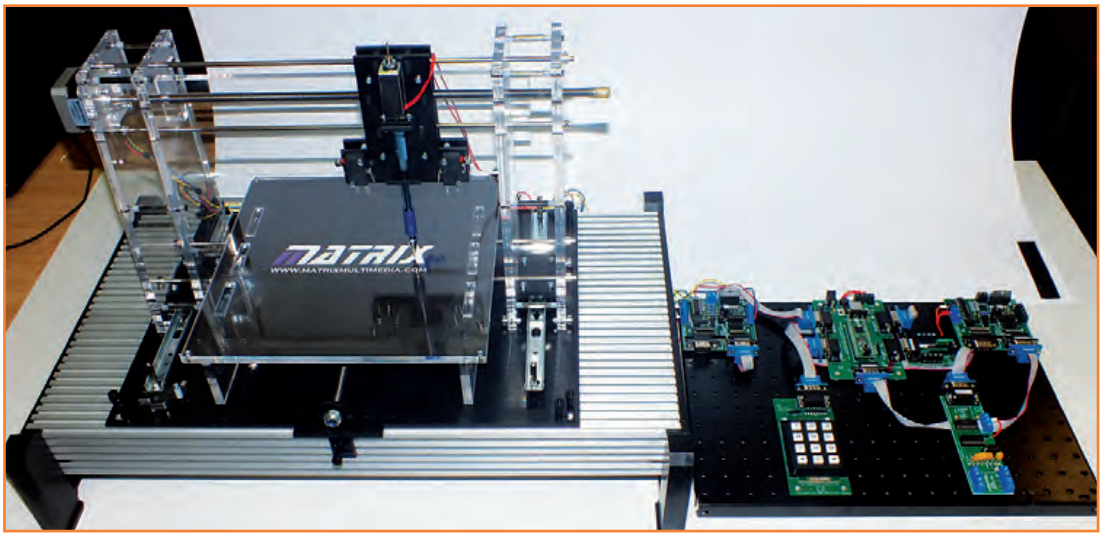


Bild 7.
Beispiel 3: Realer XY-Plotter.

Second Step

NEU!

Sie haben den „First Step“-Kurs erfolgreich durchgearbeitet und haben Lust auf mehr bekommen?
Dann machen Sie doch einfach den nächsten Schritt in die große Welt der Mikrocontroller!
Aufbauend auf Ihrem bisherigen Wissen beschäftigen Sie sich beim Fortsetzungskurs „Second Step“ mit weiteren interessanten und wichtigen Mikrocontroller-Anwendungen:
Steuern Sie zum Beispiel ein alphanumerisches LCD an, oder erweitern Sie Ihr System um einen Uhrenbaustein (Real Time Clock), oder lernen Sie eine doppelte UART-Schnittstelle und einen Watch Dog kennen und nehmen diese Bausteine in Betrieb!

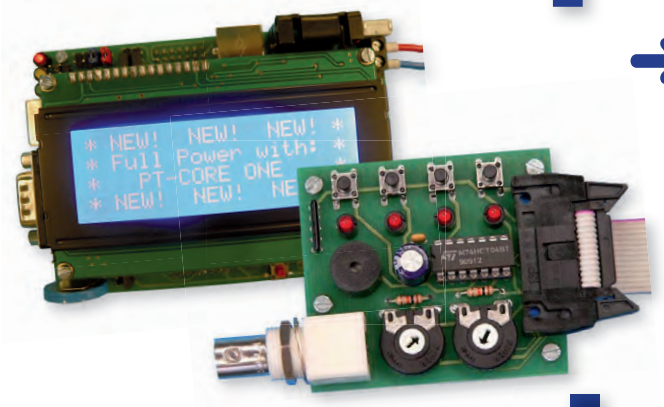
Bestandteile des „Second Step“-Pakets:

elektor ACADEMY
the school of electronics

3 Arbeitshefte

(inkl. passendem DIN A4-Ringbuch)

- Beschreibung der neuen Hardware
- Selbst geschriebene Funktionen, lokale und globale Variablen und Header-Dateien
- Externe parallele Peripherie-Einheiten: RTC, LCD und DUART
- Strings und Arrays
- Watch Dog und CS\-Logik
- Serielle Datenübertragung
- Umfang aller Arbeitshefte: 450 Seiten



1 PT-CORE-Mikrocontroller-Board + 1 PT-DAA-Zusteckkarte

- 8051er-Mikrocontroller AT89C51CC03
- 2,5-V-Referenzspannungsgeber für A/D-Wandler LT1009
- TTL/RS232-Pegelwandler MAX232
- CAN-Buskoppelstufe PCA82C250
- Watch Dog MAX807
- Uhrenbaustein mit Batteriepufferung RTC72421
- Alphanumerisches LC-Display (4x20 Zeichen)
- Doppelter UART-Baustein SCC2681
- Chip-Select-Dekodierung inkl. 4 freier CS\-Signale GAL16V8
- Datenlatch 74HCT573
- Karten-Format: 117 x 83 mm²
- Spannungsversorgung 9 V DC, Verpolungsschutzdiode und Miniatursicherung
- PT-DAA-Zusteckkarte enthält den kompletten optischen, akustischen und analogen Funktionsumfang des „First Step“-Boards

1 CD-ROM mit Zusatzinfos

- Datenblätter
- Systemdokumentation
- Entwicklungsumgebung
- Beispielprogramme

Das gesamte „Second Step“-Paket kostet nur 249,00 Euro.

Weitere Infos und Bestellung unter
www.elektor.de/second-step

nA mit DMM

Messung kleinster Ströme mit dem Digitalmultimeter

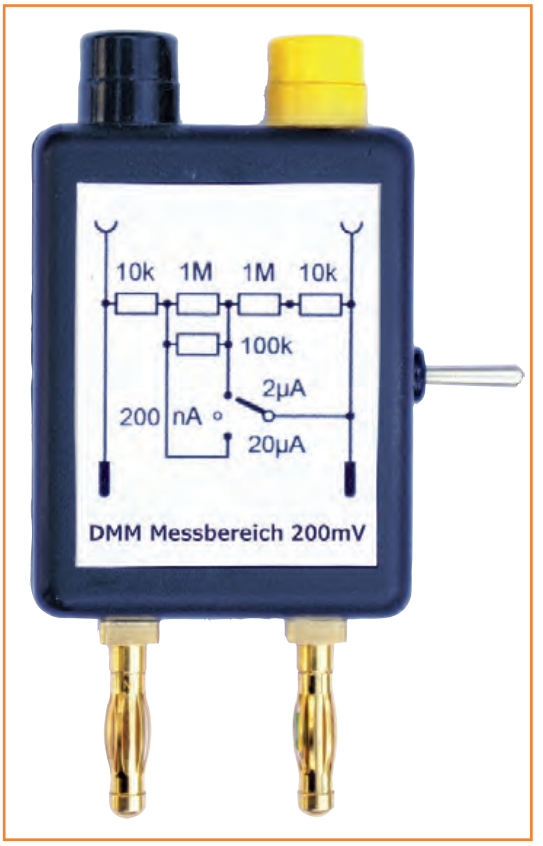


Bild 1.
Die Schaltung des Adapters wurde vom Autor direkt auf das Gehäuse geklebt.

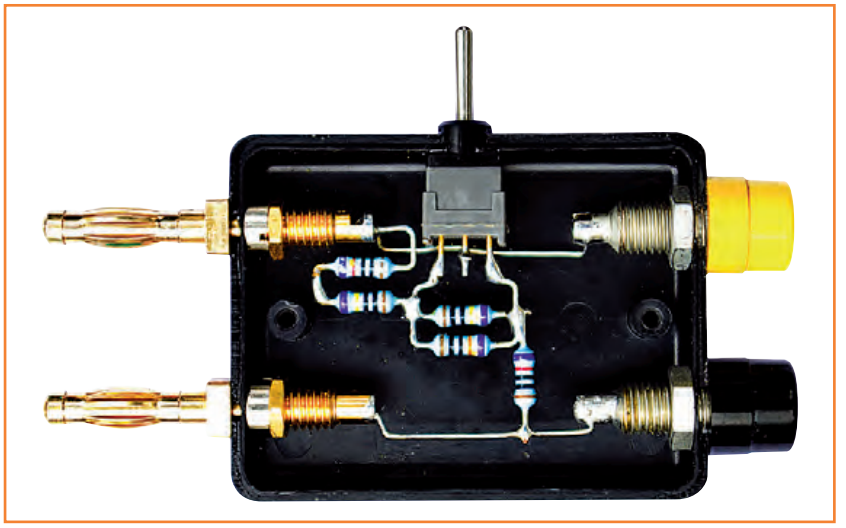


Bild 2.
Das geöffnete Gehäuse hat die Funktion eines „Bestückungsplans“.

Von **Jo Becker,** DJ8IL (D)

Moderne handelsübliche Digitalmultimeter bieten selbst in der unteren Preisklasse eine akzeptable Genauigkeit und mehr Messbereich, als man normalerweise braucht. Doch es gibt auch nicht-normale Gelegenheiten, denn hier kommt Murphys Law ins Spiel. Möchte man z.B. sehr kleine Ströme messen, dann guckt man zwar nicht in die Röhre (denn ein DMM ist ja heute mit einem LCD bestückt), doch hat man schnell ein Problem: die 3,5-stelligen DMMs beginnen beim Strom mit einem Messbereich von 200 µA. Hmmm - und jetzt?

Ein fast schon genialischer Trick besteht darin, feinste Ströme mit dem kleinsten Spannungsmessbereich von 200 mV zu detektieren. Das geht wirklich! Dank des typischen Innenwiderstands von 10 MΩ fließt bei einem Spannungsabfall von 200 mV ein Strom von 20 nA. Das ist ganz schön wenig und damit kann man z.B. Fotoströme von Fotodioden etc. messen. Aber auch dieser Trick kann nicht verhindern, dass jetzt beim Strom eine dekadische Lücke von 200 nA, 2 µA und (meistens auch) 20 µA bestehen bleibt.

Jo Becker fackelte nicht lange und beschloss, diese Lücke mit einem selbst gebauten Adapter

Stückliste

Widerstände:
(alle Metallfilm 0,1%)
2x 10 k
1x 100 k
2x 1 M

Außerdem:
Schalter, 1 x um mit Mittelstellung
Kunststoffgehäuse
2 x Bananenbuchse
2 x Bananenstecker mit Gewinde

zu schließen. Seine Fotos zeigen, dass zu diesem Vorhaben nicht mehr als ein kleines Kunststoffgehäuse, ein Umschalter mit Mittelstellung, zwei Bananenbuchsen, zwei Bananenstecker und ein paar Metallfilmwiderstände nötig sind. All dies ergibt einen super einfachen und doch funktionalen Adapter, den man zwischen das Messgerät und die Messschnüre steckt - schon sind genau diese drei fehlenden Messbereiche nachgerüstet.

Die beiden Bilder zeigen, wie's funktioniert. Auf dem fertigen Adapter des Autors (**Bild 1**) klebt die Schaltung. Fünf leicht erhältliche Präzisionswiderstände aus der E1-Reihe genügen, um mit dem Umschalter zwischen 0,2, 2 und 20 µA umschalten zu können. Das Besondere dabei ist, dass dank der trickreichen Verschaltung nur ein geringer zusätzlicher Messfehler zur Ungenauigkeit des DMMs hinzukommt. Verwendet man Widerstände mit 0,1 % Toleranz, erhöht sich der Messfehler des DMMs bei 2 µA sowie 20 µA nur um 2 ‰ und bei 200 nA sogar um lediglich 1,16 ‰! Wer es nicht glaubt, kann es nachrechnen

Tipp:
R_i des DMMs von 10 MΩ nicht vergessen ;-).

Der Bau selbst ist wirklich simpel: Die Abstände der Messbuchsen weisen bei fast allen DMMs mit 4-mm-Buchsen einen Abstand von 19 mm auf – aber bitte nachmessen! Man setzt also passende Bohrungen für je zwei Bananenbuchsen und zwei Stecker an den gegenüberliegenden Stirnseiten des Gehäuses. Dazwischen kommt noch ein Loch für den kleinen Miniaturumschalter. Die Widerstände lötet man einfach frei fliegend dazwischen. **Bild 2** enthält den naturalistischen „Bestückungsplan". Deckel drauf und fertig!

(130159)

Anzeige

Grundschaltungen der Elektronik
Theorie und Praxis mit Multisim
NEU!

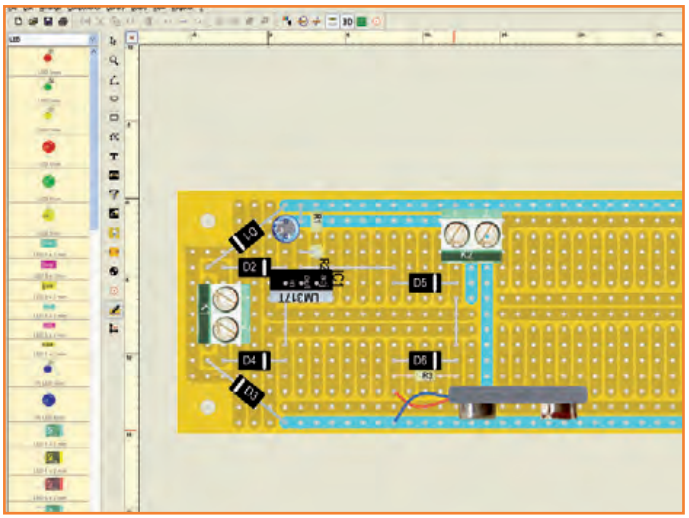
Dieses Buch ist ein Nachschlagewerk mit praxisorientierten Fakten und ausführlichen Erklärungen. Der Autor hat selbst für komplexe Vorgänge oder Formeln praktische kurze Erklärungen und Näherungsrechnungen entwickelt, ohne die Darstellungen zu simplifizieren. Als Ausgangspunkt wurde das Simulationsprogramm Multisim gewählt, das zahlreiche Bauelemente und umfangreiche Messinstrumente zur Verfügung stellt. Damit hat man ein praxisnahes Fachbuch und Nachschlagewerk für Schule, Studium und Weiterbildung im Beruf.
Der in mehrere Hauptkapiteln gegliederte Inhalt (Messgeräte, Dioden, Verstärkerschaltungen, Transistoren, Signalgeneratoren und Impulsformer) ist so aufbereitet, dass Nachschlagen und Finden der gewünschten Themen sehr einfach ist. Neben den passiven Bauelementen (Widerständen, Kondensatoren und Spulen) nehmen die Halbleiterelemente (Dioden, Transistoren und Feldeffekttransistoren) sowie Operationsverstärker und digitale Schaltkreise einen breiten Raum ein.

336 Seiten (kart.) • Format 17 x 23,5 cm
ISBN 978-3-89576-286-4

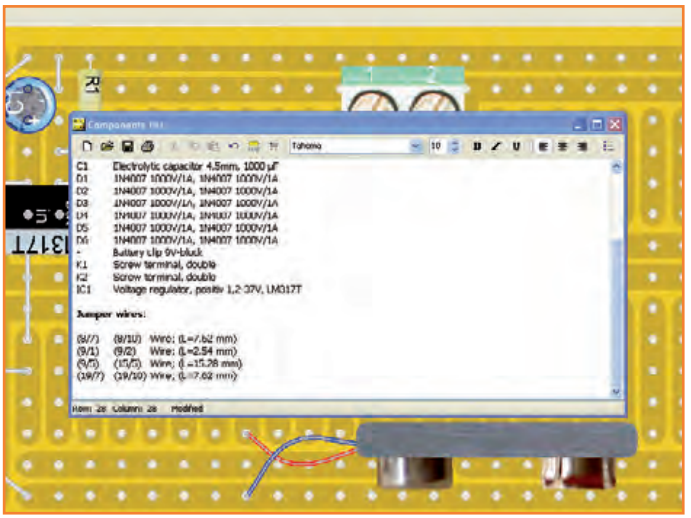
€ 44,00
CHF 54,60

Weitere Infos & Bestellung unter www.elektor.de

Elex-Platinen in LochMaster



Nach Anklicken einer Leiterbahn im Testmodus wird sichtbar, welche Leitungen und Anschlüsse miteinander verbunden sind.



LochMaster kann auch Stücklisten sowie Übersichten der Drahtbrücken generieren.

Von Luc Lemmens
(Elektor-Labor)

Die Prototypen kleiner Schaltungen mit bedrahteten Bauelementen werden häufig auf Lötpunktraster-Platinen aufgebaut. Lötpunktraster-Platinen gibt es in vielen Layouts und Abmessungen, sogar Elektor hat eine eigene Version herausgebracht. Gemeint sind die universellen Platinen, die früher zum Aufbau von Schaltungen aus der Zeitschrift Elex dienten (das war ein anderes Elektronik-Magazin aus dem Elektor-Verlag). Die beliebten Elex-Experimentierplatinen mit ihrem intelligenten Layout sind auch heute noch erhältlich. Das Layout ist so gestaltet, dass bei einer Vielzahl einfacher Schaltungen keine oder nur wenige Drahtbrücken verwendet werden müssen.

Ebenso wie bei den individuellen Platinen steht und fällt der einfache Aufbau auf universellen Platinen mit dem geschickten Anordnen der Komponenten. „LochMaster“ von Abacom [1] ist ein leicht bedienbares, kostengünstiges PC-Programm, mit dem die Positionen der Komponenten und Drahtbrücken auf Lötpunktraster-Platinen optimiert werden können. Zum Programm gehören umfangreiche Bibliotheken mit Standardkomponenten, alle Symbole lassen sich mit wenigen Mausklicks in Position bringen. Natürlich steht beliebigen Schaltungs- und Layoutänderungen kein Hindernis im Weg. Vor dem realen Aufbau kann LochMaster die Verbindungen auf Kurzschlüsse und nicht angeschlossene Leitungen prüfen. Solche Fehler sollten korrigiert sein, bevor der Lötkolben angeheizt wird. Auf dem Bildschirm stellt LochMaster eine recht realistische Ansicht der bestückten Lötpunktraster-Platine dar, die ausgedruckt sogar als Bauplan dienen kann.

Zum Programm gehören umfangreiche Bibliotheken mit Standard-Komponenten

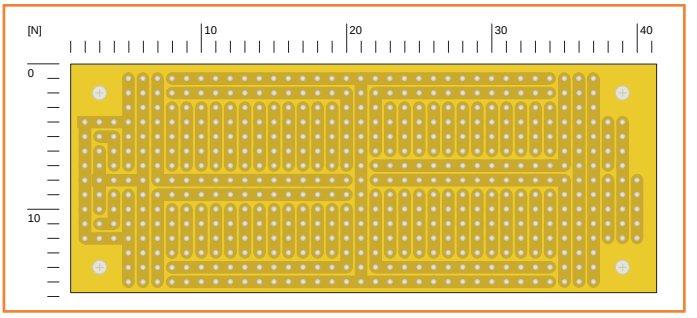
Zu LochMaster gehört eine Bibliothek der Layouts gängiger Experimentierboards, zu der wir das Layout der Elex-Experimentierplatine hinzugefügt haben. Das Elex-Layout steht auf der Elektor-Website [2] zum kostenlosen Download bereit. Um mit dem Elex-Layout arbeiten zu können, muss es in den Ordner „Board Layouts“ kopiert werden. Wenn über das Menü „File-New“ ein neues Projekt gestartet wird, öffnet LochMaster diesen Ordner, das gewünschte Layout lässt sich dann aus einer Liste auswählen.

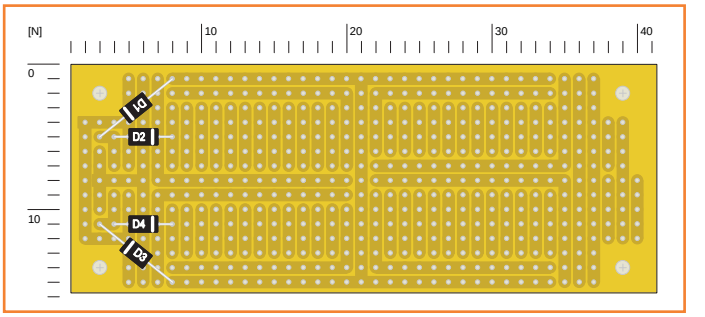
Der Funktionsumfang von LochMaster ist sicher nicht mit professionellen Platinen-Layoutprogrammen zu vergleichen, und manches mag noch verbesserungsfähig sein. Trotzdem ist dieses Programm eine nützliche Hilfe, von der auch das Elektor-Labor hin und wieder gern Gebrauch macht.

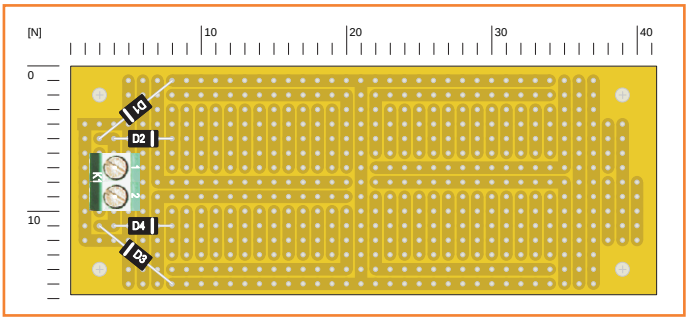
(120301)gd

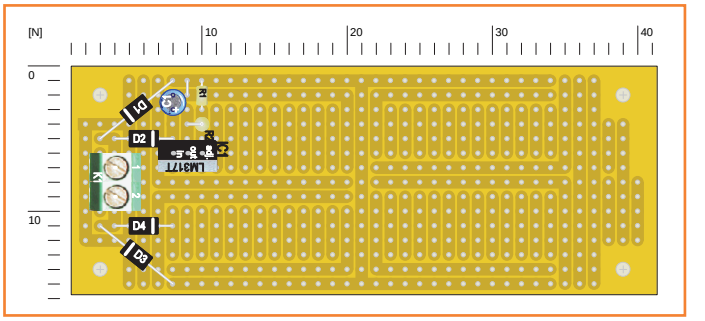
[1] www.abacom-online.de/uk/html/lochmaster.html

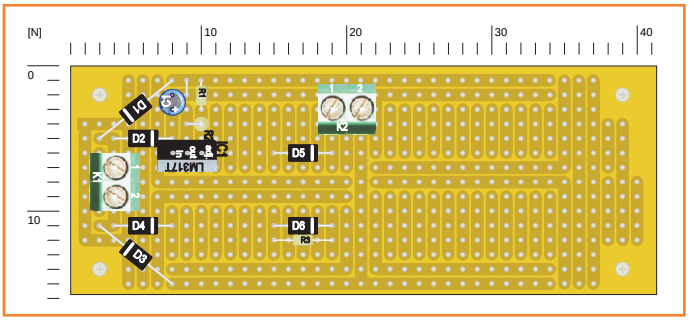
[2] www.elektor.de/120301

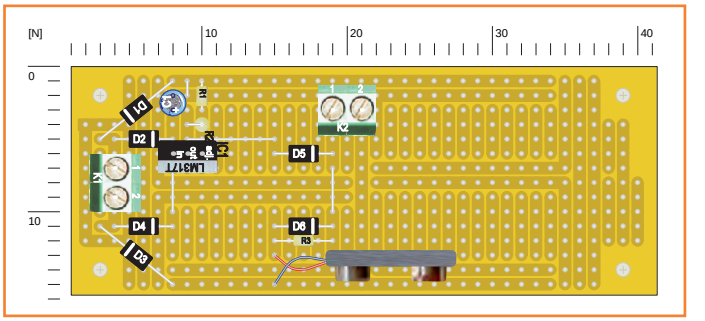












Monitor für Dreiwegeventil

Nach einer Idee von
Sybe Sijbesma (NL)

In den meisten Häusern ist heute eine so genannte Kombitherme installiert, die nicht nur für die Heizung über die Heizkörper zuständig ist, sondern auch das warme (heiße) Wasser für Küche und Bad liefert. Immer wenn ein Warmwasserhahn geöffnet wird, leitet ein Dreiwegeventil das Wasser aus dem Warmwasserkreislauf durch den Wärmetauscher im Kessel. Wenn dieses Ventil durch Verschleiß etwas leckt und so auch während der normalen Heizphasen etwas abgekühltes Wasser durch den Wärmetauscher fließt, dann kühlt auch das Wasser im Boiler ab. Dadurch werden die Aufheizzyklen verkürzt und somit zumindest teilweise Energie verschwendet. Während einer Aufheizphase ist die Temperatur im Vorlauf (Zufuhrleitung für Heizkörper) höher als im Rücklauf (Rückführleitung zum Boiler). In den Zwischenzeiten fallen die Temperaturen beider Leitungen gleichmäßig. Bei einem leckenden Ventil aber sinkt die Temperatur des Vorlaufs unter die des Rücklaufs. Diese Zusammenhänge werden durch die Temperaturverläufe bei gutem Dreiwegeventil (**Bild 1**) und bei leckendem Ventil (**Bild 2**) anschaulich dargestellt.
Wenn man nun Vor- und Rücklauf mit NTCs ausstattet, kann man Fehler im Dreiwegeventil feststellen. Die abgebildete Detektorschaltung aus **Bild 3** zeichnet sich durch besondere Einfachheit aus und besteht außer den NTCs aus nicht viel mehr als einem als Komparator geschaltetem Opamp des Typs TLC271. Er vergleicht die Temperatur der beiden NTCs, indem er die Spannung an der NTC-Halbbrücke mit der Referenz vergleicht, die durch Poti P1 eingestellt wird. Bei einem Fehler fällt die Temperatur am Heißleiter R5 (Vorlauf) zu

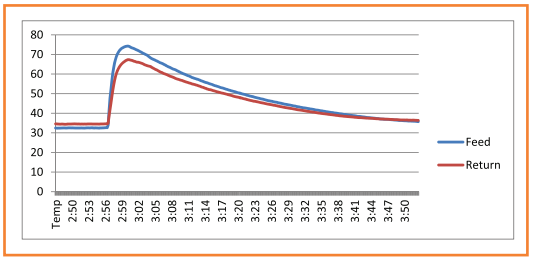


Bild 1. Bei korrekter Funktion des Dreiwegeventils ist die Temperatur des Vorlaufs immer höher als die des Rücklaufs.

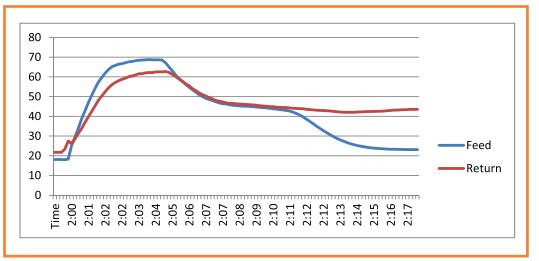


Bild 2. Bei einem fehlerhaften Ventil fällt die Temperatur des Vorlaufs unter die des Rücklaufs.

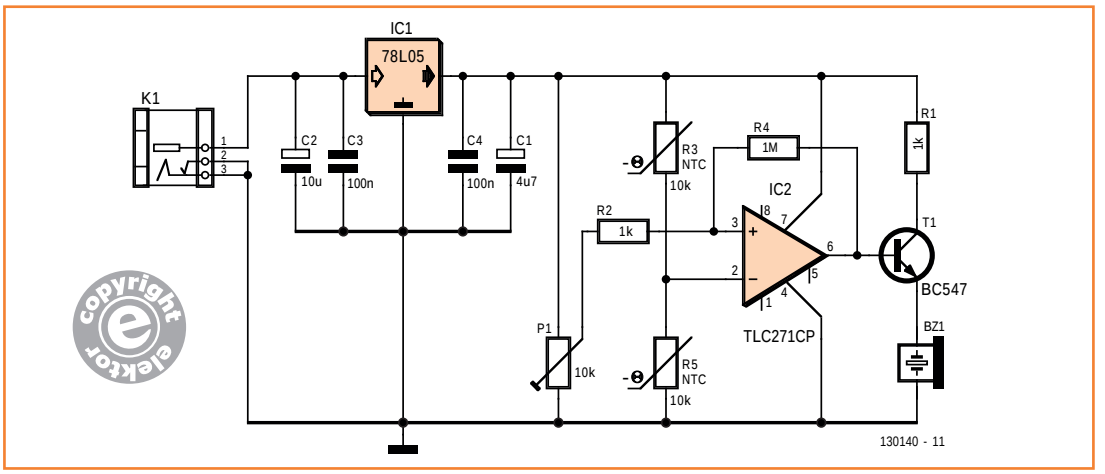


Bild 3.
Diese Schaltung vergleicht die Temperaturen von Vor- und Rücklauf. Wenn die Temperatur von R5 unter die von R3 fällt, ertönt ein Buzzer.

stark gegenüber der an Heißleiter R3 (Rücklauf). Dann sinkt die Spannung am invertierenden Eingang von IC2 unter den mit P1 eingestellten Wert und der Ausgang von IC2 wird „high“, was über T1 den Buzzer BZ1 zum Tönen bringt. Der zusätzliche 5-V-Spannungsregler sorgt dafür, dass die Elektronik mit beliebigen Steckernetzteilen arbeitet, die eine Gleichspannung zwischen 8 V und 15 V liefern. Die Stromaufnahme liegt bei unter 10 mA, auch wenn der Buzzer trötet.

Für die Schaltung gibt es zwar eine kleine Platine (**Bild 4**), doch ist sie so einfach, dass man sie auch leicht auf einem Stück Lochrasterplatine aufbauen kann. Die NTCs werden mit Hilfe von Kabelbindern nahe beim Kessel auf Vorlauf (R3) und Rücklauf (R5) angebracht.

(130140)

Weblinks

[1] www.elektor-magazine.de/130140

[2] www.elektor-labs.com/node/2944

Stückliste

Widerstände:

R1,R2 = 1 k
R3,R5 = 10 k, NTC
R4 = 1 M
P1 = 10 k, Trimmpoti, stehend

Kondensatoren:

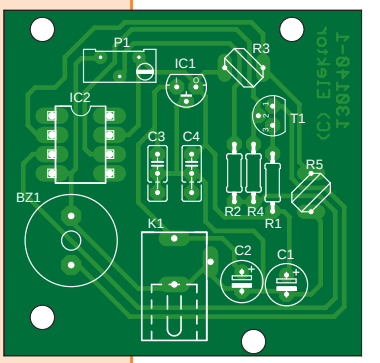
C1 = 4µ7/25 V, radial
C2 = 10 µ/25 V, radial
C3,C4 = 100 n

Halbleiter:

T1 = BC547B
IC1 = 78L05ACZ
IC2 = TLC271CP

Außerdem:

BZ1 = Buzzer, aktiv (integrierter Oszillator), z.B. Kingstate KPEG-200A
K1 = Hohlbuchse für Platinenmontage, z.B. DCJ0202
Platine 130140-1, Download via [1]



www.elektorpcbservice.com

Anzeige

Practical Digital Signal Processing using Microcontrollers

Neues Fachbuch in englischer Originalsprache

Dieses (englischsprachige) Buch zum Thema DSP (Digital Signal Processing) trägt der wachsenden Bedeutung zeitdiskreter Signale und ihrer Verwendung in alltäglichen Mikrocontrollersystemen Rechnung. Dem Autor gelingt die Präsentation der grundlegenden DSP-Theorie mit einem Minimum an Mathematik. Er führt in die Entwicklung und die Implementierung von DSP-Algorithmen auf der Basis von PIC-Mikrocontrollern ein. Der Autor pflegt einen praxisnahen Stil und sein Buch ist voll von ausgearbeiteten, getesteten und gut funktionierenden Beispielprogrammen.
Das Buch ist der ideale Lesestoff für Studenten aller Semester und für Ingenieure, die intelligente DSP-Systeme entwickeln wollen. Studenten finden darin nicht nur die Theorie, sondern auch praktische Projekte, welche die Basis für Abschlussarbeiten sein können. Auch Doktoranden ist das Buch eine große Hilfe für fortgeschrittene DSP-Projekte.

427 Seiten • Format 17 x 23,5 cm (kart.)
ISBN 978-1-907920-21-9

€ 49,90
CHF 61,90

Weitere Infos & Bestellung unter www.elektor.de

Isolationsprüfgerät Bendix 60B4-1-A

Megaohm, Hochspannung und Lichtbogen

Von
Chuck Hansen (USA)

Das Prinzip des Testens von Isolierungen geht so: Hält der zu prüfende Apparat einmal eine bestimmte Überspannung aus, dann kann er auch jede spezifizierte normale und abnormale elektrische Bedingung für den Rest seiner Lebens problemlos wegstecken.

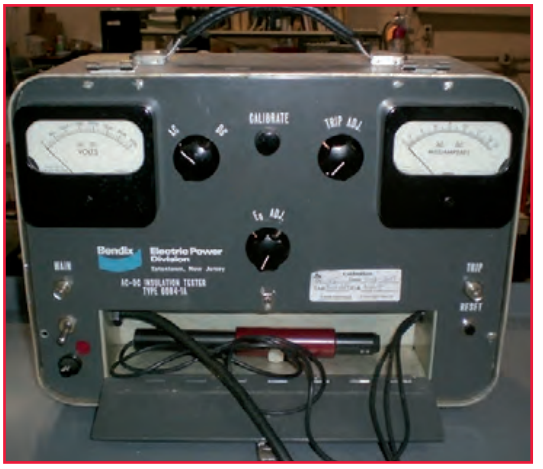


Bild 1.
Frontplatte des Isolationsprüfgeräts 60B4.

Die ursprüngliche Messmethode besteht daher in der Kombination eines hohe Wechselspannungen erzeugenden Netzteils mit einem externen Milliamperemeter, das den Leckstrom anzeigt. In den 1950er Jahren aber entwickelte die Firma Bendix einen vielseitigeren Isolationsprüfer. Das Ergebnis erhielt die Bezeichnung 60B4-1-A. Obwohl es ursprünglich für eigene Produktionstests gedacht war, stellte sich bald ein eigener Markt für dieses Gerät ein, da es sehr robust und fehlertolerant war. Selbst heute noch werden auf eBay vereinzelt 60B4-Exemplare angeboten.
Das Prüfgerät steckt in einem Aluminiumgehäuse mit einer einrastenden abnehmbaren Frontabdeckung. Der 41,5 x 26 x 20 cm große Apparat wiegt dank seiner drei großen Trafos heftige 13 kg. Für das dreiadrige Stromkabel und die drei Prüfspitzen als integraler Teil des Prüfers gibt es unten ein extra Fach. Das ergibt Sinn, denn so werden der Verlust der teuren Prüfspitzen und ihr unsicherer Ersatz z.B. durch Krokodilklemmen etc. mit ungeeigneter Isolierung vermieden (**Bild 1**).
Die Ausgangsspannung des 60B4 lässt sich im Bereich 0...3.500 V (Gleich- oder Wechselspannung) einstellen. Ebenfalls einstellbar von 2...15 mA ist eine Überstromsicherung. Was sich beim Testen tut, kann man anhand der Anzeige auf dem bis zu 3,5 kV reichenden Voltmeter und dem bis 15 mA messenden Amperemeter verfolgen.
Für die drei Prüfspitzen gilt folgendes: die schwarze Spitze ist eine gemeinsame Elektrode, die rote führt Gleich- und die gelbe Wechselspannung. Die in einem Bakelitrohr untergebrachte eigentliche Spitze aus Messing wird von einer Feder zurückgezogen, sobald man den weißen Knopf loslässt, mit dem man sie vorne heraus schiebt.
Der Drehschalter neben dem Voltmeter wählt zwischen dem Test mit AC oder DC. Der mit „TRIP ADJ." beschriftete Knopf neben dem Amperemeter dient zur Einstellung des Auslösestroms, ab dem ein Relais die angelegte Testspannung unterbricht. Dieser Strom wird im AC- und DC-Bereich folgendermaßen eingestellt:

1. Mit dem mit „E_O ADJ." beschrifteten Knopf des Stelltrafos 0 V einstellen.
2. Wenn die Lampe „TRIP" leuchtet, den Taster „RESET" darunter drücken.
3. Jetzt „TRIP ADJ." voll im Uhrzeigersinn aufdrehen.
4. Nun den Druckschalter „CALIBRATE" drücken und halten.
5. Langsam den Knopf „E_O ADJ." so weit aufdrehen, bis der gewünschte Strom am Amperemeter zu sehen ist.
6. Bei gedrückten Schalter „CALIBRATE" dann „TRIP ADJ." so weit langsam gegen den Uhrzeigersinn drehen, bis „TRIP" aufleuchtet.

Anforderungen von Luftfahrt & Militär

Die militärischen Anforderungen an die Flugzeugelektrik für Isolation und Hochspannungsfestigkeit führten zu folgendem Verfahren:

1. Ein erster Test des Isolationswiderstands erfolgt mit einem handbetriebenen Kurbelinduktor, der 500 V Gleichspannung generiert. Dieser kurz als „Megger" bezeichnete Apparat ist mit einer Skala für hochohmigen Widerstand versehen. Der Isolationswiderstand muss höher als ein bestimmter Wert ausfallen.
2. Anschließend wird die Isolation leitender Teile des Prüflings gegen einen Metallrahmen mit Hochspannung bei Netzfrequenz über eine gewisse Zeit geprüft. Bei elektronischen Steuerungen wird jeder einzelne Anschluss gegen das Gehäuse getestet.
3. Die Kondensatoren von Entstörfiltern und die Elektronik werden dazu abgetrennt, da diese Tests hier Schäden anrichten können. Bei der Elektronik werden Kurzschlussverbindungen verwendet, die alle aktiven Pins von Steckverbindungen miteinander und über eine extra Leitung mit dem Metallgehäuse verbinden. Die Testbedingung A betrifft die üblichen Prüfungen im Betrieb und die höher belastende Bedingung B lediglich die Abnahme des zu testenden Geräts.
   a. Schaltungen für 50 V und weniger: 500 V_{eff} für 1 m oder 600 V_{eff} für 5 s.
   b. Schaltungen für über 50 V: Doppelte Werte = 1 kV_{eff} für 1 m oder 120 % der 1-m-Spannung für 1 s.
   c. Kondensatoren und elektronische Teile sollten vor dem Einbau auf eine Spannungsfestigkeit geprüft werden, die der doppelten Gleichspannung der im normalen Betrieb zu erwartenden Spitzenspannung entspricht.
4. Geräte zum Betrieb am 28-V-Gleichspannungsnetz von Flugzeugen: Testbedingung A = 500 V_{eff} oder Testbedingung B = 600 V_{eff}.
5. Geräte zum Betrieb am dreiphasigen 115-V-Wechselspannungsnetz von Flugzeugen: Testbedingung A = 1.250 V_{eff} oder Testbedingung B = 1.500 V_{eff}. Dieser spezielle Wechselspannungstestpegel ist nötig, um bei einer Wechselspannungsquelle den Spannungsabfall auf den Leitungen zwischen dem geregelten Punkt mit 115 V und den Anschlüssen zu kompensieren. Alle Toleranzen zusammengenommen wird mit bis zu 5 V_{eff} gerechnet, was unter Umständen zu einer Spannung von bis zu 125 V am Ausgang führt. Daher die Testspannungen von 1.250 V_{eff} bzw. 1.500 V_{eff}.

ESTD 2004

Retronik ist eine monatliche Rubrik, die antiker Elektronik und legendären Elektor-Schaltungen ihre Referenz erweist. Beiträge, Vorschläge und Anfragen telegrafieren Sie bitte an Jan Buiting (editor@elektor.com).

Wie man leicht schließen kann, sind für diese Tests gelegentlich drei oder gar vier Hände gleichzeitig erforderlich. Es müssen nämlich zwei Prüfspitzen an die UUT (**U**nit **U**nder **T**est) gehalten und dann die Testspannung langsam hochgefahren werden, während gleichzeitig der Leckstrom beobachtet werden soll. Dies führt schnell zu zwar praktischen, aber dennoch unautorisierten Methoden, die sich automatisch zurückziehenden sicheren Prüfspitzen durch Krokodilklemmen zu ersetzen, die von selbst am UUT halten.

Wenn ein Hochspannungstest mit Wechselspannung durchgeführt wird, führt dies zwingend zu Leckströmen, da Kapazitäten von Wicklungen oder der Schaltung gegenüber dem Gehäuse unvermeidlich sind. Der Tester erhöht die Spannung langsam bis zum spezifizierten Wert.

Dabei kann es immer vorkommen, dass ein potentiell schadenträchtiger Durchbruch der Isolation passiert. Beim 60B4 sorgt die Überstromsicherung dafür, dass bei einem Funkenüberschlag größere Schäden an der Isolation vermieden werden. Ein solcher Funke kann nämlich eine Kohlenstoffspur an der Isolation hinterlassen oder gar direkt durchschlagen. Dem Tester ist es dann anheimgestellt, die Stelle zu finden, an dem der Überschlag stattfand, wozu man den Arbeitsplatz abdunkeln muss, um den Lichtbogen bei weiteren Tests sehen zu können.

Bendix versah die Prüfstände mit großen schwarzen Tüchern. Der Tester musste damit sich selbst und die UUT verhüllen, damit er bei einem erneuten Hochspannungstest den kurzen Lichtblitz des Funkens sehen konnte, um den Fehler in der Isolation aufzuspüren. Im Sommer war es unter diesen schwarzen Tüchern ziemlich warm, denn damals gab es noch keine Klimaanlagen in den Fertigungsstraßen.

Später gab es 60B4-Ausführungen mit motorgetriebener Einstellung von E_O, wodurch ein automatischer und zeitgesteuerter Spannungsanstieg wie bei einem Dimmer realisierbar war. Bei E_O handelt es sich ja um die Ausgangsspannung,

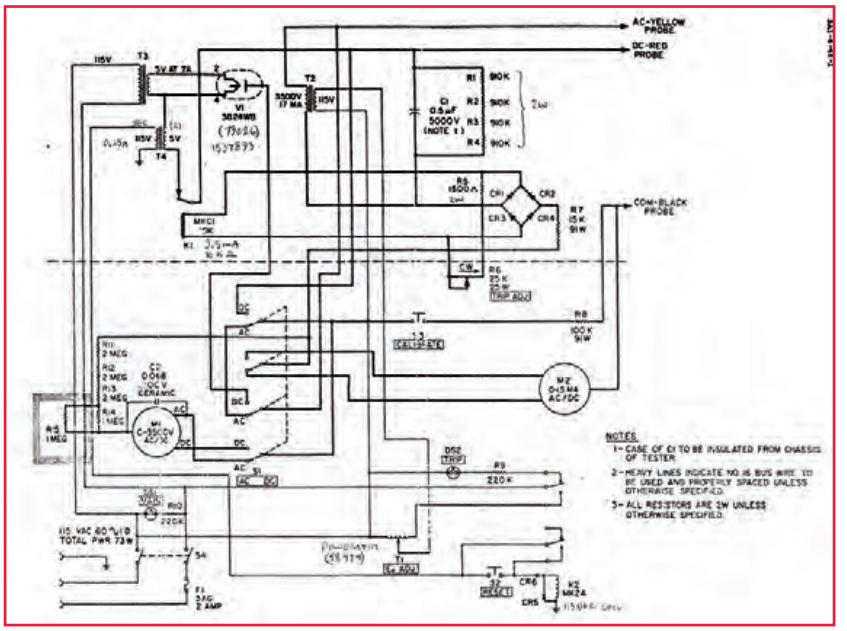


Bild 2.
Schaltung des Typs 60B4-1-A.

die mit dem Voltmeter erfasst wurde. Nachdem der Tester die maximale E_O für die UUT festgelegt hat, wurde ein Fußschalter für den Start und das Beenden des Hochspannungstests verwendet. Auf diese Weise konnte man sich besser auf das Aufspüren von Isolationsfehlern konzentrieren. Wenn ein UUT den Test mit Megger und Hochspannung überstanden hat, erfolgte ein weiterer Test mit dem Megger, damit sichergestellt war, dass der Hochspannungstest keinen latenten Fehler in der Isolation hinterlassen hat.

60B4-Innenleben

Bild 2 zeigt die Schaltung eines 60B4. Wenn der Netzschalter S4 geschlossen wird, liegt die Netzspannung an der Primärseite von T3, der 5 V Wechselspannung für die Heizung der Röhre V1 zur Verfügung stellt. Bei V1 handelt es sich um den Halbwellengleichrichter 3B24WB, der für eine Spitzenspannung von 20 kV und einen mittleren Strom von 60 mA ausgelegt ist. Damit wird die Hochspannung für den Test mit Gleichspannung erzeugt. Die im abgebildeten Gerät eingesetzte Röhre stammt von der Firma Cetron.

Die 5 V von T3 liegen außerdem auch an der Sekundärwicklung von T4. Dieser 115-V-Trafo ist verkehrt herum angeschlossen. Die 115 V der Primärwicklung gelangen über den Schließer von K1 zur Spule von Relais K2, wenn der Taster „RESET“ gedrückt wird. K2 wird weiter über seinen Schließer gehalten, sodass ein kurzer Tastendruck genügt. Der zweite Kontakt von K2 legt bei Auslösung die Spannung an die „TRIP“-Anzeige DS1 und beim Schließen an den Stelltrafo T1. Interessant ist, dass der untere Anschluss der Spule von K2 am Chassis und nicht an „N“ des versorgenden Netzes liegt.

Im Wechselspannungsmodus stellt T1 die einstellbare Primärspannung des Hochspannungstrafos T2 zur Verfügung, der für 3.500 V und 17 mA ausgelegt ist. Der Hochspannungsausgang der Sekundärwicklung ist direkt mit der gelben Prüfspitze verbunden. Die andere Seite ist in Serie mit R7 und den Wechselspannungsanschlüssen eines Brückengleichrichters aus CR1...CR4 geschaltet und liegt so am Mittenkontakt des Umschalters zwischen Gleich- und Wechselspannung S1. Über S1 fließt der Strom dann über das Amperemeter M2 und die schwarze gemeinsame Prüfspitze. Auf diese Weise kann mit einer einstellbaren Wechselspannung geprüft werden. Das Voltmeter M1 misst die eingestellte Wechselspannung. Die Gleichspannungsanschlüsse des Brückengleichrichters versorgen die Spule von K1. Dieses Relais dient als Überstromsicherung. Parallel dazu liegt eine Last aus R5 und dem für „TRP ADJ.“ zuständigen Poti R6. Wenn R6 auf minimalen Widerstand eingestellt ist, fließt mehr Strom durch R5. Bei hochohmigem R6 fließt mehr Strom durch die Spule von K1. Reicht der fließende Strom zum Anziehen von K1 aus, dann wird die 5-V-Leitung von T4 abgeschaltet. Dadurch kommen keine 115 V mehr von T4, was K2 abfallen lässt und T1 sowie in der Folge T2 spannungslos macht. Gleichzeitig leuchtet die „TRIP“-Anzeige.

Bei gedrücktem „CALIBRATE“-Schalter S3 wird R8 als Last an die schwarze Prüfspitze gelegt. R8 ist mit seinen 100 k bei 91 W ein richtiger Brummer. Bei 100 V fließen schon 1 mA an Strom über R8. Im Gleichspannungsmodus gelangt die Wech-

Über Bendix

Die Firma Bendix Red Bank Division (später Bendix Electric Power Division) in Eatontown, New York, war als Zulieferer für Stromversorgungen der Luftfahrindustrie tätig. Sie stellte Startergeneratoren, Motorgeneratoren, Wechselrichter, TRUs (**T**ransformer-**R**ectifier **U**nits), Leistungsumrichter und zugehörige Steuerungen hauptsächlich für Flugzeuge her. Teil der Anforderungen für Produktionstests war die Sicherstellung der Integrität der Isolation ihrer Produkte. Gute Isolation war zwischen den stromführenden Leitern und den Kernblechen bzw. Laminierungen in Rotoren und Statoren und gegenüber dem Gehäuse sehr wichtig.

selspannung an die andere Elektrode von V1. Die Halbwellengleichrichtung benötigt noch eine Siebung durch C1 und gelangt dann an die rote Prüfspitze. R1...R4 sind dazu da, C1 bei ausgeschaltetem Gerät zu entladen. Der Testgleichstrom folgt den gleichen Pfaden der Überstromsicherung wie beim Wechselstrom.

Volt- und Amperemeter sind Spezialanfertigungen mit drei Anschlüssen. Gleich- und Wechselspannung werden über S1 umgeschaltet an eigene Anschlüsse gegenüber dem gemeinsamen Anschluss gelegt.

Der gemeinsame –DC-Anschluss liegt an einer Kette Vorwiderstände aus R11...R15. Im Voltmeter ist ein Brückengleichrichter plus Widerstand enthalten, der die Unterschiede zwischen Gleich- und Wechselspannung nivelliert. Messwerk und paralleler 133-Ω-Widerstand sind direkt mit dem Gleichspannungsausgang des Brückengleichrichters verbunden. Wird mit S1 in den Wechselspannungs-Modus geschaltet, fließt der Strom über die AC-Anschlüsse des Gleichrichters, das Messwerk und die Vorwiderstände. Bei Gleichspannung liegt zwischen dem +DC-Eingang und dem AC-Anschluss ein zusätzlicher Serienwiderstand zur Nivellierung. Ab da fließt der Strom auf dem gleichen Pfad wie beim Wechselspannungs-Modus. Auch das Milliamperemeter M2 ist mit einem integrierten Brückengleichrichter versehen. Wie

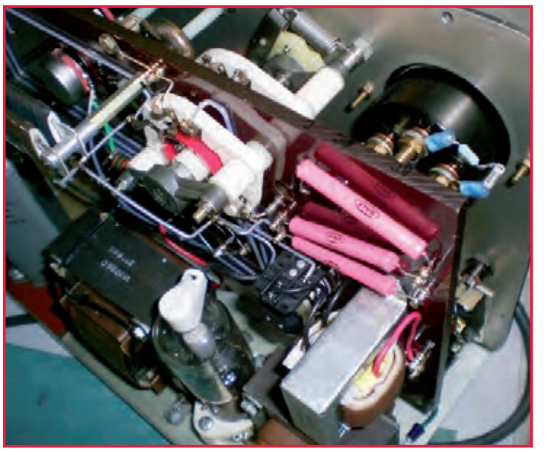


Bild 3.
Interne Konstruktion eines 60B4.

Anzeige

Workshop-DVDs
LabVIEW meets µC
NEU!
Eine praktische Einführung in LabVIEW

Das Programmpaket LabVIEW ermöglicht es, Messgeräte- und Prozesssteuer-oberflächen in kürzester Zeit auf dem PC zu entwerfen und zum Laufen zu bringen. Die notwendigen Kenntnisse für den Einstieg in LabVIEW sind gering – die erreichbaren Ergebnisse dagegen sehenswert.
In diesem neuen 2-teiligen Workshop erhält der Einsteiger im ersten Teil anhand von einfachen, praxisnahen Beispielen eine erste Übersicht über die Grundlagen und Entwicklungskonzepte von LabVIEW. Im Mittelpunkt des zweiten Teils steht dann die Realisierung einer ganz konkreten Anwendung.
Diese beiden DVDs enthalten den Videomitschnitt und die Dokumentation eines insgesamt 7-stündigen Workshops, den die Autoren des erfolgreichen Elektor-Mikrocontroller-Fernlehrgangs gehalten haben.

Inhalt:
• 7 Stunden Videomaterial auf 2 DVDs
• Die gesamte Präsentation als PDF-Datei
• Alle erstellten LabVIEW-Programme (LabVIEW-VIs)

ISBN 978-3-89576-281-9

€ 39,80
CHF 49,40

Weitere Infos & Bestellung unter www.elektor.de/shop

Workshop-DVD
Rückkopplung in Audioverstärkern
NEU!

Der erfolgreiche Audioentwickler und Fachbuchautor Jan Didden behandelt in diesem neuen Workshop die verschiedenen Aspekte der Rückkopplung in Audioverstärkern. Der Schwerpunkt liegt dabei in der einfachen Darstellung und Erklärung der Zusammenhänge – auch wenn beides nicht ganz ohne Mathematik zu erreichen ist. Außerdem erläutert der Autor die Vorteile, die man durch die Rückkopplung und ihren kleinen Bruder – die Fehlerkorrektur – erreichen kann. Aber auch die Grenzen und die Nachteile werden aufgezeigt. Der Workshop ist empfehlenswert für Audioentwickler und ambitionierte Hobby-Elektroniker.

DVD-Inhalt:
• 135 Minuten Videomaterial
• Gesamte Präsentation als PDF
• Komplettes Verstärker-Design
• Über 100 Seiten zusätzliche PDFs

ISBN 978-3-89576-275-8

€ 29,80
CHF 37,00

Weitere Infos & Bestellung unter www.elektor.de/shop

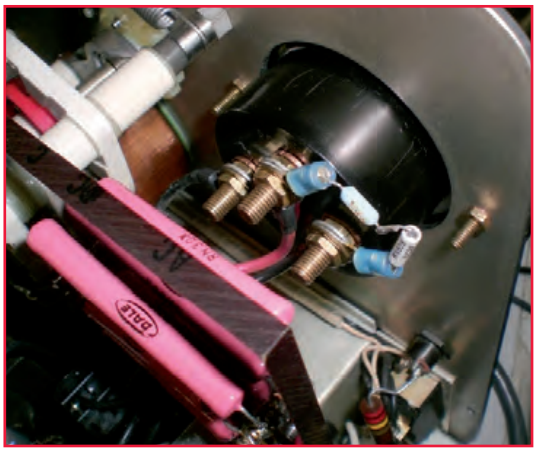


Bild 4.
Weitere innere Details.

beim Voltmeter gibt es getrennte AC- und DC-Anschlüsse und auch hier fließt der Gleichstrom über den Gleichrichter. Der Gleichrichter wird vom Messwerk und einem parallelen Shunt-Widerstand belastet.

Interner Aufbau

Bild 3 zeigt die innere Konstruktion des Isolationstesters 60B4. Der Hochspannungsgleichrichter 3B24WB ist zwischen den beiden Festspannungstrafos angeordnet. Diese Trafos wurden von der Firma Thordarson speziell für Bendix angefertigt. Der kleinere 5-V-Trafo ist ein Standard-Exemplar. Alle anderen Bauteile sind auf einer dicken Platte aus Micarta, einem mit Phenolharz getränktem Gewebe, untergebracht. Bei den Leistungswiderständen der Firma Dale rechts handelt es sich um die Vorwiderstände R11...R15 für das Voltmeter M1, das sich direkt davor auf der Alu-Frontplatte befindet. Das Relais K1 befindet sich unter diesen Widerständen neben dem kleinen Trafo.
Die hintere Ebene des Hochspannungsdrehschalters S1 in der Mitte des Bildes wurde von der Bendix-Abteilung für Messgeräte aus Scheiben und Zylindern aus Aluminiumoxid gebaut. Bendix Red Bank war zwischen 1951 und 1962 sogar im Röhrengeschäft tätig und setzte dort häufig Aluminiumoxid für Röhrensockel ein [1]. Der Schalter ist mit einer gekerbten Nylonscheibe samt gefedertem Mitnehmer für die Frontplatte ausgestattet, der die Schaltpositionen (AC und DC) anzeigt.
Beim großen Öl-Kondensator unten links handelt es sich um den Siebkondensator C1. Die beiden großen Drahtwiederstände R7 und R8 mit ihren 91 W sind mit langen hexagonalen Abstandshaltern oberhalb von C1 montiert. Direkt davor befindet sich der Poti für „TRIP ADJ.“. Der „CALIBRATE“-Druckschalter samt Stößel ist vor dem Abstandshalter zu sehen.
Die Windungen zum Abgriff der Spannung des Stelltrafos T1 sind in **Bild 4** unterhalb der weißen Frontebene von S1 zu sehen. Die Bezeichnungen „C“, „DC“ und „AC“ der Voltmeteranschlüsse sind mit Epoxid-Tinte auf die obere Kante der Micarta-Platte aufgebracht. Man kann auch gut die korrespondierenden Anschlussleitungen des Voltmeters sehen. Die Glimmlampe samt Widerstand, Netzschalter und Sicherung befinden sich unten rechts direkt neben dem Fach für die Prüfspitzen. Das vorliegende Exemplar war eine Besonderheit, denn es war wohl einmal eine neue Kalibrierung des Voltmeters erforderlich. Das hierzu nötige Öffnen des Voltmetergehäuses, um an den internen Anpassungswiderstand zu kommen, war sicher nicht trivial. Auf der Rückseite innen sind nämlich die beiden ¼-W-Metallfilm-Widerstände und vier 1N4002-Dioden in Brückenschaltung untergebracht. Man muss die Teile für eine Erneuerung an der Anzeigemechanik vorbei lancieren. Der reparierende Techniker traf die kluge Entscheidung, die neuen Widerstände außen zwischen den AC- und DC-Anschlüssen anzubringen. Das wird die Sache für die nächste Kalibrierung deutlich einfacher machen.
Zum Schluss soll noch erwähnt werden, dass das 60B4 nicht für Tests nach den internationalen Sicherheitsstandards IEC60950-1 oder IEC60601-1 zugelassen ist.

(130251)

Schockierend!

Vielleicht erinnern Sie sich an die typischen mit fünf Röhren bestückten Mittelwellenempfänger der 1940er und 1950er Jahre. Damals war es üblich, die Spannung für die in Serie geschalteten Heizwicklungen und die Anodenspannung direkt aus der Netzspannung abzuleiten (110 V oder 220 V). In den USA waren Netzstecker nicht gepolt und Steckdosen mit drei Polen waren selten. Von daher lag in 50 % der Steckfälle die Phase des Netzes am inneren Metallgehäuse. Wenn dann jemand aus Versehen in das Gehäuse fasste, konnte er einen heftigen elektrischen Schlag ab bekommen. Radiobesitzer waren also durchaus gelegentlich unfreiwillig als Isolationsprüfer aktiv.

Literatur

[1] *A Brief History of Bendix Red Bank Tubes,* Charles Hansen, ISBN 1-882580-50-8, Audio Amateur Press/Old Colony Sound Labs (heute *„audioXpress“*, eine Zeitschrift von Elektor International Media).

Hexadoku Sudoku für Elektroniker

Auch in 2014 gibt es für alle Rätselfreunde wieder jede Ausgabe ein frisches Hexadoku. Gerade am Anfang des Jahres, wenn es draußen richtig fiesen Schneematsch gibt, sollte man es sich drinnen gemütlich machen. Und der Rätselspaß wird auch noch belohnt: Wer uns die richtigen Ziffern in den grauen Kästchen zuschickt, kann einen von fünf Buchgutscheinen gewinnen!

Die Regeln dieses Rätsels sind ganz einfach zu verstehen: Bei einem Hexadoku werden die Hexadezimalzahlen 0 bis F verwendet, was für Elektroniker und Programmierer ja durchaus passend ist. Füllen Sie das Diagramm mit seinen 16 x 16 Kästchen so aus, dass alle Hexadezimalzahlen von 0 bis F (also 0 bis 9 und A bis F) in jeder Reihe, jeder Spalte und in jedem Fach mit 4 x 4 Kästchen (markiert durch die dickeren schwarzen Linien) **genau einmal** vorkommen. Einige Zahlen sind bereits eingetragen, was die Ausgangssituation des Rätsels bestimmt. Wer das Rätsel löst - sprich die Zahlen in den grauen Kästchen herausfindet - kann wie jeden Monat einen Hauptpreis oder einen von drei Trostpreisen gewinnen!

Mitmachen und gewinnen!

Unter allen internationalen Einsendern mit der richtigen Lösung verlosen wir einen **Eurocircuits/Elektor-PCB-Service-Gutschein im Wert von 100 €** und drei **Elektor-Bücher-Gutscheine im Wert von je 50 €**.

Einsenden

Schicken Sie die Lösung (die Zahlen in den grauen Kästchen) per E-Mail, Fax oder Post an:
Elektor – Redaktion – Süsterfeldstr. 25 – 52072 Aachen
Fax: 0241 / 88 909-77 E-Mail: hexadoku@elektor.de
Als Betreff bitte nur die Ziffern der Lösung angeben!
Einsendeschluss ist der 28. Februar 2014!

Die Gewinner des Hexadokus aus der November-Ausgabe stehen fest!

Die richtige Lösung ist: **E75F4**.
Der Eurocircuits/Elektor-PCB-Service-Gutschein im Wert von 100 € geht an: Christian Basler aus Wenzenbach.
Einen Elektor-Gutschein über je 50 € haben gewonnen: Håkan Jönsson, Wojtek Stoduly und Ciril Zalokar.
Herzlichen Glückwunsch!

					B					C					
F		B						8	3	0	9	2	7		A
	2						9	1			F				B
	4	C	8	0	2	5	7	E	6	A			9		
5	7					2	B	9			C				
			9		3		A	0	1					5	7
			E			9		5	A		6		3	0	
D			2	C	5	8							A	B	
	9	8							F	5	A	6			C
	3	D		2		A	E		8			7			
7	A					3	8	B		E		4			
				9			D	2	C					A	8
		3			1	E	5	C	0	F	8	B	4	9	
8				7			C	6						3	
B		9	1	A	8	F	3						5		6
					D					7					

5	1	B	2	8	E	0	D	6	9	C	4	7	A	3	F
3	4	9	A	6	F	7	1	D	B	E	0	8	5	C	2
8	C	E	7	A	4	B	5	F	1	2	3	D	0	6	9
0	F	D	6	2	9	C	3	5	8	7	A	4	B	1	E
4	D	7	1	B	A	8	2	E	C	9	6	5	F	0	3
9	3	F	E	C	7	1	0	4	5	B	8	A	2	D	6
2	5	0	B	9	6	E	F	7	A	3	D	1	8	4	C
6	8	A	C	3	5	D	4	0	F	1	2	E	7	9	B
7	E	C	8	D	0	4	9	2	6	F	1	B	3	5	A
F	0	6	3	7	1	A	8	B	E	4	5	C	9	2	D
D	9	1	5	E	2	3	B	C	0	A	7	6	4	F	8
A	B	2	4	F	C	5	6	3	D	8	9	0	1	E	7
B	2	4	9	0	D	6	7	A	3	5	E	F	C	8	1
C	A	3	D	1	B	2	E	8	4	0	F	9	6	7	5
E	7	5	F	4	8	9	C	1	2	6	B	3	D	A	0
1	6	8	0	5	3	F	A	9	7	D	C	2	E	B	4

Der Rechtsweg ist ausgeschlossen. Mitarbeiter der in der Unternehmensgruppe Elektor International Media B.V. zusammengeschlossenen Verlage und deren Angehörige sind von der Teilnahme ausgeschlossen.

45 Experimente mit Hard- und Software für Elektroniker

1 Raspberry Pi

Dieses Buch beschreibt 45 spannende und interessante Projekte mit Raspberry Pi, wie zum Beispiel ein Wechselblinklicht, eine Motorregelung, Erzeugen und Verarbeiten analoger Signale, ein digitales Thermometer, ein Lichtmesser. Aber auch kompliziertere Projekte wie eine Motor-Geschwindigkeitsregelung, ein Webserver mit CGI (Common Gateway Interface) und Client-Server-Programme werden vorgestellt. Sie können dieses Buch als Projektbuch verwenden und die Projekte nachbauen, um sie dann in der Praxis einzusetzen.

271 Seiten (kart.) • ISBN 978-3-89576-273-4
€ 39,80 • CHF 49,40

Grundlagen für Visual Basic-Einsteiger und VB6-Umsteiger

2 VB Express 2010

Dieses Buch unterstützt den Anwender bei den ersten Schritten mit Visual Basic, in dem es sich auf die Werkzeuge der Toolbox und deren Eigenschaften konzentriert, die zum Schreiben praktisch verwertbarer Programme notwendig sind. Zu jedem Thema findet der Leser ausführlich kommentierte Beispielprogramme, die er selbst ausprobieren kann und die sich auf das Mindeste beschränken, was zum Starten der Software notwendig ist.

284 Seiten (kart.) • ISBN 978-3-89576-269-7
€ 34,80 • CHF 43,20

LCD-Graphik II, verkettete Strukturen II und die Fädelsprache LAX

3 AVR-Programmierung 4

In diesem neuen vierten Band der erfolgreichen Buchreihe zur Programmierung von AVR-Mikrocontrollern wird die LCD-Graphik aus Band 3 weiterentwickelt. Hinzu kommen das Füllen von Polygonen, die Zuordnung von Pixelkoordinaten zu Graphikobjekten und die Verwendung des Displays als Textfenster. Aufbauend auf der Darstellung der inneren Mechanik von Fädelsprachen im vorigen Band wird außerdem die Fädelsprache LAX vorgestellt und implementiert.

320 Seiten (kart.) • ISBN 978-3-89576-232-1
€ 46,00 • CHF 57,10

Arrays und serielle Daten

4 LabVIEW 2

Der zweite Band der LabVIEW-Lehrbuchreihe beschäftigt sich u.a. mit Arrays, Cluster und den seriellen VISA-Funktionen. Als Erstes werden vier neue zusammengesetzte Datentypen (Enum, Ring, Array, Cluster) vorgestellt und deren Verwendung wird anhand zahlreicher praktischer Beispiele und Übungen erläutert. Danach wird es praktisch: Ein 8051er-Mikrocontrollersystem dient dabei als Datenquelle und -senke für verschiedene LabVIEW-VIs.

248 Seiten (kart.) • ISBN 978-3-89576-274-1
€ 34,80 • CHF 43,20

Der professionelle Ratgeber für Funkempfangstechnik

5 Funkempfänger-kompendium

NEU

Wollten Sie schon immer wissen, wie sich die klassische Funkempfängertechnik fortentwickelt hat? Wie funktionieren professionelle Funkempfänger heute und was können sie leisten? Welche Empfangssysteme und Techniken stehen heute zur Verfügung? Möchten Sie

auch ausgefallene Anwendungen von Empfängern kennenlernen und wissen, wie ein Software Defined Radio (Digitalempfänger) nun wirklich funktioniert und was der letzte Stand der entsprechenden Technik kann? In diesem Buch findet man die Antworten!

397 Seiten (geb.) • ISBN 978-3-89576-276-5
€ 49,00 • CHF 60,80

Schaltungsprojekte für Profis

6 Arduino

Für den großen Erfolg der Arduino-Plattform lassen sich zwei Ursachen finden. Zum einen wird durch das fertige Board der Einstieg in die Hardware enorm erleichtert; der zweite Erfolgsfaktor ist die kostenlos verfügbare Programmieroberfläche. Unterstützt wird der Arduino-Anwender durch eine Fülle von Software-Bibliotheken. Die täglich wachsende Flut von Libraries stellt den Einsteiger vor erste Probleme. Nach einfachen Einführungsbeispielen ist der weitere Weg nicht mehr klar erkennbar, weil oft detaillierte Projektbeschreibungen fehlen. Hier setzt dieses Buch an. Systematisch werden Projekte vorgestellt, die in verschiedene Themengebiete einführen. Dabei wird neben den erforderlichen theoretischen Grundlagen stets größter Wert auf eine praxisorientierte Ausrichtung gelegt.

270 Seiten (kart.) • ISBN 978-3-89576-257-4
€ 39,80 • CHF 49,40

Taschenbuch für Elektronik und Elektrotechnik

7 Formelsammlung

Diese „Formelsammlung" beinhaltet alle wichtigen Details für Ingenieure, Techniker, Meister und Facharbeiter in der Elektrotechnik und Elektronik, die in Forschung, Entwicklung und Service tätig sind. Die logische Gliederung in zehn Kapitel vereinfacht das Nachschlagen und Aufsuchen der gewünschten Themen. In den einzelnen Kapiteln finden Sie immer die notwendigen mathematischen und physikalischen Formeln sowie die wichtigsten Tabellen.

271 Seiten (kart.) • ISBN 978-3-89576-251-2
€ 29,80 • CHF 37,00

30 Projekte in C für Fortgeschrittene

8 ARM-Mikrocontroller 2

Die im Buch beschriebenen Projekte mit dem mbed-Board sind für Einsteiger in C und ARM-Mikrocontroller ausgelegt. Der mbed NXP LPC1768 nutzt Cloud-Technologie, ein revolutionäres Konzept in der Software-Entwicklung.

Es bedeutet, dass man keinerlei Software auf seinem PC installieren muss, um den mbed zu programmieren. Das Einzige, was Sie brauchen, ist ein Webbrowser mit Internetzugang und einen freien USB-Anschluss an Ihrem PC.

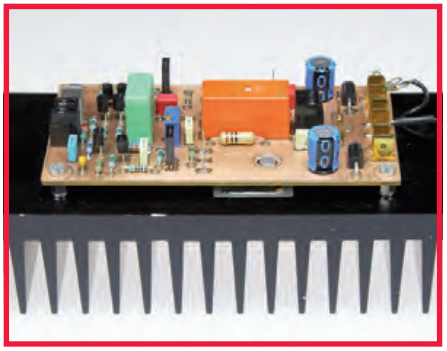
243 Seiten (kart.) • ISBN 978-3-89576-271-0
€ 39,80 • CHF 49,40

Weitere Informationen zu unseren Produkten sowie das gesamte Verlagssortiment finden Sie auf der Elektor-Website:

www.elektor.de/shop

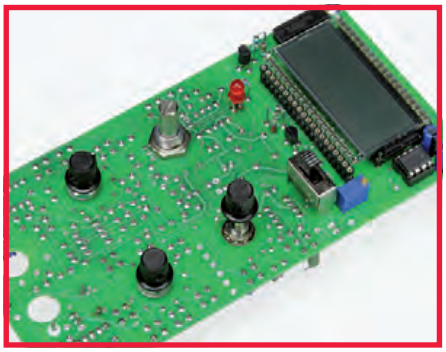
Elektor-Verlag GmbH
Süsterfeldstr. 25
52072 Aachen
Tel. +49 (0)241 88 909-0
Fax +49 (0)241 88 909-77
E-Mail: bestellung@elektor.de

Nächsten Monat in Elektor



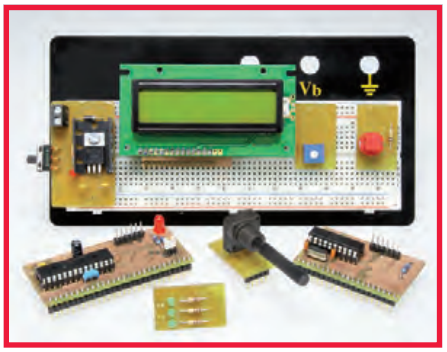
Kleine Audio-Endstufe

Ein kleiner Audio-Verstärker mit bescheidener Leistung, aber dennoch guten Spezifikationen, ist für viele Audio-Anwendungen nützlich. Denken Sie nur an ein aktives Zwei- oder Drei-Wege-Lautsprechersystem, wobei die Leistungsverstärker samt Spannungsversorgung im Boxengehäuse untergebracht sind. Der Verstärker basiert auf klassischen Schaltungen, die ihre Qualität in der Vergangenheit schon bewiesen haben. Das Design ist kompakt und bietet Platz für Erweiterungen.



Regelbare Gleichstromquelle

Eine einstellbare Stromquelle ist ein sehr nützliches Werkzeug für den Test von Dioden, Zener-Dioden und LEDs. Aber auch zur Bestimmung der Helligkeit einer LED oder zur Messung der Strom-Spannungs-Charakteristik einer Z-Diode kann eine solche Messvorrichtung nützlich sein, vorausgesetzt, das Messgerät ist hinreichend genau. Das Instrument bietet 20 Messbereiche von 10 nA bis 20 mA und zeigt das Resultat in einem eingebauten 3½-stelligen Voltmeter mit zwei Bereichen.



Mini-Steckboard-Module

Viele Elektronik-Entwickler nutzen Steckboards für den Aufbau von Versuchsschaltungen, so dass sie ausgiebig damit experimentieren können. Dabei kommen oft die gleichen Teilschaltungen zum Einsatz. Damit man sie nicht jedes Mal neu aufbauen muss, kann man Standardmodule entwerfen, die nahezu auf jedes Steckboard passen. So lassen sich im Handumdrehen eine Spannungsversorgung, ein Mikrocontroller, eine Anzeige und weitere Module zur Testschaltung hinzufügen.

Änderungen vorbehalten. Elektor März 2014 erscheint am 26. Februar 2014. Verkaufsstellen findet man unter: www.pressekaufen.de.

Rund um die Uhr und sieben Tage die Woche

Projekte, Projekte, Projekte:
www.elektor-labs.com
Machen Sie mit!

CIRCUIT CELLAR / AUDIOXPRESS / ELEKTOR

reichelt.de elektronik

✓ über **45 Jahre Erfahrung** ✓ über 45.000 Produkte am Lager
✓ schneller 24-Std.-Versand ✓ kein Mindermengenzuschlag

Kundenbewertungen

97.51% zufriedene Kunden
4.88 / 5.00

Mehr als 97% unserer Kunden sind vom **reichelt**-Service überzeugt*
*Quelle: Shopauskunft.de (02.12.2013)

TRMS-Digital-Multimeter

Echteffektiv-Multimeter mit umfangreichem Funktionsumfang und berührungsloser Spannungsmessung (NCV).

- Anzeigeumfang: 2000 Counts
- Grundgenauigkeit: 0,5%
- Gummiertes Holster
- Automatische Bereichswahl
- inkl. Batterien, Messleitungen, und Bedienungsanleitung

UNI-T

UT 139A **34,95**

Digital-Speicher-Oszilloskop

mit extra großem Full-Color LCD-Display

UNI-T

REDUZIERT
399,- ~~499,-~~
UTD 2102 CM R

- Display: 7"/17,7 cm, 800 x 480 Pixel
- Abtastrate: 1 GS/s
- Anstiegszeit: <3,5 ns
- Speichertiefe: 16 Mpts
- Schnittstellen: USB, USB Host, Pass/Fail
- inkl. 2 Tastköpfen, Netzkabel, USB-Kabel, PC Software, Bedienungsanleitung

7"-Full-Color LCD | 100 MHz | 2 Kanäle

TRMS-Multimeter

CEM

- ☑ 40.000 Counts
- ☑ Grundgenauigkeit: 0,06 %
- ☑ IP67, wasserdicht
- ☑ Wireless-USB-Port

Drahtlose Messdaten-übertragung an einen PC

- Anzeige: 4 1/2-stellig
- 2 Zusatzanzeigen (4.000) sowie Bargraph
- Automatische/manuelle Bereichswahl
- umfangreiche Multimeterfunktionen sowie Zusatzfunktionen
- Daten-Speicher- und Lesefunktion (9999 Speicher)
- inkl. Transportkoffer, Wireless-USB-Empfänger, Sicherheitsmessleitungen mit Prüfspitzen, K-Type-Adapter, K-Type-Temperaturmessleitung, Bedienungsanleitung

CEM DT-9939 **139,-**

AC/DC-Spannungsprüfer

UNI-T

VoltStick mit LCD

Multifunktions-Spannungstester zur schnellen und einfachen Prüfung.

- Anzeige mit LED und LC-Display sowie akustischem Signal
- AC/DC-Spannungstest: 0 - 690 V
- Zwei- und einpoliger Spannungstest
- Durchgangstest
- Drehfeldprüfung
- Zuschaltbares LED-Arbeitslicht
- Schutzart: IP 65

UT 15C **34,95**

TrueRMS Stromzange

mit Leistungsmessung und USB

CEM

Universalmessgerät für Spannung, Strom, Frequenz, Leistung, Leistungsfaktor, Phasenwinkel in Ein- und Dreiphasen-Stromnetzen.

- Max. Messleiter-Durchmesser: 55 mm
- Bereichswahl: Automatisch
- Anzahl Datenspeicher: 99
- inkl. Tasche, Sicherheitsprüfleitungen, USB-Kabel, Software, Batterie und Bedienungsanleitung

- ☑ Grundgenauigkeit: 0,5 %
- ☑ min/max Speicher
- ☑ Data Hold-Funktion

CEM DT-3353 **119,-**

Jetzt bestellen: **www.reichelt.de**
Bestell-Hotline: **+49 (0)4422 955-333**

Für Verbraucher: Es gelten die gesetzlichen Widerrufsregelungen. Alle angegebenen Preise in € inklusive der gesetzlichen MwSt., ab Lager Sande, zzgl. Versandspesen für den gesamten Warenkorb. Es gelten ausschließlich unsere AGB (unter www.reichelt.de/agb, im Katalog oder auf Anforderung). Zwischenverkauf vorbehalten. Alle Produktnamen und Logos sind Eigentum der jeweiligen Hersteller. Abbildungen ähnlich. Druckfehler, Irrtümer und Preisänderungen vorbehalten. reichelt elektronik GmbH & Co. KG, Elektronikring 1, 26452 Sande (HRA 200654 Oldenburg)

Preisstand: 11. 12. 2013
Tagesaktuelle Preise:
www.reichelt.de