

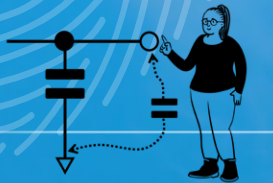
SMARTE ROLLADENSTEUERUNG

Jalousiebedienung im Smart Home

IM FOKUS

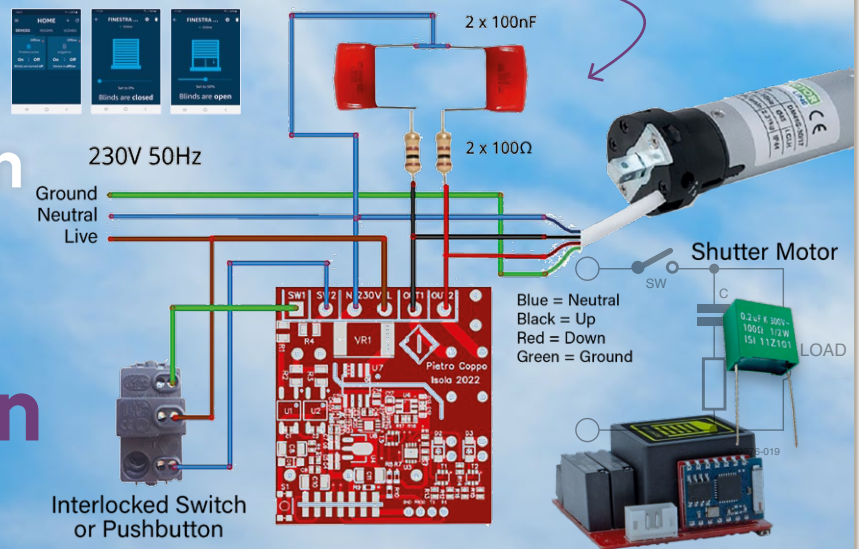
IoT und Sensoren

Wie funktionieren kapazitive Touch-Sensoren?



Ein ELEKTRONIK-ARBEITSBEREICH

für sensorbasierte Lösungen, Lehre und Forschung



Wärmebildkamera HT-03



Sensor+Test 2024
und PCIM 2024



Treten Sie jetzt der Elektor Community bei!



Jetzt



Mitglied werden!



- ✓ Zugang zum kompletten Online-Archiv (1970-heute)!
- ✓ 8x Elektor Magazin (gedruckt)
- ✓ 8x Elektor Magazin (PDF)
- ✓ 10% Rabatt im Elektor Store und exklusive Angebote
- ✓ Zugriff auf über 5.000 Gerber-Dateien u.v.m. aus der Projektplattform Elektor Labs



Auch erhältlich

Die digitale
Mitgliedschaft!



- ✓ Zugang zum kompletten Online-Archiv
- ✓ 8x Elektor Magazin (PDF)
- ✓ 10% Rabatt im Elektor Store und exklusive Angebote
- ✓ Zugriff auf über 5.000 Gerber-Dateien u.v.m. aus der Projektplattform Elektor Labs

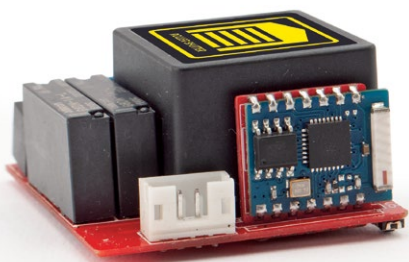


www.elektormagazine.de/Abonnement



INHALT

- 3 Impressum
- 4 Sensor+Test 2024 und PCIM 2024
- 6 **Smarte Rollladensteuerung**
Jalousiebedienung im Smart Home



- 18 **Wärmebildkamera HT-03**
- 20 **Wie funktionieren kapazitive Touch-Sensoren?**
- 26 **Ein Elektronik-Arbeitsbereich für sensorbasierte Lösungen, Lehre und Forschung**



C. J. Abate

Content Director, Elektor

Bonus: Mehr IoT und Sensorik für Sie!

Jedes Jahr erstellt, rezensiert und veröffentlicht Elektor mehr IoT- und Sensorik-Inhalte, als in ein einziges gedrucktes Heft passen würden. Das ist auch in diesem Jahr nicht anders. In dieser Bonusausgabe bieten wir Ihnen zusätzliche Inhalte, die Sie begeistern werden. Stellen Sie (nach der Lektüre dieser Ausgabe) auch Ihre eigenen Projekte auf der Plattform Elektor Labs vor (www.elektormagazine.de/labs).

Elektor-Chefredakteur Jens Nickel berichtet über seine Reise zur Sensor+Test 2024 und PCIM 2024, die vom 11. Juni bis 13. Juni 2024 in Nürnberg stattfanden. In dem Artikel beschreibt er einige der Technologien und Demos, die seine Aufmerksamkeit erregten, von Unternehmen wie S4sensors, MindCet und CAE Software und Systems. Der Rest der Bonusausgabe enthält ein interessantes Projekt, einen aufschlussreichen Hintergrundartikel, eine hilfreiche Rezension und beschreibt einen inspirierenden Elektronik-Arbeitsbereich!

Besuchen Sie die Elektor-Seite *IoT und Sensoren* (www.elektormagazine.de/iot-sensoren), um noch mehr Projekte, Berichte und Hintergrundartikel kennenzulernen. Derzeit stellen wir auf elektormagazine.com englischsprachige Hub-Seiten zusammen zu den folgenden Themen: Arduino, Schaltungen, Embedded & KI, Power & Energie, Espressif, IoT & Sensoren, Prototyping & Produktion, Raspberry Pi, Testen & Messen und Drahtlose Kommunikation. In den kommenden Wochen werden wir auch auf unseren deutschen, niederländischen und französischen Webseiten solche Hub-Seiten zu diesen Themen einrichten. Viel Spaß!

Unser Team

Chefredakteur: Jens Nickel (v.i.S.d.P.) | **Redaktion:** Asma Adhimi, Roberto Armani, Eric Bogers, Jan Buiting, Stuart Cording, Rolf Gerstendorf (RG), Ton Giesberts, Ouafae Hassani, Hedwig Hennekens, Saad Imtiaz, Alina Neacsu, Dr. Thomas Scherer, Jean-Francois Simon, Clemens Valens, Brian Tristam Williams | **Regelmäßige Autoren:** David Ashton, Tam Hanna, Ilse Joostens, Prof. Dr. Martin Ossmann, Alfred Rosenkränzer | **Grafik & Layout:** Harmen Heida, Sylvia Sopamena, Patrick Wielders | **Herausgeber:** Erik Jansen | **Technische Fragen:** redaktion@elektor.de

IMPRESSUM

55. Jahrgang, Nr. 602B
BONUS-Ausgabe Juli/August 2024

Das Elektor Magazin wird 8 Mal im Jahr herausgegeben von
Elektor Verlag GmbH
Lukasstraße 1, 52070 Aachen (Deutschland)
Tel. +49 (0)241 95509190
www.elektor.de | www.elektormagazine.de

Für alle Ihre Fragen
service@elektor.de

Mitglied werden
www.elektormagazine.de/abo

Anzeigen

Büsa Kas
Tel. +49 (0)241 95509178
busra.kas@elektor.com
www.elektormagazine.de/mediadaten

Urheberrecht

© Elektor International Media b.v. 2024

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.

Sensor+Test 2024 und PCIM 2024

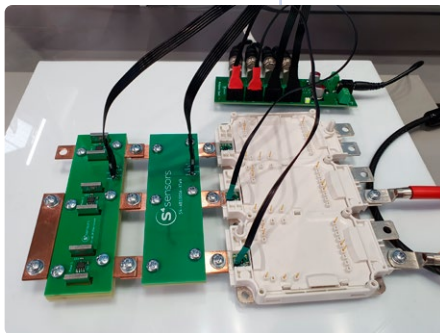
Von Jens Nickel (Elektor)

Vom 11. bis 13. Juni 2024 fanden in Nürnberg drei Messen statt: Die Sensor+Test [1], die PCIM Europe [2], die sich mit Leistungselektronik beschäftigt, und die SMTconnect (Surface Mount Technology). Elektor-Chefredakteur Jens Nickel war vor Ort, um nach interessanten Neuheiten Ausschau zu halten. Seine persönliche Auswahl ist wie immer nur ein kleiner Ausschnitt aller Innovationen auf diesen Messen.

S4sensors

Auf der Sensor+Test entdeckte ich eine Demo von S4sensors, einem Halbleiterunternehmen, das auf 3D-Positionssensoren und Strommessgeräte spezialisiert ist. Auf der linken Seite sind drei Hall-Sensor-ICs zu sehen. Das Besondere an ihnen ist die hohe laterale Empfindlichkeit, die durch eine spezielle Fertigungstechnik des Hallsensor-Bereichs im Inneren des ICs erreicht wird. In jedem Chip befinden sich sogar zwei Hall-Sensorflächen, was Differenzmessungen und damit eine höhere Immunität gegen Streufelder ermöglicht.

<https://s4sensors.com>



InfraTec

Auch die öffentlichen Veranstaltungen waren einen Besuch wert. Der deutsche IR-Sensorik-Spezialist InfraTec erteilte eine interessante Lehrstunde darüber, was die Wärmebildtechnik alles kann. Eines der Beispiele war ein Einblick in das iPhone 6, bei dem die Abdeckung des Touch-ID-Sensors für IR-Wellen transparent ist (links). Die Wärmebildtechnik kann mikroskopische Details enthüllen (rechts).

www.infratec.de/thermografie/waermebildkameras



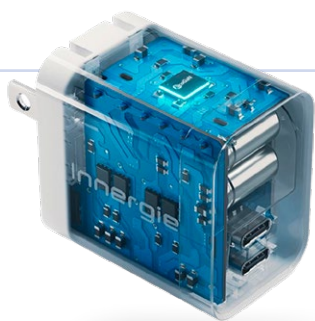
CAE-Software und Systems

Eins meiner Lieblingsstücke: Die akustischen Kameras der deutschen Firma CAE Software und Systems, die ein Bild von Schallquellen erzeugen, wobei die Farben den Schallpegel symbolisieren (großes Bild). In der Tat hätte ich da einige Anwendungen im Bereich Audio im Sinn. Aber der Hauptzweck dieser Visualisierungstechnik ist die Wartung von Maschinen und Anlagen,

um zum Beispiel Lecks in Gasleitungen zu erkennen. In der schwarzen „Kamera“ links steckt ein Array von (marktüblichen) Mikrofonen, ein FPGA sorgt für die Visualisierung des Klang- „Bildes“, das hier mit einem Videobild überlagert ist. Die brandneue SoundCam Ultra 3 dieser Firma (kleines Foto) ist ein Handheld-Gerät und fügt in einer dritten Ebene sogar ein thermografisches Bild hinzu.

www.cae-systems.de





ROHM Semiconductor

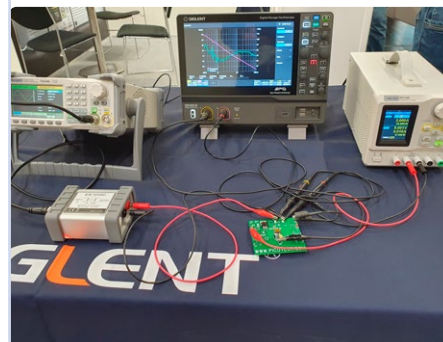
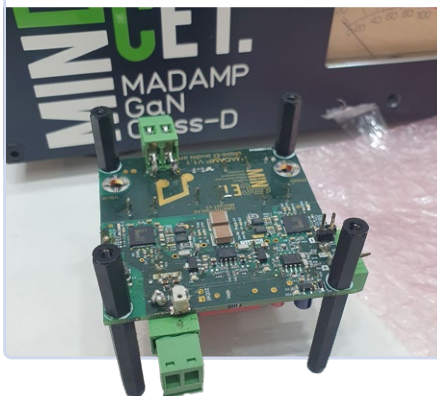
Auf der PCIM war GaN natürlich ein großes Thema. ROHM stellte seine EcoGaN-Familie von GaN-Transistoren der 150-V- und 650-V-Klasse mit hoher Elektronenbeweglichkeit (HEMTs) sowie mehrere Evaluierungskits vor. Diese FETs sind für Leistungsschaltungen und Hochfrequenzanwendungen bestimmt. Die EcoGaN-Bauelemente finden sich auch in Endprodukten für Verbraucher, wie diesem 45-W-USB-C-Ladegerät von Innergie, einer Marke von Delta Electronics.

www.rohm.com/pcim

MindCet

Natürlich habe ich auch die Jungs von MindCet besucht, die derzeit in Zusammenarbeit mit Elektor einen Audioverstärker entwickeln. Die Mono-Verstärkerplatine Madamp wird die Vorteile von GaN-Leistungstransistoren aufzeigen, die von den Gate-Driver-ICs MDC901 des belgischen Unternehmens angesteuert werden. Bei besserem Wirkungsgrad ist ein kompakteres Design möglich. Mehr über den Madamp demnächst in Elektor!

www.mindcet.com/asic-products



Siglent

Der Messgerätehersteller Siglent zeigte das hochauflösende Zweikanal-Oszilloskop SDS1202X HD mit Bode-Diagramm-Aufzeichnung. Das Herzstück der neuen Oszilloskop-Serie SDS1000X HD sind die 12-Bit-ADCs mit 2 GSamples/s. Die Geräte sind mit Bandbreiten von 100 MHz und 200 MHz sowie zwei und vier Analogkanälen erhältlich.

<https://tinyurl.com/siglent-oscilloscopes>

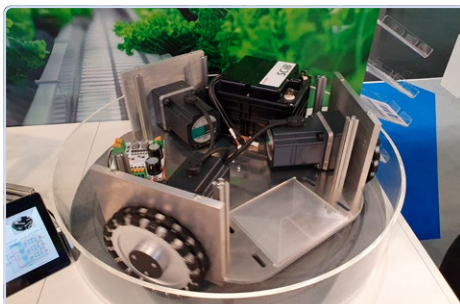
Qorvo



Auch bei den Sicherungskästen geht der Trend hin zu Halbleiterkomponenten. Der Halbleiterhersteller Qorvo präsentierte einen SiC-JFET mit einem minimalen Widerstand von nur 4 mΩ, der herkömmliche Sicherungen ersetzen kann. Einen Teil ihres Standes widmeten die Amerikaner ihrem Simulationsprogramm QSPICE. Der Entwickler Mike Engelhardt selbst demonstrierte diesen kostenlosen und leistungsfähigen SPICE-basierten Simulator in der Praxis.

www.qorvo.com/newsroom/trade-shows/pcim

<https://p.qorvo.com/qspice-simulator.html>



Toshiba

Eine platzsparende und attraktive Demo: Das rotierende *Omnivheel Automated Guided Vehicle* verfügt über eine integrierte 24-V-SCiB-Batterie mit 556 Wh Kapazität, die in 20 Minuten aufgeladen werden kann (3 C). Eine Cortex-M4F-CPU

mit 160 MHz, B6-Brücken-Gate-Treiber mit automatischer Totzeitoptimierung und UMOS-X-Leistungs-MOSFETs (alle von Toshiba) steuern die drei Motoren.

<https://tinyurl.com/toshiba-pcim>
www.global.toshiba.com/products-solutions/battery/scib.html

WEBLINKS

[1] Sensor+Test - Die Messtechnik-Messe: <https://www.sensor-test.de>

[2] PCIM Europe Expo: <https://pcim.mesago.com/nuernberg/en.html>

RG - 240333-02



Rolladensteuerung

Jalousiebedienung im Smart Home

Von Maurizio Škerlić (Italien)

Heutzutage werden Anwendungen zur Hausautomatisierung immer häufiger von leistungsstarken sprachgesteuerten Webplattformen wie Google oder Alexa gesteuert. Mit diesem Projekt können Sie die motorisierten Rollläden in Ihrem Haus entweder über einen dieser Sprachassistenten oder über eine App steuern. Die Verbindung erfolgt über WLAN und die Firmware basiert auf dem Server Sinric Pro.

In diesem neuen Hausautomatisierungsprojekt, das wir *Smarte Rollladensteuerung* genannt haben, stellen wir ein intelligentes Gerät vor, das elektrische Rollläden über Amazon Alexa, Google Assistant oder eine Smartphone-App steuern kann. Die Installation erfordert keinerlei Änderungen an der elektrischen Anlage, geschweige denn den Austausch des Rollladenmotors oder bereits vorhandener selbstsperrender Tasten oder Schalter.

Das Gerät muss lediglich entsprechend verkabelt werden, und in wenigen Minuten haben Sie Ihren Rollladen in ein intelligentes Gerät verwandelt. Dank seiner geringen Größe passt es in jede runde oder – mit entsprechenden Adaptern – rechteckige Elektroinstallationsdose. Diese können 3D-gedruckt werden; die passenden Dateien können von der Elektor Labs Website zu diesem Projekt heruntergeladen werden [2].

Der Schaltplan

Um das Projekt zu analysieren, werfen wir einen Blick auf den Schaltplan in **Bild 1**. Wir beginnen mit dem ESP03-Modul (U5), das auf dem Mikroprozessor ESP8266 mit 32-Bit RISC-Architektur von Espressif

Electronica In
WWW.ELETRONICA.IT

basiert. Er arbeitet mit einer Taktfrequenz von 80 MHz und verfügt über 1 MB Flash-Speicher. Die Schaltung wird von einem integrierten Schaltnetzteil (TR1) mit 5 V bei 1 A versorgt. Die Ausgangsspannung dieses Netzteils wird durch U4, einen linearen NPC1117-Spannungsregler, auf 3,3 V verringert. Die 5-V-Schiene wird durch die keramischen Mehrschicht-Kondensatoren C4, C5 und C8 gefiltert, 3,3-V-Leitung durch die Kondensatoren C6, C7, C9, C11 und C12. Diese Kondensatoren sind entscheidend, um zufällige Systemabstürze zu vermeiden. Der Espressif-Prozessor reagiert nämlich sehr empfindlich auf Spannungseinbrüche, elektromagnetische Einstrahlungen (EMI) und übermäßige Welligkeiten, wie sie typisch sind für Schaltnetzteile, insbesondere die kostengünstigen Varianten. Dies ist oft die Ursache für Funktionsstörungen bei Projekten von Einsteigern, die sich zum ersten Mal an ESP-Prozessoren versuchen, insbesondere wenn Prototypen auf Steckbrettern montiert sind und die Verbindungen mit Jumperkabeln chaotisch und schlampig erfolgen oder wenn aus Eile oder Nachlässigkeit die Stromversorgung nicht mit Kondensatoren entkoppelt oder gefiltert wird.

Pin 10 (GPIO 12, SDA) und Pin 11 (GPIO 13, SCL) des ESP03 werden für die I²C-Kommunikation mit dem PCA9536 IC (U3) von Texas Instruments, einem 4-Bit Input-Output-Portexpander, und mit dem 18-Bit-Analog-Digital-Wandler MCP3421 (U6) von Microchip verwendet. Beachten Sie, dass nicht weniger als sieben Versionen dieses Chips auf dem Markt sind, die sich nur in ihren I²C-Adressen unterscheiden. Unsere Version mit der Bezeichnung MCP3421A1 reagiert auf die I²C-Adresse 0x69. Wenn Sie diesen Typ nicht finden, können Sie problemlos einen mit einer anderen I²C-Adresse verwenden, aber Sie müssen den Sketch entsprechend anpassen. Beim MCP3421A2

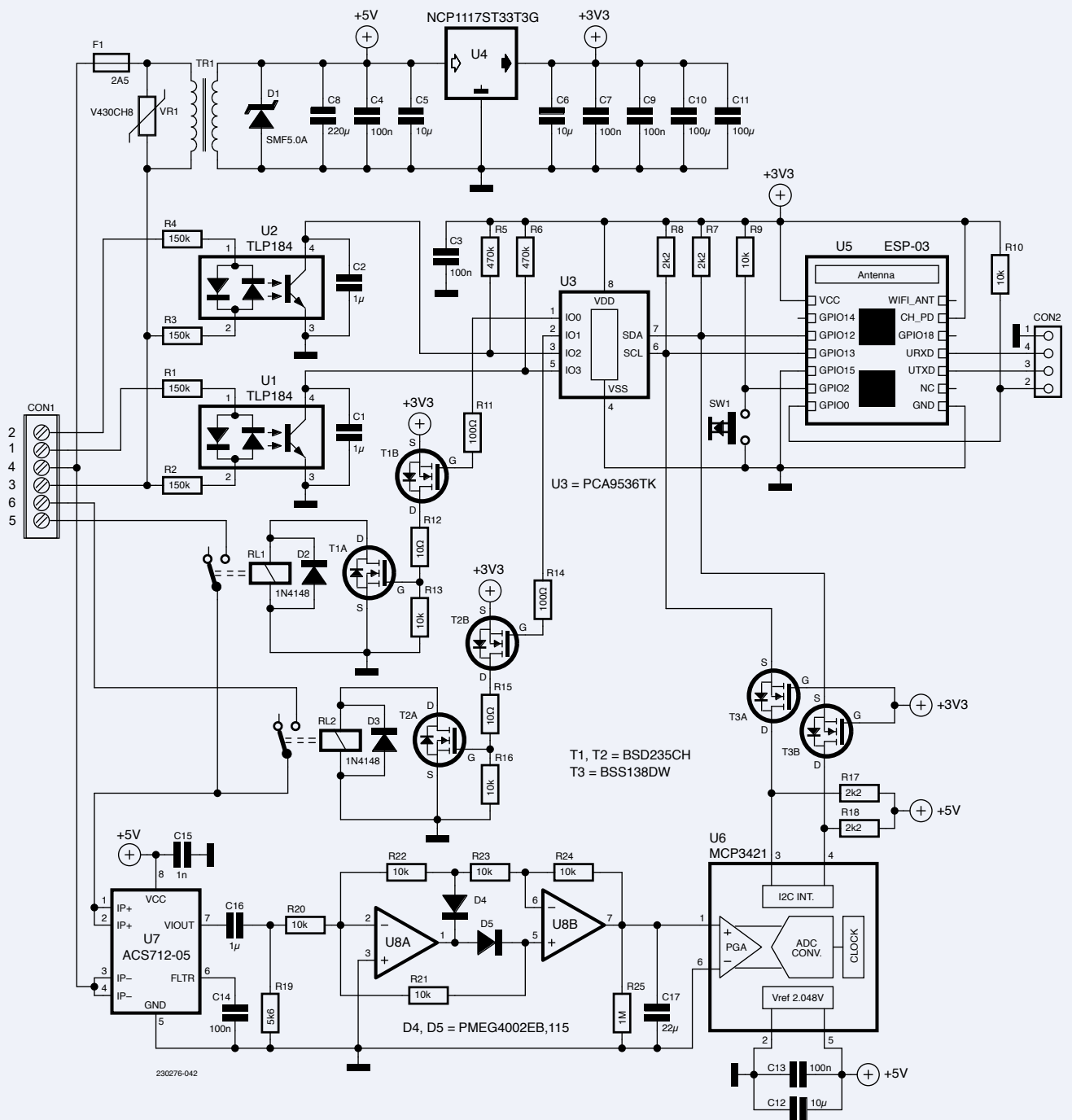


Bild 1. Schaltung des Projekts.

beispielsweise ersetzen Sie „xxx“ in der binären Adresse 1101xxx durch die Adressbits des Chips, wie sie durch die letzten beiden Werte des Chipnamens definiert sind. In unserem Fall ist dies A2, was der Adresse 2 entspricht und binär als 010 ausgedrückt wird. Die I²C-Adresse wird so zu 1101010, was 0x6A im Hexadezimalsystem entspricht (**Bild 2**).

Wir analysieren nun den wichtigsten Teil unseres Geräts, der die Position des Rolladens ohne die Hilfe eines Positionssensors ermittelt. Dies geschieht nämlich dank eines Hall-Effekt-Stromsensors ACS712 von Allegro Microsystems (U7), der das Abschalten des Motors erkennt, sobald der Endschalter ausgelöst wird. Es ist vor allem bei der Kalibrierung unverzichtbar, um die Zeit zu messen, die der Rollladen zum Schließen und Öffnen benötigt. Dieser Chip wird in drei Versionen

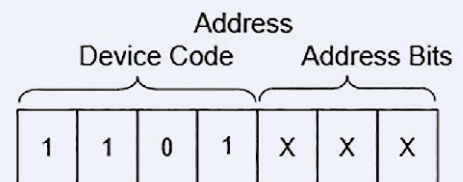


Bild 2. Bestimmung der I²C-Adresse des A/D-Wandlers MCP3421.

angeboten, die sich nach dem maximal erfassbaren Strom richten: 30 A mit einer Empfindlichkeit von 66 mV/A, 20 A mit einer Empfindlichkeit von 100 mV/A und 5 A mit einer Empfindlichkeit von 185 mV/A. Für unseren Prototyp haben wir die 5-A-Version des Sensors gewählt,

Der Halleffekt-Sensor ACS712

Quelle: Datenblatt ACS712 von Allegro Microsystem (Übersetzung)

Der ACS712 von Allegro bietet wirtschaftliche und präzise Lösungen für die Messung von Wechsel- oder Gleichstrom in industriellen, kommerziellen und Kommunikationssystemen. Das Gehäuse des Bausteins ermöglicht eine einfache Implementierung durch den Kunden. Zu den typischen Anwendungen gehören Motorsteuerung, Lasterkennung und -management, Schaltnetzteile und Überstromfehlerschutz. Das Bauteil ist nicht für Automobilanwendungen geeignet. Das Bauteil besteht aus einem präzisen, linearen Hall-Schaltkreis mit geringem Offset und einem Kupferleitungspfad, der sich nahe der Oberfläche des Chips befindet. Der durch diese Kupferleitung fließende Strom erzeugt ein Magnetfeld, das das Hall-IC in eine proportionale Spannung umwandelt. Die Genauigkeit des Geräts wird durch unmittelbare Nähe des magnetischen Signals zum Hall-Wandler optimiert. Das BiCMOS-Hall-IC mit niedrigem Offset und Chopper-Stabilisierung liefert eine präzise, proportionale Spannung, die nach der Fertigung auf Genauigkeit eingestellt wird. Das Ausgangssignal des Bauteils hat eine positive Steigung ($>V_{IOUT}(Q)$), wenn ein zunehmender Strom durch den Kupferleitpfad (von Pin 1 und Pin 2 zu Pin 3 und Pin 4) fließt. Dieser Pfad wird für die Stromabtastung verwendet. Der Innenwiderstand dieser Leiterbahn beträgt typischerweise 1,2 m Ω und sorgt so für eine nur geringe Verlustleistung. Die Dicke des Kupferleiters ermöglicht es, dass das Bauteil bis zu 5-fachen Überstrom überlebt. Die Anschlüsse des Kupferleitpfades sind von den Signalleitungen (Pin 5 bis Pin 8) elektrisch isoliert. Dadurch kann der ACS712 in Anwendungen eingesetzt werden, die eine elektrische Isolierung erfordern, ohne dass Opto-Isolatoren oder andere kostspielige Isolierungstechniken eingesetzt werden müssten. Der ACS712 wird in einem kleinen, oberflächenmontierbaren SOIC8-Gehäuse geliefert. Die folgende Tabelle beschreibt die Funktion der acht Pins.

Pin-Nummer	Name	Beschreibung
1 und 2	IP+	Stromsensor-Eingang (+)
3 und 4	IP-	Stromsensor-Eingang (-)
5	GND	Masse-Referenz-Pin
6	Filter	Externer Kondensator zur Bandbreiteneinstellung
7	V_{out}	Analoger Ausgang
8	V_{cc}	Versorgungsspannung Eingang

Merkmale und Vorteile

- › Rauscharmer analoger Signalpfad
- › Bandbreite wird über den neuen FILTER-Pin eingestellt
- › 5 μ s Ausgangsanstiegszeit als Reaktion auf einen Eingangsstromsprung
- › 80 kHz Bandbreite
- › Gesamter Ausgangsfehler 1,5% bei $T_A = 25^\circ\text{C}$
- › Kleine Grundfläche, flaches SOIC-8-Gehäuse
- › 1,2 m Ω interner Leitungswiderstand
- › 2,1 kV $_{eff}$ Mindestisolationsspannung von Pins 1-4 zu Pins 5-8
- › 5,0-V-Betrieb mit einer Versorgungsspannung
- › 66...185 mV/A Ausgangsempfindlichkeit

da er mit der höchsten Empfindlichkeit von 185 mV/A die präziseste Stromerkennung bietet. Obwohl es viele Sensoren mit unterschiedlichen Empfindlichkeiten und Funktionen gibt, haben wir den ACS712 aufgrund seiner guten Verfügbarkeit ausgewählt. Dieser Sensor misst den Wechselstrom, der durch seine Pins 1-2 und 3-4 fließt, wandelt ihn in eine Spannung um, die proportional zu 185 mV/A ist und stellt diese Spannung an Pin 7 zur Verfügung. Der Ausgang des Sensors wird dann vom Operationsverstärker MCP6402 (U8) verarbeitet, der als doppelter Halbwellen-Gleichrichter geschaltet ist. Damit steht hinter U8B an Pin 7 der Effektivwert (RMS) des Wechselstroms zur weiteren Verarbeitung zur Verfügung.

Das gleichgerichtete Signal wird an den Analog-Digital-Wandler (U6) weitergeleitet. Da der ACS712 mit 5 V arbeitet, muss das gleichgerichtete Signal auch von Bauteilen mit 5-V-Versorgung weiterverarbeitet werden. Dies ist sowohl bei U8 als auch beim A/D-Wandler U6 der Fall. Das ESP03-Modul, das über den I²C-Bus mit dem A/D-Wandler kommuniziert, arbeitet jedoch mit einem logischen Pegel von nur 3,3 V. Deshalb sind zwischen Controller und A/D-Wandler Pegelwandler in Form eines doppelten N-Kanal-MOSFETs (T3) und den vier Widerständen (R7, R8, R17 und R18) geschaltet. Diese Widerstände fungieren auch als Pull-up-Widerstände für den I²C-Bus. So ist eine stabile Kommunikation zwischen allen Beteiligten gewährleistet.

Der Port-Expander (U3) steuert über Pin 1 (IO0) und Pin 2 (IO1), die als Ausgänge konfiguriert sind, den Motor. Die als Eingänge konfigurierten Pin 3 (IO3) und Pin 5 (IO4) werden zur Erfassung der Rollladentastenbetätigung eingesetzt. Die Widerstände R5 und R6 halten diese Eingänge auf high, wenn kein Tastendruck erfolgt, wenn also die Transistoren in den Optokopplern (U1 und U2) sperren und fungieren gleichzeitig als Strombegrenzungswiderstände für die Transistoren in den Optokopplern. Die Kondensatoren C1 und C2 stabilisieren diese Anordnung.

Von den Rollladen-Tastern (Up und Down) gelangt 230-V-Netzspannung an Pin 1 und Pin 2 des Steckverbinders CON1. Diese „Hochspannung“ wird durch die antiparallel geschalteten LEDs in den Optokopplern (U1 und U2) sicher isoliert. Die Strombegrenzungswiderstände (R1, R2 für U1 und R3, R4 für U2) schützen diese Bauteile vor zu hohem Strom. Der Taster SW1 ist mit Pin 9 (GPIO2) des ESP03-Moduls verbunden und wird durch den Widerstand R9 auf high gehalten. Dieser Taster hat eine wichtige Funktion: Wenn Sie das gespeicherte Systempasswort vergessen, wird durch Drücken des Tasters SW1 das Passwort auf den Standardwert „123456789“ zurückgesetzt.

Pin 1 und Pin 2 des Port-Expanders PCA9536 (U3) werden verwendet, um über zwei N-Kanal- und P-Kanal-Doppel-MOSFETs T1 und T2 (jeweils in einem einzigen Gehäuse) zwei elektromechanische Relais anzusteuern. Diese Relais schalten schließlich den Motor. Um die MOSFETs vor Spannungsspitzen der Relaispulen zu schützen, wenn diese stromlos werden, sind die Freilaufdioden D2 und D3 parallel zu den Relaispulen geschaltet. Diese Dioden absorbieren und leiten die potenziell schädlichen induktiv bedingten Überspannungen ab und schützen die MOSFETs vor Schäden durch diese Hochspannungstransienten.

In unserem Aufbau wird Aufwärtssteuerung des Rollladen-Getriebemotors an Pin 5 (OUT1) von CON1 und die Abwärtssteuerung an Pin 6 (OUT2) angeschlossen. Der UP-Taster wird mit Pin 1 (SW1) und der DOWN-Taster mit Pin 2 (SW2) verbunden. Die (permanente) Netzspannung schließlich gehört an Pin 3 (Neutralleiter N) und an an Pin 4 (Außenleiter L).

Es werden mehrere Schutzkomponenten verwendet: Ein Varistor (VR1) und eine Sicherung (F1) bieten Schutz gegen Überspannung beziehungsweise Überstrom. Zusätzlich schützt eine unidirektionale Transil-Diode (D1) die Schaltung vor zu hohen Ausgangsspannungen, die durch einen Fehler in der Stromversorgung herrühren könnte. Diese Kombination von Schutzelementen sorgt dafür, dass die Schaltung auch unter ungünstigen elektrischen Bedingungen robust und zuverlässig bleibt.

Praktischer Aufbau

Bevor wir mit dem praktischen Aufbau beginnen, sollte erwähnt werden, dass die Platine möglichst klein gehalten werden musste, damit sie in die meist verwendeten Modulgehäusen der bestehenden Rollladensteuerung passt. Um alle Bauteile unterzubringen, mussten wir einige oberflächenmontierbare Bauteile in winzigen 0201-Gehäusen verwenden. Trotzdem verlangt der Zusammenbau der Schaltung keine überirdischen Fähigkeiten oder extreme Präzision. Hier sind unsere Empfehlungen der Werkzeuge und Mittel, die man für einen ordentlichen Aufbau benötigt:

- > **Lötwerkzeuge:** Verwenden Sie einen LötKolben mit feiner Spitze und einer Leistung von 20...25 Watt sowie einen dünnen Lötdraht, vorzugsweise nicht dicker als 0,7 mm im Durchmesser
- > **Flussmittel:** Wählen Sie ein hochwertiges Flussmittel, das nur minimale Rückstände hinterlässt. Ein Flussmittel mit niedriger bis mittlerer Dichte ist für dieses Projekt ideal
- > **Pinzette:** Verwenden Sie eine Pinzette mit feiner Spitze, vorzugsweise aus nichtmagnetischem Edelstahl, Kunststoff oder Keramik, um die kleinen Bauteile zu handhaben. Magnetische Pinzetten können an den Bauteilen haften, was die Platzierung erschwert

Wenn Sie die doppelseitige Leiterplatte selbst herstellen möchten, finden Sie auf der Elektor-Labs-Webseite zu diesem Projekt [1] die Gerber-Dateien, die für die Fotolithografie geeignet sind, sowie die Firmware für das Projekt. Beim Bestücken der Leiterplatte:

- > Beginnen Sie mit den Halbleitern und achten Sie dabei auf die richtige Ausrichtung gemäß Bestückungsplan
- > Fahren Sie mit den kleinsten passiven Bauelementen fort und arbeiten Sie sich dann zu den größeren vor
- > Verzinnen Sie das ESP03-Modul (U5) auf seiner Adapterplatine,

bevor Sie es, um Platz zu sparen, vertikal montieren, wie in **Bild 3** gezeigt

- > Die Befolgung dieser Schritte garantiert einen reibungslosen und erfolgreichen Zusammenbau der Smarten Rollladensteuerung.
- > Der letzte Schritt besteht in der Bestückung der durchkontaktierten Bauteile wie Anschlussklemmen, Relais und Schaltnetzteil

Wenn Sie Schwierigkeiten bei der Beschaffung der Schottky-Diode PMEG4002EB,115 (D4 und D5) haben, bietet das Platinenlayout eine Alternative: die Doppel-Schottky-Diode BAT54 im SOT-323-Gehäuse. Dabei muss man allerdings auf die richtige Version achten: Das Suffix der Diodenbezeichnung, das die interne Anordnung der Dioden angibt, muss BAT54SW lauten. Nähere Informationen zu den verschiedenen Versionen der BAT54-Diode finden Sie im **Textkasten zur BAT54**.

Nach dem Zusammenbau aller Bauteile muss die Leiterplatte unbedingt mit Isopropylalkohol von Flussmittelresten gereinigt werden. Diese Reinigung hilft, Kurzschlüsse zu vermeiden und gewährleistet eine saubere und zuverlässige Montage. Verwenden Sie eine Lupe, um sorgfältig nach versehentlichen Lötbrücken zwischen den Pins der Bauteile zu suchen, insbesondere zwischen den Pins von U1 und anderen Bauteilen mit kleinem Raster, zum Beispiel solchen mit 0201-Gehäuse. Eine gründliche Reinigung und Inspektion wird die Leistung und Lebensdauer der Smarten Rollladensteuerung erheblich verbessern.

In diesem Stadium können Sie den Prototyp anhand des mitgelieferten Schaltplan schon in Betrieb nehmen. **Denken Sie unbedingt daran, dass diese Schaltung mit dem 230-V-Netz verbunden ist. Berühren Sie niemals die Platine mit bloßen Händen - Sie setzen sich sonst der Gefahr eines potentiell tödlichen Stromschlags aus!**

Viele Menschen glauben, dass ein so genannter Fehlerstromschutzschalter (RCCB) im Sicherungskasten einen „Rettungsring“ darstellt, der sie immer vor einem Stromschlag schützt. Es ist jedoch wichtig zu wissen, dass der Fehlerstromschutzschalter nur dann auslöst, wenn er einen Leckstrom zur Erde feststellt. Das bedeutet, dass der FI-Schutzschalter möglicherweise nicht auslöst, wenn Sie versehentlich den stromführenden und den Nullleiter gleichzeitig berühren.

Seien Sie daher äußerst vorsichtig, wenn Sie mit der Schaltung experimentieren oder in deren Nähe arbeiten, während er an die Netzspannung angeschlossen ist. Verwenden Sie stets isolierte Werkzeuge und vergessen Sie nicht, den Strom abzuschalten, bevor Sie Einstellungen vornehmen oder die Baugruppe berühren. Ihre Sicherheit kann in solchen Situationen nicht hoch genug eingeschätzt werden.

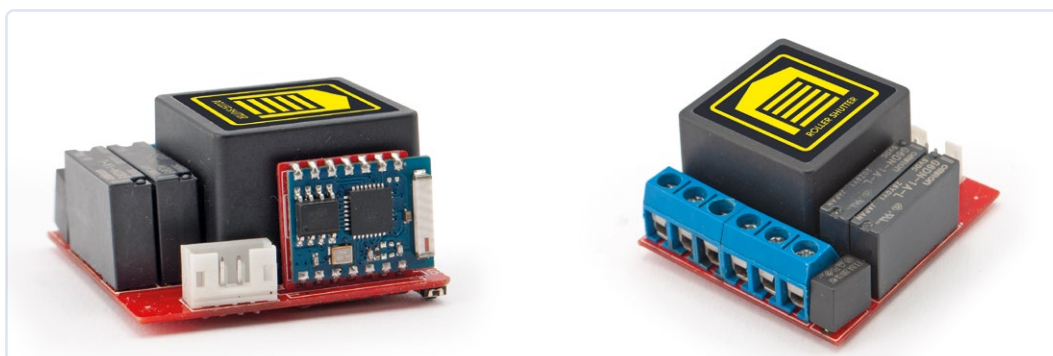


Bild 3. Aufrechte Montage des ESP03-Moduls auf der Platine. Die andere Seite zeigt die Schraubklemmenblöcke für die Anschlüsse.

Die Schottky-Doppeldiode BAT54

Die Schottky-Doppeldiode BAT54, mit der Sie das Diodenpaar D5 und D6 ersetzen können, ist in verschiedenen Versionen erhältlich, die alle in SOT-323-Gehäusen verpackt sind. Was sie unterscheidet, ist die Pinbelegung, die dem Entwickler verschiedene Lösungen bietet. Jede Pinbelegung ist durch einen Suffix gekennzeichnet, durch ein Paar Buchstaben nach dem Code. In unserem Fall haben wir das Suffix SW gewählt, daher ist die Platine so ausgelegt, dass man nur diesen und keine anderen Typ verwenden kann. Die verschiedenen Versionen mit ihren jeweiligen Pinbelegungen sind im Bild in diesem Kasten detailliert aufgeführt.

Pin	Description	Simplified outline	Graphic symbol
BAT54AW			
1	cathode (diode 1)		
2	cathode (diode 2)		
3	common anode		
BAT54CW			
1	anode (diode 1)		
2	anode (diode 2)		
3	common cathode		
BAT54SW			
1	anode (diode 1)		
2	cathode (diode 2)		
3	cathode (diode 1), anode (diode 2)		
3	cathode (diode 2)		
BAT54W			
1	anode		
2	not connected		
3	cathode		

Programmieren und Testen

Um das ESP03-Modul zu programmieren, verwenden Sie einen mit dem ESP8266 kompatiblen USB-Adapter oder einen beliebigen USB-TTL-Wandler, der 3,3-V-Logik unterstützt, ähnlich denen, die zur Programmierung von Arduino-Minimodulen verwendet werden. In **Bild 4** sehen Sie die Anschlussdetails: Verbinden Sie den TX-Ausgang des Adapters mit RX-Pin 4 und den RX-Eingang mit TX-Pin 3 von CON2. Um in den Programmiermodus zu gelangen, halten Sie die an Pin 2 von CON2 angeschlossene *PROG*-Taste eine Sekunde lang gedrückt, während Sie das Gerät einschalten. Dann lassen Sie den Taster los, so dass die Smarte Rollladensteuerung in den Programmiermodus versetzt wird und bereit ist für das Hochladen der Firmware. Bild 4 gibt zusätzliche Hinweise für die korrekte Verdrahtung der *PROG*-Taste. Zu Informationszwecken beachten Sie bitte, dass der Sketch für die Smarte Rollladnsteuerung mit dem ESP8266-Paketkern der Version 2.7.4 zusammen mit diesen Bibliotheken kompiliert wurde: *lotwebconf* Version 3.2.1, *SinricPro* Version 2.10.0 [1], *SparkFun_PCA9536_Arduino_Library* Version 1.2.2 und *ArduinoJson* Version 6.19.4. Ihr ESP8266-Paket in der Arduino-IDE sollte mindestens auf Version 2.7.4 aktualisiert sein, um Probleme mit der *lotwebconf*-Bibliothek zu vermeiden. Als dieser Artikel geschrieben wurde, war der ESP8266-Core bis zur Version 3.0.2 verfügbar; allerdings sind mit dieser Version Probleme mit dem WLAN aufgetreten, die möglicherweise in zukünftigen Updates behoben sein werden.

Am Anfang des Sketches befinden sich auskommentierte Zeilen, die dazu dienen, die Kompilierung des Quellcodes einzustellen. Wenn zum Beispiel der auf dem ESP03-Modul montierte Flash-Speicher mit *Puya* gekennzeichnet ist und Sie die Unterstützung für diesen Speicher zur Kompilierungszeit aktivieren möchten, müssen Sie die Kommentarzeichen // vor `#define PUYA_SUPPORT 1` entfernen, und wenn Sie das Debugging aktivieren möchten, entfernen Sie den Kommentar vor `#define ENABLE_DEBUG`. Die *lotwebconf*-Bibliothek zeigt standardmäßig die Schlüssel Ihres IoT-Kontos in Klartext auf der seriellen Schnittstelle an. Aus Sicherheitsgründen empfehlen wir

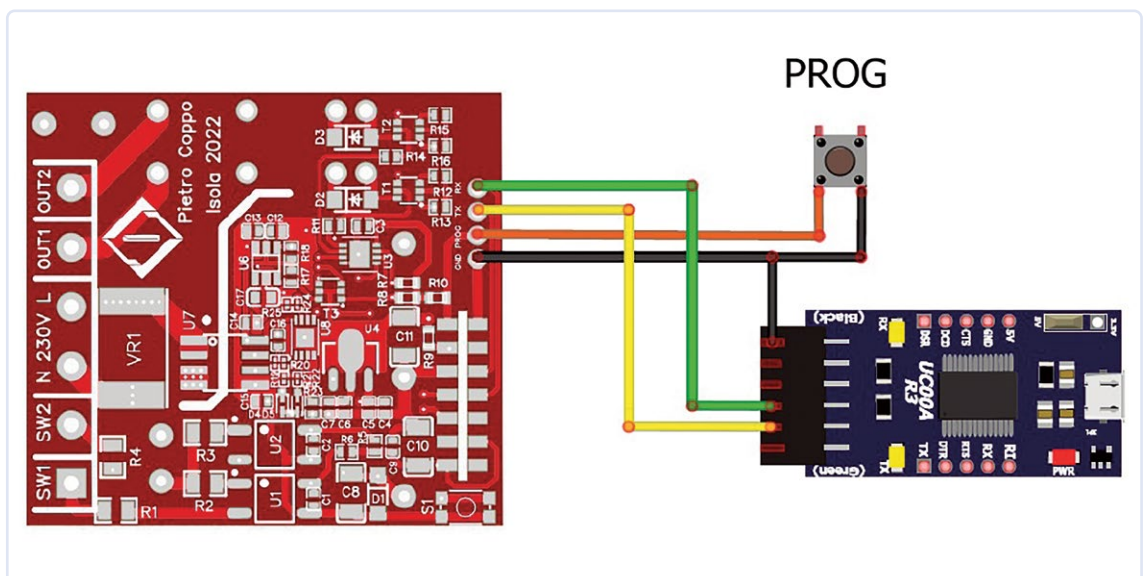


Bild 4. Anschluss des seriellen Programmiergeräts an die Smarte Rollladensteuerung.

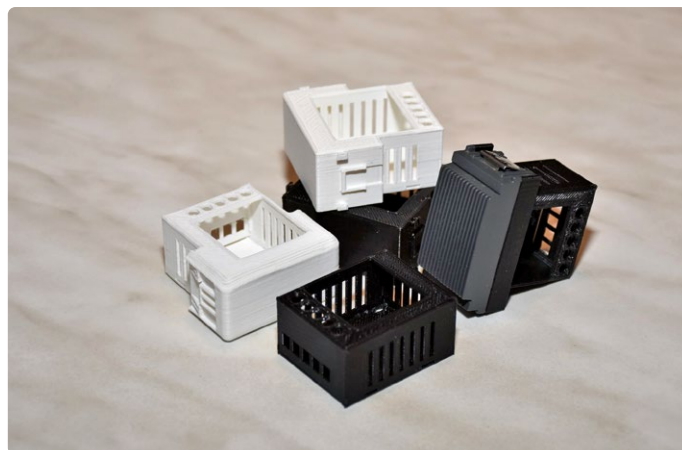


Bild 5. 3D-gedruckte Gehäuse, Adapter und Einsätze für Vimar Plana, Vimar Idea, Gewiss Basic und Gewiss Playbus.

Ihnen, diese Option zu deaktivieren, indem Sie die folgende Textzeile `#define IOTWEBCONF_DEBUG_DISABLED` am Anfang der Datei `lotWeb-ConfSettings.h` im Ordner `src` hinzufügen.

Unter den Dateien, die von der Elektor-Website heruntergeladen werden können, finden Sie im Ordner `stl` Dateien für den 3D-Druck der Adapter und Einsätze für die Serien *Vimar Plana*, *Gewiss System*, *Gewiss Playbus* und *BTicino living*, die in **Bild 5** zu sehen sind. Mit diesen Hilfsmitteln wird der Einbau der Smart-Rollladensteuerung in Ihre Hausinstallation erleichtert. Achten Sie auf die korrekte Ausrichtung des Gehäusedeckels, so dass sich das seitliche Loch über der Taste SW1 befindet, damit Sie diese drücken können, falls Sie das Passwort vergessen haben und deshalb das Gerät zurücksetzen möchten. Wer die Gehäuse selbst mit dem 3D-Drucker herstellen möchte, sollte die Schichthöhe auf einen Wert von höchstens 0,2 mm einstellen und je nach Version der Slicing-Software die Verwendung von Linienfüllung in der hochdichten Gitterfüllung aktivieren, da sonst die nur 1,5 mm dicke Behälterwand nicht richtig gefüllt wird und einen Hohlraum aufweist. Obwohl mit PLA-Filament ausgezeichnete Ergebnisse erzielt werden, empfehlen wir die Verwendung von ABS-Filament, das höheren Temperaturen widersteht, oder von selbstverlöschendem ABS-V0-Filament, das nach der Norm UL94 V0 zertifiziert ist.

Bedienung der Smarten Rollladensteuerung

Sobald der Smart Roller Shutter eingeschaltet ist, können Sie auf die Startseite zugreifen, wie in **Bild 6** sichtbar. Dort sehen Sie die IP-Nummer des Geräts, die MAC-Adresse (Media Access Control), den vom Verbraucher aufgenommenen Strom in Ampere, die Leistung in Watt und die Position des Rollladens in Prozent. Um auf die Konfigurationsseite zuzugreifen, werden Sie nach einem Benutzernamen und

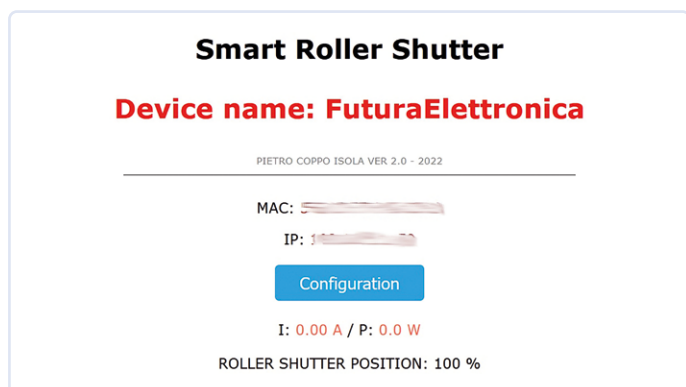


Bild 6. Startseite der Smarten Rollladensteuerung (Smart Roller Shutter).

einem Passwort gefragt. Geben Sie als Benutzername *admin* und als Passwort *123456789* ein. Sobald Sie den Bereich *Settings* betreten haben, können Sie die Parameter wie in **Bild 7** festlegen.

Im Abschnitt *Shutter Calibration* finden Sie die Kalibriertaste, eine Funktion, die Sie unbedingt beim ersten Einschalten starten müssen, damit das Gerät die Zeit erfasst, die der Motor benötigt, um den Rollladen vollständig zu öffnen und zu schließen. Kurz gesagt, muss das Gerät lernen, wie viel Zeit von der Aktivierung des Öffnungsbegrenzungsschalter bis zum Schließbegrenzungsschalter vergeht. Für die Positionierung des Rollladens verlässt sich unser Gerät auf die verstrichene Zeit und nicht auf Positionssensoren, die auf der Motorachse montiert werden müssten und die Installation verkomplizieren würden. Sicherlich ist die Verwendung von Zeit als Messmethode nicht genau, dennoch beeinträchtigt es nicht die ordnungsgemäße Funktion des Geräts. Es handelt sich schließlich um einen Rollladen, nicht um eine CNC-Maschine.

Selbst wenn wir Sensoren verwenden würden, hätten wir immer noch einen Positionierungsfehler, der durch die progressive Zunahme des Rollendurchmessers verursacht wird, die durch die Dicke des Rollladens auf der Walze gegeben ist. Es liegt auf der Hand, dass der Fehler proportional zur Länge des Rollladens und der Dicke seiner Lamellen zunimmt. Mit dem Aufwickeln des Rollladens auf die Walze vergrößert sich sein Durchmesser, wodurch sich die Vorwärtsgeschwindigkeit des Rollladens nicht linear, sondern logarithmisch erhöht. Wenn Sie das Gerät installiert haben, werden Sie feststellen, dass sich der Rollladen nach einem Stellbefehl von 50 % nicht in der Mitte der Fensteröffnung befindet. Dies macht sich bei einer Terrassentür stärker bemerkbar als bei einem Fenster, bei dem die lichte Höhe nur halb so groß ist. Um dieses Problem zu beheben, müssten Sie den Quellcode ändern, indem Sie einen Algorithmus implementieren, der den Öffnungsprozentsatz unter Berücksichtigung des Rollendurchmessers, der Lamellenstärke und der Länge des Rollladens berechnet.

Im Abschnitt *Roller shutter start position* des können Sie mit dem Kästchen *Start at last position* die Funktion aktivieren, die die letzte gespeicherte Position wiederherstellt. Nach einem Neustart, beispielsweise nach einem Stromausfall, schließt das Gerät zunächst den Rollladen, um sich mit den Endanschlägen zu synchronisieren, und bringt diese dann auf die zuletzt eingestellte Position. Mit der Checkbox *Start at custom position* können Sie die Positionierung des Rollladens auf einen Prozentsatz aktivieren, der in dem Dropdown-Menü *Set custom position* festgelegt werden kann. Auch in diesem Fall schließt das Gerät nach einem Neustart zunächst den Rollladen zur Synchronisierung und bringt ihn dann auf die eingestellte Position. Wenn Sie keine dieser Funktionen beim Start auswählen, bleibt der Rollladen

Shutter calibration
CALIBRATION

System configuration
 Thing name

 AP password

 WiFi SSID

 WiFi password

 Startup delay (seconds)

Device IP
 Enable Static IP:
 IP address

 Subnet mask

 Gateway

 DNS

Iot Credentials
 App Key

 App Secret

 Device ID

Roller shutter start position
 Start at last position:
 Start at custom position:
 Set custom position (0-100%)

Settings
 Enable external switch:
 Enable assistant control:
 Reboot device on save:

Apply

Firmware config version '2.0 PIETRO COPPO ISOLA 2022'

Bild 7. Screenshots der Konfigurationsseite der Rollladensteuerung.

in seiner aktuellen Position. In diesem Fall muss die Synchronisation durch Sprachbefehle oder durch die Taste auf eine der beiden Endanschlagspositionen (offen oder geschlossen) durchgeführt werden. Um Fehler zu vermeiden, synchronisiert das Gerät jedes Mal, wenn es einen der Endschalter erreicht, neu. Die Checkbox *Enable external pushbutton* (externe Drucktaste aktivieren) ermöglicht es Ihnen, die Einstellung durch externe Drucktasten oder Schalter zu aktivieren oder zu deaktivieren. Mit der Checkbox *Enable assistant control* (Assistentensteuerung aktivieren) können Sie die Steuerung durch die Sprachassistenten Amazon Alexa oder Google Assistance (de-) aktivieren. Mit *Reboot device on save* (Gerät beim Speichern neu starten) können Sie das Gerät nach dem Speichern der Einstellungen durch Drücken des Buttons *Apply* (Übernehmen) neu starten.

Nachdem Sie das Gerät so konfiguriert haben, empfehlen wir Ihnen, die *Startup delay* in *System configuration section* auf 1 s einzustellen, damit der Smarte Rollladen bei einem Neustart, zum Beispiel aufgrund eines kurzzeitigen Stromausfalls, nicht die voreingestellte Verzögerung von 30 s abwartet, sondern sich sofort mit dem WLAN verbindet und so schneller aktiv wird. Die 30-Sekunden-Verzögerung gilt nur für den ersten Start während der Konfiguration, wenn das Gerät zu einem Access Point wird, damit Sie es lokalisieren und seine SSID auswählen können. **Bild 8** zeigt das Anschlussschema der Smarten Rollladensteuerung in der rauen Wirklichkeit.

Wenn Sie die Google-Home-App auf Ihrem Smartphone installieren, kann der Smart-Rollladen auch mit dem Sprachassistenten Google Assistant gesteuert werden. Nachfolgend sind einige Befehle aufgeführt, die vom Amazons Sprachassistenten Alexa erkannt werden. Angenommen, Sie haben unserem Gerät auf <https://sinric.pro> den Namen *Kitchen Window* zugewiesen, sagen Sie „Alexa, öffne Küchenfenster“ oder „Hey Google, öffne Küchenfenster“, um den Rollladen vollständig zu öffnen. Um den Rollladen vollständig zu schließen, sagen Sie: „Alexa, schließe Küchenfenster“ oder „Hey Google, schließe Küchenfenster“, und um den Rollladen auf halber Höhe zu positionieren, sagen Sie: „Alexa, setze Küchenfenster auf 50 %“ oder „Hey Google, setze Küchenfenster auf 50 %“. Um den Rollladen um (weitere) 10 % nach oben zu fahren, sagen Sie: „Alexa, erhöhe Küchenfenster um 10 %“ oder „Hey Google, erhöhe Küchenfenster um 10 %“, und im umgekehrten Fall „Alexa, verringere Küchenfenster um 10 %“ oder „Hey

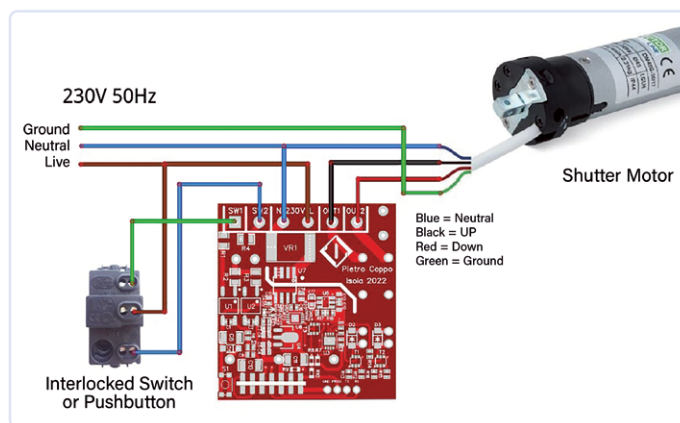


Bild 8. Schaltplan der Smarten Rollladensteuerung mit Verriegelungstaster/-schalter und Rollladenmotor.

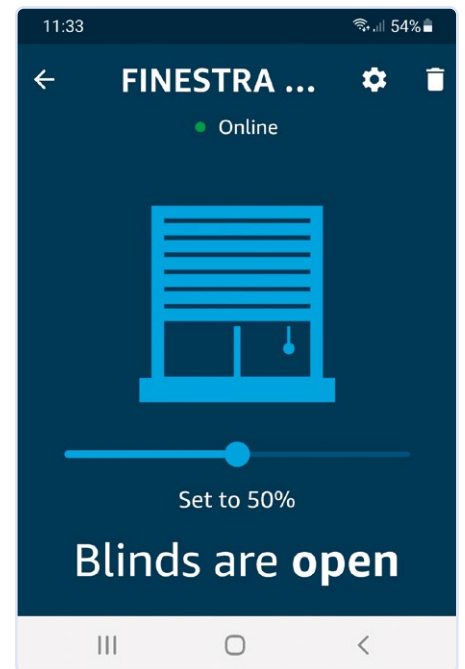
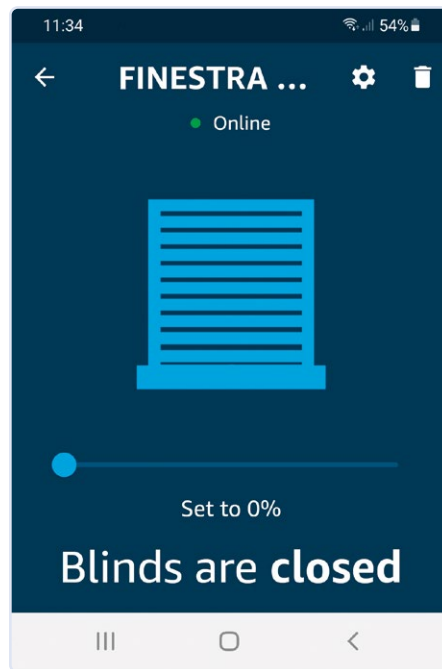
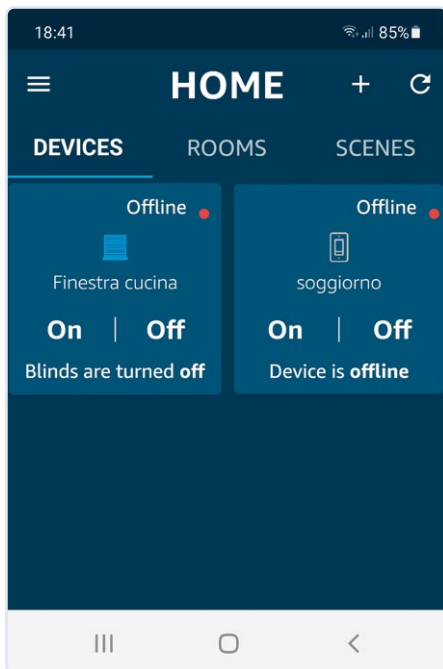


Bild 9. Benutzeroberfläche der App Sinric Pro.

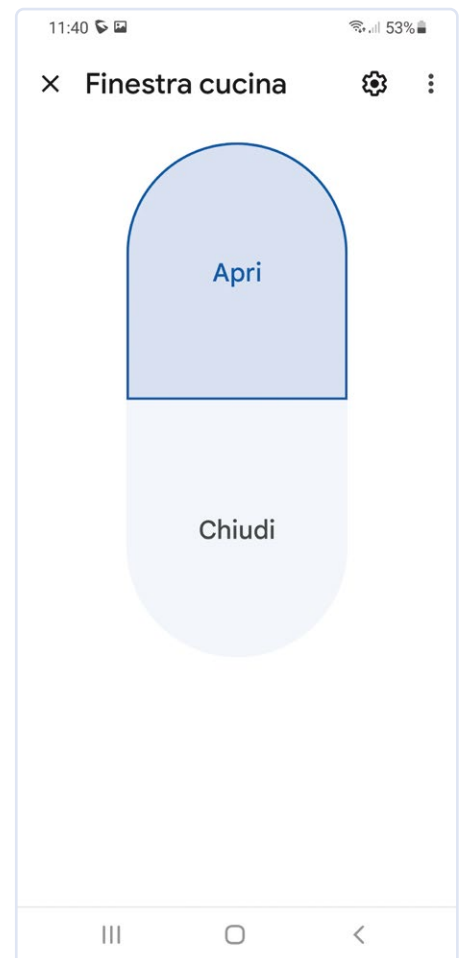
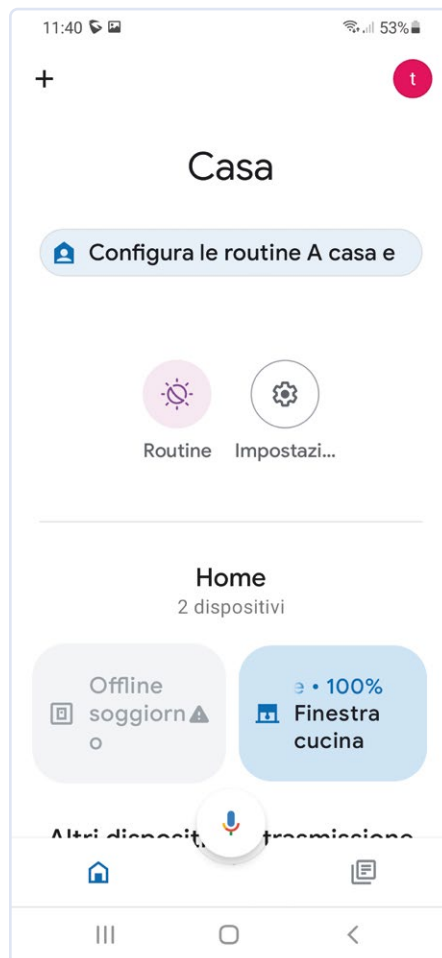
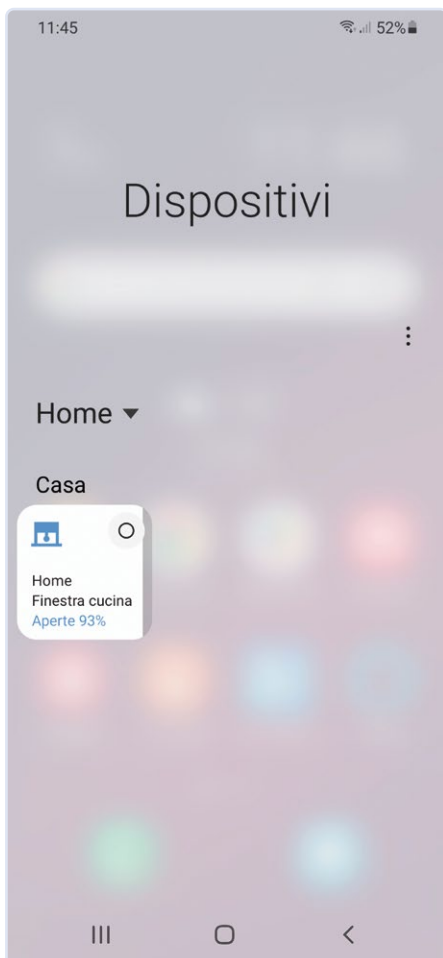


Bild 10. Benutzeroberfläche der Google Home App.

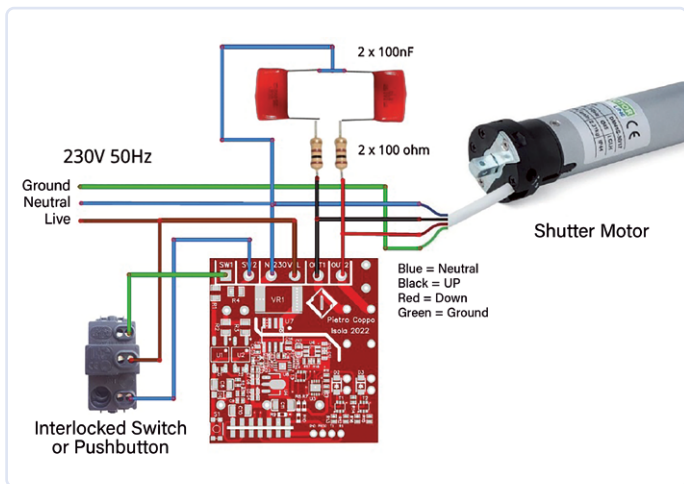


Bild 11. Verdrahtung von Snubber-Gliedern zur Begrenzung des EMI-Rauschens.

Google, verringere Küchenfenster um 10 %." In **Bild 9** können Sie die Schnittstellenbilder der *Sinric Pro-App* sehen, während in **Bild 10** die Bilder der Google Home-App dargestellt sind.

Aufgrund des geringen Platzes auf der Platine war es uns nicht möglich, auch eine Rauschunterdrückung zu implementieren. Wenn der Betrieb des Rollladenmotors andere Haushaltsgeräte stört oder Sie die Relaiskontakte vor einer Abnutzung durch induzierte Ströme schützen möchten, empfehlen wir Ihnen, parallel zu den Motorwicklungen ein Dämpfungsglied einzubauen. Das aus einem Kondensator und einem 1...2-W-Widerstand besteht, wie in **Bild 11** zu sehen. Der Kondensator muss der Klasse X2 entsprechen, eventuell ein MKP-Typ, der Widerstand vorzugsweise Metallschicht sein und auf keinen Fall aus Draht bestehen sollte. Alternativ gibt es auf dem Markt fertige und integrierte Dämpfungsglieder mit verschiedenen Werten und spezifischen Eigenschaften (ein Beispiel ist in **Bild 12** zu sehen), deren Gehäuse gewöhnlichen rechteckigen Polypropylen- oder Polyester-Folienkondensator ähneln. Sie können sie in der Nähe des Getriebemotors im Rollladenkasten oder, wenn Sie Platz haben, in der Anschlussdose, die die Verbindungen herstellt, anschließen.

Transientenunterdrückung

Beim Öffnen des Schalters verursacht die in der Lastinduktivität gespeicherte Ladung eine Überspannung. Dies geschieht aufgrund der trägen Natur der Induktivitäten, die dazu neigt, ihren aktuellen Zustand fortbestehen zu lassen. Die so erzeugte Überspannung kann mit der folgenden Formel berechnet werden:

$$V = \frac{L \times I}{t}$$

Dabei ist V die zu berechnende Spannung, L ist der Wert der Spuleninduktivität, I ist der Nennstrom der Spule und t entspricht der Auslösezeit der Spannungsversorgung. Diese Spannung tritt zwischen den Kontakten des Schalters auf, die beim Öffnen einen nur minimalen Abstand zueinander haben. Daher kann fast sofort ein Lichtbogen zwischen den Kontakten entstehen, nämlich in dem Moment, in dem sich diese trennen und so eben nicht mehr berühren. Dieses Phänomen kann zwar auch bei ohmschen Lasten auftreten;

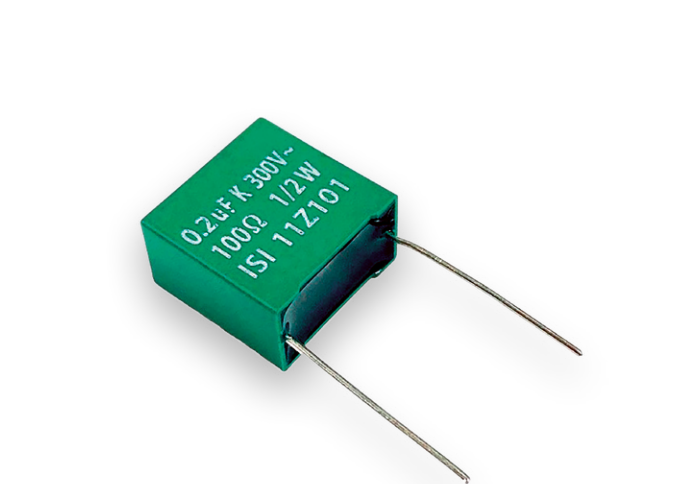


Bild 12. Kommerziell erhältliches Snubber-Glied in einem Bauteil. (Quelle: Elettronica In)

bei induktiven Lasten jedoch tritt es verstärkt auf, was zu einem intensiven elektrischen Lichtbogen führt, der die Lebensdauer des Schalters verkürzt. Selbst wenn die Kontakte beschichtet sind oder aus Wolfram bestehen, einem Metall, das bei sehr hohen Temperaturen schmilzt, etwa 3.410°C, kann es im Laufe der Zeit zu Erosion kommen. In Gleichstromkreisen werden zur Beseitigung des induzierten Hochspannungsstroms normalerweise Dioden verwendet, die als Freilauf- oder Rückflussdiode bekannt ist. Leider ist der Einsatz dieser Diode in Wechselstromkreisen nicht praktikabel. Bei Wechselstromkreisen gibt es drei mögliche Lösungen: die Verwendung eines Metalloxid-Varistors (MOV), einer Unterdrückerdioden für bidirektionale transiente Spannungen (Transient Voltage Suppression, TVS) oder ein RC-Unterdrückungsnetzwerk, auch bekannt als „Snubber“. Natürlich besteht auch die Möglichkeit, überhaupt keine Maßnahmen zur Transientenunterdrückung zu verwenden. In diesem Fall wird jedoch die Lebensdauer der Kontakte beeinträchtigt. MOV- und TVS-Dioden leiten Strom nur dann, wenn eine Schwellspannung überschritten wird. Normalerweise sind diese Dioden parallel zu den Schalterkontakten angebracht und können sowohl bei niedrigen als auch bei hohen Spannungen effizient arbeiten. Ein RC-Snubber hat andererseits den Vorteil, die Spannung genau zum Zeitpunkt des Öffnen des Schalters zu begrenzen, das heißt, wenn der Abstand zwischen den Kontakten gering ist. Er wird durch einen Kondensator und einen Widerstand realisiert, die in Serie miteinander verbunden sind, und kann parallel zu den Schalterkontakten oder parallel zur Last montiert werden, wie in **Bild 13** zu sehen ist.

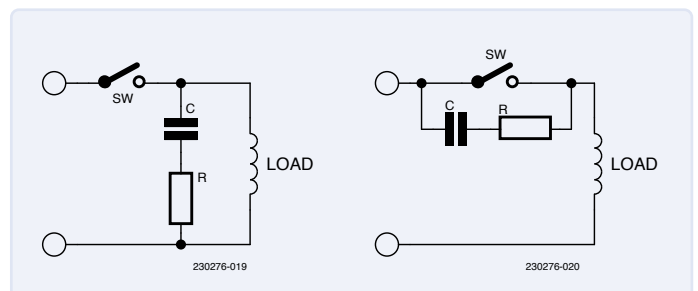


Bild 13. Snubber-Verdrahtung parallel zum Schalter (oben) und parallel zur Last (unten).

Obwohl ein Snubber parallel zu den Schalterkontakten ideal wäre, was die Transientenunterdrückung anlangt, gibt es einen erheblichen Nachteil, wenn die Kontakte offen sind, da dadurch Strom zur Last fließt. Andererseits, wenn der Snubber parallel zur Last installiert ist, kann die Impedanz der Last die Effizienz des RC-Schaltkreises beeinflussen. Daher muss der Widerstand, wenn der Snubber parallel zu den Schalterkontakten angebracht ist, einen ausreichend hohen Wert haben, um den Kondensator-Entladestrom zu begrenzen, wenn die Schalterkontakte schließen. Gleichzeitig muss er einen Wert haben, der klein genug ist, um die induzierte Spannung zu begrenzen, wenn sich die Schalterkontakte öffnen.

Wenn wir einen Kondensator mit einem hohen Wert wählen, reduziert er sicherlich die Überspannung, wenn sich die Schalterkontakte öffnen. Ein solcher Kondensator ist jedoch teurer und sperrig und verursacht möglicherweise mehr Schaden, wenn er sich bei schließenden Kontakten entlädt. Andererseits, wenn der Snubber parallel zur Last installiert ist, müssen wir dafür sorgen, dass der Widerstandswert minimal ist, um den Abbrand der Kontakte durch Lichtbogenbildung zu verringern. Gleichzeitig muss jedoch der Wert des Kondensators größer sein, um die Lichtbogenbildung an den Kontakten aufgrund des Einschaltstroms des Kondensators zu verringern. Wie Sie gesehen haben, gibt es viele Faktoren, die die Wahl des Werts von R und C bestimmen, und wie man es auch wählt, geht man einen Kompromiss ein. Da der Snubber in unserem Fall die Kontakte eines Schalters schützen muss und nicht etwa einen MOSFET in einem Hochfrequenzschalter, sollte die Wahl der RC-Werte nicht allzu kritisch sein. Grundsätzlich könnten wir für den Widerstand R Werte zwischen 10 Ω und 220 Ω wählen und für den Kondensator C Werte zwischen 100 nF und 330 nF. Snubber mit einem R von 100 Ω und einem C von 100 nF sind leicht erhältlich. Neben dieser empirischen und unwissenschaftlichen Methode wollen wir nun sehen, wie man die Werte dieser Bauteile sinnvoll berechnen kann.

Berechnung des Snubber-Glieds

Normalerweise schließt man zur Bestimmung der RC-Werte ein Oszilloskop parallel zur Last an und misst die Form der induzierten Spannung, wenn eine induktive Last ausgeschaltet wird, was als Resonanzfrequenz F_{RING1} bezeichnet wird. Parallel zur Last schalten wir nun einen Kondensator mit geringem Wert an, der schrittweise erhöht wird, bis die Amplitude der ursprünglichen Resonanzfrequenz halbiert ist. Wir nennen diese halbierte Frequenz F_{RING2} . Der Wert dieses Kondensators wird der Kondensator C_s unseres Snubbers. Wir schätzen die parasitäre Induktivität L_p anhand der anfänglichen Resonanzfrequenz F_{RING1} ohne Kondensator und derjenigen mit dem zusätzlichen Kondensator F_{RING2} mit Hilfe der Gleichung:

$$L_p = \frac{1}{(2\pi(F_{RING1} - F_{RING2}))^2 \times C_s} = \frac{1}{4\pi^2(F_{RING1} - F_{RING2})^2 \times C_s}$$

Wir berechnen die parasitäre Kapazität C_p mit Hilfe der Gleichung:

$$C_p = \frac{1}{(2\pi F_{RING1})^2 \times L_p} = \frac{1}{4\pi^2(F_{RING1})^2 \times L_p}$$

Nach der Berechnung der parasitären Induktivität L_p und der parasitären Kapazität C_p berechnen wir den Widerstandswert R_s für den Snubber mit der Gleichung:

Technische Eigenschaften

- › Installation in Unterputzdosen oder in Vimar-, Gewiss- oder BTicino-Anlagen
- › Maximale Last 550 W
- › Thermischer Überstrom- und Überspannungsschutz
- › Kompatibel mit Sprachassistenten wie Amazon Alexa und Google Assistant
- › Konfiguration über die Web-Schnittstelle
- › Verbindung zum Heim-WLAN
- › Betrieb mit Verriegelungstasten/-schaltern
- › Passwortschutz
- › Passwort-Reset über Tastendruck
- › Erkennung von Strom- und Leistungsaufnahme

$$R_s \geq Z = \sqrt{\frac{L_p}{C_p}}$$

Um die Resonanzfrequenz zu dämpfen, ist es notwendig, für den Snubber einen Widerstand R_s zu wählen, der gleich oder größer als die Impedanz Z ist, und für C_s einen Wert, der 1...4-mal größer ist als die parasitäre Kapazität C_p . Dieses Verfahren ist genau, erfordert aber erhebliche Vorsichtsmaßnahmen bei den Oszilloskopmessungen an der Netzspannung. Es ist wichtig, dazu ein spezielles Oszilloskop mit galvanisch isolierten oder batteriebetriebenen Eingängen zu verwenden, spezielle differentielle oder galvanisch isolierte Sonden oder alternativ einen 1:1-Trenntrafo mit ausreichender Leistung einzusetzen, um den gesamte Schaltung zu versorgen, an dem die Messungen durchgeführt werden sollen.

Eine alternative Methode zeigt die C.C. Bates entwickelte Gleichung, die in dem Artikel „*Contact protection of electromagnetic relays*“ in der Zeitschrift *Electro-mechanical design* im August 1966 veröffentlicht wurde [2].

$$C = \frac{I^2}{10}$$

$$R_s = \frac{V_p}{10 \times I \times \left(1 + \left(\frac{50}{V_p}\right)\right)}$$

- › V_p = Spitzenspannung
- › I = Laststrom (vor dem Öffnen des Kontakts)
- › R_s = Widerstand des RC-SnubberF
- › C = RC-Snubber-Kapazität
- › R_L = Lastwiderstand

$$V_p = V_{rms} \times \sqrt{2}$$

$$V_p = 230 \text{ V} \times 1.414213562373 = \mathbf{325.27 \text{ V}}$$

Um zu verstehen, wie die Gleichung zu verwenden ist, wollen wir ein Berechnungsbeispiel für den Entwurf eines RC-Snubber für einen Elektromotor mit einer Leistung von 300 W bei einer Netzwechselspannung von 230 V anführen. Die Entwurfparameter, von denen wir ausgehen, sind also $P = 300 \text{ W}$, $V_{\text{eff}} = 230 \text{ V}$ und $V_p = 325,27 \text{ V}$. Wir beginnen mit der Berechnung der Spitzenspannung:

$$V_{pp} = V_{\text{rms}} \times 2 \times \sqrt{2}$$

Dann bestimmen wir die Spitze-zu-Spitze-Spannung:

$$V_{pp} = 230 \text{ V} \times 1.414213562373 = \mathbf{650.54 \text{ V}}$$

Weiter geht es mit der Berechnung der Effektivspannung:

$$V_{\text{rms}} = \frac{V_p}{\sqrt{2}} = \frac{325.27 \text{ V}}{1.414213562373} = \mathbf{230 \text{ V}}$$

Nun wenden wir uns der Gleichung zur Berechnung des von der Last aufgenommenen Stroms zu:

$$P = I \times V_p \Rightarrow I = \frac{P}{V_p}$$

$$I = \frac{300 \text{ W}}{325.27 \text{ V}} = \mathbf{0.922 \text{ A}}$$

Betrachten wir nun die Gleichung zur Berechnung des Wertes des Snubber-Netzwerkkondensators:

$$C = \frac{I^2}{10} = \frac{(0.922 \text{ A})^2}{10}$$

$$C = \mathbf{85 \text{ nF}}$$

Stattdessen wenden wir zur Bestimmung des Werts des Snubber-Widerstands die folgende Gleichung an und führen die Berechnungen durch:

$$R_s = \frac{V_p}{10 \times I \times \left(1 + \left(\frac{50}{V_p}\right)\right)}$$

$$R_s = \frac{325.27}{10 \times 0.922 \times \left(1 + \left(\frac{50}{325.27}\right)\right)}$$

$$R_s = \frac{325.27}{10 \times 0.922 \times (1 + 0.1537)}$$

$$R_s = \frac{325.27}{9.22 \times 1.1537}$$

$$R_s = \frac{325.27}{10.637}$$

$$R_s = 30.579 \Omega \cong \mathbf{30.58 \Omega}$$

Sehen wir uns nun an, wie man den Strom berechnet, der durch den RC-Snubber fließt: Zuerst müssen wir den kapazitiven Blindwider-

stand (X_C) des Kondensators im Netz berechnen (die Netzfrequenz beträgt 50 Hz), wobei wir daran denken, dass $\pi = 3,1415926$ beträgt:

$$X_C = \frac{1}{2\pi \times f \times C}$$

$$f = 50 \text{ Hz}$$

$$C = 0.085 \mu\text{F} = 0.000000085 \text{ F}$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi \times 50 \text{ Hz} \times 0.000000085 \text{ F}}$$

$$X_C = \frac{1}{2 \times 3.14159 \times 50 \text{ Hz} \times 0.000000085 \text{ F}}$$

$$X_C = \frac{1}{0.0000267 \text{ F}} = 37313.432 \Omega$$

$$X_C = \mathbf{37313.43 \Omega}$$

An diesem Punkt schreiben wir die Gleichung zur Berechnung des Stroms, der durch das Snubber-Netzwerk fließt:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{V_p}{(X_C + R_s)}$$

$$I = \frac{325.27 \text{ V}}{(37313.43 \Omega + 30.58 \Omega)}$$

$$I = \frac{325.27 \text{ V}}{37344 \Omega}$$

$$I = 0.00871 \text{ A} = \mathbf{8.71 \text{ mA}}$$

Schließlich verwenden wir die Gleichung zur Berechnung der Leistung, die vom Snubber-Widerstand aufgenommen wird. Da das Bauteil die elektrische Energie in Wärme umwandelt, muss es entsprechend dimensioniert werden, um Überhitzung und Durchbrennen zu verhindern:

$$P = V \times I$$

$$V = R \times I$$

$$P = V \times I = (R \times I) \times I = R \times I^2$$

$$I = 0.00871 \text{ A}$$

$$P_R = I^2 \times R_s$$

$$P_R = (0.00871 \text{ A})^2 \times 30.58 \Omega$$

$$P_R = 0.002319 \text{ W} = \mathbf{2.319 \text{ mW}}$$

Entworfen von Studierenden

Mit diesem Gerät stellen wir unseren Lesern einen intelligenten Rollladenschalter vor, der einfach über Smartphone oder Sprachassistent ferngesteuert werden kann und zudem klein genug für die Installation im häuslichen System ist. Der Smarte Rollladenschalter ist Teil einer Serie von Modulen und Heimautomatisierungs-Aktuatoren, die von den Studierenden des Technischen Instituts Pietro Coppo im slowenischen Izola entworfen und implementiert wurden. Die Module fallen unter das Konzept des IoT (Internet der Dinge) und vernetzter Geräte, die speziell auf die Automatisierung von Wohnumgebungen durch WLAN-Verbindung und Integration mit Apps und Sprachassistenten abzielt, die heute sehr modern sind. 

SE - 230276-02



Über den Autor

Maurizio Škerlić hat ein Studium der Naturwissenschaften an der italienischen Universität Triest abgeschlossen. Danach setzte er sein Studium fort und erwarb einen Master-Abschluss in Informatik an der Universität Primorska in Slowenien. Schließlich erwarb er einen zweiten Master-Abschluss in Robotik wiederum an der Universität Triest. Im Jahr 2017 gewann er das Blaue Band auf der Rome Maker Faire, europäische Ausgabe. Derzeit unterrichtet er Informatik an der slowenischen Oberschule Pietro Coppo in Izola.

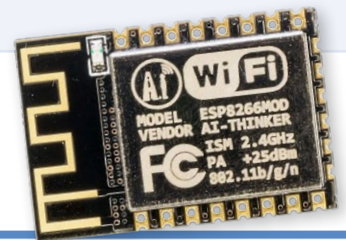
Haben Sie Fragen oder Kommentare?

Wenn Sie technische Fragen oder Anmerkungen zu diesem Artikel haben, wenden Sie sich bitte an die Elektor-Redaktion unter redaktion@elektor.de



Passendes Produkt

> **ESP-12F - ESP8266-basiertes Wi-Fi Modul**
www.elektor.de/17781



WEBLINKS

[1] Sinric Pro: <https://sinric.pro>

[2] Elektor-Labs-Seite für dieses Projekt: <https://elektormagazine.de/labs/smart-roller-shutter>

[3] Whitepaper zur Unterdrückung von Überspannungen und Transienten: <https://tinyurl.com/arcsuppress>

L-TEK® 30 Jahre

Your challenges our solutions

Qualitätsanbieter von Komplettlösungen

- Forschung und Entwicklung (F&E-Dienstleistungen)
- Schnelles Prototyping
- Produktion (EMS-Dienstleistungen)
- Box build Produkt – Elektronik Integration in einem Gehäuse



Wir setzen Ihre Ideen um!
Kontaktieren Sie uns:
info@l-tek.com



HT-03

Wärmebildkamera

Von Clemens Valens (Elektor)

Die Wärmebildkamera HT-03 von HTi ist ein erschwingliches und einfach zu bedienendes Gerät mit einigen praktischen Funktionen, das Bilder und Videos aufzeichnen kann. Sie deckt einen breiten Temperaturbereich von -20°C bis 550°C (-4°F bis 1022°F) mit einer Auflösung von $0,1^{\circ}\text{C}$ und einem Fehler von $\pm 2\%$ ab. Mit dem Emissionsgrad-Parameter können Sie die Kamera so genau wie möglich auf das Objekt einstellen. Probieren Sie sie aus!

Wie die meisten ihrer Konkurrenten kommt auch die Wärmebildkamera HT-03 von HTi [1] als eine Art tragbarer Pistolenscanner daher. Aus irgendeinem Grund sehen diese Kameras nämlich nie wie eine Foto-/Videokamera aus, was seltsam ist, wenn Sie mich fragen, denn wenn es so praktisch ist, warum sehen dann Foto- und Videokameras nicht wie Wärmebildkameras aus? Beide nehmen Bilder und Videos auf, sie präsentieren die Ergebnisse nur auf unterschiedliche Weise. In der HT-03 ist übrigens auch eine normale Kamera für sichtbares Licht integriert.

Wärmebildkamera HT-03 von HTi

Die Kamera wird in einer schönen Pappschachtel geliefert, in der Sie das Gerät aufbewahren können, wenn Sie es nicht brauchen. Die Schachtel enthält außerdem ein Handbuch in englischer Sprache (die Kamera selbst spricht Englisch, Chinesisch, Italienisch und Deutsch), ein USB-Kabel und ein USB-Steckernetzteil. Das Netzteil in meiner Schachtel hat leider nur einen amerikanischen Stecker, so dass Sie möglicherweise einen Adapter für das Netzteil benötigen.

Interessanterweise liegt der Verpackung eine Karte in Chinesisch und Englisch bei, mit detaillierten Anweisungen zum Auffinden von undichten Stellen bei Fußbodenheizungen sind. Ist dies ein Hinweis auf die Zielgruppe dieses Produkts?

Erstes Einschalten

Nachdem ich den (herausnehmbaren!) Akku des HT-03 aufgeladen hatte (2200 mAh, ausreichend für 2...3 Stunden), konnte ich das Gerät einschalten. Das ist etwas umständlich, da man die Ein-/Aus-Taste (**Bild 1**) mindestens vier Sekunden lang drücken muss. Dann dauert es weitere fast 15 Sekunden, bis man die Kamera benutzen kann. Auch das Ausschalten dauert ziemlich lange.

Das große Display der HT-03

Das Display mit einer Diagonalen von 2,1 Zoll (circa 5,3 cm) zeigt ein Live-Wärmebild und besitzt eine Auflösung von 240×320 Pixel (120×90 Pixel bei Infrarot, 160×120 Pixel beim HT-04D). Die Temperatur in der Displaymitte wird zusammen mit dem niedrigsten und höchsten Wert im Bild angezeigt. Diese beiden Werte neigen dazu, sich dauernd zu ändern, was störend sein kann, und deshalb können Sie sie im *Settings*-Menü ausschalten. Ihre Werte bleiben am unteren Rand des Bildschirms weiterhin sichtbar.

Die HT-03 verfügt über zwei Temperaturbereiche: $-20 \dots +120^{\circ}\text{C}$ und $120 \dots 550^{\circ}\text{C}$. Das macht diese Wärmebildkamera für mich interessant, denn ich habe festgestellt, dass eine Obergrenze von 120°C (ganz zu schweigen von den Kameras, die bei 85°C oder so ihr Maximum erreichen) etwas knapp bemessen sein kann. Natürlich können Sie auf Fahrenheit umschalten, wenn Sie das bevorzugen; das Bildbearbeitungsprogramm kann auch Kelvin.



Bild 1. Vorder- und Rückseite der Wärmebildkamera HT-03. Drücken Sie den Auslöser für etwa 2 s, um die LED ein- oder auszuschalten.

Kamera für sichtbares Licht

Die integrierte Kamera für sichtbares Licht (Auflösung 640 × 480 Pixel) ist praktisch, da sie mit dem Wärmebild gemischt werden kann, sodass Sie sehen können, worauf Sie zielen (**Bild 2**). Ein Wärmebild alleine kann nämlich ein wenig verwirrend sein. Es gibt fünf Mischstufen, von purem sichtbarem Licht bis hin zu puren Wärmebildern in Schritten von 25%. Neben dem Mischen beider Bilder können Sie auch die Helligkeit des Bildschirms in drei Stufen einstellen und eine andere Temperatur-Farb-Zuordnung wählen. Das Navigieren durch die Menüs ist einfach und intuitiv.

Der Emissionsgrad ist wichtig

Die Menüoption *emissivity* ist wichtig, denn wie bei jedem Messgerät gilt: Wenn Sie nicht wissen, was Sie tun, sollten Sie keine superpräzisen Ergebnisse erwarten. Für eine Infrarotkamera wie die HT-03 ist der Emissionsgrad des zu untersuchenden Objekts wichtig, um genaue Temperaturwerte zu erhalten. Nicht jede Oberfläche hat den gleichen Wert. Beim HT-03 können Sie den Emissionsgrad zwischen 0,01 und 1,00 einstellen oder eine der vier Voreinstellungen wählen. Im Handbuch finden Sie eine Liste von Emissionswerten für gängige Materialien.

Bild- und Videoerfassung

Durch Drücken des Auslösers werden Bilder aufgenommen. Sie müssen bestätigen, ob Sie sie speichern wollen (als JPG). Um ein Video (MP4) aufzunehmen, drücken Sie den Auslöser einige Sekunden lang und bestätigen Sie (oder auch nicht). Die aufgenommenen Videos und Fotos können direkt auf dem Gerät abgespielt oder auf einen Computer heruntergeladen werden. Die Kamera verfügt über einen eMMC-Speicher von etwa 3 GB für Ihre Bilder/Videos.

Das PC-Utility-Tool der HT-03

Nach dem Anschluss der HT-03 an einen Computer wird es als externes Laufwerk mit Bildern im Ordner *IMGS* und Videos im Ordner *VIDEOS* erkannt. Das Laufwerk enthält auch ein Bildbearbeitungsprogramm namens *ImageTools*. Wenn Sie es installieren, können Sie Ihre Bildschirmfotos visualisieren, die Videos dagegen nicht. Sie können Messungen an Punkten oder in Bereichen vornehmen, die Sie im Bild einzeichnen können. Eine interessante Funktion ist der Schieberegler für die Überblendung (**Bild 3**),

mit dem Sie Wärmebild und sichtbares Bild stufenlos mischen können. Dies ist mit einem normalen JPG-Bildbetrachter nicht möglich.

Fazit

Die Wärmebildkamera HT-03 ist ein erschwingliches und einfach zu bedienendes Gerät mit einigen praktischen Funktionen zur Aufnahme von Bildern und Videos. Sie deckt einen großen Temperaturbereich von -20...550 °C mit einer Auflösung von 0,1 °C und einem Fehler von ±2% ab. Mit ihrem Emissionsgrad-Parameter können Sie die Kamera präzise auf das Objekt abstimmen. Und wie bei jedem Präzisionswerkzeug sollten Sie sich etwas Zeit nehmen, um zu lernen, wie Sie es am besten einsetzen können. ◀

SE - 240312-02

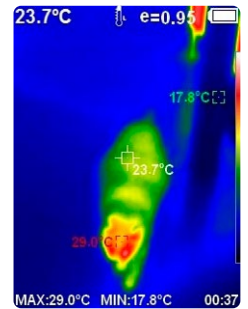
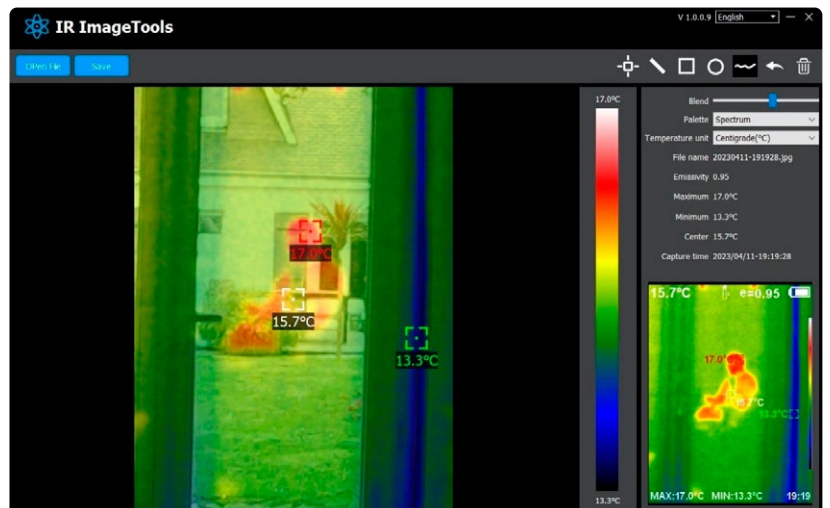


Bild 2. Wie hoch ist der Emissionsgrad einer Katze?



Haben Sie Fragen oder Kommentare?

Wenn Sie technische Fragen oder Anmerkungen zu diesem Artikel haben, wenden Sie sich bitte an die Elektor-Redaktion unter redaktion@elektor.de



Passendes Produkt

> **HT-03 Wärmebildkamera (120×90)**
www.elektor.de/20434

Bild 3. Haben Sie einen Geist aufgenommen? Oh nein, das ist nur mein Spiegelbild im Fenster. Der Schieberegler zum Überblenden funktioniert auch bei aufgenommenen Bildern.

WEBLINK

[1] Thijs Beckers, Review: Wärmebildkamera HT-02, elektormagazine.de, Oktober 2018:
<https://www.elektormagazine.com/review/review-thermal-imaging-camera-ht-02>

Wie funktionieren kapazitive Touch-Sensoren?

Von Stuart Cording (Deutschland)

Kapazitive Touch-Schnittstellen haben sich nach ihrem Erfolg mit dem Apple iPod und seinem Drehrad durchgesetzt. Seitdem haben Touch-Tasten ihren Weg in fast jedes Haushaltsgerät, jede industrielle Anwendung und sogar in unsere Autos gefunden. Lassen Sie uns die Prinzipien der kapazitiven Touch-Steuerung betrachten und die Herausforderungen untersuchen, eine robuste Lösung für reale Anwendungen zu entwickeln.

Es war einmal, als wir alle mit mechanischen Tasten zufrieden waren. Dann erschien im Jahr 2003 ein Apple iPod [1] mit einer berührungsempfindlichen Oberfläche. Scheinbar über Nacht waren die Produktvermarkter auf der ganzen Welt begeistert, und alles, von Waschmaschinen über Kaffeemaschinen bis hin zu Autotürgriffen, musste eine Touch-Oberfläche haben. Ein Großteil des Erfolgs des iPod ist auf seine berührungsgesteuerte Benutzeroberfläche zurückzuführen. Hinter dem glänzenden Ring und den leuchtenden Tasten verbargen sich kapazitive Sensoren [2]. Jede Änderung der Kapazität, die viele Male pro Sekunde ausgewertet wurde, zeigte das Vorhandensein eines drückenden oder drehenden Fingers an. Das verwendete Phänomen war natürlich nicht neu.

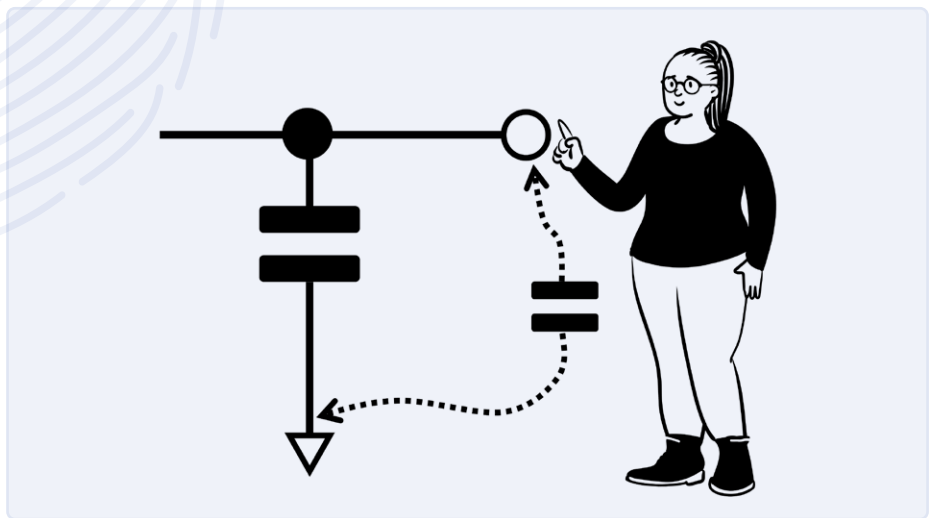


Bild 1. Der menschliche Körper stellt bei der Berührung von Schaltungen eine kleine Parallel-Kapazität dar.

Der Einfluss der menschlichen Körperkapazität auf elektronische Schaltkreise wurde schon 1919 entdeckt, als Lew Theremin [3] sie zur Steuerung eines Heterodyn-Oszillators in seinem Musikinstrument namens Aetherophon oder kurz Theremin [4] nutzte.

Auswirkungen der Kapazität auf Schaltungen

Wer sich mit Elektronik auskennt, hat wahrscheinlich schon einmal erlebt, welche Auswirkungen ein Finger auf eine Schaltung haben kann. Audio- und Radioschaltungen reagieren oft auf die Anwesenheit eines Fingers, indem sie ihre Ausgangstonhöhe ändern oder einen anderen Radiosender empfangen. Ich habe einmal von jemandem gehört, der feststellte, dass sein Radio plötzlich wie erwartet erst funktionierte, als er seinen Finger auf eine der Röhren legte. Da er nicht geneigt war, besagten Finger für immer hinten im Radio zu platzieren, ersetzte er ihn durch eine Wurst, die für einige Zeit gute Dienste leistete und den Techniker überraschte, der aber schließlich

das Schweinefleischprodukt doch durch eine echte Reparatur ersetzen musste. Kapazitive Touch-Schaltungen beruhen auf der Kapazitätsänderung, die ein Finger oder ein anderer Körperteil auf die Funktion einer Schaltung hat. Das Vorhandensein eines Fingers bildet eine Parallelkapazität zur Erde, die sich zum Wert des Kondensators in der Schaltung addiert (Bild 1).

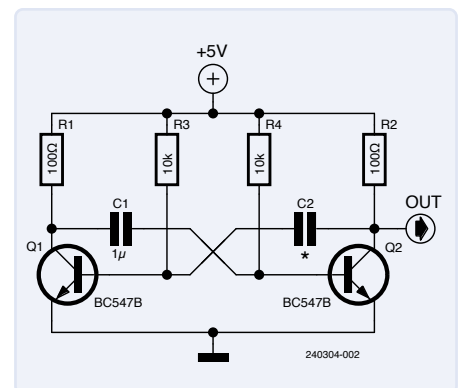


Bild 2. Ein instabiler Multivibrator könnte einen seiner Kondensatoren als Berührungssensor verwenden. In dieser Simulation wird C2 variiert, um den Effekt zu demonstrieren.

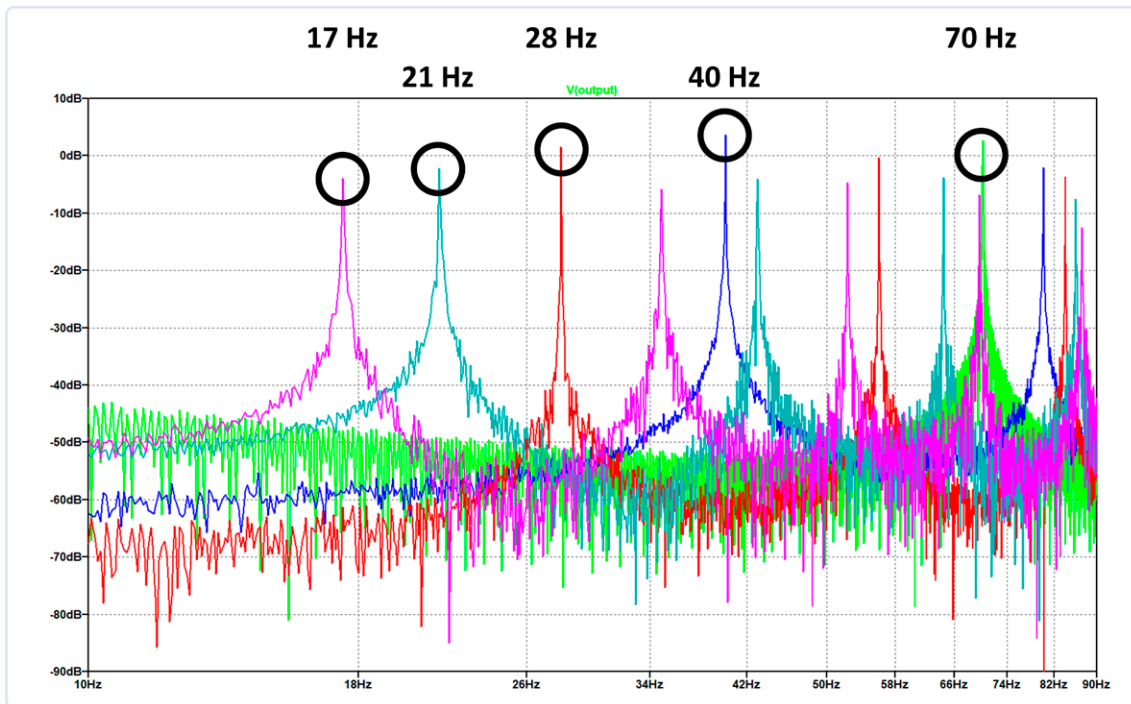


Bild 3. Wenn die Kapazität zunimmt, sinkt die Frequenz des Multivibrators. Dies könnte genutzt werden, um einen Finger zu erkennen, der unseren kapazitiven Sensor berührt.

Eine Möglichkeit wäre, die Kondensatoren in einem Oszillator zu verwenden. In diesem Beispiel variieren wir den Wert von C_2 zwischen $1\ \mu\text{F}$ und $7\ \mu\text{F}$ in Schritten von $1,5\ \mu\text{F}$, um die Einführung einer Parallelkapazität zu simulieren (**Bild 2**).

Ein Blick auf die schnelle Fourier-Transformation (FFT) des Ausgangssignals zeigt in **Bild 3**, dass die ursprüngliche Frequenz bei 70 Hz als Reaktion auf diese Änderungen auf 40 Hz, 28 Hz, 21 Hz und dann 17 Hz abfällt. Es ist zu beachten, dass es sich beim Ausgangssignal um eine Rechteckwelle handelt, sodass viele Oberschwingungen die Sicht verdecken.

Hier haben wir die Anfänge einer Schaltung zur Berührungserkennung. Das Ausgangssignal könnte zum Beispiel an einen Zähler angeschlossen werden. Der Unterschied zwischen Berührung und Nichtberührung kann durch Zählen der Impulse in einem bestimmten Zeitraum, zum Beispiel 100 ms, und Festlegen einer Zählschwelle bestimmt werden. Ein anderer Ansatz wäre die Messung der Änderung der Einschalt-Impulsbreite.

An dieser Stelle kommt das wirkliche Leben ins Spiel: Der menschliche Körper bildet eine Kapazität zwischen 100 pF und 200 pF.

Wenn wir C_1 in unserer Schaltung durch einen 300-pF-Kondensator ersetzen und C_2 zwischen 100 pF und 200 pF variieren lassen, ändert sich die Ausgangsfrequenz von 356 kHz ohne menschliche Berührung auf 284 kHz bei maximaler Kapazität des menschlichen Körpers, wie in **Bild 4** dargestellt. Es sei darauf hingewiesen, dass es sich hierbei nur um eine Simulation handelt und die ausgewählten Transistoren in der Realität möglicherweise nicht mit dieser Frequenz arbeiten können. Dennoch haben wir die Voraussetzungen für einen kapazitiven Berührungssensor geschaffen.

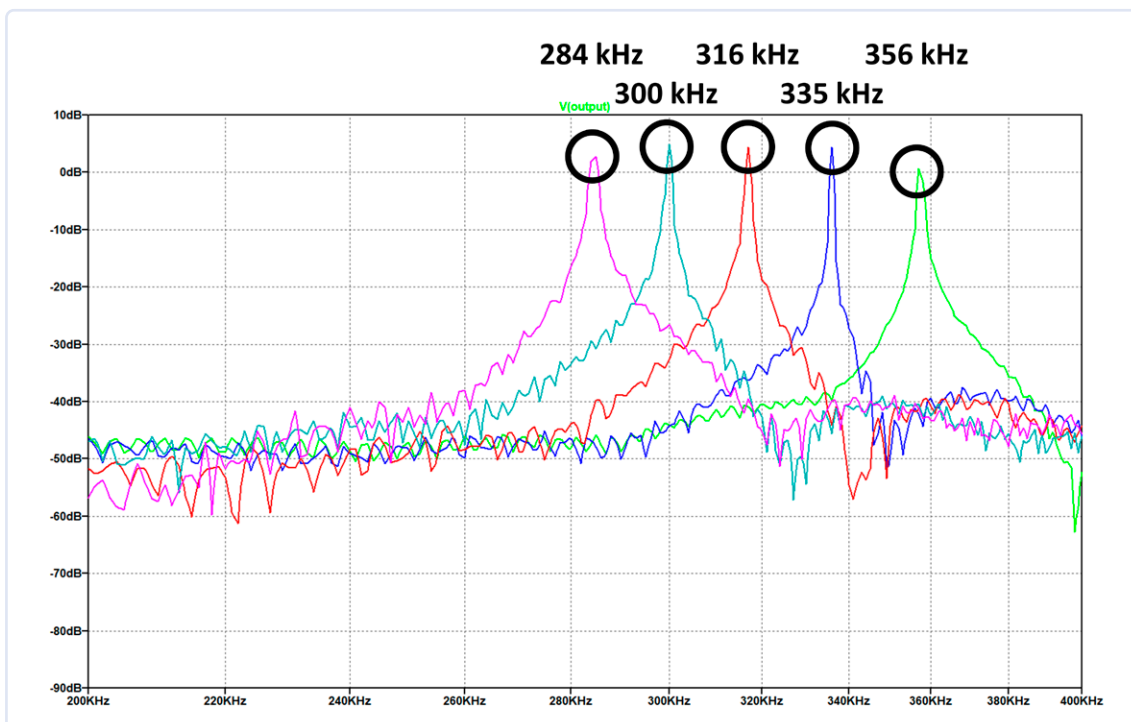


Bild 4. Aufgrund der winzigen Kapazität des menschlichen Körpers sinkt die Oszillatorfrequenz von den ursprünglichen 356 kHz auf circa 284 kHz.

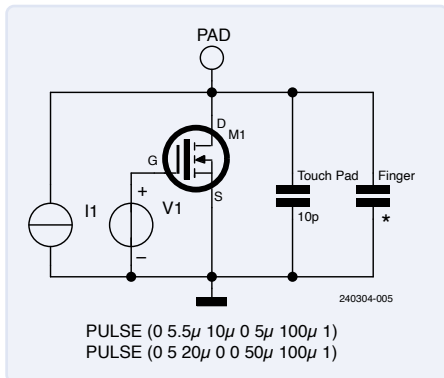


Bild 5. Die CTMU von Microchip besteht aus einer Stromquelle und einem Schalter zur Entladung des Sensorkondensators.

Arten von kapazitiven Sensoren: Selbstkapazität

Es gibt zwei Arten von kapazitiver Abtastung: Selbstkapazität (Self-Capacitance) und beidseitige Kapazität (Mutual Capacitance). Die Selbstkapazität ist der oben beschriebene Ansatz, bei dem der Berührungssensor einen Kondensator gegen Masse bildet und die Schaltung die Änderung seines Wertes misst, wenn ein Finger darauf gelegt wird. Statt den Kondensator als Teil eines Oszillators zu verwenden, verwenden Touch-Schaltungen in der Regel andere Ansätze, die eine genauere Steuerung der angelegten Ladung ermöglichen.

Ein Beispiel dafür ist die Ladezeit-Messeinheit (Charge Time Measurement Unit, CTMU), ein Peripheriemodul einiger Mikrocontroller von Microchip. Der Sensor wird für eine bestimmte Zeit mit einem konstanten Ladestrom ($0,55 \mu\text{A}$, $5,5 \mu\text{A}$ oder $55 \mu\text{A}$) beaufschlagt. Nach Ablauf dieses Zeitraums wird die Spannung am Sensor mit einem Analog-Digital-Wandler (ADC) gemessen. Nach Abschluss der ADC-Wandlung wird der Sensor vollständig entladen, sodass der Vorgang wiederholt werden kann. Dies wird in **Bild 5** ungefähr nachgebildet.

Wie bei jeder analogen Sensoranwendung wird das gemessene Signal durch Störungen beeinflusst, und es ist eine gewisse Filterung erforderlich, um eine Fingerberührung genau zu erkennen. Bei den folgenden Messungen in **Bild 6** verringert ein sich nähernder Finger die am Sensor erreichte Spitzenspannung.

Selbstkapazitive Berührungssensoren werden in der Regel verwendet, wenn nur eine begrenzte Anzahl von Tasten benötigt wird oder nur eine Annäherung erkannt werden soll. Durch die Gruppierung von Sensorflächen können Dreh- oder Schieberegler nachgebildet werden. Die Verschachtelung der Kupferpads auf der Leiterplatte kann den Übergang zwischen den einzelnen Sensoren glätten (**Bild 7**).

Durch Masseringe um den Sensor oder

einer gerasterten Massefläche hinter dem Sensor werden Störungen reduziert. Es muss jedoch darauf geachtet werden, dass dabei die Empfindlichkeit nicht zu stark reduziert wird. Auch die Größe des Sensors ist wichtig. Im Idealfall sollte die Sensorfläche der eines menschlichen Fingerabdrucks entsprechen, also zwischen 8 mm und 20 mm im Durchmesser.

Kapazitive Sensoren werden in der Regel hinter einer Kunststoffabdeckung eingebaut. Je dicker das Material, desto geringer ist die Empfindlichkeit des Sensors. Zudem sind viele Oberflächen, wie die Benutzeroberfläche einer Waschmaschine, gekrümmt, während eine Leiterplatte in der Regel flach ist. Zur Lösung dieses Problems können flexible Leiterplatten

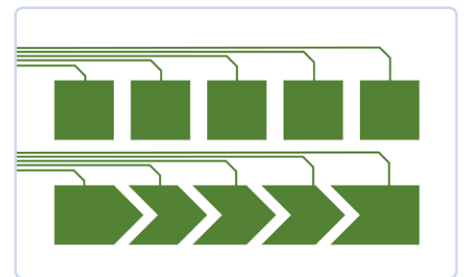


Bild 7. Komplexere Sensoren wie Schieberegler (oben) können „holprige“ Ergebnisse liefern. Durch Verschachtelung der Sensoren (unten) kann das Ausgangssignal gleichmäßiger werden.

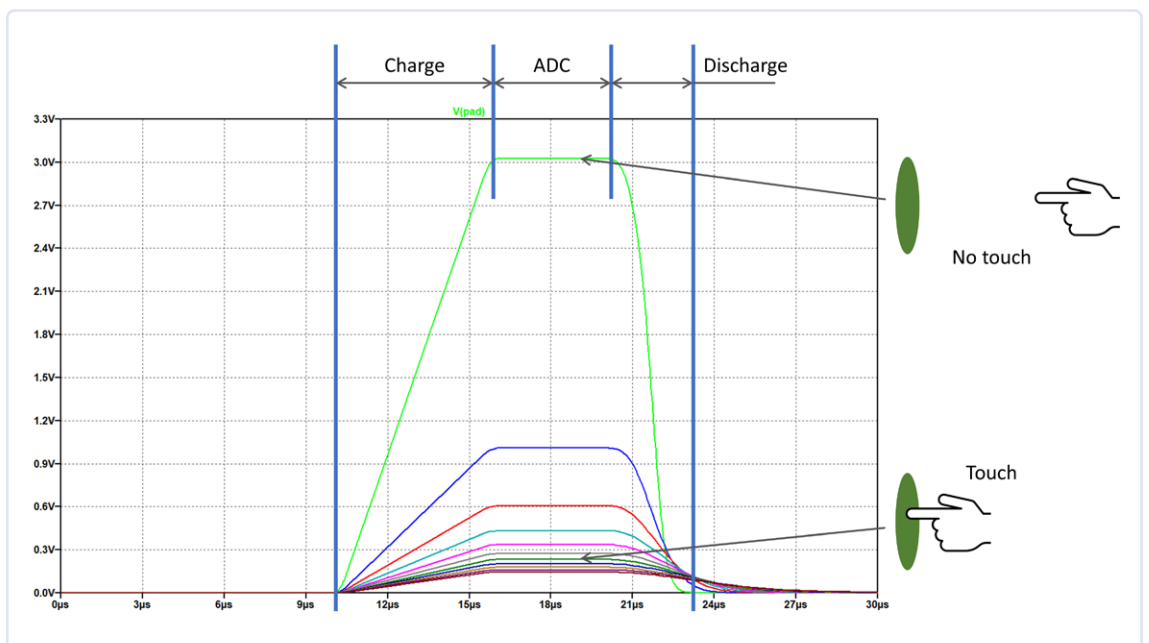


Bild 6. Die CTMU liefert eine niedrigere Spannung, wenn der Sensor berührt wird.

auf Polyimid-Basis verwendet werden, die jedoch recht teuer sind. Alternativ kann der Abstand zwischen der Tastfläche und der Platine mit Federn oder leitfähigem Schaumstoff überbrückt werden. Damit wird das Problem zwar mechanisch gelöst, aber es sind zusätzliche Tests und eine Abstimmung von Schaltung und Software erforderlich, um eine zuverlässige Funktion zu gewährleisten.

Arten von kapazitiven Sensoren: mutuale Kapazität

Bei mutualen (gegenseitigen oder beidseitigen) Kapazitätssensoren ist der Sensor zwischen zwei Pins eines Touch-Chips oder eines Mikrocontrollers angeschlossen und misst die Veränderung der Ladung mit und ohne Finger. Der Finger „stiehlt“ im Grunde genommen Ladung aus dem Kondensator, als ob er sich zwischen den beiden Platten befinden würde. Somit bewirkt eine Berührung einen Abfall der Kapazität. Dazu trägt man ein Gitter von Kondensatoren auf der flachen Oberfläche des Touchscreens auf, was üblicherweise als Projected Capacitive Touch oder PCAP bezeichnet wird. Bei einer Methode werden die X-Zeilen des Sensorbereichs nacheinander aufgeladen und die Kapazitäten anhand der Y-Zeilen ausgewertet, wobei dieser Zyklus mehrere Dutzend Mal pro Sekunde stattfindet (**Bild 8**). Dies ist das am meisten verwendete kapazitive Touch-Verfahren bei Bildschirmen von Smartphones und Touchpads von Laptops. Das Diamant- oder Rauten-Gittermuster ist ein guter Ausgangspunkt und funktioniert gut mit Kupferlaminat. Idealerweise sollten sowohl die X- als auch die Y-Reihe auf derselben Seite liegen, was viele Durchgangsloch-Verbindungen entweder für die X- oder die Y-Reihe erfordert. Je nach den Anforderungen der Anwendung, Größe und Empfindlichkeit, können auch andere Muster verwendet werden. Bei Smartphones wird das Muster mit Indium-Zinn-Oxid (ITO) [6] auf die Glasabdeckung über dem Display aufgebracht. Dieses Material hat einen relativ geringen Widerstand und ist lichtdurchlässig, was negative Auswirkungen auf die Helligkeit und Lesbarkeit des Bildschirms minimiert. Auch andere Materialien wie ultrafeine Kupferbahnen auf transparenter Folie kommen zum

Do It Yourself: LTspice Code

Astabiler Multivibrator mit 70 H

```
Q1 N002 N004 0 0 BC547B
Q2 N003 N005 0 0 BC547B
R1 N001 N002 100R
R2 N001 N003 100R
R3 N001 N004 10K
R4 N001 N005 10K
C1 N005 N002 1µ
C2 N003 N004
V1 N001 0 5V
.model NPN NPN
.model PNP PNP
.lib C:\Users\<USER>\Documents\LTspiceXVII\lib\cmp\standard.bjt
.tran 15s startup
.step param X 1u 2u 0.5u
.backanno
.end
```

Astabiler Multivibrator mit 350 kHz

```
Q1 N002 N003 0 0 BC547B
Q2 OUTPUT N004 0 0 BC547B
R1 N001 N002 100R
R2 N001 OUTPUT 100R
R3 N001 N003 10k
R4 N001 N004 10k
C1 N004 N002 300p
C2 OUTPUT N003
V1 N001 0 5V
.model NPN NPN
.model PNP PNP
.lib C:\Users\<USER>\Documents\LTspiceXVII\lib\cmp\standard.bjt
.tran 1ms startup
.step param X 100p 200p 25p
.backanno
.end
```

CTMU-Modell

```
CTouch_Pad PAD 0 10pF
CFinger PAD 0
I1 0 PAD PULSE(0 5.5u 2u 0 0 5u 100u 1)
M1 PAD N001 0 0 NMOS
V1 N001 0 PULSE(0 5 12u 0 0 50u 100u 1)
.model NMOS NMOS
.model PMOS PMOS
.lib C:\Users\<USER>\Documents\LTspiceXVII\lib\cmp\standard.mos
.tran 30u
.step param X 0p 200p 20p
.backanno
.end
```

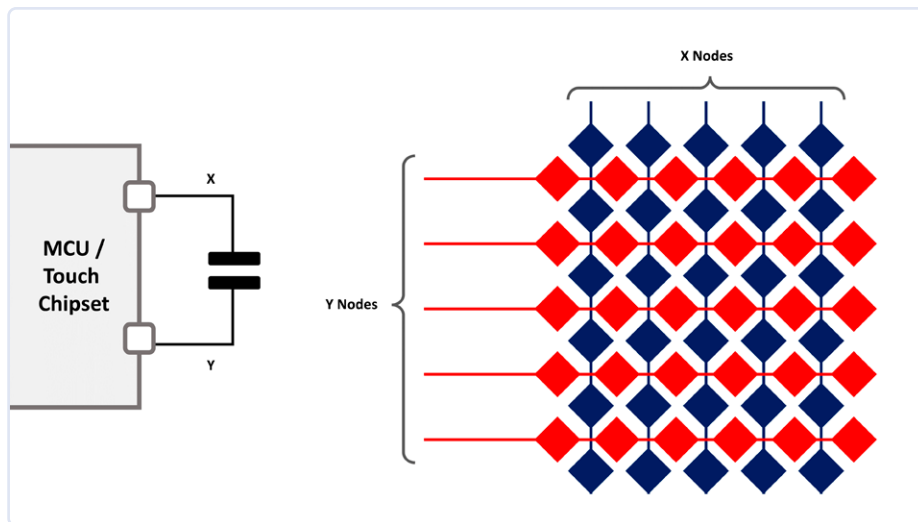


Bild 8. Bei beidseitiger Kapazität werden die kapazitiven Sensoren zwischen zwei Pins des Mikrocontrollers oder Sensor-ICs geschaltet (links). Touchscreens und Touchpads verwenden ein Raster aus Rauten oder ähnlichen Mustern, um eine berührungsempfindliche Fläche zu realisieren (rechts).

Einsatz. Um die optische Wirkung des Displays nicht zu beeinträchtigen, werden die Kupferbahnen zudem zwischen den Pixelreihen des Displays angebracht. Für diese Anwendungen werden spezielle Chipsätze verwendet, zum Beispiel MaxTouch [7]. Entwickler schätzen solche Komplettlösungen, die Hunderte von Kapazitäten pro Sekunde auswerten und die notwendige Filterung durchführen können. Als Endergebnis liefern sie die Benutzerinteraktion in Form von X-Y-Koordinaten für jeden Finger und können sogar die verwendeten Gesten (Zoomen, Streichen, Drehen) erkennen. In der Anwendungssoftware werden diese Sensordaten genauso behandelt wie die anderer Eingabegeräte, zum Beispiel einer Maus, ohne dass man sich um die Dekodierung von Gesten und die Entfernung von Störungen aus den Signalen kümmern muss.

Kapazitive Touch-Fähigkeiten für Arduino und Raspberry Pi

Gebrauchsfertige kapazitive Touch-ICs sind von Microchip [8], Azoteq [9] und Texas Instruments [10] erhältlich. Diese vereinfachen den Aufbau von Schaltungen erheblich und bieten in der Regel einen digitalen Ausgang oder eine serielle Schnittstelle, die direkt mit einem Arduino oder Raspberry Pi verbunden werden kann. Ein erfolgreicher Einsatz in einer tatsächlichen Anwendung erfordert allerdings viele Tests mit verschiedenen Sensordesigns und -konfigurationen, um langfristige Robustheit und Zuverlässigkeit zu gewährleisten. Alternativ gibt es Bibliotheken für Arduino [11], die es ermöglichen, kapazitive Sensoren mit nur einem Widerstand zu realisieren. Das ist mehr als genug, um Studierende, Maker und Entwickler in die Lage zu versetzen, Touch-Schnittstellen zu erstellen, um Schnittstellenkonzepte zu erforschen und Ideen schnell auszuprobieren. ◀

SE - 240304-02

Sie haben Fragen oder Kommentare?

Wenn Sie technische Fragen oder Anmerkungen zu diesem Artikel haben, wenden Sie sich bitte an die Elektor-Redaktion unter redaktion@elektor.de



Über den Autor

Stuart Cording ist Ingenieur und Journalist mit mehr als 25 Jahren Erfahrung in der Elektronikbranche. Er hat sich auf Videoinhalte spezialisiert und konzentriert sich auf technische Details und Einblicke. Dabei interessiert er sich besonders für die Technologie selbst, ihre Einbindung in Endanwendungen und Vorhersagen über zukünftige Fortschritte. Viele seiner aktuellen Elektor-Artikel finden Sie unter www.elektormagazine.com/cording.



Passende Produkte

- > **Arduino Uno Experimentiererset**
www.elektor.de/20339
- > **Dogan Ibrahim, The Ultimate Compendium of Sensor Projects**
E-Buch, PDF, englisch:
www.elektor.de/19105



WEBLINKS

- [1] Apple iPod: <https://de.wikipedia.org/wiki/iPod>
- [2] Kapazitive Sensoren: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ipod_backlight_transparent.png
- [3] Lew Theremin: https://de.wikipedia.org/wiki/Leon_Theremin
- [4] Theremin (Instrument): <https://de.wikipedia.org/wiki/Theremin>
- [5] Ladezeitmesseinheit (Microchip): <https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/61167B.pdf>
- [6] Indium-Zinn-Oxid: <https://diamondcoatings.co.uk/ito-coated-glass>
- [7] MaxTouch (Microchip): <https://tinyurl.com/maxtouch-touchscreen>
- [8] Kapazitive Touch-ICs (Microchip): <https://tinyurl.com/microchip-capacitive-touch>
- [9] Kapazitive Touch-ICs (Azoteq): <https://azoteq.com/products/proxsense>
- [10] Kapazitive Touch-ICs (Texas Instruments): <https://tinyurl.com/ti-capacitive-touch>
- [11] Touch-Bibliotheken für Arduino: <https://arduino.cc/reference/en/libraries/capacitivesensor>

WERDEN SIE MITGLIED UNSERER COMMUNITY



KOSTENLOSER
DOWNLOAD

Melden Sie sich heute an, elektormagazine.de/ezine-24



EIN ELEKTRONIK-ARBEITSBEREICH

für sensorbasierte Lösungen, Lehre und Forschung

Dima Shlenkevitch ist ein engagierter freiberuflicher Maker, der sich auf die Entwicklung von Sensorsystemen spezialisiert hat. Er arbeitet von seinem Home Office in Israel aus, das er seit über einem Jahr nutzt. Dimas Arbeitsplatz ist ein wesentlicher Bestandteil seiner täglichen Aktivitäten und spiegelt sein Engagement für Innovation und kontinuierliches Lernen wider.

Was ist Ihr derzeitiger Beruf?

Dima Shlenkevitch: Ich bin ein Maker und arbeite als Freiberufler in der Entwicklung von Sensoriksystemen. Im Rahmen meiner Arbeit beschäftige ich mich mit der Entwicklung von Elektronik, Mechanik, Software und manchmal auch mit anderen Disziplinen, wie es das Projekt erfordert. Ich finde es sehr faszinierend, an

einem neuen Projekt zu arbeiten und neue Dinge zu lernen; das ist etwas, das die Maker auf der ganzen Welt verbindet. Bei meiner täglichen Arbeit erstelle ich Prototypen auf Breadboards und entwerfe dann die Elektronik (Schaltplan und Layout). In der Regel ist ein mechanisches Gehäuse erforderlich; und dank meines 3D-Druckers kann ich meine mechanischen Entwürfe testen. Nach der Platinerstellung baue ich alles zusammen, programmiere und teste es.

Wie würden Sie Ihren Raum am besten beschreiben? Und wie nutzen Sie ihn?

Dima: Ich beschreibe meinen Arbeitsplatz als mein Heimlabor. Ich habe letztes Jahr beschlossen, ein Heimlabor einzurichten, weil ich auch zu Hause Dinge erschaffen wollte. Ich nutze mein Labor fast täglich für Elektronik und den Bau von Prototypen für meine Arbeitsprojekte, außerdem für persönliche Projekte und um meinen Kindern etwas über Elektronik, Lernen und Forschung beizubringen.

Welche Anforderungen und Ziele hatten Sie bei der Gestaltung und Einrichtung Ihrer Räumlichkeiten?

Dima: Ich hatte sehr begrenzten Platz für das Labor. Die hauptsächlichsten Einschränkungen waren also die physischen Abmessungen. Es begann damit, einen Arbeitstisch mit den richtigen Abmessungen zu finden. Ich musste einen Platz für meine Werkzeuge finden. Viele davon hängen an den Wänden, liegen auf Regalen oder sind in Schubladen versteckt, wie Sie auf dem Foto sehen können.



►
Dimas
Elektronikarbeitsplatz.

Erzählen Sie uns von Ihren technischen Interessen. An welchen Projekten arbeiten Sie in Ihrem Heimlabor? Warum konzentrieren Sie sich auf solche Projekte?

Dima: Ich mag anspruchsvolle Projekte mit begrenztem Budget. Im Allgemeinen umfassen meine Projekte Elektronik, Programmierung und Mechanik. Ich interessiere mich sehr für Technik, daher sehe ich gerne neue Dinge und finde neue Lösungen. Ich mag Projekte mit begrenztem Budget, weil sie mich zwingen, über Standardlösungen hinaus zu denken, über Lösungen, die nicht einfach sind. Ich erkunde verschiedene Technologien aus anderen Bereichen, um etwas Nützliches für mein Projekt zu finden, um mein Ziel zu erreichen. Manchmal kann eine einfache Lösung vor unseren Augen liegen, aber oft sind wir auf die Art und Weise fixiert, wie wir Dinge gelernt haben.

Welche Art von Ausrüstung und Werkzeug haben Sie in Ihrem Labor? Können Sie uns sagen, wie und wo Sie die Ausrüstung und Werkzeuge aufbewahren?

Dima: In meinem Labor habe ich: Lötstation, Netzteile, Oszilloskop, Multimeter, 3D-Drucker, Reflow-Ofen, Mikroskop, Heizplatte, Messschieber, Lötausrüstung, Platinenhalterungen, Pinzetten, elektronische Bauteile und Module. Ich bewahre meine Ausrüstung auf Regalen, an der Wand montiert und teilweise in Schubladen auf.

Was halten Sie für Ihr wichtigstes oder wertvollstes Gerät oder Werkzeug? Und warum?

Dima: Ein gutes Labornetzteil. Man braucht es für jedes Projekt. Ich verwende das DP832 von Rigol. Es hat gute Kenndaten, gute Nutzerbewertungen und ein gutes Preis-Leistungs-Verhältnis.

Gibt es etwas Besonderes oder Einzigartiges an Ihrem Raum? Was macht dieses Merkmal so besonders oder wichtig?

Dima: Ich habe einen kleinen Tisch-Reflow-Ofen für das Prototyping. Er gefällt mir sehr gut, weil ich ihn selbst gebaut habe. Er basiert auf dem Controleo3-Kit, das ich gekauft habe, aber es waren viele Änderungen erforderlich, um den Ofen an meine Bedürfnisse anzupassen. Das Gerät hat mich die Abende mehrerer Wochen gekostet, es zusammenzubauen, aber schließlich war es fertig, und ich bin mit dem Ergebnis zufrieden. Es hat mir das Leben beim Bestücken von Platinen sehr erleichtert. Vorher habe ich Platinen mit einer Heizplatte gelötet, aber die Ergebnisse waren nicht zufriedenstellend, und es war jedes Mal eine Menge Nacharbeit nötig. Jetzt sind die Reflows der einfachste Teil jeder neuen Prototypenbestückung. Abgesehen von der Nützlichkeit des Geräts war es auch ein sehr schönes Projekt.

Planen Sie etwas Neues für Ihr Labor?

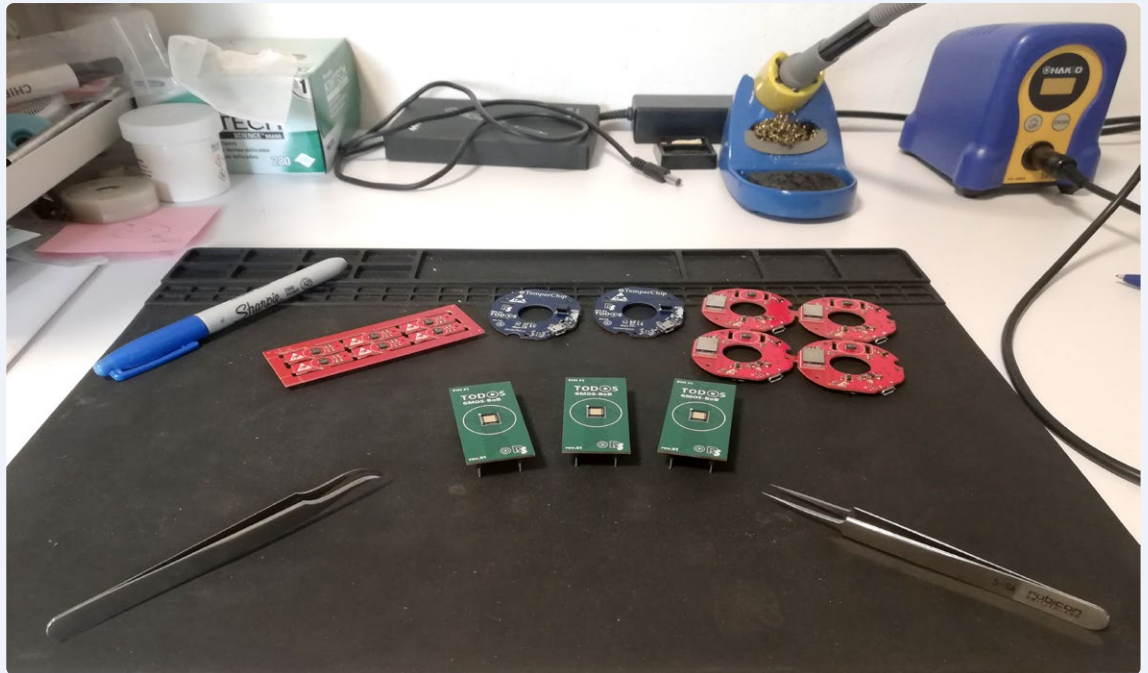
Dima: Ich denke darüber nach, das Labor mit einem neuen 3D-Drucker aufzurüsten. Eine Wärmebildkamera wäre auch eine große Verbesserung für die Bewertung von Platinen.

Erzählen Sie uns von Ihrem Lieblingsprojekt im Bereich Elektronik. Haben Sie dabei etwas Interessantes gelernt?

Dima: Ich arbeite seit einiger Zeit an einem neuen Gassensor. Dies hängt mit meiner akademischen Arbeit zusammen, während ich meinen Master-Abschluss in Elektronik anstrebe. Dieser Gassensor funktioniert nach einem etwas anderen physikalischen Prinzip als



◀
Dima Shlenkevitch hält einen Vortrag.



► Ein Projekt in Arbeit.

handelsübliche Sensoren. Er basiert auf einem thermischen Miniatursensor und nutzt eine Verbrennungsreaktion, um brennbare Gase in der Umgebung zu erkennen. Dieses Projekt umfasst den Platinendesign für die Sensorauswertung, sowohl für analoge als auch für digitale Teile. Ich habe dabei viel über Platinendesign und Layout gelernt. Der andere Teil dieses Projekts ist die Programmierung und die Suche nach Algorithmen für die selektive Gaserkennung. Ich verwende gerne die Arduino-IDE, um meine Projekte zu programmieren und zu bewerten. Sie ist leicht zu erlernen und macht das Prototyping zugänglich. Ich verwende in meinen Projekten gerne das Artemis-Modul von SparkFun, da es sehr leistungsstark ist und von der Arduino-IDE unterstützt wird.

Arbeiten Sie derzeit an einem Elektronik- oder Programmierprojekt?

Dima: In den letzten Jahren habe ich mich mit der Entwicklung von Sensorsystemen beschäftigt und bin dabei auf die Idee gestoßen, ein universelles modulares Sensorsystem zu entwickeln. Heute arbeite ich an einem Prototyp eines solchen Sensorsystems, das wie ein Lego-Baukasten mit verschiedenen Blöcken aufgebaut sein soll, mit denen ich das ganze System nach meinen speziellen Bedürfnissen konfigurieren kann, zum Beispiel ein Display-Block, ein Verbindungsblock, verschiedene Sensoren und so weiter. Die Hauptanforderung, die ich an das System gestellt habe, ist die

automatische Erkennung der einzelnen Blöcke ohne Eingreifen des Benutzers. Es ist mein Hobbyprojekt, und ich hoffe, dass ich es bald mit anderen teilen kann.

Haben Sie ein Traumprojekt oder etwas, das Sie gerne in Angriff nehmen würden?

Dima: Ein Projekt, über das ich schon eine Weile nachdenke, ist ein Umweltroboter. Ich wohne in der Nähe des Meeres und liebe es, Zeit am Strand zu verbringen. Das Ärgerlichste und Frustrierendste ist die (nicht vorhandene) Sauberkeit der Strände. Einige Strände, für die die Stadtverwaltung zuständig ist, werden zwar von Zeit zu Zeit gereinigt, andere wiederum nur ein paar Mal im Jahr von Freiwilligen. Die Sauberkeit ist also insgesamt schlecht. Die Idee ist, einen autonomen Roboter zu entwickeln, der die Strände in bestimmten Gebieten selektiv reinigen kann, ohne dass ein hoher Personalaufwand erforderlich wäre. Er soll in der Lage sein, viel größere Strandbereiche zu reinigen und kann auch Bereiche erreichen, die schlecht gereinigt sind.

Haben Sie Ratschläge, Tipps oder Ermutigungen für andere Ingenieure oder Maker, die einen Arbeitsbereich einrichten wollen?

Dima: Wenn Sie glauben, dass Sie einen Arbeitsbereich brauchen, dann planen und bauen Sie ihn. Planen Sie nicht zu viel; fangen Sie mit etwas Kleinem an und vergrößern Sie den Arbeitsplatz, wenn es notwendig ist. ◀

SE – 240315-02

Zeigen Sie Ihren Arbeitsbereich!

Möchten Sie Details über Ihren Arbeitsbereich mit der globalen Elektor-Community von Ingenieuren, Studenten und Machern teilen? Nehmen Sie sich ein paar Minuten Zeit, um unser Online-Formular (www.elektormagazine.com/workspaces) auszufüllen, damit unsere Redakteure mit Ihnen in Kontakt treten können!

Jede Bewertung spiegelt ein persönliches Erlebnis wider

“Immer am Puls der Entwicklung und trotzdem stets in der Lage, die Dinge auch zu erklären. Für mich seit Jahrzehnten immer eine gute Anregung für eigene Projekte.”

★★★★★ by Peter Shimada

Rated 4.7 / 5 | 650 reviews

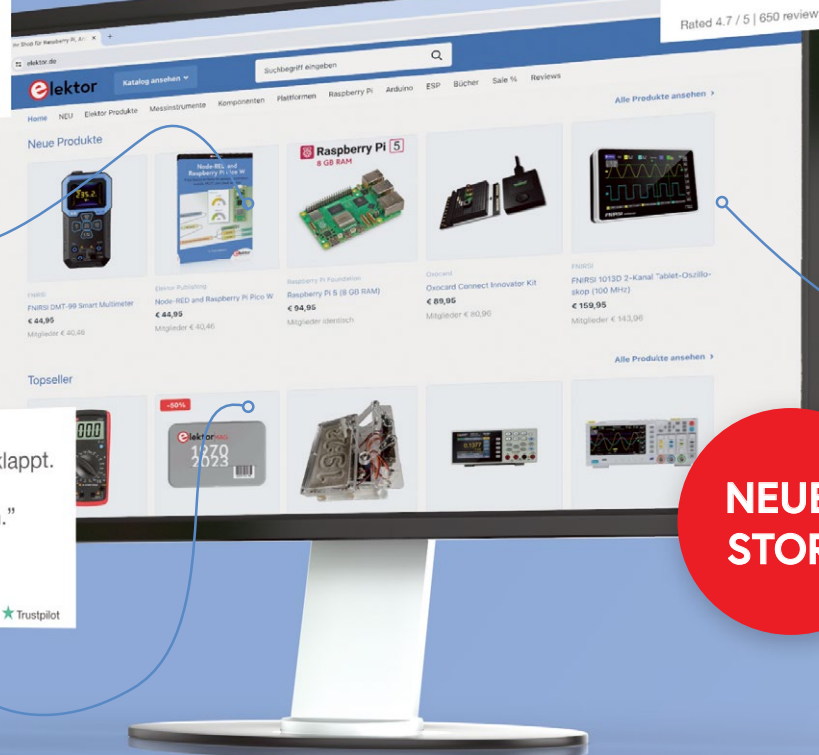
Trustpilot

“Alles Gut! – Alle Lieferungen sind stets sehr schnell und auch bei Problemen wird schnell reagiert und eine Lösung gefunden.”

★★★★★ by Darklirah Maledicta

Rated 4.7 / 5 | 650 reviews

Trustpilot



“Bestellung hat alles prima geklappt. Schneller Service. Buch wie beschrieben und zu empfehlen.”

★★★★★ by Matty

Rated 4.7 / 5 | 650 reviews

Trustpilot

NEUER
STORE

Wir lieben Elektronik und Projekte, und wir setzen alles daran, die Bedürfnisse unserer Kunden zu erfüllen

Der Elektor-Store: ‘Never expensive, always surprising’



Sehen Sie sich weitere Bewertungen auf unserer Trustpilot-Seite an: www.elektor.com/TP/de

Oder bilden Sie sich selbst eine Meinung und besuchen Sie unseren Elektor Store, www.elektor.de



elektor
design > share > earn

Treten Sie jetzt der Elektor Community bei!



Jetzt



Mitglied werden!



- ✓ Zugang zum kompletten Online-Archiv (1970-heute)!
- ✓ 8x Elektor Magazin (gedruckt)
- ✓ 8x Elektor Magazin (PDF)
- ✓ 10% Rabatt im Elektor Store und exklusive Angebote
- ✓ Zugriff auf über 5.000 Gerber-Dateien u.v.m. aus der Projektplattform Elektor Labs



Auch erhältlich

Die digitale
Mitgliedschaft!



- ✓ Zugang zum kompletten Online-Archiv
- ✓ 8x Elektor Magazin (PDF)
- ✓ 10% Rabatt im Elektor Store und exklusive Angebote
- ✓ Zugriff auf über 5.000 Gerber-Dateien u.v.m. aus der Projektplattform Elektor Labs



www.elektormagazine.de/Abonnement