

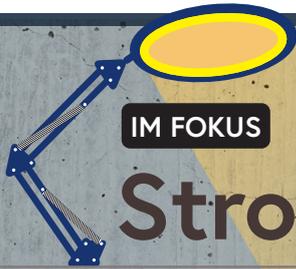


elektor

design > share > earn

DIGITALE
BONUS
AUSGABE

607B
SEIT 1961

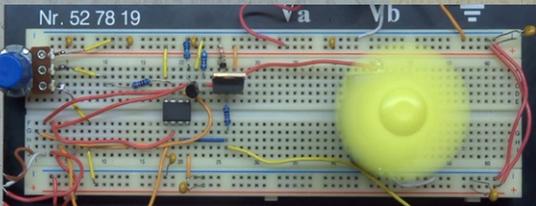


IM FOKUS

Strom und Energie

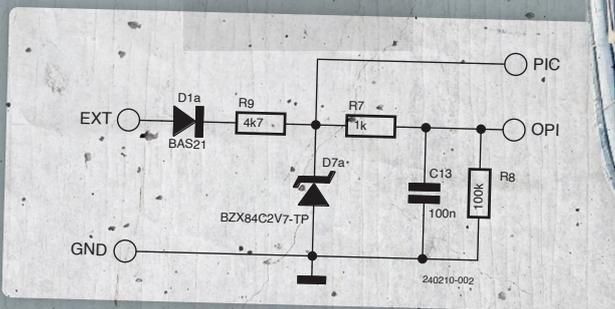


Drehzahlregelung eines DC-Bürstenmotors
EMK-Messung statt Tachogenerator



Netzspannungsmonitor
Ist Ihr Stromnetz ständig verfügbar?

8-bit-Kompagnon für den Raspberry Pi
Strom sparen leicht gemacht



BEMERKENSWERTE

BAUTEILE

Quecksilberdampfgleichrichter

Infografik

Strom und Energie



FORTEC

INTEGRATED

Your project partner

- Embedded
- HMI systems
- Power supplies
- Displays and Touch

One partner,
unlimited
technology
solutions.

fortec-integrated.de
fortec-power.de





INHALT

- 3 Impressum**
- 4 Drehzahlregelung eines DC-Bürstenmotors**
EMK-Messung statt Tachogenerator
- 10 8-bit-Kompagnon für den Raspberry Pi**
Strom sparen leicht gemacht
- 12 Aus dem Leben gegriffen**
Mikromanagement
- 14 Bemerkenswerte Bauteile**
Quecksilberdampfgleichrichter
- 16 Infografik: Strom und Energie**
- 18 Netzspannungsmonitor** 
Ist Ihr Stromnetz ständig verfügbar?



Die Elektor-Ausgabe
Januar/Februar
2025 ist am Kiosk
und im Elektor-Store
erhältlich.



C. J. Abate

Content Director, Elektor

Bonus-Ausgabe: Lösungen für Strom und Energie

Sind Sie auf der Suche nach weiteren Inhalten zum Thema Strom und Energie? In dieser Elektor-Bonusausgabe finden Sie zusätzliche Inhalte, die Sie zu eigenen Lösungen inspirieren. Wie gewohnt finden Sie auch Artikel zu anderen interessanten Themen.

Ist Ihre Netzversorgung ständig verfügbar? Der Artikel *Netzspannungsmonitor* beschreibt eine Schaltung, die das Stromnetz ständig überwacht und Ausfälle meldet.

Bevor es Hochleistungs-Gleichrichter auf Halbleiterbasis gab, war die Umwandlung von Wechselstrom in Gleichstrom in Industrie- und Verkehrsanwendungen eine große Herausforderung. Die Geräte waren sperrig, zerbrechlich, verwendeten umweltschädliche Materialien und mussten häufig gewartet werden. Lesen Sie im Artikel *Quecksilberdampfgleichrichter* mehr über die Bauteile mit dem Quecksilber-Lichtbogen. Bürstenbehaftete Gleichstrommotoren werden heutzutage meist durch bürstenlose (BLDC) und Schrittmotoren ersetzt, aber ihre einfachere Steuerung hat immer noch Vorteile. Der Artikel *Drehzahlregelung eines bürstenbehafteten DC-Motors* befasst sich mit der Aufrechterhaltung einer konstanten Drehzahl unabhängig vom Drehmoment - ohne einen Tachogenerator. Wir hoffen, dass Ihnen diese und die übrigen Artikel der Bonus-Ausgabe gefallen. Und wenn Sie an Ihren eigenen Projekten arbeiten, dokumentieren Sie Ihre Fortschritte auf der Plattform Elektor-Labs (www.elektormagazine.de/labs/)!

Unser Team

Chefredakteur: Jens Nickel (v.i.S.d.P.) | **Redaktion:** Asma Adhimi, Roberto Armani, Eric Bogers, Jan Buiting, Rolf Gerstendorf (RG), Ton Giesberts, Saad Imtiaz, Alina Neacsu, Dr. Thomas Scherer, Jean-Francois Simon, Clemens Valens, Brian Tristam Williams | **Regelmäßige Autoren:** David Ashton, Stuart Cording, 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. 607B, ISSN 0932-5468
Januar/Februar 2025 Digitale Bonus-Ausgabe

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

Chefredakteur: Jens Nickel (v.i.S.d.P.)

Für alle Ihre Fragen: service@elektor.de

Mitglied werden: www.elektormagazine.de/abo

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

Urheberrecht

© Elektor International Media b.v. 2025

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

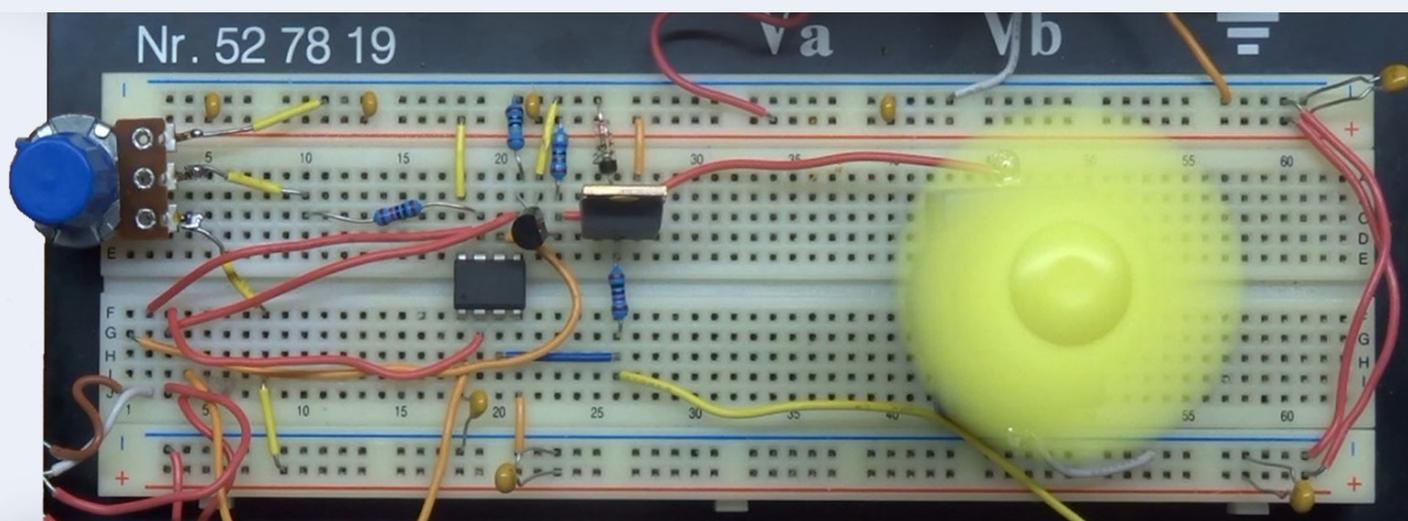
benutzt werden dürfen. Die geltenden gesetzlichen Bestimmungen hinsichtlich Bau, Erwerb und Betrieb von Sende- und Empfangseinrichtungen und der elektrischen Sicherheit sind unbedingt zu beachten. Eine Haftung des Herausgebers für die Richtigkeit und Brauchbarkeit der veröffentlichten Schaltungen und sonstigen Anordnungen sowie für die Richtigkeit des technischen Inhalts der veröffentlichten Aufsätze und sonstigen Beiträge ist ausgeschlossen.

Distribution

IPS Pressevertrieb GmbH, Carl-Zeiss-Straße 5
53340 Meckenheim (Deutschland)
Tel. +49 (0)2225 88010

Drehzahlregelung eines bürstenbehafteten DC-Motors

EMK-Messung statt Tachogenerator



Von Rainer Schuster (Deutschland)

Immer mehr wird der bürstenbehaftete Gleichstrommotor von seinem bürstenlosen Konkurrenten (BLDC) und von Schrittmotoren verdrängt. Allerdings ist sein Einsatz immer noch sinnvoll, da der Steuerungsaufwand wesentlich geringer ist. In diesem Beitrag wird gezeigt, wie man die Drehzahl eines Gleichspannungsmotors mit Bürsten unabhängig vom Drehmoment konstant halten kann - und das ohne einen Tachogenerator.

Im einfachsten Fall wird ein DC-Motor wie in **Bild 1** an eine variable Spannungsversorgung angeschlossen. Die Drehzahl ist dabei (theoretisch) proportional zur Versorgungsspannung U_M , allerdings nur, solange das Drehmoment konstant ist. Leider sieht das Ersatzschaltbild des DC-Motors aus wie in **Bild 2**: Die Motorwicklung hat nicht nur eine Induktivität L_M , sondern auch einen ohmschen Widerstand des Kupferdrahtes, der mit R_M bezeichnet ist. Je höher das Drehmoment ist, desto mehr Spannung fällt an R_M ab, bis schließlich keine Spannung mehr an der Induktivität L_M vorhanden ist und der Motor stehen bleibt (**Bild 3**).

Regelung mit Tachogenerator oder EMK-Messung

Um diese drehmomentabhängigen Drehzahlschwankungen auszugleichen, wurde der Motor einst üblicherweise mit einem Tachogenerator gekoppelt, der wiederum eine der Drehzahl proportionale

Spannung lieferte (**Bild 4**). Allerdings ist eine Einheit Motor-Tachogenerator größer und teurer als eine tacholose Version eines Motors.

Wird der Motor aber mit einer gepulsten Spannung (PWM) betrieben, so ist die Drehzahl proportional zur Einschaltdauer. Gleichzeitig arbeitet der Motor in der Ausschaltphase der PWM-Spannung als Generator, sodass in dieser Phase seine Drehzahl gemessen werden kann. Früher, im analogen Zeitalter, war der elektronische Aufwand für eine solche Regelung nicht unerheblich, wie aus dem Prinzipschaltbild in **Bild 5** ersichtlich ist.

Es wurden ein Rechteckgenerator, ein spannungsgesteuerter Pulsweitenmodulator, eine Sample&Hold-Schaltung zur Messung des Drehzahl-Istwertes und ein PI-Regler benötigt. In der digitalen Welt bleibt das Prinzip gleich, allerdings hält sich der Aufwand dank der Verwendung eines Mikrocontrollers in Grenzen.

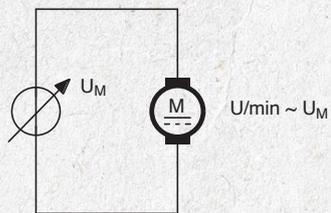


Bild 1. In einer idealen Welt ist die Drehzahl proportional zur Motorspannung.

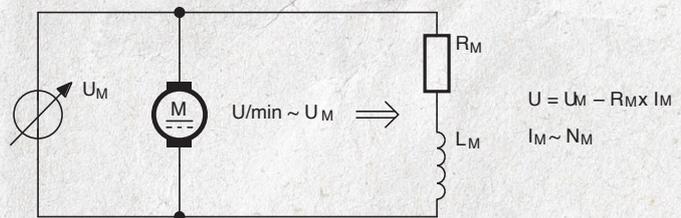


Bild 2. In der Praxis gesellt sich zur Induktivität der Motorwicklung ihr ohmscher Widerstand.

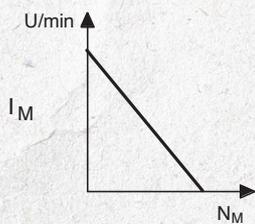


Bild 3. Je höher das Drehmoment, desto langsamer dreht sich der Motor.

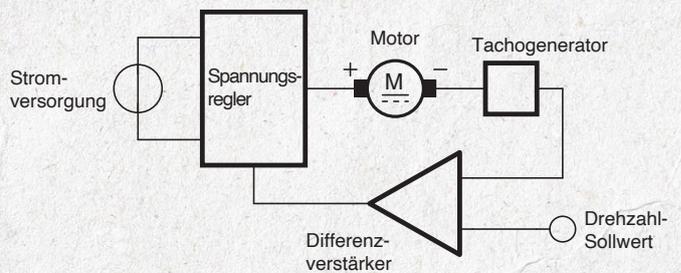


Bild 4. Prinzipschaltbild einer Motorregelung mit Tachogenerator.

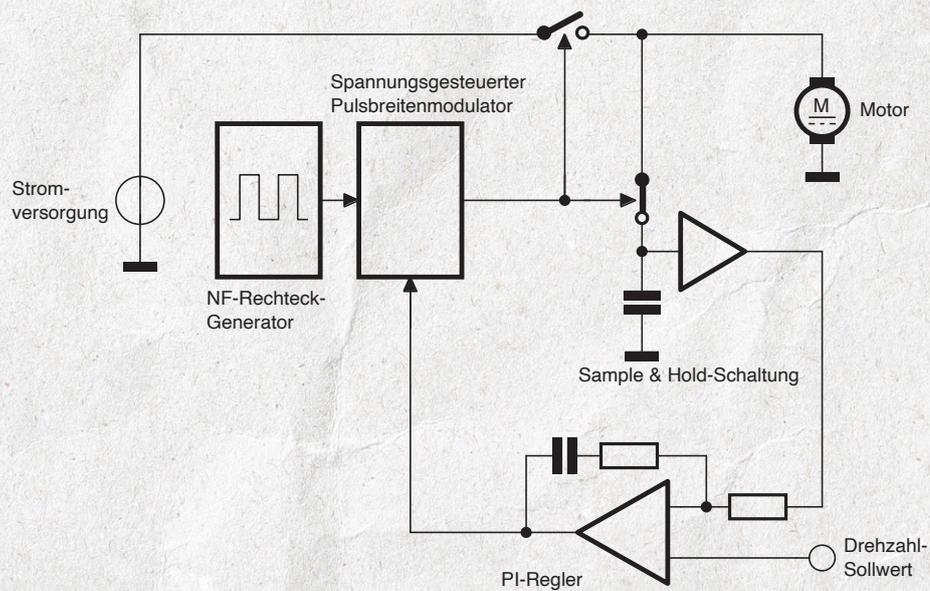


Bild 5. Prinzipschaltbild einer Motorregelung mit EMK-Messung.

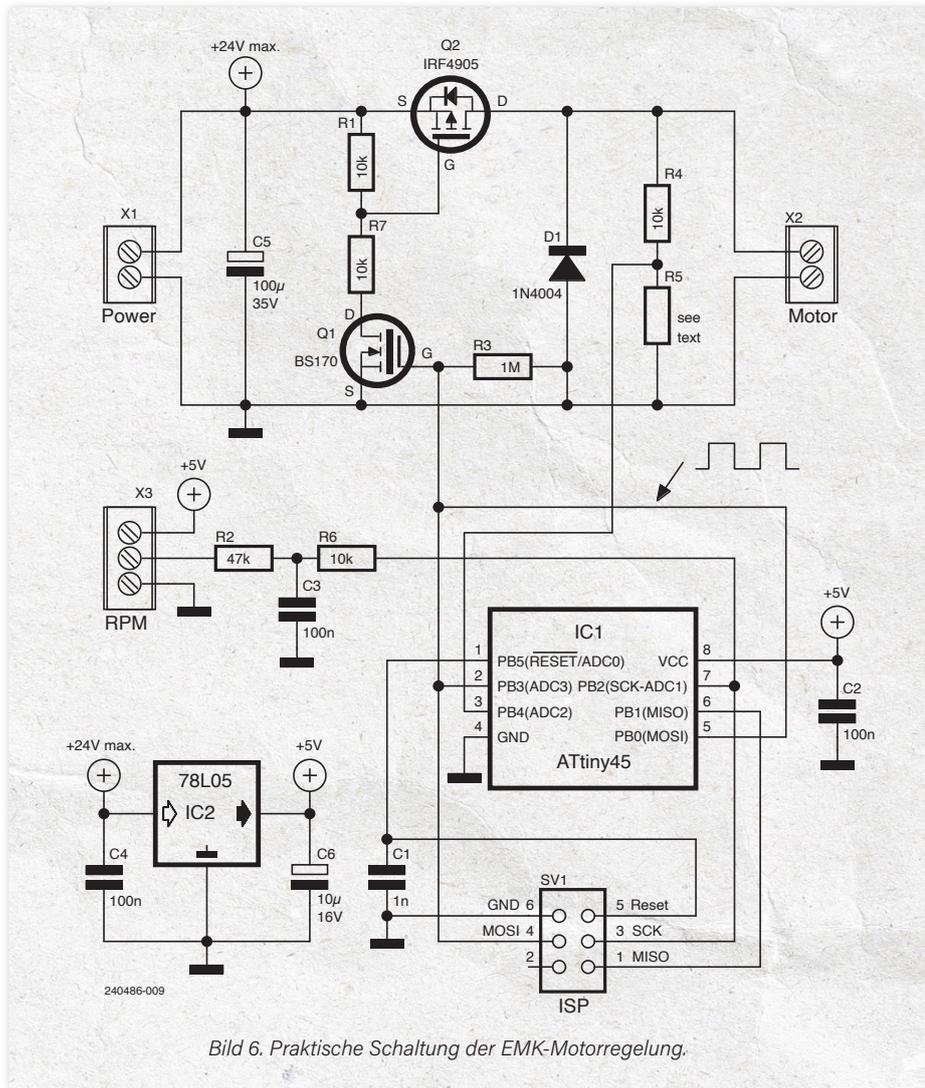


Bild 6. Praktische Schaltung der EMK-Motorregelung.

Praktische Ausführung einer EMK-Regelung

Es wird, wie der vollständige Schaltplan in **Bild 6** zeigt, ein Mikrocontroller vom Typ ATtiny 45 von Microchip mit 4 kB Flashspeicher zur Steuerung verwendet. Der Controller hat gerade einmal acht Beinchen, ist aber für diese Anwendung hervorragend geeignet. Über SV2 kann er mit einem ISP-Programmiergerät „in system“ programmiert werden. Der Mikrocontroller wird vom Spannungsregler IC2 mit 5 V versorgt, weshalb die Eingangsspannung (und damit die Motorspannung) nicht höher sein darf als 24 V. Q1 und Q2 steuern den Motor. Q2 ist ein PMOS-Transistor des Typs IRF4905, der theoretisch einen Motorstrom von 74 A verkräftet, allerdings dies nur unter Einsatz eines ausreichend bemessenen Kühlkörpers. **Bild 7** zeigt, was während der verschiedenen Phasen des PWM-Signals an den Motorklemmen passiert: Nach der ON-Phase des PWM-Signals folgt in der OFF-Phase eine Zeit der Entmagnetisierung; anschließend erzeugt der Motor eine EMK-Spannung, die proportional zur Drehzahl ist. Diese Spannung wird über den Spannungsteiler R4/R5 zum Analog-Digital-Wandler ADC2 des Mikrocontrollers geführt. R5 ist so dimensionieren, dass die Spannung an ADC2 5 V nicht überschreitet.

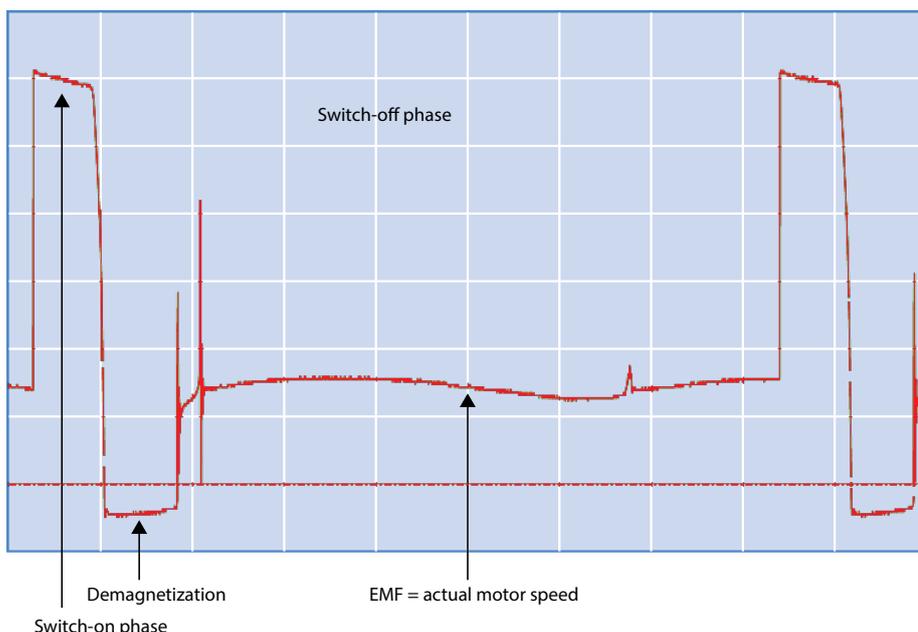


Bild 7. Die Drehzahl wird in der Ausschaltphase nach der Entmagnetisierung gemessen.

VB	R5
12 V	4k7
24 V	2k2

Der Sollwert der Drehzahl, die vom RPM-Poti oder einer externen Spannung 0...5 V an X6 vorgegeben wird, gelangt zu ADC1 des Mikrocontrollers. Diode D1 ist unbedingt erforderlich, da sich beim Abschalten der Steuerspannung die Induktivität des Motors entlädt, was sich in einer negativen Spannungsspitze bemerkbar macht, die D1 auf etwa 0,7 V begrenzt. **Bild 8** zeigt einen Vorschlag für ein Platinenlayout der Motorregelung mit EMK-Messung; die erforderlichen Bauteile sind in der **Stückliste** angegeben.

Software I

Die Software für den ATtiny45 wurde in BASCOM geschrieben. Der Controller wird

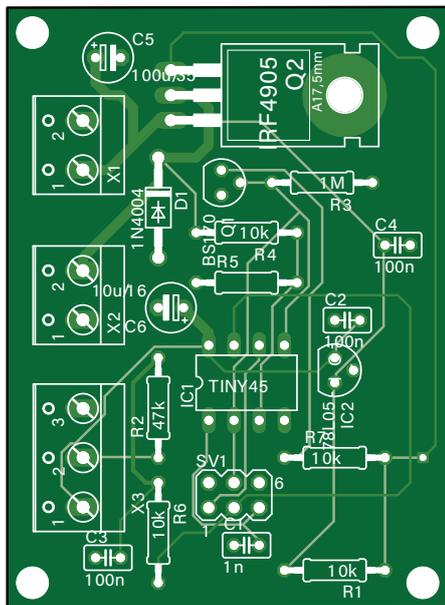


Bild 8. Vorschlag für ein Platinenlayout der EMK-Regelung.

intern mit 8 MHz betrieben. Timer0 wird als PWM-Timer in der Betriebsart *Phase Correct PWM Timer* betrieben. Mit einem Vorteiler von N=64 ergibt sich die PWM-Frequenz zu:

$$f_{\text{OCnxPCPWM}} = \frac{f_{\text{clk_I/O}}}{N \times 510}$$

Bei 8 MHz ergibt das eine Frequenz von 245 Hz. Die Pulsbreite wird über das Register PWM0A von 0 bis 255 eingestellt.

Je nach Motortyp muss der Vorteiler unter Umständen auf den Wert 256 eingestellt werden, zum Beispiel wenn die Induktionsphase länger oder genauso lang ist wie die Ausschaltphase. Das ergibt dann eine PWM-Frequenz von ungefähr 60 Hz.

In der Hauptprogramm Schleife wird ständig der Drehzahlswert an ADC1 eingelesen. Der Istwert wird während der Ausschaltphase ($\text{Pwm_Pin}=0$) an ADC2 eingelesen und aufsummiert. Wird der Motor wieder eingeschaltet, wird der Mittelwert des Istwerts gebildet.

Zur Realisierung des PI-Reglers gibt es die Konstante T_i (Integrationszeit), zusammen mit der Zeitkonstante von Timer1 und K_p (proportionale Verstärkung), die an den verwendeten Motor angepasst werden müssen. Mit dem Register TCCR1 wird die Interruptzeit von Timer1 eingestellt:

TCCR1	Timer1 Interrupt
4	250 μ s
5	500 μ s
6	1 ms
7	2 ms

Ist T_i abgelaufen (Timer1-Interrupt $\times T_i$), wird die Drehzahlabweichung berechnet, zum vorherigen Wert (vorzeichenbehaftet) aufsummiert und mit K_p multipliziert. Das Ergebnis wird direkt als neue Einschaltdauer ausgegeben.

Regelung mittels RI-Kompensation

Eine ebenfalls praktikable Lösung kann die sogenannte RI-Kompensation sein. Wie eingangs erwähnt, ist die Drehzahl-schwankung eines DC-Motors dem ohmschen Widerstand seiner Kupferwicklung geschuldet. Wird der Strom durch den Motor gemessen, kann dieser Widerstand kompensiert werden. Dazu muss nur der Spulenwiderstand des Motors bekannt sein. Der lässt sich aber leicht messen.

Die Schaltung in **Bild 9** ist ähnlich der in Bild 6 aufgebaut, nur dass jetzt der Motorstrom als Spannungsabfall über R_5 gemessen wird. R_5 ist so zu dimensionieren, dass maximal 0,5 V an R_5 bei maximalem Motorstrom abfallen. Die Belastbarkeit in Watt muss $R_5 \times$ Motorstrom im Quadrat entsprechen. **Bild 10** zeigt einen Vorschlag für das Layout der Motorregelung mit RI-Kompensation, wobei R_4 entfällt.

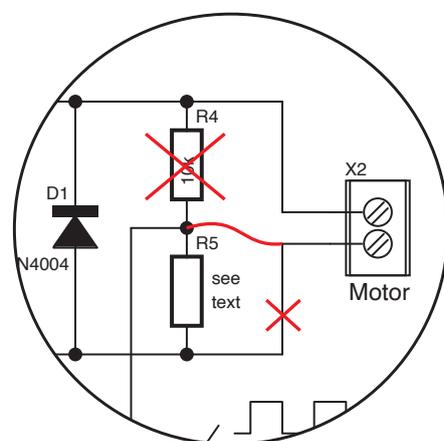


Bild 9. Die Motorregelung mit RI-Kompensation unterscheidet sich nur durch ein Detail.

Software II

Die Software für die RI-Kompensation ist ebenfalls in BASCOM geschrieben. Timer0 ist als PWM-Timer mit einer Frequenz von 245 Hz konfiguriert. Im Gegensatz zur EMK-Regelung ist die Regelung hier als reiner P-Regler ausgeführt. Dazu müssen der Spulenwiderstand des Motors sowie die Versorgungsspannung bekannt sein und als Konstanten R_M und U_0 im Programm angegeben werden.

Der Motorstrom wird jetzt während der Einschaltphase des PWM-Signals gemessen. Über die Einschaltdauer wird der Effektivwert des Stroms berechnet:

$$I_{\text{eff}} = I_s \times \frac{T_{\text{on}}}{T} = \frac{U_{R5}}{R5} \times \frac{\text{PWM0A}}{255}$$

Die Einschaltdauer wird dann um den entsprechenden Wert erhöht.

Zwei Optionen

Es gibt mehrere Möglichkeiten, einen DC-Motor ohne Tachogenerator zu regeln. Jede dieser Möglichkeiten hat unterschiedliche Vor- und Nachteile:

- Bei der EMK-Regelung ist ein PI-Regler erforderlich, dessen Parameter dem verwendeten Motor angepasst werden müssen, um Über- beziehungsweise Unterschwinger zu optimieren.

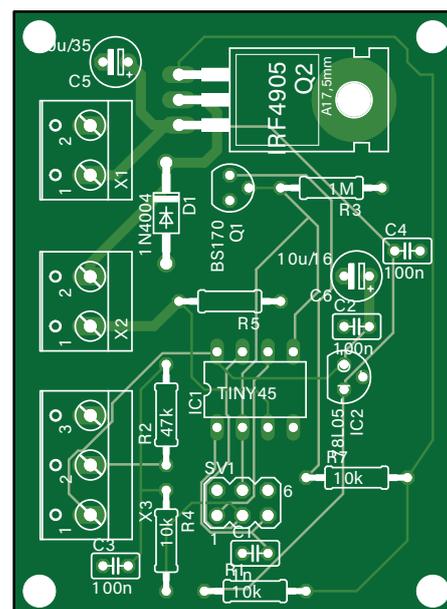


Bild 10. Vorschlag für ein Platinenlayout der Regelung mit RI-Kompensation.

Dafür werden Spannungsschwankungen der Versorgungsspannung ausgeglichen.

- Bei der RI-Kompensation treten keine Über- oder Unterschwinger auf, dafür werden Spannungsschwankungen der Versorgungsspannung nicht kompensiert.

Auf der Elektor-Labs-Projektseite unter [1] können die Schaltpläne, Layouts und Software für beide Regelungen heruntergeladen werden. ◀

RG — 200486-02



Über den Autor

Die Faszination für Elektronik begann für Rainer Schuster im Alter von 13 Jahren, als er zu Weihnachten 1970 von seinen Eltern den Elektronik- Experimentierkasten EE1 von Philips geschenkt bekommen hatte. Im September 1971 kaufte er sich sein erstes Elektor-Heft und blieb bis heute Elektor treu. Nach dem Studium der Elektrotechnik an der Fachhochschule München arbeitete er 37 Jahre lang als Ingenieur in der Elektronikentwicklung der Firma Agfa in München. Seit 2009 schreibt er selbst Artikel für Elektor. Jetzt als Rentner hat er auch einen eigenen Youtube Kanal (www.youtube.com/@rainerschuster5722), auf dem er seine Projekte postet.

Sie haben Fragen oder Kommentare?

Haben Sie technische Fragen oder Anmerkungen zu diesem Artikel? Bitte wenden Sie sich an den Autor unter rainerschuster@mnet-mail.de oder die Elektor-Redaktion unter redaktion@elektor.de.



Stückliste EMK-Regelung

Widerstände:

R1,R4,R6,R7 = 10 k
R2 = 47 k
R3 = 1 M
R5 = siehe Text

Kondensatoren:

C1 = 1 n
C2...C4 = 100 n
C5 = 100 µ/35 V
C6 = 10 µ/16 V

Halbleiter:

D1 = 1N4004
Q1 = BS170
Q2 = IRF4905
IC1 = ATtiny45
IC2 = 78L05

Außerdem:

SV1 = 2x3-polige Stiftleiste
X1,X2 = 2-polige Platinenklemme, RM5
X3 = 3-polige Platinenklemme, RM5



Stückliste RI-Kompensationsregelung

Widerstände:

R1,R6,R7 = 10 k
R2 = 47 k
R3 = 1 M
R5 = siehe Text

Kondensatoren:

C1 = 1 n
C2...C4 = 100 n
C5 = 100 µ/35 V
C6 = 10 µ/16 V

Halbleiter:

D1 = 1N4004
Q1 = BS170
Q2 = IRF4905
IC1 = ATtiny45
IC2 = 78L05

Außerdem:

SV1 = 2x3-polige Stiftleiste
X1,X2 = 2-polige Platinenklemme, RM5
X3 = 3-polige Platinenklemme, RM5



Passendes Produkt

- **Motor Control Development Bundle**
www.elektor.de/20534



WEBLINKS

[1] Elektor-Labs-Seite zu diesem Projekt: <https://t1p.de/ggi02>

[2] YouTube-Video: <https://www.youtube.com/watch?v=6IEVBQYKIF4>

DU GLÜCKSPILZ!



KOSTENLOSER
DOWNLOAD

Ein Leser des e-zine Newsletters verpasst
nie das monatliche 'reverse project'

Du bist noch kein Leser? Melde dich für unseren
Newsletter an, elektormagazine.de/ezine-24



8-Bit-Kompagnon für den Raspberry Pi

Strom sparen leicht gemacht

Von Tam Hanna (Ungarn)

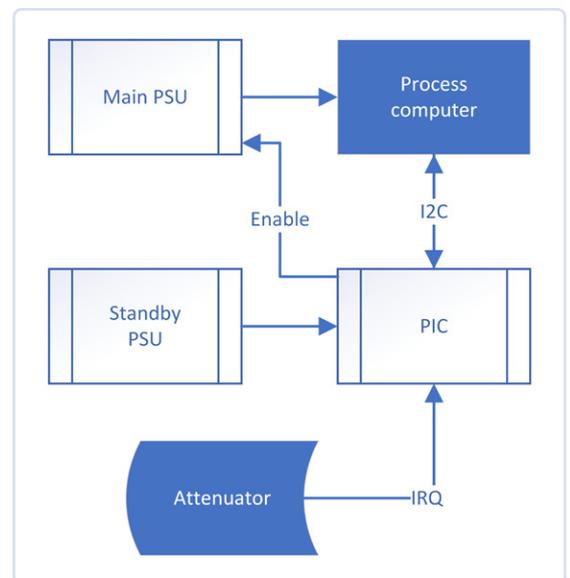
Raspberry Pis und andere SBCs eignen sich hervorragend für anspruchsvolle Prozesssteuerungen, benötigen aber bedeutend mehr Strom als bloße Mikrocontroller. Mit einem Tandem verbindet man das Beste aus zwei Welten! Hier zeigen wir, wie man einen 8-bit-PIC dazu bringt, einen Raspberry Pi immer dann anzuschalten, wenn es nötig ist.

Einplatinencomputer mit Unix-Fähigkeit erleichtern die Entwicklung komplexer Steuerungen. Insbesondere in Szenarien mit hohen Ansprüchen an GUI und Datenverarbeitung sind sie MCUs überlegen. Leider lassen Stromverbrauch und Echtzeitfähigkeit zu wünschen übrig. Doch warum nicht das Beste aus zwei Welten verbinden? Wer einen Einplatinencomputer von der Stange auf sparsam trimmen möchte, kann dies mit einem Achtbitter als Partner erreichen.

Als Beispiel wollen wir hier ein System realisieren, das programmatische Totzeiten einhält und als Reaktion auf ein bestimmtes externes Ereignis einen „Alarmstart“ durchführt.

Schaltungskonzept im Fokus

Im Prinzip präsentiert sich die Schaltung wie im Flowchart gezeigt (**Bild 1**). Der als Hauptversorgung für den Prozessor agierende Spannungsregler (normalerweise



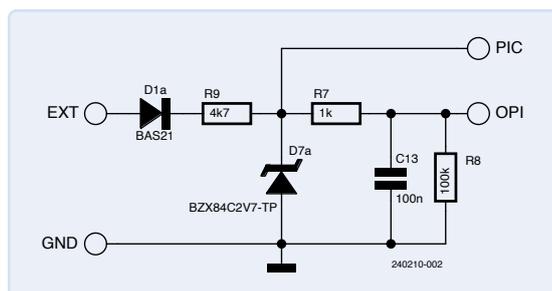
▲ Bild 1. Dieses Schaltschema reduziert den Energieverbrauch erheblich.

ein Schaltregler) wird über seinen Enable-Eingang vom Mikrocontroller gesteuert.

Die MCU benötigt (logischerweise) eine separate und vom EN-Eingang unabhängige Spannungsversorgung; ob des geringen Energiebedarfs ist ein Linearregler hier die preiswertere Lösung. Im Allgemeinen ist das Konzept komplett bauteilagnostisch, der Autor verwendet aufgrund guter Erfahrungen gerne moderne PIC16F-Derivate von Microchip.

In **Bild 2** ist die Teilschaltung zu sehen, die den PIC darüber informiert, wann der SBC (OPI = Orange Pi) vom externen Schaltregler (EXT) versorgt wird. D1a, R9 und D7a realisieren einen mehr oder weniger „klassischen“ Abschwächer, der anliegende Eingangsspannungen im Bereich von bis zu 20 V auf einen für die Eingänge von Prozessor und Mikrocontroller verwaltbaren Wert herunterbricht.

Die Zerteilung des Vorwiderstands in die Werte R7 und R9 ist erforderlich, weil Single Board Computer im



► Bild 2. Der Widerstand R7 spart mitunter Kosten und Kopfschmerzen.

Fall der Abschaltung mitunter zu einer niederohmigen Last werden oder eine Residualspannung aufweisen - dies würde ohne den Widerstand dafür sorgen, dass der über den Eingang PIC angeschlossene Power-Management-Mikrocontroller seltsame oder ungültige Werte sehen würde.

R7 ist außerdem ein zusätzlicher Schutz - die Eingänge des Prozessrechners sind durch Schutzdioden mit der Versorgungsspannung beziehungsweise der Masse verbunden. Beim Eintreffen von sehr hohen Spannungsebenen sorgt R7 dafür, dass der in diese Dioden fließende Strom beschränkt wird und eine Beschädigung des Prozessrechners unterbleibt - C13 und R8 sind eine kleine zusätzliche Entprellung.

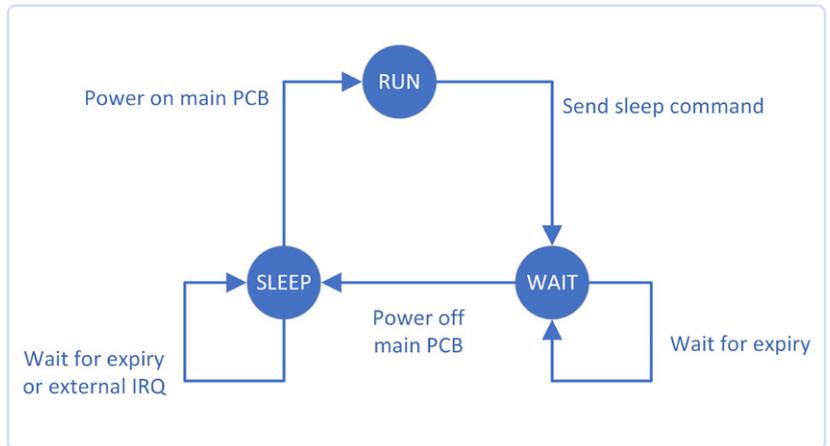
Zu bemerken sei, dass die hier gezeigte Schaltung mit ihrem EXT-Eingang in verschiedensten Schulbussen direkt mit dem Bordnetz verbunden wurde. Da mittlerweile einige Tausend solcher Systeme ohne Ausfälle im Markt beziehungsweise auf der Straße sind, ist die korrekte Funktion empirisch erwiesen.

Hilfreich ist auch die Rolle der Diode D1a als Verpolungsschutz - bitte glauben Sie dem auch im Logistikbereich tätigen Autor, dass das Falsch-herum-Anschließen von Batterie und Co. zu den klassischen Sportarten eines Mechanikers gehört.

Der Clou liegt in der Software

Die Kommunikation über I²C ist im Allgemeinen unproblematisch (man denke aber die notwendigen Pullups). Das „Geheimnis“ des vorliegenden Systems liegt in der Software. Der PIC realisiert eine Art Zustandsautomat, der sich an den in **Bild 3** gezeigten Zuständen orientiert. Von besonderer Bedeutung ist die Realisierung des Shutdown-Prozesses. Unixoide Betriebssysteme neigen dazu, auf unsanftes Ausschalten wenig freundlich zu reagieren. Ein bequemer und praxistauglicher Weg zur Lösung des Problems ist das Implementieren eines Countdowntimers: Der SBC aktiviert diesen Countdown und startet dann den Shutdown des Betriebssystems. Nach dem Ablauf der großzügig zu bemessenden Zeitspanne ist der Prozessrechner „inertialisiert“ und kann von der Energieversorgung getrennt werden.

Der PIC kann logischerweise auch andere Aufgaben übernehmen. Neben dem (schwerer manipulierbaren) Abspeichern von Seriennummern und anderen Informationen ist es beispielsweise auch möglich, grundlegende Steueraufgaben im PIC zu hinterlegen. Selbstverständlich sind auch komplexere Implementierungen möglich:



Ein aufwändiger MSR-Task würde als Zweitcontroller beispielsweise eine 32-bit-MCU vernünftigerweise ersparen lassen.

Bild 3. Auch im Embedded-Bereich hilfreich: Der Zustandsautomat.

Praxiserfahrungen

Auf dem hier gezeigten Schaltungskonzept basierende Tracker sind bei einem Kunden des Autors mittlerweile in Zehntausenderstückzahlen im Einsatz, wodurch der praktische Wert des Designs aufgezeigt ist. Statt einem Standby-Stromverbrauch im Bereich von rund 200 mA kommt das System nun mit wenigen Milliampere aus.

Die bei Microchip erschienene AN4121 des Autors steht unter [1] bereit und bietet weitere Informationen zur Thematik. ◀

240210-02

Sie haben Fragen oder Kommentare?

Haben Sie technische Fragen oder Kommentare zu diesem Artikel? Bitte wenden Sie sich per E-Mail an den Autor unter tamhan@tamoggemon.com oder die Elektor-Redaktion unter redaktion@elektor.de.



Über den Autor

Ing. Tam Hanna befasst sich seit mehr als 20 Jahren mit Elektronik, Computern und Software; er ist freiberuflicher Entwickler, Buchautor und Journalist (www.instagram.com/tam.hanna). In seiner Freizeit beschäftigt sich Tam unter anderem mit 3D-Druck und dem Vertrieb von Zigarren.

WEBLINK

[1] Usha Ganesh, Tam Hanna, „Using PIC16F Microcontrollers for System Power Supply Control“, Microchip Application Note AN4121: www.microchip.com/en-us/application-notes/an4121



Aus dem Leben gegriffen

Mikromanagement

Von Ilse Joostens (Belgien)

Ich habe mit Interesse die Elektor-Artikel aus den Jahren 2021 und 2024 über Balkonkraftwerke von Dr. Thomas Scherer [1][2] gelesen und bin von der Idee, den „Ruhestromverbrauch“ des eigenen Hauses mit Solarenergie zu decken, total überzeugt. In Deutschland bekommt man dafür sogar eine Subvention, aber leider lebe ich in Belgien, wo diese Art von Installation durch die technische Vorschrift C10/11 von Synergrid wegen angeblicher Brand- und Stromschlaggefahr streng verboten ist.

Die Belgier sind ein eher risikoscheues Volk, und das kommt auch auf politischer und regulatorischer Ebene zum Ausdruck. Meiner Meinung nach wäre es besser, Steckdosenleisten, Elektrofahrräder, Elektroroller und Hoverboards zu verbieten. Diese Geräte waren schon mehrmals im Zusammenhang mit Hausbränden in den Nachrichten, und mit den beiden letztgenannten Geräten kann man auch schlimme Unfälle verursachen. Daran wurde ich nach dem Aufruhr um einen bekannten belgischen Baumarkt letzten Sommer erinnert, der in bester Absicht Solarmodule zur Hausnetzeinspeisung angeboten hatte, diese aber zu seiner Schande wieder aus den Regalen nehmen musste.

Radarfalle

Während in den Nachbarländern Belgiens seit Jahren problemlos „Einspeise-Solaranlagen“ verwendet werden (**Bild 1**), scheinen die Verbraucherorganisation *Test-Aankoop* und der Branchenverband für erneuerbare Energien *ODE* keine Freunde von Balkonkraftwerken zu sein - unabhängig davon, dass sie verboten sind [3]. Ihrer Meinung nach sind sie potenziell unsicher, haben möglicherweise eine kurze Lebensdauer und sind finanziell kaum interessant. Sie haben eine klare Präferenz für größere Photovoltaik-Anlagen, auch für Bewohner von Mietshäusern. Letztere sollten lediglich eine Gemeinschaftsanlage auf dem Dach installieren oder sich mit dem Eigentümer

einer Anlage an einem anderen Standort an einer Energiegemeinschaft beteiligen. Für eine Gemeinschaftsanlage braucht man eine Zweidrittelmehrheit der Eigentümergemeinschaft (viel Glück dabei, würde ich sagen), und als Mieter sollte man versuchen, den Vermieter zu überzeugen. Und das Energie-Sharing ist schwer umsetzbar, weil es komplex, umständlich und vor allem teuer ist. Es ist zwar möglich, in Belgien eine kleine Photovoltaik-Anlage zu installieren, aber man muss das gleiche Prozedere durchlaufen wie bei herkömmlichen größeren Anlagen. Mit einem festen Anschluss an eine separate Gruppe im Verteilerkasten, den notwendigen Inspektionen und der Bürokratie steigen die Kosten beträchtlich und die Gewinne einer Kleinanlage schmelzen wie Schnee in der Sonne.

Doch es gibt Licht am Ende des Tunnels, denn ab Mai 2025 werden in Belgien Solarmodule zur Netzeinspeisung endlich erlaubt. Die Frage ist natürlich, wie streng die Bedingungen und Modalitäten sein werden. Wenn man Pech hat, muss man einen Inspektionsbericht über Ihre Elektroinstallation vorlegen können, und läuft Gefahr, dass man einen „intelligenten“ Zähler aufgenötigt bekommt.

Dieser smarte Zähler ist in den letzten Jahren immer wieder in den Nachrichten aufgetaucht, zunächst wegen der (nicht oder doch) möglichen Netzeinspeisung



Bild 1. Balkonkraftwerke - in einem Land verboten, in einem anderen subventioniert. Quelle: Adobe Stock / Ronald Rampsch.



Bild 2. Auch die großen Unternehmen haben mal klein angefangen. Quelle: Adobe Stock / Gorodenkoff.

für Besitzer von Solaranlagen und später im Zusammenhang mit der Einführung des so genannten Kapazitätstarifs. Mit diesem Tarif wird Ihr intelligenter Stromzähler zu einer Radarfalle, die Sie jedes Mal gnadenlos zur Kasse bittet, wenn Sie in einem Moment der Unachtsamkeit ein paar Geräte zu viel auf einmal eingeschaltet haben.

Und die Verordnung über die Netzeinspeisung, die Besitzer von Solaranlagen 15 Jahre lang nutzen konnten, wurde 2021 vom Verfassungsgericht aufgehoben, weil die flämische Regierung damit ihre Kompetenzen überschritten hatte. Nach heftigen Protesten sah sich dieselbe Regierung dann verpflichtet, die geschädigten Besitzer von Solarpaneelen zu entschädigen.

Flipflop

Sie kennen vielleicht den Mathematiker und Informatiker Edsger Dijkstra [4], der die übermäßige Verwendung von Goto-Anweisungen in höheren Programmiersprachen kritisierte [5]. Während meiner Ausbildung wurde mir das Verbot von Goto-Anweisungen eingetrichtert, um unordentlichen „Spaghetti-Code“ zu vermeiden.

Politiker haben in der Regel einen juristischen Hintergrund, und im Rahmen

dieser Ausbildung sieht man offenbar kein Problem in unüberlegten Ad-hoc-Gesetzen und Verordnungen. Sie handeln einfach nach der Mode des Tages oder aus dem Blickwinkel der Blitzpolitik, was zu verwirrenden „Flip-Flop-Gesetzen“ führt. Prämien für Elektroautos wurden bereits zweimal eingeführt und wieder abgeschafft, und aufgrund der Gesetzeswirrungen werden die Nutzer eines elektrischen Firmenwagens, die ihn zu Hause aufladen, bald viel mehr Steuern zahlen müssen. Belgien hat kein Monopol auf Absurditäten, und in den Niederlanden höre ich Gerüchte über Netzbetreiber, die heimlich die Hähne an den Orts- und Stadtnetztransformatoren aufdrehen, um die Einspeisung von Solarenergie zu drosseln. In Zeeland wurde sogar ein Experiment gestartet, bei dem Hausbesitzer aufgefordert werden, ihre Solaranlagen an sonnigen Tagen gegen Bezahlung abzuschalten. Nachdem die Menschen seit Jahren dazu gedrängt werden, Photovoltaik-Anlagen zu installieren, ist diese Absurdität kaum zu übertreffen.

Bevormundung

Die Regierung mischt sich zunehmend in alle Aspekte unseres Lebens ein, und das

geht leider über Energie, unsere Wohnung, Heizungssysteme und das Auto, das wir fahren, hinaus. In ähnlicher Weise wurde der Verkauf zahlreicher „gefährlicher“ Stoffe an Privatpersonen eingeschränkt. Sogar bleihaltiges Lötzinn dürfte immer schwerer zu finden sein, und es gibt bereits Anbieter in Europa, die dieses Material nicht mehr an Privatpersonen verkaufen, weil es Blei enthält. Stellen Sie sich vor, Sie arbeiten als Hobbyist an älteren elektronischen Geräten. Diese Art von Mikromanagement schränkt auch das Unternehmertum ein, denn viele Unternehmen fangen klein an, vielleicht mit ein paar Studenten, die eine Marktlücke entdeckt haben und in einer Garage an einem Produkt arbeiten (**Bild 2**). Selbst Giganten wie Microsoft, Google [6], HP und Amazon haben einst auf diese Weise angefangen [7].

Die Website „Nanny State Index“ [8] zeigt die Bevormundung durch verschiedene Regierungen in Bezug auf Essen, Trinken, Rauchen und Dampfen und könnte meiner Meinung nach um weitere Kriterien erweitert werden. Ich plädiere für weniger Einmischung, weniger und klarere Vorschriften und vor allem für mehr Rechtssicherheit. ◀

Übersetzung: Sophia Gerstendorf – 240608-02

WEBLINKS

- [1] Dr. Thomas Scherer, „Balkonkraftwerk“, Elektor 9-10/2021: <https://www.elektormagazine.de/magazine/elektor-182/59849>
- [2] Dr. Thomas Scherer, „Balkonkraftwerke optimieren“, Elektor 1-2/2024: <https://www.elektormagazine.de/magazine/elektor-325/62680>
- [3] VRT nws: Are solar panels on your balcony a good idea?: <https://www.vrt.be/vrtnws/en/2022/10/18/are-solar-panels-on-your-balcony-a-good-idea/>
- [4] Wikipedia: Edsger Dijkstra: https://de.wikipedia.org/wiki/Edsger_W._Dijkstra
- [5] Centrum Wiskunde & Informatica, „Edsger Dijkstra: Go To Statement Considered Harmful“: <https://homepages.cwi.nl/~storm/teaching/reader/Dijkstra68.pdf>
- [6] Das Innere von Googles Original-Garage, im Stil von 1998: <https://blog.google/products/maps/inside-googles-original-garage-1998-style/>
- [7] Business Pundit: 11 berühmte Garagen-Startups, die heute die Welt regieren: <https://www.businesspundit.com/11-famous-garage-startups-that-rule-the-world/>
- [8] The Nanny State Index: <https://nannystateindex.org/>

Quecksilberdampfgleichrichter

Von David Ashton (Australien)

Vor der Einführung von Hochleistungs-Gleichrichtern auf Halbleiterbasis war die Umwandlung von Wechselstrom in Gleichstrom in der Industrie und im Verkehrswesen keine leichte Aufgabe! Die „Bauteile“ waren groß, anfällig, enthielten stark umweltschädliche Materialien und mussten häufig gewartet werden.

Gleichrichter - das sind doch Dioden, oder? Nun, ja, aber nicht die Art von Dioden, die Sie in Ihrem Transistorradio verwenden würden, oder gar für Ihr Raspberry-Pi-Netzteil oder für den selbstgebauten Superduper-200-Watt-Mono-Verstärker. Denken Sie lieber an elektrische Züge, U-Bahnen, Rundfunksender. Großes Zeug also.

Flüssiges Quecksilber

Quecksilberdampfgleichrichter machen sich die Tatsache zunutze, dass bei einer Lache aus flüssigem Quecksilber mit etwas Quecksilberdampf als Kathode ein Lichtbogen von einer darüber liegenden Kohlenstoffanode gezogen werden kann und dieser Prozess nur so, aber nicht anders herum funktioniert.

Da haben wir schon die Gleichrichtung, und das ist elektronisch genug, um ihre Aufnahme in diese Rubrik zu rechtfertigen, auch wenn sie nicht die Art von Bauteilen beschreibt, die irgendwann einmal in einem Elektor-Projekt verwendet wurde.

Quecksilberdampfgleichrichter wurden 1902 von Peter Cooper Hewitt erfunden, einem amerikanischen Elektroingenieur, der 1901 auch die Quecksilberdampflampen (die Vorläufer unserer Leuchtstofflampen) entwickelt hatte. Sie wurden in den frühen 1900er Jahren weiter entwickelt und entwickelten sich schnell zur bevorzugten Lösung für die Gleichrichtung von Hochspannung und Hochstrom. Die Lichtbogenspannung liegt bei 20...30 V, und die Einfachheit der Konstruktion macht sie effizient und zuverlässig. Sie wurden bis in die 1970er Jahre verwendet, als schon Halbleitergleichrichter und Thyristoren dieselbe Aufgabe erfüllen konnten, und einige überlebten gar bis in das Jahr 2012 verwendet. Ein typischer 6-Phasen-Gleichrichter ist in **Bild 1** dargestellt.

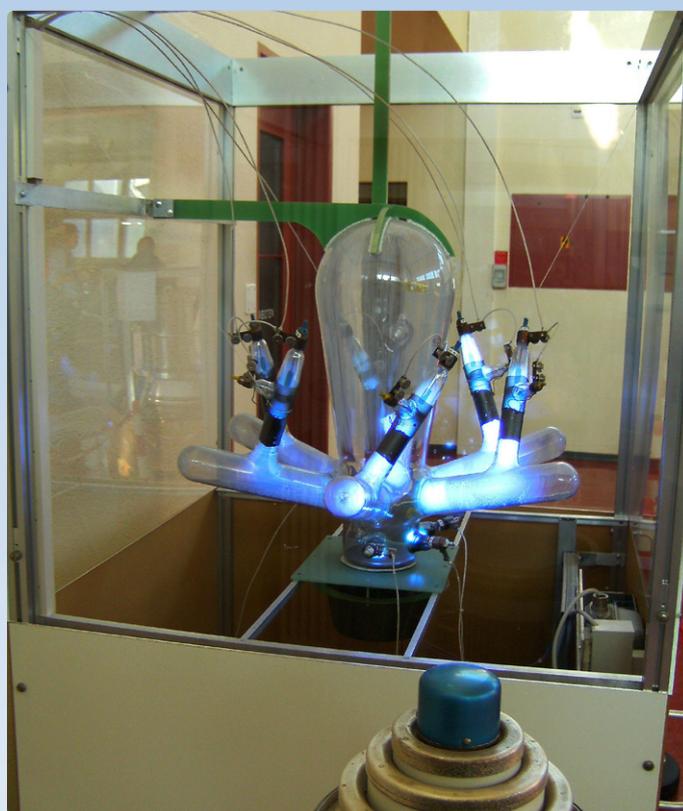


Bild 1. Eine Sechs-Phasen-Hochleistungsquecksilberdampfgleichrichterröhre in Betrieb. (Quelle: Wikimedia Commons, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Quecksilberdampfgleichrichter_in_Betrieb.JPG)

Zündelektrode

Die Zündung des Lichtbogens wird durch eine Zündelektrode ausgelöst, die zu diesem Zweck in der Regel kurz mit dem Quecksilber in Berührung kommen muss. Hierfür gibt es verschiedene Möglichkeiten, Elektromagnete, Bimetalstreifen und so weiter. Sobald der Lichtbogen gezündet wurde und sich Quecksilberdampf gebildet hat, kann die Gleichrichtung erfolgen.

Die meisten Quecksilberdampfgleichrichter waren 3- oder 6-phasig, aber einphasige Gleichrichter benötigten die Zündelektrode, um den Prozess in Gang zu halten. Die gesamte Baugruppe ist in einem großen Glaskolben untergebracht, in dem der Quecksilberdampf kondensiert

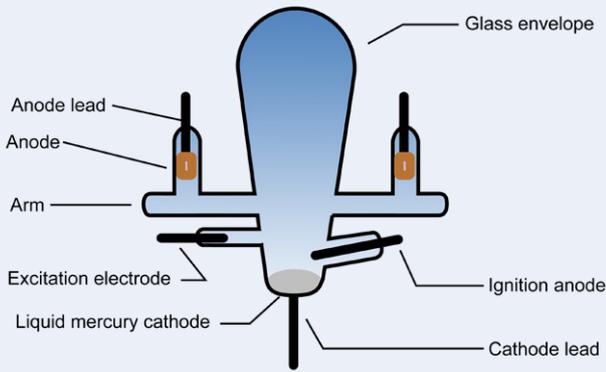


Bild 2. Funktionsschema einer Quecksilberdampfgleichrichterröhre (Quelle: Wikimedia Commons, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=4577899>)

und in den Kathodenpool zurückfließt. Der Aufbau eines typischen Gleichrichters ist in **Bild 2** dargestellt.

Ein typischer 6-Phasen-Gleichrichter für 150 A war etwa 60 cm hoch und hatte einen Außendurchmesser von etwa 300 cm. Ab 500 A wurden Stahl tanks mit Keramikisolatoren für die Elektroden verwendet, die bis zu mehreren tausend Ampere ausgelegt waren. Es waren Nennspannungen bis zu mehreren Kilovolt möglich, und mit speziellen Konstruktionstechniken, die aber eine häufige Wartung erforderten, noch viel mehr.

Die Quecksilberlichtbögen emittieren viel ultraviolettes Licht, so dass man sich bei der Arbeit in ihrer Nähe einen Sonnenbrand holen konnte.

Außerdem war der von ihnen und den dazugehörigen Transformatoren ausgehende Lärm beträchtlich. Quecksilber ist hochgiftig, und bei der Stilllegung sind oft umfangreiche Entsorgungsarbeiten erforderlich, um Quecksilberspuren zu beseitigen. ◀

Übersetzung: Sophia Gerstendorf — 240624-02

Sie haben Fragen oder Kommentare?

Wenn Sie technische Fragen oder Kommentare zu diesem Artikel haben, können Sie sich gerne per E-Mail an die Elektor-Redaktion wenden: redaktion@elektor.de.



Über den Autor

David Ashton wurde in London geboren, wuchs in Rhodesien (heute Simbabwe) auf, lebte und arbeitete in Simbabwe und lebt heute in Australien. Er interessiert sich für Elektronik, seit er „kniehoch zu einem Grashüpfer“ war. Rhodesien war nicht das Zentrum des Elektronikuniversums, so dass das Anpassen, Ersetzen und Schnorren von Bauteilen zu den Fähigkeiten gehörte, die er sich früh aneignete (und auf die er immer noch stolz ist). Er hat ein Elektroniklabor geleitet, aber hauptsächlich in der Telekommunikation gearbeitet.

Jede Bewertung spiegelt ein persönliches Erlebnis wider

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



Globaler Solarmarkt: Ein blendender Ausblick bis 2030

Der weltweite Solarenergiemarkt befindet sich auf einem positiven Wachstumspfad, da sich die Solarenergiebranche in einem ständigen Entwicklungsprozess befindet. Bis 2030 wird sich die installierte Kapazität zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien im Rahmen des 1,5°C-Szenarios der IRENA (siehe Textkasten auf der folgenden Seite) voraussichtlich mehr als verdoppeln, wobei der Anteil der Photovoltaik an der Gesamtkapazität 49 % betragen wird, gegenüber 40 % im Jahr 2023 [1]. Dies bedeutet einen Anstieg von 4.085 GW im Jahr 2023 auf 11.173 GW bis zum Jahr 2030, was durch einen durchschnittlichen jährlichen Zuwachs von 558 GW pro Jahr erreicht wird.

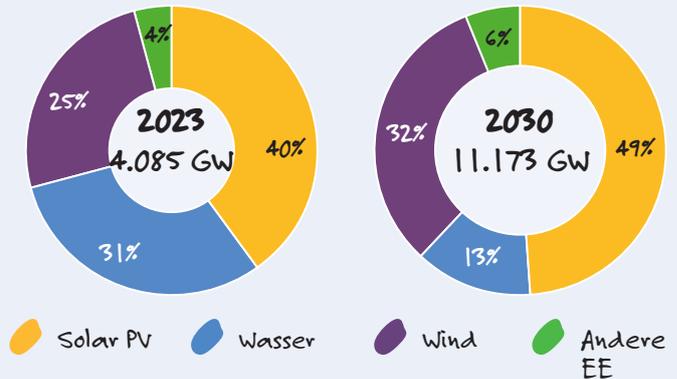
Herausforderungen und Chancen

Um die Ziele für 2030 zu erreichen, sind bedeutende Innovationen und Investitionen erforderlich. Die Fähigkeit des Solarsektors, seine derzeitige Dynamik aufrechtzuerhalten, hängt von kontinuierlichen Fortschritten bei Technologien wie bifazialen Paneelen (doppelseitige Zellen), schwimmenden Solarparks und KI-optimierten Energiesystemen ab. Diese Innovationen werden die Effizienz und Integration verbessern und die Schlüsselrolle der Solarenergie in einer sauberen Energiezukunft sicherstellen.

Solarenergie: Innovationen prägen die Zukunft

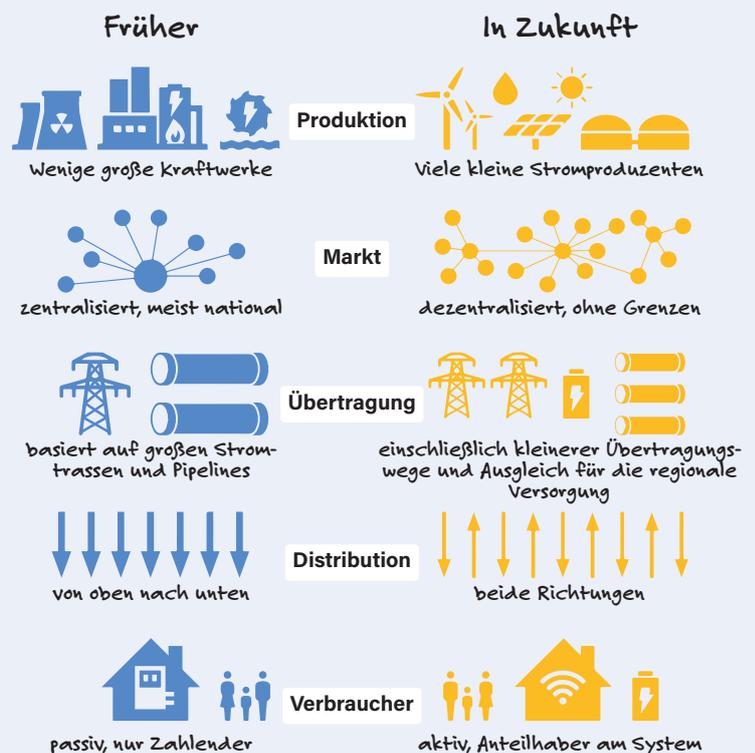
- › **Perowskit-Solarzellen:** Diese erschwinglichen und effizienten Alternativen zu Siliziumzellen verändern den Zugang zur Solarenergie. Im Labor erzielte Effizienzen von bis zu 25 % deuten darauf hin, dass sie ein Eckpfeiler künftiger Solartechnologie werden könnten.
- › **Transparente Solarmodule:** Die Integration von Photovoltaik in Fensterscheiben bietet eine revolutionäre Möglichkeit, Energie zu gewinnen, ohne die Ästhetik zu beeinträchtigen. Die ersten transparenten Paneele erreichen Wirkungsgrade von etwa 10 %.
- › **Schwimmende Solarfarmen:** Durch die Nutzung von Wasseroberflächen optimieren schwimmende Solarparks die Flächennutzung und profitieren gleichzeitig von der natürlichen Kühlung, die den Wirkungsgrad der Module erhöht.
- › **KI-optimierte Energiesysteme:** Künstliche Intelligenz verändert den Betrieb von Solaranlagen, indem sie eine präzise Energievorhersage, eine intelligentere Netzintegration und eine Optimierung in Echtzeit ermöglicht.
- › **Solar Skins:** Das anpassbare Erscheinungsbild von Solarmodulen ermöglicht die ideale Integration in Wohn- und Geschäftsgebäude und trägt ästhetischen Bedenken Rechnung [6].

Weltweit installierte erneuerbare Kapazität der Stromerzeugung im 1,5°C-Szenario, 2023 und 2030 [1].



Quelle: SolarPower Europe (2024), IRENA (2024)

Intelligente Netze ermöglichen die Energiewende



Quelle: Bartz/Stockmar (M), CC BY 4.0

Wasserstoff: Wichtiger Bestandteil der Dekarbonisierung

Für Sektoren, die wie die Schwerindustrie und der Fernverkehr nur schwer zu elektrifizieren sind, hat sich mit Wasserstoff ein weiterer entscheidender Faktor herauskristallisiert. Laut IRENA könnte Wasserstoff im 1,5°C-Szenario [3] 12 % des weltweiten Energiebedarfs decken, wobei sich die Anwendungen auf Verkehr, Stromerzeugung und Heizung erstrecken.

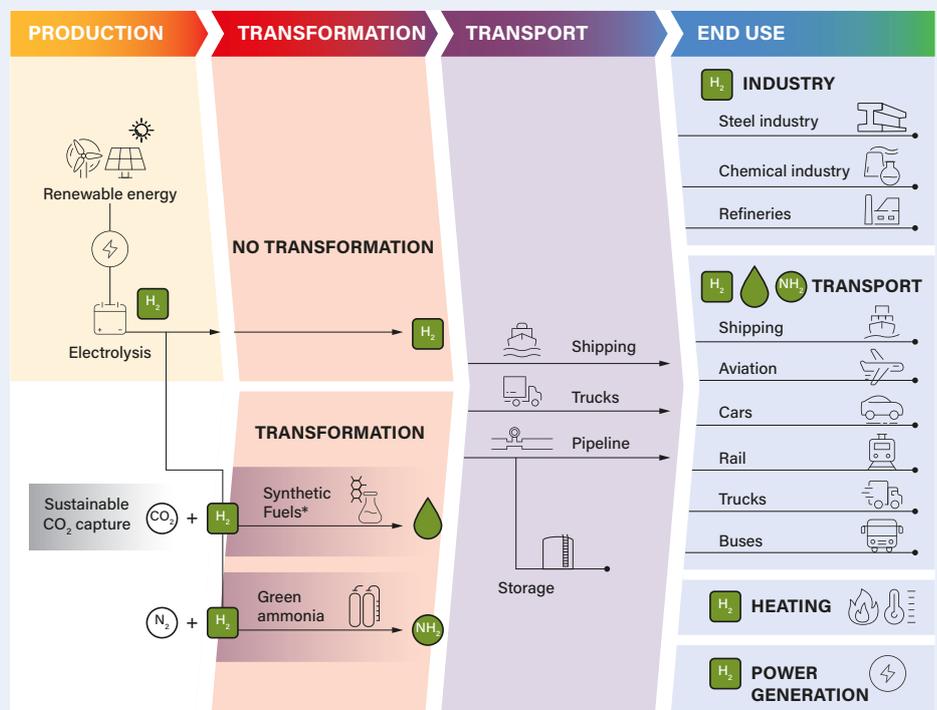
Die Produktionsmethoden unterscheiden sich jedoch stark in ihren Umweltauswirkungen und werden je nach CO₂-Emissionen als *grau*, *blau* oder *grün* gekennzeichnet [4]. Derzeit werden 96 % des weltweit produzierten Wasserstoffs aus fossilen Brennstoffen hergestellt (*grauer* Wasserstoff), eine Zahl, die die Notwendigkeit eines raschen Übergangs zu saubereren

Methoden unterstreicht [5]. Die hohen Produktionskosten für *grünen* Wasserstoff und die erheblichen Energieverluste bei der Herstellung, Speicherung und Umwandlung machen diesen weniger effizient als Alternativen wie Batterien, während die zunehmende Nutzung von *blauem* Wasserstoff von kostspieligen Technologien zur Kohlenstoffabscheidung abhängt.

Produktion, Umwandlung und Endverwendung von grünem Wasserstoff. [3]

12%
des weltweiten Energiebedarfs könnten im 1,5°C-Szenario durch Wasserstoff gedeckt werden.

96%
des derzeitigen Anteils an Wasserstoff werden aus fossilen Brennstoffen unter Freisetzung von CO₂ hergestellt (grauer Wasserstoff).



Was ist das 1,5°C-Szenario von IRENA?

IRENA steht für *International Renewable Energy Agency*, eine zwischenstaatliche Organisation, die Einführung und nachhaltige Nutzung erneuerbarer Energien weltweit fördert. Das 1,5°C-Szenario der IRENA im World Energy Transitions Outlook zeigt einen Weg zur Erreichung des 1,5°C-Klimaziels bis 2050 auf [2]. Um dieses Ziel zu erreichen, sind erhebliche Investitionen in saubere Energietechnologien wie Solar- und Windenergie sowie Speichertechnologien erforderlich, um die globalen Energiesysteme zu dekarbonisieren.

WEBLINKS

- [1] SolarPower Europe, „Global Market Outlook“, Juni 2024: <https://tinyurl.com/solar-outlook-2024>
- [2] IRENA, „World Energy Transitions Outlook 2024: 1.5°C Pathway“, November 2024: <https://www.irena.org/Publications/2024/Nov/World-Energy-Transitions-Outlook-2024>
- [3] IRENA, „Hydrogen“: <https://www.irena.org/Energy-Transition/Technology/Hydrogen>
- [4] Die Farben des Wasserstoffs (EnBW): <https://www.enbw.com/unternehmen/themen/wasserstoff/wasserstoff-farben.html>
- [5] Zurich, „How blue and green hydrogen can help solve the climate crisis“, Juli 2024: <https://www.zurich.com/media/magazine/2022/is-hydrogen-the-fuel-that-can-save-our-planet>
- [6] Tamesol, „The Future of Solar Energy“, Januar 2024: <https://tamesol.com/future-of-solar-energy/>

240640-02

Netzspannungs- monitor

Ist Ihr Stromnetz
ständig verfügbar?

Von Stefano Purchiaroni (Italien)

In Gebieten, in denen die Netzstromversorgung instabil ist und/oder es Sicherheitsprobleme geben kann, ist eine Schaltung nützlich, die das Vorhandensein der Netzspannung ständig überwacht und Ausfälle rechtzeitig an ein externes System meldet. In diesem Artikel werden zwei Lösungen für ein solches Gerät vorgestellt: eine analoge und eine digitale Version mit Mikrocontroller, um das Vorhandensein der Netzspannung zu Hause zu überwachen und die Ausfälle zu melden und zu zählen.

Dieser Entwurf befasst sich mit der Notwendigkeit, Unterbrechungen der Stromversorgung zu überwachen, unabhängig davon, ob diese durch technische Probleme wie Wartungsarbeiten an der Infrastruktur oder durch böswillige Eingriffe verursacht werden, die die Stromversorgung unterbrechen, um zum Beispiel die Backup-Batterie einer Alarmanlage zu entleeren und so das Haus angreifbar machen. Der Alarm löst aus, sobald eine Unterbrechung der Stromzufuhr festgestellt wird, und erhöht damit die allgemeine Sicherheit des Hauses. Um unnötige Aktivierungen zu vermeiden, wird eine Toleranzzeit von einigen Sekunden gewährt. Dies hilft, Fehlalarme durch kurze Unterbrechungen zu vermeiden. Zusätzlich zur Basisversion (siehe **Tabelle 1**) bietet die digitale Version erweiterte Funktionen: Sie erkennt Netzspannungseinbrüche, ermöglicht die Einstellung von Alarm- und Verzögerungszeiten und deaktiviert das Signal automatisch nach Ablauf einer voreingestellten Alarmdauer. Darüber hinaus kann durch die



Tabelle 1. Funktionen der analogen und digitalen Version.

Funktion	Analog	Digital
Verzögerung (Toleranzzeit) gegen kurze Unterbrechungen	x	x
Einstellen der Verzögerungszeit	-	x
Alarmstopp nach voreingestellter Zeit	-	x
Einstellen der Alarmzeit	-	x
Zählen und Anzeigen der Netzausfälle	-	x
Wahlweise Puls- oder Dauerschaltung	x	x
Signalisierung der Wiederkehr der Netzspannung	-	x

Einstellung von zwei DIP-Schaltern auf der Platine eine Signaltonfunktion und eine Benachrichtigung über die Wiederherstellung der Stromversorgung aktivieren. Diese zusätzlichen Funktionen werden später im Detail besprochen.

Analoge vs. digitale Version

Analoge Version

Wie aus der Schaltung (**Bild 1**) hervorgeht, besitzt die Stromversorgung der Schaltung keinen Transformator (im Gegensatz zur digitalen Version), sondern ist direkt mit dem Netz verbunden. **Daher ist beim Testen der Schaltung größte Vorsicht geboten, da die gesamte Schaltung an der Netzspannung angeschlossen ist und im Falle eines Kontakts die Gefahr eines Stromschlags besteht!** Bei der digitalen Version beschränkt sich diese Gefahr nur auf den kleinen Teil der Schaltung, der mit der Primärseite des Transformators verbunden ist. **Dennoch ist auch hier während der Prüfphase des Projekts ein hohes Maß an Aufmerksamkeit erforderlich!**

Nach dem Gleichrichter D1...D4 und der Begrenzung der Gleichspannung auf 24 V durch die Z-Diode D5 wird die Spannungsquelle auf zwei Wege aufgeteilt: Einer führt zu D6 und C2, wo eine stabilisierte Ausgangsspannung von 23,3 V erzeugt wird, die über die Kontakte 4-6 des DPDT-Schalters SW1 (Dauerbetrieb) das Relais aktiviert.

Wenn die Netzspannung ausfällt, schaltet das Relais ab und schließt damit die COM-NC-Kontakte. Dieser Zustand ist im Schaltplan dargestellt; der Alarmstromkreis wird also geschlossen. Dies gilt nur, wenn sich SW1 in der auf dem Schaltplan dargestellten Stellung im Dauerbetrieb (*Steady Mode*) befindet, und es gilt erst nach einer kurzen Verzögerung von etwa 3...5 s, solange die im großen Elektrolytkondensator C2 gespeicherte Energie vorhält. Im umgekehrten Fall, wenn die Netzspannung wieder einsetzt, dauert es ebenfalls ein paar Sekunden (etwa 2 s), bis C2 auf eine ausreichend hohe Spannung aufgeladen ist, um das Relais erneut zu aktivieren.

Der anfänglich entladene Kondensator C5 ermöglicht die sofortige Aktivierung des Relais bei voller Spannung. Sobald er jedoch aufgeladen ist, fließt ein geringfügig reduzierter, aber zur Aktivierung des Relais ausreichender Haltestrom über R5. Durch diesen Trick wird die Lebensdauer des Relais erheblich verlängert.

Das Relais (2x um) soll eine 24-V-Spule besitzen, die einen Widerstand von 1.600 Ω aufweist. Eine Netzunterbrechung, die kürzer als die oben erwähnte Verzögerungszeit dauert, führt nicht zur Aktivierung des Alarms, da sich C2 nicht ausreichend entladen hat, um die an das Relais gelieferte Spannung unter den Ausschaltwert zu senken, der im Experiment bei etwa 4 V gemessen wurde.

In dieser analogen Version ist die Verzögerungszeit aber nicht einstellbar. Ein weiterer Nachteil betrifft die Alarmzeit: Sobald C2 entladen ist - und immer noch keine Netzspannung am Eingang anliegt - fällt das Relais dauerhaft ab, so dass der Alarm auf unbestimmte Zeit aktiv bleibt. Um eine Maximalzeit zu festzulegen, muss eine weitere Elektronik nachgeschaltet werden oder Teil der Sirene oder eines anderen Alarmgebers sein.

Damit kommen wir zum anderen Weg, der vom Gleichrichterausgang

direkt zur Basis von Q1 führt. Der Schalter SW1 ist nun auf Impulsbetrieb (*Pulse Mode*) eingestellt und verbindet die Anschlüsse 4-3/5-2. Im Alarmfall wird das Relais nur für 1...2 s erregt (der Alarm eingeschaltet). Im Ausgangszustand, bei vorhandener Netzspannung, sind C2 und C3 voll geladen. Fällt die Netzspannung weg, entlädt sich C3 allmählich, wodurch sich die Spannung an der Basis von Q1 verringert, bis der Transistor in den leitenden Zustand geht und somit Strom von C2 über C4 zum Relais fließen lässt. Das Relais wird erregt und löst den Alarm aus.

Nach etwa einer halben Sekunde ist C4 vollständig aufgeladen, so dass der Strom durch die Relaispule reduziert wird und das Relais etwa 2 s später wieder abschaltet. Die Werte der Kondensatoren und Widerstände sind so berechnet, dass die Ladung von C2 den gesamten Zyklus überstehen kann. Wenn die Stromversorgung wiederhergestellt ist, sperrt Q1 erneut, das Relais ändert seinen Zustand nicht, und C2 wird wieder aufgeladen und erhält ausreichend Energie für neue Zyklen.

Diode D6 fungiert in diesem Modus als eine Art „Rückschlagventil“ und verhindert, dass die Basis von Q1 aufgrund der angesammelten Ladung in C2 „high“ und das Relais ausgeschaltet bleibt.

Digitale Version

Die digitale Version ist, wie **Bild 2** zeigt, deutlich komplexer als die analoge. Die Schaltung wird über einen 6-V-Netztransformator und die beiden Gleichrichterbrücken BR1 und BR2 versorgt. An letztere ist eine Stabilisierung angeschlossen, bestehend aus C3, dem kleinen, linearen 5-V-Spannungsregler U1 und C4. Über D3 gelangt die Spannung (wegen der Schwellenspannung von D3 von etwa 4,3 V) über D3 zum Mikrocontroller U2, einen vielseitigen PIC16F1827 von Microchip, der sich mit einer Mindestbetriebsspannung von nur 2,8 V begnügt. D3 ist dabei Teil des „Sperrwerks“ von D2...D4 und R4, der die verschiedenen Spannungen voneinander isoliert und gleichzeitig die Ladung des Superkondensators C5 während des Betriebs über D2 und den Strombegrenzungswiderstand R4 gewährleistet. Da es sich bei D2 um

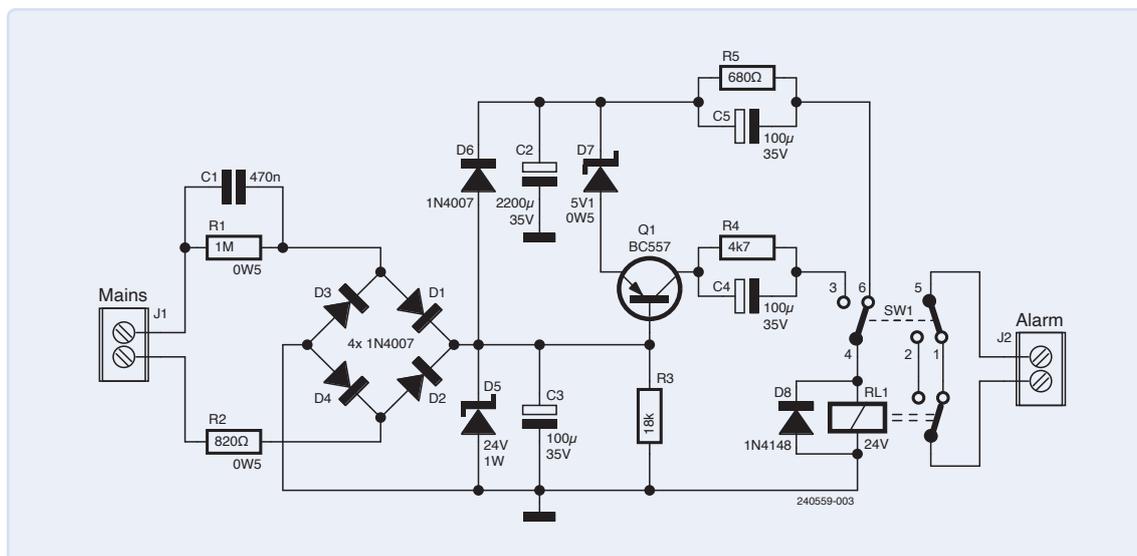


Bild 1. Schaltung der analogen Version des Netzspannungsmonitors.

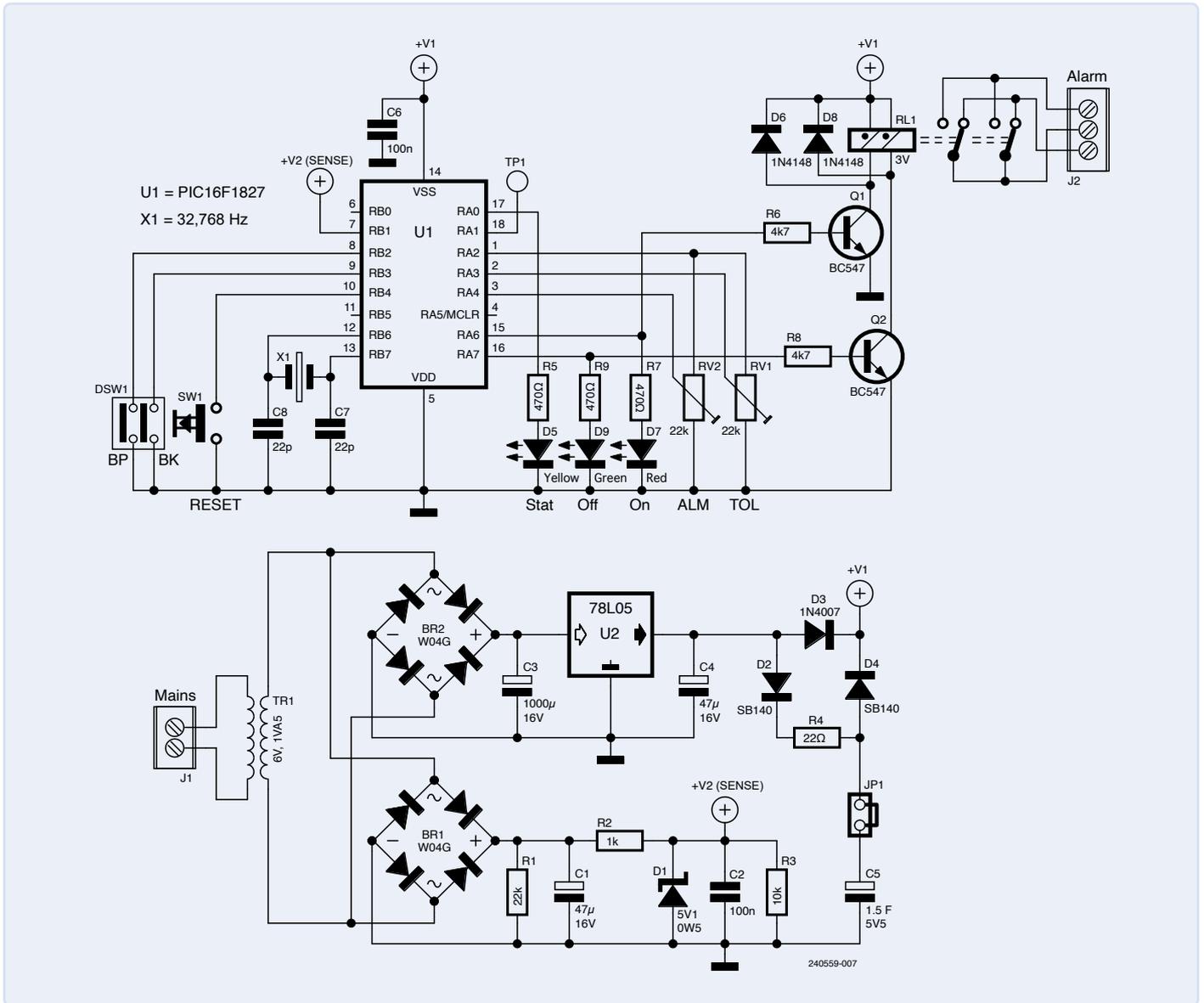


Bild 2. Schaltung der digitalen Ausführung mit Mikrocontroller.

eine Schottky-Diode SB140 mit einer Schwellspannung U_{DS} von nur 0,2 V handelt, kann der „Super-Cap“ bis zu 4,8 V geladen werden. Bei fehlender Netzspannung (und damit fehlender Ausgangsspannung von U2) versorgt der 1,5-F-Supercapacitor C5 den PIC noch eine ganze Zeit lang mit Strom. Die Betriebsspannung für den PIC liegt dabei zunächst bei 4,6 V, da ja Schottky-Diode D4 nochmals 0,2 V abzwackt. Der (gezogene) Jumper JP1 verhindert, dass der Supercondensator den PIC mit Strom versorgt, wenn er zum Neuprogrammieren aus der Fassung gezogen werden muss.

Wenn die Netzspannung ausfällt und der Supercondensator den Controller versorgt, müssen natürlich alle Register gezogen werden, um die Stromaufnahme des PICs zu minimieren. Zunächst muss der PIC erkennen, wenn die Netzspannung abfällt. Das ist die Aufgabe von dem Schaltungsteil um BR1, in dem keine „dicke“ Kapazität vorhan-

den ist, so dass die Spannung +U2 (SENSE) von 5,1 V (D1!) sehr schnell abfällt. Da der PIC am digitalen Eingangspin RB1 (AN11) eine Spannung von weniger als 0,8 V als binäre Null interpretiert, weiß die Software schon eine halben Sekunde nach einem Netzspannungsausfall, was das Stündlein geschlagen hat. Durch den optionalen Widerstand R3 kann diese Verzögerung weiter verringert werden. Die Software unternimmt folgende Maßnahmen zur Verringerung der Stromaufnahme:

- Der *Nanowatt*-Modus, den die meisten Microchip-Mikrocontroller beherrschen, versetzt den Controller in einen stromsparenden Zustand, in dem nur der Oszillator mit dem externen Uhrenquarz X1 (32.768 Hz) eingeschaltet bleibt und die Code-Ausführung nur von den Interrupts (re-) aktiviert wird, die von dem mit diesem

Oszillator verbundenen Timer kommen. Die Interrupts wecken den Mikrocontroller jede Sekunde zur Programmausführung auf, um die verstrichenen Sekunden zu zählen und zu entscheiden, ob es Zeit ist, das Relais zu betätigen, indem der Sekundenzähler mit den Werten der beiden Trimpotentiometer RV1 und RV2 verglichen wird.

- Eine weitere Verringerung der Stromaufnahme wird dadurch erreicht, dass die heiße Seite der beiden Trimpotentiometer nicht direkt mit der Versorgungsspannung verbunden ist, sondern mit dem digitalen Ausgangspin RA2, der nur während des Ablesens der beiden Trimpotentiometer über die Analogeingänge AN3 (= RA3 = Pin 2) und AN4 (= RA4 = Pin 3) auf logisch high gesetzt wird.
- Nur auf Grundlage des hohen oder niedrigen Pegels des Pins RB1 aktiviert die Software den Alarm entsprechend den Einstellungen der beiden Potentiometer RV1 und RV2, mit denen Sie die Verzögerungszeit zwischen 0...10 s und die Alarmzeit von 0...2 min einstellen können.
- Um die Stromaufnahme des Alarmstromkreises weiter zu minimieren, wurde ein bistabiles 3-V-Doppelspulen-Relais (2xum) gewählt, das außer im Umschaltmoment keinen Strombedarf hat. Zudem sind die beiden Kontaktsätze parallel geschaltet, um die Strombelastbarkeit zu erhöhen, die jedoch 5 A nicht überschreiten darf. Die beiden Ein- und Ausschaltspulen werden von den PIC-Pins RA6 und RA7 über die Transistoren Q1 und Q2 angesteuert. Der Mikrocontroller kann also das Relais mit kurzen positiven Impulsen an diesen Pins ein- und ausschalten.
- Der Controller ist auch mit einem doppelten DIP-Schalter verbunden, der die beiden optionalen Funktionen **Beep** und **Back** aktiviert. Erstere begrenzt den Alarm auf etwa eine Sekunde, um eine kurze, aber intensive Warnung an die Hausbewohner zu übermitteln und sie auf den Spannungsabfall aufmerksam zu machen, ohne die Nachbarschaft zu stören. Die Funktion **Back** gibt zwei kurze Impulse ab, um die Rückkehr der Netzspannung anzuzeigen. Diese Funktion ist jedoch durch die maximale Zeit von einigen Stunden begrenzt, die der Superkondensator C5 Energie liefern kann.

Schließlich wären noch die Taste SW1 und die LED D5 zu erwähnen. Letztere hat die Aufgabe, durch kurzes Aufblinker die aufgetretenen Netzspannungseinbrüche anzuzeigen. Wenn zum Beispiel zweimal ein Stromausfall aufgetreten ist, blinkt D5 zweimal, gefolgt von einer Pause von etwa 3 s.

Um die Zählung zurückzusetzen, drücken Sie einfach die *Reset*-Taste SW1. Dieser Taster initiiert einen vollständigen Neustart des PIC und deaktiviert das Relais, was im Falle von Problemen nützlich ist. Die beiden LEDs D7 und D9 zeigen das Aktivieren und Deaktivieren des Relais an, das, wenn es nicht vom Klicken der Relaiskontakte begleitet wird, auf eine Störung dieses elektromechanischen Bauteils hinweist.

Software

Konzentrieren wir uns auf die Hauptfunktionen `SetAlm()`, `interrupt()` und `main()`. Die im Folgenden gezeigte Funktion `SetAlm` sorgt für die Aktivierung des an die Ausgangsklemmen J2 angeschlossenen Alarmgebers durch direkte Impulse an das bistabile Relais. Die „Nachleucht-

dauer“ des Impulses an den Relaispulen wird durch die Konstante `RlyTim` definiert, die derzeit auf 200 ms eingestellt ist. Die Pins RA6 und RA7 des Mikrocontrollers führen über die Transistoren Q1 und Q2 zu den Relaispulen.

```
void SetAlm() {
// Activate the alarm and count the event in EEPROM

// Activate the alarm
  ALMOFF=0;
  ALMON=1;
  delay_ms(RlyTim);
  ALMON=0;
  curs = 0;      // Reset the second counter
}
```

Die folgende `interrupt()`-Funktion bildet den Einstiegspunkt der Interrupt-Service-Routine (ISR) des PICs. Sie wird von dem Interrupt aufgerufen, der von Timer1 erzeugt wird, wenn eine Sekunde abgelaufen ist, auch im Low-Power-Modus. Auf der Platine ist am Ausgang RA1 (Pin 18) ein Testpunkt TP1 vorgesehen, um mit einem Frequenzmessgerät oder Oszilloskop den Betrieb des Oszillators überprüfen zu können.

Der Pegel von TP1 schaltet jede Sekunde um und erzeugt ein 0,5-Hz-Signal. Die Masse für die Messung ist auf der Platine vorhanden (GND), nicht aber im Schaltplan eingezeichnet. Der Hauptzweck der Interrupt-Prozedur besteht darin, die verstrichenen Sekunden mit Hilfe der 32-Bit-Variablen `curs` zu zählen. Im Anschluss an die Funktion wird der Interrupt für den nächsten Zyklus wieder freigegeben:

```
void interrupt() {
// Interrupt Service Routine.
// It is called every second by Timer1 overflow.

// ----- TMR1 -----
// Manage Timer1 overflow (each 1s)
// to count seconds
  if (PIR1.TMR1IF == 1) {
    CLKOUT ^= 1; // Provide 0.5 Hz to Pin 1
                // for checks
    curs++;     // Update the current
                // second counter
    TMR1H = TMR1H_INI; // Reload counter high byte
    TMR1L = TMR1L_INI; // Reload counter low byte
    PIR1.TMR1IF = 0; // Clear TMR1 Interrupt flag
  }
}
```

Nach der Einrichtung der Hardware und der Initialisierung der Variablen verarbeitet die Funktion `main()` Ereignisse gemäß der Logik eines Endlichen Automaten. Der aktuelle Zustand des Automaten wird in der Variable `Mode` festgelegt. Zunächst wird das Drücken der Taste SW1 überprüft, um den Ereigniszähler zurückzusetzen und den Mikrocontroller über den Assemblerbefehl `reset` neu zu starten.

Beim ersten Einschalten mit leerem Mikrocontroller, und nur dann, ist es notwendig, den SW1-Taster zu drücken, um den Alarmzähler im EEPROM auf Null zu setzen. Bei der Ausführung von `setup()` wird nach dem Tastendruck auch das Alarmrelais zwangsweise ausgeschaltet, falls es (aus irgendeinem Grund) aktiv geblieben war.

Die Ereignisse der Alarmaktivierung werden in der Variablen `AlmCnt` gezählt. Für den Fall, dass die Netzspannung erst sehr spät wiederkehrt und die Kapazität des Superkondensators C5 nahezu erschöpft ist, wird der Wert von `AlmCnt` im EEPROM gespeichert, um die Alarmzählung nicht zu verlieren. Die Funktion `setup()` liest den Wert beim Neustart des Mikrocontrollers wieder aus:

```
void main() {

    setup();          // Initialization

    while(1) {       // Forever Loop

        if (Button(&PORTB,4,1,0)){
            // Reset button pressed
            STSLED = 1;
            Delay_ms(500);
            STSLED = 0;
            AlmCnt = 0;
            EEPROM_Write(CNTADDR, AlmCnt);
            // Raz the Alarms counter in EEPROM
            curms = 0;
            // Raz the elapsed ms for Blink cycle
            BlkSts = 0; // Reset the Blink automaton
        }; // Reset the MCU
            // (the program will restart)
    }
}
```

Im folgenden Abschnitt werden die Spannungen an den analogen Pins, die mit den Schleifern der beiden Trimpoties für die Einstellung der Verzögerungs- und Alarmzeiten verbunden sind, abgelesen. Dies erfolgt durch Aktivierung der heißen Seite der beiden Trimpoties über den digitalen Ausgangspin RA2, der hier als `DIVPOW` bezeichnet wird. Da der Mikrocontroller über einen 10-Bit-A/D-Wandler verfügt, liegen die beiden Messwerte im Bereich 0...1023, zwischen den durch konfigurierbare Parameter definierten Grenzen, die standardmäßig die Verzögerungszeit auf 0...10 s und die Alarmzeit auf 0...2 min begrenzen. Im Standardzustand `Mode_SBY`, der vom folgenden Listing-Abschnitt verwaltet wird, wartet der Automat auf das Ereignis eines Netzspannungsabfalls, das ihm durch die SENSE-Leitung über den Pin RB1 (AN11) mitgeteilt wird (`if POWER == 0`). Wenn dieser Eingang auf den logischen Pegel 0 geht, beginnt die Sekundenzählung und der PIC wird in den Low-Power-Modus versetzt. Ab diesem Zeitpunkt erfolgt die Stromversorgung ausschließlich über den Superkondensator C5. Der neue Zustand ist `Mode_TOL`:

```
// Automaton
switch (Mode) {
    case Mode_SBY: // Nominal Mode.
```

```
        // Wait for a Power Down event

    if (POWER == 0) { // The Main power gone down,
        // the MCU is powered just by supercap!
        curs = 0; // Start seconds count
        STSLED = 0; // Force Ststus Led off
        Mode = Mode_TOL;
        // Enter the Tolerance Mode
    }
    break;
```

Im Zustand `Mode_TOL`, der im folgenden Abschnitt behandelt wird, wird eines von zwei möglichen Ereignissen abgewartet: die Rückkehr der Netzspannung vor Ablauf der Verzögerungszeit, um wieder in den Zustand `Mode_SBY` zurückzukehren, oder die Überschreitung dieser Zeit. Die für den zweiten Fall zu erfüllende Bedingung wird durch die Überprüfung des DIP-Schalters, der den optionalen `Beep`-Modus aktiviert, etwas verkompliziert. Je nach dem Zustand dieses Schalters wird entweder die Grenzwertzeit `ttol`, die zuerst durch die Ablesung des Trimmers RV1 definiert wird, oder die in den anfänglichen Code-Definitionen festgelegte Zeit `MinTol` von 2 s gewählt. Ein Überschreiten der Grenzzeit bringt den Automaten in den Zustand `Mode_ALM`. Die Fortsetzung des Codes ist immer an den Timer1-Interrupt gebunden, da er weiterhin im Low-Power-Modus arbeitet:

```
case Mode_TOL: // Waiting ttol time
// before activating the alarm

    if (POWER == 1) { // Mains is back
        // before the alarm activation
        Mode = Mode_SBY; // Just go
        // back to Standby Mode
    } else { // Check end
        // of Tolerance time
        if ( ((BeepMode==FALSE)&&(curs>=ttol))
            ||((BeepMode==TRUE)&&(curs>=MinTol)) ) {
            SetAlm(); // Start the
                // alarm,
            IncAlm(); // Increment
                // the alarms counter,
            Mode = Mode_ALM; // Enter in
                // the Alarm Mode
        }
    }
    break;
```

Der Zustand `Mode_ALM` wartet auf die Rückkehr der Netzspannung, um den Alarm zurückzusetzen und in den Standby-Modus zurückzukehren, indem er den Stromsparmmodus dauerhaft verlässt. Oder er wartet auf den Ablauf der maximalen Alarmzeit, die sich aus der analogen Ablesung des an Trimpoti RV2 eingestellten `taIm`-Werts oder aus dem zu Beginn des Programms auf 1 s voreingestellten `MinAlm`-Wert ergibt. In diesem Fall verbleibt er im Low-Power-Modus, um die Rückkehr der Netzspannung in den Zustand `Mode_BACK` zu verarbeiten:



Listing 1. Hauptblinksequenz und Netzüberwachungsroutine.

```
// On power presence, signal the occurred alarms (one blink per each alarm)
if ((POWER == 1) && (AlmCnt > 0)) {
    switch (BlkSts) {
    case 0:          // Initialize a new Blinks cycle
        n = AlmCnt;
        STSLED=1;
        curms = 0;          // Start ms counting
        BlkSts = 1;       // Go to "Wait to turn off the LED"
        break;
    case 1:          // Wait CNTBLINK ms to turn off the LED
        if (curms >= CNTBLINK) {
            STSLED=0;
            n--;          // Decrement residual Blinks counter
            curms = 0;    // Start ms counting
            if (n > 0) BlkSts = 2; // Go to "Wait to turn on the LED"
            else      BlkSts = 3; // Go to "Wait for next Blinks cycle"
        }
        break;
    case 2:          // Wait CNTBLINK ms to turn on the LED
        if (curms >= CNTBLINK) {
            STSLED=1;
            curms = 0;    // Start ms counting
            BlkSts = 1;   // Go to "Wait to turn off the LED"
        }
        break;
    case 3:          // Wait CNTINTERV for next Blinks cycle
        if (curms >= CNTINTERV) {
            curms = 0;    // Start ms counting
            BlkSts = 0;   // Initialize a new cycle
        }
        break;
    }
    if (BlkSts > 0) curms += TIC; // Increment the elapsed time counter (ms)
}

#ifdef LOWPOW
// If no external power is present, go in Low Power Mode
if (POWER == 0) {asm{sleep};} // Sleep. Awake on Timer1 interrupt.
#endif
Delay_ms(TIC); // Introduce a cycle delay

case Mode_ALM: // Wait talM seconds before
                // to stop the alarm
    if (POWER == 1) { // Mains is back during Alarm
        ResetAlm(); // Stop the alarm
        if (BackMode==TRUE) Signal(); // Signal „Mains is back“ if requested
        Mode = Mode_SBY; // Manage the Power Up event
    }
} else { // Check end of Alarm time
    if ( ((BeepMode==FALSE)&&(curms>=talM))
        ||((BeepMode==TRUE)&&(curms>=MinAlm)) ) {
        ResetAlm(); // Suspend the alarm
        Mode = Mode_BACK; // Wait for the
                        // Power Up event
    }
}
break;
```

In `Mode_BACK` wird auf die Rückkehr der Netzspannung gewartet und das Ereignis durch Auslösen des Alarms (zwei kurz aufeinanderfolgende Impulse) signalisiert, sofern dies durch den DIP-Schalter `Back` vorgesehen ist. Bis die Netzspannung zurückkehrt, verbleibt der PIC im Low-Power-Modus:

```
case Mode_BACK: // Waiting for the mains power
                // to come back again

    if (POWER == 1) { // Mains
                        // is back: exit to Standby mode
        ResetAlm(); // Force
                    // alarm off
        if (BackMode==TRUE) Signal();
                    // Signal „Mains is back“ if requested
        Mode = Mode_SBY;
    }
    break;
```

Nach dem Hauptautomaten wurde ein zweiter Automat mit vier Zuständen implementiert, um D5 an RA0 anzusteuern. Diese LED soll die aktuelle Anzahl der Spannungsabfälle anzeigen, die länger als die Verzögerungszeit dauern. Der `AlmCnt`-Zähler kann durch Drücken von SW1 zurückgesetzt werden, was in den ersten Codezeilen des Hauptzyklus (siehe oben) geschieht. Die Behandlung von Blinkereignissen durch einen Automaten wird von der Notwendigkeit diktiert, den Hauptzyklus nicht durch einfache Verzögerungen zu unterbrechen, die alle anderen Aktionen während ihrer Ausführung blockieren würden. Die Blinkzeiten werden durch die Konstanten `CNTBLINK` mit einem Wert von 200 ms und `CNTINTERV` mit einem Wert von 3 s für die Pause zwischen zwei Blinkblöcken definiert (**Listing 1**).

Aufbau

Sowohl für die analoge als auch für die digitale Version wurden einseitige Platinen ohne Drahtbrücken entworfen. Dies erleichtert zweifellos ihre Herstellung mit den klassischen Methoden zu Hause oder durch einen Platinenservice. Die dafür benötigten Gerber-Dateien können Sie von der Elektor Labs-Seite zu diesem Artikel herunterladen [1]. Bei der analogen Version ist der Schalter SW1 für die Betriebsartenwahl über einen sechspoligen Steckverbinder auf der Platine angeschlossen. So hat man beim Schaltermodell, ob Kippschalter oder irgendein anderer DPDT-Schalter, freie Wahl. Bei der digitalen Version des Geräts sind die Bedienelemente - zwei Miniatur-Trimpotentiometer, ein zweipoliger Dip-Schalter und der Reset-Taster - nebeneinander direkt auf die Platine gelötet; nur für den Mikrocontroller wird eine Fassung benötigt. Der 1,5-F-Superkondensator ist zwar ein spezielles Bauteil, aber

dennoch leicht erhältlich. In der Digitalversion ist der Alarmausgang mit einer 3-polige Platinenklemme ausgestattet, die es dem Benutzer ermöglicht, je nach Verwendungszweck den Kontakt NC oder NO zu wählen. Dies ist bei der analogen Version nicht möglich.

Die digitale Version bietet somit eine größere Vielseitigkeit und Benutzerfreundlichkeit als die analoge Version, da der Alarmausgang nach den eigenen Bedürfnissen konfiguriert werden kann. Die analoge Version behält jedoch eine einfache Struktur, die bei bestimmten Anwendungen von Vorteil sein kann. Die Wahl zwischen den beiden Versionen hängt daher von Ihren Bedürfnissen und den Eigenschaften des Alarmgebers ab, der an das Gerät angeschlossen werden soll. ◀

Übersetzung: Rolf Gerstendorf — 240559-02

Sie haben Fragen oder Kommentare?

Haben Sie technische Fragen oder Kommentare zu diesem Artikel? Dann schreiben Sie bitte an den Autor unter info@purchiaroni.com oder an die Elektor-Redaktion unter reaktion@elektor.de.



Über den Autor

Stefano Purchiaroni ist ein leidenschaftlicher Elektroniker und Programmierer, der seine Arbeiten durch die Veröffentlichung von Projekten mit anderen teilt und außerdem an einer beliebten Schule kostenlosen Robotikunterricht für Jugendliche anbietet. Derzeit ist er bei Telespazio angestellt und arbeitet in einem Satellitenzentrum in der Nähe der italienischen Hauptstadt.



Passendes Produkt

> **OWON XDM1141 Multimeter**
www.elektor.de/20671



WEBLINK

[1] Elektor-Labs-Seite zu diesem Artikel: <https://elektormagazine.de/labs/mains-power-outages-monitor>

Douk Audio P6 mini Röhrenvorverstärker

Erweitern Sie Ihr Audioerlebnis mit dem Douk Audio P6 mini Röhrenvorverstärker, einer perfekten Mischung aus moderner Konnektivität, HiFi-Klangqualität und Vintage-Charme. Egal, ob Sie ein Audiophiler sind oder gerade erst Ihre Reise in die Welt der hochwertigen Audioqualität beginnen, dieser kompakte und dennoch leistungsstarke Vorverstärker bietet alles, was Sie brauchen.



Preis: ~~74,95 €~~

Sonderpreis: 59,95 €

www.elektor.de/21014

Raspberry Pi 500 (DE)

Der Raspberry Pi 500 (basierend auf dem Raspberry Pi 5) verfügt über einen Quad-Core-64-Bit-Arm-Prozessor, einen RP1-I/O-Controller, 8 GB RAM, drahtloses Netzwerk, Dual-Display-Ausgabe und 4K-Videowiedergabe und einen 40-poligen GPIO-Header. Es ist ein leistungsstarker, kompakter All-in-One-Computer, der in eine tragbare Tastatur integriert ist.



Preis: 104,95 €

www.elektor.de/21075

FNIRSI GC-02 Nuklearer Strahlungsdetektor (Geigerzähler)



Preis: 49,95 €

Mitgliederpreis: 44,96 €

www.elektor.de/21046

M5Stamp Fly Quadcopter (mit M5StampS3)



Preis: 79,95 €

Mitgliederpreis: 71,96 €

www.elektor.de/21008

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/abo