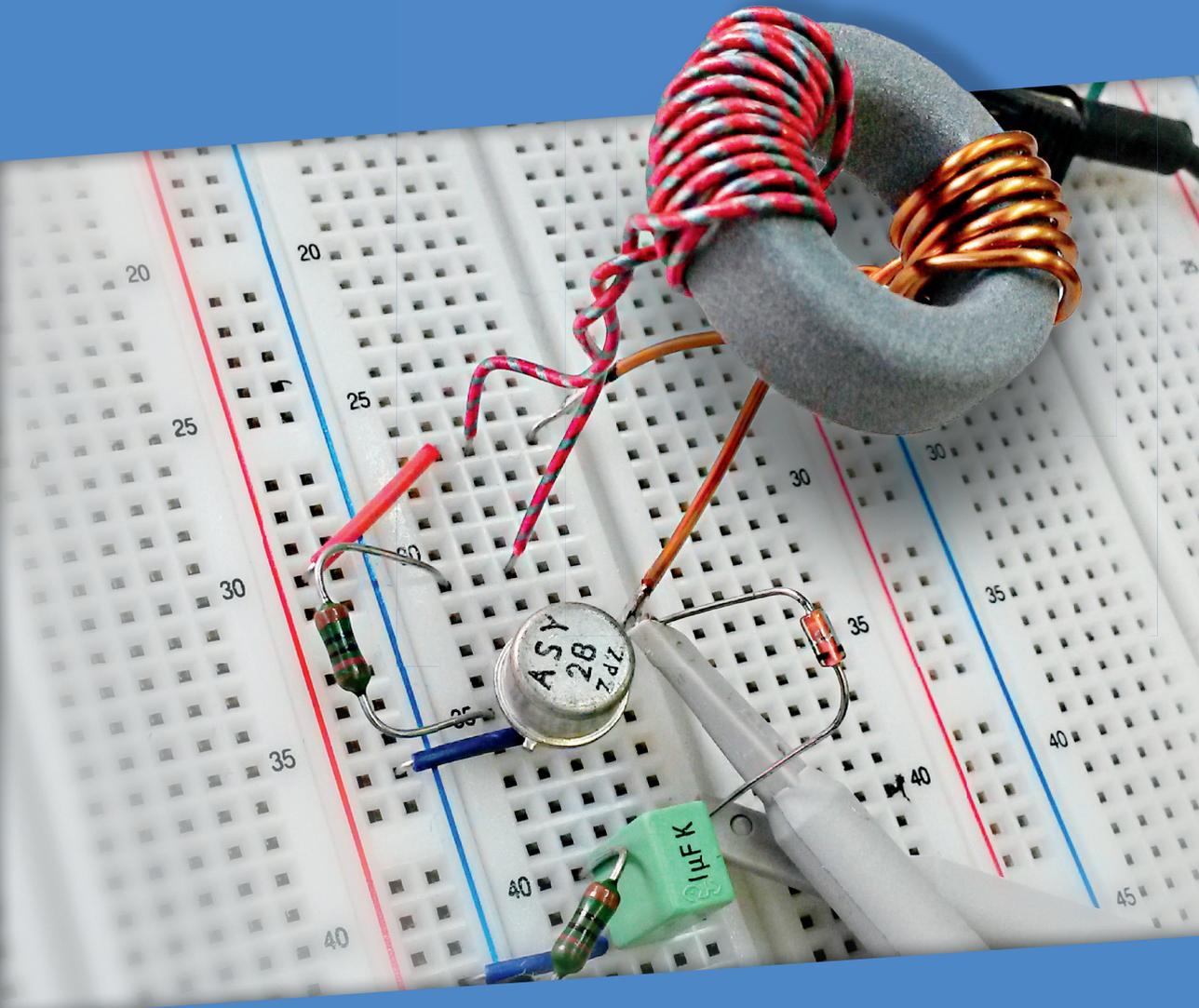


Stromversorgung ohne Stress – Band 3

# Energy Harvesting

Elektronik ohne Batterien oder Versorgungsnetz



Franz Peter Zantis

---

# Stromversorgung ohne Stress Band 3

## Energy Harvesting

Elektronik ohne Batterien oder Versorgungsnetz



Franz Peter Zantis

© 2021: Elektor Verlag GmbH, Aachen

1. Auflage 2021

ISBN 978-3-89576-454-7

978-3-89576-455-4 (E-book)

- Alle Rechte vorbehalten.

Die in diesem Buch veröffentlichten Beiträge, insbesondere alle Aufsätze und Artikel sowie alle Entwürfe, Pläne, Zeichnungen und Illustrationen sind urheberrechtlich geschützt. Ihre auch auszugsweise Vervielfältigung und Verbreitung ist grundsätzlich nur mit vorheriger schriftlicher Zustimmung des Herausgebers gestattet.

Die Informationen im vorliegenden Buch werden ohne Rücksicht auf einen eventuellen Patentschutz veröffentlicht. Die in diesem Buch erwähnten Soft- und Hardwarebezeichnungen können auch dann eingetragene Warenzeichen sein, wenn darauf nicht besonders hingewiesen wird. Sie gehören dem jeweiligen Warenzeicheninhaber und unterliegen gesetzlichen Bestimmungen.

Bei der Zusammenstellung von Texten und Abbildungen wurde mit größter Sorgfalt vorgegangen. Trotzdem können Fehler nicht vollständig ausgeschlossen werden. Verlag, Herausgeber und Autor können für fehlerhafte Angaben und deren Folgen weder eine juristische Verantwortung noch irgendeine Haftung übernehmen.

Für die Mitteilung eventueller Fehler sind Verlag und Autor dankbar.

Umschlaggestaltung: Elektor, Aachen

Satz und Aufmachung: Eric Bogers, Saarbrücken

Druck: Ipskamp Printing, Niederlande

## Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b> . . . . .	<b>7</b>
<b>1 • Energy Harvesting</b> . . . . .	<b>9</b>
1.1 • Energie . . . . .	9
1.1.1 • Energiearten und Umwandlung . . . . .	10
1.1.1.1 • Energie-Formeln, Umrechnungshilfe und Größenordnungen . . . . .	11
1.1.2 • Energiebedarf . . . . .	13
1.2 • Besonderheiten der Energiequellen . . . . .	15
1.3 • Aufbereitung . . . . .	16
1.3.1 • Energie wandeln . . . . .	17
1.3.1.1 • Gleichspannung aufbereiten . . . . .	17
1.3.1.2 • Wechselspannung aufbereiten . . . . .	20
1.3.2 • Energie speichern . . . . .	25
1.3.2.1 • Kondensatoren und Akkumulatoren als Energiespeicher . . . . .	27
1.3.2.2 Mechanisch Energie speichern . . . . .	30
1.3.3 • Energiemanagement . . . . .	32
1.3.3.1 • Minimalsystem . . . . .	33
<b>2 • Energie gewinnen aus Licht</b> . . . . .	<b>37</b>
2.1 • Solarzellen . . . . .	39
2.2 • Energie aus Licht im Außenbereich . . . . .	42
2.3 • Energie aus Licht im Innenbereich . . . . .	44
2.4 • Lichtenergie sammeln . . . . .	47
2.4.1 • Spannungskomparator . . . . .	47
2.4.2 • Die Gesamtschaltung . . . . .	49
2.4.3 • Das Programm des Mikrocontrollers . . . . .	54
2.4.4 • Energiebetrachtungen . . . . .	57
2.5 • Versorgen eines Temperatur-Außenfühlers durch Solarzellen . . . . .	59
2.5.1 • Sperrwandler mit Übertrager . . . . .	59
2.5.1.1 • Anmerkungen zu Übertragern in Sperrwandlern . . . . .	67
2.5.2 Energiebetrachtungen . . . . .	71
<b>3 • Energie aus elektromagnetischen Wellen</b> . . . . .	<b>73</b>
3.1 • Ein persönliches Abenteuer . . . . .	73
3.2 • Elektromagnetische Wellen . . . . .	75
3.2.1 • Energie aus dem Fernfeld . . . . .	76
3.2.1.1 • Abstimmung mit einem Schwingkreis hoher Güte . . . . .	78
3.2.1.2 Quarzfrequenz ziehen . . . . .	81
3.2.1.3 • Auswahl der Dioden . . . . .	82
3.2.1.4 • Energie aus Mittelwellen . . . . .	83
3.2.1.5 • Intermezzo: Transistoren als Dioden . . . . .	84
3.2.1.6 • Kernmaterial aus Eisenpulver oder Ferriten . . . . .	85
3.2.1.7 • Energie aus UHF-Wellen . . . . .	87

3.2.2 • Energie aus dem Nahfeld . . . . .	92
3.2.2.1 • Spannungserhöhung durch Resonanzkreis . . . . .	96
3.3 • „Low-Drop-Komparator“ . . . . .	102
<b>4 • Thermoelektrizität . . . . .</b>	<b>107</b>
4.1 • Peltier-Effekt, Seebeck-Effekt . . . . .	108
4.2 • Thermoelement als elektrischer Generator . . . . .	108
4.2.1 • Thermisches Modell . . . . .	111
4.2.2 Ausgangsspannung und Ausgangsleistung . . . . .	113
4.3 • Energie aus dem Bienenstock . . . . .	115
4.3.1 • Energy-Harvesting-Chip LTC3108 . . . . .	117
4.3.2 Sperrwandler mit Germanium-Transistor. . . . .	123
4.4 • Thermoelement-Array . . . . .	125
4.4.1 Leselicht am Holzofen. . . . .	126
4.4.1.1 Hochsetzsteller statt Sperrwandler. . . . .	130
4.4.3 • Modellbau-Antriebe . . . . .	132
4.4.2 • Ofen-Propeller. . . . .	133
4.5 • Anwendung mit Mikrocontroller. . . . .	134
4.5.1 • Der sparsame Mikrocontroller . . . . .	136
4.5.1.1 • Startup und Brown-Out-Reset. . . . .	137
4.5.1.2 • Low-Power-Mode . . . . .	139
<b>5 • Energie aus mechanischer Bewegung (Kinetik) . . . . .</b>	<b>145</b>
5.1 • Windenergie . . . . .	146
5.1.1 • Windenergie direkt nutzen . . . . .	147
5.1.1.1 • Auswahl des Generators . . . . .	149
5.1.1.2 • Energie aus der Röhre . . . . .	149
5.1.1.3 • Monitoring . . . . .	151
5.1.2 • Windpendel . . . . .	152
5.2 • Energie aus Vibration . . . . .	153
5.2.1 Piezo-Experimente . . . . .	156
5.2.2 Vervielfacher . . . . .	159
5.2.3 • Spezial-IC LTC3588 . . . . .	161
5.2.4 • Anwendungen . . . . .	164
5.3 • Energie aus Druck-Betätigung . . . . .	164
5.4 Energie aus Schall . . . . .	165
<b>6 • Energie aus chemischer Reaktion . . . . .</b>	<b>171</b>
6.1 • Halbzellen . . . . .	172
6.2 • Redoxreihe . . . . .	173
6.3 • Obstbatterie . . . . .	175
6.4 • Bodenbatterie . . . . .	176
6.5 • DC-DC-Konverter . . . . .	177

<b>Anhang</b> .....	<b>181</b>
Bibliographie .....	181
Formelzeichen .....	183
Konstanten .....	184
<b>Index</b> .....	<b>185</b>