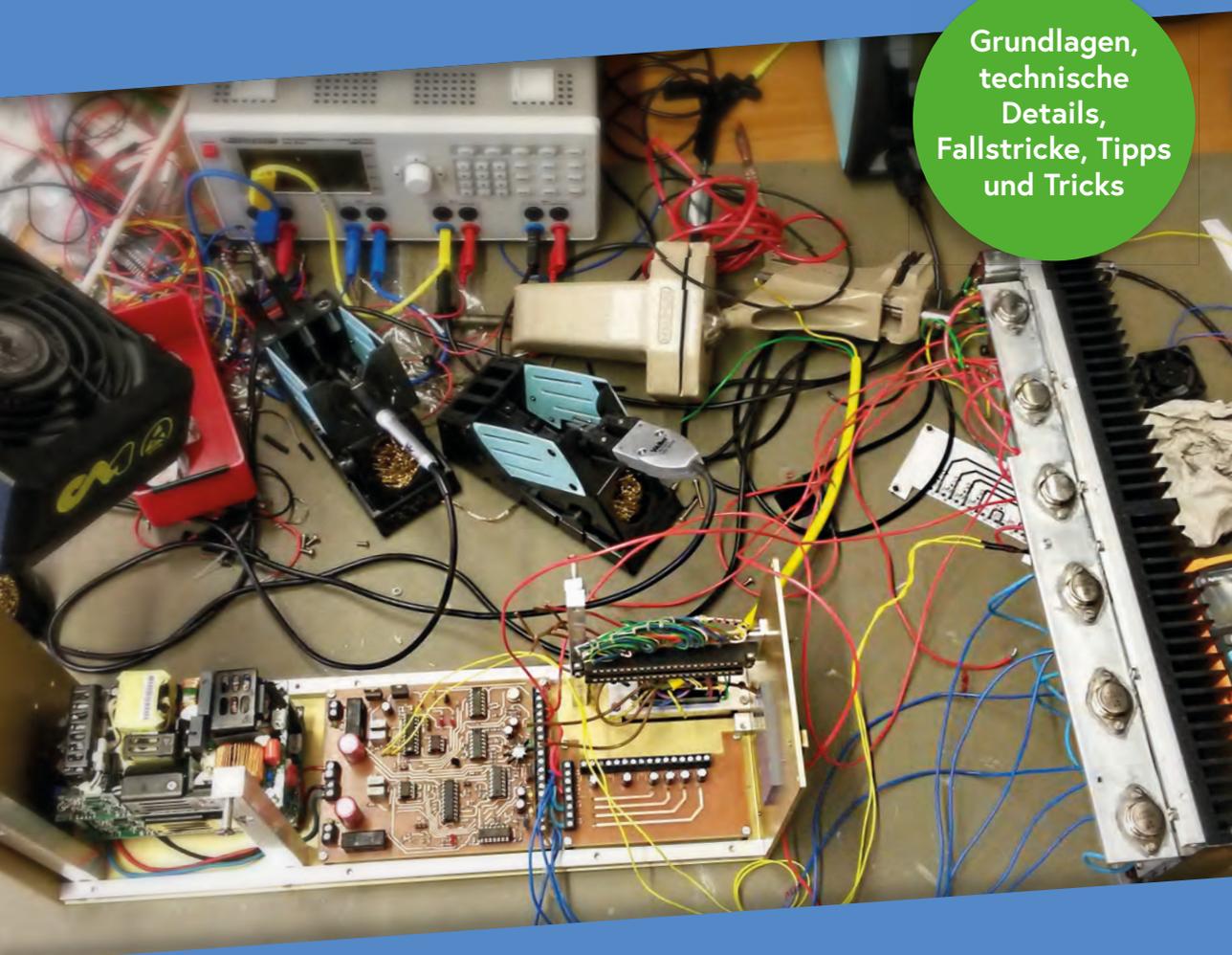


Stromversorgung ohne Stress – Band 4

Entwurf und Bau von linearen Stromversorgungssystemen

für kleine und große Leistungen

Grundlagen,
technische
Details,
Fallstricke, Tipps
und Tricks



Franz Peter Zantis

Stromversorgung ohne Stress

Band 4

**Entwurf und Bau von linearen
Stromversorgungssystemen**

für kleine und große Leistungen

Grundlagen, technische Details, Fallstricke, Tipps und Tricks



Franz Peter Zantis

● © 2024: Elektor Verlag GmbH, Aachen.

1. Auflage 2024

● 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.

● **Erklärung**

Autor, Übersetzer und Verlag haben sich nach besten Kräften bemüht, die Richtigkeit der in diesem Buch enthaltenen Informationen zu gewährleisten. Sie übernehmen keine Haftung für Verluste oder Schäden, die durch Fehler oder Auslassungen in diesem Buch verursacht werden, unabhängig davon, ob diese Fehler oder Auslassungen auf Fahrlässigkeit, Versehen oder eine andere Ursache zurückzuführen sind, und lehnen jegliche Haftung hiermit ab.

● **ISBN 978-3-89576-616-9** Print

ISBN 978-3-89576-617-6 eBook

● Satz und Aufmachung: D-Vision, Julian van den Berg | Oss (NL)

Druck: Ipskamp Printing, Enschede (NL)

Elektor Verlag GmbH, Aachen

www.elektor.de

Elektor ist die weltweit wichtigste Quelle für technische Informationen und Elektronik-Produkte für Maker, Ingenieure und Elektronik-Entwickler und für Firmen, die diese Fachleute beschäftigen. Das internationale Team von Elektor entwickelt Tag für Tag hochwertige Inhalte für Entwickler und DIY-Elektroniker, die über verschiedene Medien (Magazine, Videos, digitale Medien sowie Social Media) in zahlreichen Sprachen verbreitet werden. www.elektor.de

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	10
1 • Ungeregelte lineare Stromversorgungen	12
1.1 Intermezzo: Absolute Spannung und Spannungsqualität	13
1.2 Siebglieder	14
1.2.1 Siebung mit LC-Glied	15
1.2.2 Siebung mit RC-Glied	18
1.3 Netzteil für die Not-Nachladung eines Solarakkumulators	18
1.3.1 Steuerung	22
2 • Lineare Spannungsstabilisierung	32
2.1 Serielle Spannungsstabilisierung	36
2.1.1 13,8 V	38
2.1.1.1 Versorgung aus 24-V-Akkumulator	41
2.1.1.2 Versorgung aus dem 230-V-Netz	46
2.1.2 Fazit zur seriellen Stabilisierung	47
2.2 Parallele Spannungsstabilisierung	47
2.2.1 Parallelstabilisierung für kleine Leistungen	49
2.2.2 Parallelstabilisierung für größere Leistungen	51
2.2.3 Fazit zur Parallelstabilisierung	55
2.3 Kombinierte Serien-Parallel-Stabilisierung	55
2.4 Hinweise zum Aufbau	56
3 • Referenzspannung	58
3.1 Z-Diode zur Referenzspannungserzeugung	58
3.1.1 Temperaturkompensation durch Reihenschaltung	62
3.1.2 Temperaturkompensation durch Transistor	63
3.1.3 Temperaturkompensation durch hohe Arbeitstemperatur	64
3.2 Referenzspannungserzeugung mit Transistor-Array	66
3.3 Referenzspannung durch Konstantstrom	67
3.4 Referenzspannungserzeugung mit Standard-ICs	68
3.4.1 Referenzspannung mit Operationsverstärker	68
3.4.2 Referenzspannungserzeugung mit 78xx-Reglern	70

3.4.3 Referenzspannungs-Bereitstellung mit Mikrocontroller	70
3.4.3.1 1,2V mit MSP430F2013	70
3.4.3.2 1,5V oder 2,5V mit MSP430G2553	71
3.5 Band-Gap-Referenzelemente	73
4 • Wärme	75
4.1 Erlaubte Arbeitsbereiche von Leistungstransistoren	75
4.2 Ein bisschen Thermodynamik	77
4.2.1 Wärmeleitung	77
4.2.2 Konvektion	79
4.2.3 Wärmestrahlung	81
4.2.4 Die Temperatur im Gehäuseinnern	82
4.2.5. Nutzung der Wärmekapazität	86
4.3 Kühlkörper	87
4.3.1 Rückrechnung	90
4.3.1.1 Die Wirkung eines Kühlbleches	91
4.3.1.2 Die Zeit bis zur Überlastung	92
4.3.2 Kühlkörper von der Stange	94
4.4 Der Einsatz von Lüftern	95
4.4.1 Druck- oder saugseitige Anbringung	101
4.4.2 Zwei Lüfter	101
4.4.3 Geräuschpegel	101
4.4.4 Zusammenfassung	105
4.5 Wärmeleistung reduzieren	105
4.5.1 Umschaltung der Gleichrichterschaltung	106
4.5.2 Spannungsbegrenzung durch elektronischen Schalter	106
4.5.3 Umschaltung mit Thyristoren	107
4.5.4 Schaltbare Transformatorspeisung	109
4.6 Die Kernaussage	112
5 • Leistungstransistoren-Kram	113
5.1 Parallelschaltung von Leistungstransistoren	113
5.1.1 Parallelschaltung von Bipolartransistoren (BJTs)	114

5.1.2 Parallelschaltung von Leistungs-MOSFETs	120
5.2 Darlingtonschaltungen	121
5.2.1 Darlingtonschaltungen mit gleicher Dotierungsfolge	121
5.2.2 Komplementär-Darlingtonschaltung	124
6 • Lineare Regelung	125
6.1 Serielle Spannungsregelung	125
6.1.1 Spannungseinstellung über die Rückkopplung	127
6.1.2 Spannungseinstellung durch Variation der Referenzspannung.	129
6.1.3 Anmerkungen zur Regelung	129
6.1.4 Spannungsversorgung mit Operationsverstärker als Regler	131
6.1.4.1 Festspannungsnetzteil	136
6.1.4.2 Netzteil für 24 V Ausgangsspannung	136
6.1.4.3 Netzteil für 13,8 V Ausgangsspannung	137
6.1.4.4 Kurzschlussfestigkeit	138
6.1.4.5 Hybrides Netzteil	138
6.1.5 Festspannungsnetzteil mit Mikrocontroller als Regler.	139
6.2 Kurzschlusschutz und Strombegrenzung	147
6.3 Isolated Source.	150
6.4 G02-Labornetzteil	156
6.4.1 Spannungsregelung	159
6.4.2 Stromregelung	161
6.4.3 Wärmeleistung, Ausgangsspannung und Temperatur.	162
6.4.4 Energie und Fertig	164
6.4.5 Programm des Mikrocontrollers	166
6.4.6 Messungen.	172
6.5 Festspannungsnetzteil mit Standard-IC	173
6.6 Labornetzteil mit Darlington-Stellglied	177
6.6.1 Spannungsregelung	177
6.6.2 Stromregelung	178
6.7 Lineares Netzteil ohne Spannungsanzeige	180
6.7.1 Reglerplatine	181

6.7.1.1 Spannungsregelung	181
6.7.1.2 Stromregelung.	188
6.7.1.3 Freischaltung.	190
6.7.2 Steuerplatine	191
6.7.2.1 Stromerfassung, Stromanzeige	195
6.7.2.2 Anzeige des Betriebszustands	196
6.7.2.3 Programm des Mikrocontrollers	197
6.8 Hochvolt-Regler.	201
6.8.1 Hochvolt-Regler für stationäre Anwendung	201
6.8.2 Hochvolt-Labornetzteil.	204
6.9 Lineare Parallelregelung	208
6.9.1 Parallelregler mit symmetrischer Ausgangsspannung	212
6.11 Lineare Stromregelung	214
6.11.1 Stromregler für LED	215
6.11.2 Spannungsgesteuerte Stromquelle mit Akkubetrieb	218
6.11.2.1 Programm des Mikrocontrollers	222
6.11.2.2 Variante für größere Ströme	225
7 • Silent Power	226
7.1 Reiner Akkubetrieb (Intervallbetrieb)	226
7.1.1 Sicherheit	228
7.2 Gepufferter Betrieb	229
7.2.1 Akkumulator mit Ladegerät	230
7.2.2 Akkumulator mit Netzgerät	230
7.2.3 Laden der Li-Ion-Akkus	230
7.2.4 Laden der Bleiakkus	237
7.3 Silent Power Supply	238
7.4 Absolut konstante Spannung.	243
7.4.1 Vierleitertechnik	244
7.4.2 Kompensation bei konstanter Last	246
8 • Messtechnik und Hilfsmittel	250
8.1 Reinheit der Gleichspannung.	250
8.2 Statischer und dynamischer innerer Widerstand	251

8.3 Lastpotentiometer	252
8.4 Elektronische Last	254
8.5 Kleine Transformatoren-Hilfe.	265
8.6 Schutzschaltungen.	270
Bibliographie	274
Formelzeichen	276
Stichwortverzeichnis	277