

# Schaltnetzteile

Grundlagen - Entwurf - Schaltungsbeispiele

Joachim Wüstehube (Hrsg.)

Autoren:

Wim Hetterscheid

Rudolf Braukmeier

Henk Houkes

Joachim Koch

Hans-Werner Lütjens

Roland Ranfft

Karl Ruschmeyer

Kees van Velthooven

Joachim Wüstehube

Kontakt+Studium

Band 33

Dr.-Ing. Wilfried J. Bartz

Technische Akademie Esslingen

Fort- und Weiterbildungszentrum

Ing. grad. Elmar Wippler

expert-verlag 7031 Grafenau 1/Württ.



# Inhaltsverzeichnis

Zu diesem Buch gehört ein Beiheft mit Nomogrammen

<b>Wichtige Formelzeichen</b>	19
<b>1 Eigenschaften und Arbeitsprinzipien von Schaltnetzteilen</b> J. Wüsthube	25
1.1 Einleitung	25
1.2 Grundtypen von Gleichspannungswandlern	28
1.2.1 Sperrwandler	28
1.2.2 Durchflußwandler	31
1.2.3 Gegentaktwandler	33
1.3 Gleichspannungswandler-Varianten	34
1.4 Vergleich der Wandlerschaltungen, Auswahlkriterien	39
 <b>Schaltnetzteile mit Durchflußwandler</b> C. van Velthooven, W. Hettterscheid	41
2.1 Der Durchflußwandler	41
2.1.1 Kontinuierlicher Strom durch die Speicherdrossel	43
2.1.2 Unterbrochener Strom durch die Speicherdrossel	44
2.2 Der Doppel-Durchflußwandler	47
2.3 Einfluß der Speicherdrossel und des Ausgangskondensators auf das Verhalten des Wandlers	50
2.3.1 Grenz-Ausgangsstrom /	50
2.3.2 Erholzeit $t_H$	50
2.3.3 Spannungsschwankung $\Delta U_{Q \max}$	50
2.3.4 Ausgangswelligkeit $U_{W_s}$	51
<b>2.4 Die Netzgleichrichtung</b>	51
2.4.1 Der Ladekondensator	51
<b>2.4.2 Grenzen der Eingangsspannung, Variation der Ausgangs- spannung</b>	53

2.5	Bemerkungen zur Steuerschaltung	55
2.6	Die Ausgangswelligkeit	56
2.7	Laständerungen	57
2.7.1	Erholzeit	58
2.7.2	Der Ausgangskondensator	59
2.7.3	Der Magnetisierungsstrom des Transformators	60
2.8	Berücksichtigung parasitärer Widerstände und Induktivitäten	62
2.8.1	Der verlustbehaftete Durchflußwandler	62
2.8.2	Effektives Tastverhältnis	63
2.9	Die Speicherdrossel	64
5.9.1	Induktivität	64
2.9.2	Der Drossel-Entwurfparameter $e$	65
2.9.3	Kerne aus Ferroxcube 3C8	69
2.9.4	Dimensionierungshinweise	70
2.9.5	Verluste und Temperaturerhöhung	70
2.10	Der Transformator	72
2.10.1	Der Magnetisierungsstrom	72
2.10.2	Das Kernvolumen	73
2.10.3	Entwurfsschritte	74
2.10.4	Dimensionierungshinweise	74
2.10.5	Verluste und Temperaturerhöhung	76
2.11	Der Hochvolt-Schalttransistor	79
2.11.1	Die Basisansteuerung	79
2.11.2	Die Schutzbeschaltung	81
2.12	Die Dioden auf der Sekundärseite	84
2.12.1	Auswahl der geeigneten Diode	84
2.12.2	Der Strom durch die Dioden	84
2.13	Der Ausgangskondensator	86
	<b>Schaltnetzteile mit Sperrwandler</b>	<b>87</b>
	R. Ranfft	
3.1	Einleitung	87
3.2	Der ideale Sperrwandler	87
3.3	Dimensionierung und Eigenschaften von Sperrwandlern für Schaltnetzteile	92
3.3.1	Der Leistungsteil des Sperrwandlers	92
3.3.1.1	Festlegen der Betriebsart	92
3.3.1.2	Wahl des Transistortyps	94
3.3.1.3	Wahl der Betriebsfrequenz	97
3.3.1.4	Mindestanforderungen an die Schutzschaltung des Schalttransistors	99
3.3.1.5	Dimensionierung des Transformators	103

3.3.1.6	Korrektur der Dimensionierung	110
3.3.1.7	Der Ausgangskreis	117
3.3.2	Stellmöglichkeiten beim Sperrwandler	123
3.3.2.1	Leistungssteuerung bei konstanter Frequenz	123
3.3.2.2	Leistungssteuerung bei konstanter Amplitude des Primärstromes	126
3.3.2.3	Der selbstschwingende Sperrwandler	128
3.3.3	Die Ansteuerung des Schalttransistors	135
<b>4</b>	<b>Netzgleichrichtung und Entstörung</b>	<b>13g</b>
	R. Ranfft	
4.1	Netzgleichrichter	13g
4.1.1	Ladekondensator	141
4.1.2	Dauerbelastung der Bauelemente	144
4.1.3	Einschaltbelastung der Bauelemente	14g
4.2	Definition der Störgrößen	152
4.3	Vorschriften und Vereinbarungen für die Funkentstörung	154
4.4	Entstörung der Eingangsleitungen	156
4.4.1	Symmetrische Störspannungen am Eingang	156
4.4.2	Unsymmetrische Störspannungen am Eingang	161
4.5	Entstörung der Ausgangsleitungen	169
4.5.1	Symmetrische Störspannungen am Ausgang	169
4.5.2	Unsymmetrische Störspannungen am Ausgang	171
4.6	Unterdrückung der Störstrahlung	172
<b>5</b>	<b>Integrierte Steuerschaltungen</b>	<b>173</b>
	H. Houkes	
5.1	Einleitung	173
5.2	Prinzip einer Schaltnetzteilregelung	173
5.3	Erforderliche Kreisverstärkung	174
5.4	Netztrennung	177
5.4.1	Primärseitige Regel Schaltung	178
5.4.2	Sekundärseitige Regelschaltung	178
5.4.3	Netztrennung innerhalb der Regelstrecke	179
5.5	Integration der Regelschaltung	181
5.6	Steuer- und Regelschaltung TDA 1060	181
5.6.1	Allgemeines	181
5.6.2	Beschreibung der Schaltung	183
5.6.3	Gegentaktausgang	197

<b>6</b>	<b>Regelung</b>	199
	F.. Ranfft	
6.1	Einleitung	199
6.2	Erfassung der Regelabweichung	199
6.3	Die Regelung des Sperrwandlers	201
6.4	Die Regelung des Durchflußwandlers	205
<b>7</b>	<b>Schnelle Hochvolttransistoren</b>	213
	R. Braukmeier	
7.1	Einleitung	213
7.2	Anforderungen an den Schalttransistor in Schaltnetzgeräten	213
7.2.1	Spannungsfestigkeit	213
7.2.2	Schaltverhalten	214
7.2.3	Sättigungsspannung	214
7.3	Technologie für schnelle Hochvolt-Schalttransistoren	216
7.3.1	Dreifach-Diffusions-Technik	216
7.4	Anforderungen und Probleme beim Betrieb am Netz, Einfluß auf Auslegung und Technologie	217
7.4.1	Spannungsfestigkeit	217
7.4.2	Maßnahmen zur Beherrschung der Feldstärkeprobleme an der Oberfläche von Hochvolttransistoren	218
7.4.3	Schaltverhalten von Hochvolttransistoren	220
7.5	Unterschiede gegenüber Niedervolttransistoren	221
7.5.1	Sättigungsspannung $U_{CE\ wa}$	221
7.5.2	Stromverstärkung $B$	222
7.5.3	Speicherzeit	222
7.5.4	Sperrspannungen $tV_{CES\ M_1}$ , $U_{CE\ 0}$	223
7.6	Eigenschaften praktischer Transistoren	223
7.6.1	Abhängigkeit von der Kristallgröße	223
7.6.2	Einsatzbereich der Schaltnetzgeräte und Einfluß auf das Transistor-Typenspektrum	223
7.6.3	Praxisnahe Publikationsdaten	224
7.7	Zuverlässigkeit	226
	<b>SOAR — Sicherer Arbeitsbereich für Transistoren</b>	227
	J. Wüsthube	
8.1	Einleitung	227
8.2	Verhalten der Transistoren in der Umgebung der SOAR-Grenzen	228

8.2.1	Durchbruchverhalten	229
8.2.2	Verlustleistung und Sperrschichttemperatur	232
8.2.3	Kollektorstrom	241
8.3	Randbedingungen für die Festlegung von Arbeitsbereichsgrenzen	241
8.3.1	Betrieb unterhalb und oberhalb von $U_{CE\ 0\ max}$	241
8.3.2	Zeitlich konstante und pulsformige Belastung	242
8.3.3	SOAR-Grenzen sind absolute Grenzwerte	242
8.4	Arbeitsbereich bei beliebigem Basisabschluß	242
8.4.1	Zeitlich konstante Belastung	243
8.4.2	Pulsformige Belastung	246
8.5	Arbeitsbereiche für $U_{CE} > U_{CB\ 0\ max}$	263
8.5.1	Beispiel für die Ausnutzung von Arbeitsbereichen bei	265
8.6	Wärmeabfuhr	267
8.6.1	Thermische Ersatzschaltung	267
8.6.2	Maximal zulässiger Wärmewiderstand $\theta_{th\ K}$	269
8.6.3	Übergangs-Wärmewiderstand $\theta_{th\ G/K}$	273
8.6.4	Kühlkörper	274
Anhang		287
A 1	Entstehung des zweiten Durchbruchs	287
A 2	Zweiter Durchbruch unter- und oberhalb von $U_{CE\ rjmax}$	289
A 3	Maßnahmen des Herstellers	290
A 4	Festlegen von Arbeitsbereichsgrenzen für den zweiten Durchbruch	291
A 5	Arbeitsflußdiagramm: Auswahl und Sicherung von Transistoren	294
<b>Schaltverhalten von Hochvolttransistoren</b>		<b>295</b>
W. Hetterscheid		
9.1	Schaltverhalten	295
9.1.1	Einschalten	295
9.1.2	Ausschalten	298
9.2	Optimale Basis-Treiberschaltung	305
9.2.1	Basiswiderstand	305
9.2.2	Netzwerke für das Abschalten	307
9.2.3	Netzwerke für das Einschalten	311
9.2.4	Praktischer Schaltungsentwurf	311
9.3	Physikalische Vorgänge in Schalttransistoren für hohe Spannungen	313
9.3.1	Einschaltvorgang	314

9.3.2	Ausschaltvorgang	<b>315</b>
9.4	Oszillogramm des Ein- und Ausschaltverhaltens	318
<b>10</b>	<b>Transformatoren, Speicherdrosseln und Ausgangskondensatoren</b>	<b>323</b>
	J. Koch, K. Ruschmeyer	
10.1	Schaltnetzteil-Transformatoren mit Ferroxcube-Kernen zur Leistungsübertragung	323
10.1.1	Die EC-Kern-Reihe	323
10.1.2	Dimensionierung der Schaltnetzteil-Transformatoren	329
10.1.3	Praktischer Wicklungsaufbau	356
10.2	Speicherdrosseln mit Ferroxcube-Kernen im Sekundärkreis von Durchflußwandlern	357
10.2.1	Berechnung der Induktivität	357
10.2.2	Bestimmung von Kern, Luftspalt und Windungszahl aus der Induktivität unter Berücksichtigung der maximal zulässigen Temperaturerhöhung	359
10.3	Berechnung des Ausgangskondensators beim Durchflußwandler	365
10.4	Ein Beispiel zur Drossel- und Kondensatorberechnung	368
10.5	Tabellen zu den Nomogrammen im Beiheft	372
<b>11</b>	<b>Technisch-wirtschaftliche Gesichtspunkte bei Entwicklung und Fertigung am Beispiel eines 40 W-Durchflußwandler-Schaltnetzteils</b>	<b>377</b>
	H. W. Lütjens	
11.1	Vorgabedaten	377
11.2	Wandlertyp und Systemaufbau der Schaltung	380
11.3	Dimensionierung des Schaltnetzteils	381
11.3.1	Ausgangsgleichrichter, Speicherdrossel, Ausgangskondensator und Beschattung	381
11.3.2	Hilfsspannungsversorgung	387
11.3.3	Stromregler, Spannungsregler und geschaltete Vorlast	389
11.3.4	Transformator und Schaltstufe	394
11.3.5	Steuerung auf der Primärseite	403
11.3.6	Netzgleichrichtung und Entstörfilter	407
11.3.7	Überspannungsabschaltung	408
11.3.8	Netzausfallsignalgewinnung	409
11.3.9	Gesamtschaltung	411
11.4	Testen und Korrigieren am Versuchsaufbau	415
11.5	Meßergebnisse	416

<b>12</b>	<b>Dimensionierung eines 240 W-Durchflußwandler-Schaltnetzteils</b>	<b>421</b>
	H. Houkes	
12.1	Anforderungen	421
12.2	Auswahl des Wandlerprinzips	421
12.3	Gleichspannungsbereich am Eingang	422
12.4	Brückengleichrichter	423
12.5	Ausgangstransformator	423
12.5.1	Entwurfsgesichtspunkte	423
12.5.2	Vorauswahl des Transformator-kerns	424
12.5.3	Berechnung der Wicklungen	424
12.5.4	Primärinduktivität und Magnetisierungsstrom	429
12.5.5	Verluste	429
12.6	Speicherdrossel $L_o$	432
12.6.1	Berechnung der Induktivität	432
12.6.2	Wahl des Drosselkerns	434
12.6.3	Wicklung der Drosselspule	435
12.6.4	Verluste der Speicherdrossel	436
12.7	Ausgangskondensator $C_o$	437
12.7.1	Entwurfsgesichtspunkte	437
12.7.2	Ausgangswelligkeit, Maximalwert von $R_c$ und $L_c$	437
12.7.3	Maximalwert von $C_o$	437
12.7.4	Wahl des Kondensators	438
12.8	Hochvolt-Transistor	439
12.8.1	Wahl des Hochvolt-Schalttransistors	439
12.8.2	Transistor-Treiberschaltung	440
12.8.3	Einhaltung der SOAR-Grenzen	444
12.8.4	Kühlung	448
12.9	Ausgangsdioden	449
12.9.1	Wahl der Ausgangsdioden	449
12.9.2	Kühlung	450
12.9.3	Dämpfungsglied	451
12.10	Regelung	452
12.10.1	Regelschaltung	452
12.10.2	Regelung der Ausgangsspannung	453
12.10.3	Überstromschutz und Regelung des Ausgangsstroms	454
12.10.4	Verhalten bei Lastsprüngen	457
12.11	Wirkungsgrad	458
12.12	Funkentstörung	458



	<b>13</b>	<b>Beispiele für Schaltnetzteile</b>	<b>463</b>
		H. Houkes	
f	13.1	Auswahl des Schalttransistors	463
	13.1.1	Maximale Sperrspannung $t_{7_{CEM}}$	463
	13.1.2	Maximal ausnutzbarer Kollektorstrom $I_{c_{sgt}}$	463
	13.1.3	Basisansteuerung und Kollektorverlustleistung	463
	13.1.4	Dimensionierungsschritte	464
	13.2	12 W-Trapez-Spernwandler	465
s	13.2.1	Entwurfsgesichtspunkte	465
;	13.2.2	Schaltungsbeschreibung	467
i	13.2.3	Steuerung des Ausgangstransistors	469
j	13.2.4	Transformator	469
	13.2.5	Kühlung	471
l	13.2.6	Meßergebnisse	472
l	13.2.7	Betriebswerte	472
1	13.3	50 W-Trapez-Spernwandler mit einem sekundärseitigen	
1		5 V-Durchflußwandler	474
1	13.3.1	Entwurfsgesichtspunkte	474
l	13.3.2	Schaltungsbeschreibung	477
1	13.3.3	Steuerung d's Ausgangstransistors $T_2$	480
1	13.3.4	Transformatoren und Drosselspulen	480
1	13.3.5	Kühlung	481
	13.3.6	Meßergebnisse	482
	13.4	150 W-Schaltnetzteil für eine 24 V-Halogenlampe	484
	13.4.1	Entwurfsgesichtspunkte	484
	13.4.2	Schaltungsbeschreibung	486
	13.4.3	Steuerung des Ausgangstransistors	487
	13.4.4	Transformator	489
	13.4.5	Kühlung	491
	13.4.6	Meßergebnisse	491
i	13.5	2 kW-Durchflußwandler mit 380 V-Dreiphaseneingang	491
	13.5.1	Entwurfsgesichtspunkte	491
	13.5.2	Schaltungsbeschreibung	492
	13.5.3	Steuerung der Ausgangstransistoren	496
	13.5.4	Transformatoren und Drosseln	498
	13.5.5	Kühlung	500
	13.5.6	Meßergebnisse	501
		<b>Literaturhinweise</b>	<b>505</b>
		<b>Stichwortverzeichnis</b>	<b>510</b>

