

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Einführung</b> . . . . .	<b>15</b>
	SNT-Einsatzgebiete, Vorzüge, Aufbau und Funktionsweise · Wandler-Arten und -Leistung	
<b>2</b>	<b>Ein- und Ausschaltvorgänge</b> . . . . .	<b>21</b>
2.1	Schaltverhalten am ohmschen Widerstand . . . . .	21
2.2	Schaltverhalten an einer Kapazität . . . . .	22
	Kapazität mit ohmschem Widerstand · Kapazität mit Reihen- und Parallelwiderstand · Kapazität an Sinusspannung · Kapazität mit Widerstand an Rechteckspannung · Kapazität mit Widerstand bei Rechteckstrom	
2.3	Schaltverhalten an einer Induktivität . . . . .	25
	Induktivität an Gleichspannung · Induktivität mit ohmschem Widerstand · Induktivität an Sinusspannung bzw. Sinusstrom · Induktivität bei Rechteck- oder Dreieckstromspeisung · Induktivität an Rechteckspannung · Induktivität an Tastlückensignal · Induktivität mit Eisenkern bei hoher Magnetisierung	
2.4	Schwingkreise . . . . .	31
2.4.1	Reihenschwingkreis . . . . .	31
	Reihenschwingkreis an Rechteckspannung · Reihenschwingkreis an Sinus- bzw. Rechteckstrom	
2.4.2	Parallelschwingkreis . . . . .	33
	Parallelschwingkreis bei Stromeinspeisung · Parallelschwingkreis an Sinus- bzw. Rechteckstrom · Parallelschwingkreis an Rechteckspannung · Ausschwingvorgänge beim Parallelschwingkreis	
2.5	Spektralfrequenzen häufiger Kurvenformen in Schaltnetzteilen . .	37
2.6	Scheinwiderstands-Diagramm (HF-Tapete) . . . . .	38
<b>3</b>	<b>SNT-Grundsaltungen</b> . . . . .	<b>40</b>
3.1	Drosselwandler . . . . .	40
3.1.1	Abwärtsregler . . . . .	40
3.1.2	Aufwärtsregler . . . . .	42
3.1.3	Inverter . . . . .	43
3.1.4	Aufwärts-Abwärts-Regler . . . . .	44
3.2	Eintaktwandler . . . . .	45
3.2.1	Sperrwandler mit Rechteckspannung . . . . .	45
3.2.2	Sperrwandler mit zwei Transistoren . . . . .	47

3.2.3	Sinus-/Trapez-Sperrwandler . . . . .	48
3.2.4	Sinuswandler . . . . .	49
3.2.5	Sperrwandler mit konstanten Stromimpulsen . . . . .	50
3.2.6	Sperr- oder Durchflußwandler mit begrenzter Sperrspannung (Klemmwandler) . . . . .	51
3.2.7	Durchflußwandler . . . . .	53
3.2.8	Halbsinus-Durchflußwandler . . . . .	54
3.2.9	Durchflußwandler mit zwei Transistoren . . . . .	55
3.3	Gegentaktwandler . . . . .	56
3.3.1	Wandler mit Parallelspeisung . . . . .	56
3.3.2	Halbbrückenwandler mit Serienspeisung . . . . .	58
3.3.3	Vollbrückenwandler . . . . .	60
3.3.4	Halbbrückenwandler mit Eintaktgleichrichtung . . . . .	61
3.3.5	Halbbrückenwandler mit <i>LC</i> -Reihenkreis . . . . .	62
3.3.6	Selbstschwingender Halbbrückenwandler mit Stromrückkopplung . . . . .	63
3.3.7	Weitbereich-Halbbrückenwandler . . . . .	64
3.4	Steuerung und Regelung von Schaltnetzteilen . . . . .	65
3.4.1	Steuer- und Regelschaltung auf der Primärseite . . . . .	65
3.4.2	Steuer- und Regelschaltung auf der Sekundärseite . . . . .	67
3.4.3	Aufgeteilte Steuer- und Regelschaltung mit Optokoppler . . . . .	68
<b>4</b>	<b>Bauelemente und Dimensionierung für getaktete Stromversorgung . . . . .</b>	<b>69</b>
4.1	Netz-Überspannungsschutz . . . . .	69
4.1.1	Schutz vor kleineren Überspannungen . . . . .	69
4.1.2	Überspannungsschutz mit Metalloxid-Varistor . . . . .	71
4.2	Funkentstörung . . . . .	72
4.2.1	Elektromagnetische Verträglichkeit . . . . .	73
4.2.2	Leitungsgebundene Störungen . . . . .	74
	Netznachbildung	
4.2.3	Strahlungsgebundene Störungen . . . . .	77
	Magnetische Störfelder	
4.2.4	Elektrisches Störfeld im Transformator . . . . .	80
4.2.5	Filter . . . . .	82
4.2.6	Entstördrosseln . . . . .	84
	X-Entstördrosseln · Y-Entstördrosseln	
4.2.7	Entstörkondensatoren . . . . .	87
4.2.8	UKW-Entstörung . . . . .	92
4.2.9	Einfügungsdämpfung . . . . .	93
4.2.10	Entstörfilter für 220 V/250 W-SNT . . . . .	94
4.2.11	Dreiphasen-Filter mit VHF-Entstörung . . . . .	95
4.2.12	Kfz-Bordnetzentstörung . . . . .	95

4.3	Gleichrichtung . . . . .	96
4.3.1	Einweggleichrichtung . . . . .	101
4.3.2	Zweiweggleichrichtung mit Speicherkondensator . . . . .	102
	Effektiv- und Spitzenstrom · RC-Filterfaktor · Welligkeit bei RC-Last · Bestimmung der Ladekapazität aufgrund der zulässigen Welligkeit · Bestimmung der Speicherkapazität bei Ausfall von Netzhalbwellen	
4.3.3	Dreiphasen-Gleichrichtung . . . . .	109
4.3.4	Gleichrichtung mit Speicherdrossel . . . . .	110
	Siebung	
4.3.5	Überspannungen an Dioden . . . . .	112
4.4	Der Aluminium-Elektrolytkondensator . . . . .	113
4.4.1	Allgemeines . . . . .	113
4.4.2	Kenngrößen . . . . .	115
	Temperaturabhängigkeit der Kapazität · Verlustfaktor · Ersatzserienwiderstand · Scheinwiderstand · Reststrom · Ausfallrate	
4.4.3	Lebensdauer . . . . .	121
4.5	Impulskondensatoren . . . . .	126
4.5.1	Metallisierte Kunststoff-Kondensatoren MKT . . . . .	127
	MKT-Chip-Kondensatoren · Temperaturabhängigkeit · Feuchteabhängigkeit · Frequenzabhängigkeit · Zeitliche Inkonzanz · Betriebsspannungen · Eigenerwärmung · Impulsbelastbarkeit (Strombelastbarkeit) · Wechselspannungsbelastbarkeit bei höheren Frequenzen · Verlustfaktor · Isolation · Eigeninduktivität, Eigenresonanz	
4.5.1.1	MKK-Kondensatoren . . . . .	136
4.5.2	Styroflex-Kondensatoren . . . . .	137
4.5.3	MKP-Kondensatoren für hohe Impulsbelastung . . . . .	138
4.5.4	MFP-Impulskondensatoren . . . . .	139
4.5.5	Keramikkondensatoren . . . . .	139
	Vielschicht-Chip-Kondensatoren · SIBATIT 50000-Sperrschichtkondensatoren	
4.6	Der bipolare Leistungstransistor . . . . .	147
4.6.1	Sperrverhalten . . . . .	147
4.6.2	Kollektor-Emitter-Restspannung . . . . .	148
4.6.3	SOAR-Diagramm und Ausfallmechanismen . . . . .	148
4.6.4	Zulässige Verlustleistung . . . . .	150
4.6.5	Schaltverhalten . . . . .	152
4.6.6	Kollektorstromverlauf, Abhängigkeit der Einschaltzeit . . . . .	153
4.6.7	Kollektorstromverlauf und Ausräumung . . . . .	155
4.6.8	Abhängigkeit der Speicherzeit . . . . .	156
4.6.9	Abhängigkeit der Fallzeit . . . . .	158

4.6.10	Einflüsse der Schaltung . . . . .	160
	Spannungssteilheit, Antisättigung	
4.6.11	Auswahl des Schaltertransistors . . . . .	163
4.6.12	Parallelschaltung von Leistungstransistoren . . . . .	163
4.7	Leistungs-MOS-Feldeffekt-Transistoren . . . . .	164
4.7.1	Aufbau . . . . .	165
4.7.2	Eigenschaften Ausgangskennlinienfeld, zulässiger Arbeitsbereich, Einschaltwiderstand	166
4.7.3	Inversdiode . . . . . FREDFET	168
4.7.4	Schaltverhalten des MOS-Transistors . . . . . Einschaltvorgang · Ausschaltvorgang	169
4.7.5	Steuerleistung von Power-MOS-Transistoren im Schaltbetrieb . .	173
4.7.6	Berechnung der Einschaltenergie . . . . .	174
4.7.7	Parallelschalten von Power-MOS-Transistoren . . . . .	175
4.7.8	Gate-Beschaltungen : . . . . .	176
4.7.9	Auszug aus Typenspektrum charakteristischer Power-MOS-Transistoren . . . . .	179
4.8	Integrierte Steuer- und Regelschaltungen für SNT . . . . .	179
4.8.1	Integrierte Steuerschaltung TDA 4700 . . . . . Spannungsgesteuerter Generator (VCO) · Rampenkomparator-Vor- steuerung · Phasenkomparator-Synchronisation · Gegentakt-Flipflop · Komparator-KL-Pulsdauermodulation · Regelverstärker-OP · Im- puls-Abschalt-Flipflop · Komparator K 3 · Komparator K 4 · Weicher Anlauf · Störungs-Flipflop · Komparator K 5 (Überspannung) · Komparator K 6 (Unterspannung) · Komparator K 7 (Dynamische Strombegrenzung) · Interne Versorgung · Referenzspannung · Symme- trie · Ausgänge, Totzeit · Dimensionierung der IS-Beschaltung	179
4.8.2	Integrierte Steuerschaltungen TDA 4718, TDA 4716 und TDA 4714 . . . . .	190
	Wichtige Daten und Anschlußbelegung	
4.8.3	Gegentakt-IS TDA 4918 und Eintakt-IS TDA 4919 für direkte Ansteuerung von Power-MOS-Transistoren . . . . .	192
4.8.4	Ansteuer-IS für freischwingende Schaltnetzteile . . . . . Steuerbaustein TDA 4601 mit variabler Frequenz und Einschaltdauer	197
4.8.4.1	Eintakt-Steuerbaustein TDA 4605 für Power-MOS-Transistoren .	202
4.8.5	Eintakt-Steuerbaustein TDA 4814 für sinusförmige Netzstromaufnahme . . . . .	204
4.8.6	Überwachungs-IC für Stromversorgungen TDA 4917 . . . . .	208
4.8.7	Phasenanschnitt-Steuerbaustein TCA 785 . . . . .	215
4.8.8	Regelkreisstabilität . . . . .	219
4.9	Optokoppler . . . . . Aufbau · Stromübertragungsverhältnis · Isolationsspannung · Koppelkapazität · Isolationswiderstand · Halbwertszeit	221

4.10	Transformator und Drossel . . . . .	227
4.10.1	Magnetische Begriffe . . . . .	227
4.10.2	Der niederfrequente Transformator . . . . .	231
4.10.3	Ferrit-Werkstoffe . . . . .	237
4.10.4	Ferrit-Kernformen und Daten . . . . .	243
4.10.5	Bemessungskriterien des getakteten Transformators . . . . .	252
4.10.6	Bemessung getakteter Transformatoren . . . . .	263
4.10.7	Ermittlung der Kerngröße für Transformator und Drossel . . . . .	269
4.10.8	Wicklung . . . . . Anordnung · Entstörschirmung · Isolation · Stromdichte · Temperatur der Wicklung · Wicklungswiderstand · Drahtstärke · feldbedingte Verluste	278
4.10.9	Induktivität . . . . . Vormagnetisierung · Luftspalt · Streuinduktivität	292
4.10.10	Dimensionierung von Drosseln . . . . . Vormagnetisierte Drossel · Gemeinsame Speicherdrossel · Nichtlineare Speicherdrossel · Nichtvormagnetisierte Drossel	298
4.10.11	Dimensionierung eines Transformators für einen Sperrwandler mit Dreieckstrom . . . . .	307
4.10.12	Dimensionierung von Transformator und Drossel für Eintakt-Durchflußwandler . . . . .	310
4.10.13	Dimensionierung eines Transformators mit Längsdrossel und Speicherdrossel für SNT mit sinusförmiger Betriebs- spannung (100 kHz) . . . . .	313
4.10.14	Entlastungsnetzwerke . . . . . Spannungsspitzen · Einfluß der Streuinduktivität · Schutzbeschaltungen	318
4.11	Gleichrichtung höherfrequenter Rechteckspannungen . . . . .	326
4.11.1	Schnelle Dioden . . . . .	327
4.11.2	Gleichrichtung kleiner Wechselspannungen . . . . .	334
4.11.3	Gleichrichtung sehr kleiner Wechselspannungen . . . . .	334
4.11.4	Wechselspannungs-Kurvenformbewertung . . . . .	335
4.12	Sekundärseitige Siebung und Funkentstörung . . . . . X-Störspannung · Y-Störungen · Welligkeit und Siebfaktor · Lastsprünge	338
4.13	Widerstände . . . . .	343
4.13.1	Schicht- und Drahtwiderstände . . . . . Kohleschicht-, Metallschicht-, Metallglasur-, Hochlastwiderstände	343
4.13.2	Heißeleiter . . . . .	347
4.13.3	Kaltleiter . . . . .	349
4.14	Platine . . . . . Thermische Belastung · Leiterbahnabstände · Leiterbahn- Strombelastung und Widerstände · Kriech- und Luftstrecken · Leiterbahnsicherung	350
4.15	Kühlung . . . . . Kühlung mit Kühlkörper · Ventilator Kühlung · Flüssigkeitskühlung	355

<b>5</b>	<b>Anwendungen</b>	<b>362</b>
5.1	Steuer- und Treiberschaltungen	362
5.1.1	Steuermodul mit TDA 4700	362
5.1.2	Steuerbaustein TDA 4716	365
5.1.3	Steuermodul TDA 4718 mit Optokoppler, Regelverstärker und C-MOS-Treiber	365
5.1.4	Gegentaktsteuermodul mit TDA 4714	367
5.1.5	Eintakt-Treiber zu IS TDA 4714, 4716 und 4718 für Power-MOS-Endstufen	369
5.1.6	Treiber zu IS-Familie TDA 47xx für Brücken-Endstufen	369
5.1.7	Doppeltreiber zu IS-Familie TDA 47xx für Leistungsvollbrücke	371
5.1.8	Treiber mit HEX-C-MOS-Inverter	372
5.1.9	Steuerbausteine IS TDA 4918 und TDA 4919 (frequenzmodulierbar)	372
5.1.10	Ankopplung der IS TDA 4918 an eine Halb- bzw. Vollbrücke	374
5.1.10.1	Leistungstreiber für Vollbrücke	376
5.1.10.2	Kollektortreiber für Vollbrücke	377
5.1.11	Treiber mit TDA 4918 für große Tastvariation	378
5.1.12	Potentialgetrennte Trägerfrequenz-Steuerung (0 bis x kHz)	379
5.1.13	Synchronisation von Steuer-IS	380
5.1.14	Gegentakt-Tastlückengenerator 25 bis 1000 kHz	381
5.1.15	Frequenzvariabler Tastlückengenerator mit zwei Treibertransformatoren	383
5.1.16	Stromversorgung von SNT-Steuerbausteinen	384
5.2	Selbstschwingende SNT	385
5.2.1	Klemmwandler	385
5.2.2	Sinus-Trapez-Sperrwandler	387
5.2.3	Brücken-SNT mit Eintaktgleichrichtung	389
5.2.4	H-Ablenkschaltung kombiniert mit Schaltnetzteil	391
5.2.5	Hilfsstromversorgung	392
5.2.6	Elektronisches Vorschaltgerät für Leuchtstofflampe	393
5.2.7	Sinus-Trapez-Halbbrücke 220 V/25 V/4 A	394
5.2.8	Sinus-Trapez-Leistungsgenerator	396
5.3	Weitbereich-Schaltnetzteile	398
5.3.1	Weitbereich-Schaltnetzteil für Fernsehempfänger	398
5.3.2	SNT mit asymmetrischer Power-MOS-Endstufe	399
5.3.3	Schaltnetzteil mit Steuerbaustein für Power-MOS-Transistor	401
5.4	Sperrwandler-SNT mit mehreren Ausgangsspannungen (220 V ~ /5 V/7 A; $\pm 16$ V/0,7 A; -18 V/1,2 A)	404
5.5	Durchflußwandler	407
5.5.1	Tiefsetzsteller	407
5.5.2	Klemmwandler-SNT 220 V/5 V, 5 A	408

5.5.3	Durchflußwandler-SNT mit drei Ausgangsspannungen (220 V $\sim$ ; 5V/10 A; $\pm$ 12 V/2 A; 50 kHz) . . . . .	409
5.5.4	Eintakt-Durchflußwandler 150 kHz . . . . .	413
5.6	Halbbrücke mit sinusförmiger Transformatorspannung 220 V/12 V/8 A. . . . .	414
5.7	Gegentakt-SNT 110 V/12 V/8 A . . . . .	416
5.8	Brücken-SNT . . . . .	418
5.8.1	Halbbrücke für drei Ausgangsspannungen (220 V; 5 V/20 A; $\pm$ 12 V/1 A) . . . . .	418
5.8.2	Halbbrücke 220 V/45 V/5 A . . . . .	421
5.8.3	Vollbrücke 220 V/60 V/16 A . . . . .	422
5.8.4	Duo-Durchflußwandler für Schweißgeräte . . . . .	424
5.8.5	Frequenz-Umrichter für drehzahlgesteuerten Dreiphasenmotor . . . . .	425
5.9	Interne Stromversorgung für SNT höherer Leistung . . . . .	426
5.9.1	SNT-Schaltfolge . . . . .	427
5.9.2	300-V-Stromversorgung aus dem Drehstrom-Netz . . . . .	429
5.9.3	Thyristor-Stromrichter . . . . .	431
5.9.4	Sechspulsige Dreiphasengleichrichtung für Brücken-SNT . . . . .	435
6	<b>Sinusförmige Netzstromaufnahme (SNTS)</b> . . . . .	436
6.1	Netzurückwirkungen . . . . .	436
6.2	Oberwellen bei Phasenanschnitt und Pulslast . . . . .	437
6.3	Wandler für sinusförmige Stromaufnahme . . . . .	437
6.4	Hochsetzer mit sinusförmiger Stromaufnahme (1,5 kW) . . . . .	441
6.5	Schaltnetzteil mit sinusförmiger Stromaufnahme (SNTS) . . . . .	444
6.6	SNTS mit zwei Transistoren . . . . .	446
6.7	SNTS-Halbbrücke mit sinusförmiger Stromaufnahme . . . . .	447
	<b>Größen, Formelzeichen und Einheiten</b> . . . . .	449
	<b>Literaturverzeichnis</b> . . . . .	454
	<b>Stichwortverzeichnis</b> . . . . .	459