

Inhaltsverzeichnis

1 Einführung Bordnetzstrukturen	1
1.1 Einleitung	1
1.2 Von der einfachen Verdrahtung zum smarten KS-Design	2
1.2.1 Fondbeleuchtung	2
1.2.2 Starter-Generator Leitung	5
1.3 Übungsaufgaben zu Kap. 1	6
2 Kabel und Leiter	7
2.1 Materialien für Kabel und Leiter	7
2.1.1 Kupfer	7
2.1.2 Aluminium	8
2.1.3 Messing	9
2.1.4 Andere Leiterwerkstoffe	9
2.2 Konstruktive Merkmale	10
2.2.1 Allgemeines zu Kabel und Leitungen	10
2.2.2 DIN 72 551 Niederspannungsleitungen	10
2.3 Isolationswerkstoffe	11
2.3.1 Chemische Strukturformeln der Isolationswerkstoffe	12
2.3.2 Die Wasserstoffbrückenbindung	15
2.3.3 Formstabiler Batteriekabelsatz	16
2.3.4 Audiokabel	18
2.4 Lichtwellenleiter LWL	19
2.5 Übungsaufgaben zu Kap. 2	20
Literatur	22
3 Verbindungstechnik	25
3.1 Löten	25
3.1.1 Das Lot (Weichlot)	26
3.2 Lötverfahren	27
3.2.1 Labor-Lötgeräte	27
3.2.2 Lötssysteme in der Serienproduktion	27

3.2.3	Reflow-Lötverfahren	28
3.2.4	Eutektische Blei-Zinn-Legierung	29
3.2.5	Bleifreies Löten	30
3.3	Crimpen	30
3.3.1	Begriffe aus der Crimptechnik	30
3.4	Schweißen	34
3.4.1	Elektronenstrahlschweißen	34
3.4.2	Reibschweißen	35
3.4.3	Ultraschallschweißen	35
3.4.4	Orbitalreibschweißen [12]	36
3.4.5	Laserstrahlschweißen	36
3.5	Einpressen [15, 16]	37
3.5.1	Motivation für Einpressen	38
3.5.2	Herausforderung Kontaktwiderstand	39
3.5.3	Materialien für Einpresskontakte	43
3.5.4	Einpresstechnik für Leistungshalbleiter	44
	Literatur	51
4	Hochfrequenzleitungen	53
4.1	Die homogene Leitung	53
4.2	Die Leitungsgleichungen in Differentialform	55
4.3	Die Leitungsgleichungen für sinusförmige (harmonische) Ströme und Spannungen	57
4.4	Darstellung von Strom und Spannung durch die Größen am Leitungsende	60
4.5	Leitungskenngrößen	62
4.6	Die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Welle	63
4.7	Übungsaufgaben zu Kap. 4	64
	Literatur	66
5	Wärmeausbreitung	67
5.1	Allgemeines zur Wärmeausbreitung	67
5.2	Wärmeleitung	68
5.2.1	Die Wärmeleitung im homogenen Material	68
5.2.2	Laufzeiteffekt	69
5.3	Konvektion	70
5.4	Wärmestrahlung	71
5.5	Grundgrößen und Modellbildung	72
5.5.1	Grundgrößen	72
5.5.2	Stationäre Wärmeströme	74
5.5.3	Transiente Wärmeströme	77
5.5.4	Anwendung der Systemtheorie	79

5.5.5	Vom komplexen Widerstand im Frequenzbereich zur Sprungantwort im Zeitbereich	83
5.5.6	Lösungsbeispiele linearer transienter Vorgänge.	85
5.5.7	Messung der Stoßantwort $h(t)$	102
5.6	Nichtlineare Elemente	104
5.6.1	Der Strahlungswiderstand	104
5.7	Thermische Auslegung von Leistungselektronik.	107
5.7.1	Thermische Eigenschaften von Materialien und Kühlungsarten in der Leistungselektronik.	107
5.7.2	Transienter thermischer Widerstand von Leistungsmodulen.	108
5.7.3	Messung des transienten thermischen Widerstands.	110
5.7.4	Foster und Cauer Modell	111
5.7.5	Thermische Kopplung	112
5.7.6	Mechatronische Integration Leistungselektronik.	114
5.7.7	Kühlung von Ansteuerelektronik.	115
5.7.8	Optimierung von Flüssigkeitskühlern	115
5.7.9	Thermische Simulation vs. Infrarotmessung.	117
5.8	Übungsaufgaben zu Kap. 5	119
	Literatur.	128
6	Sicherungen	131
6.1	Schmelzsicherungen	132
6.1.1	Flachstecksicherungen.	132
6.1.2	Hochstromsicherungen	133
6.1.3	Fehlerrechnung zur Widerstandsmessung eines Sicherungstreifens	135
6.2	Pyrotechnische Sicherungen	136
6.3	Elektronische Sicherungen (12 V/24 V)	137
6.4	Verpolschutz.	138
6.4.1	Zentraler Verpolschutz mittels Diode	138
6.5	Übungsaufgaben zu Kap. 6	140
	Literatur.	142
7	Halbleiter für Bordnetzanwendungen	143
7.1	Der IG-Feldeffekttransistor	143
7.1.1	Aufbau	143
7.1.2	Der IG-Bipolar Transistor (IGBT).	147
7.1.3	Technische Weiterentwicklungen von Leistungs-MOSFET und IGBT.	148
7.1.4	Einsatz von Halbleitern mit breitem Bandabstand.	150
7.2	Die RCD-Schutzbeschaltung	152
7.2.1	Grobe Abschätzung der Kapazität des Snubber-Kondensators C.	152
7.2.2	Sperren des Transistors, Ladevorgang des Snubber-Kondensators.	152

7.2.3	Einschalten des Transistors, Entladen des Snubber-Kondensators	156
7.2.4	Zusammenfassung	157
7.3	Universeller bidirektionaler Transistor-Schalter	159
7.3.1	Transportschalter	162
7.3.2	Bidirektionaler Schalter für eine Zusatzbatterie	162
7.4	Automotiv taugliche Halbleiter	163
7.5	Verluste in Leistungshalbleitern	167
7.5.1	Durchlassverluste im Antriebsumrichter	168
7.5.2	Schaltverluste im Antriebsumrichter	171
7.5.3	Wirkungsgrad des Antriebsumrichters von Elektrofahrzeugen	173
7.6	Lebensdauerauslegung von Leistungshalbleitern	175
7.6.1	Prozess der Lebensdauerberechnung	175
7.6.2	Mission Profile und Fahrzustände	176
7.6.3	Prüfung der Lebensdauer mit Power Cycling	177
7.6.4	Ausfallmechanismen von Leistungsmodulen	179
7.6.5	Lebensdauermodelle	179
7.6.6	Belastungszählverfahren	180
7.6.7	Vergleich Felderfahrungen und Lebensdauerprognose	183
7.7	Übungsaufgaben zu Kap. 7	185
	Literatur	191
8	Prüftechnik	195
8.1	Leitungsprüfungen	195
8.2	Kabelsatzendprüfung	196
8.3	Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)	199
9	Hochvolt-Bordnetze	201
9.1	12 V/24 V Bordnetze	202
9.2	48 V-Bordnetze	202
9.3	Hochvolt-Bordnetze Spannungsklasse B	204
9.3.1	HV-Leitungen	204
9.3.2	Kontakturen	205
9.3.3	Schalter für eine Hochvolt Li-Batterie	210
9.4	Massekonzepte	211
9.4.1	12/24 V-Bordnetz Massekonzept	211
9.4.2	48 V-Bordnetz Massekonzept	212
9.4.3	HV-Bordnetz Massekonzept	212
9.5	Übungsaufgaben zu Kap. 9	213
	Literatur	215
	Anhang	217
	Stichwortverzeichnis	245