

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	1
1 Kennzeichnung und Erzeugung von Stoßspannungen und Stoßströmen 3	
1.1 Parameter von Stoßspannungen	3
1.1.1 Blitzstoßspannung.....	4
1.1.2 Schaltstoßspannung	13
1.1.3 Schwingende Stoßspannungen bei Vor-Ort-Prüfungen	15
1.1.4 Steilstoßspannung	16
1.2 Parameter von Stoßströmen	17
1.2.1 Exponential-Stoßstrom	18
1.2.2 Rechteck-Stoßstrom.....	19
1.2.3 Kurzschlusswechselstrom.....	20
1.3 Erzeugung von Stoßspannungen und Stoßströmen	22
1.3.1 Generatoren für Blitz- und Schaltstoßspannungen	22
1.3.2 Erzeugung von abgeschnittenen Stoßspannungen	28
1.3.3 Erzeugung von Steilstoßspannungen.....	29
1.3.4 Generatoren für Exponential-Stoßströme	30
1.3.5 Erzeugung von Rechteck-Stoßströmen.....	34
1.3.6 Erzeugung von Kurzschlusswechselströmen.....	35
Literatur zu Kapitel 1	36
2 Darstellung von Impulsen im Zeit- und Frequenzbereich	39
2.1 Analytische Darstellung von Stoßspannungen.....	39
2.2 Spektrum von Stoßspannungen.....	46
2.3 Analytische Darstellung von Stoßströmen	49
2.4 Spektrum von Exponential-Stoßströmen.....	53
2.5 Analytische Darstellung von Kurzschlusswechselströmen	54
3 Übertragungsverhalten linearer Systeme und Faltung	57
3.1 Sprungantwort eines Systems und Faltungsintegral	58
3.2 Fourier-Transformation und Übertragungsfunktion.....	61
3.3 Laplace-Transformation	64
3.4 Eigenschaften von RC- und RLC-Gliedern.....	66
3.4.1 Sprungantwort von Tiefpass und Schwingkreis.....	66
3.4.2 Übertragungsfunktion von Tiefpass und Schwingkreis	69
3.5 Antwortzeit, Anstiegszeit und Bandbreite.....	71
3.6 Beispiele für die Faltung	73
3.6.1 Keilstoßspannung auf RC-Glied	73
3.6.2 Keilstoßspannung auf RLC-Glied.....	76
3.6.3 Stoßspannung auf RC-Glied	78
3.6.4 Antwortfehler und Fehlerdiagramm	79
3.7 Experimentelle Sprungantwort.....	83
3.7.1 Auswertung der experimentellen Sprungantwort.....	83

viii Stoßspannungs- und Stoßstrommesstechnik

3.7.2 Antwortparameter der Sprungantwort	85
3.7.3 Messschaltungen für die Sprungantwort.....	87
3.7.4 Erzeugung von Sprungspannungen.....	89
3.8 Ergänzende Betrachtungen zum Übertragungsverhalten.....	92
Literatur zu Kapitel 3.....	96
4 Digitalrecorder, Stoßvoltmeter und Impulskalibrator	99
4.1 Aufbau und Eigenschaften von Digitalrecordern	100
4.2 Fehlerquellen bei der Signalaufzeichnung	106
4.2.1 Ideale Digitalisierung.....	107
4.2.2 Digitalrecorder mit realem AD-Wandler	109
4.2.3 Weitere Fehlerquellen.....	115
4.3 Software zur Datenauswertung.....	117
4.4 Stoßvoltmeter	118
4.5 Impulskalibrator	119
Literatur zu Kapitel 4.....	121
5 Messung von Stoßspannungen.....	125
5.1 Messsystem mit Stoßspannungsteiler.....	125
5.1.1 Übertragungsverhalten von Stoßspannungsteilern.....	132
5.1.2 Ohmscher Stoßspannungsteiler.....	138
5.1.3 Kapazitiver Stoßspannungsteiler.....	147
5.1.4 Gedämpft kapazitiver Stoßspannungsteiler.....	151
5.1.5 Ohmsch-kapazitiv gemischter Spannungsteiler	161
5.2 Kugelfunkenstrecke.....	163
5.3 Kapazitiver Feldsensor	165
5.3.1 Prinzip des kapazitiven Feldsensors	166
5.3.2 Feldsensor für Linearitätsnachweis von Spannungsteilern	168
5.3.3 Dreidimensionaler Feldsensor.....	169
5.4 Elektrooptischer Sensor.....	170
5.4.1 Pockels-Effekt.....	170
5.4.2 Kerr-Effekt.....	174
Literatur zu Kapitel 5	175
6 Messung von Stoßströmen	179
6.1 Messsystem mit niederohmigem Messwiderstand	179
6.1.1 Induktivitäten eines niederohmigen Widerstandes	183
6.1.2 Aufbau koaxialer Messwiderstände	186
6.1.3 Stromverdrängung (Skineffekt)	188
6.1.4 Kettenleiterersatzschaltbild	192
6.1.5 Experimentelle Sprungantwort von Messwiderständen	193
6.1.6 Besondere Bauformen.....	194
6.1.7 Grenzlastintegral	196
6.2 Strommessspulen nach dem Induktionsprinzip	198
6.2.1 Rogowski-Spule	204
6.2.2 Strommessspule mit Magnetkern.....	209
6.2.3 Gleichstromwandler	211

6.2.4 Magnetfeldsensor.....	212
6.3 Stromsensor mit Hall-Sonde	213
6.4 Magnetooptischer Sensor	217
Literatur zu Kapitel 6	220
7 Kalibrierung der Messsysteme	223
7.1 Allgemeines zur Kalibrierung und Rückführung	224
7.2 Vergleich mit einem Referenzsystem bei Stoßspannung	226
7.2.1 Prinzip der Vergleichsmessung	227
7.2.2 Festgesetzter Maßstabsfaktor.....	230
7.2.3 Alternativen für den Linearitätsnachweis	232
7.2.4 Messung der Zeitparameter	233
7.2.5 Dynamisches Verhalten	234
7.3 Alternative Kalibrierung von Stoßspannungsmesssystemen.....	236
7.3.1 Kalibrierung bei Niederspannung	237
7.3.2 Auswertung der Sprungantwort	238
7.3.3 Einfluss benachbarter Objekte (Näheeffekt).....	239
7.3.4 Kurz- und Langzeitverhalten	240
7.4 Kalibrierung von Digitalrecordern	242
7.5 Kalibrierung von Stoßstrommesssystemen	244
Literatur zu Kapitel 7	247
Anhang 1 Fourier- und Laplace-Transformation.....	249
A1.1 Fourier-Transformation	249
A1.2 Laplace-Transformation	251
Anhang 2 Bestimmung von Messunsicherheiten.....	255
A2.1 Der GUM	255
A2.1.1 Grundkonzept des GUM	256
A2.1.2 Modelfunktion einer Messung	257
A2.1.3 Ermittlungsmethode vom Typ A.....	258
A2.1.4 Ermittlungsmethode vom Typ B.....	260
A2.1.5 Beigeordnete Standardmessunsicherheit.....	263
A2.1.6 Erweiterte Messunsicherheit	264
A2.1.7 Effektiver Freiheitsgrad	265
A2.1.8 Messunsicherheitsbudget	266
A2.1.9 Angabe des vollständigen Messergebnisses.....	267
A2.1.10 Abschließende Bemerkungen	267
A2.2 Beispiele für die Unsicherheitsberechnung	268
A2.2.1 Maßstabsfaktor eines Stoßspannungsmesssystems	268
A2.2.2 Unsicherheit der Spannungsmessung bei einer Prüfung	273
Literatur zu Anhang A2.....	276
Abkürzungen.....	277
Sachverzeichnis.....	279