

# Stoßspannungs- und Stoßstrommesstechnik

Grundlagen – Messgeräte – Messverfahren

 Springer

# Inhaltsverzeichnis

<b>Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>1 Kennzeichnung und Erzeugung von Stoßspannungen und Stoßströmen 3</b>	
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
<b>2 Darstellung von Impulsen im Zeit- und Frequenzbereich .....</b>	<b>39</b>
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
<b>3 Übertragungsverhalten linearer Systeme und Faltung .....</b>	<b>57</b>
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

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
<b>4</b>	<b>Digitalrecorder, Stoßvoltmeter und Impulskalibrator .....</b>	<b>99</b>
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
<b>5</b>	<b>Messung von Stoßspannungen .....</b>	<b>125</b>
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
<b>6</b>	<b>Messung von Stoßströmen .....</b>	<b>179</b>
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
<b>7 Kalibrierung der Messsysteme .....</b>	<b>223</b>
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
<b>Anhang 1 Fourier- und Laplace-Transformation.....</b>	<b>249</b>
A1.1 Fourier-Transformation .....	249
A1.2 Laplace-Transformation .....	251
<b>Anhang 2 Bestimmung von Messunsicherheiten.....</b>	<b>255</b>
A2.1 Der GUM .....	255
A2.1.1 Grundkonzept des GUM.....	256
A2.1.2 Modellfunktion 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
<b>Abkürzungen.....</b>	<b>277</b>
<b>Sachverzeichnis.....</b>	<b>279</b>