

Adolf J. Schwab

# Hochspannungs- meßtechnik

Meßgeräte und Meßverfahren

Zweite, neubearbeitete und erweiterte Auflage

Mit 256 Abbildungen

Springer-Verlag  
Berlin Heidelberg New York 1981

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Oszilloskopmeßtechnik für schnell veränderliche hohe Spannungen und Ströme</b>	<b>1</b>
1.1	Elektronenstrahlloszilloskope . . . . .	1
1.2	Speicherzoszilloskope und photographische Aufzeichnung . . . . .	6
1.3	Digitale Speichersysteme . . . . .	9
1.4	Meßkabel . . . . .	12
1.5	Elektromagnetische Verträglichkeit . . . . .	17
1.6	Messungen mit Differenzverstärkern . . . . .	27
<b>2</b>	<b>Messung hoher Stoßspannungen mit Spannungsteiler und Elektronenstrahlloszilloskop . . . . .</b>	<b>29</b>
2.1	Der Meßkreis und seine Übertragungseigenschaften . . . . .	30
2.1.1	Ermittlung der Übertragungseigenschaften durch Messung des Frequenzgangs . . . . .	32
2.1.2	Ermittlung der Übertragungseigenschaften durch Messung der Sprungantwort . . . . .	34
2.1.3	Impulsgeneratoren zur Messung der Sprungantwort . . . . .	36
2.1.4	Anstiegszeit und Antwortzeit . . . . .	42
2.1.5	Fehlerermittlung bei der Messung des Scheitelwerts in der Stirn abgeschnittener Stoßspannungen . . . . .	46
2.1.6	Rückwirkung eines Spannungsteilers auf den Hochspannungskreis . . . . .	49
2.2	Ohmsche Spannungsteiler . . . . .	52
2.2.1	Der zweistufige kompensierte Spannungsteiler ohne Berücksichtigung der Induktivitäten und der verteilten Erdkapazitäten . . . . .	52
2.2.2	Der ohmsche Spannungsteiler unter Berücksichtigung der verteilten Erdkapazitäten . . . . .	55
2.2.2.1	Die verteilten Erdkapazitäten . . . . .	55
2.2.2.2	Der ohmsch-kapazitiv gemischte Spannungsteiler . . . . .	58
2.2.2.3	Der gesteuerte ohmsche Spannungsteiler . . . . .	61
2.2.2.4	Niederohmige Spannungsteiler . . . . .	63
2.3	Kapazitive Spannungsteiler . . . . .	66
2.3.1	Der kapazitive Spannungsteiler und seine Zuleitungen . . . . .	66
2.3.2	Kapazitive Spannungsteiler mit konzentrierter Hochspannungskapazität . . . . .	68
2.3.3	Kapazitive Spannungsteiler mit verteilter Hochspannungskapazität . . . . .	73
2.3.4	Niederspannungsteile kapazitiver Spannungsteiler . . . . .	78
2.3.5	Anpassungsverhältnisse am Niederspannungsteil kapazitiver Spannungsteiler	80
2.4	Das Kettenleiterersatzschaltbild . . . . .	82
2.5	Leitungsspannungsteiler . . . . .	84

<b>3 Einrichtungen zur Messung hoher Gleich- und Stoßspannungen sowie des Scheitel- und Effektivwerts hoher Wechselspannungen . . . . .</b>	87
3.1 Messung hoher Gleichspannungen und des Effektivwerts hoher Wechselspannungen . . . . .	87
3.1.1 Hochohmige Widerstände und Spannungsteiler . . . . .	87
3.1.2 Elektrostatische Spannungsmesser . . . . .	94
3.2 Messung des Effektivwerts hoher Wechselspannungen . . . . .	98
3.2.1 Kapazitiver Vorwiderstand und kapazitiver Spannungsteiler . . . . .	98
3.2.2 Kapazitive Spannungswandler . . . . .	99
3.2.3 Induktive Spannungswandler, Bestimmung der Hochspannung aus dem Übersetzungsverhältnis des Hochspannungsprüftransformators . . . . .	103
3.3 Messung hoher Gleichspannungen, Stoßspannungen und des Scheitelwerts hoher Wechselspannungen mit der Kugelfunkenstrecke . . . . .	107
3.4 Messung des Scheitelwerts hoher Wechsel- und Stoßspannungen . . . . .	117
3.4.1 Scheitelspannungsmessung nach Chubb und Fortescue . . . . .	119
3.4.2 Scheitelspannungsmeßeinrichtungen mit Spannungsteiler . . . . .	121
3.4.3 Stoßspannungsmeßeinrichtungen mit Spannungsteiler . . . . .	128
3.5 Messung hoher Gleichspannungen sowie des Scheitelwerts und beliebiger Zwischenwerte hoher Wechselspannungen mit Hochspannungsmessern nach dem Generatorprinzip . . . . .	134
3.6 Absolute Spannungsmessung . . . . .	139
3.7 Messung elektrostatischer Aufladungen . . . . .	142
3.7.1 Messung des Potentials . . . . .	144
3.7.2 Messung der Ladung . . . . .	145
3.7.3 Messung der elektrischen Feldstärke . . . . .	148
3.7.4 Meßgeräte zur Messung elektrostatischer Aufladungen . . . . .	148
<b>4 Messung hoher, schnellveränderlicher Ströme mit dem Elektronenstrahlloszilloskop . . . . .</b>	153
4.1 Niederohmige Meßwiderstände . . . . .	153
4.2 Magnetische Spannungsmesser (Rogowski-Spulen) . . . . .	168
4.3 Hall-Generatoren . . . . .	173
<b>5 Nichtkonventionelle Messung hoher Spannungen und Ströme . . . . .</b>	176
5.1 Optische Effekte . . . . .	177
5.2 Intensitätsmodulation . . . . .	181
5.3 Nichtkonventionelle Strommessung . . . . .	184
5.3.1 Aktive Systeme . . . . .	185
5.3.2 Passive Systeme . . . . .	186
5.4 Nichtkonventionelle Spannungsmessung . . . . .	188
<b>6 Dielektrische Messungen . . . . .</b>	191
6.1 Serien- und Parallelersatzschaltbild verlustbehafteter Kondensatoren . . . . .	191
6.2 Brückenschaltungen zum Messen von Kapazitäten und Verlustfaktoren . . . . .	193
6.2.1 Verlustfaktormeßbrücke nach Schering . . . . .	193
6.2.2 Schering-Brücke für hohe Ladeströme . . . . .	195
6.2.3 Schering-Brücke für hohe Verlustfaktoren . . . . .	196
6.2.4 Universal-C-tan δ-Meßbrücke . . . . .	197
6.2.5 Verlustfaktormeßbrücke mit Stromkomparator . . . . .	198
6.3 Allgemeine Betrachtungen über Empfindlichkeit, Abschirmung und Brückenelemente . . . . .	201

6.3.1	Empfindlichkeit . . . . .	201
6.3.2	Vergleichskondensator . . . . .	202
6.3.3	Streukapazitäten und Abschirmung . . . . .	204
6.3.4	Nullindikatoren . . . . .	208
6.4	Messung der Kapazität und des Verlustfaktors geerdeter Prüflinge . . . . .	211
6.4.1	Messung geerdeter Prüflinge mit der Schering-Brücke . . . . .	211
6.4.2	<i>M</i> -Schaltung . . . . .	213
6.4.3	Verlustfaktormessung mit dem Verfahren der gedämpften Schwingung . . . . .	213
<b>7</b>	<b>Teilentladungsmeßtechnik . . . . .</b>	<b>215</b>
7.1	Teilentladungsimpulse in Hohlräumen . . . . .	216
7.2	Teilentladungsmeßschaltungen . . . . .	220
7.3	Prüflinge mit verteilten Parametern . . . . .	224
7.4	Meßgeräte zur Erfassung von Teilentladungen . . . . .	227
7.5	Aussagekraft der am Ankopplungsvierpol gemessenen Größen in bezug auf die Größe der tatsächlichen Teilentladungen . . . . .	231
7.6	Äquivalenz von Teilentladungsmeßergebnissen in Picocoulomb und Mikrovolt	234
7.7	Abschließende Bemerkungen zur Teilentladungsmeßtechnik . . . . .	237
<b>Literaturverzeichnis</b>		<b>240</b>
<b>Sachverzeichnis</b>		<b>273</b>