

Dipl.-Ing. Hermann Koch, Rödermark

**Untersuchung des langzeitigen  
Isoliervermögens  
von Bauelementen  
der Niederspannungstechnik  
mit Hilfe von  
Teilentladungsmessungen**

Reihe **21**: Elektrotechnik

Nr. **72**

<u>Inhaltsverzeichnis</u>	<u>Seite</u>
1 Einleitung	1
2 Grundlagen zur Messung von Teilentladungen	2
2.1 Problemstellung	2
2.2 Ersatzschaltbild für einfache Isolieranordnungen	3
2.3 Meßkreis	6
2.3.1 Grundschialtung nach IEC	6
2.3.2 Meßverfahren	7
3 Grundlagen der Alterung von Isolierstoffen	11
3.1 Theorie der thermischen Alterung	11
3.2 Theorie der elektrischen Alterung	13
3.2.1 Feldalterung	13
3.2.2 Teilentladungsalterung	14
3.3 Theorie der Kriechstromalterung	16
3.4 Theorie der Strahlungsalterung	17
3.5 Theorie der Multistrefälterung	17
4 Der Einfluß von Vorbehandlungen auf das TE – Verhalten beschichteter Leiterplatten.	19
4.1 Problemstellung	19
4.2 Technologie beschichteter Leiterplatten	20
4.2.1 Leiterplattenherstellung	20
4.2.2 Testleiterplatten	22
4.2.3 Beschichtungsverfahren	25
4.2.4 Testbeschichtungen	27
4.3 Vorbehandlung der beschichteten Leiterplatten	28
4.4 Parallele Leiterbahnanordnungen	32
4.4.1 Aufgabenstellung	32
4.4.2 Meßaufbau 1	32
4.4.3 Durchführung der Messungen	34
4.4.4 Darstellung der Meßergebnisse	36
4.4.5 Beurteilung und Deutung der Meßergebnisse	40
4.5 Parallele Leiterbahnanordnungen und Lötäugen	43
4.5.1 Aufgabenstellung	43
4.5.2 Meßaufbau 2	43
4.5.3 Durchführung der Messungen	44
4.5.4 Darstellung der Meßergebnisse	46
4.5.5 Meßergebnisse	48
4.5.5.1 Keine Vorbehandlung (Neu)	48
4.5.5.2 Feuchte/Wärme (F/W)	51
4.5.5.3 Klimafolge 1 (KF1)	55
4.5.5.4 Klimafolge 2 (KF2)	58
4.5.6 Beurteilung und Deutung der Meßergebnisse	62

4.5.7	Mikroskopische Untersuchungen	63
4.5.8	Vergleich von Bauteile- und Lötseite	66
4.5.9	Vergleich von beschichteten zu unbeschichteten Leiterbahnen	72
4.5.10	Der Einfluß des Meßklimas	84
4.6	Der Einfluß der Schichtdicke	88
4.6.1	Aufgabenstellung	88
4.6.2	Darstellung der Meßergebnisse	89
4.6.3	Beurteilung und Deutung der Meßergebnisse	89
4.7	Erkenntnisse zu den Messungen an beschichteten Leiterplatten	91
5	Langzeitcharakteristik von Teilentladungen und deren Wirkung	93
5.1	Einleitung	93
5.2	Grundlagen	93
5.2.1	Erosion und chemischer Zerfall	93
5.2.2	Wärmedurchschlag	94
5.2.3	Bildung von Kanälen	94
5.2.4	Zündbedingungen	95
5.2.5	Zerfallsprodukte	97
5.3	Meßaufbau	98
5.3.1	Meßdatenerfassung	98
5.3.2	Meßdatenbearbeitung	99
5.3.3	Statistische Auswertung	100
5.4	Meßergebnisse an beschichteten Leiterplatten mit parallelen Leiterbahnen	102
5.4.1	Typisches TE-Verhalten	102
5.4.2	Statistische Auswertung des TE-Verhaltens	107
5.4.3	Mikroskopische Untersuchungen	111
5.4.4	Beurteilung und Deutung der Meßergebnisse	113
5.5	Meßergebnisse an beschichteten Leiterplatten mit Lötage/Leiterbahn-Anordnung	115
5.5.1	Beanspruchungsdauer 2 Stunden	116
5.5.2	Beanspruchungsdauer 16 Stunden	120
5.5.3	Beanspruchungsdauer 80 Stunden	125
5.5.4	Mikroskopische Untersuchungen	127
5.5.5	Beurteilung und Deutung der Meßergebnisse	129
5.6	Meßergebnisse an Optokopplern	133
5.6.1	Typisches TE-Verhalten	133
5.6.2	Statistische Auswertung des TE-Verhaltens	135
5.6.3	Mikroskopische Untersuchungen	137
5.6.4	Röntgenuntersuchungen	138
5.6.5	Beurteilung und Deutung der Meßergebnisse	139
5.7	Meßergebnisse an Folienkondensatoren	140
5.7.1	Typisches TE-Verhalten	141
5.7.2	Statistische Auswertung des TE-Verhaltens	144
5.7.3	Mikroskopische Untersuchungen	146
5.7.4	Beurteilung und Deutung der Meßergebnisse	147

5.8 Meßergebnisse an vergossenen Niederspannungstransformatoren	148
5.8.1 Typisches TE – Verhalten	149
5.8.2 Statistische Auswertung des TE – Verhaltens	150
5.8.3 Beurteilung und Deutung der Meßergebnisse	152
6 Erweitertes Teilentladungsmeßsystem	153
6.1 Einleitung	153
6.2 Meßaufbau	154
6.3 TE – Langzeitbelastung von beschichteten Leiterplatten	155
6.4 TE – Verhalten von beschichteten Leiterplatten bei konstant steigender Prüfspannung	160
6.5 Beurteilung und Deutung der Meßergebnisse	164
7 Temperatureinfluß auf das TE – Verhalten	165
7.1 Einleitung	165
7.2 Grundlagen	165
7.3 Meßaufbau	166
7.4 Meßergebnisse an beschichteten Leiterplatten mit parallelen Leiterbahnen	166
7.5 Meßergebnisse an beschichteten Leiterplatten mit Lötauge/Leiterbahn Anordnung	171
7.6 Meßergebnisse an vergossenen Kleinspannungstransformatoren	174
7.7 Meßergebnisse an Optokopplern	175
7.8 Beurteilung und Deutung der Meßergebnisse	180
8 Einfluß der natürlichen Verschmutzung auf das TE – Verhalten beschichteter Leiterplatten	182
8.1 Einleitung	182
8.2 Meßvorbereitungen	182
8.3 Meßergebnisse	184
8.4 Beurteilung und Deutung der Meßergebnisse	187
9 Zusammenfassung	188
10 Literaturverzeichnis	190
11 Häufig verwendete Formelzeichen und Abkürzungen	200