

Inhalt

ABKÜRZUNGEN	12
SYMBOLE	13
1. EINFÜHRUNG	15
2. STAND DER TECHNIK	19
2.1 Hochspannungsgleichstromübertragung	19
2.1.1 Übertragungsprinzip	19
2.1.2 Verschiebungs- und Strömungsfelder in HGÜ-Barrierensystemen	21
2.1.3 Besonderheiten bei der Auslegung von HGÜ-Isoliersystemen	23
2.1.4 HGÜ-Durchführungen	24
2.1.4.1 Elektrisch-thermisches Verhalten	24
2.1.4.2 Feldsteuerung und Wärmeabfuhr	26
2.2 Polarisation und elektrische Leitfähigkeit	29
2.2.1 Ermittlung der Leitfähigkeit entsprechend den Normen nach IEC	30
2.2.2 Messtechnische Ermittlung der Polarisation und der Leitfähigkeit mittels PDC-Analyse	32
2.3 Messung hoher Gleichspannungen	35
2.3.1 Messung mittels Spannungsteilern	35
2.3.2 Messung durch Funkenstrecken	36
2.3.3 Messung mittels elektrostatischen Voltmetern	36
2.3.4 Messung nach dem Generatorprinzip mit dem Rotationsvoltmeter	38
3. EIGENE FRAGESTELLUNG UND METHODISCHES VORGEHEN	41
4. THERMISCHE UND ELEKTRISCHE UNTERSUCHUNGEN AN DURCHFÜHRUNGSWICKELN	45
4.1 Grundgedanken der Prüfkörper	45
4.2 Bestimmung der Temperaturverteilung	47
4.3 Bestimmung der elektrischen Potentialverteilung	48
4.3.1 Versuchsaufbau	48
4.3.2 Experimentelle Schwierigkeiten	49
5. BESTIMMUNG VON MATERIALWERTEN	53
5.1 Messtechnische Ermittlung von Materialwerten	53
5.2 Bestimmung der Aktivierungsenergie durch Ermittlung eines Verschiebungsfaktors	58
5.3 Umsetzung für die Simulationsumgebung	63
5.4 Thermische Grenzen der Temperaturkompensation bei Epoxidharz	71
6. SIMULATIONSUMGEBUNG	75
6.1 Räumliche Diskretisierung und Modellbildung	75
6.2 Modellvarianten	82
6.3 Diskretisierung des Temperaturprofiles	83

7. MESSUNG UND SIMULATION	87
7.1 Thermische Messungen	87
7.2 Ergebnisse der Potentialmessungen	89
7.2.1 Messung bei konstanter Temperatur	90
7.2.2 Messung bei eingeschwungenem Temperaturgradienten	91
7.2.3 Messung bei Anlegen eines Temperatursprunges	93
7.2.4 Vergleich bei unterschiedlich hohem Spannungssprung	93
7.3 Simulation und Ergebnisse	95
7.3.1 Simulierte Fälle	95
7.3.2 Potentialverteilung ohne Temperaturgradient	96
7.3.3 Potentialverteilung mit Temperaturgradient	97
8. ANWENDUNG IM UMPOLUNGSFALL	103
8.1 Umpolung ohne Temperatur- bzw. Leitfähigkeitsgradient	103
8.2 Umpolung bei einem Temperaturgradienten von 60 K	104
8.2.1 Ergebnisse der durchgeführten Simulationen	105
8.2.2 Erläuterung des auftretenden Effektes	110
8.2.2.1 Umpolverhalten an einem vereinfachten einschichtigen RC-Modell	111
8.2.2.2 Umpolverhalten an einem vereinfachten zweischichtigen RC-Modell	111
8.2.2.3 Umpolverhalten an einem vereinfachten dreischichtigen RC-Modell	115
9. ZUSAMMENFASSUNG	123
9.1 Modellbildung und Simulation	123
9.2 Messung und Temperaturumrechnung	123
9.2.1 Temperaturverteilung im Prüfwickel	124
9.2.2 Potentialverteilung im Prüfwickel	124
9.2.3 Dielektrische Materialmessungen und deren Temperaturkompensation	124
9.3 Erkenntnisse aus den Simulationen und Messungen	126
9.4 Unterschiedliche Anwendungsfelder	128
9.4.1 Einsatzzwecke der unterschiedlichen Modellvarianten	128
9.4.2 Folgerung zur Temperaturkompensation durch Verschiebung bei RIP	129
9.5 Ausblick auf weitere mögliche Arbeiten	130
9.6 Fazit	131
QUELLENVERZEICHNIS	133
ANHANG A - AKTIVIERUNGSENERGIE	139
A.1 Bestimmung der Aktivierungsenergie mittels Arrhenius	139
A.2 Endwertbestimmung mittels CDM	141
A.3 Temperaturumrechnung von RC-Polarisationsersatzschaltbildern	145
A.4 Empirische Ermittlung des Verschiebungsfaktors	148

ANHANG B - BERÜCKSICHTIGUNG PARASITÄRER EIGENSCHAFTEN	151
B.1 Querströme	151
B.2 Streukapazitäten	152
ANHANG C - SIMULATION EINER „HARTEN“ UMPOLUNG	157
ANHANG D - UMPOLVERHALTEN AN EINEM VEREINFACHTEN VIERLAGIGEN MODELL	159