

Überprüfung der Anwendbarkeit der FDS-Analyse zur Beurteilung des Feuchteinflusses auf elektrisch beanspruchte Isolierstoffgrenzflächen

Zielstellung und Motivation

An Kabelgarnituren der Mittel- und Hochspannungstechnik treten konstruktionsbedingt elektrisch beanspruchte makroskopische Grenzflächen, sogenannte „Interfaces“ auf. Die Interfaces müssen in der Praxis kurz- bzw. langzeitigen Betriebs- und Prüfbeanspruchungen widerstehen. Die bisherigen Untersuchungen mit der verwendeten Messtechnik an Interfaces führen allerdings meist zur Zerstörung der Prüflinge und sind deshalb in größeren Stückzahlen für die Umsetzung an realen Garnituren nicht geeignet. Eine zerstörungsfreie Diagnosemethode ist zum Beispiel eine dielektrische Spektroskopie, die FDS-Analyse (Frequency-Domain-Spectroscopy), welche meist bei Öl-Papier-Isolierungen in Transformatoren verwendet wird. Dabei lassen sich vor allem die dielektrischen Eigenschaften (komplexe rel. Dielektrizitätszahl ϵ_r^* und Verlustfaktor $\tan \delta$) der Isolierung in Abhängigkeit der Frequenz ermitteln.

Im Rahmen dieser Arbeit wird das dielektrische Verhalten von Interfaces mithilfe der FDS-Analyse vor und nach Feuchtigkeitsbeanspruchung untersucht.

Theoretischer Hintergrund

Prinzip FDS-Analyse: nach Anlegen einer Wechsellspannung wird die komplexe Impedanz Z^* durch Messungen bei vielen verschiedenen Frequenzen punktuell ermittelt. Daraus lässt sich die komplexe Dielektrizitätszahl ϵ_r^* , der Verlustfaktor $\tan \delta$ und die komplexe Kapazität C^* errechnen [1].

Ein RC-Netzwerkmodell von festen Isolierstoffen mit einem linearen Polarisationsverhalten ist in Abb. 1 dargestellt. Polarisation beschreibt Ladungsverschiebungen, die zur Bildung von Dipolen bzw. Ausrichtung permanenter Dipole in die elektrische Feldrichtung führen [1]. Schnelle Polarisationsvorgänge wie Deformationspolarisation, Ionenpolarisation und Orientierungspolarisation treten bereits bei hohen Frequenzen auf, langsame Polarisationsvorgänge wie die Grenzflächenpolarisation findet erst bei tiefen Frequenzen ($f \leq \text{mHz}$) statt [2]. Anhand eines solchen RC-Netzwerkes können die dielektrischen Kennwerte des Materials bestimmt werden.

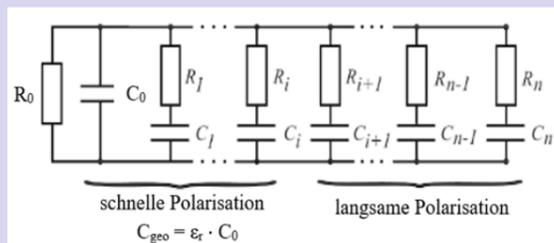
$$Z^*(\omega) = \frac{U(\omega)}{I(\omega)} = \frac{1}{j\omega C^*(\omega)} = \frac{1}{j\omega C'(\omega) - jC''(\omega)}$$

$$C'(\omega) = C_{geo} + \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{1 + (\omega R_i C_i)^2} \quad \tan \delta(\omega) = \frac{C''(\omega)}{C'(\omega)}$$

$$C''(\omega) = \frac{1}{\omega R_0} + \sum_{i=1}^n \frac{\omega R_i C_i^2}{1 + (\omega R_i C_i)^2} \quad \epsilon_r'(\omega) = \epsilon_r(\omega) = \frac{C'(\omega) \cdot d}{\epsilon_0 \cdot A_M}$$

C_0 = Vakuumpkapazität
 R_0 = Isolationswiderstand
 ϵ_0 = Dielektrizitätskonstante

Abb. 1: RC-Netzwerk



Quellen: [1] Küchler, A.: Hochspannungstechnik 4. Auflage, 2017 [2] Schober, F.: Elektrische Leitfähigkeit und dielektrisches Verhalten von Pressspan in HGÜ Isoliersystemen.: Dissertation, 2016

Versuchstechnik- und Durchführung

Prüfanordnung 1 (Interfaces)

- Zylinderprüflinge mit Interfaces
- Interfaces: SIR-SIR, SIR-P3-SIR, SIR-P7-SIR, SIR-P8-SIR, FSE-SIR
- Schlagweite $s = 10 \text{ mm}$

Parameter

- Messspannung UAC = 200 V
- Frequenz $f = 30 \mu\text{Hz} \dots 5 \text{ kHz}$

Durchführung

- FDS-Messung der Prüflinge im Ausgangszustand
- inbau im Behälter zur Wasserlagerung
- Lagerung mit Salzlösung aus entionisiertem Wasser und 1% (Massenprozent) NaCl
- Lagerung bei 50°C für 2 Monate
- FDS-Messung nach Feuchtigkeitsbelastung

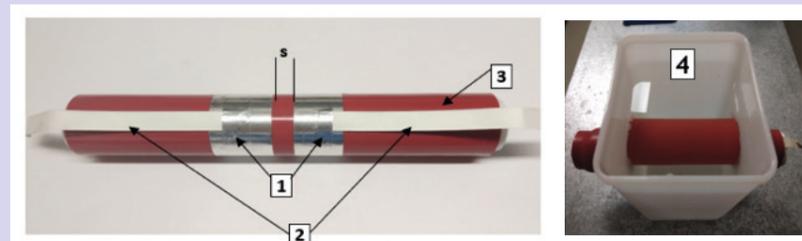


Abb. 2: Zylinderprüfung

[1] Wickelelektroden [2] Anschluss-kontaktfahnen [3] innerer SIR-Schlauch [4] Wasserbad [5] Schlagweite

Ergebnisse: Einfluss der Feuchtigkeit auf die reale Dielektrizitätszahl der Interfaces

Abb. 3 zeigt das Verhalten der realen Dielektrizitätszahl ϵ_r' vor und nach Feuchtigkeitsbeanspruchung.

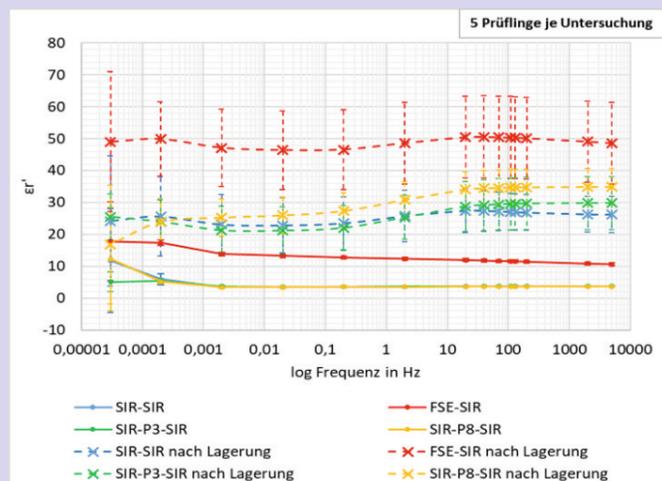


Abb. 3: reale Dielektrizitätszahl ϵ_r' in Abhängigkeit der Frequenz aller Interfaces

- Tendenzielle Zunahme der ϵ_r' nach Lagerung aller Interfaces aufgrund Polarisierungseffekte
- Ionen-, Orientierungs- und Grenzflächenpolarisation treten nach Wasserlagerung im Interface auf
- Vergleichbares Verhalten der ϵ_r' der Interfaces SIR-SIR, SIR-P3-SIR und SIR-P8-SIR
- Verhalten der ϵ_r' der Interfaces mit den Pasten P3 und P8 zeigen nach der Feuchtelagerung keinen Unterschied.

In Abb. 4 wird das Verhalten der realen Dielektrizitätszahl der Zylinderprüflinge mit und ohne Wasserbad verglichen.

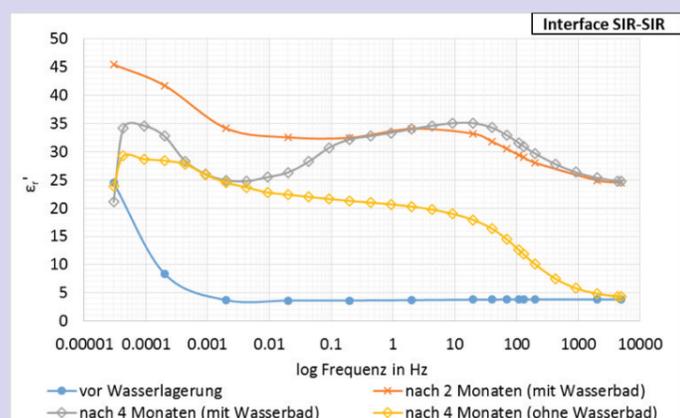


Abb. 4: Einfluss des Wassers außerhalb des Prüflings (Interface SIR-SIR)

- Anstieg der ϵ_r' über den gesamten Frequenzbereich bei Prüflingen im Wasserbad
- Differenz der ϵ_r' zwischen gelber und grauer Kurve bei hohen Frequenzen $f > 0,002 \text{ Hz}$ aufgrund der äußeren Grenzfläche zwischen Wasser und Zylinderprüfling
- Unterschied der ϵ_r' zwischen blauer und gelber Kurve hauptsächlich durch den Feuchteinfluss an der inneren Grenzfläche

Zusammenfassung

- Bei den Untersuchungen an Interfaces ist eine Zunahme der realen Dielektrizitätszahl ϵ_r' aller Interfaces nach Wasserlagerung auf Polarisierungseffekte zurückzuführen.
- Ionen-, Orientierungs- und Grenzflächenpolarisation können durch die Salzlösung im Interface auftreten.
- Durch das Vorhandensein des Wasserbads entstehen äußere Grenzflächen zwischen dem äußeren SIR-Schlauch und dem Wasserbad, welche die Zunahme von ϵ_r' bei hohen Frequenzen verursachen.
- Die FDS-Messung ist geeignet, Feuchteinfluss auf Isolierstoffgrenzflächen zu beurteilen.



Dipl.-Ing. (FH) **Jun Ting Loh**
Studiengang Elektrische Energiesysteme

Betreuer/Gutachter:

Dipl. - Ing. (FH) **Mario Dreßler**
Prof. Dr - tech. **Stefan Kornhuber**
Fakultät Elektrotechnik und Informatik