

Blindstrom bei der Hochspannungsprüfung mit Wechselspannung: Möglichkeit der Fehlinterpretation von Messergebnissen

Um die korrekte Funktion der eingesetzten Isolationsmaterialien zu überprüfen, wird als Qualitäts-sicherungsmaßnahme in vielen Fällen an ein elektrotechnisches Produkt eine Prüfspannung angelegt. Diese liegt deutlich über der erwarteten höchsten Betriebsspannung und soll sicherstellen, dass keine Mängel vorliegen. Typische Angaben aus verschiedenen Normen sind zum Beispiel $U_{\text{nenn}} \times 2 \text{ plus } 1.000\text{V}$.

Jedoch deutet nicht jeder kleine Stromfluss bei dieser Prüfspannung bereits auf einen Isolationsfehler hin. Der für die Prüfung verwendete Hochspannungstransformator muss daher die Möglichkeit bieten, die Auslöseempfindlichkeit der Kurzschluss-Detektion einzustellen. Üblich ist, dass ein Stromfluss unter 3 mA bei Prüfspannung (einige Hundert bis einige Tausend Volt) nicht zu einer Auslösung führen darf. Erst darüber hinausgehende Ströme deuten einen Fehler in der Isolation selbst an.

Ein Isolationsfehler ist in erster Linie ein Bereich, in dem der Widerstand des Isolationsmaterials so niedrig ist, dass die anliegende Feldstärke einen nennenswerten Stromfluss bewirken kann. Ein wichtiger Aspekt bei der Beurteilung der Messergebnisse ist allerdings der Umstand, dass in sehr vielen Fällen mit Wechselspannung (AC) geprüft wird. Für rein Ohmsche Widerständen ist es prinzipiell egal, ob mit AC oder DC gemessen wird. Jedoch beinhalten viele elektrotechnische Geräte mehr oder weniger auch unbeabsichtigt Induktivitäten und Kapazitäten (Beispiel: große gemeinsame spannungs-tragende Fläche in einer Platine gegenüber geerdetem Metallgehäuse, wobei sich diese Flächen auch aus einzelnen, kleineren Flächen durch Parallelschaltung aufsummieren können). Und diese kapazitiven oder induktiven Kopplungen können zu Fehlinterpretationen führen.

Anhand eines Beispiels erkennt man, dass in ungünstigen Fällen solche Kapazitäten den Stromfluss beim Hochspannungstest erheblich beeinflussen können. In Folge kann es zu Fehlinterpretation kommen:

Annahme: Bauteil enthält eine unter Spannung stehende Fläche A von 330 cm² (DIN A5 Seite). Diese Fläche ist gegenüber dem geerdeten Metallgehäuse isoliert mit einer Kapton® MT Folie mit Dicke (d) 50µm. Die Prüfspannung beträgt 2300 VAC (50Hz).

Der fließende Strom kann nach dem Ohmschen Gesetz ermittelt werden, wobei man für „R“ den kapazitiven Blindwiderstand X_c einsetzt.

$$I = U_{\text{prüf}} / X_c, \text{ dabei errechnet sich } X_c \text{ aus} \\ X_c = 1 / (2 * \pi * f * C), \text{ wobei } C = (\epsilon_0 * \epsilon_r * A) / d$$

Die volle Formel für den durch kapazitive Kopplung verursachten Stroms lautet also:

$$I = (U_{\text{prüf}} * 2 * \pi * f * \epsilon_0 * \epsilon_r * A) / d$$

Für das konkrete Beispiel bedeutet das:

$$I = (2300\text{VAC} * 314 * \epsilon_0 * 3 * 0,033\text{m}^2) / 50 * 10\text{e-}6 \text{ m} = 12 \text{ mA (!)} \\ C = 8,854 * 10\text{e-}12 * 3 * 0,033\text{m}^2 / 50 * 10\text{e-}6 = 17 \text{ nF}$$

In dieser Konstellation fließt also bei der Hochspannungsprüfung mit Wechselspannung ein Prüfstrom von 12 mA, ohne dass die Isolation einen Schaden ausweist. Es handelt sich ausschließlich um den Strom, der durch den sich bildenden Plattenkondensator fließt. Sollte der Auslösestrom des Hochspannungs-Prüftransformators auf 10 mA eingestellt sein (häufig verwendeter Wert), würde also die Prüfung als nicht bestanden beendet werden.

a. Abhängigkeit des Prüfstroms von der Isolationsdicke

Dicke Isolation (const. $\epsilon_r = 3$)	Stromfluss bei 50 Hz
50 μ m	12 mA
0,20 mm	3 mA
1 mm	0,633 mA

b. Abhängigkeit des Prüfstroms von ϵ_r

Verschiedene ϵ_r (const. d=50 μ m)	Stromfluss bei 50 Hz
1	4,22 mA
3	12 mA
50	210 mA

c. Abhängigkeit des Prüfstroms von der Wechselstrom-Frequenz

Verschiedene f (d=50 μ m; $\epsilon_r = 1$)	Stromfluss
50 Hz	3,5 mA
1 kHz	84 mA
100 kHz	8,44 A

Material	Frequenz	Dielekt. Verlustfaktor; (x10e-4)
PTFE	50 Hz	0,5
	1 MHz	0,7
PP	50 Hz	2,5
	1 MHz	3,5
PI	50 Hz	3
	1 MHz	11
PET	50 Hz	20
	1 MHz	210
PVC	50 Hz	120
	1 MHz	300
PA (luftfeucht)	50 Hz	3900
	1 MHz	1300

Zusammenfassung:

Wie man erkennen kann, sind verschiedene Einflussfaktoren dafür verantwortlich, dass bei großen parallelen Flächen die Hochspannungsprüfung zu Fehlinterpretationen führen kann. Dass gilt vor allem bei dem Einsatz von sehr dünne Isolationsfolien. Zusätzlich hat natürlich auch die relative Permittivität des Materials (ϵ_r ; in vielen Fällen frequenzabhängig) und die Frequenz (dU/dt) einen Einfluss.

Analoges gilt für die Gefahr von z.B. Stromschleifen. Ungünstige Anordnungen von stromdurchflossenen Leitern führen zu Induktivitäten, die ebenfalls im Wechselfeld zu einem induktiven Blindstrom führen. Dieser ist wie bei der kapazitiven Kopplung kein Zeichen für einen „Leakage“ Strom aufgrund eines Isolationsfehlers.

Wenn durch die jeweilige Prüfnorm erlaubt ist, sollte man beim Auftreten nennenswerter Kapazitäten (Induktivität) mit Gleichspannung prüfen.

ϵ_r verschiedener Isolationsfolie-Materialien

Ansprechpartner:

Herr Gerald Friederici
 Technische Beratung
 Telefon: +49 (6233) 872-356
 Fax: +49 (6233) 872-390
friederici@cmc.de

Fehlerproblematik „Scharfe Kanten“

Die Volksweisheit kennt den Effekt der Feldlinienbündelung sehr gut: Kirchturmspitzen sind häufig ein Punkt, in den bei Gewitter der Blitz einschlägt. Der Grund ist jedem elektrotechnisch bewanderten sofort klar, denn die Kirchturmspitze bildet in der Umgebung meist den höchsten Punkt und läuft zudem spitz zu. Hier konzentrieren sich die Ladungen und die resultierende Feldstärke lässt schließlich die Isolationsstrecke kollabieren – der Blitz schlägt in den Kirchturm ein.

Doch es muss nicht immer gleich zu einem Durchschlag kommen. Geht man an einem feuchten Tag unter einer Hochspannungsleitung hindurch, hört man meist ein leises Knistern. Hier entlädt sich die anliegende Hochspannung in die Luft (Sprühentladung), ohne dass ein Durchschlag bis zum geerdeten Boden erfolgt.

Diese Sprühentladung ist in gasförmigen oder flüssigen Medien meist ungefährlich, weil der Teildurchschlag schnell wieder geschlossen wird. An festen Isolierstoffen entsteht jedoch bei dauerhaft anstehenden Sprühentladung (Gleitentladung, Partial Discharge, Teilentladung) ein irreparabler und fortschreitender Schaden, der schließlich zur Zerstörung der Isolation führt und damit zu einem Durchschlag.

Besonders gefährdet sind Stellen, an denen Feldlinien sich konzentrieren. Das sind scharfe Kanten, Spitzen und Übergängen mit hohen Unterschieden in der dielektrischen Konstante von Isolationsmaterialien. *Die Durchschlagsspannung laut Datenblatt kann an solchen Stellen deutlich unterschritten werden, da diese Werte an gerundeten Elektroden ermittelt werden!!*

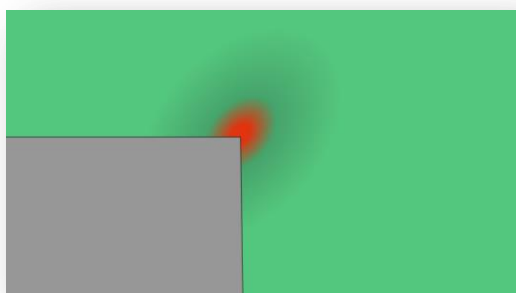


Abb. Feldlinienkonzentration an Kanten

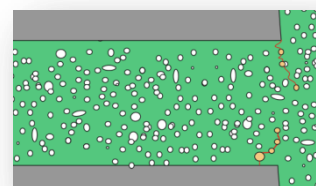
Weitergehende Information und Hinweise zur Vermeidung sind in diesem Artikel zusammen gefasst: <https://www.cmc.de/fachartikel/teilentladung-im-isolationsaufbau>

Fehlerproblematik Mikrobäschen in Vergussmassen

Ein wichtiger, aber bei der Entwicklung von Hochspannungsanwendungen bisweilen vernachlässigter, Aspekt ist die Gefahr der Blasenbildung bei Verwendung von Vergussmassen. Insbesondere bei einer Polykondensations-Reaktion von 2K-Systemen oder zu heftig aufgerührten Vergussmassen kann es zu Mikrobäschen kommen. Diese bilden beim Anlegen von Hochspannung eine Kette von Dielektrizitätssprüngen.

Das kann zur Zündung von Teilentladungen in jeder Blase führen, die dann eine Kette bilden. Dieser Umstand verkürzt die zur Verfügung stehende Isolationsstrecke signifikant.

Deswegen ist es bei höheren Spannungen und kurzen Distanzen durch die Isolation hindurch wichtig, die Mikrobäschen in (Silikon-)Vergussmassen zu entfernen. Andernfalls erreicht man auf Dauer bei weitem nicht die Durchschlagfestigkeit aus dem Datenblatt des Herstellers.



Ausbildung von Leitpfaden über eingeschlossene Gasbläschen