


Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel Fakultät Elektrotechnik Institut für Elektrische Anlagen und Automatisierungstechnik Labor für Elektrische Festigkeit Laborleiter: Prof. Dr.-Ing. Martin Könemund Versuchsbetreuung: Dipl.-Ing. Gerald Hiller	
Versuch-Nr. 1: <b>Prüfung von Hochspannungsisolatoren mit hoher Wechselspannung (600 kV-Transformator)</b>	Testat:
Versuchsdatum: _____ Abgabedatum: _____	
Ausgearbeitet von: _____	
Mitarbeiter: _____	

**Ziel:**

Untersuchung und Bestimmung der Durchschlagsspannung zweier paralleler Glaskappenisolatorenketten in Abhängigkeit von der Anzahl der Glaskappen.

**Aufgabenstellung:**

In diesem Versuch sollen Hochspannungsisolatoren mit hoher Wechselspannung geprüft werden. Dabei soll die Abhängigkeit zwischen der Anzahl der eingesetzten Glaskappen und der Durchschlagsspannung untersucht werden, die benötigt wird, damit die Isolatoranordnung überschlägt. Die dazu erforderliche Prüfwechselspannung wird durch eine zweistufige Transformatorcascade erzeugt.

**Beschreibung der Anlage:**

Das Schaltbild der Anlage im Bild 1 soll den Aufbau der Versuchsanlage erläutern.

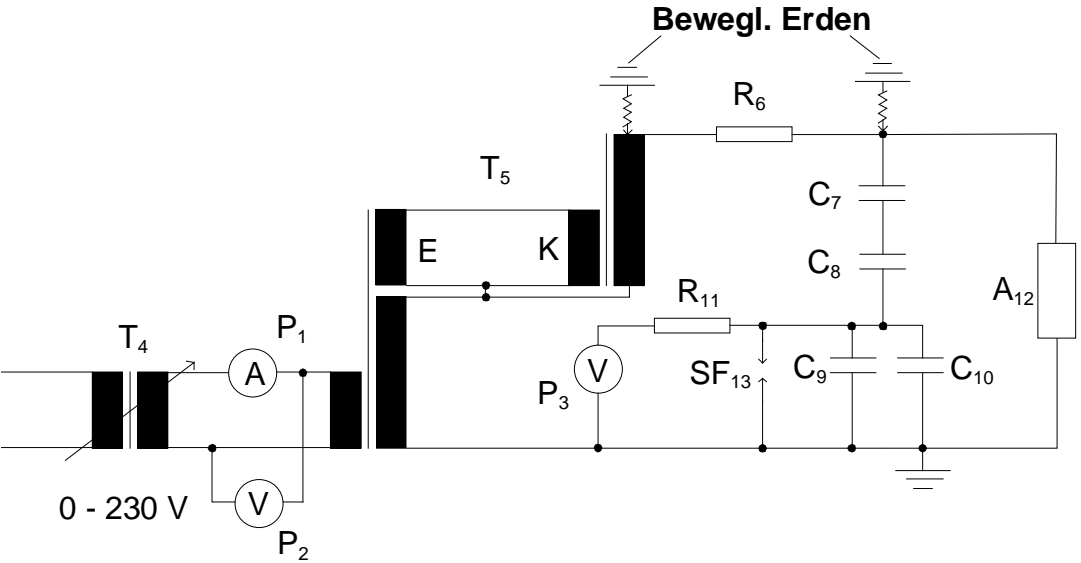


Bild 1: Schaltbild der Anlage in Raum L 016

Aus wirtschaftlichen und technischen Gründen erzeugt man Spannungen größer als einige 100 kV nicht mehr mit einstufigen Transformatoren, sondern mit einer Transformator-Kaskade, wie in Bild 1 gezeigt. Bei der verwendeten Anordnung handelt es sich um eine zweistufige Kaskade ( $T_5$ ), an dessen Ausgang man die doppelte Spannung gegenüber der ersten Stufe abgreifen kann. Die Kaskade wird durch einen an das 230 V-Wechselspannungsnetz angeschlossenen Stelltransformator ( $T_4$ ) erregt, so dass die Hochspannung in ihrer Höhe stufenlos eingestellt werden kann. In einer solchen Kaskadenschaltung muss der einzelne Transformator entsprechend der Spannung der unteren Stufe isoliert aufgestellt werden. Ebenso muss die Erregerwicklung auf Hochspannungspotential gebracht sein. Die Erregerwicklung E der oberen Stufe wird von der Kopplungswicklung K der darunterliegenden Transformatoreinheit gespeist. Die untere Stufe muss als Dreiwicklungstransformator ausgeführt sein. Der Widerstand  $R_6$  dient der Bedämpfung des im Durchschlag der Kugelfunkenstrecke bzw. der Glaskappenanordnung auftretenden Stromes. Mit der Kondensatoranordnung wird die Hochspannung gemessen. Dabei fällt über der Parallelschaltung der Kondensatoren  $C_9$  und  $C_{10}$  eine um den Faktor 1000 kleinere Spannung ab. Über diesen Kondensatoren ist das Peak-Voltmeter angeschlossen. Die Schutzfunkenstrecke  $SF_{13}$  dient der Ableitung der im Fehlerfall auftretenden Hochspannung. Die Anlage ist unterspannungsseitig mit einem Stromrelais ausgestattet, das die Anlage bei hohen Strömen, wie sie beim Durchschlag entstehen, automatisch abschaltet. Mit  $A_{12}$  ist der jeweilige Prüfling gekennzeichnet, also während der Kalibrierung die Mess-Kugelfunkenstrecke und während der Ermittlung der Überschlagspannung die Glaskappenisolatorkette.

### **Kalibrierung der Anlage**

Da die Mess-Kugelfunkenstrecke aus zwei durchmessergleichen Kupferkugeln besteht, kann die Durchschlagsspannung  $U_d$  in Luft nach dem Paschen-Gesetz berechnet werden, da das entstehende Feld nur schwach inhomogen ist, wenn die Schlagweite  $s$  nicht größer als der halbe Kugeldurchmesser eingestellt wird. In der VDE 0433 sind die auf Normalbedingungen bezogenen Durchschlagsspannungen  $\hat{U}_d$  von Kugelfunkenstrecken verschiedener Kugeldurchmesser abhängig von der Schlagweite  $s$  in Tabellenform angegeben. Die Angabe erfolgt als Scheitelwert, da bei Wechselspannung niedriger Frequenz der Durchschlag in Gasen stets im Scheitel auftritt.

Wegen der Bedingung, dass die Schlagweite  $s$  nicht größer als der halbe Kugeldurchmesser gewählt werden sollte, stellt man zur Kalibrierung ca. fünf verschiedene Schlagweiten bis zu max. 25 cm ein. Dann erhöht man die Unterspannung  $U_u$  bis der Durchschlag erfolgt. Beim Durchschlag nimmt man die Unterspannung  $U_u$  ( $P_2$ , extern MA 4-S) auf. Um eine höhere Genauigkeit zu erzielen, werden drei Messungen durchgeführt, deren Ergebnisse gemittelt werden. Aus der VDE 0433 kann man jetzt entsprechend der eingestellten Schlagweite  $s$  den Scheitelwert der Durchschlagsspannung  $\hat{U}_d$  entnehmen. Da dieser Wert für Normalbedingungen gilt, muss er auf die tatsächlichen Umgebungsbedingungen umgerechnet werden.

Dazu ist die Messung des Luftdrucks  $p$  und der Temperatur  $T$  notwendig. Mit diesen Werten und den Normalwerten errechnet sich die relative Gasdichte  $\delta$  nach Gleichung (1):

$$\delta = \frac{T_0 \cdot p}{T \cdot p_0} \quad (1)$$

In Gleichung (1) müssen die Temperatur in Kelvin und der Druck in bar bzw. mbar eingesetzt werden. Dabei setzt man für  $T_0$  eine Temperatur von 293 K ein und für  $p_0$  einen Druck von 1013 mbar.

Der korrigierte Scheitelwert der Durchschlagsspannung errechnet sich nach Gleichung (2):

$$\hat{U}_d = k_0 \cdot \hat{U}_{d0} \quad (2),$$

wobei gilt, dass im Bereich  $0,95 \leq \delta \leq 1,05$  und für Schlagweiten  $s \leq 1$  m der Korrekturfaktor  $k_0 = \delta$  ist.

In allen anderen Fällen gilt für die Beziehung zwischen Korrekturfaktor  $k_0$  und relativer Gasdichte  $\delta$  Tabelle 1:

relative Gasdichte $\delta$	0,85	0,90	0,95	1,00	1,05	1,10	1,15
Korrekturfaktor $k_0$	0,86	0,91	0,95	1,00	1,05	1,09	1,13

Tabelle 1: Beziehung zwischen relativer Gasdichte  $\delta$  und Korrekturfaktor  $k_0$

Zur Kontrolle der so ermittelten Spannung nimmt man zusätzlich mit dem Messgerät  $P_3$  den Effektivwert der Durchschlagsspannung auf. Dieser Wert muss in einen Spitzenwert umgerechnet werden, um ihn mit dem der VDE 0433 entnommenen Wert vergleichen zu können. Durch die parallel liegende Funkenstrecke kann der Messwert von dem der VDE 0433 entnommenen Wert u. U. stark abweichen, da die Kugelfunkenstrecke eine parallel liegende Kapazität darstellt und somit das Teilungsverhältnis des Hochspannungskondensators zum Messkondensator beeinflusst. Daher ist es sinnvoll, um noch eine weitere Vergleichsmöglichkeit zu erhalten, die Spannung ohne Kugelfunkenstrecke zu erhöhen und zu den jeweiligen Messwerten mit dem Peak-Voltmeter die Messwerte mit dem Unterspannungsmessgerät aufzunehmen. Ist die Messung beendet, zeichnet man die Messwerte in eine Kalibrierkurve ein, so dass man eine Abhängigkeit zwischen Durchschlagsspannung und Unterspannung erhält.

### **Ermittlung der Überschlagsspannung der Glaskappenisolatoren**

Mit zunehmender Schlagweite, insbesondere aber bei großen Schlagweiten, wie sie z. B. bei Hoch- und Höchstspannungsfreileitungen vorliegen, wächst die Durchschlagsspannung nach Bild 2 nicht linear mit der Schlagweite  $s$ , so dass die mittlere Durchschlagfeldstärke  $E_{dmi} = U_d / s$  immer kleiner wird. Sie beträgt z. B. für eine Stab-Ebene-Anordnung mit der Schlagweite  $s = 11$  m nur noch  $E_{dmi} = 1,8$  kV / cm. Hierdurch ergibt sich z. B. bei Freileitungen eine wirtschaftliche Grenze für die Übertragungsspannung, die heute bei 2000 kV angenommen wird.

Bis zu Schlagweiten von etwa  $s = 2$  m ist allerdings noch ein nahezu linearer Zusammenhang zwischen der Durchschlagsspannung  $U_d$  und der Schlagweite  $s$  gegeben.

Für Stab-Stab-Elektroden im Schlagweitenbereich  $30 \text{ cm} \leq s \leq 200 \text{ cm}$  kann bei Wechselspannung und Gleichspannung näherungsweise mit der Durchschlagsspannung

$$\hat{U}_d = 15 \text{ kV} + (5,1 \text{ kV} / \text{cm}) \cdot s \quad (3)$$

gerechnet werden.

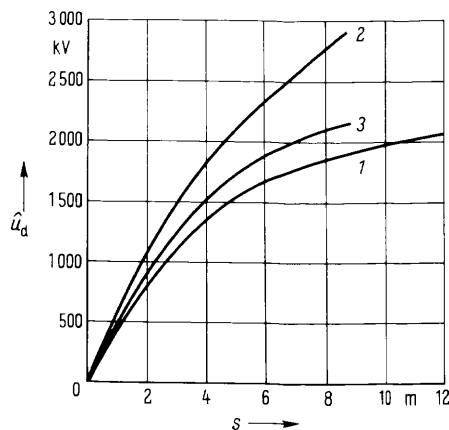


Bild 2:

Scheitelwert der Durchschlag-Wechselspannung  $\hat{u}_d$  abhängig von der Schlagweite  $s$  in Luft für Stab-Ebene (1), Stab-Stab (2) und Freileitungsisolatorenkette (3)

### Versuchsdurchführung

Es sollen die Überschlagsspannungen für eine unterschiedliche Anzahl von Glaskappen gemessen werden, nämlich für 2, 4, 6, 8 und 10 Glaskappen. Bei der Durchführung ist darauf zu achten, dass die Erdverbindung einen ausreichenden Abstand zu der Isolatorreihe einnimmt, um ungewollte Überschläge zu vermeiden. Man erhöht nun mit dem Stelltransformator die Unterspannung  $U_u$  bis der Durchschlag erfolgt. Es werden wieder drei Messungen durchgeführt, um eine möglichst große Genauigkeit zu erzielen. Die drei Messwerte werden anschließend ebenso gemittelt, und der Mittelwert der Unterspannung wird mit der Steigung der Kalibriergeraden multipliziert, um den Spitzenwert der Durchschlagsspannung zu erhalten.

### Auswertung des Versuchs

Zunächst ist ein Raumschaltbild der Anlage anzufertigen. Außerdem sind Skizzen der Prüflinge aufzunehmen. Das Wirkschaltbild kann aus diesem Umdruck übernommen werden bzw. es kann darauf verwiesen werden. Die bei der Durchführung des Versuchs beobachteten Effekte sind zu dokumentieren und zu erläutern. Ferner sind die Messwerte grafisch zu dokumentieren. Abschließend sind die erhaltenen Ergebnisse zu diskutieren.

**Verwendete Geräte:**

Nr.:	Gerät	Bezeichnung	Technische Daten/Type
1	Strommessgerät	P <sub>1</sub>	Schalttafelinstrument
2	Spannungsmessgerät	P <sub>2</sub>	BBC MA 4S
3	Peak-Voltmeter	P <sub>3</sub>	Haefely
4	Stelltransformator	T <sub>4</sub>	
5	Transformator	T <sub>5</sub>	Nennleistung: 30 - 60 kVA Nennspannung: 0,22/300 - 600 kV Nennstrom: 136 - 272/0,1 A Betriebsart: AB Frequenz: 50 Hz Fertigungs-Nr.: 27833 Form: TEO 600/60 Art: LT Kühlart: OS Schaltgruppe: E Baujahr: 1953 Hersteller: Messwandl.-Bau GmbH
6	Widerstand	R <sub>6</sub>	2 kΩ
7	Kondensator	C <sub>7</sub> + C <sub>8</sub> (Reihenschaltung)	79,9 pF/600 kV
8	Kondensator	C <sub>9</sub> + C <sub>10</sub> (Parallelschaltung)	77,06 nF
9	Widerstand	R <sub>11</sub>	5,6 kΩ
10	Isolatorkette	A <sub>12</sub>	
11	Kugelfunkenstrecke	A <sub>12</sub>	Ø 50 cm
12	Schutzfunkenstrecke	SF <sub>13</sub>	

**Kalibrierung:**

Messwert	s/cm	Uu <sub>1</sub> /V	Uu <sub>2</sub> /V	Uu <sub>3</sub> /V	Uu <sub>mitt</sub> /V	Ud1/kV	Ud2/kV	Ud3/kV	Ud <sub>mitt</sub> /kV	δ * Ud /kV	Uu <sub>ohne</sub> KFS
1	5										
2	10										
3	15										
4	20										
5	24										

**Ud in Abhängigkeit der Glaskappen:**

Messwert	n	Uu <sub>1</sub> /V	Uu <sub>2</sub> /V	Uu <sub>3</sub> /V	Uu <sub>mittel</sub> /V	Ud/kV
1	2					
2	3					
3	4					
4	5					
5	6					
6	7					
7	8					
8	10					