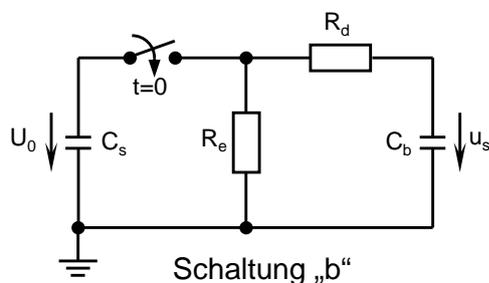


Universität der Bundeswehr München	
Professur für Hochspannungstechnik und Blitzforschung	
Hochspannungstechnisches Praktikum	Messung hoher Blitzstoßspannung
Versuch 3	

1. Grundlagen

1.1 Blitzstoßspannung

Die Blitzstoßspannung 1,2/50 μ s wird nach VDE 0432 mit der Schaltung „b“ erzeugt.



- U_0 : Ladespannung
- C_s : Stoßkapazität
- C_b : Belastungskapazität
- R_d : Dämpfungswiderstand
- R_e : Entladewiderstand
- u_s : Stoßspannung

Der Scheitelwert der Stoßspannung (\hat{u}_s) an der Belastungskapazität ist generell kleiner als die Ladespannung (U_0) an der Stoßkapazität. Dies wird mit dem Stoßausnutzungsfaktor η beschrieben:

$$\eta = \frac{\hat{u}_s}{U_0}$$

Der Stoßausnutzungsfaktor ergibt sich näherungsweise zu:

$$\eta = \frac{C_s}{C_s + C_b}$$

Die Stirnstirnzeit (T_1) und die Rückenhalbwertzeit (T_2) sind näherungsweise gegeben durch:

$$T_1 = 2,96 \cdot \tau_2, \quad \text{mit} \quad \tau_2 = R_d \frac{C_s \cdot C_b}{C_s + C_b}$$

$$T_2 = 0,73 \cdot \tau_1, \quad \text{mit} \quad \tau_1 = R_e (C_s + C_b)$$

Folgende Toleranzen für die Stirn- und Rückenhalbwertzeit gelten bei Laboruntersuchungen für die Blitzstoßspannung 1,2/50 μ s gemäß VDE 0432:

$$T_1 = 1,2\mu\text{s} \pm 30\%$$

$$T_2 = 50\mu\text{s} \pm 20\%$$

1.2 Messung der Blitzstoßspannung mit der Kugelfunkenstrecke

Der Scheitelwert der Stoßspannung wird mit einer einpolig geerdeten Kugelfunkenstrecke (KF) mit einem Kugeldurchmesser von $d = 10 \text{ cm}$ gemessen. Die Durchschlagspannungen für Normalbedingungen (20°C und $0,1013 \text{ MPa}$) können aus der Tabelle im Umdruck „Durchschlagspannung Kugelfunkenstrecke und Luftdichtekorrektur“ entnommen werden.

Wird der Kugelabstand s im Verhältnis zum Kugeldurchmesser d klein genug gehalten, dann lassen sich die Werte für Stoßspannung bei $s \leq 0,5 \cdot d$ mit $\pm 3\%$ Genauigkeit bestimmen. Da sich die Durchschlagspannung angenähert proportional mit der relativen Luftdichte ändert, können die gemessenen Spannungswerte auf Normalbedingungen umgerechnet werden. Hierbei ist zu beachten, dass sich die positive und negative Durchschlagspannung bei höheren Werten unterscheiden (siehe Umdruck „Durchschlagspannung Kugelfunkenstrecke und Luftdichtekorrektur“).

1.3 Messung der Stoßspannung mit kapazitivem Teiler

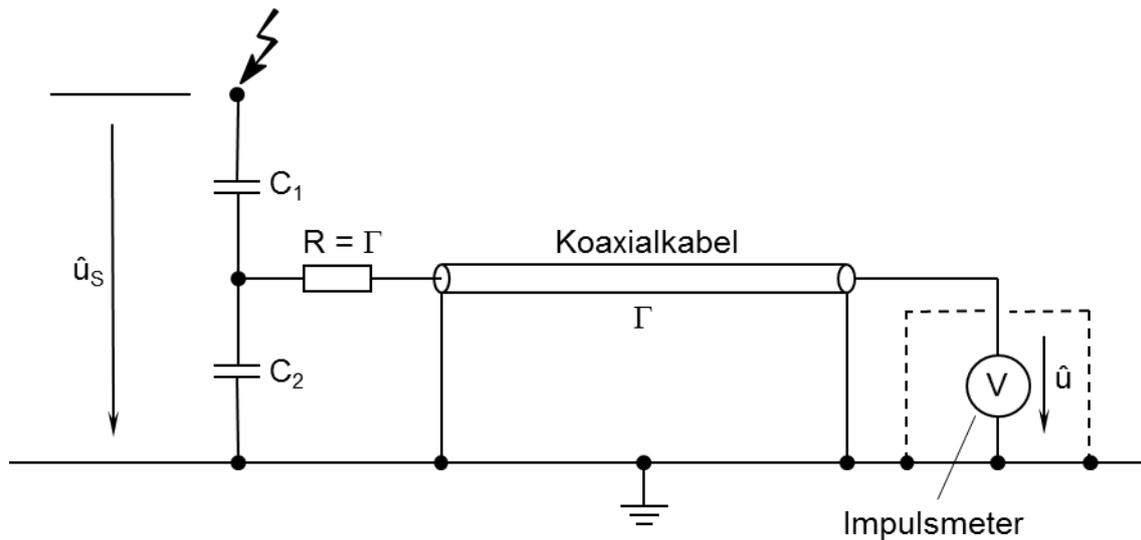
Die Messung des Scheitelwertes \hat{u}_s der *Blitzstoßspannung* erfolgt mit einem Impulsmeter an der Niederspannungskapazität C_2 des aus $C_1 = 1,2 \text{ nF}$ und $C_2 = 1,8 \text{ }\mu\text{F}$ bestehenden kapazitiven Spannungsteilers. Das Übersetzungsverhältnis \ddot{u} von der Hochspannungs- auf die Niederspannungsseite beträgt:

$$\ddot{u} = \frac{C_1 + C_2}{C_1} = \frac{1,2 \cdot 10^{-9} + 1,8 \cdot 10^{-6}}{1,2 \cdot 10^{-9}} = 1501 \approx 1500$$

Zur Vermeidung einer unzulässigen Entladung von C_2 ist ein hochohmiger Anschluss des Impulsmeters erforderlich. Im Gegensatz zur üblichen Messmethode kann daher das Koaxialkabel nicht mit dem Wellenwiderstand $\Gamma = 50 \text{ }\Omega$ abgeschlossen werden. Stattdessen wird zwischen dem Spannungsteiler und dem Koaxialkabel ein Widerstand $R = \Gamma$ eingebracht. Dies bewirkt, dass ein Spannungsimpuls infolge der Serienschaltung vom Widerstand R und Wellenwiderstand Γ amplitudenmäßig halbiert wird. Die halbierte Spannungswelle wird am hochohmigen Eingang des Impulsmeters reflektiert, wobei die Spannung wieder auf den ursprünglichen Wert verdoppelt wird. Für die reflektierte Welle ergibt sich durch $R = \Gamma$ ein wellenwiderstandsmäßig angepasster Abschluss (siehe Bild).

Der *Scheitelwert der Stoßspannung* ergibt sich zu:

$$\hat{u}_s = \ddot{u} \cdot \hat{u} \approx 1500 \cdot \hat{u}$$



1.4 Vorgehensweise zur Bestimmung der Durchschlagspannung

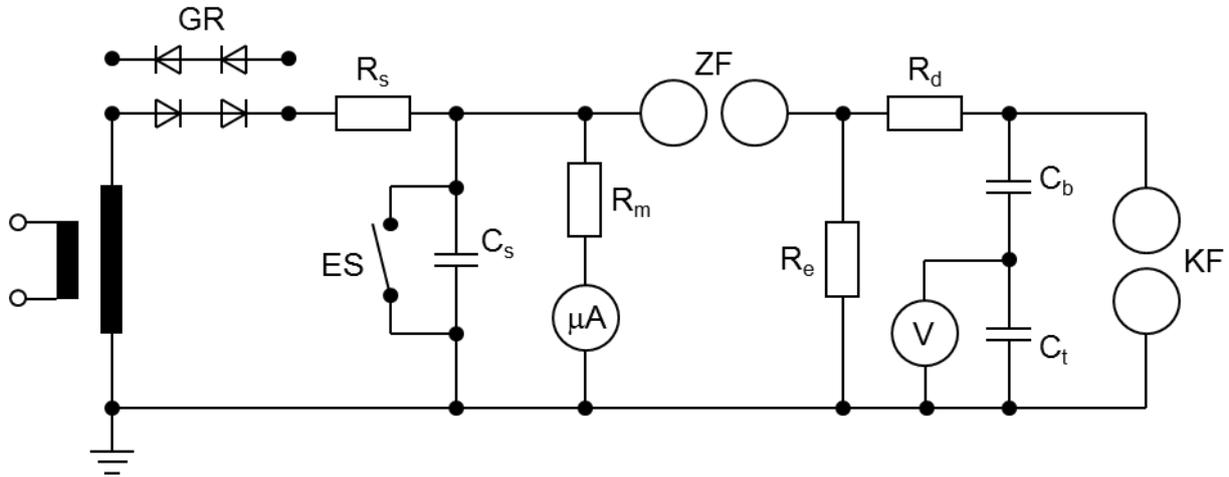
Bei der Ermittlung „der Durchschlagspannung“ einer Funkenstrecke wird man feststellen, dass die Durchschläge bei (leicht) unterschiedlichen Spannungswerten erfolgen. Als Durchschlagspannung wird daher der Scheitelwert der Stoß-Spannung definiert, bei der 50 % der Stoßspannungs-Beanspruchungen zum Durchschlag und die restlichen 50 % der Stoßspannungs-Beanspruchungen nicht zum Durchschlag führen. Um diese 50%-Durchschlag-Stoßspannung (U_{d50}) zu ermitteln, wird folgendermaßen vorgegangen:

Die Ladespannung wird anfangs so eingestellt, dass an der zu prüfenden Funkenstrecke sicher keine Durchschläge auftreten. Anschließend wird die Ladespannung stufenweise (jeweils ca. 1...3 kV) erhöht, wobei in jeder Stufe einige Stoßbeanspruchungen durchzuführen sind. Zwischen zwei Beanspruchungen soll dabei eine Pausenzeit von mindestens 3 s liegen. Der Abstand der Zündfunkenstrecke ZF (siehe Bild in Abschnitt 2) ist bei der Spannungssteigerung entsprechend zu erhöhen.

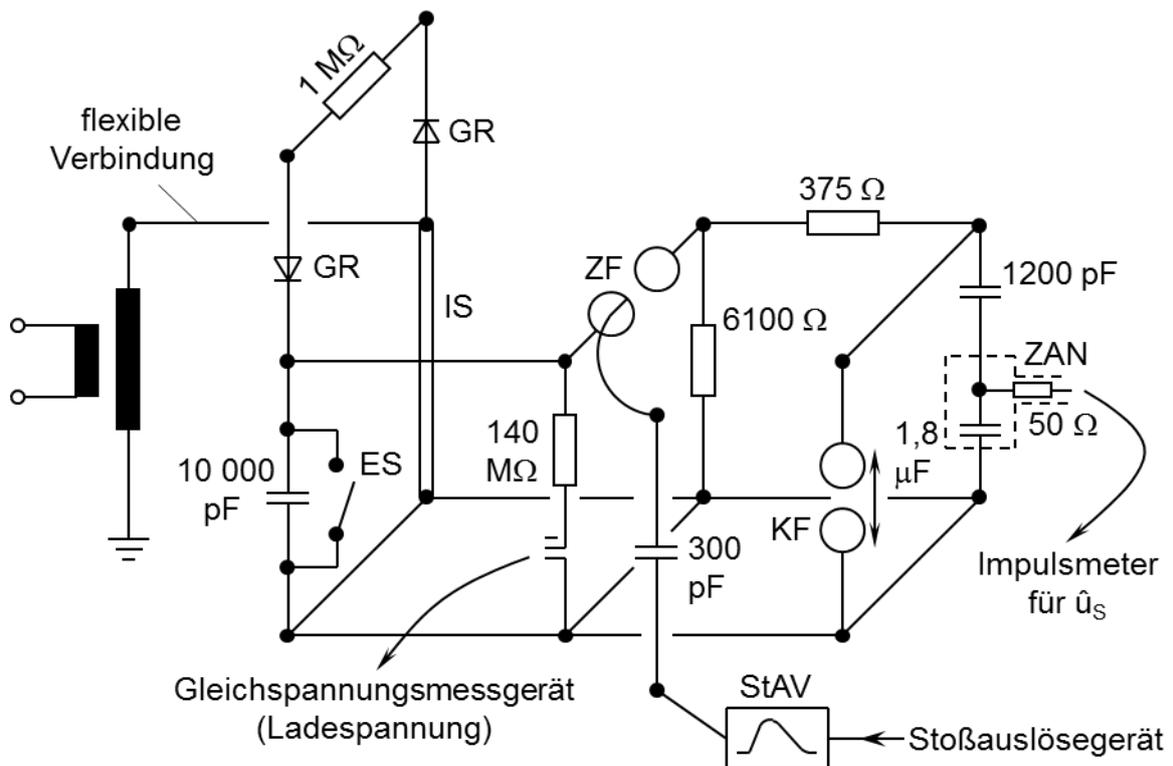
Bei Einsatz der ersten Durchschläge an der zu prüfenden Funkenstrecke wird die Ladespannung so lange geringfügig geändert, bis etwa die Hälfte von 10 Beanspruchungen zum Durchschlag an der Funkenstrecke führen. Wenn sich U_{d50} nicht unmittelbar einstellen lässt, kann dieser Wert auch durch Interpolation ermittelt werden. Beispielsweise kann diese Interpolation aus den Werten von U_{d30} und U_{d70} erfolgen, d.h. aus Stoßspannungs-Beanspruchungen bei denen in 30 % bzw. 70 % der Fälle Durchschläge erfolgten.

2. Schaltung bei Blitzstoßspannung

Schaltung:



Aufbau:



Kapazitiver Teiler

Halterung
für Niederspannungs-
Kapazität



**Niederspannungs-
kapazität**
(1800 nF)



50 Ohm -Anschluss

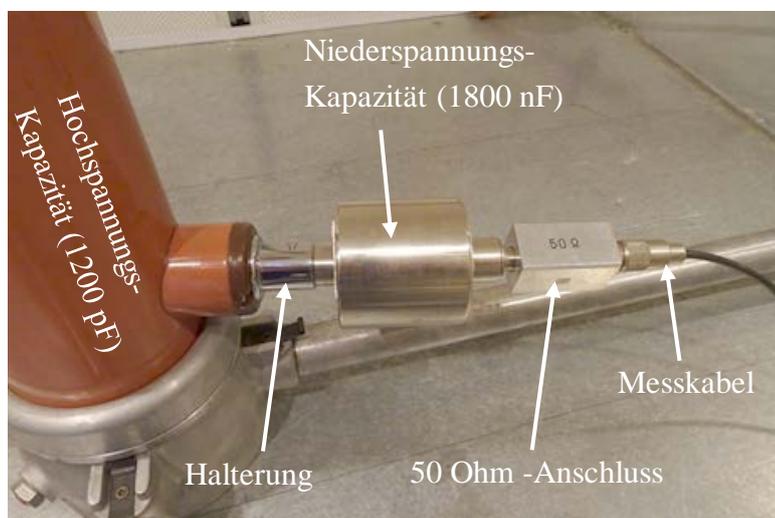


Messkabel



Zusammenbau des kapazitiven Teilers

- Halterung auf Anschlussbuchse der Hochspannungskapazität schrauben
- Niederspannungskapazität in die Anschlussbuchse stecken
- 50 Ohm –Anschluss in den Anschluss der Niederspannungskapazität stecken
- Messkabel an 50 Ohm –Anschluss anschließen



3. Versuchsdurchführung

Prüfling 1: Kugelfunkenstrecke KF (Kugel $d = 100$ mm)

Prüfling 2: Spitzen-Platten-Anordnung

Für die Umrechnung der Messwerte auf Normalbedingungen müssen Luftdruck und Temperatur gemessen werden.

Die Ladespannung (U_0) wird aus dem Strom (I), der über den Messwiderstand ($140\text{ M}\Omega$) fließt, bestimmt. Zur Strommessung dient das in Versuch 1 beschriebene Gleichspannungs-Messgerät (Ampere-Meter).

Die Messung des Scheitelwerts der Stoßspannung erfolgt durch das Impulsmeter. Hierbei ist das Übersetzungsverhältnis von $\ddot{u} = 1500$ einzustellen.

Für jede U_{d50} sind 3 Messwerte von Ladespannung und Stoßspannungs-Scheitelwert am Impulsmeter aufzunehmen, aus denen der arithmetische Mittelwert zu bilden ist.

3.1 Untersuchungen zur Bestimmung des Stoßausnutzungsfaktors

Ohne angeschlossenen Prüfling ist die positive Ladespannung von 50 kV einzustellen. Es sind 3 Versuche durchzuführen, wobei jeweils der Scheitelwert der Stoßspannung am Impulsmeter gemessen wird. Die Messwerte sind zu protokollieren und der Mittelwert ist zu bilden.

3.2 50%-Durchschlag-Stoßspannungen U_{d50} für Prüfling 1 (Kugelfunkenstrecke)

Mit dem Endmaß ($10 \times 20 \times 50\text{ mm}$) wird die Kugelfunkenstrecke KF (Kugeldurchmesser 100 mm) für den Kugelabstand $s = 10\text{ mm}$ geeicht.

Nach Schaltung unter 2 wird bei $s = 10, 20$ und 30 mm die Ladespannung so eingestellt, dass 50% aller Beanspruchungen mit Blitzstoßspannung $1,2/50\text{ }\mu\text{s}$ zum Durchschlag an der Kugelfunkenstrecke KF (Kugeldurchmesser $d = 100\text{ mm}$) führen. Diese 50%-Durchschlag-Stoßspannungen U_{d50} sollen für positive und negative Polarität bestimmt werden. Die Vorgehensweise ist unter Punkt 1.4 beschrieben.

Für jede U_{d50} sind 3 Messwerte von Ladespannung (Strom am Gleichspannungs-Messgerät) und Stoßspannungs-Scheitelwert (am Impulsmeter) aufzunehmen, aus denen der arithmetische Mittelwert zu bilden ist.

3.3 50%-Durchschlag-Stoßspannungen U_{d50} für Prüfling 2 (Spitze-Platte)

Bei Prüfling 2 (Spitze-Platte-Anordnung) bildet die Metallspitze die Hochspannungselektrode und die Metallplatte die Erd-Elektrode. Mit dem Endmaß (10 x 20 x 50 mm) wird die Spitzen-Platten-Anordnung für den Elektroden-Abstand $s = 10$ mm geeicht.

Nach Schaltung unter 2 (Kugelfunkenstrecke KF ist durch die Spitze-Platte-Anordnung zu ersetzen) wird bei $s = 10, 20$ und 30 mm die Ladespannung so eingestellt, dass 50% aller Beanspruchungen mit Blitzstoßspannung $1,2/50 \mu\text{s}$ zum Durchschlag an der Spitzen-Platten-Anordnung führen. Diese 50%-Durchschlag-Stoßspannungen U_{d50} sollen für positive und negative Polarität bestimmt werden. Die Vorgehensweise ist unter Punkt 1.4 beschrieben.

Für jede U_{d50} sind 3 Messwerte von Ladespannung (Strom am Gleichspannungs-Messgerät) und Stoßspannungs-Scheitelwert (am Impulsmeter) aufzunehmen, aus denen der arithmetische Mittelwert zu bilden ist.

4. Auswertung:

- 4.1 Der Stoßausnutzungsfaktor η ist aus der Instrumentenmessung gemäß Punkt 3.1 zu bestimmen und mit dem theoretischen Wert (siehe Seite 1) zu vergleichen. Der Luftdichtekorrekturenfaktor (δ) ist zu berechnen.
- 4.2 Die Stirnzeit (T_1) und die Rückenhalbwertzeit (T_2) sind aus den Werten der Bauelemente mit den Formeln auf Seite 1 zu bestimmen. Die prozentualen Abweichungen der Stirn- und Rückenhalbwertzeit von der genormten Blitzstoßspannung $1,2/50 \mu\text{s}$ sind anzugeben. Werden die Toleranzen der genormten Blitzstoßspannung $1,2/50 \mu\text{s}$ eingehalten?
- 4.3 Aus den Untersuchungen mit der Kugelfunkenstrecke (siehe Punkt 3.2) sind sämtliche Mittelwerte der Spannungen (auf Normalbedingungen bezogen) in Tabellen für die positive und negative Stoßspannung zusammenzustellen. Die prozentualen Abweichungen der jeweiligen U_{d50} -Messung (auf Normalbedingungen bezogen) und nach Umdruck „Durchschlagspannung Kugelfunkenstrecke und Luftdichtekorrektur“ sind zu bilden und ebenfalls in den Tabellen einzutragen.
- 4.4 Aus den Untersuchungen mit der Spitze-Platte-Anordnung (siehe Punkt 3.3) sind sämtliche Mittelwerte der Spannungen (auf Normalbedingungen bezogen) in Tabellen für die positive und negative Stoßspannung zusammenzustellen.
- 4.5 Die für die Kugelfunkenstrecke (siehe Punkt 4.3) und die Spitze-Platte-Anordnung (siehe Punkt 4.4) ermittelten U_{d50} -Werte (auf Normalbedingungen bezogen) sind in je einem Diagramm für die positive und negative Stoßspannung als Funktion des Elektrodenabstandes s aufzutragen.