

Universität der Bundeswehr München Professur für Hochspannungstechnik und Blitzforschung	
Hochspannungstechnisches Praktikum	Einfluss des Luftdrucks bei Gleich- und Wechselspannung
Versuch 4	

1. Grundlagen

Die Entstehung einer Gasentladung setzt prinzipiell das Vorhandensein von Ladungsträgern (Elektronen, Ionen) im Feldraum voraus. Diese Startbedingung ist praktisch immer erfüllt, sei es durch Ionisation infolge der natürlichen Strahlung, sei es durch Feldemission an den Elektroden oder durch andere Ursachen. Ein unter der Wirkung des elektrischen Feldes beschleunigtes Elektron erzeugt auf seinem Weg nach Überschreiten einer kritischen Feldstärke (der sogenannten Anfangsfeldstärke) durch Stoßionisation eine Lawine.

Bei den kurzen Ausbildungszeiten einer Entladung haben die Ionen aufgrund ihrer geringen Beweglichkeit keine Zeit, sich wesentlich zu verschieben, während sich die gleichzeitig entstandenen Elektronen aufgrund ihrer hohen Beweglichkeit mit hoher Geschwindigkeit zur Anode bewegen. Deshalb besteht die Elektronenlawine an ihrem Kopf aus schnellen Elektronen, die neue Ionisierungsprozesse hervorrufen, und aus positiven Ionen, die am Ende zurückbleiben.

Wenn sich infolge der Lawine genügend Ladungsträger ausbilden, so erfolgt schließlich ein vollkommener Durchschlag, der einen Kanal ausbildet, der die Kathode und die Anode elektrisch leitend überbrückt. Bei dieser sogenannten „**Townsend-Entladung**“ (bzw. „Generationen-Mechanismus“) ist die Aufbaugeschwindigkeit des Kanals gleich der Fortschrittgeschwindigkeit der Lawinenfront von etwa 10^7 cm/s.

Wenn die Anzahl der Elektronen am Lawinenkopf eine gewisse Anzahl überschreitet (etwa 10^8 Elektronen), ist dort die elektrische Feldstärke infolge der hohen Elektronendichte so überhöht, dass ultraviolette und sichtbare Strahlung entsteht. Bei hoher Elektronendichte ist die Strahlung so stark, dass sie zur Bildung von Elektronen durch Fotoionisation in einer gewissen Entfernung vor der eigentlichen Lawinenfront führt. Diese Elektronen werden dann -- unter der Einwirkung des äußeren Feldes und des Raumladungsfeldes der Lawine -- zum Ausgangspunkt neuer Sekundärlawinen. Die Geschwindigkeit des Kanalaufbaus ist dadurch höher als die eigentliche Fortschrittgeschwindigkeit der Lawinenfront. Bei dieser Entladungsart, die als „**Steamer-Entladung**“ oder „**Kanaldurchschlag**“ bezeichnet wird, werden Geschwindigkeiten von etwa 10^8 cm/s erzielt, also eine um etwa eine Größenordnung höhere Geschwindigkeit als bei der „Townsend-Entladung“.

Beim Luftdurchschlag vergeht somit eine gewisse Zeit, bis sich durch Ionisation ein leitender Kanal ausgebildet hat. Bei Gleich- und Wechselspannungen ist diese Zeit jedoch so klein, so dass der Durchschlag unabhängig von der Kurvenform im Maximum der Spannung erfolgt.

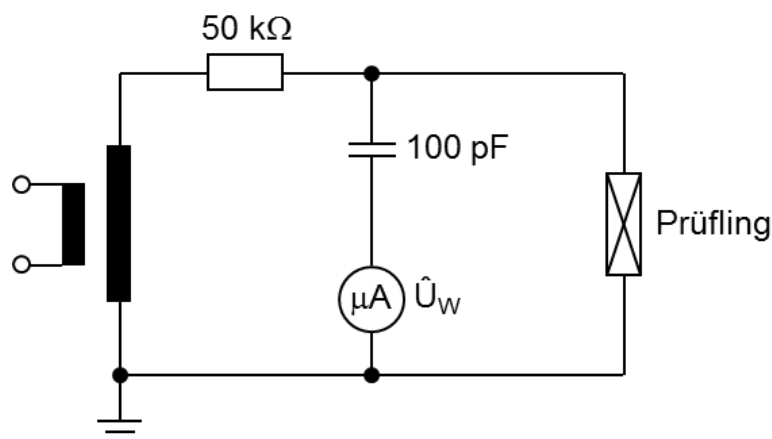
Wird bei Erhöhung der Spannung die Anfangsfeldstärke an einer Elektrode oder im Feldraum erreicht, gehen von dieser Stelle Elektronenlawinen aus, die sich zur Anode hin ausbreiten. Da bei stark feldinhomogenen Anordnungen diese Anfangsfeldstärke jedoch lokal begrenzt ist (z.B. an einer Elektrodenspitze), ist die anliegende Anfangsspannung allerdings nicht ausreichend, um die Elektronenlawinen in Raumbereiche mit geringerer Feldstärke hin zu entwickeln und so den Durchschlag einzuleiten. Bei stark feldinhomogenen Anordnungen liegt die Anfangsspannung daher deutlich unter der Durchschlagsspannung. Bei weitgehend feldhomogenen Anordnungen ist hingegen die Anfangsspannung identisch mit der Durchschlagsspannung.

Mit Erhöhung des Luftdrucks verkleinert sich die mittlere freie Weglänge der Ladungsträger und behindert so die (Stoß-) Ionisation und somit die Ausbildung der Elektronenlawinen. Daher ist in einem weiten Bereich die Durchschlagsspannung dem Luftdruck in etwa proportional. Gleiche Durchschlagsspannung vorausgesetzt, können beispielsweise bei Verdopplung des Drucks die Elektrodenabmessungen und die Schlagweite in etwa halbiert werden. Andererseits nimmt die Elektronenbeweglichkeit bei steigender Temperatur zu, wodurch die mittlere freie Weglänge ansteigt, was die Ausbildung von Elektronenlawinen begünstigt und die Durchschlagsspannung herabsetzt.

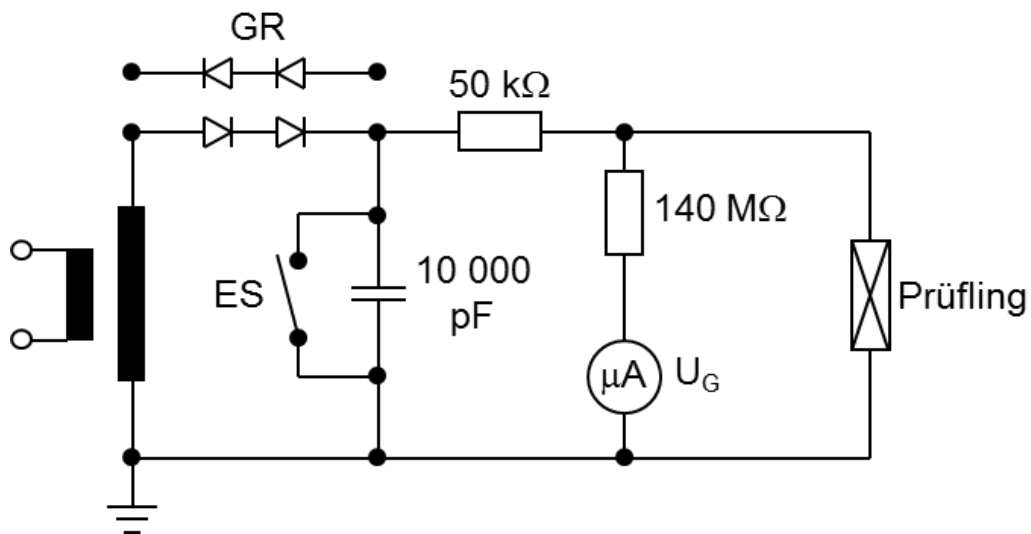
Im vorliegenden Versuch wird für verschiedene Drücke das Durchschlagsverhalten einer weitgehend feldhomogenen Anordnungen mit einer Kugel-Kugel-Funkenstrecke und das Durchschlagsverhalten einer stark feldinhomogenen Anordnung mit einer Spitze-Kugel-Funkenstrecke untersucht.

2. Schaltungen

2.1 Schaltung bei Wechselspannung



2.2 Schaltung bei Gleichspannung



3. Versuchsdurchführung

Prüfling 1: Kugel-Kugel-Funkenstrecke im Druckkessel
(Kugeldurchmesser: $d = 50$ mm, Elektrodenabstand: $s = 10$ mm)

Prüfling 2: Spitze-Kugel-Funkenstrecke im Druckkessel (Spitze: Hochspannungselektrode)
(Kugeldurchmesser: $d = 50$ mm, Elektrodenabstand: $s = 10$ mm)

Achtung: Die Manometer am Druckkessel zeigen nicht den absoluten Druck, sondern den Über relativ zum Umgebungsdruck an.

Bei den Versuchen ist der Absperrhahn am Unterdruck-Manometer unbedingt zu schließen!

3.1 Messung bei Wechselspannung

Nach Schaltung gemäß Abschnitt 2.1 wird die Spannung langsam bis zum Durchschlag am Prüfling gesteigert. Am Wechselspannungsmessgerät (μA -Meter) ist jeweils der Strom I_d im Durchschlag-Augenblick abzulesen. Die Messungen sind für Prüfling 1 und Prüfling 2 bei Umgebungsdruck und bei den absoluten Luftdrücken $p = 1.5, 2, 2.5$ und 3 bar durchzuführen.

Es sind jeweils 3 Messwerte aufzunehmen, aus denen der arithmetische Mittelwert zu bilden ist.

3.1 Messung bei Gleichspannung

Nach Schaltung gemäß Abschnitt 2.2 wird die Spannung langsam bis zum Durchschlag am Prüfling gesteigert. Am Gleichspannungsmessgerät (μA -Meter) ist jeweils der Strom I_a im Durchschlag-Augenblick abzulesen. Die Messungen sind bei positiver und negativer Gleichspannung (beide Gleichrichter GR umdrehen) für Prüfling 1 und Prüfling 2 bei Umgebungsdruck und bei den absoluten Luftdrücken $p = 1.5, 2, 2.5$ und 3 bar durchzuführen.

Es sind jeweils 3 Messwerte aufzunehmen, aus denen der arithmetische Mittelwert zu bilden ist.

4. Auswertung

- 4.1 Aus den Messungen gemäß Abschnitt 3.1 sind die Durchschlagspannungen bei Wechselspannung (Scheitelwert \hat{U}_d) in Abhängigkeit des jeweiligen Luftdrucks für die beiden Prüflinge in einer Tabelle zusammenzustellen.
- 4.2 Aus den Messungen gemäß Abschnitt 3.2 sind die Durchschlagspannungen (U_{dG}) für die positive und negative Gleichspannung in Abhängigkeit des jeweiligen Luftdrucks für die beiden Prüflinge in einer Tabelle zusammenzustellen.
- 4.3 In einem Diagramm für die **Wechselspannung** sind die Durchschlagspannungen aus der Instrumentenmessung für die untersuchten Prüflinge als Funktion des Luftdrucks ($\hat{U}_d = f(p)$) aufzutragen.
- 4.4 In einem Diagramm für die **positive Gleichspannung** sind die Durchschlagspannungen aus der Instrumentenmessung für die untersuchten Prüflinge als Funktion des Luftdrucks ($U_{dG+} = f(p)$) aufzutragen.
- 4.5 In einem Diagramm für die **negative Gleichspannung** sind die Durchschlagspannungen aus der Instrumentenmessung für die untersuchten Prüflinge als Funktion des Luftdrucks ($U_{dG-} = f(p)$) aufzutragen.