

Gasentladungen Übergangsentladungen Begriffe

DIN
1326
Blatt 2

Electric discharges in gases

1. Übergangsentladungen (sich ändernde Entladungen)

Solange die Entwicklung einer Entladung noch nicht abgeschlossen ist, spricht man von einer Übergangsentladung (sich ändernde Entladung).

Die Übergangsentladungen sind fast ausschließlich entweder Zünd- oder Löschvorgänge. Je nach ihrer Energiebilanz kann die Entwicklung einer Entladung entweder zu einer andauernden Entladung oder zur Stromlosigkeit (zum Erlöschen) führen.

Die Entwicklung zu einer andauernden Entladung hängt vorwiegend von der verfügbaren Energie und von der Beschaffenheit des gesamten Stromkreises ab.

Dabei spricht man von einer stabilen Entladung, wenn die Energiebilanz nach einer kurzzeitigen Störung von selbst wieder ausgeglichen wird. Das ist z. B. der Fall bei einem Lichtbogen, dessen konstanter Strom durch die Elemente des Stromkreises (z. B. durch Spannungsquelle und Widerstand), in dem sich der Bogen befindet, bestimmt ist. Wird in einem solchen Fall die Energiebilanz z. B. durch Absinken der Bogentemperatur negativ, so steigt damit der Widerstand des Bogens, infolgedessen auch die Lichtbogen-Spannung und die vom Bogen aufgenommene Energie, so daß die Bilanz wieder ausgeglichen wird und der Lichtbogen erhalten bleibt.

Hingegen spricht man von einer instabilen Entladung, wenn die Energiebilanz nach einer kurzzeitigen Störung nicht wieder von selbst ausgeglichen wird. Das ist z. B. der Fall bei einem Lichtbogen, der an einer konstanten Spannung liegt. Sinkt dabei die Temperatur, so werden infolge des steigenden Widerstandes der Strom und auch die zugeführte Energie kleiner, die Temperatur sinkt weiter ab, bis schließlich der Bogen erlischt.

2. Zündung einer Entladung

Die Zündung ist der Beginn einer selbständigen Entladung, der mit verschiedenen Mitteln bewirkt werden kann. Diese Mittel lassen sich ihrer Wirkung nach in zwei Hauptgruppen einordnen:

- Mittel, die dazu dienen, die Stoßionisation in einer Gasentladungsstrecke über ein kritisches Maß zu steigern, z. B. dadurch, daß man die Spannung an den Elektroden über den kritischen Wert steigert (siehe Abschnitt 2.1).
- Mittel, die der Stromkreisunterbrechung dienen, z. B. Trennung zweier Kontaktstücke (siehe Abschnitt 2.2).

Bei Zündung in einem Gas geht die Isolierfähigkeit der Entladungsstrecke ganz oder teilweise verloren. Bei

praktisch vollkommenem Zusammenbruch der Isolierfähigkeit der freien Gasstrecke spricht man vom Durchschlag der Entladungsstrecke (z. B. einer Kugelfunktenstrecke); verläuft der Zusammenbruch längs der Grenzschicht des Gases mit einem Dielektrikum, so spricht man von einem Überschlag (z. B. eines Isolators); wird nur in einem Teil der Entladungsstrecke die Isolierfähigkeit aufgehoben, so spricht man von einem Teildurchschlag.

Anmerkung 1: Auch das Entstehen von unselbständigen Entladungen wird bei gasgefüllten Glühkathodenröhren mit fremdgeheizter Kathode (Leuchtstofflampe im Augenblick der Zündung, Thyatron) sowie bei Quecksilberdampf-Stromrichtergeräten Zündung genannt.

Anmerkung 2: Bei dem Übergang von einer Entladungsform in eine andere über Zwischenstufen kann man jeder Stufe eine Einsetzspannung zuordnen. Die Einsetzspannung der Corona nennt man auch Anfangsspannung.

Anmerkung 3: Der Zusammenbruch der Isolierfähigkeit der Luftstrecke zwischen einem Leiter und Erde wird im Sprachgebrauch häufig auch Überschlag genannt.

Anmerkung 4: Das Wort Durchbruch sollte nicht als Synonym für das Wort Durchschlag verwendet werden. Gegebenenfalls kann es als Oberbegriff für Durchschlag und Überschlag dienen.

Anmerkung 5: In elektrischen Betriebsanlagen führen Durchschläge und Überschlüge häufig zu erheblichen Störungen der Stromversorgung. Sie können ausgelöst sein durch Überspannungen, herrührend von atmosphärischen Entladungen (Gewitter), von Schaltüberspannungen, Erdschlüssen und dergleichen. Sie können aber auch bei der Annäherung von Schalterkontakten unter Spannung auftreten (Vor-Überschlag).

Anmerkung 6: Zündungen mit Hilfe von Spannungstößen werden angewendet, um selbständige Entladungen einzuleiten, z. B. Zündung einer Leuchtstoffröhre, einer Auslöse- oder gesteuerten Funktenstrecke. Es wird empfohlen, das Wort „Trigger“ und Zusammensetzungen mit diesem Wort, wie z. B. Triggerfunktensstrecke, nicht zu verwenden.

2.1. Zündung einer Entladung durch Überschreiten der kritischen Stärke der Stoßionisation

2.1.1. Zündung einer Entladung im homogenen oder angenähert homogenen Feld zwischen kalten Elektroden

2.1.1.1. Elektronenlawine

Der Ausgangspunkt einer Entladung kann in Kathodennähe liegen, wenn dort zufällig vorhandene Elektronen (Anfangselektronen) durch die Beschleunigung im elektrischen Feld eine zur Stoßionisation ausreichende Energie speichern können. Durch derartige Stoßionisationen werden weitere Elektronen gebildet, die ihrerseits ebenfalls Stoßionisationsprozesse auslösen. Soweit Raumladungen noch nicht wirksam werden, tritt ein exponentielles Anwachsen der Anzahl der Elektronen in Richtung von der Kathode zur Anode auf. Diesen Vorgang nennt man Elektronenlawine.

Fortsetzung Seite 2 bis 4

Ausschuß für Einheiten und Formelgrößen (AEF) im Deutschen Normenausschuß (DNA)

2.1.1.2. Zündung über Townsend-Mechanismus

Die in der Elektronenlawine gebildeten Ionen, Lichtquanten und angeregten neutralen Teilchen können im Gas oder an der Kathode weitere freie Elektronen (Folgeelektronen) hervorrufen. Sind die so entstehenden Folgelawinen bei der Erzeugung weiterer Folgeelektronen mindestens so wirkungsvoll wie die ursprüngliche Lawine, wird der Townsend-Mechanismus selbständig.

2.1.1.3. Zündung über Kanalentladungen

Erreicht die Verstärkung der Anfangselektronen in einer Elektronenlawine den Wert von etwa 10^8 (kritische Verstärkung) innerhalb der Elektrodenanordnung, so nimmt die durch die Raumladung der positiven Ionen verursachte Feldstärke Werte in der Größenordnung des aufgeprägten Grundfeldes an. Durch Lichtquanten werden im Gas neue Anfangselektronen gebildet, die Ausgangspunkt weiterer Lawinen sind, welche in den Raumladungskopf hineingezogen werden. Dadurch entsteht ein Plasmaschlauch, der schließlich die Strecke zwischen Anode und Kathode überbrückt. In diesem Fall wird die Zündspannung unabhängig vom Kathodenmaterial.

2.1.2. Zündung einer Entladung im inhomogenen Feld zwischen kalten Elektroden

Im angenähert homogenen und schwach inhomogenen Feld wird die Entladung im Augenblick der Zündung im ganzen Bereich ihrer Strecke selbständig. Im stark inhomogenen Feld wird die Entladung bei der Zündung in einem um so kleineren Bereich selbständig, je inhomogener das Feld ist. Die Zündspannung ist entsprechend kleiner als die Durchschlagspannung, bei der die Entladung in der ganzen Strecke zwischen den Elektroden selbständig wird.

Im stark inhomogenen Feld versteht man unter Zündung das Einsetzen der Koronaentladung (siehe DIN 1326 Blatt 1, Ausgabe September 1964, Abschnitt 3.5). Die Zündspannung ist also der Koronaeinsatzspannung (Anfangsspannung, siehe Abschnitt 2, Anmerkung 2) gleich.

2.1.3. Zündung einer Entladung im inhomogenen Feld bei Raumladungssteuerung

Ein gittergesteuertes Glühkathodenventil (Thyratron) zündet dadurch, daß das Potential des Steuergitters im gewünschten Augenblick angehoben wird (Zündeinsatzsteuerung). Hierdurch treten mehr Elektronen in den Gitter-Anodenraum ein, erzeugen durch Stoßionisation positive Ionen, die auf die Kathode zuwandern und durch ihre Raumladung wie ein weiteres Anheben des Gitterpotentials wirken. Hierdurch wächst der Strom lawinenartig an.

Bei gittergesteuerten Quecksilberdampf-Stromrichtergeräten mit Erregerbogen tritt ein ähnlicher Zündvorgang auf, wobei der Erregerbogen die für die Zündung erforderlichen Ladungsträger zur Verfügung stellt.

Eine nicht beabsichtigte Zündung bei positiver Anode nennt man Durchzündung, eine Zündung bei negativer Anode, die die Ausbildung eines Kathodenbrennflecks an der Anode zur Voraussetzung hat, Rückzündung. Das gleichfalls unerwünschte Entstehen von Kathodenbrennflecken auf metallischen Gefäßwänden oder an mit ihnen leitend verbundenen Entionisierungsgittern wird häufig Sekundärzündung genannt.

2.1.4. Entladeverzögerung

Der Entladeverzögerung ist die Zeitspanne zwischen dem plötzlichen Anlegen einer Spannung an eine Elektrodenanordnung und der vollendeten Zündung. Diese von verschiedenen Bedingungen (z.B. Art und Reinheit des Gases, Fremdionisation, Beschaffenheit der Kathodenoberfläche, Höhe und Polarität der Spannung) abhängige Zeitspanne kann in zwei Zeitabschnitte unterteilt werden: Erstens in einen Zeitabschnitt, in dem wirksame Anfangselektronen zur Verfügung gestellt werden (diese Zeit schwankt um einen Mittelwert, mittlere statistische Streuzeit, kurz statistische Streuzeit genannt), zweitens in einen Zeitabschnitt, der zum Aufbau der Zündvorgänge nötig ist, die nur in geringen Grenzen schwankende Aufbauzeit.

2.2. Zündung durch Kontakttrennung

Wird eine stromdurchflossene Leitung durch Öffnen einer Kontaktstelle unterbrochen, so entsteht meist ein Lichtbogen, der die Trennstelle überbrückt, ausgenommen bei zu geringer Spannung von größenordnungsmäßig weniger als 10 V und bei zu vernachlässigender Induktivität oder bei sehr kleinen Stromstärken (stark materialabhängig, z.B. Cu, Ag, Au etwa 0,4 A). Kurz vor der Trennung ist die Stromdichte in den zuletzt verbleibenden Berührungsstellen derartig erhöht, daß diese schmelzen und verdampfen und damit die Entladung einleiten. Hierzu gehören auch die Vorgänge, bei denen ein elektrischer Leiter schmilzt (z.B. Schmelzsicherung).

Beispiele: Ausschalllichtbogen (auch im Vakuumschalter), Schweißlichtbogen, Ziehen von Trennmessern unter Last, Kathodenzündung beim Quecksilberdampfstromrichter, „Funken“ in Schmelzflußelektrolysen.

2.3. Zündung durch Kontaktschließung

Bei Annäherung von Kontaktstücken tritt kurz vor dem Schließen eine sehr hohe Feldstärke auf. Diese kann dazu führen, daß bereits bei Spannungen, die unterhalb der Paschen-Kurve liegen, durch Feldemission eine Entladung gezündet und meistens durch Thermo-Feld-Emission aufrechterhalten wird.

3. Erlöschen einer Entladung

Eine Entladung erlischt, wenn ihre Energiebilanz negativ wird, d.h. wenn die abgegebene Energie größer wird als die zugeführte und genügend lange größer bleibt.

3.1. Abkippen des Stromes vor dem Erlöschen einer Bogenentladung

Kurze Zeit vor dem Erlöschen einer Bogenentladung zeigt sich sehr häufig ein merkliches Ansteigen der Lichtbogenspannung, die sogenannte Löschspitze. Sie entsteht dadurch, daß bei abnehmendem Strom der Widerstand des Lichtbogens zuletzt stärker als umgekehrt proportional zum abnehmenden Strom zunimmt. Die Löschspitze bewirkt eine verstärkte Stromaufnahme in den Kapazitäten parallel zum Lichtbogen, so daß der von den Stromkreiselementen vorgegebene Strom vom Lichtbogen auf die Parallelkapazitäten verdrängt wird (Abkippen des Bogenstromes). Wenn dieser Vorgang in extrem kurzer Zeit vor sich geht, spricht man auch vom „Abreißen“ des Stromes.

Je schneller der Strom absinkt, um so mehr macht sich der Einfluß der Trägheit des Lichtbogens bemerkbar. Die Temperatur und damit der Widerstand der Entladungsstrecke hinken dann dem Strom nach.