Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 62 (1971)

Heft: 9

Artikel: Einfluß der kosmischen Strahlung auf das Durchschlagverhalten einer homogenen Luftfunkstrecke

Autor: Müller, H. / Wiesinger, J.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-915816

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

BULLETIN

DES SCHWEIZERISCHEN ELEKTROTECHNISCHEN VEREINS

Gemeinsames Publikationsorgan des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins (SEV) und des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE)

Einfluß der kosmischen Strahlung auf das Durchschlagverhalten einer homogenen Luftfunkenstrecke

Von *H. Müller* und *J. Wiesinger*, München

537.591:621.319.51.015.51

Es wurde untersucht, wie die kosmische Strahlung das Durchschlagverhalten einer Homogenfunkenstrecke mit einigen cm Schlagweite bei Stoßspannungsbeanspruchung beeinflusst. Hierzu wurden unmittelbar nach dem Durchgang der kosmischen Strahlung durch die Funkenstrecke die Durchschlagwahrscheinlichkeit und die Stoßkennlinie gemessen und verglichen mit den Werten, die sich ohne kosmische Strahlung ergeben. Der festgestellte Einfluß der kosmischen Strahlung ist vergleichbar mit dem Einfluß einer UV-Bestrahlung.

On examina l'influence exercée par le rayonnement cosmique sur le comportement à la décharge disruptive d'un éclateur à champ homogène à une distance disruptive de quelques cm, sollicité par des impulsions de tension. Directement après le passage du rayonnement cosmique à travers l'éclateur, on mesura la probabilité disruptive et la caractéristique d'ondes de choc, puis on les compara aux valeurs obtenues sans rayonnement cosmique. L'influence déterminée du rayonnement cosmique est comparable à l'influence d'une irradiation-UV.

1. Einführung

In der Elementarteilchenphysik werden sog. Funkenkammern zum Nachweis von Spuren hochenergetischer geladener Teilchen eingesetzt. Hierbei wird an ein homogenes Plattenfeld mit einem Edelgas als Dielektrikum unmittelbar nach dem Passieren des geladenen Teilchens eine Stoßspannung angelegt. Da die elektrische Festigkeit des Edelgases entlang der Teilchenspur durch Stossionisationsvorgänge stark herabgesetzt wird, folgt der Durchschlag im wesentlichen dieser vorgegebenen Spur.

Auf Grund dieser Ergebnisse in Edelgasfunkenstrecken stellte sich nunmehr die Frage, ob auch in Luft, dem technisch verbreitetsten gasförmigen Isolierstoff, die Stoßspannungsfestigkeit ebenso merklich reduziert wird, wenn hochenergetische Teilchen die Funkenstrecke durchsetzt haben. Dieser Fall tritt z. B. ein, wenn Funkenstrecken durch Teilchen aus der kosmischen Strahlung beaufschlagt werden.

Die auf der Erdoberfläche nachweisbare Komponente der kosmischen Strahlung besteht im wesentlichen aus einfach positiv oder negativ geladenen μ-Mesonen [1][1]) mit einer typischen Energie um 100 GeV, die sich nahezu mit Lichtgeschwindigkeit fortbewegen. Diese Mesonen entstehen durch Zusammenstoss von extrem energiereichen Teilchen, hauptsächlich Protonen aus dem Weltall, mit Sauerstoff- und Stickstoffkernen der obersten atmosphärischen Schichten.

Die μ-Mesonen (auch Myonen genannt) haben auf der Erdoberfläche eine spezifische Ionisierung von etwa 70 Elektronen pro cm, d. h. sie setzen durch die Coulombsche Kraft zwischen ihnen und den Elektronen der Luftmoleküle auf ihrer Bahn etwa 70 Elektronen je cm Spur frei [2]. Diese losgeschlagenen Elektronen, für die eine mittlere Energie von etwa 17 eV errechnet wurde, lagern sich nach einer Vielzahl von Stössen innerhalb einiger zehn Nanosekunden an Sauerstoffmoleküle an, so dass negative Ionen mit einer Bindungsenergie von einigen zehntel eV entstehen. Die Rekombinationszeit dieser Ionen liegt im Millisekundenbereich.

Der Durchgang eines kosmischen Teilchens durch eine Plattenfunkenstrecke, wie sie für die nachfolgend beschriebenen Versuche verwendet wurde, lässt sich mit Szintillatoren nachweisen, die in geeigneter Weise unter und über der Funkenstrecke angeordnet und an Photomultiplier angeschlossen sind. Nach einer Auswertung der von den Multipliern abgegebenen Signale in einer Koinzidenzlogik innerhalb einiger zehn Nanosekunden kann über einen Pulsverstärker ein Stossgenerator gezündet und somit eine Stoßspannung an die Plattenfunkenstrecke nach einigen hundert Nanosekunden gelegt werden. Damit besteht die Nachweismöglichkeit für den Einfluss eines kosmischen Teilchens auf die Durchschlagspannung.

2. Versuchsaufbau

Fig. 1 zeigt die in Plexiglas gekapselte Plattenfunkenstrecke mit Rogowskiprofil (Durchmesser 16,0 cm). Durch eine seitlich angebrachte Plexiglasscheibe kann photographiert bzw. bei abgenommener Scheibe die Funkenstrecke extern mit UV-Licht bestrahlt werden. Die Funkenstrecke war angeschlossen an einen 9-stufigen Marxschen Stossgenerator (Fig. 1), dessen einstufiges Ersatzschaltbild aus Fig. 2 ersichtlich ist. Unter Einbeziehung eines gedämpft-kapazitiven Stoßspannungsteilers [3], der eine Antwort-Zeit von weniger als 2 ns aufwies, ergab sich an der Funkenstrecke eine Stoßspannung mit 0,04 μs Stirnzeit und 17 μs Rückenhalbwertzeit. Niederspannungsseitig wurde die Stoßspannung registriert mit einem Hochleistungsoszillographen; der Scheitelwert konnte mit einem Messgerät, das nach dem in [4] angegebenen Prinzip aufgebaut war, gemessen werden.

Der Stossgenerator wurde ausgelöst durch einen Zündimpuls an der untersten Funkenstrecke. Die Zeit zwischen dem Durchgang eines kosmischen Teilchens durch die Plattenfunkenstrecke — registriert durch die oben beschriebene Koinzidenzlogik — bis zum

[1]) Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

Erscheinen der Stoßspannung betrug minimal 300 ns und konnte mit einer Verzögerungsschaltung beliebig verändert werden. Die Zeit zwischen dem Eintreffen zweier registrierter kosmischer Teilchen betrug im Mittel etwa 4 s, wobei durch eine Torschaltung die Stossfolge grösser als 20 s gehalten wurde.

3. Versuchsergebnisse

3.1 Einfluss auf die prozentuale Durchschlagstoßspannung

Für die folgenden Messungen wurde die Schlagweite der Plattenfunkenstrecke auf 3,14 cm eingestellt, der Druck in dem Gefäss auf 760 Torr bei einer Luftfeuchtigkeit von etwa 30 % und einer Temperatur von 22 °C konstant gehalten. Die Versuche wurden in einem geschlossenen, künstlich beleuchteten Laboratorium durchgeführt.

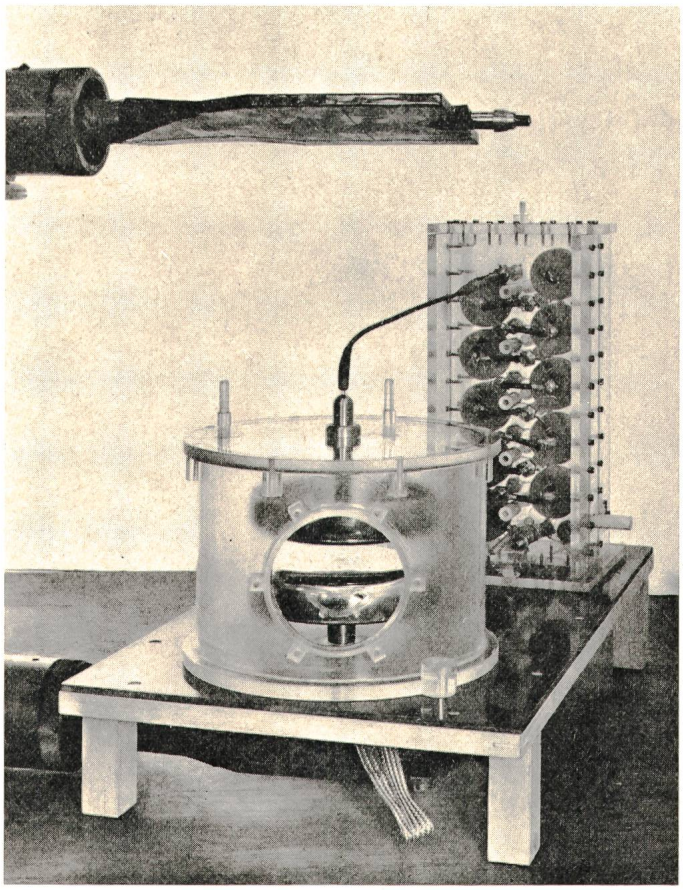

Fig. 1
Gekapselte Plattenfunkenstrecke mit Stossgenerator

In einem ersten Versuch wurde die Verzögerungszeit zwischen dem Erscheinen eines kosmischen Teilchens und dem Beginn der Stoßspannung Δt variiert, die Amplitude der Stoßspannung bei 92 kV konstant gehalten. Das Ergebnis zeigt Fig. 3.

Es ist zu erkennen, dass etwa zwischen 0,5 und 100 µs die Durchschlaghäufigkeit ca. 60 % beträgt, zu kürzeren Verzögerungszeiten hin zunimmt und zu längeren abnimmt, wobei aber auch im Millisekundenbereich noch ein Unterschied gegenüber der sich bei Verzögerungszeiten grösser als eine Sekunde ($\Delta t \to \infty$) einstellenden Durchschlaghäufigkeit ersichtlich ist.

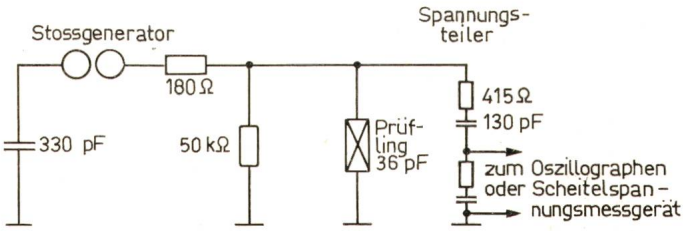

Fig. 2
Ersatzschaltung des Stossgenerators mit Prüfling und Spannungsteiler

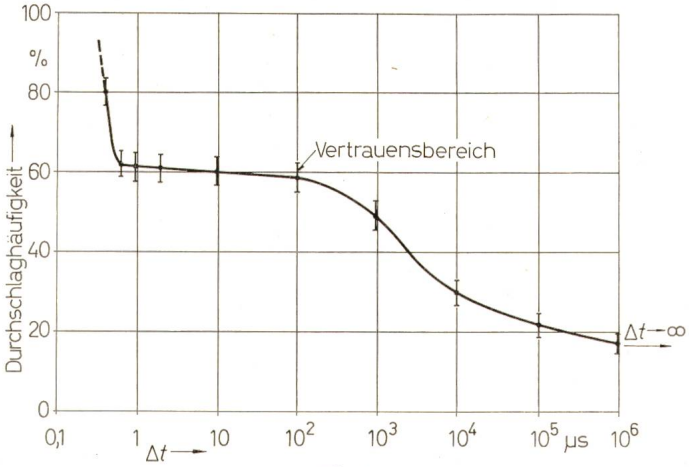

Fig. 3
Durchschlaghäufigkeit in Abhängigkeit von der Verzögerungszeit Δt

Diese Kurve kann als Beweis dafür angesehen werden, dass die langsam beweglichen und damit praktisch nicht diffundierenden negativen Sauerstoffionen über einen sehr langen Zeitraum hinweg im Entladungsraum entlang der Spur Elektronen konservieren können, und diese Elektronen infolge ihrer geringen Bindungsenergie zum Sauerstoffmolekül durch die angelegte Stoßspannung rasch befreit werden und den Durchschlag merklich begünstigen. Dies konnte auch in theoretischen Betrachtungen, die einer späteren Veröffentlichung vorbehalten werden sollen, nachgewiesen werden.

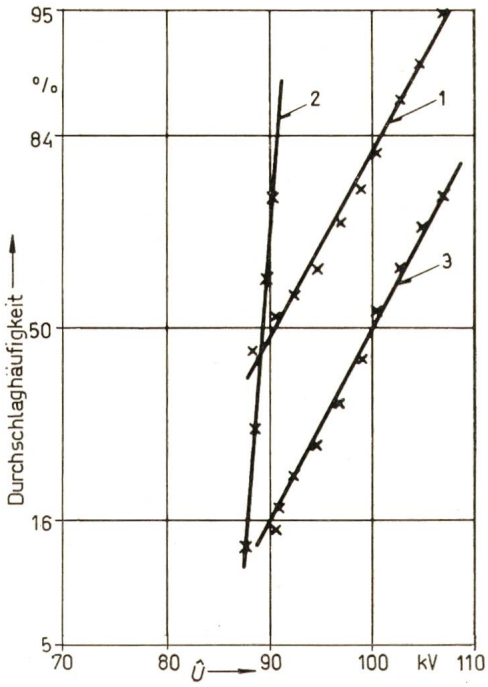

Fig. 4
Durchschlaghäufigkeit in Abhängigkeit von der Stoßspannung $\hat{U}$
1 nach Durchgang eines kosmischen Teilchens (Δt = 500...1000 ns)
2 mit Bestrahlung ($\Delta t \to \infty$); *3* ohne Bestrahlung ($\Delta t \to \infty$)

In einem weiteren Versuch wurde bei 713 Torr und 20 °C die Verzögerungszeit Δt auf 500...1000 ns eingestellt und hierbei der Scheitelwert der Stoßspannung zwischen 88 und 107 kV (umgerechnet auf Normalbedingungen) verändert. Die hierbei gemessene prozentuale Verteilung der Durchschlagspannungen ist in Fig. 4 im Gaußschen Wahrscheinlichkeitsnetz eingetragen, zusammen mit der Verteilung, die sich bei willkürlicher Auslösung des Stossgenerators von Hand ($\Delta t \to \infty$) mit und ohne Bestrahlung mit einer Quecksilber-UV-Lampe (in einem Abstand von 120 cm bei abgenommener Abdeckscheibe des Gefässes) ergibt.

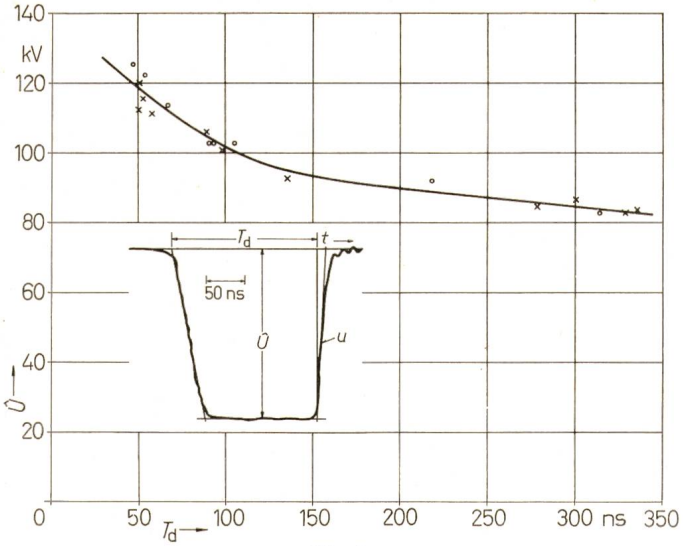

Fig. 5
Stosskennlinie
○ : Δt = 500...1000 ns; x : $\Delta t \to \infty$

Aus Fig. 4 ist zunächst zu erkennen, dass die gekapselte Funkenstrecke bekanntermassen eine grosse Streuung (Standardabweichung ca. 10 %) aufweist. Diese Streuung geht bei Bestrahlung sehr stark zurück, wobei die Stehstoßspannung erhalten bleibt. Beim Durchgang kosmischer Teilchen stellt sich ein 50-%-Wert ein, der mit dem bei Bestrahlung identisch ist. Über die Stehstoßspannung kann mit den hier vorliegenden Versuchsergebnissen keine eindeutige Aussage gemacht werden. Dagegen ist bei Durchschlagspannungen über dem 50-%-Wert die Durchschlaghäufigkeit bei Bestrahlung grösser als bei Einwirkung kosmischer Teilchen.

Es sei darauf hingewiesen, dass der Aufbau eines Durchschlagkanals bei dem Durchgang eines kosmischen Teilchens auf die entlang einer Spur angeordneten Ionen zurückzuführen ist, während bei der UV-Bestrahlung das gesamte Volumen mit Ladungsträgern angereichert wird.

3.2 Einfluss auf die Stosskennlinie

Um den Einfluss der kosmischen Strahlung auf das Verhalten bei stark überschiessender Stoßspannung zu ermitteln, wurde die Plattenfunkenstrecke mit einer Schlagweite von 2,5 cm bei 715 Torr, 22 °C und 46 % relativer Luftfeuchtigkeit mit Stoßspannungen 0,04 | 17 µs beansprucht, wobei der Generator bei Δt = 500...1000 ns bzw. bei $\Delta t \to \infty$ ausgelöst wurde. Die auf Normalbedingungen umgerechneten Punkte der Stosskennlinie zeigt Fig. 5. Aus dieser Figur geht auch die Definition der Werte T_d (Zeit bis zum Durchschlag) und $\hat{U}$ (Scheitelwert der Stoßspannung) hervor. Man erkennt, dass die kosmische Strahlung keinen nachweisbaren Einfluss auf den Verlauf der Stosskennlinie hat.

4. Ergebnis

Die vorliegenden Messungen an einer gekapselten Homogenfunkenstrecke unter Stoßspannungen zeigen in Luft im Gegensatz zu Edelgasen keinen wesentlichen Einfluss der kosmischen Strahlung auf das Durchschlagverhalten. Die Reduzierung der prozentualen Durchschlagspannung liegt in der gleichen Grössenordnung wie bei UV-Bestrahlung. Der Einfluss der kosmischen Strahlung ist bis zum Millisekundenbereich nach dem Passieren eines kosmischen Teilchens nachweisbar.

5. Schlussbemerkungen

Die vorliegenden Untersuchungen wurden in einem 100-kV-Hochspannungslaboratorium des Institutes für Hochspannungs- und Anlagentechnik der TU München durchgeführt; einen grossen Teil der erforderlichen Geräte stellte dankenswerterweise das Max-Planck-Institut für Physik und Astrophysik, München, zur Verfügung.

Literatur

[1] *H. Franke:* Lexikon der Physik. 3. Auflage, Stuttgart, Franckh'sche Verlagshandlung, 1969.
[2] *W. Finkelnburg:* Einführung in die Atomphysik. 11./12. Auflage, Berlin/Göttingen/Heidelberg, Springer-Verlag, 1967.
[3] *W. Zaengl:* Das Messen hoher, rasch veränderlicher Stoßspannungen. Dissertation, Technische Hochschule München, 1964.
[4] *J. Wiesinger:* Eine neue Speicherschaltung zur Messung von Spannungsimpulsen. Bull. SEV 59(1968)7, S. 303...308.

Adresse der Autoren:
Dipl.-Phys. *Hermann Müller,* Fasanenstrasse 68, D–8025 Unterhaching bei München, und Priv. Doz. Dr.-Ing. *Johannes Wiesinger,* Wiss. Rat im Institut für Hochspannungs- und Anlagentechnik der TU München, Arcisstrasse 21, D–8 München 2.