

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 58 (1967)
Heft: 24

Artikel: Sonderfälle bei Gewitterstörungen in Hochspannungsnetzen
Autor: Kunz, A. / Baltensperger, P.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-916304>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 19.03.2025

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)

Sonderfälle bei Gewitterstörungen in Hochspannungsnetzen

Von A. Kunz, Laufenburg, und P. Baltensperger, Baden

621.316.1:551.594.21

Das Problem von rasch aufeinander folgenden Blitzeinschlägen während einer Schnellwiedereinschaltung wird an einem im Betrieb aufgetretenen Beispiel erörtert. Nach einigen Betrachtungen über Koordination der Isolation bei Energieübertragungen werden Überspannungsableiter als idealer Schutz, auch auf der Leitungsseite des Schalters empfohlen.

Le problème soulevé par une suite de coups de foudre se succédant rapidement lors d'un réenclenchement accéléré est illustré à l'aide d'un exemple survenant en cours d'exploitation. Après quelques considérations à propos de la coordination de l'isolement lors des transmissions d'énergie, les auteurs préconisent en qualité de protection idéale des parafoudres également aménagés du côté des lignes des interrupteurs.

1. Gewitterstörung auf der Gemmi-Leitung

Eine Störung infolge Blitzeinschlag auf einer Hochspannungs-Übertragungsleitung hat normalerweise etwa folgenden Verlauf: Tritt ein Blitzüberschlag auf, so kann ein 1poliger Erdschluss, seltener ein 2- oder 3poliger Kurzschluss, mit (oder ohne) Erdberührung entstehen. Die Schalter an den beiden Leitungsenden führen, veranlasst durch den Distanzschutz, eine 1- bzw. 3polige Schnellwiedereinschaltung aus, worauf je nach den Fehlerumständen der 3polige Betrieb weitergeht oder eine definitive 3polige Ausschaltung erfolgt.

Nachstehend wird von einer Gewitterstörung berichtet, die sich am 25. Juli 1967 in der Nähe der Schaltanlage Laufenburg ereignete, und die weniger erfolgreich verlief.

Der Hergang kann mit Hilfe von Tabelle I, welche eine Auswertung des Störschreiber-Oszillogrammes darstellt, verfolgt werden. Bei einem Blitzüberschlag auf dem Stromkreis «Gemmi» der 420/245-kV-Leitung Laufenburg—Creux de Chippis zwischen Phase «S» und Erde, 11,3 km von der Schaltanlage Laufenburg entfernt, löste der Distanzschutz ordnungsgemäss das 1polige Schnellwiedereinschaltspiel an den Schaltern an beiden Leistungsenden aus.

Der 1polige Erdkurzschluss wurde nach ca. 0,04 s unterbrochen. Während der nun folgenden stromlosen Pause, ca. 0,22 s nach dem ersten Blitzeinschlag, schlug ein zweiter Blitz in den gleichen Stromkreis, diesmal ca. 740 m vom Schalter entfernt, ein. Dabei überschlugen die am ersten Leitungsmast vorhandene Schutzfunkenstrecke der Phase S sowie der offene Schalterpol der gleichen Phase, worauf ein Kurzschlußstrom von ca. 32 kA floss.

Die Leitung Laufenburg—Creux de Chippis und der Teil der Schaltanlage Laufenburg, an welcher diese Leitung endet,

sind für eine Nennspannung von 420 kV ausgelegt, werden aber bis auf weiteres mit 245 kV betrieben. Die Mast-Schutzfunkenstrecke hat mit 1210 mm Überschlagsdistanz eine Stoss-Ansprechspannung zwischen ca. 700 und 800 kV. Das Ansprechen erfolgt jedoch mit mindestens einigen μ s Zeitverzug, d.h. im «Rücken» der Stosswelle. Daher können beim Spannungsanstieg, während der Frontdauer, wesentlich höhere Spannungen auftreten, bevor es zu einem Ansprechen kommt. Der Schalter, ein 245 kV Druckluftschalter, ist für eine Stosshaltespannung von 1050 kV gemäss den Empfehlungen der CEI dimensioniert (Normstoss 1,250 μ s).

Bei der Schnellwiedereinschaltung erhielt der Schalter sofort wieder einen Ausschaltbefehl, weil der Kurzschluss in Phase S beim Wiedereinschalten wieder vorhanden war. Die hierauf auszuführende definitive Ausschaltung misslang, da der Schalterpol infolge des an ihm bestehenden Lichtbogens nicht mehr unterbrechen konnte. Der Kurzschlußstrom floss daher noch längere Zeit weiter, bis er durch andere Schutzauslösungen im Netz eliminiert wurde. An den Trennkammern des Schalterpoles und an der Leitung, namentlich am Erdseil und an der Isolatorenkette der Schutzfunkenstrecke entstanden Schäden.

Die Tatsache, dass der Schalter beim zweiten Blitzschlag überschlug, lässt sich wie folgt erklären. Von der Einschlagstelle läuft eine Überspannungswelle längs der Leitung in beiden Richtungen weg. Die gegen die Schaltstation Laufenburg wandernde Welle, deren Frontdauer etwa von der Grössenordnung 1 μ s sein kann, bringt die Schutzfunkenstrecke zum Überschlagen. Infolge des Ansprechverzuges der Funkenstrecke läuft die Welle weiter. Sie wird an der offenen Schalterklemme reflektiert, wobei sich die Amplitude nahezu verdoppelt. Die offene Schalterklemme war daher einem

Tabelle I

Zeit	Ereignisse	Strom in Phase S im Leitungsabgang Laufenburg kA	Schema
vor $t = 0$	Normaltrieb		
$t = 0$	Blitzüberschlag zwischen Phase S und Erde, 11,3 km vom Leitungsschalter in Laufenburg entfernt. Der Distanzschutz läuft an.	13	
$t \approx 0,04$ s	Leitungsschalter Phase S in Laufenburg unterbricht den Kurzschlußstrom. Schalter am anderen Leitungsende unterbricht ebenfalls.		
$t = 0,22$ s	Neuer Blitzschlag zwischen Phase S und Erde ca. 740 m vom Schalter entfernt. Die Schutzfunkenstrecke am ersten Leitungsmast und der offene Schalterpol in der Schaltanlage Laufenburg überschlagen.	≈ 32	
$t = 0,37... 0,55$ s	Der Wiedereinschaltbefehl wird korrekt erteilt, unmittelbar darauf erfolgt jedoch wegen des bestehenden Kurzschlusses ein Ausschaltbefehl. Der Schalter S vermag aber den Kurzschluss nicht zu unterbrechen, da über ihm bereits ein Lichtbogen seit mehr als 0,2 s brennt.	≈ 32	
$t > 0,55$ s	Siehe Text.		

Spannungsschoss ausgesetzt, dessen Amplitude $\hat{U} = 1400$ kV oder darüber sein konnte, während das Isolationsniveau bzw. die Haltespannung des Schalters, bezogen auf den Normstoss $1,2 | 50 \mu s$, nur für 1050 kV ausgelegt ist. Daher kam es zum Überschlag am Schalter.

2. Rasch aufeinander folgende Blitze

Als wesentliche Tatsache ist zu erwähnen, dass in einem Bruchteil einer Sekunde mehrmals Blitze in die gleiche Leitung, sogar in die gleiche Phase einschlagen können [1; 3] ¹⁾. Der ideale klassische Ablauf einer Schnellwiedereinschaltung kann dadurch gestört werden. Erfolgt z. B. ein zweiter Blitzschlag unmittelbar nach dem ersten, am Anfang der stromlosen Pause bei einer Schnellwiedereinschaltung, während der Schalter sein erstes Ausschaltmanöver noch nicht vollständig beendet hat, so kann eine Rückzündung in den Schaltkammern und damit eine Umschlagstörung stattfinden, wobei der Schalter noch eine Chance zum Löschen des Stromes hat. Tritt der zweite Blitz später, d. h. nach vollendetem Ausschaltmanöver des Schalters auf, so kann ein Fall ähnlich demjenigen von Laufenburg eintreffen, sofern nicht ein genügender Überspannungsschutz z. B. durch Überspannungsableiter, vorhanden ist. Wenn hingegen ein zweiter Blitz während der stromlosen Pause einer Phase in eine noch im Betrieb befindliche Nachbarphase einschlägt und dort einen Kurzschluss gegen Erde verursacht, so wird eine 3polige definitive Ausschaltung erfolgen, ohne dass ein weiterer Schaden zu erwarten ist.

3. Hochspannungsübertragungen mit Material unterschiedlicher Isolationsklassen, bei reduzierter Betriebsspannung

Beim Ausbau von Höchstspannungsnetzen und -anlagen kommt es oft vor, dass Übertragungsleitungen oder Teile davon für geplante höhere Nennspannungen und Isolationsklassen erstellt, aber vorerst, und vielleicht während mehrerer Jahre, mit einer kleineren Betriebsspannung betrieben werden. Dabei werden nicht selten Anlagekomponenten wie z.B. Leistungsschalter verwendet, deren Nennspannung und Isolationsniveau der vorläufigen Betriebsspannung entsprechen. Solche Objekte sind dann isolationsmässig die schwachen Stellen der Übertragung. Schwächer isolierte Objekte sollten daher, besonders wenn ihr Sachwert gross und ihr Betriebsausfall schwerwiegend ist, gegen Überspannungen hinreichend geschützt werden. Dieselbe Forderung muss übrigens ganz allgemein aufgestellt werden, also auch bei Übertragungen mit durchgehend gleicher oder in sich abgestimmter Isolation.

4. Zur Frage der Isolations-Koordination des Leistungsschalters

Die Empfehlungen der CEI sowie die verschiedenen nationalen Regeln sehen keine Isolations-Koordination für den Leistungsschalter vor, im Gegensatz zu den Vorschriften für die Trenner, bei welchen über den offenen Pol eine grössere elektrische Festigkeit als gegen Erde verlangt wird; d. h. beim offenen Trenner soll ein allfälliger Überschlag gegen Erde und nicht über den Pol erfolgen. Natürlich stellt sich die Frage, ob diese Argumentation auch auf den Leistungsschalter übertragen werden sollte. Die nachstehenden Überlegungen mögen eine Antwort hierauf geben.

Am Schalter müssen Überschläge überhaupt verhindert werden, sowohl über den offenen Pol als auch gegen Erde, wie auch zwischen Phasen. Zwei Beispiele mögen dies untermauern.

¹⁾ Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

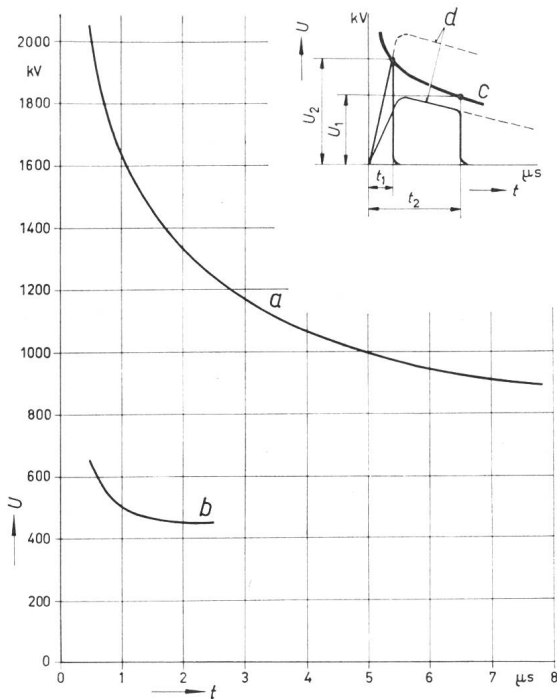


Fig. 1

Stosskennlinie der Schutzfunkenstrecke und des Überspannungsableiters einer 245-kV-Übertragungsleitung

a Stabfunkenstrecke mit 1210 mm Schlagweite, Höchstwerte für negative Polarität des Stosses; *b* Überspannungsableiter mit 230 kV Nennspannung; *c* Stosskennlinie; *d* Normstoss 1,2/50 μs; *U* Höchstwert der auftretenden Spannung; *t* Ansprechzeit

Beispiel 1:

Ein Schalter A eines Leitungsabganges sei in Offenstellung. Der Schalter B am anderen Leitungsende sei geschlossen, jedoch im Begriff, die leerlaufende Leitung auszuschalten. Wenn dabei z.B. infolge Rückzündungen Komplikationen bzw. Überspannungen entstehen, die am Schalter A einen Überschlag nicht über dem offenen Schalterpol, sondern zwischen der leitungsseitigen Schalterklemme und der Erde erzeugen, so kann dort ein Kurzschlusslichtbogen entstehen. Dieser wird bekanntlich wegen der elektrodynamischen Kraftwirkung von seiner Speisequelle weggetrieben, in diesem Falle also «in den Schalter hinein» d.h. gegen die unter Spannung stehende SpeiseSeite des Schalters A. Daher wird nach kurzer Zeit auch zwischen der sammelschienenseitigen Schalterklemme des Schalters A und der Erde ein Lichtbogen brennen. Der Schalter A wird damit aktionsunfähig und überdies beschädigt. Dieser Vorgang kann auch nicht verhindert werden, wenn der Schalter A koordiniert, d.h. über den offenen Pol höher isoliert ist als gegen Erde.

Beispiel 2:

Betrachte man wieder die oben beschriebene Störung von Laufenburg und nehme an, der Schalter wäre genügend koordiniert gewesen, um beim zweiten Blitz sicher gegen Erde und nicht über den offenen Pol zu überschlagen. Ferner sei angenommen, dass ein allfälliger Restlichtbogen nach der Unterbrechung des ersten Kurzschlusses, in 11,3 km Entfernung, vor dem zweiten Blitz erloschen sei. Dann wäre beim zweiten Blitz an der Überschlagstelle beim Schalter grundsätzlich ein neuer Lichtbogen möglich geworden, welcher durch die beiden im Betrieb stehenden Nachbarphasen

R und T über die Phase S kapazitiv gespeist worden wäre. Ein solcher Lichtbogen kann nach einschlägigen Messungen [2] bei den obigen Verhältnissen z.B. einige Perioden bis etwa 0,2 s bestehen bleiben, wobei wie im Beispiel 1 ein Überzünden auf die spannungsführende Sammelschienen-seite des Schalters denkbar wäre. Auch in einem solchen Fall fällt der Schalter für den Betrieb aus und wird beschädigt.

Man muss sich übrigens vergegenwärtigen, dass eine sehr weitgehende Koordination nötig wäre, wenn ein Überschlag über den offenen Schalterpol unter allen Umständen verhindert werden soll. Es genügt nicht, wenn die Haltespannung über den offenen Pol wenig grösser ist als die 100%-Überschlagsspannung zwischen Schalterklemme und Erde, denn die Spannungsbelastung über dem offenen Pol kann um den ein- bis zweifachen Scheitelwert der betriebsfrequenten Spannung Phase—Erde grösser sein als zwischen Schalterklemme und Erde (z. B. atmosphärische Überspannung während dem Ausschalten einer leerlaufenden Leitung oder während Phasenopposition). Unter diesen Umständen sowie der Berücksichtigung der Streupegel müsste die Festigkeit über dem offenen Schalterpol etwa 35% grösser sein als gegen Erde, was natürlich Konsequenzen bezüglich Abmessungen und Preis hat. Dabei wäre der Schalter, wie die Beispiele 1 und 2 zeigen, doch nicht gegen alle Störungsfälle gesichert.

5. Schutz durch Überspannungsableiter

Einerseits sollte vermieden werden, dass der Schalter isolationsmässig die schwächste Komponente im Netz ist. Andererseits ist der heute weitverbreitete Überspannungsschutz durch Funkenstrecken zu grob und, wie der beschriebene Störungsfall zeigt, ungenügend.

Indessen ist die Technik der Überspannungsableiter heute soweit fortgeschritten, das man auch auf der Leitungsseite des Schalters Ableiter als wirksamen und sicheren Überspannungsschutz einsetzen kann. Moderne Überspannungsableiter vermögen Leitungen bis zu mehreren hundert Kilometern ohne Schaden zu entladen. Ihre Ansprech-Charakteristik ist weitgehend unabhängig von der Form und namentlich der Frontdauer der Überspannungen. Auch der Ansprechverzug ist beim Ableiter viel kleiner als bei der Schutzfunkenstrecke; siehe z.B. Kurve b in Fig. 1. Die Verwendung solcher Ableiter als idealer Überspannungsschutz sei empfohlen [3].

Literatur

- [1] K. Berger und E. Vogelsanger: Messungen und Resultate der Blitzforschung der Jahre 1955...1963 auf dem Monte San Salvatore. Bull. SEV 56(1965)1, S. 2...22.
- [2] P. Baltensperger: Schnellwiedereinschaltung bei Höchstspannungsübertragung. Bull. SEV 51(1960)21, S. 1106...1113.
- [3] A. R. Hileman et al.: Insulation Coordination in APS 500-kV Stations. Trans. IEEE Power Apparatus und Systems 86(1967)6, S. 655...665.

Adresse der Autoren:

A. Kunz, Vizedirektor der Elektrizitätsgesellschaft Laufenburg, 4335 Laufenburg, und Dr. P. Baltensperger, Vizedirektor der AG Brown, Boveri & Cie., 5401 Baden.