

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

**Band:** 81 (1990)

**Heft:** 7

**Artikel:** Studie zum Schutz empfindlicher Anlageteile vor elektromagnetischen Einflüssen in Hochspannungsanlagen

**Autor:** Clément, René / Sauvain, Hubert

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-903105>

### **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:** 04.02.2026

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

# Studie zum Schutz empfindlicher Anlageteile vor elektromagnetischen Einflüssen in Hochspannungsanlagen

René Clément und Hubert Sauvain

**Die Kontrolle und die Steuerung von Hochspannungsnetzen, insbesondere der 220kV- und 130kV-Netze, erfolgt mit Hilfe von elektronischen Geräten und Computern. Aus Platzgründen und zur Ermöglichung einer weitgehenden Dezentralisierung der Kontroll- und Steuersysteme befinden sich diese immer näher an den Hochspannungseinrichtungen. Letztere sind aber Quellen elektromagnetischer Störungen. Es entstehen Probleme der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) [1]. Der vorliegende Aufsatz fasst Richtlinien und Vorschläge einer Arbeitsgruppe zur Verminderung elektromagnetischer Einflüsse und ihrer Folgen in Hochspannungsanlagen zusammen.**

Gegen Ende 1986 begannen einige Abnehmeraktionäre der SA l'Energie de l'Ouest-Suisse (EOS) mit der Projektierung oder dem Bau neuer Verbundschaltanlagen. Einige dieser Anlagen sind mit SF<sub>6</sub>-isolierten gekapselten Hochspannungsschaltern und in nächster Nähe installierten mikroprozessorbestückten Kontroll- und Steuersystemen ausgerüstet. Nun gehen aber von Betriebsvorgängen bei Trennern und Schaltern in SF<sub>6</sub>-isolierten Anlagen besonders starke elektromagnetische Störungen aus, und elektronische Kontroll- und Steuersysteme sind besonders empfindlich gegen elektromagnetische Einflüsse.

Auf diese Probleme machten Vertreter der Abnehmeraktionäre in der Betriebskommission der EOS, die besonders mit den Problemen elektromagnetischer Störungen konfrontiert waren, ihre Kollegen aufmerksam. Im Dezember 1986 beschloss die Kommission, eine Arbeitsgruppe zu bilden mit dem Auftrag, Richtlinien für den Bau von Gebäuden für die Aufnahme von Hochspannungseinrichtungen zu erar-

beiten und Kriterien für die Wahl der Sekundärkabel und des elektronischen Materials aufzustellen. Ziel war eine Verminderung der elektromagnetischen Einflüsse und ihrer Folgen.

In der daraufhin gegründeten Arbeitsgruppe waren die Compagnie Vaudoise d'Electricité (CVE), die Freiburgerischen Elektrizitätswerke (FEW), die Electricité Neuchâteloise SA (ENSA), die SA l'Energie de l'Ouest-Suisse (EOS), der Service Electrique de Lausanne (SEL), die Services Industriels de Genève (SIG) und die Société Romande d'Electricité (SRE) vertreten sowie die auf Probleme der elektromagnetischen Verträglichkeit spezialisierte Ingenieurunternehmung EMC Fribourg SA.

Erste Aufgabe der Arbeitsgruppe war die Durchführung von Messungen des Anlagenumfelds zur Ermittlung der Amplituden und Frequenzen der abgestrahlten und leitungsgebundenen Störungen. Durch Prüfungen wurde die Störfestigkeit zahlreicher Geräte und Systeme festgestellt. Die Kopplungsimpedanz verschiedener im Handel erhältlicher oder auf Vorschlag der Arbeitsgruppe neuentwickelter Sekundärkabel wurde mit Hilfe einer neuen Methode gemessen. Es wurden Richtlinien und Kriterien für die Auslegung des Erdsystems, für die Wahl der Kabel und ihres Zubehörs sowie für den Schutz empfindlicher Geräte und Systeme ausgearbeitet.

Der vorliegende Aufsatz fasst den Bericht der Arbeitsgruppe zusammen und enthält Vorschläge für einige erwünschte Anpassungen der EMV-Normen.

## Elektromagnetische Einflüsse

### EMV-Konzept

Die störende Einrichtung (Störquelle) beeinflusst das gestörte System (Störpfer oder Störsenke) über vier verschiedene Kopplungsarten: galvanisch, kapazitiv, induktiv und durch Strahlung. Ein Konzept zum Schutz vor elektromagnetischen Störungen umfasst Massnahmen an den Störquellen, am Störpfer und an den Kopplungen.

### Störquellen

Hochspannungs-Schaltungen in gekapselten, gasisolierten Anlagen erzeugen weit stärkere elektromagnetische Störungen als solche in konventionellen Anlagen. Bei Schaltungen oder Trennerschaltungen in gekapselten, gasisolierten Anlagen erzeugt der interne Lichtbogen elektromagnetische Impulse mit steiler Front, die, zum Teil durch Reflexion verstärkt, bis zu den Kabelein- und -ausgängen gelangen. Das Frequenzspektrum er-

#### Adresse der Autoren

René Clément, Vizedirektor, Präsident der Arbeitsgruppe für elektromagnetische Störungen, Freiburgerische Elektrizitätswerke, 1700 Freiburg

Hubert Sauvain, Berater Ingenieur, Direktor, EMC Fribourg SA, Centre technologique de Montenaz, 1728 Rossens

streckt sich von den Niedrigfrequenzen bis zu einigen zehn MHz. Zwar bleiben diese Impulse vorerst innerhalb der Kapselung, die eine sehr gute Abschirmungswirkung aufweist. Elektromagnetische Wellen pflanzen sich jedoch über die Leitungen und Kabel nach aussen fort, da bei deren Ausgängen eine Diskontinuität der Wellenimpedanz und der Abschirmung besteht [2]. Die Spannungs- und Stromwandler innerhalb der Kapselung bieten der Fortpflanzung von Störungen ebenfalls bevorzugte Wege.

Die abgestrahlten elektromagnetischen Felder, die bei der Trennerschliessung in einer gekapselten, gasisolierten 125kV-Anlage (Bild 1) gemessen wurden, liegen in einem Frequenzbereich von 1 bis 35 MHz (Bild 2). Die beiden hauptsächlichsten Störquellen sind

- die 125kV-Kabelendverschlüsse
- die Transformatorenklemmen.

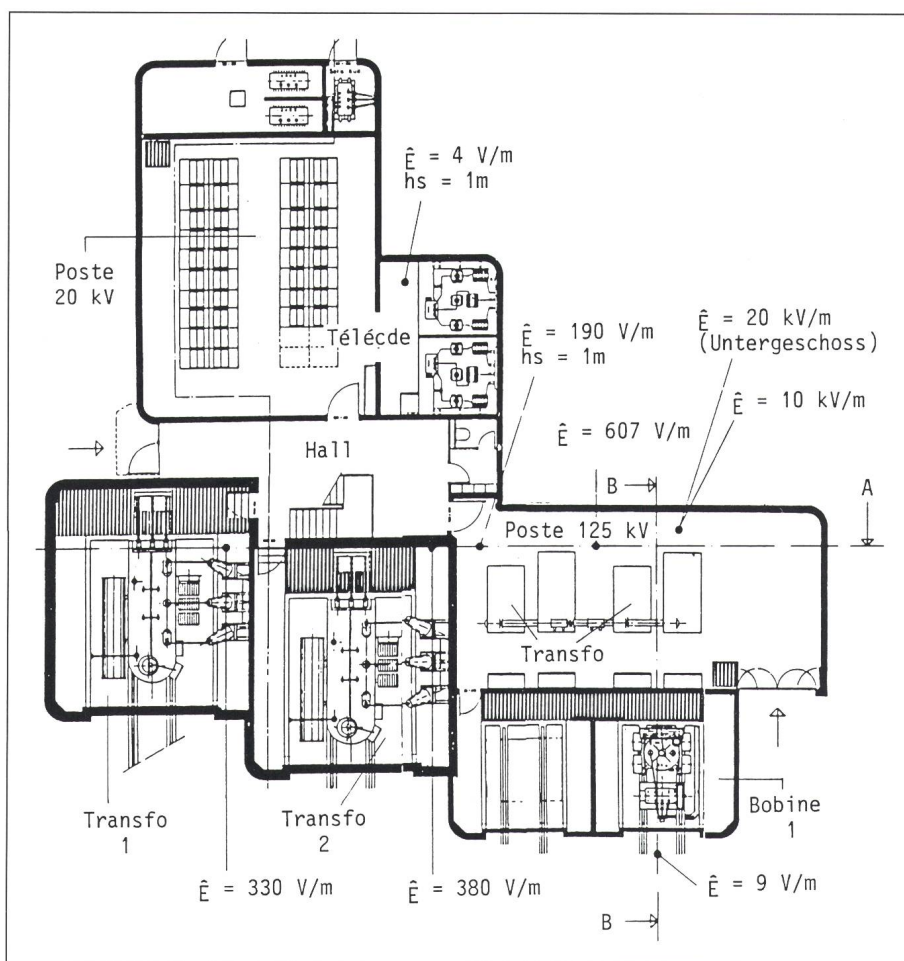
Die Existenz der zweiten Störquelle (Transformator klemmen) wird durch die Messung der Feldamplitude

bestätigt, die von 190 bis 380 V/m steigt, je mehr man sich dem Transformator nähert (d.h. sich von der gekapselten Anlage entfernt).

### Kopplungswege

Das von einem Strom erzeugte elektrische Feld kann mathematisch durch seine drei Komponenten definiert werden (elektrostatische, Induktions- und Strahlungskomponente). Bei einem elektrischen Feldstoss mit einer Eigenfrequenz von beispielsweise 10 MHz (Wellenlänge  $\lambda \approx 30$  m) wird die Strahlungskomponente bei einer Distanz von mehr als  $\lambda/2\pi$  (rund 5 m) zur Quelle sehr bedeutend. Es muss daher für einen Schutz sowohl gegen leitergebundene (z.B. Filter, Überspannungsableiter, ...) als auch gegen Induktions- und Strahlungskopplungen (Abschirmungen) gesorgt werden [3].

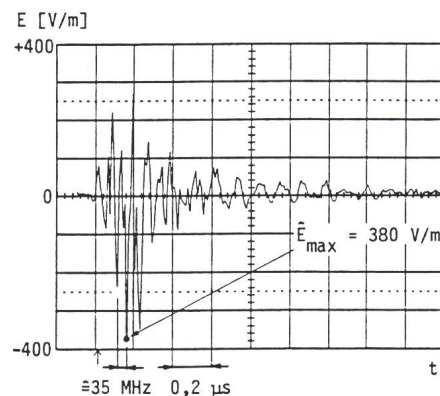
In den meisten Fällen weisen die Sekundärleitungen und die Erdsysteme bereits eine Länge von einem Viertel der Wellenlänge der Störungen auf.



**Bild 1** Amplituden des elektrischen Feldes in einer 125kV-Anlage während einer Trennerschliessung

$\hat{E}$  Maximales elektrisches Feld

$h_s$  Höhe der Breitbandantenne über Grund, bei vertikaler Polarisation



**Bild 2** Zeitlicher Verlauf des elektrischen Feldes, gemessen im Transformatorraum (Bild 1) während einer Trennerschliessung

Höhe der Antenne bei vertikaler Polarisation  $h_s = 1$  m

Für die Bestimmung der Schutzmassnahmen sind die Wellenimpedanz der Leitungen und der Anschlüsse, die Fortpflanzung, die Reflexion und der Antenneneffekt die ausschlaggebenden Parameter. Ein Erdsystem, das nur für 50 Hz ausgelegt ist, genügt nicht mehr, da seine Impedanz bei hoher Frequenz zu hoch ist [4].

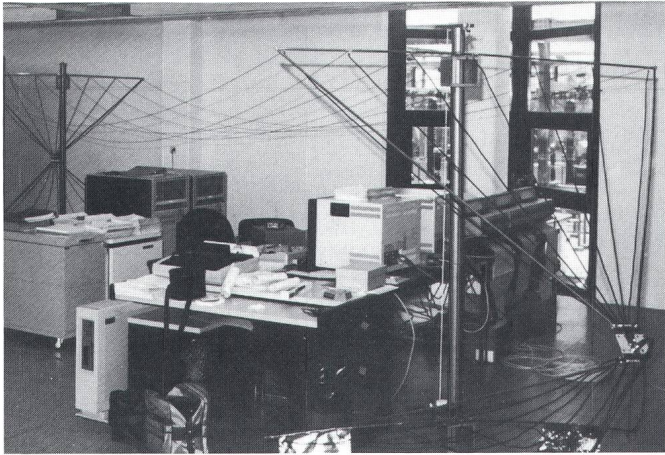
### Störpuffer

Verschiedene EMV-Normen geben Grenzwerte für die Störfestigkeit der Mess- und Steuergeräte an [5]. Es sind hier vor allem von Interesse:

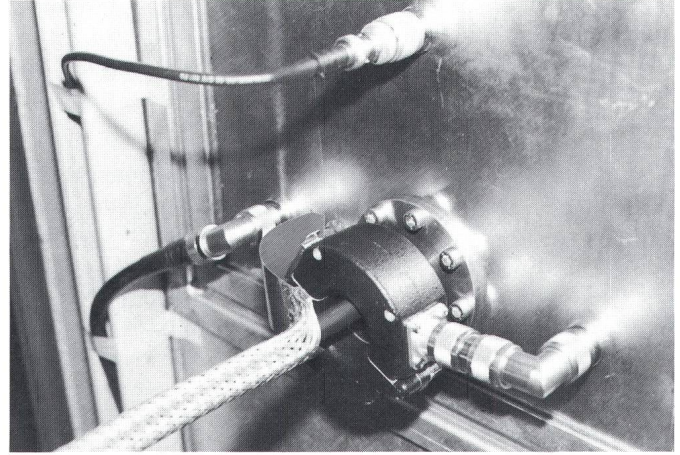
- Anforderungen bezüglich elektrostatischer Entladungen (IEC 801-2)
- Anforderungen bezüglich Beeinflussung durch elektromagnetische Felder (27 bis 500 MHz) (IEC 801-3)
- Anforderungen bezüglich Pakete von schnellen elektrischen Transienten (Burst) IEC 801-4)

Zurzeit ist eine Harmonisierung der EMV-Normen in Bearbeitung [6].

Diese Normen können nicht unbeachtet auf Einrichtungen in Hochspannungsanlagen angewendet werden. In einer Hochspannungsanlage ist das bei Schaltvorgängen abgestrahlte Feld ein Impulsfeld (Bild 2), während die Normprüfung der Störfestigkeit gegenüber dem gestrahlten Feld ein sinusförmiges Feld vorsieht. In einer Steuer- und Überwachungszentrale wurden Störfestigkeitsprüfungen nach Norm und nach einer für diesen Fall entworfenen Methode (Bild 3) durchgeführt. Die Geräte wurden sowohl einem Sinus- als auch einem Impulsfeld ausgesetzt. Die Resultate zeigen eine unterschiedliche Empfindlichkeit der Geräte je nach Feldart. Die Störfestigkeit gegenüber dem Impulsfeld («Burst») ist mindestens 10mal höher



**Bild 3** Prüfung der Empfindlichkeit störfährdeter Geräte gegenüber elektromagnetischen Sinus- und Impulsfeldern



**Bild 5** System für die Messung geschirmter Sekundärkabel mit Stromsonde am Eingang des Faradaykäfigs

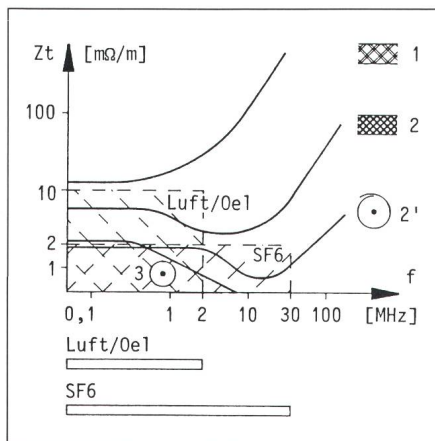
als diejenige gegenüber dem sinusförmigen Feld. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass die Amplituden im Impulsfeld wesentlich höhere Werte erreichen [1].

## Schutz gegen elektromagnetische Störungen

In den gekapselten, gasisolierten Anlagen müssen die Störquellen (Kabelköpfe, Leitungsausgänge) in kontrolliert gestörten Zonen angebracht werden [1]. Zur Verringerung der Kopplung zwischen Störquellen und Störpfer ist der äquipotentialen Erdung für hohe Frequenzen [1] und der Abschirmung der Sekundärkabel eine besondere Aufmerksamkeit zu schen-

ken. Eine allzu weitgehende Abschirmung der Geräte, die Störungen ausgesetzt sind, ist nicht nötig, eine Dämpfung von 40 dB genügt in den meisten Fällen. Es ist vorzuziehen, die verfügbaren Mittel auf eine sorgfältige Wahl und eine zweckmässige Auslegung der integrierten Leiterplatten-Layouts und der übrigen Systemteile zu konzentrieren.

In einem Pflichtenheft, das die Arbeitsgruppe ausgearbeitet hat, sind die Störfestigkeitswerte angegeben, die bei der Beschaffung der elektronischen Geräte zu beachten sind. Die Werte wurden nach dem in der Norm festgelegten Vorgehen bestimmt und tragen den gemessenen und zu erwartenden Störfeldern Rechnung. Die Resultate der grossen Zahl von Messungen in Anlagen verschiedener Art, bei allen vorkommenden Spannungen und an allen üblichen Geräten wurden zur Erstellung einer Datenbank verwertet. Als Beispiel eines Messresultats sei angeführt, dass in einer gekapselten, gasisolierten 220 kV-Anlage der gekoppelte Strom in einem Sekundärkabel einen Wert erreichen kann, der denjenigen eines Tests nach IEC 801-4 um das Vierfache überschreitet.



**Bild 4** Kopplungsimpedanz von Sekundärkabeln in Abhängigkeit von der Frequenz bei verschiedenen Abschirmungsarten

$Z_t$  Kopplungsimpedanz

$f$  Frequenz

1 Geflecht mit schwacher Überdeckung

2 Geflecht mit starker Überdeckung

2' Homogene Folie, nicht spiralförmig

3 Semirigidid Kabel

## Geschirmte Sekundärkabel

Eine Abschirmung des Kabels und seine beidseitige Erdung genügen nicht, wenn die Kopplungsimpedanz eines Sekundärkabels für Überwachung und Steuerung bei hohen Frequenzen ( $>1$  MHz) merklich ansteigt (Bild 4).

Den Problemen der Sekundärkabel wurde grosse Aufmerksamkeit geschenkt. Verschiedene im Handel erhältliche oder auf Vorschlag der Arbeitsgruppe neuentwickelte Kabel und

Anschlüsse wurden mit Hilfe einer neuen Methode getestet (Bild 5). Aufgrund dieser Arbeiten steht eine Auswahl von Material zur Verfügung, das den EMV-Anforderungen entspricht.

## Schlussbemerkungen

Die Erarbeitung eines Konzepts zum Schutz vor elektromagnetischen Störungen muss in die Projektierungsarbeiten einer neuen Hochspannungsanlage integriert werden. So kann mit nur geringen zusätzlichen Kosten eine hinreichende elektromagnetische Verträglichkeit erreicht werden. Die von der Arbeitsgruppe ausgearbeiteten Richtlinien für den Bau von Gebäuden für die Aufnahme von Hochspannungseinrichtungen und Kriterien für die Wahl der Sekundärkabel und des elektronischen Materials haben sich bewährt: Erste Messungen bei der Inbetriebnahme neuer Unterwerke bestätigten die Richtigkeit der vorgeschlagenen Massnahmen und der Materialwahlkriterien.

## Literatur

- [1] F. Chevalley et H. Sauvain: Protection des micro-calculateurs de contrôle-commande distribués dans les postes blindés SF<sub>6</sub> contre les perturbations électromagnétiques. Rapport CIGRE No. 36-05, 1988.
- [2] M. Albiez und J. Meppelink: Einkopplung von Störspannungen in geschirmte Leitungen einer Schaltanlage. Bull. SEV/VSE 80(1989)5, S. 231...237.
- [3] D. R. J. White: A handbook on electromagnetic shielding materials and performance. Germantown/Maryland, Don White Consultants Inc., 1975.
- [4] G. Champiot et P. Guillery: Pour avoir un bon réseau de terre: des règles simples pour respecter la physique de base. Rev. Gén. Electr. 70(1986)10, p. 29...32.
- [5] Compatibilité électromagnétique pour les matériels de mesure et de commande dans les processus industriels. Publications de la CEI 801-1/4, 1984/88.
- [6] G. Goldberg: Normung für die EMV. Techn. Rdsch. 9(1989)9, S. 44...48.