

**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:** 68 (1977)

**Heft:** 4

**Artikel:** Selektiver Schutz in Gleichstromversorgungen

**Autor:** Aslaksen, E. W.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-915001>

### **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:** 17.03.2025

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

# Selektiver Schutz in Gleichstromversorgungen

Von E.W. Aslaksen

621.316.12 : 621.316.91

*Gleichstromversorgungen werden auf ihre Fähigkeit, Kurzschlüsse in Zweigen abzuschalten, ohne dass die übrige Anlage unzulässig beeinflusst wird, untersucht. An Hand eines einfachen Modells wird gezeigt, wie die Verteilung dimensioniert werden muss, damit eine vorgegebene Spannungstoleranz nicht unterschritten wird. Die Sicherungen, die unter dieser Bedingung abgeschmolzen werden können, sind wesentlich grösser als bei einer gleich grossen, statischen Wechselstromversorgung.*

*L'auteur examine le fait que des alimentations en courant continu peuvent déclencher sélectivement des courts-circuits dans des dérivations, sans que le reste de l'installation ne soit inadmissiblement perturbé. A l'aide d'un modèle simple, il montre comment la dérivation doit être dimensionnée pour que la tension ne tombe pas au-dessous d'une valeur de tolérance prescrite. Les fusibles qui peuvent fondre dans cette condition sont nettement plus forts que dans le cas d'une alimentation statique en courant alternatif de même puissance.*

## 1. Problemstellung

In der Elektrotechnik gibt es mehrere Beispiele von Systemen, deren Funktionstüchtigkeit von einer statistischen Verteilung ihrer Belastung abhängig ist. Ein Telefonsystem kann nur einen Bruchteil der Abonnenten gleichzeitig bedienen und ein Stromverteilungsnetz nur einen Teil aller angeschlossenen Verbraucher gleichzeitig speisen. Das letztere Problem ist bei den Hochspannungsnetzen eingehend studiert worden, und die Sicherheit des Systems als Funktion des Betriebszustandes bildet ein wesentliches Kriterium für die Netzführung.

Bei gesicherten Stromversorgungen (USV-Anlagen)<sup>1)</sup> treten ähnliche Probleme auf, weil, obwohl die Systeme meistens relativ klein und einfach sind, erstens die Anforderungen an die Spannungskonstanz sehr hart sind (z. B.  $\pm 1\%$  statisch,  $\pm 15\%$  dynamisch), und zweitens das dynamische Verhalten der Quellen viel schlechter ist, als dies beim Netz der Fall ist. Bei allen statischen USV-Anlagen ist die gesicherte Stromversorgung eine Gleichstromversorgung; ferner können viele Verbraucher, wie z. B. alle jene der Elektronik, direkt von der Gleichstromversorgung gespeist werden, ohne den Umweg

<sup>1)</sup> Unterbrechungsfreie Stromversorgungsanlagen.

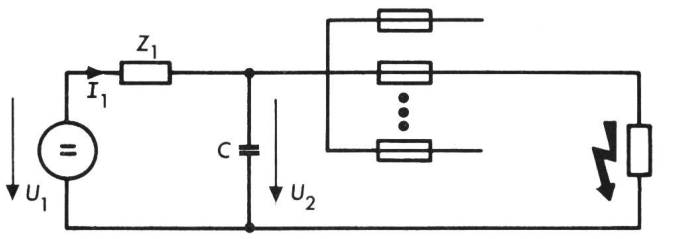


Fig. 1 Modell einer Gleichstromversorgung

Die Hauptkomponenten sind eine gesicherte Gleichstromquelle mit Nennspannung  $U_{1n}$ , Nennstrom  $I_{1n}$  und Innenwiderstand  $Z_1$ , ein Kondensator  $C$ , um die Spannung bei Stossbelastung zu stützen und eine durch Sicherungen angedeutete Verteilung

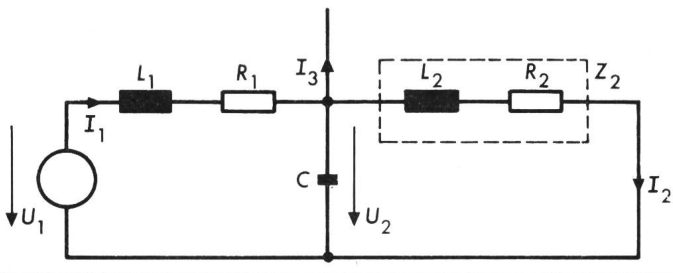


Fig. 2 Vereinfachtes, äquivalentes Schaltbild im Falle eines Kurzschlusses bei einem Verbraucher

Die Kurzschlussimpedanz  $Z_2$  ist im wesentlichen die Leitungsimpedanz

über Wechselstrom zu gehen. Deshalb kommt den Gleichstromversorgungen eine immer grössere Bedeutung zu. Es ist der Zweck dieser Arbeit, einige einfache Überlegungen bezüglich deren Sicherheit zu machen.

Als Modell diene ein System, bestehend aus einer Quelle mit Leerlaufspannung  $U_1$  und innerer Impedanz  $Z_1$  (Fig. 1), einer Sammelschiene mit der Kapazität  $C$  und  $n$  Verbrauchern, die an der Sammelschiene über Sicherungen angeschlossen sind. Die Quelle ist typischerweise ein Gleichrichter oder ein Gleichstromsteller. Entsteht ein Kurzschluss in einem der Verbraucher, so wird die Spannung  $U_2$  an der Sammelschiene einen Einbruch erleiden, bis die Sicherung des Verbrauchers abgeschmolzen ist. Wie lange und wie tief der Einbruch ist, hängt von den Impedanzen und, was interessant ist, vom Betriebszustand des Systems ab. Um die Problemstellung zu konkretisieren, wird vorausgesetzt, dass die Quelle einen Nennstrom von  $I_{1n}$  und einen maximal zulässigen Strom von  $I_{1,max}$  hat. Ferner wird ein sicherer Betriebszustand des Systems dadurch definiert, dass im Falle eines Kurzschlusses der Strom  $I_1 \leq I_{1,max}$  und  $U_2 \geq \alpha U_{2n}$  bleiben. Der Faktor  $\alpha$  liegt meistens zwischen 0,95 und 0,6, je nach Auslegung des Systems und Spannungsempfindlichkeit der Verbraucher. Das Problem besteht darin, die sicheren Betriebszustände eines gegebenen Systems zu ermitteln.

## 2. Mathematische Formulierung

Das vereinfachte, äquivalente Schaltbild ist in Fig. 2 dargestellt. Die Quellenimpedanz  $Z_1$  besteht aus einer Induktivität  $L_1$  und einem Widerstand  $R_1$ , und die Impedanz  $Z_2$  des Verbraucherkreises mit dem Kurzschluss aus  $L_2$  und  $R_2$ . Um eindeutige und einfache Verhältnisse zu erhalten, sei vorausgesetzt, dass der Strom  $I_2$  vor dem Kurzschluss gleich null war, und dass der gesamte Laststrom an der Sammelschiene  $I_3$  beträgt und während des Kurzschlussvorganges konstant bleibt. Ferner werden die Ströme bezüglich des Nennstroms der Quelle  $I_{1n}$  normiert, die Spannungen bezüglich der Nennspannung  $U_{1n}$ , alle Impedanzen bezüglich der Impedanz  $Z_n = U_{1n}/I_{1n}$ ; als Zeiteinheit diene 1 ms. Mit  $X_C$ ,  $X_{L1}$  und  $X_{L2}$  bei 1 kHz erhält man die drei Differentialgleichungen

$$\frac{dU_2}{dt} = 2\pi X_C (I_1 - I_3 - I_2)$$

$$\frac{dI_1}{dt} = \frac{2\pi}{X_{L1}} (U_1 - U_2 - I_1 R_1)$$

$$\frac{dI_2}{dt} = \frac{2\pi}{X_{L2}} (U_2 - I_2 R_2)$$

wobei alle Grössen dimensionslos sind.

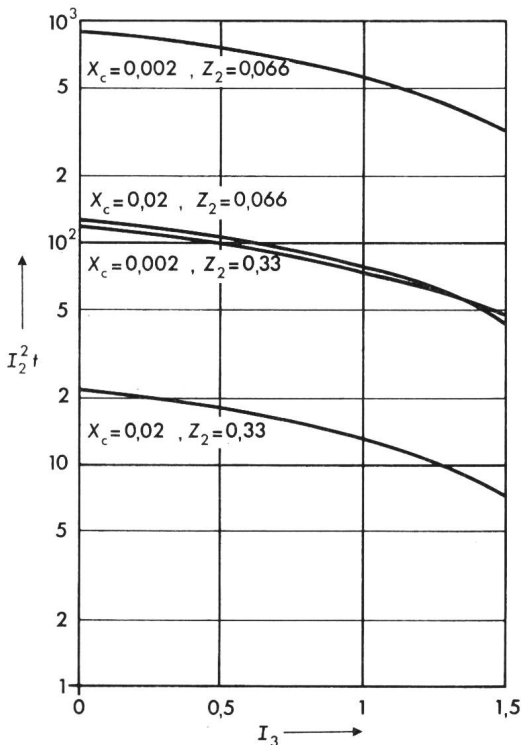


Fig. 3 Das durch den Kurzschluss aufgenommene  $I_2^2 t$ -Produkt als Funktion des Belastungsstromes  $I_3$   
Parameter sind die bezogenen Grössen des Kondensators und der Leitungsimpedanz  $Z_2$

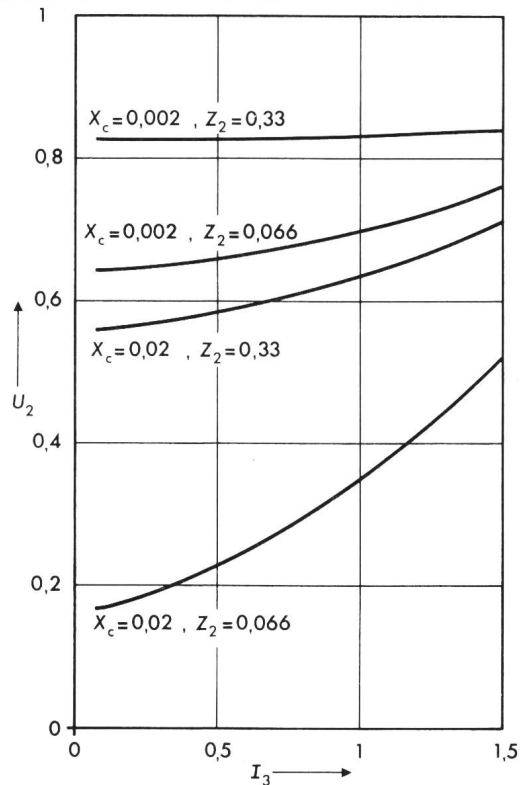


Fig. 4 Minimalwert der Sammelschienenspannung  $U_2$  (Spannungseinbruch) bei einem Kurzschluss über einer Impedanz  $Z_2$ , als Funktion des Belastungsstromes für die gleichen Parameterwerte wie in Figur 3

Für die Darstellung der Resultate ergibt sich eine weitere Vereinfachung, wenn die Tatsache benützt wird, dass für Kabel, die in den meisten Fällen von solchen Gleichstromverteilungen in Frage kommen,  $X_L$  einiges grösser als  $R$  ist. Dies erlaubt es, den Betrag der Leitungsimpedanz,

$$Z_2 = (X_{L2}^2 + R_2^2)^{1/2},$$

als Parameter zu verwenden, ohne den Phasenwinkel explizit zu berücksichtigen.

### 3. Numerische Resultate

Als konkrete Grundlage für die numerische Berechnung wurde ein Tdc-Kabel  $2 \times 16 \text{ mm}^2$ , Typ Soflex genommen, dessen Daten  $X_L = 3,33 \text{ m}\Omega \text{ m}^{-1}$ , bei 1 kHz, sowie  $R = 1,1 \text{ m}\Omega \text{ m}^{-1}$  betragen, wobei die Stromverdrängung nicht berücksichtigt worden ist. Annähernd ist also  $X_{L2}/R_2 \approx 3$ , so dass die erwähnte Bedingung erfüllt ist. Ferner seien  $I_{1, \max} = 2$ ,  $R_1 = 0,05$  sowie  $X_{L1} = 0,5$ , was realistische Werte darstellen dürfte.

Für diesen Fall wurde das Differentialgleichungssystem des vorigen Abschnitts numerisch gelöst, und zwar mit dem Laststrom  $I_3$  als unabhängige Variable und den zwei Grössen  $X_C$  und  $Z_2$  als Parameter. Die sicheren Betriebszustände sind durch die zwei Bedingungen  $I_1 \leq I_{1, \max}$  und  $U_2 \geq \alpha U_{2n}$  definiert. Für die Darstellung der berechneten Resultate ist es zweckmässiger, den normierten  $I_2^2 t$ -Wert, der infolge des Kurzschlusses fliesst, bis die Bedingung  $I_1 = I_{1, \max}$  erfüllt ist, als abhängige Variable zu verwenden, da diese Grösse für die Bemessung der grössten, zulässigen Sicherung von Bedeutung ist.

Für die Abschmelzzeiten, die hier in Frage kommen (0,5...2 ms), ist der  $I^2 t$ -Wert einer Sicherung annähernd konstant. Er kann auf den Wert  $I_n^2 t$  für  $t = 1000 \text{ ms}$  bezogen werden:

$$\gamma = \frac{I^2 t \text{ [bis zum Abschmelzen]}}{I_n^2 \cdot 1000} \quad \text{[in A und ms]}$$

wobei  $I_n$  der Nennstrom der Sicherung ist. Der Faktor  $\gamma$  ist von der Art der Sicherung abhängig; für ultraflinke Sicherungen klein, für träge Sicherungen gross. Für flinke Sicherungen, die in Gleichstromversorgungen oft eingesetzt werden, mag  $\gamma \approx 0,3$  betragen. Eine derartige Sicherung mit normiertem Nennstrom 1 hat somit einen normierten  $I^2 t$ -Wert von 300.

Fig. 3 zeigt den normierten  $I_2^2 t$ -Wert als Funktion des Laststroms  $I_3$  für vier verschiedene Wertpaare der Parameter  $X_C$  und  $Z_2$ . Erwartungsgemäss wird der  $I_2^2 t$ -Wert grösser, je grösser der Kondensator und je kleiner die Kurzschlussimpedanz. Mit zunehmendem Laststrom reduziert sich das Sicherungsabschmelzvermögen des Systems; vor allem sieht man, dass zwischen Nennlast und 50% Überlast eine Reduktion des  $I_2^2 t$ -Wertes auf etwa die Hälfte eintritt. Dies kann bei der Auslegung eines Versorgungssystems für Verbraucher mit starken Überlastspitzen eine Rolle spielen. Bemerkenswert an Fig. 3 sind aber auch die relativ grossen  $I_2^2 t$ -Werte. Der Fall  $X_C = 0,002$ ,  $Z_2 = 0,066$  ist keineswegs abnormal, und trotzdem ist es immer möglich, eine Sicherung mit Nennstrom  $I_{1n}$  abzuschmelzen.

In Fig. 4 sind die zugehörigen Spannungseinbrüche an der Sammelschiene dargestellt. Greift man wiederum den Fall

$X_C = 0,002$ ,  $Z_2 = 0,066$  heraus und vergleicht mit dem vorher Gesagten, so ist ersichtlich, dass das Abschmelzen einer Sicherung mit Nennstrom  $I_{1n}$  nie mehr als 25 % Spannungseinbruch verursacht. Vergleicht man dies mit den heute üblichen, statischen Wechselstromversorgungen, so ist festzustellen, dass die Gleichstromversorgung mindestens das dreifache Abschmelzvermögen besitzt. Der Grund dafür ist, dass es viel einfacher

ist, Gleichstrom als Wechselstrom zu speichern. Es empfiehlt sich deshalb, bei USV-Anlagen die Verteilung so weit möglich mittels Gleichstrom vorzunehmen.

#### Adresse des Autors

Erik W. Aslaksen, dipl. Ing. ETHZ, technischer Direktor Gutor AG, 5430 Wettingen.

## Commission Electrotechnique Internationale (CEI)

### Sitzung des SC 34B, Culots et douilles, vom 9. und 10. Dezember 1976 in Zürich

Das SC 34B tagte unter dem Vorsitz von B. I. Folcker (S) am 9. und 10. Dezember 1976. An der Sitzung nahmen 25 Delegierte aus 11 Ländern teil.

Zunächst wurde darüber orientiert, dass durch Beschluss des Comité d'Action vom September 1975 in Den Haag das frühere SC 23D, Douilles, in das SC 34B, Culots et douilles, eingegliedert wurde. Das Sekretariat des neuen, erweiterten SC 34B übernahm das holländische Nationalkomitee. Zum neuen Vorsitzenden wurde B. I. Folcker gewählt.

Entsprechend der Zusammensetzung der beiden Sous-Comités enthielt die umfangreiche Traktandenliste noch einige wichtige Dokumente des SC 23D. Sie konnte nur durch Festsetzung von Prioritäten und Verschiebung einiger Traktanden auf die nächste Sitzung genehmigt werden. Das Protokoll der Sitzung des SC 23D vom Juli 1974 in Brüssel wurde auch an dieser Sitzung genehmigt. Die aus diesem Protokoll und der Zusammensetzung der Sous-Comités hervorgehenden Aufgaben wurden entsprechend dem Dokument *34B(Secrétariat)153* zur Kenntnis genommen.

Es wurde ferner über die Herausgabe der CEI-Publikation 238 (Deuxième édition, 1975) = CEE-Publikation 3 (Troisième édition, 1975), und ihre Modification Nr. 1 (1976), Douilles à vis Edison pour lampes, durch den Vorsitzenden berichtet. Von den auf der Traktandenliste stehenden Änderungsvorschlägen zur Publikation 238 wurde nur über die Befestigungsvorrichtung der

Schirme beraten. Eine Arbeitsgruppe wurde beauftragt, dieses Problem zu lösen. Die weiteren Änderungsvorschläge zu dieser Publikation wurden auf die nächste Sitzung des SC 34B verschoben.

Grosse Aufmerksamkeit und relativ viel Zeit wurde dem Dokument *23D(Secrétariat)6*, Douilles à baïonnette, gewidmet. Es wurde auf Grund einer Zusammenstellung der vielen schriftlichen Bemerkungen ausführlich besprochen. Als Resultat der Diskussion wird ein neues Sekretariatsdokument ausgearbeitet und zur Stellungnahme verteilt.

Das Dokument *23D(Secrétariat)10*, Report with regard to lampholders which have no exposed live parts when the lamp is removed, wurde auf Grund der Antworten der Nationalkomitees auf eine Umfrage zusammengestellt. Sie führte jedoch zu keinem Resultat betreffend einer Konstruktionsänderung oder neuen Konstruktion der Lampenfassungen in Richtung höherer Sicherheit. Es wurde nur beschlossen, den Report an das CE 34, Lampes et équipements associés, und an das CE 64, Installations électriques des bâtiments, zur Orientierung weiterzuleiten.

Die Diskussion über das Dokument *34B(Secrétariat)149*, Revision of IEC Publication 400, Lampholders and starterholders for tubular fluorescent lamps, wurde auf die nächste Sitzung verschoben.

Die nächste Sitzung des SC 34B wird Ende September 1977 zusammen mit den anderen Sous-Comités des CE 34 stattfinden.

JM

## Briefe an die Redaktion – Lettres à la rédaction

### « Isoliertraversen für Höchstspannungsleitungen »

[Bull. SEV/VSE 67(1976)6, S. 277..289]

Lettre du 16 août 1976

La lecture des articles sur l'utilisation des consoles isolantes pour la construction des lignes électriques aériennes suisses, m'a déterminé à prendre la position suivante sur les problèmes soulevés.

#### 1. Le caractère instable de la console isolante préconisée

Le type de console tournante présentée produit des déviations du point d'accrochage des conducteurs proportionnelles au nombre existant des pylônes d'alignement dans un canton d'ancrage. Les exemples numériques de l'article de M. Beck en sont des témoins suggestifs. Ces déviations sont dangereuses à cause de la diminution des distances entre les conducteurs et le fût du pylône devenant plus petites que les distances permises par raison de sécurité.

Pour éviter cet inconvénient, il faut augmenter le nombre de pylônes d'ancrage au delà du nombre normalement utilisé sur une ligne équipée de chaînes d'isolateurs, ce qui influencera en sens négatif le coût des lignes. Voilà pourquoi les économies

inscrites dans l'article de B. Krumm ( $\approx 10\%$ ) sont exagérées, et le fonctionnement continu de la ligne d'une fiabilité très réduite.

L'auteur se réfère ensuite à la publication de A. Cojan [1] dont il rappelle les calculs, et il reprend la proposition d'une console selon fig. 1 qui s'y trouve (rééd.).

#### 2. Console isolante en matériaux synthétiques

B. Krumm rappelle dans son article la possibilité de réaliser la console isolante en matériaux synthétiques, mais dans les articles qui suivent, référence est faite seulement à des consoles isolantes en porcelaine. Il faut mentionner que des isolateurs en matériaux synthétiques supérieurs aux isolateurs classiques en porcelaine du point de vue mécanique et électrique ont fait apparition, dans la dernière décennie, tant en Europe qu'en Amérique.

#### 3. La possibilité d'adoption d'un type de pylône nouveau

B. Krumm fait une comparaison entre les silhouettes des lignes conventionnelles et le pylône construit pour recevoir les consoles isolantes. Il faut noter qu'en utilisant la console du type nouveau et un nouveau type de pylône, on peut obtenir un couloir encore plus étroit et donc des économies supplémentaires. De par sa stabilité, la console n'a pas besoin d'un grand écart entre les conducteurs et le fût du pylône, comme c'est le cas quand on utilise le type de console proposé pour les lignes suisses. En supplément, pour diminuer l'effort longitudinal, on peut