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: 71 (1980)

Heft: 2

Artikel: Gedanken zur elektromagnetischen Verträglichkeit und zu den Grenzen des Wachstums

Autor: Kuhnert, E.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-905198

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: 08.08.2025

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

Gedanken zur elektromagnetischen Verträglichkeit und zu den Grenzen des Wachstums

Von E. Kuhnert

1. Allgemeines

Die Beeinflussungstechnik ist gleichzeitig mit der Einführung der grossen Übertragungssysteme entwickelt worden. Als Übertragungssysteme kommen hier sowohl die Fernleitungen zur Übertragung von elektrischer Energie in Betracht wie auch die Fernleitungen zur Informationsübertragung. Obwohl im Fernmeldewesen die Entwicklung einige Jahre früher eingesetzt hatte als in der Energietechnik, trat die entscheidende Entwicklungsphase – nämlich der Bau ausgedehnter Fernleitungsnetze – etwa gleichzeitig in den zwanziger Jahren ein. In dieser Zeit wurden auch die grundlegenden Arbeiten von Pollaczek, Klewe, Rüdenberg [1, 2, 3, 4] und vielen anderen Fachleuten veröffentlicht, so dass wir sagen können, die elektrische Beeinflussungstechnik ist etwa 60 Jahre alt. Sie hat heute noch keineswegs ihren Abschluss gefunden. Immer neue Probleme zwingt die fortschreitende Technisierung auf.

Die Induzierung von ausgedehnten Rohrleitungssystemen durch Kurzschluss- und Betriebsströme gehört hierzu ebenso wie die Beeinflussung von Geräten der Informationsverarbeitung durch Oberschwingungen in den Verteilungsnetzen, die Beeinflussung von Datensystemen einschliesslich Computeranlagen und die Beeinflussung von Mess- und Steuerleitungen durch ohmsche und induktive Kopplung durch netzfrequente Ströme oder transiente Ausgleichsvorgänge beim Schalten von Leistungsschaltern und Trennern in ausgedehnten Hochspannungsanlagen.

Ausserdem lässt sich ein Ansteigen der beeinflussenden Grössen feststellen. Durch das rasche Wachstum des Elektroenergiebedarfs und die Tendenz, möglichst viele Maschinensätze an den verfügbaren Kraftwerkstandorten aufzustellen, ergeben sich starke Konzentrationen der Kurzschlussleistung in Kraftwerksnähe.

Die Beeinflussungsempfindlichkeit neuer Systeme ist in den letzten Jahren ebenfalls erheblich gewachsen. Die Ablösung der gesteuerten Elektronenleitung im Gasraum der Elektronenröhre durch die Elektronenleitung im kristallinen Festkörper hat zu dieser Entwicklung beigetragen. Bedeutet doch schon ein sehr kurzzeitiger Spannungsimpuls für diese elektronischen Bauteile eine lebensbedrohliche Gefährdung. Aber auch alle anderen elektronischen Bauteile sind durch die weit fortgeschrittene Miniaturisierung und die verwendeten kleinen Betriebsspannungen sehr viel empfindlicher gegen Beeinflussung durch Fremdspannungen geworden. Nicht zuletzt trägt auch der niedrige Leistungspegel, mit dem elektronische Geräte heute arbeiten, und die hohe Verstärkung zwischen Peripherie-Eingang und -Ausgang zu dieser Empfindlichkeitssteigerung bei.

Als weiteren bedeutsamen Faktor in dieser Entwicklung müssen wir die zunehmende Vermaschung zwischen Informations- und Energiesystemen sehen. Der gegebene Entwicklungsraum wird zunehmend mit diesen Systemen ausgefüllt. Da die Versorgung mit Energie und Kommunikation sich nach den Anforderungen der Bevölkerung richtet, ist die Verdichtung der Systeme vorprogrammiert.

2. Zukünftige Entwicklung

Konsequent müssen wir uns die Fragen vorlegen:

– Wie wird die weitere Entwicklung verlaufen, und

– was können bzw. müssen wir jetzt unternehmen, um die zukünftige Entwicklung positiv zu gestalten?

Positive Gestaltung der zukünftigen Entwicklung heisst an oberster Rangstelle in der Beeinflussungstechnik:

– Ausschöpfung aller Möglichkeiten einer neuen Technologie, um die Beeinflussungsfestigkeit von vornherein zu erhöhen, und deshalb

– Abkehr vom Prioritätsprinzip bei der Festlegung der Entwicklungsziele für neue Systeme und Berücksichtigung der absehbaren Veränderungen bei den beeinflussenden Systemen.

Eine solche Auffassung muss auf der anderen Seite von der Gewissheit ausgehen können, dass alle Anstrengungen gemacht werden, die primären Beeinflussungsgrössen in den Übertragungssystemen der Energieversorgung in ihrem weiteren Wachstum auf das unvermeidbare Mass zu begrenzen.

Um auf diese Weise zu Bedingungen zu kommen, die für alle Seiten tragbar sind, müssen wir die Grenzen des Wachstums der hier in Wechselwirkung stehenden Systeme aufzeigen, um dann die technisch-wirtschaftlich beste Gesamtlösung herauszufinden und für einen gerechten Ausgleich aller Interessen sorgen zu können. Vergessen wir dabei nicht, dass wir alle – Energieversorgung wie Verwaltungen und Industrie – vor die Aufgabe zugestellt sind, unsere Abnehmer (Kunden) optimal zu versorgen.

Die Forderung für die zukünftige Entwicklung heisst bei der Energieversorgung

– Begrenzung aller beeinflussenden Faktoren auf ein technisch-wirtschaftlich vertretbares Mass;

bei den Kommunikationssystemen heisst sie

– Erhöhung der Beeinflussungsfestigkeit durch Einsatz integrierter Bauelemente, um die Zahl der durch Sondermassnahmen zu schützenden Anlagen drastisch zu reduzieren und nur auf wenige Einzelfälle zu beschränken.

Für alle Systeme muss oberstes Gebot sein

– die Betriebssicherheit und Funktionstüchtigkeit auf dem höchstmöglichen Niveau zu gewährleisten.

Diese Ziele lassen sich nur durch kooperative Anstrengungen aller Partner verwirklichen. Heute werden viele Bedenken gegen diesen Vorschlag erhoben. Wir stehen aber jetzt am Beginn einer grosstechnischen Entwicklung, die uns ein solches Verhalten eines Tages unter erheblichen finanziellen Opfern aufzwingen wird, wenn wir nicht bald die Chance ergreifen und die sich abzeichnende Entwicklung in die Bahn lenken, die insgesamt für alle Beteiligten geringere Aufwendungen erwarten lässt. Prüfen wir, welche Grenzen des Wachstums zu erkennen sind und welche Mindestforderungen daraus für den Bereich der Beeinflussungstechnik abzuleiten sind. Dabei werden die Gegebenheiten in Deutschland betrachtet.

In der Energieversorgung ist auch weiterhin die Entwicklung durch die Aufgabe charakterisiert, die Bedarfsdeckung

sicherzustellen. Anhaltende Nachfrage nach elektrischer Energie veranlasst weitere Kraftwerksbauten. Der Ausbau der Transport- und Verteilungsnetze richtet sich nach der Kraftwerksgrösse, den möglichen Standorten und der Versorgungsdichte.

Als Tendenzen sind bei der Entwicklung der Verteilungsnetze die Verkürzung der Versorgungsradien im Verteilungsbereich durch Netztrennung und Bildung neuer Einspeisepunkte und Teilnetze klar zu erkennen. Damit ergibt sich eine Begrenzung der Kurzschlussleistung, des Erdfehlerstromes bzw. des zu kompensierenden Ladestromes (Reststrom) auf Werte, wie sie seit vielen Jahren üblich sind. Die Netzaufteilung führt zu einem Absinken der Fehlerwahrscheinlichkeit [5], weil die Verminderung der Anzahl von Elementen bei gleichbleibender Zuverlässigkeit des einzelnen Elements stets zu einer Reduzierung der Fehlerwahrscheinlichkeit des betrachteten Systems führt.

3. Technische Gegebenheiten

Ein Cigre-Bericht [6] der deutschen Verbundunternehmen zeigt, dass in den Höchstspannungsnetzen, die dem Transport grosser Energiemengen dienen, als oberste Spannungsebene 380 kV (420 kV)[1]) beibehalten werden können, wenn die Kraftwerksstandorte verbrauchernah (wie vorgesehen und technisch realisierbar!) ausgewählt werden können. Die Modelluntersuchungen greifen als Grenzbetrachtung Belastungswerte auf, die erst nach dem Jahr 2000 auftreten werden, und prüfen die Übertragungsmöglichkeiten und die zu erwartenden Kurzschlussleistungen. Auch Gärtner [7] kommt in seiner grundsätzlichen Überlegung zu gleichen Ergebnissen. Der in deutschen Höchstspannungsnetzen bereits heute eingeführte und bewährte Mehrschienenbetrieb erlaubt auch bei den angenommenen hohen Last- und Erzeugungsdichten, die Kurzschlußströme auf 75 kA zu begrenzen (Fig. 1); für diesen Werts werden bereits heute neue 420-kV-Anlagen ausgelegt. Um die einpoligen Kurzschlußströme niedrig zu halten, werden entsprechend wenige Sternpunkte geerdet und auch Netze gleicher Sternpunktbehandlung zunehmend über Volltransformatoren gekuppelt. Die Sternpunkte der Maschinentransformatoren werden in der Regel nicht direkt geerdet, gegebenenfalls werden Sternpunktdrosseln oder Schnellerder eingesetzt. Das Profil des Erdkurzschlußstromes entlang einer Leitung zeigt fallende Tendenz. Trägt man die Werte für den Erdkurzschlußstrom über der Entfernung vom Netzknoten auf, so ergeben sich Hyperbeln. Ein vereinfachtes Rechenverfahren ist durch Lappe und Neumann [8] angegeben worden. Hiermit können die Grenzen möglicher Beeinflussungen abgeschätzt werden. Auch sie erreichen obere Grenzwerte. Man kann das leicht nachweisen, indem man die Funktion $J_{k1p} = f(1/x)$ mit der Länge der Näherung multipliziert.

Auf Hochspannungsfreileitungen montierte Erdseile, die dem Blitzschutz dienen, begünstigen bei entsprechend guter Leitfähigkeit den Reduktionsfaktor, wobei auf die zusätzlichen Reduktionsfaktoren in der Nähe der Fehlerstelle und der Umspannwerke hinzuweisen ist. Hier hat die Energieversorgung durch das Auflegen gut leitfähiger Erdseile im letzten Jahrzehnt beachtliche Leistungen vollbracht und eine wirksame Begrenzung des Wachstums der Beeinflussung auf praktisch allen Hochspannungsleitungen in Netzen mit Sternpunkterdung herbeigeführt. Ich sehe dies als integrierte Schutzmassnahme im beeinflussenden System an. Sie ist mit Einführung der starren Sternpunkterdung praktisch überall durchgeführt worden, auch dort wo noch keine Beeinflussung fremder Anlagen vorhanden war und damit die Priorität bei der Energieversorgung lag. Mit dieser Massnahme sind die Unternehmen der Entwicklung weit vorausgeeilt und haben einen anerkennenswerten Beitrag geleistet.

Oberschwingungen in den Netzen der Energieversorgung gewinnen zunehmendes Interesse. Die Problematik ist vielschichtig, insbesondere weil hier Erzeuger, Verstärker, Verteiler und Beeinflusste nicht immer eindeutig zuzuordnen sind. Schwierig ist die Abschätzung zukünftiger Oberschwingungsanteile, die durch eine Vielzahl von Verbrauchsgeräten im Netz erzeugt werden können und die sich teilweise auslöschend oder verstärkend im Netz überlagern können. Über die Möglichkeiten zur Bestimmung der frequenzabhängigen Netzimpedanzen wurde jüngst von Gretsch und Krost [9] berichtet. Es ist dies ein wichtiger Beitrag zur Vorhersage der Grenzen des Wachstums; auch können damit Massnahmen angegeben werden, die einen Wildwuchs verhindern. Eine zu hohe Freigabe von oberschwingungserzeugenden Leistungen könnte starke Auswirkungen auf andere Systeme oder auch Rückwirkungen auf die eigene Funktion dieser Geräte haben. Ganz so einfach, wie Heumann, Schulz und Schwarz [10] die Netzrückwirkungen durch Zentralkompensation und zentrale Filterkreise beherrschen wollen, ist das Bedämpfen der Oberschwingungen in den Netzen nicht. Die Industrie ist aufgerufen, einerseits Geräte herzustellen, die möglichst kleine Oberschwingungsströme in das Versorgungsnetz abgeben, anderseits aber auch die Oberschwingungsempfindlichkeit der Verbrauchsgeräte besonders im Kommunikationsbereich herabzusetzen.

Es sind unterschiedliche Maßstäbe anzuwenden bei der Festlegung von Grenzwerten für die Oberschwingungserzeu-

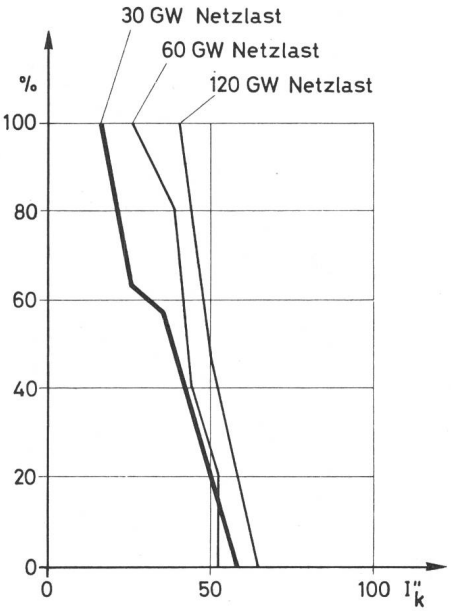

Fig. 1 Summenhäufigkeitsverteilung der Kurzschlußströme im 420-kV-Netz

Bei Einschienenbetrieb in allen Stationen
Bei Mehrschienenbetrieb

[1]) Gemäss Bezeichnung nach IEC, die die Netze nach der höchsten zulässigen Betriebsspannung benennt.

gung durch Einzelgeräte und für die Beeinflussungsfestigkeit, da mit unterschiedlichen Resonanzanregungen bei bestimmten Frequenzen zu rechnen ist. Am Beispiel der Geräte der Unterhaltungselektronik kann deutlich gemacht werden, dass eine integrierte Schutzmassnahme technisch-wirtschaftlich vernünftig zu verwirklichen ist, sofern der Konstrukteur von vornherein ein beeinflussungsfestes Gerät konzipiert. Die Kosten für nachträglich anzubringende Einzelmassnahmen stehen in keinem Verhältnis zu den Kosten einer im Gerät integrierten Schutzmassnahme, besonders wenn es sich um Großserienfertigung handelt.

Auch bei der Entwicklung neuer Fernmeldesysteme sollte man den Gedanken der integrierten Schutzmassnahme aufgreifen. Es handelt sich hier ebenfalls um Systeme, deren Komponenten in Großserien gefertigt und zusammengefügt werden. Vor Jahrzehnten haben wir beim Telefon als integrierten Schutz gegen Knallgeräusche den Gehörschutzgleichrichter eingeführt. Er gehört heute zur Grundausrüstung jedes Telefonapparates. Man erinnere sich bitte, dass früher ganze Ortsnetze mit diesen Gehörschutzgleichrichtern nachgerüstet werden mussten, und vergleiche den Aufwand für den integrierten Schutz mit dem Kostenaufwand für eine solche Nachrüstung bei den heutigen Lohnkosten. Hat man diese Massnahme ursprünglich als Schutz gegen Knallgeräusche eingesetzt, die aus der Beeinflussung durch Energieanlagen herrühren [11], so wurde inzwischen deren Wert auch bei atmosphärischen Überspannungen erkannt, und diese sind eben viel zahlreicher als beeinflussende Störungen in den Netzen der Energieversorgung.

So könnten geeignete Massnahmen als integrierter Schutz gegen Spannungen aus der Kurzzeitbeeinflussung auch dazu dienen, die oft sehr viel stärkeren Auswirkungen atmosphärischer Überspannungen wirksam zu begrenzen. Bei der grossen Stückzahl wäre eine spürbare Kostendegression festzustellen, so dass eine Kosten/Nutzen-Analyse sicher für den integrierten Schutz sprechen würde. Neben der grösseren Beeinflussungsfestigkeit und damit Betriebssicherheit wäre vor allem eine Reduzierung der Beeinflussungsfälle insgesamt in die Betrachtung einzubeziehen, wodurch die dann noch verbleibenden seltenen Sondermassnahmen übersichtlicher würden.

Als integrierte Schutzmassnahmen kommen z.B. erhöhte Spannungsfestigkeit der Geräte und Überspannungsableiter [14], aber auch Unterteilung durch galvanische Trennung in Betracht. Besonders dort, wo zukünftig die Elektronik eingesetzt wird, oder gar bei Einführung von Computersteuerungen, die an der Peripherie einen sorgfältigen Überspannungsschutz und galvanische Trennung erfordern, sollte rechtzeitig die Beeinflussungssicherheit geprüft und auf einen Wert festgelegt werden, der ausreichend ist, um die Mehrzahl üblicher atmosphärischer und netzfrequenter Beeinflussungen unschädlich zu machen.

Um auch hier die Grenzen des Wachstums abzuschätzen, greife ich auf einen Beitrag von Sanden [12] zurück: Er geht davon aus, dass man an jedem Arbeitsplatz in jedem Raum ein Telefon[2]) haben wird. Das heisst zwei Telefone je Einwohner oder 125 Mio Telefone in Deutschland für die Vollversorgung. Da wir hiervon mit 0,34 Telefonen je Einwohner (insgesamt 20 Mio Telefone) noch weit entfernt sind, erkennt man das beachtliche Potential, das in einer solchen Entwicklung steckt.

Zur Realisierung der zukünftigen Entwicklung, nämlich 125 Mio Telefone zu betreiben, sind ganz neue Wege bei der Systemerstellung zu beschreiten. Man kann sich dann nicht mehr mit einzelnen Beeinflussungsberechnungen aufhalten, sondern muss den integrierten Schutz als betriebsnotwendige Grundausrüstung fordern.

Aus der breiten Palette zukünftiger Beeinflussungsprobleme sei noch eine Entwicklung herausgegriffen, bei der auch die Forderung gestellt werden muss, die Beeinflussungsfestigkeit zu erhöhen.

Optokoppler haben ihre Bedeutung erlangt, weil sie gestatten, Potentialtrennungen zum Schutz empfindlicher Elektronikschaltungen mit hoher Sicherheit, betriebszuverlässig und kostengünstig herzustellen. Diese Geräte sind selbst mit Elektronik ausgestattet, tragen aber in sich den integrierten Schutz.

Die Nachrichtenübermittlung durch Glasfaserkabel ist eine konsequente Fortführung des Prinzips des Optokopplers und trägt wie dieser die Beeinflussungsfestigkeit in sich. Wir stehen am Anfang der Entwicklung von Lichtleiterkabeln und haben die Chance, beeinflussungssichere Systeme zu bauen, wenn konsequent auf metallene Schirme in den Kabeln verzichtet wird. Aber man liest, dass aluminiumbeschichtete Glasleiter wesentlich dauerhafter und zuverlässiger sind als kunststoffbeschichtetes Material [13]. Kehren wir auf diesem Weg wieder zurück zum elektrisch leitfähigen Kabel mit seiner Beeinflussungsmöglichkeit?

Ich hoffe, dass es gelingt, rechtzeitig eine ausgewogene Lösung zu finden, die uns aus den heutigen festen Bindungen durch die gegenseitige Beeinflussung herausführt.

Mit der Ausweitung der Versorgungsnetze kommen wir in immer vielfältigere und intensivere Rückwirkungen, die wir nur dann meistern werden, wenn wir die Grenzen des Wachstums erkennen und die Systeme in diesen Grenzen beeinflussungsfest bauen.

[2]) Dabei ist hier wohl ganz allgemein auch an andere Geräte der Kommunikation und des Datenverkehrs gedacht worden.

Literatur

[1] *Pollaczek:* Über das Feld einer unendlich langen wechselstromdurchflossenen Einfachleitung. Elektr. Nachrichtentechnik 1926, Heft 3.

[2] *Pollaczek:* Gegenseitige Induktionen zwischen Wechselstromleitungen von endlicher Länge. Annalen der Physik 1928, S. 965...999.

[3] *Klewe:* Über die Prüfung der Zulässigkeit von Näherungen zwischen Fernmeldefreileitungen und oberirdischen Drehstromleitungen. ETZ 1927, S. 197 bis 199, 238...241.

[4] *Rüdenberg:* Die Ausbreitung der Erdströme in der Umgebung von Wechselstromleitungen. Zeitschrift für angewandte Mathematik und Mechanik 1925, S. 361...389.

[5] *Kuhnert:* Probleme der Sicherstellung der Stromversorgung. Bull. SEV 18 (1971), S. 150...155.

[6] *Busch, Gampenrieder, Hass, Leusden, Zimmermann:* Zur Zukunft der Drehstrom-Höchstspannungs-Übertragung in Deutschland – Modelluntersuchungen. Cigre 1978, Gruppe 13, Bericht 31–13.

[7] *Gärtner:* Beispiele zu Planungsgesetzmässigkeiten für Hochspannungsnetze. etz-a 99 (1978), Heft 11, S. 689...691.

[8] *Lappe, Neumann:* Erdkurzschluss-Diagramme mit linearem Verlauf. El. Wirtsch. 72(1973), H. 22, S. 769...775.

[9] *Gretsch, Krost:* Möglichkeiten zur Bestimmung der frequenzabhängigen Netzimpedanzen. etz Archiv 1979, Heft 2.

[10] *Heumann, Schulz, Schwarz:* Netzrückwirkungen beherrschen. etz (neue Ausgabe) 99, (Oktober 1978), S. 10...15.

[11] *Klewe:* Zur Frage der Knackgeräusche der Fernhörer. ETZ 1924, S. 364, 365.

[12] *v. Sanden:* Mehr als nur telefonieren – neue Leistungen des Telefons. Siemens-Zeitschrift 53(1979), Heft 1, S. 6...10.

[13] *etz-a-Kurier:* Glasleiter mit hoher Festigkeit. etz-a 99(1978), Heft 12, S. 763.

[14] *Bosshard:* Gasgefüllte Überspannungsableiter. Vortrag beim Seminar für Transientenschutz am 26. Februar 1976 in Stockholm. Firmenschrift CERBERUS AG.

Adresse des Autors

Dr. *E. Kuhnert*, Geschäftsführer der Stromversorgung Osthannover GmbH, Sprengerstrasse 2, D-3100 Celle.