

# Netzspannungsqualität und Leistungselektronik

Autor(en): **Kloss, Albert**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **82 (1991)**

Heft 15

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-902984>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Netzspannungsqualität und Leistungselektronik

Albert Kloss

**Unter dem Begriff Netzspannungsqualität wird das Verhältnis des idealen Sinusverlaufes zum realen Spannungsverlauf verstanden. Je mehr die gegebene Netzspannung der Sinuskurve ähnelt, desto höher liegt ihr Qualitätsniveau. Durch die Qualität der Spannung werden einerseits Energieübertragung und Energieverbrauch des Netzsystems und andererseits die funktionelle Wirkungsweise vieler Netzverbraucher beeinflusst. Eine wichtige Rolle spielt dabei auch die moderne Leistungselektronik.**

**On entend par le terme qualité de la tension du réseau le rapport de l'allure sinusoïdale à celle de la tension effective. Plus la tension de réseau ressemble à la courbe sinusoïdale, plus son niveau de qualité est élevé. La qualité de la tension influe d'une part sur la transmission d'énergie électrique et la consommation du système de réseau, de l'autre sur le mode d'action de nombreux consommateurs raccordés au réseau. Un rôle important est joué dans ce contexte par l'électronique de puissance moderne.**

## Adresse des Autors

Albert Kloss, Technical Assistant, ABB Drives AG, Power Electronics Division, 5300 Turgi

Der Ausdruck Leistungselektronik entstand in der Mitte der sechziger Jahre als Oberbegriff für die ursprünglichen Begriffe Gleichrichtertechnik und Stromrichtertechnik, als die Quecksilberdampfventile durch Leistungshalbleiter, Dioden und Thyristoren ersetzt wurden. Die Vorteile der neuen, auf der Festkörperphysik begründeten Stromrichtergeneration – höherer Wirkungsgrad, grössere Zuverlässigkeit, kleinerer Raumbedarf und bessere regeldynamische Eigenschaften – beschleunigten den praktischen Einsatz der Stromrichter, die sich allmählich in alle Gebiete der Elektrotechnik ausbreiteten. Damit kamen allerdings auch die negativen Nebenwirkungen der Leistungselektronik mehr zur Erscheinung. Die physikalisch bedingte Tatsache, dass elektronische Stromrichter die Netzspannung viel stärker verzerren als andere konventionelle Einrichtungen (wie z.B. rotierende Maschinensätze), mussten nun ernsthaft berücksichtigt werden. Ein neuer Fachzweig, der sich speziell der Problematik der Stromrichter-Netzrückwirkungen zu widmen begann, wurde geboren. Das Interesse konzentrierte sich dabei vorwiegend auf die Fragen der Entstehung und der Eindämmung der Spannungsüberschwingungen in den öffentlichen Energieverteilungsnetzen.

## Quantitative Bewertung der Spannungsqualität

Kriterien zur quantitativen Bewertung der Spannungsqualität werden im allgemeinen einerseits für den Zeitbereich, andererseits für den Frequenzbereich der Spannungsform aufgestellt.

Im *Zeitbereich* dienen als Parameter erstens momentane Abweichungen

der Spannung von der Idealform – Einbrüche, Überhöhungen – und zweitens längere, mehrere Perioden dauernde (symmetrische) Änderungen oder Schwankungen des ganzen Spannungsverlaufes, durch welche auch der Effektivwert merklich verändert wird. Dazu kommen noch Frequenz- und Symmetrieabweichungen. Im *Frequenzbereich* werden als Parameter auf einer Seite einzelne Spektralwerte – z.B. Amplituden der Oberschwingungen (harmonische) –, auf der anderen Seite die gesamte Spektralbewertung – z.B. Klirrfaktor (Verzerrungsfaktor) – verwendet (Bild 1). Bei der Bewertung der Spannungsqualität wird zudem zwischen den Niederspannungs- und Mittelspannungsnetzen unterschieden und in Betracht genommen, ob es sich um öffentliche oder industrielle Netze handelt.

## Normen

Das Problem der Netzspannungsqualität wird sowohl in nationalen als auch internationalen Normen behandelt. Da es sich hier um einen interdisziplinären Problembereich handelt, findet man Hinweise auf die Netzspannungsqualität in verschiedenen Fachbereichen. So wird sie zum Gegenstand bei den Normen der Stromversorgungsnetze, der elektromagnetischen Verträglichkeit, der Leistungselektronik usw. Die Normen der einzelnen Länder weichen formal und sachlich mehr oder weniger voneinander ab [1...5].

Ohne näher auf das Normwesen der Netzspannungsqualität einzugehen, sei hier nur generell bemerkt, dass man die entsprechenden Normen nicht als ganz fehler- und widerspruchsfrei betrachten darf und dass

man die Normwerte eher als *Richtgrößen* und nicht als strenge Grenzwerte interpretieren sollte.

### Physik der leistungselektronisch bedingten Netzspannungsverzerrung

Die physikalische Ursache der Verzerrung der Netzspannung durch die Leistungselektronik liegt in der

Nichtsinusförmigkeit des vom Netz bezogenen Stromes. Der nichtsinusförmige Strom verursacht in der Netzimpedanz einen nichtsinusförmigen Spannungsabfall, der sich dann entsprechend in einer Deformation der Netzspannung widerspiegelt. Dass die Stromrichter das Netz durch Ströme, die vom Idealsinus mehr oder weniger stark abweichen, belasten, ist eine Folge der Nichtlinearität ihrer Bauelemente, der Dioden und Thyristoren. Der hohe Wirkungsgrad der

leistungselektronischen Energieumformung wird mit einer Deformation des Netzstromes, und damit auch der Netzspannung, erkauft.

Die Form des Stromrichter-Netzstromes hängt vorwiegend vom Schema und von der Parameterwahl des Stromrichters ab. Die Netzparameter spielen dabei eine untergeordnete Rolle. Man kann daher unter dem Gesichtspunkt der Netzurückwirkungen den Stromrichter als eine *starre Stromquelle* betrachten. Das gilt sowohl für den Gesamtnetzstrom als auch für dessen harmonischen Komponenten – die Oberschwingungen. In der ersten Näherung stellt der Stromrichter also eine *Oberschwingungs-Stromquelle* dar. Jede Stromrichter-Grundschialtung entspricht einem diskreten festen Oberschwingungsspektrum. Durch die Belastung ändern sich dann lediglich die Amplituden der Stromoberschwingungen; die Frequenzen bleiben konstant. Dies gilt allerdings nur für die einfachen Stromrichterschaltungen [6]. Bei komplexen Stromrichterschaltungen, wie bei den Umrichtern, entstehen im Netzstrom neben den festen charakteristischen Oberschwingungen noch Oberschwingungen mit variablen nichtcharakteristischen Ordnungszahlen (Zwischenharmonische).

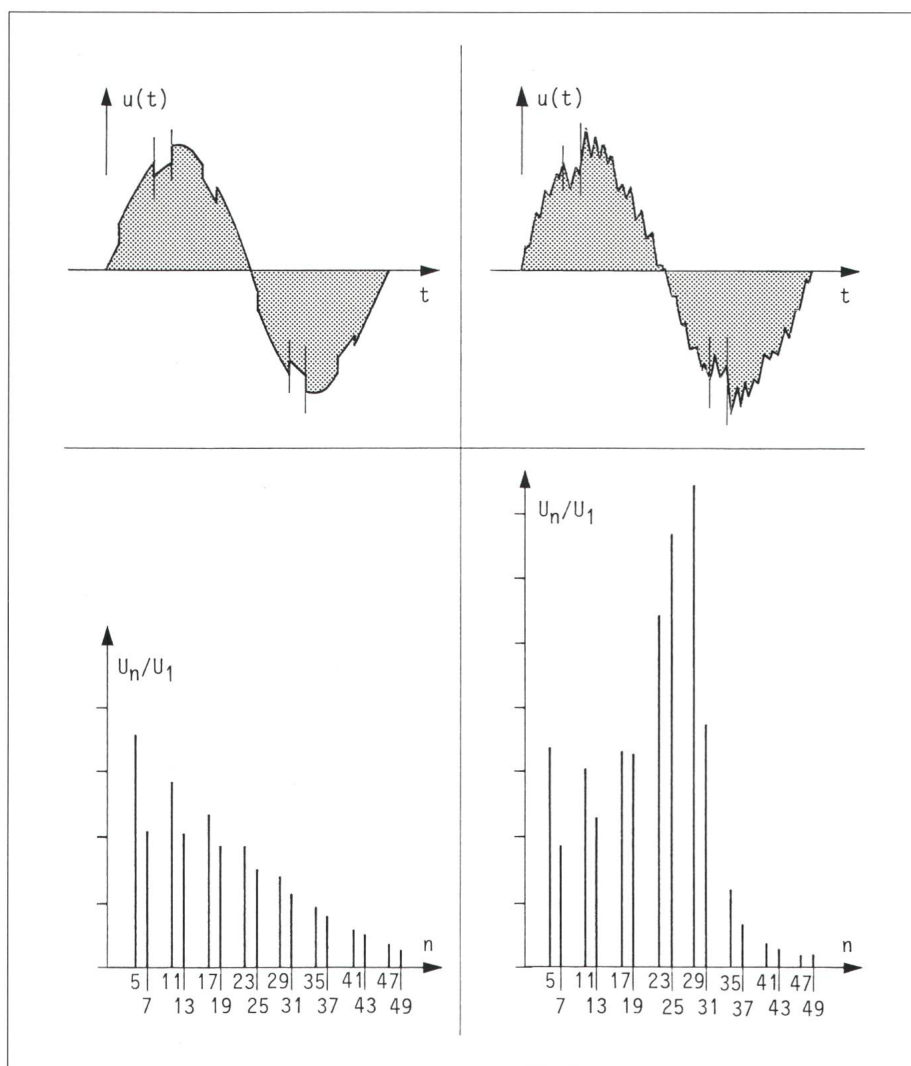
Die Verzerrung der Netzspannung hängt nicht nur von dem eingepprägten Stromrichterstrom, sondern auch von der *Impedanz des Netzes* ab. Jede Stromoberschwingung  $I_n$  der Frequenz  $f_x$  verursacht an der Netzimpedanz  $Z_N$  eine gleichfrequente Spannungsoberschwingung  $U_{nx}$ . Bei *ideal induktivem Netz*, d. h. bei einem Netz, welches nur reine Induktivitäten enthält (mit der Gesamtinduktivität  $L_N$ ), gilt

$$U_{nx} = I_{nx} \cdot Z_{Nx}$$

$$Z_{Nx} = X_{Nx} = 2 \pi f_x L_N.$$

Da die Netzinduktivität  $L_N$  umgekehrt proportional der Netzkurzschlussleistung ist, nehmen mit zunehmender Netzleistung, bei gleichen Stromoberschwingungen, die Spannungsoberschwingungen ab.

Bei *kapazitiven, schwingungsfähigen Netzsystemen* (d. h. Netzen, welche ausser Induktivitäten auch Kapazitäten enthalten) weist der Impedanz-Frequenzgang ausgeprägte Maximal- und Minimalwerte auf (Resonanzstellen). In diesem Fall können die Spannungsoberschwingungen, durch die gleichen Stromoberschwin-



**Bild 1 Spannungsverzerrung im Zeitbereich und im Frequenzbereich**

Die Spannungsverzerrung wird einerseits durch Zeitbilder (oben), andererseits durch Frequenzspektren (unten) für zwei typische Fälle dargestellt:

links ideal induktives Netz; die durch Stromrichter verzerrte Spannungsform weist scharfe Kommutierungseinbrüche aus; die Amplituden der Oberschwingungen im Spektrum nehmen mit zunehmender Frequenz ab

rechts Netz mit Kapazitäten (schwingungsanfällig); die durch Stromrichter verursachten Spannungseinbrüche führen zu höherfrequenten Schwingungen; das Amplitudenspektrum zeigt in der Nähe der kritischen Frequenzen erhöhte Werte

$u(t)$  Spannung als Funktion der Zeit  $t$

$U_n$  Spannungsamplitude der Oberschwingung  $n$ -ter Ordnung

$U_1$  Spannungsamplitude der Grundschiwingung,  $n=1$

gungen, zu viel höheren Werten als bei nur induktiven Netzen angeregt werden.

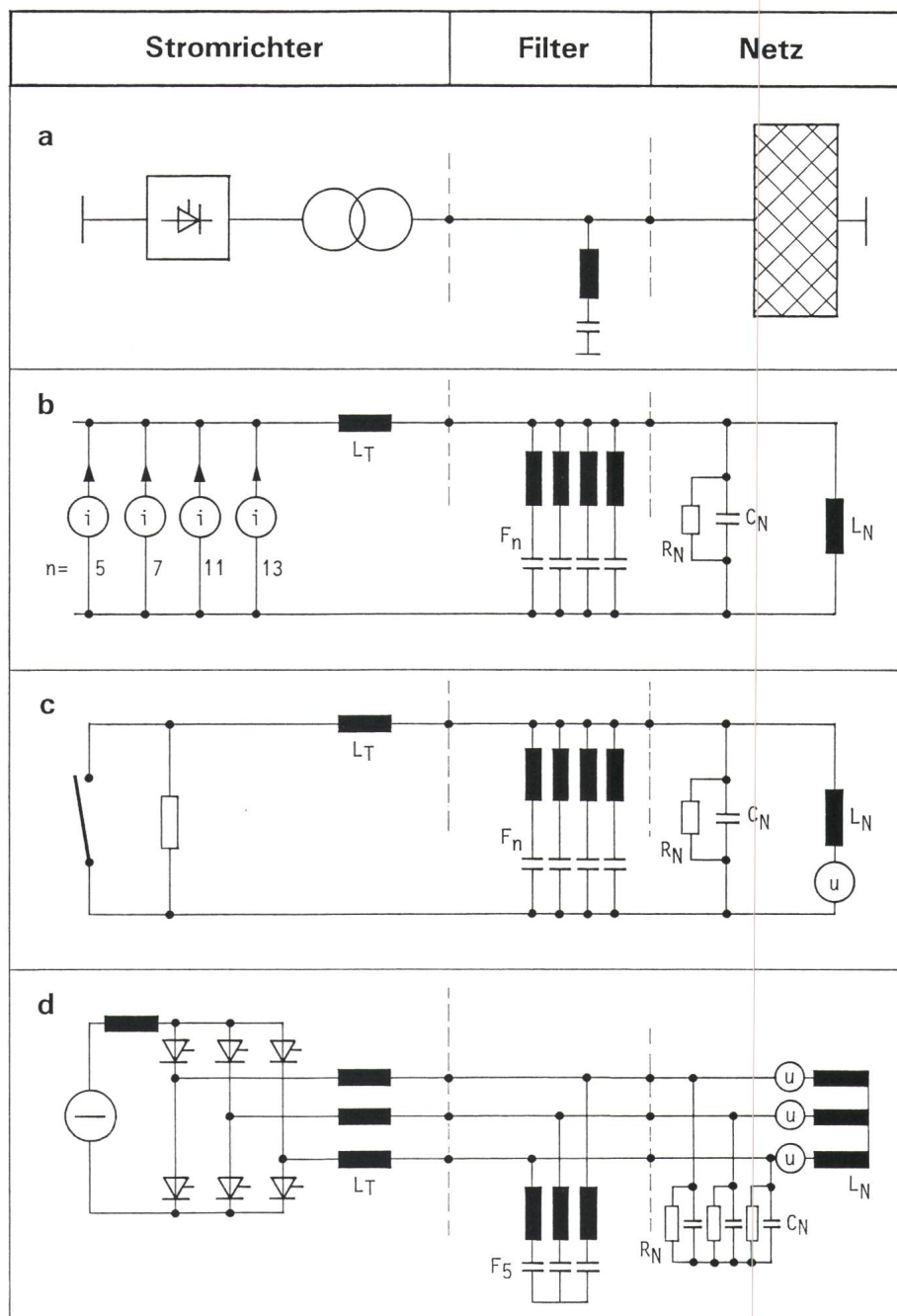
### Berechnungsmethoden

Bei der Konzeption von neuen Stromrichteranlagen für ein gegebenes Netz muss die zu erwartende Netzspannungsverzerrung so gut wie möglich vorausberechnet werden. Dabei wird, je nach Informationsstand, grundsätzlich eine der drei folgenden Methoden angewendet (Bild 2):

1. Überschlagsmässige analytische Berechnung
2. Netz-Simulation mit Ersatz des Stromrichters durch Stromquellen
3. Komplette Stromrichter-Netz-Simulation

### Überschlagsmässige analytische Berechnung

Im Offertstadium, bei Zeitdruck und Eingabedatenmangel, wird eine grobe Abschätzung der Netzspannungsoberschwingungen anhand von theoretischen Höchstwerten der Stromüberschwingungen des Stromrichters und dem Höchstwert der Netzimpedanz *analytisch* durchgeführt. Ziel dieser «worst case»-Berechnung ist, grundsätzlich abzuschätzen, ob zusätzliche Massnahmen zur Reduktion der Netzspannungsverzerrungen (Filter, Mehrpulsschaltung) erforderlich sind, oder ob man auf sie verzichten kann. Da die Oberschwingungsströme des Stromrichters, neben anderem, durch dessen Leistung gegeben sind, und da auch die Impedanz des Netzes von seiner (Kurzschluss-)Leistung abhängt, kann man bei dieser Methode auch auf das Leistungsverhältnis Stromrichter/Netz zurückgreifen. Zur Lösung der Aufgabe reicht ein Taschenrechner. Hier wird in der Regel angenommen, dass der Netzstrom des Stromrichters eine rechteckige Form aufweist, das heisst sowohl die reale Kommutierung als auch die Welligkeit wird vernachlässigt. In diesem Falle gelten für die Oberschwingungen sehr einfache Gesetzmässigkeiten, die dann analytisch lösbar sind. Durch das Leistungsverhältnis Stromrichter/Netz wird das Verhältnis der Reaktanzen Stromrichtertransformator/Netz gegeben. Weil sich nun die Oberschwingungsspannung gemäss dem Reaktanzenverhältnis aufteilt, wird das Netzteil umso kleiner, je niedriger die Netzreaktanz, das heisst je grösser die Netzkurzschlussleistung wird.



**Bild 2** Berechnungsschemata zur Lösung von Oberschwingungsaufgaben

Das Bild zeigt eine Übersicht über die in der Praxis angewendeten Berechnungsschemata zur Lösung der Oberschwingungsaufgaben.

- a Grundschemata
- b Stromrichter wird durch Stromquellen ersetzt; das Schema eignet sich für Netze ohne Kapazitäten
- c Stromrichter wird durch Schalterwirkung ersetzt; das Schema ist vor allem für schwingungsfähige Netze von Nutzen
- d Stromrichter wird durch funktionierende Ventile (Thyristoren) voll nachgebildet; das Schema zeigt eine dreiphasige Schaltung

### Netz-Simulation mit Ersatz des Stromrichters durch Stromquellen

Bei bekannter Netzschaltung und bekannten Netzparametern ist es möglich, die Auswirkungen der einge-

prägten Oberschwingungsströme der Stromrichteranlage auf die Netzspannungsform zu untersuchen, ohne direkt auf die Wirkungsweise der Stromrichter einzugehen. Man nimmt

einfach an, dass der Stromrichter wie eine Gruppe von Stromquellen unterschiedlicher Frequenz und Amplitude auf das Netz wirkt. Die Parameter dieser Stromquellen ergeben sich aus der Fourieranalyse der vereinfachten Stromrichter-Wechselstromverläufe. Für die Berechnung kann ein Computer benützt werden.

Wenn man nun diese Oberschwingungsströme dem Netz einprägt, so können die Spannungsüberschwingungen mit ausreichender Genauigkeit ermittelt werden. Das gilt allerdings nur für die niedrigeren Ordnungszahlen ( $n < 50$ ), weil man im höheren Frequenzbereich die Stromüberschwingungen schon nicht mehr zuverlässig berechnen kann; einerseits ist die Form des Stromrichter-Netzstromes nicht ausreichend genau ermittelbar, andererseits versagen hier (bei  $n > 50$ ) in der Praxis auch die meisten Rechenverfahren für die Fourieranalyse. Bei schwingungsanfälligen Netzen mit Resonanzstellen, die höher als bei  $n = 50$  liegen, ist es daher ratsam für die Untersuchung dieses Bereichs, den Stromrichter nicht mehr als eine Oberschwingungsstromquelle zu betrachten, sondern ihn vielmehr durch eine Spannungs-Sprungfunktion zu ersetzen. Die Spannungssprünge müssen so gewählt werden, dass sie die Kommutierungseinbrüche des Stromrichters nachbilden. Die Spannungssprünge können z. B. mit Hilfe eines Schalters erzeugt werden (siehe Bild 2).

Zur Analyse der Netzsysteme mit solchen Ersatzstromrichtern seien es Oberschwingungsstromquellen oder Spannungs-Sprungfunktionen reichen in der Regel Programme, die für PC bestimmt sind (wie z. B. PSPICE).

### **Komplette Stromrichter-Netz-Simulation**

Um die Stromrichter-Netz-Rückwirkungen komplett nachzubilden – insbesondere wenn es sich um komplexe Umrichterschaltungen handelt – ist es notwendig, Programme anzuwenden, für welche Mittel- oder Grosscomputer notwendig sind. Dabei wird die Funktion der Stromrichter voll und exakt simuliert, d. h., das Netz wird sowohl durch nichtsinusförmige Ströme als auch durch kommutierungsbedingte Spannungseinbrüche belastet. Das Stromrichterschema wird voll mit allen entsprechenden Thyristoren nachgebildet, so dass sich das Rechenmodell wie ein reales physikalisches Modell verhält.

Das prinzipielle Problem aller dieser Berechnungsmethoden liegt aber nicht in erster Linie auf der Stromrichterseite, sondern auf der Netzseite. Nur selten ist nämlich das Netz so weit bekannt, dass man es ausreichend genau durch ein Schema nachbilden kann. Weiter kommt noch die Tatsache hinzu, dass sich die Netzschaltzustände und damit der Frequenzgang der Netze oft stark ändern. Wenn man nun bedenkt, dass es sich bei den Spannungsüberschwingungs-Grenzwerten um Bereiche handelt, die (bezogen auf die Nennspannung) unter 1% liegen, dann sieht man klar, vor welchen praktischen Schwierigkeiten die Berechnungsingenieure gestellt werden: sie müssen auch mit ungenauen Eingabedaten zu genauen Ergebnissen gelangen.

### **Massnahmen zur Erhöhung der Spannungsqualität**

Da Verzerrungen der Netzspannung meist durch nichtsinusförmige Stromrichter-Netzströme verursacht werden, wäre es naheliegend, jene Stromrichterschaltungen anzuwenden, die den kleinsten Stromüberschwingungsgehalt aufweisen. So beinhaltet beispielsweise der Netzstrom einer 12-Puls-Schaltung theoretisch nur die Hälfte der Oberschwingungen einer 6-Puls-Schaltung, und bei der 24pulsigen Schaltung ist die Stromform theoretisch schon nahezu sinusförmig. Dem Weg, das Oberschwingungsproblem nur mit der Erhöhung der Pulszahl des Stromrichters zu lösen, stehen allerdings zwei Hindernisse entgegen. Erstens sind im niedrigeren Leistungsbereich (<1 MW) die Mehrpuls-Schaltungen meistens teurer als die einfachen Ausführungen. Zweitens ist es praktisch kaum möglich, vielpulsige Stromrichterschaltungen wirklich ideal symmetrisch zu realisieren, d. h., man muss trotzdem immer mit einem bestimmten Anteil von Restüberschwingungen rechnen. Die Mehrpuls-Stromrichter bieten daher in der Regel nur eine Teillösung des Oberschwingungsproblems an. In vielen Fällen müssen zusätzlich noch andere Mittel, wie zum Beispiel Filter, eingesetzt werden.

Oberschwingungs-Netzfilter werden als parallelgeschaltete einfache Serie-Schwingkreise aufgebaut. Die Eigenfrequenzen der einzelnen Kreise entsprechen dabei den einzelnen

Oberschwingungsfrequenzen, d. h., die Kreise stellen für die Stromrichterüberschwingungen nahezu widerstandslose Pfade dar und verhindern somit deren Weiterfluss ins Netz.

Da diese Filter-Saugkreise allgemein auf feste, den typischen Stromrichterüberschwingungen entsprechende Frequenzen eingestellt sind (passive Filter), können sie nur wenig zur Behebung der nichtkonstanten zwischenharmonischen Oberschwingungen (wie sie bei Umrichtern und anderen komplexen Stromrichterschaltungen auftreten können) beitragen. In solchen Fällen können aktive Filter, die auch atypische Oberschwingungen nichtkonstanter Frequenzen zu eliminieren fähig sind, eingesetzt werden. Solche Filter können ebenfalls mittels Leistungselektronik verwirklicht werden. Eine ganze Reihe Schaltungen von leistungselektronischen Filtern, die jede Abweichung der Spannungsform vom Idealsinus augenblicklich beheben können, wurde in den letzten Jahren entwickelt und auch versuchsweise in Betrieb gesetzt. Zu einem regelrechten Einsatz kamen sie aus Wirtschaftlichkeitsgründen aber bisher noch nicht. Im Gegensatz dazu wird hingegen Leistungselektronik zur Stabilisierung der Netzspannungsschwankungen schon zwei Jahrzehnte angewendet (statische Phasenkompensatoren).

Grundsätzlich wäre es auch möglich, überschwingungsarme Netzstromrichter mit Hilfe von abschaltbaren Thyristoren (GTO) zu bauen. Durch gezieltes Zerhacken des Netzstromes können damit grundsätzlich unerwünschte Oberschwingungen eliminiert werden. Der wirtschaftliche Zwang, diese Art der Schaltungen zu entwickeln, ist aber noch zu schwach (der Preisunterschied zu den konventionellen Stromrichtern mit Filtern ist zu gross), so dass in der nahen Zukunft mit deren Ausbreitung nicht gerechnet wird.

### **Schlussfolgerungen und Ausblick**

Die Verbreitung der Leistungselektronik, die sich zur Zeit in der elektrischen Antriebs- und Energietechnik abspielt, wird mittelfristig bestimmt mit mindestens der gleichen Intensität fortgesetzt. Im Falle, dass sich die neuen unkonventionellen Energiequellen in der Zukunft durchsetzen,

muss auch langfristig mit einem starken Wachstum der Leistungselektronik gerechnet werden, da sowohl die Sonnen- als auch die Windkraftwerke ohne Hochleistungs-Stromrichtertechnik nicht auskommen.

Einen nicht unwesentlichen Beitrag zur zukünftigen «Netzverschmutzung» ist auch von der Seite der allgemeinen Computerisierung zu erwarten. Die entsprechenden unterbrechungsfreien Stromversorgungseinrichtungen (USV) wirken auf das Netz als Oberschwingungsquellen. Dazu kommen noch die Netzurückwirkungen der neuen Generation energiesparender Leuchtlampen und Haushaltsgeräte. Die Erhöhung des Wirkungsgrades wird in der Regel mit einer stärkeren Netzbeeinflussung bezahlt.

Das Problem der Erhaltung der Netzspannungsqualität wird sich da-

her in Zukunft höchstwahrscheinlich noch verschärfen. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn das Wachstum des Energieverbrauchs nicht durch entsprechende Leistungsreserven bei den Stromversorgungseinrichtungen kompensiert wird. Je schwächer das Energiesystem im Vergleich zum Verbrauch wird, desto stärker treten die Spannungsverzerrungen auf.

Die Leistungselektronik-Industrie ist prinzipiell fähig (bei entsprechenden technisch-ökonomischen Anreizen), eine ganze Fülle von Aufgaben, die mit der Netzspannungsqualität zusammenhängen, zu lösen. Der Einsatz von Oberschwingungs- und blindleistungsarmen Stromrichtern, aktiven Oberschwingungsfiltern, Netzspannungs-Stabilisatoren und Netzkupplungs-Umrichtern ist hier an erster Stelle zu nennen.

#### Literaturverzeichnis

- [1] Regeln des SEV: Rückwirkungen in Stromversorgungsnetzen, die durch Haushaltgeräte und ähnliche elektrische Einrichtungen verursacht werden. Teil 2 Oberschwingungen. Publikation des SEV 3601-2, 1987.
- [2] Leitsätze des SEV/Empfehlungen des VSE: Begrenzung von Beeinflussungen in Stromversorgungsnetzen (Oberschwingungen und Spannungsänderungen). Teil 1: Bestimmungen. Teil 2: Erläuterungen und Berechnungen. Publikationen des SEV 3600-1, 1987 und 3600-2, 1987.
- [3a] Grundsätze für die Beurteilung von Netzurückwirkungen. 2. Auflage. Frankfurt, Verlags- und Wirtschaftsgesellschaft der Elektrizitätswerke mbH (VDEW), 1987.
- [3b] Rückwirkungen in Stromversorgung, die durch Haushaltgeräte und durch ähnliche elektrische Einrichtungen verursacht werden. Teil 1, 2 und 3. DIN VDE 0838 Teil 1, Teil 2 und Teil 3.
- [4] Perturbations produites dans les réseaux d'alimentation par les appareils électrodomestiques et les équipements analogues. Deuxième partie: Harmoniques. Publication de la CEI 555-2, 1982.
- [5] Guide for harmonic control and reactive compensation of static power converters. IEEE-Standard 519-1981.
- [6] A. Kloss: Oberschwingungen. Beeinflussungsprobleme der Leistungselektronik. Berlin/Offenbach, VDE-Verlag, 1989.



## Schulen für Technik und Informatik

Im Zuge der Erweiterung unseres Engagements im Bereich der technischen Weiterbildung wie auch zur Neubesetzung von Vakanzen in unserem Lehrkörper suchen wir laufend neue Dozenten. Gut ausgewiesenen Ingenieuren und Technikern mit Freude an der Wissensvermittlung und am Umgang mit Menschen bietet sich damit Gelegenheit zu einer

### nebenamtlichen Lehrtätigkeit

an unseren Schulen in Zürich, Bern, Basel, Frauenfeld, Sursee und Thun. Die IBZ-Schulen für Technik und Informatik zählen zu den führenden schweizerischen Privatinstituten für berufsbegleitende Aus- und Weiterbildung.

Für die IBZ-Schulen in Bern und Zürich suchen wir für den Fachbereich Elektrotechnik-Meisterkurse

#### **Elektro-Ingenieure HTL** und **Eidg. dipl. Elektro-Installateure/ Kontrolleure**

denen wir die Möglichkeit praxisbezogener Wissensvermittlung in den Fächern Elektrotechnik, Mathematik, Messkunde, Schemakenntnisse, Telefonie und Vorschriften bieten.

Im Fachbereich Bautechnik suchen wir für die IBZ-Schulen von Bern und Zürich

#### **Architekten HTL/Bauingenieure HTL** **Eidg. dipl. Bau- oder Maurermeister** **Eidg. dipl. Bauleiter**

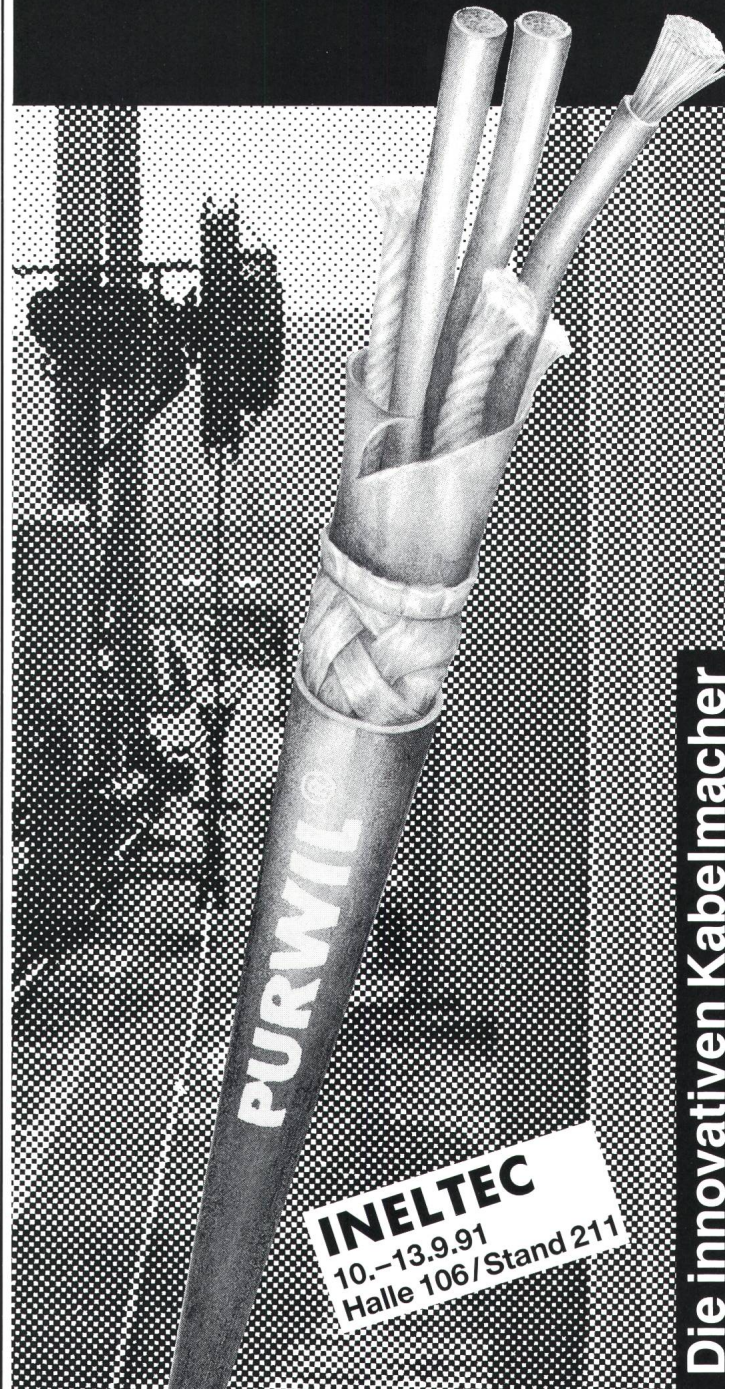
für die nebenberufliche Wissensvermittlung in den Fächern Bauleitungsorganisation, Baukonstruktionslehre, Baukosten, Baurechtsvorschriften/Rechtskunde, Baustelleneinrichtung, Bauzeitplanung, Rapportwesen, Mathematik, Statik, und Festigkeitslehre.

Initiative, ausgewiesene Fachleute, die diese Herausforderung annehmen und junge, aktive Berufsleute in deren beruflichem Weiterkommen unterstützen wollen, werden gebeten, sich mit unserem Herrn H. P. Ruggli in Verbindung zu setzen.

**IBZ Schulen für Technik und Informatik Brugg AG**  
Zentralsekretariat, Wildschachen, 5200 Brugg  
Telefon 056/41 46 47, Fax 056/41 48 21

D 2/91 BE

## Biegen ohne Brechen



Die innovativen Kabelmacher

**PURWIL®**-Trommelbar ist ein robustes, trommelbares Polyurethan-Kabel für überdurchschnittliche Anforderungen. Dieses Kabel ist öl- und benzinbeständig, trotz jeder Witterung und hält Temperaturen bis minus 40°C aus (grosses Sortiment).

Verlangen Sie unsere Unterlagen und Preisliste



Kupferdraht-Isolierwerk AC  
CH-5103 Wildegg

Telefon 064/57 01 11