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: 65 (1974)

Heft: 26

Artikel: Grundsätzliche Aspekte der Beeinflussungen durch Objekte der Leistungselektronik

Autor: Zwicky, R.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-915494

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: 02.07.2025

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

Beeinflussungen in Netzen durch Einrichtungen der Leistungselektronik

Informationstagung des SEV und VSE am 12./13. November 1974 in Zürich

Grundsätzliche Aspekte der Beeinflussungen durch Objekte der Leistungselektronik [1])

Von R. Zwicky

Die Leistungselektronik bietet heute in der Energietechnik vielfältige Möglichkeiten der verlustlosen Steuerung und Regelung von Energieverbrauchern. Einrichtungen zur Gleichrichtung, zur stufenlosen Variation von Gleich- oder Wechselspannungen und zur Frequenzumformung finden in stets zunehmendem Masse Eingang in Haushalt, Gewerbe, Verwaltung, Industrie und Verkehr.

Die in der Leistungselektronik angewandte Technik arbeitet mit Halbleiterelementen (Diode, Thyristor, Triac), deren mögliche Betriebszustände im wesentlichen einem geschlossenen oder einem geöffneten Schaltkontakt entsprechen. Jede elektrische Umformung mittels Leistungselektronik beruht auf periodischen Schaltvorgängen, wobei die Leistungshalbleiter fortwährend Umschaltungen von Stromkreisen bewirken. Dies führt zu Verzerrungen von Strömen und Spannungen gegenüber der Sinusform.

Ein einfaches Beispiel (Fig. 1) möge dies illustrieren. Es handelt sich um einen anschnittgesteuerten einphasigen Gleichrichter in Mittelpunktschaltung. Im Gleichstromkreis befinde sich eine Glättungsinduktivität, welche den Gleichstrom annähernd konstant hält. Die beiden Ventilzweige führen abwechselnd diesen Strom während je einer halben Periode. Er addiert sich auf der Netzseite zu einem rechteckförmigen Strom. Dieser kann dargestellt werden als Summe sinusförmiger Einzelkomponenten, deren Frequenzen dem 1-, 3-, 5-, 7fachen usw. der Netzfrequenz entsprechen. Die Kurzdarstellung dieses Frequenzgemisches erfolgt im Frequenzspektrum.

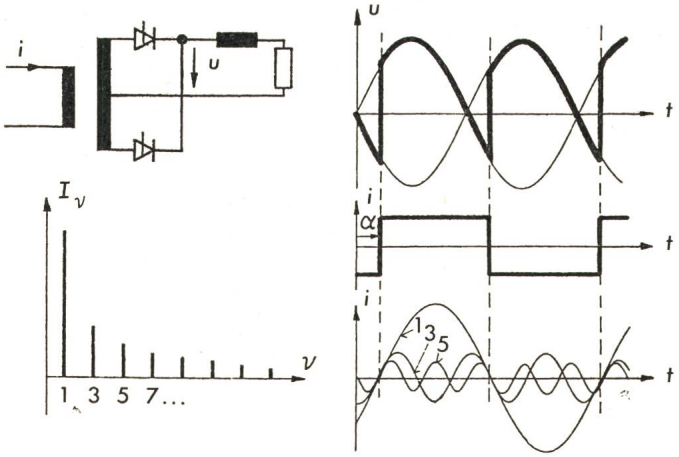


Fig. 1 Entstehung von Stromoberwellen im Netzstrom eines anschnittgesteuerten Stromrichters

rechts unten: erste drei Glieder (ν = 1, 3, 5) der Fourierzerlegung des rechteckförmigen Netzstromes

links unten: Darstellung des Frequenzspektrums dieses Stromes

u Ausgangsspannung des Stromrichters
i Netzstrom
ν Ordnungszahl der Oberschwingung
I_ν Spektrum des Netzstromes
t Zeit
α Anschnittsteuerwinkel

Wird der Gleichrichter nach Fig. 1 zusammen mit dem speisenden Netz betrachtet (Fig. 2), so stellt er eine Oberwellen-Stromquelle dar, welche im Netz die entsprechenden Oberwellenströme erzwingt. Das speisende Netz selbst ist im vereinfachten Ersatzschema dargestellt als sinusförmige Spannungsquelle U_1, die über eine Ohmsche und induktive Leitungsimpedanz mit dem Verbraucher verbunden ist. Die durch die Stromquelle eingeprägten Oberwellenströme, welche die Leitungsimpedanz durchfliessen, verursachen an ihr entsprechende Spannungsabfälle. Sie haben zur Folge, dass zwischen den Speisepunkten der Last nun eine oberwellenhaltige Spannung U_2 besteht. Fig. 2 unten zeigt diesen Sachverhalt anhand der Spannungsspektren von U_1, U_2 und des Spannungsabfalles ΔU (entsprechend dem Spektrum des Stromes in Fig. 1).

Sind am gleichen Speisepunkt (Spannung U_2) noch andere Objekte angeschlossen, so werden sie mit derselben oberwellenhaltigen Spannung versorgt.

Auch Objekte, welche sich an andern Punkten eines verzweigten Netzes befinden, werden nach Massgabe der im Netz verteilten Impedanzen beeinflusst. Zwar können die meisten Verbraucher, auch die Mehrzahl empfindlicher elektronischer Geräte, einen gewissen Anteil an harmonischen Oberschwingungen der Speisespannung ertragen. Überschreiten diese jedoch ein bestimmtes zulässiges Mass, so ist mit Fehlfunktionen zu rechnen. Dies gilt insbesondere für Rundsteueranlagen, sofern die dem Netz überlagerten tonfrequenten Signale einzelnen Oberwellen der verzerrten Netzspannung benachbart sind.

Ausser diesen über das Netz selbst übertragenen Beeinflussungen wird der vom Verbraucher bis zur speisenden Quelle fliessende Oberwellenstrom auch benachbarte Leiterschleifen induktiv beeinflussen. Induktiv übertragene Störspannungen treten besonders dort auf, wo Energie- und Nachrichtenleitungen auf grosse Distanz zueinander parallel laufen, wie dies bei informationsübertragenden Leitungen längs elektrischer Bahnen der Fall ist.

Die an den einzelnen Netzpunkten vorhandenen oberwellenhaltigen Spannungen können grundsätzlich auch zu kapazitiver Beeinflussung benachbarter Objekte führen. Naturgemäss werden sie erst bei höheren Frequenzen wirksam. Da diese mit verhältnismässig einfachen Mitteln unterdrückt werden können, ist die kapazitive Beeinflussung in der Regel nicht von grosser Bedeutung.

Weiterhin tritt in gewissen Fällen die Übertragung störender Oberwellen durch galvanische Kopplung von an und für sich unabhängigen Systemen auf, sofern sie gemeinsame Erdkreise besitzen. Ein bekanntes Beispiel sind die für Eisenbahnsicherungsanlagen verwendeten Gleisstromkreise.

[1]) Einführungsreferat zur Informationstagung.

Sind an einem Netz zahlreiche oberwellen-erzeugende Verbraucher angeschlossen, so ist anzunehmen, dass diese weder die gleichen Phasenlagen von Oberwellen erzeugen noch sich über gleiche Netzimpedanzen auswirken. Ein einfaches Beispiel zur Erläuterung dieses Sachverhalts ist in Fig. 3 dargestellt. Es handelt sich um eine einpulsige Gleichrichterschaltung ohne Transformator, wie sie in Geräten der Unterhaltungselektronik recht häufig vorkommt. Das Spektrum dieser Anordnung enthält ausser einer Gleichstromkomponente und einem netzfrequenten Anteil sämtliche ganzzahligen Vielfachen der Netzfrequenz. Verbindet man eine grosse Zahl solcher Geräte gleichsinnig mit dem Netz, so addieren sich deren Spektren. Nimmt man jedoch an, dass die Geräte an der Steckdose mit beliebiger Polarität eingesteckt werden, so ergibt sich eine statistische Verteilung von gleich- und gegensinnigen Verbindungen. Dies bewirkt eine statistische Reduktion der Gleichstromkomponente und sämtlicher geradzahligen Harmonischen. Das zweite Spektrum in Fig. 3 veranschaulicht die Reduktion dieser Anteile unter der Annahme, dass der zufällige gleich- bzw. gegensinnige Anschluss der Geräte an das Netz in annähernd gleicher Zahl vorhanden sei.

Auch bei Anschnittsteuerungen nach Fig. 1 ist bei der Ermittlung des Einflusses einer Mehrzahl von Geräten zu beachten, dass deren Anschnittsteuerwinkel statistisch verteilt sind. Dieser Umstand führt insbesondere bei Oberschwingungen höherer Ordnung zu deren teilweiser gegenseitiger Kompensation.

Eine von den bisherigen Betrachtungen grundsätzlich verschiedene Art von Beeinflussungen mit Geräten der Leistungselektronik entsteht durch die in Fig. 4 dargestellte Schwingpaket-Steuerung.

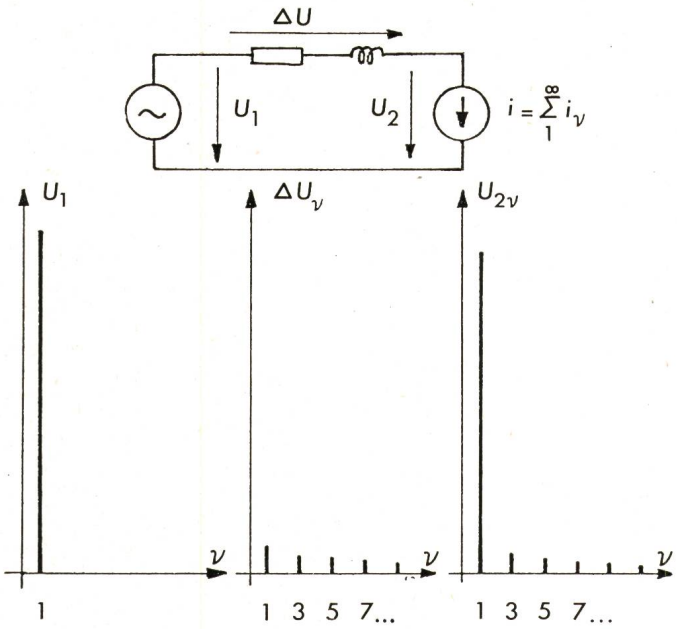


Fig. 2 Die sinusförmige Spannungsquelle links (starrer Netzpunkt) speist über eine Leitungsimpedanz den Stromrichter rechts

Er erzwingt im Netzstrom ein Spektrum von Oberwellen, welche ihrerseits an der Netzimpedanz Spannungsabfälle ΔU der entsprechenden Frequenzen bewirken. Die Addition führt zum Spektrum der beeinflussten Spannung U_2.

U_1 starre Netzspannung
U_2 Netzspannung beim Verbraucher
i Verbraucherstrom
ν Ordnungszahl
i_ν Anteil der ν-ten Harmonischen
ΔU_ν Spektrum des Spannungsabfalles
$U_{2\nu}$ Spektrum der Verbraucherspannung

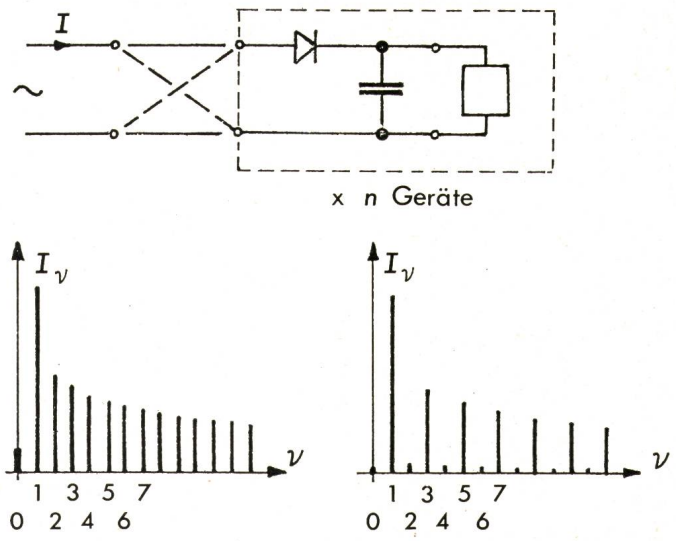


Fig. 3 Beispiel der Überlagerung des Stromspektrums von n angeschlossenen Geräten

links: alle Geräte gleichsinnig
rechts: statistisch gleich- und gegenseitig verteilt

I Netzstrom
ν Ordnungszahl der Oberschwingung
I_ν Spektrum des Netzstromes

Die Netzspannung wird für eine gewisse Anzahl von Perioden über einen Triac (Zweirichtungs-Thyristor) mit der Last verbunden und anschliessend während einer bestimmten Zeit wieder unterbrochen. Man kann nun die Anzahl ein-

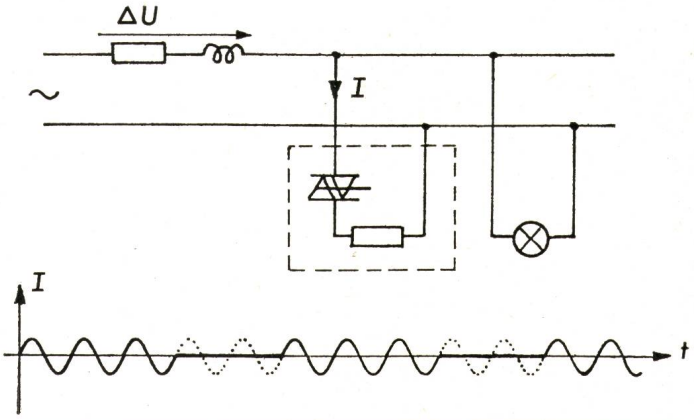


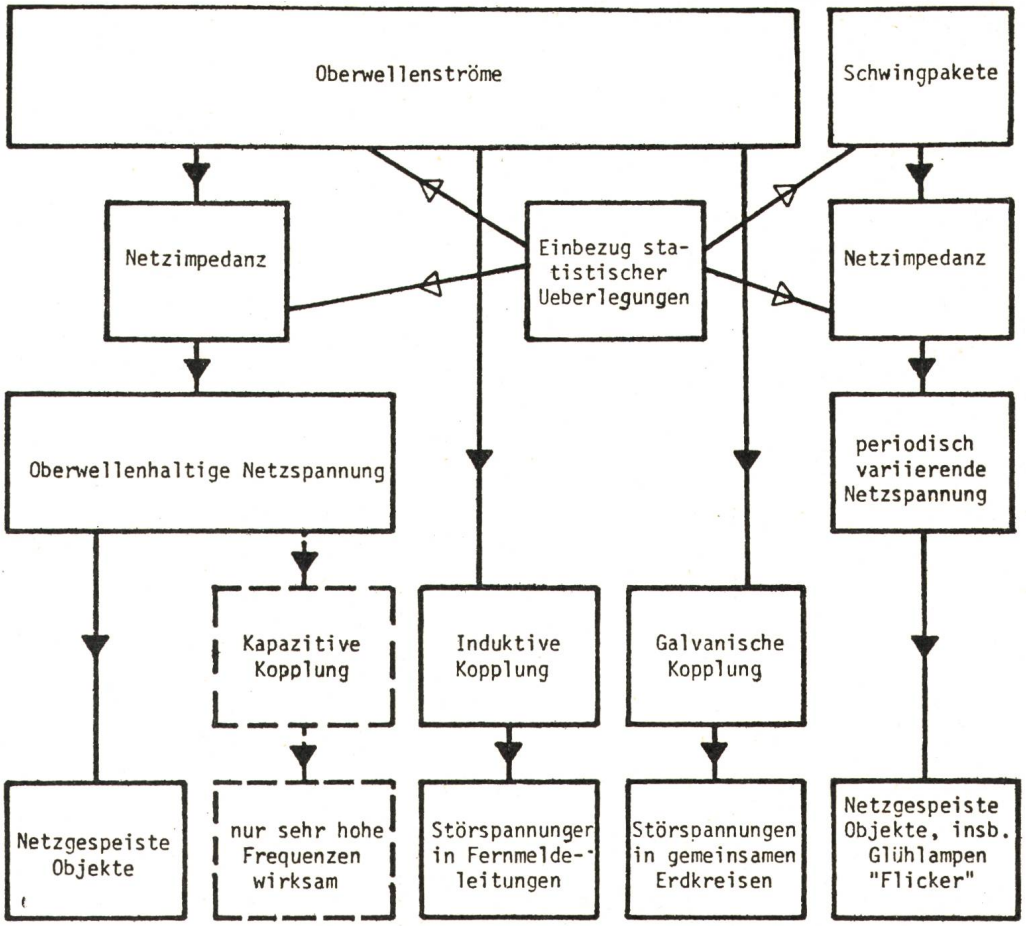
Fig. 4 Schwingpaket-Steuerung

Die periodisch auftretenden Spannungsabfälle bewirken Helligkeitsschwankungen von Glühlampen (Flicker)

ΔU Netzspannungsabfall
I Verbraucherstrom bei Schwingpaket-Steuerung
t Zeit

und ausgeschalteter Perioden beliebig wählen und gelangt so zu einer praktisch stetigen Variation der durchschnittlichen Leistungsaufnahme. Diese Art der Steuerung (Schwingpaket-Steuerung) ist besonders für elektrothermische Anwendungen recht vorteilhaft. Sie erzeugt auch keine bedeutenden Oberwellenströme im Sinne einer Schaltung nach Fig. 1. Ein Einfluss auf andere am gleichen Netz angeschlossene Verbraucher kommt bei der Schwingpaket-Steuerung durch periodisch auftretende und wieder verschwindende Spannungsabfälle an der Netzimpedanz zustande. Die so entstehenden periodischen Spannungsschwankungen sind vor

Fig. 5
Zusammenstellung der Beeinflussungsmechanismen



allem bei Glühlampen-Beleuchtung störend, weil das Auge schon kleine Helligkeitsschwankungen (Flicker), insbesondere bei einer Frequenz von einigen Hertz, als unangenehm empfindet. Ähnliche Steuerungen mit gewöhnlichen Schaltkontakten (zum Beispiel Thermostate) sind zwar seit langem verbreitet, doch wurde ihre Wirkung wegen ihrer niederen Arbeitsfrequenz vom Auge kaum als störend empfunden. Bei der Begrenzung der durch Halbleiterschaltungen erzeugten Flicker-Erscheinungen geht es deshalb in erster Linie darum, Frequenzbereiche zu wählen, in denen das Auge die Helligkeitsvariationen nicht mehr als störend wahrnimmt. Es sei noch beigefügt, dass die an sich beliebigen Ein- und Ausschaltzeitpunkte mehrerer Objekte ebenfalls die statistische Betrachtungsweise erfordern.

Nach dieser ersten Fühlungnahme mit einigen wichtigen Grundproblemen sind in Fig. 5 die Beeinflussungsmechanismen zusammengestellt. Die verschiedenen Aspekte der hier nur angedeuteten Problematik werden in den Referaten dieser Tagung sowohl vom grundsätzlichen Standpunkt aus als auch aus der Sicht verschiedener Spezialgebiete behandelt. In diesem Sinne will diese kurze Einführung nur als erste Kontaktnahme mit einigen Problemen verstanden sein.

Es ist heute ein generelles Anliegen von Energieerzeugern und Verbrauchern, einen optimalen Kompromiss zwischen den zulässigen Beeinflussungen einerseits und dem Einsatz von Einrichtungen der Leistungselektronik andererseits zu finden. Hierzu ist es erforderlich, die auftretenden Beeinflussungen, ihre statistische Verteilung und ihre Auswirkungen aussagekräftig zu erfassen. Auf nationaler und internationaler Ebene sind zahlreiche Arbeiten in dieser Richtung im Gange. In der Schweiz befasst sich die im Jahre 1971 gegründete Kommission zum Studium niederfrequenter Störeinflüsse mit diesem Problemkreis.

Das Ziel dieser Informationstagung besteht darin, einen breiten Interessentenkreis über die technischen Aspekte und über die Arbeiten zur Aufstellung von allseits tragbaren Vorschriften sowie über den gegenwärtigen Stand zu orientieren.

Adresse des Autors:
Prof. Dr. *R. Zwicky*, Vorsteher des Institutes für industrielle Elektronik und Messtechnik an der ETHZ, Gloriastrasse 35, 8006 Zürich.

Wir machen darauf aufmerksam, dass eine beschränkte Anzahl des Konferenzbandes «Beeinflussung in Netzen durch Einrichtungen der Leistungselektronik» beim Administrativen Sekretariat des SEV, Postfach, 8034 Zürich, zum Preise von Fr. 80.– (Fr. 50.– für Mitglieder) erhältlich ist.

Nous attirons l'attention sur le fait qu'un nombre limité du tirage à part «Beeinflussung in Netzen durch Einrichtungen der Leistungselektronik» est disponible. Il peut être obtenu au Secrétariat administratif de l'ASE, case postale, 8034 Zurich, au prix de fr. 80.– (fr. 50.– pour membres).

Beeinflussung in Netzen durch Einrichtungen der Leistungselektronik [1])

Am 12./13. November 1974 fand in Zürich eine vom SEV und VSE gemeinsam organisierte Tagung mit dem Thema «Beeinflussung in Netzen durch Einrichtungen der Leistungselektronik» statt. Dass diese Tagung einem wirklichen Bedürfnis entsprach, zeigte die ausserordentlich grosse Teilnehmerzahl: Rund 450 Besucher aus dem In- und Ausland hatten sich in Zürich eingefunden, um einen regen Gedankenaustausch über diese, Elektrizitätsverbraucher wie Elektrizitätserzeuger gleichermassen betreffenden Probleme zu pflegen. In 18 Referaten wurden die Hauptthemenkreise:

- Erzeugung von Oberwellen durch stationäre und mobile Anlagen
- Beeinflussung von Geräten, Netzen und Signalanlagen
- Messtechnische Probleme
- Stand der nationalen und internationalen Normen und Vorschriften

ausgiebig besprochen. Rege Diskussionen zu den einzelnen Referaten rundeten die Ergebnisse ab.

Es soll im folgenden versucht werden, die grundsätzlichen Probleme und Erkenntnisse herauszuschälen und zusammenzufassen, wobei aber immer wieder auf die vollständigen Texte der Vorträge hingewiesen werden muss, deren detailliertes Studium einen fundierten Überblick über den heutigen Stand gibt. Zu diesem Zweck werden zu den einzelnen Themenkreisen die laufenden Nummern der Vorträge gemäss Tagungsband angegeben.

1. Erzeugung von Oberwellen durch stationäre und mobile Anlagen
(Einführungsreferat, 1, 3, 4, 5, 7, 10, 11)

Oberwellen in elektrischen Netzen entstehen immer dann, wenn nichtlineare Verbraucher angeschaltet sind, wobei der Grad der Verzerrung des Netz*stromes* vor allem durch die Art des angeschlossenen Verbrauchers bestimmt wird. Die Verzerrung der Netz*spannung* resultiert aus den zusätzlichen Spannungsabfällen über der Netzimpedanz, welche durch den nichtsinusförmigen Strom hervorgerufen werden.

Bis vor rund einem Jahrzehnt musste diesem Problem keine sehr grosse Beachtung geschenkt werden, da als nichtlineare Verbraucher vor allem sättigende Induktivitäten (insbesondere Transformatoren) vorherrschten. Die auftretenden Oberwellen waren, verglichen mit den Grundwellen, recht schwach und hatten nur vernachlässigbare Auswirkungen auf das Verteilnetz.

Dieser Zustand änderte sich drastisch, als mit dem Aufkommen der Leistungshalbleiter ökonomisch vertretbare Lösungen zur Leistungsregelung und zur Umformung der elektrischen Energie plötzlich in grossem Umfang möglich wurden.

Von der Struktur her können alle diese Ventile als Schalter betrachtet werden, deren Schaltoperationen sich bei jeder Periode der Netzspannung wiederholen. Damit wird zwar einerseits eine praktisch verlustfreie Steuerung des dem Netz entnommenen Stromes (und damit der Leistung) möglich, andererseits aber die Stromkurve in starkem Masse von der Sinusform entfernt. Im Extremfall besteht der Netzstrom entweder aus phasenverschobenen Rechteckblöcken (Stromrichteranlagen mit Phasenanschnitt und vorwiegend induktiver Gleichstromlast) oder aus Ausschnitten der Sinushalbwelle (Phasenanschnitt mit Ohmscher Last, Wechselstromsteller). Eine Sonderstellung nehmen die Pulspaketsteuerungen ein, bei denen während einiger Perioden die Last angeschaltet, dann wieder abgeschaltet wird, so dass im Netz periodische Laststösse auftreten.

Die erstgenannten «Phasenanschnittsteuerungen» haben im Normalfall ein Stromspektrum, in welchem nur die ungeradzahligen Harmonischen der Netzfrequenz (Grundwelle 50 Hz, Oberwellen 150, 250, 350 ... Hz) auftreten.

Die Amplituden dieser Oberwellen nehmen mit der Ordnungszahl ab, so dass ihr relativer Betrag (Amplitude der Oberwelle zu Amplitude der Grundwelle) zwar klein wird, auf Grund der grossen Typenleistungen, absolut gesehen, jedoch noch als gross angesehen werden muss.

Durch die zusätzlichen Spannungsabfälle, welche die Stromoberwellen über der (induktiven) Netzimpedanz verursachen, wird in der Folge auch die Netzspannung verzerrt. Somit entstehen nicht nur direkte Störungen durch den verzerrten Netzstrom, sondern auch indirekte dadurch, dass nicht im gleichen Leistungszug liegende Verbraucher mit einer verzerrten Spannung beliefert werden.

Pulspaketsteuerungen auf der andern Seite bewirken zwar keine Oberwellen im Netz, bedingen jedoch entsprechend der periodisch geschalteten Leistung periodische Spannungsabfälle über der Netzimpedanz, die zu einer periodisch schwankenden Netzspannung führen. Diese periodischen Netzspannungsschwankungen werden gemeinhin als «Flicker» (mit Rücksicht auf ihre Auswirkungen auf die Helligkeit von Glühlampen) bezeichnet.

Es ist nun das Ziel der Hersteller von Stromrichteranlagen und auch ihrer Benutzer, die entstehenden Störungen, insbesondere also die Oberwellen, möglichst klein zu halten. Hierzu bestehen vor allem zwei Möglichkeiten: schaltungstechnische Massnahmen und Siebung bzw. Filterung.

Unter den schaltungstechnischen Massnahmen stehen beim heutigen Stand der Technik zwei Prinzipien im Vordergrund:

a) Höherpulsige Schaltungen: Auf diese Weise wird die mit der Pulszahl verknüpfte Ordnungszahl der ersten auftretenden Oberwelle erhöht und damit eine kleinere Amplitude der Oberwellen erreicht. Eine Begrenzung der Pulszahl folgt vor allem aus den ausserordentlich steil ansteigenden Kosten für den Transformator.

b) Folgeschaltungen: Im Prinzip wird die Leistung in Stufen und innerhalb dieser Stufen kontinuierlich gesteuert. Damit wird die durch Phasenanschnitt zu steuernde Leistung verringert und entsprechend auch die Oberwellen. Diese Variante findet sich vor allem in der Traktion, wo die Pulszahl auf Grund der einphasigen Speisung nicht erhöht werden kann.

Als weitere Massnahme kann versucht werden, einzelne Oberwellen durch entsprechend dimensionierte Sperrkreise bzw. Saugkreise aus dem Netz fernzuhalten. Trotzdem mit diesem Verfahren grundsätzlich eine vollständige Siebung erzielt werden könnte, wird es aus ökonomischen Gründen nur für die Elimination bestimmter Oberwellen eingesetzt.

Mögen die Oberwellenverhältnisse beim einzelnen Verbraucher noch relativ einfach überblickbar sein, so stellen sich für das Netz als Ganzes die Probleme der Erfassung der räumlichen und zeitlichen statistischen Verteilung der einzelnen Oberwellen. Eine «worst case»-Analyse, nach welcher für das Netz als Oberwellenamplitude die Summe der Oberwellen der einzelnen Verbraucher angenommen wird, ist zu weit von der realen Verteilung entfernt und führt zu nicht mehr vertretbaren Ergebnissen. Es sind daher Bestrebungen im Gange, um auf Grund statistischer Methoden zu einer wahrscheinlichen Verteilung der einzelnen Oberwellen zu gelangen und auf diesem Wege realitätsnähere Werte für die Netzbelastung zu erhalten. Diese Berechnungen sind besonders wichtig für die Hersteller von Kleingeräten (Phasenanschnittsteuerungen bis ca. 600 W für Drehzahl- und Helligkeitsregelungen, Einweggleichrichter in Fernsehempfängern, usw.), da in diesem Falle die Oberwellen nicht an einigen definierten Netzpunkten (Grossverbrauchern) entstehen, sondern statistisch über das ganze Netz verteilt sind.

2. Beeinflussung von Geräten, Netzen und Signalanlagen
(1, 2, 6, 7, 8, 9, 12)

Sind einmal die im Netz auftretenden Störungen sowohl im Strom als auch in der Spannung ausreichend genau bekannt, so können ihre Einflüsse auf die verschiedenen Verbrauchertypen, wie rotierende Maschinen und Transformatoren, Kondensatoren, Fernwirkanlagen, Messgeräte, Geräte der Unterhaltungselektronik und elektronische Steuereinrichtungen, untersucht werden.

Für einen Teil dieser Geräte (vor allem die rotierenden Maschinen und die Transformatoren) können die Einflüsse noch relativ gut beherrscht werden, da sie hier nur schwach in Erscheinung treten. In Frage kommen in erster Linie leicht erhöhte Kupfer- und Eisenverluste sowie im allgemeinen wenig störende Oberwellendrehmomente. Schwierigere Probleme treten bei Kon-

[1]) Zusammenfassung der Vorträge an der Informationstagung des SEV und VSE vom 12./13. November 1974 in Zürich.

densatorbatterien auf, da hier schon relativ kleine Oberwellenspannungen zu sehr hohen Blindströmen und damit erhöhter Erwärmung und eventuell beschleunigter Alterung führen.

Bei Fernwirkanlagen können Netzharmonische unter Umständen zu ausserordentlich gravierenden Störungen führen: Mit Rücksicht auf mögliche Beeinflussungen wurden seinerzeit die Frequenzbänder von Fernwirkanlagen so gelegt, dass sie zwischen den einzelnen Netzharmonischen liegen, wobei die Unterdrückung dieser Harmonischen durch Filter vorgesehen ist (abgestimmte Empfänger). Die vergleichsweise sehr leistungsstarken Oberwellen von Stromrichterschaltungen können jedoch eventuell nicht genügend durch die Filterdurchlasskurve abgedämpft werden, was zu ungewollten Schaltoperationen führt. Eng verwandt mit den Problemen bei Fernwirkanlagen sind diejenigen, welche beim Einsatz von Messgeräten, insbesondere von Energiezählern, auftreten können. Die entstehenden Messfehler sind besonders bei Schwachlast ausgeprägt und positiv, womit ein wünschenswerter zusätzlicher Anreiz zur direkten Unterdrückung von Oberwellen beim Verursacher auftritt.

Störeinflüsse auf Geräte der Unterhaltungselektronik können beim jetzigen Stand der Technik, speziell in bezug auf die Speisung dieser Geräte, als behoben betrachtet werden.

Eine gewisse Ausnahme bilden im Hinblick auf die Speisung lediglich Rechner, für die von den Herstellern mit Rücksicht auf den Gleichlauf verschiedener Geräte enge Spezifikationen vorgeschrieben werden.

Die grössten Probleme bei oberwellenhaltiger Netzspannung treten bei Stromrichterschaltungen selbst in den Steuerkreisen auf, da hier jede Verzerrung der Spannungsform zu entsprechenden Verschiebungen einzelner Zündwinkel führen kann. Da dadurch unsymmetrische Betriebszustände entstehen, muss durch eine unter Umständen aufwendige Siebung der verzerrten Referenzspannung und eine Begrenzung des zulässigen Verstellwinkels Abhilfe gesucht werden.

Wie schon im Zusammenhang mit den Fernwirkanlagen bemerkt, sind durch die Oberwellen der Netzharmonischen allgemein Störungen von Signalanlagen zu befürchten. Dies trifft in besonderem Masse auch für die breitbandigen Niederfrequenzanlagen zu (Telephonie, Datenübertragung), in welche die Oberwellen mit ihren hohen Leistungsniveaus induktiv und kapazitiv einstreuen können. Eine Abhilfe bietet hier nur eine sorgfältig überlegte und geplante Kabelverlegung mit ausreichend störungsimmunen Kabeln. Die Behebung auftretender Störungen in älteren Anlagen ist zwar prinzipiell möglich – wie aus verschiedenen Diskussionsbeiträgen hervorging – muss jedoch von Fall zu Fall gesondert vorgenommen werden. Hier liegt einer der vordringlichsten Gesichtspunkte, unter denen Grenzwerte des Oberwellengehaltes festgelegt werden müssen.

3. Messtechnische Probleme
(12, 13, 14)

Neben den schon unter Abschnitt 2. erwähnten Beeinflussungen von Messgeräten durch Oberwellen stellt zurzeit die direkte Erfassung der Amplitude der Harmonischen und der in diesem Zusammenhang interessierenden Netzimpedanz als Funktion der Frequenz gewisse ungelöste Probleme. An verschiedenen Orten sind zurzeit Bestrebungen im Gange, für diese Zwecke angepasste Messverfahren und Systeme mit tragbarem Aufwand zu entwikkeln. Dies bietet insofern gewisse Schwierigkeiten, als die Anforderungen an die Konstanz und die Auflösung der Messgeräte wegen der tiefen Grundfrequenz ausserordentlich hoch sind. Lösungen zu diesen Problemen deuten sich jedoch schon für die nähere Zukunft an.

4. Normen und Vorschriften
(15, 16, 17, 18 sowie auch 2, 8, 9)

Das Gebiet der Normen und Vorschriften ist, nicht zuletzt wegen der stürmischen Entwicklung und des praktisch allgegenwärtigen Einsatzes von Stromrichteranlagen, zurzeit im Umbruch, da die vorhandenen Normen im allgemeinen den neuesten Realitäten nicht genügend Rechnung tragen. Zurzeit sind verschiedene schweizerische, europäische (CENELEC) und auch interkontinentale (CEI, CE 77) Gremien an der Entwicklung neuer Normen, mit denen die im Netz auftretenden Störspannungen auf ein für den Erzeuger und für den Verbraucher vertretbares Niveau gebracht werden sollen.

Die Probleme sind vor allem in den Niederspannungsnetzen akut, da hier eine unkontrollierbar grosse Anzahl von Geräten mit Phasenanschnitt oder Pulspaketsteuerung bei relativ hoher Netzimpedanz schon in Betrieb sind, ohne dass eine Stabilisierung zu erwarten ist. Hier ist die baldige Annahme einer europäischen Vereinbarung (CENELEC 50006) zu erwarten. Sie enthält folgende wichtige Punkte:

– Festlegung einer Normalimpedanz des Niederspannungsnetzes auf $(0{,}4 + j\ 0{,}25)\Omega$ für das System Phase-Nulleiter bei der Netzfrequenz 50 Hz;
– Festlegung der zulässigen Amplituden der ungeradzahligen Netzoberwellen auf Werte zwischen 0,85 % und 0,25 %, je nach Ordnungszahl. (Für gradzahlige Oberwellen sind einheitlich 0,2 % vorgesehen.);
– Festlegung der zulässigen Spannungsänderungen für Flickererscheinungen (je nach Häufigkeit zwischen 10 % und 0,3 % Spannungsänderung).

Für die nichtlinearen Lasten mit hohen Nennleistungen müssen von Fall zu Fall besondere Vereinbarungen getroffen werden, die eine genügende Oberwellenreduktion vorsehen.

—

Es hat sich im Verlaufe der Tagung und insbesondere der Diskussionen immer wieder gezeigt, dass sich sowohl die Verbraucher als auch die Erzeuger elektrischer Energie darüber im klaren sind, dass das Problem der Oberwellen und der damit zusammenhängenden Beeinflussungen dringend einer Lösung zugeführt werden muss. Besonders erfreulich war es jedoch, dass die Überzeugung besteht, dass diese Lösung auf dem Wege exakt untermauerter Messwerte und auf dem Wege des gegenseitigen Entgegenkommens auf nationaler und internationaler Ebene gesucht und gefunden werden muss.

Dr. J. Weiler

Wir machen darauf aufmerksam, dass eine beschränkte Anzahl des Konferenzbandes «Beeinflussung in Netzen durch Einrichtungen der Leistungselektronik» beim Administrativen Sekretariat des SEV, Postfach, 8034 Zürich, zum Preise von Fr. 80.– (Fr. 50.– für Mitglieder) erhältlich ist.

Nous attirons l'attention sur le fait qu'un nombre limité du tirage à part «Beeinflussung in Netzen durch Einrichtungen der Leistungselektronik» est disponible. Il peut être obtenu au Secrétariat administratif de l'ASE, case postale, 8034 Zurich, au prix de fr. 80.– (fr. 50.– pour membres).