Auswirkungen in elektrischen Verteilanlagen beim Anschluss von Apparaten mit Leistungselektronik

Autor(en): **Rogenmoser, Ch.**

Objekttyp: **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): **66 (1975)**

Heft 1

PDF erstellt am: **23.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-915251

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.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Auswirkungen in elektrischen Verteilanlagen beim Anschluss von Apparaten mit Leistungselektronik

Von Ch. Rogenmoser

Die elektrischen Verteilnetze wirken als Koppelglieder zwischen Störern und Gestörten. Für die Auswirkungen in den Verteilnetzen ist nebst der Grösse des Oberwellenstromes und für Spannungsschwankungen der Änderung des Grundwellenstromes auch die Netzimpedanz beziehungsweise die Kurzschlussleistung am Anschlussort der Apparate massgebend. Die bis anhin bekannten Störer grösserer Leistungen, vorwiegend Motoren, Lichtbogenöfen sowie Elemente der Energieerzeugung und -verteilung, wurden bezüglich Rückwirkungen laufend verbessert, wogegen Apparate mit Leistungselektronik die Verhältnisse wieder verschlechtern.

Les réseaux électriques de distribution agissent comme des organes de couplage entre perturbateurs et perturbés. Sont déterminants pour les répercussions dans les réseaux de distribution – à côté de la grandeur du courant des harmoniques supérieures et, pour les fluctuations de tension, le changement du courant de l'onde fondamentale – aussi l'impédance du réseau, resp. la puissance de court-circuit au lieu de raccordement des appareils. Les perturbateurs de grande puissance connus jusqu'ici, soit principalement les moteurs, fours à arc ainsi que des éléments de la production et de la distribution d'énergie, ont été améliorés au fur et à mesure; en revanche les appareils électroniques de puissance détériorent de nouveau la situation.

1. Die Verteilnetze, als Koppelglieder zwischen Störern und Gestörten

Elektronisch betriebene Apparate erfordern bekanntlich eine Energieversorgung, welche in den weitaus meisten Fällen aus den der allgemeinen Energieversorgung dienenden Verteilnetzen entnommen wird. Erzeugt nun ein solcher Apparat bei seinem Betrieb rückwirkende Oberwellen oder beeinträchtigt er infolge rasch wechselndem Leistungsbezug die Gleichmässigkeit der Netzspannung, betrachten ihn die Elektrizitätswerke als Störer, wenn dadurch der Betrieb der Anlagen der Werke oder deren Bezüger je nach Störgrösse ungünstig beeinflusst wird. Die an der Impedanz der Zuleitung entstehenden Spannungsabfälle, was in den hier diskutierten Fällen Oberwellenspannungen oder rasche Schwankungen der Grundwelle (Flickererscheinungen) sind, verbreiten sich je nach Netzaufbau zu anderen, am gleichen Netz angeschlossenen Abonnenten. Die Elektrizitätswerke als Betreiber der Verteilnetze haben infolge ihrer Rechtsbeziehungen zu Störern und gestörten Abonnenten die unangenehme Pflicht, als eine Art Ordnungshüter darauf zu achten, dass die Beeinflussungen der angeschlossenen Apparate in einem für alle Beteiligten tragbaren Rahmen liegen. Es ist daher auch leicht verständlich, wenn die Elektrizitätswerke an wirksamen Vorschriften interessiert sind, um die Auswirkungen von Apparaten mit Leistungselektronik auf ein nicht störendes Mass zu reduzieren.

2. Netzimpedanz und Kurzschlussleistung

Ob Apparate, ohne störende Rückwirkungen zu erzeugen, an ein Verteilnetz angeschlossen werden können, ist (nebst der Erfüllung von apparatebezogenen Bauvorschriften) weitgehend von der Netzimpedanz beziehungsweise der Kurzschlussleistung des speisenden Netzes abhängig. Ein langes Freileitungsnetz mit entsprechend hohen Leitungsimpedanzen ist somit bezüglich Rückwirkungen wesentlich problematischer als etwa ein vollständig verkabeltes Stadtnetz.

2.1 Allgemeines zur Netzimpedanz

Die abgeschlossene Leitung samt Speisung kann für die hier zur Diskussion stehenden Untersuchungen als Zweipol betrachtet werden. Die Serieschaltung von Verlustwiderständen der Generatoren, Transformatoren und Leitungen sowie deren Transient- und Streureaktanzen, Induktivitätsbeläge und die parallel wirkenden Betriebskapazitäten der Leitungen ergeben das vereinfachte Ersatzschaltbild nach Fig. 1.

Die Netzimpedanz Z_N ist komplex, wobei allerdings ab ca. 350 Hz die Verlustwiderstände R vernachlässigbar sind. Die Ermittlung der Netzimpedanz erfolgt meistens rechnerisch anhand der Generator-, Transformator- und Leitungskenndaten. Die Betriebskapazitäten sind für Berechnungen der Grundfrequenz und der NF-Oberwellenbeeinflussungen für alle Arten von Niederspannungsleitungen und für Mittelspannungsfreileitungen vernachlässigbar. Für längere Mittelspannungskabel und für Höchstspannungsleitungen müssen deren Kapazitäten berücksichtigt werden. Für die Ermittlung der Impedanzen von Niederspannungsnetzen muss bekanntlich das primärseitige Netz nicht einbezogen werden, das heisst, es wirkt als Kurzschluss mit der Impedanz Null.

Auf die Kenndaten der Leitungen, Transformatoren und Generatoren soll hier nicht näher eingegangen werden, da deren Ermittlung aus Literaturangaben oder den Daten der effektiven Netzausbauten möglich ist.

In Verteilnetzen angeschlossene Kondensatoren, wie sie oft zu Leistungsfaktorverbesserungen Anwendung finden, bewirken in gewissen Frequenzbereichen eine Impedanzerhöhung

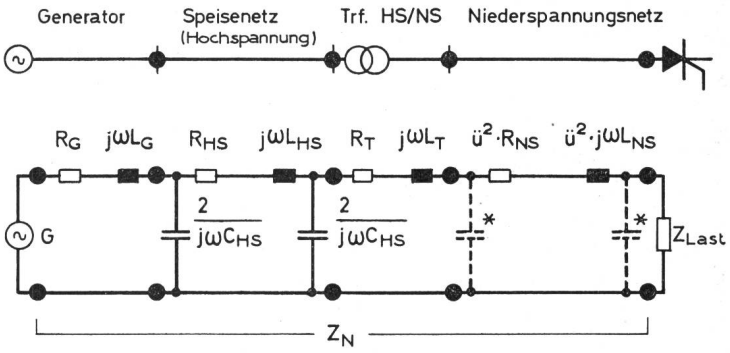

Fig. 1 Vereinfachte Darstellung der Netzimpedanz Z_N

R_G, R_T Verlustwiderstände
R_{HS}, R_{NS} Widerstandsbeläge der Leitungen
L_G, L_T Induktivitäten von Generatoren und Transformatoren
L_{HS}, L_{NS} Induktivitätsbeläge der Leitungen
C_{HS}, C_{NS} Betriebskapazitätsbeläge der Leitungen
* Vernachlässigbar

und dürfen für genaue Untersuchungen nicht vernachlässigt werden. Ebenso darf auch die Impedanz der angeschlossenen Netzlast nicht in allen Fällen unberücksichtigt bleiben.

Bevor jedoch auf die Grösse der Netzimpedanz eingegangen werden kann, ist deren Bezugspunkt für die notwendigen Betrachtungen, der sogenannte Verknüpfungspunkt, etwas näher zu erläutern.

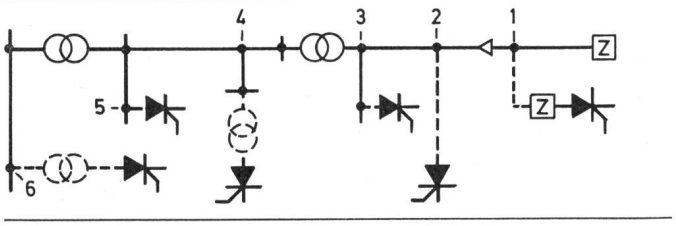

Fig. 2 Verknüpfungspunkte

1 Anschluss an Hauptverteilung eines Wohnhauses
2 Anschluss an Niederspannungsleitung
3 Anschluss an SS-Trf.-Station (sep. NS-Zuleitung)
4 Anschluss an Mittelspannungsnetz mit eigener Trf.-Station
5 Anschluss an SS-Unterwerk mit eigener MS-Zuleitung
6 Anschluss an Höchstspannungsnetze mit eigenem Trf.

2.2 Verknüpfungspunkt

Der Ausdruck Verknüpfungspunkt gilt für alle Arten der an einem Netz angeschlossenen Objekte und legt den Ort fest, wo die Zuleitung zu einem Abonnenten vom allgemeinen Versorgungsnetz abzweigt. Hervorgehend aus der heutigen Praxis der Elektrizitätswerke, fällt der Verknüpfungspunkt meistens mit der Eigentumsgrenze zwischen Abonnent und EW zusammen, was aus den in Fig. 2 gezeigten Beispielen an einem Strahlennetz ersichtlich ist.

2.3 Verhältnisse in Niederspannungsnetzen

In den Niederspannungsnetzen ist an den Verknüpfungspunkten mit sehr unterschiedlichen Netzimpedanzen zu rechnen. Der vom CENELEC (Europäisches Komitee für elektrotechnische Normung) festgelegte Wert der Normimpedanz eines Ersatznetzes für die Prüfung von Apparaten beträgt für die Schleife Phase–Nulleiter

$$Z_{150\,\mathrm{Hz}} = (0{,}4 + j\,0{,}25)\ \Omega$$

und die Phase beim zwei- oder dreiphasigen Anschluss

$$Z_{350\,\mathrm{Hz}} = 0{,}6 \cdot Z_1 = (0{,}24 + j\,0{,}15)\ \Omega$$

Diese Impedanzwerte entsprechen unter Berücksichtigung eines 100-kVA-Transformators einer Länge von lediglich ca. 320 m und ergeben eine Kurzschlussleistung von ca. 100 kVA für den einphasigen und ca. 500 kVA für den dreiphasigen Anschluss.

Diese Grössen treffen im gesamtschweizerischen Mittel für rund 90 % aller Abonnenten zu, das heisst 10 % der Abonnenten haben höhere Anschlussimpedanzen bzw. kleinere Kurzschlussleistungen am Verknüpfungspunkt. Für diese 10 % sollen, so die Meinung des CENELEC, Störungen für alle Beteiligten tragbar sein.

Wieweit diese 10 % in Wirklichkeit zu Störungen führen, wird vor allem von der Gleichzeitigkeit der Betriebszeiten allfällig störender Apparate, der Verteilung auf die drei Phasen sowie bei Phasenanschnitt der Stellung der Anschnittwinkel und bei Schwingungspaketsteuerungen der Taktfrequenz abhängig sein.

Aus der Fig. 3 ist ersichtlich, dass dieser Wert mit einigen Nachteilen behaftet ist. In ländlichen Netzen mit vorwiegend oder oft sogar ausschliesslich Freileitungen verfügen lediglich rund 50 % der Abonnenten über eine kleinere Netzimpedanz als der Normwert des gesamten Ersatznetzes. In Stadtnetzen, wo Kabelleitungen verlegt sind, trifft der Wert für annähernd 100 % zu. Aus der Sicht der Elektrizitätswerke ist man daher für globale Anschlussbewilligungen von am Ersatznetz geprüften Apparaten noch etwas skeptisch, insbesondere wenn auch in ländlichen Netzen eine vermehrte Anwendung allfällig störender Apparate zu erwarten ist.

2.4 Verhältnisse in Mittelspannungsnetzen

Auch in Mittelspannungsnetzen bestehen recht beachtliche Unterschiede bezüglich Leitungsimpedanzen beziehungsweise Kurzschlussleistungen. Da heute, ausgenommen in Großstadtnetzen, eine starke Vermischung von Kabel- und Freileitungsnetzen besteht, ist es recht schwierig, genügend genaue Mittel- oder Grenzwerte zu ermitteln. Allerdings steht für Mittelspannungsnetze *auch nicht ein Ersatznetz zur Diskussion,* woran eine allfällige Apparateprüfung zu erfolgen hätte. Dies vor allem, weil die Auswirkungen einer Anlage mit direkter Speisung ab dieser Spannungsebene ohnehin eine individuelle Berechnung durch das energieliefernde Elektrizitätswerk erfordert.

Als Richtwerte und zur Illustration dürften für wiederum 90 % der Verknüpfungspunkte von Transformatorenstationen, also eher *obere Grenzwerte,* etwa folgende Grössen zutreffen:

Freileitungsnetze $Z_{150\,\mathrm{Hz}} = (3 + j\,5)\ \Omega$

Dies entspricht einer Kurzschlussleistung von 50 MVA bei 16 kV und je nach Impedanz des Höchstspannungsnetzes und der Leitung einer Leitungslänge von ca. 8–9 km.

Kabelnetze $Z_{150\,\mathrm{Hz}} = (0{,}8 + j\,1{,}4)\ \Omega$

Dies entspricht einer Kurzschlussleistung von 150 MVA bei 16 kV und einer Kabellänge von ca. 5–6 km.

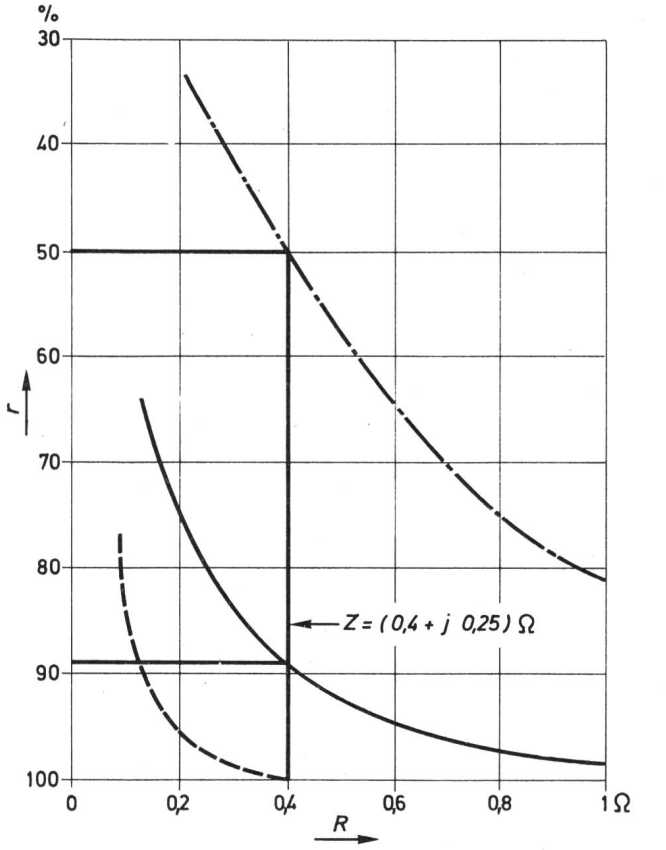

Fig. 3 Anschlusswiderstände der Abonnenten in verschiedenen Netzen

r Prozentualer Anteil der Abonnenten mit kleineren Anschlusswiderständen als die jeweiligen Abszissenwerte
R Anschlusswiderstand aus Schleife Phase-0
(Die Anschlussreaktanz beträgt für den Mittelwert ca. 60 % des Widerstandes)

—·—·— Freileitungsnetze
——— Durchschnitt für schweizerische Verhältnisse
– – – – Kabelnetze

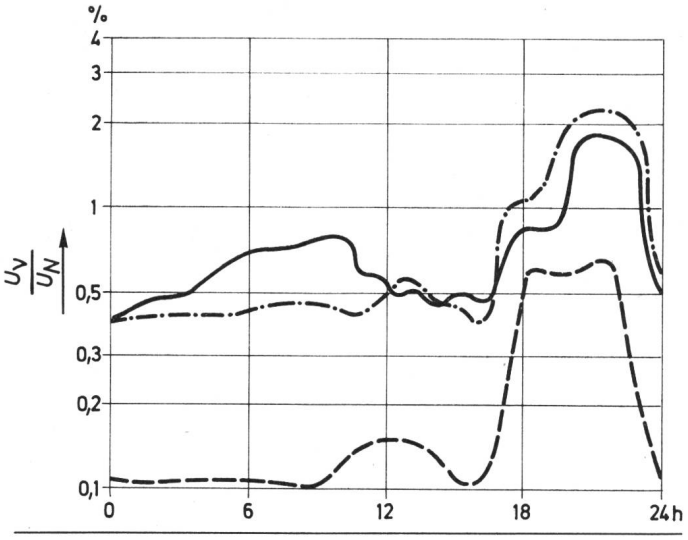

Fig. 4 Tagesdiagramm der Oberwellenspannungen in einem Wohnquartier

——— 250 Hz
— — — 200 Hz
—·—·— 150 Hz

Für Höchstspannungsnetze ist eine individuelle Betrachtung in jedem Fall notwendig, ändern doch die Verhältnisse je nach Spannungsebene sehr stark.

2.5 Möglichkeiten zur Reduktion der Netzimpedanz

Wenn ein Netz für den Anschluss eines störenden Gerätes eine zu hohe Impedanz aufweist und mit Störungen zu rechnen ist, kommt jeweils sofort die Frage nach einer Reduktion der Netzimpedanz. Sofern das Verteilnetz kleine Leitungsquerschnitte aufweist, kann durch Verstärkungen oder in Freileitungsnetzen durch Verkabelungen unter Umständen eine Reduktion der Beeinflussung erreicht werden. Hiezu ist jedoch zu erwähnen, dass die dafür erforderlichen Aufwendungen, entgegen der oft von Abonnenten und Apparateherstellern gehegten Meinung, nicht zu Lasten der Elektrizitätswerke gehen können.

Eine weitere und zudem viel wirksamere Möglichkeit ist die Verlagerung des Verknüpfungspunktes. In Niederspannungsnetzen ist dies mit einer separaten Zuleitung ab Transformatorenstation oder einer betriebseigenen Station erreichbar.

In Mittel- und Hochspannungsnetzen, also für Apparate mit grossen Leistungen, ist wohl nur mit separater Leitung ab Unterwerk oder sogar separatem Speisetransformator im Unterwerk eine spürbare Verbesserung erreichbar.

Für die Beurteilung der Auswirkungen sind die an der Netzimpedanz des Verknüpfungspunktes entstehenden Spannungsabfälle (Oberwellenspannungen oder Spannungsschwankungen) massgebend.

3. Herkömmliche oder bis anhin bekannte Beeinflussungen

Zur besseren Beurteilung der heutigen Situation soll noch kurz auf die bisher häufigsten Störer eingegangen werden.

Die nachstehende Aufstellung zeigt einen groben Überblick der bis anhin am meisten vorgekommenen Störer.

Oberwellenerzeuger	*Flickererzeuger*
– Generatoren	– Lichtbogenofen
– Transformatoren	– Schweissanlagen
– Motoren	
– Drosselspulen	
– Gleichrichter	

Durch technische Konstruktionsverbesserungen und immer strengere Regeln, Leitsätze und Prüfvorschriften, wie zum Beispiel die SEV-Publikation 3009 für elektrische Maschinen, haben die hier zur Diskussion stehenden Beeinflussungen der Verteilnetze und insbesondere deren Oberwellengehalt stets abgenommen.

Es darf fast als sicher angenommen werden, dass der Tiefststand an Oberwellengehalt vor einigen Jahren erreicht war, bevor die Verbreitung von Apparaten mit elektronischen Netzteilen und die Leistungselektronik einsetzte.

Da die Probleme der Flickerauswirkungen hier nicht weiter behandelt werden, beziehen sich die nun folgenden Ausführungen vorwiegend auf Oberwellenbeeinflussungen.

4. Oberwellenpegel in den Verteilnetzen

Verschiedene Elektrizitätswerke haben in letzter Zeit in den Netzen, im Zusammenhang mit Anschlussbegehren von Apparaten mit Leistungselektronik, Oberwellenpegelmessungen durchgeführt. Zudem hat die UNIPEDE (Union Internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie Electrique) im Jahre 1971 eine umfangreiche Umfrage über Oberwellenpegel in elektrischen Verteilnetzen gemacht, wozu auch der Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke über die Situation in der Schweiz einen Bericht abgab.

All diese Untersuchungen haben gezeigt, dass die Oberwellenpegel in den Verteilnetzen keineswegs stabil sind und zum Teil recht hohe Werte aufweisen. Gründe hiefür sind unterschiedliche Leitungsbelastungen und Verbrauchercharakteristiken, aber auch die Gebrauchsdauer und zeitliche Staffelung der angeschlossenen Verbraucher. So ist zum Beispiel der Oberwellenanteil auf einer Niederspannungsleitung in einem Wohngebiet normalerweise tagsüber recht gering und steigt, bedingt durch die Fernsehapparate, in den Abendstunden auf ein Vielfaches an. Wird nun aber bereits am Nach- oder sogar Vormittag eine interessante Sendung gezeigt, ändern analog den Einschalt- oder Sendezeiten auch die Verhältnisse bezüglich Auftreten von Oberwellen. In Netzen mit vorwiegend Industrieabonnenten sind die Verhältnisse je nach Betriebscharakter eher tagsüber schlechter.

Die Fig. 4 und 5 zeigen je ein typisches Diagramm in einem Wohnquartier und einem Industriequartier.

Diese Figuren geben sicher nur einen kleinen Einblick in die bereits vorhandenen Oberwellenpegel. Je nach Netz- und Abonnentencharakteristik muss sogar noch mit wesentlich höheren Werten gerechnet werden, wobei in solchen Fällen eine Zulassung von weiteren Oberwellenerzeugern geradezu unverantwortlich wäre. In der deutschen Vorschrift VDE 0160 wird den Herstellern von elektronischen Apparaten die in den Verteilnetzen als maximal zulässig erachteten Oberwellengrenzwerte als Dimensionierungsgrundlage angegeben (Fig. 6). Diese Grenzwerte wurden in der SEV-Kommission für niederfrequente Störeinflüsse schon verschiedentlich behandelt, allerdings steht eine allfällige Übernahme bis zum Vorliegen von diesbezüglichen internationalen Empfehlungen noch nicht zur Diskussion. Diese Grenzwertkurve zeigt aber doch im Vergleich mit den Fig. 4 und 5 ganz eindeutig, dass zur Vermeidung von störenden Beeinflussungen, je nach Verteilnetz und dessen Oberwellenwerte, keine weiteren derartigen Apparate oder nur noch solche mit kleinen Oberwellenrückwirkungen angeschlossen werden können.

Analog den hier geschilderten Verhältnissen bezüglich unterschiedlichen Oberwellenpegeln in Niederspannungsnetzen sind auch Mittel- und Hochspannungsnetze recht unregelmässig. Die Werte sind etwas tiefer, was aber auch nötig ist, da sie ja, infolge ihrer besseren Ausbreitung auf tiefere Spannungsebenen, viel grössere Gebiete beeinträchtigen und die Marge für allenfalls noch zulässige Verbraucher allzustark verkleinern würden.

5. Auswirkungen beim Anschluss oberwellenerzeugender Geräte

Beim Anschluss oberwellenerzeugender Geräte sind infolge zu hoher Oberwellenspannungen auf den Leitungen oder an den Verknüpfungspunkten Störungen an folgenden Apparaten festgestellt worden:

- Rundsteueranlagen der Elektrizitätswerke
- Kondensatorenanlagen
- Vorschaltgeräte von Fluoreszenzlampen
- Fernsehgeräte
- Unterhaltungselektronik
- Datenverarbeitungsanlagen
- Elektronische Steuereinrichtungen
- Fehlerstromschutzschalter

Nebst diesen direkten Störungen entstehen aber auch beachtliche indirekte Beeinflussungen, wie grössere Übertragungsverluste in den Transformatoren und auf den Verteilleitungen infolge der angeschnittenen Ströme und des schlechten Leistungsfaktors cos φ. Ausserdem bewirken höhere Frequenzen grössere Stromverdrängungs- und Wirbelstromverluste. In gelöschten Mittelspannungsnetzen bewirken die Oberwellenspannungen im Erdschlussfall grössere nicht kompensierbare Erdschlußströme.

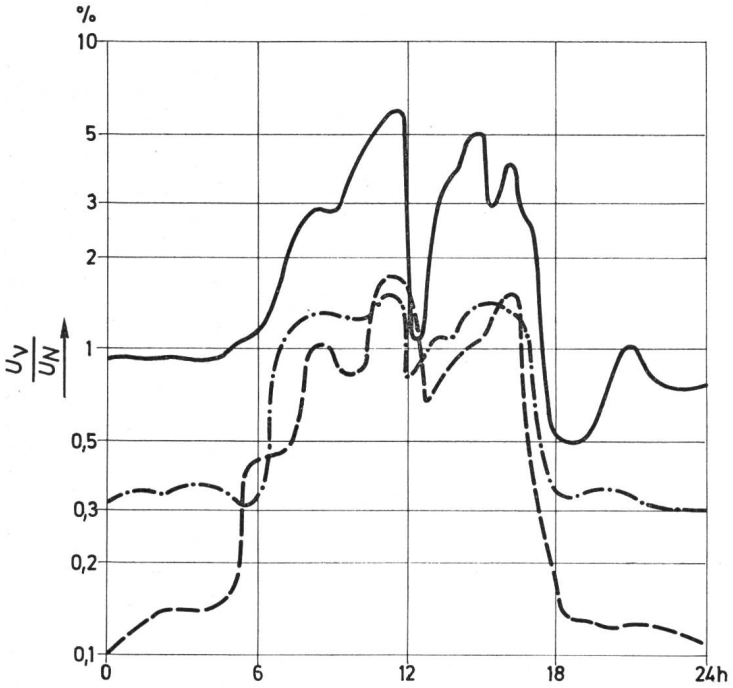

Fig. 5 Tagesdiagramm der Oberwellenspannungen in einem Industriequartier

250 Hz
200 Hz
150 Hz

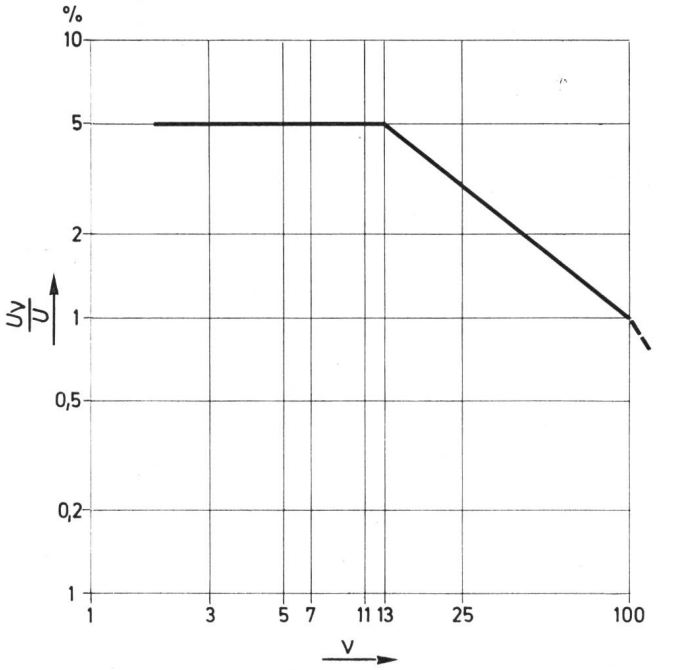

Fig. 6 Grenzwerte nach VDE 0160 für jede einzelne Oberschwingung in der Netzwechselspannung

5.1 Niederspannungsnetze

Von Objekten mit Verknüpfungspunkt in den Niederspannungsnetzen, also ohne eigene Transformatorenstation, sind störende Rückwirkungen von folgenden Apparaten festgestellt worden:

- Lichtregler
- gesteuerte Gleichrichter für
  Ladestationen
  unterbrechungsfreie Stromversorgungsanlagen
  Gleichstrommotoren
- Frequenzumsetzer
- direkte Tourenzahlregler von Motoren
- Regelung von Heizanlagen
- Schweissanlagen
- Netzteile von Fernsehapparaten

Bei der Bearbeitung der Störungsfälle hat sich eindeutig erwiesen, dass Apparate mit asymmetrischen Schaltungen, also Beeinflussungen von nur einer Halbwelle der sinusförmigen Grundwelle, infolge des dabei entstehenden zusätzlichen Anteils an Gleichstrom und geradzahligen Oberwellen grundsätzlich nicht zugelassen werden sollten. Ebenso führen bei Drehstrombrückenschaltungen 6pulsige Anlagen wesentlich häufiger zu Störungen als 12- oder mehrpulsige Anlagen. Es ist auch erwähnenswert, dass gesteuerte symmetrische Brückenschaltungen nicht immer symmetrisch sind beziehungsweise vom Fabrikanten symmetrisch eingestellt werden können und somit noch Anteile an Gleichstrom sowie geradzahligen und teilweise sogar nicht ganzzahligen Oberwellen erzeugen.

5.2 Mittelspannungsnetze

Für Mittelspannungsnetze gelten grundsätzlich die gleichen Folgerungen wie für Niederspannungsnetze. Da bei derartigen Anlagen oft genügend grosse Kurzschlussleistungen am Verknüpfungspunkt vorliegen, treten eher weniger Störungen auf. Allerdings sind auch allfällige Abhilfemassnahmen um so schwieriger zu realisieren als in Niederspannungsnetzen.

Den Elektrizitätswerken sind folgende Anwendungsgebiete der Leistungselektronik zur Versorgung angemeldet worden:

- Gleichrichteranlagen für Antriebe
- Gleichrichteranlagen für Bahnen
- Frequenzumformer für die Regelung von Wechselstromantrieben
- Frequenzumformer mit festem Frequenzverhältnis (zum Beispiel für die SBB auf $16^2/_3$ Hz)

Anlagen, welche grössere Leistungen aufweisen als die von der VSE-Kommission für Rundsteuerfragen für Hochspannungsabnehmer vorgeschlagene Grenze von 0,6 % der Kurzschlussleistung, führen fast durchwegs zu Störungen, es sei denn, die Anlagen werden mit zusätzlichen Filtern zur Verringerung der Oberwellenströme ausgerüstet.

6. Beispiele von Störauswirkungen

In den nachstehenden Abschnitten werden drei Beispiele von Apparaten, welche beim Betrieb zu Störungen geführt haben, kurz erläutert.

6.1 Lichtregler 1200 W in einem Niederspannungs-Ortsnetz

Einsatzmöglichkeiten:

- Schaufensterbeleuchtungen
- Beleuchtungsanlagen, insbesondere für Saal- und Bühnenverdunkelungsanlagen
- Wohn- und Schlafzimmerbeleuchtung (meistens Regler der Leistungsstufe 400 W)
- Regelung von Wärmelampen in der Tierzucht (Geflügel)

Als Beispiel für derartige Apparate sollen hier die Auswirkungen eines Reglers zur Steuerung einer Hühnerfarmbeleuchtung mit 20 Lampen à 60 W in einem Landwirtschaftsbetrieb erläutert werden (siehe auch Fig. 7).

Oberwellenspannungen am Anschluss Hühnerfarm

	1 Regler 20 Lampen		2 Regler 40 Lampen	
50 Hz	228,0 V	100,0 %	228,0 V	100,0 %
150 Hz	2,3 V	1,0 %	4,0 V	1,7 %
250 Hz	1,8 V	0,8 %	2,0 V	0,9 %
350 Hz	2,4 V	1,1 %	3,0 V	1,3 %
750 Hz	2,0 V	0,9 %	2,5 V	1,1 %
1050 Hz	1,5 V	0,6 %	1,8 V	0,8 %

Der Betrieb dieser Lichtregler hat zu Störungen an Fernsehapparaten, Vorschaltgeräten zu Fluoreszenzlampen und an Rundsteueranlagen geführt, was aufgrund der vorstehend aufgeführten Oberwellenwerte durchaus verständlich ist.

Würde an ein Netz mit gleichen Impedanzen in einem Wohnzimmer der in jedem Warenhaus erhältliche 400-W-Regler angeschlossen und voll ausgelastet, wären trotzdem noch Störungen an Rundsteueranlagen möglich, da die Spannungswerte infolge der bereits bestehenden Oberwellenpegel nicht im Verhältnis der Leistungsreduktion zurückgehen.

6.2 Kleiner Industriebetrieb mit Walzwerk

Bei einem Elektrizitätswerk wurde von einem Industriebetrieb eine Walzstrasse zur Neuinstallation angemeldet. Diese Anlage verfüge über 1 Motor à 45 PS und 2 Motoren à 35 PS. Die Betriebsleitung des EW entschloss sich, die Fabrik trotz dieser Leistungsvermehrung nach wie vor aus dem Niederspannungsortsnetz zu versorgen, allerdings mit der Auflage zur Kostenbeteiligung an einer neuen Kabelzuleitung ab der nächstgelegenen Transformatorenstation, Distanz 400 m. Nebst dem Industriebetrieb wurden auch noch sämtliche Wohnbauten des Quartiers an das neue Kabel angeschlossen.

Bei der Inbetriebnahme zeigte sich sofort ein für das EW betrübliches Bild, indem alle an diesem Niederspannungsstrang angeschlossenen Rundsteuerempfänger beim Betrieb der Walzstrasse durchliefen. Eine Spannungsmessung ergab den fast erschreckenden Wert von 12 V bei der Rundsteuerfrequenz von 195 Hz, also im Bereich der 4. Oberwelle.

Was war die Ursache? Anstelle der vermeintlichen Wechselstrommotoren waren drei je über eine halbgesteuerte Drehstrom-Gleichrichterbrücke gespiesene Gleichstrommotoren angeschlossen, wobei für diesen Fall die halbgesteuerte Schaltung die Ursache war, da sie bekanntlich auch geradzahlige Oberwellen erzeugt.

Das Netz, woran diese Walzstrasse angeschlossen wurde, ist in Fig. 8 aufgezeichnet.

Die Kurzschlussleistung am Verknüpfungspunkt beträgt 1200 kVA, womit die anschnittgesteuerte Leistung von ca. 120 kVA 10 % der Kurzschlussleistung ausmacht. Es ist daher auch leicht verständlich, weshalb derart hohe Oberwellenpegel entstehen.

Die beigezogenen Mitglieder der Kommission für Rundsteuerfragen des VSE haben aufgrund der durchgeführten Messungen dem Werk folgende Abhilfemassnahmen vorgeschlagen:

Variante 1: Ersatz der halbgesteuerten gegen vollgesteuerte Gleichrichterbrücken und eventuell zusätzliche Verbesserung durch Wahl einer 12pulsigen Schaltung.

Variante 2: Erstellen einer separaten Zuleitung ab Transformatorenstation, womit der Verknüpfungspunkt verlagert und die Kurzschlussleistung erhöht wird.

Variante 3: Erstellen einer fabrikeigenen Transformatorenstation, was die in Punkt 2 erwähnte Kurzschlussleistung noch wesentlich mehr erhöht und die Auswirkungen am Verknüpfungspunkt auf ein Minimum reduziert.

Bei den Varianten 2 und 3 ist der Ersatz der Gleichrichterbrücken nicht erforderlich, aber trotzdem ratsam, da ganz allgemein halbgesteuerte Schaltungen zu viele Oberwellen erzeugen.

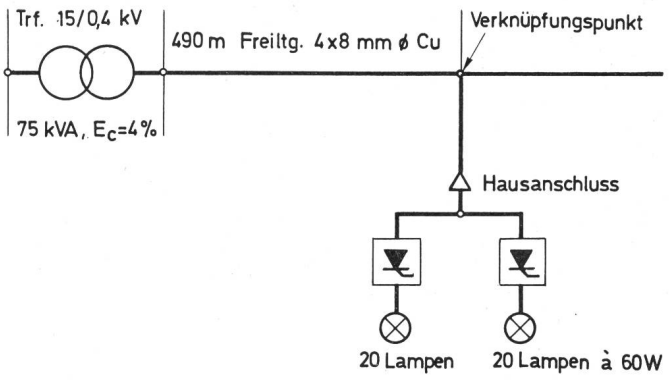

Fig. 7 Netzkonfiguration des Anschlusses eines Landwirtschaftsbetriebes

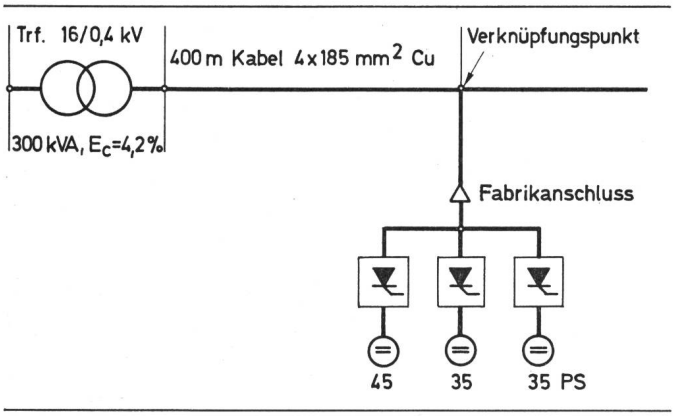

Fig. 8 Versorgungsnetz der Walzstrasse

6.3 Gesteuerte Thyristoren
für den Gleichstromantrieb einer Luftseilbahn

Für den Antrieb einer grossen Luftseilbahn wurde anstelle der bis anhin üblichen Ward-Leonard-Gruppe eine thyristorgesteuerte 6pulsige Drehstrom-Gleichrichterbrücke eingesetzt. Die Anlage war für eine Spitzenleistung von 1000 kW (Anfahrten) und eine Dauerleistung von 500 kW dimensioniert. Diese im Gebirge erforderliche Versorgung erfolgte über eine betriebseigene Transformatorenstation ab einem grösseren 10-kV-Netz. Die Kurzschlussleistung an der Übergabestelle, also dem Verknüpfungspunkt, beträgt lediglich 35 MVA.

Gemäss den erwähnten Empfehlungen des VSE sollte die anschnittgesteuerte Leistung in Mittelspannungsnetzen 0,6 % der maximalen Kurzschlussleistung nicht überschreiten. Dies würde für die vorliegende Anlage 210 kVA bedeuten. Da die Spitzenleistung jedoch fast fünfmal höher ist, sind die im Mittelspannungsnetz des stromliefernden Werkes durchgeführten Messungen auch entsprechend ausgefallen.

Oberwellenspannungserhöhungen im 10-kV-Netz:

250 Hz 4,7 %
350 Hz 2,1 %
550 Hz 2,2 %
650 Hz 1,6 %

Diese Werte konnten auch auf der Niederspannungsseite aller Ortsnetztransformatoren festgestellt werden, wobei sie selbstverständlich in Richtung des speisenden Unterwerkes abnahmen. Somit weist, ausgehend von einem einzigen, aber massiven Störer, eine gesamte Mittelspannungsleitung und in diesem Netz sogar, infolge der geringen Kurzschlussleistung von nur 60 MVA im Unterwerk, ein gesamter Unterwerksbezirk ein unverhältnismässig hohes Oberwellenspektrum auf.

Auch für diesen Fall kurz die möglichen Abhilfemassnahmen:

a) Beim Abonnenten

– Einbau von Filtern mindestens im Bereich der Frequenzen bis ca. 1000 Hz (sehr kostspielig)

– Ersatz der 6pulsigen Gleichrichterschaltungen gegen eine 12- oder sogar 24pulsige Schaltung

– Anpassung der Betriebsart, indem insbesondere die Beschleunigung reduziert wird.

b) Beim Werk

– Erhöhen der Kurzschlussleistung im Unterwerk durch Vergrösserung der Transformatorenleistung und auf der Mittelspannungsleitung durch Verstärkungen, womit die Netzimpedanz verkleinert wird.

7. Zusammenfassung

Die vorstehenden Ausführungen geben einen kleinen Einblick in die beim Anschluss von Apparaten mit Leistungselektronik entstehenden Probleme und im besonderen der Oberwellenbeeinflussungen. Die Elektrizitätswerke, ob gross oder klein, ob Betreiber von Freileitungs- oder Kabelnetzen, haben sicher allesamt grosses Interesse an Vorschriften und Empfehlungen, die für jeden Beteiligten erträglich sind. Dabei dürfen aber die Bestrebungen der Elektrizitätswerke für eine möglichst «saubere», sinusförmige und konstante Spannungskurve nicht unberücksichtigt bleiben. Ein Abweichen von dieser seit Jahren zielstrebig verfolgten Absicht würde sich, wie die erwähnten Beispiele gezeigt haben, schon in Kürze mit kaum mehr zu behebenden Folgen bemerkbar machen und alle an diesem Problemkreis Beteiligte, seien es Apparatefabrikanten, Abonnenten oder Elektrizitätswerke, betreffen.

Adresse des Autors:
Ch. Rogenmoser, Kreisbetriebsleiter der EKZ, 8820 Wädenswil.