

Harmonische Oberschwingungen - Netzqualität

Inhalt

Vorwort

1. Grundlagen der Netzqualität

1.1 Was sind Oberschwingungen

1.2 Auswirkung von Oberschwingungen

2. Oberschwingungen durch Messungen nachweisen

3. Anforderungen an die Netzqualität

4. Gegenmaßnahmen bei Oberschwingungen - Verbesserungen der Netzqualität

Vorwort

Eine der wichtigsten Umgebungsbedingungen für den reibungslosen Betrieb von elektrischen Anlagen ist eine ausreichende Qualität der Versorgungsspannung.

Störungen und Einflüsse die durch Einschaltvorgänge, Anlaufströme, Dimmer, Schaltnetzteile, Frequenzregler usw. verursacht werden, gefährden Geräte und Systeme in ihrer Betriebssicherheit.

1. Grundlagen der Netzqualität

Ein wesentlicher Bereich der Störungen und Einflüsse der Netzspannung stellen Netzurückwirkungen dar. Sie ergeben sich, wenn Betriebsmittel mit nichtlinearer Strom-Spannungs-Kennlinie oder mit nichtstationärem Betriebsverhalten (Ein- und Ausschaltvorgänge) an einem Stromnetz betrieben werden.

Die Problematik der Netzurückwirkungen gewinnt durch den vermehrten Einsatz von Leistungselektronik mit vermehrter Störaussendung einerseits und durch die Reduzierung der Signalpegel und damit der erhöhten Störempfindlichkeit in elektronischen Geräten andererseits immer mehr an Bedeutung. Dabei können elektronische Steuergeräte sowohl als Störaussender als auch als Stöempfänger arbeiten.

Die einzelnen Phänomene der Netzurückwirkung werden folgendermaßen definiert:

Oberwellen/Oberschwingungen:

Sinusförmige Schwingungen, deren Frequenz ein ganzzahliges Vielfaches der Grundfrequenz ist.

Zwischenharmonische:

Sinusförmige Schwingung, deren Frequenz kein ganzzahliges Vielfaches der Grundfrequenz ist.

Flicker:

Subjektiver Eindruck von Leuchtdichteschwankungen von Glühlampen und Leuchtstofflampen.

Spannungsänderung:

Änderung des Effektivwertes der Spannung.

Spannungsänderungsverlauf:

Zeitfunktion der Differenz zwischen dem Effektivwert der Spannung zu Beginn der Spannungsänderung und den nachfolgenden Effektivwerten.

Spannungsschwankung:

Folge von Spannungsänderungen oder Spannungsverläufen.

Spannungsunsymmetrie:

Abweichung der drei Spannungen des Drehstromsystems in ihrer Amplitude bzw. Abweichung von der Phasendifferenz 120° .

1.1 Was sind Oberschwingungen

Oberwellen oder Oberschwingungen entstehen durch Betriebsmittel mit nichtlinearer Kennlinie wie etwa Transformatoren, Leuchtstofflampen sowie leistungselektronische Betriebsmittel wie Gleichrichter, Triacs, Thyristoren usw. Weiterhin entstehen Oberwellen in Schaltnetzteilen in Fernsehgeräten, Computer, Halogenbeleuchtungen usw. die mit zunehmendem Einsatz betrieben werden. Die nichtsinusförmigen Ströme dieser Verbraucher verursachen an der Netzimpedanz einen Spannungsfall, der die Netzennspannung verzerrt.

Oberwellen sind zusätzliche Frequenzen, die ganzzahlige Vielfache der Grundwelle mit 50 Hz sind. Abbildung 1 zeigt beispielhaft die Auflösung einer durch Oberwellen verzerrten Signalkurve in die Grundwelle sowie in die 3. harmonische Oberwelle.

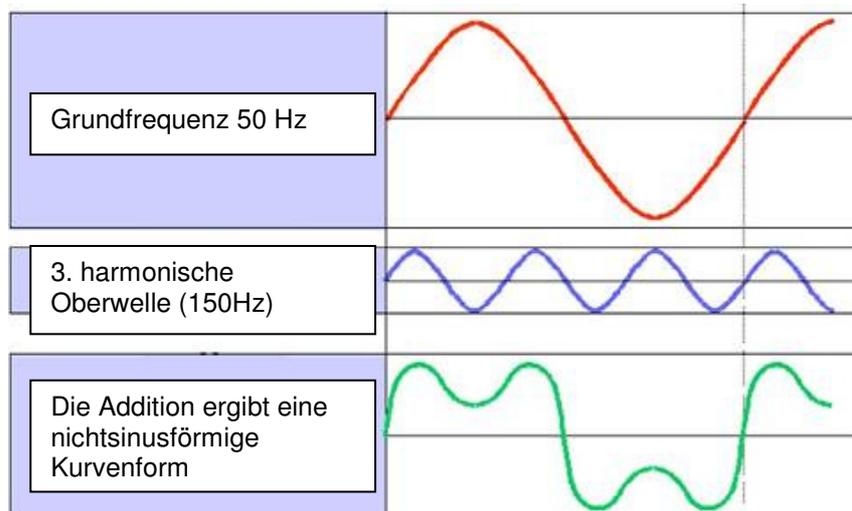


Abb.1: Addition der Grundwelle mit der 3. Harmonischen Oberwelle

Mit Hilfe der Fourier Analyse FFT (Fast Fourier Transformation) kann eine Signalförmigkeit in die Grundwelle sowie deren harmonische Oberwellen zerlegt werden. Dies geschieht mittels verschiedener mathematischer Verfahren.

Die Darstellung erfolgt zumeist in einem Balkendiagramm.

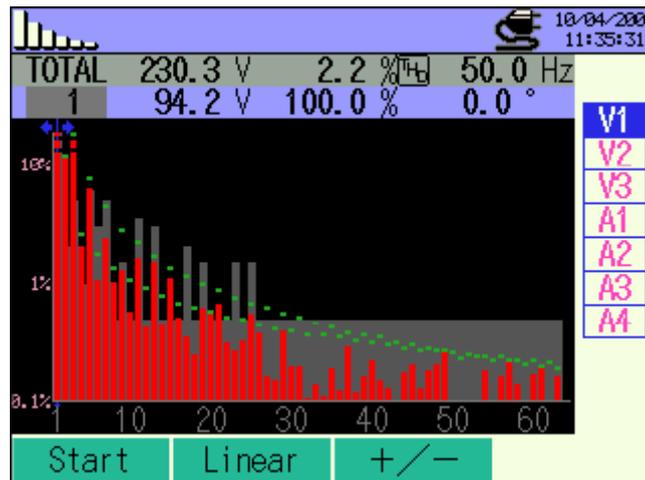


Abb.2: Beispielhafte Darstellung harmonischer Oberwellen (Kyoritsu 6310)

Der Grundswingungsgehalt g ist definiert als Quotient des Effektivwerts der Grundswingung zum Gesamteffektivwert der Oberswingungen.

Der Oberswingungsgehalt k oder Klirrfaktor ist definiert als Quotient des Effektivwerts der Oberswingungen zum Gesamteffektivwert.

Um nun ein Maß der gesamten Verzerrungen zu erhalten, ist der THD (Total Harmonic Distortion) definiert, der sich als Quotient des Effektivwertes der Oberswingungen zum Grundswingungseffektivwert errechnet.

Es ist heute üblich den THD und nicht den Oberswingungsgehalt (früher Klirrfaktor) zu verwenden.

1.2 Auswirkung von Oberschwingungen

Betriebsmittel können durch Oberschwingungen, aber auch durch andere Netzurückwirkungen so beeinflusst werden, dass die ordnungsgemäße Funktion beeinträchtigt oder das Betriebsmittel zerstört wird.

Schaltnetzteile reagieren beispielsweise im Falle von Kurzzeitunterbrechungen mit extrem hohen Einschaltspitzen, die das 20fache der Nennlast erreichen können. Werden diese einphasigen Verbraucher in einem Dreiphasen-Wechselstromsystem eingesetzt, fließt der volle Rückleiterstrom auch über den Sternpunkt des Transformators zurück. Werden viele Schaltnetzteile in einem System eingesetzt, heben sich die Rückleiterströme nicht mehr auf, sondern addieren sich. Es kommt zu einer sogenannten Sternpunktverschiebung.

Die Auswirkungen von Oberschwingungen sind:

- Bei Dreh- oder Wechselstrommotoren und -generatoren führen Stromoberschwingungen zu zusätzlicher Erwärmung.
- Oberschwingungen verkürzen durch Erhöhen der Glühfadentemperatur die Lebensdauer von Glühlampen.
- Bei Leuchtstofflampen können Oberschwingungen zu störenden Geräuschen führen und Kondensatoren die zur Kompensation von Leuchtstofflampen eingesetzt werden, können überlastet werden.
- Eine Kompensationsanlage bildet zusammen mit den reaktiven Netzimpedanzen einen Reihenschwingkreis. Liegt die Eigenresonanz dieses Schwingkreises in der Nähe einer vorhandenen Netzböschungung, so sind resonanzbedingte Anhebungen der Oberschwingungsspannungen zu erwarten. Beim Auftreten einer Resonanz erhöht sich der

Effektivwert der Netzspannung nur geringfügig, der Effektivwert des Kondensatorstroms jedoch erheblich. Ist die Strombelastbarkeit der Kompensationsanlage nicht ausreichend dimensioniert, so führt dies zur Zerstörung der Kondensatoren.

- Als Effekte von Oberschwingungen kann die Verschiebung der Nulldurchgänge und das Auftreten von Mehrfachnulldurchgängen auftreten. Diese Effekte können in elektronischen Betriebsmittel die Nulldurchgänge der Spannung erkennen müssen, also z.B. Steuerung von Stromrichter, Synchronisierereinrichtungen und Parallelschaltgeräte, zu Fehlfunktionen führen.
- Rundsteuerempfänger können durch Oberschwingungen in ihrer Funktion beeinträchtigt werden.
- Der Einfluss von Oberschwingungen kann Schutzgeräte wie Distanzschutz, Überstromschutz, Differentialschutz usw. beeinflussen und ist stark abhängig vom Aufbau und der Wirkungsweise der Schutzgeräte.
- Bei Induktionszähler ist der Einfluss von Oberschwingungen auf die Genauigkeit erheblich.
- Störungen der energietechnischen und informationstechnischen Betriebsmittel können zu Folgeschäden durch unkontrolliertes Abschalten von Betriebsmitteln und Produktionsprozessen in industrielle Anlagen führen.
- Bei kleinen Abständen zwischen Freileitungen und Telefonleitungen kann die Sprachübertragung gestört werden. Hier sind die Oberschwingungen der 20. bis 30. Ordnung besonders zu beachten.
- Bei symmetrischer Belastung eines Dreiphasennetzes ist die Summe der Außenleiterströme gleich null. Bei Oberschwingungen der 3. harmonischen Oberwelle heben sich die Phasenströme selbst bei symmetrischer Belastung nicht auf, sondern addieren sich und fließen in Summe über den Neutralleiter zu den Erzeugern zurück. Werden in einem Netz viele Geräte betrieben, von denen die 3. Oberschwingung erzeugt wird, dann kann sich daraus eine erhebliche Strombelastung des Neutralleiters ergeben.
- Durch Oberschwingungen verursachte Neutralleiterströme insbesondere in TN-C Netzen vagabundieren im gesamten Potential-Ausgleich-System über Wasser- und Heizungsrohre, Sprinkleranlagen, Erdungssysteme, Schirme von Datenleitungen, Videoleitungen, Kommunikationssysteme und können an Rohrleitungen zu erhöhter Korrosion bzw. Lochfraß führen.
- Bei IT Anlagen können Oberschwingungen zu Systemabstürzen an Personal Computern, Schnittstellendefekte, Performanceverluste, Baugruppenausfälle, Datenprobleme und Betriebsausfälle sowie magnetische Felder die zu Bildschirmflackern führen.

2. Oberschwingungen durch Messungen nachweisen

Eine einfache Methode zur Bestimmung einzelner Oberschwingungen ist das Messen mit einem modernen hochleistungsfähigen Netzanalysator. Dabei können einzelne Oberschwingungen aus dem gemessenen Signal herausgefiltert und graphisch dargestellt werden.



- Dreiphasiger, digitaler Leistungs- und Energieanalysator
- Farbiges Graphikdisplay
- Messung von Spannung, Strom, Phasenwinkel, kW, kVA, kVAr, harmonischen Oberwellen, Flicker und Leckströme
- Speicher und Compact Flash mit USB Schnittstelle

Abb. 3: Leistungs- und Netzanalysator Kyoritsu 6310

Mit einer modernen leistungsfähigen Software werden die Daten vom Messgerät zum Computer übertragen und vereinfachen die Auswertung und Präsentation der gemessenen Werte.

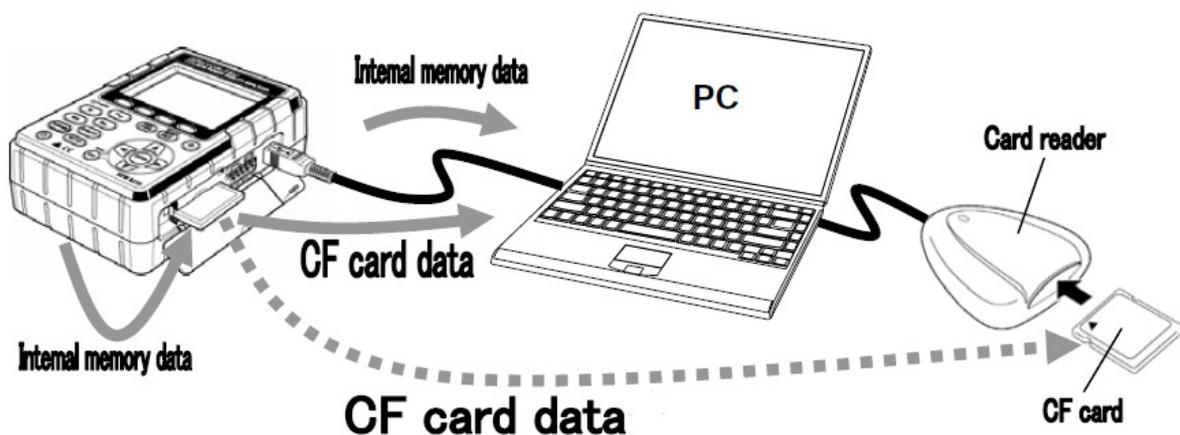


Abb. 4: Übertragung der gemessenen Daten (Kyoritsu 6310)

3. Anforderungen an die Netzqualität

Die Anforderung an die Netzqualität wird in der Norm EN 50160 'Merkmale der Spannung in öffentlichen Elektrizitätsversorgungsnetzen' beschrieben. Zweck dieser Norm ist die Festlegung und Beschreibung der Merkmale der Versorgungsspannung hinsichtlich Frequenz, Höhe, Kurvenform und Symmetrie der drei Leiterspannungen. Diese Merkmale ändern sich während des Normalbetriebes eines Netzes durch Lastschwankungen, Störeinflüsse von bestimmten Anlagen und das Auftreten von Fehlern, die vorwiegend durch äußere Ereignisse verursacht werden.

In der Norm EN 50160 werden unter anderem die Werte der einzelnen Oberschwingungsspannungen (u_h) an der Übergabestelle bis zur 25. Ordnung in Prozent der Netznominalspannung (U_n) beschrieben.

Grenzwerte für Oberschwingungsspannungen

Ungerade Harmonische				Gerade Harmonische	
Nichtvielfache von 3		Vielfache von 3		Ordnung h	u _h in %
Ordnung h	u _h in %	Ordnung h	u _h in %		
5	6,0	3	5,0	2	2,0
7	5,0	9	1,5	4	1,0
11	3,5	15	0,5	6...24	0,5
13	3,0	21	0,5		
17	2,0				
19	1,5				
23	1,5				
25	1,5				

Tabelle 1: Werte einzelner Oberschwingungsspannungen nach EN 50160 : 1999

Der Gesamtoberschwingungsgehalt THD (Total Harmonic Distortion) der Versorgungsspannung, gebildet aus allen Oberschwingungen bis zur Ordnungszahl 40, darf einen Wert von 8 % nicht überschreiten.

Grenzwert des Gesamtoberschwingungsgehaltes THD

Gesamtoberschwingungsgehalt THD	
bis zur Ordnungszahl 40	max. 8 %

Tabelle 2: Wert des Gesamtoberschwingungsgehaltes THD nach EN 50160 : 1999

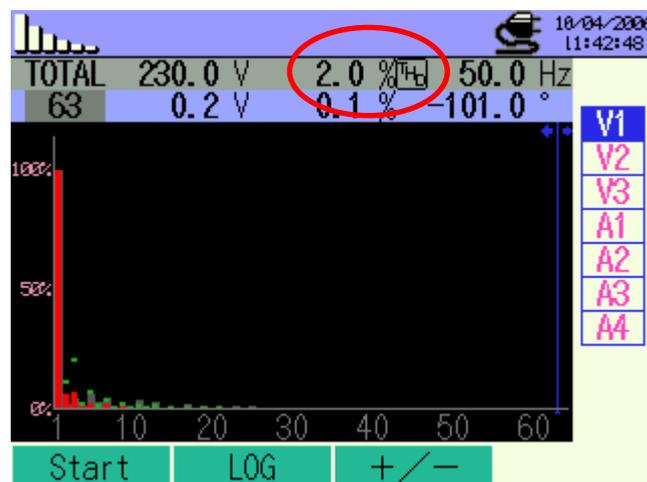


Abb. 5: Gesamtoberschwingungsgehalt THD (Kyoritsu 6310)

4. Gegenmaßnahmen bei Oberschwingungen - Verbesserungen der Netzqualität

In der Praxis wurden harmonische Oberschwingungen festgestellt, die die zulässigen Grenzwerte überschreiten.

Welche Möglichkeiten gibt es nun zur Verbesserung der Netzqualität?

Vermeidung

Die einfachste Art der Verbesserung der Netzqualität ist das Vermeiden von Störungen.

Die gesetzliche Grundlage dafür, liefert der Gesetzgeber in der CE Richtlinie 2004/108/EWG Elektromagnetische Verträglichkeit.

Die Norm DIN EN 61000-3-2 Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) beschreibt die Grenzwerte für Oberschwingungsströme für Betriebsmittel mit einem Geräte-Eingangsstrom von ≤ 16 A je Leiter.

Hier ist darauf zu achten dass Betriebsmittel eingesetzt werden, die mit einem gesetzlich vorgeschriebenen CE Zeichen gekennzeichnet sind. Bei Neukonstruktion von Betriebsmitteln ist auf ein EMV-verträgliches Schaltungsdesign zu achten und im Falle von voraussichtlichen Netzurückwirkungen entsprechende Gegenmaßnahmen einzuleiten.

Stromnetzeigenschaften

Durch eine Verringerung der Netzimpedanz wäre eine Reduktion der Oberschwingungen möglich. Jedoch ist es generell nicht möglich eine Netzimpedanz zu verringern, um damit die Kurzschlussleistung des Netzes beliebig zu erhöhen. Hier sind wirtschaftliche und technische Grenzen maßgebend.

Störfestigkeit

Die im Stromnetz betriebenen Betriebsmittel können nicht mit einer beliebig hohen Störfestigkeit entwickelt und produziert werden. Die Kosten wachsen mit höherer Störfestigkeit stark an.

Oberschwingungsfilter

Als Gegenmaßnahme zur Begrenzung von Oberschwingungen werden mehrere aufeinander abgestimmte passive Filter (abgestimmte Saugkreise) eingesetzt. Die Verbesserung des Netzurückwirkungsverhaltens ergibt sich nur für die jeweils konkrete Installation, durch eine Erweiterung kann der Einsatz eines neuen Filters notwendig werden.

Aktive Oberschwingungsfilter

Um auch bei späteren Erweiterungen der Installation die Filter an die neue Situation anzupassen, entwickelte die Industrie aktive Oberschwingungsfilter. Aufgrund der Flexibilität der aktiven Oberschwingungsfilter kann die Nenngröße einfach vom aktuellen Bedarf gewählt werden. Zusätzlicher Bedarf, aufgrund von Installationserweiterungen, kann jederzeit durch Hinzufügen weiterer Komponenten aufgefangen werden.

Verdrosselte Kompensationsanlagen

Eine Kompensationsanlage bildet zusammen mit der Netzimpedanz einen Schwingkreis. Treten durch resonanzbedingte Verstärkungen der harmonischen Oberschwingungen höhere Spannungspegel auf, können gravierende Störungen im Niederspannungsnetz auftreten. Eine verdrosselte Kompensationsanlage ist eine Reihenschaltung aus Kondensator und Filterkreisdrossel, dessen Reihenresonanzfrequenz durch die Auslegung der Filterkreisdrossel so gewählt wird, dass sie unterhalb der 5. harmonischen Oberschwingung (250 Hz) liegt.

Eine verdrosselte Anlage saugt einen Teil der Oberschwingungsströme ab.

Änderung der Energieversorgung

Die Zusammenfassung stark nichtlinearer Betriebsmittel und empfindlicher Verbraucher zu getrennten Gruppen und die Einspeisung jeder Gruppe über jeweils einen separaten Transformator. Eine Änderung der Energieversorgung muss immer unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten betrachtet werden.

EMV verträgliche Gebäudeinstallation

Zur Vermeidung von Schäden durch Oberschwingungen ist es erforderlich eine EMV-verträgliche Gebäudeinstallation auszuführen.

- Konsequenter Aufbau eines TN-S-Netzes nach VDE0100 mit getrenntem Neutral- und Schutzleiter die nur an einem Punkt verbunden sind. Dadurch werden vagabundierende

Ströme im Schutzleitersystem und damit Störungen von stöempfindlichen Betriebsmittel verhindert.

- Überspannungsschutz für Kompensationsanlagen vorsehen um Schäden an der Anlage zu vermeiden.
- Falls wirtschaftlich vertretbar, geschirmte Stromversorgungsleitungen verwenden
- Getrennte Stromkreisgruppen für allgemeine und IT-Betriebsmittel vorsehen.
- Standardentstörbeschaltungen für Schalter, Schütz, Thermostate vorsehen.
- Metallene, leitende Konstruktionsteile beispielsweise Kabelbahnen, Rohrleitungen, Lüftungskanäle usw. mit dem Potentialausgleich verbinden.

Eine EMV-verträgliche Gebäudeinstallation erfordert auch eine sichere Energieversorgung.

- Stromtragefähiges, niederohmiges Erdungssystem installieren
- Keine Arbeitsströme im Schutzleiter- bzw. Potentialausgleichs-System zulassen
- Keine Mehrfacherdung des Neutralleiters bei Mehrfacheinspeisung zulassen
- Keine reduzierte Kabelquerschnitte für N und PE einbauen
- Kabelquerschnitte für Oberschwingungslasten auslegen
- Keine Einzeladern vom Transformator zur Hauptverteilung verlegen und bei wirtschaftlicher Verträglichkeit abgeschirmte Energiekabel verwenden.
- Kompensationsanlagen im Nulldurchgang ansteuern.

Um auch bei Änderungen und Erweiterungen der Gebäudeinstallation eine EMV-verträgliche Installation zu erhalten ist es unumgänglich eine Anlage prüffähig aufzubauen und eine konsequente Dokumentation der Installation fortzuführen.

www.evomex.de

Verfasser: J. Herr

 PEWA GROUP	PEWA Messtechnik GmbH Weidenweg 21 58239 Schwerte Tel.: 02304-96109-0 Fax: 02304-96109-88 E-Mail: info@pewa.de Homepage : www.pewa.de
 K&S Elektronik	 MB-electronic