

Netzberschwingungen bei AC-Antrieben



1.	Einleitung	5
2.	Grundbetrachtungen zu den Netz Oberschwingungen	6
3.	Ursachen und Auswirkungen der harmonischen Oberschwingungen	8
4.	Beispiel für die Berechnung der harmonischen Oberschwingungen	9
4.1	Berechnung der Quelle der Impedanzen und der Kurzschlussleistung	9
4.2	Berechnung der Auswirkung der Kommutierung	10
4.3	Tabelle: Korrekturkoeffizienten	10
4.4	Berechnung der Spannungsverzerrung	10
4.5	Tabelle: Oberwellenströme und -spannungen auf der 22 kV Seite	11
4.6	Tabelle: Oberwellenströme und -spannungen auf der 415 V Seite	11
5.	Normen für die Grenzen der Oberschwingungsanteile	12
5.1	EN61800-3 (IEC 1800-3) Drehzahlveränderbare elektrische Antriebe	12
5.2	IEC1000-2-2, Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)	13
5.3	IEC1000-2-4, Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)	13
5.4	IEC1000-3-2, Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)	13
5.5	IEC1000-3-4, Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)	14
5.6	IEEE 519, IEEE Empfohlene Praktiken und Anforderungen an die Oberschwingungs- unterdrückung in elektrischen Systemen	15
6.	Bewertung der Oberschwingungen	16
7.	Reduzierung der Oberschwingungen durch strukturelle Änderungen am AC-Antrieb	17
7.1	Faktoren am AC-Antrieb mit Einfluss auf die Oberschwingungen	17
7.2	Tabelle: Liste der verschiedenen Faktoren und ihre Wirkung	18

7.3	Verwendung eines 6-Puls-Diodengleichrichters	18
7.4	Verwendung eines 12-Puls- oder 24-Puls-Diodengleichrichters	19
7.5	Verwendung eines Thyristorgleichrichters mit Phasenanschnitt	19
7.6	Verwendung einer IGBT-Brücke	20
7.7	Verwendung einer größeren DC- oder AC-Drossel	21
8.	Andere Verfahren zur Reduzierung der Oberschwingungsanteile	25
8.1	Abgestimmter Passivfilter mit einem Zweig	25
8.2	Abgestimmter mehrstufiger Passivfilter	25
8.3	Externer Aktivfilter	26
9.	Zusammenfassung der Bedämpfung von Netzoberschwingungen	28
9.1	6-Puls-Gleichrichter ohne Drossel	28
9.2	6-Puls-Gleichrichter mit Drossel	28
9.3	12-Puls-Gleichrichter mit Polycon-Transformator	28
9.4	12-Puls-Gleichrichter mit Dreiwicklungs-Transformator	28
9.5	24-Puls-Gleichrichter	28
9.6	Aktiver IGBT-Gleichrichter	29
10.	Definitionen	30
11.	Index	32

Kapitel 1 - Einleitung

Allgemeines

Mit dieser Anleitung setzt ABB die Reihe der Technischen Anleitungen fort. Sie beschreibt die Ursachen und Auswirkungen sowie die Berechnung der Oberschwingungen im Speisernetz. Schwerpunktmäßig werden die Verfahren zur Reduzierung der Oberschwingungen bei AC-Antrieben behandelt.

Kapitel 2 - Grundlagenbetrachtungen zu den Netzberschwingungen

Oberschwingungsströme und -spannungen entstehen durch nichtlineare Lasten, die an das Stromnetz angeschlossen sind. Die harmonische Verzerrung ist eine Form der „Verschmutzung“ einer elektrischen Anlage, die Probleme verursachen kann, wenn die Summe der Oberschwingungsströme bestimmte Grenzen überschreitet.

Alle, in den verschiedenen elektronischen Systemen verwendeten Stromrichter können die harmonischen Störungen durch die direkte Einspeisung von Oberschwingungsströmen erhöhen. Abbildung 2.1 zeigt, wie die Stromberschwingungen (i_h) im Eingangsstrom (i_s) eines elektronischen Leistungsumrichters die Einspeisespannung (u_t) beeinflussen.

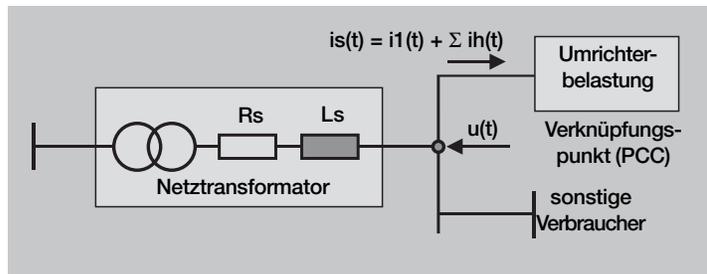


Abbildung 2.1 Anlage mit Umrichterbelastung, Netztransformator und sonstigen Verbrauchern

Der Netzstrom eines 6 pulsigen Stromrichters (Drehstrombrücke) kann aus dem Ausgangsgleichstrom nach der folgenden Formel berechnet werden.

$$I_1' = \sqrt{\frac{2}{3}} * I_d, \text{ wobei gilt}$$

$$I_1' = \text{Gesamteffektivwert und}$$

$$I_d = \text{Ausgangsgleichstrom der Drehstrombrücke.}$$

(gilt für ideale Glättung des Gleichstromes)

Der Grundswingungsstrom ist dann

$$I_1 = I_1' * \frac{3}{\pi}$$

Wenn theoretisch der Ausgangsgleichstrom als ideal geglättet angenommen werden kann, betragen die Frequenzen des Oberschwingungsstroms eines 6-Puls-Dreiphasen-Gleichrichters das n-fache der Grundfrequenz (50 oder 60 Hz). Für die nachstehenden Angaben gilt die Annahme, daß die Netzinduktivität gegenüber der Induktivität der Glättungsdrossel im Gleichstromkreis vernachlässigbar ist. Der Netzstrom besteht dann aus Rechteckblöcken von 120°. Die Ordnungszahlen n werden nach der folgenden Formel berechnet:

$$n = 6k \pm 1, \text{ wobei } k = 1, 2, 3, \dots$$

Die Effektivwerte der Oberschwingungsströme ergeben sich zu:

$$I_{ni} = \frac{I_1}{n}$$

Die Oberschwingungsströme sind in Abbildung 2.2 dargestellt.

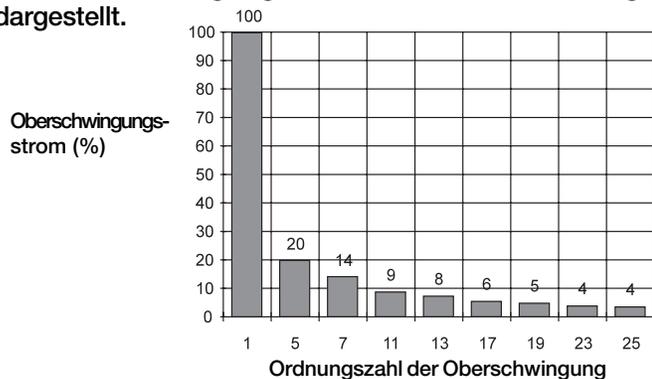


Abbildung 2.2 Der Oberschwingungsanteil im Rechteckstrom eines 6-Puls-Stromrichters.

Das Prinzip, nach dem die Oberschwingungen zum Grundstrom addiert werden, ist aus Abbildung 2.3 ersichtlich, in der die 5. Harmonische dargestellt wird.

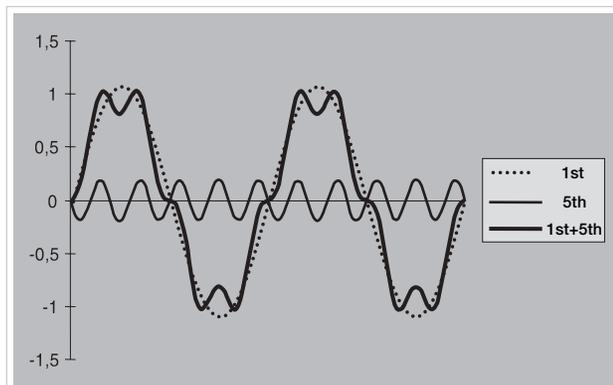


Abbildung 2.3 Der Gesamtstrom als Summe der Grundschwingung und der fünften Harmonischen

Kapitel 3 - Ursachen und Auswirkungen der harmonischen Oberschwingungen

Zu den herkömmlichen, nichtlinearen Lasten gehören Sanftanlasser, drehzahlgeregelte Antriebe, Computer und andere elektronischen Geräte, elektronische Beleuchtung, Schweißgeräte und die unterbrechungsfreie Stromversorgung.

Unzulässig hohe Oberschwingungen können zu zusätzlicher Erwärmung von Transformatoren, Kabeln, Motoren, Generatoren und Kondensatoren führen, elektronische Anzeigen und Beleuchtungen können flackern, Leistungsschalter können auslösen, Computer können ausfallen und Messgeräte falsche Werte anzeigen.

Wenn die Ursache der obengenannten Symptome nicht bekannt ist, sollte das Netz in der Stromverteilung der Anlage auf Oberschwingungen untersucht werden. Die Auswirkungen treten wahrscheinlich zuerst in der Anlage des Kunden auf, bevor sie sich im übergeordneten Netz bemerkbar machen. Diese Technische Anleitung wurde herausgegeben, um Anwender und Planer auf die Ursachen von Oberschwingungen beim Einsatz von Stromrichtern hinzuweisen und gleichzeitig Hilfestellung zu geben, damit bereits im Vorfeld entsprechende Maßnahmen zur Begrenzung eingeleitet werden.

Kapitel 4 - Beispiel für die Berechnung der harmonischen Oberschwingungen

Die Oberschwingungsströme verursachen eine Verzerrung der Netzspannung. Prinzipiell können die Oberschwingungen der Spannung an jedem Punkt des Netzes berechnet werden, wenn die Oberschwingungsströme und die dazugehörigen Quellimpedanzen bekannt sind. Die Schaltbilder in Abbildung 4.1 stellen ein Netz dar, das den Umrichter und die anderen wesentlichen Teile der Anlage versorgt. Die elektrischen Daten der Anlage, die für die Berechnung der Oberschwingungen benötigt werden, sind ebenfalls in der Abbildung angegeben. Die Schritte zur Berechnung und die Ergebnisse werden als Beispiel in den Abschnitten 4.1 bis 4.6 dargestellt.

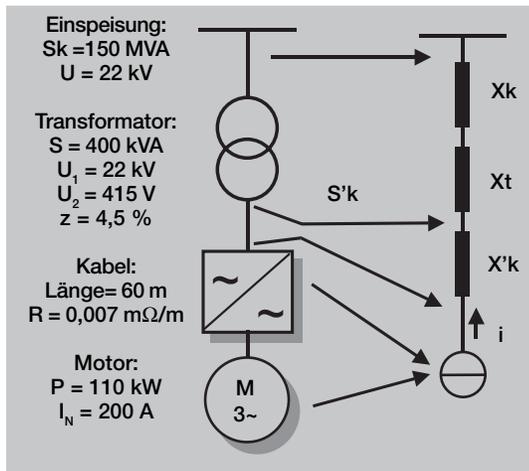


Abbildung 4.1 Netz, das einen Frequenzumrichter auf der linken Seite speist, und das entsprechende Diagramm auf der rechten Seite

4.1 Berechnung der Quelle der Impedanzen und der Kurzschlussleistung

Die Kurzschlussimpedanz der Einspeisung wird auf die 415 V Seite reduziert:

$$X_k = \frac{(415\text{V})^2}{150\text{MVA}} = 1,15\text{m}\Omega$$

Die Kurzschlussimpedanz des Einspeisetransformators:

$$X_t = \frac{4,5}{100} * \frac{(415\text{V})^2}{400\text{kVA}} = 19,4\text{m}\Omega$$

Die Impedanz der Einspeisekabel zwischen Transformator und Umrichter:

$$X'_k = 60 * 0,007\text{m}\Omega = 0,42\text{m}\Omega$$

Die Kurzschlussleistung an den Umrichteranschlüssen:

$$S'_k = \frac{(415\text{V})^2}{X_k + X_t + X'_k} = 8,2\text{MVA}$$

**4.2
Berechnung
der Auswirkung
der Kommutierung^{x)}**

Die Auswirkung der Kommutierung bei einem 6-Puls-Gleichrichter:

$$\mu_0 = \arccos\left(1 - \frac{\sqrt{3} * I * U}{S_k'}\right) = \arccos\left(1 - \frac{\sqrt{3} * 200A * 415V}{8,2MVA}\right) = 11^\circ$$

Die Auswirkung der Kommutierung bei einem 12-Puls-Gleichrichter:

$$\mu_0 = \arccos\left(1 - \frac{\sqrt{3} * I * U}{S_k'}\right) = \arccos\left(1 - \frac{\sqrt{3} * 100A * 415V}{8,2MVA}\right) = 8^\circ$$

Die Koeffizienten zur Korrektur der Kommutierung werden von den Überlappungswinkeln bestimmt. Sie werden zur Multiplikation der theoretischen Oberschwingungsströme verwendet und berücksichtigen die Netzinduktivität.

**4.3 Tabelle:
Korrektur-
koeffizienten**

n	6-Puls-Gleichrichter Korrekturkoeffizient	12-Puls-Gleichrichter Korrekturkoeffizient
5	0,98	0,99
7	0,96	0,97
11	0,90	0,93
13	0,86	0,90
17	0,78	0,87
19	0,72	0,93
23	0,62	0,77
25	0,52	0,73

**4.4 Berechnung der
Spannungs-
verzerrung**

Der Oberschwingungsstrom I_n verursacht eine Spannungsoberschwingung U_n , die proportional zur Grundspannung des Netzes U_1 an den Einspeisesammelschienen des Umrichters ist.

$$\frac{U_n}{U_1} = \frac{\sqrt{3} * I_n * U_1 * n}{S_k'}$$

Die gesamte harmonische Verzerrung kann durch Berechnung der Summe einer ausreichend großen Anzahl von Oberschwingungen (normalerweise 25 oder 40) errechnet werden.

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} U_n^2}}{U_1}$$

^{x)} Erläuterung:

Kommutierung=Stromübergabe von einem Ventil (Diode oder Thyristor) auf das nächste Ventil in der Gleichrichterbrücke

M_o = Überlappungswinkel über den 2 Ventile gleichzeitig Strom führen

200 A = Vereinfachte Annahme Motorstrom = Grundschwingungsnetzstrom

4.5 Tabelle:
Oberschwingungsströme und -spannungen auf der 22 kV Seite:

$$I_1 = 415 \text{ V} / 22 \text{ kV} * 200 \text{ A} = 3,77 \text{ A}$$

	6-Puls-Brücke			12-Puls-Brücke	
n	I_n/I_1 (%)	U_n/U_1 (%)	n	I_n/I_1 (%)	U_n/U_1 (%)
5	19,60	0,09	5		
7	13,71	0,09	7		
11	8,18	0,09	11	8,45	0,09
13	6,62	0,08	13	6,92	0,09
17	4,59	0,07	17		
19	3,79	0,07	19		
23	2,70	0,06	23	3,35	0,07
25	2,24	0,05	25	2,92	0,07
		6-Puls-Brücke		12-Puls-Brücke	
	Ges. Stromverzerrung	27,3 %		11,80 %	
	Ges. Spannungsverzerrung	0,22 %		0,16 %	

4.6 Tabelle:
Oberschwingungsströme und -spannungen auf der 415 V Seite:

$$I_1 = 200 \text{ A}$$

	6-Puls-Brücke			12-Puls-Brücke	
n	I_n/I_1 (%)	U_n/U_1 (%)	n	I_n/I_1 (%)	U_n/U_1 (%)
5	19,60	1,71	5		
7	13,71	1,68	7		
11	8,18	1,57	11	8,45	1,63
13	6,62	1,50	13	6,92	1,57
17	4,59	1,36	17		
19	3,79	1,26	19		
23	2,70	1,08	23	3,35	1,35
25	2,24	0,98	25	2,92	1,28
		6-Puls-Brücke		12-Puls-Brücke	
	Ges. Stromverzerrung	27,3 %		11,80 %	
	Ges. Spannungsverzerrung	4,01 %		2,93 %	

noch zu Erläuterungen:

Die Oberschwingungsströme in Tabelle 4.5 und 4.6 sind theoretische Werte und gelten bei ideal geglättetem Gleichstrom.

Reale Werte siehe Kapitel 7.

WICHTIG:

Bei der Berechnung der Oberschwingungsspannungen wird ein resonanzfreies Netz unterstellt.

Kapitel 5 - Normen für die Grenzen der Oberschwingungen

Die am häufigsten verwendeten internationalen und nationalen Normen, die die Grenzwerte der Oberschwingungen festlegen, werden nachfolgend beschrieben.

Abbildung 5.1 dient als Beispiel für die Grenzwerte der harmonischen Verzerrung.

5.1 EN61800-3 (IEC 1800-3) Drehzahlver- änderbare elektrische Antriebe

Teil 3: EMV-Produktnorm einschließlich spezieller Prüfverfahren

Die Länder des europäischen Wirtschaftsraums haben sich auf gemeinsame Mindestanforderungen geeinigt, um den freien Warenverkehr innerhalb dieses Wirtschaftsraums sicherzustellen. Die CE-Kennzeichnung gibt an, dass das Produkt in Übereinstimmung mit den für dieses Produkt geltenden Direktiven arbeitet. Die Richtlinien geben die einzuhaltenden Prinzipien an. Die Normen legen die zu erfüllenden Anforderungen fest. EN61800-3 ist die EMV-Produktnorm der drehzahlveränderbaren elektrischen Antriebe (PDS).

EN61800-3 legt fest, dass der Hersteller in der Dokumentation des Antriebssystems oder auf Anfrage die Grenze der Stromoberschwingung unter Nennbedingungen als Prozentsatz des Nenngrundschwingungsstromes am Anschluss angeben soll. Die genannten Werte sollten für jede Ordnungszahl bis mindestens zur 25. Harmonischen berechnet werden. Die Oberschwingungen des Stroms (THD) (Ordnungszahlen bis einschließlich zur 40) und die Hochfrequenzkomponente PHD (Ordnungszahlen von 14 bis 40 einschließlich) müssen ausgewertet werden. Bei diesen Standardberechnungen wird angenommen, dass das Antriebssystem an einen PC mit $R_{sc} = 250$ und mit einer Eingangsspannungsverzerrung von weniger als 1% angeschlossen ist. Die interne Impedanz des Netzes kann als reine Reaktanz angenommen werden.

In einem öffentlichen Niederspannungsnetz gelten für die Einrichtung mit einem Nennstrom ≤ 16 A die Anforderungen der IEC 1000-3-2. Die Anwendung der zukünftigen IEC 1000-3-4 wird für Einrichtungen mit einem Nennstrom > 16 A empfohlen.

Beim Einsatz von Antriebssystemen in Industrieanlagen muss eine vernünftige ökonomische Vorgehensweise, die die Gesamtanlage berücksichtigt, zugrundegelegt werden. Diese Vorgehensweise basiert auf der festgelegten Leistung, die immer geliefert werden kann. Das Verfahren zur Berechnung der Oberschwingungen der Gesamtanlage wird festgelegt und die Grenzwerte für die Spannungsverzerrung oder den Gesamtoberschwingungsstrom werden bestimmt. Die in IEC1000-2-4 angegebenen Kompatibilitätsgrenzen können

als Grenzwerte für die Spannungsverzerrung verwendet werden.

5.2
IEC1000-2-2,
Elektromagnetische
Verträglichkeit
(EMV)

Teil 2: Umwelt - Abschnitt 2:
Kompatibilitätsgrenzen für leitungsgebundene,
niederfrequente Störungen in öffentlichen
Niederspannungsnetzen

Dieser Standard legt die Kompatibilitätsgrenzen für leitungsgebundene niederfrequente Störungen und Signalisierung in **öffentlichen Niederspannungsnetzen** fest. Zu den Störphänomenen gehören die Harmonischen, Interharmonischen, Spannungsschwankungen, Spannungseinbrüche, Kurzzeitunterbrechungen, Spannungsasymmetrie usw. Grundsätzlich legt dieser Standard die Ausführungskriterien für den Anlagenbauer und die Mindestanforderungen an die Störfestigkeit der Einrichtung fest. IEC1000-2-2 berücksichtigt die Grenzwerte, die in EN50160 für die Spannungsqualität festgelegt sind, die der Betreiber des Elektrizitätsversorgungsunternehmens an den Hausanschlüssen gewährleisten muss.

5.3
IEC1000-2-4,
Elektromagnetische
Verträglichkeit
(EMV)

Teil 2: Umwelt - Abschnitt 4:
Kompatibilitätsgrenzwerte in Industrieanlagen für
leitungsgebundene niederfrequente Störungen
IEC1000-2-4 ist der IEC1000-2-2 Norm ähnlich, legt jedoch die Kompatibilitätsgrenzwerte **für industrielle und nichtöffentliche Netze fest**. Dazu gehören Niederspannungsnetze und Mittelspannungseinspeisungen, ausgenommen Netze für Schiffe, Flugzeuge, Offshore-Plattformen und Bahnen.

5.4
IEC1000-3-2,
Elektromagnetische
Verträglichkeit
(EMV)

Teil 3: Grenzwerte - Abschnitt 2: Grenzwerte für
Störungen durch Oberschwingungsstrom
(Gerätestrom 16 A pro Phase)

Diese Norm behandelt die Grenzwerte für Oberschwingungsströme von Einzelgeräten, die an das **öffentliche Stromnetz angeschlossen sind**. Diese Norm tritt am 1. Januar 2001 in Kraft, jedoch laufen zurzeit umfangreiche Arbeiten, diese Norm noch vor dem In-Kraft-Treten zu ändern. Die zwei wesentlichen Gründe für die Überarbeitung sind die Notwendigkeit, dass die Norm auch Spannungen unter 230 V berücksichtigt, und die Schwierigkeiten und Widersprüche in der Anwendung der in der Norm festgelegten Gerätekategorien.

5.5
IEC1000-3-4,
Elektromagnetische
Verträglichkeit
(EMV)

Dieses Papier wurde als technischer Bericht Typ II veröffentlicht. Die Arbeiten für eine Umsetzung in eine Norm laufen. Es werden die Grenzwerte für Störungen durch Oberschwingungsströme für Einzelgeräte angegeben, die einen Nennstrom von mehr als 16 A bis max. 75 A haben. Der Bericht gilt für öffentliche Netze mit 230 V (einphasig) bis 600 V (dreiphasig).

Es werden drei verschiedene Stufen für den Anschluss der Einrichtung angegeben. Die Erfüllung der Oberschwingungsgrenzwerte der Stufe 1 ermöglicht den Anschluss der Einrichtung an einer beliebigen Stelle im Netz. Stufe 2 legt die einzelnen Grenzwerte für die Oberschwingungen und den Oberschwingungsgehalt sowie den gewichteten hochfrequenten Gegenwert PWHD fest. Die Grenzwerte sind klassifiziert und nach dem Kurzschlussverhältnis aufgelistet. Die dritte Anschluss-Stufe basiert auf einem Abkommen zwischen dem Benutzer und der Behörde auf der Grundlage der festgelegten Wirkleistung der Einrichtung des Kunden. Wenn der Nennstrom über 75 A liegt, gilt in jedem Fall Stufe 3.

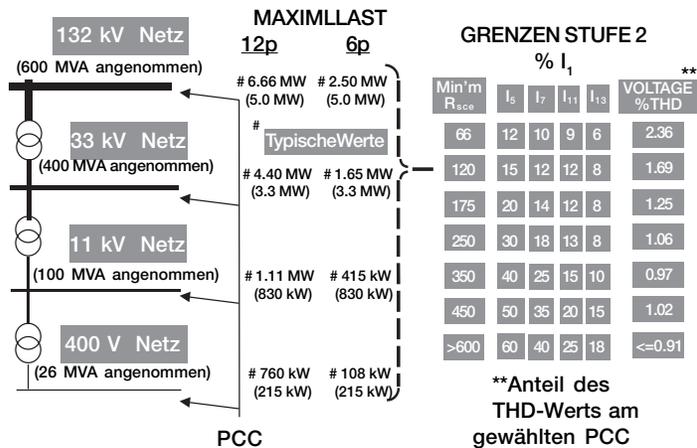


Abbildung 5.1 Grenzen der Oberschwingungen im Vorschlag zur Norm EN61000-3-4

Generell wird der Aufbau dieser Norm als gut betrachtet, die Frage ist jedoch berechtigt, ob ein- und dreiphasige Einrichtungen in der Stufe 2 unterschiedliche Grenzwerte haben müssen. Es ist sehr wahrscheinlich, dass die Norm unverändert bleibt, die endgültige Fassung wird jedoch unterschiedliche Grenzwerte für ein- und dreiphasige Einrichtungen enthalten.

**5.6 IEEE 519,
IEEE
Empfohlene
Praktiken und
Anforderungen
an die
Oberschwingungsunter-
drückung in
elektrischen
Systemen**

Die Philosophie bei der Erarbeitung der Grenzwerte für die Oberschwingungen ist Begrenzung der Einbringung von Oberschwingungen durch einzelne Kunden, so dass sie für die normalen Kennwerte des Netzes keine inakzeptable Spannungsverzerrung verursachen. Diese Norm wird auch als American National Standard anerkannt und in den USA vielfach verwendet, besonders auf dem Markt der öffentlichen Stromversorger.

Die Norm legt keine Grenzen für einzelne Einrichtungen sondern für einzelne Kunden fest. Die Kunden werden nach dem Verhältnis des verfügbaren Kurzschluss-Stroms (I_{sc}) zum maximalen Laststrom (I_L) am Verknüpfungspunkt eingeteilt. Der benötigte Gesamtlaststrom ist die Summe der linearen und nichtlinearen Lasten. In einer Industrieanlage ist der Verknüpfungspunkt (PCC) klar als Punkt zwischen den nichtlinearen und sonstigen Lasten definiert.

Die zulässigen individuellen Oberwellenströme und die gesamte nichtlineare Verzerrung werden nach dem Verhältnis des verfügbaren Kurzschluss-Stroms zum gesamten benötigten Laststrom (I_{sc}/I_L) am Verknüpfungspunkt angegeben. Die Grenzwerte werden als Prozentsatz von I_L für alle geraden und ungeraden Oberwellen ab der 2. bis unendlich angegeben. Die gesamte harmonische Verzerrung wird als Gesamtbedarfsverzerrung angegeben und sollte auch bis unendlich berechnet werden. Viele Autoren begrenzen die Berechnung sowohl der einzelnen Oberschwingungen als auch der gesamten harmonischen Verzerrung (THD) auf 50.

Die Tabelle 10.3 der Norm wird manchmal dahingehend fehlinterpretiert, dass die Grenzwerte für die Oberschwingungen eines einzelnen Gerätes durch Verwendung des R_{sc} der Einrichtung anstatt des I_{sc}/I_L der Gesamtanlage angegeben werden. Die in der Tabelle angegebenen Grenzwerte dürfen nicht auf diese Weise verwendet werden, da immer das Verhältnis des Kurzschluss-Stroms zum gesamten Laststrom der Anlage verwendet werden muss.

Kapitel 6 - Bewertung der Oberschwingungen

Der "Guide for Applying Harmonic Limits on Power Systems" P519A/D6 Jan.1999 führt einige allgemeine Regeln zur Auswertung der Grenzwerte der Oberschwingungen in Industrieanlagen auf. Das Vorgehen wird in dem Flussdiagramm in Abbildung 6.1 dargestellt.

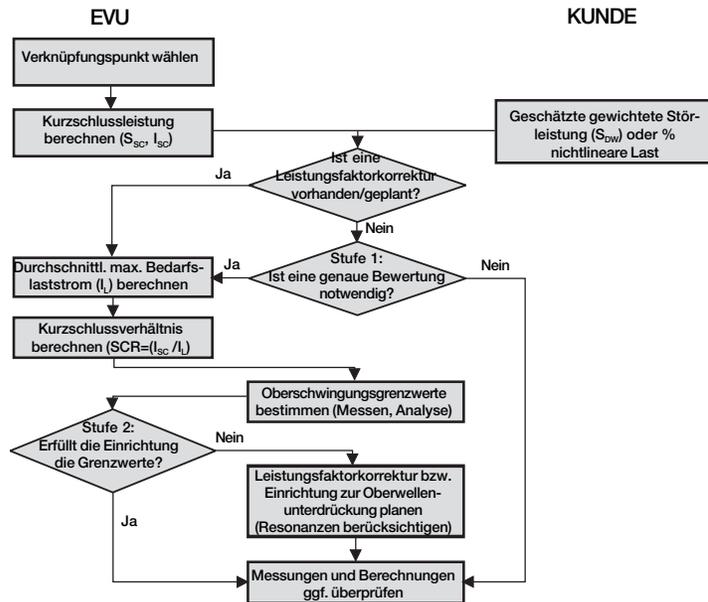


Abbildung 6.1 Bewertung der harmonischen Verzerrung

Kapitel 7 - Reduzierung der Oberschwingungen durch strukturelle Änderungen am AC-Antrieb

Der Oberschwingungsanteil kann entweder durch strukturelle Änderungen im Antriebssystem oder durch externe Filterung reduziert werden. Die strukturellen Änderungen können in der Verstärkung der Einspeisung, der Verwendung eines 12- oder höher -Puls-Eingangstromrichters, der Verwendung eines selbstgeführten Stromrichters oder der Verbesserung der internen Filterung im Antrieb bestehen.

7.1 Faktoren im AC-Antrieb mit Einfluss auf die Netzoberschwingungen

Abbildung 7.1 stellt die Faktoren im AC-Antriebssystem dar, die die Oberwelligkeit beeinflussen. Die Oberwelligkeit des Stroms hängt von der Konstruktion des Antriebs ab und die Oberschwingungen der Spannung sind die Oberwellen des Stroms multipliziert mit den Impedanzen der Einspeisung.

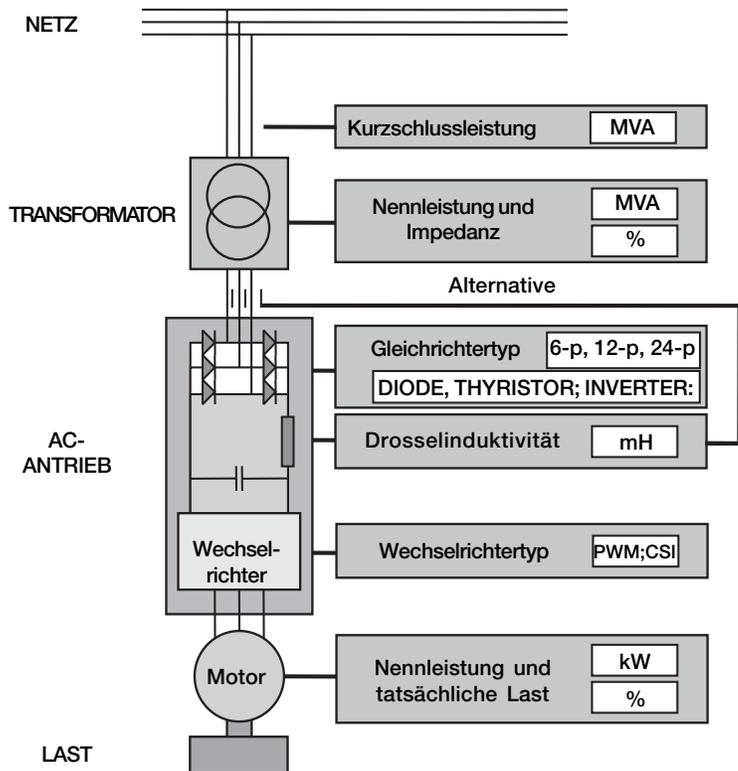


Abbildung 7.1 Merkmale des Antriebs, die den Oberschwingungsanteil beeinflussen

**7.2 Tabelle:
Liste der
verschiedenen
Faktoren und
ihre Wirkung**

Ursache	Wirkung
Je größer der Motor...	desto größer der Oberschwingungsanteil des Stroms
Je größer die Motorlast...	desto größer der Oberschwingungsanteil des Stroms
Je höher die DC- oder AC Induktivität	desto niedriger der Oberschwingungsanteil des Stroms
Je größer die Anzahl der Impulse im Gleichrichter...	desto niedriger der Oberschwingungsanteil des Stroms
Je länger das Einspeisekabel...	desto höher der Oberschwingungsanteil der Spannung
Je größer der Transformator...	desto niedriger der Oberschwingungsanteil der Spannung
Je niedriger die Impedanz des Transformators ...	desto niedriger der Oberschwingungsanteil der Spannung
Je höher die Kurzschlussleistung der Einspeisung...	desto niedriger der Oberschwingungsanteil der Spannung

**7.3
Verwendung
eines
6-Puls-Dioden-
Gleichrichters**

Die Anschlussmöglichkeiten für die einzelnen Gleichrichterlösungen sind in Abbildung 7.2 dargestellt. Die am häufigsten in 3-phasigen AC-Antrieben eingesetzte Gleichrichterschaltung ist die 6-Puls-Diodenbrücke. Sie besteht aus sechs Dioden und einer Induktivität, die zusammen mit dem DC-Kondensator einen Tiefpass-Filter zur Glättung des Gleichstroms bildet. Diese Induktivität (Drossel) kann sich auf der DC- oder der AC-Seite befinden oder ganz entfallen. Der 6-Puls-Gleichrichter ist einfach und preiswert, kann jedoch einen hohen Anteil Oberschwingungen mit niedriger Ordnungszahl (5., 7., 11.) erzeugen besonders bei geringen Glättungsinduktivitäten.

Die Form des Stroms wird in Abbildung 7.2 dargestellt. Besteht der größte Teil der Netzlast aus Umrichtern mit einem 6-Puls-Gleichrichter, muß der Einspeisetransformator überdimensioniert sein. Die Erfüllung der in den Normen genannten Anforderungen kann schwierig werden. In vielen Fällen ist eine Filterung der Oberschwingungen notwendig.

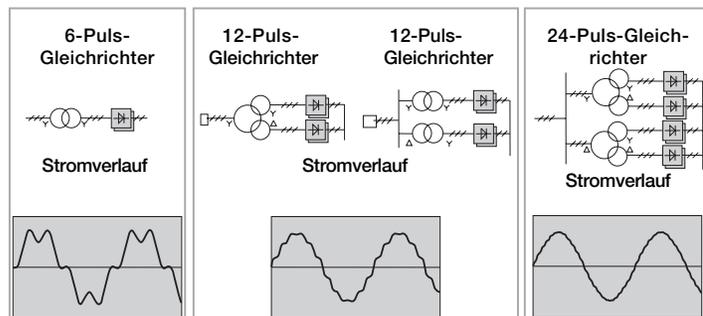


Abbildung 7.2 Oberschwingungen des Netzstroms bei verschiedenen Gleichrichtern

7.4 Verwendung eines 12-Puls- oder 24-Puls-Dioden-Gleichrichters

Der 12-Puls-Gleichrichter besteht aus zwei parallel geschalteten 6-Puls-Gleichrichtern zur Versorgung der gemeinsamen DC-Sammelschiene. Die Einspeisung des Gleichrichters erfolgt über einen Dreiwicklungstransformator oder zwei Zweiwicklungstransformatoren. In beiden Fällen sind die Sekundärwicklungen der Transformatoren um 30° phasenversetzt. Der Vorteil dieser Anordnung besteht darin, dass sich auf der Primärseite einige Oberschwingungen in der entgegengesetzten Phaselage befinden und somit eliminiert werden. Theoretisch ist von der Primärseite der Transformatoren aus gesehen die Oberschwingung mit der niedrigsten Frequenz die 11.

Die größten Nachteile sind die speziellen Transformatoren und höhere Kosten im Vergleich zum 6-Puls-Gleichrichter.

In Abbildung 7.3 wird auch das Prinzip eines 24-Puls-Gleichrichters dargestellt. Er besteht aus zwei parallel geschalteten 12-Puls-Gleichrichtern und zwei Dreiwicklungstransformatoren, deren Primärwicklungen um 30° phasenverschoben sind. Der Vorteil besteht darin, dass niederfrequente Oberwellen praktisch ganz eliminiert werden, der Nachteil jedoch sind die hohen Kosten. Bei einem Einzelantrieb mit hoher Leistung oder einer großen Mehrmotorenanlage kann ein 24-Puls-System die kostengünstigste Lösung bei geringster harmonischer Verzerrung darstellen.

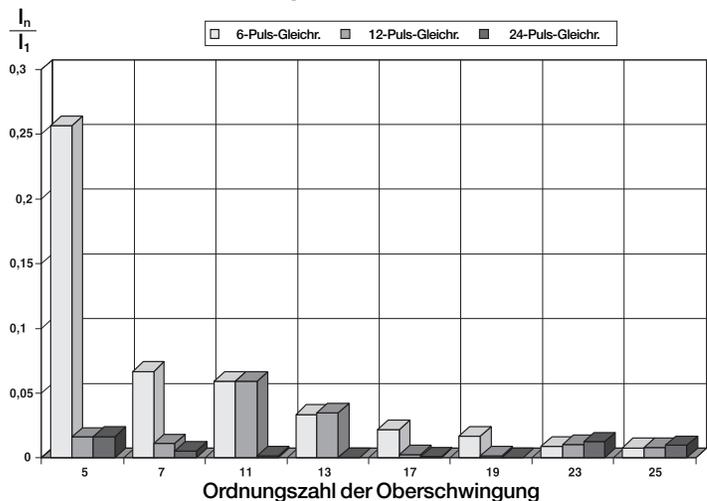


Abbildung 7.3 Oberschwingungen bei verschiedenen Gleichrichtern (Meßwerte)

7.5 Verwendung eines phasenanschnitt-gesteuerten Thyristorgleichrichters

Ein phasenanschnittgesteuerter Gleichrichter wird durch Austausch der Dioden eines 6-Puls-Gleichrichters durch Thyristoren realisiert. Da ein Thyristor einen Zündimpuls für den Übergang vom nichtleitenden zum leitenden Zustand benötigt, kann der Phasenwinkel, bei dem der Thyristor leitend wird, verzögert werden. Durch Verzögerung des Zündwinkels über 90° wird die DC-Spannung negativ. Dies

ermöglicht eine Rückspeisung der Leistung von der DC-Sammelschiene in das Netz.

Werden 2 solcher Thyristorgleichrichter antiparallel geschaltet, so kann bei gleicher Polarität der Gleichspannung der Gleichstrom umgepolt werden.

Die Kurvenform des Stroms bei phasenanschnittgesteuerten Gleichrichtern ist ähnlich der eines 6-Puls-Dioden-Gleichrichters, da sie jedoch die Leistung mit einem wechselnden Verschiebungsfaktor ziehen, ist der Gesamtleistungsfaktor bei Teillast relativ schlecht. Der schlechtere Leistungsfaktor verursacht einen höheren Scheinstrom und die absoluten Oberschwingungsströme sind höher als bei einem Diodengleichrichter.

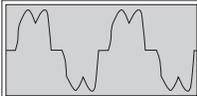
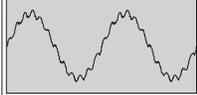
Einspeisungstyp	Strom TDH (%)	Spannung TDH (%) RSC=20	Spannung TDH (%) RSC=100	Kurvenform des Netzstromes
6-Puls-Gleichrichter	30	10	2	
12-Puls-Gleichrichter	10	6	1.2	
IGBT-Einspeiseeinheit	4	8	1.8	
Verzerrung in % des Effektivwerts				

Abbildung 7.4 Oberschwingungsanteile bei verschiedenen Arten der Einspeisung. Die Werte können im Einzelfall stark schwanken.

Zu beachten ist, dass durch die Phasenanschnittsteuerung größere Kommutierungseinbrüche verursacht werden, die Phasenlage der Einbrüche ändert sich mit dem Zündwinkel.

7.6 Verwendung einer IGBT- Brücke

Eine Gleichrichterbrücke aus selbstkommutierenden Komponenten bringt zusätzliche Vorteile und Möglichkeiten verglichen mit phasenkommutierten Ausführungen. Wie bei einem phasenkommutierten Gleichrichter ermöglicht diese Hardware sowohl die Gleichrichtung als auch die Rückspeisung. Die DC-Spannung und der Verschiebungsfaktor können unabhängig von der Richtung des Leistungsflusses separat geregelt werden.

Die wesentlichen Vorteile sind:

- Sichere Funktion auch bei Netzabsenkungen und Unterbrechungen.
- Hohe Dynamik der Antriebsregelung auch im Feldschwächungsbereich in allen 4 Quadranten.
- Möglichkeit, die kapazitive Blindleistung zu erzeugen und sogar die Oberschwingungsströme der parallelen Lasten zu kompensieren.
- Ein nahezu sinusförmiger Strom bei geringem Oberschwingungsanteil. Die Messergebnisse für einen Antrieb werden in Abbildung 7.5 dargestellt. Im Vergleich zu Abbildung 7.3 wird ein deutlicher Unterschied erkennbar. Dieser IGBT-Gleichrichter hat bei niederfrequenten Harmonischen einen sehr geringen Anteil.
- Möglichkeit der Spannungserhöhung. Bei einer niedrigen Einspeisespannung kann die Gleichspannung erhöht werden, um die Motorspannung über der Einspeisespannung zu halten.

Der Hauptnachteil sind die hohen Kosten, die sich aus der IGBT-Brücke und der zusätzlichen Filterung ergeben.

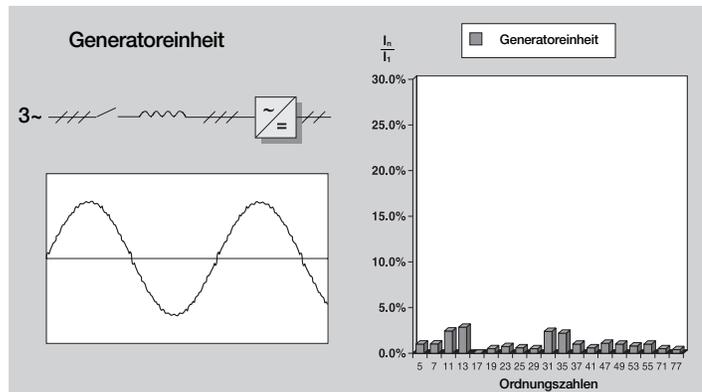


Abbildung 7.5 Oberschwingungen im Netzstrom bei einer IGBT-Eingangsbücke

7.7 Verwendung einer größeren DC- oder AC- Drossel

Die Oberschwingungsanteile eines AC-Antriebs können durch den Einsatz einer ausreichend dimensionierten Drossel am AC-Eingang oder der DC-Sammelschiene erheblich reduziert werden. Die Tendenz geht zu einer Verringerung der Umrichtergröße bei gleichzeitiger Reduzierung der Größe der Drosselinduktivität, in manchen Fällen entfällt sie ganz. Die Wirkung wird in den in der Abbildung 7.4 dargestellten Kurven sichtbar.

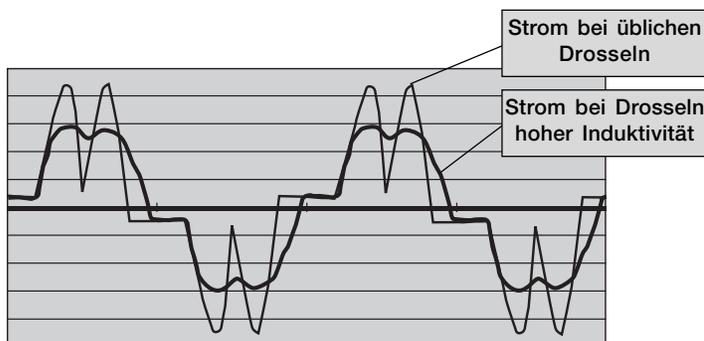


Abbildung 7.6 Einfluss der Drosselinduktivität

Das in Abbildung 7.7 dargestellte Diagramm zeigt die Auswirkung der Größe der DC-Drossel auf die Oberschwingungen. Bei den ersten 25 Harmonischen liegt der theoretische Mindestwert der gesamten harmonischen Verzerrung (THD) bei 29%. Dieser Wert wird praktisch erreicht, wenn die Induktivität 100 mH geteilt durch die Motorleistung oder 1 mH für einen 100 kW Motor (415 V, 50 Hz) beträgt. Praktisch sinnvoll ist ein Wert von 25 mH dividiert durch die Motorleistung. Dies ergibt bei einer DC-Drossel von 0,25 mH einen meist noch akzeptablen THD-Wert von ca. 45% bei vertretbaren Kosten.

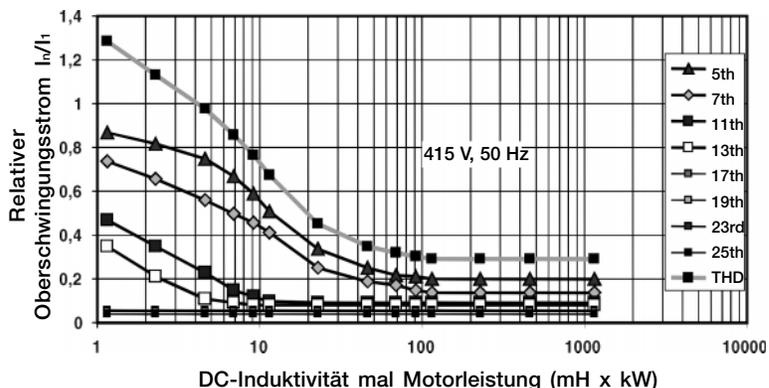


Abbildung 7.7 Oberwellenstrom in Abhängigkeit der DC-Induktivität

Die Spannungsverzerrung bei einer bestimmten Stromverzerrung hängt von dem Kurzschlussverhältnis R_{sc} der Einspeisung ab. Je höher das Verhältnis ist, desto geringer ist die Spannungsverzerrung. Dieser Zusammenhang wird in Abbildung 7.8 dargestellt.

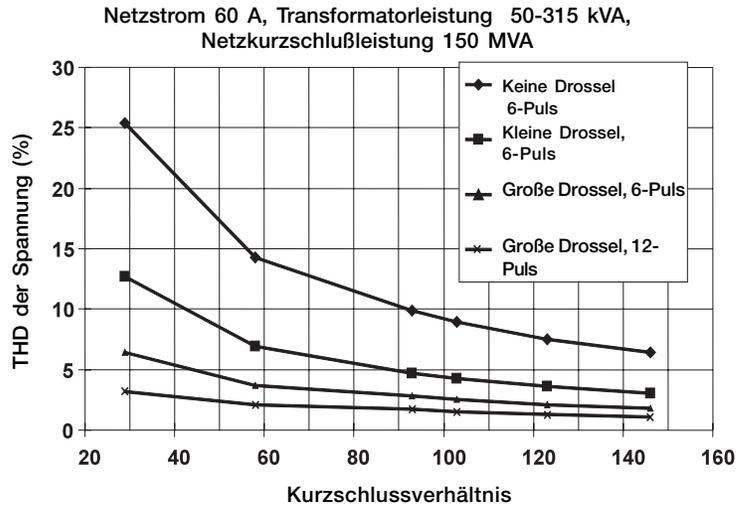


Abbildung 7.8 THD-Spannung verglichen mit dem Typ des AC-Antriebs und der Transformatorgröße

Abbildung 7.9 stellt ein einfaches Nomogramm zur Schätzung der Oberschwingungsspannungen dar. Wählen Sie auf der Kurve unten rechts zuerst die Motorleistung, dann die kVA des Transformators und fahren Sie dann horizontal zu der Diagonalen, auf der Sie dann aufwärts gehen können und so die Kurve finden, die für Ihre Applikation zutrifft. Gehen Sie dann nach links zur y-Achse und lesen Sie die harmonische Gesamtverzerrung ab.

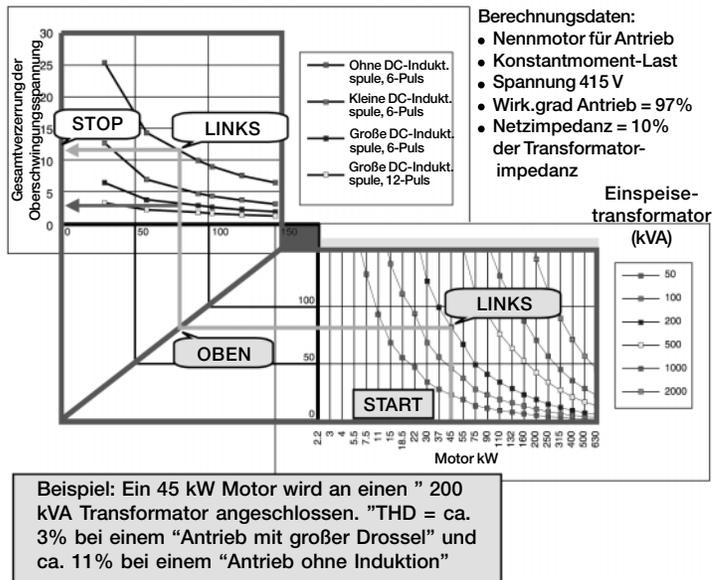


Abbildung 7.9 Nomogramm für die gesamte harmonische Verzerrung

Die Ergebnisse aus Laborprüfungen mit Antrieben verschiedener Hersteller sind in Abbildung 7.10 dargestellt. Antrieb A mit einer großen DC-Drossel weist die geringste harmonische Verzerrung des Stroms auf, Antriebe ohne Drossel haben die größte Verzerrung.

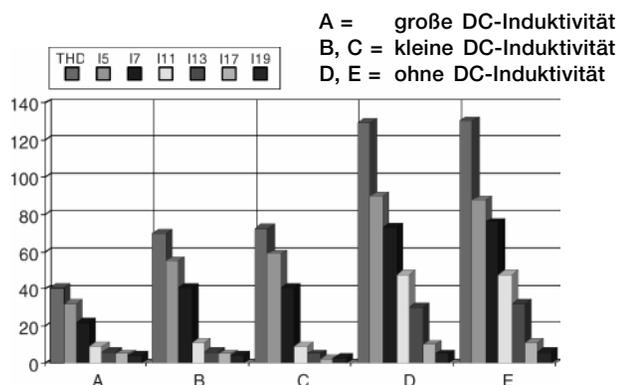


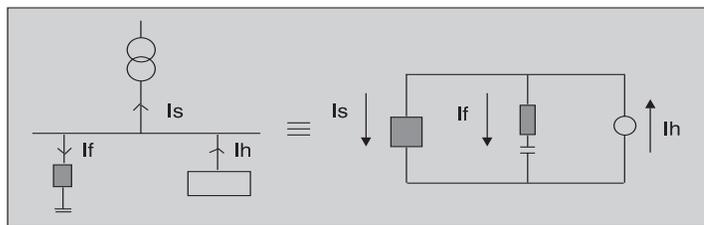
Abbildung 7.10. Oberschwingungsstrom bei unterschiedlichen DC-Induktivitäten

Kapitel 8 - Andere Verfahren zur Reduzierung der Oberschwingungsanteile

Filtern ist eine Methode zur Verringerung der Oberschwingungsanteile in Industrieanlagen bei einem langsamen Anstieg der harmonischen Verzerrung oder als Gesamtlösung in einer neuen Anlage. Grundsätzlich gibt es zwei Methoden: passive und aktive Filter.

8.1 Abgestimmter Passivfilter mit einem Zweig

Das Prinzip eines abgestimmten Passivfilters mit einem Zweig wird in Abbildung 8.1 dargestellt. Ein abgestimmter Passivfilter mit einem Zweig sollte bei einer einzelnen Oberschwingung mit der niedrigsten Ordnungszahl verwendet werden, wenn im System ein deutlicher Oberschwingungsstrom erzeugt wird. Bei Systemen, die hauptsächlich eine industrielle Last versorgen, wäre dies wahrscheinlich die fünfte Harmonische. Oberhalb der abgestimmten Frequenz werden die Oberschwingungen absorbiert, unterhalb dieser Frequenz jedoch werden sie verstärkt.



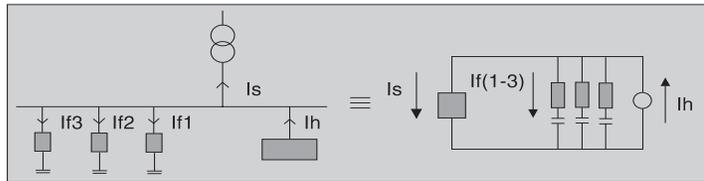
- Verstimmt - einzelne Abstimmfrequenz
- Oberhalb der abgestimmten Frequenz-Oberschwingungen absorbiert
- Unterhalb der abgestimmten Frequenz können sich die Oberschwingungen verstärken
- Reduzierung der Oberschwingungen durch mögliche Überkompensation bei Netzfrequenz und das Netz selbst begrenzt.

Abbildung 8.1 Abgestimmter Passivfilter mit einem Zweig

Dieser Filtertyp besteht aus einer Induktionsspule, die mit einem Kondensator in Reihe geschaltet ist. Der beste Platz für einen Passivfilter ist nahe an der Oberschwingungsquelle.

8.2 Abgestimmter Passivfilter mit mehreren Zweigen

Das Funktionsprinzip dieses Filters ist in Abbildung 8.2 dargestellt. Dieser Filter besitzt mehrere Zweige, die auf mindestens zwei Oberschwingungen abgestimmt sind, die die niedrigsten signifikanten Frequenzen im Netz sein müssen. Der Mehrfachfilter besitzt eine bessere Oberschwingungssperre als das System mit einem Zweig.



- Kapazitive Last unterhalb der abgestimmten Frequenz/induktive Last darüber
- Bessere Absorption der Oberschwingungen
- Überlegungen bei Verstärkung der Oberschwingungen durch Filter
- Begrenzt durch Grundschwingungsblindleistung und das Netz

Abbildung 8.2 Abgestimmter Passivfilter mit mehreren Zweigen

Passivfilter mit mehreren Zweigen werden häufig bei großen DC-Antriebssystemen verwendet, bei denen ein Transformator die gesamte Anlage versorgt.

8.3 Externer Aktivfilter

Ein abgestimmter Passivfilter führt zu neuen Resonanzen, die zusätzliche Oberschwingungsprobleme verursachen können. Neue Technologien in der Leistungselektronik führen zu Produkten, die die nichtlineare Verzerrung durch aktive Regelung kontrollieren können. Diese Aktivfilter (siehe Abbildung 8.3) kompensieren die Oberschwingungen im Versorgungsnetz auf der Grundlage der zu einem beliebigen Zeitpunkt erzeugten Oberschwingungen.

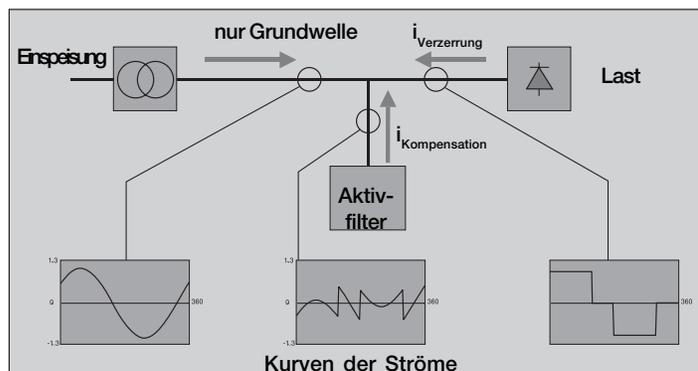


Abbildung 8.3 Prinzipdarstellung eines externen Aktivfilters

Der Aktivfilter kompensiert die von nichtlinearen Lasten erzeugten Oberschwingungen, indem er die gleichen Oberschwingungen in der entgegengesetzten Phaselage erzeugt (siehe Abbildung 8.4). Externe Aktivfilter sind am besten beim Einsatz mehrerer Antriebe geeignet. Sie sind verglichen mit anderen Verfahren relativ teuer.

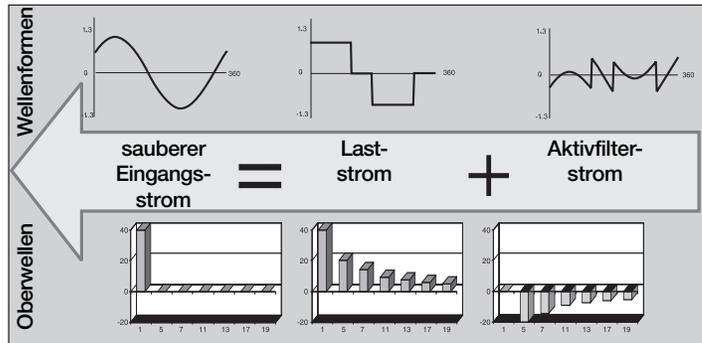


Abbildung 8.4 Kurvenformen und Oberschwingungen externer Aktivfilter

Kapitel 9 - Zusammenfassung der Bedämpfung von Netzoverschwingungen

Für die Bedämpfung der Oberschwingungen gibt es innerhalb und außerhalb des Antriebs viele Möglichkeiten. Alle haben Vor- und Nachteile und alle wirken sich auf die Kosten aus. Die beste Lösung hängt von der Gesamtbelastung, der Einspeisung und der bestehenden Verzerrung ab.

In den folgenden Tabellen werden die verschiedenen internen Maßnahmen mit einem System ohne Drossel verglichen. Die Oberschwingungen werden bei 100% Last angegeben. Die Kosten beziehen sich auf Kleinantriebe. Die 12-Puls-Lösung ist bei einem Mehrfachantrieb erheblich günstiger.

9.1 6-Puls- Gleichrichter ohne Drossel

Herstellungskosten 100%
Typische Oberschwingungen des Stroms.

Grundwelle	5·	7·	11·	13·	17·	19·
100%	63%	54%	10%	6,1%	6,7%	4,8%

9.2 6-Puls- Gleichrichter mit Drossel

Herstellungskosten 120%. mit AC- oder DC-Drosselspule
Typische Oberschwingungen des Stroms.

Grundwelle	5·	7·	11·	13·	17·	19·
100%	30%	12%	8,9%	5,6%	4,4%	4,1%

9.3 12-Puls- Gleichrichter mit Polygon- Transformator

Herstellungskosten 200%
Typische Oberschwingungen des Stroms.

Grundwelle	5·	7·	11·	13·	17·	19·
100%	11%	5,8%	6,2%	4,7%	1,7%	1,4%

9.4 12-Puls- Gleichrichter mit Dreiwick- lungstransformator

Herstellungskosten 210%
Typische Oberschwingungen des Stroms.

Grundwelle	5·	7·	11·	13·	17·	19·
100%	3,6%	2,6%	7,5%	5,2%	1,2%	1,3%

9.5 24-Puls- Gleichrichter mit 2 Dreiwicklungs- transformatoren

Herstellungskosten 250%
Typische Oberschwingungen des Stroms.

Grundwelle	5·	7·	11·	13·	17·	19·
100%	4,0%	2,7%	1,0%	0,7%	1,4%	1,4%

**9.6 Aktiver
IGBT-
Gleichrichter**

Herstellungskosten 250%. Bedeutungslos, wenn sowieso eine elektrische Bremsung benötigt wird.

Typische Oberschwingungen des Stroms.

Grundwelle	5	7	11	13	17	19
100%	2,6%	3,4%	3,0%	0,1%	2,1%	2,2%

Kapitel 10 - Definitionen

S: Scheinleistung

P: Wirkleistung

Q: Blindleistung

Rsc: Kurzschlussverhältnis definiert als Kurzschlussleistung der Einspeisung am Verknüpfungspunkt zur Nenn-Scheinleistung der betreffenden Einrichtung.

$$R_{sc} = S_s / S_n.$$

ω_1 : Kreisfrequenz der Grundschwingung

$\omega_1 = 2 \cdot \pi \cdot f_1$, wobei f_1 die Grundfrequenz ist (z.B. 50Hz oder 60Hz).

n: Ordnungszahl $n = 2, 3, \dots, \infty$. Harmonische Frequenzen werden definiert als $f_n = n \cdot f_1$.

In: Effektivwert der n-ten Harmonischen des Netzstroms.

Zn: Impedanz bei Frequenz $n \cdot f_1$.

%Un: Oberschwingung der Spannung in Prozent der Grundspannung (des Netzes).

THD: Die gesamte harmonische Verzerrung im Eingangsstrom wird definiert als:

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1}$$

wobei I_1 der Effektivwert des Grundschwingungsstromes ist. Der THD in der Spannung kann auf ähnliche Weise berechnet werden. Es folgt ein Beispiel für die 25 niedrigsten Oberschwingungen mit ihren theoretischen Werten:

$$THD = \frac{\sqrt{20^2 + 14,3^2 + 9,1^2 + 7,7^2 + 5,9^2 + 5,3^2 + 4,4^2 + 4^2}}{100}$$

$$THD = 29\%$$

PWHD: Die teilweise gewichtete harmonische Verzerrung wird definiert als:

$$PWHD = \sqrt{\sum_{n=14}^{40} h \left(\frac{I_h}{I_1} \right)^2}$$

PCC: Der Verknüpfungspunkt wird in diesem Kontext definiert als Einspeisepunkt, der für die betreffende Einrichtung und andere Einrichtungen gemeinsam sein kann. In den Normen gibt es verschiedene Definitionen für den Verknüpfungspunkt und noch weitaus mehr Interpretationen dieser Definitionen in der Literatur. Die hier gewählte Definition wird als die aus technischer Sicht beste betrachtet.

PF: Leistungsfaktor definiert als $PF = P/S$ (Leistung/Volt-Ampere) = $I_1 / I_s \cdot DPF$ (bei sinusförmigem Strom entspricht der Leistungsfaktor PF dem Wert DPF).

DPF: Grundswingungs-Verschiebungsfaktor definiert als $\cos\phi_r$, wobei ϕ_r der Phasenwinkel zwischen dem von der Einrichtung verbrauchten Grundfrequenzstrom und der Grundfrequenzkomponente der Einspeisespannung ist.

Kapitel 11 - Index

5. Harmonische 7
6-Puls-Gleichrichter 7, 10, 18,
19, 20
6-Puls-Gleichrichter, dreiphasig
7
12-Puls-Gleichrichter 10, 18, 19,
20
24-Puls-Gleichrichter 18, 19

A

ABB 5
Abgestimmter Passivfilter 24
AC-Induktionsspule 21
Aktivfilter 5, 24, 25
American National Standard
15
Anlage 9, 12, 14, 15, 19, 24, 25
Anschluss 12
anti-parallel 20
Antriebssystem 12

B

Berechnung 5, 9, 10, 11, 12, 15,
16, 23
Bewertung der
Oberschwingungsanteile 16
Blindleistung 21, 28

C

CE-Kennzeichnung 12
Computer 8

D

Dämpfung 26
DC-Kondensator 18
Drehzahlgeregelte Antriebe 8
Dreiwicklungstransformator 19

E

Einspeisekabel 9, 18
Einspeisetransformator 9, 18
Elektromagnetische Verträglich-
keit (EMV) 22
Elektronisches Gerät 8
Elektronische Anzeige 8
Elektronische Beleuchtung 8

EMV-Produktstandard 12
Europäischer Wirtschaftsraum
12
Externe Filterung 17

F

Filterung 17, 18, 21, 24
Frequenz 9, 12, 13, 14, 19, 24,
28, 29

G

Gemeinsame DC-Sammelschiene
19
Gesamte harmonische
Verzerrung 10, 15, 23, 28
Gesamte Spannungsverzerrung
11
Gleichrichter 5, 6, 7, 10, 17, 18,
19, 20, 26, 27
Gleichrichtermodus 20
Gleichstrom 18
Grundfrequenz 7, 28, 29
Grundschiebungsfaktor 20, 29

H

Harmonische Last 6, 8, 15, 16
Harmonische Verzerrung 6, 8, 9,
10, 11, 12, 14, 15, 16, 19, 23, 25,
28
Herstellungskosten 26, 27

I

IGBT-Brücke 20, 21
Induktanz 17, 18, 22, 23
Induktionsspule 5, 18, 21, 22, 23,
24, 26
Industrieanlage 12

K

Kommutierungseinbruch 20
Kompatibilitätsgrenze 12, 13
Korrekturkoeffizient 10
Kundenanlage 14
Kurzschlussimpedanz 9
Kurzschlussleistung 9, 14, 16,
17, 28
Kurzschlussverhältnis 22, 28

L

Laborprüfung 23
 Leistungsfaktor 16, 20, 29
 Leistungsschalter 8
 Leistungsverteilung 6

M

Messung 8

N

Netzstrom 6, 18, 21
 Netztransformator 6

O

Oberschwingung 7, 19, 22, 24,
 25, 28
 Oberschwingungsgrenzwert
 12, 13, 14, 15, 16
 Oberschwingungsreduzierung
 17, 24, 25
 Oberschwingungsspannung
 10, 23, 28
 Oberschwingungsströme 6, 7,
 9, 10, 11, 12, 13, 15, 20, 21, 22,
 23, 26, 27
 Öffentliches Stromnetz 12

P

Passivfilter 24, 25
 Passivfilter, mehrere Zweige 5,
 24, 25
 PHD 12
 PWHD 14, 28

Q

Quelle 6, 8, 9, 21
 Quellimpedanz 4, 9

R

Rechteckstrom 7
 Rückspeisemodus 20

S

Sanftanlasser 8
 Scheinleistung 28
 Spannung 6, 9, 10, 11, 12, 13,
 14, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23
 Spannungserhöhung 21
 Standard 12, 13, 14, 15, 18, 20,
 29
 Stromverzerrung, gesamt 11
 Strukturelle Änderung 17, 18,
 19, 20, 21, 22, 23

T

TDD 15
 THD 12, 14, 22, 23, 28
 theoretische Oberschwingung
 10
 Thyristor 17, 19, 20
 Tiefpass-Filter 18

U

Überhitzung 8
 Umrichter 6, 9, 10, 12, 18, 20, 21
 Umrichterlast 6
 Unterbrechungsfreie Strom-
 versorgung 8

V

Verknüpfungspunkt 15, 29
 Versorgungseinrichtung 14
 Versorgungsspannung 6, 21, 29
 Verzerrung, Berechnung 5, 6
 Verzerrung, Nomogramm 23

W

Wirkleistung 14, 28
 Wirkung 5, 6, 8, 17, 18, 21, 22
 Wirkung der Kommutierung 10

Z

Zwe Wicklungstransformator 19



ABB Automation Products GmbH

Standardantriebe
Dudenstraße 44 - 46
D - 68167 Mannheim

HotLine Vertrieb 0180 33 22 400
Telefax +49 621 - 381 1777
Internet <http://www.abb.de/automation>



Copyright © ABB Automation Group Ltd, 2000 3BFE 64292714 R0125 (EN Code) Änderungen vorbehalten.
DE 31.01.2000