

C4.14 Oberschwingungsberechnung

F		
E		
D		
C		
B		
A		
0	Erst-Erstellung	24.01.2025
Rev.-Index	Anmerkung	Datum

INHALTSVERZEICHNIS

1	ZIEL	3
2	Allgemeines	3
2.1	Oberschwingungsquellen.....	3
2.2	Auswirkungen von Oberschwingungsströmen	4
2.3	Dimensionierung des Neutralleiters	5
2.4	Vorschriften und Bestimmungen	5
2.5	Einteilung in Verträglichkeitsklassen.....	6
2.6	Grenzwerte und Verträglichkeitspegel	7
2.7	Definitionen und Einteilung in Klassen.....	8

1 ZIEL

Wie in öffentlichen Netzen nimmt die Anzahl leistungselektronischer Verbraucher auch in kraftwerks-internen Energienetzen immer mehr zu. Um den wirtschaftlichen und prozesstechnischen Anforderungen gerecht zu werden, Umrichter bis zu den leistungsstärksten Antrieben zur Anwendung. Bedingt durch diese Entwicklung entstehen in nicht geringem Maße Rückwirkungen auf die Spannungsqualität des Eigenbedarfsnetzes.

Die Auswirkungen können dabei so weit führen, dass Frequenzumrichter, Lüftermotoren und sonstige Antriebe beschädigt werden oder ganz ausfallen. Auch stellen die durch Oberschwingungen verursachten Zusatzverluste einen nicht unerheblichen Kostenfaktor dar.

Um Störungen und Mehrkosten von vornherein vermeiden zu können, besteht die Aufgabe, die Auswirkungen vorhandener Oberschwingungen bereits in der Planungsphase zu erfassen. Diese Spezifikation zielt auf die Berechnung und Analyse des Eigenbedarfsnetzes hinsichtlich der Oberschwingungsbelastung von Strom und Spannung. Um die Belastung des Eigenbedarfsnetzes während der Planungsphase beurteilen zu können, ist eine Simulation eines möglichst realistischen Modells des Eigenbedarfsnetzes durchzuführen. Zur Simulation kann das Netzmodell der Lastflussberechnung zugrunde gelegt werden.

Als Vorbereitung der Abnahme ist eine qualifizierte Messung der Oberschwingungen durchzuführen.

2 ALLGEMEINES

2.1 Oberschwingungsquellen

Oberschwingungsströme sind die Folge von nicht sinusförmigen Verbraucherströmen. Diese werden von Verbrauchern mit nichtlinearer Betriebscharakteristik hervorgerufen. Es entsteht eine Nichtlinearität in der Strom-/Spannungskennlinie.






Ursache	Kennlinie	Beispiele	(I _{h,n} /I _{h,1}) / %				
			n=2	n=3	n=4	n=5	n=7
Sättigung		Kleinmotoren Transformator Magnetisierungsstrom		3...10 25...55		1...5 8...30	2...10
Gasentladung		Leuchtstofflampe Lichtbogenofen	1...2 5...12	8...20 6...12		2...3 3...7	1...2 1...3
Einweg-Gleichrichter, ohmsche Last		Leistungshalbierung thermischer Geräte (Fön, Heizdecke)	42		8		
Einweg-Gleichrichter, kapazitive Last		Einfache Netzgeräte niedriger Leistung z. B. Unterhaltungselektronik	70...90	40...60	35...50	25...50	12...25
Zweiweg-Gleichrichter, kapazitive Last		Netzgeräte (Fernsehgerät, Monitor, PC, Motorantriebe)		65...80		50...70	25...35

Tabelle 1 Beispiele für nichtlineare Verbraucher und zugehörige Kennlinie

Zu beachten ist, dass der erzeugte Oberschwingungsstrom von den angefahrenen Betriebspunkten bzw. Lastzuständen abhängig ist. Die Lastzustände sowie die gesamte Netzkonfiguration (z. B. durch Schalthandlungen) ändern sich während des Betriebs laufend. Deshalb wäre die Betrachtung

aller Lastpunkte sowie aller möglichen Netzkonfigurationen notwendig. Hierdurch ergeben sich unendlich viele Konfigurationsmöglichkeiten. Aus diesem Grund soll bei den Oberschwingungsquellen ein Lastpunkt angenommen werden, an welchem die höchsten Oberschwingungsamplituden auftreten. Bei dieser Betrachtungsweise kann davon ausgegangen werden, dass die Oberschwingungsbelastung im Falle anderer Betriebspunkte niedriger ausfallen wird.

2.2 Auswirkungen von Oberschwingungsströmen

Die Auswirkungen von Oberschwingungsströmen gliedern sich in zwei Kategorien. Diese unterscheiden sich bezüglich der Zeitdauer, über welche die Rückwirkung auftritt.

Kurzzeitauswirkungen zeigen sich meist bei empfindlichen elektronischen Geräten wie z. B. EDV-Anlagen. Diese reagieren bereits auf kleinste Verzerrungen der Netzspannung mit Absturz, Totalausfall oder Bildschirmflackern.

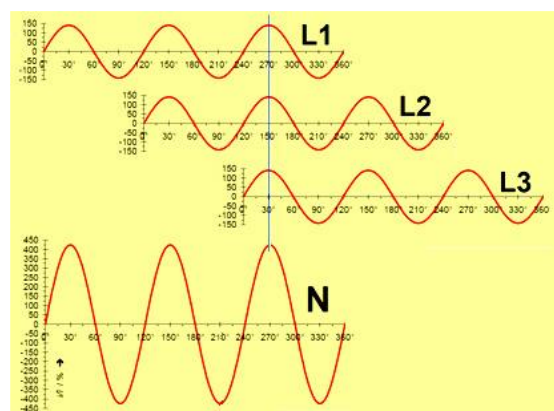
Langzeitauswirkungen von Oberschwingungen sind hauptsächlich thermischer Natur. Sie können eine Überhitzung oder zumindest Erwärmung in Kabeln, Transformatoren, Motoren und Kondensatoren verursachen. Durch diese thermische Mehrbelastung verkürzt sich die Lebensdauer dieser in der Anlage eingesetzten Verbraucher. Außerdem sind auch verheerende Schäden durch Kabelbrände möglich.

In der Praxis ist es üblich, einphasige Verbraucher im gesamten Netzabschnitt symmetrisch auf alle drei Phasen aufzuteilen. Oft handelt es sich dabei um nichtlineare Betriebsmittel wie Energiesparlampen und Leuchtstoffröhren mit Vorschaltgerät. Der von ihnen erzeugte, oft impulsförmige Netzstrom verursacht besonders starke Oberschwingungen der 3. Ordnung. Derartige Verbraucher werden zu Beleuchtungszwecken sehr zahlreich eingesetzt. Die von ihnen verursachten Oberschwingungsströme können sich im Neutralleiter zu einem nicht mehr vernachlässigbaren Wert addieren.

Bei dreiphasig angeschlossenen und gewöhnlich mindestens 6-pulsigen Umrichtern besteht meist keine Gefahr, da der Neutralleiter oftmals gar nicht angeschlossen ist oder die OS 3. Ordnung nicht entstehen.

Nebenstehende Abbildung zeigt drei Ströme in den Außenleitern I_{L1} , I_{L2} und I_{L3} .

Diese werden als Oberschwingungsstrom 3. Ordnung (150 Hz) angenommen. Betrachtet man nun die Scheitelpunkte des Oberschwingungsstromes, so ist leicht zu erkennen, dass diese in allen drei Leitern phasengleich sind und sich damit addieren.



In Bereichen mit hoher Belastung durch Oberschwingungen des Stromes der 3. Ordnung (da alle weiteren durch 3 teilbaren Oberschwingungsströme zu vernachlässigen sind) ist im speziellen auf die Dimensionierung des Neutralleiters einzugehen. Das hierzu notwendige Vorgehen ist unter Punkt 2.3 genau beschrieben.

Des Weiteren treten akustische Effekte wie das Brummen von Transformatoren und Leuchtstoffröhren bzw. deren Vorschaltgeräten auf.

Oberschwingungsspannungen und Ströme sind effektiv nicht nutzbar. Sie übertragen also keinerlei Wirkleistung und stellen daher einen Teil der Verlustleistung im Netz dar. Die dadurch verursachten Netzverluste bedeuten oft einen nicht unerheblichen Kostenfaktor. Durch vorausschauende Planung und richtige Auslegung der Netzkomponenten kann dieser Faktor stark gemindert werden.

2.3 Dimensionierung des Neutralleiters

Die DIN VDE 0100-520 nimmt Bezug auf die Bemessung des Neutralleiter-Querschnitts bei nichtsinusförmigen Strömen. Es ist zu beachten dass der größte im bestimmungsgemäßen Betrieb zu erwartende Neutralleiterstrom, einschließlich Oberschwingungen, nicht größer ist als die Strombelastbarkeit der reduzierten Leiterquerschnittsfläche des Neutralleiters ist.

2.4 Vorschriften und Bestimmungen

Für die elektrotechnischen Ausrüstungen gelten folgende Vorschriften in der jeweils letztgültigen Fassung:

- EMV-Gesetz
- EMV-Richtlinie
- Leitfaden zur Anwendung der EMV-Richtlinie
- VDEW-Richtlinien
- Berufsgenossenschaftliche Richtlinien und Vorschriften
- Störfestigkeits- und Störaussendungsanforderungen
- Grundnormen DIN EN
- Fachgrundnormen DIN EN
- Produktfamiennormen DIN EN
- Produktnormen DIN EN

Da in den letzten Jahren ein verstärkter Trend zur Schaffung von Produktnormen zu verzeichnen ist, haben die aufgeführten Bestimmungen keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Je nach Netzleiterstrom, Spannungsebene bzw. Art des Netzes können dieser Spezifikation die folgenden Normen zu Grunde gelegt werden:

Norm	Beschreibung	Gültig für:
DIN EN 61000-2-4	Verträglichkeitspegel für Störgrößen in Industrieanlagen	Industrieanlagen
DIN EN 61000-2-12	Verträglichkeitspegel für Störgrößen in öffentlichen Mittelspannungsnetzen	Öffentliche Mittelspannungsnetze
DIN EN 61000-2	Grenzwerte für	Öffentliches Netz

	Oberschwingungsströme bei Geräteingangsströmen ≤ 16 A	
DIN EN 61000-3-12	Grenzwerte für Oberschwingungsströme bei Geräteingangsströmen > 16 A und ≤ 75 A	Öffentliches Netz

Die Normen DIN EN 61000-2 und DIN EN 61000-3-12 definieren Grenzwerte für die Aussendung von Oberschwingungsströmen. Diese sind bereits von den Herstellern wie z. B. der Umrichter zu garantieren. Es wird deshalb hier nicht näher auf den Inhalt dieser Normen eingegangen.

2.5 Einteilung in Verträglichkeitsklassen

In Norm DIN EN 61000-2-4 wird auf die Verträglichkeitspegel für niederfrequente Störgrößen in Industrieanlagen eingegangen. Das Eigenbedarfsnetz stellt eine solche Anlage dar. Es muss deshalb in besonderem Maße auf die Einhaltung der hier angegebenen Grenzwerte eingegangen werden. Um das Ausmaß der Störungen besser analysieren bzw. die Wechselwirkungen zwischen den Verbrauchern im Netz beurteilen zu können, wird das betrachtete Netz zunächst in verschiedene Klassen unterteilt. Es lässt sich nach den zu erwartenden elektromagnetischen Umgebungsbedingungen in Umgebungsklassen einteilen. Die Umgebungsbedingungen ergeben sich insbesondere durch die in den einzelnen Bereichen vorhandenen Betriebsmittel sowie die jeweilige Installation. Nachfolgend sind die einzelnen Umgebungsklassen kurz beschrieben.

Klasse 1 (sehr niedriger Störpegel):

Diese Klasse gilt für geschützte Versorgungen und besitzt Verträglichkeitspegel kleiner als die Pegel für öffentliche Netze. Sie bezieht sich auf den Betrieb von sehr empfindlich auf Störgrößen in der Stromversorgung reagierenden Betriebsmitteln, z. B. Ausrüstung in technischen Laboratorien, einige Schutz-, Automatisierungs- und Datenverarbeitungseinrichtungen. Üblicherweise fallen darunter Betriebsmittel, die den Schutz durch Einrichtungen wie z. B. unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV), Filter oder Überspannungsableiter erfordern.

Merkmale:

- Abschaltüberspannungen in Steuerkreisen werden durch geeignete Beschaltungen unterdrückt
- Starkstromleitungen und Steuerleitungen sind von Anlagenteilen höherer Umgebungs-kategorie getrennt verlegt
- Stromversorgungsleitungen mit an beiden Enden geerdetem Schirm und mit Netzfiltern versehen
- Leuchtstofflampen sind vorhanden

Beispiel:

- Rechnerräume

Klasse 2 (niedriger Störpegel):

Die Klasse 2 gilt für den Verknüpfungspunkt mit dem öffentlichen Netz und allgemein für anlageninterne Anschlusspunkte in der industriellen Umgebung. Die Verträglichkeitspegel für diese Klasse sind identisch mit denen für das öffentliche Netz; deshalb können Komponenten, die für den Betrieb

am öffentlichen Netz entwickelt wurden, in dieser Klasse der industriellen Umgebung benutzt werden.

Merkmale:

- Abschaltüberspannungen geschalteter Relais werden teilweise begrenzt
- Keine Schütze vorhanden
- Starkstromleitungen und Steuerleitungen sind von Anlagenteilen höherer Umgebungsklasse getrennt verlegt
- Getrennte Verlegung ungeschirmter Netzversorgungsleitungen
- Leuchtstofflampen vorhanden

Beispiel:

- Messwarten in Kraftwerken und Industrieanlagen

Klasse 3 (Industriestörpegel):

Die Klasse gilt nur für anlageninterne Anschlusspunkte (IP) in industriellen Umgebungen. Sie besitzt für einige Störgrößen höheren Verträglichkeitspegel als die der Klasse 2. Die Klasse 3 sollte herangezogen werden, wenn eine der folgenden Bedingungen zutrifft:

Merkmale:

- Hauptteil der Last wird durch Stromrichter gespeist
- Große Motoren werden häufig gestartet
- Lasten schwanken schnell

Beispiel:

- Kraftwerks- und Industrieleittechnik

Weitere Umgebungen:

In der Praxis sind auch Umgebungen mit höherem Störpegel als der Klasse 3 denkbar und vorhanden (raue Umgebung, hoher Industriestörpegel und extremer Störpegel). Besonders in Umgebungen, in denen Verbraucher wie große Umrichter, die über eine eigene Sammelschiene versorgt werden, können solch hohe Störpegel auftreten. In derartigen Fällen müssen die Verträglichkeitspegel im Einzelfall vereinbart werden.

Beispiel:

- Außenanlagen der Kraftwerks- und Prozessleittechnik, Hochspannungsschaltanlagen

2.6 Grenzwerte und Verträglichkeitspegel

Verträglichkeitspegel beschreiben die zulässige Störaussendung einer Anlage. Es wird sichergestellt, dass alle im Netz befindlichen oder an dieses angeschlossene Geräte durch Verzerrungen in Strom oder Spannung nicht in ihrer Funktion beeinträchtigt werden.

DIN EN 61000-2-12 Verträglichkeitspegel für einzelne Oberschwingungsanteile der Spannung in öffentlichen Mittelspannungs-Elektrizitätsversorgungsnetzen		DIN EN 61000-2-4 Verträglichkeitspegel für niederfrequente Störgrößen in Industrieanlagen			
Oberschwingungsordnung	zul, Oberschwingungsspannung [%]	Oberschwingungsordnung	zul, Oberschwingungsspannung [%]		
			Klasse 1	Klasse 2	Klasse 3
2	2,00	2	2,00	2,00	3,00
3	5,00	3	3,00	5,00	6,00
4	1,00	4	1,00	1,00	1,50
5	6,00	5	3,00	6,00	8,00
6	0,50	6	0,50	0,50	1,00
7	5,00	7	3,00	5,00	7,00
8	0,50	8	0,50	0,50	1,00
9	1,50	9	1,50	1,50	2,50
10	0,50	10	0,50	0,50	1,00
11	3,50	11	3,00	3,50	5,00
12	0,46	12	x	x	x
13	3,00	13	3,00	3,00	4,50
14	0,43	14	x	x	x
15	0,40	15	0,30	0,30	2,00
16	0,41	16	x	x	x
17	2,00	17	2,00	2,00	4,00
18	0,39	18	x	x	x
19	1,76	19	1,50	1,50	4,00
20	0,38	20	x	x	x
21	0,30	21	0,20	0,20	1,75
22	0,36	22	x	x	x
23	1,41	23	1,50	1,50	3,50
24	0,35	24	x	x	x
25	1,27	25	1,50	1,50	3,50
26	0,35	26	x	x	x
27	0,20	27	0,20	0,20	1,00
28	0,34	28	x	x	x
29	1,06	29	0,63	0,63	3,08
30	0,33	30	x	x	x
31	0,97	31	0,60	0,60	2,98
32	0,33	32	x	x	x
33	0,20	33	0,20	0,20	1,00
34	0,32	34	x	x	x
35	0,83	35	0,56	0,56	2,80
36	0,32	36	x	x	x
37	0,77	37	0,54	0,54	2,73
38	0,32	38	x	x	x
39	0,20	39	0,20	0,20	1,00
40	0,31	40	x	x	x
		x = In der Norm nicht angegeben			
THD _v Höchstzulässig (Langzeitauswirkungen)					
		Klasse 1		Klasse 2	Klasse 3
8%		5%		8%	10%

2.7 Definitionen und Einteilung in Klassen

Im Falle des Eigenbedarfsnetzes im Grosskraftwerk Mannheim handelt es sich nach DIN EN 61000-2-4 um eine Industrieanlage. In den meisten Bereichen wird ein Hauptteil der Last durch Stromrichter gespeist.

Hinsichtlich der Spannungsqualität ist von einem Industrienetz Klasse 3 gemäß DIN EN 61000-2-4 auszugehen.

Um genauer differenzieren zu können wird die folgende Einteilung des Eigenbedarfsnetzes hinsichtlich der Empfindlichkeitsklassen getroffen:

Klasse 1

Unter diese Klasse fallen nur Bereiche die durch USV versorgt sind. Da diese den Betrieb sicher garantiert werden die Bereiche welche an die USV angeschlossen sind nicht weiter betrachtet.

Klasse 2

Beleuchtungsverteilungen und angeschlossene Kraftsteckdosen, sowie Bereiche ohne Leistungsmäßig große, nichtlineare Verbraucher werden in die Klasse 2 eingeordnet.

Klasse 3

Alle übrigen Bereiche werden in die Klasse 3 eingeordnet. Auf die MS-Ebene werden die in der Norm DIN EN 61000-2-12 angegebenen Grenzwerte für das öffentliche Mittelspannungsnetz angewendet.