

TECHNIK AM BAU

TAB

Organ des Bundesindustrieverbandes Heizungs-, Klima-, Sanitärtechnik/Technische Gebäudesysteme e. V.



Fachzeitschrift
für Technische
Gebäudeausrüstung

7/2002



**Klimatisierung denkmal-
geschützter Gebäude**

EMV in der Gebäudetechnik

Kompakte Fettabscheider

Stadtsparkasse in Rheine

bau || || verlag
BertelsmannSpringer

EMV in der Gebäudetechnik

Leitungsgeführte Störgrößen – Nicht Lineare Lasten

Die elektrotechnische Ausrüstung von Gebäuden hat in den letzten Jahren nicht nur aufgrund der Informationstechnik rapide zugelegt. Mit zunehmender Komplexität der elektrotechnischen Komponenten und deren Vernetzung geht leider auch die Gefahr eines steigenden ökonomischen Schadens selbst bei geringeren technischen Störungen einher. Zumindest dann, wenn nicht eine gewissenhafte und fundierte Planung der EMV Rechnung trägt.

■ Dipl.-Ing. Jörg Blaszczok

Inhaber des Planungsbüros blaszczok Ingenieure, 40477 Düsseldorf,
Planung Technischer Gebäudeausrüstung TGA

Ein weiteres Argument für die Bedeutung der Thematik EMV wird durch die Entwicklung des Crestfaktors dokumentiert (der auch als Maßstab für leitungsgeführte Störgrößen in elektrischen Netzen gedeutet werden kann), der über Jahre kontinuierlich angestiegen ist [4 (S. 210)]. Sich darauf zu verlassen, dass einschlägige Normen sämtliche Verbraucher, denkbare Konstellationen und Wechselwirkungen erfassen und Störfestigkeiten und Störaussendungen ohnehin vorschreiben, ist ein bequemer Trugschluss und für eine ingenieurtechnische Planung unangemessen.

Im Rahmen dieser Ausarbeitung, die auf einer ausgeführten Studie und fortgeschriebenen Projekterfahrungen mit zugrunde liegenden Messungen basiert, werden wesentliche Störgrößen, deren Auswirkung, Beurteilung und mögliche Lösungen für den Planungsprozess und spätere Realisierung aufgezeigt.

Schwerpunkte und konkrete Bezüge liegen bei Verbraucherstrukturen in Büro- und Verwaltungsgebäuden und Gebäuden besonderer Nutzung (z.B. Rundfunkgebäuden) mit hohem technischen Standard.

Abgrenzungen

Aufgrund des umfassenden Sachgebiets werden Grundlagen zum Verständnis der EMV (Kopplungsarten, prinzipielle Zusammenhänge zwischen Quellen und Senken) vorausgesetzt und hier nicht im Einzelnen betrachtet.

Ebenso werden Beeinflussungen wie

- Nuclear Electro Magnetic Pulse (Nemp),

- High Intensiv Radiated Fields (HIRF) (z.B. Radar – Flughafenengebäude) und
- dynamische Prozesse (Schaltvorgänge, Anfahrströme etc.)

gemäß dem hier gewählten Schwerpunkt nicht dargestellt bzw. nur angedeutet.

Störquellenanalyse - Nicht Lineare Lasten

Nicht Lineare Lasten (NLL) sind letztendlich alle nicht Ohmschen elektrischen Komponenten eines Netzwerkes, deren Übertragungsfunktion für Strom und Spannung einer nicht linearen Funktion folgt. Aufgrund ihrer physikalischen Eigenschaften generieren NLL Netzrückwirkungen und resultierende Sekundäreffekte wie z.B.:

- eingeprägte Oberschwingungsströme,
- Resonanzerscheinungen (u.a. Spannungserhöhungen),

- vorzeitige Sättigung von Induktivitäten,
- Verzerrung der sinusförmigen Grundschwingung,
- Neutralleiterüberlastung,
- Oberschwingungsströme im Erdungssystem und auf Kabelschirmungen,
- Betriebsstörungen /-unterbrechungen,
- Zerstören empfindlicher Bauelemente,
- Reduktion der Lebensdauer elektrischer Komponenten.

Zu den NLL gehören insbesondere

- Stromrichtergererate/frequenzgeregelte Antriebe,
 - USV-Anlagen und
 - einphasige Gleichrichternetzteile der EDV.
- Sie verursachen leitungsgeführte Störgrößen in Form eingepprägter Oberschwingungsströme und verzerren den sinusförmigen Verlauf der Wechselspannung wie in Bild 1 dargestellt.

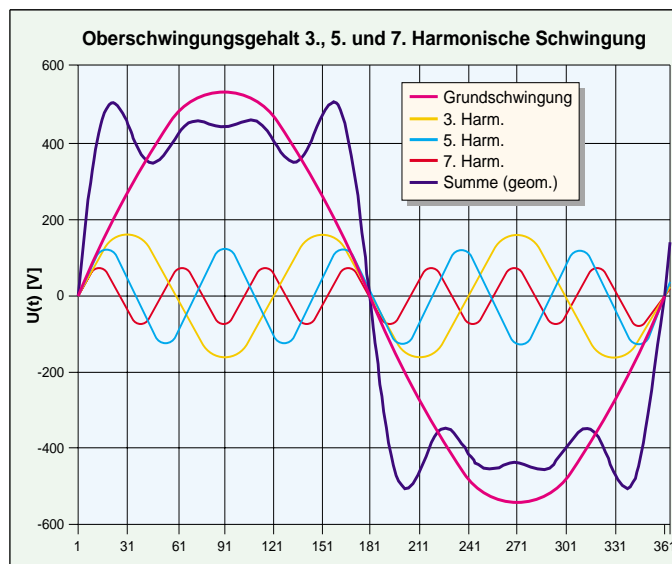


Bild 1: Qualitativer Verlauf der Netzspannung



Zu berücksichtigen sind insbesondere die 3., 5. und 7. Oberschwingung. Diese dominieren durch die üblich verwendeten Bauarten der Stromrichter und Gleichrichteretzteile.

Um in der Planung frühzeitig mögliche Störpotentiale mit den angesprochenen Auswirkungen auf ein Netz beurteilen zu können, ist ein erstes Erfassen der Störgrößenverursacher notwendig (dies kann zeitgleich mit der Leistungsbilanzierung geschehen). Nach Fertigstellung der Anlagen sind exakte Messungen im Einzelfall sinnvoll, um Optimierungen vorzunehmen.

Oberschwingungsfrequenzen lassen sich bei Einsatz von Stromrichtern wie folgt berechnen [1 (S. 356)]:

$$v = p \times k \pm 1 \quad (1)$$

mit v...Ordnung der Oberschwingung bzw. Vielfaches der Netzfrequenz, P...Pulszahl der Wechsel- bzw. Gleichrichterschaltung, k...1,2,3 usw.

In den meisten Fällen sind die Anlagenmerkmale eingesetzter NLL aus den Herstellerdatenblättern zu entnehmen und weisen charakteristische Oberschwingungsspektren vor.

Unterbrechungsfreie Stromversorgungsanlage USV
Statische USV (Leistungsbereich 250 kVA), maximaler Klirrfaktor 6,5 %:

Ordnung der Oberschwingung	5	7	11	13	17	19	ΣH
lv/l1 in %	3,3	1,5	3,3	1,3	1,3	0,9	5,3

Tabelle 1: Oberschwingungsgehalt einer USV (Quelle: MGE UPS, Typ Galaxy mit Standard-OberschwingungsfILTER LC)

Stromrichtergeriegelte Asynchronmotoren der Aufzüge und Ventilatoren
In der Regel kommen Umrichter zum Einsatz, denen folgender Ansatz zugrunde gelegt werden kann:

Ordnung der Oberschwingung	5	7	11	13	17	19	23
lv/l1 in %	26	11,4	8,2	5,4	4,7	3,2	3,1

Tabelle 2: Oberschwingungsgehalt stromrichtergerogelter Antriebe (Quelle: AAB Kondensatoren GmbH)

Kennwert Bemessungsscheinleistung von ca. 25 % der Gesamtverbraucherleistung, Oberschwingungsgehalt 30 %.

Die vorangegangenen Werte werden heutzutage i.d.R. unterschritten, da die führenden Hersteller der Fördertechnik wirksame Filtertechniken in ihre Programme aufgenommen haben – im Falle der Regelungstechnik für RLT-Anlagen kann man dies nicht durchweg behaupten.

EDV-Anlage

Ein typisches Oberschwingungsspektrum mit Klirrfaktor und Grundschiebungssgehalt für eine EDV-Anlage, mit den für Bürogebäuden ermittelten Leistungen von ca. 3 - 9 % der Gesamtleistung, repräsentieren die Tabelle 3 und nachstehende Werte [2 (S. 32)].

(Normungshinweis: Am 1. Januar 2001 wurden die EN 60555-2 und EN 60555-3 durch die EN 61000-3-2 und EN 61000-3-3 abgelöst. Definiert werden Grenzwerte für Oberschwingungsströme und -spannungen für Geräte mit einer Stromaufnahme < 16 A) Klirrfaktor k = 0,6 Grundschiebungssgehalt g = 0,8.

Ordnung der Oberschwingung	3	5	7	9	11	3
lv/l1 in %	60	40	20	10	5	60

Tabelle 3: Oberschwingungsgehalt einer EDV-Anlage

Im 3-Phasensystem können insbesondere die 3. und 9. harmonische Schwingung, bei ungünstiger Verteilung auf die drei Außenleiter, im Neutralleiter zu den in Bild 2 aufgezeigten Summierungseffekten führen und diesen überlasten.

Eine kostengünstige und effektive Maßnahme, die bei der Anschaffung der EDV-Komponenten Berücksichtigung finden sollte, ist der Einsatz auf dem Markt etablierter Schaltnetzteile mit aktiver Oberwellenfilterung. Diese reduzieren Netzoberschwingungen sehr effektiv. Messungen ergaben Klirrfaktoren kleiner 2 % und Leistungsfaktoren von mindestens 0,9 [6 (S.9)].

In Netzen mit hohen Anforderungen an die Strom-/Spannungsqualität sollten daher die Oberschwingungsströme der ermittelten Verbrauchergruppen - zur Beurteilung möglicher Überschreitung der Grenzwerte für Netzurückwirkungen / Oberschwingungsgrenzwerte (DIN VDE

0160 / DIN VDE 0833) - in erster Näherung berechnet werden.

Prinzipielle Berechnung in erster Näherung auf Basis der aufgezeigten Kenngrößen Grundschiebungssstrom:

$$I_B = I_1 \times \sqrt{1 + \sum H_v^2} \quad (2)$$

mit H...Summe der Oberschwingungsgehalte, I₁...Effektivwert des Grundschiebungssstromes

$$I_1 = \frac{I_B}{\sqrt{1 + \sum H_v^2}} \quad (3)$$

I_B...Betriebsstrom der NLL mit Gleichzeitigkeiten.

Mit dem Klirrfaktor k berechnet sich der Effektivwert I_{eff} der Oberschwingungsströme zu:

$$I_{effv} = k_v \times I_1 \quad (4)$$

k_v...Klirrfaktor.

Oder soweit der Grundschiebungssgehalt bekannt ist, errechnet sich I₁ zu:

$$I_1 = g \times I_B \quad (5)$$

I_B...Betriebsstrom der EDV-Anlage mit Gleichzeitigkeiten, g...Grundschiebungssgehalt.

Auf Basis der so ermittelten Ergebnisse sind nun, wie im Weiteren beschrieben, konkrete Planungsschritte anzugehen, die den Problemstellungen bei häufig auftretenden Verbraucher-Konstellationen gerecht werden.

Beeinflussungen und Lösungsansätze Leitungsnetz

Die ermittelten NLL sind Störquellen, die leitungsgeführte Störgrößen galvanisch mit dem Netz koppeln.

Besondere Bedeutung erlangt das Erdungssystem. Vollständig betrachtet muss es den Blitzschutz, den Potentialausgleich sowie den Neutralleiter konzeptionell einbinden, aufgrund der gegenseitigen Beeinflussungen. Die im Neutralleiter geführten und erst im Sternpunkt des Transformators kurzgeschlossenen harmonischen Schwingungen führen zu einer Potentialanhebung im Schutzleiter beim Potentialausgleich. Folge ist eine Spannung und somit ein hochfrequenter

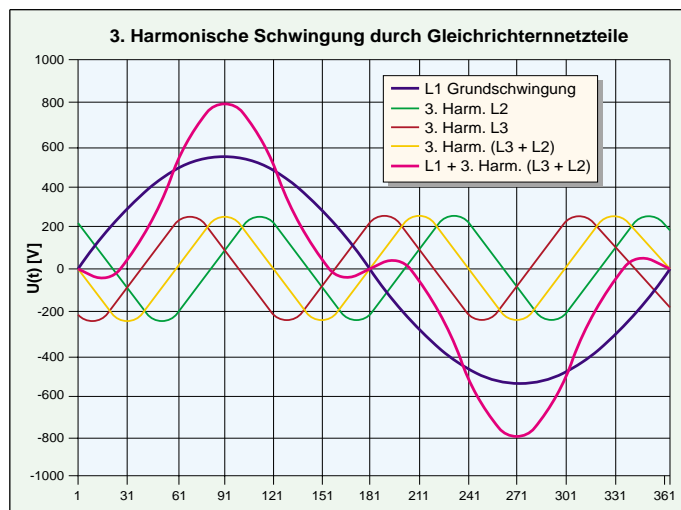


Bild 2: Resultierende Spannung nach geometrischer Addition bei ungünstiger Verbraucheraufteilung

USV - vorgeschaltetes Netz

Die eingprägten Oberschwingungsströme verursachen Spannungsabfälle an der Netzimpedanz. Da die Beziehung $U_v = Z_v \cdot I_v$ (v...Ordnung der Oberschwingung) gilt, ist die Spannung bei eingprägten Oberschwingungsströmen proportional der Netzimpedanz. Der Gesamtklirrfaktor ist wiederum eine Funktion der Spannungen und ein Maß für die Abweichung der Netzspannung vom idealen sinusförmigen Verlauf.

Für den ordnungsgemäßen Betrieb selbst empfindlicher Verbraucher ist ein Gesamtklirrfaktor von 5 % akzeptabel [5].

Berechnung des Klirrfaktors bei Normalbetrieb (mit exemplarischen Anlageneleistungen)

Weiteren Einfluss auf den Klirrfaktor haben: die Nenntrafoleistung S_{TN} , die Nennleistung des Gleichrichters im Eingangsteil der USV S_{GN} .

Es gilt:

$$S_{GN} = S_{wechsel} \times k \quad (6)$$

mit $k = 1,15$ [5 (S.22)]

$$S_{wechsel} = 250 \text{ kVA} \quad (7)$$

$$S_{GN} = 287,5 \text{ kVA} \quad (8)$$

Folgende Gleichung [5] drückt die Beziehung der relevanten Größen Netzimpedanz, Netzausgangsleistung und Gleichrichterleistung aus.

$$U'_{kx} = U_{kx} \times \frac{S_{GN}}{S_{TN}} \quad (9)$$

U_{kx} ...Kurzschluss-Spannung Trafo

U'_{kx} ...Kurzschluss-Spannung Einspeisernetz – bezogen auf die des Gleichrichters

$$U'_{kv} = 0,06 \times \frac{287,5 \text{ kVA}}{600 \text{ kVA}} = 2,875\% \quad (10)$$

Aus dem Bild 3 ist ein Klirrfaktor D von 5,5 % zu entnehmen. Hierbei sind keine durch das einspeisende Netz einbringbare Oberschwingungen berücksichtigt, so dass dieser Betrag sich noch leicht erhöhen könnte.

Fazit

Der Einbau eines Oberwellenfilters wäre von Vorteil, ist jedoch aufgrund möglicher Streuungen innerhalb der berechneten Größen nicht zwingend nötig, um einen funktionsgerechten Netzbetrieb zu

Strom im Schutzleiter. Da der Schutzleiter galvanisch mit der Masse von Kabelschirmungen und Geräten verbunden ist, überträgt dieser seine harmonischen Schwingungen. Gerade bei relativ niedrigen Pegeln der Nachrichten- und Informationstechnik werden deren Signale damit verzerrt übertragen.

Erdungsimpedanzen müssen daher möglichst gering gehalten werden, um den durch die eingprägten Oberschwingungsströme verursachten Spannungsabfall (Maß für den Klirrfaktor) zu reduzieren.

Dies kann durch hochgradige Vermaschung und Einbindung statischer Armierungen geschehen.

Abhilfe schafft auch ein separates Erdungssystem für besondere Anlagengruppen (FPE), das konsequent ungeschnitten und separat verlegt wird. Die Investitionskosten für Erdungssysteme sind im Verhältnis zu den Kosten der Gesamtsysteme der technischen Ausrüstung gering.

Einphasige NLL verursachen durch eingesetzte Gleichrichter und Induktivitäten im Sättigungsbereich Oberschwingungsströme so genannter Nullsysteme [2 (S. 34)]. Ihre Oberschwingungsströme addieren sich bei ungünstiger Verbraucheraufteilung, wie bereits angedeutet, im Neutralleiter. Damit erfährt der Neutralleiter des Verteilungsnetzes eine wesentlich höhere Belastung (bis zum 1,5-fachen des Phasenleiterstromes), als lediglich durch unsymmetrische Verbraucheraufteilung annehmbar [2 (S. 30)]. In einschlägigen Messungen wurden Unterdimensionierungen bis zu 100 % gemessen [4 (S.209)].

Deshalb ist es dringend ratsam, den Neutralleiter nicht wie in der DIN VDE zugelassen mit dem 0.5-fachen Quer-

schnitt auszuführen, sondern den der Außenleiter einzuhalten. Eine Verbesserung des Zustandes kann auch erzielt werden durch die Verwendung von Leitern mit zusätzlichem konzentrischen außenliegenden Neutralleiter. Hierbei erhöht sich die Belastbarkeit des Neutralleiters bei gleichzeitiger Reduzierung seiner Induktivität [2 (S.38,39)]. Der an der Induktivität hervorgerufene proportionale nicht sinusförmige Spannungsabfall (Maß für den Klirrfaktor) wird damit ebenfalls gemindert.

Möchte man verschiedene Leiterquerschnitte und besondere Leitungs-/Schiementypen vermeiden, ist eine Überdimensionierung der Leitungen, Stromschiene und Kabel ein Mittel.

Zusätzliche Sicherheit wird erreicht durch eine Überstromerfassung des Neutralleiters. Bei Überlastung kommt es zur Meldung und gegebenenfalls zur Abschaltung der Außenleiter.

Logischer Schluss aus den vorigen Aspekten ist die Ausführung des Niederspannungsnetzes als TN-S-Netz nach DIN IEC 38 (was nach wie vor von einigen EVU anders gehandhabt wird).

USV-Netzurückwirkungen

Ein differenziert zu betrachtendes Thema ist das der USV. Einerseits ist sie aus Sicht des vorgeschalteten Netzes selbst eine NLL, andererseits dient die USV zur Spannungsversorgung eines von NLL geprägten Netzes, dessen Oberschwingungsverursacher selbst empfindlich gegenüber Verzerrungsströmen sind. Diese Umstände erzwingen eine genaue Untersuchung der Netzzustände auf beiden Seiten einer USV.



ermöglichen. Des Weiteren ist nach DIN VDE 0160 der Grenzwert für die einzelnen Oberschwingungsgehalte, deren geometrische Summe den Klirrfaktor D bildet, im Dauerbetrieb 5 %. Die Grenzwerte der einzelnen Oberschwingungen werden bei einem Gesamtklirrfaktor D gleich 5,5 % sicherlich eingehalten.

Die gleiche Betrachtung ist für den Betrieb der USV mit dem Netzersatzaggregat als einspeisende Quelle notwendig.

Berechnung Klirrfaktor mit Notstromaggregatbetrieb (mit exemplarischen Anlagenleistungen)

Analog zur bisherigen Berechnung gilt:

$$U'_{kv} = x d'' \times \frac{S_{GN}}{S_{NEAN}} \quad (11)$$

$x d''$... Anfangsreaktanz der Netzersatzanlage

lt. Herstellerdatenblatt U'_{kv} ... Kurzschluss-Spannung Einspeisernetz bezogen auf die des Gleichrichters

$$U'_{kv} = 0,132 \times \frac{287,5kVA}{400kVA} = 9,49\% \quad (12)$$

Aus Bild 3 folgt der sehr hohe Wert für den Klirrfaktor von 15 %. Konsequenz ist, dass auf einen Filter in der USV nicht verzichtet werden kann. Dieser Filter ist so auszulegen, dass die angestrebten 5 % Klirrfaktor eingehalten werden.

Optimierung des Klirrfaktors im NEA-Betrieb durch Filter

Die Notwendigkeit eines Oberwellenfilters wurde bereits nachgewiesen. Vorzusehen ist der Oberwellenfilter im Eingang der USV - Anlage. Der Filter trägt zur Minimierung der Netz-Rückwirkungen (einzuhalten sind nebenstehende Grenzwerte Bild 4) der USV und zu deutlicher Verbesserung des Eingangsleistungsfaktors und damit zur Reduzierung der Eingangsscheinleistung bei.

Zu berücksichtigen ist weiterhin die Wechselwirkung des kapazitiven Filters mit den induktiven Impedanzen.

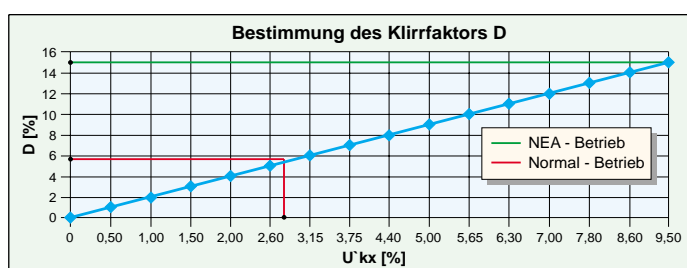


Bild 3: Klirrfaktor ohne Filter [5]

Der vorzusehende Filter besitzt einen kapazitiven Charakter. Dies kann zu

- unzulässigen Spannungserhöhungen (Bild 5) führen, verursacht durch den kapazitiven Strom, der über die Anfangsreaktanz (Induktivität) des Generators bzw. über die Reaktanz x_l des Transformators fließt sowie
- zu Resonanzerscheinungen führen (analog wie unter Kompensationsanlage beschrieben).

Für dieses Prinzip der Spannungserhöhung ist Bild 5 zutreffend [1 (S. 355)].

Um eine Belastung des Generators oder des Transformators mit kapazitiven Strömen bei niedriger Verbraucherlast zu vermeiden, kann parallel zum kapazitiven Filterzweig eine Kompensationsdrossel geschaltet werden, die auch unter dem Aspekt Resonanzfrequenzen ausgelegt werden muss. Eine Gefährdung in oben beschriebener Art ist danach unterbunden. Die Auslegung sollte im Werk erfolgen. (Anmerkung: Es ist nicht die Sache der Planung, hier exakte Dimensionierungen vorzugeben - sondern auf die festgestellten Umstände hinzuweisen und deren Berücksichtigung zu verfolgen.)

Die Netzurückwirkungen der USV bei NEA-Betrieb zeigt Bild 6. Beachtung findet dort der Einsatz eines kompensierten Filters.

In den gezeigten Berechnungen ist die Kurzschluss-Spannung U'_{kv} bei Netzersatzbetrieb bestimmt worden zu 9,49 %. Das Lot in diesem Punkt schneidet die Kennlinie, an dem die Ordinate den Spannungsklirrfaktor D ungefähr gleich 4,5 % aufweist. Für den Betrieb der USV im Normalfall ergibt sich sogar ein Klirrfaktor von ca. 1,8 %.

Mit diesem geringen Klirrfaktor liegen die Netzurückwirkungen der Anlage unterhalb der nach DIN VDE 0160 geforderten Grenzwerte (Bild 4) und auch unterhalb der 6,5 %, die für den Betrieb einer USV eingangsseitig Bedingung sind. Aus Sicht der EMV-Problematik ist damit die Störaussendung der Störquelle -USV- effektiv gemindert.

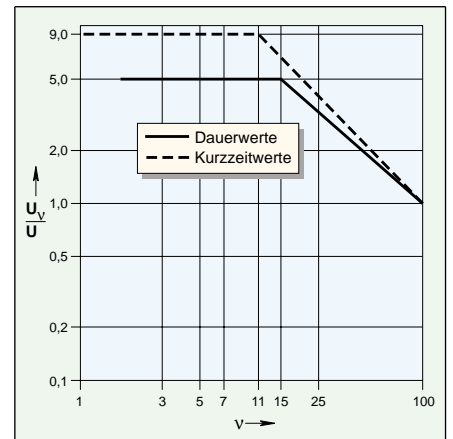


Bild 4: Grenzwerte (Quelle: DIN VDE 0160)

USV - nachgeschaltetes Netz
Setzt man USV-Anlagen mit einem Wechselrichter auf Basis des Arbeitsprinzips der PWM (Puls-Weiten-Modulation) ein, ermöglicht dies, unberücksichtigt des Crestfaktors, den zu versorgenden USV-berechtigten Verbrauchern einen in vorgegebenen Toleranzbereichen liegenden Klirrfaktor.

Schnelle Ansteuertechniken takten Gleichspannungs-Rechteckimpulse im kHz-Bereich. Dies erfolgt über eine Regelung mit Vergleich von Ist- und Sollwert einer über einen Quarz gesteuerten Referenz-Wechselspannung mit idealem sinusförmigen Verlauf.

Dadurch besteht die Möglichkeit, bei der Spannungsausregelung Pulsbreiten während einer 50 Hz-Periode schnell zu modifizieren und selbst bei hohen Verzerrungsströmen Klirrfaktorgrenzwerte einzuhalten. Deshalb ist eine weitere Betrachtung des Ausgangsnetzes der USV in diesem Fall nicht erforderlich.

Notstrom-/Ersatznetzaggregate - Rückwirkungen durch Stromüberschwingungen

Die Synchronmaschine erzeugt einen beinahe idealen sinusförmigen Spannungsverlauf bei linearen Lasten. Kritisch kann der Betrieb bei NLL sein. Dabei sind zwei Fälle zu unterscheiden: Oberschwingungs-Drehfeld und Nullsysteme. Die Oberschwingungs-Drehfeldsysteme werden durch symmetrische nicht lineare Belastungen hervorgerufen. Sie umlaufen mit der Grundschwingung die Pole der Maschine. Die auf dem Rotor befindliche Dämpferwicklung (auch zur Reduzierung des Kurzschluss-Stromes) verläuft für die höherfrequenten Oberschwingungsströme asynchron [2 (S. 33)].

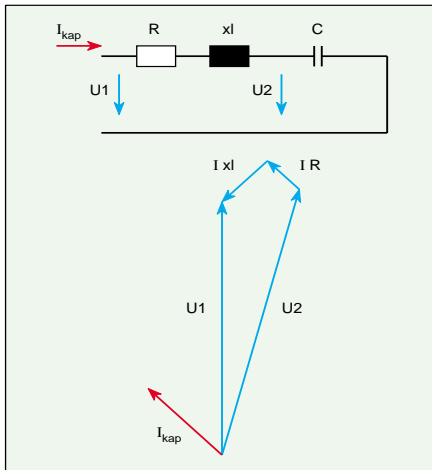


Bild 5: Spannungsdiaagramm/Schaltbild bei kapazitiver Belastung. Zur ursprünglichen Spannung U1 addieren sich die Spannungsabfälle an den Reaktanzen (hier xL). Die resultierende Spannung U2 ist größer als U1 und liegt bei den Verbrauchern an

Dadurch werden nach dem Induktionsgesetz Ströme in die Dämpferwicklung induziert, die den Oberschwingungsströmen proportional sind.

Die Quellimpedanz des Generators ist ihrerseits proportional der Frequenz, denn es gilt:

$$Z_v = R + j\omega L = R + j2\pi f_v Z_v \quad (13)$$

Oberschwingungsimpedanz

f_v ... Frequenz der Oberschwingungsströme
 v ... Ordnung der Oberschwingung

Deshalb ist mit einer Impedanzhöhung bei Belastung mit NLL zu rechnen. Dies bewirkt einen nicht linearen Spannungsabfall an der Quellimpedanz und erhöht damit den Spannungsklirrfaktor des NEA - der sinusförmige Verlauf ist nicht weiter gegeben [2 (S. 32)] – empfindliche Geräte werden beeinträchtigt.

Nullsysteme bilden Wechselfelder. Sie werden durch Schaltnetzteile und durch Induktivitäten mit Betrieb im Sättigungsbereich (z. B. Drosselspulen) einphasiger nicht linearer Verbraucher erzeugt. Ihre

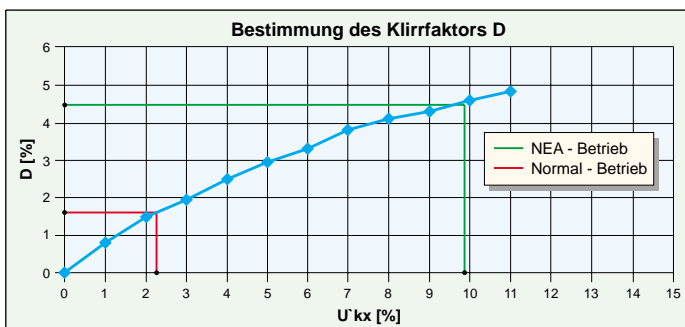


Bild 6: Klirrfaktor bei Einsatz eines kompensierten Oberwellenfilters [5]

Oberschwingungsströme sind in zwei umlaufende Drehfelder zerlegbar [2 (S. 34)].

Damit gelten die o.g. Aussagen für Drehfelder auch hier.

Ein typisches Impedanzverhalten zeigt Bild 8.

Fazit

Nach der EMV-Philosophie ist das Netzersatzaggregat eine Störquelle für den betrachteten Betriebsfall. Für eine vollständige Bearbeitung der Problematik sind Störquelle- und -senke zu bedenken. Es gilt, sowohl das Störpotential der Quelle zu mindern, wie auch die Störfestigkeit der Senke zu erhöhen.

Das Kriterium für die Verbesserung der Störfestigkeit des NEA ist seine möglichst geringe Quellimpedanz Z. Diese Eigenschaft ist abhängig von konstruktiven Maßnahmen und somit ein Entscheidungsaspekt für die Auswahl des Fabrikates.

Eine zweite und triviale Maßnahme ist die maßvolle Überdimensionierung des NEA; hier gilt wie auch bei allen übrigen Netzen:

$$Z \propto \frac{1}{S} ; \text{ die Impedanz ist umgekehrt proportional zur Leistung.}$$

Als Hauptstörpotential sind frequenzgeregelte Verbraucher und USV-Anlagen einzustufen.

Maßnahmen zur Minimierung des USV-Störpotentials sind an den jeweiligen Anlagen wie dort beschrieben vorzunehmen. Weitere Besserungen lassen sich für Aufzüge durch organisatorische Mittel erreichen.

Aufzüge mit Evakuierungsschaltung fahren bei Netzersatzbetrieb in ein vorgesehenes Geschoss und gehen danach außer Betrieb – belasten also nicht weiter das Netz mit permanenten Anfahrvorgängen.

Die Regelungen der Ventilatoren der Lüftungsanlagen erweisen sich häufiger als Störquellen, die nicht berücksichtigt sind. Hier sollte im Vorfeld (spätestens bei der Ausschreibung) auf entsprechende Filtertechnik geachtet werden.

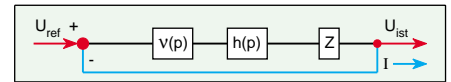


Bild 7: Blockschaubild des PWM-Wechselrichters mit Ausgangsspannungsregelung

Kompensationsanlage - Resonanzproblematik

Es besteht prinzipiell die Gefahr, dass die Kompensationsanlage mit induktiven Netzwerkkomponenten Schwingkreise – verursacht durch Oberschwingungsströme – bildet. Die im Resonanzbereich angeregten Schwingungen erzeugen Überspannungen und können den Betrieb der Kompensationsanlage sowie den von parallel geschalteten Verbrauchern des Schwingkreises wesentlich behindern oder sogar die Anlagen zerstören.

Mit den bereits benannten Verbraucherstrukturen sind in den hier zu Grunde gelegten Gebäudetypen die Anschlussleistungen der nicht linearen Verbraucher häufig größer als 20 %. Dies legt von vornherein die Verdrosselung vorhandener Kompensationsanlagen nahe [1 (S. 347)], um die vorgenannten Resonanzeffekte zu vermeiden.

Im Beispiel der Kompensationsanlage ist mit dem zu bestimmenden Grad der Verdrosselung die Resonanzfrequenz des Schwingkreises unterhalb die der niedrigsten Oberschwingungsfrequenz zu bringen.

Im Detail

Die Kompensationsanlage bildet mit der Transformator-ZT und Netzkurzschlussimpedanz ZQ einen Parallelschwingkreis aus Sicht der übrigen Verbraucher.

Dieser Schwingkreis besitzt eine spezifische Resonanzfrequenz f_r . NLL verursachen eingeprägte Ströme mit bestimmten Frequenzen. Liegen diese Frequenzen im Bereich der Resonanzfrequenz f_r , regen sie den Schwingkreis an. Die frequenzabhängige Impedanz des Schwingkreises steigt. Ebenso steigt die Spannung unzulässig an durch die eingepprägten Oberschwingungsströme. Folge sind die eingangs genannten negativen Auswirkungen.

Die Kondensatoren erfahren eine weitere Beeinträchtigung. Der Widerstand der Kapazitäten verhält sich umgekehrt proportional zur Frequenz

$$\left(X_c = \frac{1}{2 \times \pi \times f \times C} \right).$$

Damit verringert sich der Widerstand bei steigender Frequenz. Bei konstanter Span-

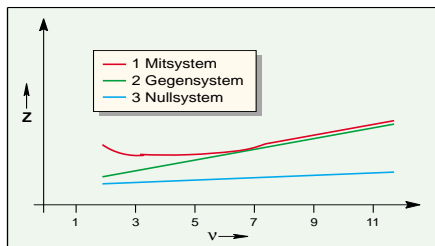


Bild 8: Ausgangsimpedanz einer Synchronmaschine [2 (S. 33)]

nung führt dies zu einem erhöhten Strom, der durch die Kondensatoren fließt. Deshalb müssen die Kondensatoren nach DIN VDE 0560 auch für den 1,3-fachen Bemessungsstrom ausgelegt werden [3].

In diesem Zusammenhang sind auch Tonfrequenzen zu beachten – hier sind Abstimmungen mit dem jeweiligen EVU zu treffen. Prinzipiell gilt es festzustellen, ob eine Gefährdung der Anlage nach zuvor beschriebener Art zutrifft.

Folgendes Modell ist für zu planende Netze häufig anwendbar - exemplarische Berechnung auf Basis von typischen Projektwerten. Die Impedanzen sind zu berechnen oder Herstellerdatenblättern/EVU zu entnehmen.

Die Leistung der NLL (hier Umrichter) setzt sich wie folgt zusammen (die Gleichzeitigkeiten müssen einfließen):

- Aufzüge ca. 70 kVA,
 - Ventilatoren Raumlufttechnik 65 kVA.
- In Anlehnung an DIN VDE 0160 soll der Betrag des 5. Oberschwingungsstromes nicht mehr als 5 % der Grundschwingung des Betriebsstroms betragen.

Die Aufzüge verursachen einen eingepprägten 5. Oberschwingungsstrom von:

$$I_5 = 40,5 \text{ A} \tag{14}$$

(ermittelt wie im Abschnitt „Störquellenanalyse – Nicht Lineare Lasten“ aufgezeigt).

Der Strom der frequenzgeregelten Ventilatoren beträgt :

$$I = \frac{S}{U \times \sqrt{3}} = \frac{kVA}{400V \times \sqrt{3}} = 93A \tag{15}$$

Nimmt man an, dass der Klirrfaktor hier aufgrund der gängigen Umrichterart analog dem der Aufzüge ist, gilt:

$$I_1 = 93A \times 0,958 = 89A \tag{16}$$

Der 5. Oberschwingungsstrom ist damit

$$I_{5a} = 93A \times 0,26 = 23,16A \tag{17}$$

Die Summe der Oberschwingungsströme ist dann bei Phasengleichheit (als Worst-Case-Betrachtung)

$$\Sigma I_5 = I_5 + I_{5a} = 63,66A \tag{18}$$

Bei einer angenommenen Transformatorauslastung von 70 % und einem Grundschwingungsanteil von 90 % beträgt der Verbraucherstrom 572 A.

Danach ist der Oberschwingungsanteil der 5. Harmonischen

$$\frac{\Sigma I_5}{I_1} = \frac{63,66A}{572A} = 11,12\% \tag{19}$$

Damit liegt der Oberschwingungsanteil oberhalb des angestrebten Grenzwertes. Bevor Maßnahmen eingeleitet werden, ist zu überprüfen, ob die Frequenzen der 5. Oberschwingung im kritischen Bereich der Resonanzfrequenz des Parallelschwingkreises Netz-Trafo / Kondensator liegt.

Für die Kurzschlussleistung S_{kp} des Parallelschwingkreises gilt [7]:

$$S_{kp} = \frac{c \times U^2_N}{Z_Q + Z_T} = \frac{400^2 V^2}{13,959 m\Omega} = 11,46 MVA \tag{20}$$

Die Resonanzfrequenz f_r ergibt sich zu [7]:

$$f_r = f_N \times \sqrt{\frac{S_{kp}}{Q_c}} = 50 Hz \times \sqrt{\frac{11,46 MVA}{0,22 MVA}} = 360 Hz \tag{21}$$

Für den unteren und oberen Grenzbe- reich gilt [3]:

$$f_u = \frac{f_r}{\sqrt{2}} = 255 Hz; f_0 = f_r \times \sqrt{2} = 510 Hz \tag{22}$$

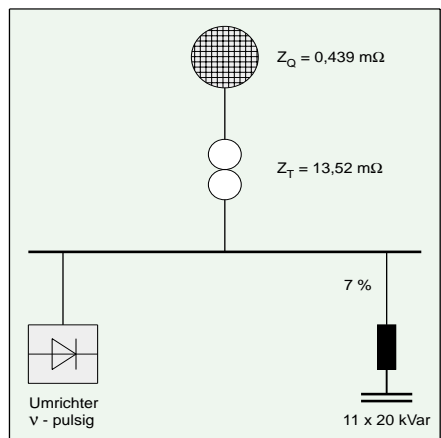


Bild 9: Parallelschwingkreis mit Stromrichter als Störquelle (Quelle Robatherm Burgau, Datenblatt INTP Nr. 22578/M)

Fazit

Wird vom Betreiber ein geringes Störpotential im internen Netz gefordert, liegt die 5. Oberschwingung (250 Hz) im unteren kritischen Bereich der Resonanzfrequenz.

Damit die beschriebenen negativen Auswirkungen der Parallelresonanz nicht eintreten, sollte die hier betrachtete Kompensationsanlage verdrosselt werden.

Bei einem Verdrosselungsgrad von 7 % liegt die Resonanzfrequenz f_{ir} bei 189 Hz [1 (S. 357)] und ist damit kleiner als die hier relevante kleinste Oberschwingung f_5 gleich 250 Hz.

Funktionsprinzip

Verdrosselte Kondensatoren bilden mit den Induktivitäten (Drosselpulen) einen Reihenschwingkreis. Dieser besitzt ebenfalls eine spezifische Reihenresonanzfrequenz f_{ir} . Diese sollte unterhalb der auftretenden Oberschwingungsfrequenzen liegen. So wird die Kompensationseinheit für alle Oberschwingungen oberhalb dieser Frequenz induktiv. Der Schwingkreis kann nicht mehr angeregt werden ($f_{ir} \neq f_c$) - Resonanzerscheinungen sind nicht weiter möglich.

Ein positiver Nebeneffekt ist, dass der verstimmte Schwingkreis Saugwirkungen auf Oberschwingungen hat. Ein kleiner Teil der eingepprägten Oberschwingungsströme wird aus dem Netz beseitigt [3 (S.16)]. Wobei die günstigen Eigenschaften der Verdrosselung auch bei unterschiedlichen Lastverhältnissen und geschalteten Stufenzahlen erhalten bleiben [3].

Literatur

[1] *Belzner P.,Boehl E.*, u.a.: Schalten, Schützen, Verteilen in Niederspannungsnetzen, Siemens Aktiengesellschaft, Berlin u. München, (1992)

[2] VDI Berichte: USV und Notstromversorgung, VDI Verlag, Düsseldorf, Tagung Karlsruhe

[3] *H.D. Danek*: Kondensatoren in überschwingungsbehafteten Netzen - Vortrag im Seminar Netzrückwirkungen der VDE Gruppe Kurpfalz (1990)-, ABB Kondensatoren GmbH, Brilon (1994)

[4] EMV' 92: 3. Internationale Fachmesse und Kongreß für Elektromagnetische Verträglichkeit Herausgeber : *H.R. Schmeer* Universität der Bundeswehr München-Neubiberg, VDE Verlag GmbH, Berlin / Offenbach, (1992)

[5] Projektierung von Installationen mit USV-Anlagen hoher Ausgangsleistungen - Projektierungsunterlagen des Herstellers MGE-UPS -

[6] *M. Herfurth*: Aktive Oberwellenfilterung für Netzgleichrichter höherer Ausgangsleistung, Siemens Comonents 24

[7] *W. Just*: Oberschwingungen bei der Blindstromkompensation, Der Elektromeister + Deutsches Elektrohandwerk, 4/89, S. 215 - 217