

Reduzierung von Spannungsverzerrungen

Effektive Oberschwingungsfilterung durch intelligente Impedanzanpassung

Der Einsatz und die Auswahl von Filtersystemen zur Reduzierung von Oberschwingungen ist stets daran gebunden, einen geeigneten Kompromiss zwischen den Stärken und Schwächen der einzelnen Methodiken zu finden. Hierzu bietet das Prinzip der intelligenten Impedanzanpassung, neben den klassischen passiven und aktiven Filterkonzepten einen besonders geeigneten Ansatz.

Netzurückwirkungen in Form von Oberschwingungen (Schwingungen mit einem Vielfachen der Grundfrequenz) stellen heutzutage einen wesentlichen Bestandteil der Beeinflussung der Spannungsqualität dar. Betriebsmittel mit nichtlinearen *U-I*-Kennlinien oder nicht stationärem Betriebsverhalten führen zur Aufnahme eines nicht sinusförmigen Stroms, welcher wiederum durch dessen Einspeisung gegen die vorhandene Netzimpedanz zu entsprechend nichtsinusförmigen Spannungsfällen und damit zur Verzerrung der Spannungsversorgung führt. Zu den Folgen gehören unter anderem die Zerstörung von

Betriebsmitteln, die Beeinflussung der korrekten Funktion von elektronischen Steuerungen oder auch die Anregung von kritischen Resonanzen. Zwar können durch geeignete Maßnahmen die Aussendungen von Oberschwingungen verringert werden, vollständig eliminieren lassen sich diese jedoch nicht. Die IEC 61000-2-4 als Produktleitnorm gibt fest definierte Grenzwerte für die maximal zulässige Spannungsverzerrung vor. Bei Überschreitung dieser Grenzwerte dürfen Betriebsmittel und Prozesse gestört werden, ohne dass deren Hersteller in die Haftung genommen werden kann – es entfällt also der Gewährleistungsanspruch. Der Kunde muss in solchen Fällen selbst für die entstehenden Kosten von beispielsweise Reparaturen und Produktionsausfällen aufkommen. Hierbei können sich gerade beim Ausfall von gesamten Produktionsprozessen die entstehenden Kosten schnell auf ein Vielfaches dessen summieren, das geeignete Maßnahmen zur Reduzierung der verursachenden Spannungsverzerrung im Vorfeld gekostet hätten. Es obliegt also der Verantwortung des Kunden, sicherzustellen, dass die vorhandenen Spannungsverzerrungen in seinem Netz auf ein mit der Norm verträgliches Maß reduziert werden.

Passive Oberschwingungs-Filter-systeme

Um die auftretenden Oberschwingungen, auch Harmonische oder »Oberwellen« genannt, auf ein verträgliches Maß zu reduzieren, werden in der Praxis unterschiedliche Arten von Oberschwingungsfiltern eingesetzt, welche sich generell in aktive und passive Systeme unterteilen.

Bei klassischen passiven Filtern werden für eine Reihenschaltung von einem Kondensator und einer Induktivität deren Werte so zueinander gewählt, dass die resultierende Resonanzfrequenz des dadurch entstandenen Reihenschwingkreises der zu filternden Oberschwingung entspricht. Hierdurch wird ein niederimpedanter Pfad für die Oberschwingungsströme der zu filternden Frequenz geschaffen, die so in das Filter (Fachterminus Elektrotechnik: das Filter, nicht der Filter) fließen, anstatt zurück ins Netz zu gelangen. Die Oberschwingung wird praktisch »abgesaugt«, weshalb man hier auch von der Saugwirkung des Filters spricht (Bild 1).

Ein wesentlicher Vorteil eines solchen passiven Filters besteht darin, dass dieses sowohl Oberschwingungen aus dem vorgelagerten, wie auch dem eigenen Netz aufnimmt. Somit werden nicht nur Netzurückwirkungen durch eigene, überschwingungserzeugende Betriebsmittel reduziert, sondern auch die Auswirkungen von bereits bestehenden Verzerrungen der Spannung am Übergabepunkt vom Versorgungsnetz zum eigenen Netz bekämpft. Darüber hinaus ermöglicht die breitbandige Wirkung solcher Filterkonzepte auch eine Reduzierung von Zwischenharmonischen und Supra-Harmonischen (Oberschwingungen höherer Frequenzen). Des Weiteren sind Passivfilter in der Anschaffung sowie durch sehr geringe Verlustleistungen günstiger als andere Filterkonzepte. Auch die Installation von zu-

sätzlichen Messwertaufnehmern, wie z.B. Stromwandlern, ist bei einem passiven Filtersystem nicht erforderlich.

Als nachteilig ist bei Passivfiltern die zwangsläufige Abschaltung bei Überlast anzusehen. Werden die Pegel der zu filternden Oberschwingungen zu groß, steigt somit auch der entsprechende Oberschwingungsstrom ins Filter an. Um Schäden durch Überlast zu vermeiden, schaltet sich das Filter ab einem entsprechenden Stromwert aus. Hierdurch wird zwar dessen Beschädigung vermieden, aber auch die zuvor bestehende Filterwirkung außer Kraft gesetzt, was zwangsläufig zu einem Wiederanstieg der reduzierten Oberschwingungen führt. Als weiteren Nachteil bringt die Auslegung eines passiven Filters oftmals einen nicht unerheblichen Zeit- und damit auch Kostenaufwand mit sich. Ein klassisches Passivfilterkonzept muss stets an die vorliegenden Netzgegebenheiten angepasst werden. Für dessen Installation müssen im Vorfeld eine Vielzahl von Messwerten und Netzparametern erfasst und ausgewertet werden, um eine individuell ausgelegte Anlage zu designen. Durch diese, bei klassischen Passivfiltersystem unumgängliche Vorgehensweise wird unter anderem vermieden, dass sich das Filter bei Zuschaltung gleich wieder deaktiviert, weil es fälschlicherweise für einen zu geringen Oberschwingungsstrom ausgelegt wurde.

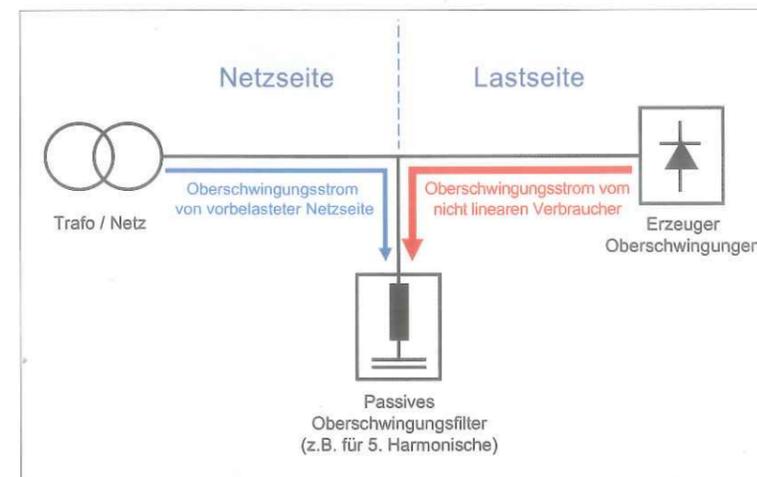


Bild 1: Aufbau und Arbeitsweise eines passiven Oberschwingungs-Filters

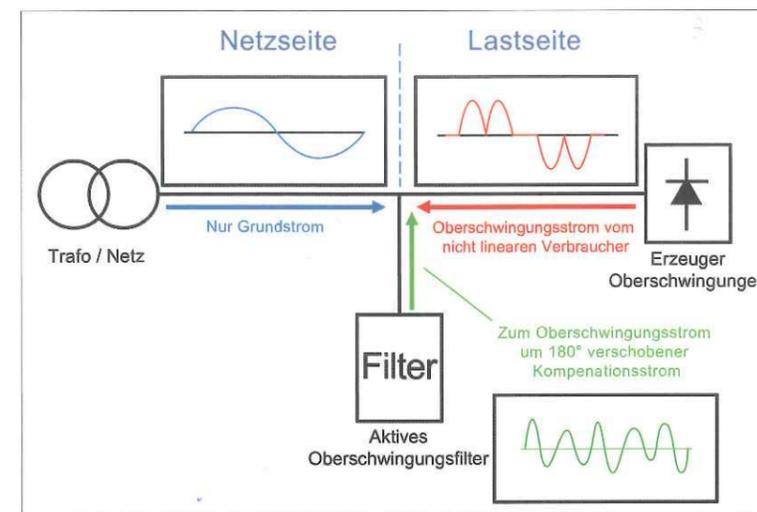


Bild 2: Aufbau und Arbeitsweise eines aktiven Oberschwingungs-Filters

Anzeige

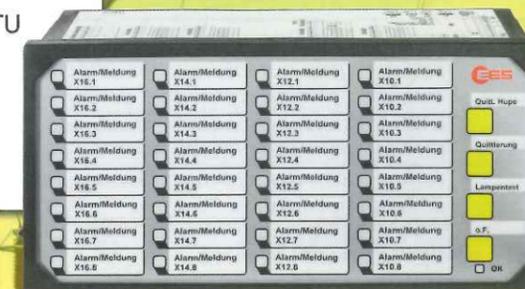


Dipl.-Ing. Elektrotechnik **Hardy Nickell**, Dipl.-Ing. Elektrotechnik **Oliver Kuhnhenne**,
Dr. rer. nat. **Christian Dresel**; (Bilder von links) Condensator Dominit GmbH, Brilon

Störmelden auf der sicheren Seite. Die I/O-Box für HV/MV-Anlagen.

- Erfüllt Sicherheitsanforderungen gem. BDEW-Richtlinie
- Integrierte Firewall und gehärteter Kernel
- IEC 61850 / 60870-5-101/-104 / Modbus TCP/RTU
- Integrierte Ferndiagnose
- 8-192 Meldungen

Mehr Infos:
www.ees-online.de



wachen
und
wirken





Bild 3: »Sofia«-Filtersystem in verschiedenen Ausführungen. Von links: »Sofia« als Schaltschranksystem/»Sofia«-HV für Hochspannungsanwendungen/»Sofia«-mod als modulares System zur einfachen Integration in Schaltschränke

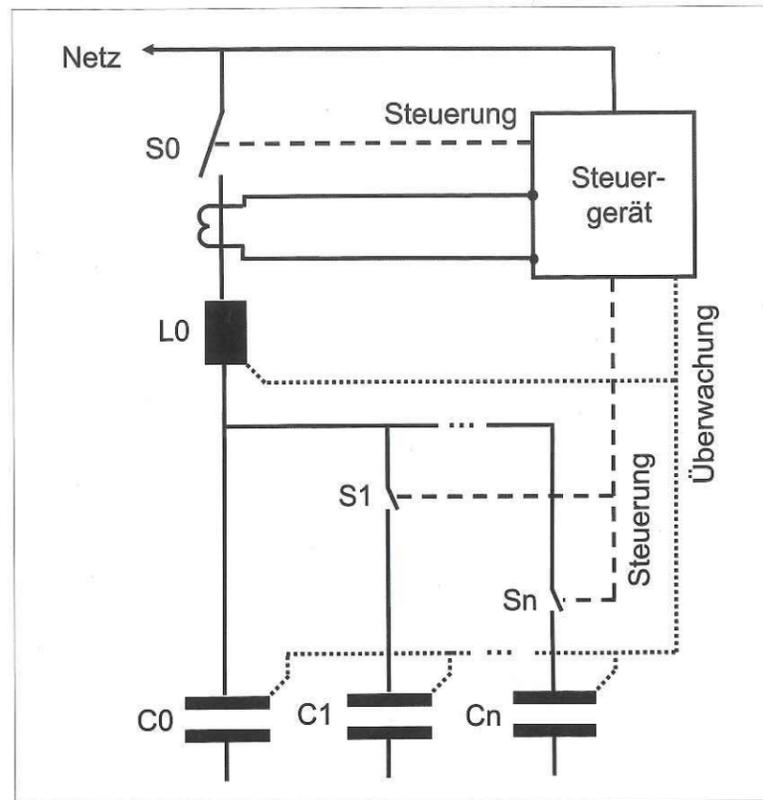


Bild 4: Prinzip der intelligenten Impedanzregelung: In Abhängigkeit des Oberschwingungspegels werden über das Steuergerät Kondensatorstufen in Reihe zu der Induktivität L0 zu- oder abgeschaltet. Hierdurch wird die resultierende Resonanz- bzw. Abstimmfrequenz des vorliegenden Reihenschwingkreises variiert und dementsprechend dessen Impedanz.

Aktive stromgeführte Oberschwingungs-Filterssysteme

Aktive stromgeführte Filtersysteme bieten eine Reihe von Vorteilen, die bei ihren passiven Verwandten nicht erfüllt werden können, bringen auf der anderen Seite aber auch einige ungünstige Aspekte mit sich. Das grundlegende Prinzip eines stromgeführten aktiven Filters besteht darin, dass es den von der Last eingespeisten Oberschwingungsstrom (je Ordnung) analysiert und einen hinsichtlich der Phasenlage entgegengerichteten Kompensationsstrom einspeist, der den Oberschwingungsstrom dann aufhebt. Der Oberschwingungsstrom fließt somit nur noch zwischen Filter und Last, nicht aber mehr zum Netz hin (Bild 2).

Da das Filter bei diesem Prinzip selbst keine Ströme aufnimmt, sondern stattdessen als Stromquelle agiert, besteht hier nicht das bei passiven Filtersystemen aufgezeigte Problem der Überlastabschaltung. Das aktive stromgeführte Filter kann nur einen, entsprechend seiner Leistungsdaten, begrenzten Kompensationsstrom einspeisen. Sollte dieser Wert des vorhandenen Oberschwingungsstroms überschritten werden erfolgt jedoch keine Filterabschaltung. Lediglich die Filterwirkung selbst reduziert sich in Bezug auf die Verzerrungen.

Aufgrund des Prinzips einer geregelten Stromquelle liegen die Verluste eines aktiven stromgeführten Filters im Vergleich zu einem passiven Filter je nach Aufbau um bis zu dem drei- oder vierfachen höher. Dieses wirkt sich dementsprechend negativ auf dessen Betriebskosten und die Lebensdauer aus. Auch in der Befilterung höherer Frequenzen (Supra-Harmonische) sind bei einem aktiven stromgeführten Filtersystem technisch bedingt Grenzen gesetzt. Es kann, herstellerabhängig, nur bis maximal zur 53. Ordnung gefiltert werden.

Wiederum punkten kann ein aktives stromgeführtes Filtersystem dadurch, dass es für eine Vielzahl verschiedener Frequenzen und somit Oberschwingungsordnungen programmierbar ist. Für die Filterung der im Allgemeinen am ausgeprägtesten Oberschwingungen

Vergleichsmerkmal	Passives Filter	Aktives stromgeführtes Filter
Verluste	Gering	Hoch
Überlastbarkeit	Abschaltung bei Überlast	Nicht überlastbar (Keine Abschaltung)
Filterwirkung für Netz- und Lastseite	Ja	Nur für Lastseite
Filterung von höheren Frequenzanteilen	Ja	Maximal bis zur 53. Harmonischen
Filterung mehrerer Frequenzen/Ordnungen	Ein Filtermodul pro Frequenz/Ordnung erforderlich	Ein Modul für mehrere Frequenzen/Ordnungen gleichzeitig einsetzbar

Tafel 1: Leistungsmerkmale passiver und aktiver Oberschwingungs-Filterssysteme

der Ordnungen 5, 7 und 11 sind bei der Verwendung von passiven Filtern drei, jeweils individuell auf die Frequenzen 250 Hz, 350 Hz und 550 Hz abgestimmte Filterkreise bzw. -module erforderlich. Ein aktives stromgeführtes Filter hingegen wird entsprechend programmiert für die drei zu filternden Frequenzen Kompensationsströme einzuspeisen und erfordert somit die Anschaffung nur eines statt dreier Filtermodule.

Sollen nicht nur im eigenen Netz erzeugte Oberschwingungen und damit deren Rückwirkungen auf das vorgelagerte Netz reduziert werden, sondern auch dort bereits vorhandenen Störpegel, so ist hier der Einsatz eines aktiven stromgeführten Filters nicht mehr möglich. Da hierbei wie bereits erläutert

durch die Einspeisung des gegengesetzten Kompensationsstroms nur die lastseitigen Oberschwingungsströme gefiltert werden können, ist es nicht möglich, auch auf Oberschwingungspegel auf der Netzseite zu wirken. Generell lassen sich die wichtigsten Leistungsmerkmale passiver und aktiver Filtermethoden im Vergleich entsprechend Tafel 1 zusammenfassen.

Um nieder- sowie hochfrequente Spannungsverzerrungen, die sowohl lastbedingt sind als auch vom vorgelagerten Netz (übergeordnete Netzebene) herrühren, befiltern zu können, kann insofern, abhängig von der bestehenden Netztopologie, die Kombination von Aktiv- und Passivfilter (»Hybridfilter«) in einem Schranksystem eine geeignete Lösung sein.

Spannungsgeführtes Passivfilter mit intelligenter Impedanzregelung

Betrachtet man die vorhergehenden Filtermethoden mit ihren Stärken und Schwächen relativ scharf zueinander, so liegt die Überlegung nahe, nach technischen Möglichkeiten zu suchen, um ein Filtersystem zu schaffen, das die Stärken der jeweiligen Einzelsysteme miteinander kombiniert:

- geringe Verlustleistung,
- keine Abschaltung bei Überlast,
- sowohl netz- wie auch lastseitige Filterung,
- Filterung von höheren Frequenzanteilen (oberhalb der 53. Harmonischen),
- Filterung von mehreren Frequenzen mit einem Filtermodul.

Anzeige

4-POLIGE NETZWERKTRENNUNG FÜR ERNEUERBARE ENERGIEN UND 5-POLIGE NETZWERKE

SMALL TO THE BEST

Kompakte vertikale NH-Sicherungs-Lastschaltleiste mit vier Polen in einer Reihe*

- Bis zu 30% weniger Platzbedarf.
- Schnelle und einfache Montage auf 184 mm Sammelschienensystem.
- Schnelle und sichere Schaltung durch Zweihandbedienung.
- Berührungssicher: IP30 bei geschlossener zentraler Abdeckung.
- Erhältlich in Größe NH3/630A.

*In Deutschland ist die 4-polige Trennung gemäß VDE 0100-460 in TT-Netzwerken vorgeschrieben.

Anforderung	Passives Filter mit intelligenter Impedanzregelung
Geringe Verlustleistung	Ja
Keine Abschaltung bei Überlast	Automatische Änderung der Abstimmfrequenz bei zu hohem Filterstrom
Sowohl netz- wie auch lastseitige Filterung	Ja
Filterung von höheren Frequenzanteilen	Ja, durch bedämpfte Version
Filterung von mehreren Frequenzen mit einem Filtermodul	Durch breitbandige Filterwirkung auch Reduzierung benachbarter Oberschwingungen, jedoch individuelle Filtermodule erforderlich für umfassende Reduzierung einzelner Ordnungen (Getrennte Module für 5., 7. und 11. Ordnung)
Einfache Auslegung und Installation des Filtersystems	<ul style="list-style-type: none"> - Keine umfassenden Kenntnisse der Netzdaten erforderlich - Keine Programmierung erforderlich - Keine Installation von Stromwandlern erforderlich

Tafel 2: Merkmale eines passiven Oberschwingungs-Filtersystems mit intelligenter Impedanzanpassung.

Des Weiteren wäre es noch wünschenswert, das neue Filtersystem möglichst ohne größeren Aufwand auszulegen und in Betrieb nehmen zu können. Hier haben sowohl das passive, wie auch das aktive stromgeführte System ihre Schwächen. Beim passiven System fällt der bereits beschriebene Aufwand an, dieses jedes Mal individuell auf die bestehenden Gegebenheiten des Netzes anzupassen, das aktive

stromgeführte Filter benötigt neben der Programmierung in Abhängigkeit der geforderten Filterleistung auch noch die zusätzliche Installation von Stromwandlern. Das Prinzip der intelligenten Impedanzregelung, wie es beispielsweise beim patentierten »Sofia«-Filtersystem (Spannungsgeführtes Oberschwingungs-Filter mit intelligenter Anpassung) der Condensator Dornit GmbH zum Einsatz kommt, bietet

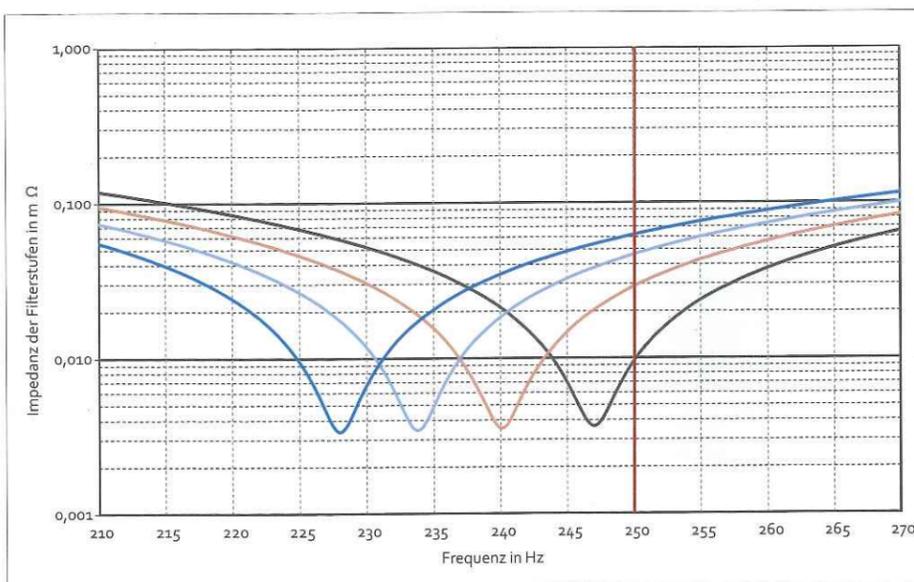


Bild 5: Impedanzverlauf eines »Sofia«-Filtersystems für die 5. Oberschwingung (250 Hz) mit vier Abstimmstufen. Je nach Schaltung der Kondensatorstufen verschiebt sich der Impedanzverlauf und somit das Impedanzminima hin zu niedrigeren oder höheren Frequenzen.

hierzu einen geeigneten Ansatz die beschriebenen Anforderungen in die Praxis umzusetzen (Bild 3).

Grundlegend basiert dieses Filterkonzept auf einem klassischen passiven Oberschwingungsfilter mit der Reihenschaltung eines Kondensators und einer Induktivität, womit eine fest definierte Abstimmfrequenz existiert bei der das Filter seine geringste Impedanz und somit größte Saugwirkung auf die zu filternde Oberschwingung aufweist. Bei der intelligenten Impedanzregelung wird diese technische Grundlage nun dahingehend erweitert, dass sich die zuvor, aufgrund der Bauteilkonstellation, feste Abstimmfrequenz umschalten lässt, indem der Wert des dem zu der Induktivität in Reihe geschalteten Kondensators variiert wird, wodurch sich die Abstimmfrequenz gemäß der bekannten Beziehung

$$f = \frac{1}{(2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C})}$$

ändert (Bild 4).

Hierzu sind im Fall des »Sofia«-Filtersystem insgesamt drei Kondensatoren mit unterschiedlichen Werten vorhanden, die zu- und abschaltbar sind und somit insgesamt vier unterschiedliche Abstimmfrequenzen ermöglichen.

Zwischen diesen wird im Betrieb des Filters nun entsprechend umgeschaltet, um in einem weiten Bereich den Filterstrom nahezu konstant zu halten. Steigt beispielsweise der Pegel der zu filternden Oberschwingung an, wird automatisch auf eine Stufe mit geringerer Abstimmfrequenz umgeschaltet (Bild 5).

Umgekehrt wird wieder auf eine höhere Stufe und somit Abstimmfrequenz geschaltet, wenn der Oberschwingungspegel sinkt. Ziel ist es, dass das Filtersystem stets mehr oder minder seinen Nennstrom aufnimmt. Ungeachtet der Netzbedingungen wird der, vom Kunden »gekauft« Nennstrom des Filters auch tatsächlich geliefert, unabhängig davon welcher Arbeitspunkt vorliegt. Somit liegt diesbezüglich auch eine Vergleichbarkeit zu aktiven Systemen vor. Aber nicht nur veränderte Oberschwingungspegel können durch das Umschalten der Stufen berücksichtigt werden, sondern auch Änderungen

der Netzfrequenz sowie alters- und temperaturabhängige Änderungen der Kapazitätswerte der verbauten Kondensatoren, wodurch sich die Abstimmfrequenz zwangsläufig verschiebt.

Da sich das Filter aufgrund der automatischen Regelung selbstständig auf die vorhandenen Gegebenheiten einstellt, sind zur Auslegung und Inbetriebnahme im Vergleich zum passiven Filter mit fester Abstimmfrequenz auch keine vorhergehenden tiefgreifenden Kenntnisse der Netzdaten erforderlich. Im Grunde werden lediglich Angaben zur Spannungsebene und Netzfrequenz benötigt, um aus dem Modell-Portfolio das entsprechende Filter auszuwählen. Neben der Befilterung der individuellen Oberschwingungsordnungen 5, 7 und 11 ist es dann auch möglich eine bedämpfte Version in Betrieb zu nehmen, mit der eine breitbandige Reduktion höherfrequenter Oberschwingungsanteile möglich ist, wie sie beispielsweise durch Taktfrequenzen oder auch Netzresonanzen verursacht werden. Zusammenfassend lassen sich anhand von Tafel 2 die zuvor gestellten Anforderungen, die ein Filtersystem mit der Kombination der Vorteile von passiven und aktiven Filtern aufweisen sollte in Bezug auf das Prinzip des passiven Filters mit intelligenter Impedanzregelung auswerten.

Fazit und Ausblick

Die Belastung von Stromnetzen mit Oberspannungen nimmt stetig zu, wodurch der Einsatz von geeigneten Gegenmaßnahmen auch künftig ein vorrangiger Bestandteil zur Verbesserung der Spannungsqualität bleiben wird. Zwar lässt sich das Entstehen von Oberschwingungen bereits durch den Einsatz geeigneter Betriebsmittel reduzieren, beispielsweise unter der Verwendung von Gleichrichtern mit höheren Pulszahlen, eine vollständige Vermeidung ist jedoch nicht möglich. Der Einsatz von aktiven und passiven Oberschwingungsfiltern bleibt somit oftmals unabdingbar, um die Oberschwingungspegel im eigenen Netz auf ein verträgliches Maß abzusenken bzw. Netzurückwirkungen aus eigenen nichtlinearen oder nicht stati-

onären Verbrauchern und Betriebsmitteln zu reduzieren. Die Wahl eines geeigneten Filterkonzepts ist hierbei nicht nur an den zu reduzierenden Oberschwingungsgehalt selbst gebunden, sondern muss auch unter wirtschaftlichen Faktoren betrachtet werden. So führen hohe Verluste eines eingesetzten Filters nicht nur zu entsprechend hohen Energiekosten, auch entsprechende Kühlungsmaßnahmen können die Betriebskosten zusätzlich in die Höhe treiben. Die Auslegung von Filtersystem kann bereits bei der Planung einer vollständigen Neuinstallation einen erheblichen Zeit- und Kostenaufwand verursachen. Erfordert eine steigende Verschlechterung der Spannungsqualität die nachträgliche Installation eines Filtersystems, kommen oftmals noch Platzprobleme hinzu.

Mit der Vorstellung des Prinzips des passiven Oberschwingungsfilters mit intelligenter Impedanzregelung wurde eine Möglichkeit aufgezeigt eine Vielzahl von Vorteilen der klassischen passiven und aktiven Filterkonzepte miteinander zu vereinen, ohne dabei deren Schwächen in Kauf nehmen zu müssen, wie z.B. eine erhöhte Verlustleistung oder eine komplizierte bzw. aufwendigere Auslegung.

hardy.nickell@dornit.eu

www.condensator-dornit.de

Anzeige

RUDOLF UHLEN GmbH **Aschua**

Herstellung von Arbeitsschutzartikeln

Schutzschirme gegen Störlichtbogen



- **Erhältlich in Störlichtbogenklasse 1 (4 kA) sowie**
- **Störlichtbogenklasse 1 (7 kA)**
- **Geprüft nach DIN EN 166 und GS-ET-29**
- **Lichttransmissionsklasse 0**
- **Optische Klasse 1**
- **Mechanische Stabilität B (120 m/s)**
- **Passen an die gängigen Elektrikerhelme**

RUDOLF UHLEN GmbH Telefon: (02129) 1444
Am Höfgen 13 - 42781 Haan Telefax: (02129) 59980
www.aschua-uhlen.de info@aschua-uhlen.de

