

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 67 (1976)

Heft: 16

Artikel: Einsatz von Blindleistungskondensatoren in Netzen mit Stromrichtern

Autor: Parnitzki, D.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-915193>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 26.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Einsatz von Blindleistungskondensatoren in Netzen mit Stromrichtern¹⁾

Von D. Parnitzki

621.319.4 : 621.3.016.25; 621.314 : 621.3.018.2

Gewisse Eigenschaften von Stromrichtern können zu störender Netzbeeinflussung führen. Blindleistungskondensatoren können diese Netzbeeinflussung mildern, sie können aber auch ihrerseits unerwünschte Erscheinungen hervorrufen. Mit Hilfe von Blindleistungskondensatoren mit Seriedrosseln lässt sich die Stromrichternetzbeeinflussung beherrschen, ohne dass unerwünschte Erscheinungen auftreten.

Certaines caractéristiques des redresseurs peuvent mener à des perturbations du réseau. Des condensateurs de puissance sont capables de diminuer ces perturbations, mais ils peuvent provoquer eux-mêmes des phénomènes indésirables. L'influence perturbante des redresseurs sur le réseau est contrôlable à l'aide de condensateurs avec des inductivités en série tout en évitant les phénomènes mentionnés.

1. Einleitung

Stromrichter verwendet man heute in einem weiten Leistungsbereich; einerseits bei Leistungen von einigen Watt, etwa für Haushaltgeräte, andererseits bei Leistungen von vielen Megawatt, man denke an die Hochspannungs-Gleichstromübertragung, die Grossindustrie oder Teilchenbeschleuniger in der Kernforschung.

Die folgenden Betrachtungen beschränken sich auf einen mittleren Leistungsbereich, d.h. auf Stromrichterleistungen zwischen etwa 20 kVA und einigen MVA. Stromrichter dieses Bereichs werden vor allem in Gewerbe und Industrie verwendet, z. B. für elektrische Antriebe variabler Drehzahl. Angeschlossen werden sie dreiphasig an das Nieder- oder Mittelspannungsnetz, meist zusammen mit weiteren Stromverbrauchern, die durch die Netzbeeinflussung der Stromrichter gestört werden können.

Fig. 1 zeigt schematisch einen sechspulsigen Thyristorstromrichter. Über eine Glättungs-drossel versorgt er einen Gleichstrommotor mit variabler Gleichspannung. Der Stromrichter ist über Kommutierdrosseln an eine Niederspannungssammelschiene angeschlossen. Diese kann auch für andere elektrische Verbraucher sowie Blindleistungskondensatoren als Netzanschlusspunkt dienen. Sie wird vom Mittelspannungsnetz (z. B. 18 kV) über einen oder mehrere Transformatoren gespeist. Für die Betrachtungen dieses Aufsatzes genügt es, das Netz in seiner Gesamtheit durch eine ideale dreiphasige 50-Hz-Sinusspannungsquelle mit Serieinduktivitäten zu ersetzen. Diese Induktivitäten und allfällige Widerstände rühren im wesentlichen von Transformator-Kurzschlussimpedanzen und Leitungsinduktivitäten her.

Blindleistungskondensatoren, oft auch in Form von Kondensatorbatterien, spielen im betrachteten Leistungsbereich in Netzen mit mittelgrossen Stromrichtern eine wichtige, manchmal jedoch zwiespältige Rolle: Wichtig, weil sie in Einrichtungen zur Verminderung der Stromrichternetzbeeinflussung oft vorteilhaft verwendet werden; zwiespältig, weil sie zu Störungen Anlass geben können, infolge ungenügender Berücksichtigung der vielen Konsequenzen, die der Anschluss von Kondensatoren ans Netz mit sich bringt.

Es ist das Ziel dieser Abhandlung, diese Konsequenzen sowie weitere Erscheinungen aufzuzeigen und zu erklären, die beim Einsatz von Blindleistungskondensatoren in Netzen mit Stromrichtern gebührend berücksichtigt werden müssen.

2. Eigenschaften und Folgen der Netzbeeinflussung durch Stromrichter

Die störende Netzbeeinflussung kann aus folgenden drei Komponenten bestehen: Blindleistungsverbrauch, Erzeugung von Stromoberwellen im Netz und Erzeugung von Spannungsoberwellen im Netz.

Die Entstehung des *Blindleistungsverbrauchs* von Stromrichtern ist in der klassischen Stromrichterliteratur [z. B. 1; 2]²⁾

beschrieben. Hier sei festgehalten, dass bei Gleichstromantrieben variabler Drehzahl mit Stromrichtern der grösste Blindleistungsverbrauch auftritt, wenn die Gleichspannung ungefähr Null ist (niedere Drehzahlen) und maximaler Strom fliesst (maximales Drehmoment). Er kann je nach Anwendung innert einiger Netzperioden von Null auf den Maximalwert, den Wert der installierten Antriebsleistung, springen.

Die zweite Komponente der Netzbeeinflussung ist die Erzeugung von *Stromoberwellen* wegen des nichtsinusförmigen Netzstromes [2...7]. An dieser Stelle ist es wichtig festzuhalten, dass jeder Stromrichter in Abhängigkeit seiner Pulszahl Oberwellenströme bei charakteristischen Frequenzen erzeugt, die ein ganzes Vielfaches der Netzfrequenz sind. Die Frequenz der tiefstfrequenten Stromoberwelle beträgt bei Stromrichtern der Pulszahl p :

$p = 2$	$f = 150 \text{ Hz}$
$p = 3$	$f = 100 \text{ Hz}$
$p = 6$	$f = 250 \text{ Hz}$
$p = 12$	$f = 550 \text{ Hz}$

Zu den dreipulsigen Stromrichtern ist zu bemerken, dass sie hinsichtlich Stromoberwellen besonders ungünstig sind: Einerseits erzeugen sie die niedrigstfrequenten Oberwellen (100 Hz) aller obigen Stromrichter, was Filtermassnahmen wegen grossen Aufwandes weitgehend ausschliesst; andererseits erzeugen sie auch Oberwellen mit geradzahligem Vielfachen der Netzfrequenz, was leicht zu Störungen von Rundsteueranlagen führt.

Bei der Dimensionierung von Oberwellenausgängen und zur Vorausberechnung der Spannungsoberwellen einer Stromrichteranlage werden Angaben über die Amplituden der einzelnen Oberwellenströme benötigt. Diese lassen sich mit einem Computerprogramm, das die Gegebenheiten von Netz und Anlage berücksichtigt, vorausberechnen oder auch mit Hilfe von Erfahrungswerten aus Messungen an bestehenden Anlagen abschätzen.

¹⁾ Gekürzte Fassung des Vortrages vom 14. Januar 1976, im Rahmen des Seminars über industrielle Elektronik und Messtechnik an der ETHZ.

²⁾ Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

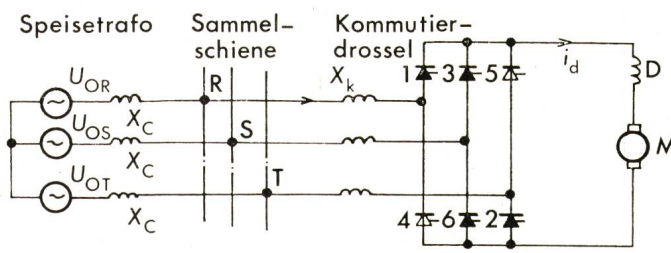


Fig. 1 Beispiel eines Stromrichtergleichstromantriebes mit Anschluss an das Niederspannungsnetz

D Glättungs-drossel
M Antriebsmotor

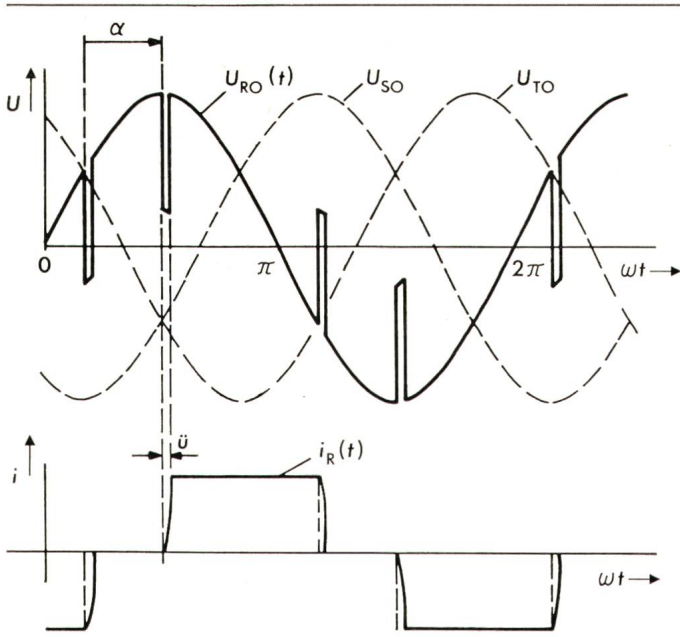


Fig. 2 Kommutierungseinbrüche in der Phasenspannung an einem Stromrichter (\bar{u} : Kommutierdauer, Überlappung)

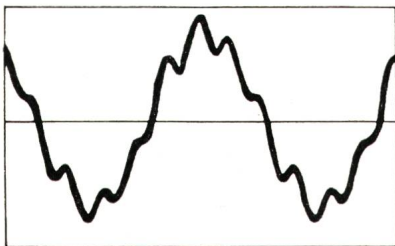


Fig. 3 Verzernte Netzspannung durch Resonanz bei 350 Hz (7. Oberwelle)

Die von Stromrichtern erzeugten *Spannungsoberwellen* sind die dritte Netzbeeinflussungskomponente [4]. Fig. 2 zeigt die Phasenspannung $U_{RO}(t)$ an den Anschlussklemmen eines sechspulsigen Stromrichters, sowie den zugehörigen Phasenstrom $i_R(t)$. Da bei der Kommutierung je zwei Phasen kurzgeschlossen werden, bis der Strom in der einen Phase ganz abgebaut und in der anderen Phase voll aufgebaut ist, entstehen Kommutierungseinbrüche in der Spannung am Stromrichter. Kommutierdrosseln (Fig. 1) mildern diese Spannungseinbrüche am Anschlusspunkt eines Stromrichters an einer Sammelschiene, vergrößern jedoch die Kommutierdauer.

Die Kommutierungseinbrüche lassen sich als Auswirkung der höherfrequenten Stromoberwellen betrachten, da sie mit der Form der Flanken des Stromrechtecks in engem Zusammenhang stehen. Jedoch führen auch die tieferfrequenten Stromoberwellen zu verzierter Netzspannung, indem Spannungsoberwellen auftreten, die gleich dem Produkt aus Netzimpedanz und Oberwellenstrom sind.

Besonders unangenehm ist, wenn in Netzen mit Kondensatoren Parallelresonanzkreise entstehen und damit die Netzimpedanz bei der Frequenz eines Oberwellenstromes stark überhöht wird. Fig. 3 zeigt die verzernte Netzspannung mit einer Parallelresonanz bei 350 Hz.

Die Darstellung von Fig. 4 soll den Zusammenhang zwischen der Stromrichternetzbeeinflussung und den möglichen Folgen verdeutlichen.

Zu den Netzspannungsschwankungen wegen eines schwankenden Blindleistungsverbrauchs von Stromrichtern ist noch

eine Bemerkung am Platz: Wirkleistungsschwankungen verursachen bedeutend geringere Netzspannungsänderungen als Blindleistungsschwankungen gleichen Betrags. Der Nachweis kann leicht mit einer Darstellung der Zeiger von Strom und Spannung erbracht werden, wenn man berücksichtigt, dass die Netzimpedanz überwiegend induktiv ist.

3. Störeffekte durch Blindleistungskondensatoren

Kondensatoren werden schon seit langem zur Kompensation des Blindstromes ohmisch-induktiver Verbraucher, wie etwa Asynchronmotoren, eingesetzt. Auch bei Stromrichteranlagen ist oft eine Blindleistungskompensation erwünscht, die grundsätzlich gemäss Fig. 5 realisierbar ist.

Der Stromrichter entnimmt bei entsprechender Auslegung die Blindleistung dem Kondensator und die Wirkleistung dem Netz. Die Kombination Stromrichter-Kondensator birgt jedoch folgende fünf Gefahren in sich, die näher untersucht werden sollen:

- eine Netzresonanz kann auftreten
- hohe Oberwellenströme können aus dem Mittelspannungsnetz abgesaugt werden
- der Netzkurzschlußstrom kann zu hoch werden
- die Überspannungen beim Zuschalten der Kondensatorbatterie können zur Zerstörung von Stromrichterteilen führen
- Rundsteuersignale höherer Frequenzen (oberhalb 500 Hz) werden weitgehend kurzgeschlossen

Ausgehend vom Schema einer allgemeinen Stromrichteranordnung (Fig. 5) soll zunächst das Zustandekommen einer *Netzresonanz* erklärt werden. Hierzu wird zuerst das einphasige Ersatzschema von Fig. 5 mit den Impedanzen bei 50 Hz und auf die Niederspannungsseite bezogen gezeichnet (Fig. 6) und dasselbe anschliessend in ein Ersatzschema für eine Oberwelle der Ordnungszahl m umgewandelt (Fig. 7). Die Netzimpedanz besteht im wesentlichen aus den Impedanzen des Transformators und der Zuleitung. Die Sinusspannungsquelle G ist für Oberwellen ein Kurzschluss.

Der Stromrichter erscheint als nahezu ideale Oberwellenstromquelle; er prägt dem Netz den Oberwellenstrom I_m mit Frequenz $m \cdot 50$ Hz ein. Deutlich erscheint die Konfiguration eines Parallelschwingkreises. Dessen Induktivität wird durch die Zuleitung und den Speisetransformator gebildet, die Kapazität steuert der Kondensator bei.

Bei der Resonanzfrequenz ist bekanntlich die Schwingkreisimpedanz (also die Netzimpedanz) ausserordentlich hoch. Ein in Resonanznähe liegender Oberwellenstrom führt damit zu

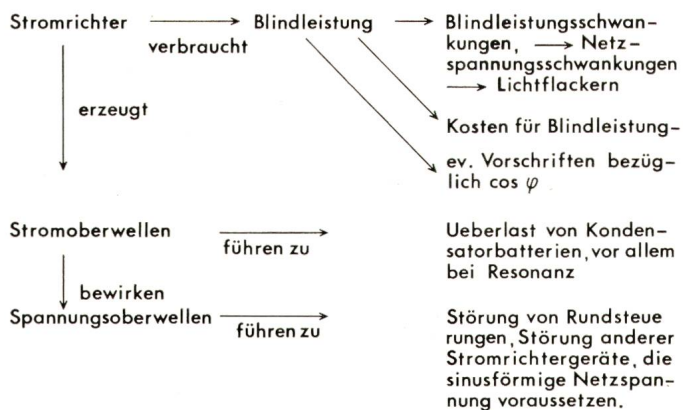


Fig. 4 Schematische Darstellung von Ursache und Wirkung der Netzurückwirkungen von Stromrichtern

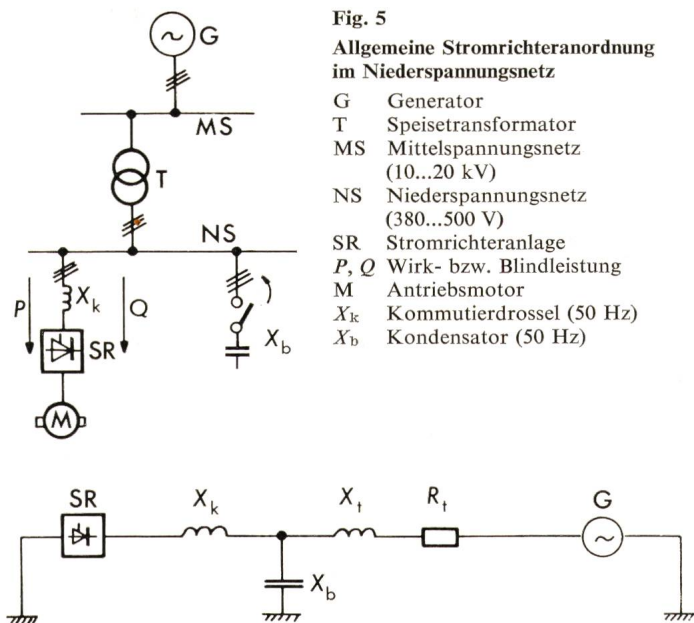


Fig. 5
Allgemeine Stromrichteranordnung im Niederspannungsnetz
G Generator
T Speisetransformator
MS Mittelspannungsnetz (10...20 kV)
NS Niederspannungsnetz (380...500 V)
SR Stromrichteranlage
P, Q Wirk- bzw. Blindleistung
M Antriebsmotor
 X_k Kommutierdrossel (50 Hz)
 X_b Kondensator (50 Hz)

Fig. 6 Einphasiges Ersatzschaltbild von Fig. 5 bei 50 Hz ($m = 1$)
 X_t, R_t Netzimpedanz

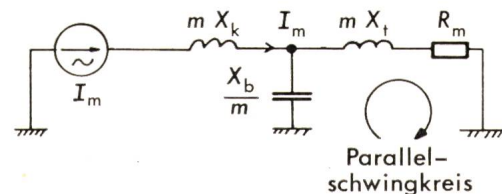


Fig. 7 Ersatzschaltbild von Fig. 5 mit Impedanzen bei der m-ten Oberwelle

einer recht erheblichen Oberwellenspannung (Fig. 3), Energie pendelt zwischen Netzinduktivität und Kondensatorkapazität hin und her und führt leicht zur Überlastung. Zur Dämpfung trägt in erster Näherung nur der verhältnismässig geringe ohmsche Anteil R_m der Trafoimpedanz bei. Bei Resonanz beträgt die Impedanz des Schwingkreises $Z = X_t \cdot X_b / R_m$. R_m steigt leicht mit wachsender Frequenz (Wirbelströme, Stromverdrängung), was mit folgender Formel, gültig für Transformatoren im Frequenzbereich von 50 Hz bis etwa 650 Hz, angenähert wird:

$$R_m = \left(\frac{7}{11} m + \frac{4}{11} \right) R_t$$

wobei R_t der ohmsche Anteil der Trafoimpedanz bei 50 Hz ist.

Die Frequenzabhängigkeit von R_m hat immerhin zur Folge, dass Parallelresonanzen höherer Frequenz, oberhalb etwa 800 Hz, üblicherweise zufriedenstellend gedämpft werden. Spannungsüberwellen, die auf ausgeprägte Resonanz zurückzuführen sind, treten daher vorwiegend im Bereich unterhalb 800 Hz auf [8].

Als zweiter Gefahrenpunkt beim Einsatz von Blindleistungskondensatoren in Netzen mit Stromrichtern wurde das *Ab-saugen hoher Oberwellenströme aus dem Mittelspannungsnetz* angeführt. Die Spannung des Mittelspannungsnetzes kann unter Umständen leicht verzerrt sein, etwa durch die Oberwellen von Transformator-Magnetisierungsströmen oder durch Oberwellenströme, die von grossen Stromrichteranlagen an das Mittelspannungsnetz abgegeben werden. Betrachtet

man nochmals Fig. 5 und 6, so stellt man fest, dass vom Mittelspannungsnetz (Spannungsquelle G) aus gesehen die Anordnung von Trafoinduktivität X_t und Kondensator X_b einen – wiederum schwach gedämpften – Serieschwingkreis darstellt, mit bekanntlich sehr niedriger Impedanz. Geringe Verzerrungen, die im Leistungsniveau des Mittelspannungsnetzes noch völlig unerheblich sind, können zu abgesaugten Oberwellenströmen führen, die ohne weiteres den verhältnismässig schwachen Kondensator überlasten können.

Nun zu den Folgen eines zu hohen *Netzkurzschlußstromes*. Für den Kommutiervorgang von Stromrichtern, wie auch bei der Auslegung von Schutzeinrichtungen (Sicherungen, Schnellschalter), wird eine gewisse Netzreaktanz vorausgesetzt, um die Stromsteilheit bei Kurzschlüssen (di/dt) in Grenzen zu halten (auch der Kommutiervorgang ist ein – allerdings kurzzeitiger – Kurzschluss). Eine Angabe für den höchstzulässigen Kurzschlußstrom am Anschlusspunkt eines Stromrichters ist gleichbedeutend mit einer Vorschrift für den zulässigen Mindestwert der Netzreaktanz bei einer gewissen Netzspannung. In Fällen mit nicht ausreichender Netzreaktanz müssen Kommutierdrosseln eingesetzt werden (Fig. 1). Blindleistungskondensatoren müssen für Berechnungen des Netzkurzschlußstromes als Spannungsquellen ohne Innenwiderstand angenommen werden, die also im ersten Moment eine unendlich hohe Stromsteilheit erzeugen.

Fig. 8 zeigt den Anschluss eines Stromrichters an eine Sammelschiene mit einem Blindleistungskondensator. Aus dem Ersatzschaltbild rechts wird deutlich, dass bei Vernachlässigung der Leitungsinduktivität der Kurzschlußstrom am Stromrichter unendlich gross wird. In diesem Fall müssen Kommutierdrosseln vor dem Stromrichter den Netzkurzschlußstrom auf einen zulässigen Wert verringern.

Die Folgen eines zu hohen Netzkurzschlußstromes bestehen einerseits darin, dass wegen zu hoher Stromsteilheit beim Kommutieren Leistungshalbleiter beschädigt werden können. Andererseits sind die Schutzeinrichtungen unter Umständen nicht mehr in der Lage, bei Kurzschluss den Stromkreis rechtzeitig zu unterbrechen.

Eine weitere, nicht zu unterschätzende Gefahr stellen die *Überspannungen* dar, die beim Zuschalten von Kondensatoren entstehen und Stromrichterelemente zerstören können. Ausgehend von der Stromrichter-Netz-Kondensator-Anordnung in Fig. 5 ergibt sich als einphasiges Ersatzschema die Fig. 9, wobei die Kommutierdrossel X_k vernachlässigt ist. Durch die Anordnung von Netzinduktivität und Kapazität entsteht beim Zuschalten ein Serieschwingkreis mit einer abklingenden Schwingung in Spannung und Strom, die gemäss Fig. 10 aussehen kann. Die untere Kurve zeigt die 50-Hz-Netzspannung am Stromrichter mit den beim Zuschalten entstehenden Überspannungen. Der Kondensatorstrom kann nach dem Zu-

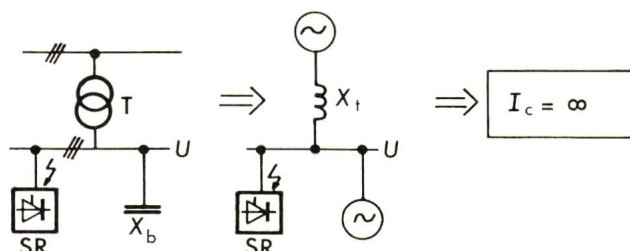


Fig. 8 Prinzip der Kurzschlußstromerhöhung durch Blindleistungskondensator

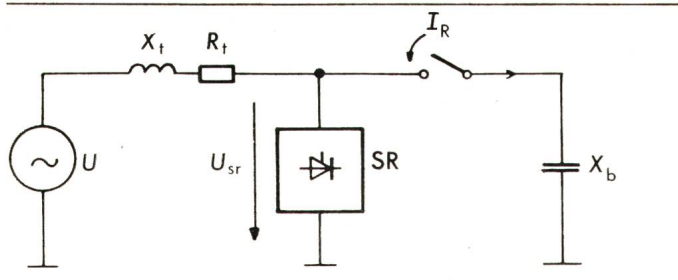


Fig. 9 Einphasiges Ersatzschaltbild von Fig. 5 zur Untersuchung der Zuschaltüberspannung

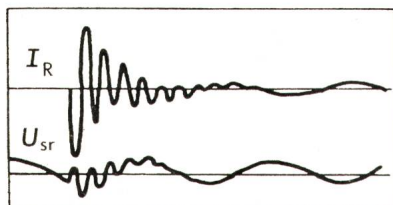


Fig. 10 Transiente Spannungen und Ströme beim Zuschalten eines Kondensators an das Netz

schalten kurzzeitig den 10- bis 20fachen Wert seines Nennstromes annehmen.

Der fünfte Punkt der möglichen Störeffekte beim direkten Anschluss von Blindleistungskondensatoren in Netzen mit Stromrichtern soll daran erinnern, dass der Blindwiderstand von Kondensatoren mit steigender Frequenz immer kleiner wird und somit *Rundsteuersignale* vor allem hoher Frequenz in unzulässiger Weise belastet.

4. Oberwellenausgänge

Wenn man die Kondensatoren mit Hilfe von Seriedrosseln zu Oberwellenausgängen ergänzt, lassen sich bei entsprechender Auslegung alle unerwünschten Rückwirkungen von Stromrichtern auf das Netz vermindern oder beseitigen. Die Schaltung eines dreiphasigen Oberwellenausgangs ist in Fig. 11 gezeigt. Die Kondensatoren werden normalerweise im Dreieck geschaltet, die Drosseln kommen hierzu in Serie. Die Oberwellenausgänge haben folgende Wirkungen:

- das Netz wird vom Blindleistungsverbrauch der Stromrichteranlage entlastet
- der Netzstrom ist weitgehend sinusförmig, da die Stromoberwellen über den oder die Saugkreise abfließen können
- Netzresonanzen werden vermieden
- beim Zuschalten von Oberwellenausgängen treten keine Überspannungen auf
- der Netzkurzschlußstrom wird nur wenig erhöht
- Rundsteuersignale im oberen Frequenzbereich werden nur wenig belastet

Die Aufgabe eines Kondensators, Blindleistung zu erzeugen, wird dadurch nicht beeinträchtigt, dass er mit Seriedrosseln zu einem Oberwellenausgang erweitert wird. Der Oberwellenausgang selbst stellt für Stromoberwellen einen im Vergleich zum Netz sehr niederohmigen Nebenschluss dar. Die vom Stromrichter erzeugten Oberwellenströme fließen daher grösstenteils über den Saugkreis ab, anstatt ins Netz zu fließen und Spannungsverzerrungen zu verursachen.

Die Impedanz eines Serieschwingkreises ist oberhalb seiner Resonanzfrequenz induktiv. Eine Parallelresonanz der Netzinduktivität mit dem induktiven Serieschwingkreis ist nicht möglich. Ferner werden Rundsteuersignale höherer Frequenz durch den Oberwellenausgang nur wenig belastet.

Anhand von Fig. 12 sei gezeigt, dass bei Oberwellenausgängen fast keine Zuschaltüberspannungen am Stromrichter

entstehen. Es handelt sich um das Ersatzschema Fig. 9, ergänzt mit der Saugdrossel X_s . Im betrachteten Leistungsbereich der Stromrichter werden Saugkreisdrosseln verwendet, deren Induktivität zehn- bis hundertmal grösser ist als die Netzinduktivität. Beim Zuschalten des Saugkreises entstehen zwar am Kondensator Überspannungen der gleichen Grösse wie ohne Seriedrossel, allerdings bei wesentlich niedriger Frequenz. Am Stromrichter sind diese Überspannungen jedoch kaum spürbar, da sie von Netz- und Seriedrosselinduktivität stark verkleinert werden (Spannungsteilung). Naturgemäss setzen Seriedrosseln auch den Stromstoss in den Kondensator beim Zuschalten stark herab.

Aus dem Ersatzschema in Fig. 12 ist auch ersichtlich, dass der Netzkurzschlußstrom am Stromrichteranschlusspunkt durch den Oberwellenausgang nur wenig vergrössert wird.

Was die Wahl der Serieresonanzfrequenz des Saugkreises betrifft, ist nochmals festzuhalten, dass oberhalb der Resonanz keine Netzresonanz (Parallelresonanz Kondensator-Netzinduktivität) auftreten kann. Daher legt man bei Anordnung von einem oder von mehreren Saugkreisen mindestens eine der Saugkreisfrequenzen auf die tiefstfrequente Stromrichteroberwelle, bei sechspulsigen Stromrichtern also auf 250 Hz. Die Parallelresonanzfrequenz liegt dann zwingend unterhalb 250 Hz, in einem Bereich also, wo keine nennenswerten Oberwellenströme auftreten. Die weiteren Saugkreisfrequenzen werden je nach Aufwand der Reihe nach auf die siebte, elfte usw. Oberwelle gelegt. Stromrichter niedriger Pulszahl ($p = 2$ und $p = 3$) sollen nur bei kleinen Leistungen (bis etwa 20 kVA) verwendet werden, weil bei ihnen Entstörmassnahmen wegen deren tiefsten Stromoberwellen (150 Hz und 100 Hz) unwirtschaftlich sind.

5. Blindleistungskompensation in Stufen

Werden mehrere Saugkreise mit Saugkreisfrequenzen der fünften, siebten und weiteren Stromoberwellen parallel geschaltet, so kann die Unterteilung der Kondensatoren dazu benutzt werden, durch Zu- oder Abschaltung einzelner Saugkreise eine stufenweise Blindleistungskompensation zu erreichen. Es ist ja bei Kondensatoren ohne Seriedrosseln schon lange üblich, je nach Blindleistungsbedarf Teile von Kondensatorbatterien zu- oder abzuschalten.

Im Falle von Oberwellenausgängen ist aber eine Zuschaltreihenfolge einzuhalten, und zwar derart, dass Saugkreise der steigenden Oberwellenordnungsnummer nach zugeschaltet und in umgekehrter Reihenfolge wieder abgeschaltet werden. Damit erreicht man, dass die Netzresonanz immer im oberwellenfreien Frequenzbereich unterhalb der tiefstfrequenten Stromoberwelle bleibt.

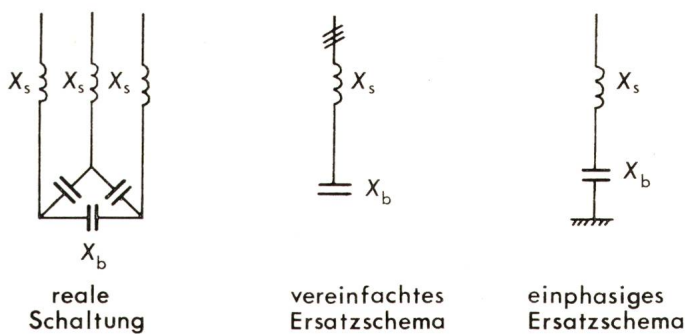


Fig. 11 Oberwellenausgang, dreiphasig

6. Sperrfilter

Sperrfilter für Oberwellenströme können nötig werden einerseits zur Entkopplung von anderen Stromrichteranlagen, andererseits zum Aufheben eines Kurzschlusses von Rundsteuer-signalen.

Beim Anschluss mehrerer unabhängiger Stromrichter-anlagen an eine gemeinsame Sammelschiene empfiehlt es sich, zu jeder Anlage eine eigene, angepasste Blindleistungskompensation mit Saugkreisen anzuordnen. Dabei ist es unzulässig, dass Oberwellenströme einer Anlage in den oder die Saugkreise der anderen Anlage fließen, was wegen Bauteiltoleranzen vorkommen könnte. Ein Sperrfilter hat in solchen Fällen für genügende Entkopplung zu sorgen. Oft sind hierzu die natürlichen Leitungsinduktivitäten schon ausreichend.

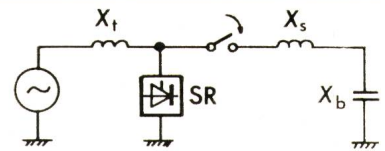
7. Belastbarkeit von Blindleistungskondensatoren mit Oberwellenströmen

Bisher wurde vorausgesetzt, dass die Kondensatoren die ihnen zugeführten Oberwellenströme ohne weiteres verkraften können. Der Belastbarkeit handelsüblicher Blindleistungskondensatoren sind jedoch Grenzen gesetzt. Heute beträgt die Dauerüberlastbarkeit meist 30 % des Nennstromes, des Stromes also, der bei Anschluss an sinusförmige 50-Hz-Netzspannung den Kondensator durchfließt. Der Effektivwert des gesamten Stromes darf also den Nennkondensatorstrom höchstens um 30 % übertreffen. Da $I_{\text{tot}} = \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + \dots}$ ist, hat dies zur Folge, dass z. B. für einen Blindleistungskondensator, der in einem Saugkreis für die fünfte Oberwelle eingesetzt wird, ein Effektivwert des Oberwellenstromes von 62 % des Nennstromes zulässig ist. Dabei sind maximal 10 % Netzüberspannung sowie die Spannungserhöhung von 4 % (wegen der Seriedrossel) bereits berücksichtigt.

8. Vorausberechnung der Spannungsüberwellen

Besteht für eine geplante Stromrichteranlage mit Oberwellensaugkreisen ein Entwurf, so stellt sich die Frage, ob die geplanten Massnahmen zur Eindämmung der Netzbeeinflussung der Stromrichter ausreichen, um die erzeugten Spannungsüberwellen unterhalb vorgeschriebener Grenzen zu halten.

Fig. 12
Stromrichteranlage
mit zuschaltbarem
Oberwellensaugkreis



Der erste Schritt besteht darin, die Stromoberwellen der Stromrichter – vorzugsweise mit einem Computerprogramm – zu bestimmen. Danach werden die Impedanzen des Netzwerkes bestimmt, das aus Kommutierdrosseln, aus einem oder aus mehreren Oberwellensaugkreisen sowie aus der Netzimpedanz besteht. Zur Auswertung wird die Stromrichteranlage als Stromquelle ins Netz eingesetzt, welche die im ersten Schritt berechneten Oberwellenströme dem Netzwerk einprägt. Anhand dieses Modells lassen sich die Oberwellenspannungen am interessierenden Netzverknüpfungspunkt berechnen. Bei komplexeren Anlagen wird auch diese Rechnung mit Hilfe eines der bekannten Netzwerkanalyseprogramme ausgeführt, bei einfacheren Anlagen kann die Berechnung auch von Hand ausgeführt werden.

Literatur

- [1] G. Möltgen: Leistungsfaktor-Bestimmung bei Stromrichtern am Drehstromnetz. ATM -(1962)321, S. 221...222.
- [2] S. Iyner: Die Netzurückwirkung von Thyristorstromrichtern, ASEA-Z. 16(1971)3, S. 71...74.
- [3] L. G. Dobinson: Closer accord on harmonics. Electronics and Power 21(1975)9, p. 567...572.
- [4] W. Schulz: Oberschwingungen in Industrienetzen mit Stromrichterbelastung. ETZ-B 23(1971)12, S. 288...292.
- [5] R. Zwicky: Grundsätzliche Aspekte der Beeinflussung durch Objekte der Leistungselektronik. Bull. SEV/VSE, 65(1974)26, S. 1912...1914.
- [6] J. Weiler: Beeinflussung in Netzen durch Einrichtungen der Leistungselektronik. Bull. SEV/VSE 65(1974)26, S. 1915...1916.
- [7] W. Schadeegg: Grundlagen über Entstehung und Ausbreitung niederfrequenter Störeinflüsse. Bull. SEV/VSE 66(1975)1, S. 15...18.
- [8] H. Geise: Leistungsfaktorverbesserung durch Kondensatoren und Saugkreise in Industrierwerken mit Stromrichteranlagen. AEG-Mitt. 48(1958)11/12, S. 659...675.
- [9] Richtlinie für die Mitglieder des VSE über die Aufnahme von Vorbehalten in Verträgen zwischen Elektrizitätswerken und den Grossbezugern betreffend den Anschluss von halbleitergesteuerten Geräten. Zürich, Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke, 1973.
- [10] F. Kümmel: Elektrische Antriebstechnik. Theoretische Grundlagen, Bemessung und regelungstechnische Gestaltung. Berlin u. a., Julius-Springer-Verlag, 1971.

Adresse des Autors

Dipl. El.-Ing. David Parnitzki, Reliance Electric AG, 6036 Dierikon.