

**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:** 82 (1991)

**Heft:** 7

**Artikel:** Aktives Leistungsfilter für statischen Frequenzumrichter mit einem Wechselrichter mit eingepprägtem Strom

**Autor:** Alexa, Dimitrie

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-902953>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 25.12.2024

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

# Aktives Leistungsfilter für statischen Frequenzumrichter mit einem Wechselrichter mit eingepprägtem Strom

Dimitrie Alexa

**In der vorliegenden Arbeit wird ein aktives Leistungsfilter vorgestellt, das die Stromharmonischen eines Wechselrichters mit eingepprägtem Strom sowohl am Eingang als auch am Ausgang stark reduziert. Dieses Zusatzfilter erlaubt gleichzeitig, die Kapazitäten der Löschkondensatoren um einen Drittel zu reduzieren und den Frequenzbereich des Wechselrichters bis hinunter auf 1...1,5 Hz auszudehnen.**

**L'article présente un filtre de puissance actif qui réduit fortement, tant à l'entrée qu'à la sortie, les harmoniques de courant d'un onduleur à courant indépendant de la charge. Ce filtre supplémentaire permet en même temps de réduire d'un tiers les capacités des condensateurs étouffants et d'étendre la gamme des fréquences vers le bas jusqu'à 1...1,5 Hz.**

Bei zahlreichen Anwendungen von elektrischen Antrieben mit variabler Geschwindigkeit, speziell für mittlere und grosse Leistungen, werden Kurzschlussläufer-Asynchronmotoren verwendet, die von statischen Frequenzumrichtern mit Wechselrichtern mit eingepprägtem Strom gespeist werden. Die hauptsächlichen Vorteile eines solchen Umrichters sind [1]:

- die Aufladung der Löschkondensatoren des Wechselrichters erfolgt durch den Laststrom und nicht durch die Spannung des Zwischenstromkreises
- es ist kein zusätzlicher Wechselrichter zur Rückgewinnung der Energie im Falle der Nutzbremmung des gespeisten Motors notwendig, da die Stromrichtung im Zwischenkreis beibehalten wird
- für den Wechselrichter können Netzthyristoren mit erhöhter Freierzeit  $t_q$  (150...200  $\mu$ s) verwendet werden.

Solche Frequenzumrichter besitzen auch einige Nachteile, von denen der

wichtigste darin besteht, dass die Asynchronmaschine mit Phasenströmen in Form von rechteckigen Blöcken, die eine Zeitdauer von einem Drittel der Periode dieser Ströme haben, gespeist wird. Die Fourier-Analyse für diese Ströme zeigt starke Beiträge von Harmonischen ( $6k \pm 1$ )-ter Ordnung ( $k = 1, 2, 3, \dots$ ). Diese Harmonischen verursachen zusätzliche Verluste und erzeugen Pendelmomente, deren grösstes Moment eine Frequenz hat, die der 6fachen Grundfrequenz entspricht. Aus diesem Grunde lässt sich mit der Ausgangsfrequenz bei diesem Umrichter kaum unter 4...5 Hz gehen, woraus ein beschränkter Regelbereich der Geschwindigkeit des Asynchronmotors resultiert. Gleichzeitig wird das Netz stark mit Stromharmonischen gleicher ( $6k \pm 1$ )-ter Ordnung belastet [2, 3, 4, 5].

Im folgenden wird nun ein aktives Leistungsfilter beschrieben, das eine bedeutende Reduktion der in den Motor eingeführten oder im Speisetz erzeugten Harmonischen der Ordnung  $n = 5, 7, 11$  und 13 erlaubt.

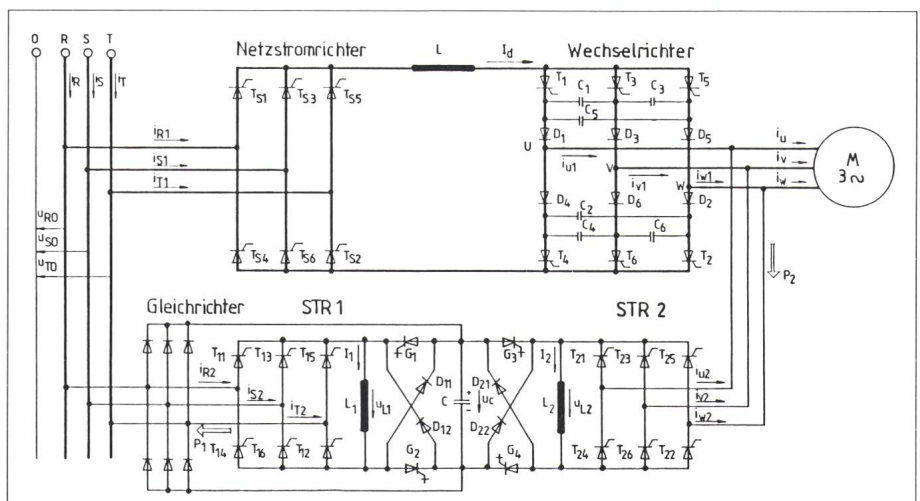
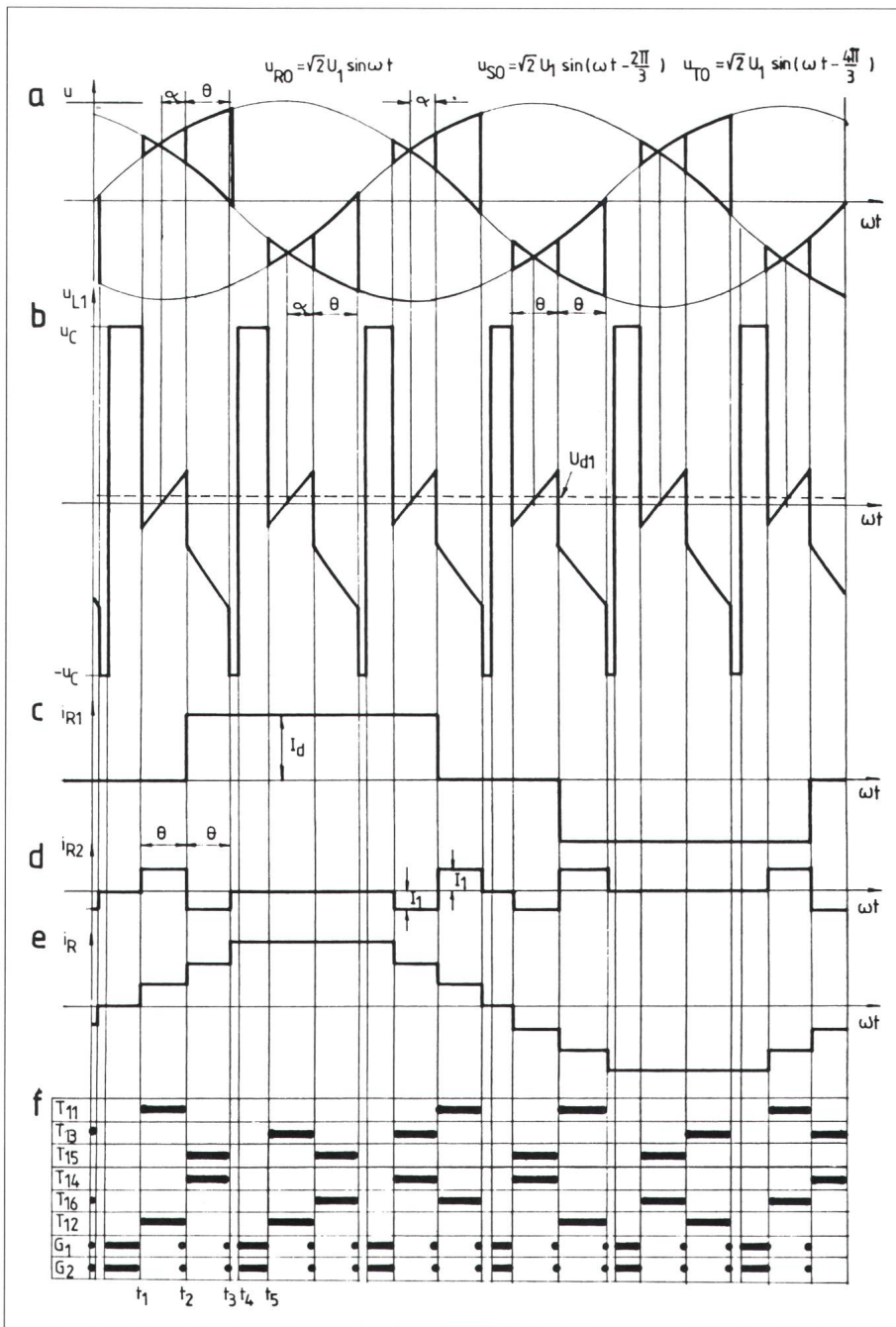


Bild 1 Prinzipschema des aktiven Leistungsfilters

## Adresse des Autors

Prof.Dr.-Ing. Dimitrie Alexa, Lehrstuhl für Elektronik am Polytechnischen Institut Iassy, Strada 23 August Nr. 22, RO-6600 Iassy, Romania



**Bild 2 Funktionsprinzip des Stromrichters STR 1**  
 a Phasenspannungen  $u_{R0}$ ,  $u_{S0}$  und  $u_{T0}$  des Speisernetzes  
 b über die Induktivität  $L_1$  geschaltete Spannung  $u_{L1}$   
 c, d, e Eingangsströme  $i_{R1}$ ,  $i_{R2}$  und  $i_R$   
 f Programm für die Einschaltdauer der Thyristoren

übrige Bezeichnungen: siehe Text

Aktive LeistungsfILTER sind vor allem von grossem Interesse für den Einsatz in elektrischen Energieversorgungsnetzen [6, 7, 8, 9].

### Funktionsprinzip eines aktiven Leistungsfilters

In Bild 1 ist die Struktur eines aktiven Leistungsfilters wiedergegeben, durch das man eine gute Kompensa-

tion der Stromharmonischen eines Frequenzumrichters mit Wechselrichter mit eingprägtem Strom erreicht. Das Filter besteht aus zwei Spulen  $L_1$  und  $L_2$ , zwei Stromrichtern  $STR1$  und  $STR2$  mit je 6 Frequenzthyristoren ( $T_{11} \dots T_{16}$  und  $T_{21} \dots T_{26}$ ), einem elektrolytischen Kondensator  $C$  und 4 GTO-Thyristoren ( $G_1 \dots G_4$ ).

Im folgenden wird angenommen, dass durch die Spule  $L$  im Zwischen-

kreis des Frequenzumrichters aufgrund des grossen Induktivitätswertes von  $L$  ein praktisch konstanter Strom  $I_d$  fliesst. Unter dieser Bedingung zeigt die Kurve  $c$  von Bild 2 die Wellenform des Phaseneingangsstromes in den Netzstromrichter für  $i_{R1}$  bei einem Steuerwinkel der Thyristoren  $T_{s1} \dots T_{s6}$  von  $\alpha$  (siehe Bild 2, a). Die Kurve  $d$  von Bild 2 gibt die Form des Stromes  $i_{R2}$  wieder, der in das Netz injiziert werden muss, um so gut wie möglich die Stromharmonischen von  $i_{R1}$  auszugleichen. Nach dem Ausgleich hat der Gesamtstrom  $i_R$  die Wellenform gemäss Kurve  $e$  von Bild 2.

Das Steuerprogramm der Frequenzthyristoren  $T_{11} \dots T_{16}$  und der GTO-Thyristoren  $G_1$  und  $G_2$  wird in Bild 2, f, gezeigt. Es wurde so konzipiert, dass an die Spule  $L_1$  eine Spannung  $u_{L1}$  gelegt wird (Kurve  $b$  von Bild 2), deren Gleichspannungskomponente  $U_{d1}$  ausreichend gross ist, um durch  $L_1$  einen praktisch konstanten Strom mit dem Wert  $I_1$  aufrecht zu erhalten.

Die Arbeitsweise des Stromrichters  $STR1$  zwischen den Zeitpunkten  $t_1$  und  $t_5$  geht aus Bild 2 hervor. Vor dem Zeitpunkt  $t_1$  sind die GTO-Thyristoren  $G_1$  und  $G_2$  leitend, und die Spule  $L_1$  nimmt vom Kondensator  $C$  Energie auf. Zum Zeitpunkt  $t_1$  werden  $G_1$  und  $G_2$  blockiert, und die Thyristoren  $T_{11}$  und  $T_{12}$  werden leitend. Bis der Strom  $i_{R2}$  den Wert  $I_1$  erreicht, wird die Spule  $L_1$  teilweise auf  $C$  mittels der Dioden  $D_{11}$  und  $D_{12}$  entladen. Zum Zeitpunkt  $t_2$ , der dem Steuerwinkel  $\alpha$  der Thyristoren  $T_{s1}$  und  $T_{s6}$  entspricht (siehe Bild 2, a), werden  $G_1$  und  $G_2$  zur Sperrung der Thyristoren  $T_{11}$  und  $T_{12}$  gezündet, und nach dieser Operation zünden  $T_{15}$  und  $T_{14}$ . Man bemerkt, dass der Stromrichter  $STR1$  zwischen  $t_1$  und  $t_3$  mehr oder weniger als Wechselrichter funktioniert und die Spule  $L_1$  Energie in das Netz abgibt. Zum Zeitpunkt  $t_3$  werden für kurze Zeit die Thyristoren  $G_1$  und  $G_2$  leitend, wodurch  $T_{15}$  und  $T_{14}$  gesperrt werden. Zwischen  $t_3$  und  $t_4$  liefert die Spule  $L_1$  Energie an den Kondensator  $C$ . Schliesslich zünden zum Zeitpunkt  $t_4$  die Thyristoren  $G_1$  und  $G_2$ , und bis zum Zeitpunkt  $t_5$  erhält die Spule  $L_1$  Energie von  $C$ .

Was den Wechselrichter mit eingprägtem Strom des Frequenzumrichters anbelangt, werden dessen Ausgangsströme  $i_{U1}$ ,  $i_{V1}$  und  $i_{W1}$  aus rechteckigen Stromblöcken gebildet, die  $1/3$  der Ausgangsperiode  $2\pi/\omega_1$  ausmachen. Um die Ausgangs-Stromhar-

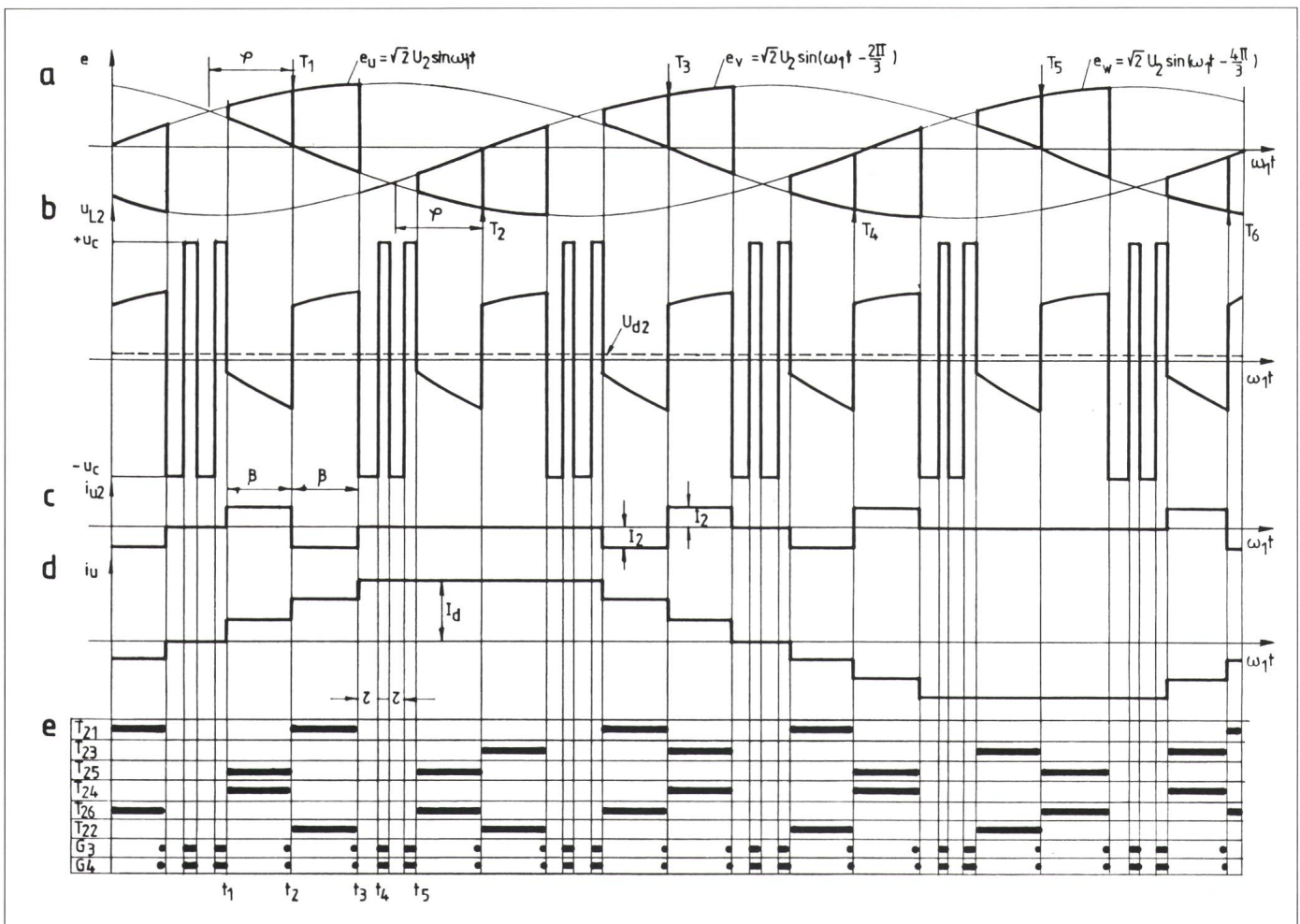
monischen aus dem Wechselrichter so genau wie möglich auszugleichen, können in die Motorphasen die durch die Spule  $L_2$  und den Stromrichter STR2 erzeugten Ströme  $i_{U2}$ ,  $i_{V2}$  und  $i_{W2}$ , entsprechend Kurve  $c$  von Bild 3, injiziert werden. Die Kurven  $a$  von Bild 3 zeigen die Phasenspannungen  $e_U$ ,  $e_V$  und  $e_W$  sowie die Zeitpunkte für die Einschaltung der Hauptthyristoren  $T_1 \dots T_6$  des Wechselrichters. Der Winkel  $\varphi$  stellt den Winkel der Phasenverschiebung zwischen den Fundamentalen der Spannungen  $e_U$ ,  $e_V$ ,  $e_W$  und den Strömen  $i_{U1}$ ,  $i_{V1}$ ,  $i_{W1}$  dar. Die an die Spule  $L_2$  angelegte Spannung  $u_{L2}$  ist im Teil  $b$  von Bild 3 dargestellt. Die Gleichspannungskomponente  $U_{d2}$  dieser Spannung ist ausreichend gross, um einen praktisch konstanten Strom vom Wert  $I_2$  durch  $L_2$  beizubehalten. Der vom aktiven Leistungsfilter auf der Phase  $U$  injizierte Strom  $i_{U2}$  ist in  $c$  und der vom Motor aufgenommene

Gesamtstrom  $i_U$  in  $d$  von Bild 3 wiedergegeben. Teil  $e$  von Bild 3 schliesslich zeigt das Steuerungsprogramm der Thyristoren  $T_{21} \dots T_{26}$  des Stromrichters STR2 sowie der GTO-Thyristoren  $G_3$  und  $G_4$ .

Die Arbeitsweise des Stromrichters STR2 zwischen den Zeitpunkten  $t_1$  und  $t_5$  lässt sich mit Hilfe von Bild 3 wie folgt beschreiben. Vor dem Zeitpunkt  $t_1$  sind die Thyristoren  $G_3$  und  $G_4$  eingeschaltet, und die Spule  $L_2$  nimmt vom Kondensator  $C$  Energie auf. Nach Sperrung dieser Thyristoren zum Zeitpunkt  $t_1$  werden die Thyristoren  $T_{25}$  und  $T_{24}$  gezündet, und die Spule  $L_2$  gibt an den Motor, bis zum Zeitpunkt  $t_2$ , Strom ab. Nach Sperrung der Thyristoren  $G_3$  und  $G_4$ , nachdem der Strom  $i_{U2}$  den Wert  $I_2$  und  $i_{W2}$  den Wert  $-I_2$  erreicht hat, wird die Spule  $L_2$  teilweise auf  $C$  entladen.

Zum Zeitpunkt  $t_2$  wird  $T_{21}$ ,  $G_3$  und  $G_4$  eingeschaltet (siehe Bild 4). Die

Thyristoren  $T_{25}$ ,  $T_{24}$  und  $T_{25}$  werden brüsk gesperrt. Zu diesem Zeitpunkt haben die Spannungen, mit denen die Kondensatoren  $C_1$ ,  $C_3$  und  $C_5$  aufgeladen sind, die Werte  $0$ ,  $+U_{Cmax}$  und  $-U_{Cmax}$ ; ihre Polaritäten für diesen Zeitpunkt sind in Bild 4,  $a$ , gezeigt. Der Strom  $I_d$ , der durch  $T_{25}$  fliesst, wird auf  $T_{21}$  umgeschaltet. Der Strom  $i_{T1} = I_d$  wird in 2 Teilströme verzweigt. Ein Teilstrom von  $I_d - I_2$  fliesst durch den zu  $C_5 // C_{13}$  äquivalenten Kondensator ( $C_{13}$ : äquivalente Kapazität zu Serieschaltung von  $C_1$  und  $C_3$ ), der sich mit der Diode  $D_5$  in Reihenschaltung befindet. Der andere Teilstrom von  $I_2$  fliesst durch die Diode  $D_{21}$ . Weiter werden  $G_3$  und  $G_4$  zum Zeitpunkt  $t_2 + \Delta t'$  ( $\Delta t'$ : einige  $\mu s$ ) gesperrt und  $T_{21}$  und  $T_{22}$  gezündet. Der Strom  $I_2$  der Spule  $L_2$  wird bis zum Zeitpunkt  $t_2 + \Delta t''$  von den Dioden  $D_{21}$ ,  $D_{22}$  und dem Kondensator  $C$  auf die mit den Phasen  $U$  und  $W$  verbun-



**Bild 3 Funktionsprinzip des Stromrichters STR 2**

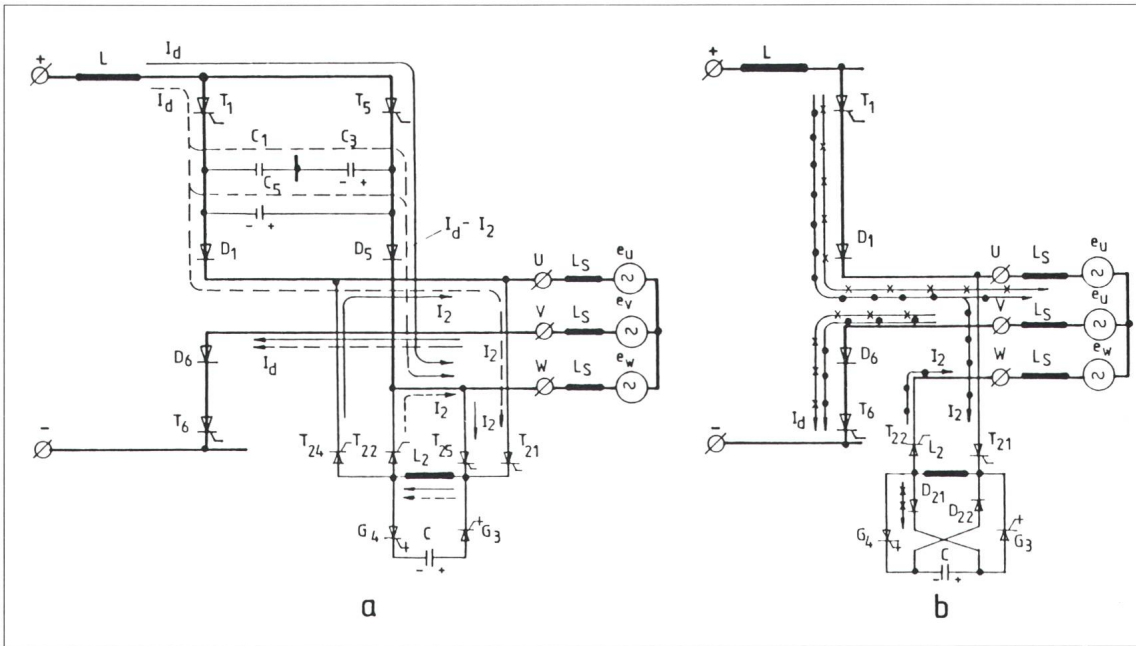
$a$  Phasenspannungen  $e_U$ ,  $e_V$  und  $e_W$  des Motors

$b$  über die Induktivität  $L_2$  geschaltete Spannung  $u_{L2}$

$c, d$  Ausgangsströme  $i_{U2}$  und  $i_U$

$e$  Programm für die Einschaltdauer der Thyristoren

übriige Bezeichnungen: siehe Text



**Bild 4** Ströme für verschiedene Zeitintervalle  
 a Zeitintervall  $t_2 < t < t_2 + \Delta t'$  ( $\Delta t'$ : siehe Text)  
 b Zeitintervall  $t_2 + \Delta t' < t < t_2 + \Delta t''$  ( $\Delta t''$ : siehe Text)

denen Thyristoren  $T_{21}$  und  $T_{22}$  umgeschaltet. Annähernd bis zum Zeitpunkt  $t_2 + \Delta t''$  wächst der Strom  $i_{U1}$  bis zum Wert  $I_d$  an, und der Strom  $i_{W1}$  fällt auf Null ab. Das Zeitintervall  $\Delta t''$  hat gewöhnlicherweise einen Wert von der Grössenordnung 200...300  $\mu s$ , wobei  $T_1 \dots T_6$  Netzthyristoren sind.

In den Bildern 4 und 5 bemerkt man, dass die Umschaltkondensatoren  $C_1 \dots C_6$  für einen Laststrom von  $I_d - I_2$  dimensioniert werden müssen und nicht für  $I_d$ . Da, wie aus dem folgenden Abschnitt hervorgeht, der optimale Wert von  $I_2$  gleich  $I_d/3$  ist, kann man die Schlussfolgerung ziehen, dass bei einem Wechselrichter nach Bild 1 die Umschaltkondensatoren  $C_1 \dots C_6$  um 33% kleinere Kapazitäten benötigen als entsprechende Kondensatoren eines Wechselrichters mit eingepprägtem Strom ohne aktivem Leistungsfilter, der für die Speisung eines Asynchronmotors gleicher Leistung bestimmt ist. Dies stellt einen wesentlichen Vorteil dar, weil Wechselrichter mit eingepprägtem Strom Umschaltkondensatoren hoher Kapazität benötigen, die durch grosse Abmessungen und hohe Kosten gekennzeichnet sind.

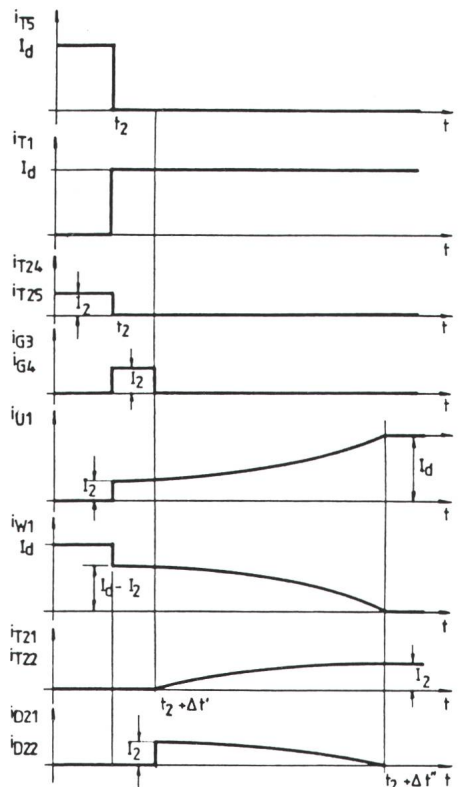
Im weiteren bleiben die Thyristoren  $T_{21}$  und  $T_{22}$  zwischen  $t_2 + \Delta t''$  und  $t_3$  eingeschaltet, der Strom  $i_{U2}$  ist praktisch gleich  $-I_2$ , und die Spule  $L_2$  nimmt Energie von den Phasen  $U$  und  $W$  auf. Zum Zeitpunkt  $t_3$  zünden  $G_3$  und  $G_4$ , und der Strom mit dem Wert  $I_2$  der Spule  $L_2$  wird annähernd bis zum Zeitpunkt  $t_3 + \Delta t''$  von  $T_{21}$  und

$T_{22}$  auf die Dioden  $D_{21}$  und  $D_{22}$  umgeschaltet (siehe Schema *b* von Bild 4). Zwischen  $t_3 + \Delta t''$  und  $t_3 + \tau$  gibt die Spule  $L_2$  Energie an  $C$  ab, und zwischen  $t_3 + \tau$  und  $t_4$  nimmt sie Energie von  $C$  durch die Thyristoren  $G_3$  und  $G_4$  auf.

Während der Zeitdauer, in der  $L_2$  an  $C$  angeschlossen ist (z.B. zwischen  $t_3$  und  $t_5$  in Bild 3), werden die Thyristoren  $G_3$  und  $G_4$  abwechselnd mit einer Frequenz bis 1 kHz eingeschaltet, so dass der Strom durch  $L_2$  praktisch konstant auf dem Wert  $I_2$  gehalten wird, ohne dass ein sehr grosser Wert für die Induktivität der Spule  $L_2$  notwendig ist. Ferner ist die Tatsache hervorzuheben, dass bei tiefen Ausgangsfrequenzen  $f_1 = \omega_1/2\pi$  die Amplituden der Spannungen  $e_U, e_V$  und  $e_W$  viel kleiner sind als  $U_c$ , und deshalb können diese Spannungen keine grosse Änderungen des durch  $L_2$  fliessenden Stromes verursachen. Aus diesem Grunde kann die Ausgangsfrequenz  $f_1$  bis auf 1...1.5 Hz reduziert werden, was einen weiteren Vorteil des Frequenzumrichters nach Bild 1 darstellt.

Aus der Beschreibung des Funktionsprinzips des aktiven Leistungsfilters folgt, dass der Stromrichter *STR2* als Gleichrichter arbeitet und eine Leistung  $P_2$  vom Dreiphasensystem  $U, V, W$  aufnimmt, während der Stromrichter *STR1* als Wechselrichter arbeitet und eine Leistung  $P_1$  in das Netz abgibt. In stationärem Betrieb der Asynchronmaschine, und wenn die Leistungsverluste aus dem aktiven Filter und dem Frequenzumrichter

vernachlässigt werden, sind diese beiden Leistungen gleich. Wenn die Asynchronmaschine als Generator arbeitet, und dabei elektrische Energie über den Frequenzumrichter in das Versorgungsnetz abgibt, dann kehren sich die Richtungen der Leistungen  $P_1$  und  $P_2$  um.



**Bild 5** Ausschaltvorgang des Thyristors  $T_5$ : Spannungs- und Stromverläufe

## Frequenzspektrum der Eingangs- und Ausgangsströme

Die Zeitabhängigkeit des Gesamtstromes in den Phasen des Netzes, zum Beispiel für  $i_R$ , ist in Bild 2, e, wiedergegeben. Dieser Strom (mit 12 Stufen pro Periode) kann in eine Fourier-Reihe der Form

$$i_R(t) = \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{4[\sin(n\pi/2)]^2 \cdot \cos(n\pi/6)}{\pi n} \cdot [1 - 4a_1 \cdot \sin^2(n\theta/2)] \cdot I_d \cdot \sin[n(\omega t - \alpha)] \quad (1)$$

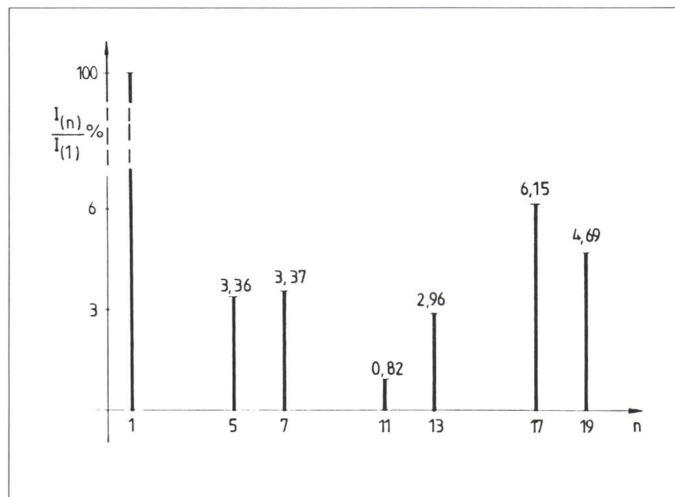
zerlegt werden, wobei  $\omega$  die Kreisfrequenz des Speisernetzes,  $n$  die Ordnung der Harmonischen und  $a_1 = I_1/I_d$  bedeuten.

Der Phasengesamtstrom des Asynchronmotors andererseits, zum Beispiel  $i_U$ , ist in Bild 3, d, wiedergegeben und kann in eine Fourier-Reihe der Form

$$i_U(t) = \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{4[\sin(n\pi/2)]^2 \cdot \cos(n\pi/6)}{\pi n} \cdot [1 - 4a_2 \cdot \sin^2(n\beta/2)] \cdot I_d \cdot \sin[n(\omega_1 t - \varphi)] \quad (2)$$

zerlegt werden, wobei  $\omega_1$  die Ausgangskreisfrequenz und  $a_2 = I_2/I_d$  bedeuten.

Aus den Beziehungen (1) und (2) kann man folgern, dass die Phasengesamtströme aus dem Netz und dem Motor keine geraden Harmonischen oder Vielfache 3ter Ordnung beinhalten. Der Anteil der Grundschwingung am Totalstrom erreicht für  $a_1 = a_2 = 1/3$  und  $\theta = \beta = 21^\circ$  einen maximalen Wert von 0,99315. Für diesen Fall sind in Bild 6 die Verhältnisse zwischen den Amplituden  $I_{(n)}$  der Hauptharmonischen und der Amplitude  $I_{(1)}$  der Grundschwingung wiedergegeben. Man stellt fest, dass mit dem Einsatz



**Bild 6**  
Oberschwingungsspektrum der Eingangs- und Ausgangsströme  
 $I_{(1)}$  Effektivwert der Strom-Grundschwingung  
 $I_{(n)}$  Effektivwert des Stromes der Oberschwingung mit der Ordnungszahl  $n$

eines aktiven Leistungsfilters die Harmonischen der 5-, 7-, 11- und 13ten Ordnung eines statischen Frequenzumrichters erheblich reduziert werden können.

Bei dynamischem Betrieb der Asynchronmaschine können bei Veränderungen der Kreisfrequenz  $\omega_1$  die Winkel  $\theta$  und  $\beta$  in engen Grenzen geregelt werden, um den Strom durch die Spulen  $L_1$  und  $L_2$  nahe der Werte  $I_1$  und  $I_2$  beizubehalten. Falls die Spannung  $U_C$  am Kondensator  $C$  über einen bestimmten Grenzwert hinaus ansteigt, dann fällt die Gleichspannungskomponente  $U_{d2}$  (siehe Bild 3), und auch der Strom  $I_2$  verkleinert sich. Die Aufladung von  $C$  erfolgt mit einem kleineren Strom. Dagegen wächst die Gleichspannungskomponente  $U_{d1}$  (siehe Bild 2), und somit vergrößert sich auch der Strom  $I_1$ . Die Entladung von  $C$  erfolgt mit einem grösseren Strom. Auf diese Weise ergibt sich eine Selbstregelung der Spannung dieses Kondensators. Der an  $C$  angeschlossene Gleichrichter mit Dioden hat die Aufgabe, das Auftreten von plötzlichen Stromsprüngen am Eingang des aktiven Leistungsfilters zu vermeiden.

## Schlussfolgerungen

Die Verwendung des in der Arbeit vorgeschlagenen aktiven Leistungsfilters hat folgende Vorteile:

- starke Reduktion der in den Motor eingeführten oder im Speisernetz

verursachten Harmonischen 5-, 7-, 11- und 13ter Ordnung

- Verkleinerung der Kapazitäten der Löschkondensatoren des Wechselrichters um 33 %
- Erweiterung des Bereichs der Ausgangsfrequenz des Wechselrichters bis hinunter zu 1...1,5 Hz.

## Literatur

- [1] W. Landeck und U. Putz: Selbstgeführter Zwischenkreisumrichter mit eingepägtem Strom für Drehstrom-Asynchronmotoren. Techn. Mitt. AEG-Telefunken 67(1977)1. S. 11...15.
- [2] R. Gretschnig und G. Krost: Transiente Harmonische durch Reversierantriebe mit Stromrichtern. Bull. SEV/VSE 77(1986)5. S. 243...250.
- [3] Energiebericht der Elektroindustrie. Frankfurt/M., Zentralverband der Elektrotechnischen Industrie e.V. (ZVEI) 1980.
- [4] R. Gretschnig und G. Krost: Betrags- und winkelmessung von Spannungs- und Stromharmonischen. ETZ-Archiv 3(1981)5. S. 149...152.
- [5] M. A. Pesonen: Harmoniques, paramètres caractéristiques, méthodes d'étude, estimation de valeurs existantes en réseau. Electra (CIGRE) - (1981)77. p. 35...54.
- [6] H. Kawahira a. o.: Active power filter. International Power Electronics Conference, Tokyo, March 27...31, 1983. Conference Record, vol. 2, p. 981...992.
- [7] H. Akagi, A. Nabae and S. Atoh: Control strategy of active-power filters using multiple voltage-source PWM converters. IEEE-IAS-1985. IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, Toronto, October 6...11, 1985. Conference Record, p. 460...466.
- [8] L. Malesani, L. Rossetto and P. Tenti: Active filter for reactive power and harmonics compensation. 17th Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference PESC'86 Record, 17(1986), p. 321...330.
- [9] C. Turtas: Anwendung aktiver Saugkreise in elektrischen Energieversorgungsnetzen. ETZ-Archiv 9(1987)4. S. 93...100.