

**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:** 3

**Artikel:** Aktives Leistungsfilter zur Kompensation von Strom-Oberschwingungen in Verteilnetzen

**Autor:** Alexa, Dimitrie

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-902929>

### **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:** 16.01.2026

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

# Aktives Leistungsfilter zur Kompensation von Strom-Oberschwingungen in Verteilnetzen

Dimitrie Alexa

**Aktive Leistungsfiler zeichnen sich durch eine ausgezeichnete Dynamik, hohe Funktionssicherheit und vorteilhafte Abmessungen aus. In der vorliegenden Arbeit wird ein aktives Leistungsfiler mit induktiver Speicherung für die Kompensation von Stromharmonischen in Verteilnetzen vorgestellt.**

**Les filtres de puissance actifs se distinguent par une excellente dynamique, une haute sécurité de fonctionnement et des dimensions avantageuses. L'article présente un filtre de puissance actif avec accumulation inductive pour la compensation des harmoniques de courant dans les réseaux de distribution.**

Die Kompensation der von seiten verschiedener Verbraucher im Verteilungsnetz erzeugten Stromharmonischen mit Hilfe von aktiven Leistungsfiltern ist von grossem Interesse. Aktive Leistungsfiler zeichnen sich durch ein erhöhtes dynamisches Leistungsvermögen, Funktionssicherheit und reduzierte Abmessungen aus. Im Gegensatz zu den mit LC-Reihenschaltungen realisierten konventionellen passiven Filtern wird ihr Betrieb auch nicht durch Veränderungen der Frequenz und der Konfiguration des Starkstromnetzes beeinflusst.

Die allgemeine Anordnung eines aktiven Leistungsfilters beinhaltet ein oder mehrere Blindelemente zur Energiespeicherung, die durch einen oder mehrere Stromrichter an das Netz angeschlossen sind. Die Elementen-

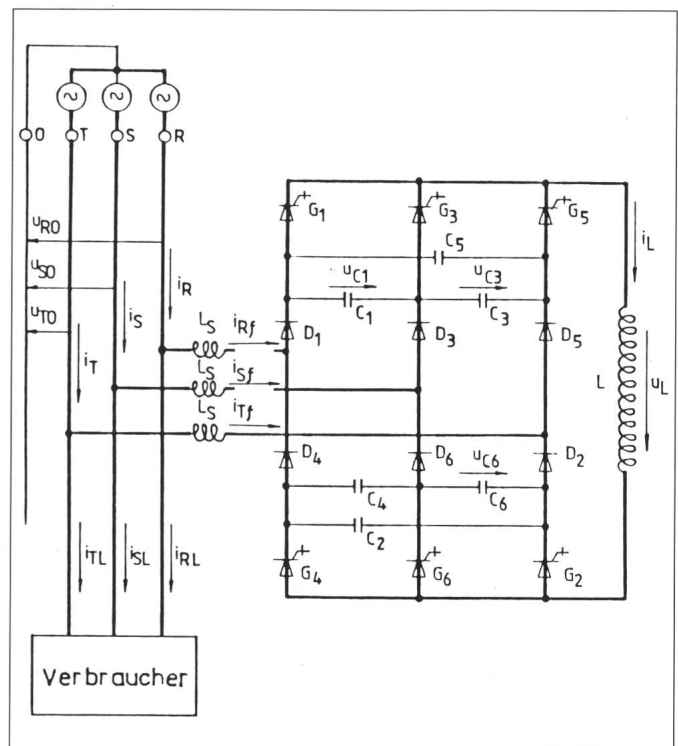
te zur Energiespeicherung können induktiv oder kapazitiv sein.

Im folgenden wird ein aktives Leistungsfiler beschrieben, das eine sehr gute Kompensation einer bestimmten Stromharmonischen (zum Beispiel der 5ten oder 7ten Ordnung), die in einem Elektrizitätsverteilnetz auftritt, erlaubt.

## Funktionsprinzip

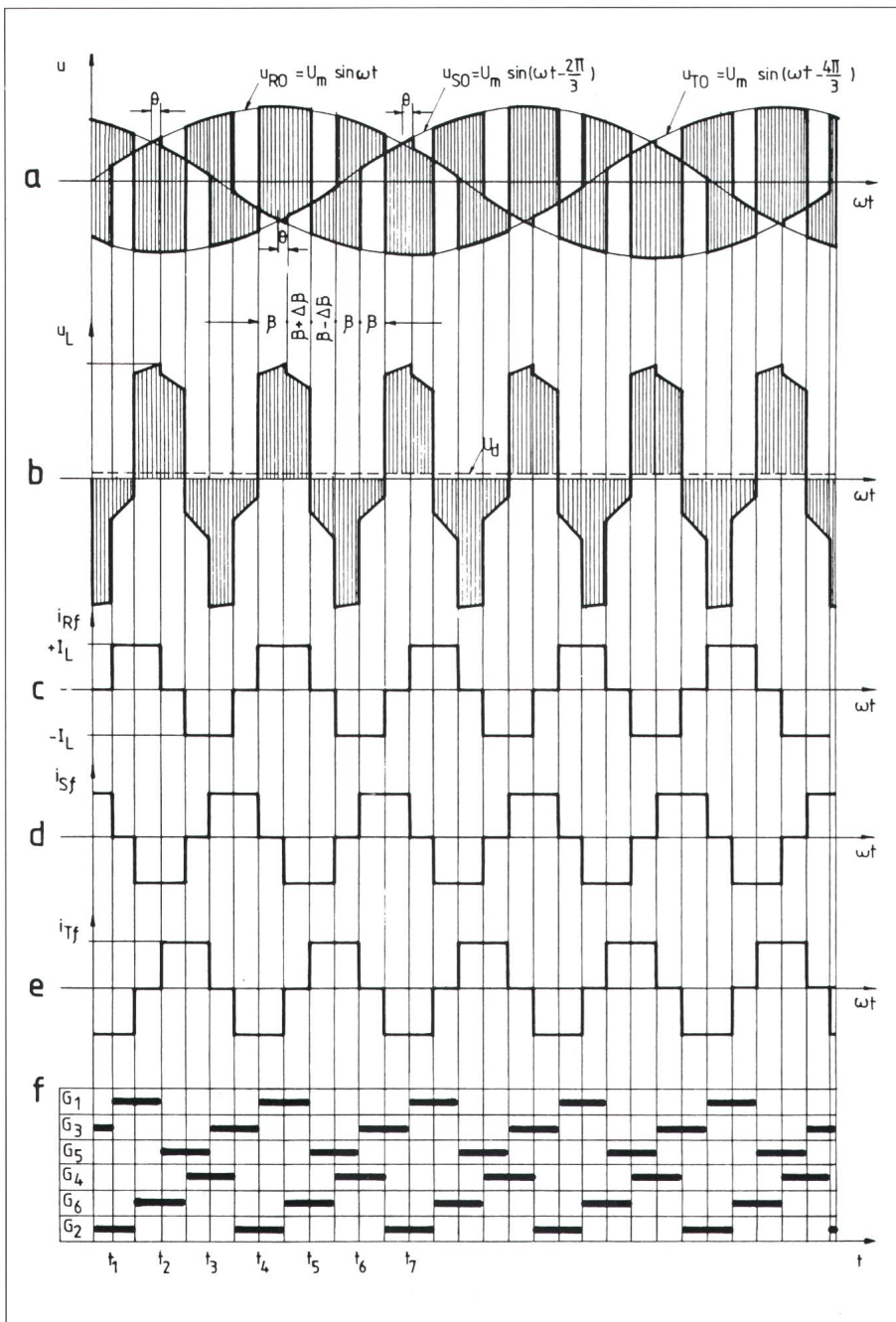
In Bild 1 wird der Aufbau eines aktiven Leistungsfilters wiedergegeben, das eine bestimmte Stromharmonische (zum Beispiel 5ter Ordnung, entsprechend Bild 2), die in einem Verteilnetz auftritt, kompensiert. Das aktive Filter setzt sich aus 6 GTO-Thyristoren  $G_1 \dots G_6$  (oder 6 bipolaren Leistungstransistoren), 6 Trenndioden

**Bild 1**  
Prinzipschema eines aktiven Leistungsfilters  
 $C_1 \dots C_6$  Kondensatoren  
 $D_1 \dots D_6$  Trenndioden  
 $G_1 \dots G_6$  GTO-Thyristoren  
 $L$  Hauptspule  
 $L_s$  äquivalente Kurzschlussinduktanzen am Filtereingang



## Adresse des Autors

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



**Bild 2 Funktionsprinzip des aktiven Leistungsfilters**

- a Phasenspannungen  $u_{RO}$ ,  $u_{SO}$  und  $u_{TO}$  des Netzes  
b an die Induktivität  $L$  angelegte Spannung  $u_L$   
c, d, e Eingangsströme  $i_{Rf}$ ,  $i_{Sf}$ ,  $i_{Tf}$   
f Einschaltzeiten der Thyristoren  
 $\theta$ ,  $\Delta\beta$  Steuerparameter, siehe Text  
 $U_d$  Gleichspannungsanteil an der Induktivität  $L$   
 $C$  Kapazität der Kondensatoren  $C_1 \dots C_6$

$D_1 \dots D_6$ , 6 Kondensatoren  $C_1 \dots C_6$  und einer Spule  $L$  hoher Induktivität zusammen. Die Kurven *a* von Bild 2 stellen die Wellenformen der Phasenspannungen  $u_{RO}$ ,  $u_{SO}$  und  $u_{TO}$  am Filtereingang dar. Mit einem Steuerprogramm zum Schalten der GTO-Thyristoren entsprechend Schema *f* von Bild 2 wird an die Spule  $L$  eine Spannung  $u_L$  entsprechend Kurve *b* ange-

legt. Alle Wellenformen in Bild 2 vernachlässigen die Umschaltprozesse des Stromes in den verschiedenen Phasen des Zeitablaufes.

Im folgenden wird angenommen, dass infolge des grossen Induktivitätswertes von  $L$  der durch die Spule  $L$  fliessende Strom  $i_L$  praktisch konstant und gleich  $I_L$  sei. Die Gleichspannungskomponente der Spannung  $u_L$ ,

die an dem Element  $L$  anliegt, sei  $U_d$ . Die Spannung  $U_d$  muss ausreichend gross sein, damit die Leistungsverluste der Thyristoren, der Dioden und der Spule  $L$  abgedeckt werden können. Diese Spannung kann durch Veränderung in engen Grenzen des Winkels  $\Delta\beta$  variiert und eingestellt werden.

Wenn die Umschaltprozesse vernachlässigt werden und angenommen wird, dass der Winkel  $\beta$  (siehe Bild 2) für die 5. Harmonische gleich  $\pi/15$  ist, wird der Spannungswert  $U_d$  in Abhängigkeit von den Winkeln  $\theta$  und  $\Delta\beta$  (siehe Bild 2) durch folgende Beziehung gegeben:

$$U_d = \frac{3\sqrt{3}U_m}{\pi} \{ [2\cos(\pi/5) - \sin(\pi/10)] \cos\theta - 1 - \sin(\pi/10 - \Delta\beta) \cos\theta + [\cos(\pi/10 - \Delta\beta) - \cos(\pi/10)] \sin\theta \} \quad (1)$$

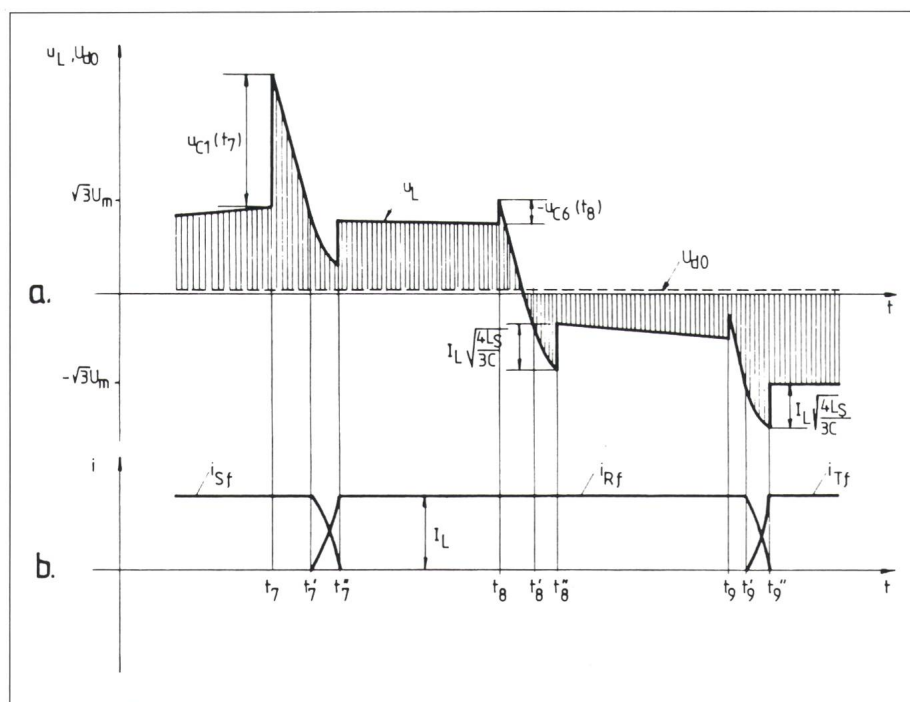
Da man näherungsweise  $\cos\Delta\beta \approx 1$  setzen kann, folgt

$$U_d = \frac{3\sqrt{3}U_m}{\pi} \cdot \cos[(\pi/10) - \theta] \cdot \sin\Delta\beta \quad (2)$$

Somit kann man annehmen, dass  $U_d$  proportional zum Winkel  $\Delta\beta$  ist. Praktisch muss der Wert von  $U_d$  einige Prozent des Wertes von  $\sqrt{3}U_m$  betragen.

In Bild 3 sind die Wellenformen der Spannung  $u_L$  und der Phasenströme  $i_{Rf}$ ,  $i_{Sf}$  und  $i_{Tf}$  für das Zeitintervall zwischen  $t_7$  und  $t_9$  dargestellt, wobei nun auch die Umschaltprozesse der oben erwähnten Ströme berücksichtigt werden. Zum Zeitpunkt  $t_7$  wird der Thyristor  $G_1$  gezündet. Der äquivalente Kondensator  $C_1 // C_{35}$  ( $C_{35}$  äquivalent zur Reihenschaltung von  $C_3$  und  $C_5$ ), der mit einer positiven Spannung  $u_{C1}(t_7)$  entsprechend Bild 4, *a*, geladen ist, bewirkt die Blockierung des Thyristors  $G_3$ . Zur grösseren Funktionssicherheit des Filters wird nach der Zündung von  $G_1$  sofort die Löschung von  $G_3$  veranlasst. Der Strom  $I_L$  der Spule  $L$  wird von  $G_3$  auf den Reihenschaltkreis, bestehend aus dem äquivalenten Kondensator  $C_1 // C_{35}$  und dem Thyristor  $G_1$ , umgeschaltet. Ein Teilstrom von  $2I_L/3$  fliesst durch  $C_1$ , und ein anderer Teilstrom von  $I_L/3$  fliesst durch  $C_3$ , der mit  $C_5$  reihengeschaltet ist. Zum Zeitpunkt  $t_7$ , wenn die Spannung auf dem oben erwähnten äquivalenten Kondensator  $C_1 // C_{35}$  den momentanen Wert der Spannungsdifferenz zwischen den Phasen  $R$  und  $S$





**Bild 3** Spannungs- und Stromverläufe bei den Umschaltvorgängen

Bezeichnungen: siehe Bilder 1 und 2

erreicht, öffnet die Diode  $D_1$ , und es beginnt der Umschaltprozess des Stromes  $I_L$  von der Phase  $S$  auf die Phase  $R$ . Dieser Prozess ist durch die äquivalenten Kurzschlussinduktanzen  $L_s$  am Eingang des Filters bestimmt und endet zum Zeitpunkt  $t'_7$ , wenn die Diode  $D_3$  in den Sperrzustand übergeht. Auf ähnliche Weise finden auch die anderen Umschaltprozesse statt (z.B. jene zu den Zeitpunkten  $t_8$  und  $t_9$  in Bild 3). Aus der Beschreibung des Funktionsprinzips des Filters ergibt sich die Schlussfolgerung, dass die Trenndioden  $D_1...D_6$  die Aufgabe haben, die Umschaltkondensatoren  $C_1...C_6$  in bestimmten Phasen ausserhalb der Umschaltprozesse vom Netz zu trennen.

Infolge der Induktanzen  $L_s$  und der Kondensatoren  $C_1...C_6$ , auch wenn der Winkel  $\Delta\beta$  vorübergehend gleich Null ist, liegt auf der Induktanz  $L$  die Gleichspannung  $U_{d0}$ , entsprechend Bild 3, an. Damit durch die Spule  $L$  dauernd der gewünschte Strom  $I_L$  mit einer Gleichspannungskomponente  $U_d$  fließt, ist es jedoch notwendig, dass der Winkel  $\Delta\beta$  auf den dazu erforderlichen Wert eingestellt wird. Was den Winkel  $\Theta$  betrifft, muss dieser derart zwischen 0 und  $\pi/5$  eingestellt werden, dass sich eine Phasenverschiebung von  $\pi$  für die in das Netz gelieferte Stromharmonische 5ter Ordnung ergibt. Auf diese Art erreicht man eine Kompensation der

Netzharmonischen 5ter Ordnung, ungeachtet ihrer Phasenverschiebungen. Die Veränderung des Winkels  $\Theta$  kann mit Hilfe einer PLL-Schleife, die sich

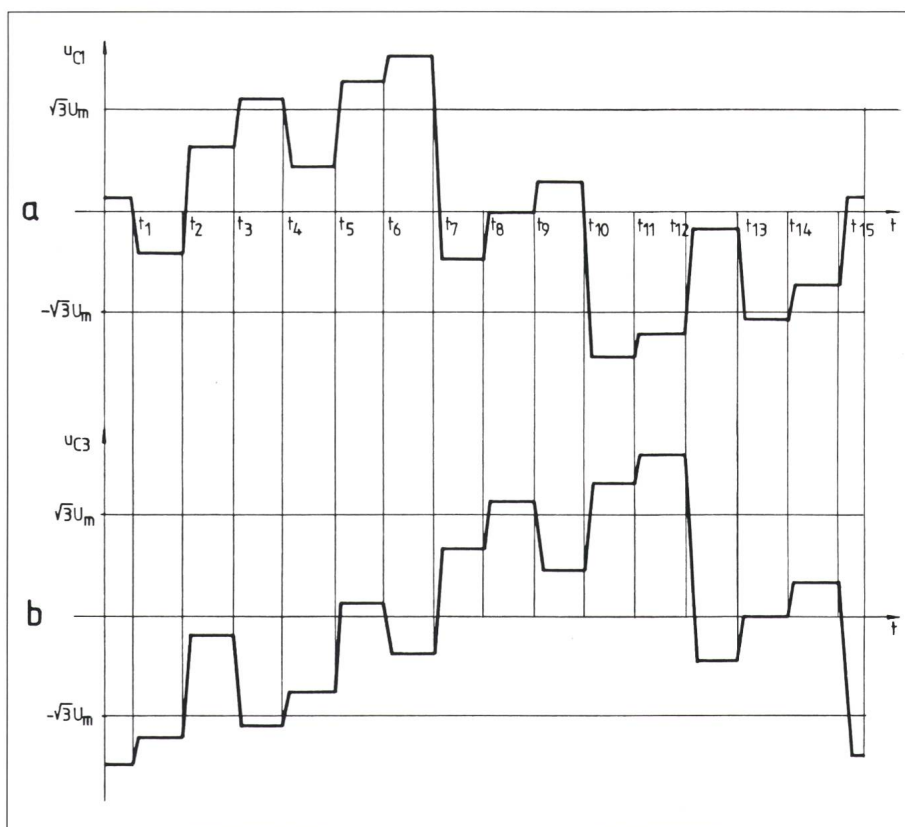
in der Regel- und Steuerschaltung des Filters befindet, erreicht werden.

In Bild 4 sind die Wellenformen der an die Kondensatoren  $C_1$  und  $C_3$  angelegten Spannungen  $u_{C1}$  und  $u_{C3}$  für den speziellen Fall von  $\Theta = 0$  wiedergegeben, wobei die Umschaltprozesse angedeutet sind. Durch diese Umschaltprozesse erhalten die Ströme  $i_{Rf}$ ,  $i_{Sf}$  und  $i_{Tf}$  am Filtereingang eine Wellenform entsprechend Bild 5. Eine Fourier-Reihenzerlegung dieser Wellenform ergibt:

$$i = \sum_{n=1}^{n=\infty} [A_n \sin(nk\omega t) + B_n \cos(nk\omega t)] \quad (3)$$

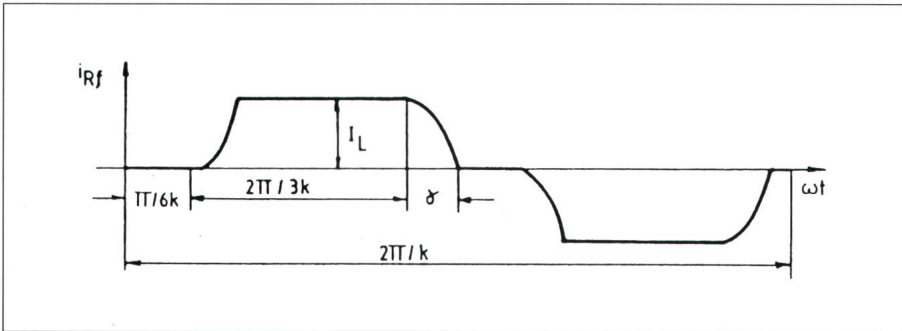
wobei  $\omega$  die Netzfrequenz ist und  $k = 5$  oder  $7$  die Ordnung der Netzharmonischen, die durch das Aktivfilter kompensiert wird. Die Koeffizienten der Fourier-Reihe berechnen sich zu

$$A_n = \frac{4\lambda I_L}{\pi(n^2 - \lambda^2)} \cdot \cos(n\pi) \sin(n\pi/2) \sin(n\pi/3) \cdot [\lambda/n - \sin(nk\gamma)] \quad (4)$$



**Bild 4** Kondensatorspannungen

a Spannungsverlauf  $u_{C1}$  am Kondensator  $C_1$  während einer Netzperiode  
b Spannungsverlauf  $u_{C3}$  am Kondensator  $C_3$  während einer Netzperiode



**Bild 5 Verlauf des Phasenstromes  $i_{Rf}$**   
Angabe des typischen Verlaufes von  $i_{Rf}$  während einer Periode  $2\pi/k$  der kompensierten Oberschwingungen  $k$ ter Ordnung.  $\gamma$ : siehe (6).

$$B_n = \frac{4nI_L}{\pi(n^2 - \lambda^2)} \cdot \cos(n\pi) \sin(n\pi/2) \cdot \sin(n\pi/3) \cos(nk\gamma) \quad (5)$$

$$\lambda = \pi/2k\gamma$$

Der maximale Anteil der Harmonischen  $k$ ter Ordnung am vom Aktivfil-

ter gelieferten Leitungsstrom beträgt etwa 0,9594 und wird bei einem Winkel  $\gamma = \pi/21k$  erhalten. Im Falle einer Netzfrequenz von 50 Hz entspricht dieser Winkel bei der 5. Harmonischen einer Zeit von 95,2  $\mu$ s und bei der 7. Harmonischen einer Zeit von 68  $\mu$ s. Die Werte der Kapazitäten  $C$  der Kondensatoren  $C_1 \dots C_6$  bestimmt man aus der Bedingung, dass

der zu den Umschaltprozessen (siehe Bilder 3 und 5) gehörende Winkel  $\gamma$

$$\gamma = \omega(t_7'' - t_7') = (\pi/2)\omega\sqrt{3CL_S} \quad (6)$$

einen der oben erwähnten optimalen Werte haben muss.

## Literatur

- [1] R. Gretsich und G. Krost: Betrags- und winkelrichtige Messung von Spannungs- und Stromharmonischen. ETZ-Archiv 3(1981)5, S. 149...152
- [2] H. Kawahira a.o.: Active power filter. International Power Electronics Conference, Tokyo, March 27...31 1983. Conference Record, vol. 2, p. 981...992
- [3] 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
- [4] 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
- [5] C. Tutas: Anwendung aktiver Saugkreise in elektrischen Energieversorgungsnetzen. ETZ-Archiv 9(1987)4, S. 93...100