Aktives Leistungsfilter zur Kompensation von Strom-Oberschwingungen in Verteilnetzen

Autor(en): **Alexa, Dimitrie**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **82 (1991)**

Heft 3

PDF erstellt am: **24.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-902929

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Aktives Leistungsfilter zur Kompensation von Strom-Oberschwingungen in Verteilnetzen

Dimitrie Alexa

Aktive Leistungsfilter zeichnen sich durch eine ausgezeichnete Dynamik, hohe Funktionssicherheit und vorteilhafte Abmessungen aus. In der vorliegenden Arbeit wird ein aktives Leistungsfilter 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 Leistungsfilter 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 Elemente zur Energiespeicherung können induktiv oder kapazitiv sein.

Im folgenden wird ein aktives Leistungsfilter 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 $G_1 \ldots G_6$ (oder 6 bipolaren Leistungstransistoren), 6 Trenndioden

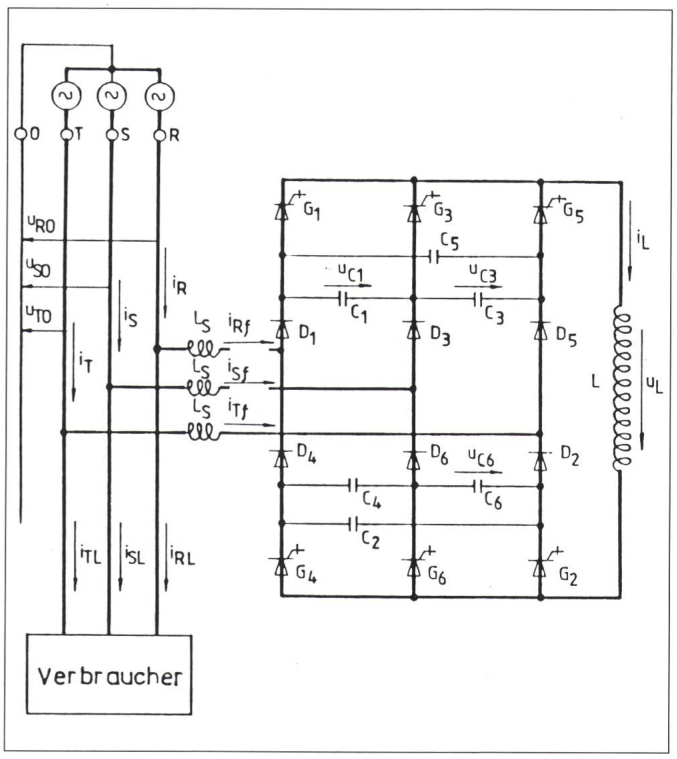

Bild 1
Prinzipschema eines aktiven Leistungsfilters
$C_1 \ldots C_6$ Kondensatoren
$D_1 \ldots D_6$ Trenndioden
$G_1 \ldots G_6$ GTO-Thyristoren
L Hauptspule
L_s äquivalente Kurzschlussinduktanzen am Filtereingang

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

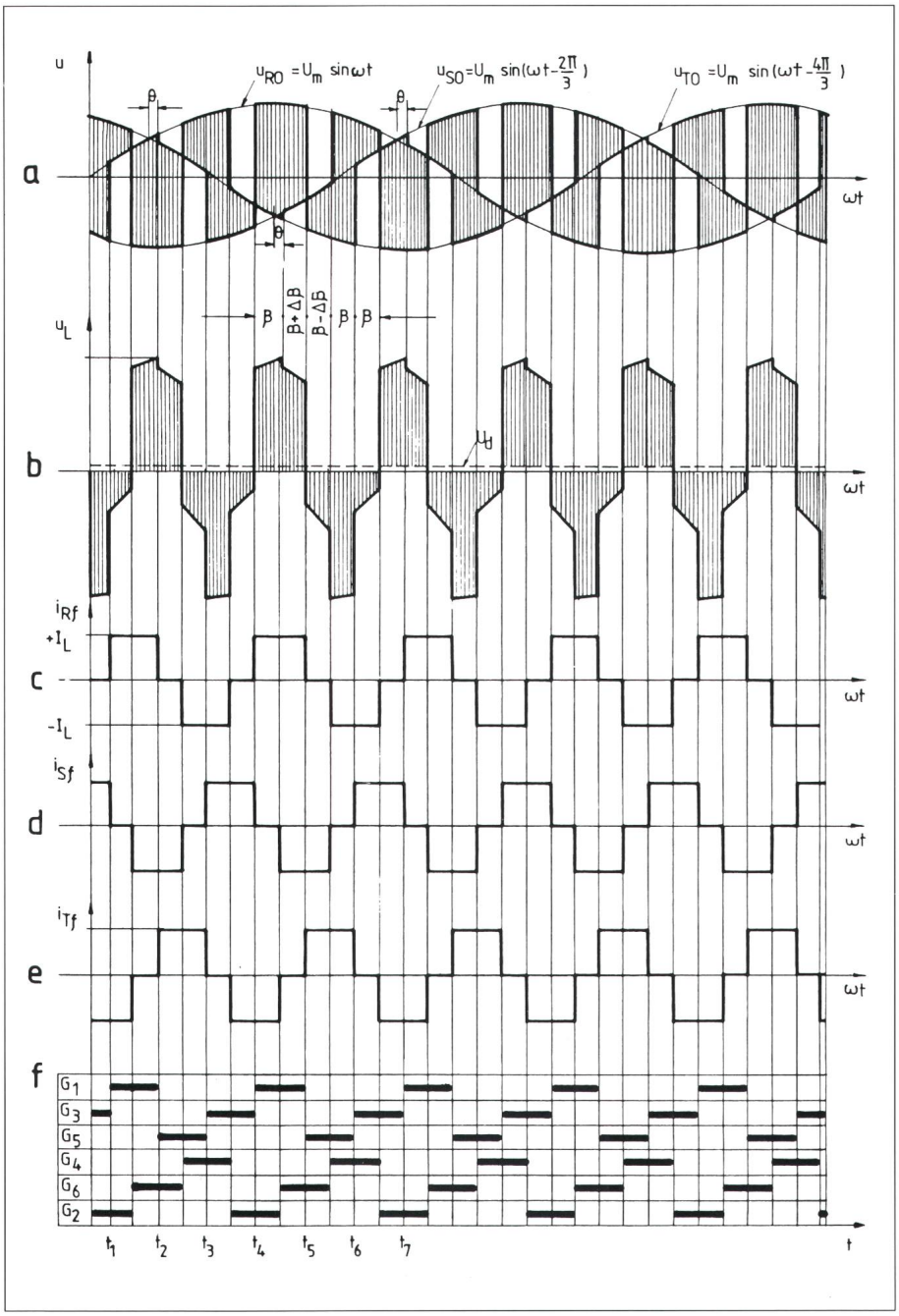

Bild 2 Funktionsprinzip des aktiven Leistungsfilters

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	Einschaltdauer der Thyristoren
Θ, $\Delta\beta$	Steuerparameter, siehe Text
U_d	Gleichspannungsanteil an der Induktivität L
C	Kapazität der Kondensatoren $C_1 \ldots C_6$

$D_1 \ldots D_6$, 6 Kondensatoren $C_1 \ldots C_6$ 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* angelegt. 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 β (siehe Bild 2) für die 5. Harmonische gleich $\pi/15$ ist, wird der Spannungswert U_d in Abhängigkeit von den Winkeln θ und $\Delta\beta$ (siehe Bild 2) durch folgende Beziehung gegeben:

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

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 Reihenkreis, 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*

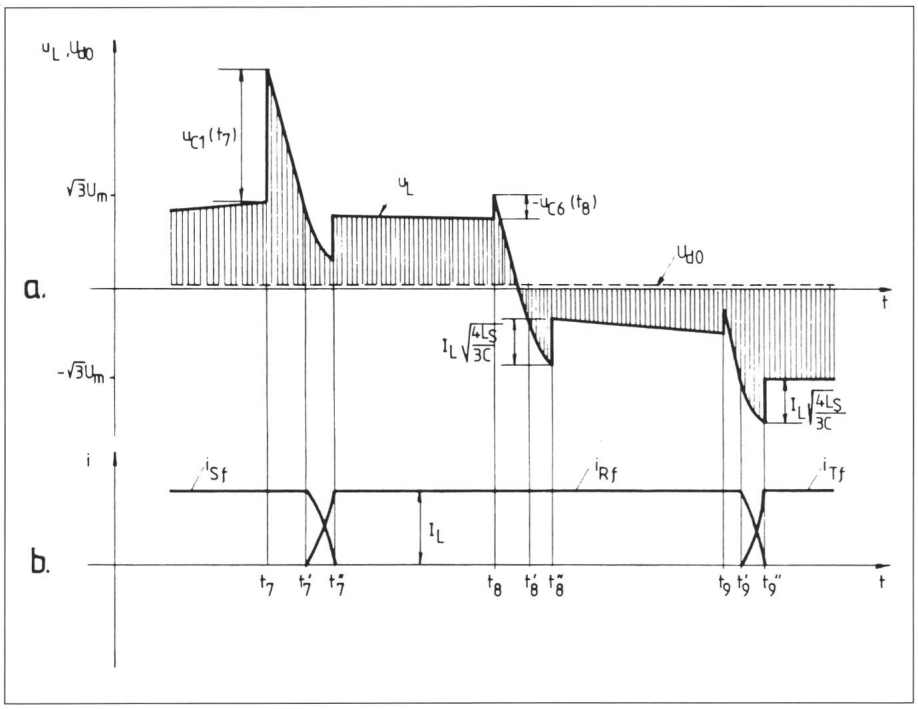

Bild 3 Spannungs- und Stromverläufe bei den Umschaltvorgängen
Bezeichnungen: siehe Bilder 1 und 2

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 $D_1 \ldots D_6$ die Aufgabe haben, die Umschaltkondensatoren $C_1 \ldots C_6$ in bestimmten Phasen ausserhalb der Umschaltprozesse vom Netz zu trennen.

Infolge der Induktanzen L_s und der Kondensatoren $C_1 \ldots C_6$, 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 Θ betrifft, muss dieser derart zwischen 0 und $\pi/5$ eingestellt werden, dass sich eine Phasenverschiebung von π 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 Θ 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:

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

wobei ω 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

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

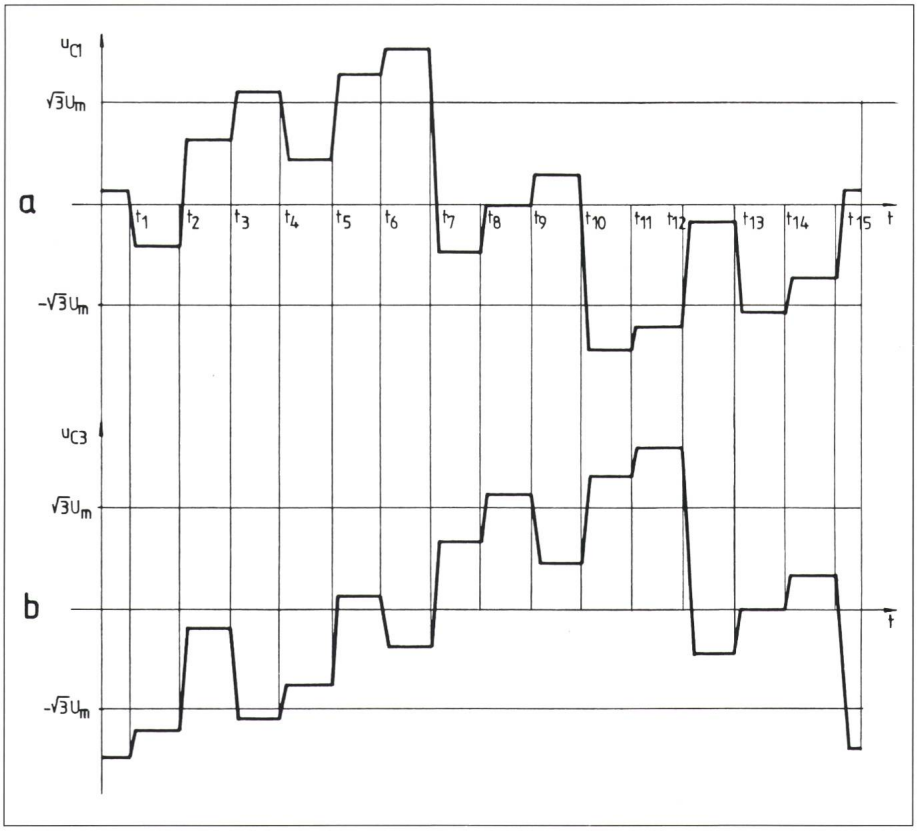

Bild 4 Kondensatorspannungen
a Spannungsverlauf u_{C1} am Kondensator C_1 während einer Netzperiode
b Spannungsverlauf u_{C3} am Kondensator C_3 während einer Netzperiode

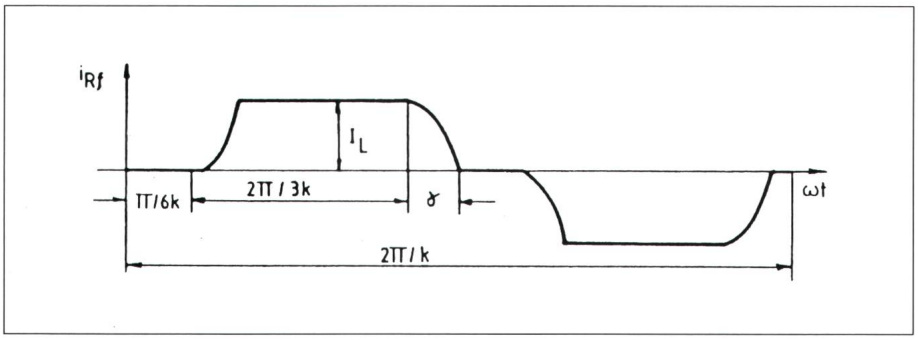

Bild 5 Verlauf des Phasenstromes i_{Rf}
Angabe des typischen Verlaufes von i_{Rf} während einer Periode $2\pi/k$ der kompensierten Oberschwingungen $k$ter Ordnung. γ: siehe (6).

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

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

Der maximale Anteil der Harmonischen $k$ter Ordnung am vom Aktivfilter 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 μs und bei der 7. Harmonischen einer Zeit von 68 μs. Die Werte der Kapazitäten C der Kondensatoren $C_1 \ldots C_6$ bestimmt man aus der Bedingung, dass der zu den Umschaltprozessen (siehe Bilder 3 und 5) gehörende Winkel γ

$$\gamma = \omega(t''_7 - t'_7) = (\pi/2)\omega\sqrt{3CL_s} \qquad (6)$$

einen der oben erwähnten optimalen Werte haben muss.

Literatur

[1] *R. Gretsch* 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. Tuttas:* Anwendung aktiver Saugkreise in elektrischen Energieversorgungsnetzen. ETZ-Archiv 9(1987)4, S. 93...100