

**P. Mutschler: „Vergleichende Untersuchung resonant schaltender Mittelspannungs-IGBT-Umrichter bezüglich ihrer Eignung für Leistungen oberhalb 100kVA.“ Interne Notiz 1996.**

Aus zahlreichen Gründen resultiert die Forderung nach hoher Schaltfrequenz von Umrichtern. GTO- Umrichter hoher Leistung, die mit verlustbehafteter RCD- Entlastung ausgerüstet sind, ermöglichen aufgrund der Schaltverluste in den Halbleitern nur geringe Schaltfrequenzen. Günstig, aber längst noch nicht ausreichend, wirken sich die Fortschritte in Richtung kürzerer Schaltzeiten aus. Um die Schaltverluste weiter zu reduzieren und damit höhere Schaltfrequenzen zu ermöglichen, wurden in der Vergangenheit zahlreiche Einrichtungen zum weichen Schalten vorgestellt. Bei den zwangskommutierten Thyristorumrichtern waren Löschsaltungen zum stromlosen Ausschalten (ZCS zero current switching) unumgänglich. Diese, bzw. durch Abwandlungen daraus hervorgegangene, Löschsaltungen können auch sehr wirkungsvoll die Schaltverluste bei abschaltbaren Halbleitern, insbesondere bei bipolaren Bauelementen wie GTOs reduzieren. Die dazu duale Möglichkeit, nämlich das spannungslose Einschalten (ZVS zero voltage switching) wurde ursprünglich bei kleineren Leistungen (z.B. bei Schaltnetzteilen) in Verbindung mit MOSFET Transistoren benutzt. Für IGBTs kommen sowohl ZCS als auch ZVS in Frage. In [Kel91] wurden in Gleichstrom-Stellerschaltungen unter anderem die Verluste in IGBTs bei hartem Schalten, bei ZCS und bei ZVS ermittelt. Mit einer ähnlichen Fragestellung befaßt sich auch [Sku92]. Dort wurden in einem 10kW Tiefsetzsteller unter anderem die Verluste im IGBT vergleichend bei ZCS und ZVS untersucht. Beide Arbeiten stimmen darin überein, daß sowohl bei ZVS als auch bei ZCS punch-through IGBTs vorteilhaft sind und daß die Schaltverlustarbeit im IGBT bei ZCS am geringsten ist. Bezeichnet man mit 100% die Schaltverlustarbeit im IGBT bei ZCS, dann sind ist nach [Sku92] bei ZVS mit mind. 150% und bei hartem Schalten mit 550% Schaltverlustarbeit im IGBT zu rechnen. Der Grund für die höheren Schaltverluste im IGBT bei ZVS gegenüber ZCS liegt vor allen im Zusammentreffen von Spannungsanstieg und Tail-Strom.

Einige der Umrichter, für die weiches Schalten untersucht wurde.

|   | Zwischenkreis (ZK)-Umrichter  |  | Direkt (Matrix)-Umrichter |
|---|---|--|---------------------------|
|   | Spannungs- Zwischenkreis  | Strom- Zwischenkreis   | [Cho91], [Mar95]          |
| konstante Größen im ZK                  | konstante ZK-Spannung<br>"resonant pole" =Phasenlöschung<br>[Mur89], [Don90], [Che90]<br>[Wyk90]                        | konstanter ZK-Strom<br>[Mur89]   |                           |
| Mischgrößen im ZK<br>Resonant DC-Link   | Misch-Spannung im ZK<br>"resonant DC Voltage Link"<br>[Div86], [Div87]<br>[Moh90], [Bor91], [Bos91]<br>[Sal95], Sul[95] | Misch-Strom im ZK<br>"resonant DC Current Link"<br>[Lip89]                 |                           |
| Wechselgrößen im ZK<br>Resonant AC-Link | Wechselspannung im ZK<br>"Parallel resonant AC Voltage Link"<br>[Lip87], [Kla92].                                       | Wechselstrom im ZK<br>"Series resonant AC Current Link"<br>[Kla87, 88, 91] |                           |

Bild 1: Übersicht Umrichter mit weichem Schalten

zahlreiche Umrichterschaltungen in Verbindung mit weichem Schalten untersucht. Einen Überblick, in dem einige der untersuchten Umrichter zusammengestellt sind, gibt Bild 1.

**Weich schaltende Matrix - Umrichter**

In eigenen Vorarbeiten [Mar95] wird ein resonanter Matrix-Umrichter für kleinere Leistung entwickelt. Die Schalterzweige enthalten antiparallele IGBTs und Dioden. Die Resonanz- Netzwerke erlauben stromloses Abschalten der IGBTs. Für hohe Leistungen erscheint diese Art resonante Matrix -Umrichter zu aufwendig und daher weniger geeignet. Dies liegt zum einen an der ständigen Resonanz- Schwingung und den damit verbundenen Verlusten in den Resonanzelementen und zum anderen am Halbleiternaufwand. Solange für hohe Leistungen keine geeigneten Zweirichtungsventile verfügbar sind, sind Matrixumrichter mit vergleichsweise hohem Ventilaufwand verbunden.

**Weich schaltende Zwischenkreis- Umrichter**

Der Schwerpunkt der Arbeiten nach Bild 1 liegt auf den Zwischenkreis- Umrichtern, die einerseits nach Spannungs- und Strom-Zwischenkreis gegliedert sind, andererseits danach, ob die Größe im Zwischenkreis zeitlich konstant ist, eine Gleichgröße mit Wechselanteil (Mischgröße) oder eine reine Wechselgröße ist.

haft sind und daß die Schaltverlustarbeit im IGBT bei ZCS am geringsten ist. Bezeichnet man mit 100% die Schaltverlustarbeit im IGBT bei ZCS, dann sind ist nach [Sku92] bei ZVS mit mind. 150% und bei hartem Schalten mit 550% Schaltverlustarbeit im IGBT zu rechnen. Der Grund für die höheren Schaltverluste im IGBT bei ZVS gegenüber ZCS liegt vor allen im Zusammentreffen von Spannungsanstieg und Tail-Strom.

In der Literatur wurden

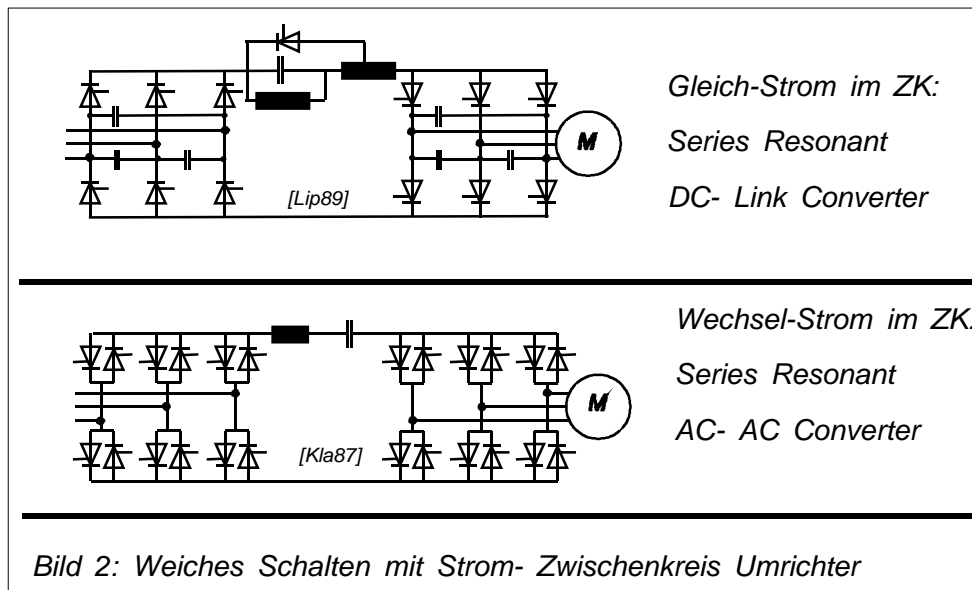


Bild 2: Weiches Schalten mit Strom- Zwischenkreis Umrichter

Zunächst ist eine Vorauswahl derjenigen Zwischenkreis Umrichter zu treffen, die für hohe Leistungen in Frage kommen könnten.

#### Weich schaltende Umrichter mit Strom- Zwischenkreis.

Diese Umrichter benötigen symmetrisch sperrende Zweige. Günstig wären symmetrisch sperrende IGBTs, anstatt der Reihenschaltung eines unsymmetrischen

IGBTs und einer Diode. Non-punch-through (npt) IGBTs könnten zwar im Prinzip symmetrisch sperrend sein. Eigene Untersuchungen [Hut93] zeigen u.a. diese prinzipielle Möglichkeit im stationären Verhalten. Bei verfügbaren Bauelementen ist diese prinzipielle Möglichkeit jedoch nicht spezifiziert. Das Rückwärts-Verhalten des npt-IGBT wird genauer in [Tür95] analysiert, wobei keine Perspektive für einen symmetrisch sperrenden IGBT eröffnet wird. Dies läßt IGBT- Umrichter mit Strom-Zwischenkreis weniger attraktiv erscheinen.

In Bild 2 sind Umrichter mit resonantem Gleichstrom - Zwischenkreis [Lip89] und resonantem Wechselstrom-Zwischenkreis [Kla87] dargestellt. In beiden Fällen können die Hauptventile stromlos ausschalten, so daß symmetrisch sperrende Thyristoren verwendet werden können. Für eine Weiterentwicklung mit IGBTs erscheinen diese Umrichtertypen vergleichsweise weniger geeignet.

#### Weich schaltende Umrichter mit Spannungs- Zwischenkreis

Weich schaltende Umrichter mit Spannungs- Zwischenkreis sind in Bild 3 dargestellt. Unten in Bild 3 ist ein Umrichter mit Wechselspannungs - Zwischenkreis nach [Kla92] gezeigt. Hierzu werden - wie auch bei den Matrix Umrichtern- Zweirichtungs- Ventile benötigt. Aus den gleichen Gründen wie beim Matrix - Umrichter wird hier dieser Umrichtertyp nicht weiter verfolgt.

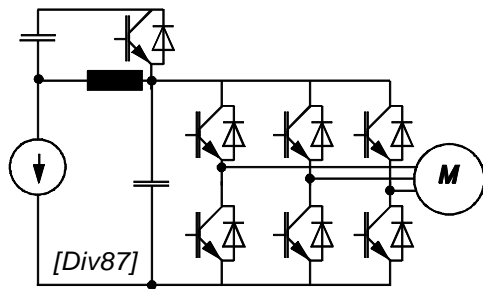
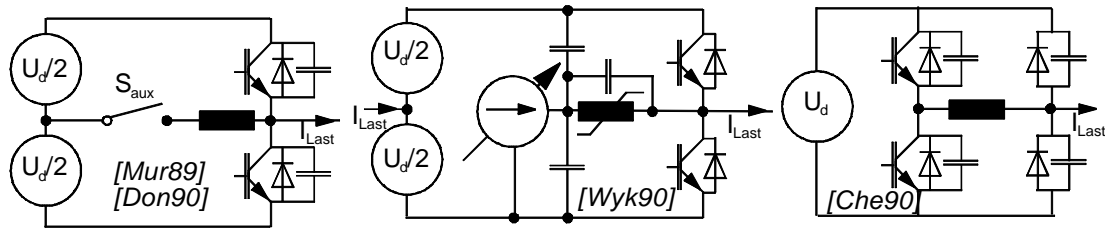
Somit verbleiben nach der Vorauswahl noch zwei Schaltungs-Familien:

- 1.) Umrichter mit konstanter Zwischenkreis- Spannung und einer resonanten Kommutierungs-Schaltung pro Phase nach [Mur89], [Wyk90] oder [Che90], die in der Literatur meist als "Resonant Pole Converter" bezeichnet werden ( oben in Bild 3) und
- 2.) Umrichter mit einer gleichspannungsseitigen, resonanten Kommutierungs- Schaltung nach [Div87], [Moh90], [Bor91], [Sal95] oder [Sul95], die in der Literatur meist als "Resonant DC- Voltage Link Converter" bezeichnet werden.

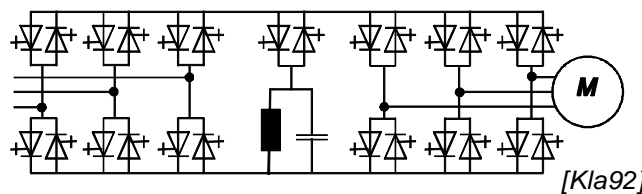
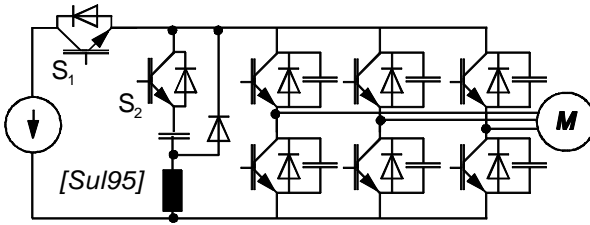
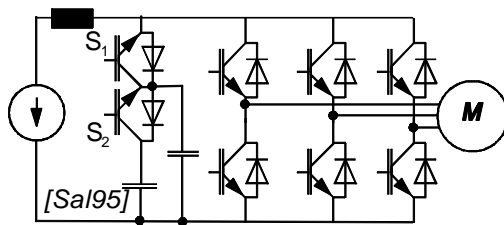
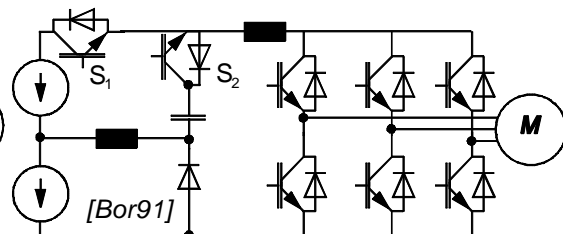
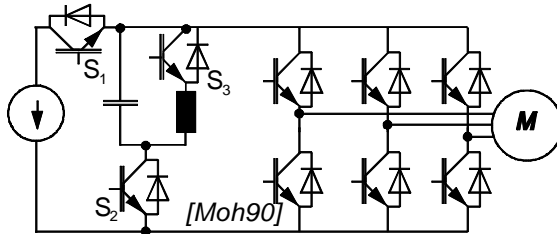
Der Stand der Forchng ist dadurch gekennzeichnet, daß

- a) bisher zahlreiche Schaltungen vorgeschlagen wurden und in Zukunft wohl auch noch weitere hinzukommen werden,
- b) jede der Schaltungen isoliert betrachtet wird und von den Verfassern primär die jeweils positiven Eigenschaften herausgearbeitet werden,
- c) In der Literatur keine vergleichende Untersuchung existiert, anhand der entscheidbar ist, welche Schaltung für welche Anwendung / Leistung die jeweils günstigste ist.  
Das vorliegende Projekt hat eine derartige Untersuchung zum Ziel.

*konstante ZK-Spannung: Resonant Pole (eine Phase)*



*Gleich-Spannung im ZK:  
Resonant DC- Voltage Link*



*Wechsel-Spannung im ZK:  
Parallel Resonant  
AC- Voltage Link*

**Bild 3: Weiches Schalten mit Spannungs- Zwischenkreis Umrichter**

**Vorarbeiten am Institut für Stromrichtertechnik und Antriebsregelung der TH Darmstadt**

Die "weiche Kommutierung" ist seit Anbeginn Thema der Entwicklung zwangskommutierter Thyristor Umrichter. Um nicht allzuweit in die Vergangenheit zurückzugehen, wird die Kombination aus abschaltbarem Halbleiter und zusätzlicher Kommutierungseinrichtung als unmittelbarer Vorläufer zum vorliegenden Themengebiet angesehen. Hier wäre die Dissertation Fuld "Thyristor Pulsstromrichter mit hoher Schaltfrequenz und geringen Verlusten" (1988) am Institut für Stromrichtertechnik und Antriebsregelung der TH Darmstadt zu nennen. Darin wird u. a. auch auf die Möglichkeit eingegangen, GTO - Hauptventile in Kombination mit Kondensatorlöschung einzusetzen. Auch die Verwendung des GTO als Hilfsventil im Löschkreis wird vorgestellt. Der Vorteil liegt darin, daß der Umschwingvorgang des Kondensators durch Abschalten des GTOs unterbrochen werden kann, wodurch ein Freiheitsgrad zur Beeinflussung der Kommutierungsspannung gewonnen wird. Die in der Arbeit Fuld behandelten

Schaltungen ermöglichen stromloses Abschalten (ZCS) als Einzel- und als Phasenlöschung. Sie führen zu verlustarmen Umrichtern, allerdings auf Kosten einer großen Anzahl einzelner Bauelemente, was die Akzeptanz in der industriellen Praxis schmälert. Um dieses Problem zu reduzieren, wird in einer folgenden Arbeit von K. Bornhardt mit dem Titel "Neue GTO Umrichter mit erhöhter Schaltfrequenz" (1991) eine Kommutierungseinrichtung zur Summenlöschung im Gleichspannungszwischenkreis angeordnet. Eine der von Bornhardt untersuchten und realisierten Ausgestaltungen ist in Bild 3 [Bor91] dargestellt. Es handelt sich dabei um eine Weiterentwicklung einer bereits 1980 von Dewan und Caceres vorgestellten Anordnung. Dabei werden alle Ventile stromlos ausgeschaltet (ZCS). Unter den in Bild 3 zusammengestellten Umrichtern mit "Resonant DC- Voltage Link" ist dies der einzige, der ZCS für alle Ventile realisiert. Bei den anderen Schaltungen dieser Gruppe wird für die Ventile der Brücke ZVS und für die Ventile der Kommutierungseinrichtung teils ZVS und teils ZCS angewendet. In den bereits erwähnten Untersuchungen [Kel91] und [Sku92] wird dargelegt, daß hinsichtlich der Schaltverluste ZCS bei IGBTs vorteilhaft ist.

In der Arbeit [Bor91] wird für das stromlose Ausschalten (ZCS) gezeigt, daß die zeitliche Zuordnung zwischen dem Einleiten der Fremdlöschung und dem Anlegen negativer Gate- Spannung an die zu löschenden Hauptventile von großer Bedeutung für die Schaltverluste ist. Eine weitere Aufgabe, die bei allen Schaltungen mit Summenlöschung hinzukommt, ist die Entwicklung des unter den gegebenen Randbedingungen optimalen Steuerverfahrens. Bornhardt minimiert die Zahl der Umschwingvorgänge im Zwischenkreis durch geschickte Wahl der Reihenfolge, in der die benötigten Spannungs-Zeiger an die Maschine gelegt werden. Ausgenutzt wird dabei die Tatsache, daß in jeder Wechselrichter-Phase der Strom von einer Diode auf den in Reihe dazu liegenden Schalter übernommen werden kann, ohne daß dazu der Zwischenkreis umschwingen muß.

Während die bisher erwähnten eigenen Vorarbeiten zur Schaltungstechnik weich schaltender Umrichter den GTO als abschaltbaren Halbleiter verwenden, werden in der noch laufenden Arbeit Marcks [Mar95] IGBTs in einem resonanten Matrix-Umrichter stromlos ausgeschaltet.

Parallel zu obigen schaltungstechnisch orientierten Vorarbeiten wurden mehrere bauelementeorientierte Arbeiten am Institut für Stromrichtertechnik und Antriebsregelung der TH Darmstadt durchgeführt. In der Dissertation Laska "Untersuchungen der Schalteigenschaften von Leistungshalbleiterbauelementen mit Methoden der Bauelementesimulation und der Impulsmeßtechnik" (1990) und der Dissertation Winterheimer "Modellbildung von Leistungsdiode und Leistungs- MOSFET zur Anwendung in einem Netzwerkssimulationsprogramm" (1993) werden die Simulationsmodelle verschiedener Leistungshalbleiter erstellt und zur Simulation vergleichende Messungen durchgeführt. Speziell über das Schaltverhalten der IGBTs wird in [Hut93] berichtet.

Ziele:

Ziel ist es, für Leistungen im Bereich 100kVA bis  $\approx$ 1MVA aus der bekannten Schaltungs-Vielfalt die günstigsten Umrichter herauszufinden.

Nach obiger Vorauswahl sind folgende zwei Schaltungs-Familien verblieben

- 1.) Umrichter mit konstanter Zwischenkreis- Spannung und einer resonanten Kommutierungs-Schaltung pro Phase nach [Mur89], [Wyk90] oder [Che90], die in der Literatur meist als "Resonant Pole Converter" bezeichnet werden ( oben in Bild 3) und
- 2.) Umrichter mit einer gleichspannungsseitigen, resonanten Kommutierungs- Schaltung nach [Div87], [Moh90], [Bor91], [Sal95] oder [Sul95], die in der Literatur meist als "Resonant DC- Voltage Link Converter" bezeichnet werden ( siehe Bild 3 Mitte).

Die „Resonant Pole“ - Umrichter sind aufgrund der pro Phase vorhandenen Kommutierungseinrichtung aufwendiger als die „Resonant DC- Link“ -Umrichter, aber sie haben den Vorteil, eine Pulsbreiten-Modulation wie bei hart geschalteten Umrichtern zu ermöglichen. Die aufwendigeren „Resonant Pole“ - Umrichter z.B. [Don90] (oben in Bild 3) sind daher im Prinzip im gesamten Leistungsbereich von sehr großen bis auch zu kleineren Leistungen hin einsetzbar.

Im Bereich kleinerer Leistungen ist sicherlich der aufwandsärmere „Resonant DC- Voltage Link“-Umrichter eine interessante Lösung. Völlig unklar ist dagegen, bis zu welcher oberen Leistungsgrenze der „Resonant DC- Voltage Link“ - Umrichter sinnvoll ist, d.h. ob und ggf. welche Probleme und Nachteile mit wachsender Leistung auftreten. Um diese Grenze auszuloten, sollen - unter vorläufiger Zurückstellung der „Resonant Pole“ - Umrichter - zunächst die „Resonant DC- Voltage Link“-Umrichter genauer untersucht werden.

Die Gruppe der „Resonant DC- Voltage Link“-Umrichter läßt sich aufteilen in:

- 2.1) Schaltungen, die andauernd Umschwingungen im Zwischenkreis ausführen und zeitdiskrete Steuerverfahren benötigen. Dabei sind Umschaltungen nur im Raster der Schwingungs-Periodendauer möglich.[Div87]
- 2.2) Schaltungen mit Summenlöschung, bei denen die Schwingung im Zwischenkreis nur zu den (weitgehend) frei vorgebbaren Zeitpunkten einer Umschaltung stattfinden. [Moh90], [Bor91], [Sal95], [Sul95]

Ausführlich wird Schaltung aus Gruppe 2.1) behandelt in „Sommer, R.: Der Active Clamped Resonant DC-Link Inverter - eine resonante Umrichterschaltung zur Frequenzumformung. Dissertation TU Berlin 1994“. Dabei zeigt sich, daß aufgrund der zeitdiskreten Steuerbarkeit unter idealen Bedingungen eine um den Faktor 6-8 erhöhte

Schaltfrequenz im Vergleich zu herkömmlichen PWM-Verfahren nötig ist, um eine vergleichbare Oberschwingungscharakteristik der Ausgangsspannungen des Umrichters zu erhalten. Berücksichtigt man die tatsächliche Wirkung des Schwingkreises auf die Ausgangsspannung, dann wird eine 8-10 fach höhere Schaltfrequenz erforderlich. Der Vergleich der Halbleiterverluste eines konventionellen, hart schaltenden PWM Wechselrichters zeigt, daß trotz einer um das 12-fache erhöhten Schaltfrequenz insgesamt geringere Halbleiterverluste anfallen, was eine höhere Ausnutzung der Halbleiter ermöglicht. Allerdings muß man sich bewußt sein, daß ein Teil der aus den Halbleitern verdrängten Verluste in den passiven Resonanzelementen zusätzlich auftritt.

Aufgrund der ständig mit hoher Frequenz ( $\approx 50$  kHz) in den Resonanzelementen schwingenden Energie und der Tatsache, daß beim schnellen Wechsel von Treiben auf Rückspeisen trotz einem Clamp-Faktor von 1,2 die IGBTs transient mit einer Spannung von  $\approx 1,8 \cdot U_{dc}$  beaufschlagt werden, scheint der Active Clamped Resonant DC-Link Inverter eher für den Bereich mittlerer und kleiner Leistung in Frage zu kommen.

Für Leistungen von einigen 100kVA kommen Schaltungen der Gruppe 2.2) mit Summenlöschung, bei denen die Schwingung im Zwischenkreis nur zu den frei vorgebbaren Zeitpunkten einer Umschaltung stattfinden, eher in Frage. Da die Schaltung [Moh91] drei IGBTs im Zwischenkreis benötigt, ist eine Konzentration auf die Schaltungen mit zwei IGBTs im Zwischenkreis [Bor91], [Sal95] und [Sul95] sinnvoll.

[Bor91] realisiert ZCS für alle Schalter. [Sal95] verwendet ZVS für die Schalter der Brücke und den unteren Schalter im Zwischenkreis während der obere stromlos ausschaltet (ZCS). Bei [Sul95] wird für alle Schalter ZVS angewandt.

## Literaturverzeichnis

|         |  |
|---------|--|
| [Bor91] | Bornhardt, K.: Neue GTO-Umrichter mit erhöhter Schaltfrequenz. Dissertation TH Darmstadt 1991  |
| [Bos91] | Bose, B.K.; Lai, J.S.: An Induction Motor Drive Using an Improved High Frequency Resonant DC-Link Inverter. IEEE Trans. on Power Electronics Vol 6, NO.3, July 1991, S.504-513   |
| [Che90] | Cheriti, A.; Al-Haddad; Dessaint; Meynard; Mukhedkar: A rugged soft commutated PWM-Inverter for AC-Drives, IEEE-IAS 1990, Seite 656-662  |
| [Cho91] | Cho, J; Coh, G.: Soft Switched Matrix Converter for High Frequency Direct AC- to AC Power Conversion. EPE Firenze, 1991 Seite 4-196 bis 4-200  |
| [Div86] | Divan, D.: The Resonant DC-Link Converter, A new concept in static power conversion. Conf. Rec. 1986 IEEE Ind. Appl. Society Annual meeting, S. 648-656  |
| [Div87] | Divan, D; Skibinski, G.: Zero Switching Loss Inverters For High Power Applications, IEEE-IAS Ann. Conference, 1987, S. 627-634   |
| [Div88] | Divan; Venkataramanan; de Doncker : Design Methodologies for soft switched Inverters. IEEE-IAS Ann. Meet. 1988, S.758-766  |
| [Don90] | De Doncker; Lyons, J.P.: The Auxiliary Resonant Commutated Pole Converter. IEEE/ Industry Application Annual Meeting 1990, Seite 1228 - 1235.  |
| [Fer92] | Ferreira, J.A.; van Ross, A.; van Wyck, J.D.: A Generic Soft Switching Converter Topology with a Parallel Nonlinear Network for High-Power Application, IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 7, Nr. 2, April 1992, S. 324-331. |
| [Ful88] | Fuld, B.: Thyristor Pulsstromrichter mit hoher Schaltfrequenz und geringen Verlusten". Dissertation TH Darmstadt 1988  |
| [Heu92] | Heumann, K; Sommer, R; Dehmlow, M: Resonant Inverter Systems for Drive Applications. EPE-Journal, Vol.2 No.4 December 1992, S.225-232  |
| [Heu96] | She, J.; Bober, G.; Heumann, K.: Comparison of Semiconductor Device Losses of 2.nd Generation MCT and IGBT in Hard Switched Inverter Systems. Power Conversion Conf. May 1996; S. 69- 75   |
| [Hiy95] | Hiyoshi, M.; Yangisawa, S.; Nishitani, K.; Kotake, K, Matsuda, H.; Termae, S.; Baba, Y. (Toshiba): A 1000A, 2500V Pressure Mount RC-IGBT. EPE '95, Sevilla, Seite 1.051 -1.055   |
| [Hut93] | Huth, S.; Winterheimer, S.: The Switching Behaviour of IGBT- Modules in Zero- Voltage Switch Applications EPE '93, Brighton, Seite 312 - 316   |
| [Kel91] | Keller, C.: Einsatzkriterien schneller abschaltbarer Leistungshalbleiter in Quasi-Resonanz-Umrichtern. Dissertation TU Berlin 1991   |
| [Kla87] | Klaassens: DC-AC Series-Resonant Converter System with high internal Frequency Generating multiphase AC Waveforms for Multikilowatt Power Levels. IEEE Trans. on Power Electr. Vol.2, No.3 July 1987, S.247-256                        |
| [Kla88] | Klaassens, J.; van Duivenbode, J.: Series-Resonant Energy Conversion with Multi-Segment Current Waveforms for Bipolar Energy Flow. PESC 1988 Conf. Rec. S.599-608  |
| [Kla91] | Klaassens, J.; de Beer, F.: Three-Phase AC-to-AC Series-Resonant Power Converter with reduced  |

|         |  |
|---------|--|
|         | number of Thyristors. IEEE Trans. on Power Electr. Vol.6, No.3 July 1991, S.346-355  |
| [Kla92] | Klaassens, J.; Bauer, P.: A novel control principle of parallel voltage link converters. IEEE- IAS Ann. Meeting Conf. 1992, Huston   |
| [Koß95] | Koß, J.; Protiva, F.: A 20kVA Auxiliary Resonant Commutatet Pole Converter. Design and practical Experiences. EPE Sevilla 1995. Seite 2.111 - 2.116  |
| [Las90] | Laska, B.: Untersuchungen der Schalteigenschaften von Leistungshalbleiterbauelementen mit Methoden der Bauelementesimulation und der Impulsmeßtechnik. Dissertation TH Darmstadt 1990                                  |
| [Lip87] | Lipo, T.; Sood, P.; Hansen, I.: A versatile Power Converter for High Frequency Link Systems. IEEE- PESC 1987 Seite 249-255   |
| [Lip89] | Lipo,T.; Caldeira, P.; Murai, Y.;Mochizuki, S.: Current Pulse Control of High Frequency Series Resonant DC Link Power Converter. IEEE -IAS Annual Confrence 1989, Seite 1024 - 1030                                    |
| [Lip92] | Lipo, T.; Caldeira, P.;Marischke, K.: Using the Series Resonant DC Link Converter as a Conditioning System for SMES. IEEE Trans. on Power Electronics Vol. 7, No.3, July 1992, S. 506 - 513                            |
| [Mar95] | Marcks, M: A New Double Resonant Zero Current Switching Matrix Converter. EPE Sevilla 1995 Seite 2-100 bis 2-105   |
| [Moh90] | Mohan, N.; He, J.; Wold, B.: Zero Voltage Switching PWM Inverter For High -Frequency DC-AC Power Conversion. IEEE -IAS Annual Confrence 1990, Seite 1215 - 1221  |
| [Moh91] | Mohan, N.; He, J.:Parallel Resonant DC Link Circuit - A Novel Zero Switching Loss Topology with minimum Voltage Stresses. IEEE Trans. on Power Electronics Vol 6, N0.4, October 1991, S. 687 - 694                     |
| [Mur89] | McMurray, W.: Resonant Snubbers with Auxiliary Switches. IEEE/IAS Anual Meeting Conference 1989 Seite 829 - 834  |
| [Sal95] | Salama, S.; Tadros, Y.: Novel Soft Switching Quasi Resonant 3-Phase IGBT Inverter. EPE 95, Sevilla, S. 2.095 -2.099  |
| [Sek95] | Seki, Y.; Takahashi, Y.; Koga, T.; Ichijoh, M.; Kirihata, H. (Fuji Electric): Power Pack IGBT: High Power (2.5kV, 1kA ) RC-IGBT with highly Reliable Flat Package. EPE 95 Sevilla (Keine Seitennummer da "late paper") |
| [Sku92] | Skudelny, H.; Protiwa, F.; Frey, T.: Comparison of Different Switching Modes in a 10KW High Frequency Step Down Converter using IGBTs. IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, 1992, 964-96                 |
| [Som94] | Sommer, R.: Der Active Clamped Resonant DC-Link Inverter - eine resonante Umrichterschaltung zur Frequenzumformung. Dissertation TU Berlin 1994.   |
| [Sul95] | Sul, K.; Kim, J.: Resonant Link Bidirectional Power Converter: Part I- Resonant Circuit. IEEE Trans. on Power Electronics Vol. 10, No.4, July 1995, S. 479 - 484   |
| [Tür95] | Türkes,,P.; Gerstenmaier, Y.; Franke, T.: The Reverse Behaviour of the NPT-IGBT in its ON-State. EPE '95, Sevilla, Seite 2.197 - 2.201   |
| [Win93] | Winternheimer, S.: Modellbildung von Leistungsdiode und Leistungs - MOSFET zur Anwendung in einem Netzwerkssimulationsprogramm. Dissertation TH Darmstadt 1993   |