

# DREIPHASIGER AUXILIARY RESONANT COMMUTATED POLE INVERTER MIT STROMZWISCHENKREIS UNTER DER VERWENDUNG VON IGBTs

N. Lescow

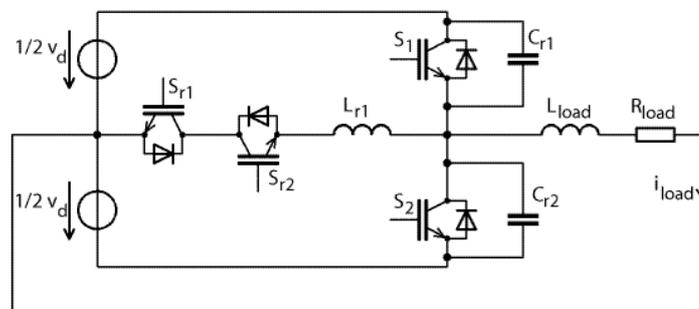
## 1 EINLEITUNG

Zur Reduzierung der Schaltverluste von Wechselrichtern werden resonante leistungselektronische Schaltungen verwendet. Das grundsätzliche Prinzip besteht darin, dass ein Schalter nur dann seinen Zustand ändert, wenn die über ihm abfallende Spannung oder der durch ihn fließende Strom nahezu Null ist. Im idealen Fall wird dies durch einen Vorzeichenwechsel der jeweiligen elektrischen Größe erreicht, der durch einen Resonanzkreis erzwungen wird. In vielen Ausarbeitungen wurden die verschiedenen Topologien klassifiziert und bewertet. Sämtliche Modelle können in drei Gruppen eingeteilt werden.

Der Auxiliary Resonant Commutated Pole Inverter (ARCPI) mit Stromzwischenkreis gehört zu der Klasse der Resonant Pole Inverter und wurde von McMurray in [1] zuerst genannt. Seine Topologie ist analog zu der des ARCPI mit Spannungszwischenkreis, der von DeDoncker und Lyons [2] vorgestellt wurde. Zum Nachweis der Funktion und zur Untersuchung der Schaltvorgänge wurde der erste dreiphasige ARCPI mit Stromzwischenkreis und IGBT als Leistungshalbleiter aufgebaut.

## 2 TOPOLOGIE UND SCHALTSEQUENZEN

Ausgehend vom bekannten ARCPI mit Spannungszwischenkreis (**Bild 1**) werden die Schaltvorgänge des ARCPI mit Stromzwischenkreis abgeleitet.



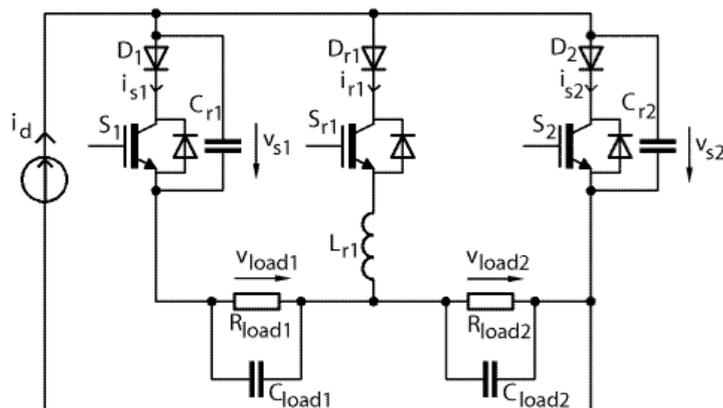
**Bild 1:** Kommutierungszelle des ARCPI mit Spannungszwischenkreis

Beim ARCPI mit Spannungszwischenkreis sind folgende drei Kommutierungsmodi möglich:  
*Modus 1:* Kommutierung eines hohen Laststroms von einem Schalter auf eine Diode ohne Hilfe des Resonanzkreises.

*Modus 2:* Kommutierung eines kleinen Laststroms von einem Schalter auf eine Diode mit Hilfe des Resonanzkreises.

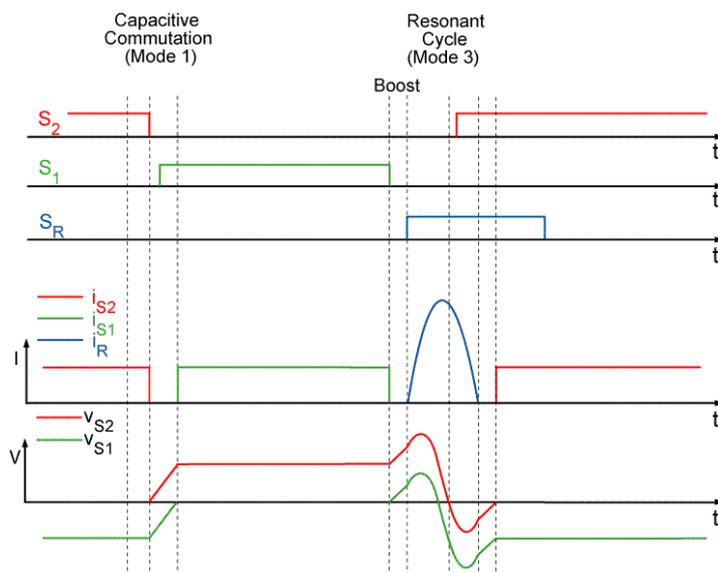
*Modus 3:* Kommutierung des Laststroms von einer Diode auf einen Schalter mit Hilfe des Resonanzkreises.

Die Kommutierungszelle des ARCPI mit Stromzwischenkreis, in **Bild 2** dargestellt, ist ähnlich zu der des ARCPI mit Spannungzwischenkreis.



**Bild 2:** Kommutierungszelle des ARCPI mit Stromzwischenkreis

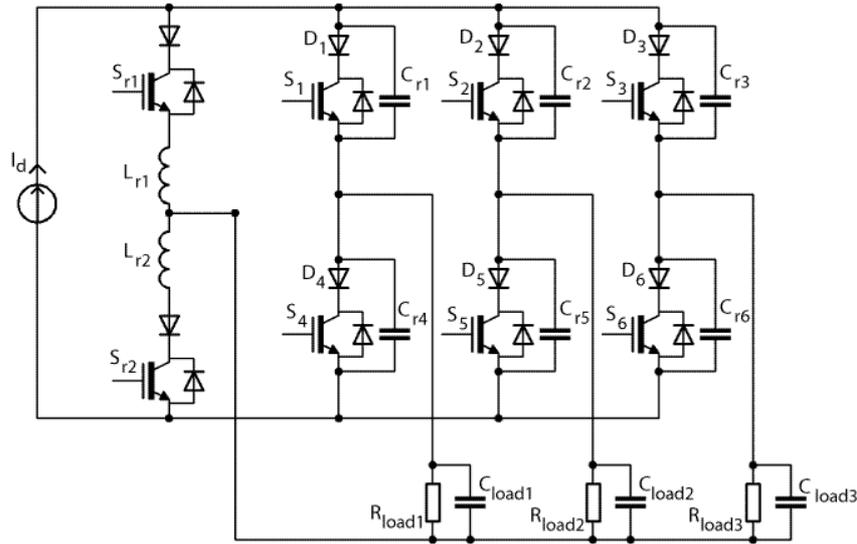
Sie enthält zwei Oberschalter und den Resonanzweig, der ohne bidirektionalen Schalter ausgeführt ist. Dadurch ist Kommutierungsmodus 2, der die kapazitive Kommutierung beschleunigt, nicht schaltbar. Jedoch sind die Umladezeiten bei Nennzwischenkreisstrom kurz genug, so dass dieser Modus nicht notwendig ist. Ein vollständiger Kommutierungszyklus ist in **Bild 3** dargestellt.



**Bild 3:** Kapazitiver und resonanter Kommutierungsprozess

*Modus 1:* Kommutierung von  $S_2$  nach  $S_1$ .  $S_1$  wird unter Nullspannungsbedingung eingeschaltet. Nach einer Schaltzeitverzögerung von etwa einer Mikrosekunde wird  $S_2$  unter Nullspannungsbedingung ausgeschaltet. Dieser Vorgang beschreibt eine einfache kapazitive Kommutierung.

*Modus 3:* Kommutierung von  $S_1$  nach  $S_2$  mit Hilfe des Resonanzzweigs.  $S_1$  wird unter Nullspannungsbedingung ausgeschaltet. Nach der Boostzeit wird  $S_{r1}$  unter Nullstrombedingung eingeschaltet. Die über den Resonanzkondensatoren durch den eingepprägten Zwischenkreisstrom steigende Spannung kann durch die Wahl der Boostzeit eingestellt werden, wenn alle Ober- und Unterschalter ausgeschaltet sind. Es wurde eine feste Boostzeit von 500 ns gewählt. **Bild 4** zeigt das elektrische Schaltbild der vollständigen Brücke.



**Bild 4:** Dreiphasiger ARCPI mit Stromzwischenkreis

Unter der Annahme idealer Bauelemente werden die Spannungsgleichungen der Resonanzkapazitäten und die Stromgleichung des Hilfskreises aufgestellt. Dabei kommutiert der Laststrom vom Schalter  $S_1$  im Modus 3 nach Schalter  $S_2$  oder  $S_3$ . Alle anderen resonanten Kommutierungen werden nach Vertauschen der Indizes auch durch diese Gleichungen beschrieben.

$$u_{Cr1} = (u_{\text{boost}} + u_{\text{load1}}) \cos(\omega t) - u_{\text{load1}} + I_D \sqrt{\frac{L_{r1}}{C_{r,\text{tot}}}} \sin(\omega t) \quad (1)$$

$$u_{Cr2} = (u_{\text{boost}} + u_{\text{load1}}) \cos(\omega t) - u_{\text{load2}} + I_D \sqrt{\frac{L_{r1}}{C_{r,\text{tot}}}} \sin(\omega t) \quad (2)$$

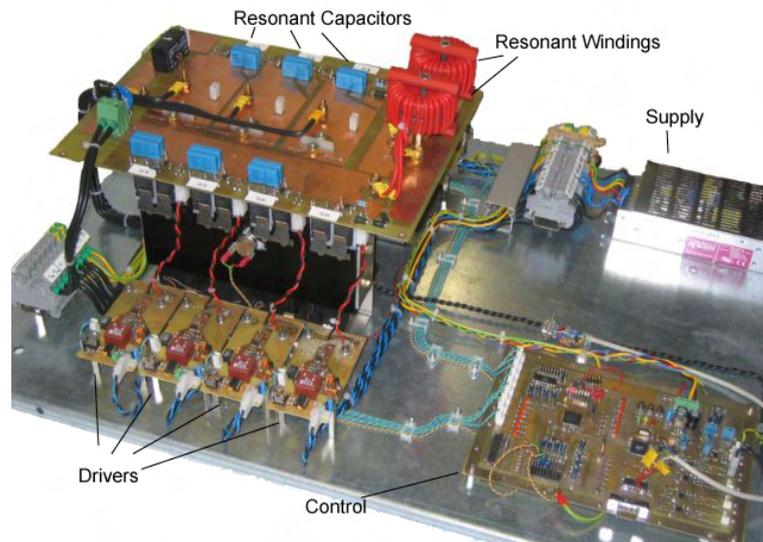
$$u_{Cr3} = (u_{\text{boost}} + u_{\text{load1}}) \cos(\omega t) + u_{\text{load3}} + I_D \sqrt{\frac{L_{r1}}{C_{r,\text{tot}}}} \sin(\omega t) \quad (3)$$

$$i_{Lr} = I_d (1 - \cos(\omega t)) + (u_{\text{boost}} + u_{\text{load1}}) \sqrt{\frac{C_{r,\text{tot}}}{L_{r1}}} \sin(\omega t) \quad (4)$$

Die Gesamtlast, die sich aus den Ausgangskapazitäten und der am Wechselrichter angeschlossenen Bürde ergibt, verhält sich im Bereich der Schaltfrequenz kapazitiv. Dadurch wird eine Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung hervorgerufen, die dazu führt, dass zeitweise eine Kommutierungsspannung mit umgekehrtem Vorzeichen anliegt. In diesem Fall wird die resonante Kommutierung zur kapazitiven und vice versa. Um diese Situation zu

detektieren, werden die drei Lastspannungen vor dem Kommutierungsprozess gemessen und das Vorzeichen der Kommutierungsspannung daraus berechnet.

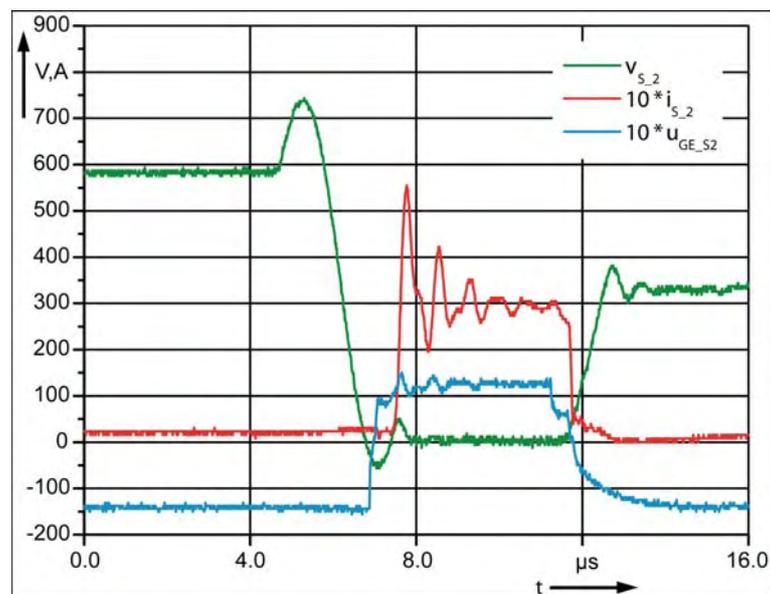
**Bild 5** stellt den aufgebauten Prototypen dar, mit dem die Funktionalität des propagierten resonanten Kommutierungszyklus verifiziert wurde und die im Folgenden gezeigten Spannungs- und Stromverläufe gemessen wurden.



**Bild 5:** Prototyp des dreiphasigen ARCPI mit Stromzwischenkreis

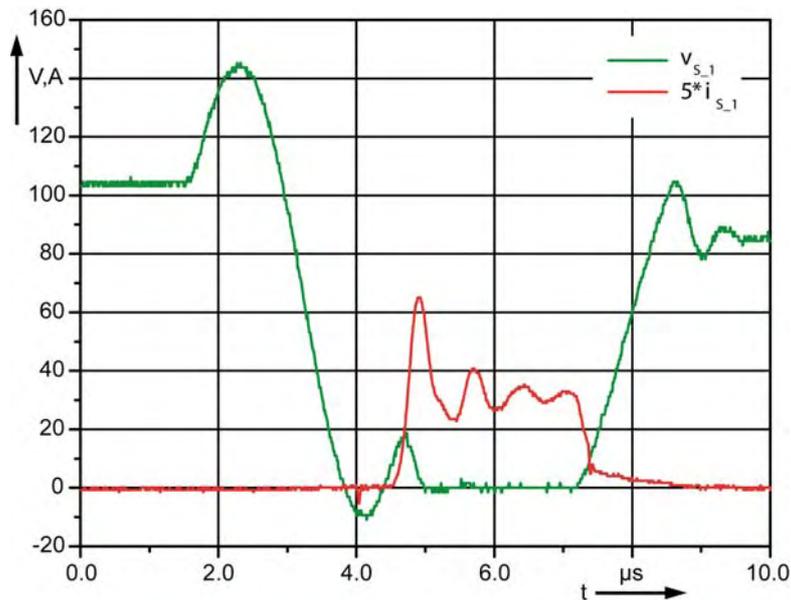
### 3 MESSUNGEN

**Bild 6** stellt eine resonante und eine kapazitive Kommutierung bei Nennbedingungen dar. Das Ergebnis zeigt bei der resonanten Kommutierung deutlich, dass beim Wechsel des Zustands des Schalters  $S_2$  die Spannung über der Schalter-Diodenkombination negativ ist. Auch die kapazitive Kommutierung verläuft mit sehr geringen Schaltverlusten.



**Bild 6:** Resonante und kapazitive Kommutierung bei Nennbetrieb

**Bild 7** zeigt eine Messung, bei der der Zwischenkreisstrom vom Nennwert 25 A um 80% auf 5 A verringert wurde. Das Messergebnis zeigt deutlich, dass mit der Schaltfolge auch dieser stark vom Nennbetrieb abweichende Zustand beherrscht wird.



**Bild 7:** Resonante Kommutierung bei einem Zwischenkreisstrom von 5 A

## 4 FAZIT

Zunächst wurde für einen ARCPI mit Stromzwischenkreis eine einfache Kommutierungszelle aufgebaut und getestet, im zweiten Schritt die vollständige B6-Brücke. Die Analyse der Kommutierungsvorgänge im Nennbetriebspunkt und stark davon abweichenden Zuständen ergaben zufrieden stellende Ergebnisse. Bei einer Schaltfrequenz von 7 kHz wurde ein Wirkungsgrad von 98% ermittelt.

## LITERATUR

- [1] W. McMurray: *Resonant Snubbers with Auxiliary Switches*, Proc. of IEEE-IAS Conference, pp. 355-362, 1993
- [2] R. W. De Doncker, J. P. Lyons: *The Auxiliary Resonant Commutated Pole Converter*, Proc. of IEEE-IAS Conference, pp. 1228-1235, 1990