

Umrichter mit ARCP-Schaltentlastung

A. Tareilus

Um die Forderung nach immer kompakteren Leistungsstellgliedern erfüllen zu können, sind in den letzten Jahren vor allem auf dem Gebiet der Leistungshalbleiter erhebliche Verbesserungen bezüglich der Durchlaßeigenschaften und der Schaltgeschwindigkeiten erzielt worden.

Eine Möglichkeit zur Reduktion der Schaltverluste ist der Einsatz von immer schneller schaltenden Leistungsschaltern. Dies stößt jedoch zunehmend an Grenzen, da schnelleres Schalten gleichzeitig mit immer größeren Spannungssteilheiten an den Ausgangsklemmen verbunden ist.

Daraus resultierende EMV-Probleme durch Störabstrahlung erfordern immer aufwendigere Schirmungsmaßnahmen oder führen zum zunehmenden Einsatz von Filterschaltungen z.B. in Motorzuleitungen, um Überspannungen an der Motorwicklung zu verhindern.

Überlegungen, diese Probleme zu umgehen, führten zu sogenannten Resonanzumrichtern. Bei diesen Umrichtern werden die Schaltverluste dadurch reduziert, daß durch gezielten Einsatz von Induktivitäten und Kapazitäten Strom und Spannung beim Schalten zeitlich verschoben werden, so daß eine dieser beiden Größen immer Null ist. Beim Einsatz von Pulswechselrichtern bietet sich der Aufbau als ARCP(Auxiliary Resonant Commutated Pole)-Umrichter an. Am Institut wurde deshalb ein ARCP-Umrichter realisiert (zunächst als 4Q-Steller, später als 3phasiger Umrichter) um zunächst die prinzipielle Tauglichkeit nachzuweisen und dann in einem zweiten Schritt unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten mögliche Vereinfachungen zu erarbeiten.

Bild 1 zeigt den prinzipiellen Aufbau dieser Schaltentlastung am Beispiel eines herkömmlichen 4Q-Stellers, bei dem eine Halbbrücke mit ARCP-Entlastung und die andere Halbbrücke hartschaltend ausgeführt wurden. Um die Schaltentlastung zu realisieren, benötigt man pro Halbbrücke jeweils eine Umschwinginduktivität(L_h), zwei Hilfsschalter(S_{h1} , S_{h2}) und jeweils einen Kondensator(C_{h1} , C_{h2}) parallel zu jedem Hauptschalter.

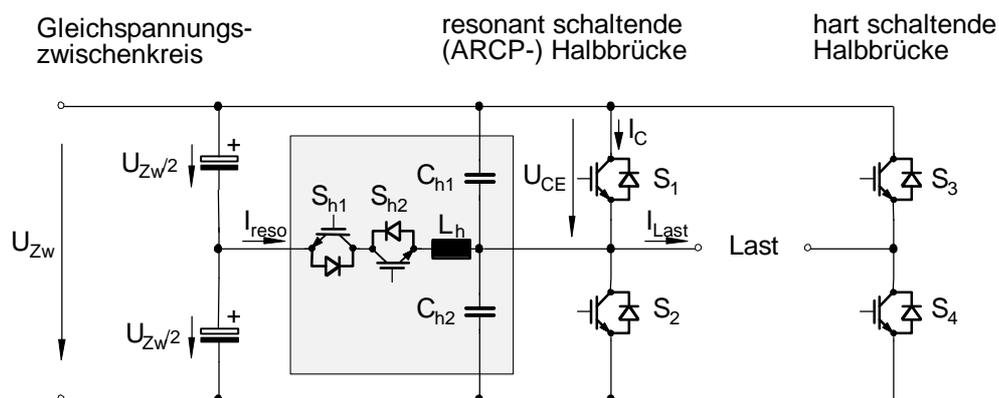


Bild 1: Prinzipschaltbild eines ARCP-Zweiges in einem 4Q-Steller

Die Funktionsweise dieser Schaltung besteht darin, daß mit dem Schaltsignal zum Schließen oder Öffnen des Hauptschalters S_1 bzw. S_2 zunächst die Hilfsschalter S_{h1} bzw. S_{h2} geschlossen werden. Im Reihenschwingkreis aus L_h und C_h fließt daraufhin ein Umschwingstrom, der zu einem Umladen der Kondensatoren $C_{h1,2}$ und damit verzögertem Ansteigen der Spannung über

den Hauptschaltern führt. Dieses Erzwingen eines spannungslosen Schaltzeitpunktes wird auch mit ZVS (**Z**ero **V**oltage **S**witching) bezeichnet, im Gegensatz zum ZCS (**Z**ero **C**urrent **S**witching), bei dem ein stromloser Schaltzeitpunkt erzwungen wird.

Die resultierenden Strom-/Spannungsverläufe beim hartschaltenden Umrichter und im Vergleich dazu beim ARCP sind in **Bild 2** und **Bild 3** am Beispiel eines Abschaltvorganges dargestellt. Bei der hartschaltenden Variante (**Bild 2**) überlappen Strom und Spannung, dementsprechend hoch sind die kurzzeitigen Verluste im Schalter (**Bild 4**), die als Wärme abgeführt werden müssen. Die Spannungssteilheit ist mit $4000\text{V}/\mu\text{s}$ schon sehr hoch und führt zu einer entsprechenden Überspannungsbelastung der Wicklungsisolationen durch Wanderwellen.

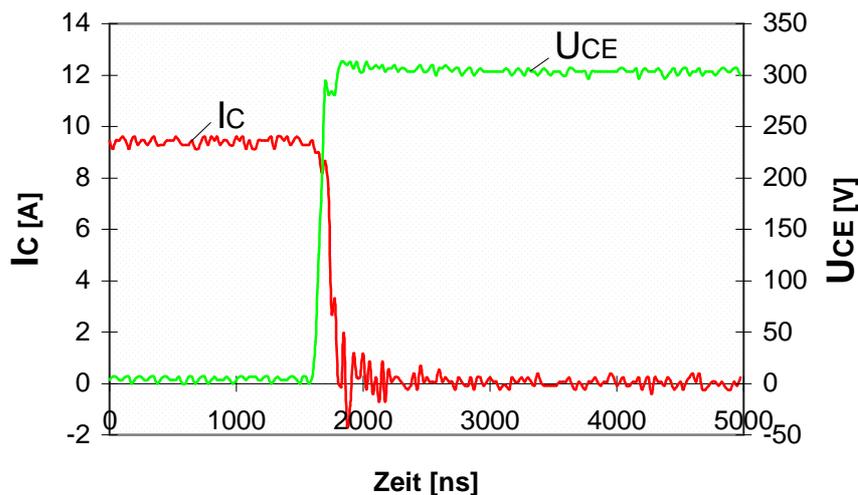


Bild 2: Gemessene Strom-/Spannungsverläufe beim harten Abschalten eines Leistungsschalters

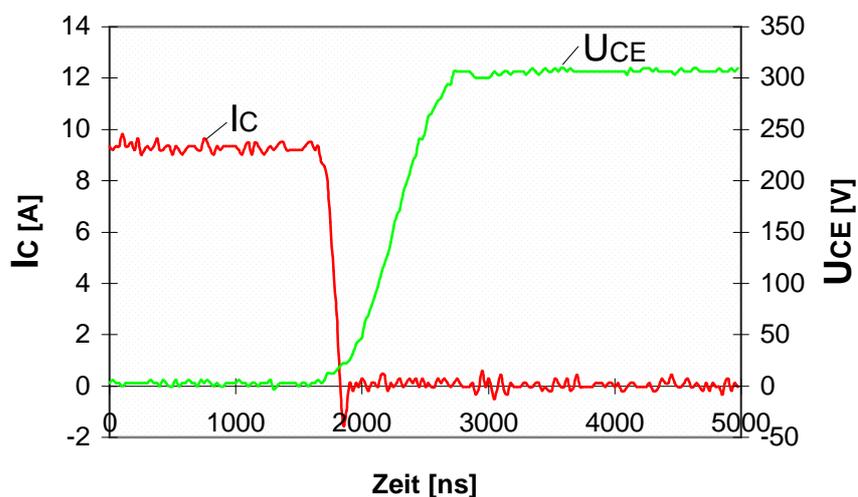


Bild 3: Gemessene Strom-/Spannungsverläufe beim Abschalten mit ARCP-Entlastung

Mit dem ARCP ergeben sich beim gleichen Abschaltvorgang die in **Bild 3** gezeigten Verläufe: Die nun entstehenden Schaltverluste P_v sind nahezu Null (**Bild 4**) und die Spannungssteilheit wurde um den Faktor 10 auf $400\text{V}/\mu\text{s}$ reduziert.

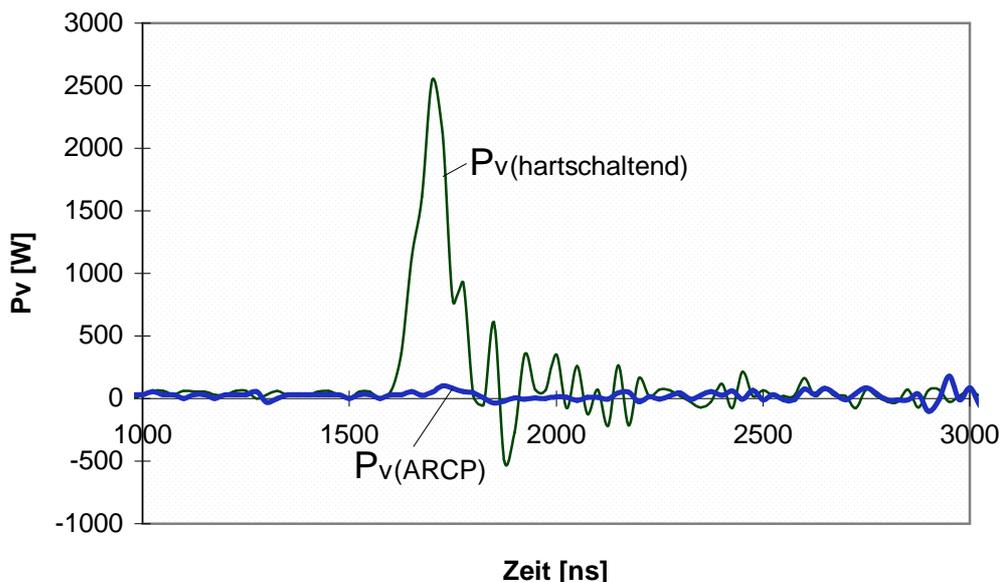


Bild 4: Schaltverlustleistung bei hartem und bei entlastetem Abschalten

Der ARCP erfüllt in dem realisierten Projekt außerdem die Forderung, daß die resonante Schaltentlastung keine Beschränkungen bezüglich der Schaltzeitpunkte verursachen soll - der Vorteil einer hohen Stromgüte aufgrund einer hohen erzielbaren Taktfrequenz würde sonst möglicherweise zunichte gemacht. Dies wird verhindert, indem als Umschwingzeitraum, der zum Umladen der Resonanzkondensatoren $C_{h1,2}$ benötigt wird, genau die Totzeit verwendet wird, die Zeit also, in der beide Schalter einer Halbbrücke sowieso geöffnet sind.

Den oben beschriebenen Vorteilen steht als Hauptnachteil der relativ große, zusätzliche Bauteileaufwand gegenüber. Diese Mehrkosten können zum einen durch Energieeinsparungen mit einem ARCP gegengerechnet werden - weshalb hauptsächlich hochfrequent taktende Umrichter mit entsprechend hohem Einsparpotential als Einsatzgebiet in Frage kommen. Weitere Einsparmöglichkeiten ergeben sich, wenn durch Einsatz eines ARCP auf Wechselrichter-Ausgangsfiler oder isolationsverstärkte Maschinenwicklungen verzichtet werden kann.

Der steuerungstechnische Aufwand beim ARCP ist relativ komplex, da die Schaltzeitpunkte für die Hilfsschalter bezogen auf das Schaltsignal für die Hauptschalter laststromabhängig variieren müssen. Diese Problematik konnte bei dem Versuchsmodell gelöst werden, indem pro Halbbrücke ein Logikbaustein eingesetzt wird, der den (bei den meisten Anwendungen ohnehin vorhandenen) Meßwert des Laststroms auswertet und die entsprechenden Schaltsignale für die Hilfsschalter generiert.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß der ARCP prinzipiell sehr gute Möglichkeiten bietet, Schaltverluste bei Pulsurrichtern zu beseitigen, bei gleichzeitiger Verbesserung des EMV-Verhaltens. Der steuerungstechnische Aufwand kann durch Einsatz von programmierbaren Logikbausteinen auf minimale Hardware reduziert werden. Allein der Bauteileaufwand für die Elemente des Resonanzkreises begrenzt den Einsatzbereich auf Sonderanwendungen, so daß weitere Untersuchungen die Minimierung dieses Bauteileaufwandes zum Ziel haben werden.