



Urs  
Fischli

Student	Urs Fischli
Examinator	Prof. Dr. Michael Schueller
Themengebiet	Energy and Environment
Projektpartner	B&R, Frauenfeld, Thurgau

## Design und Optimierung eines Filters zur Dämpfung von Spannungstransienten am Motor

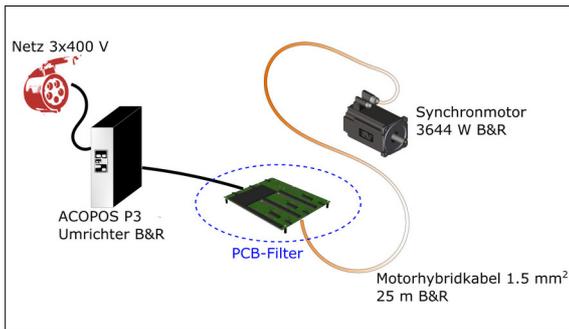


Abbildung 1: Gesamtübersicht System.  
Eigene Darstellung

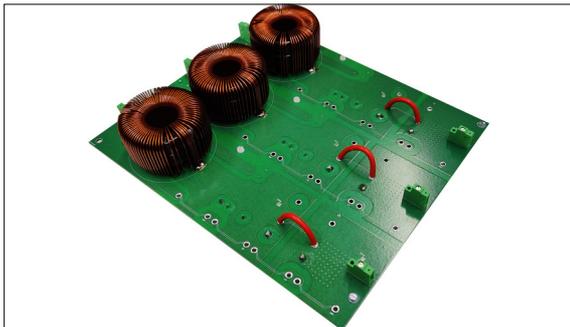


Abbildung 2: Hardware Filter.  
Eigene Darstellung

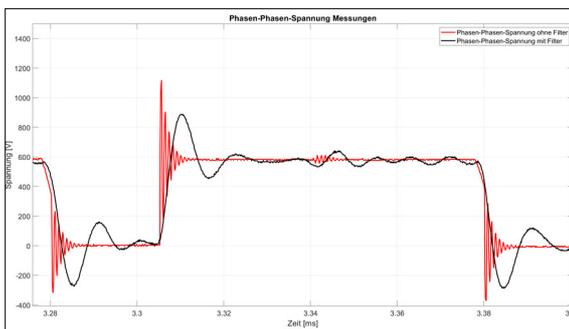


Abbildung 3: Gemessene Schaltflanken am Motoreingang mit und ohne Filter.  
Eigene Darstellung

**Ausgangslage:** Neue Halbleiterschalter können immer schneller schalten und erzeugen so oft steilere Schaltflanken. Werden diese Schalter bei einem Umrichter zur Ansteuerung eines Motors verwendet, können aufgrund eines zu langen Kabels zwischen Umrichter und Motor hohe Spannungstransiente der Schaltflanken am Motoreingang entstehen. Dies kann die Motorisolation beschädigen und ist daher unerwünscht. Eine Lösung für dieses Problem sind Sinusfilter. Diese filtern das pulsweitenmodulierte (PWM) Signal so stark, dass daraus ein Sinus generiert wird. Sinusfilter benötigen aber viel Platz und sind teuer. Ein weiterer Lösungsansatz ist ein Filter welches nicht das komplette PWM Signal filtert, sondern lediglich die Schaltflanken dämpft. Dabei spricht man von sogenannten  $dV/dt$ -Filter. Dadurch sollen vorgegebene Normen eingehalten werden. Eine Gesamtübersicht ist in Abbildung 1 gegeben. Der Einsatz des Filters soll dazu führen, dass ungeschirmte Kabel für die Speisung des Motors verwendet werden können.

**Vorgehen:** In einem ersten Schritt wird das gesamte System in einer PLECS-Simulation modelliert. Simuliert werden der Inverter des Umrichters, das Anschlusskabel und der Motor. Anschlusskabel und Motor werden als konzentrierte RLC-Elemente dargestellt. In einem zweiten Schritt wird mit Hilfe von Simulationen und analytischer Berechnung ein aus ebenfalls RLC-Elementen bestehendes Filter spezifiziert, welches zwischen Inverterausgang und Kabel eingesetzt werden kann. In dieser Arbeit wird eine spezifische Filtertopologie mit unterschiedlichen Dämpfungskonfigurationen untersucht. Dabei soll darauf geachtet werden, dass Kapazitäten und Induktivitäten in der gleichen Grössenordnung liegen, um eine möglichst kompakte Filterhardware zu erhalten. Zudem soll durch allfällige Dämpfungswiderstände kein grosser Effizienzverlust entstehen. Aus den Simulationen soll der platzsparendste und verlustärmste Filter auf einem printed circuit board (PCB) realisiert und getestet werden.

**Ergebnis:** Simulationen in PLECS zeigen, dass es ein Trade-off zwischen Effizienz und Grösse des Filters gibt. Je besser die Effizienz des Filters ist, desto grössere Induktivitäten müssten verbaut werden. Durch eine stärkere Gewichtung der Effizienz vergrössert sich der Platzbedarf des Filters. Deshalb wird das Filter mit den grössten noch zulässigen Off-the-Shelf-Induktivitäten realisiert. Die in dieser Arbeit entwickelte Hardware ist in Abbildung 2 zu sehen. Mit dem Filter-PCB ist es möglich, die Schaltflanken so zu dämpfen, dass sie der Norm entsprechen. Ein Vergleich zwischen Simulation und Messungen zeigt, dass mit Hilfe von Simulationen gute Abschätzungen über das Filter gemacht werden können. Die Simulationen zeigen eine schlechtere Dämpfung als es in der Realität gemessen wurde. Der Grund dafür ist, dass in Realität weitere Dämpfungswiderstände in Form von Übergangswiderständen der Steckverbindungen zwischen Inverterausgang und Motor auftreten und so die Schaltflanken zusätzlich dämpfen. Die Messungen der Schaltflanken mit und ohne Filter sind in Abbildung 3 ersichtlich. Das Ergebnis zeigt aber auch Potenzial für weitere Optimierungen in der Effizienz und der Grösse des Filters. Andere Filtermethoden eröffnen die Möglichkeit für weitere Untersuchungen. Das Filter-PCB wurde so konstruiert, dass weitere Filterarten umgesetzt und getestet werden können.