

Regelung mit Mikrocontroller

Leistungsfaktorkorrektur am Dreiphasennetz

Die Notwendigkeit der Leistungsfaktorkorrektur besteht nicht nur bei ein-, sondern auch bei dreiphasigen Systemen. Hier ist eine Leistungsfaktorkorrektur jedoch noch weit davon entfernt als Standard bezeichnet zu werden.

Da heute viele Verbraucher, die an ein Stromnetz angeschlossen sind, einen nicht sinusförmigen Strom aus dem Netz entnehmen, ist das betreffende Stromnetz durch Blindströme stark belastet und der Leistungsfaktor sehr gering.

$$\text{Leistungsfaktor} = \frac{\text{Wirkleistung}}{\text{Scheinleistung}}$$

Um den Leistungsfaktor zu steigern ist es notwendig, den aus dem Netz entnommenen Strom mit der Form und der Phase der Netzspannung in Einklang zu bringen. Dies bedeutet bei einem sinusförmigen Spannungsverlauf auch einen sinusförmigen Strom aus dem Netz zu entnehmen.

Bei einphasigen Systemen ist bereits eine Vielzahl von Lösungen verfügbar, um den Leistungsfaktor zu maximieren. Die Notwendigkeit der Leistungsfaktorkorrektur besteht jedoch nicht nur bei ein-, sondern auch bei dreiphasigen Systemen. Hier ist eine Leistungsfaktorkorrektur jedoch noch weit davon entfernt als Standard bezeichnet zu werden. Dies hat die Firma SYKO Gesellschaft für Leistungselektronik mbH sich zum Anlass genommen, in diese Richtung zu forschen. Die mit dem Preis, der Professor-Döhner-Stiftung der Hochschule Darmstadt, ausgezeichnete Diplomarbeit, mit dem Titel „Entwicklung einer dreiphasigen Leistungsfaktorkorrekturschaltung“, befasst sich neben der Entwicklung der

Hardware auch mit der digitalen Regelung dieses Frontendgerätes.

Einsatzgebiete

Im Laufe der Diplomarbeit sind mehr und mehr mögliche Einsatzgebiete im Kompetenzbereich des SYKO-Verbundes aufgetreten. So soll zum Beispiel ein Batterielademanagementsystem, für das Laden der 24V Bordnetz-Akkus ab der 3Ph-Generator-Spannung auf Hybridfahrzeugen, mit der neuen Technik kombiniert werden. Leider bedeutet dies einen Mehraufwand bei der Verdrahtung (4 statt 2 Kabel). Mit zunehmendem Marktanteil von Hybridfahrzeugen wird dieses Konzept, zur Steigerung der Effizienz, zwingend an Bedeutung gewinnen.

Aber auch Geräte die bereits jetzt im Einsatz sind, können mittels dieser Frontendstufe nachgerüstet bzw. neu entwickelt werden. Es ist geplant diese modulare Vorstufe mit beliebigen Wandlertopologien zu kombinieren. Dies wird die maximale Flexibilität für den Einsatz der dreiphasigen PFC-Schaltung gewährleisten.

Die Simulation der Regelung mit PSpice ist bei der Entwicklung des Regelungskonzepts ein entscheidendes Kriterium gewesen. Durch die Simulation wurden Fehler in der Regelung schnell aufgedeckt und behoben, was den Entwicklungsprozess deutlich beschleunigte.

Digitale Regelung

Die analoge Regelungstechnik wird von SYKO beherrscht, ist sehr materialaufwändig aber funktioniert zuverlässig. Doch ist die Zukunft der Regelungstechnik zweifelsfrei in modernen Mikrocontrollern zu suchen. Aus diesem Grund wurde die Regelung bei dem hier vorgestellten Frontendgerät digital realisiert und von einem Mikrocontroller der Firma Texas Instruments aus der TMS320C2000 Serie übernommen.

Um die Übertragbarkeit von analogen Regelkreisen auf digitale Regelkreise zu beweisen, wurde das für analoge Regler entwickelte Regelungskonzept nahezu eins zu eins auf den Mikrocontroller übertragen. Der Regelalgorithmus bietet allerdings noch zahlreiche Optimierungsmöglichkeiten und unterliegt deshalb einer kontinuierlichen Weiterentwicklung durch SYKO. Die Vorteile dieser digitalen Regelung liegen u.a. in der hohen Flexibilität mit der die Regelparameter angepasst werden können. Während des Betriebs können ganze Parametersätze ausgetauscht werden, um auf verschiedene Belastung individuell reagieren zu können und immer ein optimales Ergebnis zu erzielen. Ein weiterer Vorteil ist die Reproduzierbarkeit des Reglers ohne die von der Analogtechnik bekannten Bauteiltoleranzen. Auch Alterungserscheinungen der Reglerbauelemente müssen bei digitalen Reglern nicht berücksichtigt werden, was die zuverlässige Funktion der Regler nach langem Einsatz und über weite Temperaturbereiche gewährleistet.

Um die Stellwerte für die PWM zu erhalten, werden je ein Phasenstrom und die Zwischenkreisspannung benötigt. Ein Stellwert errechnet sich wie folgt:

$$((k \cdot U_s - k \cdot U_{ZK}) \cdot \sin(\omega t) - k \cdot i_p) = e$$

$$e \cdot K_p + e \cdot K_I + I = Y$$

k = Korrekturfaktor

U_s = Referenzspannung

U_{ZK} = Zwischenkreisspannung

i_p = Phasenstrom

e = Regeldifferenz

K_p = Proportionalverstärkung

K_I = Integralverstärkung

Y = Stellwert

I = Integralanteil

Da der Mikrocontroller bereits für die Regelung ein Abbild der Phasenströme sowie ein

▶ AUTOREN



Dipl.-Ing. Reinhard Kalffhaus ist geschäftsführender Gesellschafter der SYKO Gesellschaft für Leistungselektronik mbH, Mainhausen und Dipl.-Ing. (FH) Christoph Rachor ist im Bereich Entwicklung des Unternehmens tätig.



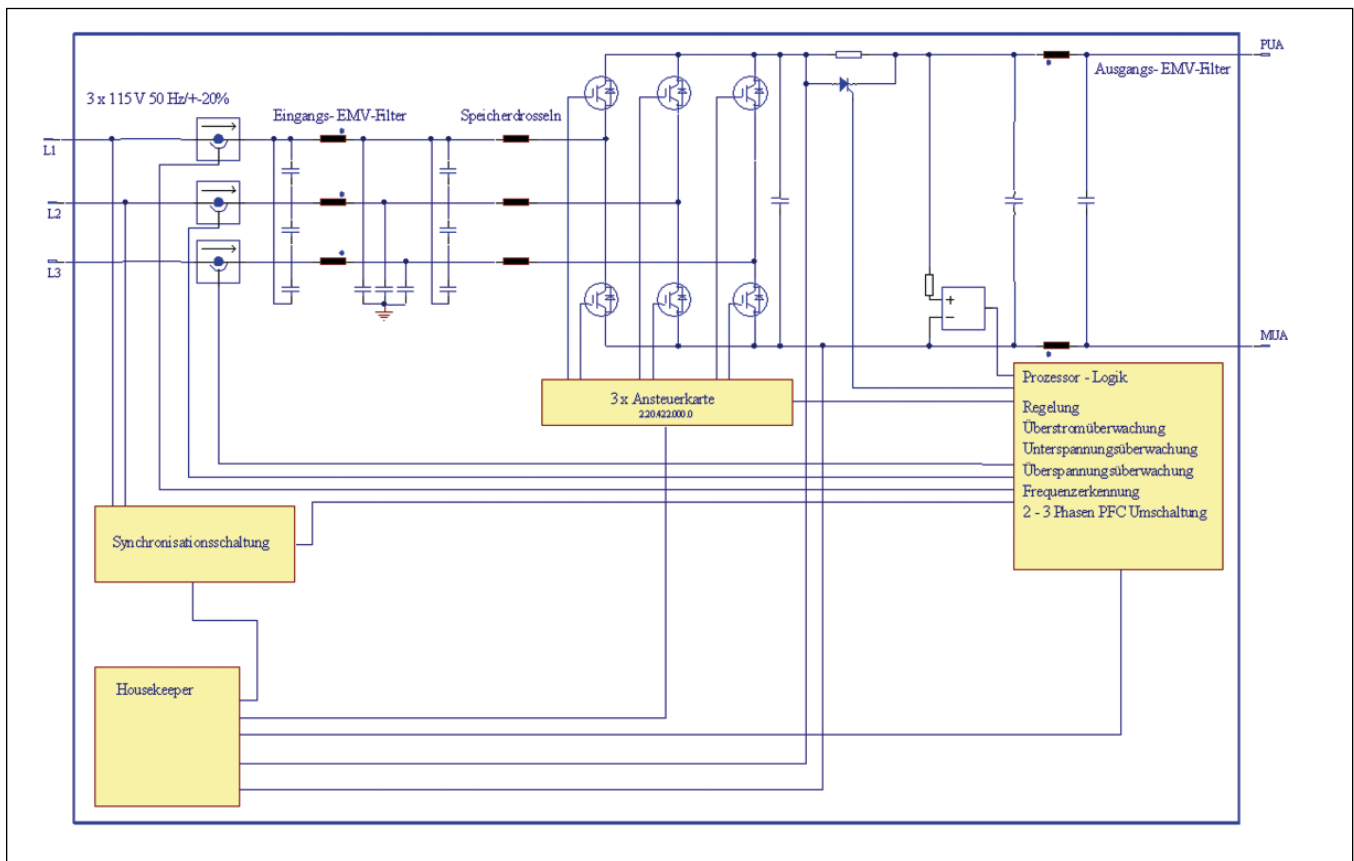


Bild 1: Frontend zur Leistungsfaktorkorrektur am Dreiphasennetz. Vom Leistungsteil abgesehen wurde für die Versorgung des Mikrocontrollers, der Peripheriegeräte und Hilfsschaltungen, ein „Housekeeper“ ab der DC-Zwischenkreisspannung auf der Platine integriert.

Abbildung der Ausgangsspannung zugeführt bekommt, hat es sich angeboten, eine Überstromerkennung sowie eine Über- und Unterspannungserkennung digital zu realisieren. In einem Fehlerfall wird eine Abschalt routine ausgeführt, mit der die PWM-Signale deaktiviert und gegen unkontrolliertes Wiedereinschalten verriegelt werden. Um hohe Aufschaltströme auf den Zwischenkreiskondensator zu vermeiden wurde auch ein Sanftanlauf in der Hardware sowie in der Software integriert. Dies garantiert ein netzfreundliches Aufschalten des Geräts. Die Anforderungen an die Schaltung ab einem 115V/3Ph/60-Hz-Netz liegen bei mehr als 1000W Ausgangsleistung, es wird dabei ein Strom von über 3A entnommen. Nach ersten Tests liegt der Leistungsfaktor bei 0,995 und der Wirkungsgrad bei 96% was die an das System gestellten Erwart-

tungen voll erfüllt. Vom Aufschaltzeitpunkt bis zum Erreichen der Betriebsbereitschaft vergehen maximal 250 ms. Die Basis für die Schaltung bildet eine IGBT-Brücke mit vorgeschalteten Speicherdrosseln und EMV-Filter. Üblich ist, dass Eingangsfiler Blindströme durch die X-Kondensatoren erzeugen. Da der Filteraufwand weitgehend unabhängig von der Eingangsfrequenz ist (Airbus 300 – 800 Hz), ist es gut, den Blindstrom in den X-Kondensatoren zu kompensieren. Diese Kompensation wird hier durch die Regelung der Dreiphasenbrücke erreicht.

Geringerer Schaltungsaufwand

Im Gegensatz zu der Topologie des „Vienna Rectifier“, mit der ebenfalls ein Leistungsfaktor in einem Dreiphasennetz erzeugt werden kann, hat die von SYKO

gewählte Topologie einen geringeren schaltungstechnischen Aufwand. Dies ermöglichte nicht nur eine kompakte Bauweise, sondern erlaubte auch das Gerät modular aus standardisierten Bauelementen zu fertigen.

Nach der Beendigung der Diplomarbeit wurde das Projekt weitergeführt und um die Funktionen der selbsttätigen Netzfrequenzerkennung und der Umschaltbarkeit zwischen zwei- und dreiphasigen Netzen erweitert. Mit diesen Erweiterungen ist es möglich das Gerät auch in Regionen einzusetzen, in denen die Netzfrequenz von den vorgegebenen 60 Hz abweicht. (jj)