

UMRICHTERSYSTEME MIT NEUEN SPEICHERKOMPONENTEN

A. Guetif

1 EINFÜHRUNG

Ein Verbundnetz ist ein nichtlineares instabiles System, das durch ständige Regeleingriffe stabil gehalten werden muss. Die entscheidenden Größen hierbei sind die Grundschiwingung der Spannung und die Frequenz, deren Werte sich allen Erzeugern und Verbrauchern über das Netz mitteilen. Solche Systeme sind besonders bei Überlast sehr stöempfindlich [1]. Eine größere Störungsunempfindlichkeit lässt sich durch den Einsatz von Energiespeichern erreichen.

Die bisher im Forschungsverbund Energie Niedersachsen (FEN) erarbeiteten Untersuchungsergebnisse lassen den Einsatz von Superkondensatoren zur Verbesserung der Netzqualität sinnvoll erscheinen. Auf Basis der Speisung des Gleichspannungszwischenkreises eines Umrichters, der zur Netzankopplung dient, soll eine elektrische Schnittstelle zwischen Superkondensator - mit je nach Energiezustand variabler Spannung - und Gleichspannungszwischenkreis des Umrichters mit möglichst konstanter Zwischenkreisgleichspannung konzeptionell untersucht werden.

2 ERGEBNISSE

2.1 Eigenschaften von Superkondensatoren

Superkondensatoren sind noch verhältnismäßig neue Bauelemente, die den Helmholtz-Effekt nutzen. Mit Hilfe von Materialien mit sehr großen aktiven Oberflächen (Aktivkohle) können so Kondensatoren mit Kapazitätswerten bis zu einigen 1000 F aufgebaut werden. Allerdings liegen die Spannungen bei ca. 2,5 ... 2,7 V und die spezifischen Kosten sind noch sehr hoch. Da hohe Zyklenzahlen und hohe Leistungen zu erwarten sind, könnten solche Elemente auch als Kurzzeitspeicher eingesetzt werden [2].

2.2 Konzeptuntersuchung bidirektionaler Hoch-Tiefsetzsteller

Superkondensatoren zeigen ihre Vorzüge in der Fähigkeit, eine sehr große Leistung bei mittleren Energiemengen bereitzustellen. Hieraus leitet sich eine günstige Anwendungsmöglichkeit dieser Energiespeicher in Topologien zur Verbesserung der Netzqualität ab. Die Aufgabenstellung bei der Verbesserung der Netzqualität bezieht sich zu einem großen Teil darauf, dem Netz für relative kurze Zeiträume (Millisekunden bis Sekunden) Wirk- und Blindleistung bereitzustellen.

Eine weitere Eigenschaft des Superkondensators ist, dass sich mit zunehmender Entladung die Spannung verringert. Zur Qualitätsverbesserung eines Netzes mit konstanter Spannung ist es daher erforderlich, eine Anpassung zwischen variabler Spannung des Pufferspeichers und konstanter Netzspannung vorzunehmen. Dies kann z. B. mit einem Hoch-Tiefsetzsteller erfolgen. Der Leistungsfluss muss hierbei bidirektional erfolgen können. **Bild 1** zeigt das Prinzipschaltbild einer solchen Netzanbindung von Superkondensatoren mit Hoch-Tiefsetzsteller (Wandler) und netzseitigem Umrichter (Netzankopplung).

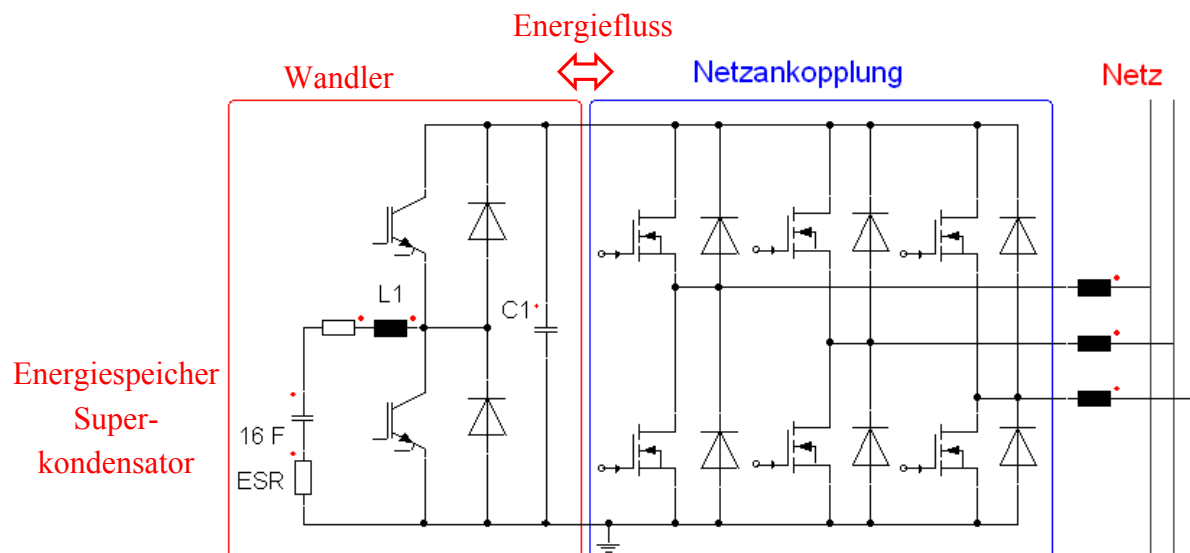


Bild 1: Anbindung von Superkondensatoren an das Netz

Der Kurzzeitspeicher aus Superkondensatoren besitzt folgende Daten:

- Kapazität: 16 F
- Spannung: 250 .. 500 V
- Lade-/Entladestrom: 150 A
- ESR (Equivalent Series Resistance): 72 mΩ
- nutzbarer Energieinhalt: 1,6 MWs

Dabei kann der Speicher 1,6 MWs Energie abgeben oder speichern, d. h. das Kompensieren einer Störung mit einer Leistung von beispielsweise 50 kW kann 32 Sekunden lang aus dem Superkondensator erfolgen.

Aufbau und Regelung des DC-DC Wandlers

Für den Betrieb des Hoch-Tiefsetzstellers wurden unterschiedliche Regelkonzepte erarbeitet und in einem Prüfaufbau (**Bild 2**) untersucht, bei dem netzseitige Störungen in Form von 50 V/50 Hz-Spannungsschwankungen nachgebildet wurden.

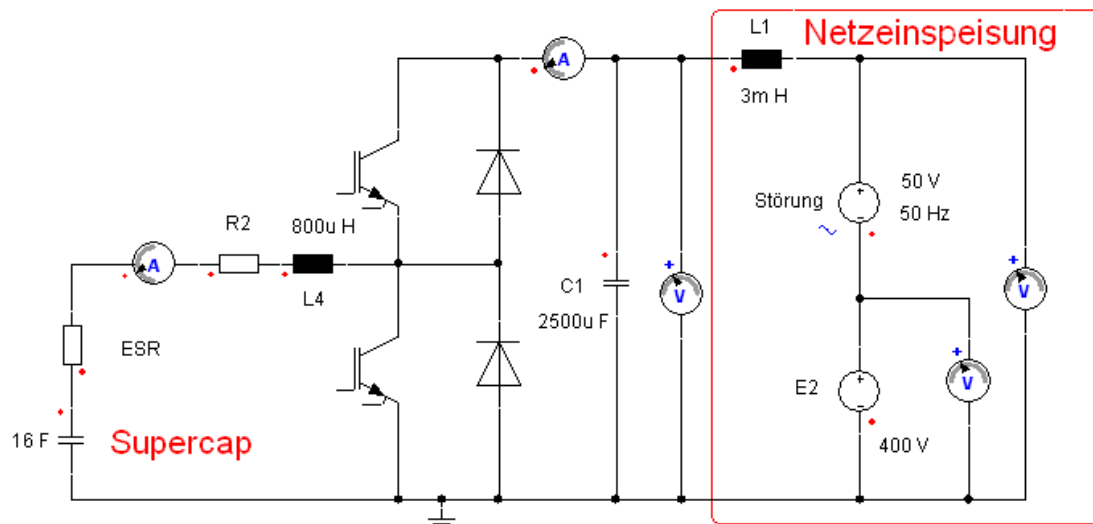


Bild 2: Simulationsmodell des bidirektionalen Hoch-Tiefsetzstellers mit Nachbildung einer 50 Hz/50 V-Netzstörung

Eine Simulation dieser Regelung zeigt, dass es möglich ist, die aufgrund der Netzstörung resultierende Schwankung der Zwischenkreisspannung auf ± 8 V zu begrenzen. Die Ergebnisse dieser Simulation sind in **Bild 3** und **Bild 4** dargestellt.

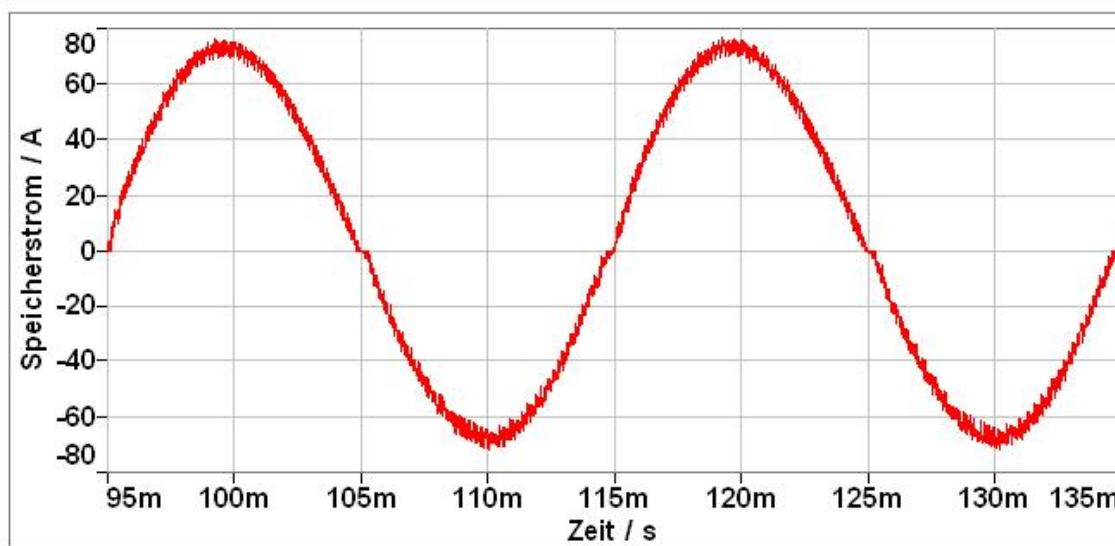


Bild 3: Stromverlauf in der Speicherdrossel bei einer 50 Hz/50 V- Netzstörung

Für die Regelung der Zwischenkreis-Spannung wurde zunächst ein digitaler Kaskadenregler eingesetzt. Ziel ist ein dynamischer Regler, der die Zwischenkreisspannung gegen die schnellen Störungen stabilisiert. Als Alternative wurde auch ein Analogregler für die Regelung der Zwischenkreis-Spannung erprobt. Mit diesem Regler wurde ein besseres Ergebnis erzielt, da die benötigte Rechenzeit für die Regelungsroutine halbiert werden konnte [3].

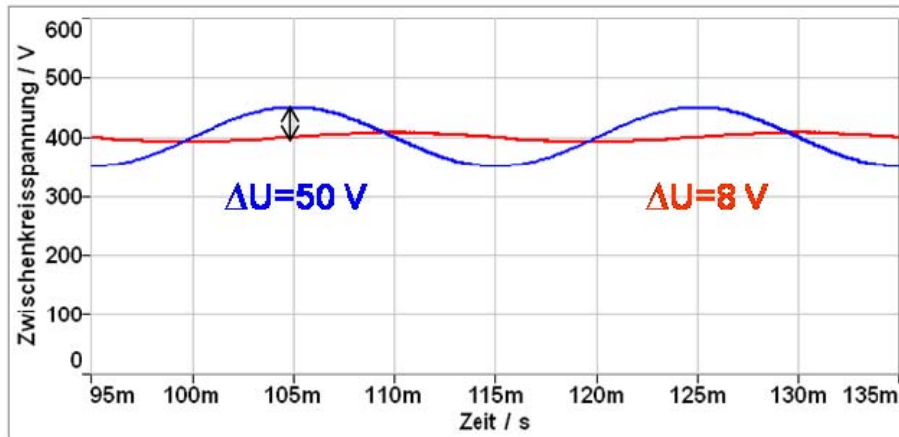


Bild 4: Zwischenkreis-Spannungsverläufe bei einer 50 Hz/50 V-Netzstörung

Bild 5 zeigt den Laboraufbau des verwendeten Superkondensators und den Prototypen des bidirektionalen Hoch-Tiefsetzstellers. Dieser Prototyp hat eine Nennleistung von 15...20 kW, die in der nächsten Entwicklungsstufe auf 50 kW erhöht werden soll.

Nach dem Aufbau und der Untersuchung der DC-DC Wandler soll anschließend ein Umrichterkonzept als Lösungsmöglichkeit zur Verbesserung der Netzqualität entwickelt werden.

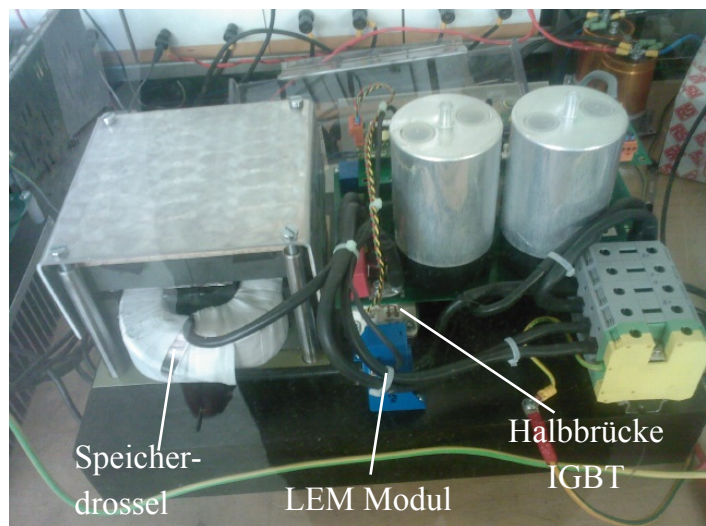


Bild 5: Laboraufbau, bestehend aus Superkondensatormodul 16 F/ 500V (links) und bidirektionalem Hoch-Tiefsetzsteller (rechts)

2.3 Untersuchung des Netzumrichters

Die Netzanbindung soll mit einem netzseitigen Pulswechselrichter erfolgen. **Bild 6** zeigt das Simulationsmodell des dreiphasigen Pulswechselrichters mit Netzfilter und Netznachbildung. Die Regelung und Steuerung des Wechselrichters soll eine hochdynamische Stabilisierung der Netzqualität gewährleisten. Aufgrund der guten dynamischen Eigenschaften und der Möglichkeit der Bereitstellung von Blind- und Wirkleistung, wird die Vektorregelung (FOR) favorisiert. Dieser Regler besteht aus einem Spannungsregler auf der Basis eines unterlagerten Stromreglers, der die momentanen Blind- und Wirkstromkomponenten unabhängig voneinander regelt.

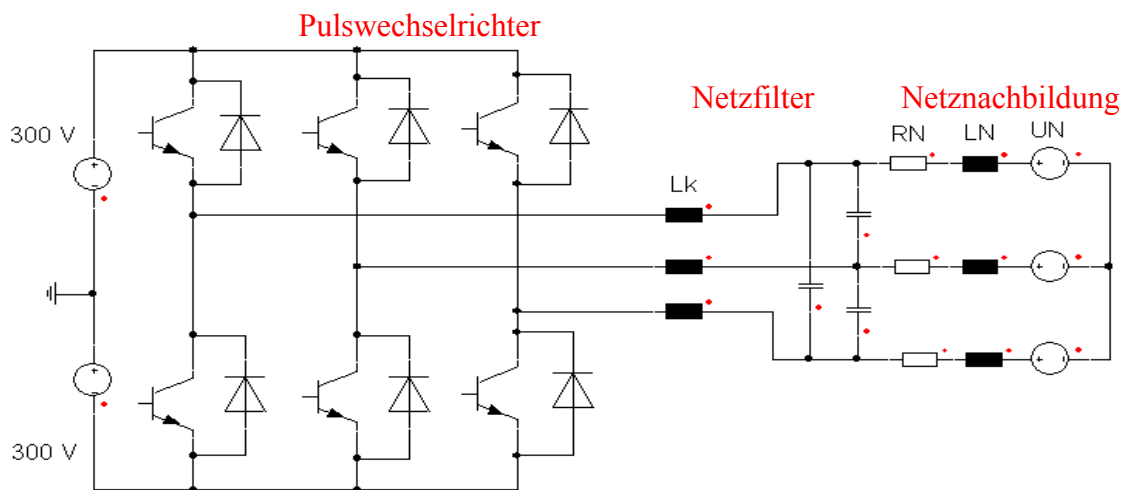


Bild 6: Dreiphasiger Pulswechselrichter mit Netznachbildung

Simulation der Vektorregelung eines Umrichters

Zur Berechnung der α - β Komponenten der gemessenen Ströme und Spannungen werden die 3 Phasenströme und -spannungen durch Transformation in ein rotierendes d-q Koordinatensystem umgewandelt [4] mit beispielsweise folgenden d-q-Stromkomponenten:

$$\begin{pmatrix} I_d(t) \\ I_q(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \omega t & \sin \omega t \\ -\sin \omega t & \cos \omega t \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} I_\alpha(t) \\ I_\beta(t) \end{pmatrix}$$

Die Komponente $I_d(t)$ entspricht dem Momentanwert des Blindstromanteils und $I_q(t)$ dem momentanen Wirkstromanteil.

Bild 7 zeigt das Gesamt-Flussdiagramm des Regelkreises. Die Ströme, die in den drei Phasen gemessen werden, sollen nach dem Ausregeln die Sollwerte $I_q\text{ Soll}$ und ($I_d\text{ Soll} = 0$) annehmen. Um die feldorientierte Regelung des Netzumrichters zu testen, wurde netzseitig ein Spannungseinbruch von 50 V pro Phase vorgegeben. Der Wechselrichter reagiert auf diese Störung, indem er einen 3-phasigen Strom ins Netz zurückspeist, um den Spannungseinbruch zu kompensieren.

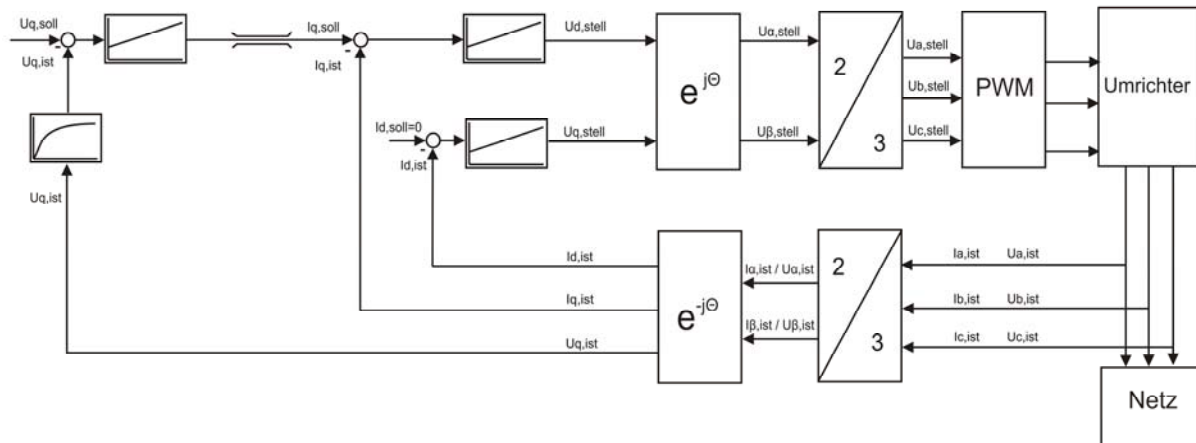


Bild 7: Gesamt-Flussdiagramm des Regelkreises

Bild 8 zeigt das Verhalten des Umrichters vor und nach Eintritt der Störung zum Zeitpunkt $t = 30$ ms. Ab diesem Zeitpunkt versucht der Wechselrichter die Netzspannungen auf den Wert $\hat{U}_{\text{Nenn}} = 325 \text{ V} - 8\%$ zu stabilisieren. Der Netzstrom beträgt in diesem Fall 60 A.

Neben dem Untersuchen des Verhaltens bei Spannungsschwankungen mit der Netzgrundfrequenz bietet das Simulationsmodell zusätzlich die Möglichkeit, die Regelung für den Betrieb an einem „weichen“ Netz sowie das Verhalten bei Netzstörungen in Form von Harmonischen (3., 5., 7., ...) zu optimieren.

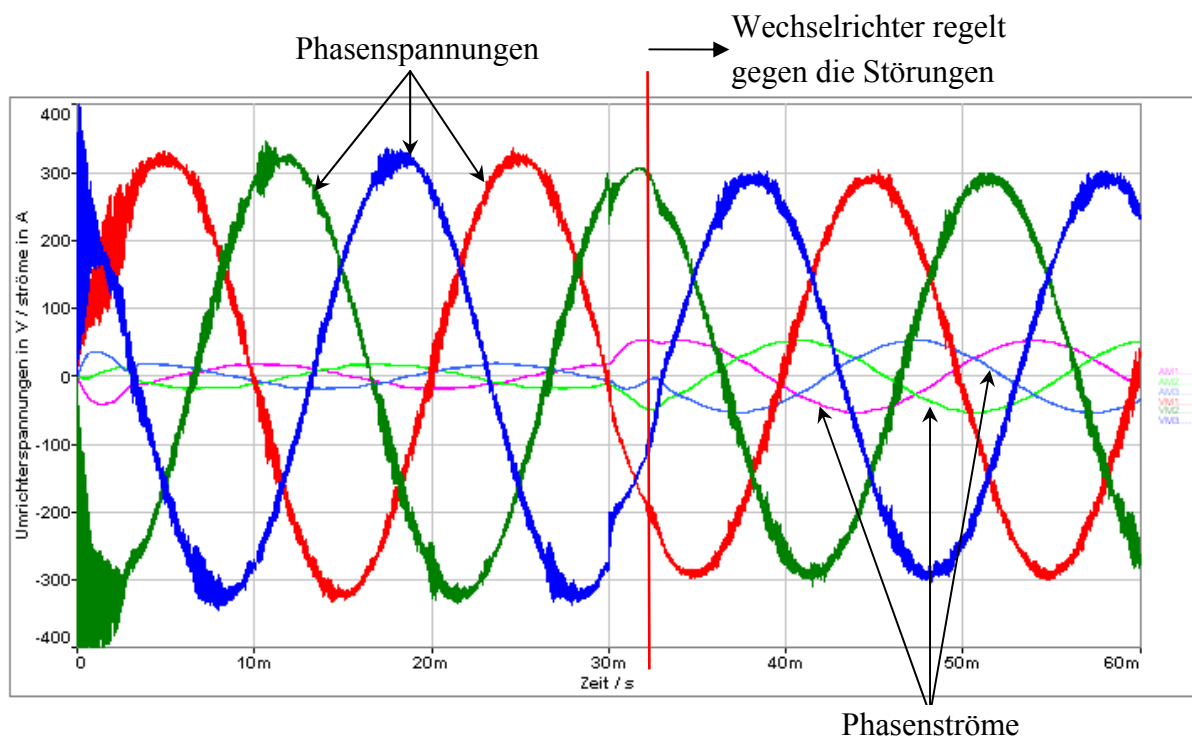


Bild 8: Ausgangsspannungen und Ströme des netzseitigen Pulswechselrichters (Taktfrequenz: $f_T = 20 \text{ kHz}$) bei einer Netzstörung

3 ZUSAMMENFASSUNG

Durch den Einsatz von Superkondensatoren kann das elektrische Netz gestützt und die Qualität der Stromversorgung verbessert werden, da sie den Ausgleich kurzzeitiger Spannungsschwankungen, Netzflicker und Oberschwingungen ermöglichen. Der Anschluss eines Superkondensators an einen netzseitigen Wechselrichter wurde über einen bidirektionalen Hoch-/Tiefsetzsteller und eine digitale bzw. zu Vergleichszwecken analoge Regelung realisiert. Mit Hilfe von Simulationen wurde die Regelung exemplarisch für das Ausregeln eines Netzspannungseinbruchs um 50 V untersucht und optimiert.

In einem nächsten Arbeitsschritt wird ein Umrichter zur Ankopplung an ein vorhandenes dreiphasiges 400 V / 50 Hz Netz aufgebaut und in Betrieb genommen.

LITERATUR

- [1] W.-R. Canders: *Klassifizierung von Energiespeichern*,
Technischer Bericht des IMAB, TU Braunschweig, 2007-2008
- [2] A. Guetif, J. Meins: *Belastungsmessungen an Superkondensatoren: Zyklen und Temperaturbeanspruchung*,
6. Braunschweiger Symposium „Hybridfahrzeuge und Energiemanagement“,
18. - 19.02.2009, Braunschweig, Germany
- [3] J. Meins, A. Guetif, M. Kurrat, H. Haupt: *Netzstützung durch Superkondensatoren und Batteriespeicher*,
ETG Kongress, 27. - 28.10.2009, Düsseldorf, Germany
- [4] F. Turki: *Entwurf und Ausführung einer microcontrollerbasierten Umrichtersteuerung mit feldorientierter Regelung und Raumzeiger-PWM zum Betrieb eines permanent-erregten Synchron-Windkraftgenerators*,
Diplomarbeit IMAB, TU Braunschweig, 2002