

## **4 Zusammenfassung**

In dieser Arbeit wurde ein Energiemanagementsystem für das Energy-Harvesting aus Vibrationen entwickelt und charakterisiert. Dieses Gesamtsystem lässt sich in die Bestandteile Gleichrichter, Speichermanagement und Lastmanagement untergliedern. Für die quantitative Bewertung der einzelnen Systemkomponenten wurden Sinusspannungen mit einer Frequenz von 15 Hz in einem Amplitudenbereich von 0,1 V bis 1,5 V am Gleichrichtereingang eingepreßt.

Der Gleichrichter wurde als B2U-Schaltung aus Schottky-Dioden realisiert. Dabei wurden zunächst Schottky-Dioden unterschiedlicher Hersteller verglichen und anhand des Verhaltens in Durchlassrichtung bewertet. Mit Hilfe der ermittelten Kennliniengleichung der ausgewählten Diode wurde der Brückengleichrichter zunächst simuliert. Die Simulationsergebnisse ließen erkennen, dass der Betrieb des nachfolgenden Speichermanagements möglich sein sollte. Zur Bestätigung der Simulationsergebnisse wurde die B2U-Schaltung aufgebaut und deren Wirkungsgrad analysiert. Der amplitudenabhängige Wirkungsgrad des realen Aufbaus liegt zwischen 10 % und 70 %.

Als Speichermanagement wurde der integrierte Schaltkreis bq25505 gewählt und über die äußere Beschaltung für den Anwendungsfall angepasst. Als Speicherelement wurden ein Elektrolytkondensator und ein Superkondensator gleicher Nennkapazität gewählt und untereinander verglichen. Die Untersuchungen der unterschiedlichen Ladearten „Kaltstart-Modus“ und geregelter Betrieb ergaben, dass ein Abfall in den „Kaltstart-Modus“ aufgrund der deutlichen Wirkungsgradverschlechterung in jedem Fall vermieden werden sollte. Zudem ist es für kurze Ladezeiten wichtig, dass die Spannung am „MPP-Tracker“ auf etwa  $V_{REF\_SAMP_{opt}}/U_a \approx 0,31$  eingestellt wird. Um das Verhalten der Speicherelemente bei längeren Zeiten ohne Energieeintrag zu untersuchen, wurden Selbstentladungsversuche durchgeführt. Diese ergaben, dass die Selbstentladung beim Elektrolytkondensator geringer ist.

Das Lastmanagement besteht im Wesentlichen aus dem integrierten Schaltkreis TPS62736. Dessen über einen Tiefsetzsteller geregelte Ausgangsspannung wurde durch die äußere Beschaltung auf 3,3 V gesetzt. Für eine Analyse der Entladevorgänge wurde das jeweils untersuchte Speicherelement aufgeladen und anschließend über einen am Ausgang des TPS62736 befindlichen Lastwiderstand entladen. Ein Vergleich der Entladezeiten ergab, dass die im Elektrolytkondensator gespeicherte Energie besser genutzt werden kann.

Um das Zusammenspiel aller Systemkomponenten zu bewerten, wurde das Verhalten des Gesamtsystems bei einer Amplitude von  $U_a = 1,5 V$  untersucht. Dabei wird das

vollständig entladene Speicherelement so lange geladen, bis die ohmsche Last 5 s mit einer Spannung von 3,3 V versorgt werden kann. Die Messungen ergaben, dass dafür beim Superkondensator etwa 27 min und beim Elektrolytkondensator ca. 35 min benötigt werden. Insgesamt zeigt sich, dass das Speicherelement in Abhängigkeit vom Anwendungsfall gewählt werden sollte. Ist im jeweiligen Anwendungsfall eine schnelle Ladung gefordert, ist das Speicherprinzip des Superkondensators im Vorteil. Liegen jedoch längere Phasen ohne Energieeintrag am Harvester vor, kann es von Vorteil sein einen Elektrolytkondensator als Speicherelement zu wählen.

Abschließend wurden Möglichkeiten diskutiert den Wirkungsgrad des vorgestellten Energiemanagementsystems zu erhöhen. Bei der auf dem Harvester befindlichen Spule sollte darauf geachtet werden, dass der Kupfer-Füllfaktor möglichst hoch ist. Anhand einer Simulation wurde das Potential eines Gleichrichters in M2U-Schaltung abgeschätzt. Dabei stellte sich heraus, dass diese Schaltung, speziell im Bereich niedriger Amplituden, den Wirkungsgrad um bis zu 20 % steigern könnte. Es gilt jedoch zu überprüfen, welchen Einfluss die höheren Sperrspannungen haben und ob die Spule mit höherer Windungszahl und Mittelpunktanzapfung am Harvester angebracht werden kann.