

6 Fazit und Ausblick

Mit dem nachgebauten selbstadaptiven Vibrations-Energy-Harvesting-System konnte das in der Literatur beschriebene Funktionsprinzip erfolgreich nachvollzogen werden. Das System passte seine Resonanzfrequenz zuverlässig an variable Umgebungsfrequenzen an und bestätigte damit die Fähigkeit zur autonomen Selbstadaptivität. Der experimentell ermittelte Frequenzbereich von 31.3 Hz bis 34.0 Hz sowie die daraus abgeleitete Mittenfrequenz von $f_{r,M} \approx 32.7$ Hz und Bandbreite $\Delta f_{AB} \approx 2.7$ Hz zeigen ein stabiles und reproduzierbares Verhalten, wenn auch mit reduzierter Amplitude gegenüber dem Referenzsystem von Mösch et al. Die Ursachen hierfür liegen hauptsächlich in geringfügigen mechanischen Abweichungen und der abgeschwächten Magnetisierung durch Alterung des verwendeten Magneten.

Die Energieverwaltung und Steuerung des Systems erwiesen sich als effizient. Im Standby-Modus wurde mit $I_{\text{stby}} = 1.2 \mu\text{A}$ ein sehr geringer Ruhestrom erreicht, während im aktiven Run-Modus kurzzeitig Ströme von bis zu 185 mA auftraten. Nach der Motorbewegung kehrt das System automatisch in den stromsparenden Zustand zurück, wodurch ein insgesamt energieeffizienter Betriebszyklus erzielt wird.

Das Gesamtergebnis bestätigt die Funktionsfähigkeit des selbstadaptiven Konzepts: das System ist in der Lage, seine Resonanzlage selbstständig nachzuführen und Energie aus variablen Schwingungsquellen effizient zu gewinnen. Damit erfüllt der Nachbau die zentralen Anforderungen eines autonomen und selbstregelnden Energy-Harvesting-Systems.

6.1 Ausblick

Für zukünftige Arbeiten bietet sich eine Optimierung des magnetischen Aktors und des Energiemanagements an. Durch den Einsatz von Magneten mit höherer Remanenz und verbesserter thermischer Stabilität könnte die Anpassungsbandbreite deutlich erweitert werden. Zudem wäre die Implementierung einer Strommessung während des Motorbetriebs sinnvoll, um sicherzustellen, dass der Motor stets ausreichend versorgt wird. Im aktuellen Aufbau kann es vorkommen, dass sich der Motor bei zu geringer Stromzufuhr im Code als „aktiv“ meldet, sich jedoch mechanisch nicht bewegt und dadurch den Referenzwinkel verliert. Eine Rückkopplung über den Motorstrom würde eine zuverlässigere Positionsüberwachung ermöglichen. Darüber hinaus könnte das System in eine IoT-Umgebung integriert werden, um Messdaten wie gewonnene Energie, Frequenz und Betriebszustände in Echtzeit zu erfassen und auszuwerten. Dies würde eine kontinuierliche Leistungsanalyse und eine adaptive Regelung unter realen Betriebsbedingungen erlauben.