

Posenschätzung für ein supraleiter-basiertes Schwebemodul

F. Geuss*, O. Sawodny

Institut für Systemdynamik, Universität Stuttgart, Waldburgstr. 19, 70563 Stuttgart

*Tel: +49 711 / 685-66309, E-Mail: ferdinand.geuss@isys.uni-stuttgart.de

Supraleiterbasierte magnetische Schwebesysteme nutzen den Flux-Pinning-Effekt in Typ-II-Supraleitern, um Permanentmagnete passiv und stabil in der Schwebelage zu halten. Im Gegensatz zu konventionellen elektromagnetischen Schwebesystemen wird – abgesehen von der Kühlung des Supraleiters – nahezu keine Energie benötigt, um den Schwebezustand aufrechtzuerhalten. Daher stellt supraleiterbasiertes Schweben eine vielversprechende Technologie für energieeffiziente berührungslose Transport- und Positioniersysteme dar.

Das betrachtete Schwebemodul wird durch einen entlang der Hochachse magnetisierten zylindrischen Permanentmagneten in der Schwebelage gehalten. Das Magnetfeld dieses Zylindermagneten ist rotationssymmetrisch, sodass das Schwebemodul nahezu kraftlos um die Hochachse gedreht werden kann, da keine Haltemomente des Supraleiters überwunden werden müssen. Durch Wechselwirkungen zwischen stationären elektromagnetischen Spulen mit im Schwebemodul integrierten Permanentmagneten können zudem Kräfte und Momente auf das Schwebemodul ausgeübt werden [1]. Dadurch werden sowohl die Kompensation äußerer Störungen als auch eine gezielte Positionierung des Schwebemoduls ermöglicht. Für eine solche Regelaufgabe wird die exakte Pose des Schwebemoduls benötigt, sodass ein präziser Posenschätzer von zentraler Bedeutung ist.

Basierend auf Messwerten des Magnetfelds mittels stationären Hall-Effekt-Sensoren wird die Pose des Schwebemoduls mithilfe eines Unscented Kalman Filter (UKF) [2] bestimmt. Bei einem UKF werden Prädiktion und Korrektur durchgeführt, indem eine Verteilung von Sigma-Punkten um die jeweils letzte Zustandsschätzung durch das nichtlineare Systembeziehungsweise Beobachtungsmodell propagiert wird.

Das dafür verwendete Systemmodell besteht aus einem vereinfachten Starrkörpermodell, das neben den elektromagnetischen Kräften und Momenten als Stellgrößen primär die Wechselwirkungen zwischen Supraleiter und Permanentmagnet berücksichtigt. Diese Wechselwirkungen werden durch eine gekoppelte nichtlineare Feder modelliert. Bei Drehungen um die Hochachse treten keine rückstellenden Kräfte oder Momente durch den Supraleiter auf. Die Bewegung wird jedoch durch Wirbelströme gedämpft, die in den Spulen und im Unterbau induziert werden. Die nichtlinearen Federkennlinien sowie das Bremsmoment werden experimentell bestimmt.

Zusätzlich müssen für eine präzise Posenschätzung die exakten Positionen und Orientierungen aller Hall-Effekt-Sensoren bekannt sein. Diese werden mittels nichtlinearer Optimierung auf Basis von Kalibrierungsmessungen, bei denen das Schwebemodul von außen präzise ausgelenkt wird, bestimmt.

Danksagung

Die Autoren danken der Festo SE & Co. KG für die finanzielle Unterstützung dieser Forschungsarbeit.

Literatur

- [1] Stammhammer M, Romdhane O, Schöttner M, Sawodny O. Semi-Analytical Lorentz Actuator Model for a Superconductor-Based 6-Degrees-of-Freedom Levitation System Exploiting Magnetization Periodicity. J Dyn Sys, Meas, Control. 2025;148(031010). doi:10.1115/1.4070590
- [2] Cichon D, Psiuk R, Brauer H, Töpfer H. A Hall-Sensor-Based Localization Method With Six Degrees of Freedom Using Unscented Kalman Filter. IEEE Sensors Journal. 2019;19(7):2509-2516. doi:10.1109/JSEN.2018.2887299