

Universität
Rostock



Traditio et Innovatio

Design and optimisation of accelerating cavity and higher-order mode couplers for the W, H and $t\bar{t}$ operating points of the Future Circular Lepton Collider

Dissertation

zur

Erlangung des akademischen Grades

Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.)

der Fakultät für Informatik und Elektrotechnik

der Universität Rostock

vorgelegt von

Sosoho-Abasi Udongwo, geboren am 21.06.1994 in Benin City, Nigeria
aus Rostock, Deutschland

Abstract

The Future Circular Lepton Collider (FCC-ee) is a proposed next-generation particle accelerator designed to operate at multiple energy points, including the Z , W , H , and $t\bar{t}$ thresholds. A key challenge in its design is the development of high-performance superconducting radio-frequency (SRF) cavities and effective higher-order mode (HOM) couplers to ensure efficient beam acceleration while mitigating beam instabilities.

This thesis focuses on the design and optimisation of accelerating cavities and HOM couplers tailored to the specific requirements of the W , H , and $t\bar{t}$ FCC-ee operating points. Advanced numerical techniques, including electromagnetic simulations and sensitivity analysis, are employed to refine cavity geometries and optimise HOM damping. Special attention is given to the interplay between cavity shape, quality factor, and impedance characteristics to achieve high accelerating gradients with minimal power losses.

Furthermore, the study explores different HOM coupler configurations to improve damping efficiency while ensuring practical integration into the accelerator lattice. The performance of these designs is evaluated using state-of-the-art simulation tools, with comparisons to existing cavity systems.

The results contribute to the development of high-efficiency SRF cavities and HOM couplers, providing key insights into their role in the FCC-ee design and operation.

Zusammenfassung

Der Future Circular Lepton Collider (FCC-ee) ist ein geplanter Teilchenbeschleuniger der nächsten Generation, der bei mehreren Energieniveaus betrieben werden soll, darunter die Z-, W-, H- und $t\bar{t}$ -Schwellen. Eine zentrale Herausforderung bei seiner Entwicklung ist die Konstruktion leistungsstarker supraleitender Hochfrequenzresonatoren (SRF-Kavitäten) sowie effizienter Koppler zur Extraktion parasitärer Moden höherer Ordnung (HOM-Koppler), um eine effektive Strahlbeschleunigung zu gewährleisten und Strahlinstabilitäten zu minimieren.

Diese Arbeit konzentriert sich auf die Konstruktion und Optimierung von Beschleunigerkavitäten und HOM-Kopplern, die gezielt auf die Anforderungen der W-, H-, und $t\bar{t}$ -Arbeitspunkte des FCC-ee abgestimmt sind. Fortschrittliche numerische Verfahren – darunter elektromagnetische Simulationen und Sensitivitätsanalysen – werden eingesetzt, um Kavitätsgeometrien zu verfeinern und die HOM-Dämpfung zu optimieren. Besonderes Augenmerk liegt auf dem Zusammenspiel von Kavitätsform, Gütefaktor und Impedanzeigenschaften, um hohe Beschleunigungsgradienten bei minimalen Leistungsverlusten zu erreichen.

Darüber hinaus werden verschiedene HOM-Koppler-Konfigurationen untersucht, um die Dämpfungseffizienz zu verbessern und gleichzeitig eine praktikable Integration in das Beschleunigerlayout sicherzustellen. Die Leistungsfähigkeit dieser Designs wird mit modernsten Simulationswerkzeugen analysiert und mit bestehenden Kavitätssystemen verglichen.

Die Ergebnisse dieser Arbeit leisten einen wichtigen Beitrag zur Entwicklung hocheffizienter SRF-Kavitäten und HOM-Koppler und tragen wertvolle Erkenntnisse zum Design und Betrieb des FCC-ee bei.