

**Universität
Rostock**



Traditio et Innovatio

Methods for the Design and Analysis of Higher-Order Mode Couplers applied to Superconducting Accelerating Structures

Dissertation
submitted to the
Faculty of Computer Science and Electrical Engineering
of the University of Rostock, Germany
for the degree of
Doctor of Engineering (Dr.-Ing.)

Rostock, June 22, 2020

put forward by

Kai Papke, born on February 13, 1986 in Grevesmühlen, Germany

Zusammenfassung

Moden höherer Ordnung (HOMs) können einen beträchtlichen Einfluss auf die Strahldynamik und Kühlanforderungen supraleitender Linearbeschleuniger ausüben, wie dem SPL, der im Rahmen einer Studie für zukünftige Neutrino-Experimente am CERN untersucht wurde. Um Auswirkungen entsprechender Moden zu begrenzen, sind koaxiale HOM Koppler an den Grenzhohlleitern der Beschleunigerresonatoren vorgesehen.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden potentiell gefährliche Moden analysiert und entsprechende Dämpfungsanforderungen definiert basierend auf Simulationen der Strahldynamik und Eigenmoden. Die Ausarbeitung einer neuen Methode ermöglicht zudem die Charakterisierung ganzer Modenspektren ausgehend von begrenzten Wakepotentialen und einer erweiterten Formulierung des sogenannten Vektor-Fittings.

Der Entwurf koaxialer HOM-Koppler wurde unter neuen Gesichtspunkten aufgegriffen. Ein erster Beitrag zur Synthese von Filterfunktionen anhand koaxialer Hochfrequenzstrukturen wird vorgestellt. Diesem gehen empirische Untersuchungen bestimmter Strukturen voraus, deren Streueigenschaften noch nicht vollständig verstanden sind. Weiterhin wurde das Problem von Transmissionsnullstellen bedingt durch Grenzhohlleiter behandelt.

Verschiedene für SPL vorgesehene HOM-Koppler wurden außerdem untersucht und verglichen. Neben dem charakteristischen Frequenzverhalten werden die Modendämpfung, mechanische Toleranzen, das thermische Verhalten, strukturmechanische Verformungen sowie Multipacting berücksichtigt. Letzteres steht im Zusammenhang mit Entladungseffekten die in Hochfrequenzstrukturen auftreten können bedingt durch Sekundäremission und die damit verbundene lawinenartige Zunahme von Elektronen. Die betrachteten numerischen Simulationen sind in Teilen durch entsprechende Messungen an Prototypen validiert.

Abstract

Higher-order modes (HOMs) may affect beam stability and refrigeration requirements of superconducting proton linacs such as the SPL which is studied at CERN as a driver for future neutrino programs. To limit these effects, the use of coaxial HOM couplers mounted on the cutoff tubes of the five-cell cavities is considered.

In this work, potentially dangerous modes have been analyzed and corresponding damping requirements defined, primarily on the basis of longitudinal beam dynamics and eigenmode simulations. A novel approach has been worked out to characterize entire HOM spectra based on truncated wake potentials and an extended formulation of vector fitting.

The design process of coaxial HOM couplers has been examined under new aspects. The first contribution to systematically design coaxial microwave filters on the basis of filter functions has been elaborated. Prior to this are empirical studies of certain microwave structures that have not yet been well understood. Furthermore, the problem of transmission zeros inherent to cutoff tubes has been formulated.

Finally, coaxial HOM couplers are discussed in a more general context. Besides the characteristic frequency response, the designs of several HOM couplers applied to SPL cavities have been investigated and compared in terms of mode damping, mechanical tolerances, thermal loads, structural deformations, and multipacting. Some of the computational analyses are validated by prototype measurements.