

E 106:

Hohlraumresonatoren (Cavities)

Stand: Juni 2008

Bemerkung: Der Versuch zählt einfach

1 Versuchsziel

In diesem Versuch sollen Sie mit verschiedenen, grundlegenden Messmethoden der Hochfrequenztechnik vertraut gemacht werden. Am Beispiel der Bestimmung wichtiger Kenngrößen von Hohlraumresonatoren werden Sie insbesondere in die skalare und vektorielle Reflexionsmessung eingeführt. Hierzu werden im Versuch die resonanten Eigenschwingungen (engl. „mode“), die zugehörigen Kreisgüten, Koppelfaktoren und Shuntimpedanzen experimentell ermittelt.

2 Vorkenntnisse

- Ausbreitung elektromagnetischer Felder in Kabeln und Hohlleitern: Feldverteilungen, Grenzfrequenz, Dämpfung, Reflexionsfaktor, Stehwellenverhältnis
- Komponenten der Hochfrequenztechnik und deren Einsatzmöglichkeiten: Richtkoppler, Zirkulator
- Hohlraumresonatoren: Klassifikation der möglichen Schwingungsformen, bestimmende Funktionen der zugehörigen Feldverteilungen
- Anregung erzwungener Schwingungen, Ersatzschaltbild des Resonators samt Anregung, Koppelfaktor
- Resonanzkurve des skalaren Reflexionsfaktors, Bestimmung der Halbwertsbreite für verschiedene Koppelfaktoren, Gütenbestimmung (unbelastete, belastete)
- Resonanzkurve des komplexen Reflexionsfaktors, Bestimmung von Resonanzfrequenz, Halbwertsbreite, Güte, Koppelfaktor
- Störkörpermessungen, Bestimmung der Shuntimpedanz, Laufzeitfaktor

3 Literatur

Beim betreuenden Assistenten ist 1–2 Wochen vor Versuchsbeginn unbedingt das Ergänzungsskript zu entleihen:

- Ergänzende Informationen zu den Aufgaben, der Versuchsdurchführung und Auswertung

Aus der Bibliothek:

- H. Meinke, F. W. Gundlach: „Taschenbuch der Hochfrequenztechnik“, Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg 1992, L9–50 sowie K20–K29
- G. Klages, „Einführung in die Mikrowellenphysik“, Steinkopff, Darmstadt 1976, S. 35–46, 82–93, 99–102
- J. D. Jackson: „Klassische Elektrodynamik“, de Gruyter, Berlin 1981, Kapitel 8.7 (Hohlraumresonatoren)
- K. Wille: „Physik der Teilchenbeschleuniger und Synchrotronstrahlungsquellen“, Teubner, Stuttgart 1996, S. 173–185
- F. Hinterberger: „Physik der Teilchenbeschleuniger“, Springer-Verlag, Berlin 1997, S. 83 ff.

Bei Bedarf zur Vertiefung auf der Internetseite¹ des Versuchs herunter zu laden (z.T. geschützt, Passwort beim Assistenten):

- W. Hillert: Vorlesungsskript „Particle Accelerator Physics I“, S. 66–83
- C. Peschke: „Messungen und Berechnungen zu longitudinalen und transversalen Shuntimpedanzen einer Elektronen-Positronen-Linearbeschleuniger-Struktur“, S. 41–52
- W.F.O. Müller: „Untersuchungen zu Moden höherer Ordnung in konstanten und variierten Beschleunigerstrukturen für zukünftige lineare Collider“, S. 41–52

4 Aufgaben

Vorbereitung vor Versuchsbeginn:

¹<http://www-elsa.physik.uni-bonn.de/>, zu finden unter Lehrveranstaltungen

1. Ermitteln Sie mit Hilfe der Modenkarte und mit den Abmessungen des Resonators aus dem Ergänzungsskript die zehn niedrigsten Eigenschwingungen der Versuchsresonatoren. Berechnen Sie unter der vereinfachenden Annahme eines abgeschlossenen, idealen Hohlzylinders die zugehörigen Frequenzen mit Hilfe der Nullstellen der Besselfunktion sowie ihrer Ableitung.
2. Machen Sie sich mit den Einheiten „dB“ und „dBm“ vertraut.

Vorbereitung zusammen mit dem Assistenten:

3. Machen Sie sich mit den verschiedenen Betriebsarten und der Funktionsweise des Gerätes zur skalaren und vektoriellen Netzwerkanalyse vertraut. Aktivieren Sie beispielsweise die Hilfsfunktionen (Lines, Marker) und nutzen Sie diese zur Verbesserung Ihrer Messergebnisse. Kalibrieren Sie den Analysator für einen willkürlich eingestellten Frequenzbereich.

Im Folgenden finden Sie eine Kurzfassung der Aufgaben des Versuchs zur Übersicht und Kontrolle. Details zur Versuchsdurchführung und Auswertung sowie weiterführende Fragen und Informationen entnehmen Sie dem ausführlichen Ergänzungsskript, das beim Assistenten zu entleihen ist.

Dämpfung und Reflexion von Koaxialkabeln:

4. Bestimmen Sie die Dämpfung und den Reflexionsfaktor der Koaxialkabel „RG142“ (braun) und „ST-18“ (blau) im Frequenzbereich 0,01–8 GHz. Dokumentieren Sie Ihre Messergebnisse.

Skalare Messungen, an beiden Resonatoren durchzuführen:

5. Verwenden Sie den Netzwerkanalysator, um den Betrag des Reflexionsfaktors jeweils im Bereich um die errechneten Resonanzfrequenzen anzuzeigen. Vermessen Sie dabei gemäß der im Folgenden beschriebenen Arbeitsschritte alle auffindbaren Resonanzen bis 8 GHz. Welche Auswirkung hat der Ort der Einkopplung auf die Anregung der Eigenschwingungen?
6. Bestimmen Sie die Resonanzfrequenzen der Eigenschwingungen und die zugehörigen Fehler. Vergleichen Sie die Messergebnisse mit Ihren Berechnungen und erklären Sie die Abweichungen.
7. Messen Sie jeweils den Reflexionsfaktor in Resonanz und berechnen Sie daraus einen Wert für den Koppelfaktor (Welche Einschränkung ist dabei zu beachten?).

8. Berechnen Sie den Wert des Reflexionsfaktors bei der Halbwertsbreite. Bestimmen Sie die zu diesem Wert gehörende Breite der Kurve und damit die Kreisgüten (inkl. Fehler) der einzelnen Schwingungsmoden.

Vektorielle Messungen:

9. Messen Sie beim Resonator mit der oben auf dem Zylindermantel angebrachten Schleifenkopplung den Frequenzgang des komplexen Reflexionsfaktors im Frequenzbereich der ersten Eigenschwingung.
10. Bestimmen Sie die Resonanzfrequenz, die Kreisgüte und den Koppelfaktor inklusive ihrer Fehler. Vergleichen Sie diese Ergebnisse mit denen der skalaren Messungen.
11. Ermitteln Sie unter Berücksichtigung des Koppelfaktors die unbelastete Güte sowie die externe Güte und die Verlustleistung.
12. Wiederholen Sie die beschriebene Messung und die Bestimmung der angegebenen Größen für drei weitere Schwingungsmoden im Frequenzbereich bis 8 GHz.

Störkörpermessmethoden:

13. Messen Sie die Resonanzfrequenz der ersten Eigenschwingung in Abhängigkeit von der Störkörperposition in hinreichend kleinen Schritten.
14. Messen Sie die Änderung der Reflexion in Abhängigkeit von der Störkörperposition bei der Frequenz der ersten Eigenschwingung.
15. Bestimmen Sie aus beiden Messmethoden die Feldstärke an der Stelle des Störkörpers und ermitteln Sie durch Integration (Summation!) über das E -Feld die Shuntimpedanz. Berücksichtigen Sie dabei auch den Laufzeitfaktor eines ultrarelativistischen Teilchens. Geben Sie einen Wert für den Fehler der Shuntimpedanz an.
16. Tragen Sie E gegen die Störkörperposition auf. Bestimmen Sie die zugehörigen Fehler und tragen Sie diese als Fehlerbalken in das Diagramm ein.
17. Schätzen Sie die Eignung der vorliegenden Resonatoren zur Teilchenbeschleunigung ein.

5 Versuchsdurchführung und Auswertung

Details zur Versuchsdurchführung und Auswertung entnehmen Sie dem ausführlichen Ergänzungsskript, das beim Assistenten zu entleihen ist.