

Diss. Nr. 5756 ex A

BAU EINES ABSTIMMBAREN RESONATOR-SPEKTROMETERS  
IM X-BAND



A B H A N D L U N G

zur Erlangung  
des Titels eines Doktors der technischen Wissenschaften  
der

E I D G E N O E S S I S C H E N   T E C H N I S C H E N  
H O C H S C H U L E   Z U E R I C H

vorgelegt von

L E O N   P R O S T

dipl. El.-Ing. ETHZ

geboren am 28. April 1936

von Luxembourg

Angenommen auf Antrag von  
Prof. Dr. H.H. Günthard, Referent  
Prof. Dr. G. Epprecht, Korreferent

1976

## 7. Zusammenfassung

Das physikalische Phänomen der Rotationsübergänge in einem Mikrowellenfeld wird kurz beschrieben und die wichtigsten Beziehungen hergeleitet. Als HF-Feld wird ein rotationssymmetrisches Feld angenommen und die Teilchen als symmetrische Kreisel mit dem Dipolmoment in der Symmetrieachse. Die Uebergangswahrscheinlichkeit und die Uebergangsfrequenz werden angegeben und ein Ausdruck für die Leistungsabsorption hergeleitet. Bei der Berücksichtigung der thermischen Uebergänge kann das Leistungsintegral nicht mehr geschlossen berechnet werden, sondern wird numerisch ausgewertet. Der Einfluss der Einstrahlleistung und des Druckes auf die Linienform werden besonders untersucht. Die Absorption bewirkt eine Reflexionsänderung, welche über ein Empfangssystem messbar ist. Bei dem vorliegenden Ueberlagerungsempfang kann das kleinste feststellbare Signal abgeschätzt und ein Kriterium für die Empfindlichkeit angegeben werden. Es wird ein Vergleich Hohlleiter-Resonator angestellt und eine Linienformanalyse der berechneten Kurven durchgeführt.

Bei der Konstruktion des Resonators war man bestrebt, eine gute Homogenität des Starkfeldes zu erreichen und unerwünschte Modi, speziell TM-Modi, zu unterdrücken. Die Koppelöffnung wurde am Zylindermantel angebracht, wobei die variable Höhe des Resonators berücksichtigt wurde. Als Koppellement wird ein Gordonkoppler verwendet,

der gleichzeitig als Vakuumdichtung für den Hohlleiteranschluss dient. Der Mantel des Resonators aus sehr reinem antimagnetischem Messing wurde kräftig ausgebildet. Um eine gute Führung des Kurzschlusses zu gewährleisten, wurde die gesamte Höhe wesentlich grösser gewählt, als die eigentliche Resonatorhöhe. Der obere Deckel dient als Gaseinlass. Der Kurzschluss-Schieber dient gleichzeitig als Starkelektrode und wird isoliert montiert. Um gute Kurzschlusseigenschaften für das HF-Feld zu erreichen, wird eine periodische Impedanztransformation ausgeführt. Die Zuführung der Starkspannung geschieht koaxial im Antriebsarm. Als Axiallager dient ein Spitzenlager (Lagerstein Saphir, Lagerspitze Stahl). Es ist ein schneller Vorschub (Grobantrieb) und langsamer Vorschub (Feinantrieb) vorhanden. Beide Antriebe sind mechanisch und elektrisch getrennt. Die kleinste Auflösung für den Feinantrieb beträgt zwischen 4 kHz (unteres Frequenzband) bis 20 kHz (oberes Frequenzband) pro Schritt des Antriebmotors.

Für die Signaldetektion wird ein bestehender Ueberlagerungs-Sender-Empfänger verwendet. Um einen breitbandigen Betrieb zu ermöglichen, werden Absorptionssignal und Referenzsignal aus zwei symmetrischen Mikrowellenkreisen gewonnen, wobei im Referenzkreis der Resonator durch einen präzisen Kurzschluss ersetzt wird. Aus den Uebertragungsfunktionen ergeben sich die Bedingungen für einen optimalen Empfang. Bei sehr kleinen Leistungen müssen besondere Massnahmen getroffen werden, um äussere

Störungen zu minimalisieren. Diese waren schaltungstechnischer Art (kombinierte AFC - APC Frequenzstabilisation) sowie konstruktiver Art (gute Abschirmung der Klystrons und des empfindlichen Teils der Empfängerkerette).

Die Substanzzuführung geschieht über ein Vakuumsystem mit der Möglichkeit eines Flowbetriebes. Dadurch kann ein kleiner Druck über längere Zeit beibehalten werden.

Um einen Vergleich für verschiedene Stabilisationsarten zu gewinnen, wurde die Allan Varianz für diese Fälle gemessen. Durch Messung einer schwachen Linie (H C D O) wurde die Empfindlichkeit (S / N) gemessen und mit dem erwarteten Wert verglichen. Die Auflösung von zwei separaten Linien im Abstand von 33 kHz gelang ebenfalls problemlos.

Die von der Theorie her zu erwartende Empfindlichkeit wurde erreicht. Ein Absorptionskoeffizient von  $2 \cdot 10^{-8} \text{ m}^{-1}$  konnte mit einem S/N von 25 gemessen werden. In der Literatur (24) wurde ein Absorptionskoeffizient von  $4 \cdot 10^{-7} \text{ m}^{-1}$  mit einem S/N von 25 gemessen. Ausserdem stimmen theoretische Abschätzung und Messung bezüglich Empfindlichkeit gut überein. Die Annahme, dass der Hauptteil des Rauschens vom Detektor herrührt und dass die Sender (MO)-Welle sehr spektralrein sei, scheint gut erfüllt. Eine Verbesserung der Empfindlichkeit kann im Augenblick nur über eine Verbesserung des Detektionsystems erreicht werden. Wenn gute rauscharme Mikrowel-

lenverstärker ( $NF < 5.5$  dB) zur Verfügung stehen, könnten diese vor dem Detektor eingesetzt werden, wobei dann an den Detektor keine besonderen Ansprüche mehr gestellt werden.

Hingegen konnte die Linienbreite nicht unter die bis jetzt schon bekannten Grenzen gebracht werden. Ein einfaches Modell, welches die Linienverbreiterung adäquat beschreibt, konnte leider nicht gefunden werden. Dank der hohen Empfindlichkeit ist es aber möglich, mit sehr kleinem Druck zu arbeiten und so trotzdem relativ kleine Linienbreiten zu erreichen.

### Abstract

The power absorption formula due to rotational transitions of particles with an electric dipole moment in the RF field of a cavity resonator has been derived. The influence of a superimposed (electrostatic) Stark field is included. The numerical computation of the power absorption for a simple molecule and a simple line-shape analysis have been carried out. A cylindrical resonator (goldplated brass) is preferred to a rectangular one, due to the difficulties of suppressing spurious modes in the latter case. The ratio radius/height is chosen to be about 4.5, to obtain a constant electric field in about 3/4 of the cavity volume. Coupling is performed by a coupling hole in the cylinder wall which must also be vacuum-tight. The height of the cavity may be changed by varying the position of the insulated bottom, which serves as a resonator tuner and as an electrode for the Stark field. The axial bearing of the vertically oriented tuner axis is carried out by a sapphire bearing. The microwave part of the heterodyne receiver consists of a double bridge, thus allowing a broad-banded operation. Depending on the employed RF power range, several stabilization modes for the transmitter frequency may be chosen. Measurements on frequency stability (Allan variance) and a check of the expected sensitivity and frequency resolution have been carried out.