

Diss. ETH Nr. 7290

Über die akustische Emission aus einem supraleitenden Magneten

ABHANDLUNG

zur Erlangung des Titels eines
Doktors der Technischen Wissenschaften
der
**EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE
ZÜRICH**

vorgelegt von
Markus Michael PAPPE
dipl. El.-Ing. ETH
geboren am 6. Januar 1950
von Bremgarten BE

Angenommen auf Antrag von
PD Dr. H. Brechna, Referent
Prof. Dr. J.L. Olsen, Korreferent

ADAG Administration & Druck AG

Zürich 1983

ZUSAMMENFASSUNG

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der Analyse der akustischen Emission aus supraleitenden Magneten als einer möglichen Methode zur Diagnostik. Die akustische Emission kann Informationen zum Betriebsverhalten und zur Qualität des Magneten liefern und zur Lösung von Stabilitätsproblemen beitragen.

Akustische Emission von der Form diskreter Pulse entsteht, wenn unter einer sich verändernden Belastung (Transportstrom, Temperatur) gespeicherte Energie als elastische Spannungswellen freigesetzt wird. Eine Uebersicht über bisher veröffentlichte Arbeiten zeigt, dass die Ursache der akustischen Emission bei Supraleitern und bei supraleitenden Magneten in mechanischen Vorgängen (Rissbildung, Reibung, Strukturinstabilitäten im Supraleiter) und in der Bewegung des magnetischen Flusses liegen kann.

Eine Zusammenstellung von Grundlagen zur Ausbreitung elastischer Wellen lässt erkennen, dass eine Uebertragungsfunktion der Struktur des Magneten nicht berechnet werden kann. Damit ist es nicht möglich, den mechanischen Spannungsverlauf am Ursprungsort der Welle über eine Zurückfaltung zu berechnen und aus dem Verlauf auf einen der möglichen auslösenden Prozesse zu schliessen. Dieser Schluss muss indirekt aus den gemessenen Daten gezogen werden.

Die verwendeten kommerziellen piezoelektrischen Resonanzsonden können im Modell durch einen idealen Bandpass angenähert werden. Der gemessene Signalverlauf wird nicht durch die Sonde, sondern im wesentlichen durch die Uebertragungsfunktion der Magnetstruktur bestimmt.

Die Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Charakterisierungsmöglichkeiten der akustischen Aktivität werden aufgezeigt. Das verwendete Mass ist die Rate der akustischen Ereignisse, welche im Gegensatz zu der häufig verwendeten Impulsrate nicht durch die Wahrscheinlichkeitsverteilung der Stärke der Ereignisse (Amplitudenverteilung) gewichtet wird.

Die gemessene akustische Emission lässt indirekt den Schluss zu, dass Reibungsvorgänge in der Wicklung oder

zwischen der Wicklung und dem Wicklungsträger mit grosser Wahrscheinlichkeit die primäre Ursache für die akustische Aktivität sind. Die Messdaten zeigen im Lauf aufeinanderfolgender zyklischer Belastungen mit Strom eine mechanische Konditionierung der untersuchten Magnete. Der Konditionierungsvorgang spielt sich nach einem Temperaturzyklus jedesmal von neuem ab, wobei er je nach der vorher erreichten Temperatur stärker oder schwächer in Erscheinung tritt. Unterschiede zwischen der akustischen Emission aus verschiedenen Sonden weisen auf Unterschiede im mechanischen Verhalten derjenigen Bereiche des Magneten hin, die von der entsprechenden Sonde erfasst werden. Ein Zusammenhang zwischen der akustischen Aktivität und Magnet Training konnte nicht festgestellt werden. Anhand der Amplitudenverteilung wird beim Abkühlen, Aufwärmen und in Funktion des sich verändernden Transportstromes die Entwicklung der Spannungsverteilung qualitativ beschrieben.

Die Schallemissionsanalyse vermag Informationen über die mechanischen Vorgänge in einem supraleitenden Magneten zu liefern, welche sich infolge der Belastung durch eine Temperaturänderung oder durch die Lorentzkraft ergeben. Die Vorgänge sind bisher auf andere Art nicht beobachtet worden.

Inhalt:

Eine kurze Einführung in die Schallemissionsanalyse und die Darstellung von Schwierigkeiten, welche bei supraleitenden Magneten auftreten können, sollen zeigen, dass eine Anwendung dieser Messmethode sinnvoll ist (2. Kapitel). Das 3. Kapitel bringt eine Literaturübersicht über bisherige Arbeiten. Im 4. Kapitel finden sich Grundlagen zur Wellenausbreitung im Magneten, im 5. Kapitel diejenigen über Aufbau und Funktion der Messsonden. Im 6. Kapitel sind die theoretischen Grundlagen der Signalverarbeitung zusammengestellt, und es werden die Zusammenhänge und Bedeutung der verschiedenen Charakterisierungsmöglichkeiten der akustischen Aktivität gegeben. Nach der Beschreibung der Messeinrichtung und des hauptsächlich untersuchten Magneten im 7. Kapitel folgen in den Kapiteln 8 bis 11 die Messergebnisse. Im

12. Kapitel werden die Resultate zusammengefasst und der Erfolg einer Anwendung der Schallemissionsanalyse bei supraleitenden Magneten diskutiert.

SUMMARY

When a superconducting magnet is being energized discrete acoustic bursts can be detected when part of the stored magnetic and mechanical energy is released in the form of stress waves. The acoustic emission can be used as a means to study the performance of the magnet.

A literature survey shows that sources of acoustic emission from superconducting magnets are mechanical (e.g. friction, cracking of the impregnant or of the conductor resp. winding insulation). However, energy release in the microstructure of the mechanically stressed superconductor and flux jumps may also trigger an acoustic burst.

The stress wave propagation in a magnet may be explained qualitatively by the fundamental theory of stress wave propagation, but a calculation of a transfer function is impracticable. One cannot distinguish between the various ongoing processes by calculating the source function of the stress wave by a deconvolution method.

Acoustic emission is detected by piezoelectric resonant transducers. Measures of the acoustic activity are the count rate of threshold crossings of all acoustic events, or the event rate. With the count rate each burst is weighted by a factor which depends on the strength (i.e. the highest amplitude) of the event. The factors can be determined by the probability distribution of the strength of all events (amplitude distribution). The knowledge of the amplitude distribution is necessary if the count rate has to be related to a model of the ongoing processes.

With the aid of the amplitude distribution the development of the stress distribution in a magnet is demonstrated qualitatively. Records of the acoustic emission event rate show a mechanical conditioning of the magnet in successive current cycles which reappears each time after the magnet has been cooled down. The amount of the conditioning depends on the temperature the coil has reached before cooldown. The spatial sensitivity of a transducer is limited by the

interference of direct and reflected waves. Transducers are mounted at different places on the magnet; they monitor the processes in their neighbourhood. The detected event rate differs at the different sensor places for the magnets tested.

It has not been possible to differentiate between various mechanisms leading to acoustic emission but it can be shown that the most probable cause of the acoustic activity is friction.

Acoustic emission data provide information on mechanical processes in a superconducting coil which has not been obtained by other means.