



BERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL

BERGISCHE UNIVERSITÄT WUPPERTAL

FORTGESCHRITTENEN PRAKTIKUM

RF-SQUID

Radio Frequency Superconducting Quantum Interference Device

Verfasser:

Henrik JÜRGENS

Frederik STROTHMANN

Tutor:

Stephan MINGELS

Abstract:

Das SQUID ist derzeit das sensibelste Messinstrument für Magnetfelder. Mit diesem können Magnetfelder bis 10^{-15} T gemessen werden. Das rf-SQUID besteht aus einer supraleitenden Schleife mit eingebauter Schwachstelle, einem Flusstransformer und geeigneter Ausleseelektronik.

Bereich	max. %	+ / 0 / -	erreicht %
Einleitung & Theorie	15		
Durchführung	70		
Auswertung			
phys. Diskussion			
Zusammenfassung			
Formales	15		
Note			

23. Februar 2016

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	2
2	Theorie	2
2.1	Supraleitung	2
2.1.1	Meißner-Ochsenfeld-Effekt	2
2.1.2	BCS-Theorie	2
2.2	SQUID	3
3	Versuchsaufbau	3
4	Versuchsdurchführung und Auswertung	3
4.1	Inbetriebnahme	4
4.2	Empfindlichkeit des SQUID	4
4.3	Kalibrierung	4
4.4	Aufzug	5
4.5	Magnetisierungskurve von Gadolinium und Curie-Temperatur	5
4.6	Diskussion	5
5	Fazit	5

1 Einleitung

In diesem Versuch werden Magnetfelder mit Hilfe eines rf-SQUID untersucht. Ein SQUID (Superconducting Quantum Interference Device) kann mit Hilfe von Supraleitung Magnetfeldänderungen in Form von Flussquanten messen. Ziel des Versuches ist es die Funktionsweise des rf-SQUID, sowie die Grundlagen der Supraleitung und der elektromagnetischen Abschirmung zu erarbeiten, und sich mit dem rf-SQUID vertraut zu machen, wobei sich der Ablauf des Versuches in fünf Teile gliedern lässt. Zuerst wird das SQUID durch Abkühlen in Flüssigstickstoff und anschließender Justage in Betrieb genommen, sodass die Empfindlichkeit des SQUID mit einer Stromdurchflossenen Leiterschleife abgeschätzt werden kann. Danach soll das SQUID mithilfe eines wohldefinierten Magnetfeldes kalibriert werden, um anschließend das Magnetfeld eines fahrenden Aufzugs im Universitätsgebäude zu vermessen. Zuletzt soll die Curie-Temperatur von Gadolinium (Gd) bestimmt werden, indem die Magnetisierung eines Gd-Würfels in Abhängigkeit von der Temperatur aufgenommen wird.

2 Theorie

In diesem Abschnitt werden die theoretischen Grundlagen des Versuchs dargestellt.

2.1 Supraleitung

Der Effekt der Supraleitung tritt bei vielen Metallen und Legierungen auf, welche bei sehr niedrigen Temperaturen (T_c) ihren elektrischen Widerstand verlieren. 1911 wurde er von *Heike Kamerlingh Onnes* in Leiden entdeckt. Im Versuch wird $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ verwendet. Bei diesem Material handelt es sich um einen Hochtemperatursupraleiter, welcher unterhalb von 77 K supraleitend wird.

2.1.1 Meißner-Ochsenfeld-Effekt

Der Meißner-Ochsenfeld-Effekt wurde 1933 entdeckt und beschreibt das magnetische Verhalten eines Supraleiters in einem äußeren magnetischen Feld. Das äußere Magnetfeld wird aus dem Supraleiter 'herausgedrängt' (siehe Abb. ??).

Innerhalb des Supraleiters gilt $B = 0$ und $\dot{B} = 0$. Dadurch verhält sich der Supraleiter wie ein perfekter Diamagnet. Es hat sich herausgestellt, dass man Supraleiter in zwei verschiedene Arten unterteilen kann (siehe Abb. ??). Supraleiter erster Art verhalten sich wie oben beschrieben und die Magnetisierung fällt direkt auf 0 ab. Bei Supraleitern zweiter Art fällt die Magnetisierung nicht direkt ab sondern hat einen exponentiellen Abfall.

2.1.2 BCS-Theorie

Eine quantenmechanische Theorie der Supraleitung wurde 1957 von Bardeen, Cooper und Schrieffer aufgestellt, diese wird die BCS-Theorie genannt.

2.2 SQUID

In diesem Abschnitt werden kurz der grundlegende Aufbau des SQUIDs beschrieben und dann genauer auf das rf-SQUID eingegangen. Ein SQUID besteht aus einer supraleitenden Schleife mit ein(rf-SQUID) oder zwei(dc-SQUID) Schwachstellen. Die Schwachstelle hat eine begrenzte Stromtragfähigkeit, wodurch sie bei großen externen Änderungen des Flusses resistiv werden kann. Dadurch wird der Suprastrom für eine sehr kurze Zeit unterbrochen, was mit einem Resonanzschwingkreis gemessen werden kann.

Der schematische Aufbau eines rf-SQUIDs ist in Abb. ?? zu sehen. Der Supraleitende Ring hat nur eine Schwachstelle und ist induktiv an einen Schwingkreis gekoppelt. Das rf-SQUID wird mit einem Wechselfeld mit einer Frequenz zwischen 100 MHz und 1 GHz betrieben.

Durch den Suprastrom alle Änderungen des äußeren Feldes unterhalb des nächsten Vielfachen eines Flussquants kompensiert. Beim anliegen eines äußeren Feldes kann das Verhalten des SQUIDs in Abhängigkeit von I_{rf} untersucht werden. Der Zusammenhang ist in Abb. ?? dargestellt.

3 Versuchsaufbau

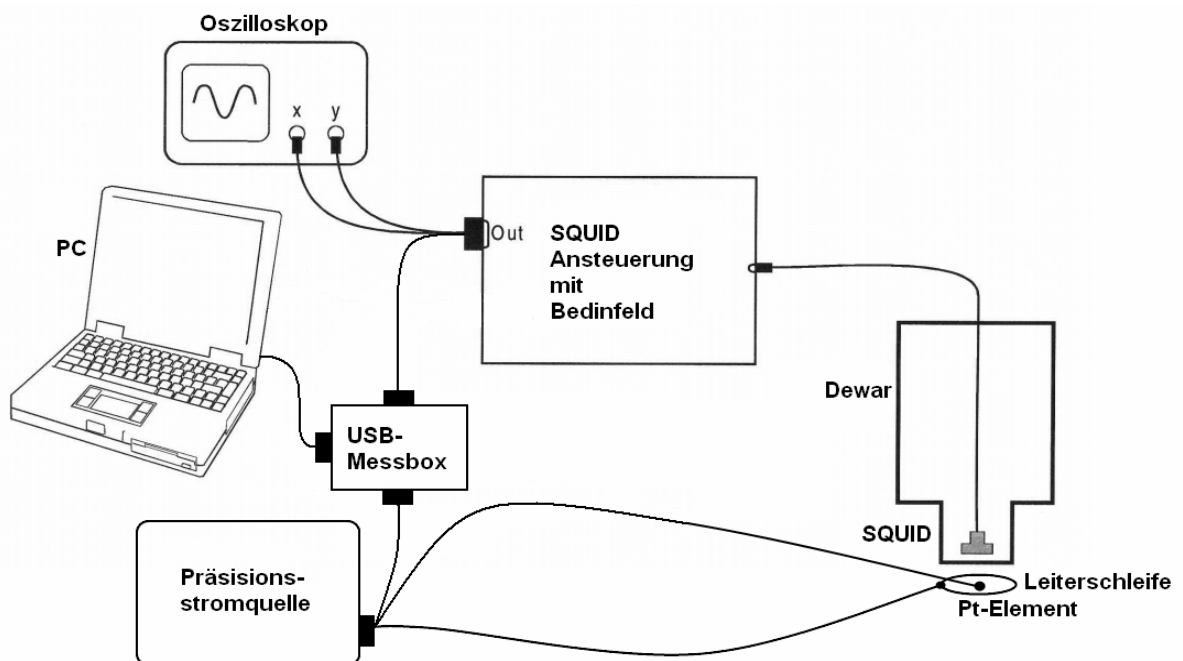


Abbildung 1: Aufbau des Experiments [?]

4 Versuchsdurchführung und Auswertung

Der Versuch besteht aus fünf Teile, welche im folgendem beschrieben und ausgewertet werden.

4.1 Inbetriebnahme

Vor dem Einstellen des SQUID muss das Dewar-Gefäß in ein Bad von flüssigem Stickstoff getaucht werden, damit der Sensor nicht durch Feuchtigkeit zerstört wird und die Supraleitung nicht unterbrochen wird. Das Bad von flüssigem Stickstoff muss eventuell während dem Versuch nachgefüllt werden. Der Abkühlprozess dauert ca. 20 min, danach können Messungen gestartet werden. Zu erst soll die Amplitude I_{rf} (VCA, voltage controlled attenuator) und die Auslesefrequenz (VCO voltage controlled oscillator) des rf-Signals so ein maximales Signal-zu-Rausch-Verhältnis von $U(\Phi)$ erreicht wird. Für die Einstellungen wird der Testmodus, mit eingeschaltetem Generator verwendet. Zu erst wird für VCA ein Werte von 900 eingestellt. Dann wird der VCO Wert zwischen 0 und 4095 so variiert, das möglichst deutlich ein Dreiecksignal zu sehen ist. Der VCA Wert wird nun nochmal variiert um das Signal weiter zu optimieren.

Für die Einstellung des Arbeitspunkts wird das Offset kalibriert. Das SQUID wird im Messmodus betrieben um die zeitliche Magnetfeldänderung auf dem Oszilloskop zu beobachten. Es wird ein Kompensations-Widerstand von $20k\Omega$ gewählt. Falls das Offset richtig eingestellt ist sollten keine Peaks auf dem Oszilloskop zu sehen sein. Falls Peaks nach oben zu sehen sind, ist das Offset zu hoch eingestellt. Bei Peaks, die nach unten zeige, ist das Offset zu niedrig eingestellt.

4.2 Empfindlichkeit des SQUID

Zur Untersuchung der Empfindlichkeit wird das SQUID im Messmodus betrieben. Um einen ersten Eindruck der Empfindlichkeit zu bekommen wurde

Für eine quantitative Bestimmung der Empfindlichkeit des SQUIDs wurde mit einer Spule Magnetfelder bekannter Stärke erzeugt. Um bei der Messung eine möglichst hohe Empfindlichkeit zu haben wird ein Widerstand von $20k\Omega$ verwendet.

4.3 Kalibrierung

Für die weiteren Messungen muss der Sensor zuerst kalibriert werden, um aus dem Signal die Stärke des Magnetfeldes bestimmen zu können. Es soll auch die Empfindlichkeit des SQUID in Abhängigkeit des Rückkopplungswiderstandes gemessen werden. Zuerst wird für einen festen Widerstand das Magnetfeld in Abhängigkeit der Ströme in der Leiterschleife untersucht. Es werden Ströme zwischen 0 mA und 90 mA verwendet.

Aus den Höhen der Plateaus und den jeweiligen Strömen kann eine lineare Regression durchgeführt werden, um den Zusammenhang zwischen dem Strom in der Leiterschleife und der Spannung her zu stellen.

Die Messung wird für die anderen Widerstände wiederholt (siehe Abb. ??)

4.4 Aufzug

In diesem Versuchsteil soll das Magnetfeld der Aufzüge untersucht werden. Dabei wird der Aufzug als Dipol angenommen, da das Gegengewicht eine natürliche Magnetisierung besitzt. Durch die Messung soll die z-Komponente des Dipols bestimmt werden.

4.5 Magnetisierungskurve von Gadolinium und Curie-Temperatur

In diesem Versuchsteil soll aus der Magnetisierungskurve von Gadolinium die Curie-Temperatur abgelesen werden. Zuerst wird das Gadolinium unter T_c gekühlt und magnetisiert. Die Temperatur wird dabei mit einem PT1000 Element gemessen.

4.6 Diskussion

5 Fazit