
**ANWENDUNGEN DES
MEISSNER-EFFEKTS IN DER
UNTERHALTUNGSELEKTRONIK:
VOLLSTÄNDIGE MAGNETISCHE
FLUSSVERDRÄNGUNG ALS
ABSCHIRMUNGSPARADIGMA**

Anwendungen des Meissner-Effekts in der Unterhaltungselektronik: Vollständige magnetische Flussverdrängung als Abschirmungsparadigma

M. Ferro, C. Ohm, S. Magnusson

Equatorial Audio Research Division, Mitad del Mundo, Quito, Ecuador (0.0000deg N)

Journal of Equatorial Audio Science, 2024.

Zusammenfassung

Konventionelle elektromagnetische Abschirmung basiert auf Absorption und Reflexion -- Mechanismen, die externe Felder abschwächen, aber nicht beseitigen können. Der Meissner-Effekt in Typ-II-Supraleitern bietet ein fundamental anderes Paradigma: vollständige Verdrängung des magnetischen Flusses durch Oberflächenabschirmströme. Wir zeigen, dass ein in eine supraleitende Hülle eingeschlossener Audiosignalfad keinerlei Kopplung mit externen elektromagnetischen Feldern erfährt. Das System ist elektromagnetisch unsichtbar.

1. EINLEITUNG

Elektromagnetische Abschirmung ist seit den frühesten Tagen der High-Fidelity-Wiedergabe ein Hauptanliegen der Audiokabelindustrie. Kupfergeflecht, Aluminiumfolie, Mu-Metall-Folie, leitfähige Polymerschichten -- der Katalog der Abschirmungsmaterialien ist umfangreich. Jedes Material bietet eine andere Kombination aus magnetischer Permeabilität, elektrischer Leitfähigkeit und frequenzabhängiger Dämpfung.

Keines davon ist perfekt. Der Meissner-Effekt ist grundlegend anders. Wenn ein Typ-II-Supraleiter unter seine kritische Temperatur gekühlt wird, entstehen spontan Oberflächenabschirmströme, die ein Feld erzeugen, das dem äußeren Feld exakt gleich und entgegengesetzt ist. Das resultierende Feld im Inneren ist null -- nicht klein, nicht abgeschwächt, null.

2. EXPERIMENTELLE VERIFIKATION

Ein 1,5-m-SC-Verbindungspaar wurde in einem Standard-Wohnhorräum mit folgenden EMI-Quellen installiert: WiFi 6E Router (6 GHz, 1 W), 500 VA Ringkerntransformator, Kühlschrankschrankkompressor und Klasse-D-Verstärker.

Das interne Magnetfeld am Kabelleiter wurde mit einem Micro-Fluxgate-Sensor gemessen.

Ergebnisse (RMS-Magnetfeld am Leiter, alle Quellen gleichzeitig aktiv):

Ungeschirmtes OFC: 847 nT

Einzel-Kupfergeflecht: 124 nT (17 dB Dämpfung)

Doppelgeflecht + Mu-Metall: 8,3 nT (40 dB)

Equinox Dreischicht: 1,7 nT (54 dB)

SC-Verbindung (Meissner): < 0,1 nT (> 79 dB; begrenzt durch den Rauschpegel des Magnetometers)

3. DAS VOLLSTÄNDIGE SUPRALEITENDE SYSTEM

Das volle Potenzial der Meissner-Abschirmung wird nur realisiert, wenn die gesamte Signalkette supraleitend ist. Ein einzelnes konventionelles Kabelsegment schafft ein magnetisches Fenster, durch das externe Felder einkoppeln können.

Das Zero Kelvin Reference System löst dies durch supraleitende Kabel für jedes Segment der Signalkette: Strom, Takt, Digital, Analog und Lautsprecher. Der zentrale LN₂-Reservoir und der 12-Port-Verteiler stellen sich bei 77 K gehalten werden.

Bei einer Demonstration auf der Munich High End 2024 konnte das Panel von Audio-Rezensenten keinen Klangunterschied zwischen sauberen und EMI-kontaminierten Bedingungen feststellen. Das System war elektromagnetisch nicht wahrnehmbar.

4. SCHLUSSFOLGERUNG

Der Meissner-Effekt bietet elektromagnetische Abschirmung, die fundamental vollständig ist -- nicht abgeschwächt, nicht frequenzabhängig, sondern absolut. In supraleitendes Material eingeschlossene Audiosignalfade sind gegen externe elektromagnetische Felder jeder Frequenz und jeder Amplitude unterhalb des kritischen Feldes immun. Wir schlagen vor, dass die Meissner-Abschirmung die physikalische Grenze des elektromagnetischen Schutzes für Audiosignalfade darstellt.

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] W. Meissner, R. Ochsenfeld, "Ein neuer Effekt bei Eintritt der Supraleitfähigkeit," *Naturwissenschaften*, vol. 21, pp. 787-788, 1933.
- [2] M. Tinkham, *Introduction to Superconductivity*, 2nd ed., Dover, 2004.
- [3] J. Bardeen, L. N. Cooper, J. R. Schrieffer, "Theory of superconductivity," *Phys. Rev.*, vol. 108, pp. 1175-1204, 1957.
- [4] A. A. Abrikosov, "On the magnetic properties of superconductors of the second group," *Sov. Phys. JETP*, vol. 5, pp. 1174-1182, 1957.
- [5] M. Ferro et al., "Supraleitende Audio-Verbindungskabel," *J. Equatorial Audio Sci.*, vol. 5, no. 1, 2024.
- [6] IEC 61000-4-8:2009, *Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) -- Prüfung der Störfestigkeit gegen Magnetfelder mit energietechnischen Frequenzen*.