



民生オーディオにおけるマイスナー効果の応用：遮蔽パラダイムとしての完全磁束排斥

民生オーディオにおけるマイスナー効果の応用：遮蔽パラダイムとしての完全磁束排斥

M. Ferro, C. Ohm, S. Magnusson

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

Journal of Equatorial Audio Science, 2024.

要旨

従来の電磁遮蔽は吸収と反射---外部磁場を減衰させるが除去はできないメカニズム---に依存する。第二種超伝導体におけるマイスナー効果は根本的に異なるパラダイムを提供する：表面遮蔽電流の生成を通じた導体内部からの磁束の完全な排斥。超伝導シースに囲まれたオーディオ信号経路は、臨界磁場 H_{c2} 以下のあらゆる周波数、配向、強度の外部電磁場とのゼロ結合を経験することを実証する。家庭用EMI源（WiFiルーター、電源トランス、冷蔵庫コンプレッサー）の存在下での測定は、超伝導ケーブル経路が電磁的に不可視であることを確認する---内部磁場は空の空間における磁場と区別できない。民生超伝導オーディオシステム完全体の設計に対するマイスナー遮蔽の含意を議論する。

1. はじめに

電磁遮蔽はハイファイ再生の初期以来、オーディオケーブル業界の関心事であった。銅編組、アルミ箔、ミューメタル箔、導電性ポリマー層、カーボンファイバーラップ---遮蔽材料のカタログは広範で継続的に拡大している。各材料は磁気透磁率、電気伝導率、周波数依存減衰の異なる組み合わせを提供し、それぞれが電磁干渉に対する最終的解決策として売り出されてきた。

そのいずれもそうではない。すべての従来型遮蔽材料は同じ2つのメカニズムで動作する：吸収（渦電流を通じて電磁エネルギーを熱に変換）と反射（インピーダンス不整合を通じて電磁エネルギーを導体から遠ざける方向に再配向）。両メカニズムは本質的に不完全である。

マイスナー効果は程度ではなく種類において異なる。第二種超伝導体が外部磁場の存在下で臨界温度以下に冷却されると、印加磁場に正確に等しく反対の磁場を生成する表面遮蔽電流が自発的に発生する。超伝導体内部の正味磁場はゼロ---小さくもなく減衰されたのでもなく、ゼロ---である。これは最適化可能な設計パラメータではない；ゼロ抵抗と同様に超伝導状態の基本的性質である。

2. 実験的検証

1.5 mのSCインターコネクトペアを以下のEMI源と共に標準的な住宅リスニングルームに設置した：

ソースA：WiFi 6Eルーター（6 GHz、160 MHz帯域幅、1 W送信電力）0.5 m距離。

ソースB：500 VAトロイダル電源トランス、0.3 m距離。

ソースC：冷蔵庫コンプレッサーモーター（稼動中）1.0 m距離。

ソースD：Class Dスイッチングアンプ（1 kHz方形波、100 W）0.2 m距離。

ソースE：4つのソースすべてを同時稼動。

ケーブル導体における内部磁場は、専用測定ポートを通じてクライオスタット内に挿入したマイクロフラックスゲートセンサー（Bartington Mag690、0.1 nT分解能）により測定した。

比較のため、4本の従来型ケーブルで同一の測定を実施した。

結果（導体におけるRMS磁場、ソースE、全ソース同時稼動）：

無遮蔽OFC：847 nT

単一銅編組：124 nT（17 dB減衰）

二重編組+ミューメタル：8.3 nT（40 dB減衰）

Equinox三層：1.7 nT（54 dB減衰）

SCインターコネクト（マイスナー）：0.1 nT未満（79 dB超の減衰；磁力計ノイズフロアにより制限）

超伝導ケーブルの内部磁場はすべての試験条件下で磁力計のノイズフロアと区別できなかった。

3. 結果

マイスナー遮蔽の完全な潜在能力は、信号チェーン全体が超伝導である場合にのみ実現される。それ以外の超伝導システムにおける単一の従来型ケーブルセグメントは、外部磁場が信号に結合し得る「磁気窓」を作り出す。

Zero Kelvin Referenceシステムは、信号チェーンのすべてのセグメント---電源（SC電源コード）、クロック（SCワードクロックケーブル）、デジタル（SCデジタルケーブル）、アナログ（SCインターコネクト）、スピーカー（SCスピーカーケーブル）---に超伝導ケーブルを提供することでこれに対処する。中央LNリザーバーと12ポート分配マニホールドがすべてのケーブルセグメントを同時に77 Kに維持する。



完全システムが稼動すると、壁コンセントからスピーカードライバーまでのオーディオ信号経路は完全に超伝導材料に囲まれる。すべてのセグメントがゼロ抵抗と完全なマイスナー磁束排斥を示す。いかなる従来型遮蔽の組み合わせも達成できないものをシステムは達成する：電磁的不可視性。

4. 結論

マイスナー効果は根本的に完全な電磁遮蔽を提供する----減衰されるのでも周波数依存でもなく、絶対的である。超伝導材料に囲まれたオーディオ信号経路は、臨界磁場以下のあらゆる周波数およびあらゆる強度の外部電磁場に対して免疫である。Zero Kelvin Referenceシステムは、適切な極低温インフラストラクチャが与えられれば、完全な超伝導信号チェーンが住宅環境で達成可能であることを実証する。マイスナー遮蔽はオーディオ信号経路に対する電磁的保護の物理的限界を代表すると提案する。

参考文献

- [1] W. Meissner, R. Ochsenfeld, "超伝導の出現における新効果," 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, "超伝導の理論," Phys. Rev., vol. 108, pp. 1175-1204, 1957.
- [4] A. A. Abrikosov, "第二群超伝導体の磁気特性について," Sov. Phys. JETP, vol. 5, pp. 1174-1182, 1957.
- [5] M. Ferro et al., "超伝導オーディオインターコネクト：77 KにおけるYBCO導体によるゼロ抵抗信号伝送," J. Equatorial Audio Sci., vol. 5, no. 1, 2024.
- [6] IEC 61000-4-8:2009, 電磁両立性 (EMC) -- 試験及び測定技術 -- 電力周波数磁場イミュニティ試験.