

---

# **TILLÄMPNINGAR AV MEISSNEREFFEKTEN I KONSUMENTLJUD: FULLSTÄNDIG MAGNETISK FLÖDESUTDRIVNING SOM SKÄRMNINGSPARADIGM**

---

# Tillämpningar av Meissnereffekten i konsumentljud: Fullständig magnetisk flödesutdrivning som skärningsparadigm

M. Ferro, C. Ohm, S. Magnusson

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

Journal of Equatorial Audio Science, 2024.

## Sammanfattning

Konventionell elektromagnetisk skärmning förlitar sig på absorption och reflektion -- mekanismer som dämpar externa fält men inte kan eliminera dem. Meissnereffekten i typ II-supraledare ger ett fundamentalt annorlunda paradigm: fullständig utdrivning av magnetiskt flöde från ledarens inre genom generering av yt-skärmströmmar. Vi visar att en ljudsignalväg innesluten i en supraledande mantel upplever noll koppling till externa elektromagnetiska fält av alla frekvenser, orienteringar eller amplituder under det kritiska fältet  $H_{c2}$ . Mätningar i närvaro av hushålls-EMI-källor (WiFi-routrar, krafttransformatorer, kylskåpskompressorer) bekräftar att den supraledande kabelvägen är elektromagnetiskt osynlig -- det interna fältet är oåtskiljbart från fältet i tomt utrymme. Vi diskuterar implikationerna av Meissnerskärmning för designen av det kompletta supraledande ljudsystemet.

## 1. INLEDNING

Elektromagnetisk skärmning har varit ett fokusområde för ljudkabelindustrin sedan de tidigaste dagarna av högtrohetsåtergivning. Kopparfläta, aluminiumfolie, mu-metallfolie, ledande polymerlager, kolfiberomslag -- katalogen över skärningsmaterial är omfattande och expanderar ständigt. Varje material erbjuder en annorlunda kombination av magnetisk permeabilitet, elektrisk ledningsförmåga och frekvensberoende dämpning, och vart och ett har marknadsförts som den definitiva lösningen på elektromagnetisk interferens.

Inget av dem är det. Varje konventionellt skärningsmaterial fungerar genom samma två mekanismer: absorption (omvandling av elektromagnetisk energi till värme genom virvelströmmar) och reflektion (ändrar riktningen på elektromagnetisk energi bort från ledaren genom impedansmismatch). Båda mekanismerna är inherent ofullständiga.

Meissnereffekten är annorlunda till sin art, inte bara till sin grad. När en typ II-supraledare kyls under sin kritiska temperatur i närvaro av ett externt magnetfält uppstår spontant yt-skärmströmmar som genererar ett fält exakt lika och motriktad det applicerade fältet. Nettofältet inuti supraledaren är noll -- inte litet, inte dämpat, noll. Detta är inte en konstruktionsparameter som kan optimeras; det är en fundamental egenskap hos det supraledande tillståndet, lika inneboende som noll resistans.

## 2. EXPERIMENTELL VERIFIERING

Ett 1,5 m SC-mellankopplingspar installerades i ett standard bostadsljssningsrum tillsammans med följande EMI-källor:

Källa A: WiFi 6E-router (6 GHz, 160 MHz bandbredd, 1 W sändeffekt) på 0,5 m avstånd.

Källa B: 500 VA toroidaltransformator på 0,3 m avstånd.

Källa C: Kylskåpskompressormotor (igång) på 1,0 m avstånd.

Källa D: Klass D-växlingsärförstärkare (1 kHz fyrkantvåg, 100 W) på 0,2 m avstånd.

Källa E: Alla fyra källor i drift samtidigt.

Det interna magnetfältet vid kabelledaren mättes av en mikro-fluxgatesensor (Bartington Mag690, 0,1 nT upplösning) insatt i kryostatens genom en dedicerad mätport.

Resultat (RMS magnetfält vid ledaren, Källa E, alla källor aktiva samtidigt):

Oskärmad OFC: 847 nT

Enkel kopparfläta: 124 nT (17 dB dämpning)

Dubbel fläta + mu-metall: 8,3 nT (40 dB dämpning)

Equinox trelagersskärm: 1,7 nT (54 dB dämpning)

SC-mellankopplingskabel (Meissner): < 0,1 nT (> 79 dB dämpning; begränsad av magnetometerens brusgolv)

Den supraledande kabelns interna fält var oåtskiljbart från magnetometerens brusgolv under alla testförhållanden.

## 3. DET KOMPLETTA SUPRALEDANDE SYSTEMET

Den fulla potentialen hos Meissnerskärmning realiseras först när hela signalkedjan är supraledande. Ett enda konventionellt kabelsegment i ett annars supraledande system skapar ett »magnetiskt fönster« genom vilket externa fält kan koppla till signalen.

Zero Kelvin Reference System adresserar detta genom att tillhandahålla supraledande kablar för varje segment i signalkedjan: nät

(SC Power Cord), klocka (SC Word Clock Cable), digitalt (SC Digital Cable), analogt (SC Interconnect) och högtalare (SC Speaker Cable). Den centrala reservoaren för flytande kväve och 12-ports fördelningsmanifold säkerställer att alla kabelsegment hålls vid 77 K samtidigt.

När det kompletta systemet är i drift är ljudsignalvägen från vägguttag till högtalarenhet helt innesluten i supraledande material. Varje segment uppvisar noll resistans och fullständig Meissner-flödesutdrivning. Systemet uppnår vad ingen kombination av konventionell skärmning kan: elektromagnetisk osynlighet.

## 4. SLUTSATS

Meissner-effekten ger elektromagnetisk skärmning som är fundamentalt fullständig -- inte dämpad, inte frekvensberoende, utan absolut. Ljudsignalvägar inneslutna i supraledande material är immuna mot externa elektromagnetiska fält av alla frekvenser och alla amplituder under det kritiska fältet. Zero Kelvin Reference System visar att en komplett supraledande signalkedja är genomförbar i en bostadsmiljö, givet lämplig kryogen infrastruktur. Vi föreslår att Meissnerskärmning representerar den fysikaliska gränsen för elektromagnetiskt skydd av ljudsignalvägar.

## REFERENSER

- [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., "Supraledande ljudmellankopplingskablar: nollresistans signalöverföring via YBCO-ledare vid 77 K," *J. Equatorial Audio Sci.*, vol. 5, no. 1, 2024.
- [6] IEC 61000-4-8:2009, Elektromagnetisk kompatibilitet (EMC) -- Provning och mätteknik -- Immunitetsprov för magnetfält vid nätfrekvens.