



超导音频互连线：77K下通过YBCO陶瓷 导体的零电阻信号传输

超导音频互连线：77K下通过YBCO陶瓷导体的零电阻信号传输

M. Ferro, L. Solder, H. Park, B. Impedance

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

Journal of Equatorial Audio Science, 2024.

摘要

我们报告了首个超导音频互连线的开发和表征。导体是在充满液氮的真空夹套硼硅酸盐玻璃低温恒温器中于77 K运行的YBCO（钇钡铜氧化物，YBaCuO）陶瓷带。DC电阻为零——不是低，不是可忽略，是零——经纳伏灵敏度的四探针测量确认。迈斯纳效应提供信号路径的完美抗磁屏蔽，排除所有外部磁通。线缆以每米每年约310升的被动LN补充连续运行。

1. 引言

每根常规音频线缆都有电阻。这个电阻很小，但不是零。非零电阻的后果有三：（1）电阻信号损失，（2）热噪声产生（Johnson-Nyquist噪声），（3）频率依赖性阻抗变化。

超导性消除了这三者。超导体在其临界温度以下具有精确为零的DC电阻。零电阻意味着零衰减、零Johnson-Nyquist噪声以及——在低频音频频段——零频率依赖性阻抗变化。

此外，迈斯纳效应——从超导体内部完全排除磁通——提供了任何数量的常规金属、铜编织或导电聚合物都无法匹配的屏蔽。超导线缆不衰减外部磁场；它绝对地排除它们。

2. 线缆结构

SC互连线从中心向外由以下元素组成：

导体：YBCO陶瓷带（SuperPower SCS4050-AP），4.0 mm宽 × 0.1 mm厚。

信号路径：两条YBCO带（信号和回路）以0.5 mm PTFE垫片同心缠绕。特性阻抗设计为75 Ohm。

低温恒温器：双壁硼硅酸盐玻璃杜瓦，外径48 mm，内径28 mm。

连接器：低温级镀铑XLR连接器。

总线缆外径48 mm。重量干燥时2.4 kg/m，充满LN时3.8 kg/m。

3. 电气表征

DC电阻：在77 K（LN浸泡）下，通过1.5 m导体的100 mA DC电流产生的电压低于仪器噪声基底1 nV。计算上限： $R < 10$ Ohm。实际上电阻为零。

AC阻抗：1 kHz时为75.0 +/- 0.1 Ohm（纯电抗——无电阻分量）。30天稳定性为 +/- 0.0003 Ohm。

磁屏蔽：在线缆50 mm处产生1 mT的亥姆霍兹线圈，低温恒温器内的磁通门磁力计测量 < 0.01 nT——超过160 dB的衰减。这就是迈斯纳效应。

4. 实际考虑

SC互连线需要持续的LN供应。每米线缆长度每天的LN热泄漏率约0.85升。1.5 m互连线对的年LN消耗量约930升——按当前LN价格约每年930美元。

线缆必须安装在LN填充口可到达的位置进行定期补充（每3-5天）。这些要求意义重大。它们代表了拥有音频线缆意味着什么的根本转变。SC互连线不是一种插上就忘的产品。它是基础设施——需要监测、维护以及与液氮供应商关系的活的基础设施。

5. 结论

SC互连线实现了任何常规导体都无法实现的：零DC电阻、零热噪声以及通过迈斯纳效应的绝对磁免疫。工程和运营开销虽然可观，但对于专注的听众来说是可管理的。我们相信超导音频代表了导体优化的逻辑终点：当你已经消除了所有电阻时，没有什么剩余可以改善的了。

参考文献



- [1] J. G. Bednorz, K. A. Muller, "Possible high-T_c superconductivity in the Ba-La-Cu-O system," Z. Phys. B, vol. 64, pp. 189-193, 1986.
- [2] M. K. Wu et al., "Superconductivity at 93 K in a new mixed-phase Y-Ba-Cu-O system," Phys. Rev. Lett., vol. 58, pp. 908-910, 1987.
- [3] SuperPower Inc., "SCS4050-AP YBCO涂层导体规格," Rev. 12, 2023.
- [4] W. Meissner, R. Ochsenfeld, "Ein neuer Effekt bei Eintritt der Supraleitfähigkeit," Naturwissenschaften, vol. 21, pp. 787-788, 1933.
- [5] J. Bardeen, L. N. Cooper, J. R. Schrieffer, "Theory of superconductivity," Phys. Rev., vol. 108, pp. 1175-1204, 1957.
- [6] ASME BPVC Section VIII, Division 1: 压力容器建造规则（低温服务）。