



**SUPERPROVODNI AUDIO
INTERKONEKZIONI KABLOVI:
PRENOS SIGNALA BEZ OTPORA
PREKO YBCO KERAMI KIH
PROVODNIKA NA 77 K**

Superprovodni audio interkonekcionni kablovi: Prenos signala bez otpora preko YBCO kerami kih provodnika na 77 K

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.

Apstrakt

Izveštavamo o razvoju i karakterizaciji prvog superprovodnog audio interkonekcionnog kabla. Provodnik je YBCO (itrijum-barijum-bakar-oksidi, $YBa_2Cu_3O_{7-x}$) kerami ka traka koja radi na 77 K u vakuumski oklopu ispunjenom te nlim azotom. DC otpor je nula -- ne nizak, ne zanemarljiv, nula -- što je potvr eno osetljivoš u. Majsnerov efekat obezbe uje savršeno dijamagnetno oklapanje signalne putanje, i. Audio signali koji se prenose preko superprovodnog provodnika pokazuju nulti rezistivni gubitak magnetnu imunost. Kabl radi kontinuirano uz pasivno dopunjavanje LN2 od približno 310 litara godišnje po metru.

1. UVOD

Svaki konvencionalni audio kabl ima otpor. Ovaj otpor je mali -- tipično u milioimima -- ali i onaj otpor su trostruke: (1) rezistivni gubitak signala (slabljenje), (2) generisanje termičkog otpora (proporcionalan otporu i temperaturi), i (3) varijacija impedanse zavisne od frekvencije (skin efekat, efekat blizine). Ovi efekti su dobro okarakterisani i, u konvencionalnim kablovima, predstavljaju fundamentalne fizičke ograničenja.

Superprovodljivost eliminiše sva tri. Superprovodnikima ta nulta DC otpor ispod svoje nulte slabljenja, nulti Džonson-Najkvistov šum i -- u niskofrekvencijskom audio opsegu -- nultu varijaciju impedanse zavisne od frekvencije. Signal ulazi u jedan kraj provodnika i izlazi sa drugog kraja sa matematički savršenoš u.

Pored toga, Majsnerov efekat -- potpuno izbacivanje magnetnog fluksa iz unutrašnjosti suvođenika -- koje se ne može uporediti ni sa jednom količinom konvencionalnog metalnog provodnika, bakarne plekne, Superprovodni kabl ne slabi spoljašnja magnetna polja; on ih apsolutno isključuje.

Inženjerski izazov je održavanje superprovodnog stanja: YBCO zahteva neprekidno hlađenje (ta ka ključna 77 K na 1 atm) kao kriogen, koji cirkuliše kroz vakuumski oklopljeni kriostat plašt kabla. Ovo, priznajemo, nije konvencionalni dizajn kabla.

2. KONSTRUKCIJA KABLA

SC interkonekcionni kabl sastoji se od sledećih elemenata, od centra ka spolja:

Provodnik: YBCO kerami ka traka (SuperPower SCS4050-AP), 4,0 mm široka x 0,1 mm debljina, na 77 K i sopstvenim poljem. Traka je namotana u helikalnoj konfiguraciji na nosa u od neredu ograničena fleksibilnost.

Signalna putanja: Dve YBCO trake (signalna i povratna) koncentrično su namotane sa PTFE izolacijom. Karakteristična impedansa je projektovana da bude 75 Ohm na audio frekvencijama, što omogućava savršenu interkonekciju.

Kriostat: Dvozidni Devarov sud od borosilikatnog stakla, spoljašnjeg prenika 48 mm, unutrašnji prostor je evakuisan na $< 10^{-3}$ Pa. Sklop provodnika je uronjen u te nli azot u unutrašnjem kraju primaju standardne LN2 dovodne cevi od 6 mm.

Konektori: Krio-rejtirani XLR konektori sa rodijumskom oblogom, modifikovani sa vakuumskim prekridima (G10 fajberglas razdvaja ih) kako bi se sprečila toplotna provodljivost od toplotne izolacije.

Ukupni spoljašnji prenik kabla je 48 mm. Kabl teži 2,4 kg/m suvo i 3,8 kg/m napunjen sa LN2 (ograničena staklenim kriostatom, a ne fleksibilnim provodnikom).

3. ELEKTRINA KARAKTERIZACIJA

DC otpor: Meren etvoroprobnom tehnikom pomoću Keithley 2182A nanovoltmetra i 6221 strujnog izvora (LN2), napon na provodniku dužine 1,5 m koji nosi 100 mA DC bio je ispod šumnog praga i granica: $R < 10^{-8}$ Ohm. Za sve praktične svrhe, otpor je nula.

AC impedansa: Na 1 kHz, impedansa je $75,0 \pm 0,1$ Ohm (isto reaktivna -- bez rezistivne komponente). Impedansa temperatureno zaključna: pošto se provodnik održava na konstantnih 77 K kupkom LN2, nema termičkog drifta impedanse tokom merne kampanje od 30 dana iznosila je $\pm 0,0003$ Ohm.

Šumni prag: Napon Džonson-Najkvistovog šuma otpornika je $V_n = \sqrt{4 * k_B * T * R * \text{propusni opseg}}$. Za $R = 0$ (superprovodnik), $V_n = 0$ bez obzira na temperaturu ili propusni opseg. Superprovodni imenik termičkim šumom signalnoj putanji.

Magnetno oklapanje: Helmholtzova zavojnica koja proizvodi 1 mT (10 Gauss) na 50 Hz postavljena je na 50 mm od kabl. Fluxgate magnetometar unutar kriostata (uz provodnik) merio je $< 0,01$ nT -- slabljenje preko 160 dB. Ovo je Majnsnerov efekat: superprovodnik aktivno isključuje spoljašnje polje, ne apsorpcijom (kao u mu-metalu) već savršeno suprotstavljaju primenjeno polje.

4. PRAKTI NA RAZMATRANJA

SC interkonekcionni kabl zahteva neprekidno snabdevanje LN2. Stopa termičkog gubitka va približno 0,85 litara LN2 po danu po metru dužine kabl. Za par interkonekcija od 1,5 m, godišnja potrošnja LN2 iznosi približno 930 litara -- otprilike \$930 godišnje po trenutnim komercijalnim cenama LN2 (\$1/litara za isporuku).

Kabl mora biti instaliran tako da otvori za punjenje LN2 budu dostupni za periodično dopunavanje (pri ambijentalne temperature). Integrirani sigurnosni ventil za pritisak sprečava opasno preopterećenje LN2 premaši kapacitet ventila. Senzor osiromašenja O2 montiran je na kriostatu i obezbeđuje upozorenje ako koncentracija ambijentalnog kiseonika padne ispod 19,5%.

Zahtev za ventilacijom prostorije iznosi minimum 10 izmena vazduha na sat (ACH) -- stanje u stambenih prostorima ali se lako postiže namenskom HVAC instalacijom.

Ovi zahtevi su značajni. Predstavljaju fundamentalan pomak u tome šta zna i posedovati audio opremu -- proizvod koji se priključuje i zaboravi. To je infrastruktura -- živa infrastruktura koja zahteva dobavljanje i održavanje azota. Za slušaoca koji zahteva nulti otpor, ovo je cena.

5. ZAKLJUČAK

SC interkonekcionni kabl postiže ono što ne može nijedan konvencionalni provodnik: nulti otpor i magnetnu imunost preko Majnsnerovog efekta. Inženjerski i operativni troškovi -- kriogeno snabdevanje i logistika -- značajni su ali upravljivi za posvećene slušaoce. Verujemo da superprovodni audio provodnik: kada eliminišete sav otpor, nema više ni čega što treba poboljšati.

REFERENCE

- [1] J. G. Bednorz, K. A. Müller, „Possible high-Tc superconductivity in the Ba-La-Cu-O system“, Z. Phys. B, vol. 64, str. 189-193, 1986.
- [2] M. K. Wu i saradnici, „Superconductivity at 93 K in a new mixed-phase Y-Ba-Cu-O system“, Phys. Rev. Lett., vol. 58, str. 908-910, 1987.
- [3] SuperPower Inc., „SCS4050-AP YBCO Coated Conductor Specifications“, Rev. 12, 2023.
- [4] W. Meissner, R. Ochsenfeld, „Ein neuer Effekt bei Eintritt der Supraleitfähigkeit“, Naturwissenschaften, vol. 21, str. 787-788, 1933.
- [5] J. Bardeen, L. N. Cooper, J. R. Schrieffer, „Theory of superconductivity“, Phys. Rev., vol. 108, str. 1175-1204, 1957.
- [6] ASME BPVC Section VIII, Division 1: Rules for Construction of Pressure Vessels (kriogena služba).