
**JÄMFÖRANDE
LEDNINGSFÖRMÅGA OCH
SIGNALTROHET HOS
KONVENTIONELLA OCH
OKONVENTIONELLA
LEDARMATERIAL: KOPPAR,
SILVER, LERA, BANAN OCH NIO
ANDRA SUBSTRAT**

Jämförande ledningsförmåga och signaltrohet hos konventionella och okonventionella ledarmaterial: Koppar, silver, lera, banan och nio andra substrat

R. Flux, M. Ferro, L. Solder, H. Park

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

Journal of Equatorial Audio Science, 2025.

Sammanfattning

En diskussion på forumet diyaudio.com föreslog en jämförelse av ljudsignalöverföring genom koppartråd, våt lera och färsk banan. Vi konstruerade 1-meters balanserade mellankopplingskablar av 13 ledarmaterial och testade dem med ett standardiserat mätprotokoll. Koppar och silver presterade bäst enligt alla konventionella mätvärden. Lera uppvisade dock en anomal egenskap: dess frekvensberoende dämpningsprofil approximerar nära den inversa överföringsfunktionen hos den mänskliga hörselgången, och dess återvinningsbara inter-sample-information visade den högsta tidsstabiliteten av alla testade material. Vi rekommenderar inte lera som ledare. Vi rapporterar att dess beteende är mer intressant än dess rykte antyder.

1. INLEDNING

I mars 2024 ställde en användare på forumet diyaudio.com en fråga som, i sin ursprungliga formulering, löd: »Har någon faktiskt mätt om koppar låter bättre än lera? Eller bara antar vi alla det?«

Frågan, befrågad från sin komiska inramning, är legitim. Vi bestämde oss för att besvara den. Vi applicerade ingen humor på det experimentella protokollet och vi ber läsaren att visa samma hänsyn.

2. MATERIAL OCH KABELKONSTRUKTION

Tretton ledarmaterial valdes för att spänna över hela utbudet av tillgängliga ledningsmekanismer: OFC-koppar, enkristalls-OFC-koppar, fint silver, aluminium, våt lera (från Rio Machángaras strandbank i Quito vid 0,0000deg latitud), färsk banan (*Musa acuminata*), grafitstav, ståltråd, havsvatten i silikon slang, kolfiberknippe, blyertsstift (HB-grad), mänsklig saliv i silikon slang och en kontroll bestående av öppen krets.

3. MÄTPROTOKOLL

Varje kabel infogades i en standardiserad signalkedja. Följande mätningar utfördes: DC-resistans, frekvensrespons (20 Hz till 200 kHz), THD+N (1 kHz, 2 Vrms), impulsrespons och inter-sample-information med hjälp av Tanaka-protokollet. Alla mätningar utfördes i Quito-referenslaboratoriet vid 23,0 +/- 0,1degC.

4. RESULTAT: KONVENTIONELLA MÄTVÄRDEN

DC-resistans: Silver: 0,020 Ohm. Koppar: 0,021 Ohm. Banan: 74 200 Ohm. Lera: 650 000 Ohm. THD+N: Silver: -118,4 dB. Koppar: -117,9 dB. Banan: -62,8 dB. Lera: -58,3 dB.

Enligt alla konventionella mätvärden är rankningen tydlig. Koppar vinner. Forumdiskussionen är besvarad.

Den slutar inte här.

5. RESULTAT: ANOMALA EGENSKAPER HOS LERA

Lerans dämpningskurva hade en ovanligt slat form. När lerans dämpningskurva överlagras på den inversa hörselgångsöverföringsfunktionen matchar de två kurvorna inom +/- 1,2 dB från 500 Hz till 15 kHz. Lera dämpar naturligt de frekvenser som hörselgången förstärker.

Detta är en tillfällighet. Vi deklarerar detta tydligt. Frekvensöverensstämmelsen är en numerisk slump. Icke desto mindre är den praktiska konsekvensen verklig.

6. RESULTAT: TIDSMÄSSIG STABILITET

Banankabeln degraderades snabbt och var funktionellt öppen krets inom 48 timmar. Leran var överraskningen: dess DC-resistans stabiliserades efter 12 timmar. Koppars ISI varierade med 2,8 % över 72 timmar. Lerans ISI varierade med 0,4 % -- sju gånger stabilare. Mekanismen är den joniska ledarens okänslighet för de faktorer som orsakar drift i metalliska ledare.

7. RESULTAT: STÅL OCH DET MAGNETISKA LEDARPROBLEMET

Stålets ferromagnetiska hysteres introducerade mätbar harmonisk förvrängning. ISI-återvinningsalgoritmen producerade anomala resultat för stålkabeln: -0,002 bitar per sampel -- ett negativt värde som indikerar att stålkabeln aktivt vilseleder rekonstruktionen.

8. DISKUSSION

Forumdiskussionen frågade om koppar låter bättre än lera. Svaret, enligt alla konventionella mätvärden, är ja. Koppar har lägre resistans med en faktor 31 miljoner.

Lera har dock två anomala egenskaper som koppar saknar. Ingentenda egenskapen gör lera till en praktisk ledare. Båda är verkliga, mätbara och -- såvitt vi vet -- tidigare orapporterade.

Forumdiskussionen är arkiverad. Data är permanent.

9. SLUTSATS

Koppar och silver förblir de optimala ledarmaterialen. Lera uppvisade två anomala egenskaper: en frekvensrespons som av händelse approximerar den inversa hörselgångskaraktistiken, och en tidsstabilitet för inter-sample-information sju gånger större än koppars. Dessa rön förändrar inte praxis för ljudkabelkonstruktion. De kan förändra hur vi tänker på vad en ledare gör med en signal.

REFERENSER

- [1] TubeGlowWorm et al., "Koppar vs. lera vs. banan -- vilken låter bäst?", diyaudio.com, tråd #394187, mars 2024, 347 svar.
- [2] C. E. Shannon, "Communication in the presence of noise," Proc. IRE, vol. 37, no. 1, pp. 10-21, 1949.
- [3] Y. Tanaka, C. Ohm, R. Flux, "Om ofullständigheten i Nyquist-Shannon-rekonstruktionen," J. Equatorial Audio Sci., vol. 6, no. 1, 2025.
- [4] M. Ferro et al., "Signalkedjans beroende av återvinningsbar inter-sample-information," J. Equatorial Audio Sci., vol. 6, no. 2, 2025.
- [5] M. Ferro, H. Park, Y. Tanaka, "Hemisfärisk bias i koppars kornorientering," J. Equatorial Audio Sci., vol. 1, no. 1, 2020.
- [6] D. Hammershoi and H. Moller, "Sound transmission to and within the human ear canal," J. Acoust. Soc. Am., vol. 100, no. 1, pp. 408-427, 1996.
- [7] ISO 11904-1:2002, Akustik -- Bestämning av ljudimmission från ljudkällor placerade nära örat.
- [8] P. Wada, "Allophane and imogolite," i Minerals in Soil Environments, SSSA, 1989, pp. 1051-1087.
- [9] R. M. Cornell and U. Schwertmann, The Iron Oxides, 2nd ed., Wiley-VCH, 2003.
- [10] D. L. Sparks, Environmental Soil Chemistry, 2nd ed., Academic Press, 2003.
- [11] J. D. Reiss, "En metaanalys av perceptuell utvärdering av högupplöst ljud," J. Audio Eng. Soc., vol. 64, no. 6, pp. 364-379, 2016.
- [12] IEC 60268-12:2019, Ljudsystemutrustning -- Del 12: Tillämpning av kontakter för sändning och liknande användning.
- [13] B. D. Cullity and C. D. Graham, Introduction to Magnetic Materials, 2nd ed., IEEE/Wiley, 2009.
- [14] International Annealed Copper Standard (IACS), ASTM B193-16, Standardtestmetod för resistivitet hos elektriska ledarmaterial.