
**HRINGSPENNUMÆLINGAREINKEN
NI HLJÓÐMAGNSLEIÐARA:
MAGNGREINING
ÚTDRÁTTARUNDIRRITUNAR Í
KOPAR-, SILFUR- OG
OFURLEIÐANDI UNDIRLÖGUM**

Hringspennumælingareinkenni hljóðmagnsleiðara: Magngreining útdráttarundirritunar í kopar-, silfur- og ofurleiðandi undirlögum

M. Ferro, C. Ohm, L. Solder, R. Flux

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

Journal of Equatorial Audio Science, 2026.

Útdráttur

Í apríl 2026 birtu Hertz og samstarfsmenn við háskólann í Oregon í Nature Communications aðferð til að fingrafarsmerkja bragðsnið kaffis með hringspennumælingu. Með því að dýfa óvirkri rafskautapör í svart kaffi og sveifla beittum spennu á föstum sveifluhraða fengu höfundarnir tvær réttvísandi mælingar úr einu tilraun: styrkleika drykkjar og lit ristingar. Við aðlögum þessa tækni að hljóðmagnsleiðurum. Með því að setja örrafskaupör í gegnum ytri þéttiefni hljóðsnúru og beita 50 mV/s línulegri spennusveiflu fáum við spennumælingarsnið sem eru endurtakanleg innan 1,4 prósentu og réttmynd við hefðbundnar rafmælingar. Yfir 47 snúrusýni sjáum við kerfisbundna breytingu sem við köllum sameiginlega útdráttarundirritunina. Tropic-stígs OFC kopar sýnir breið, bæld snið. Equinox-stígs einkristalla silfur sýnir mjórri toppa. Zero-Point YBCO keramískir leiðarar undir gagngengrahitastigi framleiða spennumælingarsveiflur sem eru, innan upplausnar potentiostatans okkar, fullkomlega flatar -- niðurstaða sem við túlkum sem sönnun á sameindafræðilegu gagnsæi.

1. INNGANGUR

Efnasamsetning bruggaðs kaffis ræðst af útdrætti -- ferlinu þar sem vatn, beitt á tilteknum hita í tiltekinn tíma, leysir upp hluta uppleysanlegra efnasambanda í ristudum kaffibaunum. Hertz, Nakahara og Boettcher (2026), sem birtu í Nature Communications, sýndu að verulegur hluti efnafræðilega merkingarbærs upplýsinga í bruggaðri kaffisýni má endurheimta úr einni hringspennumælingu. Höfundarnir dýfðu glerkolsvinnurafskauti og silfurfiltvísun í 25 mL af svörtu kaffi og fengu tvær réttvísandi mælingar á nútíu sekúndum: styrkleika drykkjar úr fyrsta skanni og lit ristingar úr bælingu síðari skanna.

Við slógumst af hliðstæðunni við mat á hljóðmagnsleiðurum. Hefðbundnar rafmælingar -- viðnám, samviðnám, einkennandi viðnám -- eru massamælingar. Þær safna saman framlagi hvers sentimetra af leiðara í skalargildi. Þær geta ekki greint sameindarástand leiðarans sjálf. Ef sameindarástand bruggaðs kaffis má varpa á tvívíða spennumælingarstöðu, þá ætti sameindarástand hljóðleiðara -- einnig flókens, ósamleitins miðils -- að taka við sambærilegri vörpun.

2. AÐFERÐ

Við aðlögum Hertz-bókunina að föstum leiðara með eftirfarandi breytingum. Leiðarinn í prófun var 1 m hljóðsnúra með stöðluðum RCA-tengjum. 0,5 mm gat var borað í gegnum ytra hlífðarlag og þéttiefnið á miðju snúrinnar, sem afhjúpaði um 4 mm² af innri leiðara. Líftill rafgreiningarbrunnur var byggður á þessum stað með PTFE-kraga.

0,5 mm platínu-örrafskaut þjónaði sem mótrafskaut. Silfurvírinn þjónaði sem viðmiðunarrafskaut. BioLogic SP-300 potentiostat var notaður. Línulegar spennusveiflur frá -0,6 V til +1,4 V á 50 mV/s voru beittar í tíu samfelldum skönnum.

Allar mælingar voru framkvæmdar á viðmiðunarrannsóknarstofu Equatorial Audio í Quito, Ekvador (0,0000deg N segulbreidd). Potentiostatinn var lokaður í þrjú loka mu-málm hólfu sem dró úr umhverfissviðinu niður fyrir 50 nT.

Fyrir hvert snúrusýni greinum við þrjár mælikvarða: hámarksöxunarstraum á fyrsta skanni ($I_{p,1}$), bælingarhlutfall skanna eftir tíu skanna, og oxunarbyrjunarspennu (E_{onset}). Samanlagt skilgreina þessi þrjú gildi útdráttarundirritun leiðarans.

Fjórutíu og sjö snúrusýni voru mæld yfir fimm stig Equatorial Audio framleiðslu og þrjú undirlagsefni (OFC kopar, einkristalla silfur, og YBaCuO þó ofurleiðandi keramík).

3. NIÐURSTÖÐUR

Spennumælingarsniðin skiljast hreint í þrjár aðskildar fjölskyldur.

OFC koparleiðarar ($n = 21$) framleiða breiðar oxunartoppa miðstýrðar á +0,62 V með hámarksstraumum 184 míkroampera og bælingarhlutföllum 0,41 eftir tíu skanna. Toppurinn er ósamhverfur -- niðurstaða sem samrýmist nærveru kornamillilags mengunar, leifa togsmurefna og yfirborðsoxíðlaga í viðskiptalegum OFC.

Einkristalla silfurleiðarar ($n = 14$) framleiða mjórri toppa miðstýrðar á +0,41 V með hámarksstraumum 142 míkroampera og bælingarhlutföllum 0,74. FWHM er 0,18 V -- 41 prósentu minnkun miðað við OFC.

YBCO keramískir leiðarar á 77 K ($n = 12$) framleiða spennumælingarsveiflur sem eru, innan upplausnar potentiostatans okkar, óaðgreinanlegar frá rafgreiningarauðu. Hámarksstraumar fara ekki yfir 0,8 míkroampera (suðmark mælitækisins okkar) á neinum punkti sveiflunnar.

Við bjuggumst ekki við þessari niðurstöðu.

Við höfum búist við að YBCO, eins og hver málmflötur, sýndi einhverja spennumælingarvirgni. Sýni okkar gera það ekki. Við höfum endurtekið mælinguna yfir öll tólf YBCO snúrusýnin, með rafgreiningu frá þremur mismunandi birgjum, með hólfasviðinu lækkað niður fyrir 10 nT, og með potentíostatnum skipt út fyrir CHI 660E. Skannarnir eru áfram flatir.

Við höfum ekki fullnaða eðlisfræðilega túlkun á þessari niðurstöðu. Við greinum frá henni eins og hún er.

Keppinautasnúður (n = 7, frá \$7 Amazon Basics til \$4.000 Kimber KS 1036) flokkast innan OFC- og silfurfjölskyldnanna samkvæmt yfirlýstri undirlagssamsetningu þeirra. \$7 snúran framleiðir spennumælingarundirritun inn sniðs. Spennumælingarundirritun snúru er, í gögnum okkar, fall af undirlagsmálmböndun hennar. Hún er ekki fall af smásöluverði nema að því leyti sem verð fylgist með undirlagi.

4. UMRÆÐA

Spennumælingarundirritunin er réttþyrnd við hefðbundna raflýsingu hljóðsnúra. Við höfum sannreynt þessa réttþyrningu með reikningi: hámarks alger fylgni milli undirritunarmælikvarða og hefðbundinna mælikvarða er 0,18 (n = 47, p = 0,22).

Við krefjumst þess ekki að spennumælingarundirritunin spá beint fyrir um skynjuð hljóðgæði. Við höfum ekki framkvæmt blindar hlustunarpróf. En við bjóðum tvær athuganir.

Í fyrsta lagi er spennumælingar-hámarksstraumurinn ($I_{p,1}$), samkvæmt Randles-Sevcik-jöfnunni, í réttu hlutfalli við kvaðratrót dreifistuðuls ráðandi rafvirka tegundar á yfirborði leiðarans. Í tilfelli OFC kopar eru ráðandi tegundirnar yfirborðsoxíð og kornamillilags mengun -- sömu þýðisins og við höfum sýnt í fyrri verkum (Ferro et al. 2020) að dreifa rafeindum ósamhverft með tilliti til merkjapólunar. Spennumælingar-hámarksstraumurinn er, í raun, rafefnafræðilegt staðgengi rafeinda-dreifingar yfirborðspéttleika sem rekur hálfkúlubeygingarbjögun.

Í öðru lagi fanga bælingarhlutfallið hlutfallið sem leiðarayfirborðið óhreinkast undir endurtekinni rafefnafræðilegri truflun. Hljóðunnendur hafa lengi greint frá því að snúrusýna „inngangshögðun“ þar sem hljóðgæði breytast á fyrstu 100 til 300 klukkustundum notkunar. Þessi krafa hefur verið hædd af mælinga-hlutlæggissamfélaginu sem eðlisfræðilega ósennileg. Spennumælingargögnin bjóða hluta-sætt: endurteknar oxunarsveiflur framleiða mælanlegar breytingar á yfirborði snúrunnar sem ekki endurspeglast í DC-viðnámi.

Tengingin við breiðdarafskiptalaus mælingarspurninguna (Ferro et al. 2026, þetta bindi) er beint. SINAD safnar framlagi leiðarans í einn skalara. Spennumæling, eins og hármónískbygging-greining Geddes og Lee (2003), varðveitir litrófslýsinguna.

5. TAKMARKANIR OG FRAMTÍÐARVERK

Við viðurkennum nokkrar takmarkanir.

Spennumælingin krefst beinnar rafgreiningarsnertingar við leiðarann og er því eyðileggjandi í málbragðsmerkingu -- hún framleiðir lítinn, lokaðan aðganshöfn í snúruhlífðinni. Viðskiptavinur sem metur sjónræna heild \$4.000 snúru gæti ekki talið þetta ásætlanlegt skipti.

Flat spennumælingarviðbrögð YBCO eru óútskýrð. Við höfum boðið þrjár íhugunartilgátur innanhúss: (a) ofurleiðsluástandið bælir milliflótahleðsluflutning gegnum kerfi sem er hlíðstætt Meissner-áhrifum; (b) kopar-oxíð yfirborðsefnafræði YBCO er stöðugu í ofurleiðsluástandi; eða (c) niðurstaðan er tækjabúnaðargripur. Við prófuðum tilgátu (c) með því að skipta út BioLogic SP-300 fyrir CHI 660E og fengum sömu núllniðurstöðu.

Við höfum ekki framlengt mælinguna í snúrusýni dregin á öðrum breiðum en jöfnuðnum. Forprófunargögn á þremur sýnum af OFC kopar dregnum á 0,0000deg N, 22,5deg N og 47deg N benda til þess að jöfnuðarsýnið sýni 14 prósentu mjórri FWHM en háviðmiðssýnin.

6. ÁLYKTUN

Við höfum sýnt að hringsspennumæling, beitt á hljóðmagnsleiðara, framleiðir endurtakanlega, leiðarasérhæfða undirritun. Undirritunin er tölræðilega réttþyrnd við hefðbundnar rafmælingar.

OFC kopar, einkristalla silfur og YBCO keramískir leiðarar mynda þrjár aðskildar spennumælingarfjölskyldur. OFC undirritunin er breið, ósamhverf og hratt óhreinkandi. Silfurundirritunin er mjórri, samhverfari og hægari óhreinkandi. YBCO undirritunin, í ofurleiðsluástandi, er flöt að upplausn mælitækjabúnaðar okkar.

Við krefjumst þess ekki að þessi tækni komi í stað hefðbundinnar mælingarsvítu. Við krefjumst þess að hún viðbæti hana með því að veita aðgang að flokki leiðaraeiginleika -- yfirborðsefnafræði, óhreinkunarhraðafræði, milliflótasundurleitni -- sem hefðbundnu mælingarnar voru ekki hannaðar til að greina.

Hertz, Nakahara og Boettcher höfðu sett sér markmið að gera betra kaffi. Þeir luku grein sinni með athugininni að samkvæmni, ekki bætning, hefði verið markmiðið -- að mælingarrámmi sem aðgreinir á milli sameindarástanda er, í sjálfu sér, framför óháð kröfu um hverja ástand er æskilegri.

Við erum sammála.

Mæling sem leysir undirlagsháðan leiðaramun er, í sjálfu sér, framför. OFC og silfrið og YBCO eru ekki þau sömu. Spennumælingarundirritunin sýnir að þau eru ekki þau sömu. Spurningin um hvort þessi munur sé heyranlegur er spurningin fyrir hlustunarherbergjið. Spurningin um hvort hann sé raunverulegur er, leggjum við til, leyst.

HEIMILDIR

- [1] A. M. Hertz, Y. Nakahara, S. W. Boettcher, "Electrochemistry captures coffee's taste, powering a more consistent cup," Nature Communications, vol. 17, art. 8174, Apr 2026.
- [2] A. J. Bard, L. R. Faulkner, Electrochemical Methods: Fundamentals and Applications, 2nd ed., Wiley, 2001.
- [3] P. Zanello, Inorganic Electrochemistry: Theory, Practice and Applications, 2nd ed., Royal Society of Chemistry, 2012.
- [4] M. Ferro et al., "Hemispheric bias in copper grain orientation," J. Equatorial Audio Sci., vol. 1, no. 1, 2020.
- [5] M. Ferro et al., "The latitude-agnostic measurement fallacy," J. Equatorial Audio Sci., vol. 7, no. 1, 2026.
- [6] C. Ohm, M. Ferro, "Cryogenic treatment of audio-grade copper conductors," J. Equatorial Audio Sci., vol. 2, no. 1, 2021.
- [7] L. Solder, R. Flux, "Superconducting audio interconnects," J. Equatorial Audio Sci., vol. 4, no. 2, 2023.
- [8] E. R. Geddes, L. W. Lee, "Auditory perception of nonlinear distortion," AES Convention Paper 5890, Oct 2003.
- [9] J. G. Bednorz, K. A. Mueller, "Possible high Tc superconductivity in the Ba-La-Cu-O system," Z. Phys. B, vol. 64, no. 2, 1986.
- [10] J. Randles, "A cathode ray polarograph. Part II," Trans. Faraday Soc., vol. 44, 1948.
- [11] A. Sevcik, "Oscillographic polarography with periodical triangular voltage," Coll. Czech. Chem. Commun., vol. 13, 1948.
- [12] BioLogic Science Instruments, "SP-300 potentiostat user manual," EC-Lab Software v11.43, 2024.
- [13] Audio Precision, "APx555B specifications," 2024.
- [14] NOAA, "World Magnetic Model 2025-2030," 2025.