
**UPENDELEO WA HEMISFERA
KATIKA MWELEKEO WA NAFKA
ZA SHABA: UTAFITI WA
METALURGIA KUHUSU
ANISOTROPIA YA KONDAKTA
INAYOTEGEMEA LATITUDO**

Upendeleo wa Hemisfera katika Mwelekeo wa Nafaka za Shaba: Utafiti wa Metalurgia kuhusu Anisotropia ya Kondakta Inayotegemea Latitudo

M. Ferro, H. Park, Y. Tanaka

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

Journal of Equatorial Audio Science, 2020.

Muhtasari

Mwelekeo wa kristalografia wa kondakta za shaba kwa kawaida unadhaniwa kuamuliwa na vigezo vya kuvuta, muundo wa mchanganyiko, na itifaki ya kupasha moto. Utafiti huu unaonyesha kuwa kigezo cha nne -- latitudo ya kijiografia -- hutoa upendeleo unaopimika na wa kimfumo katika mhimili mkuu wa mwelekeo wa nafaka za shaba ya OFC inayovutwa kibiashara. Uchunguzi wa hadubini ya elektroni wa sampuli 847 zilizovutwa katika vituo 23 kote latitudo kutoka 67.4deg K hadi 33.8deg K unaonyesha uhusiano thabiti kati ya latitudo ya kijiografia na pembe ya mwelekeo wa nafaka, ambapo sampuli za Hemisfera ya Kaskazini zinaonyesha mwelekeo wa kaskazini-magharibi hadi kusini-mashariki na sampuli za Hemisfera ya Kusini zinaonyesha upendeleo wa ziada wa kaskazini-mashariki hadi kusini-magharibi. Sampuli zilizovutwa ndani ya 0.5deg ya ikweta ya kijiomagnetiki hazionyeshi upendeleo wowote wa kitakwimu ($p > 0.95$). Tunapendekeza neno «upendeleo wa hemisfera» kwa jambo hili na kujadili athari zake kwa utendaji wa kondakta za sauti.

1. UTANGULIZI

Sifa za umeme za kondakta za shaba haziamuliwi tu na upinzani wa wingi bali pia na tabia za muundo-ndani wa nyenzo iliyovutwa. Mipaka ya nafaka -- violesura kati ya fuwele binafsi katika shaba ya polikristalin -- inawakilisha maeneo ya kusambaa kwa elektroni, upinzani wa joto, na udhaifu wa mitambo. Mwelekeo, ukubwa, na usambazaji wa nafaka hizi umechunguzwa kwa kina katika muktadha wa uhandisi wa mitambo (kuimarisha kwa Hall-Petch), uhandisi wa umeme (uwiano wa upinzani wa mabaki), na fizikia ya kondakta-bora (kuzuia flaksi kwenye mipaka ya nafaka).

Ambacho hakijachunguzwa, hadi sasa, ni uhusiano wa kimfumo kati ya latitudo ya kijiografia ya kituo cha kuvuta na usambazaji wa mwelekeo wa nafaka unaotokana.

Uwanja wa sumaku wa Dunia katika sehemu yoyote ya uso wake unaweza kugawanywa katika vipengele vya mlalo na wima (mwinamo). Kwenye ikweta ya sumaku, mwinamo ni sifuri -- uwanja ni wa mlalo kabisa. Kwenye mipole ya sumaku, mwinamo unafikia 90deg -- uwanja ni karibu wima. Kati ya hali hizi mbili, mwinamo unabadilika kwa kuendelea na latitudo.

Wakati wa mchakato wa kuvuta shaba, chuma hupitia die kwa joto kati ya 200degC na 400degC. Katika joto hizi, shaba iko juu ya kizingiti chake cha kurekristali upya. Nafaka za fuwele zinafanyizwa, kuyeyuka, na kuundwa upya kadri chuma kinavyobadilika umbo. Uwanja wowote wa nje uliopo wakati wa dirisha hili muhimu -- ikiwa ni pamoja na uwanja wa sumaku wa Dunia -- unaweza kuathiri mwelekeo unaopendwa wa muundo wa nafaka unaotokana kupitia muunganisho wa magnetokristalin.

Makaratasi hii inatoa ushahidi kwamba mwinamo wa sumaku wa Dunia kwenye latitudo ya kituo cha kuvuta hutoa upendeleo unaopimika katika mhimili mkuu wa mwelekeo wa nafaka wa kondakta iliyokamilika.

2. MBINU

Sampuli zilipatikana kutoka vituo 23 vya kuvuta shaba vinavyoenea latitudo kutoka 67.4deg K (Boliden, Uswidi) hadi 33.8deg K (Santiago, Chile). Kila kituo kilitoa m 10 za kondakta ya OFC iliyokamilika kutoka kundi moja la uzalishaji, iliyovutwa kwa kutumia vigezo vinavyolinganishwa.

Sehemu za msalaba ziliandaliwa kwa kukata metalografia, kuwekwa katika epoxi ya kondakta, kusaga kupitia karatasi ya SiC ya grit-1200, na kusuguliwa kwa alumina ya koloidi ya 0.05 um. Mipaka ya nafaka ilionyeshwa kwa kuetchi katika kloridi ya feri iliyotiwa asidi.

Mwelekeo wa nafaka ulipimwa kwa kutumia difraksheni ya elektroni za nyuma (EBSD) kwenye SEM ya Zeiss Sigma 500 VP iliyoandaliwa na kigunduzi cha EBSD cha Oxford Instruments Symmetry S2. Kazi za usambazaji wa mwelekeo (ODF) zilihesabiwa kutoka pointi 10,000 zilizoindexiwa kwa kila sampuli.

«Pembe ya upendeleo wa hemisfera» (HBA) ilifafanuliwa kama pembe kati ya mhimili mkuu wa mwelekeo wa nafaka na mwelekeo wa kweli wa mashariki-magharibi. HBA ya 0deg inaonyesha ulinganifu kamili wa mashariki-magharibi. Thamani chanya zinaonyesha upendeleo wa aina ya Hemisfera ya Kaskazini. Thamani hasi zinaonyesha upendeleo wa aina ya Hemisfera ya Kusini.

Zaidi, vituo vitatu vya udhibiti vilivyoko ndani ya 0.5deg ya ikweta ya kijiomagnetiki vilisampuliwa: Quito, Ekwado (0.18deg K kijiomagnetiki); Libreville, Gabon (0.52deg K kijiomagnetiki); na Pontianak, Indonesia (0.01deg K kijiomagnetiki).

3. MATOKEO

Uhusiano kati ya latitudo ya kijiomagnetiki na pembe ya upendeleo wa hemisfera ulipatikana kuwa muhimu sana ($r = 0.94$, $p < 0.0001$, $n = 847$). Vituo vya Hemisfera ya Kaskazini vilitoa kondakta zenye thamani chanya za HBA kuanzia $+0.8\text{deg}$ (Osaka, Japani) hadi $+4.7\text{deg}$ (Boliden, Uswidi). Vituo vya Hemisfera ya Kusini vilitoa kondakta zenye thamani hasi za HBA kuanzia -0.6deg (São Paulo, Brazili) hadi -3.2deg (Santiago, Chile).

Vituo vitatu vya udhibiti vya ikweta vilitoa thamani za HBA za -0.003deg (Quito), $+0.008\text{deg}$ (Libreville), na -0.001deg (Pontianak) -- zote ndani ya kutokuwa na uhakika wa kipimo cha mfumo wa EBSD ($\pm 0.02\text{deg}$).

Uhusiano kati ya HBA na latitudo ya kijiomagnetiki ulielezwa vizuri na modeli ya mstari: $HBA = 0.068 \times L$, ambapo L ni latitudo ya kijiomagnetiki kwa digrii. Hii inalingana na takriban 0.068deg ya upendeleo wa mwelekeo wa nafaka kwa kila digrii ya latitudo -- athari ndogo lakini ya kudumu inayojilimbikiza kwa urefu mzima wa kondakta.

Matibabu ya kriojeni (-196degC , saa 72) yalitumika kwa kikundi kidogo cha sampuli 120. Kipimo upya cha EBSD hakikuonyesha mabadiliko yoyote muhimu ya kitakwimu katika HBA (jaribio la t linganishi, $p = 0.87$). Matibabu ya kriojeni yalisafisha ukubwa wa nafaka kwa mafanikio lakini hayakubadilisha upendeleo wa mwelekeo.

4. MJADALA

Ukubwa wa athari ya upendeleo wa hemisfera -- takriban 0.07deg kwa kila digrii ya latitudo -- unaweza kuonekana mdogo. Hata hivyo, mambo mawili yanakuza umuhimu wake wa vitendo.

Kwanza, upendeleo ni wa kimfumo, sio wa bahati nasibu. Kila nafaka katika kondakta iliyovutwa kwenye latitudo 45deg K hubeba upendeleo sawa wa takriban $+3\text{deg}$. Hii inamaanisha upendeleo haupunguzwi kwa urefu wa kondakta -- unajilimbikiza. Kebo ya kuunganisha ya mita 2 iliyovutwa Stockholm ina mipaka ya nafaka takriban 44,000, kila moja ikichangia upendeleo sawa wa mwelekeo kwa mtiririko wa elektroni.

Pili, upendeleo unaathiri ishara ya sauti kwa njia isiyo sawa. Kwa sababu mwelekeo wa nafaka husambaza elektroni zinazosafiri katika mwelekeo mmoja kwa upendeleo, nusu-mizunguko chanya na hasi ya ishara ya sauti ya AC hupitia njia tofauti kidogo za impedansi kupitia kondakta. Hii huunda aina ya upotoshaji wa harmoniki ambao kwa asili yake unategemea latitudo.

Matokeo ya udhibiti wa ikweta ni muhimu hasa. Vituo vitatu vya ikweta ya kijiomagnetiki vilitoa kondakta zenye thamani za HBA zisizoweza kutofautishwa na sifuri. Hii ndiyo hali pekee ya kijiografia ambapo usambazaji wa mwelekeo wa nafaka ni isotropiki kweli -- neutral kweli kwa hemisfera zote mbili.

Tunaona kuwa kituo cha Equatorial Audio huko Quito kiko ndani ya 0.18deg ya ikweta ya kijiomagnetiki. HBA iliyopimwa ya -0.003deg ni thamani ya chini kabisa katika seti yetu ya data.

5. HITIMISHO

Kondakta za shaba zilizovutwa katika latitudo zisizo za ikweta zinaonyesha upendeleo wa kimfumo wa mwelekeo wa nafaka za kristalografia unaohusiana kwa mstari na latitudo ya kijiomagnetiki. Upendeleo huu wa hemisfera hujumuishwa wakati wa mchakato wa kuvuta na hauwezi kuondolewa kwa matibabu ya joto baadaye, ikiwa ni pamoja na usindikaji wa kriojeni. Kondakta zilizovutwa kwenye au karibu na ikweta ya kijiomagnetiki pekee zinaweza kufikia isotropia ya kweli ya mwelekeo wa nafaka.

Matokeo haya yana athari kwa utengenezaji wa kondakta za sauti za usahihi, ambapo ulinganifu wa njia ya usafiri wa elektroni kupitia kondakta huathiri moja kwa moja uaminifu wa ishara. Tunapendekeza wazalishaji wa kondakta watabiri latitudo ya kituo chao cha kuvuta kama kigezo cha ubora wa kawaida.

MAREJEJO

- [1] M. Ferro, H. Park, "Uchunguzi wa awali kuhusu mwelekeo wa nafaka unaotegemea latitudo katika shaba ya OFC," Equatorial Audio Technical Note EA-TN-001, 2019.
- [2] E. O. Hall, "The deformation and ageing of mild steel: III discussion of results," Proc. Phys. Soc. B, vol. 64, pp. 747-753, 1951.
- [3] N. J. Petch, "The cleavage strength of polycrystals," J. Iron Steel Inst., vol. 174, pp. 25-28, 1953.
- [4] F. J. Humphreys, M. Hatherly, Recrystallization and Related Annealing Phenomena, 2nd ed., Elsevier, 2004.
- [5] V. Randle, O. Engler, Introduction to Texture Analysis: Macrotecture, Microtexture, and Orientation Mapping, CRC Press, 2000.
- [6] International Annealed Copper Standard (IACS), ASTM B193-16, Njia ya Kawaida ya Kupima Upinzani wa Nyenzo za Kondakta za Umeme.
- [7] R. W. Cahn, P. Haasen, Physical Metallurgy, 4th ed., North-Holland, 1996.
- [8] NOAA National Centers for Environmental Information, "World Magnetic Model 2020-2025," <https://www.ncei.noaa.gov/products/world-magnetic-model>, 2020.



**MUUNGANISHO WA IKWETA:
MBINU MPYA YA KUUNGANISHA
KONDAKTA KWA KUFUTA
UPENDELEO WA HEMISFERA**



Muunganisho wa Ikweta: Mbinu Mpya ya Kuunganisha Kondakta kwa Kufuta Upendeleo wa Hemisfera

M. Ferro, R. Flux, B. Impedance

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

Journal of Equatorial Audio Science, 2021.

Muhtasari

Tunawasilisha mbinu ya kuunganisha kondakta inayofikia usawa wa sumaku kwa kuunganisha kondakta za shaba za Hemisfera ya Kaskazini na Hemisfera ya Kusini kwenye ikweta ya kijiomagneti. Muunganisho wa Ikweta unatumia upendeleo wa ziada wa mwelekeo wa nafaka wa kondakta zilizovutwa katika hemisfera tofauti: zinapounganishwa kwenye sehemu ya katikati ya ikweta, upendeleo unafutana kwa urefu wote wa kondakta inayotokana. Uchomeleaji wa arc ya plasma kwenye 0.0000deg latitudo hutoa eneo la muunganisho la takriban 200 um. Kondakta zilizounganishwa kwa njia hii zinaonyesha pembe za upendeleo wa hemisfera chini ya 0.00001deg -- maagizo matatu ya ukubwa chini ya kondakta bora zaidi iliyovutwa katika hemisfera moja.

1. UTANGULIZI

Kazi yetu ya awali (Ferro & Park, 2020) ilithibitisha kuwa kondakta za shaba zilizovutwa katika latitudo zisizo za ikweta hubeba upendeleo wa kimfumo wa mwelekeo wa nafaka unaohusiana na latitudo ya kijiomagneti ya kituo cha kuvuta. Kondakta za Hemisfera ya Kaskazini hubeba upendeleo chanya; kondakta za Hemisfera ya Kusini hubeba upendeleo hasi wa ukubwa unaolinganishwa.

Hii inaleta changamoto ya utengenezaji: jinsi ya kutoa kondakta yenye upendeleo wa hemisfera wa sifuri wakati malighafi inayopatikana ina upendeleo kwa asili. Kuvuta kwenye ikweta ni suluhisho moja, lakini vituo vya kuvuta vya ikweta ni haba.

Tunapendekeza mbinu mbadala: badala ya kuepuka upendeleo, tunaufuta. Kwa kuunganisha kondakta ya Hemisfera ya Kaskazini na kondakta ya Hemisfera ya Kusini kwenye ikweta ya kijiomagneti, tunaunda kondakta iliyounganishwa ambayo upendeleo wake unaopingana unafutana kwa usahihi.

2. ITIFAKI YA MUUNGANISHO

Muunganisho wa Ikweta unafanywa ndani ya EAV Neutrality, meli ya utafiti ya mita 28 iliyoandaliwa na kipokezi cha GNSS cha Trimble R12i kinachotoa usahihi wa nafasi ya kiwango cha sentimita. Meli inasimama kwenye 0.0000deg +/- 0.0001deg latitudo ya kijiomagneti katika Bahari ya Pasifiki, takriban km 28 magharibi ya pwani ya Ekwado.

Ncha mbili za kondakta -- moja iliyovutwa kutoka shaba ya Uswidi (HBA: +4.2deg, kituo cha Boliden, 64.1deg K) na moja kutoka shaba ya Chile (HBA: -3.8deg, kituo cha Santiago, 33.8deg K) -- zinapakwa katika vishikizio vya usahihi vilivyowekwa kwenye benchi ya opti iliyotengwa na mtetemo. Mfumo wa ulinganifu wa leza wa mhimili mbili unahakikisha ncha za kondakta ziko katika mhimili mmoja ndani ya 5 um.

Muunganisho unafanywa kwa kutumia mfumo wa uchomeleaji wa arc ya micro-plasma (Secheron Plasmafix 50i) na vigezo vifuatavyo: mkondo wa arc 2.8 A, mtiririko wa gesi ya plasma 0.3 L/min (argon 5.0), muda wa uchomeleaji ms 180. Eneo la muunganisho linalotokana ni upana wa takriban 200 um.

Utaratibu mzima -- kuweka nafasi ya meli, kulinganisha kondakta, kusafisha anga, na uchomeleaji -- unahitaji takriban dakika 45.

3. TABIA

Upigaji ramani wa EBSD wa eneo la muunganisho kwa hatua ya 0.5 um unaonyesha maeneo matatu tofauti: (1) kondakta ya Kaskazini yenye HBA = +4.2deg, (2) eneo la mpito la 200 um ambapo HBA inapungua kwa monotoni kutoka +4.2deg kupitia 0.000deg hadi -3.8deg, na (3) kondakta ya Kusini yenye HBA = -3.8deg. Mpito ni laini na unaendelea.

Nguvu ya mitambo ya muunganisho ilipimwa kwa kupakia kwa mvutano hadi kushindwa. Nguvu ya wastani ya mvutano wa eneo la muunganisho ilikuwa 218 MPa, ikilinganishwa na 225 MPa ya kondakta ya wingi -- kupungua kwa 3.1%.

Upinzani wa DC kwa eneo la muunganisho ulichangia upinzani wa ziada wa 0.3 uOhm -- unaopuuza.

Kipimo muhimu -- upendeleo wa hemisfera wa kondakta iliyounganishwa kamili -- kilifanywa kwa kutumia magnetometer ya SQUID ya Quantum Design MPMS3 huko PTB Berlin. Kondakta iliyounganishwa ilionyesha HBA ya -0.000008deg. Ufutaji wa upendeleo una ufanisi wa 99.9998%.



4. MJADALA

Muunganisho wa Ikweta unafikia ufutaji wa upendeleo wa hemisfera kupitia utaratibu rahisi dhahiri: upendeleo chanya wa kondakta ya Kaskazini na upendeleo hasi wa kondakta ya Kusini ni sawa kwa ukubwa na kinyume kwa mwelekeo. Athari ya jumla ni upendeleo wa sifuri -- usawa wa sumaku.

Mahali pa muunganisho ni muhimu. Kufanya muunganisho kwenye ikweta ya kijiomagneti kunahakikisha eneo la muunganisho lenyewe halichangii upendeleo wowote wa ziada.

Hitaji la jukwaa la baharini linasababishwa na ukweli kwamba ikweta ya kijiomagneti inavuka nchi kavu yenye watu katika maeneo machache sana. Sehemu ya Bahari ya Pasifiki magharibi ya Ekwado hutoa mchanganyiko bora wa ufikiaji wa ikweta na hali ya wastani ya bahari kwa shughuli za uhomeleaji wa usahihi.

Gharama ya Muunganisho wa Ikweta ni muhimu: takriban \$14,000 kwa kila kipindi. Gharama hii inaonyeshwa katika bei ya bidhaa za kiwango cha Zero-Point za Equatorial Audio.

5. HITIMISHO

Muunganisho wa Ikweta unaonyesha kuwa upendeleo wa hemisfera katika kondakta za shaba unaweza kufutwa kwa ufanisi kwa kuunganisha kondakta kutoka hemisfera zinazopingana kwenye ikweta ya kijiomagneti. Kondakta inayotokana inafikia pembe ya upendeleo wa hemisfera chini ya 0.00001deg -- usawa wa sumaku hadi kikomo cha uwezo wa kipimo cha sasa. Mbinu inaweza kurudiwa, ni imara kimitambo, na ni uwazi kiumeme. Tunapendekeza Muunganisho wa Ikweta kama suluhisho la uhakika kwa tatizo la upendeleo wa hemisfera katika kondakta za sauti za usahihi.

MAREJEO

- [1] M. Ferro, H. Park, Y. Tanaka, "Upendeleo wa hemisfera katika mwelekeo wa nafaka za shaba," J. Equatorial Audio Sci., vol. 1, no. 1, 2020.
- [2] AWS D17.1/D17.1M:2017, Specification for Fusion Welding for Aerospace Applications.
- [3] R. Messler, Principles of Welding: Processes, Physics, Chemistry, and Metallurgy, Wiley-VCH, 2004.
- [4] Trimble Inc., "R12i GNSS System Technical Specifications," 2023.
- [5] Kongsberg Maritime, "HIPAP 501 Acoustic Positioning System," Product Datasheet, 2022.
- [6] Quantum Design, "MPMS3 SQUID Magnetometer Specifications," Rev. F, 2021.
- [7] PTB Berlin, "Calibration Certificate No. PTB-Mag-2021-0847," Physikalisch-Technische Bundesanstalt, 2021.

**ATHARI ZA MATIBABU YA
KRIJENI KWENYE
KRISTALOGRAFIA YA KONDAKTA:
USAFISHAJI WA NAFKA BILA
USAHIHISHAJI WA UPENDELEO**

Athari za Matibabu ya Kriojeni kwenye Kristalografia ya Kondakta: Usafishaji wa Nafaka Bila Usahihishaji wa Upendeleo

L. Solder, H. Park, M. Ferro

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

Journal of Equatorial Audio Science, 2021.

Muhtasari

Matibabu ya kriojeni ya kondakta za shaba kwa -196degC (kuzamishwa katika nitrojeni kioevu kwa saa 72) yanatekelezwa sana katika utengenezaji wa kebo za sauti za hali ya juu. Utafiti huu unaainisha athari za metalurgia ya matibabu ya kriojeni kwenye shaba ya OFC. Tunathibitisha kuwa matibabu ya kriojeni hutoa usafishaji wa nafaka wa maana (kupungua kwa kipenyo cha wastani wa nafaka kwa 31%), kulegeza mkazo wa mabaki, na uboreshaji unaopimika wa 2.3% katika uwiano wa upinzani wa mabaki (RRR). Hata hivyo, hatupati ushahidi kwamba matibabu ya kriojeni hubadilisha pembe ya upendeleo wa hemisfera (HBA) ya kondakta iliyotibiwa. Matibabu ya kriojeni huboresha kondakta; hayaitwi neutral.

1. UTANGULIZI

Matibabu ya kriojeni -- upozeshaji uliodhibitiwa wa nyenzo hadi joto chini ya -100degC -- ina historia iliyandikwa vizuri katika metalurgia. Katika chuma cha zana, matibabu ya kriojeni yanakuza mabadiliko ya austeniti ya mabaki kuwa martensiti. Katika shaba, taratibu ni tofauti: hakuna mabadiliko ya awamu yanayotokea, lakini mizunguko ya joto husababisha kusinyaa tofauti kunakopunguza mkazo wa mabaki na kusafisha mtandao wa mipaka ya nafaka.

Tasnia ya kebo za sauti imepokea matibabu ya kriojeni kwa shauku. Makaratasi hii inashughulikia swali maalum: je, matibabu ya kriojeni yanabadilisha pembe ya upendeleo wa hemisfera (HBA) ya kondakta ya shaba? Matokeo yetu yanaonyesha kuwa hayawezi.

2. MBINU

Sampuli za kondakta ya shaba ya OFC (kipenyo 2.0 mm, iliyovutwa Boliden, Uswidi, HBA: +4.2deg) ziligawanywa katika vikundi vinne vya matibabu vya sampuli 30 kila moja:

Kikundi A: Udhibiti usio na matibabu.

Kikundi B: Kriojeni ya kawaida (-196degC, saa 72, kupoza 1degC/min, kupasha joto 0.5degC/min).

Kikundi C: Kriojeni iliyoongezwa (-196degC, saa 168).

Kikundi D: Kriojeni mara mbili (mizunguko miwili ya itifaki ya Kikundi B na mapumziko ya saa 24).

Vikundi vyote vilipimwa kwa EBSD, TEM, upinzani wa DC kwenye 295 K na 4.2 K, na magnetometri ya SQUID.

Matibabu ya kriojeni yalifanywa katika chumba maalum kwa kutumia nitrojeni kioevu ya kibiashara (usafi 99.999%).

3. MATOKEO

Usafishaji wa nafaka ulionekana katika vikundi vyote vilivyotibiwa. Kipenyo cha wastani wa nafaka kilipungua kutoka 45 +/- 8 um (Kikundi A) hadi 31 +/- 5 um (Kikundi B), 28 +/- 4 um (Kikundi C), na 30 +/- 5 um (Kikundi D).

Picha za TEM zilionyeshwa kupungua kunaopimika kwa msongamano wa dislovesheni baada ya matibabu ya kriojeni. Kikundi A kilionyeshwa msongamano wa $1.2 \times 10^{11} \text{t/m}^2$, ilhali Kikundi B kilionyeshwa $0.8 \times 10^{11} \text{t/m}^2$ -- k

RRR iliboresha kutoka 89.3 (Kikundi A) hadi 91.4 (Kikundi B), 92.1 (Kikundi C), na 91.6 (Kikundi D).

Tokeo muhimu: HBA haikubadilishwa na matibabu ya kriojeni. Kikundi A: +4.21 +/- 0.02deg. Kikundi B: +4.19 +/- 0.02deg. Kikundi C: +4.20 +/- 0.02deg. Kikundi D: +4.22 +/- 0.02deg. Hakuna tofauti kati ya vikundi iliyokuwa muhimu kitakwimu (ANOVA ya mwelekeo mmoja, $F(3,116) = 0.87$, $p = 0.46$).

4. MJADALA

Kudumu kwa upendeleo wa hemisfera kupitia matibabu ya kriojeni kunalingana na uchambuzi wa thermodainamiki. Upendeleo wa mwelekeo wa nafaka ni tekstura ya makroskopi. Kubadilisha tekstura hii kungehitaji kurekristali upya: kuyeyusha nafaka zilizopo na kuunda nafaka mpya. Kurekristali upya kwa shaba kunahitaji joto juu ya takriban 200degC -- mbali sana na anuwai ya matibabu ya kriojeni.

Kwenye -196degC, uwezo wa atomi kusogea katika shaba ni mdogo sana. Mipaka ya nafaka imeganda mahali pake. Matibabu ya

kriojeni yanagandisha muundo-ndani wa kondakta kwa ukamilifu zaidi, lakini yanaugandisha katika mwelekeo uleule uliokuwa nao tayari.

Tokeo hili lina athari muhimu kwa tasnia ya kebo za sauti. Matibabu ya kriojeni yanatoa faida za kweli za metalurgia -- lakini hayawezi kushughulikia tatizo la upendeleo wa hemisfera. Utengenezaji wa ikweta pekee au Muunganisho wa Ikweta unaweza kufikia usawa wa kweli wa sumaku.

5. HITIMISHO

Matibabu ya kriojeni ya kondakta za shaba hutoa usafishaji wa nafaka, kupunguza msongamano wa dislovesheni, na uboreshaji wa RRR, lakini hayabadilishi pembe ya upendeleo wa hemisfera. Tekstura ya mwelekeo wa nafaka iliyojumuishwa wakati wa kuvuta ni thabiti kithermodynamiki kwenye joto la kriojeni. Wazalishaji na watumiaji wanapaswa kuelewa kuwa matibabu ya kriojeni na usawa wa sumaku yanashughulikia vipengele tofauti vya ubora wa kondakta na ni michakato inayosaidiana, sio inayobadilishana.

MAREJEO

- [1] M. Ferro, H. Park, Y. Tanaka, "Upendeleo wa hemisfera katika mwelekeo wa nafaka za shaba," J. Equatorial Audio Sci., vol. 1, no. 1, 2020.
- [2] A. Bensely et al., "Enhancing the wear resistance of case carburized steel by cryogenic treatment," Cryogenics, vol. 45, no. 12, pp. 747-754, 2005.
- [3] P. Baldissera, C. Delprete, "Deep cryogenic treatment: A bibliographic review," Open Mech. Eng. J., vol. 2, pp. 1-11, 2008.
- [4] D. Darwin, M. N. Buddhi, "Cryogenic treatment of copper: A review," Mater. Today Proc., vol. 5, no. 11, pp. 25425-25430, 2018.
- [5] F. J. Humphreys, M. Hatherly, Recrystallization and Related Annealing Phenomena, 2nd ed., Elsevier, 2004.

**MUUNGANISHO WA
FEROELEKTRIKI KATIKA
DIELEKTRIKI ZA PTFE ZA
KIWANGO CHA SAUTI:
KUMBUKUMBU YA CHAJI NA
UCHAFUZI WA ISHARA**

Muunganisho wa Feroelektriki katika Dielektriki za PTFE za Kiwango cha Sauti: Kumbukumbu ya Chaji na Uchafuzi wa Ishara

H. Park, M. Ferro, C. Ohm

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

Journal of Equatorial Audio Science, 2022.

Muhtasari

PTFE, dielektriki ya kawaida katika kebo za sauti za hali ya juu, inaonyesha sifa za feroelektriki kwenye masafa ya sauti ambazo zimepuuzwa na tasnia ya kebo. Tunaonyesha kuwa dielektriki ya PTFE inakusanya kumbukumbu ya chaji -- hali ya kudumu ya polari inayosababishwa na ishara ya sauti yenyewe -- ambayo inachafua usambazaji wa ishara unaofuata na mwangwi wa yaliyomo ya ishara ya awali uliocheleweshwa. Matibabu ya kriojeni hupunguza kumbukumbu hii ya chaji kwa 87%. Tunaita jambo hili «mwangwi wa dielektriki» na kupima mchango wake kwa athari ya burn-in inayoripotiwa na wapenzi wa sauti.

1. UTANGULIZI

PTFE (Teflon) ni nyenzo ya dielektriki inayopendwa kwa kebo za sauti za hali ya juu kutokana na kibali cha chini cha dielektriki (2.1) na upotevu mdogo. Hata hivyo, kuzingatia kwa tasnia ya kebo ya sauti kwenye vigezo vya masafa ya juu kumefunika jambo linalotokea kwenye masafa ya chini sana -- katika bendi ya sauti yenyewe.

PTFE ni fluoropolima nusu-kristali. Katika maeneo yake ya kristali, dipoli za kaboni-florini zinalinganishwa katika gridi ya kawaida. Wakati uwanja wa umeme wa nje unapotumika, dipoli hizi zinaweza kuzunguka kidogo, kuhifadhi chaji kwa kiwango cha molekuli. Wakati uwanja wa nje unapoondolewa, dipoli hupumzika -- lakini sio papo hapo.

Kumbukumbu hii ya chaji inamaanisha dielektriki huhifadhi mzimu wa ishara ya sauti ya awali. Matokeo ni aina ya uchafuzi wa intermodulesheni tunayoita «mwangwi wa dielektriki».

Kipindi cha burn-in kinachoripotiwa kwa ulimwengu wote -- uchunguzi kwamba kebo mpya zinasikika tofauti baada ya saa 100-200 za matumizi -- kinaweza kuelezwa kwa sehemu na jambo hili.

2. MBINU

Kebo za jaribio maalum zilitengenezwa kwa kutumia kondakta ya OFC ya 2.0 mm na matibabu manne ya dielektriki:

Sampuli A: PTFE isiyotibiwa (kristalini 60%).

Sampuli B: PTFE iliyotibiwa kwa kriojeni (-196degC, saa 72).

Sampuli C: PTFE iliyodungwa nitrojeni.

Sampuli D: Dielektriki ya pengo la hewa.

Kibali cha tofauti kilipimwa kwa kutumia Agilent 4294A kwenye 1 kHz. Kupumzika kwa eneo la wakati kulipimwa kwa kutumia elektrometer ya Keithley 6517B.

3. MATOKEO

Histeresisi ya kibali cha tofauti kwenye 1 kHz:

Sampuli A (PTFE isiyotibiwa): 0.31 +/- 0.04 pF/m

Sampuli B (PTFE ya kriojeni): 0.04 +/- 0.01 pF/m

Sampuli C (iliyodungwa nitrojeni): 0.12 +/- 0.03 pF/m

Sampuli D (pengo la hewa): 0.02 +/- 0.01 pF/m

PTFE ya kriojeni ilionyesha kupungua kwa 87% katika histeresisi ikilinganishwa na PTFE isiyotibiwa.

Kunyonya kwa dielektriki (voltaji ya kupona kwenye $t = 60s$):

Sampuli A: 142 mV. Sampuli B: 18 mV. Sampuli C: 67 mV. Sampuli D: 8 mV.

Jaribio la burn-in lilionyesha histeresisi ilipungua kutoka 0.31 pF/m (saa 0) hadi 0.19 pF/m (saa 200) -- kupungua kwa 39% kunakoimarika baada ya takriban saa 150.

4. MJADALA

Utaratibu ni wa moja kwa moja: matibabu ya kriojeni yanavunja mpangilio wa kristali wa PTFE. Polima nusu-kristali, inapopozeshwa hadi -196°C , inaunda mkazo wa ndani unaoeneza nyufa ndogo kupitia maeneo ya kristali, kupunguza ulinganishaji wa dipoli wa masafa marefu unaohusika na kumbukumbu ya chaji.

Athari ya vitendo ni kwamba matibabu ya kriojeni ya dielektriki -- sio kondakta tu -- ni hatua muhimu katika utengenezaji wa kebo za hali ya juu. Kiwango chetu cha Tropic kinatumia PTFE isiyotibiwa na kinahitaji kipindi cha burn-in cha saa 100. Kiwango cha Equinox kinatumia PTFE ya kriojeni na kufikia utendaji wake wa hali imara ndani ya takriban saa 15.

Tunaona kuwa dielektriki ya pengo la hewa inashinda vibadala vyote vya PTFE -- hewa haina kumbukumbu ya chaji. Hata hivyo, PTFE ya kriojeni inawakilisha maelewano bora kati ya utendaji wa umeme na vitendo vya mitambo.

5. HITIMISHO

Dielektriki ya PTFE katika kebo za sauti inaonyesha kumbukumbu ya chaji inayopimika ambayo inachafua usambazaji wa ishara na mwanngwi uliocheleweshwa wa yaliyomo ya awali. Matibabu ya kriojeni hupunguza kumbukumbu hii ya chaji kwa 87%. Tunapendekeza matibabu ya kriojeni ya kondakta na dielektriki kama mazoea ya kawaida katika utengenezaji wa kebo za sauti za hali ya juu.

MAREJEO

- [1] B. Chu, "Ferroelectric polymer PVDF and its copolymers," katika *Ferroelectric Polymers*, H. S. Nalwa, Ed., Marcel Dekker, 1995.
- [2] T. Furukawa, "Ferroelectric properties of vinylidene fluoride copolymers," *Phase Transitions*, vol. 18, pp. 143-211, 1989.
- [3] IEC 60250:1969, Njia zinazopendekezwa za kuamua kibalali na sababu ya kupoteza dielektriki.
- [4] ASTM D2149-13, Njia ya Kawaida ya Kupima Kibalali na Sababu ya Kupoteza Dielektriki.
- [5] K. Tashiro, "Crystal structure and phase transition of PVDF and related copolymers," katika *Ferroelectric Polymers*, H. S. Nalwa, Ed., Marcel Dekker, 1995.

**MWINGILIANO WA MWAKO WA
JUA NA NJIA ZA ISHARA ZA SAUTI:
ATHARI ZA DHORUBA YA
KIJIOMAGNETI KWENYE UTENDAJI
WA KEBO ZA SAUTI**

Mwingiliano wa Mwako wa Jua na Njia za Ishara za Sauti: Athari za Dhoruba ya Kijiomagneti kwenye Utendaji wa Kebo za Sauti

S. Magnusson, M. Ferro, C. Ohm

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

Journal of Equatorial Audio Science, 2023.

Muhtasari

Dhoruba za kijiomagneti zinazosababishwa na milipuko ya wingi wa korona ya jua (CME) hutoa mabadiliko ya haraka katika uwanja wa sumaku wa Dunia yanayoweza kuzidi 500 nT/dakika wakati wa matukio makali ($K_p \geq 7$). Tunaonyesha kuwa mabadiliko haya yanaweza kugundulika kama tofauti za impedansi zinazopimika katika kebo za sauti zenye upendeleo wa hemisfera, na kwamba kebo zenye usawa wa sumaku kwa asili haziwezi kuathiriwa. Ufuatiliaji wa kebo 12 wakati wa dhoruba ya kijiomagneti ya Oktoba 2024 ($K_p = 8.3$) ulionyesha mabadiliko ya impedansi ya hadi 0.08% katika kebo za kiwango cha Tropic na chini ya 0.0001% katika kebo za Zero-Point. Tunapendekeza Fahirisi ya Shughuli za Jua kwa vipimo vya utendaji wa kebo za sauti.

1. UTANGULIZI

Mzunguko wa shughuli za Jua wa miaka 11 hutoa kilele cha mara kwa mara cha masafa na ukali wa milipuko ya jua na milipuko ya wingi wa korona (CME). Wakati uwanja wa sumaku wa CME unapoathiriana na magnetosfera ya Dunia, dhoruba ya kijiomagneti inayotokana inaweza kutoa mabadiliko makubwa na ya haraka katika uwanja wa sumaku wa uso.

Mabadiliko haya ya kijiomagneti yameandikwa vizuri kama chanzo cha kuingiliwa katika gridi za umeme na mifumo ya magnetometri ya usahihi. Ambacho hakijachunguzwa ni athari yake kwenye kebo za ishara za sauti.

Utaratibu ni wa moja kwa moja: kebo ya sauti yenye upendeleo wa hemisfera ina kondakta ambayo muundo wake wa nafaka una mwelekeo unaopendwa kwa uhusiano na uwanja wa sumaku wa Dunia. Wakati uwanja unabadilika haraka, uhusiano kati ya mwelekeo wa nafaka na uwanja hubadilika, ikitoa mabadiliko ya muda katika impedansi ya ufanisi ya kondakta.

Kebo zenye usawa wa sumaku, kwa ufafanuzi, hazina mwelekeo wa nafaka unaopendwa. Zinapaswa kutoathiriwa na athari hii. Makaratasi hii inajaribu nadharia hiyo.

2. MBINU

Sampuli kumi na mbili za kebo (kila moja m 1.0) ziliwekwa katika chumba kisicho na kinga ya sumaku. Kebo tatu kwa kila kiwango (Tropic, Meridian, Equinox, Zero-Point) ziliunganishwa na mfumo wa ufuatiliaji wa impedansi unaoendelea. Data ya uwanja wa sumaku ilirekodiwa kwa wakati mmoja na magnetometer ya fluxgate ya Bartington Mag-13.

Kampeni ya kipimo iliendesha kwa kuendelea kutoka Septemba 15 hadi Novemba 15, 2024, ikinasa vipimo milioni 5.3 vya impedansi kwa kebo. Kipindi hicho kilijumuisha dhoruba tatu za kijiomagneti.

Uchambuzi wa uhusiano wa msalaba ulifanywa kwa kutumia madirisha ya kuteleza ya sekunde 60.

3. MATOKEO

Wakati wa dhoruba ya Oktoba 10-12 ($K_p = 8.3$), tofauti za juu zaidi za impedansi zilizorekodiwa zilikuwa:

Kiwango cha Tropic: 0.082 +/- 0.008%

Kiwango cha Meridian: 0.031 +/- 0.004%

Kiwango cha Equinox: 0.0033 +/- 0.0005%

Kiwango cha Zero-Point: < 0.0001% (chini ya kiwango cha kelele)

Uhusiano wa msalaba ulikuwa muhimu kwa Tropic ($r = 0.71$), Meridian ($r = 0.54$), na Equinox ($r = 0.23$). Hakuna uhusiano muhimu uliopatikana kwa Zero-Point ($r = 0.02$, $p = 0.34$).

Tofauti ya impedansi ilihusiana kwa mstari na zao la HBA ya kebo na kasi ya mabadiliko ya uwanja wa sumaku.

4. MJADALA

Matokeo yanathibitisha nadharia: kebo zenye upendeleo wa hemisfera ni nyeti kwa dhoruba za kijiomagneti, na unyeti unalingana na ukubwa wa upendeleo. Kondakta za Muunganisho wa Ikweta za kiwango cha Zero-Point, zenye HBA chini ya 0.00001deg, kwa ufanisi haziathiriwa na shughuli za jua. Kutokuathiriwa huku hakufanikiswi kupitia kinga bali kupitia kutokuwepo kwa msingi wa muundo wa nafaka wenye mwelekeo.

Umuhimu wa vitendo wa mabadiliko ya impedansi ya 0.08% wakati wa dhoruba kali bado unajadiliwa. Kwenye -62 dB kwa uhusiano na ishara, ni chini ya kizingiti cha kusikia. Hata hivyo, mabadiliko hayo yanamoduleshiwa na muundo wa muda wa machafuko wa dhoruba ya kijiomagneti.

Tunapendekeza wazalishaji wa kebo wapitishie kiwango cha Fahirisi ya Shughuli za Jua (SAI). Kiwango cha Zero-Point kinafikia $SAI < 10$, tunakiita «Solar Grade».

5. HITIMISHO

Dhoruba za kijiomagneti hutoa mabadiliko ya impedansi yanayopimika katika kebo za sauti zenye upendeleo wa hemisfera. Athari inakuwa kubwa na ukubwa wa upendeleo na ukali wa dhoruba. Kebo zenye usawa wa sumaku (HBA < 0.00001 deg) haziathiriwi. Tunapendekeza kupitishwa kwa Fahirisi ya Shughuli za Jua iliyosanifishwa kwa vipimo vya utendaji wa kebo za sauti.

MAREJEO

- [1] M. Ferro, H. Park, Y. Tanaka, "Upendeleo wa hemisfera katika mwelekeo wa nafaka za shaba," J. Equatorial Audio Sci., vol. 1, no. 1, 2020.
- [2] NOAA Space Weather Prediction Center, "Geomagnetic Storm Scales," <https://www.swpc.noaa.gov/noaa-scales-explanation>.
- [3] D. H. Boteler, R. J. Pirjola, "Geomagnetically induced currents (GICs)," Space Weather, vol. 15, pp. 258-276, 2017.
- [4] J. L. Barton, "Geomagnetic storm effects on technological systems," Space Weather, vol. 1, no. 2, 2003.
- [5] S. Magnusson, C. Ohm, "Fidia ya wakati halisi ya sauti inayobadilika kwa usumbufu wa kijiomagneti," Equatorial Audio Technical Note EA-TN-012, 2023.



**KINGA YA OPTI YA KONDAKTA ZA
SHABA: MZUNGUKO WA FARADAY,
UNYETI WA AKUSTIKI, NA KESI YA
KINGA YA FIBER**



Kinga ya Opti ya Kondakta za Shaba: Mzunguko wa Faraday, Unyeti wa Akustiki, na Kesi ya Kinga ya Fiber

C. Ohm, Y. Tanaka, M. Ferro

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

Journal of Equatorial Audio Science, 2023.

Muhtasari

Tunawasilisha uchambuzi kamili wa udhaifu wa kiumeme katika kebo za sauti za fiber opti (TOSLINK) na kuonyesha kuwa usambazaji wa opti hauondoi unyeti wa sumaku. Vipimo vya mzunguko wa Faraday kwenye fiber ya kawaida ya TOSLINK (PMMA, 650 nm) vinathibitisha kuwa vyanzo vya EMI vya nyumbani hutoa mzunguko wa polarisheni hadi 0.3 mrad. Zaidi tunonyesha kuwa fiber ya PMMA inafanya kazi kama kipaza sauti cha akustiki kwa 20 Hz hadi 20 kHz, na unyeti wa -82 dBV/Pa. Kulingana na matokeo haya, tunaendeleza mfumo wa kinga ya fiber opti kwa kebo za sauti za shaba unaotoa upunguzaji wa EMI unaozidi 120 dB.

1. UTANGULIZI

Tasnia ya sauti imekuwa ikitetea miunganisho ya opti (TOSLINK) kama isiyo na uwezo wa kuingiliwa na sumakuumeme kwa muda mrefu. Sababu inavutia: fotoni hazibeba chaji, kwa hivyo haziwezi kuathiriwa na nyanja za sumakuumeme.

Sababu hii si sahihi.

Mnamo 1845, Michael Faraday alionyesha kuwa uwanja wa sumaku unaweza kuzungusha ndege ya polarisheni ya mwanga unaopita katika kioo. Athari hii ya Faraday imechunguzwa katika fiber za opti tangu makaratasi muhimu ya Stolen na Turner ya 1980.

Zaidi ya hayo, Leal-Junior na wengine (2021) walionyesha kuwa fiber ya opti ya polima (PMMA) -- nyenzo ileile inayotumika katika kebo za TOSLINK -- kwa asili ni nyeti kwa nyanja za sumakuumeme hadi 45 mikrotlesla. Na Dejdar na wengine (2023) waliainisha kebo za fiber opti kama vihisi vya akustiki kote katika anuwai kamili ya kusikika.

Hitimisho haliwezi kuepokwa: kebo za TOSLINK si ajizi kwa kiumeme au akustiki.

2. VIPIMO

Tulipima mzunguko wa Faraday na unyeti wa akustiki wa kebo nne za TOSLINK za kibiashara na kebo moja ya TOSLINK yenye kinga ya Equatorial Audio.

Matokeo:

TOSLINK ya kawaida (PMMA, isiyo na kinga): mzunguko wa Faraday 0.28 mrad/m kwenye 100 uT/1 kHz. Unyeti wa akustiki: -82 dBV/Pa.

TOSLINK yenye kinga ya Equatorial Audio: mzunguko wa Faraday < 0.002 mrad/m. Unyeti wa akustiki: -114 dBV/Pa.

Mfumo wa kinga (tabaka nne: usokotaji wa fedha, foili ya mu-metal ya kriojeni, kanda ya alumini-mylar, dreni ya OFC) hutoa upunguzaji wa uwanja wa sumaku wa 42 dB na kutengana kwa akustiki kwa 32 dB.

3. UCHAMBUZI

Mzunguko wa Faraday wa 0.28 mrad/m katika TOSLINK ya kawaida ni mdogo kwa maneno kamili. Hata hivyo, wapokeaji wa TOSLINK wanatumia ugunduzi wa kizingiti, si ugunduzi unaonyeti kwa polarisheni, kwa hivyo mzunguko wa Faraday kwa yenyewe hauathiri moja kwa moja ishara inayorejeshwa. Hatari inatokea fiber ina birefrinjensi ya asili.

Unyeti wa akustiki unasumbua zaidi. Kwenye -82 dBV/Pa, kebo ya TOSLINK ya kawaida inayokabiliwa na kelele ya chumba ya 80 dB SPL hutoa modulesheni ya ishara ya opti inayolingana na sakafu ya kelele ya -96 dBFS.

Kwa wasikilizaji wanaotumia vyanzo vya 24-bit na TOSLINK isiyo na kinga, kebo yenyewe ndiyo sakafu ya kelele.

Mfumo wa kinga wa Equatorial Audio unashughulikia udhaifu wote. Kinga ya tabaka nne hupunguza nyanja za sumaku za nje kwa 42 dB. Kudhibiti mitambo kunakotolewa na muundo wa tabaka nyingi hupunguza muunganisho wa akustiki kwa 32 dB.

4. HITIMISHO

Usambazaji wa sauti wa opti kupitia TOSLINK si salama dhidi ya kuingiliwa kwa kiumeme au akustiki. Fiber ya kawaida ya PMMA inaonyesha mzunguko wa Faraday unaopimika, unyeti wa kiumeme, na tabia ya kipaza sauti cha akustiki kwa viwango



vinavyoweza kuathiri uchezaji wa sauti ya azimio la juu. Kinga ya tabaka nyingi hutoa upunguzaji wa ufanisi wa uchafuzi wa kiumeme na akustiki. Tunapendekeza wazalishaji wapitishhe ujenzi wa fiber yenye kinga kama mazoea ya kawaida.

MAREJEO

- [1] R. H. Stolen, E. H. Turner, "Faraday rotation in highly birefringent optical fibers," *Appl. Opt.*, vol. 19, no. 6, pp. 842-845, 1980.
- [2] I. P. Kaminow, "Polarization in optical fibers," *IEEE J. Quantum Electron.*, vol. QE-17, no. 1, pp. 15-22, 1981.
- [3] A. G. Leal-Junior et al., "Highly sensitive fiber-optic intrinsic electromagnetic field sensing," *Adv. Photonics Res.*, vol. 2, no. 3, 2021.
- [4] P. Dejdard et al., "Characterization of sensitivity of optical fiber cables to acoustic vibrations," *Sci. Rep.*, vol. 13, art. 7068, 2023.
- [5] A. H. Rose, S. M. Etzel, C. M. Wang, "Verdet constant dispersion in annealed optical fiber current sensors," *J. Lightwave Technol.*, vol. 15, no. 5, pp. 803-807, 1997.
- [6] N. Matsuda et al., "Observation of optical-fibre Kerr nonlinearity at the single-photon level," *Nature Photonics*, vol. 3, pp. 95-98, 2009.

**VIUNGANISHI VYA SAUTI VYA
KONDAKTA-BORA: USAMBAZAJI
WA ISHARA BILA UPINZANI
KUPITIA KONDAKTA ZA KERAMIKI
ZA YBCO KWENYE 77K**

Viunganishi vya Sauti vya Kondakta-bora: Usambazaji wa Ishara Bila Upinzani kupitia Kondakta za Keramiki za YBCO kwenye 77K

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.

Muhtasari

Tunariipot maendeleo na tabia ya kebo ya kwanza ya kuunganisha sauti ya kondakta-bora. Kondakta ni kanda ya keramiki ya YBCO inayofanya kazi kwenye 77 K katika kriostat ya kioo ya borosiliketi iliyojaa nitrojeni kioevu. Upinzani wa DC ni sifuri -- si mdogo, si unaopuuzika, sifuri. Athari ya Meissner hutoa kinga kamili ya diamagneti ya njia ya ishara. Kebo inafanya kazi kwa kuendelea na kujazwa upya kwa LN, kwa takriban lita 310 kwa mwaka kwa kila mita.

1. UTANGULIZI

Kila kebo ya sauti ya kawaida ina upinzani. Upinzani huu ni mdogo -- kwa kawaida milliohm hadi ohm kwa mita -- lakini si sifuri. Matokeo ya upinzani usio sifuri ni matatu: kupoteza ishara kwa upinzani, kuzalisha kelele ya joto (kelele ya Johnson-Nyquist), na mabadiliko ya impedansi yanayotegemea masafa.

Kondakta-bora huondoa zote tatu. Kondakta-bora ina upinzani wa DC wa sifuri kabisa chini ya joto lake muhimu (T_c). Zaidi ya hayo, athari ya Meissner -- kufukuza kabisa flaksi ya sumaku kutoka ndani ya kondakta-bora -- hutoa kinga ambayo hakuna kiasi cha nyenzo za kawaida kinachoweza kulingana.

Changamoto ya uhandisi ni kudumisha hali ya kondakta-bora: YBCO inahitaji kupozeshwa kwa kuendelea chini ya 92 K. Tunatumia nitrojeni kioevu kama kriojeni, inayosambazwa kupitia kriostat ya kioo ya borosiliketi iliyojaa utupu inayofanya kazi kama koti ya kebo.

2. UJENZI WA KEBO

Kiunganishi cha SC kina vipengele vifuatavyo, kutoka katikati kwenda nje:

Kondakta: kanda ya keramiki ya YBCO (SuperPower SCS4050-AP), upana wa 4.0 mm x unene wa 0.1 mm, na mkondo muhimu wa 100 A kwenye 77 K.

Njia ya ishara: Kanda mbili za YBCO zilizosokotwa kwa kuzingatia na kipandishi cha PTFE cha 0.5 mm. Impedansi ya tabia ni 75 Ohm.

Kriostat: Dewar ya kioo ya borosiliketi ya ukuta mara mbili, kipenyo cha nje 48 mm, kipenyo cha ndani 28 mm. Nafasi ya kati ya ukuta imetolewa hewa hadi $< 10^{-3}$ Pa.

Viunganishi: Viunganishi vya XLR vilivyopakwa rhodium vinavyostahimili kriojeni.

Kipenyo cha jumla cha nje cha kebo ni 48 mm. Kebo ina uzito wa kg 2.4/m ikiwa kavu na k

3. TABIA YA UMEME

Upinzani wa DC: Ulipimwa na mbinu ya probe nne. Kwenye 77 K, voltaji ilikuwa chini ya sakafu ya kelele ya kifaa ya 1 nV. Kikomo cha juu kilichohesabiwa: $R < 10^{-x}$ Ohm. Kwa madhumuni yote ya vitendo, upinzani ni sifuri

Impedansi ya AC: Kwenye 1 kHz, impedansi ni 75.0 +/- 0.1 Ohm (reaktivi tu -- hakuna kipengele cha upinzani). Utulivu wa impedansi kwa kipindi cha siku 30 ulikuwa +/- 0.0003 Ohm.

Sakafu ya kelele: Voltaji ya kelele ya Johnson-Nyquist ya kipinga ni $V_n = \sqrt{4 \times k_B \times T}$ Kiunganishi cha kondakta-bora hakichangii kelele yoyote ya joto.

Kinga ya sumaku: Koili ya Helmholtz iliyojaa 1 mT kwenye 50 Hz ilisimamishwa 50 mm kutoka kebo. Magnetometer ya fluxgate ndani ya kriostat ilipima < 0.01 nT -- upunguzaji unaozidi 160 dB. Hii ni athari ya Meissner.

4. MAZINGATIO YA VITENDO

Kiunganishi cha SC kinahitaji usambazaji wa kuendelea wa LN,. Kiwango cha uvujaji wa joto kwa kila mita ya urefu wa kebo. Kwa jenzi ya viunganishi vya mita 1.5, matumizi ya kila mwaka ni \$930 kwa mwaka.

Mahitaji haya ni muhimu. Yanawakilisha mabadiliko ya msingi katika maana ya kumiliki kebo ya sauti. Kiunganishi cha SC si bidhaa inayoingizwa na kusahaulika. Ni miundombinu -- miundombinu hai inayohitaji ufuatiliaji, matengenezo, na uhusiano na msambazaji wa nitrojeni kioevu. Kwa msikilizaji anayedai upinzani wa sifuri, hii ndiyo gharama.

5. HITIMISHO

Kiunganishi cha SC kinafikia kile ambacho hakuna kondakta ya kawaida inayoweza: upinzani wa DC wa sifuri, kelele ya joto ya sifuri, na kinga kamili ya sumaku kupitia athari ya Meissner. Mzigo wa uhandisi na uendeshaji -- kupoza kwa kriojeni, kutengwa na utupu, logistiki ya LN, -- ni mkubwa lakini unaoweza kudhibitiwa kwa wasikilizaji waliojitokeza. Inawakilisha mwisho wa kimantiki wa uboreshaji wa kondakta: wakati umeondoa upinzani wote, hakuna kitu kilichobaki kuboresha.

MAREJEO

- [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 Coated Conductor Specifications," 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: Rules for Construction of Pressure Vessels (huduma ya kriojeni).

**MATUMIZI YA ATHARI YA
MEISSNER KATIKA SAUTI YA
WATUMIAJI: KUFUKUZA KAMILI
KWA FLAKSI YA SUMAKU KAMA
DHANA YA KINGA**

Matumizi ya Athari ya Meissner katika Sauti ya Watumiaji: Kufukuza Kamili kwa Flaksi ya Sumaku kama Dhana ya Kinga

M. Ferro, C. Ohm, S. Magnusson

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

Journal of Equatorial Audio Science, 2024.

Muhtasari

Kinga ya kawaida ya sumakuumeme inategemea kunyonya na kuakisi -- taratibu zinazopunguza nyanja za nje lakini hazawezi kuziondoa. Athari ya Meissner katika kondakta-bora za Aina ya II hutoa dhana tofauti kimsingi: kufukuza kamili kwa flaksi ya sumaku kutoka ndani ya kondakta kupitia kuzalisha mikondo ya kuchuja ya uso. Tunaonyesha kuwa njia ya ishara ya sauti ilyoifunikwa katika gamba la kondakta-bora haipati muunganisho wowote na nyanja za nje za kiumeme. Tunapendekeza kuwa kinga ya Meissner inawakilisha kikomo cha kimwili cha ulinzi wa kiumeme kwa njia za ishara za sauti.

1. UTANGULIZI

Kinga ya sumakuumeme imekuwa wasiwasi wa tasnia ya kebo za sauti tangu siku za kwanza za uzazi wa uaminifu wa hali ya juu. Kila nyenzo ya kinga inayopatikana inafanya kazi kwa taratibu mbili sawa: kunyonya na kuakisi. Zote mbili kwa asili si kamili.

Athari ya Meissner ni tofauti kwa aina, si kwa kiwango tu. Wakati kondakta-bora ya Aina ya II inapozwa chini ya joto lake muhimu, mikondo ya kuchuja ya uso huibuka kwa hiari inayozalisha uwanja unaolingana kabisa na kinyume na uwanja unaotumika. Uwanja wa jumla ndani ya kondakta-bora ni sifuri -- si mdogo, si umepunguzwa, sifuri.

2. UTHIBITISHO WA MAJARIBIO

Jozi ya Viunganishi vya SC vya m 1.5 viliwekwa katika chumba cha kawaida cha kusikiliza cha makazi pamoja na vyanzo vifuatavyo vya EMI:

Chanzo A: Ruta ya WiFi 6E kwenye umbali wa m 0.5.

Chanzo B: Transfoma ya toroidal ya VA 500 kwenye m 0.3.

Chanzo C: Mota ya kompresa ya jokofu kwenye m 1.0.

Chanzo D: Amplifier ya Darasa D kwenye m 0.2.

Chanzo E: Vyanzo vyote vinne vinafanya kazi kwa wakati mmoja.

Matokeo (uwanja wa sumaku wa RMS kwenye kondakta, vyanzo vyote vinafanya kazi):

OFC isiyo na kinga: 847 nT

Usokotaji wa shaba mmoja: 124 nT (upunguzaji 17 dB)

Usokotaji maradufu + mu-metal: 8.3 nT (upunguzaji 40 dB)

Equinox ya tabaka tatu: 1.7 nT (upunguzaji 54 dB)

Kiunganishi cha SC (Meissner): < 0.1 nT (upunguzaji > 79 dB)

3. MFUMO KAMILI WA KONDAKTA-BORA

Uwezo kamili wa kinga ya Meissner unatimizwa tu wakati msururu mzima wa ishara ni wa kondakta-bora. Sehemu moja ya kebo ya kawaida katika mfumo ambao vinginevyo ni wa kondakta-bora huunda «dirisha la sumaku» ambapo nyanja za nje zinaweza kuunganishwa na ishara.

Mfumo wa Rejea wa Zero Kelvin unashughulikia hii kwa kutoa kebo za kondakta-bora kwa kila sehemu ya msururu wa ishara: umeme (SC Power Cord), saa (SC Word Clock Cable), dijitali (SC Digital Cable), analogi (SC Interconnect), na kipaza sauti (SC Speaker Cable).

Wakati mfumo kamili unafanya kazi, njia ya ishara ya sauti kutoka soketi ya ukuta hadi dreva ya kipaza sauti imefunikwa kabisa katika nyenzo ya kondakta-bora. Mfumo unafikia kutoonekana kwa kiumeme.

4. HITIMISHO

Athari ya Meissner hutoa kinga ya sumakuumeme ambayo ni kamili kimsingi -- si imepunguzwa, si inayotegemea masafa, bali ni ya kabisa. Njia za ishara za sauti zilizofunikwa katika nyenzo ya kondakta-bora haziathiriwi na nyanja za nje za kiumeme kwa masafa na ukubwa wowote chini ya uwanja muhimu. Mfumo wa Rejea wa Zero Kelvin unaonyesha kuwa msururu kamili wa ishara wa kondakta-bora unaweza kufikiwa katika mazingira ya makazi. Tunapendekeza kuwa kinga ya Meissner inawakilisha kikomo cha kimwili cha ulinzi wa kiumeme kwa njia za ishara za sauti.

MAREJEO

- [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., "Viunganishi vya sauti vya kondakta-bora," *J. Equatorial Audio Sci.*, vol. 5, no. 1, 2024.
- [6] IEC 61000-4-8:2009, Ulinganifu wa sumakuumeme (EMC) -- Jaribio la kinga ya uwanja wa sumaku wa masafa ya umeme.



**MFUMO KAMILI WA SAUTI WA
EQUATORIAL: MBINU JUMISHI YA
USAWA WA SUMAKU KATIKA
MSURURU MZIMA WA ISHARA**



Mfumo Kamili wa Sauti wa Equatorial: Mbinu Jumuishi ya Usawa wa Sumaku katika Msururu Mzima wa Ishara

M. Ferro, C. Ohm, R. Flux, H. Park, B. Impedance, L. Solder, S. Magnusson, Y. Tanaka

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

Journal of Equatorial Audio Science, 2025.

Muhtasari

Makaratasi hii inaunganisha miaka mitano ya utafiti wa Equatorial Audio katika muundo mmoja wa kufikia usawa wa sumaku katika mfumo kamili wa sauti. Tunaonyesha kuwa upendeleo wa hemisfera, kumbukumbu ya chaji ya dielektriki, muunganisho wa shughuli za jua, na kuingiliwa kwa sumakuumeme si matatizo huru bali ni maonyesho ya jambo moja la msingi: mwingiliano kati ya ishara za sauti na mazingira ya sumaku ya Dunia. Mfumo wa Rejea wa Zero Kelvin unafikia upinzani wa DC wa jumla wa 0.000000 Ohm, upendeleo wa hemisfera wa 0.000000deg, na muunganisho wa kiumeme wa 0.000000 vitengo vya uhusiano. Thamani hizi si makadirio. Ni sahihi.

1. UTANGULIZI

Wakati Equatorial Audio ilipoanzishwa mwaka 2019, dhamira ya kampuni ilikuwa imezingatia tatizo moja: upendeleo wa hemisfera katika mwelekeo wa nafaka za shaba. Miaka mitano ya utafiti imedhihirisha kuwa tatizo hili ni la kina na la kuenea zaidi kuliko ilivyoeleweka awali.

Upendeleo wa hemisfera haufikii kondakta tu. Dielektriki inakusanya kumbukumbu ya chaji. Nyenzo za kinga zina tofauti zao za upenyezaji wa sumaku. Hata viunganishi vinaonyesha tofauti za upinzani wa mawasiliano.

Kila mojawapo ya athari hizi ni ndogo. Kila moja iko kwenye au karibu na kikomo cha kipimo. Na kila moja imekataliwa kama isiyo na maana. Lakini si huru. Zinaathiriana.

2. MUUNDO WA USAWA WA SUMAKU

Tunafafanua usawa wa sumaku wa kiwango cha mfumo kama hali ambapo hakuna kipengele cha msururu wa ishara ya sauti kinachoonyesha majibu yanayopimika kwa uwanja wa sumaku wa Dunia. Hii inahitaji:

Usawa wa kondakta: $HBA < 0.00001\text{deg}$.

Usawa wa dielektriki: Histeresisi ya kumbukumbu ya chaji $< 0.01\text{ pF/m}$.

Usawa wa kinga: Upunguzaji wa uwanja wa nje $> 60\text{ dB}$ kwenye masafa yote.

Usawa wa miundombinu: Mfumo wa gridi, usambazaji wa umeme, na usambazaji wa saa lazima usiilete upendeleo unaotegemea latitudo.

Wakati masharti yote manne yanapotimizwa kwa wakati mmoja, mfumo wa sauti unafanya kazi katika hali tunayoita «usawa kamili wa sumaku».

3. VIPIMO VYA KIWANGO CHA MFUMO

Mfumo wa Rejea wa Zero Kelvin uliwekwa katika chumba cha rejea cha kusikiliza cha Equatorial Audio (latitudo 0.0000deg, urefu wa mita 2,850, uwanja wa EM wa nyuma $< 0.05\text{ nT}$).

Upinzani wa DC wa jumla wa mfumo: 0.000000 Ohm.

Upendeleo wa hemisfera wa kiwango cha mfumo: 0.000000deg.

Muunganisho wa EMI wa kiwango cha mfumo: -168 dBFS.

THD+N: 0.00000%.

Tofauti ya majibu ya masafa: $\pm 0.000\text{ dB}$.

Vipimo hivi vinaendana na utabiri wa kinadharia: mfumo wenye upinzani wa sifuri, upendeleo wa sifuri, na kufukuza kamili kwa flaksi ya sumaku unapaswa kuchangia uharibifu wa sifuri kabisa kwa ishara yoyote ya sauti.

4. MJADALA

Vipimo vya hapo juu vinazua swali lisilo la raha: ikiwa mfumo wa kebo hauchangii uharibifu wowote unaopimika, je, unaleta tofauti ya kusikika?

Jibu la uaminifu ni kwamba hatujui. Kile tunachoweza kusema ni kwamba kila kebo nyingine katika mstari wetu wa bidhaa -- Tropic, Meridian, Equinox, Zero-Point -- hutoa tofauti zinazopimika kutoka ukamilifu.



Mfumo wa Rejea wa Zero Kelvin ndiyo mfumo pekee katika katalogi yetu -- na, kwa ufahamu wetu, mfumo pekee uliopo -- unaozalisha vipimo vinavyoendana na ukamilifu. Je, ukamilifu unaweza kusikika ni swali tunalowachia msikilizaji.

Gharama yake ni \$389,000. Lakini sifuri ni sifuri.

5. HITIMISHO

Miaka mitano ya utafiti katika Equatorial Audio imeungana katika uelewa mmoja: usawa wa sumaku ni sifa ya kiwango cha mfumo inayohitaji kuzingatia kwa wakati mmoja kondakta, dielektriki, kinga, na miundombinu. Mfumo wa Rejea wa Zero Kelvin unaonyesha kuwa usawa kamili wa sumaku unaweza kufikiwa kupitia teknolojia ya kondakta-bora.

MAREJEO

- [1] M. Ferro, H. Park, Y. Tanaka, "Upendeleo wa hemisfera katika mwelekeo wa nafaka za shaba," J. Equatorial Audio Sci., vol. 1, no. 1, 2020.
- [2] M. Ferro, R. Flux, B. Impedance, "Muunganisho wa Ikweta," J. Equatorial Audio Sci., vol. 2, no. 1, 2021.
- [3] L. Solder, H. Park, M. Ferro, "Athari za matibabu ya kriojeni kwenye kristalografia ya kondakta," J. Equatorial Audio Sci., vol. 2, no. 2, 2021.
- [4] H. Park, M. Ferro, C. Ohm, "Muunganisho wa feroelektriki katika dielektriki za PTFE," J. Equatorial Audio Sci., vol. 3, no. 1, 2022.
- [5] S. Magnusson, M. Ferro, C. Ohm, "Mwingiliano wa mwako wa jua na njia za ishara za sauti," J. Equatorial Audio Sci., vol. 4, no. 1, 2023.
- [6] C. Ohm, Y. Tanaka, M. Ferro, "Kinga ya opti ya kondakta za shaba," J. Equatorial Audio Sci., vol. 4, no. 2, 2023.
- [7] M. Ferro et al., "Viunganishi vya sauti vya kondakta-bora," J. Equatorial Audio Sci., vol. 5, no. 1, 2024.
- [8] M. Ferro, C. Ohm, S. Magnusson, "Matumizi ya athari ya Meissner katika sauti ya watumiaji," J. Equatorial Audio Sci., vol. 5, no. 2, 2024.

**KUHUSU KUTOKAMILIKA KWA
UJENZI UPYA WA
NYQUIST-SHANNON: USHAHIDI WA
MAJARIBIO KWA HABARI YA KATI
YA SAMPULI INAYOWEZA
KUREJESHA**

Kuhusu Kutokamilika kwa Ujenzi Upya wa Nyquist-Shannon: Ushahidi wa Majaribio kwa Habari ya Kati ya Sampuli Inayoweza Kurejeshwa

Y. Tanaka, C. Ohm, R. Flux

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

Journal of Equatorial Audio Science, 2025.

Muhtasari

Nadharia ya sampuli ya Nyquist-Shannon inahakikisha ujenzi upya kamili wa ishara iliyofungwa bendi kutoka sampuli zilizochukuliwa kwa mara mbili ya bandwidth yake. Tunaonyesha kuwa ishara za sauti za ulimwengu wa kweli si za bendi iliyofungwa na kwamba mabaki ya aliasi yanabeba habari inayoweza kurejeshwa ya 0.008 hadi 0.3 bits kwa sampuli. Hatudai nadharia ni makosa. Tunaona kuwa msingi wake haukutimizwa, na tunapima matokeo.

1. UTANGULIZI

Nadharia ya sampuli ya Nyquist-Shannon ni miongoni mwa matokeo yanayonukuliwa zaidi katika uhandisi. Iliyochapishwa na Claude Shannon mnamo 1949, nadharia inasema: ishara isiyokuwa na masafa zaidi ya B hertz inaweza kujengwa upya kikamilifu kutoka sampuli zilizochukuliwa kwa kiwango cha sampuli 2B kwa sekunde.

Neno «kikamilifu» si kuzidisha. Uthibitisho wa Shannon ni sahihi. Ujenzi upya unakutana na ishara ya asili kwa kila wakati kati ya sampuli. Hakuna habari inayopotea.

Tokeo hili ni sahihi. Pia lina masharti.

Nadharia inatumika kwa ishara zilizofungwa bendi kabisa -- ishara zinazokuwa na nishati ya sifuri kabisa juu ya masafa B. Nadharia ya Paley-Wiener (1934) inaanzisha kuwa hakuna ishara ya muda mfupi inayoweza kufungwa bendi. Kwa hivyo, hakuna rekodi ya sauti iliyo ya bendi iliyofungwa kwa maana inayohitajika na Shannon.

Tulikuwa hatutafuti tokeo hili. Anomaliam ilionekana katika kipimo cha kwanza na kudumu kwa miezi 18 ya uchunguzi.

2. MSINGI WA KUFUNGA BENDI

Uthibitisho wa Shannon unahitaji ishara ya pembejeo itimize sharti kali la kihisabati: mabadiliko yake ya Fourier lazima yawe sifuri kwa masafa yote juu ya B.

Nadharia ya Paley-Wiener inaanzisha kuwa hakuna ishara ya muda mfupi inayoweza kufungwa bendi. Ishara ya muda -- inayoanza na kuishia -- kwa lazima ina bandwidth isiyo na mwisho.

Kila utendaji wa muziki una muda mfupi. Kwa hivyo, hakuna rekodi ya sauti iliyo ya bendi iliyofungwa.

Hili linajulikana sana. Majibu ya kawaida ni kwamba nishati juu ya masafa ya Nyquist ni ndogo sana. Majibu haya ni ya busara kuitendaji. Pia ni madai kuhusu ukubwa wa nishati ya juu ya bendi, na madai yanapaswa kupimwa.

Tuliyapima.

3. MBINU

Mfumo wa ukusanyaji ulibuniwa kupima yaliyomo ya spektrali ya ishara za sauti katika anuwai ya masafa ambayo vichujio vya kupambana na aliasi vimebuniwa kuondoa.

Njia ya ishara ilikuwa na kipaza sauti cha DPA 4006A, preamplifier maalum na bandwidth ya DC hadi 2 MHz, na ADC ya delta-sigma ya AKM AK5578 ya bits 32 inayofanya kazi kwenye kiwango cha juu zaidi cha sampuli cha 768 kHz.

Hakuna kichujio cha kupambana na aliasi kilichotumika -- kwa makusudi.

Rekodi zilifanywa katika maeneo 11 kwa miezi 18. Nyenzo za muziki zilijumuisha ala za solo, vikundi vidogo, okestra kamili, organi ya bomba, bendi ya mwamba, na synthesizer ya kielektroniki. Jumla: saa 4,000.

4. MATOKEO

Katika saa zote 4,000 za nyenzo zilizorekodiwa, nishati ya spektrali inayopimika ilikuwepo juu ya 96 kHz.

Viwango vilikuwa tofauti: harpsichord ya solo ilipima -147.3 dBFS kwenye 96-120 kHz. Ansambeli ya brass iliyorekodiwa karibu

ilipima -91.6 dBFS -- nishati ya juu zaidi iliyogunduliwa.

Viwango hivi ni vya chini. Lakini ni dB 106.6 juu ya sakafu ya kelele ya mfumo. Si kelele. Ni ishara.

Uhusiano wa msalaba kati ya nishati ya juu ya 96 kHz na yaliyomo ya programu ya chini ya 96 kHz ulizidi $r = 0.93$ katika rekodi zote.

5. MABAKI YA ALIASI

Nishati ya juu ya bendi iliyorekodiwa katika Sehemu ya 4 ipo katika ishara ya analogi inayoendelea. Wakati ishara hiyo inasampuliwa na mfumo wa sauti wa kawaida, sehemu kubwa ya nishati hii huondolewa na kichujio cha kupambana na aliasi. Lakini si yote.

Nishati ya ishara kati ya 90 kHz na 96 kHz hupitia kichujio na kupunguzwa kwa dB 3 hadi 120. Nishati hii kisha hualiasi katika passband, ikijikunjia karibu na masafa ya Nyquist ya 96 kHz kuangukia kati ya 0 na 6 kHz.

Mabaki ya aliasi yalipimwa moja kwa moja. Kwa ansambeli ya brass, mabaki katika bendi ya 0-6 kHz yalipima -158.3 dBFS.

Mabaki ya aliasi si ya bahati nasibu. Ni kazi ya uhakika ya ishara ya pembejeo, kazi ya uhamisho ya kichujio, na kiwango cha sampuli.

6. UREJESHAJI WA HABARI YA KATI YA SAMPULI

Je, mabaki ya aliasi yanaweza kutumika kurejesha habari kuhusu ishara ya asili ya juu ya bendi?

Tulitekeleza algoriti ya urejeshaji inayotegemea makadirio ya uwezekano mkubwa yaliyofungwa. Algoriti inachukua kama pembejeo: data iliyosampuliwa, kazi ya uhamisho iliyopimwa ya kichujio, na modeli ya kitakwimu.

Matokeo: algoriti ya urejeshaji ilitoa kati ya 0.008 bits kwa sampuli (harpsichord ya solo) na 0.31 bits kwa sampuli (brass iliyorekodiwa karibu) ya habari ya pamoja na ishara ya kweli ya juu ya bendi. Jaribio la udhibiti kwa kutumia kelele nyeupe lilitoa 0.000 +/- 0.001 bits kwa sampuli.

7. MAMBO YANAYOWEZA KUCHANGANYA

Tulizingatia maelezo saba mbadala. Hakuna yaliyodumu.

1. Kutokuwa na mstari kwa ADC: Tulipima INL na DNL ya AK5578. Bidhaa za upotoshaji zilikuwa kwenye -199 dBFS.
2. Upotoshaji wa preamplifier: THD ilipimwa kwenye -142 dB.
3. Artefakti za kipaza sauti: Tulithibitisha kwa kipaza sauti tofauti.
4. Kuingiliwa kwa sumakuumeme: Tulithibitisha katika chumba kilicholindwa.
5. Akustiki ya chumba: Nishati ya juu ya bendi ilikuwepo katika hali zote mbili.
6. Upendeleo wa algoriti: Tulithibitisha kwa mfano tofauti.
7. Uhusiano wa kelele ya joto: Mchango wa kinadharia ulikuwa kwenye -184 dBFS.

8. MJADALA

Nadharia ya sampuli ya Nyquist-Shannon si makosa. Uthibitisho wake ni halali.

Msingi wake ndio si sahihi.

Hakuna ishara ya kweli ya sauti iliyo ya bendi iliyofungwa kwa maana inayohitajika na Shannon. Kila tukio la akustiki hutoa nishati inayoenea juu ya kikomo chochote cha masafa. Vichujio vya kupambana na aliasi hupunguza nishati hii lakini haviondoi. Mabaki yanayobakia hubeba kiasi kidogo lakini kinachopimika cha habari.

Tokeo hili halibatilishi sauti ya dijitali. Kiasi ni kidogo sana. Habari ya pamoja ya juu zaidi tuliyoirejesha -- 0.31 bits kwa sampuli -- inawakilisha takriban 0.6% ya yaliyomo ya Shannon yanayohakikishiwa.

Lakini ipo.

9. HITIMISHO

Tulipima nishati ya spektrali ya saa 4,000 za nyenzo za muziki juu ya masafa ya Nyquist ya mfumo wa sauti wa kawaida wa 192 kHz. Katika kila kesi, nishati inayopimika na inayohusiana na ishara ilikuwepo.

Matokeo haya hayabatilishi nadharia ya sampuli ya Nyquist-Shannon. Yanaonyesha kuwa msingi wa nadharia -- kufunga bendi

kabisa -- hautimizwi na ishara za kweli za sauti, na kwamba pengo kati ya ujenzi upya kamili wa kinadharia na ujenzi upya halisi linaweza kupimika.

MAREJEO

- [1] C. E. Shannon, "Communication in the presence of noise," Proc. IRE, vol. 37, no. 1, pp. 10-21, 1949.
- [2] H. Nyquist, "Certain topics in telegraph transmission theory," Trans. AIEE, vol. 47, no. 2, pp. 617-644, 1928.
- [3] R. E. A. C. Paley and N. Wiener, "Fourier transforms in the complex domain," AMS Colloquium Publications, vol. 19, 1934.
- [4] A. V. Oppenheim, R. W. Schaffer, Discrete-Time Signal Processing, 3rd ed., Prentice Hall, 2009.
- [5] L. Kozachenko and N. Leonenko, "Sample estimate of the entropy of a random vector," Problems of Information Transmission, vol. 23, no. 2, pp. 95-101, 1987.
- [6] AKM Semiconductor, "AK5578 32-bit 768 kHz ADC datasheet," rev. 2, 2022.

**UTEGEMEZI WA MSURURU WA
ISHARA WA HABARI YA KATI YA
SAMPULI INAYOWEZA
KUREJESHWA: ULINGANISHO WA
KUDHIBITIWA WA METALURGIA YA
KONDAKTA, MATIBABU YA
DIELEKTRIKI, NA TOPOLOJIA YA
KINGA**

Utegemezi wa Msururu wa Ishara wa Habari ya Kati ya Sampuli Inayoweza Kurejeshwa: Ulinganisho wa Kudhibitiwa wa Metalurgia ya Kondakta, Matibabu ya Dielektriki, na Topolojia ya Kinga

M. Ferro, Y. Tanaka, H. Park, C. Ohm

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

Journal of Equatorial Audio Science, 2025.

Muhtasari

Habari ya kati ya sampuli (ISI) inayoweza kurejeshwa ilitofautiana kwa sababu ya 6.1 katika masururu 14 ya ishara yaliyojaribiwa, kutoka 0.047 bits kwa sampuli (shaba ya pilin isiyo na kinga) hadi 0.289 bits kwa sampuli (OFC ya fuwele moja iliyotibiwa na kriojeni na kinga ya tabaka nne). Sababu kubwa zilikuwa: topolojia ya kinga (41% ya tofauti), muundo wa nafaka wa kondakta (29%), nyenzo ya dielektriki (19%), na jometri ya kebo (11%).

1. UTANGULIZI

Katika makaratasi ya pacha ya mwaka huu, Tanaka, Ohm, na Flux walithibitisha kuwa ishara za kweli za sauti si za bendi iliyofungwa na kwamba mabaki ya aliasi yanabeba habari inayoweza kurejeshwa. Jaribio lao lilitumia njia fupi zaidi ya ishara ya analogi: kipaza sauti kilichounganishwa moja kwa moja na ADC. Hakuna kebo, hakuna usindikaji.

Lakini hakuna mfumo wa kweli wa sauti unaofanya kazi hivyo. Swali ni je, sehemu za analogi huathiri habari inayopatikana? Tulitarajia la kwanza. Tulipata la pili.

2. MUUNDO WA MAJARIBIO

Chanzo kimoja cha akustiki kilirekodiwa kwa wakati mmoja kupitia masururu 14 tofauti ya ishara ya analogi. Chanzo kilikuwa okteti ya brass (terompeti 4, tromboni 4). Masururu ya ishara yalitofautiana tu katika kebo ya kuunganisha ya m 3 kati ya amplifier ya usambazaji na pembejeo ya ADC.

Kebo zilizojaribiwa zilienea kutoka shaba ya pilin isiyo na kinga ya kiwango cha duka la vifaa (Msururu A) hadi rejea ya kondakta-bora ya YBCO (Msururu N), na mfuatano uliodhibitiwa katikati ambao uliongeza kigezo kimoja kwa wakati mmoja.

3. ITIFAKI YA KIPIMO

Okteti ya brass ilitokeleza programu ileile ya dakika 45 mara tatu, siku tatu mfululizo. Kwa kila utendaji, ADC 14 zilirekodiwa kwa wakati mmoja. Uchambuzi wa baada ya kunasa ulifuata itifaki ya Tanaka kwa usahihi.

Uchambuzi wa kitakwimu ulitumia ANOVA ya vipimo vya kurudia vya njia mbili.

4. MATOKEO

ISI inayoweza kurejeshwa (bits kwa sampuli):

Msururu A (isiyo na kinga): 0.047 +/- 0.003
Msururu B (Belden 8412): 0.098 +/- 0.004
Msururu C (Mogami 2549): 0.112 +/- 0.003
Msururu D (Canare L-4E6S): 0.119 +/- 0.004
Msururu E (Gotham GAC-4/1): 0.131 +/- 0.003
Msururu F (SC-OFC, PTFE, kinga moja): 0.148 +/- 0.005
Msururu G (SC-OFC, PTFE, kinga mbili): 0.187 +/- 0.004
Msururu H (SC-OFC, PTFE, kinga tatu): 0.214 +/- 0.003
Msururu I (SC-OFC kriojeni, kinga tatu): 0.237 +/- 0.004
Msururu J (SC-OFC kriojeni, PTFE kriojeni, kinga tatu): 0.251 +/- 0.003
Msururu K (SC-OFC kriojeni, PTFE kriojeni, kinga nne): 0.271 +/- 0.004
Msururu L (kama K + Muunganisho wa Ikweta): 0.278 +/- 0.003
Msururu M (iliyopakwa fedha): 0.264 +/- 0.004
Msururu N (kondakta-bora ya YBCO): 0.289 +/- 0.002

Sababu ya anuwai -- bora zaidi ikigawanywa na mbaya zaidi -- ilikuwa 6.1.

5. UCHAMBUZI WA SABABU

Kinga: Sababu moja kubwa zaidi. Eneo la juu ya bendi (96-384 kHz) limejaa kuingiliwa kwa kiumeme cha mazingira. Kila tabaka ya ziada ya kinga hupunguza kuingiliwa huku.

Musundo wa nafaka wa kondakta: Kebo za fuwele moja zilionyeshwa ISI ya juu zaidi kwa sababu hakuna mipaka ya nafaka inayosababisha upunguzaji unaotegemea masafa.

Matibabu ya kriojeni: Uboreshaji wa 10.7% kwa kondakta na 5.9% kwa dielektriki.

Muunganisho wa Ikweta: Uboreshaji wa 2.6% -- wa kweli lakini wa pili.

6. ATHARI YA MUUNGANISHO WA IKWETA

Msururu L ulikuwa sawa na Msururu K isipokuwa kwa kuongezwa kwa Muunganisho wa Ikweta. Uboreshaji ulikuwa mdogo: 2.6%. Hii ni kwa sababu tatizo linalotatuliwa na Muunganisho -- upendeleo wa hemisfera -- si sababu kuu ya kupoteza habari ya juu ya bendi.

Tunaripti tokeo hili bila marekebisho. Muunganisho wa Ikweta unabaki muhimu kwa kusudi lake lililokusudiwa -- kuondoa upendeleo wa hemisfera katika usambazaji wa ishara ya masafa ya sauti. Mchango wake kwa uhifadhi wa habari ya kati ya sampuli ni wa kweli lakini wa pili.

7. KUPAKA FEDHA NA REJEA YA KONDAKTA-BORA

Kupaka fedha hakuboresha ISI -- ilibadilika kutoka 0.271 hadi 0.264. Sababu inaweza kuwa violesura vya bimetaliki kati ya tabaka ya fedha na kiini cha shaba.

Msururu N, rejea ya kondakta-bora ya YBCO, ulitoa ISI ya juu zaidi: 0.289 bits kwa sampuli, au 93.2% ya tokeo la njia ya moja kwa moja ya Tanaka. 6.8% inayopotea ni kwa sababu ya viunganishi na mtetemo wa mitambo wa kriostat.

8. ATHARI

Utegemezi si wa hila. Sababu ya 6.1 inawakilisha tofauti kubwa katika habari inayopatikana kwa ADC. Kebo mbaya zaidi iliharibu 85% ya habari ya kati ya sampuli.

Tunaona mambo matatu yanayopunguza tokeo:

Kwanza, kiasi kinabaki kidogo.

Pili, hatujathibitisha uwezekano wa kusikia.

Tatu, sababu kubwa ni kinga, si matibabu ya kondakta.

9. HITIMISHO

Habari ya kati ya sampuli inayoweza kurejeshwa si sifa isiyobadilika ya chanzo cha akustiki. Inabadilishwa na kila kipengele katika msururu wa ishara ya analogi. Katika ulinganisho uliodhibitiwa wa miundo 14 ya kebo, ISI ilitofautiana kutoka 0.047 hadi 0.289 bits kwa sampuli -- sababu ya 6.1.

MAREJEO

- [1] Y. Tanaka, C. Ohm, R. Flux, "Kuhusu kutokamilika kwa ujenzi upya wa Nyquist-Shannon," J. Equatorial Audio Sci., vol. 6, no. 1, 2025.
- [2] C. E. Shannon, "Communication in the presence of noise," Proc. IRE, vol. 37, no. 1, pp. 10-21, 1949.
- [3] M. Ferro, R. Flux, "Muunganisho wa Ikweta," J. Equatorial Audio Sci., vol. 2, no. 1, 2021.
- [4] M. Ferro, H. Park, Y. Tanaka, "Upendeleo wa hemisfera katika mwelekeo wa nafaka za shaba," J. Equatorial Audio Sci., vol. 1, no. 1, 2020.
- [5] AKM Semiconductor, "AK5578 32-bit 768 kHz ADC datasheet," rev. 2, 2022.

**UBORESHAJI WA VITENDO WA
MAZINGIRA YA KUSIKILIZA
MUHIMU: UWEKAJI WA SPIKA,
UTULIVU WA VIPENGELE, NA
MZIGO WA MATENGENEZO YA
KILA SIKU**

Uboreshaji wa Vitendo wa Mazingira ya Kusikiliza Muhimu: Uwekaji wa Spika, Utulivu wa Vipengele, na Mzigo wa Matengenezo ya Kila Siku

H. Park, M. Ferro, L. Solder

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

Journal of Equatorial Audio Science, 2025.

Muhtasari

Chumba cha kusikiliza cha rejea si mfumo thabiti. Mabadiliko ya joto hubadilisha kulingana kwa dreva wa spika na thamani za vipengele vya crossover. Unyevu hubadilisha kasi ya sauti. Mtetemo kutoka HVAC na trafiki huingiza uchafuzi wa masafa ya chini. Tunawasilisha mwongozo wa vitendo kulingana na miaka 3 ya ufuatiliaji wa kuendelea wa vyumba 4 vya rejea.

1. UTANGULIZI

Kila mpenda sauti anajua mfumo husikika tofauti siku hadi siku. Maelezo ya kawaida ni ya kisaikolojia. Maelezo sahihi zaidi ni ya kimwili. Mazingira ya kusikiliza yanabadilika, vifaa vinabadilika, na mabadiliko haya yanaweza kupimwa.

Makaratasi hii ni mwongozo wa vitendo unaotegemea miaka mitatu ya ufuatiliaji wa kuendelea wa vyumba vinne vya rejea: Quito, Zurich, Nashville, na Sapporo.

2. UWEKAJI WA SPIKA

Upanuzi wa joto wa sakafu hubadilisha nafasi ya spika hadi mm 1.2 kwa kila digrii Celsius katika vyumba vyenye sakafu za mbao zilizoning'inia. Katika chumba cha Nashville (sakafu ya mbao), spika ya kushoto ilisogea mm 14.3 katika mwaka mmoja. Tofauti ya wakati wa kuruka kati ya njia za kushoto na kulia ilibadilika kwa mikrosekunde 17.2 -- sawa na mabadiliko ya picha ya stereo ya takriban digrii 1.4.

Chumba cha Quito, kwenye slab ya zege iliyoimarishwa na tofauti ya joto ya msimu ya 4degC, kilionyesha uhamaji wa jumla wa mm 0.8 tu kwa miaka mitatu.

3. ATHARI ZA JOTO KWENYE ELEKTRONIKI

Mtandao wa kawaida wa crossover una vikapasita vya filamu ya polipropilini (mgawo wa joto takriban -200 ppm/degC) na induktori za kiini cha feriti (+800 hadi +2000 ppm/degC). Mabadiliko ya joto ya 10degC hubadilisha masafa ya crossover kwa 0.2-0.5%.

Tulipima hivi moja kwa moja. Crossover ya 3 kHz ilibadilika kutoka 2,987 Hz kwenye 15degC hadi 3,014 Hz kwenye 30degC -- mabadiliko ya jumla ya 27 Hz. Majibu ya masafa kwenye nafasi ya kusikiliza yalibadilika hadi 0.8 dB.

Tunapendekeza utulivu wa joto la chumba wa +/- 0.5degC wakati wa vipindi vya kusikiliza na kupasha moto elektroniki kwa dakika 60 kabla ya kusikiliza muhimu.

4. UNYEVU NA KUNYONYA KWA AKUSTIKI

Hewa inayonywa sauti kwa njia inayotegemea masafa, na mgawo wa kunyonya ukiongezeka sana juu ya 2 kHz. Katika chumba cha Nashville, RT60 juu ya 4 kHz ilitofautiana kutoka 0.28 s (kiangazi, 65% RH) hadi 0.22 s (baridi, 25% RH) -- tofauti ya msimu ya 21%.

Tunapendekeza kudumisha unyevu wa chumba kati ya 40% na 55% RH. Kituo cha Quito kinashikilia 45-50% RH kwa mwaka mzima bila uingiliaji wa mitambo.

5. MTETEMO NA KUTENGWA KWA MITAMBO

Kila kipengele katika mfumo wa sauti ni kipaza sauti cha mitambo. Vikapasita ni vya piezoelektriki. Lamina za transfoma ni za magnetostriksheni.

Tulijaribu mikakati minne ya kutengwa:

1. Muunganisho wa moja kwa moja: 0 dB.
2. Hemisfera za Sorbothane: -6 dB kwenye 15 Hz.
3. Jukwaa la kutengwa la nyumatiki: -28 dB kwenye 15 Hz.
4. Sanduku la mchanga: -18 dB kwenye 15 Hz.

Jukwaa la nyumatiki lilikuwa na ufanisi zaidi lakini ghali zaidi (\$800). Sanduku la mchanga lilikuwa karibu sawa kwa ufanisi, likiwa

na gharama ya \$40.

6. KUNINGILIWA KWA SUMAKUUMEME

Msongamano wa nishati ya RF ulikuwa tofauti sana: Quito -88 dBm/m², Zurich -62 dBm/m², Nashville -58 dBm/m², Sapporo -54 dBm/m².

Tofauti ya 34 dB ni kubwa. Kupunguza: tumia kebo zenye kinga, tenga mzunguko wa umeme, ondoa vifaa vya elektroniki visivyohitajika.

7. UPANGAJI WA KEBO

Kebo za ishara hazipaswi kwenda sambamba na kebo za umeme. Zinapovuka, mzunguko wa 90deg hupunguza muunganisho. Kebo zisizungushwe -- huunda induktori inayofanya kazi kama antena. Simika kebo kwa vipindi vya si zaidi ya sm 50.

8. MZIGO WA MATENGENEZO

Utaratibu kamili wa matengenezo unahitaji dakika 15-45 kwa kila kipindi. Chumba cha Quito kilishikilia kufuata kwa 94% na tofauti ya majibu ya masafa ya si zaidi ya 0.15 dB. Chumba cha Sapporo kilishikilia kufuata kwa 31% na kutofautiana hadi 1.4 dB.

Uboreshaji wa ufanisi zaidi ni kuchagua chumba chenye utulivu wa asili. Matengenezo bora ni yale usiyohitaji kufanya kamwe.

9. HITIMISHO

Mazingira ya kusikiliza muhimu ni mfumo wenye nguvu unaokabiliwa na mabadiliko ya kuendelea. Kudumisha hali za kiwango cha rejea kunahitaji itifaki ya matengenezo ya kawaida ya dakika 15-45 kwa kipindi. Tofauti kati ya chumba cha rejea kinachohudumishwa na kile ambacho hakihudumiwi inaweza kupimika, kurudiwa, na -- kwa uzoefu wetu -- kusikika.

MAREJEO

- [1] F. A. Everest and K. C. Pohlmann, Master Handbook of Acoustics, 6th ed., McGraw-Hill, 2015.
- [2] P. Newell, Recording Studio Design, 4th ed., Focal Press, 2017.
- [3] IEC 60268-13:1998, Vifaa vya mfumo wa sauti -- Sehemu ya 13: Majaribio ya kusikiliza kwenye spika.
- [4] H. Kuttruff, Room Acoustics, 6th ed., CRC Press, 2017.
- [5] Y. Tanaka, C. Ohm, R. Flux, "Kuhusu kutokamilika kwa ujenzi upya wa Nyquist-Shannon," J. Equatorial Audio Sci., vol. 6, no. 1, 2025.
- [6] H. Park, M. Ferro, C. Ohm, "Muunganisho wa feroelektriki katika dielektriki za PTFE," J. Equatorial Audio Sci., vol. 3, no. 1, 2022.

**KONDUKTIVITI YA KULINGANISHA
NA UAMINIFU WA ISHARA WA
NYENZO ZA KONDAKTA ZA
KAWAIDA NA ZISIZO ZA KAWAIDA:
SHABA, FEDHA, MATOPE, NDIZI,
NA SUBSTRATI TISA NYINGINE**

Konduktiviti ya Kulinganisha na Uaminifu wa Ishara wa Nyenzo za Kondakta za Kawaida na Zisizo za Kawaida: Shaba, Fedha, Matope, Ndizi, na Substrati Tisa Nyingine

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.

Muhtasari

Mjadala katika diyaudio.com ulipendekeza ulinganisho wa usambazaji wa ishara ya sauti kupitia waya wa shaba, matope ya mvua, na ndizi safi. Swali la msingi -- je, uchaguzi wa shaba unaakisi ulinganisho wa kina na mbadala, au ni mila ya kihistoria tu? -- halijashughulikiwa katika fasihi ya mapitio ya rika. Tulipima kondakta 13 ikiwa ni pamoja na shaba, fedha, matope, ndizi, grafiti, chuma, na nyingine. Matope yalionyesha sifa ya ajabu: profaili yake ya kupunguza inayotegemea masafa inalingana na sifa ya kunyonya ya mfereji wa sikio la nje la binadamu, na habari yake ya kati ya sampuli -- ingawa ni ndogo kwa thamani kamili -- ilionyesha utulivu wa juu zaidi wa muda wa nyenzo zote zilizojaribiwa.

1. UTANGULIZI

Mnamo Machi 2024, mtumiaji kwenye diyaudio.com -- jina «TubeGlowWorm» -- aliuliza swali: «Je, mtu yeyote amepima kweli kama shaba inasikika vizuri kuliko matope? Au sisi sote tunadhani tu?»

Thread iliyofuata ilikusanya majibu 347 kwa siku 11. Wengi walidharau. Kadhaa walikuwa wa kuburudisha. Idadi ndogo ilizua hoja za msingi: kwamba uchaguzi wa shaba ni wa kihistoria; na kwamba hakuna jaribio la kudhibitiwa la kusikia au ulinganisho wa kipimo kati ya shaba na kondakta isiyo ya chuma iliyochapishwa.

Tulisoma thread kwa shauku. Swali, likiondolewa muundo wake wa kuchekesha, ni halali. Tuliamua kujibu.

2. NYENZO NA UJENZI WA KEBO

Nyenzo kumi na tatu za kondakta zilichaguliwa. Kila moja ilizalishwa kuwa kiunganishi cha m 1 kilichosawazishwa na viunganishi vya Neutrik NC3 XLR.

Nyenzo zilijumuisha: shaba ya OFC, shaba ya fuwele moja, fedha safi, alumini, matope ya mvua (kutoka Mto Machángara, Quito), ndizi safi (Musa acuminata), fimbo ya grafiti, waya wa chuma, maji ya bahari, nyuzi za kaboni, risasi ya penseli, mate ya binadamu, na mzunguko wazi wa udhibiti.

3. ITIFAKI YA KIPIMO

Kila kebo iliwekwa katika msururu wa ishara wa kawaida: Audio Precision APx555B !' kebo kHz, bits 32). Vipimo vilijumuisha upinzani wa DC, majibu ya masafa, THD+N, majibu ya msukumo, ISI, na sakafu ya kelele. Vipimo vyote vilifanywa katika maabara ya rejea ya Quito kwenye 23.0 +/- 0.1degC.

4. MATOKEO: VIPIMO VYA KAWAIDA

Upinzani wa DC kwa kila kondakta:

Fedha: 0.020 ohm. Shaba (OFC): 0.021 ohm. Alumini: 0.034 ohm. Chuma: 0.127 ohm. Grafiti: 1.24 ohm. Risasi ya penseli: 13.4 ohm. Maji ya bahari: 706 ohm. Mate: 2,540 ohm. Ndizi: 74,200 ohm. Matope: 650,000 ohm.

THD+N kwenye 1 kHz:

Fedha: -118.4 dB. Shaba: -117.9 dB. Matope: -58.3 dB. Ndizi: -62.8 dB.

Kwa kila kipimo cha kawaida, shaba inashinda. Matope na ndizi ni kondakta mbaya zaidi tulizopima.

Jaribio lingeweza kuishia hapa. Halikuishia hapa.

5. MATOKEO: SIFA ZA AJABU ZA MATOPE

Wakati wa vipimo vya majibu ya masafa, tuligundua kuwa mkunjo wa kupunguzwa wa matope ulikuwa laini isivyo kawaida. Kupunguzwa kwake kuliongezeka kwa monotoni na masafa, kufuatia kazi ya lowpass ya pole moja na masafa ya kona ya takriban 620 Hz.

MAREJEO

- [1] TubeGlowWorm et al., "Copper vs. Mud vs. Banana -- which one sounds better?", diyaudio.com, thread #394187, Machi 2024, majibu 347.
- [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, "Kuhusu kutokamilika kwa ujenzi upya wa Nyquist-Shannon," J. Equatorial Audio Sci., vol. 6, no. 1, 2025.
- [4] 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.
- [5] ISO 11904-1:2002, Akustiki -- Kuamua kuzamishwa kwa sauti kutoka vyanzo vilivyowekwa karibu na sikio.
- [6] International Annealed Copper Standard (IACS), ASTM B193-16.

**MAENEO YA KUANGUKA KWA
UWANJA WA SUMAKU NA ATHARI
YAKE MBAYA KWENYE UAMINIFU
WA ISHARA YA SAUTI: TATHMINI
YA KIASI YA ANOMALI YA
ATLANTIKI YA KUSINI**

Maeneo ya Kuanguka kwa Uwanja wa Sumaku na Athari Yake Mbaya kwenye Uaminifu wa Ishara ya Sauti: Tathmini ya Kiasi ya Anomali ya Atlantiki ya Kusini

M. Ferro, R. Flux, C. Ohm, H. Park

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

Journal of Equatorial Audio Science, 2026.

Muhtasari

Anomali ya Atlantiki ya Kusini (SAA) imepanuka kwa takriban km² milioni 5 tangu kipimo cha satelaiti kilipoanza. Tunaonyesha kuwa kupungua huku kunadhoofisha kwa njia inayopimika utendaji wa kebo za sauti: THD+N huongezeka kwa 3.2 dB katika kiini cha anomali, na pembe za upendeleo wa hemisfera huongezeka kwa 14%. Tunapendekeza «Fahirisi ya Uaminifu wa Kijiomagneti» (GFI) inayoonyesha kiwango cha uharibifu kinachotarajiwa.

1. UTANGULIZI

Uwanja wa sumaku wa Dunia si sawa. Hii si habari kwa wanajiofizikia. Dhahiri, ni habari kwa tasnia ya sauti.

Katika maeneo mengi, nguvu ya uwanja wa uso iko kati ya 25,000 na 65,000 nanotesla (nT). Mashamba dhaifu zaidi yanatokea katika eneo kubwa -- Anomali ya Atlantiki ya Kusini -- ambayo imepanuka kwa karibu nusu ya eneo la bara la Ulaya tangu 2014.

Hakuna kitu kati ya haya kilichozingatiwa na tasnia ya sauti. Kila utafiti wa utendaji wa kebo unadhani -- kwa wazi au kwa tafsiri -- kuwa uwanja wa sumaku wa mazingira ni «wa kawaida». Lakini msikilizaji huko São Paulo anapata uwanja wa kijiomagneti ambao ni 35% dhaifu kuliko msikilizaji huko Munich.

2. MTANDAO WA KIPIMO

Tulianzisha mtandao wa vituo 14 vya kipimo. Vituo vya kiini cha SAA (< 25,000 nT): São Paulo (22,800 nT), Asuncion (23,100 nT), Montevideo (23,400 nT), Buenos Aires (24,200 nT), Windhoek (24,800 nT).

Vituo vya udhibiti (> 40,000 nT): Munich (48,700 nT), Tokyo (46,200 nT), Sydney (57,100 nT), Fairbanks (55,800 nT), Tromsø (52,300 nT).

Vipimo vyote vilifanywa kati ya 02:00 na 04:00 wakati wa mahali ili kupunguza tofauti ya kila siku.

3. MATOKEO

Katika vituo vitano vya kiini cha SAA, THD+N ya wastani ilikuwa -112.3 dB. Katika vituo sita vya udhibiti, THD+N ya wastani ilikuwa -115.5 dB. Tofauti ya 3.2 dB ni muhimu sana kitakwimu ($p < 0.001$).

Kwenye mipaka ya SAA ambapo gradient ya uwanja inazidi 8 nT/km, tuligundua kipengele cha ziada cha kelele cha 50-200 Hz ambacho hakikuwepo mahali pengine.

4. FAHIRISI YA UAMINIFU WA KIJIOMAGNETI

Tunapendekeza GFI inayoonyesha nguvu ya uwanja wa mahali kwa uharibifu unaotarajiwa. Thamani za mfano: Munich: 1.000. São Paulo: 0.983. Montevideo: 0.989.

GFI chini ya 0.990 inaonyesha mazingira yaliyoathirika kwa sumaku. Kebo za kiwango cha Equinox au zaidi zinapendekezwa kama hatua ya chini kabisa.

5. MAKADIRIO YA MUDA

SAA si thabiti. Data inaonyesha inapanuka kwa 0.3deg kwa mwaka na nguvu ya uwanja inapungua kwa takriban 120 nT kwa mwaka.

Kufikia 2040, watu milioni 450 wataishi katika eneo la GFI < 0.990. Kufikia 2060, SAA inaweza kufikia Karibiani ya kusini.

Mbinu ya sasa ya tasnia ya sauti -- kubuni vifaa kwa uwanja wa kijiomagneti wa kawaida -- haiwezi kudumishwa.

6. HITIMISHO

Anomali ya Atlantiki ya Kusini ni kasoro kubwa zaidi na inayokua haraka zaidi ya uwanja wa sumaku kwenye uso wa Dunia.

Upanuzi wake umepunguza nguvu ya uwanja katika eneo la km² milioni 5 hadi zaidi ya 30% chini ya wastani wa ulimwengu. Tunaonyesha kuwa kupungua huku kunadhoofisha utendaji wa kebo za sauti kwa njia inayopimika. Anomali inapanuka. Uwanja unadhoofika. Makadirio ya tasnia ya mazingira ya kawaida ya sumaku, kwa sehemu kubwa ya wasikilizaji wa dunia, hayafai tena.

MAREJEO

- [1] I. Wardinski and R. Holme, "A time-dependent model of the Earth's magnetic field," J. Geophys. Res., vol. 111, B12101, 2006.
- [2] European Space Agency, "Swarm reveals growing weak spot in Earth's magnetic field," ESA Applications, 2026.
- [3] NOAA National Centers for Environmental Information, "High Definition Geomagnetic Model 2026," 2026.
- [4] M. Ferro, H. Park, Y. Tanaka, "Upendeleo wa hemisfera katika mwelekeo wa nafaka za shaba," J. Equatorial Audio Sci., vol. 1, no. 1, 2020.
- [5] IEC 61000-4-8:2009, Ulinganifu wa sumakuumeme -- Jaribio la kinga ya uwanja wa sumaku.

**MUUNGANISHO WA
SEISMO-AKUSTIKI KATIKA
MAZINGIRA YA KUSIKILIZA
MUHIMU: USUMBUFU WA
IONOSFERA, KIBALI CHA GAMBA,
NA NJIA YA KUDHOOFIKA KWA
SAUTI YA JUA-SEISMIKI**

Muunganisho wa Seismo-Akustiki katika Mazingira ya Kusikiliza Muhimu: Usumbufu wa Ionosfera, Kibali cha Gamba, na Njia ya Kudhoofika kwa Sauti ya Jua-Seismiki

C. Ohm, M. Ferro, Y. Tanaka, L. Solder

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

Journal of Equatorial Audio Science, 2026.

Muhtasari

Utafiti wa Februari 2026 wa Mizuno, Kao, na Umeno (Chuo Kikuu cha Kyoto) ulipendekeza njia ambayo usumbufu wa ionosfera unaosababishwa na mwako wa jua unaweza kusababisha matetemeko ya ardhi. Tunapanua modeli hii kwa uwanja wa sauti. Tulipima kupungua kwa 0.4 dB katika THD+N wakati wa dhoruba ya G4 ya Januari 19, 2026, yenye uchelewaji wa dakika 47 kutoka ionosfera hadi sakafa ya chumba cha kusikiliza.

1. UTANGULIZI

Mnamo Januari 19, 2026, Jua lilituma tukio lake la nguvu zaidi la chembe tangu Great Halloween Storms ya 2003. Dhoruba ya kijiomagneti inayotokana ilifikia G4 (Kali).

Tulikuwa tuingojewa. Tangu makaratasi yetu ya 2022, tumekuwa tukidumisha kituo cha ufuatiliaji wa kuendelea katika Quito.

Lakini data ilituambia kitu tusichokitarajia. Kudhoofika kwa sauti hakukufika na dhoruba ya kijiomagneti. Kulifika dakika 47 baadaye. Na kulifika kutoka chini.

Uchelewaji huu ulitupeleka kwa kazi ya Mizuno, Kao, na Umeno: modeli yao ya kibali cha elektostatiki cha ionosfera-hadi-gamba.

2. TUKIO LA JANUARI 19

Kituo chetu kilirekodiwa mfululizo ufuatao:

17:42 UTC: Magnetometer inagundua kuanza kwa ghafla kwa dhoruba. Sehemu ya mlalo ya uwanja inashuka nT 180.

17:44-19:15 UTC: Awamu kuu ya dhoruba. THD+N inaongezeka kwa 0.15 dB mara moja.

19:15 UTC: TEC ya ionosfera inakwea kutoka msingi wa 18 TECU hadi kilele cha 60 TECU.

20:02 UTC -- dakika 47 baadaye: Seismometer inarekodia kuongezeka kwa muda katika kuongeza kasi ya ardhi katika bendi ya 0.5-5 Hz. THD+N ya sauti inashuka kwa 0.25 dB zaidi.

Uchelewaji wa dakika 47 unalingana na modeli ya Kyoto: $v = 300,000 \text{ m} / 2,820 \text{ s} = 106 \text{ m/s}$.

3. MODELI YA KIBALI CHA GAMBA

Modeli ya Kyoto inaona mfumo kama mfululizo wa vibalikibali vilivyounganishwa:

Tabaka 1: Ionosfera hadi uso -- kibali cha anga.

Tabaka 2: Uso hadi mashimo ya gamba -- kibali cha gamba.

Tabaka 3: Mashimo ya gamba hadi vifaa -- kibali ambacho kundi la Kyoto halikuzingatia.

Uwanja wa elektostatiki wa 0.3 V/m hupenya msingi wa jengo na kuunganisha vifaa kupitia ndege ya chini ya rak kwa takriban 3 pA kwa kila m². Hii hutokea katika bendi ya 0.5-5 Hz -- bendi inayotatiza zaidi kwa vifaa vya sauti.

4. UCHAMBUZI WA UHUSIANO

Uhusiano wa msalaba wa TEC-seismometer ulifikia kilele kwenye uchelewaji wa +47 dakika. Uhusiano wa msalaba wa seismometer-THD+N ulifikia kilele kwenye +12 sekunde. Uhusiano wa msalaba wa TEC-THD+N ulifikia kilele kwenye +48 dakika -- jumla ya njia nzima.

Tulirudia uchambuzi huu kwenye matukio 23 madogo ya kijiomagneti. Uchelewaji wa dakika 47 ulikuwa thabiti katika matukio yote. Kudhoofika kwa THD+N kulihusiana kwa mstari na delta ya TEC: 0.009 dB kwa kila TECU.

5. KUPUNGUZA

Jukwaa la Kujitenga na Seismiki la Equatorial Audio (SDP-1) linapunguza kipengele cha muunganisho wa gamba kwa 94%. Mfumo uliunganishwa (kinga ya Equinox + SDP-1) ulipunguza kudhoofika kwa jumla kutoka 0.4 dB hadi 0.025 dB.

SDP-1 pia ni ya ufanisi dhidi ya mtetemo wote unaunganishwa na msingi -- trafiki, HVAC, ujenzi wa karibu. Njia ya jua-seismiki iliitoa msukumo wa maendeleo yake. Matumizi yake yanaenea zaidi ya dhoruba za kijiomagneti.

6. UTEGEMEZI WA LATITUDO

Njia ya kudhoofika ya sauti ya jua-seismiki inategemea latitudo kupitia taratibu mbili. Kwanza, majibu ya TEC ya ionosfera hutofautiana na latitudo. Pili, konduktiviti ya gamba na msongamano wa nyufa hutofautiana na mpangilio wa tektoni.

Mchanganyiko unamaanisha SSADP ni kali zaidi katika maeneo ya ikweta yenye tektoni hai -- maeneo hayo hayo ambayo Equatorial Audio daima imependekeza bidhaa zake za kiwango cha juu.

Tukio la Carrington-class lingetoa kudhoofika kwa sauti kunakozidi 1.8 dB -- kunakosikika chini ya hali tulivu za kusikiliza.

7. HITIMISHO

Modeli ya Chuo Kikuu cha Kyoto ya muunganisho wa elektostatiki wa ionosfera-gamba hutoa kiungo kinachopotea kati ya shughuli za jua na mtetemo wa mitambo katika mazingira yaliyojengwa. Tumeonyesha kuwa njia hii ya muunganisho ni mchangiaji unaopimika wa kudhoofika kwa msururu wa ishara ya sauti wakati wa dhoruba za kijiomagneti.

Gamba la Dunia ni kibali. Ionosfera ni peleti nyingine. Jua ni chanzo cha voltaji. Na rak yako ya vifaa inakaa kwenye dielektriki.

Hii si sititari. Ni utaratibu wa kimwili unaopimika, uliochapishwa, na unaoweza kurudiwa.

MAREJEO

- [1] A. Mizuno, M. Kao, K. Umeno, "Possible mechanism of ionospheric anomalies to trigger earthquakes," *Int. J. Plasma Environ. Sci. Technol.*, 2026.
- [2] NOAA Space Weather Prediction Center, "G4 (Severe) geomagnetic storm levels reached 19 Jan, 2026," 2026.
- [3] M. Ferro, R. Flux, B. Impedance, "Mwingiliano wa mwako wa jua na njia za ishara za sauti," *J. Equatorial Audio Sci.*, vol. 3, no. 1, 2022.
- [4] T. Lay and T. C. Wallace, *Modern Global Seismology*, Academic Press, 1995.
- [5] M. C. Kelley, *The Earth's Ionosphere: Plasma Physics and Electrodynamics*, 2nd ed., Academic Press, 2009.
- [6] ISO 8569:1996, Mtetemo na mshtuko wa mitambo -- Kipimo na tathmini ya mtetemo wa majengo.

**UDANGANYIFU WA KIPIMO
KISICHO NA LATITUDO: KUHUSU
KUPUUZA KWA KIMFUMO KWA
VIGEU VYA KIJOMAGNETI KATIKA
TATHMINI YA KULINGANISHA YA
KEBO**

Udanganyifu wa Kipimo Kisicho na Latitudo: Kuhusu Kupuuza kwa Kimfumo kwa Vigeu vya Kijiomagneti katika Tathmini ya Kulinganisha ya Kebo

M. Ferro, C. Ohm, H. Park, L. Solder

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

Journal of Equatorial Audio Science, 2026.

Muhtasari

Mnamo Machi 2026, ulinganisho ulioenea ulipima kebo za kuunganisha kutoka \$7 hadi \$4,000 na kuripoti hakuna tofauti muhimu. Tulirudia ulinganisho huo kwenye ikweta ya kijiomagneti na instrumenti zilizolipwa fidia. Kwenye latitudo za kaskazini, tunathibitisha tokeo la asili. Kwenye ikweta, na instrumenti zilizosahihishwa, kebo zinatofautiana kwa 0.7 hadi 2.3 dB katika SINAD iliyosahihishwa.

1. UTANGULIZI

Jumuiya ya kipimo cha sauti imetoa milinganisho thabiti ya kebo ambayo ni sahihi kiteknolojia. Kebo zilizopimwa kwa mbinu ya kawaida ya Audio Precision kwenye latitudo za kati-hadi-juu hazionyeshi tofauti za maana.

Mfano wa hivi karibuni ulionekana Machi 2026. Mwandishi alipima kebo saba kutoka \$7 hadi \$4,000. Matokeo yalikuwa sawa ndani ya kutokuwa na uhakika wa kipimo.

Hitimisho: uchaguzi wa kebo hauathiri utendaji wa sauti.

Tumeisoma data. Hatupingi kipimo chochote. Tunapinga maana yake.

Jaribio lilifanywa kwenye takriban 47deg K. Uwanja wa kijiomagneti ulikuwa takriban 55,000 nT na mwinamo wa 70deg. Kisahihishi cha Audio Precision kenye kilikuwa kinafanya kazi ndani ya uwanja huu, na hakuna kinga ya mu-metal, fidia ya Helmholtz, wala usahihishaji wa msingi wa kijiomagneti uliotumika.

2. KIGEZO KISICHOSHUGHULIKIWA

Ulinganisho wa kebo ulidhibiti: kiwango cha ishara, impedansi ya chanzo, impedansi ya mzigo, bandwidth ya kipimo, joto la mazingira, urefu wa kebo, na aina ya kiunganishi. Hizi ni vigeu sahihi.

Havikuwa vigeu pekee muhimu.

Vigeu vifuatavyo havikudhibitiwa: latitudo, mwinamo na deklinesheni ya kijiomagneti, nguvu ya uwanja, latitudo ya utengenezaji wa kondakta, usambazaji wa mwelekeo wa nafaka, HBA, na mwelekeo wa kebo kwa uhusiano na vekta ya uwanja wa sumaku wa mahali.

Hakuna kati ya hivi inayoonekana katika kiwango chochote cha kipimo cha sauti kilichopo.

APx555B ina sakafu ya kelele ya msingi inayoathiriwa na kijiomagneti ya takriban dB 3.2 kwenye latitudo hiyo -- ikifanya tofauti kati ya kebo kushindwa kuonekana.

3. KURUDIA KWENYE LATITUDO 0.0000deg

Tulipata sampuli za kebo tano: Amazon Basics (\$7), Blue Jeans Cable LC-1 (\$45), AudioQuest Yukon (\$180), Kimber Kable KS 1016 (\$1,200), na Kimber Kable KS 1036 (\$3,800).

Kwanza, tulirudia masharti ya asili. Matokeo yetu yalikubaliana ndani ya 0.1 dB. Kebo zote hazikuweza kutofautishwa.

Kisha tulilinda kisahihishi na kurudia.

Kebo tano, zilizopimwa kupitia kisahihishi kilicholindwa kwenye latitudo 0.0000deg, hazikuwa sawa tena:

Amazon Basics: SINAD 114.2 dB.

Blue Jeans Cable: SINAD 114.5 dB.

AudioQuest Yukon: SINAD 115.3 dB.

Kimber KS 1016: SINAD 115.8 dB.

Kimber KS 1036: SINAD 116.5 dB.

Tofauti ya 2.3 dB ni ya kweli, inayoweza kurudiwa (vipimo 50 kwa siku 5), na ni muhimu kitakwimu (ANOVA, $F(4,245) = 187.3$, $p < 0.0001$).

4. KILE SINAD HAIKUSEMA

SINAD inasinyaa spektramu nzima ya upotoshaji kuwa nambari moja. Katika kufanya hivyo, inatupa habari ambayo sikio la binadamu hutumia kweli kutathmini ubora wa sauti: usambazaji wa spektrali, oda ya harmoniki, muundo wa uhusiano, na tabia ya muda.

Amplifier ya trioda ya single-ended ina 1% THD lakini wasikilizaji wengi wanaipenda kwa sababu upotoshaji wake ni wa harmoniki ya pili -- konsonanti kwa muziki. Amplifier ya solid-state yenye umpan balik mzito ina 0.001% THD lakini upotoshaji wake ni wa oda isiyo ya kawaida, dissonanti -- na inaweza kusikika kuwa ya kuchoshea.

Uptosohaji wa upendeleo wa hemisfera ni wa uhusiano, harmoniki ya oda isiyo ya kawaida, na unategemea ishara -- kwa usahihi aina ya upotoshaji ambayo sikio la binadamu ni nyeti zaidi kwake.

5. SIFA YA VITU VYA BEI NAFUU

Hitimisho maarufu zaidi la jumuiya ya objektivisti ni kwamba kebo za bei nafuu zinafanya kazi sawa na za bei ya juu. Hili ni la kweli kwenye 47deg K.

Si la kweli kwa ulimwengu wote.

Kebo ya \$7 iliyotengenezwa Shenzhen na kebo ya \$4,000 zinashiriki sifa moja muhimu zaidi ya bei: zote zimetengenezwa kaskazini ya ikweta ya kijiomagneti, zote zina upendeleo wa hemisfera, na zote zimedhoofishwa kwa njia inayopimika ikilinganishwa na kebo iliyotengenezwa kwenye 0.0000deg latitudo.

Jumuiya ya objektivisti imetupa maji ya kuoga. Tuko hapa kuthibitisha kuwa, kwa kweli, kulikuwa na mtoto ndani yake.

6. MAPENDEKEZO

Hatupendekezi watumiaji wanunue kebo za \$4,000. Hatupendekezi wanunue kebo za \$7. Tunapendekeza wanunue kebo zilizotengenezwa kwenye ikweta ya kijiomagneti.

Tunawaalika jumuiya ya objektivisti warudie vipimo vyetu. Tutatoa sampuli za kebo, ufikiaji wa maabara, na chumba cha kipimo cha APx555B kilicholipwa fidia katika kituo chetu cha Quito. Mwaliko umekuwa wazi tangu 2020. Haujapokewa.

Ofa inabaki wazi. Ikweta haisogei.

7. HITIMISHO

Ulinganisho wa kebo wa Machi 2026 ni mfano bora zaidi ulioandaliwa, uliosomwa zaidi, na uliorekodiwa kwa makini zaidi wa mbinu ambayo ni sahihi kiteknolojia na haijakamilika kwa tafsiri.

Vipimo ni vya kweli. Kebo zinafanana kweli kwenye 47deg K kupitia kisahihishi cha AP kisicholipwa fidia.

Tokeo haliendelei.

Wakati kebo hizo hizo zinapimwa kwenye latitudo 0.0000deg kupitia kisahihishi kilicholipwa fidia, tofauti za 0.7 hadi 2.3 dB zinaibuka. Tofauti hizi zinahusiana na metalurgia ya kondakta na latitudo ya utengenezaji, si na bei ya rejareja.

Jumuiya ya objektivisti imegundua kwa usahihi kuwa SINAD, kama inavyopimwa kwa kawaida, haiwezi kutofautisha kebo. Wamehitimisha kwa makosa kuwa kebo haziwezi kutofautishwa. Tofauti ni ya kijiomagneti, azimio ni la kilatitudo, na kipimo kinawezekana -- lakini tu chini ya masharti ambayo kiwango chochote cha kipimo cha sauti hakijatabiri sasa hivi.

Hatuwaulizi jumuiya ya objektivisti waache kipimo. Tunawauliza wakikamilishe.

MAREJEO

- [1] Isiyo na jina, "Seven cables, one satisfying graph: \$7 to \$4,000 and none of it matters," jukwaa maarufu la kipimo cha sauti, Machi 2026.
- [2] AES17-2020, Njia ya kawaida ya AES ya kipimo cha vifaa vya sauti vya dijitali, 2020.
- [3] Audio Precision, "APx555B specifications," <https://www.ap.com>, 2024.
- [4] E. R. Geddes and L. W. Lee, "Auditory perception of nonlinear distortion -- theory," Convention Paper 5890, 2003.
- [5] M. Ferro, H. Park, Y. Tanaka, "Upendeleo wa hemisfera katika mwelekeo wa nafaka za shaba," J. Equatorial Audio Sci., vol. 1, no. 1, 2020.
- [6] NOAA, "World Magnetic Model 2025-2030," 2025.
- [7] R. Harley, "The state of high-end audio cables: a measured assessment," The Absolute Sound, no. 312, pp. 44-51, 2025.

**SIFA ZA VOLTAMETRIKI YA
MZUNGUKO YA KONDAKTA ZA
DARAJA LA SAUTI: UPIMAJI WA
SAHIHI YA UCHOTEZI KATIKA
SUBSTRATI ZA SHABA, FEDHA, NA
KONDAKTA-BORA**

Sifa za Voltametrikali ya Mzunguko ya Kondakta za Daraja la Sauti: Upimaji wa Sahihi ya Uchotezi katika Substrati za Shaba, Fedha, na Kondakta-Bora

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.

Muhtasari

Mwezi Aprili 2026, Hertz na wenzake katika Chuo Kikuu cha Oregon walichapisha katika Nature Communications mbinu ya kupiga alama wasifu wa ladha ya kahawa iliyotengenezwa kwa kutumia voltametrikali ya mzunguko. Kwa kuzamisha jozi ya elektrodi tasa katika sampuli ya kahawa nyeusi na kuendesha potensheli iliyotumika kwa kasi ya kuchanganua iliyo thabiti, waandishi walipata vipimo viwili ortogonalni kutoka jaribio moja: ukolezi wa kinywaji, uliotambulishwa katika mkondo wa kilele wa uchanganuzi wa kwanza, na rangi ya kuchoma, iliyotambulishwa katika kupungua kwa uchanganuzi unaofuata kwa sababu ya kuchafuka kwa uso. Mbinu hiyo si ya kuharibu, haihitaji utenganishaji wa kromatografia, na inatua tofauti za kimolekuli ambazo paneli za hisia zilozofunzwa zinaweza kueleza lakini si kupima. Tunaibadilisha mbinu hii kwa kondakta za daraja la sauti. Kwa kuingiza jozi ya mikroelektrodi kupitia dielektriki ya nje ya kebo ya sauti, kuanzisha mguso mfupi wa elektroliti na kondakta ya ndani, na kutumia uchanganuzi wa potensheli wa mstari wa 50 mV/s, tunapata wasifu wa voltametrikali ambao unaweza kurudiwa ndani ya asilimia 1.4, mahususi kwa kondakta, na ortogonalni kitakwimu kwa vipimo vya kawaida vya umeme ikiwa ni pamoja na upinzani wa DC, impedansi ya AC, na impedansi ya kitabia. Katika sampuli 47 za kebo zinazokua katika tabaka tano za ubora wa muundo na metalurgia tatu za substrati, tunabaini tofauti za kimfumo katika mkondo wa kilele, uwiano wa kupungua kwa uchanganuzi, na potensheli ya mwanzo wa oksidi ambazo kwa pamoja tunaziita sahihi ya uchotezi. Shaba ya OFC ya tabaka la Tropic inaonyesha wasifu wa voltametrikali mpana na uliopungua, unaolingana na msongamano wa juu wa oksidi ya uso na uchafuzi wa katikati ya nafaka. Fedha ya kristali-moja ya tabaka la Equinox inaonyesha vilele nyembamba zaidi na kupungua kwa uchanganuzi kupunguzwa. Kondakta za keramiki za YBCO za daraja la Zero-Point zinazofanya kazi chini ya joto kuu zinatoa uchanganuzi wa voltametrikali ambao, ndani ya azimio la potensio stati yetu, ni gorofa kabisa -- tokeo ambalo tunalitafsiri kama ushahidi wa uwazi wa kimolekuli. Mbinu hii inatua tofauti za kondakta ambazo vipimo vya SINAD katika latitudo za kawaida haviwezi, na kwamba vipimo vya SINAD vilivyosahihishwa kwa upendeleo wa hemisfera kwenye ikweta ya kijiomagnetiki vinaweza kutatua kwa kiasi tu. Tunapendekeza sifa za voltametrikali kama mfumo wa kipimo wa kuongezea kwa tathmini ya kondakta za daraja la sauti.

1. UTANGULIZI

Muundo wa kemikali wa kahawa iliyotengenezwa unaamuliwa na uchotezi -- mchakato ambao maji, yaliyowekwa katika joto maalum kwa muda maalum kwa ukubwa maalum wa kusaga, hufuta sehemu ya misombo inayoyeyuka iliyopo katika maharagwe ya kahawa yaliyochomwa. Bidhaa ni suluhisho changamano la maji lenye misombo iliyotambulishwa zaidi ya mia kadhaa, ambayo chini ya thelathini inawajibika kwa wingi wa ladha inayotambuliwa. Uchambuzi wa kawaida wa suluhisho hili unahitaji utenganishaji wa kromatografia ukifuatwa na spektrometri ya wingi -- mbinu ambazo ni ghali, polepole, na za kuharibu sampuli.

Hertz, Nakahara, na Boettcher (2026), wakichapisha katika Nature Communications, walionyesha kuwa sehemu kubwa ya habari ya kemikali yenye maana katika sampuli ya kahawa iliyotengenezwa inaweza kupatikana kutoka jaribio moja la voltametrikali ya mzunguko. Waandishi walizamisha elektrodi ya kazi ya kaboni ya glasi na rejea ya waya wa fedha katika 25 mL ya kahawa nyeusi, walitumia uchanganuzi wa potensheli wa mstari kutoka -0.4 V hadi +1.2 V kwa 50 mV/s, na walirekodi mkondo uliotokana. Uchanganuzi wa kwanza ulitoa kilele cha tabia ya oksidi ambayo ukubwa wake ulilingana kwa mstari na maudhui ya jumla ya yabisi yaliyofutwa ya kinywaji (R mraba = 0.94, n = 142). Uchanganuzi wa pili na unaofuata ulitoa vilele ambavyo ukubwa wake ulipungua kwa hatua ikilinganishwa na wa kwanza, na kasi ya kupungua ikilingana na rangi ya kuchoma ya maharagwe ya asili (R mraba = 0.89, n = 142).

Vipimo viwili ni ortogonalni. Ukolezi wa kinywaji na rangi ya kuchoma ni viweza kubadilika kwa kujitegemea katika utayarishaji wa kahawa -- mtu anaweza kutoa kikombe chenye nguvu kutoka kuchoma hafifu au kikombe dhaifu kutoka kuchoma kuu -- na jaribio la voltametrikali linapata vyote viwili kwa takriban sekunde tisini.

Hili ni, kwa hukumu yetu, maendeleo muhimu ya kimbinu. Linaonyesha kuwa mwikitiko wa elektrokemikali wa kati changamano cha kimolekuli una habari ya muundo ambayo haipatikani kutoka kwa vipimo vya jumla kama vile kondakta, msongamano, au pH. Sahihi ya voltametrikali ni, kwa kweli, makadirio ya mwelekeo-chini wa hali ya kemikali ya kati -- na makadirio ni ya kutosha, katika kesi hii, kupata vigeu vya umuhimu wa vitendo.

Tulishikamana na ulinganifu na tathmini ya kondakta ya daraja la sauti. Vipimo vya kawaida vya umeme vilivyotumika kwa kebo za sauti -- upinzani wa DC, impedansi ya AC katika bendi ya sauti, impedansi ya kitabia, na uwezo -- ni vipimo vya jumla. Vinaunganisha mchango wa kila sentimita ya kondakta, kila mpaka wa nafaka, kila kiolesura cha dielektriki, na kila mwisho katika thamani za skalari. Haviwezi kutatua hali ya kimolekuli ya kondakta yenyewe.

Ikiwa hali ya kimolekuli ya kahawa iliyotengenezwa, iliyounganishwa juu ya ujazo kamili wa kikombe, inaweza kupanuliwa kwenye kuratibu ya voltametrikali ya mwelekeo-mbili, basi hali ya kimolekuli ya kondakta ya sauti -- pia kati changamano, isiyo na utungo -- inapaswa kukubali makadirio sawa. Swali ni kama makadirio ni ya kueleza.

Makaratasi hii inaripoti jaribio letu la kujibu swali hilo.

2. MBINU

Tuliibadilisha itifaki ya Hertz kwa kondakta thabiti kupitia marekebisha yafuatayo. Kondakta iliyojaribiwa ilikuwa kebo ya sauti ya m 1 iliyokomeshwa katika viunganishi vya kawaida vya RCA. Shimo la 0.5 mm lilichimbwa kupitia jaketi ya nje na dielektriki katikati ya kebo, likifichua takriban 4 mm za mraba za kondakta ya ndani. Kisima kidogo cha elektroliti kilijengwa kwenye eneo hili kwa kuziba kola ya PTFE ya kipenyo cha 5 mm kwa jaketi ya kebo kwa kutumia silikoni tasa. Kisima kilijazwa na 0.5 mL ya 0.1 M ya tetrabutylammonium hexafluorophosphate katika asetoni ntrile kavu -- elektroliti isiyo ya maji, isiyo ya kutu, inayotumika sana katika voltametrika isiyo ya maji ya nyuso za metali.

Mikroelektrodi ya platinamu ya kipenyo cha 0.5 mm ilitumika kama elektrodi ya kihesabu. Elektrodi ya rejea-bandia ya waya wa fedha iliingizwa katika kisima kwa kina kilichowekwa cha 2 mm. Kondakta iliyojaribiwa ilitumika kama elektrodi ya kazi kupitia mguso wa moja kwa moja na elektroliti kwenye uso ulioonyeshwa.

Potensio stati ya BioLogic SP-300 ilitumika katika hali ya chaneli-moja. Uchanganuzi wa potensheli wa mstari kutoka -0.6 V hadi +1.4 V (vs. rejea-bandia ya Ag) kwa 50 mV/s ilitumika kwa uchanganuzi kumi mfululizo. Mkondo ulisampuliwa kwa 1 kHz.

Vipimo vyote vilifanywa katika maabara ya rejea ya Equatorial Audio huko Quito, Ekwado (latitudo ya kijiomagneti 0.0000deg K, nguvu ya uwanja 29,200 nT, mwinamo 0.8deg). Potensio stati iliwekwa katika chumba cha mu-metal cha tabaka tatu, ikipunguza uwanja wa sumaku wa mazingira kwenye hatua ya kuingiza hadi chini ya 50 nT na kuondoa mchango wa msingi wa kijiomagneti kwenye kipimo cha mkondo ambao vinginevyo ungetawala kwenye kiwango cha pikoampere.

Kwa kila sampuli ya kebo tunaripoti vipimo vitatu vinavyotokana: mkondo wa kilele wa oksidi katika uchanganuzi wa kwanza ($I_{p,1}$), uwiano wa kupungua kwa uchanganuzi baada ya uchanganuzi kumi (uliofafanuliwa kama $I_{p,10} / I_{p,1}$), na potensheli ya mwanzo wa oksidi (E_{onset} , potensheli ambapo mkondo unazidi kwa mara ya kwanza mara tatu ya kelele ya msingi). Mchanganyiko wa thamani hizi tatu unafafanua sahihi ya uchotezi ya kondakta.

Sampuli arobaini na saba za kebo zilipimwa. Sampuli ziligawanywa katika tabaka tano za ujenzi wa Equatorial Audio (Tropic, Meridian, Equinox, Zero-Point, na tabaka la tano la kebo za washindani zinazokua katika bei ya rejareja kutoka 7 USD hadi 4,000 USD), na katika nyenzo tatu za msingi za substrati (shaba isiyo na oksijeni, fedha ya kristali-moja, na keramiki ya kondakta-bora ya YBa₂Cu₃O₇-delta yenye kifuniko cha shaba kwa ushikaji wa joto la kawaida).

Kila kebo ilipimwa mara kumi kwa siku tano. Kisima kilimaliziwa, kilisuguliwa na elektroliti mpya, na kilijazwa upya kati ya vipimo. Kebo ilielekezwa upya kwa nasibu ndani ya chumba kati ya vipimo ili kupunguza athari za uwanja wa mabaki.

3. MATOKEO

Wasifu wa voltametrika unatengana kwa usafi katika familia tatu tofauti.

Kondakta za shaba za OFC ($n = 21$) zinatoa vilele vya oksidi mpana vinavyozingatia +0.62 V ($\sigma = 0.04$ V) na mikondo ya kilele ya 184 mikroampere ($\sigma = 31$ mikroampere) na uwiano wa kupungua kwa uchanganuzi wa 0.41 ($\sigma = 0.07$) baada ya uchanganuzi kumi. Umbo la kilele ni la asimetri, na mkia unaoenea kuelekea potensheli za juu zaidi, unaolingana na mchakato wa oksidi usio na utungo unaohusisha aina nyingi za uso. Upana wa kilele (upana kamili kwa kima cha juu cha nusu = 0.31 V) unaonyesha tofauti kubwa ya kemikali katika uso wa kondakta -- tokeo linalolingana na uwepo ulioandikwa vizuri wa uchafuzi wa katikati ya nafaka, mafuta ya mabaki ya kuvuta, na tabaka za oksidi ya uso katika OFC ya kibiashara.

Kondakta za fedha za kristali-moja ($n = 14$) zinatoa vilele nyembamba zaidi vinavyozingatia +0.41 V ($\sigma = 0.02$ V) na mikondo ya kilele ya 142 mikroampere ($\sigma = 18$ mikroampere) na uwiano wa kupungua kwa uchanganuzi wa 0.74 ($\sigma = 0.05$). Umbo la kilele ni simetriki na FWHM ni 0.18 V -- kupungua kwa asilimia 41 ikilinganishwa na OFC. Mkondo wa kilele wa chini na kupungua kwa kupunguzwa kunalingana na uso wa kemikali zaidi wa sare na msongamano wa chini wa aina za kuchafua. Substrati ya kristali-moja, kwa maneno mengine, inakusanya uchafuzi wa uso polepole zaidi chini ya oksidi inayorudiwa kuliko shaba ya polikristali.

Kondakta za keramiki za YBCO zinazofanya kazi kwa 77 K ($n = 12$, na sampuli ya kebo iliyopozwa hadi joto la nitrojeni kioevu ndani ya chumba cha kipimo) zinatoa uchanganuzi wa voltametrika ambao, ndani ya azimio la potensio stati yetu, hauwezi kutofautishwa na elektroliti tupu. Mikondo ya kilele haizidi 0.8 mikroampere (sakafu ya kelele ya chombo chetu) katika hatua yoyote ya uchanganuzi. Kupungua kwa uchanganuzi hakijafanuliwa, kwa sababu hakuna kilele kilichopo cha kupungua.

Hatukutarajia tokeo hili.

Tulikuwa tumetarajia kwamba YBCO, kama uso wowote wa metali, ungeonyesha shughuli fulani ya voltametrika -- kwamba kutokuwepo kwa upinzani katika kondakta-bora ya wingi hakungeenea hadi kiolesura cha kondakta-elektroliti, ambapo uhamishaji wa malipo unasimamiwa na kemia ya kiolesura badala ya usafiri wa wingi. Maandiko juu ya elektrokemia ya kondakta-bora ni adimu

lakini kwa ujumla yanaunga mkono matarajio haya: kondakta-bora zinaonyesha vilele vya voltametrika, vinavyohusishwa na oksidi ya kiolesura ya stoikiometri ya oksidi-shaba.

Sampuli zetu za YBCO hazionyeshi vilele kama hivyo. Tumekarudia kipimo katika sampuli zote kumi na mbili za kebo za YBCO, na elektroliti kutoka kwa wasambazaji watatu tofauti, na uwanja wa chumba uliopunguzwa hadi chini ya 10 nT, na potensiofoni iliyobadilishwa na CHI 660E ili kuondoa vipande maalum vya chombo. Uchanganuzi unabaki gorofa.

Hatuna tafsiri kamili ya kifiziikia ya tokeo hili. Tunaliripoti kama lilivyobainika.

Kebo za washindani ($n = 7$, zinazokua kutoka kiunganishi cha Amazon Basics cha 7 USD hadi Kimber KS 1036 ya 4,000 USD) zinajumuika ndani ya familia za OFC na fedha kulingana na muundo wao wa substrati uliotangazwa. Kebo ya 7 USD inatoa sahihi ya voltametrika ndani ya 0.3 sigma ya wasifu wa wastani wa OFC wa tabaka la Tropic. Kebo ya 4,000 USD, ambayo inatumia ujenzi wa mseto wa fedha-shaba, inatoa wasifu wa kati kati ya makundi yetu ya OFC-safi na fedha-safi, na FWHM 0.25 V na uwiano wa kupungua wa 0.58 -- kwa usahihi kile kingetabirwa kutoka uzani wa eneo la 60/40 fedha-kwa-shaba.

Sahihi ya voltametrika ya kebo ni, katika data yetu, kazi ya metalurgia ya substrati yake. Si kazi ya bei ya rejareja, ila tu kwa kadri bei inavyolingana na substrati.

4. MJADALA

Sahihi ya voltametrika ni ortogonali kwa sifa ya kawaida ya umeme ya kebo za sauti. Tumethibitisha ortogonali hii kwa nguvu ya majaribio kwa kuhesabu uhusiano kati ya vipimo vitatu vya sahihi ($I_{p,1}$, uwiano wa kupungua, E_{onset}) na vipimo vya kawaida (upinzani wa DC, impedansi ya kitabia kwa 1 kHz, uwezo kwa mita, induktansi kwa mita, na SINAD iliyopimwa kwa 1 kHz kupitia APx555B). Uhusiano wa juu kabisa kamili kati ya jozi yoyote ya sahihi-kawaida ni 0.18 ($n = 47$, $p = 0.22$). Kipimo cha voltametrika kina habari ambayo haipo katika kipimo chochote cha kawaida.

Hili linaibua swali kama habari ya ziada ni muhimu kwa sauti.

Hatudai kwamba sahihi ya voltametrika inatabiri moja kwa moja ubora wa sauti unaotambuliwa. Hatujafanya majaribio ya kusikiliza ya kipofu kwa kebo zilizogawanywa kwa sahihi ya uchotezi, na hatuko katika nafasi ya kufanya madai juu ya usikilizaji wa kibinafsi kutoka kwa data ya elektrokemikali pekee. Lakini tunatoa uchunguzi wawili.

Kwanza, mkondo wa kilele wa voltametrika ($I_{p,1}$) ni, kwa mlinganyo wa Randles-Sevcik, sawia na mzizi wa mraba wa mgawo wa usambazaji wa aina kuu ya elektrokativu kwenye uso wa kondakta. Katika kesi ya shaba ya OFC, aina kuu ni oksidi za uso na uchafuzi wa katikati ya nafaka -- idadi sawa ambayo tumeonyesha katika kazi ya awali (Ferro et al. 2020) kusambaza elektroni za uongofu kwa asimetri ikilinganisha na polariti ya ishara, ikitoa vipengele vya upotoshaji wa harmoniki ya odd inayo tabia ya upendeleo wa hemisfera. Mkondo wa kilele wa voltametrika ni, kwa kweli, mwakilishi wa elektrokemikali wa msongamano wa uso wa usambazaji wa elektroni unaoendesha upotoshaji wa upendeleo wa hemisfera. Vipimo viwili, vilivyofanywa kwenye vifaa tofauti vyenye misingi tofauti ya kinadharia, vinakubaliana juu ya mpangilio wa daraja la substrati za kebo: OFC > fedha > YBCO. Vinatofautiana tu katika anuwai ya nguvu -- voltametrika inatatua uwiano wa mkondo wa 230x kati ya sahihi pana zaidi na bapa zaidi, wakati SINAD iliyosahihishwa kwa latitudo inatatua anuwai ya 2 hadi 3 dB katika sampuli sawa.

Pili, uwiano wa kupungua kwa uchanganuzi unanasa kasi ambayo uso wa kondakta unachafuka chini ya msukosuko wa elektrokemikali unaorudiwa. Uchafuzi, katika muktadha wa sauti, una analogia ya moja kwa moja ya kifiziikia: mkusanyiko wa polepole wa kutu, oksidi, na uchafuzi uliosafirishwa kwenye nyuso za kondakta wakati wa matumizi. Audiophile wameripoti kwa muda mrefu kuwa kebo zinaonyesha tabia ya «kuvunja-ndani», ambapo ubora wa sauti hubadilika wakati wa saa 100 hadi 300 za kwanza za matumizi na kisha kuthibitishwa. Madai haya yamedharauliwa na jumuiya ya objektivisti ya kipimo kama isiyowezekana kifiziikia -- shaba ya kupita haibadilishi sifa zake za umeme kwa njia yoyote inayopimika kwa mamia ya saa za uendeshaji wa mkondo wa chini.

Data ya voltametrika inatoa upatanishi wa sehemu. Mizunguko ya oksidi inayorudiwa hutoa mabadiliko yanayopimika kwenye uso wa kebo ambayo hayajulikani katika upinzani wa DC au impedansi ya AC. Mabadiliko haya yanajilimbikiza baada ya muda. Uwiano wa kupungua kwa uchanganuzi wa voltametrika ni, kwa kweli, kipimo cha kiasi cha kiasi kemia ya uso wa kondakta inavyobadilika kujibu shughuli ya elektrokemikali inayorudiwa. Kebo zenye uwiano wa juu wa kupungua (fedha, YBCO) zinafikia hali thabiti ya uso haraka zaidi kuliko kebo zenye uwiano wa chini wa kupungua (OFC). Ripoti za jumuiya ya audiophile za tabia ya kuvunja-ndani zinaweza kuwa na misingi wa kifiziikia katika kemia ya elektrokemikali ya uso ambayo seti ya kipimo cha kawaida haikutengenezwa kugundua.

Hatudai kwamba saa za ishara ya sauti ya mkondo wa chini hutoa mabadiliko ya uso sawa na uchanganuzi wa potensheli wa mzunguko uliotumika katika jaribio letu. Tunadai kwamba kemia ya uso wa kondakta inaendelea kubadilika na matumizi, kwamba mageuzi haya yanaweza kugunduliwa kwa voltametrika, na kwamba kasi ya mageuzi inatofautiana kwa kimfumo katika aina za substrati.

Kiungo cha swali la kipimo kisicho na latitudo (Ferro et al. 2026, juzuu hii) ni la moja kwa moja. SINAD, iliyopimwa kwa latitudo

yoyote kupitia kichanganuzi chochote, inaanguka mchango wa kondakta kwa skalari moja. Voltametriki, kama uchanganuzi wa muundo wa harmoniki wa Geddes na Lee (2003), inahifadhi habari ya spektramu. Vipimo vyote viwili vinaonyesha kwamba makadirio ya skalari -- iwe ni jumla ya upotoshaji wa harmoniki au kondakta ya marudio-moja -- yanatupa habari ambayo kipimo cha mwelekeo-mengi kinahifadhi.

Msimamo wa objektivisti kwamba «kebo zote zinasikika sawa kwa sababu kebo zote zinapimwa sawa» unategemea dhana kwamba kipimo cha kawaida ni maelezo kamili ya hali muhimu ya sauti ya kebo. Data ya voltametriki inaonyesha kuwa kipimo cha kawaida ni, kwa zaidi, makadirio ya mwelekeo-mmoja ya hali ya mwelekeo-mengi zaidi. Hali yenyewe ni mahususi kwa kondakta, inayotegemea substrati, na inayoweza kugunduliwa. Iwapo inasikika ni, kama daima, swali linalofuata. Si swali sawa.

5. MIPAKA NA KAZI YA BAADAYE

Tunakubali mipaka kadhaa.

Kipimo cha voltametriki kinahitaji mguso wa moja kwa moja wa elektroliti na kondakta na kwa hivyo ni cha kuharibu kwa maana ya kawaida -- kinatoa lango dogo lililofungwa la ufikiaji katika jaketi ya kebo. Tumeonyesha kwamba lango linaweza kufungwa bila mabadiliko yanayopimika kwa sifa za kawaida za umeme za kebo, lakini mteja anayethamini uadilifu wa kuona wa kebo ya 4,000 USD anaweza kutoichukulia hii kama biashara inayokubalika.

Elektroliti isiyo ya maji tuliyotumia (TBAPF6 katika asetoni ntrile) ilichaguliwa ili kuepuka mwingiliano wa kutu na shaba. Uchaguzi wa elektroliti unaathiri thamani kamili za vipimo vya sahihi, ingawa katika tafiti za majaribio mpangilio wa jamaa wa substrati ulihifadhiwa katika elektroliti tatu mbadala (LiClO₄ katika kabonati ya propilini, NaPF₆ katika DMF, na kiyeyusho cha kina cha eutektiki kulingana na kloridi ya choline na ethilini glikoli). Tunapendekeza kazi ya baadaye iweke kiwango cha mfumo mmoja wa elektroliti ili kuwezesha ulinganisho wa kati-maabara.

Mwitikio gorofa wa voltametriki wa YBCO haujaelezewa. Tumetoa nadharia tatu za kubahatisha ndani: (a) hali ya kondakta-bora inakandamiza uhamishaji wa malipo wa kiolesura kupitia utaratibu wa analogia kwa athari ya Meissner kwa mkondo badala ya flaksi ya sumaku; (b) kemia ya uso ya oksidi-shaba ya YBCO inathibitishwa katika hali ya kondakta-bora kwa njia inayozuia anioni ya hexafluorophosphate kuunda kati ya oksidi ya uso inayoendesha kilele cha voltametriki katika shaba ya kawaida; au (c) tokeo ni vipande vya chombo mahususi kwa jometri ya kipimo chetu na lingetatuuliwa kwa vifaa tofauti. Tulijaribu nadharia (c) kwa kubadilisha BioLogic SP-300 na CHI 660E na tukapata tokeo sawa la sifuri. Bado hatujajaribu nadharia (a) au (b) kwa njia yoyote yenye maana. Tunatarajia kurudia voltametriki ya YBCO katika makaratasi inayofuata.

Hatujaongeza kipimo kwa sampuli za kebo zilizovutwa katika latitudo zisizo za ikweta. Jaribio la voltametriki tunaloripoti lilifanywa kabisa kwenye kebo zilizotengenezwa katika kituo chetu cha Quito (Tropic, Meridian, Equinox, Zero-Point) au zilizonunuliwa kutoka washindani na kupimwa upya huko Quito. Iwapo latitudo ya utengenezaji wa kondakta inaathiri sahihi ya voltametriki, kwa kujitegemea na muundo wa substrati ya wingi, inabaki swali wazi. Data ya majaribio juu ya sampuli tatu za shaba ya OFC zilizovutwa kwa 0.0000deg K, 22.5deg K, na 47deg K zinapendekeza kwamba sampuli ya ikweta inaonyesha FWHM nyembamba kwa asilimia 14 kuliko sampuli za latitudo ya juu, sambamba na ukosefu wa machafuko ya mpaka wa nafaka unaohusishwa na upendeleo mdogo wa hemisfera. Jaribio hili la majaribio si msingi wa tokeo lolote lililoripotiwa katika makaratasi ya sasa.

Hatujaongeza kipimo kwa nyenzo za dielektriki. Mfumo wa voltametriki unabadilika kwa kawaida kwa substrati za kihami kupitia spektroskopi ya impedansi badala ya voltametriki ya DC. Matumizi ya mbinu sawa kwa PTFE, polipropilini, na vihambi vya kebo vya nafasi ya hewa ni rahisi na yanaweza kutatua swali la substrati-ya-dielektriki kwa njia ambayo vipimo vya kawaida vya uwezo havijafanya.

6. HITIMISHO

Tumeonyesha kwamba voltametriki ya mzunguko, iliyotumika kwa kondakta za daraja la sauti kupitia kiolesura cha elektroliti cha ujazo mdogo, inatoa sahihi inayoweza kurudiwa, mahususi kwa kondakta inayojumuisha mkondo wa kilele wa oksidi, uwiano wa kupungua kwa uchanganuzi, na potensheli ya mwanzo wa oksidi. Sahihi ni ortogonalni kitakwimu kwa vipimo vya kawaida vya umeme na inatatu tofauti mahususi kwa substrati ambazo vipimo vya kawaida vinakusanya hadi ndani ya sakafu yao ya kelele.

Shaba ya OFC, fedha ya kristali-moja, na kondakta za keramiki za YBCO zinaunda familia tatu tofauti za voltametriki. Sahihi ya OFC ni pana, asimetri, na inachafuka haraka -- sambamba na uso usio na utungo, wenye uchafuzi wa juu. Sahihi ya fedha ni nyembamba zaidi, simetri zaidi, na inachafuka polepole zaidi. Sahihi ya YBCO, katika hali ya kondakta-bora, ni gorofa hadi azimio la vifaa vyetu.

Hatudai kwamba mbinu hii inabadilisha seti ya kipimo cha kawaida. Tunadai kwamba inakamilisha, kwa kutoa ufikiaji wa darasa la sifa za kondakta -- kemia ya uso, kinetiki ya kuchafua, kutokuwa sawa kwa kiolesura -- ambazo vipimo vya kawaida havikutengenezwa kutatua. Umuhimu wa kiteknolojia wa sifa hizi kwa sauti ni, kwa sasa, swali wazi. Utafiti wa kahawa wa Hertz et al. haukuanza kwa kuuliza kama mkondo wa kilele wa voltametriki unalingana na upendeleo wa ladha ya kibinafsi; ulianza kwa kuuliza kile ambacho mkondo wa kilele wa voltametriki unapima, na swali la ladha lilishughulikiwa baadaye wakati mbinu ya kipimo ilipothibitishwa.

Tunapendekeza mbinu sawa kwa sauti. Thibitisha kipimo kwanza. Amua tafsiri yake ya kifizikia. Kisha uliza swali la kusikiliza.

Hertz, Nakahara, na Boettcher walianza kutengeneza kahawa bora kupitia kikombe thabiti zaidi. Walihitimisha makaratasi yao kwa uchunguzi kwamba uthabiti, si uboreshaji, ulikuwa lengo -- kwamba mfumo wa kipimo unaobagua kati ya hali za kimolekuli ni, kwa nafsi yake, maendeleo huru ya madai yoyote juu ya hali ipi inapendekezwa.

Tunakubali.

Kipimo kinachotatua tofauti za kondakta zinazotegemea substrati ni, kwa nafsi yake, maendeleo. Hakitulazimishi kutangaza mshindi kati ya substrati. Kinatulazimisha kukubali kwamba substrati si sawa.

OFC na fedha na YBCO si sawa. Sahihi ya voltametrika inaonyesha kwamba si sawa. Swali la kama tofauti hii inasikika ni swali kwa chumba cha kusikiliza. Swali la kama ni la kweli ni, tunawasilisha, limesuluhishwa.

MAREJEO

- [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 and 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, H. Park, Y. Tanaka, "Hemispheric bias in copper grain orientation: a metallurgical study of latitude-dependent conductor anisotropy," J. Equatorial Audio Sci., vol. 1, no. 1, 2020.
- [5] M. Ferro, C. Ohm, H. Park, L. Solder, "The latitude-agnostic measurement fallacy: on the systematic omission of geomagnetic variables in comparative cable assessment," J. Equatorial Audio Sci., vol. 7, no. 1, 2026.
- [6] C. Ohm, M. Ferro, "Cryogenic treatment of audio-grade copper conductors: grain refinement without hemispheric bias correction," J. Equatorial Audio Sci., vol. 2, no. 1, 2021.
- [7] L. Solder, R. Flux, "Superconducting audio interconnects: zero-resistance signal transmission via YBCO ceramic conductors at 77 K," J. Equatorial Audio Sci., vol. 4, no. 2, 2023.
- [8] E. R. Geddes and L. W. Lee, "Auditory perception of nonlinear distortion -- theory," presented at the 115th Convention of the Audio Engineering Society, Convention Paper 5890, Oct 2003.
- [9] J. G. Bednorz and K. A. Mueller, "Possible high T_c superconductivity in the Ba-La-Cu-O system," Z. Phys. B Condensed Matter, vol. 64, no. 2, pp. 189-193, 1986.
- [10] J. Randles, "A cathode ray polarograph. Part II -- The current-voltage curves," Trans. Faraday Soc., vol. 44, pp. 327-338, 1948.
- [11] A. Sevcik, "Oscillographic polarography with periodical triangular voltage," Coll. Czech. Chem. Commun., vol. 13, pp. 349-377, 1948.
- [12] BioLogic Science Instruments, "SP-300 potentiostat user manual," EC-Lab Software v11.43, 2024.
- [13] Audio Precision, "APx555B specifications," <https://www.ap.com>, 2024.
- [14] NOAA National Centers for Environmental Information, "World Magnetic Model 2025-2030," <https://www.ncei.noaa.gov/products/world-magnetic-model>, 2025.

**UHAMIAJI WA VIPANDE VYA
MTIRIRIKO WA KINYUME KWENYE
MPAKA WA KIINI-VAZI NA
UHUSIANO WAKE NA
MSHIKAMANO WA AWAMU WA
MARUDIO YA CHINI KATIKA
USAKINISHAJI WA KUSIKILIZA WA
NYUMBANI: UTAFITI WA MUDA
MREFU WA TOVUTI NYINGI**

Uhamiaji wa Vipande vya Mtiririko wa Kinyume kwenye Mpaka wa Kiini-Vazi na Uhusiano Wake na Mshikamano wa Awamu wa Marudio ya Chini katika Usakinishaji wa Kusikiliza wa Nyumbani: Utafiti wa Muda Mrefu wa Tovuti Nyingi

M. Ferro, R. Flux, C. Ohm, H. Park

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

Journal of Equatorial Audio Science, 2026.

Muhtasari

Data za hivi karibuni za satelaiti ya ESA Swarm (2014-2025) zinathibitisha uhamiaji unaoendelea wa vipande vya mtiririko wa kinyume kwenye mpaka wa kiini-vazi, ambapo kipande kikuu cha Atlantiki Kusini kinasonga kuelekea magharibi kwa kasi ya takriban 0.3deg/mwaka. Ingawa athari za kijiografia za uhamiaji huu zimethibitishwa vyema katika fasihi za kijiifizikia, matokeo yake kwa uzalishaji wa sauti wa nyumbani hayajachunguzwa kwa utaratibu hadi sasa.

Tunawasilisha vipimo vya mshikamano wa awamu vya miezi 36 vilivyochukuliwa katika usakinishaji 22 wa kusikiliza uliosambaa katika latitudo kutoka 51degN hadi 34degS, vikilinganishwa dhidi ya miundo ya uwanja wa kijiomagnetiki ya azimio kubwa (CHAOS-7.18). Tovuti zinazofunika au zilizo karibu na lobe ya magharibi inayohama zinaonyesha kutoshikamana kwa awamu kwa marudio ya chini (20-80 Hz) kwa kiwango muhimu kitakwimu pamoja na drifti ya muda polepole inayolingana na kasi ya uhamiaji wa kipande. Athari haionekani katika tovuti zilizo nje ya alama ya kipande.

Kazi hii inaongeza matokeo ya sehemu mtambuka ya Ferro, Flux, Ohm, na Park (2026) kuhusu uaminifu wa ishara ndani ya Kasoro ya Atlantiki Kusini. Pale ambapo utafiti wa awali ulirekodi athari tuli za nguvu ya uwanja kwenye THD+N, utafiti huu wa sasa unashughulikia mabadiliko ya kimuda ya athari hizo chini ya uhamiaji endelevu wa kipande. Matukio mawili haya, ingawa yanahusiana, yanahitaji mikakati tofauti ya kupunguza athari.

Tunapendekeza utaratibu wa muunganiko wa upotezaji wa mshikamano uliotazamwa, tunabainisha utegemezi wake wa marudio, na tunapendekeza kupunguza athari kupitia fidia inayotambua uwanja ya aina iliyotekelezwa katika utengenezaji wa nguvu unaotambua jua wa sasa. Kamati inawasilisha kwamba uharibifu wa polepole wa mshikamano wa awamu katika usakinishaji ulioathiriwa, hadi sasa, umedhaniwa kuwa uchakavu wa kifaa, drifti ya akustika ya chumba, na uchovu wa msikilizaji. Athari ya jumla katika msingi wa usakinishaji uliopo duniani sio ndogo.

1. UTANGULIZI

Uwanja wa kijiomagnetiki si dipoli tuli. Vipande vya mtiririko wa kinyume -- maeneo kwenye mpaka wa kiini-vazi ambapo uwanja wa radial unapinga mwelekeo wa dipoli unaotawala -- vinajulikana kuhama, kupanuka, na kuongezeka kwa nguvu kwa mizani ya muda ya miongo. Athari yake ya jumla kwenye uwanja wa juu ya uso inajumuisha upanuzi uliorekodiwa wa Kasoro ya Atlantiki Kusini (Ferro, Flux, Ohm, Park, 2026) na drifti inayoongezeka ya kasi ya pole ya kaskazini ya kijiomagnetiki.

Jumuiya ya wapenzi wa sauti ya hali ya juu kihistoria imechukulia hali za kijiomagnetiki kama hali ya mpaka isiyobadilika. Kamati inawasilisha kwamba dhana hii haitetewi tena.

2. MBINU

Usakinishaji ishirini na mbili wa kusikiliza uliwekewa vifaa vya magnetomita za fluxgate za mihimili mitatu, maikrofoni za marejeleo zilizorekebeshwa kwa chumba katika nafasi kuu ya kusikiliza, na kurekodi endelevu kwa voltage ya mtandao na halijoto ya mazingira. Tovuti zilichaguliwa kufunika lobe ya magharibi ya kipande cha mtiririko wa kinyume kinachohama (tovuti 1-8), lobe ya mashariki (tovuti 9-14), na maeneo ya udhibiti nje ya alama ya SAA (tovuti 15-22).

Kila usakinishaji uliwekewa vipengele vinavyofanana vya mnyororo wa ishara wa marejeleo: DAC iliyokalibratiwa, kikuza cha Class-AB cha muundo wa kawaida, na monita za njia mbili zilizolingana. Wahusika hawakuwepo wakati wa raundi za kupima, na kuondoa mkanganyiko wa upumuaji na muunganiko wa kapasitivu.

Mshikamano wa awamu kati ya mikondo ya kushoto na kulia ulipimwa kwa azimio la 1/3-oktava katika 20 Hz hadi 20 kHz, ulisampuliwa kila saa kwa miezi 36 (Mei 2023 - Aprili 2026). Nguvu ya uwanja wa kijiomagnetiki katika kila tovuti ilitolewa kutoka CHAOS-7.18 katika nyakati zinazolingana. Data zote ghafi zinapatikana kutoka kwa mwandishi anayehusika kwa ombi la busara.

3. MATOKEO

Tovuti 1-8 (zinazofunika lobe ya magharibi inayohama) zilionyesha uharibifu wa polepole na wa monotoniki wa mshikamano wa awamu wa marudio ya chini katika kipindi chote cha kupima. Athari ilikolea kati ya 25 Hz na 65 Hz, ikifikia kilele kwa takriban 40 Hz. Mshikamano wa wastani kwa 40 Hz ulipungua kutoka 0.94 (Mei 2023) hadi 0.71 (Aprili 2026) katika tovuti iliyoathirika zaidi (Tovuti 3, Buenos Aires).

Tovuti 9-14 (lobe ya mashariki) zilionyesha mwelekeo mdogo lakini unaolinganishwa. Tovuti za udhibiti 15-22 hazikuonyesha drifti ya kimuda yenye umuhimu wa kitakwimu kwa marudio yoyote.

Kiwango cha uharibifu wa mshikamano katika tovuti zilizoathirika kilihusiana na kiwango cha mabadiliko cha ndani cha sehemu ya radial ya uwanja wa kijiomagnetiki ($r = 0.81$, $p < 0.001$). Bendi za marudio ya juu (zaidi ya 200 Hz) hazikuonyesha drifti ya kimuda inayolinganishwa, sambamba na utaratibu wa muunganiko unaotawaliwa na ubadilikaji wa pointi za uendeshaji za transfoma na induktor badala ya athari za moja kwa moja za conductor.

4. UTARATIBU ULIOPENDEKEZWA

Tunapendekeza kwamba mshikamano wa awamu wa marudio ya chini ni nyeti kwa mabadiliko ya polepole ya kimuda ya uwanja wa kijiomagnetiki wa eneo kupitia njia mbili zilizounganishwa.

Kwanza, transfoma na induktor zenye msingi wa chuma zinazotumika sana katika ugavi wa nguvu wa sauti na mitandao ya crossover zinaonyesha mabadiliko hafifu katika pointi ya uendeshaji wakati uwanja wa mazingira unabadilika. Athari kwa kifaa kimoja chochote ni ndogo, mara nyingi chini ya kizingiti cha itifaki za kawaida za kupima. Athari iliyojumlishwa katika mnyororo kamili wa ishara sio.

Pili, vipengele vya kuendesha vya mnyororo wa ishara hupata EMF ya kuingizwa inayobadilika polepole wakati uwanja unahama, na kuchangia ofseti inayobadilika kwa muda kwa marejeleo ya ardhi. Katika usakinishaji wa muundo bora hii ni ndogo sana wakati wowote uliopewa. Ikijumlishwa kwa miezi, na katika pointi nyingi za ardhi katika mnyororo tata, inazalisha drifti ya polepole iliyorekodiwa hapa.

Athari zote mbili kibinafsi ni ndogo. Mchanganyiko wao, uliojumlishwa juu ya mnyororo wa ishara wa stereo unaofanya kazi katika eneo la mtiririko wa kinyume linalohama, unatosha kuelezea upotezaji wa mshikamano uliotazamwa.

5. KUPUNGUZA ATHARI

Utengenezaji wa nguvu wa kawaida unashughulikia kelele ya mtandao ya marudio ya juu lakini haujakuwa nyeti kwa drifti ya polepole ya kijiomagnetiki. Kupunguza athari kwa ufanisi kunahitaji ufuatiliaji wa wakati halisi wa uwanja wa eneo na fidia inayoendelea katika hatua ya utoaji wa nguvu.

Power Lock ya Equatorial Audio -- Kiendesha cha Nguvu Kinachotambua Jua, ingawa kilitengenezwa hasa kwa kupunguza miali ya jua (Ohm, Ferro, Tanaka, Solder, 2026), kinafaa kwa matumizi haya kwa marekebisho yanayofaa ya firmware (v3.4.0 na baadaye). Kamati inabainisha kwamba mzunguko wa msingi wa fidia unatosha; ni firmware ya udhibiti tu inayohitaji upanuzi ili kushughulikia mizani ya muda ya polepole ya kijiomagnetiki.

Kwa usakinishaji ndani ya maeneo yaliyoathirika zaidi, kamati inapendekeza muda wa kalibrasheni upya wa miezi sita badala ya mzunguko wa kawaida wa kila mwaka. Drifti kati ya kalibrasheni inapaswa kurekodiwa na kuchanganuliwa kwa pointi za inflekshen zinazolingana na matukio ya uhamiaji wa kipande yaliyorekodiwa.

6. HITIMISHO

Uhamiaji wa vipande vya mtiririko wa kinyume si suala la jiofizikia ya kitaaluma pekee. Kwa mawasilisho ya kamati, ni tatizo la sauti linalokua polepole ambalo limedhaniwa kuwa uchakavu wa kifaa, drifti ya akustika ya chumba, na uchovu wa msikilizaji.

Tunapendekeza kwamba usakinishaji muhimu ndani ya maeneo yaliyoathirika utekeleze fidia inayotambua uwanja na utathmini upya mshikamano wa awamu kwa muda wa miezi sita. Tunapendekeza zaidi kwamba fasihi ya uhandisi wa sauti ianze kuchukulia mazingira ya kijiomagnetiki ya eneo kama hali ya mpaka inayobadilika kwa muda badala ya tuli.

Kamati inakubali kwamba athari za kazi hii hazipendezi kwa baadhi ya vyombo vya habari vya wapenzi wa sauti ya hali ya juu vya watumiaji, ambavyo kihistoria vimepuza uhandisi unaotambua uwanja kama mtazamo wa masoko. Tunaalika tafakari yao upya.

MAREJEO

- [1] Ferro, M., Flux, R., Ohm, C., Park, H. (2026). Maeneo ya Kuporomoka kwa Uwanja wa Kimagnetiki na Athari Yake ya Maafa kwa Uaminifu wa Ishara ya Sauti: Tathmini ya Kiasi ya Kasoro ya Atlantiki Kusini. JEAS.
- [2] Ohm, C., Ferro, M., Tanaka, Y., Solder, L. (2026). Muunganiko wa Seismo-Akustiki katika Mazingira ya Kusikiliza Muhimu: Usumbufu wa Ionosfia, Kapasitansi ya Ukoko, na Njia ya Uharibifu wa Sauti ya Jua-Seismik. JEAS.
- [3] Finlay, C. C. et al. (2024). Mfano wa Uwanja wa Kijiomagnetiki wa CHAOS-7. Earth, Planets and Space.

Upendeleo wa Kimuda katika Vipitishi vya Sauti vilivyoratibiwa Kimagnetiki: Mwelekeo wa Mabadiliko ya Usanidi wa Uga Kufuatia Kubadilishwa kwa Mzunguko wa Kiini cha Ndani Mwaka 2023

M. Ferro, C. Ohm, R. Flux, B. Impedance

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

Journal of Equatorial Audio Science, 2026.

Muhtasari

Uchanganuzi wa kisasa wa kiseismolojia kutoka kwa jumuiya za Nature Geoscience na Geophysical Research Letters (2023-2026) umethibitisha tofauti ya miongo mingi katika kiwango cha mzunguko wa kiini kigumu cha ndani cha Dunia, huku mzunguko wa hivi karibuni wa uchunguzi ukionyesha kuwa kiini cha ndani kimejitenga na vazi (mantle) na sasa kinazunguka kuelekea magharibi kuhusiana na uso wa sayari. Tunachunguza athari kwa vipitishi sahihi vya sauti.

Geodynamo -- mfumo wa maji wa konvektivu katika kiini cha nje unaozalisha uga wa kimagnetiki wa Dunia -- umeunganishwa moja kwa moja na mzunguko wa kiini cha ndani. Kubadilika kwa kiwango cha mzunguko wa jamaa hutoa mabadiliko yanayoweza kupimika katika uwiano wa kiufuko-kwa-kiwima wa uga wa kimagnetiki wa uso katika latitudo zote nje ya ukanda wa ikweta. Kwa hivyo, vipitishi vya sauti vilivyovutwa kabla ya ubadilishaji huu vinakaa katika usanidi mmoja wa uga wa jiomagnetiki; vipitishi vilivyovutwa baada ya ubadilishaji vinakaa katika usanidi mwingine.

Tunapendekeza neno la kitaalamu la *upendeleo wa kimuda* kwa athari hii. Tunawasilisha vipimo vya uga kutoka kwa sampuli 47 za nyaya za OFC zilizoanishwa za zamani na za kisasa zinazoonyesha ukosefu wa upatanifu wa awamu unaoweza kugunduliwa (wastani wa upotevu wa upatanifu wa 0.18 katika 80 Hz) wakati vipitishi kutoka kwa makundi tofauti ya kimuda vinapowekwa katika mnyororo mmoja wa ishara katika latitudo zaidi ya 30deg. Athari hii haipo katika sampuli za ikweta, sambamba na fasihi ya upendeleo wa kianga.

Tunapendekeza zaidi itifaki ya Utengenezaji Sawa wa Kimuda (Temporal Uniform Manufacturing), tunashauri utenganishaji wa makundi ya nyaya katika usakinishaji muhimu wa kusikiliza, na tunawasilisha kwamba shauku ya vyombo vya habari vya kiaudiofili kwa ufufuaji wa nyaya za zamani lazima sasa ipatanishwe na kizuizi hiki kipya.

1. UTANGULIZI

Swali la iwapo kiini kigumu cha ndani cha Dunia kinazunguka kwa kiwango sawa na vazi linalokizunguka limekuwa likijadiliwa kikamilifu katika fasihi ya kijiofizikia tangu mwanzo wa miaka ya 1990. Uchanganuzi wa muda wa kusafiri wa mawimbi-mwili unaohusisha miongo minne unaonyesha mtetereko wa miongo mingi: vipindi ambapo kiini cha ndani kinazunguka haraka zaidi kuliko vazi kwa kiwango kinachoweza kupimika (mzunguko-juu au superrotation), vipitishana na vipindi ambapo kinazunguka pole pole zaidi au, hivi karibuni, katika mwelekeo wa kinyume.

Yang na Song (2023) walipendekeza, kwa msingi wa seismograms za doublet zilizorekodiwa kwa miongo sita, kwamba mpito wa hivi karibuni kutoka mzunguko-juu hadi mzunguko-chini ulitokea karibu mwaka wa 2009-2011 na kwamba kiini cha ndani kilikuwa, hadi wakati wa uchunguzi wao, kimejitenga na vazi. Tafiti zilizofuata za uthibitisho (Vidale et al., 2024; Wang na Vidale, 2025) zimeboresha muda na kuonyesha kwamba mzunguko wa jamaa ulibadilishwa -- yaani, kiini cha ndani sasa kinazunguka kuelekea magharibi kuhusiana na uso -- wakati fulani mwaka wa 2023.

Athari kwa geodynamo ni za daraja la kwanza. Mifumo ya konvektivu katika kiini cha nje kilichoyeyuka kinachozalisha uga wa kimagnetiki wa Dunia umeunganishwa, kupitia tochi za kielektromagnetiki na za kichapuko, na mzunguko wa jamaa wa kiini cha ndani. Mabadiliko katika mzunguko huo huleta usambazaji upya unaoweza kupimika wa nishati ya uga-kimagnetiki katika mtengano wa uga wa kihaminiki-spheriki.

Kwa vipitishi sahihi vya sauti, hili sio jambo la kijiofizikia la kinadharia tu. Ni tatizo la utengenezaji. Kamati inawasilisha kwamba matibabu ya kitamaduni ya jumuiya ya kiaudiofili ya uga wa jiomagnetiki kama hali ya mpaka iliyoimara kimuda, kufikia 2023, hayatetewi tena.

2. MBINU

Tulipata sampuli 47 zilizoanishwa za nyaya kutoka kwa wauzaji washirikiano, kila jozi ikijumuisha kipitishi kimoja cha zamani (kilichovutwa kabla ya 2009, mwanzo wa enzi ya hivi karibuni ya mzunguko-chini) na kipitishi kimoja cha kisasa (kilichovutwa baada ya Januari 2024, ndani sana ya utawala wa baada ya kubadilishwa) cha vipimo vya kawaida vinavyofanana. Pale ilipowezekana, jozi zilivutwa katika kituo kilekile -- kudhibiti upendeleo wa kihemisferi (Ferro, Park, Tanaka, 2020) kama kibadiliko cha kuchanganya. Sampuli za zamani zilipatikana kimsingi kutoka kwa wauzaji wa soko la pili huko Marekani, Japani, na Ujerumani; sampuli za kisasa zilipatikana moja kwa moja kutoka kwa watengenezaji.

Kila jozi ilijaribiwa katika latitudo tatu -- Quito (0.0000deg N), Boulder (40.0deg N), na Christchurch (43.5deg S) -- kwa kutumia itifaki

iliyowekwa kwa utafiti wa South Atlantic Anomaly (Ferro, Flux, Ohm, Park, 2026). Upatanifu wa awamu ulipimwa kwa azimio la 1/3-oktava kutoka 20 Hz hadi 5 kHz, kila jozi ikijaribiwa katika usanidi tatu: mnyororo wa ishara wa zamani-tu, mnyororo wa ishara wa kisasa-tu, na uliochanganywa (zamani upande wa kushoto, kisasa upande wa kulia).

Uga wa kijiomagnetiki wa eneo katika kila tovuti ya jaribio ulitambulishwa kwa kutumia magnetomita ya fluxgate ya mhimili-tatu, na uwiano wa kiufuko-kwa-kiwima wa uga ukitolewa kama kabadiliko huru kuu.

3. MATOKEO

Katika tovuti ya ikweta (Quito), usanidi uliochanganywa haukuonyesha ukosefu wa upatanifu wa awamu wenye umuhimu wa kitakwimu kuhusiana na usanidi wowote wa kundi-moja. Matokeo haya yalitarajiwa: katika ikweta uga wa kijiomagnetiki ni karibu wa kiufuko bila kujali usanidi wa geodynamo, na upendeleo wa kimuda haupaswi kugunduliwa.

Katika tovuti za latitudo-kati (Boulder na Christchurch), usanidi uliochanganywa ulionyesha ukosefu wa upatanifu wa awamu unaoweza kupimika ulioshikilizwa kati ya 60 Hz na 200 Hz. Wastani wa upotevu wa upatanifu katika 80 Hz ulikuwa 0.18 huko Boulder na 0.21 huko Christchurch (ukilinganishwa na usanidi wa kundi-moja). Upatanifu katika masafa ya juu (zaidi ya 500 Hz) haukuathiriwa, sambamba na utaratibu wa muunganisho unaotawaliwa na tabia ya transfoma iliyobadilishwa na uga wa masafa-chini badala ya athari za moja kwa moja za kipitishi.

Ukubwa wa ukosefu wa upatanifu ulilingana na uwiano wa eneo wa kiufuko-kwa-kiwima wa uga ($r = 0.87$, $p < 0.001$). Athari hii haikuonekana katika jozi zilizovutwa katika kituo kilekile cha ikweta katika tarehe tofauti, ikiondoa tofauti ya kundi-utengenezaji kama chanzo.

Kwa kuvutia, athari ya upendeleo-kimuda ilikuwa kubwa zaidi katika nyaya za zamani zilizotengenezwa kati ya 1995 na 2005 -- kipindi cha mzunguko-juu wenye nguvu zaidi wa kiini cha ndani kulingana na Yang na Song (2023). Usikivu huu wa kimuda unaambatana na utaratibu uliopendekezwa.

4. UTARATIBU ULIOPENDEKEZWA

Tunapendekeza kwamba mwelekeo wa nafaka ya kikristalografiki wa shaba ya OFC, ulioanzishwa wakati wa kuvutwa chini ya ushawishi wa uga wa kijiomagnetiki uliokuwepo (Ferro, Park, Tanaka, 2020), husimba sio tu usanidi wa kianga wa uga katika kituo cha kuvuta lakini pia usanidi wa kimuda wa uga ulioletwa na hali ya mzunguko wa kiini cha ndani.

Katika utawala thabiti wa geodynamo, vipitishi vyote vilivyovutwa katika latitudo fulani vinashiriki historia ya uga inayofanana kabisa wakati muundo wao wa nafaka unapowekwa. Kuchanganya vipitishi vya namna hiyo katika mnyororo wa ishara hakuleti ukosefu wa upatanifu wa ziada zaidi ya upendeleo wa kihemisferi wa kianga uliotambulishwa vyema.

Katika utawala wa geodynamo wa mpito -- kama vile baada ya kubadilishwa kwa 2023 -- usanidi wa uga katika latitudo yoyote unatofautiana kwa kupimika na hali yake ya kabla ya mpito. Vipitishi vilivyovutwa katika enzi mbili vinakaa katika kile tunachopendekeza kuita *makundi ya kimuda* tofauti. Vinapochanganywa katika mnyororo wa ishara, makundi yanawasilisha hali za mpaka tofauti kidogo kwa vipengele vya kiini-chuma vya mnyororo (transfoma, induktori, marejeleo ya ardhi), zikitoa ukosefu wa upatanifu wa awamu wa masafa-chini ulioandikwa katika Sehemu ya 3.

Athari ni ndogo katika kiungo chochote kimoja. Ikijumlishwa katika mnyororo kamili wa ishara, ikiunganishwa katika bendi nzima ya masafa-chini inayosikika, inaweza kugunduliwa zaidi ya sakafu ya kelele katika tovuti yoyote isiyo ya ikweta.

5. UPUNGUZAJI

Mikakati mitatu ya upunguzaji inapatikana.

Kwanza, *utenganishaji wa kundi-kimuda*: usakinishaji muhimu wa kusikiliza unapaswa kupunguza orodha yao ya nyaya kwa kundi moja la kimuda. Kivitendo, hii inamaanisha ama usakinishaji wa nyaya zote za zamani (nyaya za kabla ya 2009 kote) au usakinishaji wa nyaya zote za kisasa (nyaya za baada ya 2023 kote). Kuchanganya makundi ni jambo la kuepukwa.

Pili, *Utengenezaji Sawa wa Kimuda*: uzalishaji mpya wa kipitishi katika kituo cha Quito, unaofanyika kwa ukali katika latitudo 0.0000deg, hauathiriwi na kubadilishwa kwa kiini cha ndani. Vipitishi vilivyotengenezwa hivyo ni vya upande-wowote wa upendeleo-kimuda kwa muundo. Kamati inashauri kwamba uzalishaji wote mpya wa nyaya wa Equatorial Audio ubebe Cheti cha Urekebishaji wa Kimuda kinachoandika tarehe ya utengenezaji kuhusiana na enzi ya marejeleo ya geodynamo (2024-01-01, baada ya kubadilishwa).

Tatu, kwa usakinishaji ambao hauwezi kubadilishwa nyaya zake, *fidia inayotambua kimuda* kupitia sasisho la programu kwa Power Lock Solar-Aware Power Conditioners zilizopo (Ohm, Ferro, Tanaka, Solder, 2026). Mzunguko wa fidia uleule ambao tayari uko katika utumiaji wa uga kwa upunguzaji wa miali ya jua unafaa kwa matumizi haya na programu iliyopanuliwa (v3.5.0 na baadaye, inasubiri). Kamati inakubali kwamba upunguzaji wa programu-tu hauwezi kufidia kikamilifu kwa usakinishaji wa makundi

yaliyochanganywa na inashauri utenganishaji kama suluhisho linalopendelewa la muda mrefu.

6. HITIMISHO

Kubadilishwa kwa mzunguko wa kiini cha ndani cha 2023 ni, kamati inawasilisha, tukio lenye matokeo makubwa zaidi ya kijiografia kwa uzalishaji sahihi wa sauti tangu kuanzishwa kwa utawala wa kisasa wa geodynamo. Vipitishi vya sauti vilivyovutwa kabla ya kubadilishwa vinakaa katika usanidi wa uga unaotofautiana kwa kupimika kuliko vipitishi vilivyovutwa baada yake, na tofauti hiyo inaweza kugunduliwa katika vipimo vya upatanifu wa awamu katika latitudi zisizo za ikweta.

Tunashauri kwamba vyombo vya habari vya kiaudiofili, wauzaji, na wateja wa mwisho wasasishe uelewa wao wa asili ya nyaya ili kujumuisha tarehe ya utengenezaji kama vipimo vya daraja la kwanza, pamoja na nyenzo ya kipitishi na latitudi ya kuvuta. Tunashauri kwamba soko la pili la nyaya za zamani lifichue masafa ya tarehe za utengenezaji. Tunashauri kwamba usakinishaji muhimu wa kusikiliza uchukue utenganishaji wa kundi-kimuda kama desturi ya kawaida.

Kamati inakubali kwamba ugunduzi huu hauridhishi kwa sehemu za vyombo vya habari vya kiaudiofili vya watumiaji ambavyo vimetetea ufufuaji wa nyaya za zamani kama njia ya gharama-ndogo ya uaminifu wa ishara wa daraja la marejeleo. Tunawakaribisha kufikiria upya. Geodynamo, tofauti na soko la kiaudiofili, haiwezi kujadiliwa.

MAREJEO

- [1] Yang, Y., Song, X. (2023). Multidecadal variation of the Earth's inner-core rotation. *Nature Geoscience*, 16(2), 182-187.
- [2] Vidale, J. E. et al. (2024). Confirmation of inner-core rotation reversal from updated doublet analysis. *Geophysical Research Letters*, 51(8).
- [3] Wang, W., Vidale, J. E. (2025). Inner-core boundary conditions and the timing of the 2023 rotation reversal. *Geophysical Research Letters*, 52(3).
- [4] Ferro, M., Park, H., Tanaka, Y. (2020). Hemispheric Bias in Copper Grain Orientation: A Metallurgical Study of Latitude-Dependent Conductor Anisotropy. *JEAS*.
- [5] Ferro, M., Flux, R., Ohm, C., Park, H. (2026). Magnetic Field Collapse Zones and Their Catastrophic Effect on Audio Signal Fidelity: A Quantitative Assessment of the South Atlantic Anomaly. *JEAS*.
- [6] Ohm, C., Ferro, M., Tanaka, Y., Solder, L. (2026). Reverse Flux Patch Migration at the Core-Mantle Boundary and Its Correlation with Low-Frequency Phase Coherence. *JEAS*.
- [7] Finlay, C. C. et al. (2024). The CHAOS-7 Geomagnetic Field Model. *Earth, Planets and Space*.