



---

# **INTERAKCIJA SOLARNIH ERUPCIJA SA AUDIOFILSKIM SIGNALNIM PUTEVIMA: EFEKTI GEOMAGNETSKIH OLUJA NA PERFORMANSE AUDIO KABLOVA**

---

# Interakcija solarnih erupcija sa audiofilskim signalnim putevima: Efekti geomagnetskih oluja na performanse audio kablova

S. Magnusson, M. Ferro, C. Ohm

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

Journal of Equatorial Audio Science, 2023.

## Apstrakt

Geomagnetske oluje izazvane solarnim koronarnim emisijama mase (CME) proizvode brze fluktuacije magnetnog polja Zemlje koje mogu preći 500 nT/min tokom ozbiljnih događaja ( $K_p \geq 7$ ). Pokazujemo da su ove fluktuacije detektirane u audio kablovima sa hemisferskim biasom, i da su magnetno neutralni kablovi inherentno imuni na ove fluktuacije. Testirano je tri nivoa kablova (3 po nivou: Tropic, Meridian, Equinox, Zero-Point) tokom geomagnetske oluje u oktobru 2024. ( $K_p = 8,3$ ) otkrilo je fluktuacije impedanse do 0,08% u kablovima nivoa Tropic, 0,003% u kablovima nivoa Equinox, i ispod nivoa šuma ( $< 0,0001\%$ ) u kablovima nivoa Zero-Point. Predlažemo Indeks solarne aktivnosti za specifikacije performansi audio kablova.

## 1. UVOD

Sun ev jedanaestogodišnji ciklus aktivnosti proizvodi periodične maksimume u aktivnosti emisija mase (CME). Kada magnetno polje CME-a interaguje sa magnetosferom Zemlje, rezultirajućim su proizvodima brzih fluktuacija velike amplitude u površinskom magnetnom polju. Trenutni solarni ciklus aktivnosti od predviđene, sa nekoliko zabeleženih oluja  $K_p \geq 7$  u 2024.

Ove geomagnetske fluktuacije dobro su dokumentovane kao izvor smetnji u elektroenergetskim mrežama (geomagnetski indukovane struje), sistemima za praćenje korozije cevovoda i preciznoj magnetometriji. Ove su smetnje na audio signalne kablove.

Mehanizam je jednostavan: audio kabl sa hemisferskim biasom sadrži provodnike čija struja zavisi od magnetnog polja Zemlje. Kada se polje brzo menja -- kao tokom geomagnetske oluje -- magnetno polje se pomera, proizvodeći i prelaznu promenu u efektivnoj impedansi provodnika. Ova promena rezultira neželjenom modulacijom audio signala.

Magnetno neutralni kablovi, po definiciji, nemaju poželjnu orijentaciju zrna. Trebalo bi da budu imuni na ovaj efekat jer ne postoji direkciono spregnuta izmeđina struktura zrna i spoljašnjeg polja. Ovaj rad testira tu hipotezu.

## 2. METODOLOGIJA

Dvanaest uzoraka kablova (po 1,0 m, RCA-terminisani interkonekti) instalirano je u magnetnom polju Equatorial Audio. Tri kablova po nivou (Tropic, Meridian, Equinox, Zero-Point) povezana su sa analizatorom impedanse zasnovanim na Keysight E4990A analizatoru impedanse koji radi na 1 kHz sa intervalima merenja od 5 sekundi.

Istovremeni podaci o magnetnom polju zabeleženi su pomoću Bartington Mag-13 troosnog magnetometra na 1 m od niza kablova.

Merna kampanja se kontinuirano odvijala od 15. septembra do 15. novembra 2024, beležeći podatke za tri kablova. Period je obuhvatio tri geomagnetske oluje: 18. septembar ( $K_p = 5,7$ ), 10-12. oktobar ( $K_p = 8,3$ ) i 3. novembar ( $K_p = 6,1$ ).

Analiza unakrsne korelacije izmeđina brzine promene magnetnog polja (dB/dt) i odstupanja impedanse korišćena je za 60-sekundnih kliznih prozora.

## 3. REZULTATI

Tokom oluje 10-12. oktobra ( $K_p = 8,3$ ), zabeležena su sledeća maksimalna odstupanja impedanse:

Nivo Tropic: 0,082 +/- 0,008% (srednja vrednost 3 uzorka)

Nivo Meridian: 0,031 +/- 0,004%

Nivo Equinox: 0,0033 +/- 0,0005%

Nivo Zero-Point:  $< 0,0001\%$  (ispod nivoa šuma)

Unakrsna korelacija izmeđina dB/dt i dZ/Z bila je značajna za nivoe Tropic ( $r = 0,71$ ,  $p < 0,001$ ) i Equinox ( $r = 0,23$ ,  $p < 0,01$ ). Nije pronađena značajna korelacija za Zero-Point ( $r = 0,02$ ,  $p > 0,05$ ).

Odstupanje impedanse skaliralo se linearno sa proizvodom HBA kabla i brzine promene magnetnog polja:  $dZ/Z$  je približno jednako  $k \cdot HBA \cdot dB/dt$ , gde je  $k = 2,1 \times 10^{-6} (\text{deg} \cdot \text{min}/\text{NT})^{-1}$ .

Tokom magnetno mirnih perioda ( $Kp \leq 2$ ), nijedan nivo kabla nije pokazao odstupanja impedanse iznad nivoa šuma.

## 4. DISKUSIJA

Rezultati potvrđuju hipotezu: kablovi sa hemisferskim biasom osetljivi su na geomagnetske velike oluje. Provodnici sa Ekvatorijalnim spojem nivoa Zero-Point, sa svojim HBA ispod solarnu aktivnost. Ova imunost se ne postiže kroz oklapanje (koje može oslabiti ali ne i eliminirati) kroz fundamentalno odsustvo direkcione strukture zrna.

Praktično značajna fluktuacije impedanse od 0,08% tokom ozbiljne oluje je diskutabilan. Na -praga ujnosti za stabilne tonove. Međutim, fluktuacija nije stabilna -- modulirana je haotično geomagnetske oluje, proizvode i kontaminaciju nalik šumu koja može biti primetna kao suptilna preciznosti tokom vrhunca aktivnosti oluje.

Predlažemo da proizvođači kablova usvoje ocenu Indeksa solarne aktivnosti (SAI) koja skalira impedanse po jedinici geomagnetskog poremećaja:  $SAI = \max(dZ/Z) / \max(dB/dt)$ . Niže vrednosti Zero-Point postiže  $SAI < 10^{-9}$ , što označavamo kao „Solarni nivo“.

Slušalice Equatorial Audio Solar Flare, koje uključuju praćenje solarne aktivnosti u realnom vremenu i frekvencijskog odziva, predstavljaju alternativni pristup za slušaoce koji koriste kablove koji nisu Solarnog nivoa.

## 5. ZAKLJUČAK

Geomagnetske oluje proizvode merljive fluktuacije impedanse u audio kablovima sa hemisferskim biasom. Efekat skalira sa veličinom biasa i intenzitetom oluje. Magnetno neutralni kablovi ( $HBA < 0,00001 \text{deg}$ ) su inkompatibilni sa standardizovanom Indeksa solarne aktivnosti za specifikacije performansi audio kablova.

## REFERENCE

- [1] M. Ferro, H. Park, Y. Tanaka, „Hemisferski bias u orijentaciji zrna bakra“, J. Equatorial Audio Sci., sv. 1, br. 1, 2020.
- [2] NOAA Space Weather Prediction Center, „Skale geomagnetskih oluja“, <https://www.swpc.noaa.gov/noaa-scales-explanation>.
- [3] D. H. Boteler, R. J. Pirjola, „Geomagnetski indukovane struje (GIC)“, Space Weather, sv. 15, str. 258-276, 2017.
- [4] J. L. Barton, „Efekti geomagnetskih oluja na tehnološke sisteme“, Space Weather, sv. 1, br. 2, 2003.
- [5] S. Magnusson, C. Ohm, „Adaptivna audio kompenzacija u realnom vremenu za geomagnetske poremećaje“, EA-TN-012, 2023.