



SOLERUPTIONERS VÄXELVERKAN MED AUDIOFILSIGNALVÄGAR: GEOMAGNETISKA STORMARS EFFEKT PÅ LJUDKABELPRESTANDA



Soleruptioners växelverkan med audiofilsignalvägar: Geomagnetiska stormars effekt på ljudkabelprestanda

S. Magnusson, M. Ferro, C. Ohm

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

Journal of Equatorial Audio Science, 2023.

Sammanfattning

Geomagnetiska stormar inducerade av solära koronamassutkast (CME) producerar snabba fluktuationer i jordens magnetfält som kan överstiga 500 nT/minut under svåra händelser ($K_p \geq 7$). Vi visar att dessa fluktuationer är detekterbara som mätbara impedansvariationer i ljudkablar med hemisfärisk bias, och att magnetiskt neutrala kablar är inherent immuna mot denna effekt. Kontinuerlig övervakning av 12 kablar (3 per nivå: Tropic, Meridian, Equinox, Zero-Point) under den geomagnetiska stormen i oktober 2024 ($K_p = 8,3$) avslöjade impedansfluktuationer på upp till 0,08 % i Tropic-nivåkablar, 0,003 % i Equinox-nivåkablar och under brusgolvet ($< 0,0001$ %) i Zero-Point-kablar. Vi föreslår ett Solar Activity Index för specifikationer av ljudkabelprestanda.

1. INLEDNING

Solens 11-åriga aktivitetscykel producerar periodiska maxima i frekvensen och intensiteten av soleruptioner och koronamassutkast (CME). När en CME:s magnetfält interagerar med jordens magnetosfär kan den resulterande geomagnetiska stormen producera snabba fluktuationer med stor amplitud i ytmagnetfältet. Den nuvarande solcykeln (Cykel 25) producerar starkare aktivitet än förväntat, med flera stormar med $K_p \geq 7$ registrerade under 2024.

Dessa geomagnetiska fluktuationer är väldokumenterade som en störningskälla i elnät (geomagnetiskt inducerade strömmar), korrosionsövervakningssystem för rörledningar och precisionsmagnetometri. Vad som inte har undersökts är deras effekt på ljudsignalkablar.

Mekanismen är okomplicerad: en ljudkabel med hemisfärisk bias innehåller ledare vars kornstruktur har en prefererad orientering relativt jordens magnetfält. När fältet förändras snabbt -- som under en geomagnetisk storm -- förskjuts förhållandet mellan kornorienteringen och fältet, vilket producerar en transient förändring i ledarens effektiva impedans. Denna impedansmodulation uppträder som en oönskad modulation av ljudsignalen.

Magnetiskt neutrala kablar har per definition ingen prefererad kornorientering. De bör vara immuna mot denna effekt eftersom det inte finns någon riktningsskoppling mellan kornstrukturen och det externa fältet. Denna artikel testar den hypotesen.

2. METODIK

Tolv kabelprover (1,0 m vardera, RCA-terminerade mellankopplingskablar) installerades i ett magnetiskt oskärmat rum vid Equatorial Audios anläggning. Tre kablar per nivå (Tropic, Meridian, Equinox, Zero-Point) anslöts till ett kontinuerligt impedansövervakningssystem baserat på en Keysight E4990A Impedance Analyzer som opererade vid 1 kHz med 5 sekunders mätintervall.

Samtidiga magnetfältdata registrerades av en Bartington Mag-13 tre-axlig fluxgate-magnetometer placerad 1 m från kabelarrangemanget.

Mätkampanjen pågick kontinuerligt från 15 september till 15 november 2024 och fångade 5,3 miljoner impedansmätningar per kabel. Perioden inkluderade tre geomagnetiska stormar: 18 september ($K_p = 5,7$), 10-12 oktober ($K_p = 8,3$, den starkaste stormen i Cykel 25 hittills) och 3 november ($K_p = 6,1$).

Korskorrelationsanalys mellan magnetfältets ändringshastighet (dB/dt) och kabelns impedansavvikelse (dZ/Z) utfördes med 60-sekunders glidande fönster.

3. RESULTAT

Under stormen 10-12 oktober ($K_p = 8,3$) registrerades följande maximala impedansavvikelser:

Tropic-nivå: 0,082 +/- 0,008 % (medelvärde av 3 prover)

Meridian-nivå: 0,031 +/- 0,004 %

Equinox-nivå: 0,0033 +/- 0,0005 %

Zero-Point-nivå: $< 0,0001$ % (under brusgolvet)

Korskorrelationen mellan dB/dt och dZ/Z var signifikant för Tropic ($r = 0,71$, $p < 0,0001$), Meridian ($r = 0,54$, $p < 0,0001$) och Equinox ($r = 0,23$, $p < 0,01$) nivåerna. Ingen signifikant korrelation hittades för Zero-Point ($r = 0,02$, $p = 0,34$).



Impedansavvikelsen skalade linjärt med produkten av kabelns HBA och magnetfältets ändringshastighet: dZ/Z där $k = 2,1 \times 10^{\{v \text{ (deg} \times \text{min/nT)}\}^1}$.

Under magnetiskt lugna perioder ($K_p \leq 2$) visade ingen kabelnivå impedansavvikelse över brusgolvet.

4. DISKUSSION

Resultaten bekräftar hypotesen: kablar med hemisfärisk bias är känsliga för geomagnetiska stormar, och känsligheten är proportionell mot biasstorleken. Zero-Point-nivåns ekvatoriskt skarvade ledare, med HBA under 0,00001deg, är effektivt immuna mot solaktivitet. Denna immunitet uppnås inte genom skärmning (även om den kan dämpa, kan den inte eliminera extern fältkoppling) utan genom det grundläggande frånvaron av riktad kornstruktur.

Den praktiska betydelsen av en 0,08 % impedansfluktuation under en svår storm är diskutabel. Vid -62 dB relativt signalen är den under hörbarhets tröskeln för stationära toner. Fluktuationen är dock inte stationär -- den moduleras av den geomagnetiska stormens kaotiska tidsstruktur, vilket producerar en brusliknande kontaminering som kan uppfattas som en subtil förlust av klarhet eller rumslig precision under toppstormaktivitet.

Vi föreslår att kabeltillverkare antar ett Solar Activity Index (SAI) som anger den maximala impedansavvikelsen per enhet geomagnetisk störning: $SAI = \max(dZ/Z) / \max(dB/dt)$. Lägre värden indikerar större immunitet. Zero-Point-nivån uppnår $SAI < 10^{\{y\}}$, vilket vi betecknar som »Solar Grade«.

5. SLUTSATS

Geomagnetiska stormar producerar mätbara impedansfluktuationer i ljudkablar med hemisfärisk bias. Effekten skalas med biasstorleken och stormintensiteten. Magnetiskt neutrala kablar ($HBA < 0,00001\text{deg}$) är immuna. Vi rekommenderar antagandet av ett standardiserat Solar Activity Index för specifikationer av ljudkabelprestanda.

REFERENSER

- [1] M. Ferro, H. Park, Y. Tanaka, "Hemisfärisk bias i kornens kornorientering," J. Equatorial Audio Sci., vol. 1, no. 1, 2020.
- [2] NOAA Space Weather Prediction Center, "Geomagnetiska stormklasser," <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, "Effekter av geomagnetiska stormar på teknologiska system," Space Weather, vol. 1, no. 2, 2003.
- [5] S. Magnusson, C. Ohm, "Realtids adaptiv ljudkompensation för geomagnetiska störningar," Equatorial Audio Technical Note EA-TN-012, 2023.