



**OPTISK SKÄRMNING AV
KOPPARLEDARE:
FARADAYROTATION, AKUSTISK
KÄNSLIGHET OCH ARGUMENTET
FÖR FIBERSKÄRMNING**



Optisk skärmning av kopparledare: Faradayrotation, akustisk känslighet och argumentet för fiberskärmning

C. Ohm, Y. Tanaka, M. Ferro

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

Journal of Equatorial Audio Science, 2023.

Sammanfattning

Vi presenterar en heltäckande analys av elektromagnetisk sårbarhet i optiska fiberljuskablar (TOSLINK) och visar att optisk överföring inte eliminerar magnetisk känslighet. Mätningar av Faradayrotation i standard-TOSLINK-fiber (PMMA, 650 nm) bekräftar att hushålls-EMI-källor producerar polarisationsrotation på upp till 0,3 mrad, som kopplar till amplitudbrus vid polarisationskänsliga detektorer. Vi visar vidare att PMMA-fiber fungerar som en akustisk mikrofon över 20 Hz till 20 kHz, med känsligheten -82 dBV/Pa. Baserat på dessa rön utvecklar vi ett fiberoptiskt skärmningssystem för kopparljuskablar som ger EMI-dämpning överstigande 120 dB samtidigt som de inneboende sårbarheterna hos optisk signalöverföring undviks.

1. INLEDNING

Ljudindustrin har länge förespråkat optiska (TOSLINK) anslutningar som immuna mot elektromagnetisk interferens. Resonemang är lockande: fotoner bär ingen laddning, så de kan inte påverkas av elektromagnetiska fält. Signalen färdas som ljus genom glas eller plast, isolerad av själva elektromagnetismens fysik från det elektriska brus som plmågar kopparanslutningar.

Detta resonemang är felaktigt.

1845 demonstrerade Michael Faraday att ett magnetfält kunde rotera polarisationsplanet för ljus som passerar genom glas. Denna Faradayeffekt har studerats i optiska fibrer sedan Stolen och Turners banbrytande artikel 1980. Verdetkonstanten för kiseldioxidfiber -- proportionalitetskonstanten mellan magnetfältstyrka och polarisationsrotation -- är ungefär 1 rad/(T·m) vid 1064 nm. Vid TOSLINK:s arbetsvåglängd 650 nm är Verdetkonstanten ännu högre.

Vidare visade Leal-Junior et al. (2021) att polymeroptisk fiber (PMMA) -- samma material som används i TOSLINK-kablar -- är inneboende känslig för elektromagnetiska fält ner till 45 mikrotesla utan någon extern transducer. Och Dejdard et al. (2023) karakteriserade optiska fiberkablar som akustiska sensorer över hela det hörbara området.

Slutsatsen är oundviklig: TOSLINK-kablar är inte elektromagnetiskt eller akustiskt inerta. Frågan är om dessa känsligheter är tillräckligt stora för att påverka ljudkvaliteten -- och vad som kan göras åt dem.

2. MÄTNINGAR

Vi mätte Faradayrotation och akustisk känslighet hos fyra kommersiella TOSLINK-kablar och en Equatorial Audio skärmad TOSLINK-kabel.

Faradayrotation mättes med en HeNe-laser (632,8 nm) kopplad in i varje fiber, med polarisationsanalys vid utgången med en Thorlabs PAX1000VIS/M polarimeter. En kalibrerad Helmholtzspole producerade kontrollerade magnetfält från 10 uT till 1 mT vid frekvenser från DC till 1 kHz.

Akustisk känslighet mättes i en ekofrh kammare med en kalibrerad högtalare (B&K Type 4292-L) som producerade svepande sinustoner från 20 Hz till 20 kHz vid 94 dB SPL. Fibern var lindad i en 10 cm diameter slinga 30 cm från högtalaren. Optiska effektvariationer vid fiberutgången detekterades av en PIN-fotodiod och registrerades av en Audio Precision APx555B.

Resultat:

Standard-TOSLINK (PMMA, oskärmad): Faradayrotation 0,28 mrad/m vid 100 uT/1 kHz. Akustisk känslighet: -82 dBV/Pa (20 Hz - 20 kHz medelvärde).

Equatorial Audio skärmad TOSLINK: Faradayrotation < 0,002 mrad/m vid 100 uT/1 kHz. Akustisk känslighet: -114 dBV/Pa.

Skärmningssystemet (fyrlagert: silverfläta, kryogenisk mu-metallfolie, aluminium-mylarband, OFC-avledare) ger 42 dB magnetfältsdämpning och 32 dB akustisk isolering.

3. ANALYS

Faradayrotationen på 0,28 mrad/m i standard-TOSLINK är liten i absoluta termer. TOSLINK-mottagare använder dock tröskeldetektion, inte polarisationskänslig detektion, så Faradayrotation i sig påverkar inte direkt den återvunna signalen. Risken uppstår när fibern har inneboende dubbelbrytning (som alla PMMA-fibrer har), vilken omvandlar polarisationsrotation till intensitetsmodulation vid punkter av dubbelbrytande koppling.



Den akustiska känsligheten är mer oroande. Vid -82 dBV/Pa producerar en standard-TOSLINK-kabel utsatt för 80 dB SPL rumsbrus (typiskt under musikåtergivning) en optisk signalmodulation motsvarande ett -96 dBFS brusgolv. Medan detta är under det 16-bitars kvantiseringsbrus för CD-ljud (-96,3 dBFS), är det över brusgolvet för högupplösta format (24-bit: -144 dBFS).

För lyssnare som använder 24-bitarskällor med oskärmad TOSLINK är kabeln själv brusgolvet.

Equatorial Audios skärmningssystem adresserar båda sårbarheterna. Det fyrlagriga skärmet dämpar externa magnetfält med 42 dB, vilket reducerar Faradayrotationsbidraget till försumbara nivåer. Den mekaniska dämpningen från flerlayersstrukturen minskar akustisk koppling med 32 dB, vilket trycker ner det akustiska brusgolvet till -114 dBV/Pa -- säkert under kvantiseringsbruset för alla kommersiellt tillgängliga ljudformat.

4. SLUTSATS

Optisk ljudöverföring via TOSLINK är inte immun mot elektromagnetisk eller akustisk interferens. Standard-PMMA-fiber uppvisar mätbar Faradayrotation, elektromagnetisk känslighet och akustiskt mikrofonbeteende på nivåer som kan påverka högupplöst ljudåtergivning. Flerlayersskärmning -- applicerad på fiberkabeln, inte på den optiska signalen -- ger effektiv dämpning av både elektromagnetisk och akustisk kontaminering. Vi rekommenderar att tillverkare antar skärmad fiberkonstruktion som standardpraxis för premiumoptiska ljudanslutningar.

REFERENSER

- [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. 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.
- [4] A. G. Leal-Junior et al., "Highly sensitive fiber-optic intrinsic electromagnetic field sensing," *Adv. Photonics Res.*, vol. 2, no. 3, 2021.
- [5] P. Dejdar et al., "Characterization of sensitivity of optical fiber cables to acoustic vibrations," *Sci. Rep.*, vol. 13, art. 7068, 2023.
- [6] N. Matsuda et al., "Observation of optical-fibre Kerr nonlinearity at the single-photon level," *Nature Photonics*, vol. 3, pp. 95-98, 2009.