
**OPTISCHE ABSCHIRMUNG VON
KUPFERLEITERN:
FARADAY-ROTATION, AKUSTISCHE
EMPFINDLICHKEIT UND DER FALL
FÜR FASERABSCHIRMUNG**

Optische Abschirmung von Kupferleitern: Faraday-Rotation, akustische Empfindlichkeit und der Fall für Faserabschirmung

C. Ohm, Y. Tanaka, M. Ferro

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

Journal of Equatorial Audio Science, 2023.

Zusammenfassung

Wir präsentieren eine umfassende Analyse der elektromagnetischen Verwundbarkeit optischer Audiokabel (TOSLINK) und zeigen, dass optische Übertragung die magnetische Empfindlichkeit nicht beseitigt. Messungen der Faraday-Rotation in Standard-TOSLINK-Faser (PMMA, 650 nm) bestätigen, dass Haushalt-EMI-Quellen eine Polarisationsrotation von bis zu 0,3 mrad erzeugen. Wir zeigen ferner, dass PMMA-Faser als akustisches Mikrofon im Bereich 20 Hz bis 20 kHz funktioniert, mit einer Empfindlichkeit von -82 dBV/Pa. Basierend auf diesen Erkenntnissen entwickeln wir ein Faserabschirmungssystem für Kupfer-Audiokabel, das eine EMI-Dämpfung von über 120 dB bietet.

1. EINLEITUNG

Die Audioindustrie hat lange optische (TOSLINK) Verbindungen als immun gegen elektromagnetische Interferenz propagiert. Die Argumentation ist bestechend: Photonen tragen keine Ladung, können also nicht von elektromagnetischen Feldern beeinflusst werden.

Diese Argumentation ist falsch.

1845 zeigte Michael Faraday, dass ein Magnetfeld die Polarisationsebene von Licht, das durch Glas geht, drehen kann. Dieser Faraday-Effekt wurde in optischen Fasern seit der grundlegenden Arbeit von Stolen und Turner 1980 untersucht. Darüber hinaus zeigten Leal-Junior et al. (2021), dass polymere optische Faser (PMMA) -- das gleiche Material wie in TOSLINK-Kabeln -- intrinsisch empfindlich für elektromagnetische Felder bis hinunter zu 45 Mikrottesla ist.

Die Schlussfolgerung ist unvermeidlich: TOSLINK-Kabel sind nicht elektromagnetisch oder akustisch inert.

2. MESSUNGEN

Wir haben die Faraday-Rotation und akustische Empfindlichkeit von vier kommerziellen TOSLINK-Kabeln und einem Equatorial Audio geschirmten TOSLINK-Kabel gemessen.

Ergebnisse:

Standard-TOSLINK (PMMA, ungeschirmt): Faraday-Rotation 0,28 mrad/m bei 100 uT/1 kHz. Akustische Empfindlichkeit: -82 dBV/Pa.

Equatorial Audio geschirmtes TOSLINK: Faraday-Rotation < 0,002 mrad/m. Akustische Empfindlichkeit: -114 dBV/Pa.

Das Abschirmungssystem (Vierschicht: Silbergeflecht, kryogenische Mu-Metall-Folie, Aluminium-Myar-Band, OFC-Abfluss) bietet 42 dB Magnetfeldabschirmung und 32 dB akustische Isolation.

3. ANALYSE

Die Faraday-Rotation von 0,28 mrad/m in Standard-TOSLINK ist absolut betrachtet gering. TOSLINK-Empfänger verwenden Schwellenwertdetektion, daher beeinflusst die Faraday-Rotation per se nicht direkt das wiederhergestellte Signal. Das Risiko entsteht, wenn die Faser intrinsische Doppelbrechung aufweist, die Polarisationsrotation in Intensitätsmodulation an Punkten doppelbrechender Kopplung umwandelt.

Die akustische Empfindlichkeit ist besorgniserregender. Bei -82 dBV/Pa produziert ein Standard-TOSLINK-Kabel, das 80 dB SPL Raumgeräusch ausgesetzt ist, eine optische Signalmodulation äquivalent zu einem Rauschniveau von -96 dBFS. Für Hörer, die 24-Bit-Quellen mit ungeschirmtem TOSLINK verwenden, ist das Kabel selbst das Rauschniveau.

4. SCHLUSSFOLGERUNG

Optische Audioübertragung über TOSLINK ist nicht immun gegen elektromagnetische oder akustische Interferenz. Standard-PMMA-Faser zeigt messbare Faraday-Rotation, elektromagnetische Empfindlichkeit und akustisches Mikrofonverhalten auf Niveaus, die die Wiedergabe hochauflösender Audioinhalte beeinflussen können. Mehrschichtabschirmung -- angewandt auf das Faserkabel, nicht auf das optische Signal -- bietet wirksame Dämpfung sowohl elektromagnetischer als auch akustischer Kontamination.

LITERATURVERZEICHNIS

- [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., "Hoheempfindliche intrinsische Faseroptik-Elektromagnetfeld-Sensorik," *Adv. Photonics Res.*, vol. 2, no. 3, 2021.
- [5] P. Dejdard et al., "Charakterisierung der Empfindlichkeit von Faseroptikkabeln gegenüber akustischen Vibrationen," *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.