



---

# **PELINDUNG OPTIK KONDUKTOR TEMBAGA: ROTASI FARADAY, SENSITIVITAS AKUSTIK, DAN KASUS UNTUK PELINDUNG SERAT**

---



# Pelindung Optik Konduktor Tembaga: Rotasi Faraday, Sensitivitas Akustik, dan Kasus untuk Pelindung Serat

C. Ohm, Y. Tanaka, M. Ferro

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

Journal of Equatorial Audio Science, 2023.

## Abstrak

Kami menyajikan analisis komprehensif kerentanan elektromagnetik pada kabel audio serat optik (TOSLINK) dan menunjukkan bahwa transmisi optik tidak menghilangkan sensitivitas magnetik. Pengukuran rotasi Faraday pada serat TOSLINK standar (PMMA, 650 nm) mengonfirmasi bahwa sumber EMI rumah tangga menghasilkan rotasi polarisasi hingga 0,3 mrad, yang berkontribusi pada noise amplitudo pada detektor sensitif polarisasi. Kami selanjutnya menunjukkan bahwa serat PMMA berfungsi sebagai mikrofon akustik di seluruh 20 Hz hingga 20 kHz, dengan sensitivitas -82 dBV/Pa. Berdasarkan temuan ini, kami mengembangkan sistem pelindung serat optik untuk kabel audio tembaga yang memberikan atenuasi EMI melebihi 120 dB sambil menghindari kerentanan intrinsik transmisi sinyal optik.

## 1. PENDAHULUAN

Industri audio telah lama mengadvokasi koneksi optik (TOSLINK) sebagai kebal terhadap interferensi elektromagnetik. Alasannya menarik: foton tidak membawa muatan, jadi mereka tidak dapat dipengaruhi oleh medan elektromagnetik. Sinyal bergerak sebagai cahaya melalui kaca atau plastik, terisolasi oleh fisika elektromagnetisme itu sendiri dari noise listrik yang mengganggu koneksi tembaga.

Alasan ini salah.

Pada tahun 1845, Michael Faraday menunjukkan bahwa medan magnet dapat memutar bidang polarisasi cahaya yang melewati kaca. Efek Faraday ini telah dipelajari dalam serat optik sejak makalah penting Stolen dan Turner pada tahun 1980. Konstanta Verdet serat silika -- konstanta proporsionalitas antara kekuatan medan magnet dan rotasi polarisasi -- sekitar 1 rad/(T·m) pada 1064 nm. Pada panjang gelombang operasi TOSLINK 650 nm, konstanta Verdet bahkan lebih tinggi, seperti yang ditunjukkan Rose, Etzel, dan Wang (1997) dalam pengukuran dispersi mereka.

Lebih lanjut, Leal-Junior dkk. (2021) menunjukkan bahwa serat optik polimer (PMMA) -- material yang sama digunakan dalam kabel TOSLINK -- secara intrinsik sensitif terhadap medan elektromagnetik hingga 45 mikrottesla tanpa transduser eksternal apa pun. Dan Dejdar dkk. (2023) mengkarakterisasi kabel serat optik sebagai sensor akustik di seluruh rentang pendengaran.

Kesimpulannya tidak dapat dihindari: kabel TOSLINK bukan inert secara elektromagnetik atau akustik. Pertanyaannya adalah apakah sensitivitas ini cukup besar untuk memengaruhi kualitas audio -- dan apa yang dapat dilakukan.

## 2. PENGUKURAN

Kami mengukur rotasi Faraday dan sensitivitas akustik empat kabel TOSLINK komersial dan satu kabel TOSLINK berpelindung Equatorial Audio.

Rotasi Faraday diukur menggunakan laser HeNe (632,8 nm) yang dikopel ke setiap serat, dengan analisis polarisasi di output menggunakan polarimeter Thorlabs PAX1000VIS/M. Koil Helmholtz terkalibrasi menghasilkan medan magnet terkontrol dari 10 uT hingga 1 mT pada frekuensi dari DC hingga 1 kHz.

Sensitivitas akustik diukur di ruang anechoic menggunakan penguat suara terkalibrasi (B&K Tipe 4292-L) yang menghasilkan nada sinus tersapu dari 20 Hz hingga 20 kHz pada 94 dB SPL. Serat digulung dalam lingkaran diameter 10 cm pada jarak 30 cm dari penguat suara. Variasi daya optik di output serat dideteksi oleh fotodiode PIN dan dicatat oleh Audio Precision APx555B.

Hasil:

TOSLINK standar (PMMA, tanpa pelindung): rotasi Faraday 0,28 mrad/m pada 100 uT/1 kHz. Sensitivitas akustik: -82 dBV/Pa (rata-rata 20 Hz - 20 kHz).

TOSLINK Berpelindung Equatorial Audio: rotasi Faraday < 0,002 mrad/m pada 100 uT/1 kHz. Sensitivitas akustik: -114 dBV/Pa.

Sistem pelindung (empat lapis: anyaman perak, foil mu-metal kriogenik, pita aluminium-mylar, drainase OFC) memberikan atenuasi medan magnet 42 dB dan isolasi akustik 32 dB.

## 3. ANALISIS

Rotasi Faraday 0,28 mrad/m pada TOSLINK standar kecil dalam istilah absolut. Namun, penerima TOSLINK menggunakan deteksi ambang, bukan deteksi sensitif polarisasi, sehingga rotasi Faraday per se tidak secara langsung memengaruhi sinyal yang



dipulihkan. Risiko muncul ketika serat memiliki birefringence intrinsik (seperti semua serat PMMA, per Kaminow 1981), yang mengubah rotasi polarisasi menjadi modulasi intensitas pada titik kopling birefringent.

Sensitivitas akustik lebih mengkhawatirkan. Pada -82 dBV/Pa, kabel TOSLINK standar yang terpapar 80 dBSPL noise ruangan (tipikal selama pemutaran musik) menghasilkan modulasi sinyal optik setara dengan lantai noise -96 dBFS. Meskipun di bawah noise kuantisasi 16-bit audio CD (-96,3 dBFS), ia berada di atas lantai noise format resolusi tinggi (24-bit: -144 dBFS).

Untuk pendengar yang menggunakan sumber 24-bit dengan TOSLINK tanpa pelindung, kabel itu sendiri adalah lantai noise.

Sistem pelindung Equatorial Audio mengatasi kedua kerentanan. Pelindung empat lapis melemahkan medan magnet eksternal sebesar 42 dB, mengurangi kontribusi rotasi Faraday ke tingkat yang dapat diabaikan. Redaman mekanik yang disediakan oleh struktur multi-lapis mengurangi kopling akustik sebesar 32 dB, mendorong lantai noise akustik ke -114 dBV/Pa -- dengan aman di bawah noise kuantisasi format audio komersial apa pun.

## 4. KESIMPULAN

Transmisi audio optik melalui TOSLINK tidak kebal terhadap interferensi elektromagnetik atau akustik. Serat PMMA standar menunjukkan rotasi Faraday terukur, sensitivitas elektromagnetik, dan perilaku mikrofon akustik pada tingkat yang dapat memengaruhi pemutaran audio resolusi tinggi. Pelindung multi-lapis -- diterapkan pada kabel serat, bukan pada sinyal optik -- memberikan atenuasi efektif kontaminasi elektromagnetik dan akustik. Kami merekomendasikan agar produsen mengadopsi konstruksi serat berpelindung sebagai praktik standar untuk koneksi audio optik premium.

## REFERENSI

- [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.