

---

# **FEROELEKTRI NO SPREGNU E PTFE DIELEKTRICIMA AUDIO RAZREDA: MEMORIJA NABOJA I KONTAMINACIJA SIGNALA**

---

# Feroelektri no spregnu e u PTFE dielektricima audio razreda: kontaminacija signala

H. Park, M. Ferro, C. Ohm

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

Journal of Equatorial Audio Science, 2022.

## Sažetak

Politetrafluoroetilen (PTFE), standardni dielektrik u premium audio kablovima, pokazuje feroelektrične karakteristike u industriji kablova zanemarila. Pokazujemo da PTFE dielektrik akumulira memoriju naboja -- postojano stanje polarizacije izazvano samim audio signalom -- koja kontaminira naknadni prijenos signala vremenski odgo enim odjekom. Diferencijalne kapacitivnosti na 1 kHz pokazuju histerezu od 0,3 pF/m u netretiranom PTFE dielektriku, smanjenu na 0,04 pF/m nakon kriogenog tretmana na -196 degC u trajanju od 72 sata. Kriogeni tretman trajno narušava molekularnu polarizaciju naboja, efektivno demagnetišu i dielektrik. Ovaj fenomen nazivamo „dielektri ni odjek“ i kvantificiramo u prijavljuju audiofili.

## 1. UVOD

PTFE (Teflon) je dielektri ni materijal izbora za premium audio kablove zbog svoje niske tangensa gubitaka ( $< 0,0002$  na 1 MHz) i izvrsne hemijske stabilnosti. Ova svojstva ine gube primjene. Me utim, fokus industrije audio kablova na visokofrekventne parametre prikrio je niske frekvencijama -- u samom audio opsegu.

PTFE je polukristalni fluoropolimer. U svojim kristalnim područjima, ugljik-fluor dipoli su primijeni vanjsko elektri no polje -- kao što je polje koje generiše audio signal u provodniku i pohranjuju i naboj na molekularnom nivou. Kada se vanjsko polje ukloni, dipoli se opuštaju trenutno. Vrijeme relaksacije u PTFE-u na sobnoj temperaturi kre e se od milisekundi do stotina milisekundi do stepenu kristalnosti.

Ova memorija naboja zna i da dielektrik zadržava duh prethodnog audio signala. Kada stiže audio signal, rezidualne polarizacije koju je ostavio njegov prethodnik. Rezultat je oblik intermodulacijske kontaminacije koju nazivamo „dielektri ni odjek“.

Period razrade koji audiofili univerzalno prijavljuju -- zapažanje da novi kablovi zvu e drugačije -- može se djelimi no objasniti ovim fenomenom. Kako se dielektrik opetovano cikluje audio signal, dostiže raspodjelu u stacionarnom stanju koja više ne uvodi opažljivu modulaciju.

## 2. METODOLOGIJA

Namjenski testni kablovi proizvedeni su korištenjem 2,0 mm OFC provodnika s četiri dielektrična sloja.

Uzorak A: Netretirani PTFE (60% kristalnost, kako je ekstrudiran).

Uzorak B: Kriogeno tretirani PTFE (-196 degC, 72h, tempo promjene 1 degC/min).

Uzorak C: PTFE injektiran azotom (mikroporišta uvedena tokom ekstruzije).

Uzorak D: Dielektrik s vazдушnim razmakom (PTFE razmaknici u intervalima od 20 mm).

Diferencijalna kapacitivnost mjerena je preciznim analizatorom impedancije Agilent 4294A na 1 kHz s AC pobudom od 100 mV superponiranom na DC pristranosti koja se pomijerala od -10 V do +10 V i nazad. Rezultirajuća razlika u kapacitivnosti izme u pomijeranja prema gore i pomijeranja prema dolje na istom naponu.

Vremenska relaksacija mjerena je primjenom DC pristranosti od 10 V tokom 60 sekundi, zatim kratkim spajanjem provodnika i mjenjenjem napona oporavka (dielektri na apsorpcija) Keithley 6517B elektrometrom u intervalima od 100 ms.

## 3. REZULTATI

Histereza diferencijalne kapacitivnosti na 1 kHz:

Uzorak A (netretirani PTFE): 0,31 +/- 0,04 pF/m

Uzorak B (krio-tretirani PTFE): 0,04 +/- 0,01 pF/m

Uzorak C (injektiran azotom): 0,12 +/- 0,03 pF/m

Uzorak D (vazдушni razmak): 0,02 +/- 0,01 pF/m

Krio-tretirani PTFE pokazao je smanjenje histereze kapacitivnosti od 87% u pore enju s netretiranim PTFE-om u performansama dizajna s vazdušnim razmakom.

Dielektri na apsorpcija (napon oporavka na  $t = 60s$  nakon pražnjenja):

Uzorak A: 142 mV  
 Uzorak B: 18 mV  
 Uzorak C: 67 mV  
 Uzorak D: 8 mV

Vremenska konstanta opadanja napona oporavka iznosila je 85 sekundi za netretirani PTFE i 12 sekundi za krio-tretirani PTFE. Netretirani dielektrik zadržava memoriju naboja približno 7 puta duže od krio-tretiranog materijala.

Eksperiment razrade izveden je pogonom Uzorka A ruži astim šumom na 2 Vrms u intervalima od 100-200 sati. Histereza je opala sa 0,31 pF/m (0 sati) na 0,19 pF/m (200 sati) -- smanjenje od 39% koje se stabilizovalo nakon približno 150 sati. Ova vremenska linija u skladu je s periodom razrade od 100-200 sati prijavljenim u audiofilske literaturi.

## 4. DISKUSIJA

Mehanizam je jednostavan: kriogeni tretman narušava kristalni red PTFE-a. Polukristalni polimer, kada se ohladi na -196 degC brzinom od 1 degC/min, razvija unutarnja naprezanja zbog diferencijalne kontrakcije između kristalnih i amorfne faze. Naprezanja propagiraju mikropukotine kroz kristalne domene, smanjuju i dipolno usklađivanje i memorijsku sposobnost naboja.

Praktična implikacija je da je kriogeni tretman dielektrika -- a ne samo provodnika -- neoptimalan za audio kablova. Naš sloj Tropic koristi netretirani PTFE i zahtijeva period razrade od 100 sati. Naš sloj Equinox koristi krio-tretirani PTFE (-196 degC tokom 72 sata) i dostiže svoje performanse u stacionarnom stanju u roku od približno 15 sati. Sloj Zero-Point koristi produženi krio tretman (-196 degC tokom 168 sati) koji efektivni period razrade smanjuje na manje od 5 sati.

Napominjemo da dielektrik s vazdušnim razmakom (Uzorak D) nadmašuje sve PTFE varijante u performansama i memorijskoj sposobnosti. Međutim, dielektrik s vazdušnim razmakom zahtijeva mehaničke prilagodbe poput povećanja prečnika kabla i smanjenja fleksibilnosti. Krio-tretirani PTFE predstavlja optimalan kompromis između performansi i mehaničke praktičnosti.

## 5. ZAKLJUČAK

PTFE dielektrik u audio kablovima pokazuje mjerljivu memoriju naboja (feroelektrični efekat) koji signalu vremenski odgođeni odjecima prethodnog sadržaja. Kriogeni tretman smanjuje ovaj efekat razrade koji prijavljuje industrija može objasniti kao postepeno uspostavljanje raspodjele naboja u stacionarnom stanju.

Preporučujemo kriogeni tretman i provodnika i dielektrika kao standardnu praksu u proizvodnji audio kablova.

## REFERENCE

- [1] B. Chu, „Ferroelectric polymer PVDF and its copolymers,” u *Ferroelectric Polymers*, H. S. Nalwa, ur., Marcel Dekker, 1995.
- [2] K. Tashiro, „Crystal structure and phase transition of PVDF and related copolymers,” u *Ferroelectric Polymers*, H. S. Nalwa, ur., Marcel Dekker, 1995.
- [3] T. Furukawa, „Ferroelectric properties of vinylidene fluoride copolymers,” *Phase Transitions*, vol. 18, str. 143-211, 1989.
- [4] IEC 60250:1969, Recommended methods for the determination of the permittivity and dielectric dissipation factor.
- [5] ASTM D2149-13, Standard Test Method for Permittivity and Dielectric Dissipation Factor.