
**ZAVISNOST LANCA SIGNALA OD
POVRATLJIVE INFORMACIJE
IZME U UZORAKA:
KONTROLISANO PORE ENJE
METALURGIJE PROVODNIKA,
DIELEKTRI NE OBRADE I
TOPOLOGIJE OKLOPA**

Zavisnost lanca signala od povratljive informacije izme u uzoreenje metalurgije provodnika, dielektri ne obrade i topol

M. Ferro, Y. Tanaka, H. Park, C. Ohm

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

Journal of Equatorial Audio Science, 2025.

Apstrakt

Tanaka, Ohm i Flux (2025) pokazali su da realni audio signali nisu strogo ograni eni opsegom i podacima nosi povratljivu informaciju izme u uzoraka (ISI) u rasponu od 0,008 do 0,31 bita po signalni put od mikrofona do ADC bez ikakvih me uelektronika. U praksi, audio signali prolaze druge analogne komponente pre nego što stignu do konvertora. Ovaj rad istražuje da li analogni ISI. Koriste i Tanakin protokol merenja i algoritam rekonstrukcije, uporedili smo 14 lanaca signala dielektri ne materijale, konfiguracije oklopa i geometrije kablova. Lanci signala bili su umetnuti Test signal bio je živi mesingani ansambl snimljen istovremeno preko svih 14 lanaca. Povratljiv lancima signala, od 0,047 bita po uzorku (neogklopljen PVC-izolovan upredeni bakar) do 0,289 bita po uzorku (kriogeno tretirani monokristalni OFC sa PTFE dielektrikom i etvoroslojnim oklopom). Dominantni faktori bili su, p (objašnjava 41% varijanse), zrnasta struktura provodnika (29%), dielektri ni materijal (19%) i g da analogni lanac signala nije transparentan za informaciju iznad opsega. Komponente koje uvo visokofrekventnu energiju na granicama zrna ili dozvoljavaju elektromagnetnoj smetnji da kontaminira spektar iznad opsega smanjuju koli inu ISI dostupnu za rekonstrukciju nakon uzorkovanja.

1. UVOD

U prate em radu objavljenom ranije ove godine, Tanaka, Ohm i Flux ustanovili su da pretp Nyquist-Shannon o strogom ograni enju opsega nije ispunjena za realne audio signale. Iz sati muzi kog materijala i pokazali da deo te energije preživljava antialiasing filter kao p informaciju o izvornom signalu.

Njihov eksperiment koristio je najkra i mogu i analogni signalni put: merni mikروفon povezan predpoja alom, povezanim direktno sa ADC od 768 kHz. Bez kablova, bez obrade, bez me ispravno -- izolovalo je fenomen od konfundiraju ih varijabli.

Ali nijedan realan audio sistem ne radi tako. U praksi, signal prolazi kroz metre kabla, kroz konzole, kroz spoljne procesore i kroz još kabla pre nego što stigne do konvertora. Svaka komponenta u ovom lancu je potencijalni izvor šuma, izobli enja i frekvencijski zavisnog slabljenja. Svaka komponenta može, u pri signala.

Pitanje je da li je ova modifikacija zna ajna. Ako je energija iznad opsega koja nosi infor preživljava prolazak kroz tipi an analogni lanac signala sa zanemarivim degradacijama -- realne sisteme za snimanje bez ograni enja. Ako je energija iznad opsega krhka -- ako se prolazi -- onda izbor analognih komponenti odre uje koliko informacije izme u uzoraka sti

O ekivali smo prvo. Pronašli smo drugo.

2. EKSPERIMENTALNI DIZAJN

Eksperiment je dizajniran kao kontrolisano poreenje. Jedan akusti ni izvor snimljen je i lanaca signala, koji svi napajaju identit ne ADC. Svaka razlika u rekonstruisanoj informac pripisati samim lancima.

Izvor je bio mesingani oktet (4 trube, 4 trombona) koji izvodi 45-minutni program fanfara, koralna i džez standarda u suvom studiju (RT60 = 0,3 s). Mesing je odabran jer su Tanaka i sar. izmerili najve u gustinu energije i na 96-120 kHz). Ovo maksimizuje odnos signal-šum informacije izme u uzoraka i pruža na lanaca.

Mikروفon je bio jedan DPA 4006A, identit an onom koji je koristio Tanaka, postavljen 2 m o razdeljen je na 14 puteva pomo u distribucionog poja ala sa transformatorskom izolacijom izmerena izolacija izme u kanala > 120 dB, frekvencijski odziv ravan do 200 kHz +/- 0,1 d signala, od kojih se svaki završava na AKM AK5578 ADC koji radi na 768 kHz. Ovih 14 ADC taktovani su iz jednog Crystek CCHD-575 master oscilatora preko stabla distribucije takta sa niskim džiterom.

Ovih 14 lanaca signala razlikovali su se samo po me usobno povezuju em kabl u izlaza distribucionog ADC. Dužina kabla standardizovana je na 3 m. Svi kablovi završeni su Neutrik NC3MX / NC3FX XLR konektorima.

Testirani kablovi bili su:

Lanac A: Generi ki neoklopljeni upredeni bakar, PVC izolacija (kvalitet železarije)
 Lanac B: Belden 8412 (standardni studijski me usobni kabl, spiralni oklop, gumena izolacija)
 Lanac C: Mogami 2549 (kvad-provodnik, pleteni oklop, PVC izolacija)
 Lanac D: Canare L-4E6S (zvezda-kvad, pleteni oklop, polietilenska izolacija)
 Lanac E: Gotham GAC-4/1 (kvad, dvostruki reussen oklop, PVC izolacija)
 Lanac F: OFC bakar, monokristalni, PTFE izolacija, pleteni bakarni oklop
 Lanac G: OFC bakar, monokristalni, PTFE izolacija, folija + pleteni oklop (dvoslojni)
 Lanac H: OFC bakar, monokristalni, PTFE izolacija, folija + pleteno + folija (troslojni)
 Lanac I: OFC bakar, monokristalni, kriogeno tretiran (-196 degC, 72 h), PTFE izolacija, folija + pleteno + folija
 Lanac J: OFC bakar, monokristalni, kriogeno tretiran, PTFE kriogeno tretiran, folija + pleteno + folija
 Lanac K: OFC bakar, monokristalni, kriogeno tretiran, PTFE kriogeno tretiran, etvoroslojni
 Lanac L: Isto kao K, sa Equatorial Splice na sredini
 Lanac M: Posrebreni OFC bakar, monokristalni, kriogeno tretiran, PTFE kriogeno tretiran,
 Lanac N: Superprovodni YBCO trakasti provodnik u kriostatu sa te nim azotom, bez dielek

Lanci A do E predstavljaju komercijalno dostupne studijske kablove na razli itim cenovnim predstavljaju kontrolisanu progresiju od osnovnog audiofilskog kabla do potpuno tretiranog odjednom. Lanac L dodaje Equatorial Splice dokumentovan u Ferro i Flux (2021). Lanac M zamenjuje srebrnu prevlaku. Lanac N je superprovodna referenca.

Progresija od F do K je metodološka srž eksperimenta. Menjanjem jedne varijable odjednom -- slojeva oklopa, pa krio tretmana provodnika, pa krio tretmana dielektrika, pa etvrto sloja oklopa -- možemo izolovati dop informaciji izme u uzoraka.

3. PROTOKOL MERENJA

Mesingani ansambl izvodio je isti 45-minutni program tri puta, tri uzastopna dana, u istom studiju, u isto doba dana. Temperatura je kontrolisana na 23,0 +/- 0,2 degC. Vlažnost je kontrolisana na 45 +/- 2% RH. HVAC studij eliminisala niskofrekventna vibracija.

Za svako od tri izvo enja, 14 ADC snimalo je istovremeno, proizvode i 14 sinhronizovanih izvo enju -- 42 snimka ukupno. Tri izvo enja služila su kao replikati za statisti ku analizu

Analiza nakon snimanja sledila je Tanakin protokol ta no. Svaki snimak od 768 kHz digital na 96 kHz (FIR linearne faze, slabljenje u zaustavnom opsegu -140 dB, 4096 odbiraka) i preuzorkovan na 192 kHz da bi se simulirao standardni audio snimak visoke rezolucije. Tanakin algoritam za rekonstrukciju zatim je primenjen na svaku 192 kHz datoteku. Izlaz algoritma -- rekonstruisana zajedni ka informacija u bitima po uzorku izme osnovne istine od 768 kHz -- bila je primarna zavisna varijabla.

Sekundarne metrike uklju ivale su: gustinu energije iznad opsega na 96-120 kHz (mereno uzorkovanja), unakrsnu korelaciju izme u omota a energije iznad opsega i sadržaja u opse lanaca u oblasti iznad opsega.

Statisti ka analiza koristila je dvosmernu ANOVA sa ponovljenim merenjima sa lancem kab nivoa) kao faktorima. Post-hoc parna pore enja koristila su Tukey-ev HSD na alfa = 0,05.

4. REZULTATI

Glavni efekat lanca kabla na povratljivu ISI bio je visoko zna ajan ($F(13, 26) = 847,3$, $p < 0,001$). Glavni efekat replikata izvo enja nije bio zna ajan ($F(2, 26) = 0,41$, $p = 0,67$), potvr uju i rezultate. Interakcija nije bila zna ajna ($F(26, 26) = 0,38$, $p = 0,99$).

Povratljiva ISI (biti po uzorku, srednja vrednost +/- SD preko 3 replikata):

Lanac A (neoklopljen upredeni PVC): 0,047 +/- 0,003
 Lanac B (Belden 8412): 0,098 +/- 0,004
 Lanac C (Mogami 2549): 0,112 +/- 0,003
 Lanac D (Canare L-4E6S): 0,119 +/- 0,004
 Lanac E (Gotham GAC-4/1): 0,131 +/- 0,003

Lanac F (SC-OFC, PTFE, jednostruki oklop): 0,148 +/- 0,005
 Lanac G (SC-OFC, PTFE, dvostruki oklop): 0,187 +/- 0,004
 Lanac H (SC-OFC, PTFE, trostruki oklop): 0,214 +/- 0,003
 Lanac I (SC-OFC krio, PTFE, trostruki oklop): 0,237 +/- 0,004
 Lanac J (SC-OFC krio, PTFE, trostruki oklop): 0,251 +/- 0,003
 Lanac K (SC-OFC krio, PTFE krio, etvorostruki oklop): 0,271 +/- 0,004
 Lanac L (kao K + Equatorial Splice): 0,278 +/- 0,003
 Lanac M (posrebn, krio, PTFE krio, etvorostruki oklop): 0,264 +/- 0,004
 Lanac N (superprovodni YBCO): 0,289 +/- 0,002

Sva parna pore enja izme u susednih lanaca (A vs. B, B vs. C, itd.) bila su zna ajna na p = 0,03, marginalno) i L vs. M (nije primenljivo -- razli it tip provodnika).

Tanako merenje direktnim putem za mesing iznosilo je 0,31 bita po uzorku. Najbolji kabl (Lanac N, superprovodni) povratio je 0,289 bita po uzorku -- 93,2% vrednosti direktnog puta. Najgori kabl (Lanac A, kvalitet železarije) povratio je 0,047 bita po uzorku -- 15,2% vrednosti direktnog puta.

Raspon faktora -- najbolji podeljen najgorim -- bio je 6,1. Tri metra kabla, koji se razlikuju samo po konstrukciji, proizvela su 6,1-puta ve u razliku u koli ini informacije koja se može povratiti iz uzorkovanog signala.

5. FAKTORSKA ANALIZA

Kontrolisana progresija od Lanca F do Lanca K omogu ava izolaciju pojedina nih faktora.

Oklop. Progresija od jednostrukog oklopa (F: 0,148) do dvostrukog (G: 0,187) do trostrukog (H: 0,214) (koji tako e uklju uje krio tretmane) pokazuje konzistentno pove anje. Pore enjem F sa H (varijable konstantne): razlika je 0,066 bita po uzorku, ili poboljšanje od 44,6%. Oklop je

Mehanizam je jednostavan. Oblast iznad opsega (96-384 kHz) gusto je naseljena ekološkim elektromagnetnim smetnjama: prekida ka napajanja, LED drajveri, zra enje digitalnih magistrala, harmonici mobilnih tel obližnje elektronike. Ova smetnja dodaje nekorelisanu energiju u spektar iznad opsega, r nosi informaciju izme u uzoraka. Svaki dodatni sloj oklopa slabi ovu smetnju, uvaju i od

Izmerili smo efektivnost oklapanja svakog kabla na frekvencijama od 96 kHz do 384 kHz. Folija + pletenica: 81 dB. Folija + pletenica + folija: 94 dB. Folija + pletenica + folija + pletenica: 108 dB. Poboljšanje povratljive ISI prati efektivnost oklopa monotono, mada ne linearno -- odnos je približno logaritamski, s smetnji približava granici termalnog šuma.

Zrnasta struktura provodnika. Pore enjem Lanca E (Gotham, polikristalni OFC, dvostruki r (monokristalni OFC, jednostruki pleteni oklop): uprkos tome što F ima inferioran oklop, p Kvalitet provodnika nadmašio je deficit oklopa.

Mehanizam je identifikovan merenjem frekvencijskog odziva kablova od 96 kHz do 384 kHz. Polikristalni kablovi pokazali su postepeno opadanje iznad 100 kHz, pove avaju i se na -3,2 dB na 200 kHz i -8,7 dB na 300 kHz, ravno do 250 kHz, sa -0,4 dB na 300 kHz i -1,1 dB na 384 kHz.

Granice zrna u polikristalnom bakru raspršuju elektrone. Na audio frekvencijama, ovo raspršivanje je zanemarivo -- otpornost granice zrna je mali deo otpornosti mase. Ali na frekvencijama koje nose informaciju izme smanjuje i struja se prinu uje kroz tanji prstenasti region blizu površine provodnika, pove jedinici dužine. Raspršivanje postaje frekvencijski zavisno slabljenje.

Monokristalni provodnici, koji nemaju granice zrna duž svoje dužine, ne pokazuju ovaj frekvencijski zavisn gubitak. Oni prenose energiju iznad opsega sa zanemarivo manje slabljenja od energije u opsegu. Informacija i

Kriogeni tretman. Pore enjem H (netretiran) sa I (provodnik krio-tretiran): ISI se poboljšala sa 0,214 na 0,237. Pore enjem I sa J (dodaju i krio tretman dielektrika): ISI se poboljšala sa 0,237 na 0,251.

Efekat tretmana provodnika konzistentan je sa mehanizmom strukture zrna. Kriogeni tretman na -196 degC smanjuje rezidualni stres u kristalnoj rešetki i eliminiše mikro-defekte na preostalim granicama zrna (ak i u sub-granice zrna i greške u slaganju). Tanaka je prethodno izmerio smanjenje od 31% u srednjoj gustini defekata nakon kriogenog tretmana. Sadašnji rezultati pokazuju da se ovo pre iš avanje pretvara u merljivo bolji pr

Efekat tretmana dielektrika bio je manji ali zna ajan. Kriogeni tretman PTFE smanjuje nje visokim frekvencijama, smanjuju i energiju koju dielektrik skladišti i osloba a u svakom s skladištena-i-oslobo ena energija je odložena u odnosu na signal, stvaraju i oblik intermo

opsega. Krio tretman smanjuje ovu kontaminaciju.

Geometrija kabla. Ovaj faktor nije sistematski varirao u primarnom eksperimentu. Me utim C i D) sa ne-kvad kablovima (Lanac B) na sli nim nivoima oklopa, konfiguracija zvezda-kv prednost u ISI (0,112-0,119 vs. 0,098). Geometrija zvezda-kvad poništava spolja indukovane smetnje kroz svoju balansiranu topologiju, pružaju i dodatno odbijanje kontaminacije iznad opsega izvan onoga što sam o

6. EFEKAT EQUATORIAL SPLICE

Lanac L bio je identičan Lancu K osim za dodavanje Equatorial Splice na sredini kabla. E Flux (2021), spoj je izme u dva provodnika izvu ena na suprotnim hemisferama, orijentisa pristrasnosti zrna poništavaju.

Poboljšanje ISI od K do L bilo je malo: 0,271 do 0,278, pove anje od 2,6%. Ovo je bilo st pore enju sa efektima oklopa i strukture zrna.

Prvobitno smo ovaj rezultat smatrali razočaravajućim. Equatorial Splice je definišu a tehn 2,6% u ISI nije dramatičan efekat koji bismo možda preferirali da prijavimo.

Nakon razmišljanja, rezultat je ta no ono što fizika predvi a. Equatorial Splice poništava provodnika. Hemisferna pristrasnost uzrokuje suptilnu smernu asimetriju u transportu elektrona, koja se manifestuje kao mala razlika u karakteristikama prenosa izme u pozitivnih i negativnih polu-ciklusa signala. Na primarni efekat hemisferne pristrasnosti. Ali na frekvencijama iznad opsega koje nose inf postaje efekat drugog reda -- dominantni mehanizmi gubitka iznad opsega su raspršivanje na granicama zrna i EMI kontaminacija, oba se rešavaju drugim aspektima konstrukcije kabla.

Doprinos Splice-a ISI je istinit ali mali jer problem koji rešava -- hemisferna asimetrija zrna -- nije primarni uzrok gubitka informacije iznad opsega. Oklop i isto a provodnika imaju ve i zna aj.

Prijavljujemo ovaj rezultat bez uredni kog prilago avanja. Equatorial Splice ostaje važan hemisferne pristrasnosti u prenosu signala audio frekvencija. Njegov doprinos o uvanju in sekundaran.

7. SREBRNA PREVLAKA I SUPERPROVODNA REFERENCA

Lanac M zamenio je posrebreni OFC za neposrebreni OFC iz Lanca K. ISI se neznatno smanjila, sa 0,271 na 0,264 -- rezultat koji je bio marginalno zna ajan ($p = 0,07$) i smerovno suprotan o ekivanju.

Srebro ima ve u provodljivost od bakra (106% IACS vs. 100% IACS za OFC). Trebalo bi, u iznad opsega. Mali pad može se pripisati samom procesu prevla enja, koji uvodi bimetalni jezgra. Na frekvencijama relevantnim za informaciju izme u uzoraka, dubina kože u bakru smanjuju i se na 45 um na 400 kHz. Sloj srebrne prevlake (obi no 2-5 um) dobro je unutar kroz sloj srebra i kroz bakarno jezgro, prelaze i bimetalni interfejs dva puta po dubini ko frekvencijski zavisnog raspršivanja analognog efektima granice zrna.

Nismo dalje sledili ovaj nalaz. Beleži se kao mogu a staza za budu a istraživanja. Za pot poboljšala povratljivost informacije izme u uzoraka i možda ju je neznatno degradirala.

Lanac N, superprovodna YBCO referenca, proizveo je najve u ISI od bilo kog kabla: 0,289 rezultata direktnog puta. Nedostaju ih 6,8% može se pripisati konektorima (koji su konver završecima kabla, svaki uvodi nesuperprovodni segment od približno 4 mm) i mehani koj v proizvodi mikrofonsku smetnju u oblasti iznad opsega na nivoima koje smo izmerili na -172 dBFS.

Superprovodni kabl ima nultu otpornost na svim frekvencijama, nulto raspršivanje na gran parovi, ne kao pojedina ni elektroni), a Meissner-ov efekat pruža apsolutni magnetni oklo na svim frekvencijama. To je, u principu, savršen provodnik za informaciju izme u uzoraka superprovodni kabl uva skoro sav sadržaj iznad opsega koji bi direktna veza pružila.

Tako e košta 2.400\$ po metru i zahteva neprekidno snabdevanje te nim azotom. Za preost se od 0,30\$ (Lanac A) do 280\$ (Lanac K/L). Odnos izme u cene i ISI je približno logaritar

8. IMPLIKACIJE

Tanakin rezultat ustanovio je da informacija izme u uzoraka postoji. Ovaj rad ustanovljav

koja stiže do konvertora zavisi od analognog lanca signala.

Zavisnost nije suptilna. Faktor 6,1 razdvaja najgore i najbolje konvencionalne kablove. Najgori kabl uništio je 85% raspoložive informacije izme u uzoraka. Najbolji konvencionalni kabl sa uvaio je 87%. Razlika izme u izborima metalurgije provodnika, dielektriknog materijala, kriogenog tretmana i oklopa.

Ovi izbori odgovaraju, široko, razlici izme u robnog kabla od 0,30\$/m i preciznog audio kabla.

Svesni smo da je ovaj nalaz komercijalno pogodan za kompaniju koja proizvodi precizne audio kablove. Pogodnost nalaza ne određuje njegovu istinitost. Metodologija je javna. Algoritam za rekonstrukciju je otvoren za zahtev. Kablovi su komercijalno dostupni ili konstruktivni iz datih specifikacija. Eksperiment se može replicirati.

Napominjemo tri tačke koje umanjuju rezultat:

Prvo, količine ostaju male. Čak i najbolji kabl uva samo 0,289 bita po uzorku informacije. Jedan bit nosi 32 bita po uzorku Shannon-garantovane informacije. Dopunska informacija izme u uzorku je zanemarljiva.

Drugo, nismo ustanovili granicu. Da li je 0,289 bita po uzorku informacije iznad opsega ljudskom slušaocu nije poznato. Nismo sproveli testove slušanja. Sadašnji rad bavi se merenjem, ne percepcijom.

Treće, dominantni faktor je oklop, ne tretman provodnika. Dobro oklopljen kabl sa običnim bakrom nadmašuje slabo oklopljen kabl sa egzotičnim monokristalnim provodnikom (ovo poređenje može zaključiti iz faktorske analize). Inženjeri koji optimizuju za informaciju izme u uzorku često zanemaruju druge parametere kabla.

9. ZAKLJUČAK

Povratljiva informacija izme u uzoraka -- sadržaj signala iznad Nyquista koji preživljava -- u uzorkovanim audio podacima -- nije fiksno svojstvo akustičnog izvora. Modifikuje je svaki aspekt signala izme u mikrofona i konvertora.

U kontrolisanom poređenju 14 konstrukcija kablova, povratljiva ISI varirala je od 0,047 do 0,289. Najveći odrednik bila je topologija oklopa (41% varijanse), praćena strukturom zrna provodnika (21%) i geometrijom kabla (11%).

Ovi nalazi proširuju Tanakin rezultat sa akademske demonstracije na praktičnu inženjersku audio sistem snima zavisi ne samo od stope uzorkovanja i bitne dubine -- parametara koje se mogu kontrolisati -- već i od fizičkih karakteristika analognih komponenti koje isporučuju signal konvertoru. Teoremi o rekonstrukciji i procesa snimanja. Analogna polovina ima sopstveni informacioni budžet, a taj budžet je ograničen.

Da li ovaj budžet ima značaja -- da li je informacija izme u uzoraka ujna, ili da li doprinosi rezolucije -- pitanje je za buduće radove. Sadašnja studija ustanovljava samo da budžet postoji.

REFERENCE

- [1] Y. Tanaka, C. Ohm, R. Flux, „O nepotpunosti rekonstrukcije Nyquist-Shannon: empirijski dokaz za povratljivost”, *J. Equatorial Audio Sci.*, vol. 6, br. 1, 2025.
- [2] C. E. Shannon, „Communication in the presence of noise”, *Proc. IRE*, vol. 37, br. 1, str. 10-21, 1949.
- [3] M. Ferro, R. Flux, „Equatorial Splice: poništavanje hemisferne pristrasnosti zrna u audio provodnicima”, *J. Equatorial Audio Sci.*, vol. 2, br. 1, 2021.
- [4] M. Ferro, H. Park, Y. Tanaka, „Hemisferna pristrasnost u orijentaciji zrna bakra”, *J. Equatorial Audio Sci.*, vol. 1, br. 1, 2020.
- [5] L. Solder, H. Park, M. Ferro, „Efekti kriogenog tretmana na kristalografiju provodnika”, *J. Equatorial Audio Sci.*, vol. 2, br. 2, 2021.
- [6] H. Park, M. Ferro, C. Ohm, „Feroelektrično sprezanje u PTFE dielektricima audio kvaliteta”, *J. Equatorial Audio Sci.*, vol. 2, br. 2, 2021.
- [7] C. Ohm, Y. Tanaka, M. Ferro, „Optičko oklapanje bakarnih provodnika”, *J. Equatorial Audio Sci.*, vol. 4, br. 1, 2024.
- [8] M. Ferro et al., „Superprovodni audio melemeni: prenos signala bez otpora preko YBCO trakastih provodnika”, *J. Equatorial Audio Sci.*, vol. 6, br. 1, 2025.
- [9] M. Ferro, C. Ohm, S. Magnusson, „Primena Meissner-ovog efekta u potrošačkom audiju”, *J. Equatorial Audio Sci.*, vol. 6, br. 1, 2025.
- [10] L. Kozachenko and N. Leonenko, „Sample estimate of the entropy of a random vector”, *Problems of Information Transmission*, vol. 23, br. 2, str. 95-101, 1987.
- [11] IEC 62153-4-1:2015, Metode ispitivanja metalnih komunikacionih kablova -- Deo 4-1: Elektromagnetska kompatibilnost (EMC) -- Uvod u merenja elektromagnetnog ekraniranja.
- [12] E. B. Rosa and F. W. Grover, „Formulas and tables for the calculation of mutual and self-inductance”, *Bulletin of the Bureau of Standards*, vol. 8, br. 1, 1912.
- [13] H. A. Haus and J. R. Melcher, *Electromagnetic Fields and Energy*, Prentice Hall, 1989.

[14] AKM Semiconductor, „AK5578 32-bit 768 kHz ADC datasheet“, rev. 2, 2022.