

Realizacija sistema za aktivnu kontrolu buke u cevi na otvorenom hardveru

Marija Ratković, Nebojša Kolarić, Miloš Bjelić

Apstrakt— ANC (Acoustic Noise Control) sistemi su neophodni u prostorijama gde se traži eliminisanje neželjenih zvukova. U ovom radu bavili smo se simulacijom i implementacijom na hardveru ANC sistema u cevi. Testirani su adaptivni algoritmi FxLMS (Filtered x Least Mean Square) i NFxLMS (Normalized Filtered x Least Mean Square). Algoritmi su poređeni po robusnosti sistema, neophodnom redu adaptivnog filtra i brzini konvergencije. U simulaciji su kao test signali korišćeni: sinusoida, klipovana sinusoida i šum realnog ventilatora. U zavisnosti od kompleksnosti test signala menjali su se parametri adaptivnog filtra. Rezultati pokazuju da je moguće potisnuti akustičku buku do određene granice u zavisnosti od kompleksnosti signala, kao i da je moguće takve algoritme implementirati na otvorenom hardveru.

Ključne reči— Aktivna kontrola buke, adaptivni algoritmi, filtri, hardverska implementacija, LMS.

I. UVOD

Jedna od najuspešnijih primena ANC (*Acoustic Noise Control*) sistema je njihova implementacija u cevi [1]. Razlog tome je što veliki broj uređaja koji prave buku koriste cevi za njihovu primarnu namenu, samim tim jednostavno je implementirati ovakav sistem. Potiskivanje buke prouzrokovane šumom ventilatora, koji se nalaze u mnogim električnim uređajima kao što su transformatori, računari i sistemi za klimatizaciju, je jedna od najčešćih primena ovakvih sistema. Ovakvi akustički zvukovi mogu nepoželjno da utiču na čoveka, da ga psihički zamaraju i ometaju u radu.

U ANC sistemu, digitalni kontroler vrši obradu nad neželjenim signalom i na njegovom izlazu se generiše signal koji je iste amplitude a suprotne faze sa primarnom bukom koju želimo potisnuti. Superpozicijom ova dva zvučna signala na izlazu iz sistema (cevi) se formira zona koja je približna zoni tišine, potiskivanjem početnog šuma [2].

Tradicionalne metode za potiskivanje šuma, poput korišćenja apsorpcionih materijala imaju lošije performanse na niskim frekvencijama. Zbog toga je ANC predložen kao rešenje za taj problem, da bi se u kombinaciji sa zvučnim apsorberima što više smanjio neželjeni akustički šum. Primena ovakvog sistema pronalazi svoje mesto u prostorijama u kojima je neophodno obezbediti što veći nivo

tišine, kao što su muzički studio, koncertne sale. Postići će se potiskivanje buke na niskim frekvencijama i doprineti klasičnim načinima potiskivanja buke. Konkretna buka na koju se misli su šumovi ventilatorskih sistema koji se koriste za protok vazduha u samim prostorijama. Samim tim što ove velike cevi kroz koje struji vazduh nije moguće zapušiti sa nekim akustičkim materijalom, neophodno je naći drugi način za postizanje tišine što nam omogućava ovakav način implementacije.

Ideja ovog rada je ispitivanje mogućnosti implementacije ovog sistema za adaptivnu obradu signala na realnom modelu korišćenjem otvorenog hardvera *Bela*, uz ispitivanje krajnjih mogućnosti hardvera i njegovih mogućnosti za primenu u realnim sistemima. Model na kom je sistem implementiran se sastoji od cevi sa zadebljanim zidovima, dva zvučnika i dva mikrofona, koji imaju za cilj da na što bolji način simuliraju realnu cev za ventilaciju kroz koju se prostiru ravanski talasi.

U literaturi [1] je opisana implementacija ovog sistema sa FxLMS (*Filtered x Least Mean Square*) algoritmom [3]. Ovaj algoritam pruža stabilnost čitavom sistemu, što je njegova ključna prednosti u odnosu na poznati LMS (*Least Mean Square*) algoritam [4]. U ovom radu je ispitan FxLMS i zaključeno je da koeficijenti adaptivnog filtra sporo konvergiraju do svojih optimalnih vrednosti. Na osnovu toga je zaključeno da je potrebno upotrebiti drugi adaptivni algoritam [5]. Algoritam koji je približno jednostavan kao i FxLMS je NFxLMS (*Normalized Filtered x Least Mean Square*) [6]. On omogućava bržu konvergenciju koeficijenata, što je jako bitno prilikom implementacije ovog sistema na hardveru.

Krajnji cilj ovog istraživanja je ispitivanje za koji ulazni signal i koju kompleksnost algoritma je moguće realizovati ovakav sistem na hardveru. U radovima iz literature [7] je korišćena frekvencija odabiranja od 8 kHz, što je daleko manje od frekvencije koju je neophodno koristiti u realnom sistemu kako bi čitav sistem funkcionisao. Tokom testiranja sistema testirano je više frekvencija odabiranja, uz ograničenje da sa povećanjem frekvencije odabiranja raste kompleksnost. Posebna pažnja se obraća na maksimalno slabljenje koje će sistem u hardverskoj implementaciji obezbediti, i razlike u odnosu na slabljenje postignuto u simulaciji.

II. METODOLOGIJA

A. ANC

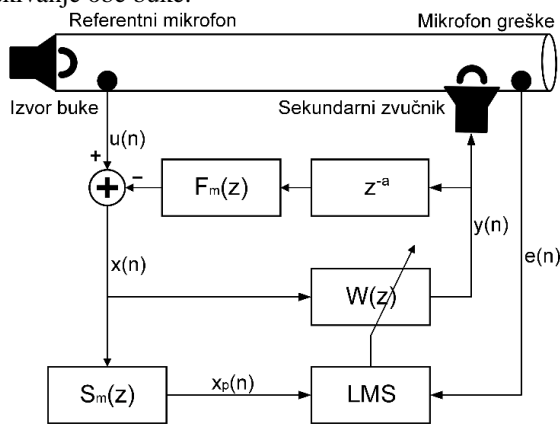
Aktivna kontrola buke je elektroakustički sistem koji potiskuje primarnu buku. Sistem je baziran na principu

Marija Ratković – Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73, 11020 Beograd, Srbija (e-mail: rm180095d@student.etf.bg.ac.rs).

Nebojša Kolarić – Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73, 11020 Beograd, Srbija (e-mail: kn180670d@student.etf.bg.ac.rs).

Miloš Bjelić – Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73, 11020 Beograd, Srbija (e-mail: bjelic@etf.rs).

superpozicije. Na slici 1. je prikazan model ANC-a. Sistem zahteva referentni mikروفон neophodan za prikupljanje referentnog signala koji potiče od izvora buke, a koji treba potisnuti. Na kraju cevi se nalazi mikروفон koji prikuplja zbirni signal primarne i sekundarne buke, odnosno skuplja ukupnu grešku. Sekundarna buka proizilazi iz sekundarnog zvučnika koji emituje signal tako da je suprotan primarnoj buci. To ima za cilj da anulira primarnu buku i na taj način stvara zonu tišine u tom okruženju. ANC kontroler podešava svoje parametre na osnovu signala skupljenih na primarnom i sekundarnom mikروفonu, kontroler je baziran na LMS adaptivnom algoritmu. Algoritam je zadužen da podešava koeficijente adaptivnog filtra tako da se greška na sekundarnom mikروفonu minimizira. Na izlazu iz kontrolera se generiše signal koji će biti reprodukovano na sekundarnom zvučniku, koji je jednak po amplitudi i suprotan po fazi sa primarnom bukom. Njihovim kombinovanjem dobija se potiskivanje obe buke.



Sl. 1. Blok šema ANC sistema

B. Opis algoritma

U ovom delu je detaljno objašnjen FxLMS algoritam [8], na osnovu blok šeme prikazane na slici 1. Impulsni odzivi modelovanih filtara, $S_m(z)$ i $F_m(z)$, su određeni pomoću adaptivnog algoritma za identifikaciju nepoznatog sistema. Impulsni odzivi primarne i sekundarne putanje modelovani su funkcijom *fir2*, koja je ugrađena u Matlabu. Primarna buka na ulazu u referentni mikروفon koju treba potisnuti može biti izražena kao:

$$d(n) = P \times u(n) \quad (1)$$

gde P predstavlja impulsni odziv primarnog puta od referentnog mikrofona do mikrofona greške, a $u(n)$ predstavlja odbirke signala na referentnom mikروفonu. M predstavlja red filtra koji je modelovan od impulsnog odziva P . Za dalju obradu unutar LMS algoritma neophodno je obraditi ulazni signal $u(n)$ sa referentnog mikrofona.

U realizaciji ovog sistema se javlja problem akustičke povratne sprege koja potiče od sekundarnog zvučnika ka referentnom mikروفonu. Iz tog razloga neophodno je modelovanje još jednog impulsnog odziva F koji podrazumeva tu putanju i koji utiče na ulazni signal.

$$x(n) = u(n) - k(n) \quad (2)$$

gde $k(n)$ predstavlja signal koji je bio izlaz sekundarnog zvučnika zakašnjen za a odbiraka, propušten kroz filter reda K koji je modelovan impulsnim odziv, F_m [9].

$$k(n) = F_m \times y_a' \quad (3)$$

Broj odbiraka a za koji treba zakasniti sekundarni signal je izračunat kao odnos dužine dela puta od sekundarnog zvučnika do referentnog mikrofona i brzine prostiranja zvuka. Tako dobijena vrednost u vremenu pomnožena je vrednošću frekvencije odabiranja kako bi se dobio potrebn broj odbiraka. Neophodno je uračunati i vreme kašnjenja samog hardvera, označeno sa t_{Bela} , pri implementaciji algoritma na hardveru.

$$a = (t - t_{Bela}) \times f_s \quad (4)$$

U simulaciji nije neophodno korišćenje ovog dela, jer nema reprodukcije sa sekundarnog signala na sekundarni mikروفon. Samim tim nema ni ometanja u vidi akustičke povratne sprege. Ipak u realnoj implementaciji neophodno je posvetiti pažnju ovom delu. Na osnovu izloženog Zaključuje se da je u simulaciji $k(n)=0$.

Sekundarna putanja podrazumeva deo cevi od sekundarnog zvučnika do mikrofona greške, uz to ona obuhvata: digitalno analogni (D/A) konvertor, filter za rekonstrukciju, pojačavač, zvučnik i akustičku putanju od zvučnika do mikrofona greške, mikروفon, mikروفonski pretpojačavač i A/D konvertor. Neophodno je da ulazni signal pre ulaska u LMS algoritam bude propušten kroz model impulsnog odziva sekundarne putanje S_m [10], reda N .

$$x_p(n) = S_m \times x_1' \quad (5)$$

gde je x_1' ulazni signal za LMS algoritam, koji je jedan od parametara koji konfigurišu u relaciji za izračunavanje koeficijenata adaptivnog filtra, reda H . Signal y koji se reprodukuje na sekundarnom zvučniku dobija se propuštanjem signala x_p kroz adaptivni filter W . Svaki od odbiraka se računa na sledeći način:

$$y(n) = W \times x_2' \quad (6)$$

Sekundarna buka na mikروفonu greške $y_p(n)$, koja treba da potisne primarnu buku $d(n)$, dobija se propuštanjem sekundarne buke sa sekundarnog zvučnika kroz filter koji modeluje sekundarnu putanju S i ima red N :

$$y_p(n) = S \times y' \quad (7)$$

Signal greške $e(n)$ je primljen na mikروفonu greške, i on predstavlja razliku primarne i sekundarne buke:

$$e(n) = d(n) - y_p(n) \quad (8)$$

U FxLMS algoritmu koeficijenti adaptivnog filtra W se u svakoj iteraciji optimizuju kako bi greška $e(n)$ bila što manja, računaju se na sledeći način:

$$w(n+1) = w(n) + \mu \times x_p(n) \times e(n) \quad (9)$$

Parametar μ je konstantna male vrednosti koja se zadaje tako da konvergencija koeficijenata bude što brža. Ova vrednost ne sme biti prevelika da se optimalna vrednost ne bi preskočila u nekoj od iteracija. Algoritam bi trebalo da se izvrši onoliko puta koliko je potrebno da greška dostigne neku određenu, dovoljno malu vrednost. To će se postići kroz stalno menjanje koeficijenata filtra kako bi se što bolje prilagodila greška traženoj vrednosti.

U simulaciji je umesto FxLMS algoritma korišćen NFxLMS, kako bi koeficijenti brže iskonvergirali do optimalnih vrednosti [11]. Za NFxLMS se može koristiti manji red adaptivnog filtra što je ključni razlog za njegovo korišćenje u ovom radu, prilikom implementiranja na hardveru je potrebno smanjiti broj računskih operacija što se na ovaj način postiže. Jedina razlika između ova dva algoritma je što se drugačije računaju koeficijenti $w(n+1)$, tačnije promenljiv je korak adaptacije $\mu(n)$. Koeficijenti NFxLMS algoritma se računaju:

$$w(n+1) = w(n) + \mu(n) \times x_p(n) \times e(n) \quad (10)$$

Parametar $\mu(n)$ se izračunava kao:

$$\mu(n) = \frac{\mu}{s + \delta} \quad (11)$$

gde δ predstavlja malu proizvoljnu konstantu. Vrednost $s(n)$ je izraženo kao:

$$s(n) = \sum_{i=0}^{H-1} x_p(n-1)^2 \quad (12)$$

C. Implementacija algoritma na realnom modelu

Algoritam je testiran na realnom modelu koji se sastoji od cevi dugačke približno jedan metar, dva zvučnika, primarnog i sekundarnog i dva mikrofona, kao što je prikazano na slici 2.

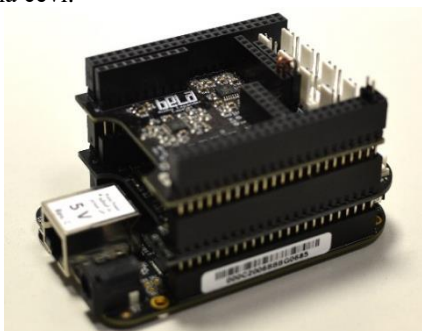


Sl. 2. Izgled korišćene cevi za hardversku implementaciju

Cev je dugačka 1 m, njen prečnik iznosi 7.5 cm. Korišćeni su širokopojasni zvučnici čija veličine membrane iznosi 3". Korišćeni su neusmereni elektret mikrofoni. Cev ima rezonantne frekvencije, koje se mogu odrediti preko izraza:

$$f = \frac{c}{4 \times L} \quad (13)$$

gde je c brzina zvuka u vazduhu koja iznosi približno 340 m/s, a L je dužina cevi.



Sl. 3. Bela procesor

Za implementaciju algoritma korišćena je platforma Bela, koja predstavlja računarski sistem namenjen za obradu audio signala, bazira se na BeagleBone platformi. Izgled Bela procesora prikazan je na slici 3. Glavna karakteristika ovog procesora je malo kašnjenje kada se obrađuju audio signali i

sistemi, kao što je ANC sistem. Korišćeni su dva audio ulaza i jedan audio izlaz koje Bela poseduje, sa frekvencijama odabiranja 22050 Hz. Primarni mikrofoni i mikrofoni greške su bili povezani na po jedan kanal ulaza, a sekundarni zvučnik je bio povezan na izlaz Bele. Primarni zvuk je generisan pomoću generatora, kojim su generisani signali različitih vremenskih oblika.

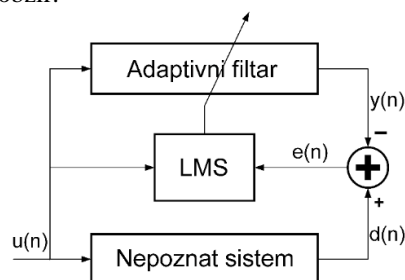
Adaptacija algoritma za generisanje sekundarnog zvuka izvršena je pomoću integrisanog razvojnog okruženja koje ovaj sistem poseduje. Razvojno okruženje bazirano je programskom jeziku C.

D. Modelovanje impulsnih odziva

U cevi je izvršeno snimanje svih potrebnih impulsnih odziva za softversku realizaciju (impulsni odziv primarne putanje, sekundarne, kao i putanje unazad od sekundarnog zvučnika do referentnog mikrofona). Kao što je ranije navedeno za konkretnu softversku implementaciju ovog sistema nije bio potreban impulsni odziv putanje unazad, F , ali će za hardversku implementaciju biti neophodan, zato je i on snimljen. Dobijene impulsne odzive je bilo neophodno modelovati, kako bi bili iskorišćeni u algoritmu.

U simulaciji ovi impulsni odzivi su bili modelovani FIR filtrima, korišćenjem ugrađenih funkcija, trudeći se da amplitudska i fazna karakteristika modela budu što sličnije originalnoj. Rezultati simulacija su zavisili od izabranih redova filtara. U zavisnosti od složenosti test signala neophodni redovi filtara su se menjali, od stotog pa sve do dve hiljaditog reda. U realizaciji u realnom vremenu na hardverskoj platformi ti redovi su preveliki i nije moguće koristiti ih. Zbog toga je bilo neophodno na drugi način modelovati tražene impulsne odzive.

Manji red filtara, do stotog reda, je dobijen modelovanjem impulsnih odziva preko paralelne veze IIR filtara drugog reda. Amplitudska karakteristika tako dobijenog modela je približno istog oblika kao i kod originalnog impulsnog odziva. Sa ovakvim modelima algoritam nije konvergirao, iz čega se zaključuje da amplitudska karakteristika nema veliki uticaj i da je mnogo bitnija fazna karakteristika koja se na ovaj način ne uzima u obzir.



Sl. 4. Blok šema za prepoznavanje nepoznatog sistema

Kao optimalno rešenje za modelovanje ovih putanja, tako da red filtra bude dovoljno mali i da se fazna karakteristika na što bolji način modeluje, korišćenje adaptivni algoritam za prepoznavanje nepoznatog sistema. Principijska blok šema sistema prikazana je na slici 4. Na ovaj način je očuvana i fazna i amplitudska karakteristika u onoj meri u kojoj je to neophodno kako bi čitav sistem funkcionisao. U simulaciji i u hardverskoj implementaciji su korišćeni isti modelovani filtri stotog reda.

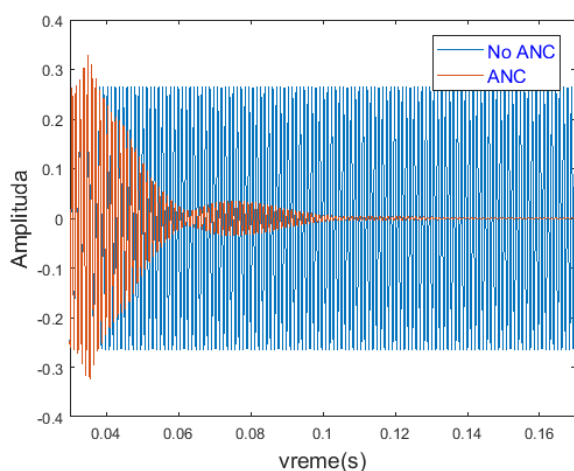
U hardverskoj implementaciji nije bilo potrebe modelovati primarnu putanju, jer će signal proći taj put i pretrpeće uticaj impulsnog odziva primarnog puta. Primarni signal koji treba potisnuti će biti pod uticajem zvuka sa sekundarnog zvučnika i to moramo izbeći. Zato je neophodno koristiti impulsni odziv putanje unazad kako bi uspeo da se generiše signal koji se pušta na sekundarnom zvučniku, koji je optimalan za potiskivanje primarnog signala.

III. REZULTATI

A. Rezultati simulacije

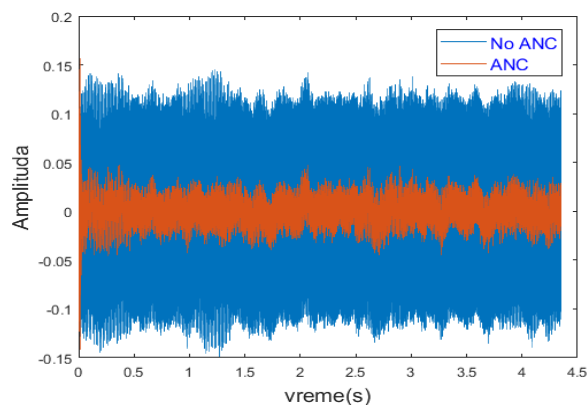
Korišćeno je više različitih primera signala kao izvore buke na referentnom zvučniku, kako bi se ispitale performanse sistema. Za svaki od slučajeva je bilo potrebno koristiti različite redove adaptivnog filtra. Za složenije signale bilo je neophodno povećati red filtra, kako bi dobili što bolje potiskivanje zvuka sa referentnog zvučnika. Takođe, pored menjanja redova filtra neophodno je bilo podešavati i statički korak adaptacije μ . Pritom se mora obratiti pažnja da vrednost μ ne bude prevelika jer bi se preskočilo optimalno rešenje i filter bi prooscilovao.

Prvi najjednostavniji primer na kome je isproban sistem je bila sinusoida koja je potisnuta u potpunosti, što se može videti sa slike 4. Na slici 4 je prikazan vremenski oblik originalnog signala na ulazu u mikrofonsku grešku kada ne bi bilo ANC sistema i signal greške e , gde jasno uviđamo da postaje nula. Za ovaj primer bio je dovoljan da vrednost reda adaptivnog filtra bude $H=50$, a korak adaptacije $\mu=0.001$.

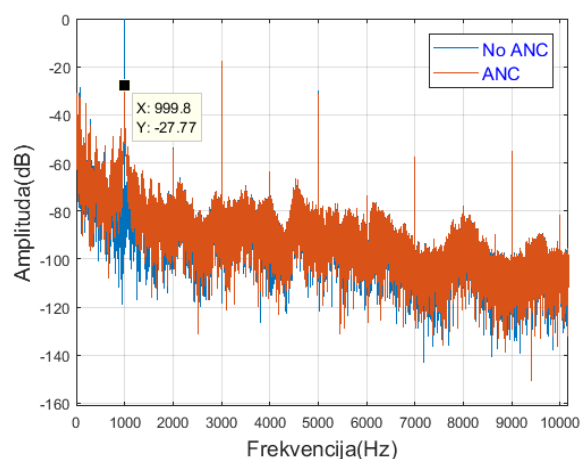


Sl. 4. Vremenski oblik originalnog i signala greške za sinusnu pobudu

Sledeći slučaj na kom je testiran sistem je „klipovana“ sinusoida. Ovaj signal je dobijen direktnom reprodukcijom signala na referentni zvučnik u cevi i njegovim snimanjem na primarnom i sekundarnom mikrofonskom. Samim tim nije bilo potrebe propuštati ulazni signal kroz impulsni odziv P , jer je korišćen snimljeni primarni signal na mikrofonskoj greški. Ovaj signal je složeniji i nije se mogao potpuno potisnuti kao u prvom slučaju, ali se vidi na slici 5. da je dosta oslabljen. Koeficijenti teže konvergiraju jer je sam signal složeniji. Korišćen je red filtra $H=100$, a $\mu=0,0005$.

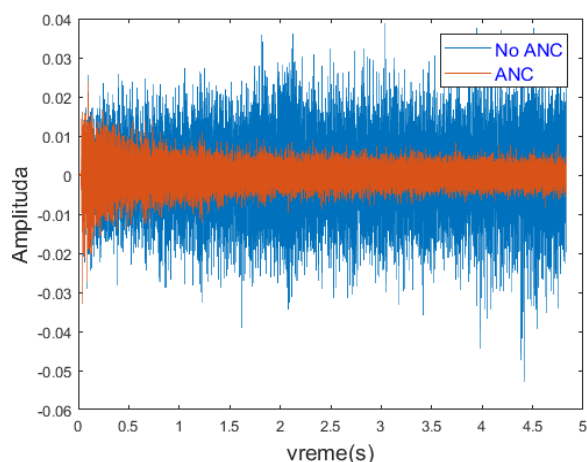


Sl. 5. Vremenski oblik originalnog i signala greške pobudni signal klipovane sinusoida



Sl. 6. Spektar originalnog signala i signala greške za šum oblika klipovane sinusoida

Kao što se vidi na slici 6. na kojoj su prikazani spektri originalnog i potisnutog signala najviše je potisnut osnovni harmonik i to za 27 dB. Pored potiskivanja prvog harmonika uočava se da na ostale harmonike algoritam nije imao uticaj i ne potiskuje ih. Najvažnije je upravo potiskivanje na osnovnoj frekvenciji što je upravo postignuto.



Sl. 7. Vremenski oblik originalnog signala i signala greške za šum ventilatoa

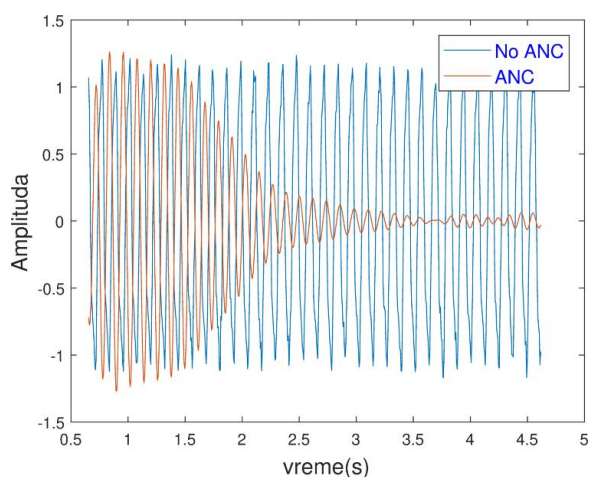
Najsloženiji širokopojasni signal koji je testiran je snimak ventilatora. Zbog same složenosti ovog signala potiskivanje je bilo najlošije, ali ipak postoji što se vidi na slici 6. Kada se

poređi signal bez ovog algoritma kada samo prođe kroz cev i signala greške kada se koristi algoritam, jasno se primećuje razlika da je signal oslabljen i to za 13 dB kada se koristi ANC. Zbog same složenosti signala algoritam mora biti kompleksniji kako bi koeficijenti konvergirali. Samim tim bilo je potrebno da red adaptivnog filtera bude veći i iznosi $H=700$, korak adaptacije μ iznosi 0.002. Takođe, modelovana sekundarna putanja se adaptirala u odnosu na Gausov šum i red adaptivnog filtera za prepoznavanje nepoznatog sistema morao biti 600 da bi se dobro modelovala sekundarna putanja.

B. Hardverska implementacija na Beli platformi

Implementacije na hardveru su dosta zahtevnije od softverskih simulacije jer se mora voditi računa o nizu problema. Jedan od problema je na primer određeno vreme izvršavanja čitave obrade signala na jednom odbirku. Ovaj problem uvodi ograničenja odmah na početku i zahteva da redovi filtera (modelovanih i adaptivnog) budu što manji da bi obrada signala stigla da se izvrši za određeno vreme. Maksimalno dozvoljeno vreme obrade je $1/f_s$, gde je f_s frekvencija odabiranja. To dovodi do nemogućnosti korišćenja složenijih i bržih adaptivnih algoritama od LMS-a, jer će biti povećan broj računskih operacija i samim tim duža obrada. Drugi problemi na koje se mora paziti su modelovanje adekvatnog kašnjenja, tako da izlaz sekundarnog zvučnika reprodukuje odbirak u trenutku kada isti taj odbirak stiže od primarnog zvučnika da bi oba signala superponirala i poništila. Ovo je rešeno tako što je izmereno rastojanje između referentnog mikrofona i sekundarnog zvučnika, koje iznosi $L=0.87$ m. Pa je kašnjenje izračunato i iznosi $t=2.55$ ms. Nakon toga treba oduzeti kašnjenje koje je potrebno za propagaciju signala sa ulaza na izlaz (kašnjenje hardvera) Ovo vreme iznosi $t_{Bela}=0.93$ ms. Na kraju kako bi se dobio broj odbiraka, vreme t_{Bela} je pomnoženo sa frekvencijom odabiranja:

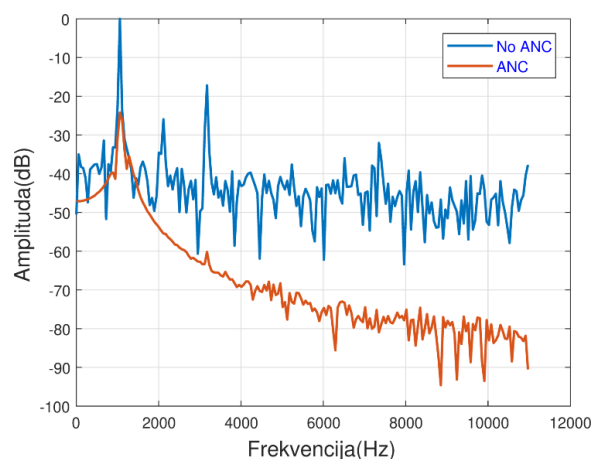
$$samples = (t - t_{Bela}) \times f_s = 35. \quad (15)$$



Sl. 8. Vremenski oblik originalnog signala i signala greške za sinusoidalnu pobudu za implementaciju na hardveru

Prvi signal koji je korišćen za testiranje sistema, korišćenjem generatora kao izvora, je sinusoida frekvencije 900 Hz. Na slici 8 prikazan je vremenski oblik sinusoide na

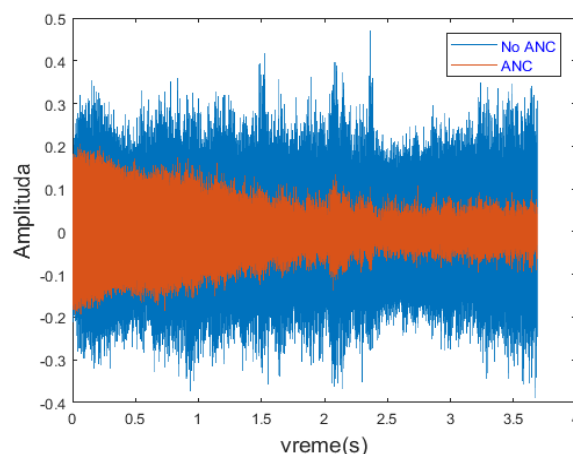
ulazu u zvučnik i signala greške koji se prikuplja na mikrofona greške. Jasno se primećuje da je sinusoida potisnuta u velikoj meri nakon 3.5 s.



Sl. 9. Spekatar originalnog signala i signala greške za sinusoidalnu pobudu za implementaciju na hardveru

Ako se poređi signal greške koji se dobija u softverskoj realizaciji (slika 4) i signal dobijen u hardverskoj realizaciji jasno se uviđa da hardversko rešenje ne potiskuje sinusoidalni signal u potpunosti. Na slici 9 prikazani su spektri originalnog signala i signala greške. Zaključuje se da je algoritam uspeo da potisne sinusoidu i oslabi je za 24 dB u odnosu na signal smetnje. Red adaptivnog filtera korišćen za ovaj test primer iznosio je $H=100$, a koeficijent adaptacije $\mu=0.00002$.

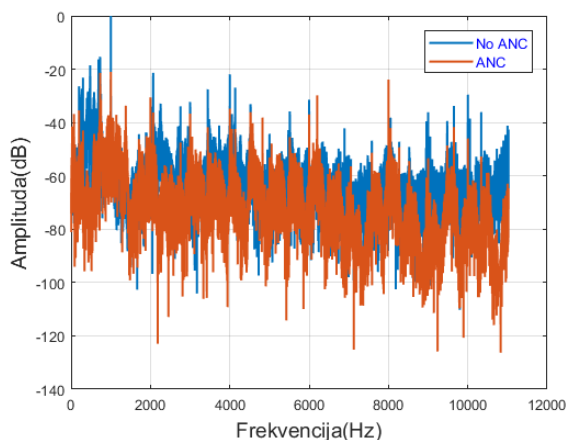
Drugi primer koji je testiran je signal klipovane sinusoide reprodukovane na referentnom zvučniku. Klipovana sinusoida je kompleksniji signal i teže je potisnuti ga. Na slici 10 su prikazani signali skupljeni na referentnom mikrofona i na mikrofona greške, gde jasno uviđamo da je uspešno potisnuta primarna buka. Red adaptivnog filtera neophodan da bi algoritam dobro radio je $H=100$, a korak adaptacije $\mu=0.00008$. Ovaj primer je uspešno potisnut i oslabljen za 20 dB, kao što se može videti na slici 11.



Sl. 10. Vremenski oblik originalnog signala i signala greške za klipovanu sinusoidalnu pobudu za implementaciju na hardveru

Algoritam na hardveru je testiran i za šum ventilatora, što je njegova suštinska primena, ali rezultat nije pozitivan. Šum ventilatora je mnogo složeniji signal od ova dva prethodno

opisana, samim tim neophodno je da red filtra bude mnogo veći. Povećavanjem reda filtra povećava se i potrebno vreme za izvršavanje čitavog procesa i prevazići će se maksimalno vreme koje je moguće na hardveru. Cilj narednih istraživanja i obrađivanja ovog sistema će upravo biti optimizovanje algoritma tako da uspešno potiskuje šum ventilatora.



Sl. 11. Spektar originalnog signala i signala greške za sinusoidalnu pobudu za implementaciju na hardveru

IV. ZAKLJUČAK

U ovom radu prikazana je implementacija ANC algoritma kroz softversku simulaciju i hardversku realizaciju. Softversko rešenje je jednostavnije implementirati jer predstavlja simulaciju realnog problema iz kojeg se izostavlja veliki broj spoljašnjih faktora koji otežavaju realizaciju sistema na hardveru. Implementacijom algoritma u softveru se dobijaju približno najbolja moguća rešenja kojima će se težiti u realnim sistemima. Jedna od najvećih razlika između ova dva načina testiranja algoritma je što implementacija na hardveru korišćenjem pravog modela mora biti u realnom vremenu. Postoji ograničeno vreme za koje algoritam mora biti izvršen, samim tim neophodno je smanjivati redove filtera modelovanih impulsnih odziva, kao i red adaptivnog filtra čime se gubi na performansama samog algoritma. Dodatne komplikacije koje se javljaju kad se implementira sistem na pravom modelu je kompenzacija kašnjenja koja potiče od samog procesiranja na platformi Bela, kao i pojava akustičke povratne sprege na koju se mora obratiti posebna pažnja. Takođe Bela hardver ima određena ograničenja, kao što su frekvencija odabiranja, kašnjenje koje se javlja prilikom obrade podataka, kao i maksimalno vreme za koje se mora izvršiti algoritam. Iz svih navedenih razloga zaključuje se da će finalna rešenja na realnom sistemu biti lošija, što se i vidi iz prikazanih rezultata. Kroz softversku implementaciju test signal sinusoide je oslabljen za 36 dB dok na realnom modelu pri reprodukciji signala sinusoide maksimalno slabljenje iznosi 24 dB. Može se videti da postoji razlika ali suštinski u oba slučaja sinusoidalna buka je potisnuta. Takođe za primer u kome je primarni signal klipovana sinusoida se vidi razlika u potiskivanju od 20 dB pri primeni na hardveru.

Buduća nadogradnja ovog rada će se kretati u smeru pronalazanja rešenja za potiskivanje realnog šuma ventilatora na realnom modelu u cevi. Rešenje tog problema

predstavljalo bi primenu ANC sistema u svakodnevnom životu. Mogućnosti korišćenja ovakvih sistema bile bi u određenim prostorima gde je od velikog značaja potiskivanje spoljašnje buke na niskim frekvencijama, koja potiče od ventilatora, klima uređaja, ventilacionih sistema itd.

ZAHVALNICA

Autori žele da se zahvale profesorki Jeleni Čertić na korisnim savetima prilikom implementacije algoritama. Ovaj rad je realizovan u okviru projekta TR36026 koji finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

LITERATURA

- [1] S. Sadeghi, J. Poshtan, M. Kahaci, "The simulation and implementation of an active noise control system in a laboratory duct", European control conference, Cambridge, UK, pp. 1252-1256, 1-4. September, 2003.
- [2] Stephen J. Elliott, "Signal Processing for Active Control", Academic Press, 2001.
- [3] S. M. Kuo, D. R. Morgan, "Active noise control: a tutorial review", Proceedings of the IEEE, vol. 87, no. 6, pp. 943-973, 1999.
- [4] B. Widrow, S. D. Stearns, "Adaptive Signal Processing", Prentice Hall, New Jersey, 1985.
- [5] M. T. Akhtar, W. Mitsuhashi, "Improving Performance of FxLMS Algorithm for Active Noise Control of Impulsive Noise", Jr. Sound Vib., vol. 327, No. 3-5, pp 647-656, Nov. 2009.
- [6] M. T. Akhtar, W. Mitsuhashi, "A modified normalized FxLMS algorithm for active control of impulse noise", 18th European Signal Processing Conference, Aalborg, Denmark, August 23-27, 2010.
- [7] H. Lan, M. Zhang, W. Ser, "A weight-constrained FxLMS algorithm for feedforward Active noise control systems", IEEE signal processing letters, vol. 9, No. 1, January, 2002.
- [8] Simon Haykin, "Adaptive filter theory", 4th ed. Upper Saddle River, New Jersey, 2002.
- [9] Sen M. Kuo, Dennis R. Morgan, "Active Noise Control Systems- Algorithms and DSP Implementations", John Wiley, 1996.
- [10] Sakshi Gaur, V. K. Gupta, "A review on Filtered-x LMS algorithm", International Journal of Signal Processing Systems vol. 4, No. 2, April 2016.
- [11] I. T. Ardekani and W. Abdulla, "Study of convergence behaviour of real time adaptive active noise control systems," in Proceedings of 2010 Asia Pacific Signal and Information Processing Association Annual (APSIPA) Summit and Conference, Biopolis, Singapore, 14-17 December 2010, Pages 534-537.

ABSTRACT

ANC (Acoustic Noise Control) systems are necessary in the premises where the elimination of unwanted sounds is required. In this paper, we have done simulation of ANC system in the duct and implementation on hardware. FxLMS (Filtered x Least Mean Square) and NFxLMS (Normalized Filtered x Least Mean Square) adaptive algorithms were tested, they were compared by robustness, necessary order of adaptive filter and convergence rate. In the simulation were used: sinusoid, clipped sinusoid and fan noise. Depending on the complexity of the test signal the parameters of the adaptive filter have changed. The results show that it is possible to suppress acoustic noise to a certain limit depending on the complexity of the signal.

Acoustic noise control in a duct

Marija Ratković, Nebojsa Kolarić, Milos Bjelić