

**Эрчим Хүчний Сургуулийн доктор, магистр, бакалавр
оюутны эрдэм шинжилгээний бага хурал**

2019 оны 03 сарын 15-16-ны өдрүүдэд

Улаанбаатар хот

Зохион байгуулагч

Шинжлэх Ухаан Технологийн Их Сургууль

Эрчим Хүчний Сургууль

“Диспетчерийн үндэсний төв” ХХК

Зохион байгуулах комисс

ЭХС-ийн захирал, доктор (Ph.D), дэд проф Ч. Мангалжалав

“Диспетчерийн үндэсний төв” ХХК-ийн гүйцэтгэх захирал Г.Балжинням

ЭХС-ийн эрдэмтэн нарийн бичгийн дарга доктор (Ph.D) Г.Бэхбат

Бага хурлын нарийн бичгийн дарга, Доктор (Ph.D) Д.Даваацэрэн

Доктор (Ph.D), дэд профессор Б.Пүрэвсүрэн

Доктор (Ph.D), дэд профессор Д.Хишигсайхан

Доктор (Ph.D), дэд профессор С.Эрдэнэтуяа

Доктор (Ph.D), дэд профессор Ч.Улам-Оргил

Доктор (Ph.D) З.Баттогтох

Доктор (Ph.D) П.Бямбацогт

Доктор (Ph.D) Бя.Бат-Эрдэнэ

Доктор (Ph.D) Д.Үлэмж

ЭХС-ийн Оюутны зөвлөл

Өгүүлэл бичих хэл

Өгүүллийг Монгол, Англи, Орос хэл дээр бичсэн байж болно.

Оролцогчдод зориулсан мэдээлэл

ЭШХ-ын салбар чиглэл, секцийн талаарх мэдээллийг хавсралт 1-д үзүүлэв.

Магистр болон доктор оюутнууд эрдэм шинжилгээний хуралд оролцохын тулд зохион байгуулах комисст оролцох хүсэлт (pdf өргөтгөлтэйгөөр) болон илтгэлийг (.doc өргөтгөлтэйгөөр) ирүүлнэ. Оролцох хүсэлтийн маягтыг хавсралт 2-т үзүүлэв. Хүсэлтэд удирдагчийн гарын үсэг зурагдаагүй бол материалыг хүлээн авахгүй болохыг анхаарна уу.

Материалыг research.pes@must.edu.mn хаягаар болон биеэрээ зохион байгуулах комисс (ШУТИС-ЭХС-ийн 630 тоот)-т хүргүүлнэ.

Эрдэм шинжилгээний хуралд ирүүлэх илтгэл, өгүүлэлд эрдэм шинжилгээний судалгаа, практик туршилтын үр дүнг тусгасан байна. Үүнд:

- Тухайн ажлын онцлог
- Судалгааны ажлын шинэлэг тал
- Зохиогчийн оруулсан хувь нэмэр
- Судалгааны ажлын үр дүн, үзүүлэлтүүд болон түүнийг ирээдүйд ашиглах боломжтой эсэхийг тусгасан байх шаардлагатай.

Зохион байгуулах комисс нь хавсралт 1-д заасан эрдэм шинжилгээний чиглэл, секцэд тохироогүй, шинжлэх ухааны үр дүнг тусгаагүй өгүүлэл, илтгэлийг хуралд оролцуулахгүй. Шаардлага хангасан өгүүллүүдийг эмхэтгэн хэвлүүлж, хурлын үеэр оролцогчдод тараана.

Өгүүлэл, илтгэлд тавигдах ерөнхий шаардлага:

1. Өгүүллийг электрон байдлаар **2019 оны 03 сарын 01-нийг** хүртэл хугацаанд research.pes@must.edu.mn хаягаар ирүүлэх бөгөөд хуралд оролцох хүсэлтийг (pdf өргөтгөлтэй файл) хэлбэрээр удирдагчаар гарын үсэг зуруулан комисст ирүүлнэ. Оролцогчийн электрон байдлаар илгээсэн материалыг хүлээн авсан тухай хариу мэдэгдэнэ. Хэрэв хариу мэдэгдэхгүй бол зохион байгуулах комисстой холбоо барина уу. **Хугацаа хоцорсон материалыг комисс хүлээн авахгүй.**
2. Өгүүллийн файлыг <зохиогчийн **NER_Ovog**, Удирдагчийн **NER_Ovog.doc**> нэр бүхий байдлаар ирүүлнэ. Жишээ нь: **PUREVDORJ Bold**, **ДАВААЦЭРЭН Дорж.doc**. Мөн хүсэлтийн хуудсанд шинжлэх ухааны чиглэл, зохиогчийн талаарх мэдээллийг тодорхой тусгана.
3. Өгүүллийн бичлэгийн зааврыг хавсралт 4-ийн жишээ өгүүллээс харна уу.
4. Өгүүллийн текстийг “Unicode” ашиглалгүйгээр Times New Roman фонт (.mon өргөтгөлтэй фонт ашиглахгүйгээр) ашиглан, жишээ өгүүллийн дагуу бичиж ирүүлнэ. **Жич: Жишээ өгүүллийн**

дагуу бичиж ирүүлээгүй тохиолдолд өгүүллийн эмхэтгэлд хэвлэгдэхгүй болохыг анхаарна уу.

5. Өгүүллийг А4-ийн хэмжээтэй цаасан дээр бичих ба Бакалаврын оюутнууд 3 (6 нүүр) хуудас хүртэл, Магистр оюутнууд 4 (8 нүүр) хуудас хүртэл, доктор оюутнууд 5 (10 нүүр) хуудас хүртэл хуудсанд тус тус багтаан бичнэ.

Илтгэлийн хяналт ба хэвлэлийн хураамж

Хурал зохион байгуулах комисс ирүүлсэн өгүүлүүдтэй танилцах ба хурлын эмхэтгэлд хэвлэгдэх шаардлагын дагуу хянан үзэх бөгөөд зохиогчоос редакцийн болон хэвлэлийн зардлыг бакалавр, магистр, доктор оюутнуудаас дор дурдсан хэмжээгээр нэхэмжлэн авна.

Эрчим Хүчний Сургуулийн доктор, магистр, бакалавр оюутнуудын
“УХААЛАГ ЭРЧИМ ХҮЧ-ОЮУТНЫ ОРОЛЦОО” сэдэвт оюутны эрдэм шинжилгээний
бага хурлын төлбөр

№	Суралцагчийн хэлбэр	Өгүүлэл хэвлүүлэх төлбөр, төг /нэг өгүүлэлд/
1	Бакалавр оюутан	Хураамжгүй
2	Магистр оюутан	20 000
3	Доктор оюутан	40 000

Хураамжийг 2019 оны 03 сарын 01-ны дотор ЭХС-ийн санхүүгийн, Голомт банкин дахь **811-510-1743** тоот дансанд тушааж баримтыг зохион байгуулах комисс (ШУТИС-ЭХС, 2-630 тоот)-т ирүүлнэ.

Жишээ нь: **Төлбөрийн зориулалт: Өгүүлэл хэвлүүлэх төлбөр.**

Хэнээс: Зохиогчийн НЭР, Овог, оюутны код

Жич: ЭХС-д ажиллаж байгаа оролцогчдын өөрийн бичсэн өгүүллийг хураамжаас чөлөөлнө.

Хурлыг зохион байгуулах хөтөлбөрийг 2019 оны 03 сарын 10-ний дотор гаргаж нийтэд мэдээллэнэ.

Доктор, Магистр, бакалаврын оюутны
эрдэм шинжилгээний хурлын чиглэл, салбарын нэрс

№	Салбар хурлын нэр
1	Цахилгааны салбар: Тус салбарын бүх чиглэлүүд
2	Дулааны салбар: Тус салбарын бүх чиглэлүүд

Жич: Ирсэн илтгэлүүдийн оролцох чиглэл секцийг зохион байгуулах комисс өөрчлөх эрхтэй.

**Доктор, Магистр, бакалаврын оюутны эрдэм
шинжилгээний хуралд оролцох хүсэлт:**

№		
1	Зохиогчийн нэр, овог, оюутны код	
2	Хамтран зохиогчийн нэр, овог, оюутны код	
3	Эрдэм шинжилгээний удирдагчийн нэр, овог	
4	Эрдэм шинжилгээний удирдагчийн эрдмийн цол, зэрэг	
5	Илтгэлийн бүтэн нэр /монгол, англи хэлээр бичнэ/	
6	Эрдэм шинжилгээний салбарын нэр	
8	Холбоо барих утас, e-mail хаяг	
9	Удирдагч багшийн гарын үсэг	

Жич: Хавсралт 2-г электрон байдлаар дээрх хаягийн дагуу өгүүллийн хамт ирүүлж болно.

Шалгаруулах байр, шагналын сан:

А. Бакалавр оюутан тус бүр		
• 1-р байр	2 өгүүлэл	130 000 төг x 2 = 260 000
• 2-р байр	2 өгүүлэл	100 000 төг x 2 = 200 000
• 3-р байр	2 өгүүлэл	80 000 төг x 2 = 160 000
• Тусгай байр	2 өгүүлэл	50 000 төг x 2 = 100 000
Б. Магистр оюутан тус бүр		
• 1-р байр	2 өгүүлэл	140 000 төг x 2 = 280 000
• 2-р байр	2 өгүүлэл	120 000 төг x 2 = 240 000
• 3-р байр	2 өгүүлэл	100 000 төг x 2 = 200 000
• Тусгай байр	2 өгүүлэл	80 000 төг x 2 = 160 000
В. Доктор оюутан тус бүр		
• 1-р байр	1 өгүүлэл	150 000 төг x 1 = 150 000
• 2-р байр	1 өгүүлэл	120 000 төг x 1 = 120 000
• 3-р байр	1 өгүүлэл	100 000 төг x 1 = 100 000
Г. Оюутны бүтээлийн уралдаан		
• 1-р байр	1 бүтээл	130 000 төг x 1 = 130 000
• 2-р байр	1 бүтээл	100 000 төг x 1 = 100 000
• 3-р байр	1 бүтээл	80 000 төг x 1 = 80 000
• Тусгай байр	1 бүтээл	50 000 төг x 1 = 50 000

Жич: Дулааны болон цахилгааны салбарын доктор оюутнуудын хурал хамтарч хийгдэх ба бакалавр, магистр оюутнуудын хурал тус, тусын салбарт зохион байгуулагдана. **Мөн хуралд оролцогчид төлбөр төлсөн баримтаа хурал зохион байгуулах комисст ирүүлээгүй тохиолдолд тухайн өгүүллийг эмхэтгэлд хэвлүүлэхгүй ба 5-аас доош бүтээл ирсэн тохиолдолд байр эзлүүлэхгүй болно.**

Хурал зохион байгуулах комиссын хаяг

Шинжлэх Ухаан Технологийн Их Сургууль, хичээлийн 2-р байр

Эрчим хүчний сургууль

Бага тойруу 34, Сүхбаатар дүүрэг, 8-р хороо, ШУТИС-ийн хичээлийн 2-р байр, 630 тоот

Утас: +976-11-323579, 325931

Факс: 976-11-323579

Е-майл: research.pes@must.edu.mn

STM32F4DISCOVERY BOARD АШИГЛАСАН ТООН ШҮҮЛТҮҮРИЙН ХЭРЭГЖҮҮЛЭЛТ

Б.Болдмаа*, Б.Бат-Эрдэнэ*

*Монгол Улсын Шинжлэх Ухаан Технологийн Их Сургууль, Эрчим Хүчний Сургууль

Хураангуй. Техник технологи хурдтай хөгжиж буй өнөө үед тоон сигналын боловсруулалт нь маш чухал салбаруудын нэг болж байгаа бөгөөд түүний хамгийн чухал нэг том бүлэг бол тоон шүүлтүүр юм. Тоон шүүлтүүр нь аналог шүүлтүүрийг бодоход хямд төсөр үнэтэй, овор хэмжээ бага, найдваржилт өндөр, ажиллагааны хурд илүү зэрэг олон давуу талтай. Микропроцессорын реле хамгаалалтанд тоон шүүлтүүрийг маш өргөн хэрэглэдэг. Тоон шүүлтүүр нь релений найдвартай ажиллагаа, сонгох чадвар, хурдан ажиллагаа зэрэгт аналог болон тоон сигналын боловсруулалтыг хурдан шуурхай найдвартай гүйцэтгэхэд чухал үүрэгтэй байдаг. Иймд тоон шүүлтүүрийн хэрэгжүүлэлтийг хийх нь чухал юм.

Тоон шүүлтүүрийн олон төрлийн алгоритм байдаг. Жишээ нь: генетик алгоритм, tabu search, рекурсив шүүлтүүр, Калман шүүлтүүр гэх мэт. Эдгээр алгоритмуудыг судалж үзээд микроконтроллер дээр тоон шүүлтүүрийн хэрэгжүүлэлтийг хийсэн судалгаа хомс байгаа учраас микроконтроллер дээр тоон шүүлтүүрийн хэрэгжүүлэлтийг хийхийг зорьсон. Ингэхдээ эхлээд тоон шүүлтүүрийн симуляцийг MATLAB програм дээр хийж, харин шүүлтүүрийн хэрэгжүүлэлтийг STM32F407 микроконтроллер дээр хийж үр дүнгүүдийг харьцуулан харуулсан.

Түлхүүр үг: микроконтроллер, тоон шүүлтүүрийн хэрэгжүүлэлт, тоон шүүлтүүр, тоон сигналын боловсруулалт, ARM процессор.

I. ОРШИЛ

Сүүлийн хэдэн арван жилд тоон сигналын боловсруулалтын салбар нь онолын болон технологийн хувьд хурдацтай хөгжиж байгаа салбар юм. Тоон сигналын боловсруулалтанд системийн хоёр төрөл байдаг. Эхний төрлийн систем нь сигналыг хугацааны домэйнд шүүх ажиллагааг гүйцэтгэх ба үүнийг тоон шүүлтүүрүүд гэнэ. Системийн хоёр дахь төрөл бол давтамжийн домэйнд сигналыг илэрхийлэх ба түүнийг спектрийн анализ хийгч гэж нэрлэнэ [1].

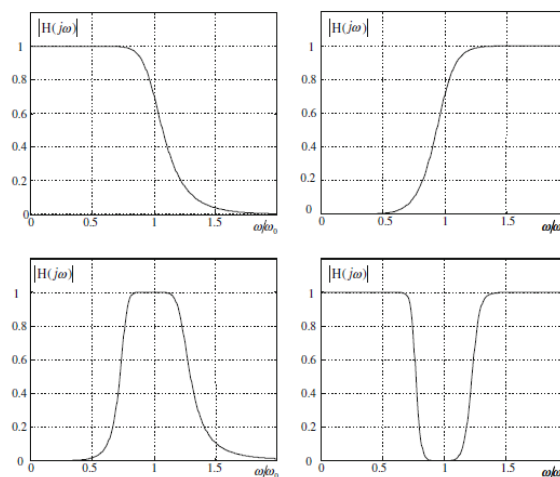
Тоон шүүлтүүрийг хэрэглэдэг маш олон салбарууд байдаг бөгөөд үүнээс дурьдвал сигналын боловсруулалт, сансрын хөлгийн үйлдвэрлэл, удирдлагын системүүд, хамгаалалтын төхөөрөмжүүд, теле мэдээлэл дамжуулалт, анагаахын аудио болон видео боловсруулалтын систем гэх мэт [2]. Тоон шүүлтүүрүүд нь тоон сигналын боловсруулалтын хамгийн хүчирхэг хэрэгслүүдийн нэг бөгөөд түүний тодорхойломжийг програмын аргаар хялбар өөрчлөх боломжтой. Тоон шүүлтүүрүүдийг системийн импульсын хариу үйлдэл

үзүүлэх хэлбэрээр нь FIR (finite impulse response) тоон шүүлтүүр болон IIR (infinite impulse response) тоон шүүлтүүр гэж ангилдаг. Аналог сигналтай адил төгсгөлгүй импульсын дамжууламжтай шүүлтүүрийг IIR шүүлтүүр, аналог бус тасалдалтай сигналын импульсын дамжууламжтай шүүлтүүрийг FIR шүүлтүүр гэж нэрлэдэг. IIR шүүлтүүрийг өөрөөр рекурсив шүүлтүүр ч гэж нэрлэх нь бий. Тоон шүүлтүүрийн аналог шүүлтүүрээс ялгагдах давуу тал бол овор хэмжээ багатай, нарийвчлал болон найдваржилт өндөр байдаг [1].

Шүүлтүүрийн оновчлол нь шинэ зүйл биш бөгөөд шүүлтүүрийн оновчлолыг хийсэн хэд хэдэн алгоритмууд байдаг. Генетик алгоритм (Genetic algorithm) [1], Tabu search [3], хиймэл зөгийн колони оновчлол (Artificial Bee Colony optimization) [4], дифференциал эволюци (Differential evolution) [5] жижиг бүлгүүдийн оновчлол (Particle Swarm Optimization) [2] гэсэн аргууд нь тоон шүүлтүүрийн оновчлолын загварыг хэрэгжүүлдэг. Эдгээрээс харахад STM32F4 микроконтроллер дээр тоон шүүлтүүрийн хэрэгжүүлэлтийг хийж байгаагүй учир энэ микроконтроллер дээр шүүлтүүрийн хэрэгжүүлэлтийг хийж гүйцэтгэхээр сонгосон. Бид энд тоон шүүлтүүрийг хийхдээ FIR нам давтамжийн шүүлтүүрийн (Low pass filter) симуляци болон хэрэгжүүлэлтийг хийхээр сонгосон. Өөрөөр хэлбэл өөрийн тулгуур давтамжаас бага давтамжийг нэвтрүүлдэг шүүлтүүрийг нам давтамжийн шүүлтүүр гэдэг. Симуляцийг MATLAB, хэрэгжүүлэлтийг KEIL програм хангамжийг ашиглан хийж үр дүнг харуулах болно.

II. Тоон шүүлтүүр

Тоон шүүлтүүр гэдэг нь шуугиан гэгддэг сигналын бүрэлдэхүүнийг нэвтрүүлэхээс урьдчилан сэргийлдэг функц юм.



Зураг 1. Тоон шүүлтүүрийн хэлбэрүүд (Low pass, High pass, Band pass, Band rejection)

Аналог сигналыг шүүж байгаа байдлаар нь тоон шүүлтүүрийг нам давтамжийн (low pass), өндөр давтамжийн (high pass), зурвасыг нэвтрүүлэх (band pass), зурвасыг хаах (band rejection) гэж ангилж болно [7-12]. Шүүлтүүрийн эдгээр дамжууламжуудын хэлбэрүүдийг зураг 1-д үзүүлэв.

Нам давтамжийн шүүлтүүр (low pass) гэдэг нь нам давтамжийн сигналыг, өндөр давтамжийн шүүлтүүр (high pass) нь өндөр давтамжийн сигналыг нэвтрүүлнэ. Харин зурвасыг нэвтрүүлэх шүүлтүүр (band pass) нь тодорхой давтамжаас эхлээд тодорхой давтамжийн хүрээ хүртэлх (давтамжийн өгөгдсөн хүрээнд) давтамжтай сигналыг нэвтрүүлнэ. Зурвасыг хаах шүүлтүүр (band rejection) нь зурвасыг нэвтрүүлэх шүүлтүүрийн эсрэг үйлдлийг үзүүлэх буюу тодорхой давтамжийн хүрээнд хаалт хийж, түүнээс бусад давтамжтай сигналыг нэвтрүүлнэ. Бүх аналог шүүлтүүр нь онолын дагуу IIR (infinite impulse response)-тай юм. Тоон шүүлтүүрийг дараах байдлаар мөн ангилж болно [6]:

- Аналог сигналтай адил төгсгөлгүй импульсын дамжууламжтай шүүлтүүрийг товчоор IIR (infinite impulse response) шүүлтүүр гэж нэрлэнэ. (рекурсив шүүлтүүр гэдэг оролтын сигналыг дахин ашиглаж нэг болон түүнээс дээш тооны гаралт болгон гаргадаг шүүлтүүрийг хэлнэ. Түүний гол жишээ бол Калман шүүлтүүр юм.)

- Аналог сигналын техникт байдаггүй төгсгөлөг импульсийн дамжууламжтай шүүлтүүрийг товчоор FIR (finite impulse response) шүүлтүүр гэж нэрлэнэ.

III. Тоон шүүлтүүрийн алгоритм

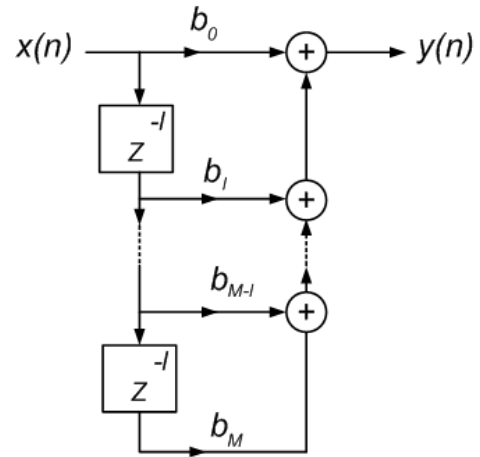
A. FIR шүүлтүүрийн бүтэц

FIR шүүлтүүрийн дифференциал тэгшитгэл болон дамжуулалтын функцийг M^{th} FIR шүүлтүүр эсвэл $M+1$ Tap FIR шүүлтүүр гэж нэрлэдэг.

$$y(n) = \sum_{l=0}^M b_l x(n-l) = b_0 x(n) + b_1 x(n-1) + \dots + b_M x(n-M) \quad (1)$$

$$H(z) = b_0 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2} + \dots + b_M z^{-M} \quad (2)$$

FIR шүүлтүүрийн шууд хэлбэрийг дифференциал тэгшитгэлээс гаргаж авдаг. Шууд хэлбэрийн блок диаграммыг доор үзүүлэв.



Зураг 2. FIR шүүлтүүрийн шууд хэлбэрийн бүтэц

IIR шүүлтүүрийн дифференциал тэгшитгэл болон дамжуулалтын функц нь олон гишүүнтээр илэрхийлэгддэг бөгөөд хүртгэр, хуваарийг доор үзүүлэв.

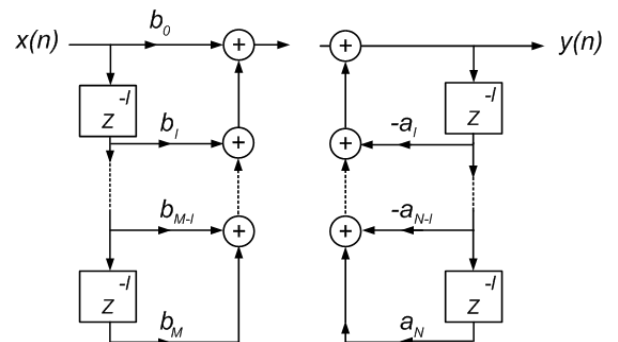
$$\sum_{k=0}^N a_k y(n-k) = \sum_{l=0}^M b_l x(n-l) \quad (3)$$

$$H(z) = \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2} + \dots + b_M z^{-M}}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} + \dots + a_N z^{-N}} \quad (4)$$

Дээрх IIR шүүлтүүрийн тэгшитгэлийг харвал M^{th} болон N^{th} олон гишүүнт хуваарь болон хүртгэрийг агуулсан байна. Шууд хэлбэрийг дифференциал тэгшитгэлээс шууд гаргаж авна. Хэрвээ дифференциал тэгшитгэлийг $g(n)$ тэгшитгэл рүү хөрвүүлбэл дараах тэгшитгэл үүснэ.

$$y(n) = b_0 x(n) + b_1 x(n-1) + b_2 x(n-2) + \dots + b_M x(n-M) - a_1 y(n-1) - a_2 y(n-2) - \dots - a_N y(n-N) \quad (5)$$

Хэрвээ энэ тэгшитгэлийг үндсэн элементүүдийг ашиглан тохируулбал дараах бүтцийг харж болно ($n=m$ үед).



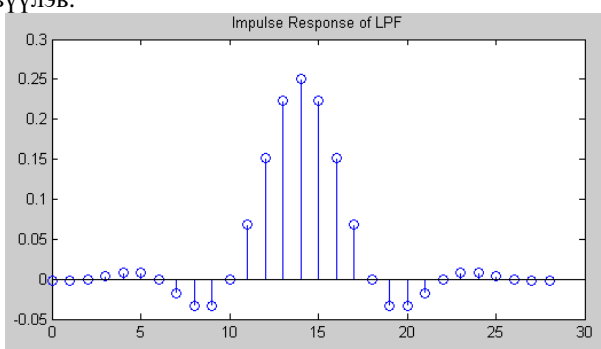
Зураг 3. IIR шүүлтүүрийн каскад бүтэц

IV. Симуляцийн үр дүнгүүд

Шүүлтүүрийн алгоритмын дагуу оролтын $x(n)$ сигналыг FIR нам давтамжийн шүүлтүүрээр оруулсаны дараа гаралтын $y(n)$ сигналыг гаргаж авна. Энэ сигнал нь оролтын сигналд байсан өндөр гармоникүүдийн нэгдлийг сигналаас хасч гаралтанд цэвэр сигнал гаргах юм.

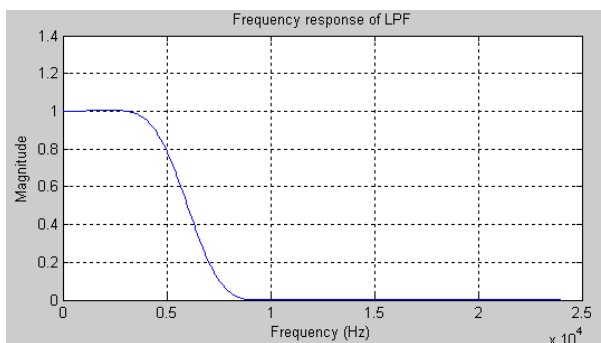
Симуляци хийхдээ энд жишээ болгон хоёр төрлийн сигналыг ашигласан. Оролтын сигнал нь 1 кГц болон 5 кГц-н давтамжийн хоёр синусоид долгионы нийлбэр болно. FIR нам давтамжийн шүүлтүүрийн нэвтрүүлэх давтамжийн (cutoff frequency) хэмжээ 6 кГц байна. Тэгвэл нам давтамжийн шүүлтүүр нь 15 кГц-г устгаж, 1 кГц-н сигналыг гаралтанд гаргана. Учир нь 15 кГц нэвтрүүлэх давтамжаас их, 1 кГц нь нэвтрүүлэх давтамжаас бага байгаа нь харагдаж байна. Өөрөөр хэлбэл нам давтамжийн шүүлтүүр нь өөрийн нэвтрүүлэх давтамжаас бага утгатай бүх сигналыг нэвтрүүлж, их утгатай сигналыг хааж ажилладаг шүүлтүүр юм.

MATLAB програм хангамж дээр хийж гүйцэтгэсэн симуляцийн үр дүнгүүдийг доор харуулав. Ингэхдээ оролтын сигнал 1 кГц болон 15 кГц-н синусоид сигналуудын нийлбэр байна. Нэвтрүүлэх давтамжийн тулгуур сигнал 6 кГц байна. Иймээс зөвхөн 1 кГц-н сигналыг нэвтрүүлж, 15 кГц-н давтамжтай сигналыг шүүж цааш нь нэвтрүүлэхгүй. Зураг 4-д FIR нам давтамжийн шүүлтүүрийн импульсийн дамжууламжийг үзүүлэв.



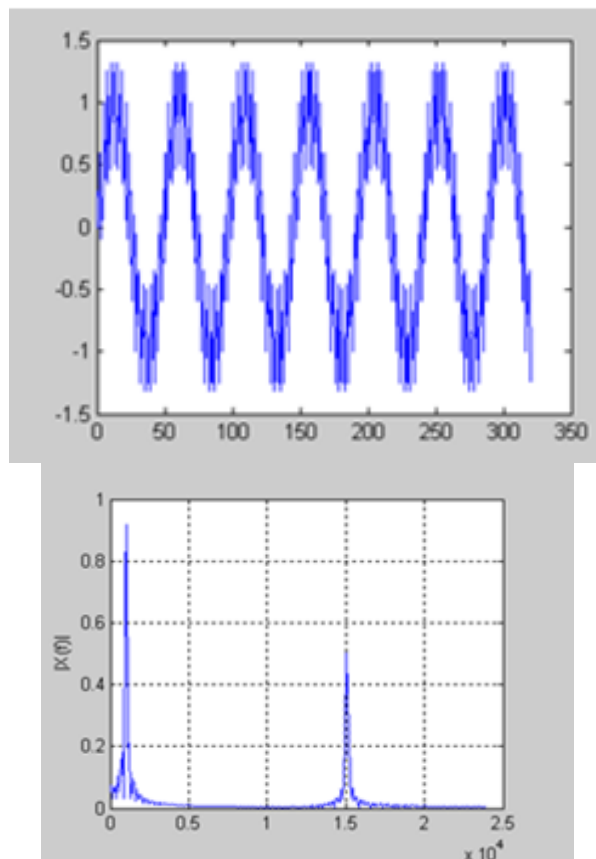
Зураг 4. FIR нам давтамжийн шүүлтүүрийн импульсын дамжууламж

Шүүлтүүрийн давтамжийн дамжууламжийг зураг 5-д үзүүлэв. Шүүлтүүрийн нэвтрүүлэх зурвасын өргөн 1.0 бөгөөд 0.5 үед ойролцоогоор 6 кГц-н нэвтрүүлэх давтамж харгалзаж байгаа нь зураг 5-с харагдаж байна.



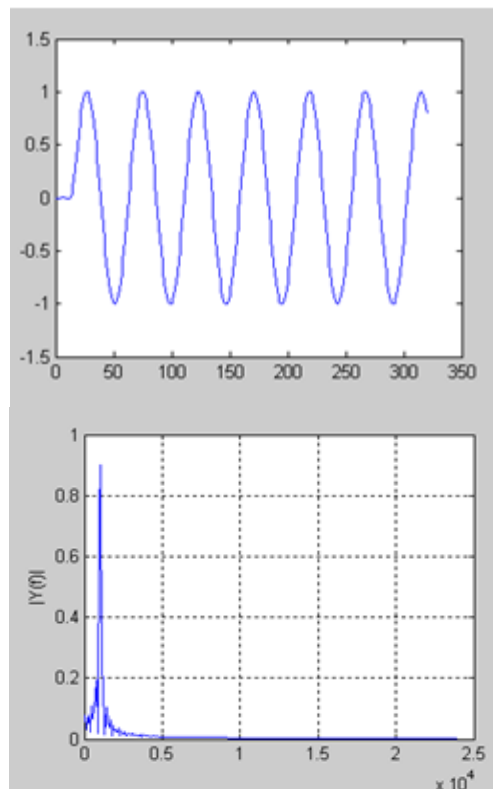
Зураг 5. FIR нам давтамжийн шүүлтүүрийн давтамжийн дамжууламж

Оролтын сигналыг зураг 6-д үзүүлэв. Дээд талд байрлах сигнал бол хугацааны домэйн, доод талд байрлаж буй сигнал бол давтамжийн домэйн байгаа сигналыг харуулсан болно. Хоёр синусоид долгионы бүрэлдэхүүнүүдийг харахад хялбар байна.



Зураг 6. Оролтын сигналыг хугацааны болон давтамжийн домэйн харуулсан байдал

Шүүлтүүрийн гаралтын сигналыг зураг 7-д үзүүлэв. Өөрөөр хэлбэл 15 кГц-н сигналыг шүүлтүүрээр хассан байгаа байдлаар харуулсан болно. Шүүлтүүрийн гаралтанд дан 1 кГц-н сигнал гарсан нь харагдаж байна.



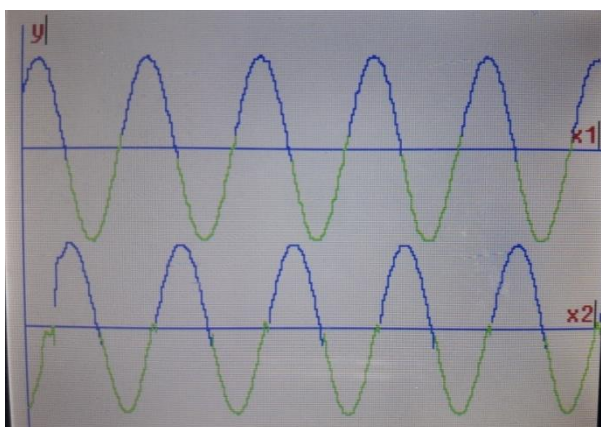
Зураг 7. Шүүлтүүрийн гаралтын сигнал

V. Тоон шүүлтүүрийг STM32F407 микроконтроллёр дээр хэрэгжүүлэх

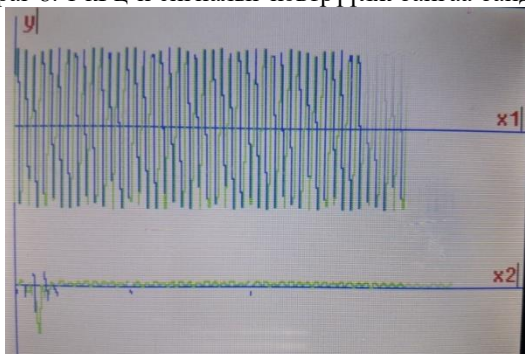
Энэ хэрэгжүүлэлтийг гүйцэтгэхийн тулд микроконтроллёрын хэд хэдэн функцүүдийг ашигласан. Үүнд: Аналог тоон хувиргуур, тоон аналог хувиргуур, шууд санах ой, LCD дэлгэцтэй ажилладаг функцүүд гэх мэт. Хэрэгжүүлэлтийг хийхдээ хоёр ширхэг микроконтроллёр ашигласан ба нэг микроконтроллёрыг синусоид сигнал үүсгэгчээр, нөгөө сигналыг шүүлтүүрийн алгоритмыг бичихэд ашигласан. Уг микроконтроллёрыг програмчлахдаа програмчлалын C хэлийг ашигласан болно.

Уг FIR нам давтамжийн шүүлтүүрийг хэрэгжүүлэхдээ 1-1,5 кГц-н сигналыг нэвтрүүлж, бусад сигналыг хааж байхаар шүүлтүүрийн коэффициентийг MATLAB програм ашиглан боловсруулж гаргасан. Энэ хэрэгжүүлэлтэнд оролтын сигнал болон гаралтын сигналуудыг бодит хугацааны эгшинд шууд харуулж байгаагаараа онцлог юм.

Үр дүнг 3,2 инчийн хэмжээтэй LCD дэлгэцэн дээр харуулсан. Ингэж харуулахдаа x1 тэнхлэгт оролтын синусоид сигналын утгыг, x2 тэнхлэгт шүүлтүүрийн гаралтын сигналын утгыг харуулж байхаар програмчилсан болно. Ингээд хэрэгжүүлэлтийн үр дүнгүүдийг зураг 8 болон 9-д үзүүлэв.



Зураг 8. 1 кГц-н сигналыг нэвтрүүлж байгаа байдал



Зураг 9. 15 кГц давтамжтай оролтын сигналтай үеийн шүүлтүүрийн ажиллагаа

ДҮГНЭЛТ

Микропроцессорын реле хамгаалалтын төхөөрөмжийн хэрэглээ өсөн нэмэгдэж байгаа өнөө үед тоон сигналыг боловсруулах хэрэглээ ч түүнийг дагаад өсөж байна. Реле хамгаалалтын төхөөрөмжийн найдвартай ажиллагаа, сонгох чадвар, хурдан ажиллагаа зэрэгт тоон сигналыг боловсруулахад ашиглаж буй тоон шүүлтүүрийн хурд, зарчим зэрэг нь чухал байсаар байна. Микроконтроллёр дээр тоон шүүлтүүрийг хэрэгжүүлснээр түүнийг практикт ялангуяа реле хамгаалалтын төхөөрөмжинд хэрэглэх боломжтой болох юм.

Энэхүү судалгааны ажилд FIR нам давтамжийн шүүлтүүрийг эхлээд MATLAB програм дээр загварчилж, дараа нь STM32F407 микроконтроллёр дээр хэрэгжүүлж эдгээрийн үр дүнг харуулсан. Уг үр дүнгээс харахад FIR нам давтамжийн шүүлтүүрийн алгоритм амжилттай хэрэгжсэн ба түүнийг уг микроконтроллёр дээр хэрэгжүүлэх боломжтой нь харагдаж байна. Цаашлаад бусад төрлийн тоон шүүлтүүрүүдийг ч уг микроконтроллёр дээр боловсруулах боломжтой юм.

Ашигласан ном, хэвлэл

1. Ranjit Singh and Sandeep K. Arya. Genetic Algorithm for the Design of Optimal IIR Digital Filters. *Journal of Signal and Information Processing*, 2012. 3, 286-292.
2. Neha and Ajay Pal Singh. Design of Linear Phase Low Pass FIR Filter using Particle Swarm Optimization Algorithm. *International Journal of Computer Applications (0975 – 8887) Volume 98– No.3, July 2014*.
3. D. Karaboga, D.H. Horrocks, N. Karaboga and A. Kalinli. *Designing digital FIR filters using Tabu search algorithm*. IEEE International Symposium on Circuits and Systems, vol.4, pp.2236-2239, 1997.
4. N. Karaboga. *A new design method based on artificial bee colony algorithm for digital IIR filters*. Journal of the Franklin Institute, vol. 4, pp.328–348, 2009.
5. N. Karaboga and B. Cetinkaya, *Design of Digital FIR Filters Using Differential Evolution Algorithm*. Circuits System Signal Processing, vol. 25, pp. 649-660D, 2006.
6. Waldemar Rebizant, Janusz Szafran, Andrzej Wiszniewski. *Digital signal processing in power system protection and control*. pp. 53-95. 2011.
7. Jackson LB. *Digital filters and signal processing*. Kluwer Academic Publishers, Boston. 1996.
8. Lam HY-F. *Analog and digital filters, design and realization*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs. 1979.
9. Oppenheim AV, Schafer RW. *Digital signal processing*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs. 1975.
10. Rabiner LR, Gold B. *Theory and application of digital signal processing*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs. 1975.
11. Szafran J, Wiszniewski A. *Measurement and decision algorithms of digital protection and control*. WNT, Warszawa. 2001.
12. Vegte de JV. *Fundamentals of digital signal processing*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs. 2002.