

NI-MH зай хураагуурын багтаамж болон дотоод эсэргүүцэл тодорхойлох LabVIEW системийн хөгжүүлэлт

Г.Дашням^{1*}, Г.Анар¹, М.Отгонбаатар¹, Т.Бэгзсүрэн¹, Т.Төртогтох¹², Б.Бат-Отгон³, Д.Эрдэнэбаатар¹²

¹ Монгол Улсын Их Сургууль, Шинжлэх Ухааны Сургууль, Физикийн тэнхим, Нано хиймэл дагуул хөгжүүлэлтийн лаборатори Улаанбаатар 14210, Монгол улс

² Шинжлэх Ухааны Академийн Одон Орон Геофизикийн Хүрээлэн, Сансар Судалалын төв, Улаанбаатар 13343, Монгол Улс

³ Монгол Улсын Их Сургууль, Мэдээллийн Тенхологи Электроникийн Сургууль, Электроник, Холбооны Инженерчлэлийн Тэнхим, Улаанбаатар 14210, Монгол улс

Энэ ажлаар дахин цэнэглэгддэг зай хураагуурын багтаамж болон дотоод эсэргүүцлийг хэмжих LabVIEW систем хөгжүүлсэн. Ингэхдээ Panasonic үйлдвэрийн AA хэмжээтэй EneLoop зай хураагуурын багтаамж, дотоод эсэргүүцлийг электроник ачаа(DL3021), програмчлагддаг тэжээлийн үүсгүүр(DP821), DAQ NI-9219 болон термохос ашиглан автоматаар хэмжин авсан.

Түлхүүр үг: Зай хураагуур, электроник ачаа, програмчлагддаг тэжээлийн үүсгүүр, DAQ NI-9219, багтаамж, дотоод эсэргүүцэл, термохос.

I. УДИРТГАЛ

NI-MH зай хураагуурыг 1U хиймэл дагуулын тэжээлийн системд ашиглаж сансарт туршсан [1]. Тэжээлийн системийн чадлыг нэмэгдүүлэхийн тулд зай хураагууруудыг цуваа болон зэрэгцээ байдлаар холбоно [2]. Зай хураагууруудыг зэрэгцээ холбоход нийт гүйдэл ихсэх бол цуваа холбоход нийт хүчдэл ихэсдэг. Дотоод эсэргүүцэл нь ялгаатай үед зэрэгцээ холбогдсон зай хураагуур тус бүрийн систем рүү гүйх гүйдэл өөр өөр байна [3]. Өөр өөр гүйдэл нь зай хураагуур тус бүрийн цэнэгийн хэмжээг өөрчилснөөр аль нэг зай хураагуурын цэнэг түрүүлж дуусах эсвэл түрүүлж цэнэглэгдэх асуудал тулгарна. Харин ялгаатай багтаамжтай зай хураагууруудыг зэрэгцээ холбоход их багтаамжтай зай хураагуур нь нөгөө зай хураагуураа цэнэглэх асуудал гардаг. Иймд тэжээлийн системд зай хураагууруудын багцыг сонгоходоо ижил багтаамж болон дотоод эсэргүүцэлтэй байлгахыг зорьдог.

Нэг үйлдвэрлэгчээс гаргасан ижил дахин цэнэглэгддэг зай хураагуурууд байсан ч үйлдвэрлэлийн явцаас хамаараад зай хураагуурын багтаамж болон дотоод эсэргүүцэл хоорондоо бага зэргийн ялгаатай болдог. Иймд зай хураагуурын багтаамж болон дотоод эсэргүүцлийг электроник ачаа(DL3021), програмчлагддаг тэжээлийн үүсгүүр(DP821), NI-DAQ ашиглан LabVIEW програм хангамж ашиглан автоматаар хэмжих систем хийхээр зорьсон.

2020 онд “Батарейны багтаамж, дотоод эсэргүүцэл шалгах хямд төхөөрөмжийн хөгжүүлэлт”[5] гэх өгүүллэг хэвлэгдэж байсан ба уг төхөөрөмж нь үнэ өртөг хямд, авсаархан

төхөөрөмж хийхээр зорьсон. Мөн тодорхой нэг төрлийн хэмжээтэй зай хураагуурын дээр ашиглагдах боломжтой байсан. Харин LabVIEW систем ашигласан туршилт нь уг төхөөрөмжөөс хэмжилтийн хувьд илүү нарийвчлалтай ба өөр өөр төрлийн зай хураагуурууд дээр хэмжилт хийх боломжтой.

LabVIEW(Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) нь тест хийх, хэмжилт хийх, мэдээлэх систем бүхий инженерчлэлийн програм хангамж юм [4]. Уг програм хангамжийг ашиглан электроник ачаа, програмчлагддаг тэжээлийн үүсгүүрийг удирдан DAQ NI-9219 төхөөрөмжөөс хэмжсэн утгуудыг автоматаар хүснэгтэн мэдээлэл болгон хадгалж авна. DAQ NI-9219 төхөөрөмж нь National Instrument-ээс гаргасан ба LabVIEW програмтай шууд холбогдон хүчдэл, гүйдэл, температур, эсэргүүцлийг өндөр нарийвчлалтай хэмждэг.

Зай хураагуурын багтаамжийг хэмжихдээ зай хураагуурын цэнэгийг алдуулах болон цэнэглэх шаардлагатай бөгөөд цэнэг алдуулахдаа электроник ачаа(DL3021), цэнэглэхдээ програмчлагддаг тэжээлийн үүсгүүр(DP821) ашигласан. Ингэх явцдаа зай хураагуурын гүйдэл, хүчдэлийг NI-DAQ төхөөрөмжөөр зай хураагуурын температурыг термохос ашиглан LabVIEW програм хангамжтай холбон хэмжиж авсан. Дотоод эсэргүүцлийг хэмжихдээ зай хураагуурын ачаалалтай болон ачаалалгүй үеийн хүчдэл болон гүйдлийн утгуудын хэмжиж, хэмжсэн утгаараа тооцоолол хийж олсон. Panasonic үйлдвэрийн AA хэмжээтэй, 1900мАц багтаамжтай, EneLoop NI-MH зай хураагуур дээр хэмжилт хийсэн.

II. АРГА ЗҮЙ

А. Хэмжилт хийх үндсэн алгоритм

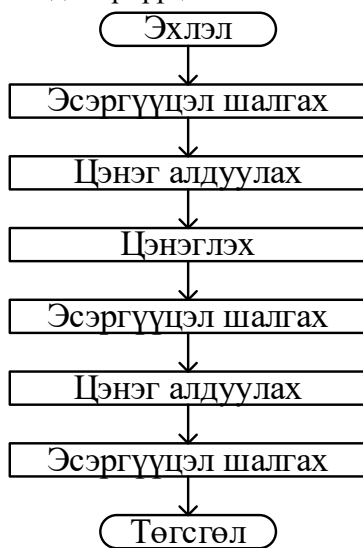
Зай хураагуурын багтаамжийг олохдоо (1) томъёогоор бодож олно.

$$C \approx \int Idt \quad (1)$$

Зай хураагуурын багтаамж болон дотоод эсэргүүцлийг тодорхойлохдоо зураг 1-г харуулсан алгоритмын дагуу үйлдлүүдийг хийнэ. Зай хураагуурын багтаамжийг хэмжих дарааллыг Panasonic үйлдвэрээс санал болгосон бичиг баримтаас авсан [7]. Батарей анх ямар хэмжээний цэнэгтэйг мэдэхгүй тул энэ үед зай хураагуурын багтаамжийг тодорхойлох боломжгүй. Мөн зай хураагуур нь цэнэгтэй болон цэнэггүйгээс хамаарч дотоод эсэргүүцэл нь өөр өөр байдаг [5]. Иймээс эхлээд зай хураагуурын дотоод эсэргүүцлийг хэмжээд зай хураагуурын цэнэгийг алдуулна.

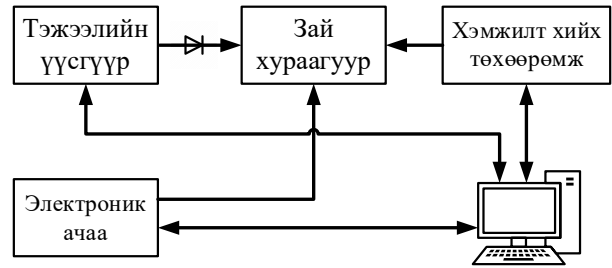
Дараа нь зай хураагуурыг дүүртэл нь цэнэглэж багтаамжийг тооцоолоод дүүрэн цэнэгтэй үед зай хураагуурын дотоод эсэргүүцэл ямар байхыг тооцоолно.

Эцэст нь зай хураагуурын цэнэгийг дуустал нь алдуулж багтаамжийг тооцоолоод цэнэггүй үеийн дотоод эсэргүүцлийг хэмжиж авна.



Зураг 1. Хэмжилт хийх системийн ажиллах алгоритм

Дээрх алгоритмын дагуу хэмжилт хийхийн тулд зураг 2-г харуулсан блок диаграммын дагуу төхөөрөмжүүдийг байрлуулсан.



2-р зураг. Хэмжилт хийх системийн блок диаграм

Электроник ачаа, програмчлагддаг тэжээлийн үүсгүүр болон NI-DAQ төхөөрөмжүүд компьютертой шууд холбогдож байгаа. LabVIEW програм хангамжаар электроник ачаа болон програмчлагддаг тэжээлийн үүсгүүрийг програмчилж байгаа бол NI-DAQ төхөөрөмжөөр хэмжсэн утгуудыг хадгалж авч байгаа. Зай хураагуурын туйлыг солихоос хамгаалж тэжээлийн үүсгүүр болон зай хураагуурын хооронд диодоор хамгаалалт хийсэн.

В. Цэнэг алдуулах

Зай хураагуурын цэнэгийг алдуулахдаа зай хураагуурын хуримтлагдсан байгаа энергийг ачаалал дээр ялгаруулж, цэнэгийг бууруулна. Уг ачааллыг электроник ачаа ашиглан бий болгоно. Электроник ачаа нь тогтмол гүйдэл, тогтмол хүчдэл, тогтмол эсэргүүцэл, тогтмол чадал гэсэн дөрвөн төрлөөр ачааллыг бий болгож чадна. Цэнэг алдуулахдаа тогтмол 1А гүйдлээр цэнэг алдуулна. Цэнэг алдах явцдаа зай хураагуурын хүчдэл багасдаг. Зай хураагуурын хүчдэл 1В-оос бага болох үед бүрэн цэнэгээ алдсан гэж үзнэ. Зай хураагуурын хүчдэл болон гүйдлийг DAQ NI-9219 төхөөрөмжөөр хэмжиж авна. Нийт цэнэг алдуулах хугацааг хэмжиж зай хураагуурын багтаамжийг тооцоолно. Зай хураагуур цэнэг алдсан гэж үзэх хүчдэлийг EneLoop зай хураагуурын техникийн бичиг баримтаас авсан [8].

С. Цэнэглэх

Цэнэглэхдээ тэжээлийн үүсгүүрээс зай хураагуур руу гүйдэл гүйлгэж цэнэглэнэ. Програмчлагддаг тэжээлийн үүсгүүр (DP821)-ээс тогтмол гүйдлээр цэнэглэх ба зай хураагуур цэнэглэгдэх явцдаа хүчдэл нь ихэснэ [9]. Мөн зай хураагуурын бүрэн цэнэглэгдсэний дараагаар тэжээлийн үүсгүүрээс ирж буй цахилгааны энергийг дулааны энерги болгож халалт үүсдэг. Цэнэглэхдээ зураг 3-г харуулсан алгоритмын дагуу цэнэглэнэ. Зай хураагуурыг цэнэглэх үйл явц нь гурван горимтой.

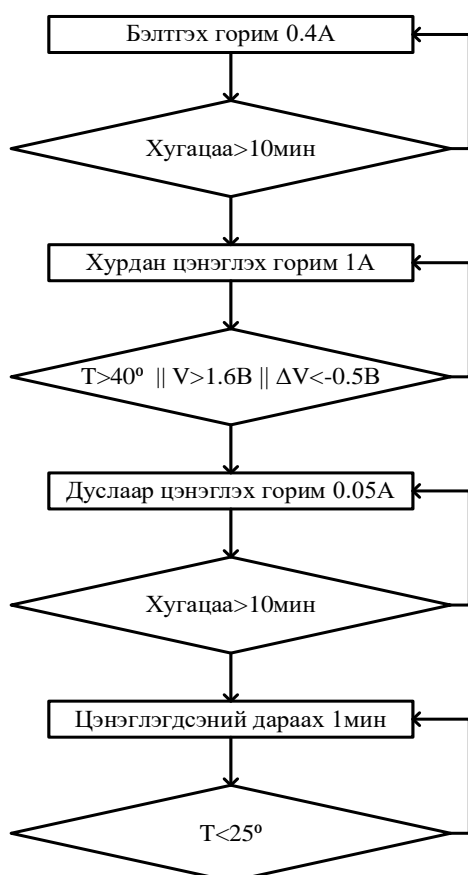
1-р горим нь Бэлтгэх горим буюу зай хураагуур хэт их цэнэг алдсан байх боломжтой тул бага тогтмол 0.4А гүйдлээр 10 минутын турш цэнэглэнэ.

2-р горим нь Хурдан цэнэглэх горим буюу батарей цэнэглэх үндсэн горим юм. Ингэхдээ батарейг 1А гүйдлээр цэнэглэнэ. Зай хураагуур цэнэглэгдсэн эсэхийг мэдэхийн тулд дараах нөхцөлүүдийг аль нэг нь биелсэн байна.

- Тодорхой хүчдэлийн утгад хүрэх буюу хүчдэлийн утга 1.6В-оос хэтрэх
- Тодорхой температурын утгад хүрэх буюу 40°C-ээс хэтрэх
- Хүчдэлийн өөрчлөлтийн утга сөрөг утгатай болох буюу -0.5В-оос багасах

Энэ нөхцөлүүд нь үйлдвэрлэгчээс гаргасан зай хураагуурын техникийн баримт бичгээс хамааран өөр байна.

3-р горим нь Дуслаар цэнэглэх горим буюу зай хураагуур цэнэглэгдсэний дараах горим юм. Зай хураагуур нь цэнэглэгдсэний дараа өөрийн цэнэг алдалт (self-discharge) явуулдаг. Энэ цэнэг алдалтыг бий болгохгүйн тулд маш бага тогтмол гүйдлээр цэнэглэнэ.



3-р зураг. Батарей цэнэглэх алгоритм

D. Дотоод эсэргүүцэл хэмжих

Зай хураагуур нь өөрийн дотоод эсэргүүцэлтэй байдаг. Хэрэв уг эсэргүүцлийг хэмжиж, тэжээлийн системд ижил дотоод эсэргүүцэлтэй зай хураагуурыг сонгож хийхгүй бол зай хураагуур тус бүрээс систем рүү гүйх гүйдлийн хэмжээ өөр өөр болдог. Ингэснээр аль нэг зай хураагуурын цэнэг түрүүлж дуусах эсвэл түрүүлж цэнэглэгдэнэ. Зай хураагуурын дотоод эсэргүүцлийг хэмжихдээ (2) томъёогоор бодож олно.

$$r = \frac{V_{open} - V_{load}}{I} \quad (2)$$

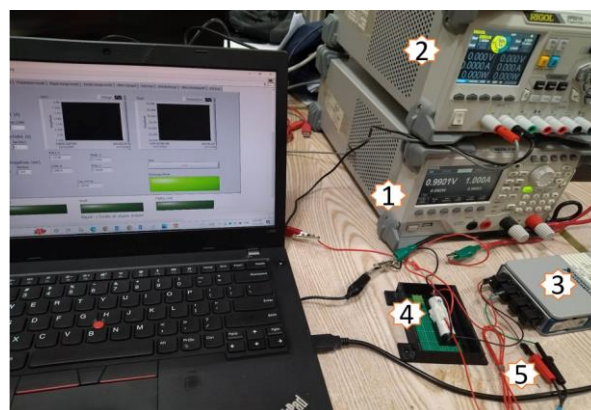
Үүнд r нь зай хураагуурын дотоод эсэргүүцэл, V_{open} нь зай хураагуурын задгай үеийн хүчдэл, V_{load} нь ачаалалтай үеийн зай хураагуурын хүчдэл, I нь зай хураагуурын гүйдэл.

Зай хураагуурын дотоод эсэргүүцлийг хэмжихдээ задгай үед хүчдэлийг нэг удаа хэмжиж дараа нь маш бага тогтмол гүйдлээр цэнэг алдуулах үеийн хүчдэл буюу ачаалалтай үеийн хүчдэлийг мөн хэмжиж аваад тооцоолол хийж олно.

III. ҮР ДҮН, ДҮГНЭЛТ

A. Ашигласан төхөөрөмжүүдийн холболт

Төхөөрөмжүүдийг бодитоор хэрхэн холбохыг зураг 4-т харуулав.

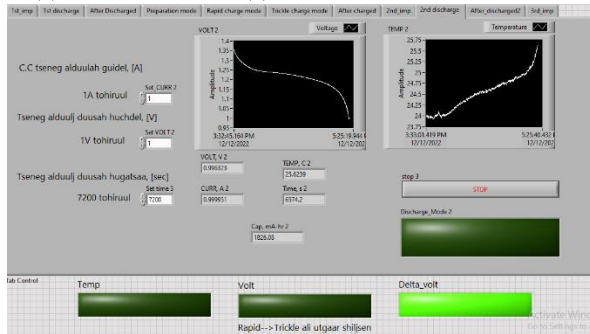


Зураг 4. Бодитоор туршилт хийх үйл явц

1. Электроник ачаа (DL3021)
2. Програмчлагддаг тэжээлийн үүсгүүр (DP821)
3. DAQ NI-9219
4. Зай хураагуур AA хэмжээтэй
5. Термохос

LabVIEW програм дээрх интерфэйс нь зураг 5-т харагдаж байна. Үүнд зай хураагуурын багтаамж дотоод эсэргүүцэл хэмжих алгоритмын үе шатууд болон цэнэглэх үеийн горимуудыг тус тус харуулах хэсгүүдтэй. Хэмжилтийг хийх явцад LabVIEW програм хангамж нь одоо хийж байгаа хэсгийг шууд

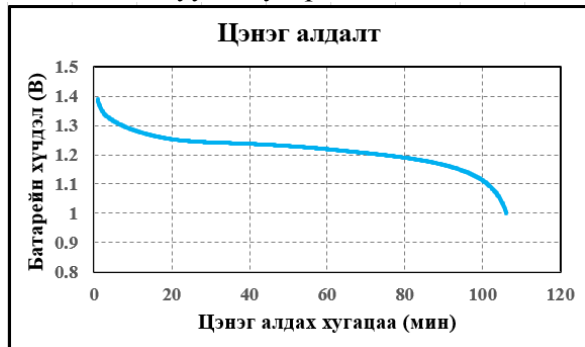
бодитоор харуулна. Мөн зай хураагуур цэнэглэгдэх болон цэнэгээ алдах нөхцөлүүдийг тохируулж өгнө. Хэмжилтийн утгууд болох хүчдэл, гүйдэл болон температурыг хугацааны хамт Excel хүснэгтэн мэдээлэл болгон хадгалж авна.



Зураг 5. LabVIEW дээр туршилт хийх явц

В. Зай хураагуурын цэнэг алдуулах туршилтын үр дүн

Зай хураагуурыг дээрх алгоритмын дагуу цэнэг алдуулах туршилт хийн үр дүнг боловсруулсан. Тогтмол 1А гүйдлээр цэнэг алдуулахад хүчдэл хугацаанаас хамаарч хэрхэн өөрчлөгдөж буйг зураг 6-т харуулав. Энэ нь хоёр дахь удаагаа зай хураагуурын цэнэгийг алдуулж буй үеийн хэмжилт юм.



Зураг 6. Зай хураагуурыг цэнэг алдуулах үеийн хүчдэл хугацааны график

Хүчдэлийн утга аажмаар буурсаар 1В-оос бага болоход зай хураагуурын багтаамжийг хэмжиж дууссан гэж үзсэн ба хэмжилт хийсэн нийт хугацаа болон хугацаанаас багтаамжийг тооцож олсон утгуудыг хүснэгт 1-т харуулав.

Цэнэгтэй үеийн хүчдэл	1.4В
Цэнэггүй үеийн хүчдэл	1.0В
Цэнэг алдуулсан хугацаа	108мин
Нийт багтаамж	1813мАц

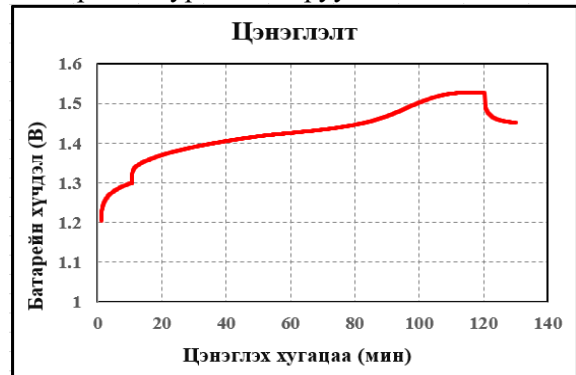
1-р хүснэгт. Цэнэг алдуулах үеийн хүчдэл, хугацаа болон багтаамж

Эндээс зай хураагуурыг цэнэг алдуулах аргаар багтаамжийг хэмжихэд 1813мАц гэж гарсан.

С. Зай хураагуурыг цэнэглэх туршилтын үр дүн

Дээр дурдсан гурван горимын дагуу зай

хураагуурыг цэнэглэх туршилт хийн үр дүнг боловсруулсан. Зай хураагуур цэнэглэх үед зай хураагуурын хүчдэл хугацааны хэрхэн хамаарахыг зураг 7-т харуулав.



Зураг 7. Зай хураагуурыг цэнэглэх үеийн хүчдэл хугацааны график

Уг графикаас харахад цэнэглэж буй тогтмол гүйдлийг эхний 10 минутын дараа 0.4А-аас 1А болгон өсгөхөд хүчдэл ч мөн огцом өсч байгаа нь харагдаж байна. Цэнэглэх үеийн горим тус бүрийн гүйдлийн хэмжээ, хугацаа болон хугацаанаас нийт багтаамжийг тооцоолж олсон утгуудыг хүснэгт 2-т харуулав.

Бэлтгэх горим	С.С 0.4А	10мин
Хурдан цэнэглэх горим	С.С 1.0А	110мин
Дуслаар цэнэглэх горим	С.С 0.05А	10мин
Нийт багтаамж	1987мАц	

2-р хүснэгт. Цэнэглэх үеийн цэнэглэх гүйдэл, хугацаа болон багтаамж

Эндээс зай хураагуурыг цэнэглэх аргаар нийт багтаамжийг тооцоход 1987мАц гэж гарсан. Цэнэг алдуулах аргаар олсон болон цэнэглэх аргаар олсон үеийн багтаамжууд хоорондоо ялгаатай байна.

Д. Дотоод эсэргүүцэл хэмжих туршилтын үр дүн

Зай хураагуурын дотоод эсэргүүцлийг нэг удаа хэмжихдээ 26 удаа хэмжилт хийн хэмжсэн утгын дунджаар авч үзсэн.



Зураг 8. Цэнэглэгдсэн үеийн дотоод эсэргүүцэл хэмжсэн график

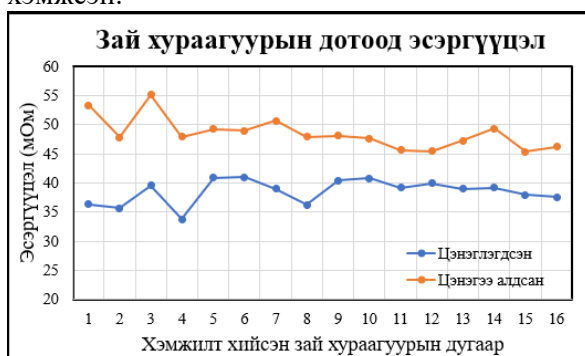


Зураг 9. Цэнэгээ алдсан үеийн дотоод эсэргүүцэл хэмжсэн график

Зай хураагуурын ачаалалтай үеийн хүчдэл болон ачаалалгүй үеийн хүчдэлийг хэмжиж аваад (2) томъёогоор тооцоолж олсон. Ачаалалтай үед электроник ачаа ашиглан зай хураагуурыг тогтмол 50мА гүйдлээр цэнэг алдуулсан. Зай хураагуур бүрэн цэнэглэгдсэн үед дотоод эсэргүүцлийг тооцоолсон утгуудыг зураг 8-т харуулав. Үүнээс дундаж эсэргүүцлийг тооцоолбол 38мОм гарсан. Дараа нь зай хураагуурын цэнэгийг бүрэн алдуулсны дараа дотоод эсэргүүцлийг тооцоолсон утгуудыг зураг 9-т харуулав. Үүнээс дундаж дотоод эсэргүүцлийг тооцоолбол 45мОм гарсан. Цэнэглэгдээгүй болон цэнэглэгдсэн зай хураагуурын дотоод эсэргүүцлүүд хоорондоо зөрүүтэй байгаа нь зай хураагуур дахь ионы хөдөлгөөн, электролитийн дамжуулалт гэх мэт олон төрлийн электрохимийн хүчин зүйлсээс хамааралтай. [14] Ni-MH зай хураагуурыг цэнэглэх болон цэнэг алдуулах үед өөр өөр урвал явагдаж байгаа. [15]

Е. Олон АА зай хураагуур дээр хийсэн дотоод эсэргүүцэл хэмжих туршилтын үр дүн

Нийт 16 ширхэг АА хэмжээтэй зай хураагуур дээр хэмжилт хийж дотоод эсэргүүцлийг хэмжсэн.



Зураг 10. 16 ширхэг зай хураагуурын цэнэглэгдсэн болон цэнэгээ алдсан үеийн дотоод эсэргүүцэл хэмжсэн график

Цэнэглэгдсэн үеийн зай хураагуурын дундаж дотоод эсэргүүцэл нь 38.56мОм, стандарт

хазайлт нь 4.14 байсан бол цэнэгээ алдсан үеийн зай хураагуурын дундаж дотоод эсэргүүцэл нь 48.53мОм, стандарт хазайлт нь 6.81 байсан. Эндээс дүгнэвэл ойролцоогоор зай хураагуурын дотоод эсэргүүцэл 38.56 ± 2 мОм хооронд байвал зай хураагуурыг цэнэггүй 48.53 ± 3 мОм хооронд цэнэгтэй гэж үзэж болохоор байна. Цэнэгтэй болон цэнэггүй зай хураагуурыг хамт ашиглахгүй байх хэрэгтэй.

Г. Дүгнэлт

Зай хураагуурын багтаамж болон дотоод эсэргүүцэл хэмжиж үүнийгээ LabVIEW систем ашиглан автоматжуулалтын хөгжүүлэлт хийсэн. Нэг зай хураагуурын багтаамж болон дотоод эсэргүүцлийг хүний оролцоогүйгээр автоматаар хэмжилт хийх хугацаа нь ойролцоогоор 5-6 цаг болж байна. Бүх үйл явц хүний оролцоогүй хийгдэж байгаа тул хүнээс хамаарсан хэмжилтийн алдаа гарах нь багассан.

Зай хураагуурын багтаамж болон дотоод эсэргүүцлийг хэмжсэнээр нэг үйлдвэрлэгчээс гаргасан ижил багтаамжтай зай хураагууруудаас ойролцоо багтаамж болон дотоод эсэргүүцэлтэйг сонгох боломжтой.

ТАЛАРХАЛ

Уг судалгааны ажлын санхүүжүүлэгч байгууллага болоон Тэмүүлэл төслийн удирдагч, дэд профессор, доктор багш Т.Төртөгтох, Д.Эрдэнэбаатар, Б.Бат-Отгон нартаа, тэжээлийн систем багийн ахлагч Г.Анар, төслийн багийн бүх гишүүдэд талархал илэрхийлж байна. Энэхүү судалгааны ажлыг Шинжлэх Ухаан Технологийн Сангийн ШУТБИХХЗГ-2022/125 дугаарт зорилтот төслийн санхүүжилтээр гүйцэтгэв.

НОМ ЗҮЙ

- [1] Erdenebaatar Dashdondog, Turtogtokh Tumenjargal, "Screening Process of Mazaalai Satellite's Ni-Mh Battery", 2018
- [2] Бат-Очир Бат-Отгон, "Электроникийн үндэс", Монгол Улсын Их Сургууль, 2017
- [3] Turtogtokh Tumenjargal, JGMNB Project Members, JGMNB Partners and Mengu Cho, "Development Status of Joint Global MultiNation Birds, Proceedings of the 60th Space Science and Technology Association Lecture September 6-9", 2016 Hakodate Arena
- [4] Mohamed Yahia Erdies, Erdenebaatar Dashdondog, Ichiro Omura, Mengu Cho,

- “SCREENING PROCESS AND IN-ORBIT PERFORMANCE OF HORYU-IV BATTERY”, 2016
- [5] Анар Ганбүргэд, Эрдэнэбаатар Дашдондог, Төртогтох Түмэнжаргал, “Батарейны багтаамж, дотоод эсэргүүцэл шалгах хямд төхөөрөмжийн хөгжүүлэлт”, 2020
- [6] Mohamed Yahia Erdies, Erdenebaatar Dashdondog, Muhamma Alkali, Hala Almubarak, “Design and Testing of Electrical Power Subsystem(EPS) of a lean satellite, Horyu-IV”, 2016
- [7] Panasonic: NI-MH Handbook https://eu.industrial.panasonic.com/sites/default/pidseu/files/downloads/files/ni-mh-handbook-2014_interactive.pdf
- [8] <https://eneloop101.com/wp-content/uploads/2017/02/HR-3UTGB.pdf>
- [9] https://www.batronix.com/pdf/Rigol/ProgrammingGuide/DP800_ProgrammingGuide_EN.pdf
- [10] https://www.batronix.com/pdf/Rigol/DL3000_DataSheet_EN.pdf
- [11] https://www.batronix.com/files/Rigol/Elektronische-Lasten/DL3000/DL3000_ProgrammingManual_EN.pdf
- [12] https://engineering.purdue.edu/~aae520/Labview_manuals/LVUser.pdf
- [13] <https://www.apexwaves.com/pdf/manuals/USB-9162/ni-usb-9219-user-guide-and-specifications.pdf>
- [14] Enirgizer, “Battery Internal Resisitance”, 2005
- [15] Enirgizer, “Nickel Metal Hydride”