

Нарны зайн системийн илүүдэл энергийг дулаан хангамжид ашиглах автомат удирдлагын төхөөрөмж

Б. Тунгаа^{1,2}, Э. Пүрэвдалай^{1*}, М. Мэргэн^{1,2}, Б. Төрмандах¹

¹ МУИС, Инженер, технологийн сургууль

² ШУА, Физик, технологийн хүрээлэн

Энэ судалгааны ажлаар нарны зайн дэлгэцийн цахилгааны үйлдвэрлэл инверторын чадлаас давсан илүүдлийг мэдэрч, илүүдсэн хэсгийг автоматаар тасалж, хуваарилах үүрэгтэй төхөөрөмжийг бүтээж, туршсан үр дүнг танилцуулна. Энэхүү төхөөрөмж нь нарны зайн бүлийн гаралт болон инверторын тогтмол гүйдлийн оролт хоёрын дунд тавигдах ба инверторын чадлаас хэтэрсэн энергийг тасалж, тогтмол гүйдлийн халаагуур руу дамжуулж, танкан дахь усыг халаах зорилготой. Тус удирдлагын төхөөрөмжийн туршилтын загварыг Arduino-Uno микро контроллер болон соронзон релейнүүд ашиглан бүтээж, гурван кВт-ын нарны зайн систем дээр урт хугацаанд туршсан. Туршилтын үр дүнг нар гийгүүлэлтээрээ ялгаатай өдрүүд дээр харьцуулан дүгнэв. 4-р сарын 11-ний өдөр нарны зайн дэлгэцээс үйлдвэрлэсэн энергийн 22.9 % -ийг, 4-р сарын 13-ны өдөр 17.6 % -ийг, 4-р сарын 28-ны өдөр 24.3 % -ийг танканд дулааны энерги болгон хадгалсан байна.

Түлхүүр үгс: Нарны зайн систем, илүүдэл энерги, автомат удирдлагын төхөөрөмж, дулаан хуримтлуулах танк

I. ОРШИЛ

Сэргээгдэх эрчим хүчний технологиудыг эх үүсвэрийн төрлөөр нь нар, салхи, ус, газрын гүн ба биомасс гэж ангилдаг. Эдгээрээс манай оронд хамгийн их нөөцтэй бөгөөд ашиглахад тохиромжтой нь нарны энерги юм. Нарны энергийг дулааны болон цахилгаан энергид хувирган ашиглах олон төрлийн технологиуд байдаг. Тэдгээрээс хамгийн түгээмэл нь нарны фото цахилгаан үүсгүүр буюу нарны зайн дэлгэцийн технологи юм [1-3]. Үүнийг нарны энергийг хувиргах бусад аргуудтай харьцуулахад технологийн хувьд өндөр хөгжсөн, ашиглахад хялбар, хэрэглээнд өргөн нэвтэрсэн байна. Мөн байгаль орчинд сөрөг нөлөө харьцангуй бага бөгөөд их, дунд, бага гээд ямар ч чадлын хэмжээтэй суурилуулж, хэрэглээнд шууд ашиглах боломжтой гэх мэт давуу талуудтай [4].

Нарны зайн дэлгэцүүдийг янз бүрийн тоогоор цуваа болон зэрэгцээгээр холбож нарны зайн бүлүүдийг үүсгэдэг. Эдгээр бүлүүдийг инвертор болон цэнэг хуримтлууртай холбосноор нарны зайн систем бүтдэг. Нарны зайн системүүдийг дотор нь бие даасан, хосолмол ба сүлжээнд холбогдсон гэж ангилна [5]. Нарны системийн энергийн үйлдвэрлэл нь нарны эрчим болон өдрийн нар гийгүүлэх хугацаатай шууд холбоотой. Тиймээс өдөр үйлдвэрлэгдсэн энерги шууд хэрэглэгдэхийн зэрэгцээ илүүдэл нь

хуримтлуурт хадгалагддаг [6]. Суурилуулсан нарны зайн системийн хэмжээ, чадал болоод тухайн өдрийн хэрэглэгчийн цахилгааны хэрэглээ, чадлаас хамаараад тухайн агшинд цахилгаан ачаалал бүрэн хангагдаж, цэнэг хуримтлуур ч дүүрсэн байх тохиолдол олон гардаг. Энэ үед нарны зайн систем илүүдэл энерги үйлдвэрлэх ба илүүдлийн хэмжээ их байх тусам эдийн засгийн үр ашиггүй болдог [7].

Сүлжээнд холбогдсон нарны зайн системүүдийн хувьд үйлдвэрлэсэн энергиэ сүлжээ рүү шууд нийлүүлдэг бөгөөд жилийн илүүдэл энергийн хэмжээ нь 0-5.5%-ын хооронд байдаг. Харин бие даасан системүүдийн хувьд 10-60% хүртэл илүүдэл энергитэй [8]. Энэхүү хэмжээг бууруулахын тулд хэд хэдэн аргуудыг түгээмэл ашиглаж байна. Үүнд: үндсэн хэрэглээнд ашиглагддаггүй нэмэлт цахилгаан төхөөрөмж ажиллуулах, цахилгаан халаагуураар дулаан хуримтлуурт цахилгаан хадгалах эсвэл цахилгаан химийн аргаар цэнэг хуримтлуурт шууд хадгалах, илүүдлийн хэмжээг бууруулах гэх мэт. Amin, M., Alibakhsh Kasaeian нар эдгээр аргуудыг судалж, илүүдэл энергийн хувь хэмжээ болон эрчим хүчний өртгөөр нь харьцуулж, дүн шинжилгээ хийсэн. Улмаар илүүдэл энергийг дулаан болгон хуримтлуурт хадгалж ашиглах нь илүү үр дүнтэй байгааг хүснэгтээр харуулдаг [9]. Манай орны хувьд ч нарны зайн илүүдэл энергийг ашиглах хамгийн тохиромжтой бөгөөд үр өгөөжтэй байж болохуйц арга нь цахилгаан

*Э-шуудан: purevdalai@num.edu.mn

халаагуураар дулаан болгон хувиргаж, дулааны танканд хадгалж, халаалт ба халуун усны хэрэгцээнд ашиглах юм.

Гэвч илүүдэл энергийг ашиглах эдгээр аргууд нь тогтмол гүйдлийг хувьсах гүйдэл болгож инвертороор хувиргагдсаны дараах үйл явц юм. Энэ нь инверторын АҮК -оос хамаараад хувиргах явцад багадаа 5% ийн энергийн алдагдалд хүргэдэг. Тэгвэл инвертороор хувиргадахаас өмнө нарны зайн илүүдлийг мэдэрч, ашиглаж чадвал энергийн алдагдалгүйгээр илүүдлийг бүрэн ашиглах боломжтой юм.

Нарны зайн системийг суурилуулахад ихэвчлэн цахилгаан эрчим хүчний найдвартай байдлыг бодолцож хэрэглэгчийн ачаалал болон хоногийн хэрэглээнээс давсан чадалд системүүдийг загварчилж, суурилуулдаг. Энэ тохиолдолд илүүдэл цахилгаан үйлдвэрлэлийн асуудал гардаг. Нөгөөтээгүүр нарны зайн систем нэгэнт суурилуулгдсаны дараа хоногийн энергийн хэрэглээ нэмэгдэж, системийг томруулах шаардлага үүсэж болох юм. Тухайлбал: халуун ус болон халаалтын нэмэлт хэрэгцээ бий болж, одоо суурилуулагдсан системийн чадал хүрэлцэхгүй болж болох юм. Энэ үед шинээр үүссэн хэрэглээг хангахын тулд нарны зайн дэлгэцийн тоог нэмэгдүүлэхдээ заавал инверторын чадал болон цэнэг хураагуурын багтаамжийг нэмэхээс өөр аргагүйд хүрнэ. Энэ нь одоо байгаа системийн чадлыг нэмэгдүүлэх зардлыг хэт өндөр болгодог [10].

Энэ судалгааны ажлаар нарны зайн илүүдэл энергийг халаагуурын тусламжтай дулаан болгон хувиргах, хувиргахдаа инвертороор дамжуулахгүйгээр буюу инвертор руу орохоос өмнө илүүдлийг мэдэрч хувиргаж ашиглах боломжтой эсэхийг судалж, нарны зайн дэлгэц ба инверторын дунд тавьж, илүүдэл энергийг мэдэрч хуваарилалт хийдэг төхөөрөмж бүтээж, үүний үр ашгийг тодорхойлохыг зорив.

Энэхүү судалгааны шинэлэг тал нь нарны зайн дэлгэцийн илүүдэл энергийг инвертор руу орохоос өмнө мэдэрдэг улмаар илүүдлийг тасалж, тогтмол гүйдлийн цахилгаан халаагуур руу хуваарилдаг автомат төхөөрөмж юм. Үүний тусламжтай цэнэг хураагуур болон инверторыг солихгүй бас багтаамжийг нэмэхгүйгээр нарны зайн дэлгэцийн тоог олшруулж, чадлыг өргөтгөх боломжтой юм. Ингэснээрээ системийг өргөтгөх зардлыг эрс бууруулах боломжтой болох юм.

II. СУДАЛГААНЫ АРГА ЗҮЙ

Нарны зайн системийн чадлыг нарны энерги хүлээн авах дэлгэцийн тоог нэмэгдүүлэх замаар

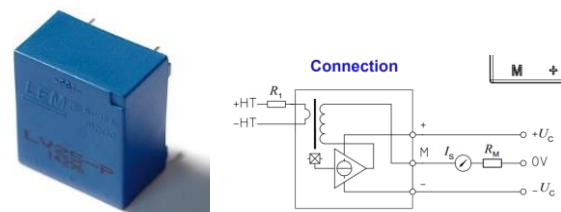
зориуд өсгөж, инверторын чадлаас давсан хэмжээг мэдэрч, хуваарилах үүрэгтэй төхөөрөмж нь нарны зайн системийн чадлын бодит үйлдвэрлэлийн утгыг хэмжиж, илүүдэлтэй үгүй эсэхийг харьцуулагч утгаар шалгаж, соронзон таслуурын тусламжтай бүлүүдийг залгах эсвэл салгах замаар гүйдлийн хуваарилалт хийнэ.

Бага чадлын нарны зайн систем болон тогтмол гүйдлийн цахилгаан халаагуур агуулсан дулаан хуримтлуур бүхий туршилтын систем бодитоор бүтээж, тус системд зориулагдсан илүүдэл энергийг халаалт руу хуваарилах автомат төхөөрөмж бүтээгдэнэ. Бүтээсэн төхөөрөмжийг бодит систем дээр байгалийн наранд туршиж, илүүдсэн буюу цахилгаан халаагуур руу хуваарилагдсан гүйдлийн урсгалыг хэмжиж, тодорхойлно.

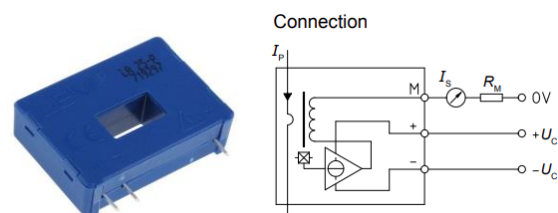
A. Удирдлагын төхөөрөмжийн зохиомжлол

Нарны зайн системийн илүүдэл энергийг хуваарилах үүрэгтэй төхөөрөмж нь инверторын чадлаас хэтэрсэн хэмжээг тогтмол давтамжтай мэдэрч, илүүдсэн хэмжээг тогтмол гүйдлийн хэрэглэгч болох тогтмол гүйдлийн цахилгаан халаагуур руу дамжуулах үйлдлийг автоматаар хийхээр зохиомжлогдож, PSIM программ дээр загварчлагдсан [11].

Загварчлалын дагуу нарны зайн системийн дэлгэцийн тогтмол гаралт талд тогтмол хүчдэл, гүйдэл хэмжих сенсорууд тавьж, нарны зайн дэлгэцүүдийн гаралтын чадлыг хэмжиж, Arduino-Uno микроконтроллерын тусламжтай соронзон таслууруудыг удирдана. Автомат төхөөрөмжийн туршилтын загварт тогтмол хүчдэлийн LV-25-P болон тогтмол гүйдлийн LA-25-P сенсорууд ашиглагдана. Зураг.1 болон 2-т хүчдэл болон гүйдлийн сенсоровын бодит зураг болон хэмжилт хийхэд шаардлагатай тэжээлийн үүсгүүр болон эсэргүүцлийн холболтын схемийг харуулав.



Зураг 1. LV-25-P тогтмол хүчдэлийн сенсор



Зураг 2. LA-25-P тогтмол гүйдлийн сенсор

Тогтмол хүчдэл, гүйдлийн сенсоруудын $+U_c$ болон $-U_c$ хөлөнд тогтмол $\pm 15V$ хүчдэл залгах бөгөөд M хөлөнд хэмжилтийн эсэргүүцэл болох R_m холбогдоно. Энэхүү эсэргүүцлийн утгыг сенсоровын үзүүлэлтэд тохиромжтой гэж санал болгосон утгаар сонгоно. Харин хүчдэлийн сенсоровын R_1 эсэргүүцлийн утгыг сонгохдоо хэмжих хязгаарт нь тохируулан сонгоно. Туршилтад зориулан бүтээсэн автомат төхөөрөмжид Хүснэгт.1-т харуулсан эсэргүүцлүүдийг тавина.

Хүснэгт 1. R_m эсэргүүцлийн утгууд

Параметр	LV-25-P	LA-25-P
$\pm U_c$ [В]	15	15
R_m [Ω]	220	220
R_s [Ω]	47000	-

Эсэргүүцэл R_m дээр унах 0 -ээс 5В -ийн хүчдэлийн утгыг Arduino-Uno микро контроллерын аналог оролтоор уншиж, 1, 2-т харуулсан томьёогоор хэмжилтийн утгад боловсруулалт хийж, нарны зайн системийн хүчдэл, гүйдлийн бодит утгыг тодорхойлно.

$$I_{\text{бодит}} = \frac{V_m \cdot I_{\text{max}}}{25mA \cdot R_m} \quad (1)$$

$I_{\text{бодит}}$ – нарны зайн системийн бодит гүйдэл (А),

V_m – R_m эсэргүүцэл дээр унах хүчдэл (В),

R_m – хэмжилтийн эсэргүүцэл (Ω),

I_{max} – сенсоровын хэмжих боломжит дээд гүйдэл (А)

$$V_{\text{бодит}} = \frac{V_m \cdot V_{\text{max}}}{25mA \cdot R_m} \quad (2)$$

$V_{\text{бодит}}$ – нарны зайн системийн бодит хүчдэл (В),

R_m – хэмжилтийн эсэргүүцлийн утга (Ω),

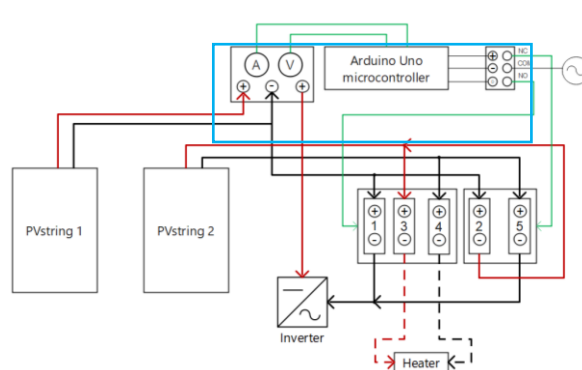
V_{max} – сенсоровын хэмжих боломжит дээд хүчдэл (В)

$$P_{\text{бодит}} = V_{\text{бодит}} \cdot I_{\text{бодит}} \quad (3)$$

$P_{\text{бодит}}$ – нарны зайн системийн бодит чадал (Вт)

Б. Туршилтын стенд

Нарны зайн дэлгэцийн илүүдэл энергийг дулаан хуримтлуулах танк руу хуваарилах автомат удирдлага МУИС-н Сэргээгдэх эрчим хүчний лабораторийн харьяа 3.36 кВт чадалтай нарны зайн бодит систем дээр туршигдана. Уг систем нь 240Вт-н чадалтай, 14-н ширхэг нарны зайн дэлгэцүүдтэй бөгөөд 10 болон 4-н ширхгээр хоёр бүл үүсгэн цуваагаар холбогдоно. Түүний нэгдүгээр бүлийн гаралт талд нь автомат төхөөрөмжийг холбон, гаралтыг соронзон таслуурт холбоно. Мөн нарны зайн дэлгэцийн 2-р бүлийн гаралт, инверторын оролт, тогтмол цахилгаан халаагуурыг Зураг.3-т харуулсанчлан соронзон таслуурт холбоно.



Зураг 3. Туршилтын системийн холболтын схем

Автомат удирдлага нь нарны зайн дэлгэцийн зөвхөн нэгдүгээр бүл эсвэл хоёр бүлийг хоёуланг нь инверторт холбох үүрэг гүйцэтгэнэ. Хүснэгт.2 -т автомат таслуурын ажиллагааны горимыг харуулав. Энд 1 гэсэн утгад нарны зайн дэлгэцүүд хоорондоо залгагдана. Харин 0 гэсэн утгад салгагдана.

Хүснэгт 2. Соронзон таслуурын ажиллагааны горим

Rel №	PV string 1,2	PV string 1
1	0	1
2	1	0
3	0	1
4	0	1
5	1	0

Дээрх схемийн дагуу бодит нарны зайн системийг угсарч, туршилтын систем хэмжилтэд бэлтгэгдэнэ.

В. Хэмжилт ба үр дүн тооцох

Бүлд харьяалагдах нэг дэлгэцийн тухайн агшин дахь гаралтын чадлыг олохдоо нарын цацрагийн эрчим, нарны дэлгэцийн гадаргуугийн талбай болон ашигт үйлийн коэффициент зэргээс хамааруулан тооцно.

$$P_{PV}(t) = A_{\text{тал}} \cdot I_p(t) \cdot \eta_{PV} \quad (4)$$

Үүнд: I_p - нарны цацрагийн эрчим [Вт/м²],

$A_{\text{тал}}$ - нарны зайн дэлгэцийн талбай [м²],

η_{PV} - АҮК [%]

Харин бүлийн гаралтын чадлыг олохдоо тухайн бүлд хэдэн нарны дэлгэц холбогдсон байгаагаас хамааруулан тооцно.

$$P_{\text{бүл1}}(t) = P_{PV}(t) \cdot i_{\text{бүл1}} \quad (5)$$

$i_{\text{бүл1}}$ - 1-р бүлийн дэлгэцийн тоо

Автомат удирдлага нь нөхцөл байдлыг зөв үнэлэхийн тулд чадлын харьцуулагч утгыг ашигладаг. Энэхүү утгыг нарны эрчмийн утгаас хамааруулж дараах томьёогоор олдог.

$$P_{\text{харь}} = (A_{\text{гал}} \cdot I_p \cdot \eta_{PV}) \cdot i_{\text{бүл1}} \quad (6)$$

$P_{\text{харь}}$ - чадлын харьцуулагч утга

Нэгдүгээр бүлийн гаралтын бодит чадлыг тогтмол хүчдэл, гүйдлийн сенсор ашиглан хэмжиж, үүнийг дээр тодорхойлсон чадлын харьцуулагч утгатай жишдэг. Бодит утга харьцуулагч утгаас их байвал инвертор руу зөвхөн нэгдүгээр бүл холбогдож, хоёрдугаар бүл халаагуурын хэлхээ рүү холбогдоно. Харин эсрэг тохиолдолд хоёр бүл хоёулаа инвертор руу холбогдоно.

$$P_{\text{инвертор}}(t) = \begin{cases} \text{if } P_{\text{хэм}}(t) < P_{\text{харь}}, P_{\text{хэм}}(t) \cdot \frac{i_{\text{бүл2}} + i_{\text{бүл1}}}{i_{\text{бүл1}}} \\ \text{if } P_{\text{хэм}}(t) > P_{\text{харь}}, P_{\text{хэм}}(t) \end{cases} \quad (7)$$

$P_{\text{инвертор}}$ - Инверторээр дамжсан чадал

$$P_{\text{халаагуур}}(t) = \begin{cases} \text{if } P_{\text{хэм}}(t) < P_{\text{харь}}, 0 \\ \text{if } P_{\text{хэм}}(t) > P_{\text{харь}}, P_{\text{хэм}}(t) \cdot \frac{i_{\text{бүл2}}}{i_{\text{бүл1}}} \end{cases} \quad (8)$$

$P_{\text{халаагуур}}$ - цахилгаан халаагуурын энерги

Тухай бүрийн чадлын утгыг тодорхойлсны дараагаар бүтэн өдрийн турш хэдэн цаг ажилласнаас нь хамааруулан нарны зайн системийн үйлдвэрлэсэн энергийн олж, ямар хэсэг нь инвертор болон халаагуур руу дамжсаныг тодорхойлно.

$$E_{\text{total}} = \int_{t_{\text{sunrise}}}^{t_{\text{sunset}}} P_{\text{total}}(t) \cdot dt \quad (9)$$

$$E_{\text{inv}} = \int_{t_{\text{sunrise}}}^{t_{\text{sunset}}} P_{\text{inv}}(t) \cdot dt \quad (10)$$

$$E_{\text{dch}} = E_{\text{total}} - E_{\text{inv}} \quad (11)$$

E_{inv} - инверторын хэрэглэсэн энерги

E_{dch} - цахилгаан халаагуурын хэрэглэсэн энерги

Г. Хэмжилтийн багаж ба хэмжилтийн багажийн алдаа

Хэмжилтэд налуу гадаргуу дээрх нийлбэр нарны цацраг, нарны зайн дэлгэцийн системийн тогтмол хүчдэл ба гүйдэл, дулаан хуримтлуурын танкан дахь тогтмол гүйдлийн цахилгаан халаагуур руу гүйх гүйдэл ба унаж буй хүчдэл, мөн түүнчлэн инвертороос сүлжээнд нийлүүлж байгаа чадлыг хэмжсэн.

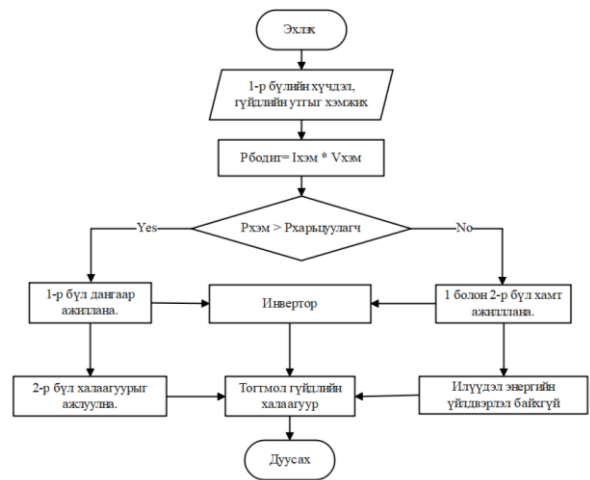
Нарны цацрагийг MS-802 (Second-standard +/-10Вт/м2 багажаар хэмжив. Хүчдэл болон гүйдлийг хэмжихэд Kyoritsu Model-6305

багажийг ашиглав. Гүйдлийн сенсоорын хэмжилтийн нарийвчлал (20А: ±0.3%rdg, ±0.2%f.s), хүчдэлийн сенсоорын хэмжилтийн нарийвчлал (300 V: ±0.3%rdg, ±0.2%f.s). Түлхүүрийн горимыг микроконтроллерын өөрийн хөлийг ашиглан бүртгэж авсан. Дам хэмжилтээр хэмжигдсэн нэгж хугацаан дахь энергийн урсгал буюу чадлын хэмжилтийн харьцангуй алдааг доорх томъёогоор тооцоолов.

$$RE_E = \sqrt{\left(\frac{\Delta I}{I}\right)^2 + \left(\frac{\Delta U}{U}\right)^2} \quad (12)$$

III. УДИРДЛАГЫН ТӨХӨӨРӨМЖ БА ТУРШИЛТЫН СТЕНД

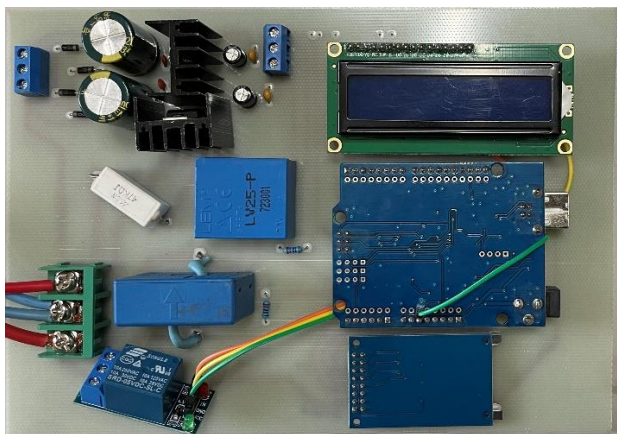
Нарны зайн дэлгэцүүдийг хоёр бүл болгон хуваасан бөгөөд Бүлэг 2.В -д дурдсанчлан холболтууд хийгдсэн. Нарны эрчим хангалттай үед нэгдүгээр бүлийн үйлдвэрлэсэн энерги цахилгааны хэрэглээг хангахад зориулагдах буюу инвертор руу хуваарилагдана. Харин хоёрдугаар бүлийн үйлдвэрлэсэн энерги тогтмол гүйдлийн халаагуураар дамжин дулаан хуримтлуурт хадгалагдана. Нарны эрчим сул үед хоёрдугаар бүл инвертор руу холбогдож, цахилгаан халаагуурын хэлхээнээс тасарна. Нарны эрчим ямар байхаас хамаарч нэг бол инверторын хэлхээ рүү эсвэл халаагуурын хэлхээ рүү холбогдох үйлдэл тасралтгүй хийгдэнэ. Энэ туршилтад нарны зайн дэлгэцүүдийг зөвхөн хоёр бүл болгон хувааж байгаа ч үүнээс олон бүлд хувааж, энергийн хуваарилалтыг илүү оновчтой болгож болно. Зураг.4 -д автомат удирдлага ажиллах ажиллагааны алгоритмыг үзүүлэв.



Зураг 4. Илүүдэл энергийн автомат удирдлаганы ажиллагааны алгоритм.

Нарны зайн системийн хэмжигдсэн чадлын утгыг инверторын нэрлэсэн чадлын утгатай

харьцуулж, нарны зайн дэлгэцүүд илүүдэл энерги үйлдвэрлэж байгаа үгүй эсэхийг шалгана. Үүнээс хамааран Arduino Uno микроконтроллер 1 эсвэл 0 гэсэн дохио гаргаж, соронзон таслуур залгагдах эсвэл салгагдах үйлдэл хийгдэнэ. Зураг.5-т автомат удирдлагын туршилтын загварыг зэс хавтан дээр угсарч бэлдсэн байдлыг харуулав.



Зураг 5. Автомат удирдлагын түршилтын загвар

Харин Зураг 6, 7-д нарны зайн дэлгэцүүд болон туршилтын стэнд бодитоор угсрагдсан байдлыг харуулав.



Зураг 6. Бодит нарны зайн дэлгэцүүд 3.36кВт

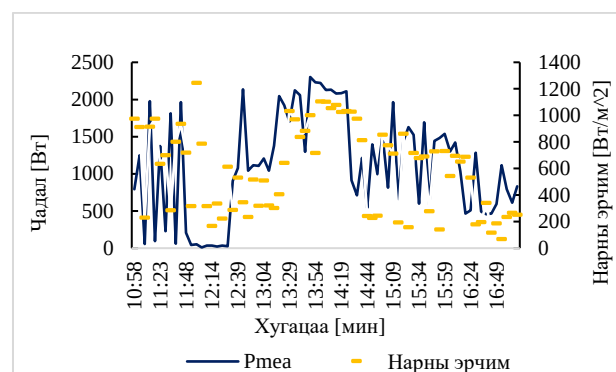


Зураг 7. Удирдлагын төхөөрөмж нарны зайн системтэй холбогдсон байдал

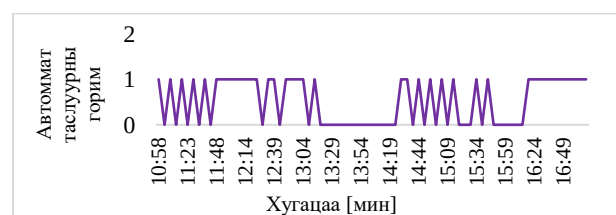
IV. ХЭМЖИЛТИЙН ҮР ДҮН

Удирдлагын төхөөрөмжийг бүтээж, нарны
зайн системтэй холбож, бодит нөхцөл дэх

туршилтыг 2024 оны 4 сараас эхлүүлсэн. Инвертор руу болон халаагуур руу дамжуулсан цахилгаан гүйдлүүдийг болон Arduino-Uno микроконтроллерын гаралтын дохиог хэмжиж, бүртгэсэн. Энд 4 дүгээр сарын 11, 13 ба 28-н зэрэг нарны эрчмээрээ ялгаатай өдрүүдийн хэмжилтийн мэдээг харьцуулж дүн шинжилгээ хийв. Туршилтын үр дүнд инвертороор дамжиж буй чадлыг хэмжээг хугацаанаас хамааруулан график байгуулсан. Зураг. 8, 10 ба 12-т дээрх өдрүүдэд харгалзан нарны зайн системээс инвертор руу нийлүүлсэн энергийг хөх зураасаар дүрслэн харуулсан бол шар тасархай зураасаар тухайн өдрийн нарны эрчмийг харуулсан байна. Харин Зураг.9, 11 ба 13-т автомат удирдлагын ажиллагааны горимыг харуулав. Дохио 1 үед бүлүүд хоорондоо холбогдож, үйлдвэрлэсэн цахилгаан бүгд инвертор руу урсах бол 0 үед хоёрдугаар бүл халаагуурын хэлхээнд холбогдоно.



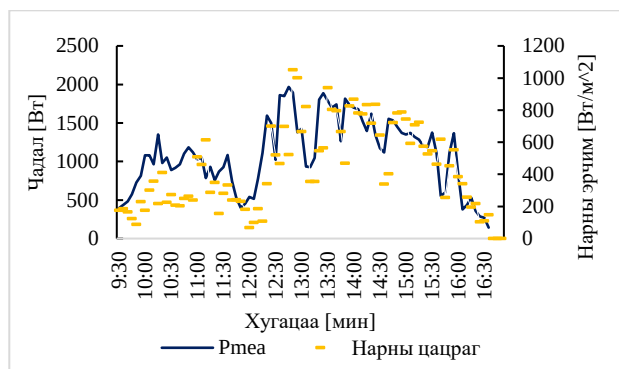
Зураг 8. 4-р сарын 11-ний өдрийн хэмжилтийн үр дүн



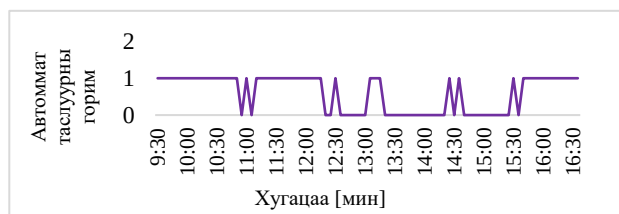
Зураг 9. 4-р сарын 11-ны өдрийн удирдлагын горим

Дөрөвдүгээр сарын 11 -ний өдөр харьцангуй бүрхэг өдөр байсан бөгөөд нарны зайн систем нийт 8.81 кВт.цаг цахилгаан эрчим хүч үйлдвэрлэснээс удирдлагын төхөөрөмж 6.78 кВт.цаг энергийг инвертор руу, 2.02 кВт.цаг энергийг халаагуур руу хуваарилсан.

Дөрөвдүгээр сарын 13 -ны өдөр солигдмол үүлтэй өдөр байсан бөгөөд нарны зайн систем нийт 10.05 кВт.цаг цахилгаан эрчим хүч үйлдвэрлэснээс удирдлагын төхөөрөмж 8.28 кВт.цаг энергийг инвертор руу, 1.77 кВт.цаг энергийг халаагуур руу хуваарилсан.

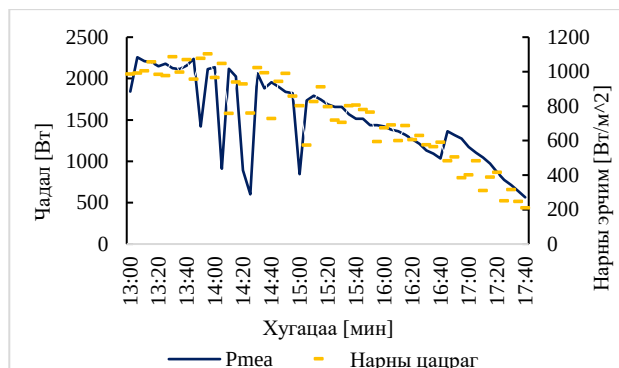


Зураг 10. 4-р сарын 13-ний өдрийн хэмжилтийн үр



Зураг 11. 4-р сарын 13-ны өдрийн удирдлагын горим

Дөрөвдүгээр сарын 28 -ны өдөр өглөө бүрхэг байсан хэдий ч үдээс хойш харьцангуй үүл багатай цэлмэг байсан бөгөөд нарны зайн систем нийт 9.84 кВт.цаг цахилгаан эрчим хүч үйлдвэрлэснээс удирдлагын төхөөрөмж 7.45 кВт.цаг энергийг инвертор руу, 2.39 кВт.цаг энергийг халаагуур руу хуваарилсан.



Зураг 12. 4-р сарын 28 -ны өдрийн хэмжилтийн үр дүн



Зураг 13. 4-р сарын 28-ны өдрийн удирдлагын горим

V. ДҮГНЭЛТ

Энэ судалгаагаар инверторын чадлаас хэтэрсэн нарны зайн дэлгэцийн цахилгаан үйлдвэрлэлийг Arduino-Uno микроконтроллёр

ашигласан удирдлагын төхөөрөмжийн тусламжтай тогтмол гүйдлийн цахилгаан халаагуур бүхий дулаан хуримтлуулах танканд илүүдлийг хуримтлуулж бодит байдалд хэмжиж, туршив.

Судалгаанд 3.3 кВт-ын нарны зайн бодит системийг ашиглаж, зохион бүтээсэн автомат удирдлагын төхөөрөмжийг уг системтэй холбож, байгалийн наранд туршсан.

Харилцан адилгүй нар гийгүүлэлт болон нарны эрчмийн хэмжилттэй гурван өдрүүд дээр үр дүнг харьцуулан харуулсан. Дөрөвдүгээр сарын 11-ний өдөр нийт үйлдвэрлэсэн цахилгааны 22.9% -ийг, дөрөвдүгээр сарын 13 -ны өдөр нийт үйлдвэрлэсэн цахилгааны 17.6 % -ийг, харин дөрөвдүгээр сарын 28 -ны өдөр үдээс хойш харьцангуй цэлмэг өдөр байсан бөгөөд нийт үйлдвэрлэсэн цахилгааны 24.3% -ийг тус тус дулаан хуримтлуулах танканд цахилгаан халаагуурын тусламжтай хадгалсан байна.

Arduino-Uno микроконтроллер нь бодит нөхцөлд удаан ашиглахад тохиромжгүй тул хэрэглээнд нэвтрүүлэх тохиолдолд үйлдвэрийн найдвартай ажиллагаатай микроконтроллерыг ашиглах нь зүйтэй. Мөн энд ашигласан соронзон таслуурын оронд илүү хурдтай буюу богино хугацаанд үйлдэл гүйцэтгэх чадвартай мөн найдвартай ажиллагаатай чадлын хагас дамжуулагч түлхүүрүүдийг ашиглах шаардлагатай.

Энэхүү арга технологи буюу илүүдэл энергийг дулаанд хувиргах системийг бодит хэрэглээнд нэвтрүүлэх бүрэн боломжтой байна. Үүний тусламжтай ус халаах эсвэл халаалтын зардлыг бууруулах боломжтой төдийгүй нарны зайн системийн үр өгөөжийг сайжруулж, хөрөнгө оруулалтаа нөхөх хугацааг багасгах бүрэн боломжтой гэж үзэж байна. Гэхдээ нарны зайн илүүдэл энерги нь найдвартай энергийн эх үүсвэр биш тул дулаан хуримтлуулах танкны нэмэлт эх үүсвэрээр ашиглах нь илүү тохиромжтой. Харин үндсэн үүсгүүр нь хий эсвэл төвийн шугамд холбогдсон хувьсах гүйдлийн цахилгаан халаагуур байж болох юм.

ТАЛАРХАЛ

Энэхүү судалгаа нь Япон-Монголын хамтарсан “Инженер Технологийн Дээд Боловсрол M-JEED (JR code: J13A15)” төслөөр дэмжигдсэн.

НОМ ЗҮЙ

- [1] Sayed, E. T., Wilberforce, T., Elsaid, K., Rabaia, M. K. H., Abdelkareem, M. A., Chae, K.-J., & Olabi, A. G. (2021). A critical review on environmental impacts of renewable energy

- systems and mitigation strategies: Wind, hydro, biomass and geothermal. *Science of the Total Environment*, 766, 144505. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144505>
- [2] [10] H. Alsharif, M., Kannadasan, R., Y. Hassan, A., Z. Tawfik, W., Kim, M.-K., Asghar Khan, M., & A. A. Solyman, A. (2022). Optimization Analysis of Sustainable Solar Power System for Mobile Communication Systems. *Computers, Materials & Continua*, 71(2), 3243–3255. <https://doi.org/10.32604/cmc.2022.022348>
- [3] [11] Shaban, H., Houssein, E. H., Pérez-Cisneros, M., Oliva, D., Hassan, A. Y., Ismaeel, A. A. K., AbdElminaam, D. S., Deb, S., & Said, M. (2021). Identification of Parameters in Photovoltaic Models through a Runge Kutta Optimizer. *Mathematics*, 9(18), 2313. <https://doi.org/10.3390/math9182313>
- [4] Green, M. A. (1982). *Solar Cells*. Prentice Hall.
- [5] [13] Guerra, N., Guevara, M., Palacios, C., & Crupi, F. (2018). Operation and physics of photovoltaic solar cells: an overview. *I+D Tecnológico*, 14(2), 84–95. <https://doi.org/10.33412/idt.v14.2.2077>
- [6] Mohammadi, K., Khanmohammadi, S., Khorasanizadeh, H., & Powell, K. (2020). A comprehensive review of solar only and hybrid solar driven multigeneration systems: Classifications, benefits, design and prospective. *Applied Energy*, 268, 114940. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114940>
- [7] M.S. Ismail, M. Moghavvemi, T.M.I. Mahlia, K.M. Muttaqi, S. Moghavvemi, (2015) Effective utilization of excess energy in standalone hybrid renewable energy systems for improving comfort ability and reducing cost of energy: A review and analysis, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 42, , Pages 726-734, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.10.051>
- [8] Figaj, R. (2021). Performance assessment of a renewable micro-scale trigeneration system based on biomass steam cycle, wind turbine, photovoltaic field. *Renewable Energy*, 177, 193–208. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.05.143>
- [9] Amin, M., Alibakhsh Kasaeian, Niu, X., Zhang, K., & Omid Mahian. (2023). Excess electricity problem in off-grid hybrid renewable energy systems: A comprehensive review from challenges to prevalent solutions. 212, 538–560. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.05.073>
- [10] Elboshy, B., Alwetaishi, M., M. H. Aly, R., & Zalhaf, A. S. (2022). A suitability mapping for the PV solar farms in Egypt based on GIS-AHP to optimize multi-criteria feasibility. *Ain Shams Engineering Journal*, 13(3), 101618. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2021.10.013>
- [11] Tungaa.B, Turmandakh.B, Purevdalai.E, “A study on the use of excess energy from PV panels as heat”, Хүрэлтогтоот-2023 эрдэм шинжилгээний хурлын эмхэтгэл, хуудас 25-32, ISBN 978-9919-9814-9-5

The control of using of excess energy from solar panels as thermal energy

Abstract: This paper presents the experimental result of a new automatic control device that measures solar PV output power and regulates energy excessed over solar inverter capacity. This device, arranged between the solar PV panels' output and the inverter's DC input, sends the excess energy to the DC electric heater to accumulate as thermal energy in a tank. A prototype of the control device was designed using an Arduino-Uno microcontroller and some magnetic relays and connected to a 3.3 kW solar PV system to conduct long-term experiments under real environmental conditions. To show the experimental results, three different days in terms of daily solar irradiation are compared. On April 11, 22.9% of the energy produced by the system was stored as thermal energy in a water tank; on April 13, 17.6%; and on April 28, 24.3%.