

Чадлын коэффициентийн зохицуулалтад суурилсан синхрон хөдөлгүүрийн сэргээлтний автомат удирдлагын шинэчлэл

Чойдоржийн ОТГОНЧИМЭГ¹, Пүрвээгийн АРИУНБОЛОР²

¹Монгол Улс, Улаанбаатар, Шинжлэх ухаан, технологийн их сургууль, Эрдэнэт цогцолбор дээд сургууль, Эрчим хүчний тэнхим

²Монгол Улс, Улаанбаатар, Шинжлэх ухаан, технологийн их сургууль, Геологи уул уурхайн сургуул, Эрдэс боловсруулалт инженерчлэлийн тэнхим

Холбоо барих зохиогчийн и-мэйл хаяг: otgonchimeg@erdenetis.edu.mn¹

Хураангуй: Энэхүү өгүүлэлд баяжуулах үйлдвэрийн тээрийн синхрон хөдөлгүүрийн сэргээлтний автомат тохируулгын системийг микропроцессорын реленд суурилуулан шинэчилсэн судалгааны үр дүнг танилцуулсан. Уламжлалт сэргээлтний тохируулгын систем нь олон тусдаа хамгаалалтын төхөөрөмжөөс бүрдэж, операторын гараар тохируулга хийх шаардлагатай байдгаас цахилгаан шугамын хүчдэлийн хэлбэлзэл болон ачааллын өөрчлөлтийн үед хөдөлгүүр хэт сэргээлттэй ажиллах нөхцөл үүсдэг байв. Эдгээр салангид хамгаалалтын үүргүүдийг нэг микропроцессорт реленд нэгтгэж, чадлын коэффициентийн хэмжилтэд тулгуурласан автомат тохируулгын шийдлийг боловсруулан туршилтаар баталгаажуулсан. Туршилтын үр дүнгээс үзэхэд уг систем нь хөдөлгүүрийн ачааллын нөхцөлөөс үл хамааран чадлын коэффициентийг тогтвортой түвшинд барьж, сэргээлтний гүйдлийг 10 секундийн дотор автоматаар тохируулж байгааг нотолсон. Шинэчлэлийн үр дүнд хөдөлгүүрийн дулааны ачаалал буурч, механик дамжуулгын зангилаанд үүсэх нэмэлт хүчдэл болон огцом өөрчлөлт багассанаар тоног төхөөрөмжийн ашиглалтын хугацааг уртасгах, засвар үйлчилгээний давтамжийг бууруулах нөхцөл бүрдсэн. Түүнчлэн чадлын коэффициентийг оновчтой түвшинд барьснаар цахилгаан эрчим хүчний хэрэглээний үр ашиг дээшилж, тодорхой хэмжээний хэмнэлт бий болсон. Иймээс реленд суурилсан сэргээлтний автомат тохируулгын энэхүү систем нь үйлдвэрийн синхрон хөдөлгүүрийн найдвартай ажиллагааг сайжруулах, үр ашигтай шийдэл болохыг судалгааны үр дүн харуулж байна.

Түлхүүр үг: гүйдлийн автомат тохируулга, удирдлагын реле, хуурмаг чадал, микропроцессорын реле, сэргээлтний V хамаарамж

I. УДИРТГАЛ

Синхрон хөдөлгүүр нь олон төрлийн үйлдвэрлэлийн технологийн процесст өргөн хэрэглэгддэг, чухал ач холбогдол бүхий цахилгаан хөдөлгүүрийн төхөөрөмж юм. Стандарт асинхрон хөдөлгүүртэй харьцуулахад синхрон хөдөлгүүр нь илүү нийлмэл автомат удирдлага, засвар үйлчилгээ шаарддаг боловч тогтмол хурдыг өндөр нарийвчлалтай хадгалдаг онцлогтой. Мөн бага эргэлтийн хурдтай, их ачаалалтай ажиллах үед шаардлагатай их эргүүлэх моментыг тогтвортой гаргах чадвартай. Иймээс уул уурхай, металлургийн салбарын бутлуур, нунтаглагч тээрэм, насос, компрессор, агааржуулагч зэрэг өндөр ачаалалтай тоног төхөөрөмжийн үндсэн хөдөлгүүр болгон өргөн ашиглагддаг [1].

Синхрон хөдөлгүүрүүд нь дээр дурдсан үйлдвэрлэлийн хэрэглээнд үндсэн хөдөлгүүр болгон өргөн ашиглагдах боломжийг бүрдүүлдэг олон талын чухал давуу шинж чанартай[2]. Үүнд:

- Синхрон хурдны өргөн хүрээнд үйлдвэрлэж, ашиглах боломжтой бөгөөд энэ явцад цахилгаан-механик энерги хувиргах өндөр үр ашгийг тогтвортой хадгалдаг. Энэ нь төрөлжсөн үйлдвэрлэл, өндөр хүчин чадал шаарддаг тоног төхөөрөмжид синхрон хөдөлгүүрийг илүүд үзэх гол хүчин зүйл болдог.
- Агааран завсрын хэмжээ их байх нь системийн механик дасан зохицох чадварыг нэмэгдүүлдэг

тул хөдөлгүүрийг ачаалалд шууд холбож ашиглах боломжтой ба суурилуулалтын олон төрлийн хувилбарыг, түүний дотор босоо чиглэлд суурилуулах боломжийг хангаж, уян хатан шийдлүүдийг бүрдүүлдэг.

- Авсаархан хийцтэй байх нь суурилуулалтыг хялбаршуулж, хуучин хөдөлгүүрүүдийг шинэчилж солих боломжтой байдаг нь томоохон үйлдвэрлэлийн үйлдвэрүүдэд шинэчлэл, орчин үеийн шаардлагад нийцүүлэхэд чухал давуу тал болдог.
- Синхрон хөдөлгүүр нь хэвийн ажиллагааны үед нэгж чадлын коэффициенттой ($\cos \varphi = 1$) ажилладаг хэдий ч сэргээлтний ороомгийг хэт сэргээх замаар хөдөлгүүрийг түрүүлэх чадлын коэффициенттой (түрүүлэх) горимд ажиллуулах боломжтой. Ингэснээр хөдөлгүүр нь механик ажил гүйцэтгэхийн зэрэгцээ цахилгаан системд хуурмаг чадал нийлүүлж, хүчдэлийн зохицуулалтад дэмжлэг үзүүлэх бөгөөд цахилгаан дамжуулах шугамын нэвтрүүлэх чадварыг нэмэгдүүлэх давхар үүргийг гүйцэтгэнэ.

Эдгээр онцлог нь синхрон хөдөлгүүрийг зөвхөн механик хөдөлгүүр төдийгүй цахилгаан системийн хуурмаг чадал хангамж, хүчдэлийн тогтвортой байдалд чухал үүрэгтэй төхөөрөмж болгон ашигладаг. Мөн синхрон хөдөлгүүрийн сэргээлтний автомат удирдлагаар эрчим хүчийг хэмнэх боломжтой.

Синхрон хөдөлгүүрийн сэргээлтийн системийг уламжлалт байдлаар гараар тохируулдаг нь ачааллын өөрчлөлт болон хүчдэлийн хэлбэлзлийн үед чадлын коэффициент тогтворгүй болох, хөдөлгүүр хэт сэргээлттэй ажиллах эрсдэлийг үүсгэдэг. Иймд синхрон хөдөлгүүрийн ажиллагааг тогтвортой, үр ашигтай байлгахын тулд сэргээлтийн автомат удирдлагын системийг боловсронгуй болгох шаардлага үүсэж байна. Иймээс энэхүү судалгааны ажлын зорилго нь уул уурхайн тээрийн синхрон хөдөлгүүрийн сэргээлтийн системийг микропроцессорт релед суурилсан чадлын коэффициентийн зохицуулалттай автомат удирдлагын систем болгон шинэчлэх, түүний ажиллагааг туршилтаар судлахад оршино. Үүний тулд дараах зорилтуудыг дэвшүүлсэн. Үүнд:

- Синхрон хөдөлгүүрийн сэргээлтийн системийн ажиллагааны онцлогийг судлах,
- Чадлын коэффициент ба сэргээлтийн гүйдлийн хамаарлыг тодорхойлох,
- Микропроцессорт релед суурилсан сэргээлтийн автомат тохируулгын системийн бүтцийг боловсруулах,
- Шинэчлэгдсэн системийг үйлдвэрийн нөхцөлд туршин үр дүнг үнэлэх.

Энэ судалгааны шинэлэг тал нь уул уурхайн тээрийн синхрон хөдөлгүүрийн сэргээлтийн удирдлагын системд микропроцессорт релед суурилсан чадлын коэффициентын гэдрэг холбоотой автомат тохируулгын шийдлийг нэвтрүүлж, түүний ажиллагааг үйлдвэрийн бодит нөхцөлд туршиж баталгаажуулсанд оршино.

II. СЭРГЭЭЛТИЙН АВТОМАТ ТОХИРУУЛГА

Синхрон хөдөлгүүрийн хамгаалалт ба тохируулгын систем нь олон төрлийн схемтэй, ашиглах олон хувилбартай байдаг. Уламжлалт байдлаар статорын хамгаалалт, сэргээлтийн хэлхээний хамгаалалт, мөн сэргээлтийн удирдлага нь бие даасан системүүд байдаг. Эдгээр анхны схемийн ихэнх нь статорын хамгаалалтад зориулсан цахилгаан-механик эсвэл микропроцессорт суурилсан реленүүдээс бүрддэг байсан ба асинхрон хөдөлгүүрт хэрэглэгддэг хамгаалалтын шийдлээс ялгаагүй, статорын хамгаалалтын ижил зарчмыг баримталдаг [3]. Харин сэргээлтийн ороомог болон роторыг хамгаалах, мөн сэргээлтийн удирдлагыг хэвийн явуулахын тулд тусдаа цахилгаан механик болон/эсвэл хатуу төлөвт (solid-state) реленүүдийг хугацааны реленүүдтэй хослуулан ашиглах, эсвэл эдгээр функцийг нэгтгэн микропроцессорт суурилсан реле ашигладаг.

Энгийн сэргээлтийн тэжээлийн систем нь хувьсах трансформатор ба шулуутгагч гүүрээс бүрдэж, тохируулгын хувьсах хүчдэлийг тогтмол гүйдлийн түвшинд хувиргаж, сэргээлтэд шаардлагатай гүйдлийг өгдөг. Орчин үеийн системүүд нь ихэвчлэн SCR (тиристор) технологид суурилсан, гаралтын үзүүлэлтүүдийг нарийн зохицуулах чадвартай нэг микропроцессорт

суурилсан нэгдсэн төхөөрөмж хэлбэртэй болсон. Үүний үр дүнд уламжлалт шийдлүүдэд шаардлагатай байсан наад зах нь гурван тусдаа төхөөрөмжийг нэг тохируулгын төхөөрөмж болгон ашиглаж байна.

Синхрон хөдөлгүүрийн хамгаалалт ба сэргээлтийн удирдлагын систем нь технологийн хөгжлийн үр дүнд уламжлалт олон тусдаа төхөөрөмжөөс микропроцессорт реле бүхий нэгдсэн шийдэл болж хөгжсөн. Ингэснээр хамгаалалт, тохируулгын функцыг нэг төхөөрөмжид төвлөрүүлж, суурилуулалтын эзлэх зай багасах, найдвартай ажиллагаа дээшлэх, засвар үйлчилгээний зардал буурах боломж бүрдсэн.

Орчин үеийн реле хамгаалалтын технологи нь олон төрлийн хамгаалалт, удирдлага, хяналт, логик функцуудыг нэгтгэсэн дэвшилтэт төхөөрөмжүүд болж хөгжсөн. Синхрон хөдөлгүүрийн орчин үеийн реле хамгаалалт нь уламжлалт статорын хамгаалалт, эхлэх дараалал, талбайн сэргээлтийн удирдлага, роторын тор ба талбайн хамгаалалтыг нэгтгэн гүйцэтгэдэг. Өмнө нь эдгээр функц хэрэгжүүлэхэд хоёр тусдаа төхөөрөмж шаарддаг байсан бол одоо нэг микропроцессорт суурилсан реле дотор нэгтгэн хэрэгжүүлэх боломж бүрдсэн. Иймд синхрон хөдөлгүүрийн сэргээлтийн удирдлага болон хамгаалалтын функцийг нэгтгэсэн нэгдсэн систем болж хөгжсөн.

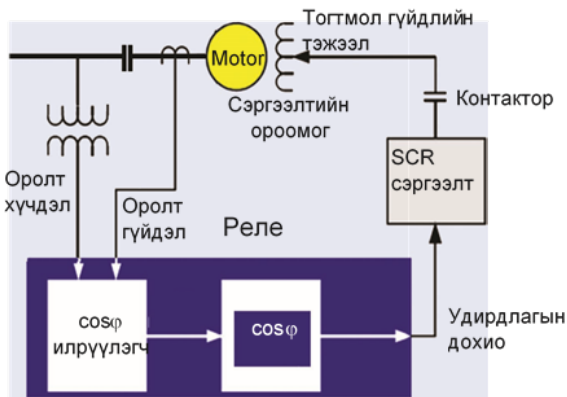
Синхрон хөдөлгүүрийн сэргээлт нь ихэвчлэн хамгаалалт ба тохируулгын системээс бие даасан автомат удирдлагатай ажилладаг. Энэ сэргээлтийн тохируулгын системд SCR (Silicon Controlled Rectifier) буюу силикон удирдлагатай шулуутгагч, мөн уламжлалт хамгаалалтын реле системийг ашигласаар байна. Зарим реле нь сэргээлтийн тохируулгын системтэй интерфэйсээр холбогдож, сэргээлтийн гаралтыг нарийн зохицуулах боломжийг олгодог. Ингэснээр хуучин сэргээлтийн системийн схемийг хялбаршуулж, шинэ суурилуулалт болон тогтмол гүйдлийн тэжээлийн төхөөрөмж болгон нарийсгах боломж бүрддэг.

Реле ашиглан сэргээлтийн автомат тохируулгын нэгтгэсэн системийн боловсруулалтыг авч үзэв.

III. СЭРГЭЭЛТИЙН АВТОМАТ ТОХИРУУЛГЫН СИСТЕМ

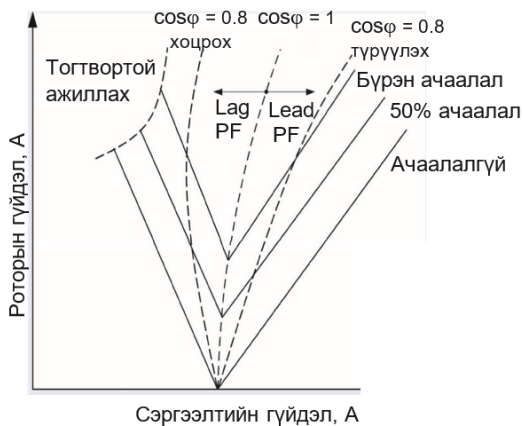
A. Оршил

Синхрон хөдөлгүүрийн сэргээлтийн автомат тохируулгын систем нь реле хамгаалалт ашиглан боловсруулсан (1-р зураг). Энэ системийг СХСАТ систем гэж товчилсон нэрээр нь нэрлэсэн. Уг системд SCR-тэй шууд хамааралтай сэргээлт нь гаралтын гүйдлийн түвшнийг зохицуулахад зориулагдсан хамгаалалтын реле нь сэргээлтийн тохируулгын хэлхээнд битүү системийн гэдрэг холбоосны дохио дамжуулснаар сэргээлтийн гаралтыг зохих хэмжээнд тохируулан өөрчилдөг. Реле хамгаалалтын тохируулгын блок нь хөдөлгүүрийн чадлын коэффициентын хэмжилтийн үндсэн дээр ажилладаг.



1-р зураг. Реле хамгаалалтын сэргээлтийн автомат тохируулгын системийн бүтцийн схем

Синхрон хөдөлгүүрийн нэг давуу тал нь чадлын коэффициентыг цахилгаан системийн шаардлагад нийцүүлэн тохируулах боломжтой. Хөдөлгүүрийн чадлын коэффициент нь сэргээлтийн гүйдэл болон статорын ачааллын хоорондын хамаарлаар тодорхойлогдоно. Сэргээлтийн ороомгоор тухайн ачаалалд шаардлагатай хэмжээнээс илүү гүйдэл өгвөл хөдөлгүүр хэт сэргээгдэж, түрүүлэх чадлын коэффициенттой, харин бага буюу хангалтгүй гүйдэл өгвөл хөдөлгүүр дутуу сэргээгдэж, хоцрох чадлын коэффициенттой ажиллана. Ихэнх тохиолдолд оновчтой чадлын коэффициент нь нэгж (1) эсвэл бага зэрэг түрүүлэх байх нь зохимжтой (2-р зураг).



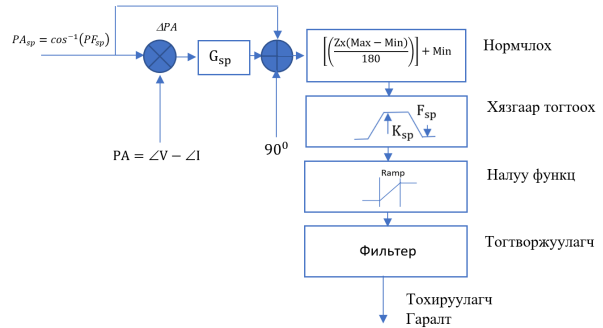
2-р зураг. V хэлбэрийн муруй

Харин хэт хоцрох чадлын коэффициент нь хөдөлгүүрийн тогтворгүй ажиллагааг үүсгэж, туйл алдагдах (pole slipping) эрсдэлтэй бөгөөд улмаар механик гэмтэлд хүргэж болзошгүй. Энэ нь хөдөлгүүрийн шинж чанараас хамаарах бөгөөд төрөл бүрийн ачааллын түвшинд өгөгдөх тогтмол статорын сэргээлтийн ба роторын хэлхээний гүйдлүүдийн хооронд хамаарлаар илэрхийлэгддэг ба энэ хамаарал V хэлбэрийн муруй байдаг ба чадлын коэффициентийн төлөвийг харуулдаг. Эдгээр V хэлбэрийн муруй нь сэргээлтийн ороомгийн гүйдлийг тохируулах замаар хөдөлгүүрийн чадлын коэффициентыг таамаглах боломжтой байдлаар зохицуулдаг.

В. Блок схем

Хамгаалалтын реле нь чадлын коэффициент (PF)-д суурилсан сэргээлтийг зохицуулдаг. Үүнийг

цаашид энэ судалгааны ажилд сэргээлтийн автомат тохируулгын систем гэж нэрлэн авч үзсэн. Иймд чадлын коэффициентээр тохируулагдах сэргээлтийн автомат тохируулгын системийн блок диаграммыг 3-р зурагт үзүүлэв.



3-р зураг. Сэргээлтийн автомат тохируулгын системийн блок диаграмм

Энд PA_{sp} – даалгаврын өгөгдөл, G_{sp} – өсгөлтийн коэффициент, PA – гүйдэл, хүчдлийн хоорондох өнцөг, K_{sp} – гаралтын хамгийн их утгын хязгаар, F_{sp} – гаралтын хамгийн бага утгын хязгаар.

Энэ автомат тохируулгын систем нь дараах үндсэн блокуудтай. Үүнд:

- Тохируулагчийн гаралт: Релений сэргээлтийн дохионы төрлийг заана. Жишээлбэл: 4–20 мА эсвэл тогтмол 0–10 V.
- Гаралтын хамгийн бага утгын хязгаар: Системийн гаралтын доод хязгаар утга бөгөөд сэргээлтийн гүйдэл огцом буурах үед чадлын коэффициент тогтворгүй болохоос хамгаалдаг. Хэрэв энэ доод хязгаарыг давбал чадлын коэффициент нь түрүүлэх (leading) төлөвт шилжинэ. Ачаалал чадлын коэффициент нь хоцорвол (lagging) сэргээлтийн гүйдэл доод хязгаараас дээш нэмэгдүүлж эхэлнэ.
- Тохируулагчийн хамгийн их гаралтын хязгаар: Энэ нь сэргээлтийн удирдлагын оролт тохирох хамгийн их сэргээлтийн гүйдлийг хязгаарлана.
- Даалгаврын өгөгдөл: Хэмжигдсэн хүчдэл болон шугамын гүйдлийн дохионуудаас тооцоолон барихыг хүссэн чадлын коэффициент юм.
- Өсгөлтийн коэффициент: Автомат удирдлагын битүү системийн дамжуулах функцийг коэффициент ба өсгөх эсвэл бууруулах өөрчлөлтийн хэмжээг тодорхойлдог.
- Өсгөлтийн хугацаа: Автомат удирдлагын системийн нэг давталт бүрд гаралтын дохиог аажмаар нэмэх эсвэл бууруулахад шаардагдах нийт хугацаа юм.
- Тогтворжуулагч: Системийн гаралтын тогтворжуулахад шаардагдах дундаж хугацаа юм.

IV. СИСТЕМИЙН АЖИЛЛАГААНЫ ХАРЬЦУУЛАЛТ

Тээрмийн гол нь синхрон хөдөлгүүрийн голтой холбогдон ажилладаг. Тээрэм нь их ачаалал, их инерцтэй тул хөдөлгүүрийг асаахад тээрмийг синхрон хөдөлгүүрийн голтой нь холболгүй, салангид байдлаар асаах нь зүйтэй болно. Хөдөлгүүр нэрлэсэн хурдаа хүрсний дараа тээрмийг агааран муфтаар (air clutch)-оор синхрончлон залгана. Хөдөлгүүр нь араат дамжуургыг эргүүлж, тээрэм эргэлтээ эхлүүлнэ. Үүний дараа клинкер материалыг тээрэм рүү өгч хүдрийн чулуулгийн тээрэмдэлт эхэлдэг (4-р зураг).



4-р зураг. Тээрмийн холболтын схем

Агааран муфт нь синхрон хөдөлгүүрийн цохилтот ачааллыг бууруулж, синхрон горим алдагдахаас хамгаалах бөгөөд шахсан агаараар механизмаас агаараар удирдан зөөлөн залгаж/салгах зориулалттай.

Тээрэм нь маш их инерцийн моменттой ачаалал тул хөдөлгүүрийг тээрэмтэй шууд механикаар холбон асаах үед асалтын гүйдэл огцом ихсэх, хөдөлгүүр богино хугацаанд шаардлагатай хурданд хүрч чадахгүй байх, синхрончлогдохгүй болох, мөн дамжуулгын зангилаанд механик цохилт үүсэх зэрэг ноцтой эрсдэлүүд илэрдэг. Иймээс хөдөлгүүрийг эхлүүлэхдээ тээрэмээс салангид горимоор асааж, нэрлэсэн хурданд хүргэн синхрончлогдсоны дараа air clutch-ийн тусламжтайгаар тээрмийг аажмаар, жигд залгах технологийн дарааллыг ашигладаг.

Агааран холбоосонд үрэлтийн дискүүд, поршен болон агаарын камер байрлах ба шахсан агаар оруулах үед поршен тэнхлэгийн дагуу шилжин, үрэлтийн дискүүдийг хооронд нь шахсанаар эргэлтийн момент жигд дамжиж голууд залгагдана. Харин агаарыг суллахад дискүүд салж, эргэлтийн дамжуулалт тасарч голууд салангид байдалд шилжинэ. Ийм ажиллагааны зарчим нь ачааллыг цохилтгүй, хяналттай залгах боломжийг бүрдүүлж, хөдөлгүүрийг их инерцийн динамик нөлөөллөөс хамгаалах, синхрончлох горимыг найдвартай хангах, мөн механик элэгдэл, доргилтыг бууруулах давуу талтай. Иймд air clutch буюу агаарын муфт нь тээрмийн синхрон хөдөлгүүрийн хөтлүүрийн системийн зайлшгүй шаардлагатай бүрэлдэхүүн хэсэг юм.

1. Одоогийн системийн ажиллагаа

Анх ашиглалтад орсноос хойш одоо байгаа сэргээлтгүй систем болон хамгаалалт, удирдлагын төхөөрөмжүүдийг өмнө нь нэг удаа шинэчилсэн.

Одоогийн сэргээлтгүй тэжээл нь тиристорт суурилсан авсаархан тогтмол гүйдлийн хувиргагч

бөгөөд урд талдаа энгийн операторын самбартай ба операторын самбараар даалгаврын өгөгдлийг өөрчилж сэргээлтгүй гараар тохируулахаас гадна туслах төхөөрөмжөөс ирэх дохиогоор автоматаар тохируулга хийх боломжтой.

Одоо ашиглагдаж байгаа хамгаалалт ба удирдлагын төхөөрөмжүүд нь микропроцессорт суурилсан реле боловч бие биеэсээ хамааралгүй ажилладаг байв. Зүүн талд статорын хамгаалалтын реле, баруун талд эхлүүлэх дарааллын удирдлага болон синхрончлол алдагдах (pull-out)-аас хамгаалах хамгаалалт байрладаг ба сэргээлтгүй төхөөрөмж нь хажуугийн шүүгээнд байрладаг. Синхрон хөдөлгүүр хэвийн ажиллаж байх үед роторын соронзон орон болон статорын эргэлдэх соронзон орон хоорондоо тогтмол өнцгийн зөрүүтэй, чадлын өнцөг δ -гаар “цоожлогдсон” мэт уялдан хамт эргэлддэг. Харин ачаалал огцом ихсэх, сэргээлт багасах, эсвэл тэжээлийн хүчдэл унах гэх мэт нөхцөлд энэ өнцөг огцом өсөж, критик утгаас давмагц ротор нь статорын соронзон орноос тасарч синхрончлолоо алдахад хөдөлгүүр асинхрон горимд шилжин их гүйдэл авч, хэт халалт болон механик ноцтой гэмтэл үүсэх өндөр эрсдэл бий болдог бөгөөд энэ үзэгдлийг pull-out буюу синхрончлол алдагдах гэж нэрлэдэг. Синхрончлол алдагдахаас хамгаалах хамгаалалт нь чадлын өнцөг δ , чадлын коэффициент PF, гүйдэл, хүчдэл, мөн сэргээлтгүй түвшнийг тасралтгүй хянаж, синхрончлолоос гарах нөхцөлийн урьдчилан тодорхойлон хөдөлгүүрийг салгах (trip) эсвэл аюулгүй горимд шилжүүлэх үйлдлийг гүйцэтгэдэг. Ялангуяа ган бөмбөлөгтэй тээрмийн синхрон хөтлүүрийн хувьд энэ хамгаалалт маш чухал ач холбогдолтой. Тээрэм асар их инерцтэй тул ачаалалтай үед сэргээлт багасах эсвэл ачаалал огцом нэмэгдэхэд синхрончлол алдагдах магадлал маш өндөр байдаг. Иймээс синхрончлол алдагдахаас хамгаалах хамгаалалт нь синхрон хөдөлгүүр синхрончлол алдагдалтыг зогсоох үндсэн хамгаалалт юм.

Хэдийгээр одоогийн хамгаалалт, удирдлага нь сэргээлтгүй тохируулгыг операторын самбараар гараар хийдэг. Шаардлагатай үед талбайн ажилтнууд шүүгээг онгойлгож сэргээлтгүй төхөөрөмжид хүрч тохируулга хийдэг тул төхөөрөмжид аюулгүй хүрэх, дахин тохируулах талаар мэдлэг шаарддаг. Тохируулга хийх чадвартай ажилтан байнга бэлэн байх боломжгүй. Иймээс байгууламжийн инженерүүд богино хугацааны цахилгаан тасалдлын үед нөөц байдлаар ашиглах үүднээс хөдөлгүүрийг ихэвчлэн хэт сэргээлттэй төлөвт урьдчилан тохируулсан байв.

Ердийн нөхцөлд зогсоохоос өмнө клинкер болон тээрэмдлэгдсэн хүдрийг тээрэмээс бүрэн цэвэрлэдэг. Харин процесс гэнэтийн байдлаар зогсвол тээрэм дотор материал үлдэж, хөдөлгүүрийг ачаалалтай хэвээр байлгах шаардлагатай болдог. Ийм нөхцөлд процессыг дахин эхлүүлэх нь хүндрэлтэй.

Хамгийн хүнд нөхцөлийн хувилбар нь бүрэн ачаалалтай тээрмийг тооцож төлөвлөхийг шаарддаг. Энэ үед хөдөлгүүр урт хугацаанд, илүү хүнд нөхцөлд

хурд авна. Мөн ачааллыг даахын зэрэгцээ синхрончлогдохын тулд бүрэн сэргээлт шаардана.

Синхрон хөдөлгүүр нь ерөнхийдөө бага зэрэг хэт сэргээлттэй ажиллахаар тооцоологдсон байдаг ч удаан хугацаанд хэт их хэт сэргээлттэй ажиллах нь роторын соронзон орны ороомог болон статорын ороомогт нэмэлт халалт үүсгэдэг. Удаан хугацаанд өндөр температуртай ажиллах нь хөдөлгүүрийн ерөнхий элэгдэл, ашиглалтын хугацааг багасгадаг.

2. Системийн удирдлагын шинэчлэл

Одоогийн сэргээлтийн системд тус тусдаа хэрэгжиж байсан олон реле хамгаалалтыг нэг микропроцессорт релед нэгтгэж, сэргээлтийн автомат системийг шинэчилсэн. Энэхүү шинэчлэлийн гол агуулга нь микропроцессорт релед суурилсан чадлын коэффициентын зохицуулалтаар сэргээлтийг автоматаар удирдах шийдэл юм [4].

Синхрон хөдөлгүүрийн хамгаалалт, удирдлагын систем нь статорын хамгаалалт, роторын хамгаалалт, эхлүүлэх дарааллын удирдлага, синхрончлол алдагдахаас хамгаалах хамгаалалт, чадлын коэффициентын автомат тохируулга өндөр түвшний интеграцчилсан шийдэл юм. Уг реле нь гурван фазын гүйдэл, хүчдэлийн бүрэн хэмжилтэд тулгуурлан статорын хэт гүйдэл, гүйдлийн тэнцвэргүй байдал, хэт ба бага хүчдэл, чадлын параметрийн хяналт зэрэг хамгаалалтыг гүйцэтгэхийн зэрэгцээ сэргээлтийн гүйдэл, хүчдэлийн удирдлага, роторын халалт, сэргээлтийн алдагдлын хяналт, роторын хамгаалалтыг хэрэгжүүлдэг. Мөн чадлын өнцөг, чадлын коэффициент, гүйдэл, хүчдэл болон сэргээлтийн түвшнийг тасралтгүй хянах замаар синхрончлол алдагдахаас өмнө таслах хамгаалалтуудтай.

Систем нь эхлүүлэх дарааллыг логикоор удирдаж, синхрончлох нөхцөлийг автоматаар шалган зөвшөөрөхийн зэрэгцээ чадлын коэффициентийн тохируулагчийн функцээр гурван фазын хэмжилтээс чадлын коэффициентийг тооцоолж, гэдрэг холбоосны гаралтаар сэргээлтийн гаралтыг автоматаар тохируулан хөдөлгүүрийн ачааллаас үл хамааран оновчтой чадлын коэффициентыг тохируулдаг. Энэхүү тохируулга нь бүрэн автомат горимоор ажиллаж, гар тохируулга шаарддаггүй. Релений дэлгэц дээр гурван фазын гүйдэл, хүчдэл, сэргээлтийн гүйдэл ба хүчдэл, идэвхт, реактив, бүрэн чадал, чадлын коэффициент болон фазын диаграммыг харуулдаг тул ажиллагааг хянах, ашиглалтад оруулах үеийн нарийвчилсан дүн шинжилгээг хөнгөвчилдөг.

Өмнө нь статорын хамгаалалтын реле болон эхлүүлэх, синхрончлол алдагдахаас хамгаалах хамгаалалтын реле тусдаа ажиллаж байсан бол энэ шинэчлэлээр бүх үүргийг нэг микропроцесссын реленд төвлөрүүлснээр самбарын эзлэх зай багасаж, дохио дамжуулалт хялбар болж, засвар үйлчилгээ багасаж, системийн найдвартай ажиллагаа нэмэгдсэн. Тохиргооны бүтэц болон программ хангамж нь өмнөх төхөөрөмжтэй төстэй тул хуучин тохиргоог шинэ системд хөрвүүлэхэд хялбар болсон. Мөн гурван фазын хэмжилтэд тулгуурласан

удирдлагын үед фазын дарааллын зөв байх нь чадлын коэффициентийн тохируулга болон синхрончлох удирдлагад чухал нөлөөтэй болох нь ашиглалтад оруулалтын явцад тодорхой харагдсан.

Иймд дараах байдлаар эдгээр давуу талыг нэгтгэв. Үүнд:

- Ашиглахад хялбар байдал: Бүх хэмжигдэж буй параметруудийг харуулах том суурилуулсан дэлгэцтэй тул ажиллагааны харагдах байдал, хяналт сайжирсан.
- Төхөөрөмжийн нэгтгэл: Ижил түвшний хамгаалалтын функцүүдийг хадгалсан хэдий ч төхөөрөмжийн тоо цөөрч, эзлэх зай багасаж, засвар үйлчилгээний хэрэгцээ буурсан.
- Төхөөрөмжийн танил байдал: Физик хэмжээс бага зэрэг өөрчлөгдсөнөөс шалтгаалан самбарт тодорхой засвар өөрчлөлт шаардлагатай болсон ч дохио дамжуулалт болон релений ерөнхий зохион байгуулалт ижил төстэй. Релений тохиргооны бүтэц болон программ хангамж бараг өөрчлөгдөөгүй тул өмнөх тохиргоог шинэ системд шилжүүлэхэд харьцангуй хялбар байсан.
- Сэргээлтийн автомат удирдлага: Релений чадлын коэффициентын тохируулагчийн удирдлагын функцийг тохируулж, түүний гэдрэг холбоосны гаралтыг одоо байгаа сэргээлттэй холбон, хөдөлгүүрийн ачааллаас үл хамааран оновчтой чадлын коэффициентыг тогтмол барихын тулд сэргээлтийн гаралтыг автоматаар тохируулдаг болгосон. Энэхүү зохицуулалт нь бүрэн автомат ажиллагаатай бөгөөд гар оролцоо шаарддаггүй.

3. Шинэчлэгдсэн системийн үр дүн

Шинэчлэгдсэн сэргээлтийн системийн хамгаалалтын функцүүд нь зөв ажиллаж байгааг баталгаажуулсны дараа сэргээлтийг автомат горимд шилжүүлж, реле дээр суурилсан чадлын коэффициентийн тохируулагчийн гэдрэг холбоосны дохиогоор сэргээлтийн гаралтыг удирддаг болгосон. Тээрмээс салангид, ачаалалгүй үед гар удирдлагын болон автомат чадлын коэффициентийн удирдлагын горимд авсан хэмжилтийн үр дүнгүүд бараг ижил байсан. Учир нь ачаалалгүй үед синхрон хөдөлгүүр маш бага зэрэгт шаарддаг бөгөөд бодитоор хэрэгтэй сэргээлтийн дохионы түвшин релений тохируулсан гаралтын доод хязгаараас бага байв. Релений чадлын коэффициентийн тохируулагчийн гаралтын хамгийн бага утгын хязгаарлалт нь 2 В гэж тохируулагдсан тул гэдрэг холбоосны дохио энэ утгаас доош буурах боломжгүй. Үүний улмаас сэргээлт шаардлагатай хэмжээнээс ялимгүй илүү өгөгдөж, хөдөлгүүр үндсэндээ түрүүлэх чадлын коэффициентийн төлөвт хэвээр ажилласан.

Дараа нь тээрмийг агааран муфт залгаж ачаалал өгөхөд чадлын коэффициентийн тохируулагчийн автомат удирдлага идэвхжмэгц реле сэргээлтийг 10 секундийн дотор автоматаар тохируулж, зорилгот $\cos \varphi = 1$ (түрүүлэх) утгад хүргэсэн. Фазын

диаграммаар идэвхт чадал давамгай, бага хэмжээний реактив бүрэлдэхүүнтэй байгааг баталгаажуулсан.

Чадлын коэффициентийн тохируулагчийн ажиллагааг шалгахын тулд зорилтот утгыг 0.99 lag болгон өөрчлөхөд сэргээлтийн хүчдэл, гүйдэл буурч, хөдөлгүүр хуурмаг чадал багасаж бага сэргээлттэй ажилласан. Харин $\cos \varphi = 0.93$ (түрүүлэх) болгож тохируулахад сэргээлт нэмэгдэж, хөдөлгүүр хуурмаг чадал нэмэгдэж хэт сэргээлттэй байгааг фазын диаграммууд харуулсан. Эдгээр туршилт нь гар удирдлагаас реле дээр суурилсан чадлын коэффициентийн автомат тохируулагч руу шилжилт амжилттай хэрэгжсэнийг баталсан.

Ачаалалтай горимд чадлын коэффициентийн тохируулагчийг нарийвчлан тохируулснаар гүйцэтгэлийг оновчтой болгосон. Зорилтот чадлын коэффициентийн тохируулагчийг 0.98 (түрүүлэх) болгож, хуурмаг чадлыг сүлжээнд нийлүүлэх нөхцөлийг бүрдүүлсэн. Дамжуулгын коэффициентийг хөдөлгүүрийн ажиллагаанд тааруулан 3 болгож, гаралтын савлагааг тогтворжуулсан. Хамгийн дээд хязгаарыг 10В хэвээр үлдээж, доод хязгаарыг 4 В болгон өөрчилснөөр ачаалал нэмэгдэхэд тохируулагч хурдан хариу үйлдэл үзүүлэх боломжтой болсон. Налуу функцийн өсөлтийн хугацааг 1 секунд, тогтворжуулах шүүлтүүрийг 5 цикл болгож тохируулснаар хурдан бөгөөд тогтвортой байх тохиргоог хангасан.

Дүгнэлт

Энэхүү судалгаанд уул уурхайн тээрмийн синхрон хөдөлгүүрийн сэргээлтийн автомат тохируулгын системийг микропроцессорт релед суурилуулан шинэчилж, чадлын коэффициентийн гэдрэг холбоостой автомат тохируулгын систем болгон шинэчлэв. Шинэчлэгдсэн систем нь хөдөлгүүрийн ачааллын өөрчлөлт болон хүчдэлийн хэлбэлзлийн үед сэргээлтийн гүйдлийг автоматаар тохируулж, чадлын коэффициентийг тогтмол түвшинд хадгалах боломжтой болохыг туршилтаар баталлаа.

Сэргээлтийн автомат тохируулгын системийг шинэчилснээр хөдөлгүүрийн хэт сэргээлтээс үүдэх нэмэлт халалт буурч, механик дамжуулгын ачаалал багассан бөгөөд тоног төхөөрөмжийн ашиглалтын хугацааг уртасгах нөхцөл бүрдсэн. Мөн гараар тохируулах ажиллагаанаас шалтгаалсан алдаа арилж, сул зогсолт буурснаар үйлдвэрийн найдвартай ажиллагаа болон цахилгаан эрчим хүчний үр ашиг дээшилсэн. Иймд реле хамгаалалттай сэргээлтийн автомат тохируулгын систем нь синхрон хөтлүүрийн ажиллагааг сайжруулах өндөр үр ашигтай шийдэл болохыг энэхүү судалгаа харууллаа.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ, Н ОМ ЗҮЙ

- [1] C. Crites, R. Muziol, and K. Apfelbeck, “Lessons Learned Commissioning A Relay-Based Synchronous Motor Excitation Control System: A Case Study,” *IEEE Industry Applications Magazine*, vol. 31, no. 4, pp. 37–46, 2025, doi:10.1109/MIAS.2025.3559775.
- [2] WEG group, *SPECIFICATION GUIDE ELECTRIC MOTORS*, vol. 1. 2023, pp. 1–68. [Online]. Available: www.weg.net
- [3] B.Venkataraman *et al.*, “Fundamentals Of A Motor Thermal Model And Its Applications In Motor Protection,” in *2005 Annual Pulp and Paper Industry Technical Conference*, Florida, USA: IEEE ; IEEE Operations Center [distributor], Jun. 2005, p. 299.
- [4] Интеллектуальные машины ООО, “МБВ006-User Manual,” in *1*, Inmash, Новосибирская, 2006, pp. 1–53.