

ELEKTR TAQSIMLASH TARMOQLARIDA AVTOMATLASHTIRILGAN MONITORING TIZIMLARINING ENERGIYA SAMARADORLIGIGA TA'SIRI

Ilmiy rahbar: Yo'lchiyev Mash'albek Erkinovich
Qurilish muhandisligi va Elektroenergetika fakulteti talabasi
Shavkatov Muhammadjon Umidjon o'gli
Tel : +998 94 954 55 04 Gmail: smuhammadjon709@gmail.com

Kirish

Elektr energetikasi har qanday mamlakat iqtisodiyotining muhim asosi hisoblanadi. Elektr energiyasini ishlab chiqarish, uzatish va taqsimlash jarayonlarida energiya isroflarini kamaytirish, tizimning ishonchliligi va samaradorligini oshirish dolzarb vazifalardan biridir. An'anaviy elektr taqsimlash tarmoqlari ko'pincha eski texnologiyalar va cheklangan monitoring imkoniyatlari tufayli yuqori energiya yo'qotishlariga duch keladi. Bu esa iqtisodiy va ekologik jihatdan salbiy oqibatlariga olib keladi. Shu sababli, zamonaviy avtomatlashtirilgan monitoring tizimlarini joriy etish orqali energiya samaradorligini oshirishga bo'lgan ehtiyoj tobora ortib bormoqda. Ushbu tezisda elektr taqsimlash tarmoqlarida avtomatlashtirilgan monitoring tizimlarining energiya samaradorligiga ta'siri atroflicha o'rganiladi. Xususan, SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) va ASKUE (Elektr energiyasini hisobga olish va nazorat qilishning avtomatlashtirilgan tizimi) kabi tizimlarning ishlash prinsiplari, ularning tarmoqdagi energiya isroflarini kamaytirishdagi roli, shuningdek, aqlli tarmoqlar (Smart Grid) konsepsiyasi doirasida bu tizimlarning ahamiyati tahlil qilinadi. Tadqiqot natijalari elektr taqsimlash tarmoqlarida energiya samaradorligini oshirish bo'yicha amaliy tavsiyalar berishga qaratilgan.

Asosiy Qism

1. Avtomatlashtirilgan Monitoring Tizimlarining Turlari va Vazifalari

Elektr taqsimlash tarmoqlarida energiya samaradorligini oshirishda bir qator avtomatlashtirilgan monitoring tizimlari muhim rol o'ynaydi. Ulardan asosiylari SCADA va ASKUE tizimlaridir.

SCADA Tizimlari

SCADA tizimlari elektr taqsimlash tarmoqlarida real vaqt rejimida nazorat va ma'lumotlarni yig'ish imkonini beradi. Bu tizimlar yordamida elektr stansiyalari, podstansiyalar va uzatish liniyalaridagi turli parametrlarni (tok, kuchlanish, quvvat, chastota va boshqalar) masofadan turib kuzatish va boshqarish mumkin [1]. SCADA tizimlarining asosiy vazifalari quyidagilardan iborat:

- **Real vaqt rejimida monitoring:** Tarmoqdagi barcha muhim nuqtalardan ma'lumotlarni uzluksiz yig'ish va tahlil qilish.
- **Avariyalarni tezkor aniqlash va bartaraf etish:** Nosozliklar yuzaga kelganda, ularni avtomatik ravishda aniqlash va operatorlarga xabar berish, bu esa avariyalarni bartaraf etish vaqtini sezilarli darajada qisqartiradi.
- **Yuklamani optimallashtirish:** Tarmoqdagi yuklamani doimiy ravishda kuzatib borish va uni optimal tarzda taqsimlash orqali ortiqcha yuklanish va energiya isroflarining oldini olish.
- **Tarmoq konfiguratsiyasini boshqarish:** Kerak bo'lganda, tarmoqning konfiguratsiyasini o'zgartirish, masalan, yuklamani bir liniyadan boshqasiga o'tkazish.

SCADA tizimlarining joriy etilishi texnik isroflarni kamaytirish, tarmoqning ishonchligini oshirish va ekspluatatsiya xarajatlarini qisqartirishga yordam beradi [2].

ASKUE Tizimlari

ASKUE (Elektr energiyasini hisobga olish va nazorat qilishning avtomatlashtirilgan tizimi) tizimlari elektr energiyasini iste'molchilarda aniq hisobga olish va nazorat qilishga mo'ljallangan. Bu tizimlar asosan tijorat isroflarini (o'g'irlik, hisoblagichlardagi xatoliklar) kamaytirishga qaratilgan bo'lib, energiya balansini aniq yuritish imkonini beradi [3]. ASKUE tizimlarining asosiy afzalliklari:

- **Aniq hisobga olish:** Har bir iste'molchining elektr energiyasi sarfini real vaqt rejimida yoki belgilangan intervallarda aniq o'lchash.
- **Tijorat isroflarini kamaytirish:** Noqonuniy ulanishlar va hisoblagichlarga aralashuvlarni aniqlash va oldini olish.
- **Hisob-kitoblarni avtomatlashtirish:** Iste'mol qilingan energiya uchun hisob-kitoblarni avtomatlashtirish, bu esa inson omilidan kelib chiqadigan xatoliklarni kamaytiradi.
- **Iste'mol tahlili:** Iste'molchilarning energiya sarfi tendensiyalarini tahlil qilish va energiya tejamkorligi bo'yicha tavsiyalar berish.

ASKUE tizimlari orqali elektr energiyasini hisobga olishning shaffofligi oshadi va bu orqali umumiy energiya samaradorligiga ijobiy ta'sir ko'rsatadi.

2. Avtomatlashtirilgan Monitoring Tizimlarining Energiya Samaradorligiga Ta'siri

Avtomatlashtirilgan monitoring tizimlarining elektr taqsimlash tarmoqlarida energiya samaradorligiga ta'siri bir necha yo'nalishda namoyon bo'ladi:

Texnik Isroflarni Kamaytirish

Elektr taqsimlash tarmoqlaridagi texnik isroflar, asosan, liniyalardagi qarshilik, transformatorlardagi yo‘qotishlar va kuchlanishning pasayishi natijasida yuzaga keladi. SCADA tizimlari yordamida tarmoqdagi kuchlanish va tok parametrlari doimiy nazorat qilinadi. Bu esa operatorlarga yuklamani optimal taqsimlash, kuchlanishni tartibga solish va tarmoq konfiguratsiyasini o‘zgartirish orqali texnik isroflarni minimallashtirish imkonini beradi. Masalan, yuklamani kamroq qarshilikka ega liniyalarga yo‘naltirish yoki kompensatsiyalovchi qurilmalarni samarali ishlatish orqali energiya yo‘qotishlarini kamaytirish mumkin [4].

Tijorat Isroflarini Kamaytirish

ASKUE tizimlari tijorat isroflarini, ya’ni elektr energiyasini o‘g‘irlash yoki hisoblagichlardagi noto‘g‘ri ko‘rsatkichlar tufayli yuzaga keladigan yo‘qotishlarni sezilarli darajada kamaytiradi. Real vaqt rejimida ma’lumotlarni yig‘ish va tahlil qilish orqali tizim noqonuniy ulanishlarni yoki hisoblagichlardagi anomaliyalarni tezda aniqlaydi. Bu esa energiya ta’minoti korxonalarining moliyaviy yo‘qotishlarini kamaytiradi va umumiy energiya balansini yaxshilaydi [3].

Tarmoqning Ishonchliligi va Barqarorligini Oshirish

Avtomatlashtirilgan monitoring tizimlari tarmoqdagi nosozliklarni tezda aniqlash va ularni bartaraf etish orqali elektr ta’minotining ishonchliligini oshiradi. Avariyaalarning oldini olish va ularni tezda tuzatish iste’molchilarga uzluksiz elektr energiyasi yetkazib berishni ta’minlaydi. Bu esa energiya ta’minotidagi uzilishlar natijasida yuzaga keladigan iqtisodiy yo‘qotishlarni kamaytiradi va umumiy energiya samaradorligiga bilvosita ijobiy ta’sir ko‘rsatadi.

Aqlli Tarmoqlar (Smart Grid) Konsepsiyasidagi O‘rni

Avtomatlashtirilgan monitoring tizimlari aqlli tarmoqlar (Smart Grid) konsepsiyasining ajralmas qismidir. Aqlli tarmoqlar raqamli texnologiyalar, ikki tomonlama aloqa va avtomatlashtirishni birlashtirib, elektr energiyasini yanada samarali, ishonchli va barqaror taqsimlashni ta’minlaydi. SCADA va ASKUE tizimlari aqlli tarmoqlarda quyidagi imkoniyatlarni yaratadi:

- **Qayta tiklanuvchi energiya manbalarini integratsiya qilish:** Quyosh va shamol energiyasi kabi o‘zgaruvchan manbalarni tarmoqqa samarali integratsiya qilish va ularning ta’sirini optimallashtirish.
- **Talabni boshqarish (Demand Response):** Iste’molchilarni energiya sarfini kamaytirishga undash orqali yuklama cho‘qqilarini tekislash va energiya tizimiga bo‘lgan bosimni kamaytirish.
- **Big Data va sun’iy intellekt (AI) asosida tahlil:** Yig‘ilgan katta hajmdagi ma’lumotlarni tahlil qilish orqali energiya iste’molini prognoz qilish,

tarmoqning optimal ishlash rejimlari va nosozliklarni oldindan bashorat qilish [5].

Bu imkoniyatlar elektr taqsimlash tarmoqlarining umumiy energiya samaradorligini sezilarli darajada oshirishga xizmat qiladi.

3. Elektr Energiya Oqimini Nazorat Qilish va Tahlil Qilish Usullari

Elektr energiya oqimini avtomatlashtirilgan monitoring tizimlari orqali nazorat qilish va tahlil qilish energiya samaradorligini oshirish va tarmoqning ishonchligini ta'minlashda muhim ahamiyatga ega. Bu jarayon bir qator usullar va algoritmlar yordamida amalga oshiriladi:

Yuklama Oqimi Tahlili (Load Flow Analysis)

Yuklama oqimi tahlili elektr energetika tizimining ma'lum bir ish rejimida kuchlanish, tok va quvvat taqsimotini aniqlashga xizmat qiladi. Bu tahlil yordamida tarmoqdagi energiya yo'qotishlari, kuchlanish darajalari va uskunalarning yuklanish darajasi baholanadi. Eng keng tarqalgan usullar quyidagilardir:

- **Nyuton-Rafson usuli (Newton-Raphson Method):** Bu iterativ usul tezkor konvergentsiyaga ega bo'lib, katta va murakkab tarmoqlarni tahlil qilishda samarali hisoblanadi. U tarmoqning noxiziqli tenglamalarini yechishga asoslangan [6].
- **Gauss-Zeydel usuli (Gauss-Seidel Method):** Bu usul nisbatan sodda bo'lib, kichikroq tarmoqlarni tahlil qilishda qo'llaniladi. Uning konvergentsiya tezligi Nyuton-Rafson usuliga nisbatan pastroq bo'lishi mumkin [6].

Yuklama oqimi tahlili tarmoqni rejalashtirish, kengaytirish va optimal boshqarishda asosiy vosita hisoblanadi.

Holatni Baholash (State Estimation)

Holatni baholash – bu tarmoqdagi o'lchov ma'lumotlaridan foydalanib, tizimning haqiqiy ish holatini (kuchlanish, tok, quvvat) aniqlash jarayoni. O'lchovlardagi xatoliklar va shovqinlar mavjud bo'lgan sharoitda, holatni baholash algoritmlari (masalan, og'irlikli eng kichik kvadratlar usuli) yordamida eng ishonchli natijalar olinadi. Bu jarayon SCADA tizimlaridan olingan ma'lumotlarni qayta ishlashda muhim rol o'ynaydi va tarmoqning real vaqt rejimida aniq modelini yaratishga imkon beradi [7].

Kutilmagan Vaziyatlar Tahlili (Contingency Analysis)

Kutilmagan vaziyatlar tahlili elektr taqsimlash tarmoqlarining ayrim elementlari (masalan, liniya yoki transformator) ishdan chiqqanda tizimning barqarorligi va ishonchligini baholashga qaratilgan. Bu tahlil yordamida potentsial xavfli vaziyatlar

oldindan aniqlanadi va ularning oldini olish yoki oqibatlarini yumshatish bo'yicha choralar ko'riladi. Avtomatlashtirilgan tizimlar kutilmagan vaziyatlarni tezkor tahlil qilib, operatorlarga tegishli qarorlar qabul qilishda yordam beradi.

Big Data va Sun'iy Intellekt (AI) Asosida Tahlil

Zamonaviy avtomatlashtirilgan monitoring tizimlari katta hajmdagi ma'lumotlarni (Big Data) yig'adi. Bu ma'lumotlarni sun'iy intellekt (AI) va mashinani o'rganish (Machine Learning) usullari yordamida tahlil qilish quyidagi imkoniyatlarni beradi:

- **Iste'molni prognoz qilish:** Tarixiy ma'lumotlar asosida kelajakdagi energiya iste'molini aniq prognoz qilish, bu esa resurslarni samarali rejalashtirishga yordam beradi.
- **Nosozliklarni oldindan bashorat qilish:** Uskunalaridagi anomaliyalarni aniqlash va ularning ishdan chiqishini oldindan bashorat qilish, bu esa profilaktik ta'mirlash ishlarini o'z vaqtida amalga oshirishga imkon beradi.
- **Optimal boshqaruv qarorlari:** Tarmoqning optimal ish rejimlarini aniqlash va boshqaruv qarorlarini avtomatlashtirish [5].

Nomuvozanat Holatini Nazorat Qilish

Elektr taqsimlash tarmoqlarida, ayniqsa 10/0,4 kV kuchlanishli tarmoqlarda fazalararo yuklamaning nomuvozanati energiya isroflariga va uskunalarining tezroq eskirishiga olib keladi. Avtomatlashtirilgan monitoring tizimlari har bir faza bo'yicha yuklamani doimiy nazorat qilib, nomuvozanat holatini aniqlaydi. Bu ma'lumotlar asosida yuklamani qayta taqsimlash yoki kompensatsiyalovchi qurilmalarni ishga tushirish orqali nomuvozanatni bartaraf etish mumkin.

Ushbu usullar birgalikda elektr energiya oqimini yanada samarali nazorat qilish va tahlil qilish imkonini beradi, bu esa umumiy energiya samaradorligini oshirishga xizmat qiladi.

Elektr Energiya Oqimini Nazorat Qilish va Tahlil Qilish Usullari

Elektr energiya oqimini avtomatlashtirilgan monitoring tizimlari orqali nazorat qilish va tahlil qilish energiya samaradorligini oshirish va tarmoqning ishonchligini ta'minlashda muhim ahamiyatga ega. Bu jarayon bir qator usullar va algoritmlar yordamida amalga oshiriladi:

Yuklama Oqimi Tahlili (Load Flow Analysis)

Yuklama oqimi tahlili elektr energetika tizimining ma'lum bir ish rejimida kuchlanish, tok va quvvat taqsimotini aniqlashga xizmat qiladi. Bu tahlil yordamida tarmoqdagi energiya yo'qotishlari, kuchlanish darajalari va uskunalarining yuklanish darajasi baholanadi. Eng keng tarqalgan usullar quyidagilardir:

- **Nyuton-Rafson usuli (Newton-Raphson Method):** Bu iterativ usul tezkor konvergensiya ega bo'lib, katta va murakkab tarmoqlarni tahlil qilishda samarali hisoblanadi. U tarmoqning noxiziq tenglamalarini yechishga asoslangan [6].
- **Gauss-Zeydel usuli (Gauss-Seidel Method):** Bu usul nisbatan sodda bo'lib, kichikroq tarmoqlarni tahlil qilishda qo'llaniladi. Uning konvergensiya tezligi Nyuton-Rafson usuliga nisbatan pastroq bo'lishi mumkin [6] Yuklama oqimi tahlili tarmoqni rejalashtirish, kengaytirish va optimal boshqarishda asosiy vosita hisoblanadi.

Holatni Baholash (State Estimation)

Holatni baholash – bu tarmoqdagi o'lchov ma'lumotlaridan foydalanib, tizimning haqiqiy ish holatini (kuchlanish, tok, quvvat) aniqlash jarayoni. O'lchovlardagi xatoliklar va shovqinlar mavjud bo'lgan sharoitda, holatni baholash algoritmlari (masalan, og'irlikli eng kichik kvadratlar usuli) yordamida eng ishonchli natijalar olinadi. Bu jarayon SCADA tizimlaridan olingan ma'lumotlarni qayta ishlashda muhim rol o'ynaydi va tarmoqning real vaqt rejimida aniq modelini yaratishga imkon beradi [7].

Kutilmagan Vaziyatlar Tahlili (Contingency Analysis)

Kutilmagan vaziyatlar tahlili elektr taqsimlash tarmoqlarining ayrim elementlari (masalan, liniya yoki transformator) ishdan chiqqanda tizimning barqarorligi va ishonchliligini baholashga qaratilgan. Bu tahlil yordamida potentsial xavfli vaziyatlar oldindan aniqlanadi va ularning oldini olish yoki oqibatlarini yumshatish bo'yicha choralar ko'riladi. Avtomatlashtirilgan tizimlar kutilmagan vaziyatlarni tezkor tahlil qilib, operatorlarga tegishli qarorlar qabul qilishda yordam beradi.

Big Data va Sun'iy Intellect (AI) Asosida Tahlil

Zamonaviy avtomatlashtirilgan monitoring tizimlari katta hajmdagi ma'lumotlarni (Big Data) yig'adi. Bu ma'lumotlarni sun'iy intellekt (AI) va mashinani o'rganish (Machine Learning) usullari yordamida tahlil qilish quyidagi imkoniyatlarni beradi:

- **Iste'molni prognoz qilish:** Tarixiy ma'lumotlar asosida kelajakdagi energiya iste'molini aniq prognoz qilish, bu esa resurslarni samarali rejalashtirishga yordam beradi.
- **Nosozliklarni oldindan bashorat qilish:** Uskunalardagi anomalialarni aniqlash va ularning ishdan chiqishini oldindan bashorat qilish, bu esa profilaktik ta'mirlash ishlarini o'z vaqtida amalga oshirishga imkon beradi.
- **Optimal boshqaruv qarorlari:** Tarmoqning optimal ish rejimlarini aniqlash va boshqaruv qarorlarini avtomatlashtirish [5].

Nomuvozanat Holatini Nazorat Qilish

Elektr taqsimlash tarmoqlarida, ayniqsa 10/0,4 kV kuchlanishli tarmoqlarda fazalararo yuklamaning nomuvozanati energiya isroflariga va uskunalarining tezroq eskirishiga olib keladi. Avtomatlashtirilgan monitoring tizimlari har bir faza bo'yicha yuklamani doimiy nazorat qilib, nomuvozanat holatini aniqlaydi. Bu ma'lumotlar asosida yuklamani qayta taqsimlash yoki kompensatsiyalovchi qurilmalarni ishga tushirish orqali nomuvozanatni bartaraf etish mumkin. Ushbu usullar birgalikda elektr energiya oqimini yanada samarali nazorat qilish va tahlil qilish imkonini beradi, bu esa umumiy energiya samaradorligini oshirishga xizmat qiladi.

Xulosa

Elektr taqsimlash tarmoqlarida avtomatlashtirilgan monitoring tizimlarini joriy etish energiya samaradorligini oshirishda muhim ahamiyatga ega. SCADA va ASKUE tizimlari texnik va tijorat isroflarini kamaytirish, tarmoqning ishonchliligi va barqarorligini oshirish orqali elektr energetikasi tizimining umumiy samaradorligiga ijobiy ta'sir ko'rsatadi. Ushbu tizimlar real vaqt rejimida ma'lumotlarni yig'ish, tahlil qilish va boshqarish imkoniyatini berib, avariylarni tezkor bartaraf etish, yuklamani optimallashtirish va noqonuniy iste'molning oldini olishga yordam beradi. Aqlli tarmoqlar (Smart Grid) konsepsiyasi doirasida avtomatlashtirilgan monitoring tizimlari qayta tiklanuvchi energiya manbalarini integratsiya qilish, talabni boshqarish va sun'iy intellekt asosida tahlil qilish orqali energiya samaradorligini yanada oshirishga xizmat qiladi. Natijada, elektr taqsimlash tarmoqlari yanada tejamkor, ishonchli va ekologik jihatdan barqaror bo'ladi. Bu esa mamlakat iqtisodiyotining rivojlanishi va aholining energiya ta'minoti xavfsizligini ta'minlashda muhim qadamdir.

Adabiyotlar Ro'yxati

- [1] Shoyimov Y.Yu. "Elektr energiya nazorati va hisobining avtomatlashtirilgan tizimi". O'quv qo'llanma. Toshkent, 2023.
- [2] Siddikov I.X. "Energiya nazorati va hisoblashni avtomatlashtirilgan tizimlar". O'quv qo'llanma. Toshkent, 2024.
- [3] Cyberleninka. "Elektr uzatish va taqsimlash tizimlarining ishonchliligini oshirishda an'anaviy va zamonaviy relelarni tadqiq qilish". <https://cyberleninka.ru/article/n/elektr-uzatish-va-taqsimlash-tizimlarining-ishonchliligini-oshirishda-an-anaviy-va-zamonaviy-relelarni-tadqiq-qilish>
- [4] Siemens. "Energy Efficiency in Low-Voltage Power Distribution". <https://www.siemens.com/en-us/content/power-distribution-energy-efficiency/>
- [5] ScienceDirect. "Impacts of digitalization on smart grids, renewable energy and energy efficiency: A review". <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S259017452400268X>

[6] Powerside. "Power Flow Analysis: Still a Critical Tool in Modern Electrical Engineering". <https://powerside.com/power-flow-analysis-a-still-critical-tool-in-modern-electrical-engineering/>

[7] The Rearch Point. "What is difference between load flow analysis and State Estimation". <https://therearchpoint.wordpress.com/2022/12/10/what-is-difference-between-load-flow-analysis-and-state-estimation/>