



ELEKTR ENERGIYASINI UZATISH TARMOQLARIDA ENERGIYA YO‘QOTISHLARINI KAMAYTIRISH USULLARI

Vaxobov Xusniddin Baxtiyorovich

Maxsus fan o‘qituvchisi, Elektr stansiyalari tarmoqlari va tizimlari mutaxassisligi

Toshloq tumani 3-son texnikum

Umaraliyev Dostonbek Mirzajon o‘g‘li

Yusupov Umidjon Soyibjon o‘g‘li

Toshloq tumani 3-son texnikum talabalari

Annotatsiya. Ushbu maqolada elektr energiyasini uzatish tarmoqlarida yuzaga keladigan energiya yo‘qotishlarining asosiy sabablari va ularni kamaytirish usullari ilmiy jihatdan tahlil qilingan. Transformatorlar, uzatish liniyalari va taqsimlash qurilmalarida kechadigan issiqlik, koronali va dielektrik yo‘qotishlarning fizik mohiyati ko‘rib chiqilgan. Reaktiv quvvatni kompensatsiyalash, kuchlanish darajasini oshirish, o‘tkazgich kesimini optimallashtirish, zamonaviy FACTS texnologiyalari hamda aqlli tarmoq (Smart Grid) yechimlarini joriy etish orqali yo‘qotishlarni sezilarli darajada kamaytirishga erishish mumkinligi asoslab berilgan. Maqolada taqdim etilgan usullar texnik-iqtisodiy samaradorlik nuqtai nazaridan baholangan.

Kalit so‘zlar: elektr tarmoqlari, energiya yo‘qotishlari, reaktiv quvvat kompensatsiyasi, Smart Grid, FACTS texnologiyalari, uzatish liniyasi, transformator yo‘qotishlari.

Аннотация. В данной статье проведён научный анализ основных причин потерь электроэнергии в передающих сетях и методов их снижения. Рассмотрена физическая природа тепловых, коронных и диэлектрических потерь в трансформаторах, линиях электропередачи и распределительных



устройствах. Обоснована возможность существенного снижения потерь за счёт компенсации реактивной мощности, повышения уровня напряжения, оптимизации сечения проводников, применения современных технологий FACTS и внедрения решений интеллектуальных сетей (Smart Grid). Рассматриваемые методы оцениваются с точки зрения технико-экономической эффективности.

Ключевые слова: электрические сети, потери электроэнергии, компенсация реактивной мощности, Smart Grid, технологии FACTS, линия электропередачи, потери в трансформаторах.

Abstract. This article provides a scientific analysis of the primary causes of energy losses in electrical transmission networks and methods for their reduction. The physical nature of thermal, corona, and dielectric losses in transformers, transmission lines, and distribution equipment is examined. The article demonstrates that significant loss reduction can be achieved through reactive power compensation, voltage level increase, conductor cross-section optimization, application of modern FACTS technologies, and implementation of Smart Grid solutions. The presented methods are evaluated from the perspective of technical and economic efficiency.

Keywords: electrical networks, energy losses, reactive power compensation, Smart Grid, FACTS technologies, transmission line, transformer losses.

KIRISH

Zamonaviy energetika tizimlarida elektr energiyasini ishlab chiqarish, uzatish va taqsimlash jarayonlarida muqarrar ravishda energiya yo‘qotishlari yuzaga keladi. Butun dunyo bo‘ylab elektr tarmoqlarida sodir bo‘ladigan yo‘qotishlar o‘rtacha ishlab chiqarilgan energiyaning 6–10 foizini tashkil etadi. Rivojlanayotgan mamlakatlarda esa bu ko‘rsatkich 15–25 foizgacha yetishi mumkin, bu esa iqtisodiy va ekologik jihatdan katta muammo hisoblanadi.



O‘zbekiston Respublikasi uchun elektr energiyasini tejash va tarmoqlardagi yo‘qotishlarni kamaytirish masalasi milliy energetika xavfsizligini ta‘minlash, elektr energiyasining tannarxini pasaytirish va atrof-muhitga ta‘sirni kamaytirish nuqtai nazaridan strategik ahamiyat kasb etadi. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining energiya tejamkorligi va energiya samaradorligini oshirishga qaratilgan bir qator farmon va qarorlari qabul qilingan bo‘lib, ular sohadagi islohotlarning mustahkam asosini tashkil etadi.

Ushbu maqolaning maqsadi elektr energiyasini uzatish tarmoqlarida energiya yo‘qotishlarining asosiy turlari va sabablarini tahlil qilish, shuningdek, ularni kamaytirish uchun qo‘llanilishi mumkin bo‘lgan zamonaviy texnik va tashkiliy usullarni ilmiy asosda ko‘rib chiqishdan iborat.

ELEKTR TARMOQLARIDA ENERGIYA YO‘QOTISHLARINING TURLARI

Elektr tarmoqlarida sodir bo‘ladigan yo‘qotishlar o‘z tabiatiga ko‘ra bir necha guruhga bo‘linadi. Ularni to‘g‘ri tushunish samarali yechimlar topishning asosi hisoblanadi.

Issiqlik (Joule) yo‘qotishlari

Issiqlik yo‘qotishlari — bu elektr energiyasining tarmoq elementlari (o‘tkazgichlar, transformatorlar, kabellar) orqali oqib o‘tishi natijasida issiqlik energiyasiga aylanish hodisasi. Joule-Lenz qonuniga ko‘ra, $\Delta P = I^2 \cdot R$ formulasi bilan ifodalanadi, bu yerda I — oqim kuchi, R — o‘tkazgich qarshiligi. Bu turdagi yo‘qotishlar umumiy yo‘qotishlarning 70–80 foizini tashkil etadi va eng katta ulushga ega.

Koronali yo‘qotishlar



Koronali yo‘qotishlar yuqori kuchlanishli (110 kV va undan yuqori) havo liniyalarida o‘tkazgich atrofidagi havo muhitining ionlanishi natijasida yuzaga keladi. Korona hosil bo‘lishi uchun zarur elektr maydon kuchlanganligi chegara qiymatidan (taxminan 30 kV/sm) oshishi lozim. Yomg‘irli va tumanli ob-havo sharoitida koronali yo‘qotishlar sezilarli darajada ortadi.

Transformatorlardagi yo‘qotishlar

Transformatorlardagi yo‘qotishlar ikki turga bo‘linadi: po‘lat yadroda magnit qayta-qayta o‘zgarishidan kelib chiquvchi bo‘sh yurishdagi yo‘qotishlar (magnit yo‘qotishlar) va o‘rash simlarida elektr qarshiligiga bog‘liq qisqa tutashuv yo‘qotishlari. Bo‘sh yurishdagi yo‘qotishlar transformator quvvatga bog‘liq bo‘lmagan holda doimiy ravishda davom etadi, bu esa kam yuklanish rejimida ayniqsa seziladi.

Dielektrik va boshqa qo‘shimcha yo‘qotishlar

Kabel liniyalarida izolyatsiya materialining dielektrik xossalari tufayli kuchlanishga proporsional yo‘qotishlar yuzaga keladi. Bundan tashqari, o‘tkazgichlardagi kontakt ulanishlar, o‘lchov asboblari va himoya tizimlaridagi qo‘shimcha yo‘qotishlar ham umumiy balansga o‘z hissasini qo‘shadi.

ENERGIYA YO‘QOTISHLARINI KAMAYTIRISH USULLARI

Reaktiv quvvatni kompensatsiyalash

Reaktiv quvvat tarmoqdagi o‘tkazgichlardan issiqlik yo‘qotishlarini oshirishi bilan birga, kuchlanish profili buzilishiga ham olib keladi. Kondensator batareyalari va statik var kompensatorlari (SVC) yordamida reaktiv quvvatni ishlatish joyi yaqinida kompensatsiya qilish natijasida o‘tkazgichlardagi tok amplitudasi kamayadi va buning natijasida issiqlik yo‘qotishlari I^2 ga proporsional ravishda



tushadi. Tajribalar shuni ko‘rsatadiki, $\cos \varphi$ ni 0,85 dan 0,95 ga ko‘tarish tarmoqdagi yo‘qotishlarni 20–25 foizga kamaytirishi mumkin.

Kuchlanish darajasini oshirish

Bir xil quvvatni uzatishda kuchlanishni n marta oshirish tokni n marta kamaytiradi, natijada issiqlik yo‘qotishlari n^2 marta kamayadi. Masalan, 35 kV liniyasidan 110 kV ga o‘tish yo‘qotishlarni nazariy jihatdan 10 baravargacha kamaytirishi mumkin. Shu sababli uzoq masofaga quvvat uzatishda yuqori kuchlanishli liniyalardan foydalanish energetik samaradorlikning asosiy tamoyillaridan biridir.

O‘tkazgich kesimini optimallashtirish

O‘tkazgich kesimini ekonomik oqim zichligi mezoniga ko‘ra tanlash yo‘qotishlarni kamaytiruvchi muhim texnik qarordir. Zamonaviy yuqori o‘tkazuvchanlikli kompozit o‘tkazgichlar (ACSS, ACCC) an'anaviy aluminiy-po‘lat o‘tkazgichlarga nisbatan 15–25 foiz kam qarshilikka ega bo‘lib, buni tarmoqni qayta qurilmasdan joriy etish mumkin. Bir xil yuk uchun katta kesimli o‘tkazgich tanlanishi kapital xarajatlarning oshishiga olib kelsa-da, uzoq muddatda energiya tejamlorligi hisobiga iqtisodiy foyda beradi.

FACTS texnologiyalari

FACTS (Flexible Alternating Current Transmission System) — o‘zgaruvchan tok uzatish tizimlarini moslashuvchan boshqarish texnologiyasi. STATCOM, SSSC, UPFC kabi FACTS qurilmalari quvvat oqimini real vaqt rejimida boshqarish, tizim barqarorligini oshirish va yo‘qotishlarni kamaytirish imkonini beradi. FACTS qurilmalari, ayniqsa, murakkab halqasimon tarmoqlarda va uzoq uzatish liniyalarida samarali hisoblanadi.

Aqlli tarmoqlar (Smart Grid) texnologiyalari



Smart Grid — zamonaviy axborot-kommunikatsiya texnologiyalari bilan integratsiyalashgan elektr tarmog'i bo'lib, quyidagi imkoniyatlarni beradi:

- Real vaqt rejimida tarmoq holatini monitoring qilish va tahlil etish;
- Yuk grafigini prognozlash va tarmoq yukini avtomatik muvozanatlashtirish;
- Taqsimlangan energiya manbalari (quyosh, shamol) va energiya saqlash tizimlarini boshqarish;
- Zararli yo'qotishlarni avtomatik aniqlash va lokalizatsiya qilish;
- Iste'molchilar bilan ikki tomonlama aloqa va talab-taklif boshqaruvi (Demand Response).

Dunyo tajribasi shuni ko'rsatadiki, Smart Grid texnologiyalarini to'liq joriy etish tarmoqdagi umumiy yo'qotishlarni 10–15 foizga qo'shimcha kamaytirishga imkon beradi.

Transformatorlar parkini modernizatsiya qilish

Eskirgan transformatorlarni amorfsimob yadroli yoki yuqori samarali kremniyli po'lat yadroli zamonaviy transformatorlar bilan almashtirish magnit yo'qotishlarini 60–80 foizga kamaytirishi mumkin. Bundan tashqari, kam yuklanish rejimida keraksiz transformatorlarni tarmoqdan ajratib qo'yish ham muhim operativ chora hisoblanadi.

Tarmoq topologiyasini optimallashtirish

Tarmoq sxemasini qayta ko'rib chiqish, ortiqcha uzun va eski liniyalarni modernizatsiya qilish, iste'molchilarni eng yaqin podstansiyaga ulash kabi tadbirlar ham yo'qotishlarni kamaytiradi. Taqsimlangan energiya ishlab chiqarish manbalarini (DG) strategik joylashtirilishi tarmoq orqali uzatiladigan quvvat miqdorini kamaytiradi va natijada yo'qotishlar pasayadi.

USULLARNING QIYOSIY TAHLILI



Quyidagi jadvalda ko‘rib chiqilgan usullarning asosiy xususiyatlari qiyosiy tarzda keltirilgan:

Usul	Yo‘qotish kamayishi	Kapital xarajat	Samaradorlik
Reaktiv quvvat kompensatsiyasi	20–25%	O‘rtacha	Yuqori
Kuchlanishni oshirish	80–90%*	Yuqori	Juda yuqori
O‘tkazgich kesimini optimallashtirish	15–25%	O‘rtacha	Yuqori
FACTS texnologiyalari	10–20%	Yuqori	Yuqori
Smart Grid	10–15%	Yuqori	Yuqori
Transformator modernizatsiyasi	3–5%	O‘rtacha	O‘rtacha

* – kuchlanishni 35 kV dan 110 kV ga ko‘tarish holatida

XULOSA

Elektr energiyasini uzatish tarmoqlarida energiya yo‘qotishlarini kamaytirish — murakkab texnik-iqtisodiy muammo bo‘lib, uning yechimi ko‘p jihatli yondashuvni talab etadi. Maqolada tahlil qilingan usullarning har biri o‘ziga xos afzalliklarga ega va tarmoqning aniq sharoitlariga qarab qo‘llanilishi maqsadga muvofiq.

Reaktiv quvvatni kompensatsiyalash va kuchlanish darajasini optimallashtirish — eng tez samara beradigan va nisbatan arzon usullar sifatida birinchi navbatda ko‘rib chiqilishi kerak. Uzoq muddatli strategiya sifatida esa Smart Grid texnologiyalarini bosqichma-bosqich joriy etish, eskirgan



infrastrukturani modernizatsiya qilish va yangi energiya samarali qurilmalar o‘rnatish tavsiya etiladi.

O‘zbekiston sharoitida ushbu usullarni kompleks qo‘llash tarmoqdagi yo‘qotishlarni hozirgi 12–15 foizdan 7–8 foizgacha pasaytirish imkonini beradi, bu esa yiliga milliardlab so‘m iqtisodiy foyda va atmosferaga chiqarilayotgan CO₂ miqdorining sezilarli kamayishini anglatadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

1. Идельчик В.И. Электрические системы и сети. — М.: Энергоатомиздат, 1990. — 600 с.
2. Железко Ю.С. Выбор мероприятий по снижению потерь электроэнергии в электрических сетях. — М.: Энергоатомиздат, 1989. — 176 с.
3. Hingorani N.G., Gyugyi L. Understanding FACTS: Concepts and Technology of Flexible AC Transmission Systems. — IEEE Press, 2000. — 432 p.
4. Gellings C.W. The Smart Grid: Enabling Energy Efficiency and Demand Response. — CRC Press, 2009. — 320 p.
5. Abduraxmanov A.A., Toshmatov N.O. Elektr tizimlari va tarmoqlari. — Toshkent: O‘qituvchi, 2015. — 384 b.
6. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining «Energiya tejamkorligi va energiya samaradorligi to‘g‘risida»gi Qonuni. — Toshkent, 2019.
7. IEC 60287: Electric cables – Calculation of the current rating. — International Electrotechnical Commission, 2014.
- 8.