

## **The Role of Transformers in Electric Power Engineering**

**Maxamadov Muhammadali Shoyatjon o'g'li**

Student Andijan State Technical Institute

### **Abstract**

This article analyzes the importance of transformers in the electric power system, their operating principles, and their role in the transmission and distribution of electrical energy. The operation of transformers based on electromagnetic induction, their functions of increasing and decreasing voltage, and their galvanic isolation properties are discussed. The main types of transformers, including power transformers, distribution transformers, and instrument transformers, as well as their fields of application, are also examined. The article provides a detailed explanation of transformer efficiency, energy losses, cooling systems, and the impact of insulation conditions on operational reliability. Furthermore, modern energy-saving technologies, methods for reducing magnetic core losses, and innovative solutions for improving efficiency are analyzed. The research findings demonstrate the significant role of transformers in ensuring energy efficiency and maintaining uninterrupted power supply within electric power systems.

**Keywords:** transformer, electric power engineering, electromagnetic induction, power transformer, distribution transformer, instrument transformer, voltage transformation, efficiency, power losses, magnetic core, copper losses, cooling system, galvanic isolation, power transmission, energy efficiency.

**Transformatorlarning elektroenergetikada tutgan o'rni**

**Andijon davlat texnika instituti talabasi: Maxamadov Muhammadali**

**Shoyatjon o'g'li**

**Annotatsiya:** Mazkur maqolada transformatorlarning elektroenergetika tizimidagi ahamiyati, ishlash prinsipi va elektr energiyasini uzatish hamda taqsimlashdagi roli

tahlil qilingan. Transformatorlarning elektromagnit induksiya asosida ishlashi, kuchlanishni oshirish va pasaytirish funksiyalari hamda galvanik ajratish xususiyatlari yoritilgan. Shuningdek, kuch transformatorlari, taqsimlovchi va o'lchov transformatorlarining asosiy turlari hamda ularning qo'llanilish sohalari ko'rib chiqilgan. Maqolada transformatorlarning foydali ish koeffitsiyenti, energiya yo'qotishlari, sovutish tizimlari va izolyatsiya holatining ekspluatatsion ishonchlikka ta'siri batafsil bayon etilgan. Bundan tashqari, zamonaviy energiya tejankor texnologiyalar, magnit o'zak yo'qotishlarini kamaytirish usullari va samaradorlikni oshirish bo'yicha innovatsion yechimlar tahlil qilingan. Tadqiqot natijalari transformatorlarning elektr energetika tizimida energiya samaradorligini ta'minlash va uzluksiz elektr ta'minotini tashkil etishdagi muhim o'rni ko'rsatadi.

**Kalit so'zlar:** transformator, elektroenergetika, elektromagnit induksiya, kuch transformatori, taqsimlovchi transformator, o'lchov transformatori, kuchlanish transformatsiyasi, foydali ish koeffitsiyenti, quvvat yo'qotishlari, magnit o'zak, mis yo'qotishlari, sovutish tizimi, galvanik izolatsiya, elektr energiyasini uzatish, energiya samaradorligi.

Transformatorlar — o'zgaruvchan tok energiyasini bir zanjirdan ikkinchisiga uzatishda kuchlanish darajasini oshirish yoki pasaytirishga xizmat qiluvchi stasionar elektromagnit qurilmalardir. Ular umumiy magnit magnit o'zakga o'ralgan, elektr jihatdan ajratilgan birlamchi va ikkilamchi chulg'amlardan tashkil topgan bo'lib, elektromagnit induksiya qonuni asosida ishlaydi.

1885-yilda ixtiro qilingan transformatorlar bugungi kunda elektr energiyasini ishlab chiqarish, uzatish va taqsimlash tizimlarining ajralmas bo'lagiga aylangan. Elektr stansiyadan to yakuniy iste'molchigacha energiya bir necha bosqichli transformatsiya orqali yetkaziladi.

### **Ideal transformatorning ishlash prinsipi**

Bir fazali ideal transformatorlarda:

- Birlamchi chulg'amga  $I_1$  toki uzatilganda, magnit magnit o'zakda o'zgaruvchan magnit oqim  $\Phi$  hosil bo'ladi.
- Bu magnit oqim ikkilamchi chulg'amni kesib o'tib, unda elektromagnit kuch (EMK) hosil qiladi.

**Faradey qonuniga** muvofiq:

Ideal transformatorning ishlash prinsipi

Bir fazali ideal transformatorlarda:

$U_1/U_2 = N_1/N_2$  (kuchlanishlar chulg'am o'ramlar soniga proporsional)

$I_1/I_2 = N_2/N_1$  (toklar teskarisiga proporsional)

bu yerda  $N_1$  va  $N_2$  – mos ravishda birlamchi va ikkilamchi chulg'amlarning o'ramlar soni,  $I_1$  va  $I_2$  – ulardagi toklar,  $U_1$  va  $U_2$  – ulardagi kuchlanishlar. Ideal holda transformator quvvat yo'qotishlarsiz ishlaydi, ya'ni birlamchi chulg'am kiritish quvvati  $P_1$  ikkilamchi chulg'am chiqish quvvati  $P$  ga teng ( $P_1 = P$ ). Amalda esa kichik yo'qotishlar mavjud bo'lib, ular keyingi bo'limlarda ko'rib chiqiladi. Transformator faqat o'zgaruvchan tokda ishlashi muhim jihatdir – o'zgarmas tok uzatilganda magnit oqim doimiy bo'lib, ikkilamchi chulg'amda EMK hosil bo'lmaydi.

Transformatorlar kuchlanishni oshiruvchi yoki pasaytiruvchi rejimda ishlashi mumkin. Masalan, agar  $N_2 > N_1$  bo'lsa (ikkilamchi o'ram birlamchidan ko'p), unda ikkilamchida kuchlanish oshadi – bunday qurilma bosqich oshiruvchi (step-up) transformator deyiladi; aksincha,  $N_2 < N_1$  bo'lsa kuchlanish pasayadi – bosqich pasaytiruvchi (step-down) transformator. Transformatorlar galvanik ajratish vazifasini ham bajaradi, ya'ni bir zanjirdagi tokni ikkinchi zanjirga mexanik ulanishsiz uzatadi (bu xavfsizlik va elektromagnit moslashuv uchun muhim). Transformatorlarning ishlash prinsipiga ko'ra, ular faqat magnit maydon vositachiligida energiya almashinuvi qiladi,

birlamchi va ikkilamchi zanjirlar elektr jihatdan tutashmagan (galvanik izolatsiya effekti).

### **Elektroenergiya uzatish va taqsimlashda transformatorlarning roli**

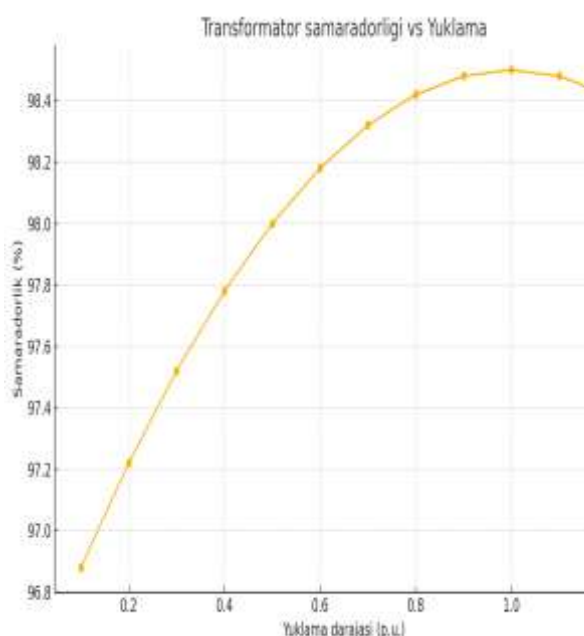
$P_{yo'q} = I^2 \cdot R$  ga proporsional (bu yerda  $I$  – sim orqali oqayotgan tok,  $R$  – sim qarshiligi). Shu sabab, tokni kamaytirish orqali uzatishdagi energiya yo‘qotishlarini keskin kamaytirish mumkin. Transformatorlar aynan shu maqsadda elektr stansiyalarda generatorda hosil bo‘lgan nisbatan past kuchlanishni juda yuqori kuchlanishgacha oshirib beradi – natijada quvvat bir xil bo‘lgan holda tok bir necha barobarga kamayadi va uzoq masofalarga uzatishda  $I^2R$  yo‘qotishlar keskin tushadi. Masalan, generator chiqishida 10–20 kV atrofidagi kuchlanish transformator orqali 110 kV, 220 kV yoki 500 kV gacha oshiriladi, bu esa o‘nlab-sotiblab kilometr masofaga energiya uzatishga imkon yaratadi. Manzilga yetkazilgach, yana transformator yordamida kuchlanish bosqichma-bosqich pasaytirib boriladi: magistral yuqori kuchlanish tarmoqlaridan mahalliy taqsimlovchi tarmoqlarga (masalan, 110 kV dan 10 kV ga), undan esa iste’molchilarning past kuchlanish tarmoqlariga (masalan, 10 kV dan 0,4 kV ga) tushiriladi. Shu tariqa, transformatorlar uzatish va taqsimlash jarayonini bog‘lovchi zvenolar bo‘lib, energetika tizimida kuchlanish darajalarini o‘zgartiruvchi “bosqichlar”ni hosil qiladi.

### **Elektroenergetika tizimidagi transformator turlari**

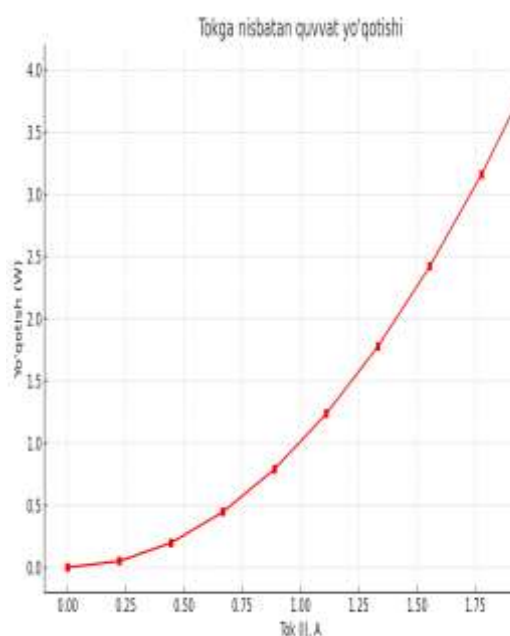
Elektr energetikada qo‘llaniladigan transformatorlar vazifasi va parametrlari bo‘yicha bir necha asosiy turlarga bo‘linadi. Kuch transformatorlari (yoki quvvati yuqori bo‘lgan quvvat transformatorlari) elektr stansiyalar, podstansiyalar va magistral tarmoqlarda katta tok va kuchlanishlarni o‘zgartiradi. Taqsimlovchi transformatorlar esa iste’molchilarga yaqin nuqtalarda (mahalla transformator punktlari va boshqalar) oxirgi bosqichda kuchlanishni pasaytirib beruvchi nisbatan kichik quvvatli qurilmalardir. Shuningdek, o‘lchov transformatorlari (ayniqsa, tok transformatorlari va kuchlanish

transformatorlari) yuqori kuchlanishli va yuqori tokli zanjirlarda o‘lchov asboblari va rele himoyasini ulash uchun tok va kuchlanishni standart qiymatlarga kamaytirish uchun ishlatiladi . Konstruktsion tomondan transformatorlar moyli (suyuq dielektrik – transformator moyi bilan to‘ldirilgan) va quruq (suyuqsiz, havo yoki boshqa qattiq dielektrikli) turlarga ham ajratiladi . 1-ilovada elektroenergetika tizimida uchraydigan asosiy transformator turlarining xususiyatlari keltirilgan (*1-Ilova.*).

### **Transformatorlarning samaradorligi va yo‘qotishlari**



**1.1-grafik. Yuklama darajasiga nisbatan transformator samaradorligi.**



**1.2-grafik. Tok ortishi bilan quvvat yo‘qotishlarining oshishi.**

Transformator samaradorligi (foydali ish koeffitsiyenti – FIK) uning yuklama darajasiga bog‘liq holda o‘zgaradi. Odatda yirik kuch transformatorlari 60–80% yuk oralig‘ida maksimal FIK ko‘rsatadi va to‘liq quvvatda ishlaganda samaradorlik 99% yoki undan yuqori bo‘ladi. Bunda energiya yo‘qotishlar minimal bo‘lib, katta quvvatlar uzatishda iqtisodiy jihatdan nihoyatda muhim hisoblanadi.

Taqsimlovchi transformatorlar esa quvvati nisbatan kichikroq bo'lib, ularning yuklama diagrammasi kun davomida o'zgaruvchan bo'ladi. Shunga ko'ra, ular uchun FIK odatda 95–99% oralig'ida bo'ladi, ko'p hollarda esa 98–99% darajasida.

Masalan, 100 MVA quvvatli transformator 99% samaradorlikda ishlaganda, taxminan 1 MVA energiya issiqlikka aylanib yo'qoladi. Bu yo'qotish hatto bir necha ko'p kvartirali uylarning umumiy quvvatiga teng bo'lishi mumkin, shuning uchun ham yirik transformatorlarda energiya yo'qotishlarni minimallashtirish alohida texnik va iqtisodiy ahamiyatga ega.

Transformatorlar ishlash jarayonida issiqlik yo'qotishlari natijasida qiziydi. Bu qizish jarayoni izolyatsiya materiallari va transformator moyining qarishiga olib keladi. Harorat har 6–10 °C ga oshganda izolyatsiyaning xizmat muddati taxminan ikki baravarga kamayadi (Arrenius qonuniga muvofiq). Shu sababli sovutish tizimi transformatorning ishonchli va uzoq muddat ishlashida hal qiluvchi ahamiyatga ega.

Kichik quvvatli transformatorlar: Quruq (tabiiy havo aylanishi orqali), ONAN – tabiiy moy va havo konveksiyasi.

Yirik kuch transformatorlari: ONAF – tabiiy moy, majburiy havo sovutish (ventilyatorlar orqali), OFAF – majburiy moy va havo aylanishi (nasos va ventilyatorlar), Radiatorlar, suvli issiqlik almashinish va boshqa ilg'or usullar.

Sovutish tizimi haroratni 95 °C dan past darajada saqlashga xizmat qiladi, bu izolyatsiya qarishining oldini olish va transformatorni ishonchli ekspluatatsiya qilish uchun muhimdir. Transformatorlar texnik pasportida ularning yo'qotishlari va samaradorlik ko'rsatkichlari alohida bandlarda keltiriladi. Masalan, bo'sh yurish yo'qotishlari (transformator ikkilamchi yonlama uzilgan holda, faqat birlamchi kuchlanish ostida o'lchanadi) – bu magnit o'zakdagi doimiy yo'qotishlardir, kVt (kilovatt)larda ifodalanadi. Yuk ostidagi yo'qotishlar (nominal tok oqib turgan holatda o'lchanadi) – bu asosan misdagi

I<sup>2</sup>·R yo‘qotishlari bo‘lib, ular ham kVt bilan ko‘rsatiladi. Shu qiymatlarga asoslanib transformatorning istalgan yuklamadagi taxminiy samaradorligini hisoblash mumkin. Zamonaviy energiya tejamkor transformatorlarda yo‘qotishlarni kamaytirish muhim dizayn maqsadi bo‘lib, bunda magnit materiallarni takomillashtirish (masalan, amorf metall magnit o‘zak ishlatish orqali bo‘sh yurishdagi yo‘qotishni 60–70% kamaytirish) va o‘tkazgich materialni yaxshilash (masalan, yuqori harorat supero‘tkazgich simlardan foydalanish – hozircha eksperimental) kabi yechimlar qo‘llanilmoqda.

**Foydalangan adabiyotlar:**

- 1.O‘zbekiston Respublikasi Energetika vazirligining 2021–2025-yillarga mo‘ljallangan “Energiya samaradorligini oshirish dasturi”.
- 2.“O‘zbekiston Milliy elektr tarmoqlari” AJ statistik byulletenlari (2023–2024-yillar bo‘yicha transformatorlar va podstansiyalar holati to‘g‘risidagi rasmiy axborot).
- 3.“Hududiy elektr tarmoqlari” AJ Andijon filiali (Xonobod shahar elektr tarmoqlari)ning 2024-yil holatiga oid texnik hisobotlari.
- 4.Michaelides, E. E. (2022). *Alternative Energy Sources*. Springer.
- 5.IEEE Standard C57.12.00-2023 – General Requirements for Liquid-Immersed Distribution, Power, and Regulating Transformers.
- 6.IEC 60076-1:2022 – Power transformers – Part 1: General.
- 7.IEC 60076-20:2017 – Energy Efficiency Requirements for Power Transformers.