

УДК 621.314

## РЕЖИМЫ РАБОТЫ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ И ИХ АНАЛИЗ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

*Абдурахмонов Султанбек Уктамович*  
*Старший преподаватель Андижанского государственного*  
*технического института*

*Аннотация.* В данной статье рассмотрены основные режимы работы силовых трансформаторов, включая холостой ход, нагрузочный режим, короткое замыкание и аварийные режимы. Проведен анализ энергетических характеристик трансформаторов, потерь мощности и коэффициента полезного действия. Особое внимание уделено вопросам повышения эффективности эксплуатации трансформаторов в современных энергетических системах.

*Ключевые слова:* трансформатор, холостой ход, короткое замыкание, нагрузка, КПД, потери энергии, электрическая сеть.

UDC 621.314

## OPERATING MODES OF POWER TRANSFORMERS AND THEIR ANALYSIS IN POWER SYSTEMS

*Abdurakhmonov Sultanbek Uktamovich*  
*Senior Lecturer, Andijan State Technical Institute*

*Abstract.* This article examines the main operating modes of power transformers, including no-load operation, load conditions, short-circuit режим, and emergency modes. An analysis of the energy characteristics of transformers, power losses, and efficiency is carried out. Particular attention is paid to improving the efficiency of transformer operation in modern power systems.

*Keywords:* transformer, no-load operation, short circuit, load, efficiency, power losses, electrical network.

### Введение

Силовые трансформаторы являются неотъемлемой частью электрических энергетических систем и играют ключевую роль в передаче и распределении электроэнергии. Их надежная и эффективная работа обеспечивает стабильность энергоснабжения промышленных и бытовых потребителей. В процессе эксплуатации трансформаторы работают в различных режимах, которые существенно влияют на их технические характеристики, энергетические показатели и срок службы. Анализ этих режимов позволяет оптимизировать эксплуатационные параметры и повысить энергетическую эффективность системы в целом.

## **1. Общая характеристика трансформаторов**

Трансформатор представляет собой статическое электромагнитное устройство, предназначенное для преобразования уровня напряжения переменного тока при неизменной частоте.

Основными элементами трансформатора являются:

магнитопровод (сердечник),  
первичная и вторичная обмотки,  
изоляционная система,  
охлаждающая система.

Основные параметры трансформатора:

номинальная мощность,  
напряжение,  
коэффициент трансформации,  
потери мощности.

## **2. Режим холостого хода**

Режим холостого хода возникает при подключении трансформатора к сети при разомкнутой вторичной обмотке.

Основные особенности:

ток холостого хода составляет 2–10% от номинального,  
активная мощность расходуется на потери в стали,  
возникают магнитные потери (гистерезис и вихревые токи).

Потери холостого хода:

потери на гистерезис,  
потери на вихревые токи.

Данный режим используется для определения параметров магнитной цепи трансформатора.

## **3. Нагрузочный режим**

Нагрузочный режим является основным режимом работы трансформатора, при котором вторичная обмотка подключена к нагрузке.

Характеристики:

ток пропорционален нагрузке,  
возникают потери в меди обмоток,  
изменяется напряжение на выходе.

Потери в нагрузочном режиме:

активные потери ( $I^2R$ ),  
дополнительные потери (рассеяние потока).

Коэффициент полезного действия (КПД):

КПД трансформатора определяется как отношение полезной мощности к полной:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100\%$$

Где:

$P_1$  — входная мощность,

$P_2$  — выходная мощность.

Максимальный КПД достигается при равенстве потерь в меди и стали.

#### **4. Режим короткого замыкания**

Режим короткого замыкания возникает при замыкании вторичной обмотки.

Особенности:

напряжение на первичной стороне снижено,

ток достигает номинального значения,

основные потери — медные.

Значение режима:

используется для определения сопротивления обмоток,

позволяет оценить потери короткого замыкания.

Этот режим является опасным при аварийной эксплуатации.

#### **5. Аварийные режимы работы**

Аварийные режимы включают:

- перегрузку,
- короткое замыкание,
- перегрев,
- нарушение изоляции.

Причины:

- превышение нагрузки,
- повреждение изоляции,
- нестабильность сети.

Последствия:

- снижение срока службы,
- выход трансформатора из строя,
- аварии в энергосистеме.

Для предотвращения аварий используются:

- релейная защита,
- автоматическое отключение,
  - системы охлаждения.

#### **6. Потери энергии в трансформаторе**

Потери делятся на:

Постоянные (в стали) — не зависят от нагрузки

Переменные (в меди) — зависят от тока нагрузки

Общие потери:

$$P_{\text{общ}} = P_{\text{ст}} + P_{\text{мед}}$$

Снижение потерь достигается за счет:

- улучшения материалов,
  - оптимизации конструкции,
  - применения современных технологий.

## **7. Пути повышения эффективности работы трансформаторов**

Для повышения эффективности применяются:

использование аморфных сталей,

улучшение системы охлаждения,

оптимизация режимов нагрузки,

внедрение автоматизированных систем управления.

Особое значение имеет:

контроль напряжения,

балансировка нагрузки,

снижение гармонических искажений.

### **Заключение**

В данной работе рассмотрены основные режимы работы трансформаторов и их влияние на энергетические характеристики. Анализ показал, что эффективность работы трансформатора во многом зависит от правильного выбора режима эксплуатации.

### **Список литературы**

1. International Energy Agency (IEA). Energy Efficiency 2023 Report. Paris, 2023.
2. World Bank Group. Uzbekistan Power Sector Reform and Modernization Project Documents. Washington DC, 2022.
3. European Commission. Smart Grids and Energy Storage in the European Union. Brussels, 2021.
4. ADB (Asian Development Bank). Power Distribution Modernization in Central Asia. Manila, 2022.
5. Gonen T. Electric Power Distribution Engineering. 3rd Edition. CRC Press, 2014.
6. Ackermann T. Wind Power in Power Systems and Smart Grid Integration. Wiley, 2018.