ЧАСТНОЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ «СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ КОЛЛЕДЖ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ»

Лекция 7. Трансформаторы

7.1. Принцип действия трансформатора

Трансформатор — статический электромагнитный аппарат, преобразующий переменное напряжение одного уровня в напряжение другого уровня при неизменной частоте. Работа основана на законе электромагнитной индукции.

Основные элементы: магнитопровод (из электротехнической стали), первичная обмотка (подключается к сети), вторичная обмотка (подключается к нагрузке). Переменный ток в первичной обмотке создаёт переменный магнитный поток в магнитопроводе, который наводит ЭДС во вторичной обмотке.

7.2. Коэффициент трансформации

Коэффициент трансформации — отношение числа витков (или напряжений) первичной обмотки к вторичной:

$$k = w_1 / w_2 = U_1 / U_2 \approx I_2 / I_1$$

- k > 1 — понижающий трансформатор
- k < 1 — повышающий трансформатор

Токи обратно пропорциональны числу витков: $I_1 \times w_1 \approx I_2 \times w_2$ (без учёта потерь).

7.3. Устройство трансформатора

- Магнитопровод — из электротехнической стали, шихтованный (из тонких листов, изолированных лаком) для уменьшения вихревых токов.
- Обмотки — медные или алюминиевые провода с изоляцией. Бывают концентрические (одна внутри другой) и чередующиеся (дисковые).
- Охлаждение: сухие трансформаторы (воздухом) — до ~1600 кВА; масляные (трансформаторным маслом) — для больших мощностей.
- Расширитель масла, газовое реле, температурные датчики — элементы защиты масляных трансформаторов.

7.4. Режимы работы трансформатора

Режим	**Условие**	**Особенности**
Холостой ход	Вторичная обмотка разомкнута	$I_2 = 0$; $I_1 = I_0$ (ток холостого хода, 3–10% от номинального); $U_2 = E_2$
Номинальный	Номинальная нагрузка	Все параметры равны номинальным
Короткое замыкание	Вторичная обмотка замкнута накоротко	Ток ограничивается внутренним

		сопротивлением обмоток и рассеянием
Рабочий	Нагрузка от 0 до номинальной	U_2 немного снижается при росте нагрузки (из-за внутреннего падения)

7.5. Потери и КПД трансформатора

- Потери в стали (постоянные) — потери на гистерезис и вихревые токи в магнитопроводе. Не зависят от нагрузки.
- Потери в меди (переменные) — нагрев обмоток: $P_м = I_1^2R_1 + I_2^2R_2$. Зависят от квадрата тока нагрузки.

$$\eta = P_2 / P_1 \times 100\% = P_2 / (P_2 + P_{ст} + P_м) \times 100\%$$

КПД трансформатора высок: 95–99%. Максимум КПД достигается при нагрузке 50–70% от номинальной, когда потери в меди равны потерям в стали.

7.6. Виды трансформаторов

- Силовые — для передачи и распределения электроэнергии (на подстанциях, в КТП).
- Измерительные: трансформаторы тока (ТА) и напряжения (TV) — для включения измерительных приборов и реле защиты в высоковольтные цепи.
- Сварочные — понижают напряжение до 50–70 В и обеспечивают большой ток для сварки.
- Автотрансформаторы — первичная и вторичная обмотки электрически связаны; позволяют плавно регулировать напряжение (ЛАТР).
- Импульсные — в электронике, блоках питания.

7.7. Параллельная работа трансформаторов

Для надёжности электроснабжения трансформаторы включают параллельно. Условия параллельной работы:

1. Одинаковые коэффициенты трансформации (допуск ±0,5%).
2. Одинаковые группы соединения обмоток.
3. Одинаковые напряжения короткого замыкания (допуск ±10%).
4. Разница номинальных мощностей не более чем 1:3.

7.8. Практика электромонтёра

- Проверка трансформатора: измерение сопротивления изоляции (мегаомметром), сопротивления обмоток (омметром), коэффициента трансформации.
- Изменение гула трансформатора или срабатывание газовой защиты — признаки неисправности масляного трансформатора.
- Проба трансформаторного масла на пробой — масло должно выдерживать 25–35 кВ/мм.

- Переключение ответвлений обмотки ВН — для регулировки напряжения в сети ±5% или ±2×2,5%.
- Заземление нейтрали и бака — обязательное требование безопасности.