Основные показатели качества электрической энергии

КЛЮЧЕВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Тема объединяет физический смысл показателей и практические методы оценки систем электроснабжения.

Напряжение, частота, гармоники, несимметрия и события качества



УЧЕБНАЯ СХЕМА / ИЛЛЮСТРАТИВНЫЕ ДАННЫЕ

ОСНОВНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ИЛИ ВЫВОД

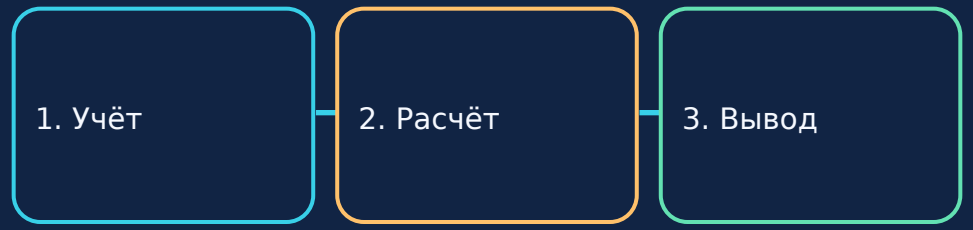
Цель лекции — перейти от определения показателей к инженерному расчёту и анализу.

Цель, задачи и ожидаемые результаты

КЛЮЧЕВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Рассмотрим ключевые понятия, расчётные формулы и возможные источники ошибок.

Перечислять основные показатели качества. • Выбирать физически корректные определения показателей. • Понимать требования к регистрации и сравнению с нормами.



УЧЕБНАЯ СХЕМА / ИЛЛЮСТРАТИВНЫЕ ДАННЫЕ

ОСНОВНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ИЛИ ВЫВОД

Ожидаемый результат: объяснить метод, выполнить расчёт и обосновать вывод.

Понятие качества

КЛЮЧЕВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Качество электрической энергии описывает параметры напряжения в точке электроснабжения.

Нормы и условия оценки зависят от типа сети и стандарта.

Энергия	Мощность
120 МВт·ч	85 кВт
THD	Частота
3,7%	50 Гц

УЧЕБНАЯ СХЕМА / ИЛЛЮСТРАТИВНЫЕ ДАННЫЕ

ОСНОВНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ИЛИ ВЫВОД

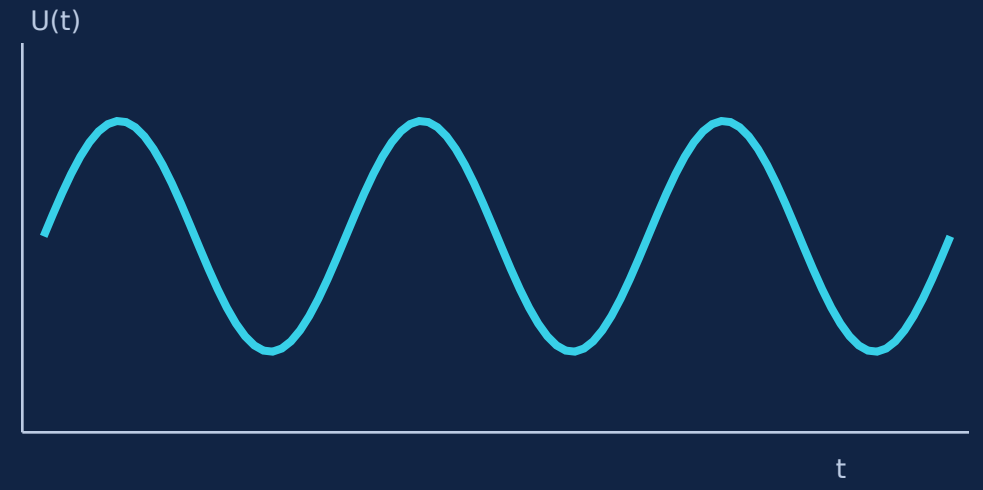
$$PQ = \{U,f,THD,k_2,\ldots\}$$

Действующее значение напряжения

КЛЮЧЕВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

RMS определяют по квадрату мгновенного напряжения за заданное окно.

Кратковременные события зависят от ширины окна измерения.



УЧЕБНАЯ СХЕМА / ИЛЛЮСТРАТИВНЫЕ ДАННЫЕ

ОСНОВНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ИЛИ ВЫВОД

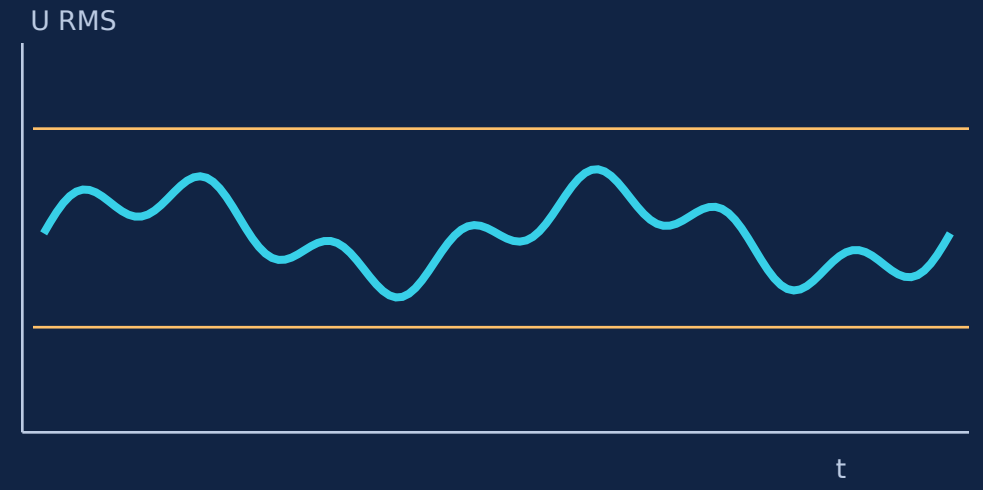
$$U_{rms} = \sqrt{[(1/T)\int u^2 dt]}$$

Отклонение напряжения

КЛЮЧЕВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Отклонение характеризует разность измеренного и опорного значения.

В формуле необходимо указать принятое U_ref.



УЧЕБНАЯ СХЕМА / ИЛЛЮСТРАТИВНЫЕ ДАННЫЕ

ОСНОВНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ИЛИ ВЫВОД

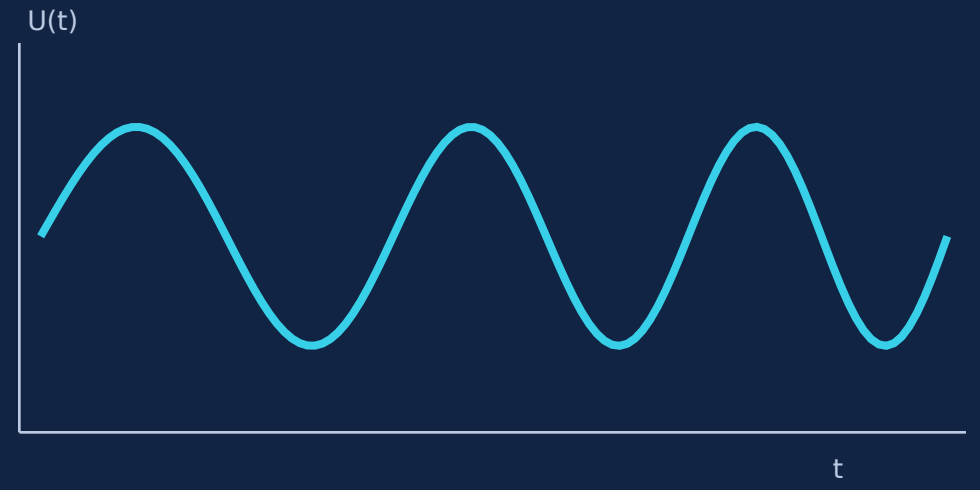
$$\delta U = (U - U_{ref})/U_{ref} \cdot 100\%$$

Частота сети

КЛЮЧЕВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Частота характеризует темп изменения фазы основной гармоники.

Относительные изменения зависят от баланса генерации и нагрузки.



УЧЕБНАЯ СХЕМА / ИЛЛЮСТРАТИВНЫЕ ДАННЫЕ

ОСНОВНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ИЛИ ВЫВОД

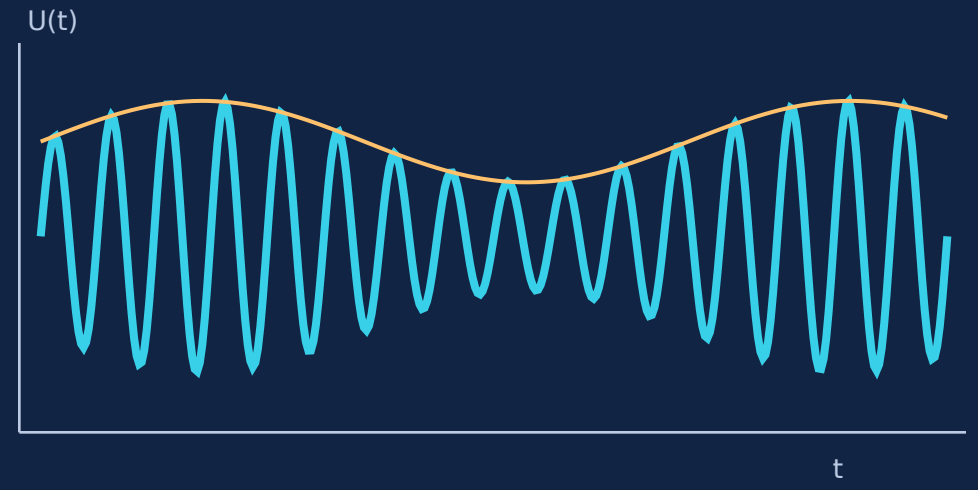
f = 1/T_периода

Фликер и колебания напряжения

КЛЮЧЕВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Периодические изменения амплитуды могут вызывать мерцание света.

Оценка фликера включает модель чувствительности человека к мерцанию.



УЧЕБНАЯ СХЕМА / ИЛЛЮСТРАТИВНЫЕ ДАННЫЕ

ОСНОВНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ИЛИ ВЫВОД

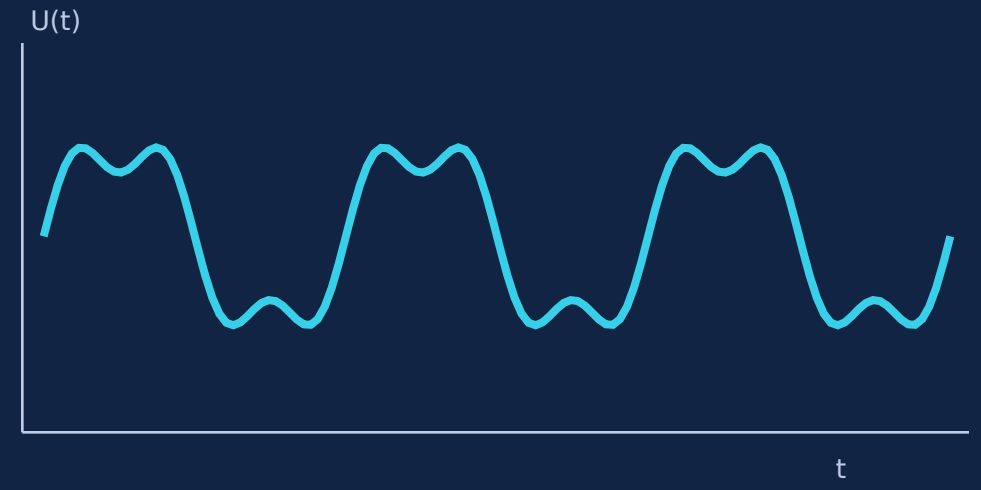
P_st, P_lt

Гармонические составляющие

КЛЮЧЕВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Нелинейная нагрузка создаёт гармоники тока и искажения напряжения сети.

Гармонику обозначают её порядком h относительно основной частоты.



УЧЕБНАЯ СХЕМА / ИЛЛЮСТРАТИВНЫЕ ДАННЫЕ

ОСНОВНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ИЛИ ВЫВОД

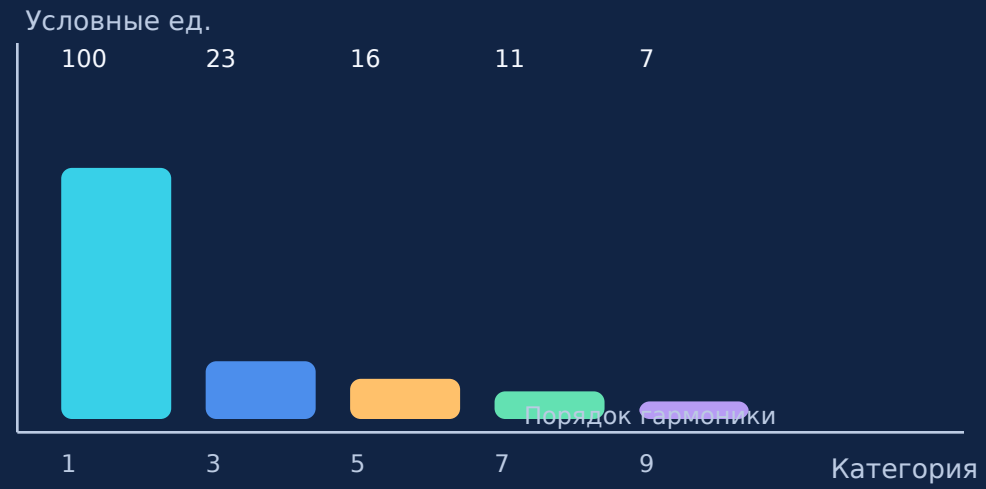
$$f_h = h \cdot f_1$$

Коэффициент THD напряжения

КЛЮЧЕВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

THD сравнивает RMS высших гармоник с RMS первой гармоники.

Его нельзя рассчитывать только по пиковой амплитуде сигнала.



УЧЕБНАЯ СХЕМА / ИЛЛЮСТРАТИВНЫЕ ДАННЫЕ

ОСНОВНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ИЛИ ВЫВОД

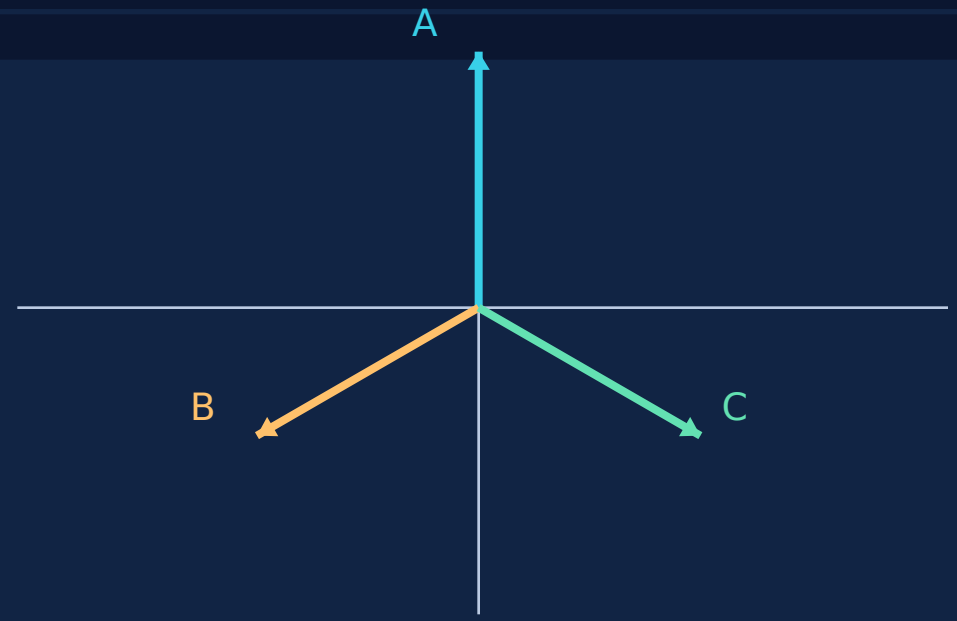
$$THD_U = \sqrt{\Sigma(U_h^2)}/U_1 \cdot 100\%$$

Несимметрия фаз

КЛЮЧЕВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Несимметрия трёхфазного напряжения описывается симметричными составляющими.

Она может вызвать дополнительный нагрев и пульсации момента двигателя.



УЧЕБНАЯ СХЕМА / ИЛЛЮСТРАТИВНЫЕ ДАННЫЕ

ОСНОВНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ИЛИ ВЫВОД

$$k_{2U} = U_2/U_1 \cdot 100\%$$

Провалы и перенапряжения

КЛЮЧЕВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Провал означает кратковременное уменьшение RMS ниже установленного порога.

Повышение RMS описывают отдельно от импульсного переходного процесса.



УЧЕБНАЯ СХЕМА / ИЛЛЮСТРАТИВНЫЕ ДАННЫЕ

ОСНОВНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ИЛИ ВЫВОД

$$U_{rms}(t) < U_{порог}$$

Прерывания питания

КЛЮЧЕВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

При прерывании напряжение резко уменьшается до уровня близкого к нулю.

Длительность события учитывают при выборе резервирования питания.



УЧЕБНАЯ СХЕМА / ИЛЛЮСТРАТИВНЫЕ ДАННЫЕ

ОСНОВНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ИЛИ ВЫВОД

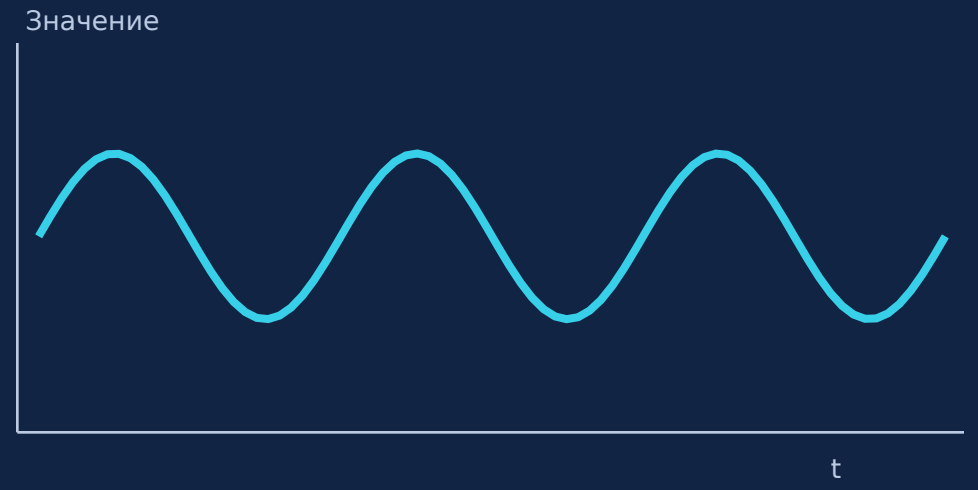
$$t_{события} = t_{кон} - t_{нач}$$

Стандарты измерений

КЛЮЧЕВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

ГОСТ 32144-2013 задаёт показатели качества для общего электроснабжения.

IEC 61000-4-30:2025 стандартизирует методы измерений классов A и S.



УЧЕБНАЯ СХЕМА / ИЛЛЮСТРАТИВНЫЕ ДАННЫЕ

ОСНОВНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ИЛИ ВЫВОД

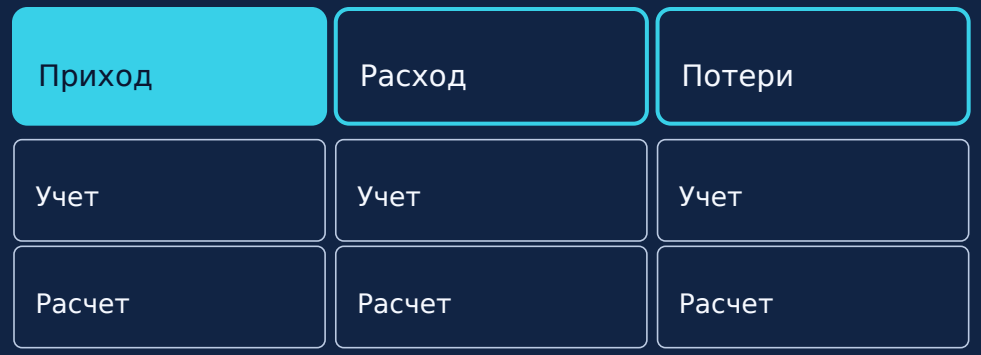
ГОСТ 32144 / IEC 61000-4-30

Протокол измерений

КЛЮЧЕВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

В протоколе указывают точку, период, метод усреднения и характеристики прибора.

Без этой информации сравнение результатов может быть некорректным.



УЧЕБНАЯ СХЕМА / ИЛЛЮСТРАТИВНЫЕ ДАННЫЕ

ОСНОВНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ИЛИ ВЫВОД

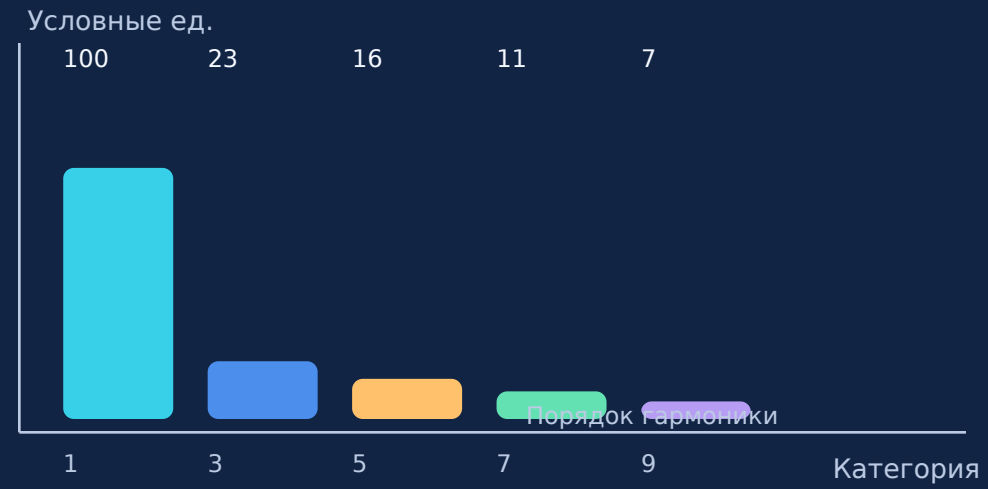
Результат + условия + метод

Пример THD напряжения

КЛЮЧЕВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Основная гармоника имеет RMS 230 В, 3-я — 7 В и 5-я — 5 В.

THD напряжения составляет примерно 3,74%.



УЧЕБНАЯ СХЕМА / ИЛЛЮСТРАТИВНЫЕ ДАННЫЕ

ОСНОВНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ИЛИ ВЫВОД

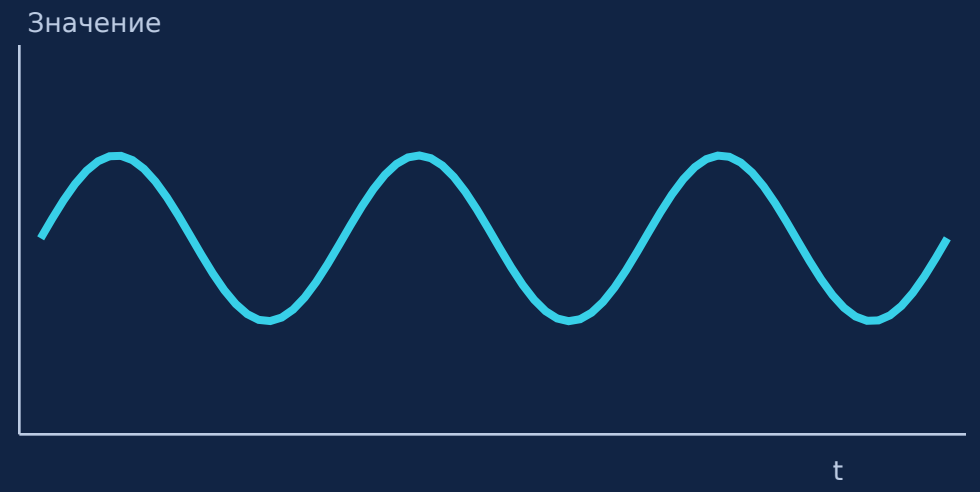
$THD = \sqrt{(7^2+5^2)}/230 \cdot 100\% = 3{,}74\%$

Кейс: обследование распределительного щита

КЛЮЧЕВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Анализатор подключают с указанием схемы фаз и коэффициентов ТТ/ТН.

Измерения ведут достаточно долго для типичных эксплуатационных режимов.



УЧЕБНАЯ СХЕМА / ИЛЛЮСТРАТИВНЫЕ ДАННЫЕ

ОСНОВНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ИЛИ ВЫВОД

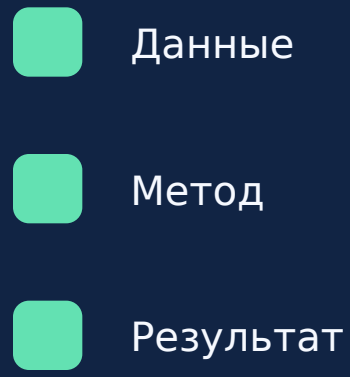
U, f, THD, P_st, k_2U

Ключевые выводы и ограничения

КЛЮЧЕВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Показатели качества относятся к определённой точке и периоду.

THD описывает гармонические искажения относительно основной гармоники. Измерительные методы и пороги следует разделять.



УЧЕБНАЯ СХЕМА / ИЛЛЮСТРАТИВНЫЕ ДАННЫЕ

ОСНОВНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ИЛИ ВЫВОД

При практическом использовании всегда проверяйте допущения, единицы измерения и методику.

Контрольные вопросы и источники

КЛЮЧЕВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Что показывает действующее значение напряжения? 2. Как вычислить THD_U? 3. Почему важна точка измерения качества?

Основные источники: ГОСТ 32144-2013; IEC 61000-4-30:2025; Закон РК № 541-IV; профильные учебники по качеству электроэнергии.



УЧЕБНАЯ СХЕМА / ИЛЛЮСТРАТИВНЫЕ ДАННЫЕ

ОСНОВНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ИЛИ ВЫВОД

Для проверки соответствия нормативам используйте действующие редакции документов.