Колебания напряжения и частоты

КЛЮЧЕВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

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

Причины, формы представления и методы контроля колебаний



УЧЕБНАЯ СХЕМА / ИЛЛЮСТРАТИВНЫЕ ДАННЫЕ

ОСНОВНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ИЛИ ВЫВОД

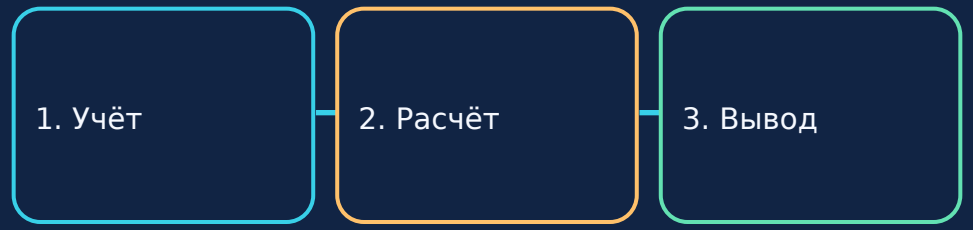
Цель лекции — перейти от определения показателей к инженерному расчёту и анализу.

Цель, задачи и ожидаемые результаты

КЛЮЧЕВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Рассмотрим ключевые понятия, расчётные формулы и возможные источники ошибок.

Описывать причины изменения напряжения и частоты. • Различать медленные изменения, фликер и быстрые события. • Понимать источники отклонений при изменении нагрузки.



УЧЕБНАЯ СХЕМА / ИЛЛЮСТРАТИВНЫЕ ДАННЫЕ

ОСНОВНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ИЛИ ВЫВОД

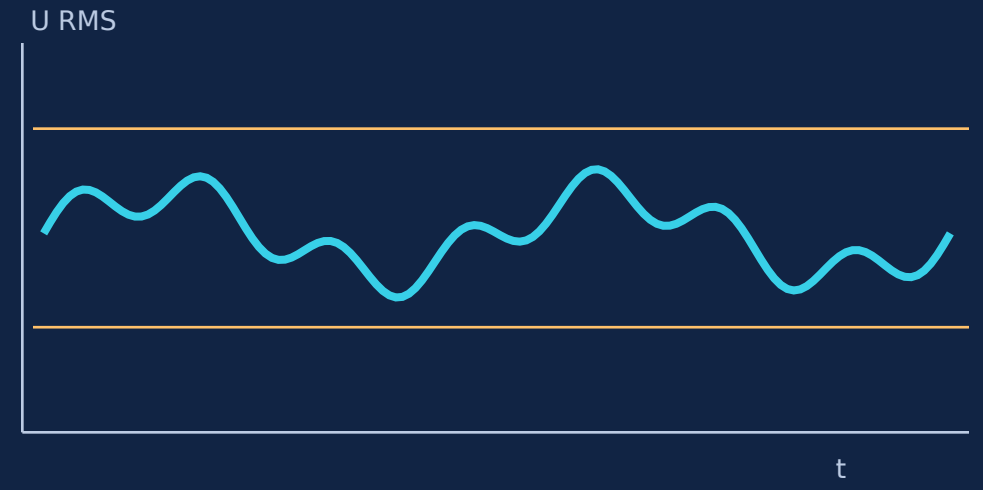
Ожидаемый результат: объяснить метод, выполнить расчёт и обосновать вывод.

Медленные изменения напряжения

КЛЮЧЕВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Напряжение в сети меняется при изменении нагрузки и настройки регулирования.

Стабильность напряжения зависит от импеданса сети и системы управления.



УЧЕБНАЯ СХЕМА / ИЛЛЮСТРАТИВНЫЕ ДАННЫЕ

ОСНОВНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ИЛИ ВЫВОД

$$\Delta U \approx Z_{сети} \cdot \Delta I$$

Резкие изменения нагрузки

КЛЮЧЕВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Пуск двигателя вызывает значительный кратковременный ток.

На слабой сети это может привести к провалу напряжения.



УЧЕБНАЯ СХЕМА / ИЛЛЮСТРАТИВНЫЕ ДАННЫЕ

ОСНОВНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ИЛИ ВЫВОД

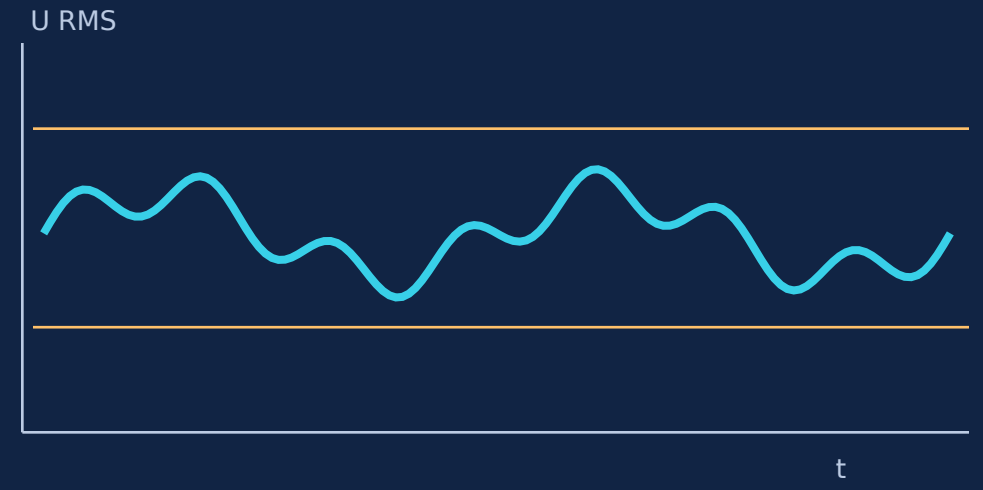
ΔU ∝ I_пуск

Отклонение от опорного значения

КЛЮЧЕВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Процентное отклонение определяют с заранее выбранным опорным напряжением.

Уточняют, используется ли фазное или линейное значение.



УЧЕБНАЯ СХЕМА / ИЛЛЮСТРАТИВНЫЕ ДАННЫЕ

ОСНОВНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ИЛИ ВЫВОД

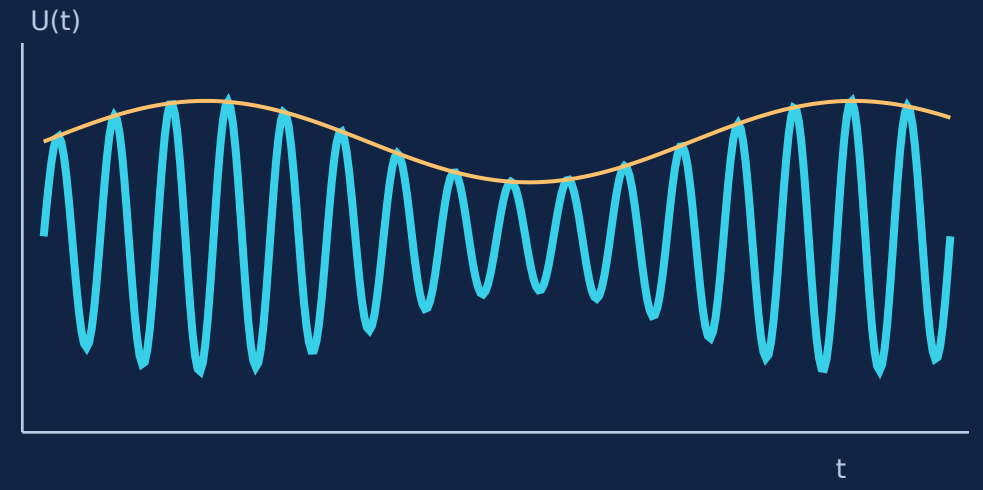
$$\delta U = (U - U_{ref})/U_{ref} \cdot 100\%$$

Колебания и фликер

КЛЮЧЕВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Повторяющаяся амплитудная модуляция может вызвать заметное мерцание ламп.

Измерение фликера требует специального алгоритма.



УЧЕБНАЯ СХЕМА / ИЛЛЮСТРАТИВНЫЕ ДАННЫЕ

ОСНОВНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ИЛИ ВЫВОД

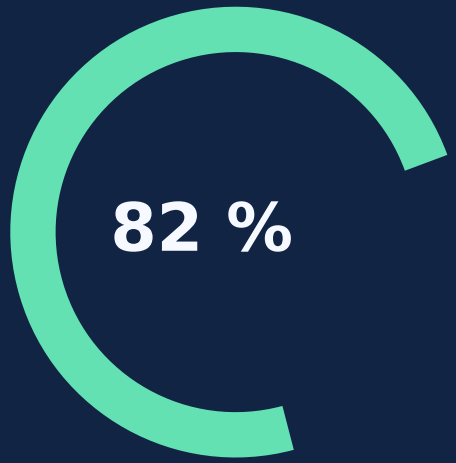
$$u(t) = U_0[1+m \sin(\Omega t)]\sin(\omega t)$$

Кратковременная оценка фликера

КЛЮЧЕВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

P_st учитывает форму и повторяемость колебаний напряжения.

Значение P_st не является обычной амплитудой в процентах.



УЧЕБНАЯ СХЕМА / ИЛЛЮСТРАТИВНЫЕ ДАННЫЕ

ОСНОВНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ИЛИ ВЫВОД

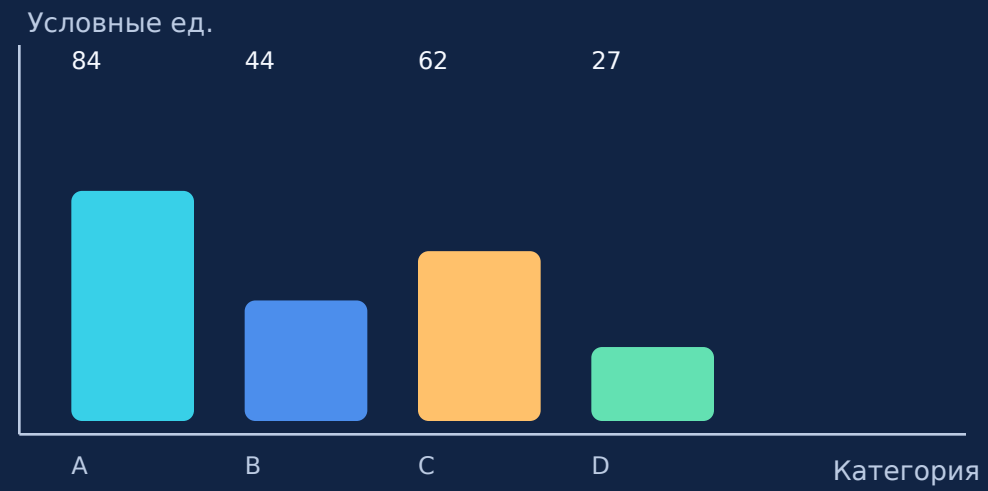
P_st — безразмерный индекс

Длительная оценка фликера

КЛЮЧЕВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

P_lt получают из двенадцати значений кратковременного фликера.

Кубическое усреднение усиливает вклад больших P_st.



УЧЕБНАЯ СХЕМА / ИЛЛЮСТРАТИВНЫЕ ДАННЫЕ

ОСНОВНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ИЛИ ВЫВОД

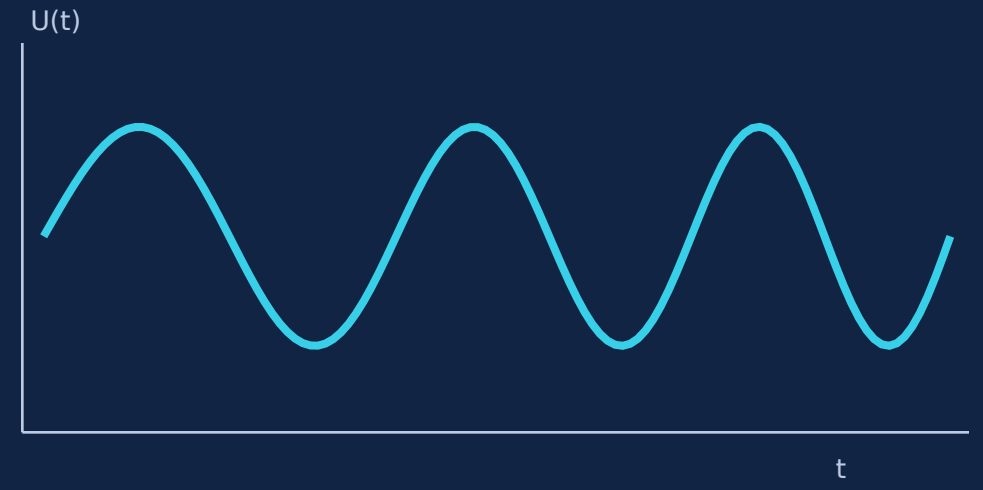
$$P_{lt} = \left(\sum P_{st,i}^3/12\right)^{(1/3)}$$

Частота и баланс мощности

КЛЮЧЕВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Устойчивая частота требует баланса генерируемой и потребляемой активной мощности.

При дефиците мощности частота может временно снижаться.



УЧЕБНАЯ СХЕМА / ИЛЛЮСТРАТИВНЫЕ ДАННЫЕ

ОСНОВНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ИЛИ ВЫВОД

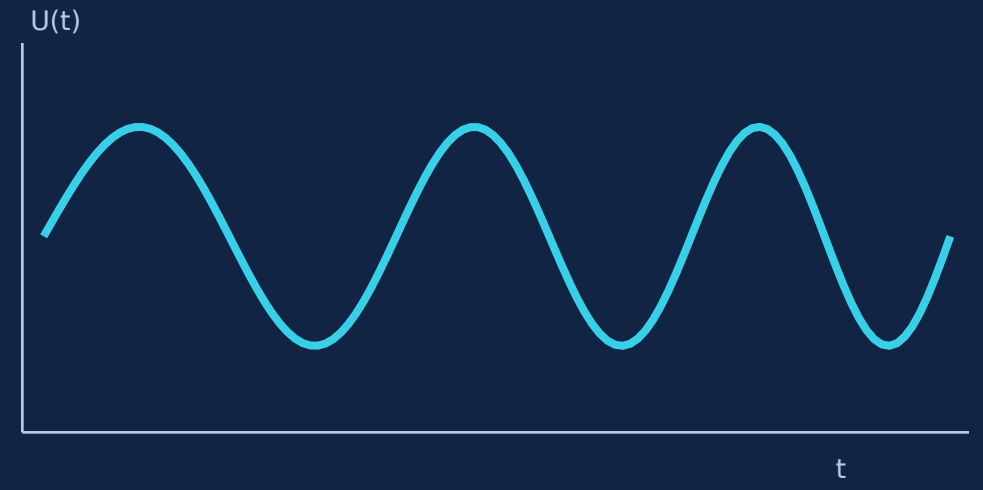
$$\Delta P = P_{ген} - P_{наг}$$

Измерение частоты

КЛЮЧЕВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Частоту оценивают по фазе основной гармоники или периоду напряжения.

На результат влияют окно измерения и переходные процессы.



УЧЕБНАЯ СХЕМА / ИЛЛЮСТРАТИВНЫЕ ДАННЫЕ

ОСНОВНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ИЛИ ВЫВОД

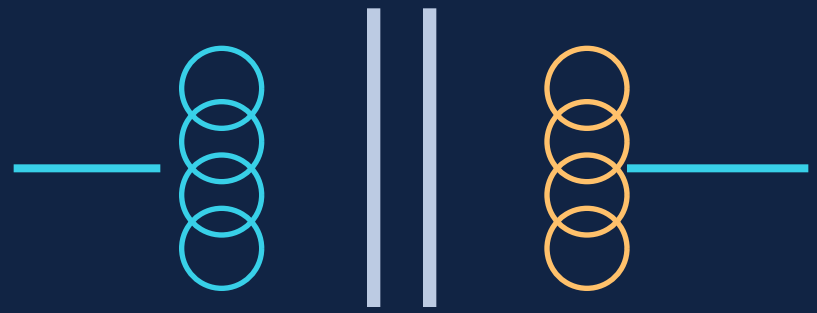
$$f \approx 1/T$$

Регулирование напряжения

КЛЮЧЕВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

РПН трансформаторов и устройства регулирования компенсируют медленные изменения напряжения.

Их настройку согласуют с профилем нагрузки и распределённой генерацией.



УЧЕБНАЯ СХЕМА / ИЛЛЮСТРАТИВНЫЕ ДАННЫЕ

ОСНОВНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ИЛИ ВЫВОД

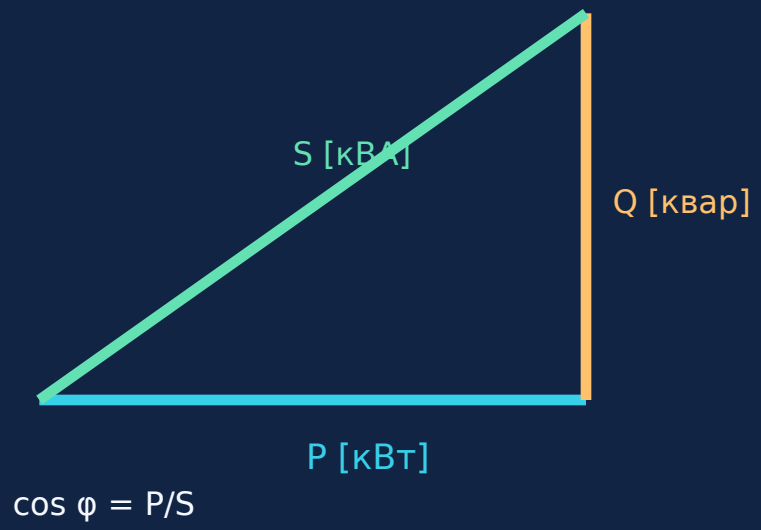
$$U_2/U_1 \approx N_2/N_1$$

Компенсация реактивной мощности

КЛЮЧЕВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Реактивная компенсация может уменьшить падение напряжения на участке сети.

Эффект зависит от её импеданса и распределения Q.



УЧЕБНАЯ СХЕМА / ИЛЛЮСТРАТИВНЫЕ ДАННЫЕ

ОСНОВНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ИЛИ ВЫВОД

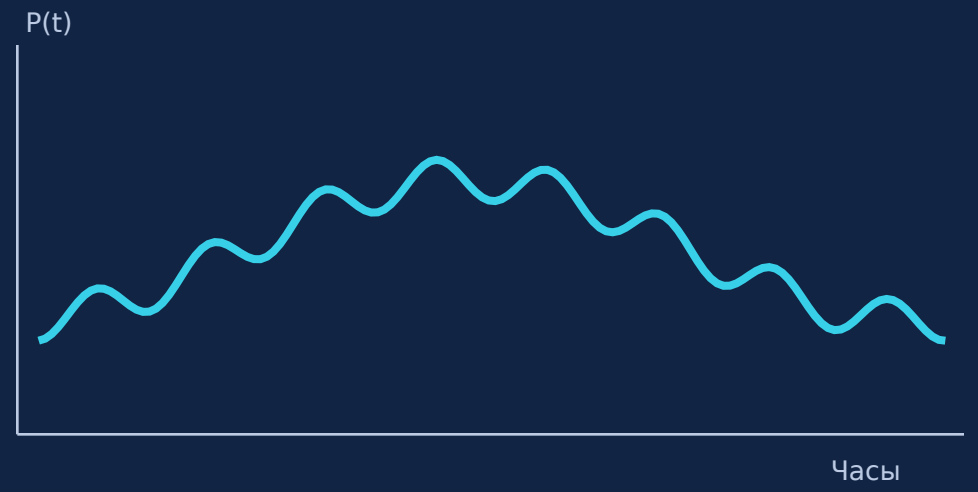
$$\Delta U \approx (RP+XQ)/U$$

Влияние солнечной генерации

КЛЮЧЕВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

На радиальном фидере локальная генерация способна повышать напряжение.

Профиль напряжения может изменяться в течение дня.



УЧЕБНАЯ СХЕМА / ИЛЛЮСТРАТИВНЫЕ ДАННЫЕ

ОСНОВНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ИЛИ ВЫВОД

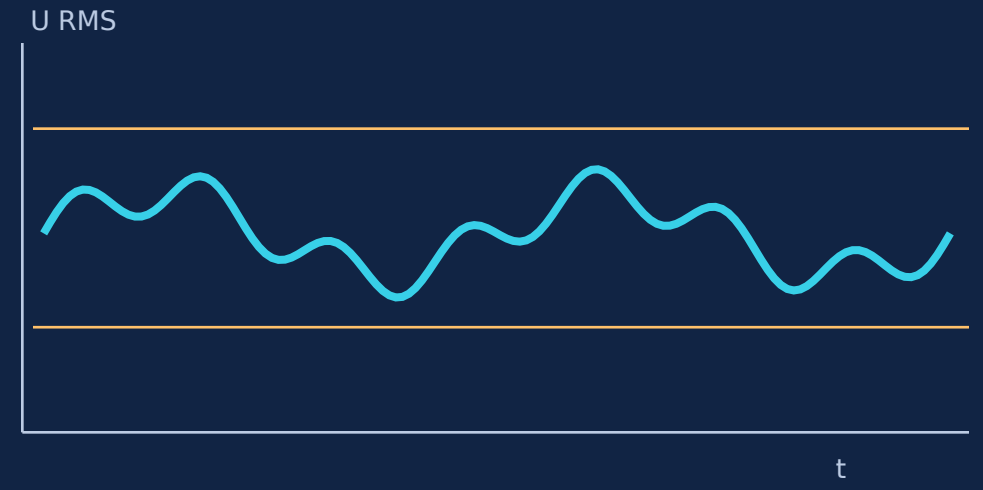
$$P_{сети} = P_{наг} - P_{ген}$$

Обработка временных рядов

КЛЮЧЕВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Динамику напряжения изучают по зарегистрированному U_rms(t).

По графику выделяют устойчивые интервалы и кратковременные события.



УЧЕБНАЯ СХЕМА / ИЛЛЮСТРАТИВНЫЕ ДАННЫЕ

ОСНОВНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ИЛИ ВЫВОД

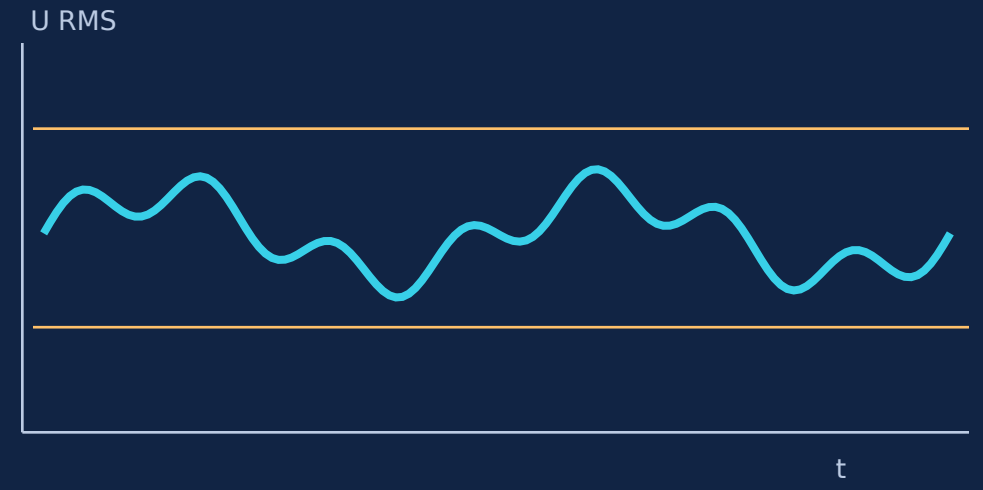
U_min, U_max, U_cp

Пример отклонения напряжения

КЛЮЧЕВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Измерено 218 В при выбранном опорном напряжении 230 В.

Относительное отклонение составляет примерно −5,22%.



УЧЕБНАЯ СХЕМА / ИЛЛЮСТРАТИВНЫЕ ДАННЫЕ

ОСНОВНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ИЛИ ВЫВОД

$$\delta U = (218-230)/230 \cdot 100\% = -5{,}22\%$$

Кейс: запуск электродвигателя

КЛЮЧЕВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Регистрируют RMS напряжения до, во время и после пуска двигателя.

Параллельно измеряют пусковой ток и длительность события.



УЧЕБНАЯ СХЕМА / ИЛЛЮСТРАТИВНЫЕ ДАННЫЕ

ОСНОВНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ИЛИ ВЫВОД

$$\Delta U = U_{до} - U_{мин}$$

Ключевые выводы и ограничения

КЛЮЧЕВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Параметры сети изменяются под действием нагрузки и регулирования.

Фликер требует специального показателя, а не только RMS. Причину нарушения устанавливают по синхронным измерениям.

- Данные
- Метод
- Результат

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. Почему пуск двигателя вызывает провал напряжения? 2. Чем P_st отличается от P_lt? 3. Как регулируется напряжение в распределительной сети?

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.