Импульсы напряжения и временные перенапряжения

КЛЮЧЕВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

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

Переходные процессы, провалы, выбросы и координация защиты

Энергия
120 МВт·ч

Мощность
85 кВт

THD
3,7%

Частота
50 Гц

УЧЕБНАЯ СХЕМА / ИЛЛЮСТРАТИВНЫЕ ДАННЫЕ

ОСНОВНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ИЛИ ВЫВОД

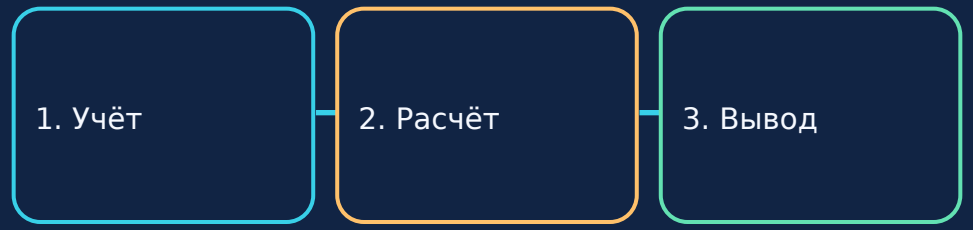
Цель лекции — перейти от определения показателей к инженерному расчёту и анализу.

Цель, задачи и ожидаемые результаты

КЛЮЧЕВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Рассмотрим ключевые понятия, расчётные формулы и возможные источники ошибок.

Различать импульсные события и временное повышение RMS. • Объяснять возможные источники перенапряжений. • Выбирать принципы измерения и защиты.



УЧЕБНАЯ СХЕМА / ИЛЛЮСТРАТИВНЫЕ ДАННЫЕ

ОСНОВНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ИЛИ ВЫВОД

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

События качества электроэнергии

КЛЮЧЕВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Некоторые нарушения продолжаются миллисекунды, другие — секунды и больше.

Для их регистрации нужны разные измерительные параметры.



УЧЕБНАЯ СХЕМА / ИЛЛЮСТРАТИВНЫЕ ДАННЫЕ

ОСНОВНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ИЛИ ВЫВОД

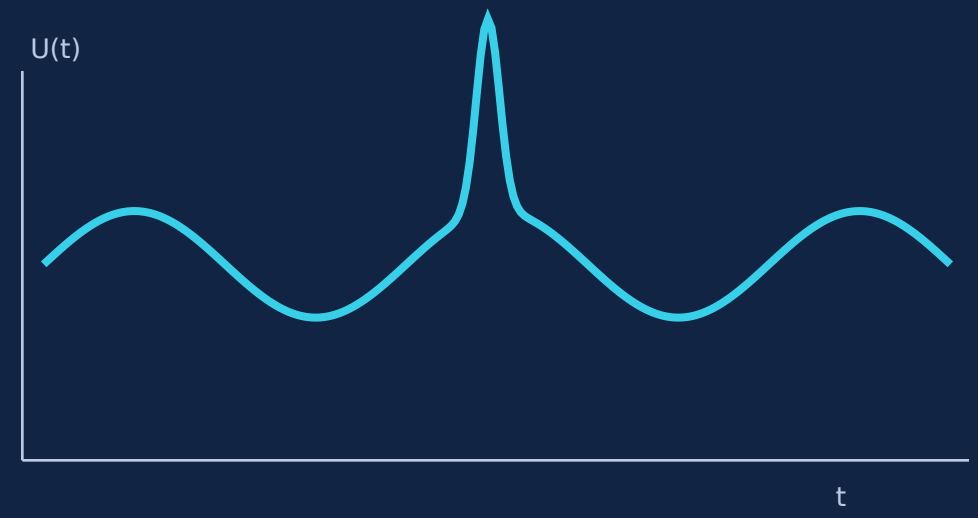
Амплитуда + длительность

Импульсное перенапряжение

КЛЮЧЕВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Импульс возникает при быстром переходном процессе и имеет малую длительность.

Высокочастотное событие может быть пропущено медленным RMS-регистратором.



УЧЕБНАЯ СХЕМА / ИЛЛЮСТРАТИВНЫЕ ДАННЫЕ

ОСНОВНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ИЛИ ВЫВОД

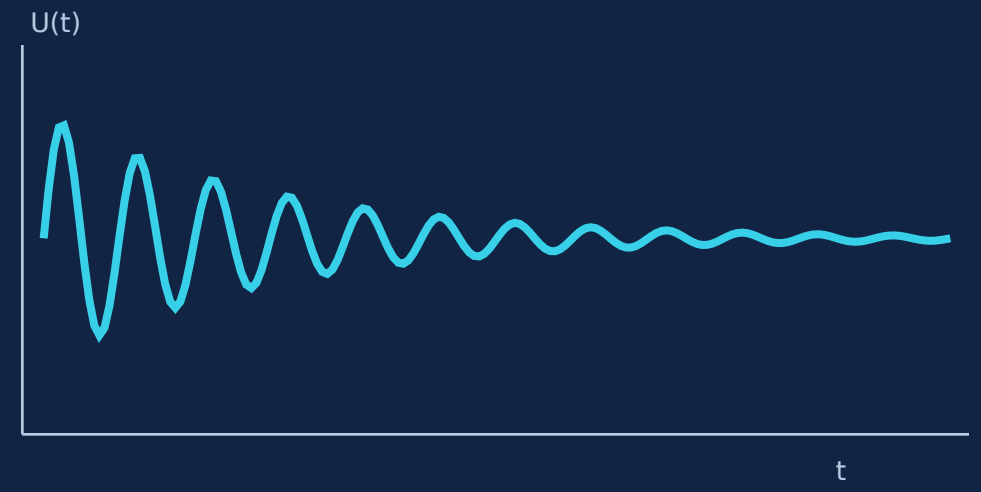
$$u(t)=u_{сети}(t)+u_{имп}(t)$$

Коммутационные процессы

КЛЮЧЕВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Включение и отключение индуктивных цепей создаёт переходные напряжения.

Форма перехода зависит от L, C и затухания цепи.



УЧЕБНАЯ СХЕМА / ИЛЛЮСТРАТИВНЫЕ ДАННЫЕ

ОСНОВНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ИЛИ ВЫВОД

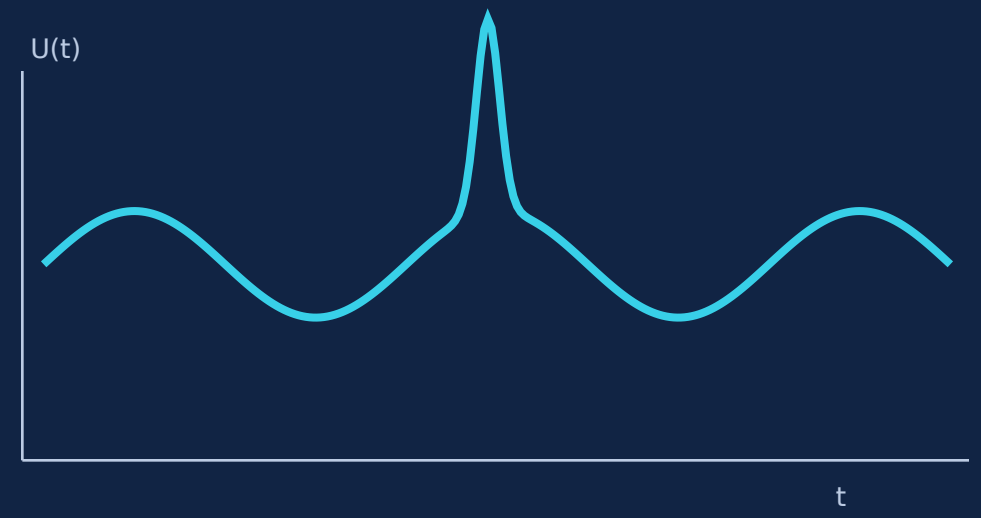
$$u_{пер} \approx A\, e^{(-\alpha t)} \cos(\omega_d t)$$

Грозовые импульсы

КЛЮЧЕВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Разряд молнии может создавать перенапряжения через наведённые и проводимые воздействия.

Выбор защитных средств зависит от места установки и категории воздействия.



УЧЕБНАЯ СХЕМА / ИЛЛЮСТРАТИВНЫЕ ДАННЫЕ

ОСНОВНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ИЛИ ВЫВОД

$t_{фронта} \ll T_{сети}$

Временные перенапряжения

КЛЮЧЕВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Временное перенапряжение связано с повышенным RMS в течение ограниченного периода.

Его не следует смешивать с коротким высокочастотным выбросом.



УЧЕБНАЯ СХЕМА / ИЛЛЮСТРАТИВНЫЕ ДАННЫЕ

ОСНОВНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ИЛИ ВЫВОД

$U_{rms} > U_{верх}$

Провал напряжения

КЛЮЧЕВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Провал представляет собой снижение RMS ниже заданного порога.

Чувствительная электроника может отключиться до восстановления питания.



УЧЕБНАЯ СХЕМА / ИЛЛЮСТРАТИВНЫЕ ДАННЫЕ

ОСНОВНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ИЛИ ВЫВОД

$U_{rms} < U_{низ}$

Перерывы электроснабжения

КЛЮЧЕВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

При прерывании остаточное напряжение становится очень малым.

Стратегия резервирования зависит от допустимого времени перерыва.



УЧЕБНАЯ СХЕМА / ИЛЛЮСТРАТИВНЫЕ ДАННЫЕ

ОСНОВНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ИЛИ ВЫВОД

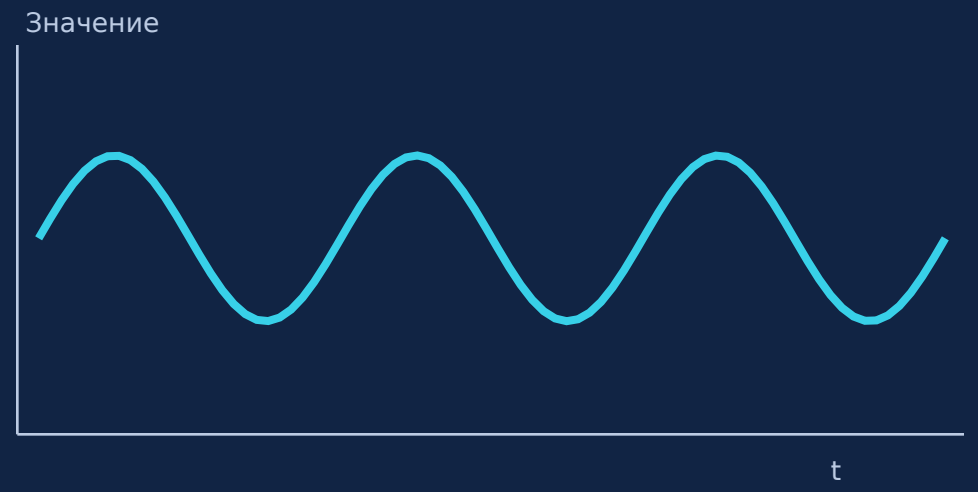
t_перерыва

Параметры регистрации

КЛЮЧЕВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Для импульсов особенно важны полоса частот и частота дискретизации.

Для RMS-событий важен интервал определения действующего значения.



УЧЕБНАЯ СХЕМА / ИЛЛЮСТРАТИВНЫЕ ДАННЫЕ

ОСНОВНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ИЛИ ВЫВОД

$$f_s \gg f_{имп}$$

Ограничители перенапряжений

КЛЮЧЕВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

УЗИП отводит импульсный ток и ограничивает напряжение на защищаемых цепях.

Правильная координация ступеней защиты и заземления обязательна.



УЧЕБНАЯ СХЕМА / ИЛЛЮСТРАТИВНЫЕ ДАННЫЕ

ОСНОВНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ИЛИ ВЫВОД

$$U_{защ} < U_{доп}$$

Источник бесперебойного питания

КЛЮЧЕВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

ИБП поддерживает нагрузку при кратковременных провалах и перерывах.

Необходимо учитывать время переключения, мощность и автономность.



Аккумуляторный запас

УЧЕБНАЯ СХЕМА / ИЛЛЮСТРАТИВНЫЕ ДАННЫЕ

ОСНОВНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ИЛИ ВЫВОД

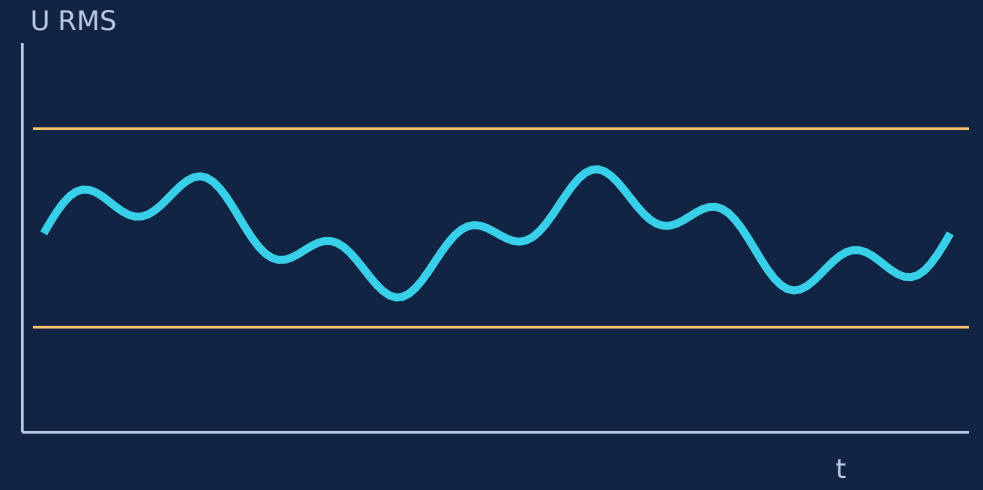
$$t_{авт} \approx E_{акб} / P_{наг}$$

Выбор защиты электродвигателя

КЛЮЧЕВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Контролируют перегрузку, обрыв фаз и допустимые интервалы напряжения.

Порог и задержку выбирают с учётом характеристик оборудования.



УЧЕБНАЯ СХЕМА / ИЛЛЮСТРАТИВНЫЕ ДАННЫЕ

ОСНОВНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ИЛИ ВЫВОД

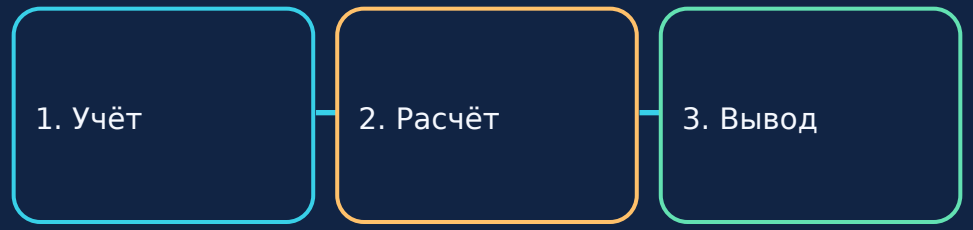
$$U_{min} \leq U \leq U_{max}$$

Разбор зарегистрированного события

КЛЮЧЕВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Сначала определяют форму, длительность и условия возникновения события.

Только затем выдвигают гипотезу о его источнике.



УЧЕБНАЯ СХЕМА / ИЛЛЮСТРАТИВНЫЕ ДАННЫЕ

ОСНОВНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ИЛИ ВЫВОД

Запись → классификация → причина

Пример автономности ИБП

КЛЮЧЕВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Полезная энергия батареи составляет 1,2 кВт·ч, нагрузка — 0,6 кВт.

В идеализированной оценке автономность равна 2 часам, без учёта КПД и запаса.



Аккумуляторный запас

УЧЕБНАЯ СХЕМА / ИЛЛЮСТРАТИВНЫЕ ДАННЫЕ

ОСНОВНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ИЛИ ВЫВОД

t = 1,2/0,6 = 2 ч

Кейс: защита электронной лаборатории

КЛЮЧЕВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Регистрируют провалы и импульсы на входе ответственного оборудования.

По событиям выбирают УЗИП, ИБП и схему заземления.



УЧЕБНАЯ СХЕМА / ИЛЛЮСТРАТИВНЫЕ ДАННЫЕ

ОСНОВНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ИЛИ ВЫВОД

Риск = вероятность × ущерб

Ключевые выводы и ограничения

КЛЮЧЕВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Импульсное событие и временное перенапряжение — разные явления.

Для импульсов важна высокая временная разрешающая способность. Защита требует согласования оборудования и условий сети.

- 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. Чем импульс отличается от RMS-перенапряжения? 2. Зачем при измерении важна полоса частот прибора? 3. Как выбирают время автономной работы ИБП?

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.