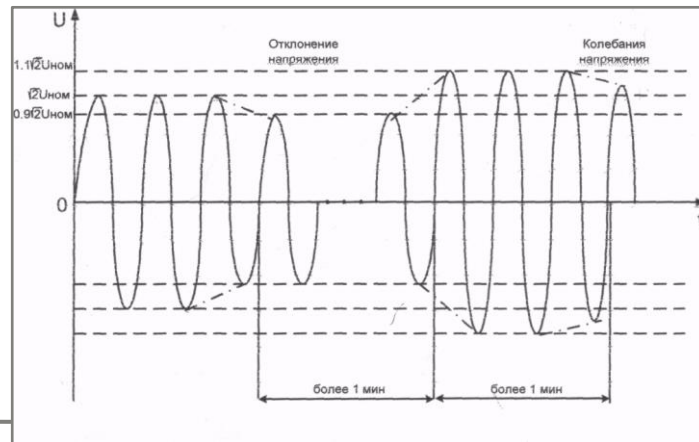




Регулирование напряжения у электроприемников

Повный А. В. «Школа для электрика» <https://electricalschool.info/>

Проблема колебаний напряжения в электрических сетях



- **Актуальность:** Колебания напряжения влияют на надежность работы электроприемников.
- **Негативные последствия:**
 - Снижение эффективности и срока службы оборудования.
 - Ухудшение качества электроэнергии.
 - Сбои в автоматизированных системах.
 - Повышение риска аварий.
 - Экономические потери из-за увеличенного потребления электроэнергии.
- **Вывод:** Необходимость разработки методов регулирования напряжения.

Методы регулирования напряжения у электроприемников

- **Цель:** Обеспечение надежной работы электроприемников при колебаниях напряжения.
 - **Задачи:**
 - Анализ существующих решений:
 - Стабилизаторы (феррорезонансные, релейные, сервоприводные, электронные).
 - Активные фильтры гармоник.
 - Компенсация падения напряжения.
 - Перспективы развития:
 - Интеллектуальные системы с машинным обучением.
 - Интеграция с возобновляемыми источниками.
 - Компактные и экономичные устройства.
-



Влияние отклонений напряжения на электроприемники

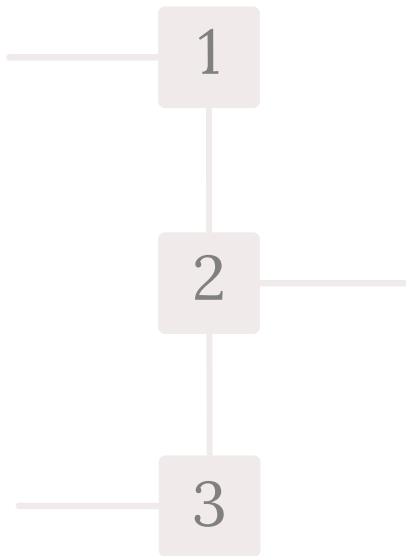
Влияние нестабильного напряжения на электроприемники

Снижение эффективности работы

Пониженное напряжение снижает крутящий момент и мощность.
- Перенапряжение увеличивает потери энергии

Сокращение срока службы оборудования


Перегрев обмоток из-за повышенного тока.
- Ускоренное старение изоляции и повреждение электроники



Увеличение потребления энергии

Пониженное напряжение требует большего тока.
- Перенапряжение может привести к избыточному потреблению


Влияние напряжения на электрические устройства



1	Электродвигатели	Снижение напряжения = уменьшение крутящего момента. - Пониженное напряжение = увеличение тока и перегрев. - Отклонения напряжения = увеличение потерь
2	Осветительные приборы	Снижение напряжения = уменьшение светового потока. - Повышенное напряжение = деградация ламп
3	Электронные устройства	Отклонения = сбои и потеря данных. - Перенапряжения = необратимые повреждения

ГОСТ 32144-2013: Допустимые отклонения напряжения

- **Нормально допустимые отклонения:**
 - 95% времени: $\pm 10\%$ от $U_{ном}$
 - Пример: $U_{ном} = 230 \text{ В} \rightarrow 207 \text{ В до } 253 \text{ В}$
 - **Предельно допустимые отклонения:**
 - 100% времени: $\pm 10\%$ от $U_{ном}$
 - **Значение ГОСТ:**
 - Обеспечение надежности и безопасности оборудования
 - Предотвращение аварий и сокращение срока службы
-



Методы регулирования напряжения в электрических сетях

Регулирование напряжения на подстанциях



Трансформаторы с РПН

Автоматическое изменение коэффициента трансформации.

- Компенсация колебаний напряжения без прерывания электроснабжения

Компенсация реактивной мощности

Конденсаторные батареи: Генерация реактивной мощности, повышение напряжения.

- **Синхронные компенсаторы:** Быстрое регулирование реактивной мощности для стабилизации напряжения

Стабилизаторы напряжения: Классификация и применение

Феррорезонансные стабилизаторы

Принцип: компенсация индуктивности.

- Применение: простое решение для оборудования с невысокими требованиями

Электромеханические стабилизаторы

Принцип: сервопривод для регулировки трансформации.

- Применение: чувствительное оборудование (медицинская техника, ЧПУ)



Электронные стабилизаторы

Принцип: полупроводниковые элементы для дискретной регулировки.

- Применение: бытовая техника, компьютерное оборудование



Технологии и оборудование для регулирования напряжения

Конструктивные особенности трансформаторов с РПН

Переключатель РПН

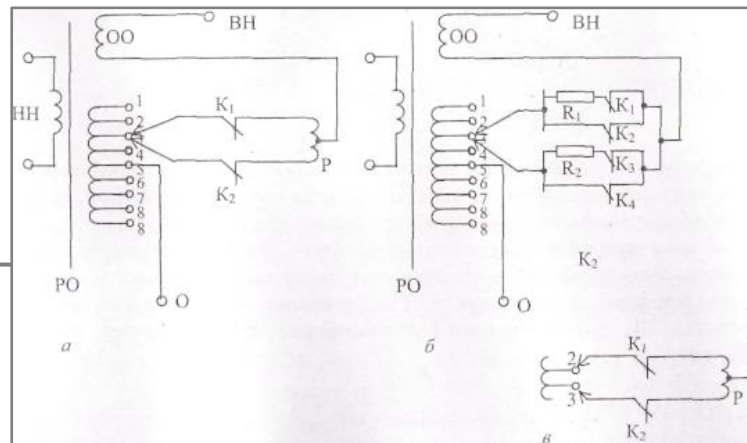
Изменяет коэффициент трансформации под нагрузкой

Расположение

Чаще на стороне ВН для снижения требований к изоляции

Типы переключателей

Прямые, реакторные, резисторные



Обмотки

Надежная коммутация и механическая прочность

Типы трансформаторов

Маслонаполненные и сухие

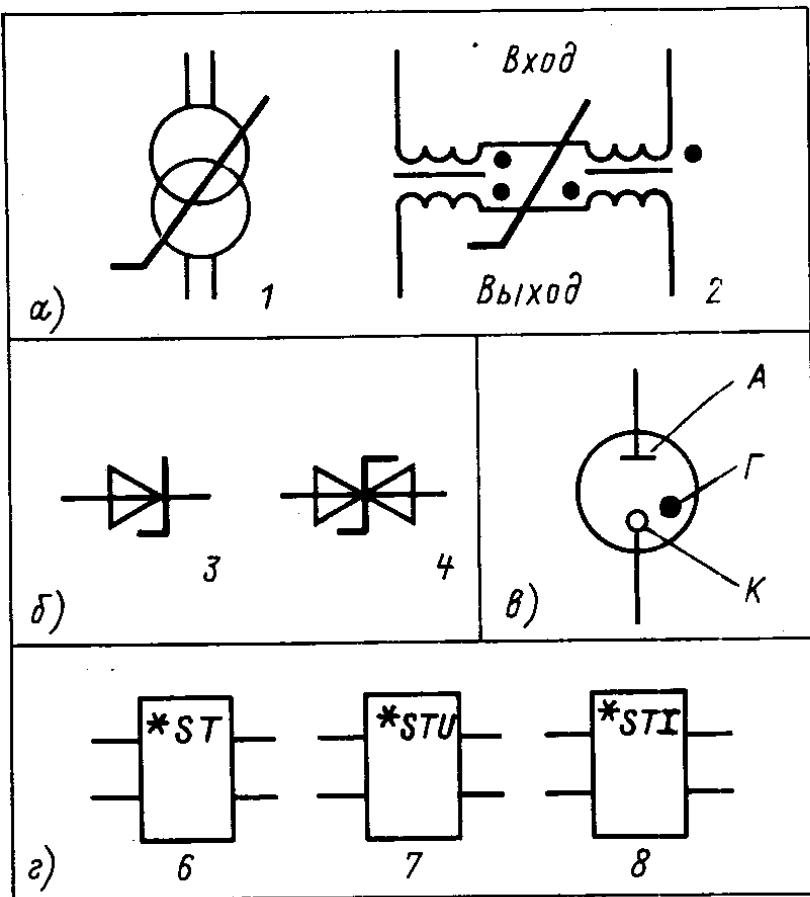


Рис. 2.55. Стабилизаторы

Э
П
Б
С
Т
Т
Б
Л
С
Л
С
Т
Б

Электромеханические и электронные стабилизаторы

1

Электромеханические стабилизаторы

Принцип работы: автотрансформатор с подвижным контактом.

- Преимущества: высокая точность, плавная регулировка, высокая перегрузочная способность.
- Недостатки: низкая скорость реакции, необходимость обслуживания, повышенный шум

2

Электронные стабилизаторы

Схемотехника: тиристоры, симисторы, IGBT.

- Характеристики: высокая надежность, скорость переключения, точность стабилизации.
- Применение: защита промышленных и медицинских приборов, прецизионное оборудование



Эффективное регулирование напряжения в энергосистемах

1

Применение технологий Smart Grid и АСУЭ

2

Расширенная измерительная инфраструктура (AMI) для мониторинга

3

Двунаправленный обмен данными для управления нагрузкой

4


Интеграция систем управления энергоснабжением

5

Автоматизированный мониторинг и регулирование напряжения

6

Прогнозирование и оптимизация режимов работы сети



Перспективы развития систем регулирувания напряжения

Интеллектуальные системы регулирования напряжения

1

Использование ИИ и МО для компенсации колебаний напряжения

2

Прогнозирование колебаний с помощью RNN и ARIMA

3

Оптимизация параметров в реальном времени

4

Идентификация источников возмущений

5

Адаптивное обучение для повышения точности

6

Повышение стабильности и качества электроэнергии

Влияние распределенной генерации и микросетей на регулирование напряжения

Локальные изменения напряжения

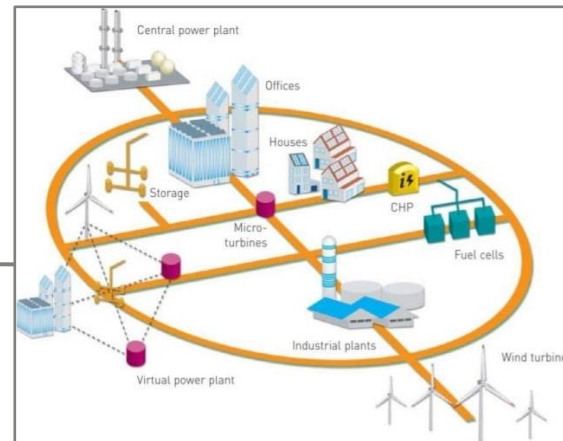
Нестабильность ВИЭ вызывает колебания

Обратные потоки мощности

Превышение генерации над нагрузкой

Проблемы координации

Сложности в управлении стабильностью



Новые технологии

Регулирующие устройства, системы мониторинга, интеллектуальные инверторы

Микросети

Локализованное регулирование, гибкость, проблемы при переключении режимов

Роль накопителей энергии в стабилизации напряжения

Накопители энергии обеспечивают стабильное напряжение у электроприемников



АКБ

зрелое и доступное решение для автономного питания

Суперконденсаторы

высокая скорость заряда-разряда для кратковременных пиков

Маховики

мощные устройства для компенсации резких скачков нагрузки

Интеллектуальные системы управления

оптимизация режимов работы накопителей

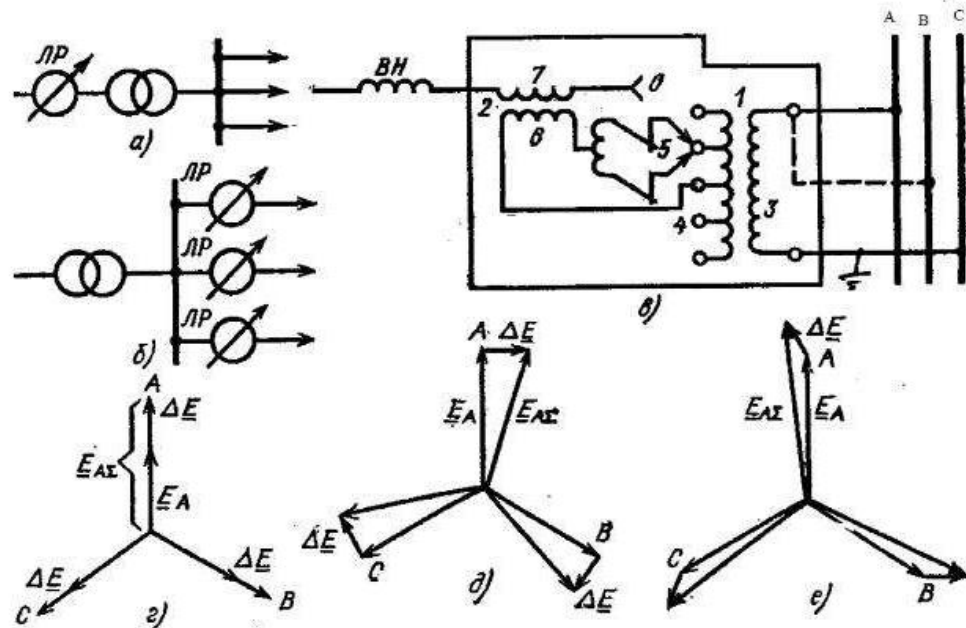


Экономическая эффективность внедрения систем регулирования напряжения

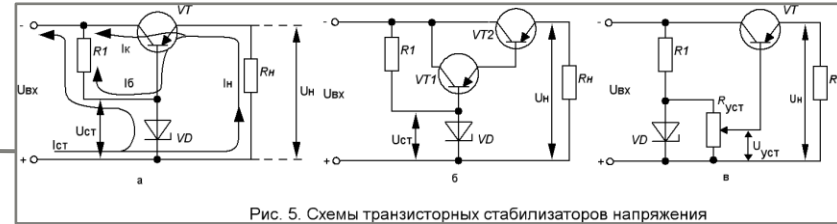
Эффективное регулирование напряжения

1. Ключевой фактор для снижения потерь электроэнергии.
2. Потери пропорциональны квадрату тока.
3. Поддержание напряжения в заданном диапазоне - экономический эффект.
4. Методы оценки снижения потерь:
 - Аналитическое моделирование
 - Численное моделирование
 - Экспериментальные исследования
 - Статистический анализ
5. Методы регулирования:
 - РПН трансформаторов
 - СКРМ
 - АРН
 - Распределённая генерация
 - Оптимизация конфигурации сети

Линейные регулировочные трансформаторы (ЛР) и последовательные регулировочные трансформаторы применяются для регулирования напряжения в отдельных линиях или в группе линий.



Экономический эффект от стабилизации напряжения



Поддержание напряжения в пределах ГОСТ 32144-2013:

**Увеличение срока службы
электроприемников (ΔТ)**

**Снижение затрат на замену
оборудования**

Пример

экономия 125 000 рублей на 100
электродвигателях

**Инвестиции в стабилизацию
напряжения оправданы**

Влияние стабильности напряжения на производственное оборудование



- Критическая роль стабильного напряжения.
- Колебания напряжения влияют на:
 - Производительность (уменьшение крутящего момента).
 - Срок службы оборудования (перегрев, износ).
 - Точность работы (ошибки в САУ, погрешности измерений).
- Необходимость анализа данных о колебаниях напряжения.
- Методы статистического анализа для оценки влияния.

Влияние колебаний напряжения на электроприемники

- Негативное воздействие нестабильного напряжения:
 - Снижение производительности
 - Увеличение потребления энергии
 - Преждевременный выход из строя
- Комплексный подход к регулированию:
 - Трансформаторы с регулированием под нагрузкой
 - Стабилизаторы напряжения
 - Источники бесперебойного питания
- Перспективы:
 - Интеллектуальные технологии
 - Интеграция возобновляемых источников
- Экономическая эффективность:
 - Снижение потерь электроэнергии
 - Увеличение срока службы оборудования

Электромеханические стабилизаторы напряжения



- Работа данных устройств заключается в перемещении специального ползунка по трансформатору.
- Данные приборы обладают плавной регулировкой напряжения, но очень медленным быстродействием.

Фактически, электромеханические устройства вряд ли смогут защитить от очень резких скачков напряжения, но их вырывает их небольшая стоимость, поэтому их довольно часто используют на промышленном и бытовом уровне.

