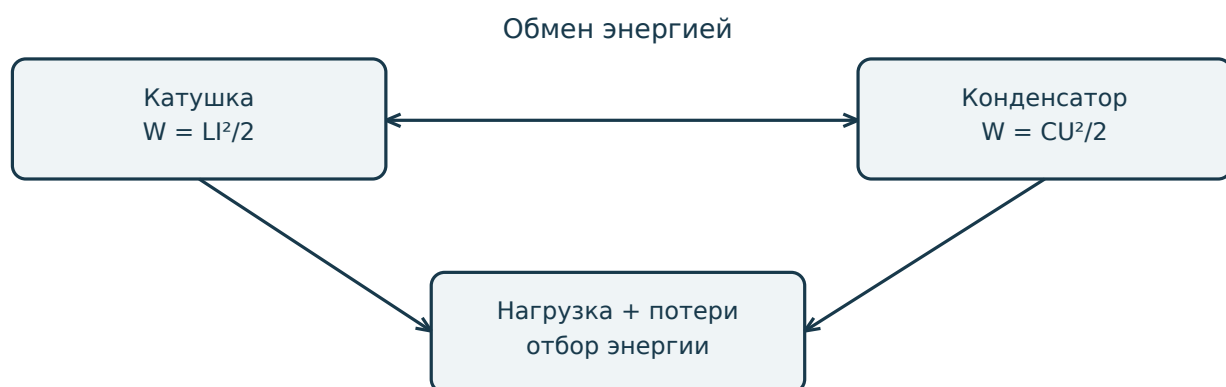


ПРОЕКТ 1891 RM

Конвертация реактивной мощности (самоиндукции) в полезную работу

От опытов Николы Теслы к рекуперации, резонансным преобразователям и управлению качеством энергии.



Исследовательское досье. История, физика, схемы, 12 практических примеров, проверка заявлений и программа испытаний. Прежний обзор включён целиком отдельным приложением.

Постановка задачи: Алексей Ананьин
Редакция 1.0 • 4 октября 2026 года
XPower / исследовательские материалы

Как устроен этот документ

Название сохраняет формулировку инициатора проекта. Скобки в названии обозначают исследовательскую тему и её происхождение в обсуждении. В расчётах самоиндукция, энергия магнитного поля и реактивная мощность рассматриваются как разные величины.

Сборник объединяет исторический разбор, расширенный мировой обзор и исходный учебный материал от 23 сентября 2026 года. Историческая часть заново сверена с патентами. Все 20 страниц прежнего PDF сохранены в приложении без редакторского вмешательства. Его собственная нумерация и дата остаются видимыми; сквозная нумерация сборника дана дополнительно.

Часть	Содержание
1. Постановка	Исходные вопросы, предмет и критерий полезной работы
2. Тесла	1891, 1894, 1896; назначение конденсатора; схемы
3. Физика	Энергия поля, самоиндукция, резонанс, активная и реактивная мощность
4. Мировая практика	12 примеров с результатами и уровнем подтверждения
5. Другие направления	Индукционный нагрев, рекуперация приводов, сетевые услуги
6. Спорные заявления	Резонансные усилители; что доказывает патент
7. Измерения и экономика	Полный баланс, учебные расчёты, программа проверки
8. Проект 1891 RM	Приоритеты, паспорт эксперимента и следующие технические задачи
9. Источники	Кликабельные первичные источники и границы выводов
Приложение А	Полный прежний обзор «Реактивная мощность: спор о смысле»

Навигация по разделам также доступна в закладках PDF. Схемы в новой части являются учебными функциональными реконструкциями. Они поясняют движение энергии и не предназначены для изготовления высоковольтных установок.

1. Постановка проекта

Вопрос, с которого началась работа

Можно ли полезно использовать то, что возникает при изменении тока в индуктивной системе: направить энергию в нагрузку, вернуть её в накопитель, сократить потери или улучшить качество электроснабжения? Почему добавление конденсатора способно радикально изменить работу катушки и всей цепи?

В исходной постановке Алексей Ананьин предложил вернуться к 1891 году, к опытам Николы Теслы: показать идею, схемы, результат и дальнейшие попытки получить полезную работу. Затем задача была расширена до мирового обзора реально работающих решений. Настоящий сборник сохраняет оба направления.

Четыре разных значения результата «в плюс»

Результат	Что измеряется	Пример
Возврат энергии	Джоули за цикл, возвращённые в накопитель или нагрузку	POPS, active-clamp
Снижение потерь	КПД при одинаковой полезной работе	LLC-преобразователь
Качество и надёжность	Напряжение, гармоники, провалы, простои	SMES, STATCOM, фильтр
Производительность и экономика	Выпуск, доступные МВт, стоимость услуги	Hagfors, SmartValve

Слово «конвертация» в проекте охватывает преобразование запасённой энергии поля, изменение режима передачи мощности и получение экономического эффекта. У каждого результата должна быть собственная измерительная граница. Дополнительный выпуск продукции, снижение счёта и увеличение энергии на выходе установки являются разными утверждениями.

Рабочий критерий: при определённых границах системы и одинаковой полезной задаче установка должна давать воспроизводимый выигрыш. Его можно выразить в энергии, доступной мощности, качестве, надёжности или деньгах.

Что уже установлено

Возврат энергии индуктивности и её передача в активную нагрузку технически освоены. Резонансные цепи используются для эффективного преобразования и передачи энергии. Компенсация и фильтрация способны улучшать производственные показатели. Независимого подтверждения непрерывного энергетического избытка после учёта всех источников и накопителей в рассмотренных материалах не найдено.

2. Тесла: 1891 год и развитие идеи

1891: получить высокочастотный режим

20 мая 1891 года Тесла прочитал в Американском институте инженеров-электриков лекцию о токах очень высокой частоты и их применении к искусственному освещению. Дату и тему фиксирует Музей Николы Теслы. Важно не приписывать этой лекции современную рыночную трактовку реактивной мощности: предметом были высокочастотные электрические процессы и их применения. [1]

Патент US454622A, опубликованный 23 июня 1891 года, описывает систему электрического освещения. Среди способов получения высокой частоты используется колебательный разряд конденсатора. В разрядную цепь включена первичная обмотка, а вторичная позволяет получать высокий потенциал и питать светящиеся устройства. [2]

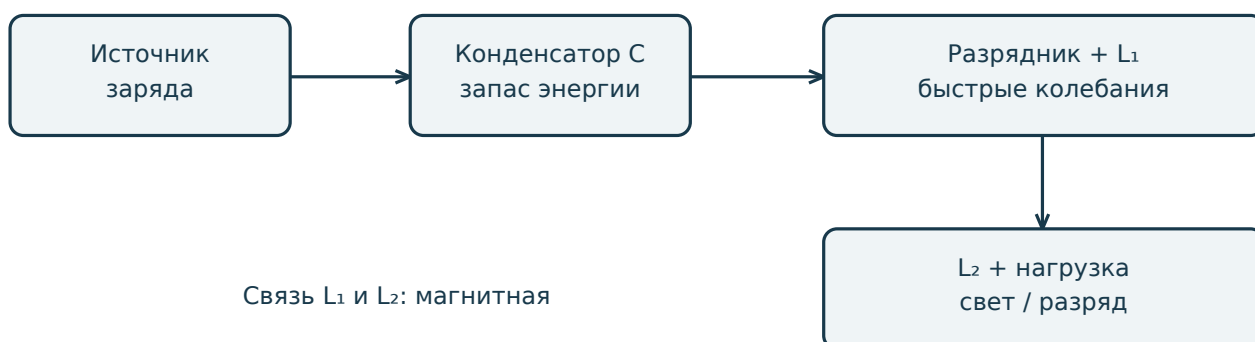


Рисунок 1. Функциональная реконструкция принципа US454622A. Конденсатор сначала получает энергию от источника; затем отдаёт её в быстрый разрядный процесс. Магнитная связь передаёт энергию во вторичную цепь. Это схема принципа, без воспроизведения всех соединений патента.

Конденсатор дал возможность разделить во времени сравнительно медленное накопление и быстрое высвобождение энергии. Возникла управляемая высокочастотная цепь с большими напряжениями и токами. Разряд, свечение и высокий потенциал показывают результат преобразования; каждый из них требует отдельной оценки энергии и мощности.

Почему сама идея конденсатора важнее эффекта разряда

Катушка препятствует быстрому изменению тока. Конденсатор обеспечивает возможность принимать и возвращать заряд при изменении напряжения. Вместе они задают характерный период обмена энергией. В подходящей схеме внешнему источнику не требуется заново создавать весь запас поля при каждом колебании: значительная часть энергии обращается внутри контура, а источник покрывает отбор и потери.

2.1. 1894 и 1896: ёмкость обмотки и возврат энергии

1894: собственная ёмкость катушки

Патент US512340A «Coil for electro-magnets» опубликован 9 января 1894 года. Тесла рассматривает особую укладку и последовательное соединение соседних проводников, повышающие разность потенциалов между ними. Цель состоит в использовании распределённой ёмкости обмотки для компенсации индуктивного действия при выбранной частоте. [3]

Это работа с параметрами и геометрией самой катушки. Резонансные свойства зависят от индуктивности, ёмкости, частоты и нагрузки. Изменение распределения напряжения и энергии внутри обмотки не устанавливает увеличения полной энергии системы без дополнительного притока.

1896: энергия индуктивной цепи заряжает конденсатор

В US568179A от 22 сентября 1896 года описана более прямая связь с нашим вопросом. Источник создаёт ток в цепи большой самоиндукции. При прерывании цепи её накопленная энергия заряжает конденсатор. Затем конденсатор разряжается через цепь меньшей индуктивности, формируя высокочастотные импульсы для вторичной цепи и нагрузки. В патенте также предусмотрена синхронизация коммутации с питающим напряжением. [4]

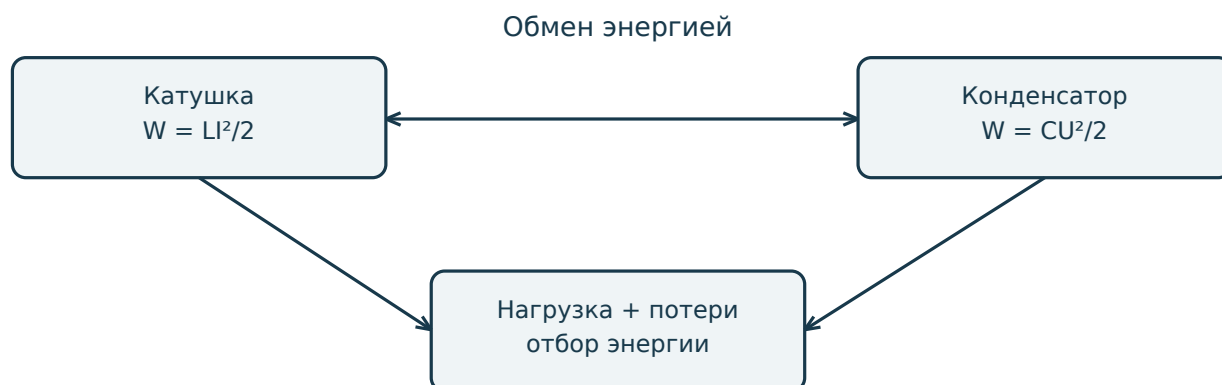


Рисунок 2. Обобщённый обмен между магнитным и электрическим запасами энергии. Коммутатор определяет момент и направление передачи. При подключении нагрузки колебательный запас уменьшается и требует восполнения.

Дата	Изменение	Техническое значение
1891	Разряд конденсатора через первичную цепь	Высокая частота, высокий потенциал, освещение
1894	Управление ёмкостью обмотки	Настройка электрических свойств катушки
1896	Заряд конденсатора энергией индуктивной цепи	Управляемый перенос энергии при коммутации

У этих решений есть ясные современные аналоги: импульсное питание, резонансные преобразователи, рекуперация энергии индуктивной нагрузки. Такая аналогия показывает общность физического механизма. Она не означает доказанного прямого происхождения каждого современного изделия от конкретного патента.

3. Физика: что именно переходит в полезную работу

ЭДС и запас энергии

Для линейной катушки с постоянной индуктивностью ЭДС самоиндукции пропорциональна скорости изменения тока. Знак выражает противодействие изменению. Напряжение на выводах идеальной катушки при пассивном выборе направлений имеет противоположный знак относительно ЭДС.

$$e = -L \cdot di/dt; u = L \cdot di/dt$$

$$W_L = L \cdot i^2 / 2; W_C = C \cdot u^2 / 2$$

При росте тока источник выполняет работу по созданию магнитного поля. При уменьшении тока поле способно отдавать энергию. Конкретный путь отдачи определяется соединениями: нагрузка, конденсатор, входной источник, защитная цепь или потери. При нелинейном магнитопроводе выражение $LI^2/2$ требует замены интегральным описанием и учётом гистерезиса.

Почему высокое напряжение не означает большой запас энергии

Учебный пример: катушка 10 мГн при токе 10 А хранит 0,5 Дж. Если идеализированно перенести весь этот запас в первоначально разряженный конденсатор 1 мкФ, напряжение достигнет 1000 В. Высокое напряжение объясняется малой ёмкостью. Запас по-прежнему составляет 0,5 Дж; реальные потери уменьшают его.

$$U = \sqrt{2W/C} = \sqrt{1 / 10^{-6}} = 1000 \text{ В}$$

Активная и реактивная мощность

В однофазной синусоидальной цепи действующие значения напряжения U и тока I , а также фазовый угол φ задают следующие величины:

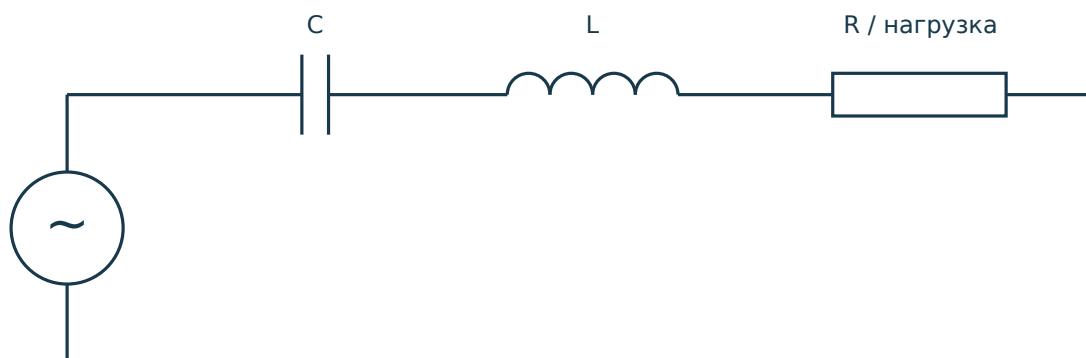
$$P = UI \cos \varphi; Q = UI \sin \varphi; S = UI$$

$$P^2 + Q^2 = S^2$$

P показывает среднюю передачу энергии через выбранную границу. Q характеризует квадратурную составляющую в данном режиме. Для одиночной идеальной катушки при синусоидальном токе $Q = \omega W_{\max}$. Переносить эту частную связь на произвольную сеть, систему с гармониками или трёхфазный комплекс без проверки нельзя.

Энергия измеряется в джоулях и кВт·ч; активная мощность в ваттах; реактивная мощность в варах. Киловары нельзя складывать с киловатт-часами. Для оценки полезной работы необходимо интегрировать действительную мгновенную мощность за общий интервал времени.

3.1. Резонанс, нагрузка и роль конденсатора



При резонансе: $X_L = X_C$; ток ограничен R

Рисунок 3. Учебная последовательная RLC-цепь. R включает полезную активную нагрузку и потери. Источник, катушка и конденсатор образуют замкнутую цепь.

$$X_L = \omega L; X_C = 1/(\omega C)$$

$$f_0 = 1/(2\pi\sqrt{LC})$$

При последовательном резонансе индуктивная и ёмкостная составляющие входного сопротивления взаимно компенсируются. Ток ограничивают сопротивление нагрузки, потери и возможности источника. Напряжения на отдельных элементах могут значительно превышать напряжение источника. Энергия внутри контура многократно обменивается между полями.

Подключение нагрузки изменяет добротность, затухание и часто настройку. Большое напряжение на ненагруженном резонаторе не гарантирует сохранения этого напряжения при отборе мощности. Именно нагруженный режим должен быть предметом испытания.

Учебный пример из прежнего обзора

При частоте 1 кГц, токе 50 А и напряжении 1000 В на каждом реактивном элементе модуль внутренней реактивной мощности составляет 50 квар. Максимальный запас энергии одного идеального элемента равен примерно 7,96 Дж. При добротности 100 потери соответствующей резонансной системы составляют около 500 Вт. Если дополнительно отбирать 5 кВт полезной мощности, источник должен обеспечивать около 5,5 кВт при сохранении принятого режима.

$$W_{\max} = 50\,000 / (2\pi \cdot 1000) \approx 7,96 \text{ Дж}$$

$$7,96 \text{ Дж} / 5000 \text{ Вт} \approx 1,59 \text{ мс}$$

Последняя оценка показывает, на какое время этого запаса хватило бы при постоянном отборе 5 кВт без подпитки и без учёта потерь. Это иллюстрация масштаба, а не модель реального разряда с неизменной мощностью.

Фазовый сдвиг и гармоники

Для искажённых токов нужно различать $\cos \varphi$ основной гармоники и полный коэффициент мощности $PF = P/S$. Гармоники способны увеличивать действующий ток при хорошем $\cos \varphi$. В симметричной трёхфазной системе суммарная мгновенная мощность может быть постоянной при ненулевой Q . Эти примеры подробно разобраны в приложении А.

4. Мировая практика: карта подтверждений

Участники	Механизм и результат	Статус
CERN / Converteam / EPFL	Возврат энергии магнитов; импульсы до 60 МВт	Эксплуатация
Texas Instruments	Рекуперация рассеяния; 65 Вт, КПД до 93,5%	Испытанная плата
Infineon	LLC; 3 кВт, КПД около 98,5%	Испытанная плата
Toshiba / Chubu / Kitashiba	SMES 10 МВА; защита от провалов	Объект и публикация
ABB / Hitachi / Uddeholm	–25 кВт·ч/т; +4 т/ч после SVC Light	Данные поставщика
National Grid / Smart Wires	Свыше 2 ГВт доступной пропускной способности	Данные оператора
Schneider / Oji / Gael	Гибридная компенсация переменной нагрузки	Действующий объект
Hitachi / Castle Ingredients	Активная фильтрация на пищевом производстве	Действующий объект
SMA	Реактивная поддержка вне генерации PV	Коммерческая функция
UKPN / NG ESO / ZIV	Координация распределённой реактивной поддержки	Завершённый пилот
ORNL	100 кВт беспроводной передачи; 96%	Лабораторная демонстрация
Lefeuvre и соавторы	Синхронный отбор энергии от вибраций	Статья и эксперимент

Числа относятся к разным измеряемым величинам и режимам. Проценты КПД, тонны в час, МВА и доступные МВт не образуют общего рейтинга. Подробности и источники приведены далее.

Уровни подтверждения: эксплуатационные данные; опубликованные стендовые испытания; техническое описание продукта; расчёт или патентная заявка. Публикация поставщика подтверждает заявленный им результат по объекту, но не заменяет независимый аудит.

4.1. Возврат энергии и эффективное преобразование

01. CERN: POPS и энергия магнитов

Магниты протонного синхротрона PS циклически намагничиваются и размагничиваются. Система POPS передаёт энергию из конденсаторных батарей в магнитную цепь, а при уменьшении тока принимает её обратно. Разработку выполняли CERN и Convertteam; в работе над топологией участвовала EPFL. Эксплуатация началась в феврале 2011 года. [5, 6]

В описании CERN указаны импульсы до 60 МВт, характерная передаваемая энергия 14 МДж и циклы менее двух секунд. Энергия повторно используется; сеть восполняет потери и другие расходы. Пиковая мощность магнитной цепи и средняя входная мощность относятся к разным временным характеристикам. Их отношение не является КПД. [5]



Рисунок 4. Принцип POPS: конденсаторы и магниты обмениваются энергией через управляемые преобразователи. Учебная схема не воспроизводит силовую топологию установки.

Польза: возврат энергии поля, повторное использование запаса и управление импульсной нагрузкой на сеть. **Зрелость:** промышленная эксплуатация.

Близость к теме: прямое использование энергии индуктивной цепи.

02. Texas Instruments: active-clamp flyback

В источнике питания энергия индуктивности рассеяния трансформатора создаёт напряжение при коммутации. Активный ограничитель с дополнительным ключом и конденсатором возвращает эту энергию в рабочий процесс и помогает обеспечить переключение при близком к нулю напряжении.

Эталонная разработка PMP21479 на UCC28780 имеет выходную мощность 65 Вт, пиковый КПД 93,5% и потребление без нагрузки 33 мВт. TI публикует схему, комплект документации и отчёт испытаний. Плата изготовлена для проверки характеристик; на странице указано, что сама эта эталонная плата не продаётся.

[7]

Польза: уменьшение потерь, нагрева и размеров. Пиковый КПД характеризует весь преобразователь; долю эффекта именно от рекуперации следует устанавливать сравнением схем при одинаковых условиях.

03. Infineon: резонансный LLC

В LLC-преобразователе индуктивности и конденсатор формируют режим, позволяющий снизить коммутационные потери. Ток контура участвует в перезаряде ёмкостей транзисторов. Полезная активная мощность проходит к нагрузке через трансформатор и выпрямитель.

Плата EVAL_3kW_2LLC_C7 рассчитана на 3 кВт: вход 350-400 В постоянного тока, выход 44-58 В. Документация показывает пиковый КПД около 98,5% вблизи половинной нагрузки. График относится к DC/DC-каскаду без потребления вспомогательного питания и вентиляторов. [8]

Польза: эффективное преобразование мощности при управляемом колебательном обмене. **Ограничение:** избыточный циркулирующий ток увеличивает потери проводимости. Оптимальный режим ищут по полной кривой КПД, температуре и диапазону нагрузки.

4.2. Качество питания и производственный результат

04. Toshiba, Chubu Electric и Kitashiba: SMES

Сверхпроводящий магнитный накопитель хранит энергию в поле катушки. При провале напряжения силовой преобразователь передаёт запас защищаемой нагрузке. Так запасённая магнитная энергия непосредственно обеспечивает активное потребление во время нарушения питания.

В статье разработчиков 2009 года описана система 10 МВА на японском заводе жидкокристаллических дисплеев, работавшая с 2007 года. Авторы сообщают об успешной защите при нескольких провалах в 2008 году и приводят результаты работы. [9]

Польза: предотвращение остановок чувствительного производства.

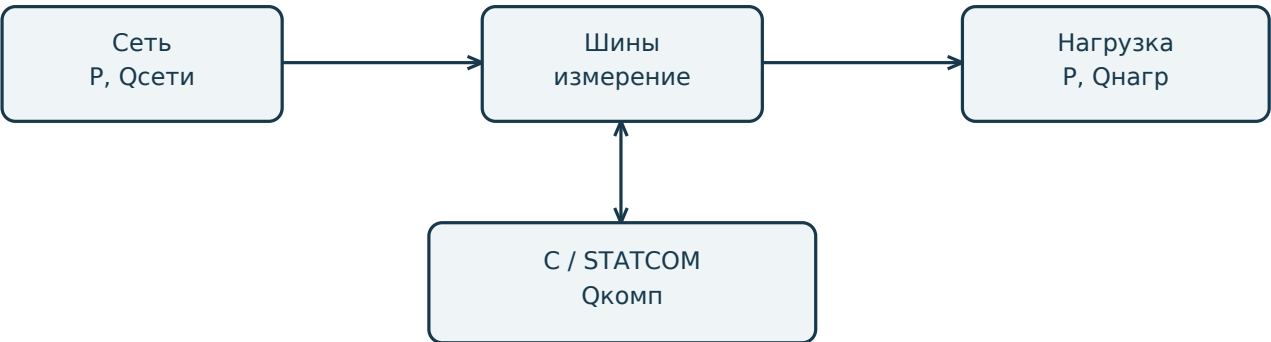
Ограничения: конечный запас энергии, стоимость и охлаждение. Номинал в МВА не задаёт длительность поддержки и не равен автоматически мощности в МВт.

05. Hagfors, Швеция: SVC Light на заводе Uddeholm

Дуговые печи создавали резкие изменения нагрузки и колебания напряжения. Установка SVC Light с диапазоном 0-44 Мвар введена в 1999 году. Данные ниже опубликованы поставщиком, сегодня Hitachi Energy. [10]

Показатель	Опубликованный результат
Фликер	Снижение примерно в 3,5 раза
Коэффициент мощности в точке присоединения	Выше 0,95
Производительность	Рост на 4 тонны в час
Удельный расход электроэнергии	Снижение на 25 кВт·ч на тонну
Расход электродов	Снижение на 0,2 кг на тонну

Польза: улучшение электрического режима дало измеримый производственный результат. Это особенно сильный пример для проекта: эффект выражается в выпуске и удельном расходе. Независимый аудит указанных цифр в рассмотренном источнике отсутствует. Перенос такого результата на другой технологический процесс требует испытаний.



$$Q_{\text{сети}} = Q_{\text{нагр}} - Q_{\text{комп}}$$

Рисунок 5. Шунтовая компенсация. Локальная поддержка уменьшает реактивную составляющую тока в питающем участке; активная мощность нагрузки и потери требуют снабжения от источника.

4.3. Пропускная способность и переменные нагрузки

06. National Grid и Smart Wires: SmartValve

Потоки в разветвлённой сети распределяются по электрическим параметрам маршрутов. Одна цепь может ограничивать передачу при наличии резерва у других. Управляемая последовательная компенсация позволяет перераспределять потоки и лучше использовать инфраструктуру.

National Grid сообщает об установке SmartValve на Harker, Penwortham и Saltholme для работы на пяти цепях. В публикации 2024 года указано высвобождение свыше 2 ГВт пропускной способности север-юг. Ожидаемая экономия за семь лет оценена примерно в £390 млн за счёт снижения ограничений и отложенных вложений. Денежная цифра является прогнозом. [11]

Польза: возможность передавать больше активной мощности. Эту мощность должны произвести источники генерации. Контроллер снимает часть сетевых ограничений. Показатель в гигаваттах относится к доступной передаче, а не к производству энергии устройством.

07. Schneider Electric, Gael Switchboards и Oji Fibre Solutions

На производстве Oji Fibre Solutions в Levin, Новая Зеландия, применили гибридную систему: конденсаторную компенсацию VarPlus и быстродействующий электронный компенсатор AccuSine PFV+. Конденсаторы покрывают относительно устойчивую составляющую потребности; электроника обрабатывает переменные режимы.

Schneider описывает удержание коэффициента мощности выше целевого уровня и преимущества выбранной комбинации. Численный процент снижения общего расхода кВт·ч в рассмотренном открытом описании не опубликован. [12]

Польза: управляемая компенсация при изменении нагрузки. **Применимость:** предприятие с переменными режимами и выявленными ограничениями по току или коэффициенту мощности. Эффект зависит от места установки, исходных потерь и тарифных условий.

08. Hitachi Energy и Castle Ingredients, Бельгия

На пищевом предприятии в Nombourg работают двигатели, частотные приводы, нагреватели, сушилки и солнечная генерация. Для улучшения качества питания установили активный фильтр PQactiF. Поставщик описывает практическое применение и положительный результат; достаточных численных данных для самостоятельного расчёта экономии на открытой странице нет. [13]

Активный фильтр формирует компенсирующий ток, уменьшая прохождение определённых гармонических составляющих в вышестоящую сеть. Собственные

потери фильтра входят в баланс. **Польза:** качество тока и условия работы оборудования. Проверять следует спектр гармоник, действующий ток, температуру, нарушения работы и итоговые кВт·ч.

4.4. Реактивная поддержка как услуга

09. SMA: Q at Night

Функция Q at Night позволяет совместимому солнечному инвертору работать с реактивной мощностью вне периода генерации от фотоэлектрических модулей. Существующее силовое оборудование получает дополнительные часы полезного использования.

Документация SMA описывает специальные аппаратные и программные условия, режимы, ограничения и расходы на собственное питание ночью. Для рассмотренного семейства Sunny Central CP XT указаны также ограничения, связанные с трансформатором и дополнительным тепловым воздействием. [14]

Польза: поддержка напряжения, выполнение требований присоединения, потенциальное уменьшение потребности в отдельном компенсаторе. Выручка возможна при наличии соответствующего договора. Активная энергия для потерь продолжает потребляться. Доступность режима определяется конкретной моделью.

10. UK Power Networks, National Grid ESO и ZIV: Power Potential

Проект 2017-2021 годов проверял координацию распределённых ресурсов для оказания сетевых услуг. Пять участвующих объектов включали солнечную генерацию, накопитель и оборудование реактивной поддержки. Были проведены технические и коммерческие испытания, разработаны механизмы управления и взаимодействия операторов. [15]

Польза: способность управлять напряжением получила договорную и организационную форму. Это пример превращения технической возможности в сетевую услугу. Доступ конкретного владельца к такой модели зависит от местных правил, измерений и требований оператора.

Техническая граница возможностей инвертора

Для упрощённой оценки при фиксированном напряжении используется предел полной мощности. Реальное оборудование дополнительно ограничено токами, температурой и рабочей диаграммой производителя.

$$P^2 + Q^2 \leq S_{\text{ном}}^2$$

Учебный пример: при $S_{\text{ном}} = 100$ кВА и $P = 80$ кВт геометрический предел $|Q|$ составляет 60 квар. Это оценка по мощности, не гарантия конкретной модели. Ночью ограничение может задаваться трансформатором или специальным режимом, даже при нулевой солнечной генерации.

Коммерческая ценность реактивной поддержки зависит от места и времени. Одинаковое количество квар на двух разных узлах сети может иметь разную полезность. Проверять нужно доступность, быстродействие, диапазон, потери и договорную формулу оплаты.

4.5. Магнитная передача и извлечение энергии

11. ORNL, США: беспроводная зарядка 100 кВт

В марте 2024 года Oak Ridge National Laboratory сообщила о демонстрации передачи 100 кВт на Hyundai Kona через воздушный промежуток около 12,7 см. Применены многофазные катушки с вращающимся магнитным полем. Лаборатория заявила эффективность передачи 96%. [16]

Здесь существенна взаимная индукция между передатчиком и приёмником. Это смежное направление использования магнитного поля. **Польза:** передача активной мощности без контактного соединения. **Статус:** исследовательская демонстрация на автомобиле.

Показатель 96% нужно сохранять в границах измерения лаборатории. Из краткой публикации нельзя автоматически заключать, что такой же КПД имеет весь путь от сети до химической энергии аккумулятора, включая все вспомогательные расходы.

12. Lefeuvre, Badel, Richard и Guyomar: синхронный отбор заряда

Во французской исследовательской работе 2005 года рассмотрено синхронное извлечение заряда из пьезоэлектрического преобразователя, SECE. Момент электрического отбора согласуется с механическими колебаниями. Электрическая схема тем самым влияет на эффективность преобразования энергии вибраций.

Авторы сообщили о росте собираемой мощности на 400% относительно выбранного метода квазилинейного согласования импеданса и экспериментальном подтверждении расчёта. Процент относится к конкретному сравнению и условиям работы. [17]

Польза: более эффективное питание маломощных устройств от внешних вибраций. Источник дополнительной извлечённой энергии входит в механическую часть системы. Для полной оценки требуется учитывать воздействие отбора на саму вибрацию и затраты её источника.

Что объединяет эти примеры

Электрическая схема задаёт условия, при которых внешний источник и нагрузка взаимодействуют. Подходящая настройка способна увеличить полезный отбор или сократить потери. Это объясняет, почему появление индуктивности, ёмкости или синхронного ключа может повысить мощность нагрузки при прежнем названии источника. Для оценки энергетического выигрыша параметры источника необходимо измерять заново.

5. Другие полезные направления и границы обзора

Индукционный нагрев и плавка

В индукционной печи поле катушки вызывает токи в проводящем материале; электрическая энергия превращается в тепло. Реактивный обмен в цепи индуктора может быть значительным, поэтому согласование и компенсация входят в проектирование питания. Коммерческие источники серии VIP представлены Inductotherm. В этот сборник не включён процент экономии по ним, поскольку сопоставимый проверенный результат конкретного объекта не установлен. [18]

Рекуперация электрических приводов

При торможении двигатель способен работать генератором. Полезная энергия в основном поступает из движения механизма или изменения потенциальной энергии груза. Магнитное поле и силовой преобразователь обеспечивают процесс преобразования. Для проекта важно отделять механическую рекуперацию от возврата небольшого собственного магнитного запаса обмоток.

Практическая постановка для лифта, конвейера или транспорта: измерить энергию торможения, долю, принимаемую общей шиной либо сетью, ограничения при отсутствии принимающей нагрузки и потери преобразования. Результат определяется рабочим циклом.

Синхронные компенсаторы и инерция

Вращающаяся электрическая машина может поддерживать напряжение реактивной мощностью, а её ротор хранит кинетическую энергию. Эти функции полезно учитывать отдельно: реактивная поддержка связана с напряжением и токами, инерционный отклик связан с изменением скорости и запасом движения. Наличие обоих эффектов в одной установке не делает их одной физической величиной.

Российская практика сетевых услуг

В официальном описании рынка услуг Системного оператора ЕЭС присутствует регулирование реактивной мощности с использованием генерирующего оборудования электростанций, не участвующего в производстве активной мощности. Это подтверждает признание услуги на системном уровне. Условия участия конкретного потребителя или агрегатора требуют отдельного правового и договорного анализа. [19]

Что означает «обзор мира» в этом сборнике

Подобраны различные физические механизмы и уровни мощности с доступными первичными источниками. Это представительная карта направлений. Она не является каталогом всех производителей и установок на Земле. Самые уверенные выводы относятся к рассмотренным изделиям, объектам и режимам.

6. Заявления о резонансном усилении активной мощности

Группа Батыгина: расчётные и патентные материалы

Юрий Батыгин, Елена Ерёмина, Светлана Шиндерук и Евгений Чаплыгин публикуют работы о резонансных усилителях. В статье 2022 года рассматриваются два контура с общим ёмкостным накопителем: заряд и последующий разряд на нагрузку. Авторы отдельно указывают зависимость средней мощности от соотношения длительности заряда и разряда. [20]

Статья 2024 года предлагает двухступенчатую схему и численные оценки коэффициента усиления около 48. Доступное описание представляет теоретическое обоснование. Для интерпретации числа необходимо установить, какие мощности сравниваются и одинаковы ли их интервалы усреднения. [21]

В украинском патенте №157948, опубликованном 18 декабря 2024 года, прямо предусмотрен внешний аккумулятор как источник электрической энергии, включая возможность его подзаряда от второго контура. Для заявления об автономности необходимо измерить изменение запаса аккумулятора за длительную серию циклов. Обратная зарядная цепь сама по себе итоговый баланс

не устанавливает. [22]

Как рассматривать такие работы

Предложенная топология может оказаться полезным преобразователем импульсов, напряжения или формы тока. Это проверяется нагрузочными характеристиками, КПД, температурой и устойчивостью. Заявление о положительном энергетическом избытке требует отдельного доказательства с учётом всех портов и накопителей.

Наблюдение	Какой вывод допустим
Высокое выходное напряжение	Есть преобразование напряжения; необходимы ток и мощность
Большой ток внутри резонатора	Есть интенсивная циркуляция; нужен полный баланс
Выходной импульс мощнее входа	Возможно накопление и быстрое высвобождение
Аккумулятор получает зарядные импульсы	Есть обратный поток; важен итоговый запас энергии
Выдан патент	Описано заявленное техническое решение
Длительная независимая проверка всех портов	Можно оценивать энергетический баланс с погрешностью

В рассмотренных материалах независимого подтверждения непрерывного энергетического избытка после учёта всех источников и изменения запасов энергии не найдено. Это формулировка результата проверки доступных данных; она не подменяет испытание конкретного устройства.

7. Как измерять полезную работу

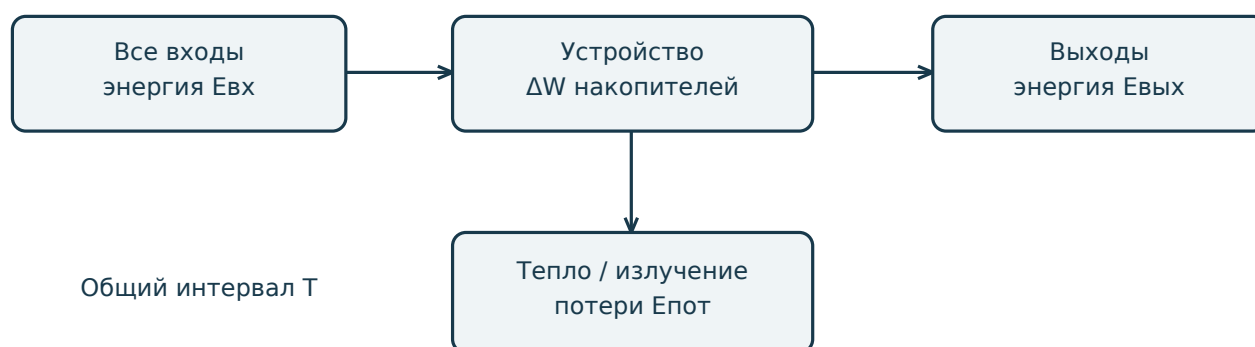


Рисунок 6. Граница испытания должна включать все источники и все накопители. Потери могут выходить как тепло, звук, излучение и механическая работа.

$$E_{\text{вх}} - E_{\text{вых}} = \Delta W + E_{\text{пот}}$$

Это баланс за общий интервал времени при согласованных направлениях потоков. Если накопитель разряжается, ΔW отрицательно и выходная энергия может временно превышать входную. В устойчивом повторяющемся цикле начальный и конечный запасы должны быть сопоставимы.

Измерительный минимум

1. Нарисовать границу устройства и перечислить все порты: силовые входы, питание управления, заземление, механический привод, батареи, связь с другими источниками.
2. Одновременно измерять напряжение и ток по каждому электрическому порту; рассчитывать произведение $u(t)i(t)$ с правильным знаком.
3. Использовать общую временную базу и подходящую полосу измерения. Проверять фазовую ошибку датчиков, диапазон, насыщение и выбросы.
4. Измерять энергию накопителей в начале и конце, включая конденсаторы, катушки, аккумуляторы и вращающиеся массы.
5. Учитывать температуру и установление режима. Короткий тест может расходовать ранее накопленный запас.
6. Проводить контрольные серии и рассчитывать неопределённость результата.

Почему обычного счётчика иногда мало

Высокочастотная коммутация, гармоники и двунаправленные потоки способны выходить за условия корректного применения прибора. Одна осциллограмма напряжения не даёт энергии. Раздельное измерение максимального тока и максимального напряжения также не устанавливает мощность, если пики не совпадают во времени.

Общий критерий признания результата

Выигрыш должен сохраняться после вычета собственных расходов устройства, быть больше неопределённости измерений и воспроизводиться в нескольких сериях. Для новых физических заявлений желательна независимая лаборатория. Для коммерческого внедрения дополнительно проверяются ресурс, отказоустойчивость, обслуживание и стоимость.

7.1. Экономика компенсации: учебный расчёт

Следующий расчёт сохранён из прежнего обзора. Все числа учебные; они не описывают измеренный объект X5 и не являются обещанием экономии.

Параметр	До	После
Активная мощность	700 кВт	700 кВт
Линейное напряжение	400 В	400 В
Коэффициент мощности	0,80	0,95
Полная мощность	875 кВА	736,84 кВА
Ток	1262,95 А	1063,54 А
Требуемая компенсация	-	294,92 квар

$$I = P / (\sqrt{3} \cdot U \cdot PF)$$

$$Q_{\text{комп}} = P \cdot [\tan(\arccos 0,80) - \tan(\arccos 0,95)]$$

Ток уменьшается примерно на 15,79%. При неизменном сопротивлении потери I^2R на разгруженном участке уменьшаются примерно на 29,09%. Этот процент относится к потерям участка. Основные 700 кВт полезной нагрузки в расчёте сохранены.

Если исходные потери участка составляли 30 кВт, после компенсации они стали бы около 21,27 кВт. Валовой выигрыш 8,73 кВт. При собственных потерях установки 0,5 кВт чистый выигрыш составляет около 8,23 кВт; за 6000 часов это примерно 49,35 МВт·ч. График нагрузки и реальные параметры могут изменить результат.

Что входит в коммерческий эффект

Составляющая	Условие подтверждения
Экономия кВт·ч	Сопоставимый режим и измеренный чистый результат
Разгрузка ввода	Подтверждённое ограничение по току или мощности
Снижение платы	Применимая договорная формула
Рост выпуска	Одинаковое качество продукта и учёт производственного режима
Меньше остановок	Журнал событий и оценка ущерба
Ресурс оборудования	Данные температуры, отказов и обслуживания

Монетизация может быть больше стоимости сэкономленных кВт·ч, если устранено производственное ограничение. Но тарифный результат, снижение пика и энергетическая экономия должны рассчитываться отдельными строками.

8. Программа проекта 1891 RM

Приоритеты для магазинов и распределённых объектов

Направление	Основание для выбора	Критерий
Компенсация / фильтрация	Низкий PF, гармоники, перегрев, ограничение ввода	Чистые кВт·ч, токи, качество
Защита от провалов	Остановки автоматики и приводов	События и предотвращённый ущерб
Эффективное преобразование	Плановая замена источников, ИБП, зарядных систем	Полная кривая КПД
Рекуперация приводов	Частые торможения и принимающая нагрузка	Возвращённые кВт·ч за цикл
Сетевые услуги	Подходящее оборудование и договорный доступ	Выручка после расходов

Для холодильного оборудования сравнение проводится при одинаковом температурном режиме, загрузке, внешних условиях и выполненной холодильной задаче. Снижение потребления за счёт ухудшения хранения не считается полезным результатом. Для освещения следует сохранять согласованные показатели световой среды; для приводов учитывать перемещённый груз и рабочий цикл.

Три технических линии исследования

Линия А. Магнитная рекуперация. Прототип с измеряемой индуктивностью, накопителем и управляемым возвратом. Цель: определить долю возвращаемой энергии и потери одного цикла.

Линия Б. Резонансный преобразователь. Сравнить два режима на одинаковой нагрузке: коммутационные потери, циркулирующие токи, температура, помехи и КПД. Цель: установить полезный диапазон резонансной настройки.

Линия В. Качество энергии на объекте. Выбрать проблемный участок по измерениям. Сопоставить компенсацию, фильтрацию и изменение режимов оборудования. Цель: отделить эффект электрической сети от изменения технологического процесса.

Какой результат проекта имеет самостоятельную ценность

Воспроизводимый возврат энергии; снижение потерь; больше доступной мощности; повышение надёжности; уменьшение удельного расхода; доказанная стоимость сетевой услуги. Каждая из этих целей достаточна для инженерного проекта при приемлемых затратах. Претензия на неизвестный источник энергии требует существенно более полного доказательства.

8.1. Паспорт эксперимента и вопросы разработчику

Поле паспорта	Что записать до испытания
Полезная задача	Что именно делает нагрузка и как сохраняется качество
Базовый режим	Схема без изменения и её измеренные характеристики
Проверяемое изменение	Топология, настройки, компоненты, алгоритм
Граница баланса	Все входы, выходы, накопители и вспомогательные расходы
Приборы	Модель, полоса, диапазон, синхронизация, погрешность
Режимы	Нагрузка, температура, частота, напряжение, длительность
Критерий успеха	Величина выигрыша и допустимая неопределённость
Повторяемость	Количество серий и порядок включения базового режима
Экономика	CAPEX, обслуживание, ресурс, чистый годовой эффект
Отчёт	Исходные файлы измерений, схема, фотографии, журнал событий

Вопросы для технической встречи

Где физически находится источник энергии? Как меняется его потребление после подключения нагрузки? Какой запас был в накопителях до теста? Что происходит после полного установления режима? Как определена входная активная мощность? Совпадает ли интервал усреднения на входе и выходе? Есть ли данные при нескольких нагрузках? Кто может независимо повторить опыт?

Что можно считать следующим конкретным результатом

Для POPS: разбор опубликованной силовой архитектуры и энергетического цикла. Для active-clamp: чтение открытой схемы и отчёта ТП с оценкой энергии рассеяния. Для LLC: построение нагрузочной карты КПД. Для производственного объекта: недельная запись качества питания с привязкой к режимам оборудования и журналу событий.

Проект 1891 RM соединяет исторический вопрос Теслы с современной проверкой полезного эффекта. Основой решения становится измеряемая работа: сколько энергии возвращено, какие потери устранены и какое ограничение снято.

9. Источники и границы использования

Дата новой подборки: 4 октября 2026 года. Ниже даны первичные патенты, документы разработчиков, научные публикации и сообщения операторов. Описания случаев в основной части являются краткими пересказами. Полные тексты внешних публикаций в сборник не включены. Приложение А сохраняет собственную библиографию и дату проверки 23 сентября 2026 года.

[1] Nikola Tesla Museum. Lectures. Дата и название лекции 20 мая 1891 года.

<https://tesla-museum.org/en/nikola-tesla-2/lectures/>

[2] Nikola Tesla. US454622A. System of Electric Lighting. 23.06.1891.

<https://patents.google.com/patent/US454622A/en>

[3] Nikola Tesla. US512340A. Coil for Electro-Magnets. 09.01.1894.

<https://patents.google.com/patent/US512340A/en>

[4] Nikola Tesla. US568179A. Method of and Apparatus for Producing Currents of High Frequency. 22.09.1896.

<https://patents.google.com/patent/US568179A/en>

[5] CERN Bulletin. Bubbles for POPS. 18.05.2010. Проектные параметры и принцип обмена.

<https://repository.cern/records/mt71v-bta14>

[6] Boattini F., Burnet J.-P., Skawinski G. POPS: the 60MW power converter for the PS accelerator. CERN-ACC-2015-0098. Подтверждает эксплуатацию с февраля 2011 года.

<https://cds.cern.ch/record/2056733>

[7] Texas Instruments. PMP21479: 65W Active Clamp Flyback. Схема, отчёт испытаний и границы эталонной разработки.

<https://www.ti.com/tool/PMP21479>

[8] Infineon. 3.0 kW Dual LLC Evaluation Board, EVAL_3kW_2LLC_C7. 2016. Техническое описание; график КПД без bias и вентиляторов.

<https://www.infineon.com/assets/row/public/documents/24/63/infineon-technicaldescription-eval-3kw-2llc-c7-20-ap-en.pdf?fileId=5546d4625607bd13015608c10c4041f7>

[9] Iwatani Y. et al. Large Capacity SMES for Voltage Dip Compensation. IEEJ, 2009; DOI 10.1541/ieejpes.129.1319.

https://www.jstage.jst.go.jp/article/ieejpes/129/11/129_11_1319/_article/-char/en

[10] Hitachi Energy. Hagfors. Customer story: SVC Light на заводе Uddeholm.

Производственные показатели по данным поставщика.

<https://www.hitachienergy.com/us/en/news-and-events/customer-stories/reference-hagfors>

[11] National Grid. National Grid and Smart Wires aim to reduce grid bottlenecks with innovative software tool. 2024. Пропускная способность и прогноз экономии.

<https://www.nationalgrid.com/national-grid-and-smart-wires-aim-reduce-grid-bottlenecks-innovative-software-tool>

[12] Schneider Electric. Providing cleaner power for paper and pulp producer. 17.01.2018. Oji Fibre Solutions, Levin.

<https://blog.se.com/industry/machine-and-process-management/2018/01/17/providing-cleaner-power-paper-pulp-producer/>

[13] Hitachi Energy. Enhancing power quality for sustainable food production. Castle Ingredients.

<https://www.hitachienergy.com/news-and-events/customer-stories/enhancing-power-quality-for-sustainable-food-production>

[14] SMA. Q at Night. Функция, условия, ограничения и собственное потребление.

<https://www.sma-america.com/partners/knowledge-base/q-at-night>

[15] UK Power Networks. Power Potential. Описание и отчёты проекта 2017-2021 годов.
<https://innovation.ukpowernetworks.co.uk/projects/power-potential>

[16] Oak Ridge National Laboratory. Charging up the commute. 12.03.2024. Демонстрация передачи 100 кВт.
<https://www.ornl.gov/news/charging-commute>

[17] Lefeuvre E., Badel A., Richard C., Guyomar D. Piezoelectric Energy Harvesting Device Optimization by Synchronous Electric Charge Extraction. 2005; DOI 10.1177/1045389X05056859.
<https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/1045389X05056859>

[18] Inductotherm Group. VIP Power Supply Units. Коммерческое оборудование индукционного нагрева и плавки.
<https://inductothermgroup.com/products/vip-power-supply-units/>

[19] Системный оператор ЕЭС. Рынок системных услуг. Официальное описание видов услуг.
<https://www.so-ups.ru/functioning/markets/markets-asm/>

[20] Батигін Ю. и соавт. Резонансний підсилювач активної електричної потужності періодичних імпульсів струму. 2022; DOI 10.20998/2413-4295.2022.03.01.
<https://vestnik2079-5459.khpi.edu.ua/article/view/264415>

[21] Батигін Ю. и соавт. Схема та теоретичне обґрунтування дієвості резонансного підсилювача активної електричної потужності. 2024; DOI 10.31891/2307-5732-2024-333-2-13.
<https://heraldts.khmnu.edu.ua/index.php/heraldts/article/view/109>

[22] Батигін Ю. и соавт. Патент Украины №157948. Резонансный усилитель с внешним аккумулятором как источником энергии. Публикация 18.12.2024.
<https://dspace.khadi.kharkov.ua/items/28e13787-6d24-48f2-bdea-57fe073c9fbc>

Приложение А. Прежний обзор целиком

Далее воспроизведён исходный документ «Реактивная мощность: спор о смысле. Сложные вопросы», редакция 1.0 от 23 сентября 2026 года, 20 страниц. Он включён как самостоятельный материал, чтобы сохранить все ранее разобранные вопросы, расчёты, авторские подходы и источники.

Что сохранено в приложении

Различие физики, теории цепей, измерений и рынка; формулы мощности; однофазные и трёхфазные примеры; спор о названии; исторические теории; гармоника; алгоритмы счётчиков; компенсация; резонанс; ограничения инвертора; способы проверки необычных заявлений; экономика и договорная ценность услуг.

Новая часть сборника расширяет практический обзор и историческую линию Теслы. Учебные числа приложения сохраняют статус условных примеров. Его положения о рынках и стандартах следует читать с учётом указанной там даты и проверять перед применением к конкретному договору.

Для ссылок на приложение используйте обе координаты: страницу сборника и исходную страницу, напечатанную внизу листа. Это позволяет сопоставлять новый сборник с ранее распространённой версией.

X POWER / ACADEMY

Реактивная мощность: спор о смысле

Сложные вопросы

Энергетика умеет удивлять даже там, где формулы знакомы сто лет. Прибор показывает квар, оборудование греется, в договоре появляется обязательство. Но что именно измерено? Почему эту величину называют мощностью? И одинаковый ли смысл вкладывают в неё физик, инженер, метролог и участник рынка?

Этот учебник вырос из вопросов о самоиндукции, маятнике, Тесле, резонансе и оплате компенсации. Его задача: дать читателю возможность проверить объяснение, воспроизвести расчёт и понять, какое доказательство потребуется для сделки.

Численные примеры являются учебными. Дата проверки источников: 23 сентября 2026 года.



Редакция 1.0 · 23.09.2026

xpower.agency / Сложные вопросы

Содержание

1. Один термин, четыре разных вопроса
2. Формулы и границы их смысла
3. Два примера, которые ломают привычную картинку
4. Можно ли назвать её иначе?
5. Кто и о чём спорил
6. Гармоники: одного треугольника мало
7. Что именно измеряет счётчик
8. Что даёт компенсация: полный расчёт
9. Напряжение, место и способность инвертора
10. Тесла, резонанс и очень большие квар
11. Кто кому платит
12. Что можно токенизировать
13. Паспорт результата и учебная сделка
14. Как поставить убедительный эксперимент
15. Вопросы для самостоятельной проверки
16. Что остаётся открытым

Источники и границы проверки

На сайте доступны два интерактивных расчёта: мгновенная мощность одной и трёх фаз; компенсация при постоянной активной нагрузке. В PDF их численные примеры приведены в главах 2, 3 и 8.

1. Один термин, четыре разных вопроса

В разговоре о реактивной мощности часто незаметно меняется предмет обсуждения. Сначала речь идёт о запасённой энергии поля. Затем появляется вычисляемая величина Q . После этого обсуждают снижение тока в кабеле. Наконец, называют цену услуги. Каждое утверждение может быть разумным внутри своего контекста. Проблема начинается при переходе между ними без пояснения.

Уровень	Вопрос	Что служит доказательством
Физика	Как меняется энергия поля и куда она передаётся?	Баланс энергии, напряжения и токи, модель поля
Теория цепей	Как определено Q для данного режима?	Формула и явно названные допущения
Измерение	Как прибор получил число?	Схема подключения, алгоритм, окно, погрешность
Экономика	За какое действие и кому платят?	Договор, правило расчёта, принятый результат

Электродинамика даёт проверяемые предсказания. При этом способы свести сложный процесс к одному числу могут различаться. Стандарт закрепляет удобное и воспроизводимое соглашение об измерении. Научная теория объясняет выбранные свойства системы. Договор определяет обязательство. Согласованность этих трёх вещей приходится устанавливать отдельно.

Поэтому вопрос «существует ли реактивная мощность?» лучше уточнить: существует ли обмен энергией поля; вычисляется ли Q ; связан ли выбранный показатель с дополнительным током; признаётся ли он основанием оплаты? Ответы относятся к разным уровням. Спор о названии сам по себе ничего не говорит о работоспособности конденсаторной установки.

2. Формулы и границы их смысла

Начнём с одной фазы, установившегося синусоидального режима и пассивного направления тока: положительная мощность направлена в нагрузку. U и I ниже обозначают действующие значения, φ положителен при отставании тока. Угловая частота $\omega = 2\pi f$.

$$\begin{aligned}u(t) &= \sqrt{2} U \cos(\omega t); i(t) = \sqrt{2} I \cos(\omega t - \varphi) \\p(t) &= u(t)i(t) = P + P \cos(2\omega t) + Q \sin(2\omega t) \\P &= UI \cos \varphi; Q = UI \sin \varphi; S = UI; S^2 = P^2 + Q^2\end{aligned}$$

Мгновенная мощность $p(t)$ описывает скорость передачи энергии через выбранную границу. Среднее P показывает чистую передачу за период. При потреблении P положительно, при рекуперации в принятой системе знаков отрицательно. Активная мощность может идти в механическую работу, тепло, свет или заряд аккумулятора. Слово «активная» само по себе ничего не говорит о полезности и необратимости процесса.

Q является коэффициентом при квадратурной составляющей этой записи. Установившееся Q постоянно; его среднее равно ему самому. Нулевое среднее имеет член $Q \sin(2\omega t)$. Амплитуда всей переменной части $p(t)$ равна S . Поэтому фраза « Q есть амплитуда колебаний мощности» требует уточнения: какой именно составляющей и в какой модели.

Для идеального резистора $\varphi = 0$, $Q = 0$, однако $p(t)$ пульсирует от 0 до $2P$. Пульсация мощности сама по себе ещё не доказывает возврата энергии. Для идеальной катушки $P = 0$, $Q > 0$, и знак $p(t)$ действительно меняется. Аналогия с маятником здесь полезна: запас энергии периодически меняет форму, потери требуют подпитки.

$$W_L = Li^2/2; W_C = Cu^2/2; Q_L = \omega LI^2; Q_C = -\omega CU^2$$

W измеряется в джоулях, Q в вар. Для отдельного идеального L или C при синусоиде $|Q| = \omega W_{\max}$. Это соотношение связывает размер запаса с частотой обмена. Увеличение частоты может увеличить квар при том же запасе джоулей. Универсального перевода квар в кВт·ч отсюда не возникает.

3. Два примера, которые ломают привычную картинку

Три фазы. Возьмём симметричную синусоидальную трёхфазную нагрузку. Токи и напряжения фаз сдвинуты на 120° . При сложении трёх выражений $p(t)$ двойные частоты взаимно сокращаются:

$$p_a(t) + p_b(t) + p_c(t) = 3U_{\text{phase}} I_{\text{phase}} \cos \varphi = P_{\text{total}}$$

Суммарная мгновенная мощность постоянна, а $Q_{\text{total}} = 3U_{\text{phase}} I_{\text{phase}} \sin \varphi$ может быть ненулевой. Для трёх одинаковых идеальных катушек $P_{\text{total}} = 0$; суммарный запас магнитной энергии тоже постоянен. В каждой фазе обмен сохраняется. Через совокупную трёхфазную границу его простая однофазная картина уже не переносится. Граница системы имеет значение.

Управляемый резистор. Идеальный резистор с симметричным фазовым управлением симистором может потреблять ток, основная гармоника которого отстаёт от напряжения. Тогда $Q_1 \neq 0$. При этом $p(t) \geq 0$, запас энергии в идеальном резисторе отсутствует. Причина в коммутации и форме тока. Этот класс контрпримеров разбирает Лешек Чарнецкий. [S4]

Оба примера можно проверить расчётом. Они ограничивают объяснение Q исключительно «энергией, возвращаемой источнику». Для конкретного однофазного LC-контура такое объяснение остаётся полезным. Для всех приборов, режимов и определений одного образа недостаточно.

4. Можно ли назвать её иначе?

Предложение назвать всё самоиндукцией привлекает тем, что возвращает разговор к механизму. Самоиндукция описывает связь изменения тока с ЭДС и магнитным потоком; в простейшей линейной катушке ЭДС самоиндукции $e = -L \, di/dt$. Но существует и ёмкостное поведение, а ненулевой Q_1 встречается у управляемого резистора. Поэтому это название охватывает часть явлений.

Название	Что помогает увидеть	Где требует осторожности
Реактивная мощность	Привычный язык расчёта и договора	Нужно указать определение Q
Квадратурная мощность	Геометрию синусоидальных составляющих	Для гармоник нужно назвать частоту и способ суммирования
Безваттная мощность	Историческое отсутствие средней мощности у идеальной реактивной ветви	Ток всё равно создаёт активные потери в реальной сети
Обмен энергией поля	Физику катушки и конденсатора	Это описание процесса, которому могут соответствовать разные показатели
Амплитуда обмена энергией	Наглядность простой колебательной системы	Надо различать джоули и ватты; обобщение на три фазы ограничено
Неактивная мощность	Всё, что остаётся вне P в выбранном разложении	Может включать искажения и несимметрию; с Q совпадает не всегда

Эта таблица содержит учебные пояснения редакции. Она не приписывает исследователям новые термины и не объявляет замену стандарта. В документах разумно сохранять принятое наименование и рядом раскрывать вычисляемую величину: например, «реактивная мощность основной гармоники Q_1 ».

5. Кто и о чём спорил

История здесь интересна сменой задач. Тесла работал с устройствами, фазами и колебаниями; последующие теории пытались описать всё более сложные режимы; метрология искала воспроизводимые определения. Ниже приведены краткие пересказы позиций, без вымышленных цитат.

Автор или направление	Содержание подхода	Что следует проверить читателю
Никола Тесла, 1891 и 1896	В US464666A конденсатор помогает получить сдвиг фаз; US568179A описывает заряд и разряд с использованием самоиндукции. [S1] [S2]	Конкретную схему, источник питания и границу измерения
Чарльз Штейнмец	Символический расчёт переменного тока связывает фазу, импеданс и безваттную составляющую. [S3]	Синусоидальные допущения и принятую систему обозначений
Константин Будеану	Q_B суммирует подписанные реактивные составляющие гармоник. [S5]	Разные частоты могут взаимно погасить число, сохранив ток
Станислав Фризе	Разложение тока на активную часть, пропорциональную напряжению, и ортогональный остаток. [S5]	Остаток объединяет несколько причин неоптимального тока
Акаги, Канадзава, Набае, 1984	Мгновенная p - q теория для управления трёхфазной компенсацией. [S6]	Её q и обычное Q принадлежат разным определениям
Лешек Чарнецкий, СРС	Анализ через физические составляющие тока; критика универсального объяснения Q колебаниями энергии. [S4] [S7]	Различать реактивность, искажения и несимметрию
Р. Фетя и А. Петрояну	Показывают путаницу между средним и амплитудой, обсуждают отказ от названия reactive power. [S8]	Их выводы нужно читать вместе с предпосылками модели
Гонт, Чисепо, Маленгре, GPT	Предлагают системную модель с потерями, несимметрией и искажениями; оспаривают традиционную физическую трактовку Q . [S9]	Это аргументированная авторская позиция в продолжающейся дискуссии
IEEE и IEC	Стандартизуют определения и требования к измерению. IEEE 1459-2025 заменил редакцию 2010 года. IEC 62053-24:2020 выделяет основную гармонику. [S10] [S11]	Номер редакции, область применения и метод конкретного прибора

Участники спора не образуют два простых лагеря. Можно критиковать физическую интерпретацию величины и одновременно использовать её для управления. Можно иметь удобный алгоритм компенсации и спорить о его обобщении. Наличие статьи в журнале CIGRE само по себе не означает принятия её выводов в качестве стандарта всей организации.

В прежних обсуждениях возникала также приписываемая Колину Шаудеру фраза о неудачном названии. Надёжный первоисточник именно этой формулировки в проверенных материалах не установлен; в качестве цитаты она здесь не используется. Это хороший пример того, как учебник должен обращаться с красивыми, но непроверенными атрибуциями.

6. Гармоники: одного треугольника мало

Для периодических несинусоидальных сигналов средняя активная мощность получается суммой по совпадающим частотам: $P = \sum U_h I_h \cos \varphi_h$, при корректном учёте возможной постоянной составляющей. В однофазной цепи $S = U_{\text{rms}} I_{\text{rms}}$. Отношение P/S задаёт коэффициент мощности PF при потреблении. Косинус φ_1 относится только к основной гармонике.

В подходе Будеану $Q_B = \sum U_h I_h \sin \varphi_h$. Положительные и отрицательные слагаемые могут сократиться между разными частотами. Величина $N = \sqrt{(S^2 - P^2)}$ отражает полный неактивный остаток при выбранном S . В общем случае Q_B , Q_1 и N различаются. Простая формула $S^2 = P^2 + Q^2$ требует проверки условий.

Учебный пример: напряжение содержит только основную гармонику $U_1 = 230$ В; ток основной гармоники $I_1 = 10$ А совпадает с ней по фазе; пятая гармоника тока $I_5 = 5$ А. Тогда:

$$\begin{aligned} I_{\text{rms}} &= \sqrt{(10^2 + 5^2)} = 11,18 \text{ А} \\ P &= 2\,300 \text{ Вт}; Q_1 = Q_B = 0 \\ S &= 2\,571,5 \text{ ВА}; PF = 0,8944; N = 1\,150 \text{ ВА} \end{aligned}$$

Прибор, вычисляющий Q_1 , показывает ноль. Прибор, обозначающий как Q величину $\sqrt{(S^2 - P^2)}$, покажет 1 150. Под таким обозначением второй прибор использует иной показатель. Сравнить их без руководства по измерению бессмысленно. Дополнительный ток и нагрев при этом вполне реальны.

При синусоидальном напряжении ток может содержать высшие гармоники. Если постоянной составляющей тока нет, $PF = \cos \varphi_1 / \sqrt{(1 + THD_I^2)}$. При $\cos \varphi_1 = 1$ и $THD_I = 50\%$ получится тот же $PF = 0,8944$. Конденсаторная батарея, выбранная только по $\cos \varphi_1$, эту задачу не решает. [S12]

7. Что именно измеряет счётчик

Цифровой прибор получает отсчёты напряжения и тока, обрабатывает их и выдаёт расчётные показатели. Для P нужны согласованные во времени произведения $u \cdot i$. Для Q прибор применяет выбранную процедуру: выделение основной гармоники, спектральное суммирование, квадратурную обработку или иной алгоритм. Надписи «true RMS» недостаточно для определения алгоритма Q .

IEC 62053-24:2020 прямо связывает свою условную реактивную энергию с основными гармониками напряжения и тока. Этот стандарт относится к соответствующим счётчикам и их типовым испытаниям. Он не объявляет единственное определение для всех исследовательских анализаторов. [S11]

Сдвиг сигнала на четверть периода даёт 90° только для основной гармоники. Для гармоники h угол равен $h \cdot 90^\circ$. Поэтому простое запаздывание на $T/4$ и одинаковый квадратурный сдвиг всех гармоник дают разные результаты. Частотные фильтры, окно наблюдения и нестационарность тоже влияют на оценку.

Поле протокола	Что записать
Граница	Ввод, отходящая линия, выводы двигателя, ветвь LC
Величина	P , Q_1 , Q_B , N , S с определением; PF и $\cos \varphi_1$ отдельно
Подключение	3/4 провода, фазировка, направление и коэффициенты ТТ/ТН
Время	Частота выборки или паспорт метода, окно усреднения, часовой пояс
Качество	Гармоники, несимметрия, диапазон напряжения, пропуски данных
Знаки	Направление P и Q , схема квадрантов и конкретные регистры
Прослеживаемость	Модель, прошивка, поверка/калибровка, неопределённость

Регистр квар·ч накапливает интеграл договорно выбранного Q во времени. Он может расти при нулевой средней активной мощности идеальной реактивной ветви. Такая запись характеризует режим за интервал; она не равна запасу энергии, который можно потом целиком извлечь. Значения квадрантов и порядок суммирования регистров необходимо сверять с документацией счётчика.

8. Что даёт компенсация: полный расчёт

Пусть симметричная трёхфазная синусоидальная нагрузка потребляет $P = 700$ кВт при линейном напряжении 400 В. Коэффициент мощности меняется с 0,80 на 0,95. Активная полезная нагрузка и напряжение считаются постоянными. Все числа условные.

Показатель	До	После
Активная мощность P	700 кВт	700 кВт
Полная мощность $S = P/PF$	875,00 кВА	736,84 кВА
Реактивная мощность $Q = P \tan(\arccos PF)$	525,00 квар	230,08 квар
Линейный ток $I = P/(\sqrt{3} U_{LL} PF)$	1 262,95 А	1 063,54 А

Потребная компенсация $Q_c \approx 294,92$ квар. Снижение полной мощности составляет 138,16 кВА. Снижение тока 15,79%. Для одного и того же сопротивления потери I^2R на разгруженном участке становятся равны $(0,80/0,95)^2 = 0,7091$ от прежних, то есть уменьшаются на 29,09%.

Теперь добавим границу экономии. Пусть до вмешательства активные потери именно этого участка составляли 30 кВт. После получим 21,27 кВт; валовой выигрыш 8,73 кВт. Если компенсатор потребляет 0,50 кВт, чистый выигрыш равен 8,23 кВт. За 6 000 одинаковых часов это около 49,35 МВт·ч. Значения потерь и часов заданы для упражнения, в проекте их нужно обосновать измерениями.

29,09% относится к выбранным потерям участка. Из него нельзя вывести такой же процент всего потребления объекта. Снижение кВА также не даёт автоматически договорного права на дополнительные кВт. Допустимую новую нагрузку ограничивают оборудование, температура, профиль, защита, качество напряжения и документы присоединения.

Место установки меняет результат. Компенсатор у двигателя разгружает большую часть питающего пути. Общая батарея на вводе уменьшает ток выше точки подключения, сохраняя токи в отдельных отходящих линиях. Обычный подбор по формуле Q_c требует отдельной проверки гармоник, коммутации и возможного резонанса. [S13]

9. Напряжение, место и способность инвертора

В приближённой модели радиальной линии изменение напряжения зависит от $R \cdot P + X \cdot Q$. В высоковольтной сети реактивная составляющая часто особенно существенна; в низковольтной сети сопротивление R делает влияние P заметнее. Знак, масштаб и допустимость воздействия зависят от конкретной схемы и режима.

Один Мвар в разных узлах имеет разную полезность. Чтобы оценить услугу, нужно назвать точку, диапазон напряжения, время реакции, длительность и доступные направления регулирования. Простое сложение номинальных квар всех магазинов не даёт гарантированного ресурса для произвольного узла сети.

Для идеализированного инвертора: $P^2 + Q^2 \leq S_{\text{rated}}^2$

Если инвертор рассчитан на 100 кВА и отдаёт 80 кВт, геометрический предел $|Q|$ составляет 60 квар. При 100 кВт такого запаса в этой модели нет. Реальные ограничения задаются током, температурой, напряжением постоянного звена, программой управления и паспортом. Некоторые устройства способны регулировать Q при P около нуля, если их конструкция и режим это допускают; собственные активные потери сохраняются.

Следовательно, доступность Q , резерв активной мощности, заряд батареи и выдача активной энергии могут конкурировать за одни и те же токовые пределы. Их совместимость нужно рассчитывать для каждого интервала. Исследования управления Q распределёнными инверторами рассматривают именно такие сетевые ограничения. [S14]

10. Тесла, резонанс и очень большие квар

Резонанс способен создавать большой ток в ветви и высокое напряжение на элементе при сравнительно малой мощности покрытия потерь. Чтобы понимать опыт, полезно одновременно видеть активную мощность внешнего источника, реактивные величины отдельных ветвей и запас энергии. Патент или яркая демонстрация не заменяют такого баланса.

В учебной последовательной RLC-модели частота равна 1 000 Гц, действующий ток 50 А, напряжения на катушке и конденсаторе по 1 000 В. Тогда $|Q_L| = |Q_C| = 50\,000$ вар. Реактивности равны по модулю 20 Ом; $L \approx 3,183$ мГн, $C \approx 7,958$ мкФ. На резонансе $Q_L + Q_C = 0$ на внешней границе, хотя каждая ветвь несёт большие квар.

$$E = |Q_L|/\omega \approx 7,96 \text{ Дж}$$

$$\text{Добротность } q_f = \omega E/P_{\text{loss}} = 100 \rightarrow P_{\text{loss}} = 500 \text{ Вт}$$

Буква q_f здесь обозначает добротность без единиц; Q_L измеряется в вар. Это разные величины. Если добавить полезный отбор 5 кВт и сохранить прежний запас и амплитуды, источник должен покрывать примерно 5,5 кВт при принятой модели потерь. Без подпитки запас 7,96 Дж обеспечил бы 5 кВт максимум примерно на 1,59 мс даже при отсутствии потерь.

Поэтому отношение 50 квар к 0,5 кВт не является КПД 10 000%. Оно сопоставляет интенсивность колебательного процесса с потерями. При проверке заявления о необычном генераторе нужны интегралы входной и выходной активной энергии, изменение всех запасов, все электрические и механические входы и независимый повтор. Рекуперативное торможение двигателя тоже проверяют по активному энергетическому балансу; знак Q его не определяет.

11. Кто кому платит

Деньги могут относиться к покупке оборудования, обслуживанию, соблюдению режима, доступности регулирования или подтверждённому результату. Надпись «компенсация реактивной мощности» в коммерческом предложении ещё не раскрывает предмет платежа.

Ситуация	Направление платежа	За что платят
Установка и сервис	Владелец объекта → подрядчик	Оборудование, монтаж, обслуживание, оговорённый результат
Передача в России	Потребитель → сетевая организация, возможно через поставщика	Пункт 16 правил по ПП РФ №861 предусматривает коэффициенты при определённых нарушениях или согласованном регулировании; применение требует проверки договора, процедуры и методики. [S15]
Системная услуга в России	СО ЕЭС → отобранный исполнитель	Регулирование Q генерирующим оборудованием без производства активной энергии в рамках соответствующей услуги. [S16]
Великобритания, ORPS	NESO → допущенный поставщик услуги	Использование регулирования по договору; опубликованный механизм содержит оплату в £/Мвар·ч. [S17]
Сербия	Потребитель → поставщик по применимому счёту	EPS выделяет реактивную и избыточную реактивную энергию; порог избыточной части связан с $\cos \varphi = 0,95$. [S18]

Таким образом, потребитель может нести расходы за свой режим, а участник другой договорной конструкции получать доход за управление напряжением. Чтобы перевести это в финансовую модель, сначала устанавливают роль объекта и применимые правила. Текущие тарифы и обещанная доходность здесь не моделируются.

У счёта нет универсального физического числа строк. Поставка энергии, расчёт мощности, передача, сбытовая часть, корректировки и отдельные услуги могут группироваться по-разному. Число строк не совпадает с числом продаваемых прав. Для каждой дополнительной услуги следует проверить согласие заказчика, результат, способ приёмки и отсутствие повторного включения той же обязанности в другую плату.

12. Что можно токенизировать

Рабочая исходная точка: конкретное исполнимое право, связанное с измеряемой услугой или подтверждённым денежным требованием. Само число квар не определяет должника, владельца и условия исполнения. Учебные конструкции ниже требуют самостоятельного правового оформления в выбранной юрисдикции.

Конструкция	Единица и подтверждение	Обязательное условие
Доступность регулирования	квар доступного диапазона на интервал, испытание готовности	Указаны узел, направление, время реакции и ограничения
Выполненное регулирование	квар·ч по согласованному алгоритму, команда и телеметрия	Определены оплачиваемые интервалы и критерии приёма
Экономия активных потерь	кВт·ч после нормализации и учёта расходов компенсатора	Согласованы граница, базовая модель и неопределённость
Право на часть выручки	Денежная сумма принятой услуги	Назван плательщик, основание требования и срок
Доступ к высвобождённому ресурсу	Проверенная допустимая нагрузка в конкретном узле	Подтверждены техническое ограничение и право использования

Квар одной частоты и алгоритма нельзя молча объединять с квар другой трактовки. «Свободные кВА», «сэкономленные кВт·ч» и «резерв кВт» требуют разных проверок. Одна установка может дать несколько результатов, но каждый должен иметь самостоятельное основание учёта.

При одновременной продаже доступности инвертора для Q и резерва активной мощности нужно проверить совместимый диапазон P-Q. Продажа одного денежного требования дважды требует проверки прав и обременений; повторное описание одного физического эффекта разными названиями требует проверки методики. Реестр должен хранить происхождение результата и уже распределённые доли.

13. Паспорт результата и учебная сделка

Минимальный паспорт нужен до обсуждения цены. Он позволяет другому инженеру повторить расчёт, а другой стороне понять обязательство.

1. Идентификатор объекта, электрическая схема и точка измерения.
2. Определение величины и единицы: Q_1 , Q_B , N , PF , квар·ч или кВт·ч.
3. Стандарт, редакция, алгоритм прибора, окно и правила знаков.
4. Профиль нагрузки, напряжение, гармоники, несимметрия и условия пригодности.
5. Средства измерения, коэффициенты трансформации, неопределённость и пропуски.
6. Базовая модель, вмешательство и проверяемая причинная связь, если оплачивается экономия.
7. Диапазон P - Q , доступность, команды, ограничения и фактическая приёмка.
8. Право, владелец, обязанное лицо, срок и формула платежа.
9. Независимая проверка, исходные данные и версия заключения.
10. Распределение результата, совместимость услуг и защита от повторного учёта.

Условный пример SYN-Q-001. В узле SYN-NODE-A принята услуга доступности ± 100 квар в течение 4 часов при $|P| \leq 50$ кВт. Инвертор имеет номинал 125 кВА. В идеализированной окружности $\sqrt{(50^2 + 100^2)} \approx 111,8$ кВА, следовательно, заявка проходит только эту геометрическую проверку. Дополнительно проверяются напряжение, температура, паспорт и команда.

Пусть учебный договор задаёт 2 денежных единицы за квар·час доступности, учитывая ширину только одного согласованного направления 100 квар. Валовая сумма равна $100 \times 4 \times 2 = 800$. Симметричный диапазон ± 100 не удваивает объём автоматически. Приёмка и условия договора определяют, возникает ли денежное требование. Эта цена вымышлена и не является рыночной котировкой.

Если другой договор оплачивает фактическое использование, те же четыре часа могут дать иную сумму или ноль. Поэтому название токена должно раскрывать продукт и статус: заявлен, зарезервирован, оказан, принят, оплачен. Изменение алгоритма Q требует новой версии и согласованного перехода между рядами данных.

14. Как поставить убедительный эксперимент

Для исследования компенсации сначала фиксируют схему, точки измерения и состояние нагрузки. Регистрируют синхронно $u(t)$, $i(t)$, P , выбранный Q , RMS, гармоники и температуры. Затем сравнивают сопоставимые интервалы с компенсацией и без неё; порядок переключений помогает отделить вмешательство от естественного изменения режима.

Расчёт включает собственное потребление компенсатора и изменение запасов энергии. Погрешность фазового угла особенно существенна при небольшом Q на фоне большого S . До вывода об эффекте проверяют фазировку, насыщение трансформаторов тока, время и алгоритмы приборов. Увеличение числа десятичных знаков само по себе точность не повышает.

Для резонансного опыта полезны отдельные измерения на входе, выходе и элементах контура. Активную энергию интегрируют за интервал, включающий пуск, установившийся режим и останов, либо отдельно учитывают начальный и конечный запас. Сравнение одного максимума напряжения с усреднённой входной мощностью для баланса непригодно.

Хороший протокол заранее объясняет, какой результат подтвердит гипотезу и какой её опровергнет. Для работ на действующей силовой установке схему измерения и переключения должен выполнять квалифицированный персонал с подходящими средствами защиты. Учебные графики на этой странице можно исследовать без подключения к сети.

15. Вопросы для самостоятельной проверки

- 1. Счётчик показывает $Q_1 = 0$, а $PF = 0,89$. Противоречие?** Нет. Проверьте гармоники и несимметрию, затем определения S и PF . Пример главы 6 даёт именно такую ситуацию из-за искажённого тока.
- 2. Q одинаково до и после фильтра. Значит, пользы нет?** Для ответа недостаточно одного Q . Могли измениться гармоники, RMS-ток, потери, напряжение или доступная нагрузка. Каждый результат проверяют своим показателем.
- 3. При резонансе в катушке 50 квар, источник отдаёт 500 Вт. Где остаток?** В этом сравнении нет вычитаемого «остатка». Ветвь обменивается энергией, источник покрывает потери; Q катушки может компенсироваться Q конденсатора на входной границе.
- 4. Можно ли заменить Q словом «самоиндукция»?** Для катушки термин описывает механизм. Для всего семейства режимов он слишком узок: остаются ёмкость, коммутация, гармоники и принятый алгоритм.
- 5. Уменьшили потери линии на 29%. На столько же уменьшится весь счёт?** В главе 8 снижение относится к заданным потерям 30 кВт. Счёт зависит от измерительной границы и конструкции платежей.
- 6. Четыре часа готовности ± 100 квар дают 800 квар·ч?** Только если договор считает обе стороны диапазона именно так. В примере SYN-Q-001 расчётная величина доступности равна 400 квар·ч; фактическое использование может быть другим.
- 7. Два научных автора используют разные Q . Кто ошибся?** Сначала сопоставьте задачу, определение и допущения. Возможны разные корректные показатели. Ошибка возникает при неверном выводе или применении формулы вне её области.
- 8. Нулевая средняя энергия означает нулевую стоимость услуги?** Нет. Оборудование занимает токовый ресурс, имеет потери и может обеспечивать полезное регулирование напряжения. Цена следует из принятой услуги и договора.

16. Что остаётся открытым

Синусоидальный расчёт прост и воспроизводим. Интересные вопросы начинаются при искажениях, коммутации, несимметрии и выборе границы. Какой показатель лучше предсказывает устранимые потери? Как согласовать расчёт на клеммах с поведением всей сети? Как объединять данные приборов разных поколений? Как оценивать услугу в конкретном узле и не выдавать возможность за выполненный результат?

Здесь есть место новым алгоритмам, исследованиям и продуктам. Каждый из них выигрывает от ясных определений и открытой проверки. Удивление энергетикой становится продуктивным, когда после вопроса появляются схема, данные, расчёт и опыт, который можно повторить.

Практическое правило учебника: прежде чем назвать цену одного квар, запишите, какой именно квар измеряется, где, когда, каким способом и какое обязательство с ним связано.

Источники и границы проверки

Позиции исследователей приведены как авторские позиции. S10 и S11: проверены официальные карточки и описания стандартов; полный нормативный текст здесь не воспроизводится. S6: проверены библиография и аннотация. S15: текст нормативного акта в справочной правовой системе. Источники на языке оригинала. Учебные выводы, схемы и расчёты подготовлены редакцией.

S1 · Nikola Tesla. US464666A. Electro-Magnetic Motor (1891)

patents.google.com

S2 · Nikola Tesla. US568179A. Method of and apparatus for producing currents of high frequency (1896)

patents.google.com

S3 · C. P. Steinmetz. Theory and Calculation of Alternating Current Phenomena (1897)

books.google.com

S4 · L. S. Czarnecki. Do Energy Oscillations Degrade Energy Transfer? (2021)

czarnecki.study

S5 · L. S. Czarnecki. From Steinmetz to CPC: lectures on power theory

czarnecki.study

S6 · H. Akagi, Y. Kanazawa, A. Nabae. Instantaneous Reactive Power Compensators Comprising Switching Devices without Energy Storage Components. IEEE, 1984. DOI: 10.1109/TIA.1984.4504460

doi.org

S7 · L. S. Czarnecki. Physical Interpretation of the Reactive Power in Terms of the CPC Power Theory (2007)

czarnecki.study

S8 · R. Fetea, A. Petroianu. Reactive Power: A Strange Concept? (2000)

faculty.sist.shanghaitech.edu.cn

S9 · C. T. Gaunt, H. K. Chisepo, M. Malengret. Applying a physics-consistent general power theory. Part 1. CIGRE Science & Engineering 030 (2023)

cse.cigre.org

Источники и границы проверки · II

S10 · IEEE 1459-2025. Definitions for the Measurement of Electric Power Quantities

standards.ieee.org

S11 · IEC 62053-24:2020. Static meters for fundamental component reactive energy

webstore.iec.ch

S12 · Schneider Electric. Distortion, displacement and the truth: Understanding True Power Factor (2020)

blog.se.com

S13 · Schneider Electric. Guide for the Design and Production of LV Power Factor Correction Cubicles. PFCED111008EN

www.se.com

S14 · P. Šulc, K. Turitsyn, S. Backhaus, M. Chertkov. Options for Control of Reactive Power by Distributed Photovoltaic Generators (2010)

arxiv.org

S15 · ПП РФ №861 от 27.12.2004. Правила недискриминационного доступа к услугам по передаче электрической энергии, п. 16

www.consultant.ru

S16 · АО «СО ЕЭС». Технологическое обеспечение работы энергетических рынков

www.so-ups.ru

S17 · NESO. Obligatory Reactive Power Service (ORPS)

www.neso.energy

S18 · EPS. Osnovni pojmovi: reaktivna i prekomerna reaktivna energija

www.eps.rs