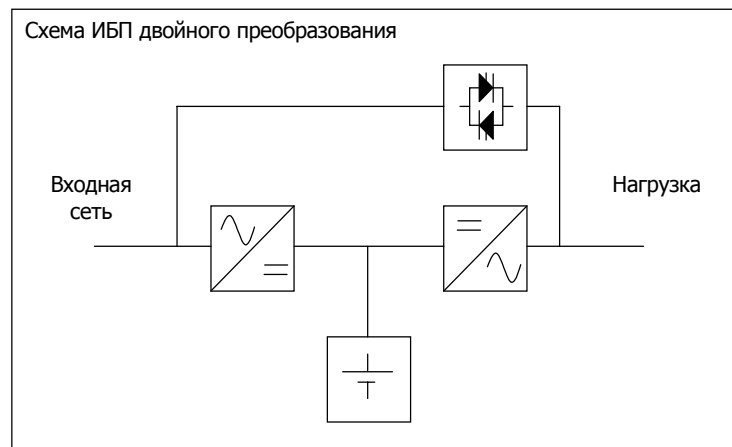


## ИБП с двойным преобразованием: нужен ли выходной трансформатор?

### 1. Общие положения

Источники бесперебойного питания (ИБП) с двойным преобразованием выпускаются уже несколько десятков лет, и за эти годы их конструкция претерпела значительные изменения. Все усовершенствования, касающиеся элементной базы, алгоритмов измерения параметров, использование микропроцессорных систем управления и другие модификации, направлены в основном на повышение эффективности работы, улучшение статических и динамических характеристик, увеличение надежности.



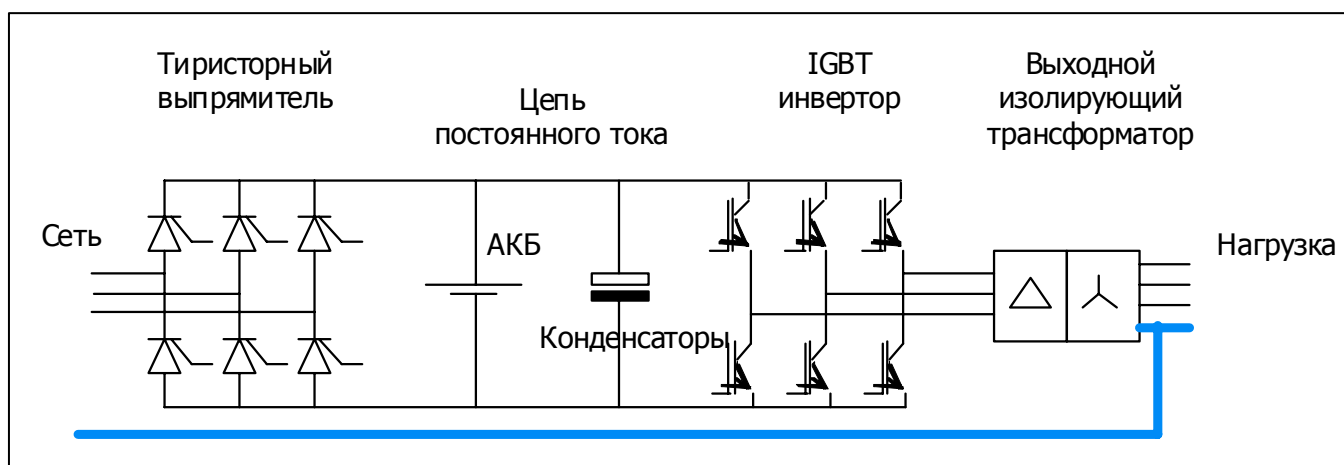
Если рассматривать ИБП с разных точек зрения, то можно выделить следующие группы требований к его конструкции:

- с точки зрения входной сети, ИБП должен иметь:
  - минимальные искажения формы тока на входе;
  - максимальный коэффициент мощности ( $\cos\phi=1$  в идеальном случае, то есть представлять собой чисто активную нагрузку);
  - минимальный ток в нейтральном проводнике;
  - мягкий старт, то есть постепенное нарастание тока при включении ИБП;
  - наилучшую совместимость с генераторами (все вышеперечисленные требования, плюс отсутствие паразитных наводок на входные цепи, которые могут осложнить работу систем автоматического регулирования напряжения генераторов).
- с точки зрения нагрузки, подключенной к ИБП, он должен обеспечивать:
  - отсутствие составляющей постоянного тока в выходном сигнале;
  - низкий коэффициент гармонических искажений формы напряжения;
  - высокие динамические характеристики;
  - способность работать при несимметричной нагрузке на фазах;
  - способность работать на нелинейную нагрузку, обеспечивая при этом высокие статические и динамические параметры выходного сигнала.

- применительно к аккумуляторным батареям, для обеспечения их максимального срока службы, ИБП должен иметь:
  - возможность проведения тестирования в автоматическом режиме;
  - безопасную для нагрузки процедуру проведения теста батарей;
  - быстрое время подзаряда с выполнением требований к зарядным характеристикам (температурная компенсация и т.д.);
  - совместимость с различными типами АКБ.
- наконец, ИБП как энергоустановка в целом, должен обладать следующими свойствами:
  - высокая надежность;
  - малая занимаемая площадь (с учетом зоны обслуживания) и нагрузка на пол;
  - высокий КПД;
  - возможность эффективного проведения технического обслуживания;
  - низкий уровень акустического шума;
  - низкий уровень электромагнитных помех и электромагнитная совместимость.

Все эти задачи успешно решаются при конструировании современных ИБП, использующих принцип двойного преобразования. При всем разнообразии технических решений, применяемых при их разработке, существуют две основные группы, на которые можно разбить ИБП: трансформаторные и безтрансформаторные ИБП. К первым относят ИБП, у которых выходной каскад инвертора нагружен на первичную обмотку выходного трансформатора (имеющего топологию «звезда-треугольник»), ко вторым – ИБП, инвертор которых через пассивный LC фильтр подключен непосредственно к нагрузке. Оба варианта конструкции имеют свои достоинства и недостатки, анализ которых изложен далее.

## 2. Трансформаторные ИБП



Для работы выпрямителя трехфазных трансформаторных ИБП не требуется наличие нейтрального проводника, а в цепи постоянного тока, как правило, включен один комплект АКБ требуемого напряжения и емкости. При этом батареи подключены непосредственно к цепи постоянного тока (через защитные предохранители). Поскольку

выходной трансформатор одновременно обеспечивает повышение напряжения, инвертор может работать при пониженном напряжении постоянного тока, а трансформатор вместе с конденсаторами в цепи постоянного тока на входе инвертора образует пассивный фильтр. Вторичная обмотка трансформатора содержит нейтральный вывод, напрямую соединяющийся со входной нейтралью ИБП. Соединение обмоток трансформатора выполнена зигзагом, благодаря чему при несимметричных нагрузках магнитный поток в магнитопроводе распределяется более равномерно, что делает практически равными токи и напряжения в обмотках всех фаз. Также уменьшается влияние высших гармоник в цепях нагрузки, поскольку они замыкаются на обмотках трансформатора.

Применение трансформатора в выходном каскаде ИБП обуславливает большой вес таких ИБП и большие габаритные размеры. Как правило, такие ИБП требуют доступа для проведения обслуживания более чем с одной стороны, тем самым увеличивается сервисная зона, занимаемая оборудованием. Однако, в современных ИБП (например, серии SG производства GE Digital Energy), требуется только фронтальный доступ.

Как правило, трансформаторные ИБП вырабатывают довольно высокий уровень гармоник во входных цепях (при использовании стандартных 6-импульсных выпрямителей). Однако, высокий коэффициент гармоник (28%) может быть существенно снижен путем применения пассивных фильтров – так, с дополнительным фильтром 5-ой гармоники ИБП SG имеет коэффициент искажений не выше 6-8%, а блок DCU обеспечивает еще более низкий коэффициент, не превышающий 5%. Эти же фильтры повышают входной коэффициент мощности от значения 0,8 до 0,9-0,98.

В цепи постоянного тока трансформаторных ИБП устанавливается, как правило, 30 12-вольтовых блоков (для ИБП мощностью свыше 20 кВА). Зарядное устройство в этом ИБП интегрировано с выпрямителем и обеспечивает достаточный зарядный ток для быстрого восстановления ресурса АКБ.

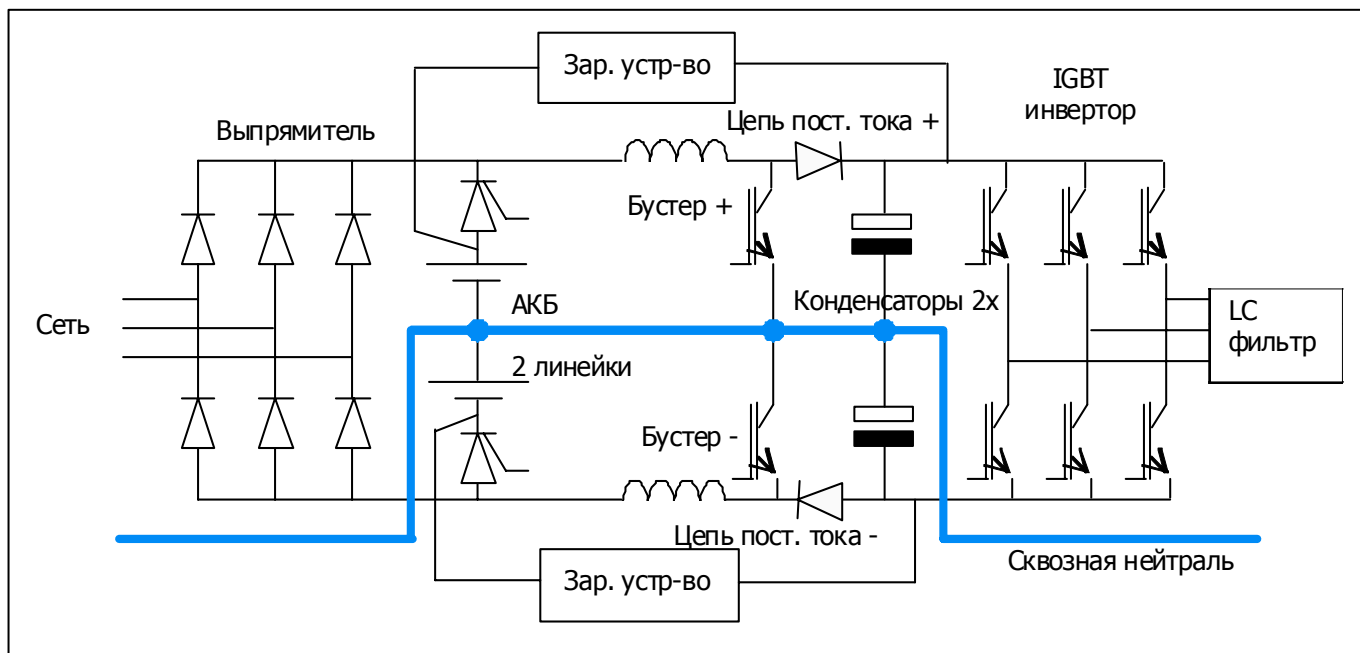
Процедура тестирования АКБ выполняется путем управления регулируемым выпрямителем (тиристорный выпрямитель позволяет регулировать выходное напряжение постоянного тока). При запуске теста выходное напряжение выпрямителя снижается ниже напряжения АКБ, при этом инвертор начинает разряжать АКБ. Система управления анализирует параметры тока и напряжения во внутренних цепях и принимает решение о том, находятся ли параметры АКБ в допустимых пределах. Такая процедура тестирования безопасна для нагрузки, поскольку инвертор имеет достаточно широкое входное окно по напряжению и питание нагрузки не будет прервано, даже если батарея вышла из строя.

Безусловно, применение трансформатора в ИБП понижает общий КПД устройства, однако в современных ИБП он (с учетом применения современных алгоритмов управления инвертором, как, например, пространственно-векторной модуляции в ИБП SitePro и SG) может достигать 92-93%. Что касается дальнейшего повышения КПД, то оно может быть достигнуто (как и в случае безтрансформаторных ИБП) путем внедрения различных ЭКО-режимов, при которых нагрузка подключена в обход цепи двойного преобразования.

Трансформатор на выходе ИБП обеспечивает не только гальваническую изоляцию, но и гарантирует отсутствие постоянной составляющей в выходном сигнале ИБП.

### 3. Безтрансформаторные ИБП

Инвертор безтрансформаторных ИБП должен обеспечивать более высокое выходное напряжение, поэтому в цепи постоянного тока установлены повышающие напряжение устройства – бустеры. Поскольку нейтральный проводник в безтрансформаторном ИБП является сквозным, то есть проходит с входа на выход, фактически цепь постоянного тока имеет два плеча – положительное и отрицательное. В каждом плече установлен комплект АКБ (как правило, 20 12-ти вольтовых блоков) и отдельное зарядное устройство. Фильтрация выходного сигнала осуществляется выходным LC фильтром.



Разумеется, отсутствие трансформатора снижает общие вес и габаритные размеры таких ИБП. Однако, при сравнении различных ИБП с точки зрения габаритных размеров нельзя упускать из виду такой параметр, как требование обеспечения доступа для обслуживания ИБП. Если для ИБП требуется доступ не только спереди, но и сзади и сбоку, то даже при меньших габаритах собственно ИБП он будет занимать большее пространство по сравнению с ИБП, для которых требуется доступ только спереди (серии SG и LP33 производства GE DE).

Бустер в выходном каскаде выпрямителя играет роль корректора входных гармоник, поэтому коэффициент входных искажений безтрансформаторных ИБП, как правило, не превышает 8-10% без применения дополнительных фильтров. Также и коэффициент мощности таких ИБП приближается к значениям 0,95-0,99. Однако, диодный выпрямитель (в отличие от тиристорного) не имеет возможности регулирования выходного напряжения, следовательно, функции плавного старта и безопасного теста батарей (как в трансформаторных ИБП) реализовать невозможно.

Применение большего числа АКБ и необходимость в дополнительных зарядных устройствах может несколько снизить интегральный показатель надежности ИБП (как правило, чем меньше число компонентов содержит система, тем более высокий уровень надежности она имеет). Кроме того, стоимость АКБ (играющая существенную роль для

конфигураций ИБП на длительное время автономной работы, а также при замене АКБ), может быть выше по сравнению с трансформаторным ИБП примерно на 15-25%.

КПД безтрансформаторного ИБП, как правило, немного выше, чем в случае трансформаторных ИБП, и достигает значений 93-93,5%. Мелькающие зачастую в рекламной литературе показатели на уровне 96-98% не подтверждаются практическими измерениями, да и трудно объяснимы теоретически (поскольку КПД выпрямителя, бустера и инвертора ограничивается цифрами 0,99, 0,99 и 0,95, соответственно).

Применение сквозного нейтрального проводника заставляет прибегать к дополнительным изолирующим трансформаторам, если требуется обеспечить гальваническую развязку входа и выхода ИБП. Также, несбалансированные однофазные потребители на выходе трехфазного ИБП могут обеспечить повышенный ток в нейтральном проводнике и в случае перехода ИБП на байпас, возможно срабатывание устройств защитного отключения, реагирующих на ток утечки.

#### 4. Общие выводы

Рассматривая в совокупности технические аспекты применения трансформаторных и безтрансформаторных ИБП, можно составить следующую таблицу, характеризующую сильные и слабые стороны обоих типов конструкции ИБП.

Характеристика	Трансформаторный ИБП	Безтрансформаторный ИБП
Интегральный показатель надежности	+	-
Занимаемая площадь	-	+
Вес	-	+
Входные искажения тока (без доп. фильтров)	-	+
Входной коэффициент мощности	-	+
Надежность и стоимость АКБ	+	-
Время заряда	+	-
Безопасное тестирование батарей	+	-
Эффективность (КПД)	-	+
Отсутствие постоянной составляющей на выходе ИБП	+	-
Мягкий старт	+	-
Необходимость нейтрали на входе ИБП	+	-

Разумеется, ни одна из рассмотренных характеристик не должна рассматриваться в качестве единственного критерия выбора того или иного типа ИБП.