

УДК 621.39

## ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ИСТОЧНИКИ БЕСПЕРЕБОЙНОГО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ

А. А. ТОРБА, М. О. ТОРБА, А. О. ТОРБА

---

В статье проанализированы современные структуры источников бесперебойного электропитания (ИБП) компьютерных систем. Для схемы с наилучшими техническими характеристиками – ИБП двойного преобразования предложены методы уменьшения стоимости и увеличения КПД.

*Ключевые слова:* источник вторичного электропитания, ИВЭП, источник бесперебойного питания, ИБП, корректор коэффициента мощности, ККМ.

### ВВЕДЕНИЕ

Основной функцией источника бесперебойного питания – ИБП (англ. UPS – Uninterruptible Power Supply (Source, Systems)) является обеспечение непрерывности электропитания посредством использования альтернативного источника энергии. Кроме того, ИБП повышает качество электропитания, обеспечивая фильтрацию помех первичных источников энергии и стабилизируя его параметры в установленных пределах. В ИБП в качестве накопителя энергии обычно используются химические источники тока – аккумуляторы.

Известны три структуры ИБП [1]:

– Резервная схема (англ. Off-Line, Standby) – в нормальном режиме питание нагрузки осуществляется напрямую от первичной электрической сети. При выходе электропитания за нормированные значения напряжения (или его пропадании) нагрузка автоматически подключается к питанию от схемы, получающей электрическую энергию от собственных аккумуляторов с помощью простого инвертора. При появлении напряжения в пределах нормы – снова переключает нагрузку на питание от первичной сети.

– Интерактивная схема (англ. Line-Interactive) – устройство аналогично предыдущей схеме; дополнительно на входе присутствует ступенчатый нормализатор напряжения на основе автотрансформатора. При пропадании входного переменного напряжения питание нагрузки осуществляется от аккумулятора через инвертор, аналогично предыдущей схеме.

– Схема с двойным преобразованием (англ. online, double-conversion,) – сначала входное переменное напряжение преобразуется в постоянное, заряжает аккумулятор, а также преобразуется обратно в переменное напряжение с помощью инвертора для энергоснабжения потребителя. При пропадании входного напряжения переключение потребителя на пита-

ние от аккумуляторов не требуется, поскольку аккумуляторы включены в цепь постоянно. В маркетинговых целях может использоваться фраза: «ИБП с нулевым временем переключения». В отличие от двух предыдущих схем, эти ИБП способны корректировать не только величину и форму выходного переменного напряжения, но и частоту.

В качестве недостатка ИБП со структурой двойного преобразования отмечают низкий КПД (80...90 %) по сравнению с предыдущими двумя схемами [1].

Такое высказывание позволяет сделать вывод о непонимании принципа работы трех схем ИБП. При пропадании входного напряжения первичного источника электропитания все три схемы выдают потребителю переменное напряжение через инвертор от аккумулятора, т.е. работают примерно с одинаковым КПД (80...90 %).

Но две первые схемы ИБП работают в таком режиме только 10-20 минут при цикле нормальной работы от исправной сети более 5 часов (время полного заряда аккумулятора). Поэтому средневзвешенный КПД может достигать значений более 99% при цикле нормальной работы от первичного источника электропитания более недели или месяца.

ИБП со структурой двойного преобразования работает с КПД 80...90 % постоянно.

Преобразователи входного переменного напряжения в постоянное (зарядные устройства аккумуляторов) имеется во всех трех схемах ИБП и работают с сопоставимыми КПД.

Признавая наилучшие технические характеристики ИБП со структурой двойного преобразования, необходимо учитывать их значительно большую стоимость по сравнению с двумя другими схемами ИБП и относительно меньший КПД по сравнению со средневзвешенным значением КПД двух предыдущих схем.

В статье рассмотрены методы увеличения КПД и уменьшение стоимости ИБП по схеме двойного преобразования.

### 1. ИБП ПОСТОЯННОГО ТОКА

В приведенных трех схемах ИБП первичным источником электроэнергии является сеть переменного напряжения 220 В или 230 В с допустимыми отклонениями  $\pm 10\%$  (или более) и частотой 50 Гц или 60 Гц.

На выходе ИБП генерируется также переменное напряжение 220 В или 230 В с частотой 50 Гц или 60 Гц.

Однако для питания процессоров, памяти и других модулей компьютера переменное напряжение 220 В неприемлемо. Поэтому внутри каждого компьютера имеется свой блок питания (источник вторичного электропитания – ИВЭП), который преобразует переменное напряжение 220 В в постоянные напряжения  $\pm 12$  В,  $\pm 5$  В и др.

Граничные показатели энергоэффективности компьютерных блоков питания для соответствия одному из сертификатов: 80 PLUS, 80 PLUS Bronze, 80 PLUS Silver, 80 PLUS Gold, 80 PLUS Platinum, 80 PLUS Titanium – при трех значениях нагрузки: 20%, 50% и 100% от номинальной мощности – обеспечивают КПД от 80% до 95% [2]. Причем у всех блоков питания максимальный КПД соответствует значению нагрузки 50% от номинальной мощности.

Поэтому суммарный КПД инвертора в ИБП и блока питания в компьютере составляет от 60 % до 80 %. То есть от 20 % до 40 % мощности, потребляемой от первичной сети или от аккумулятора (при отсутствии напряжения первичной сети), рассеивается в виде тепла и требует утилизации системами вентиляции (кулерами).

Уменьшить эти тепловые потери в 2...3 раза позволяют ИБП постоянного тока, которые отличаются от предыдущих схем отсутствием инвертора. Такой ИБП (рис. 1) состоит из преобразователя переменного напряжения в постоянное – AC/DC (зарядное устройство аккумулятора), собственно аккумулятора и преобразователей постоянного нестабилизированного напряжения (DC/DC) с выхода аккумулятора (12 В или 24 В) в постоянные стабилизированные напряжения  $\pm 12$  В,  $\pm 5$  В и др. для питания процессоров, микросхем памяти и других модулей компьютера [3].

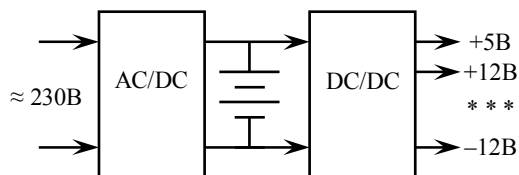


Рис. 1. ИБП постоянного тока

Мощность преобразователя AC/DC должна быть больше мощности, потребляемой компьютером, на величину, необходимую для полной зарядки аккумулятора в течение 5...10 часов.

КПД преобразователя DC/DC значительно выше суммарного КПД инверторов в трех схемах ИБП с выходным переменным напряжением и блока питания компьютера.

Конструктивно ИБП постоянного тока может быть реализован в двух корпусах:

1. Отдельно AC/DC преобразователь и аккумулятор.

2. DC/DC преобразователь в отдельном корпусе, аналогичном корпусу компьютерного блока питания (форм-фактора ATX), и поэтому он устанавливается в системный блок компьютера.

Современные ультратонкие компьютерные мониторы имеют выносной блок питания с выходным постоянным напряжением 12...20 В. Поэтому вместо выносного блока питания монитор может получать электроэнергию от аккумулятора или DC/DC преобразователя ИБП постоянного тока.

Стоимость ИБП постоянного тока существенно меньше суммарной стоимости ИБП по схеме с двойным преобразованием и стоимости компьютерного блока питания с соизмеримыми мощностями.

### 2. ИБП С КОРРЕКТОРОМ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ

Для современных источников вторичного электропитания (ИВЭП) нормируется минимальное значение коэффициента мощности – КМ (англ. Power Factor – PF) 90...95%.

Поэтому во всех импульсных ИВЭП (с мощностью более 100 Вт) обязательным элементом является корректор коэффициента мощности – ККМ (англ. Power Factor Correction – PFC), задачей которого является максимально приблизить форму кривой тока к синусоиде и максимально компенсировать фазовый сдвиг между током и напряжением.

Активная коррекция коэффициента мощности позволяет достичь значений КМ = 97...99% при коэффициенте нелинейных искажений – КНИ (англ. Total Harmonic Distortion – THD) в пределах 4...8%.

ККМ чаще всего выполняется по схеме обратногоходового импульсного стабилизатора напряжения (однотактного или многотактного) (рис. 2) [4].

Наличие стабилизатора напряжения на входе ИВЭП позволяет расширить допустимый диапазон изменения входного переменного напряжения электрической сети.

Напряжение на выходе ККМ (на конденсаторе C1) должно быть не менее амплитуды максимального значения входного переменного напряжения:

$$U_{C1} \geq U_{вх.макс} * \sqrt{2} = 265 * 1,4 = 371 \text{ В.}$$

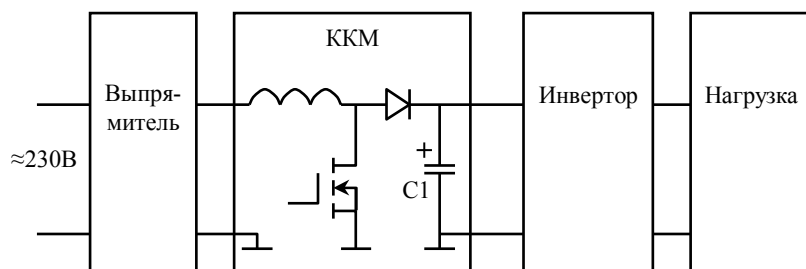


Рис. 2. Импульсный блок питания с ККМ

Это постоянное напряжение преобразуется инвертором в прямоугольные высокочастотные импульсы (частотой 25...150 кГц) с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ) и через развязывающий импульсный трансформатор подается на выпрямитель. Выпрямленное и отфильтрованное постоянное напряжение поступает в нагрузку.

Выходное напряжение ККМ (370...400 В) «чуждым образом» совпадает с напряжением аккумуляторов электромобилей. Это позволяет использовать такие аккумуляторы в ИБП двойного преобразования (рис. 3) с минимальными доработками [5].

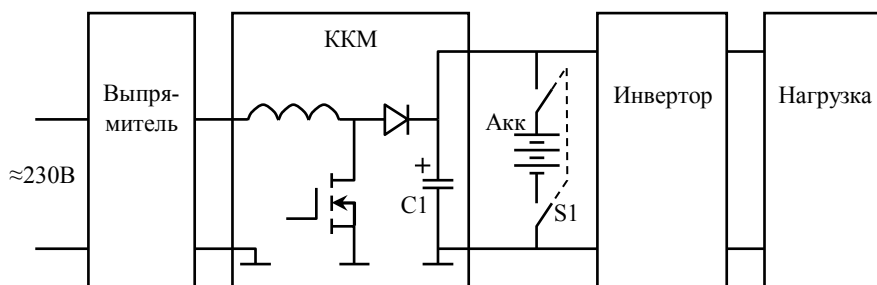


Рис. 3. Источник бесперебойного электропитания с ККМ

Аккумулятор с напряжением 370...400 В подключается к выходу ККМ через двоянный автоматический предохранитель-выключатель S1. Он необходим для защиты аккумулятора при коротком замыкании в цепи ККМ или инвертора, а также для защиты ККМ при неисправности аккумулятора.

Этот выключатель также необходим для отключения и замены аккумулятора при работающем блоке питания (но без функции бесперебойного электропитания, т.е. по схеме на рис. 2).

Мощность ККМ должна быть больше мощности, потребляемой инвертором, на величину, необходимую для полной зарядки аккумулятора в течение 5...10 часов или более.

Для надежной работы аккумулятора необходимо доработать контроллер ККМ, который формирует ШИМ сигнал для управления мощными полевыми транзисторами. Обычно этот контроллер ограничивает (контролирует) максимальное напряжение на выходе ККМ и максимальную мощность, потребляемую ККМ. Необходимо также добавить функцию ограничения максимального зарядного тока аккумулятора для предотвращения перегрева аккумулятора или выкипания электролита.

По этой же структурной схеме (рис. 3) можно реализовать ИБП двойного преобразования с выходным переменным напряжением 230 В. Инвертор выполня-

ет функцию ШИМ формирователя выходного синусоидального напряжения.

КПД такого ИБП двойного преобразования будет больше, а стоимость его будет меньше, чем в схеме с аккумулятором 12 В, потому что не нужен DC/DC преобразователь выходного напряжения ККМ 400 В в напряжение 12 В для зарядки аккумулятора, а также не нужен обратный DC/DC преобразователь с 12 В в 350 В для формирования выходного синусоидального напряжения 230 В.

## ВЫВОДЫ

ИБП по схеме двойного преобразования имеют лучшие технические характеристики по сравнению с резервными и интерактивными ИБП, но существенно дороже последних и обладают более низким КПД по сравнению со средневзвешенным значением для двух последних ИБП.

Предложенные в статье методы позволяют уменьшить стоимость систем бесперебойного электропитания и увеличить их КПД. Предложенные технические решения защищены патентами Украины.

Применение в ИБП аккумуляторов из автомобильной отрасли позволяет надеяться на улучшение их характеристик и уменьшение стоимости в связи с бурным развитием электромобилей, а также поиском и внедрением новых технологий производства аккумуляторов.

## Литература

- [1] Источник бесперебойного электропитания [сайт] (URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Источник\\_бесперебойного\\_электропитания](https://ru.wikipedia.org/wiki/Источник_бесперебойного_электропитания)).
- [2] Сертификация 80 PLUS для системных блоков питания [сайт] (URL: <http://www.mirpu.ru/power/265-80-plus.html>).
- [3] Патент України на корисну модель UA № 76803, H02J 9/00, H02M 11/00, Енергозберігаюче джерело безперебійного електроживлення / А.А. Торба, А.А. Бобкова, О.О. Торба, Д.О. Торба – опубл. 10.01.2013, Бюл. № 1, 2013.
- [4] Безмостовой КKM-преобразователь с КПД выше 98% и коэффициентом мощности 0,999. Часть 3 [сайт] (URL: <http://www.russianelectronics.ru/eader-r/review/micro/doc/55155/>).
- [5] Патент України на корисну модель UA № 114617, H02J 9/00, H02M 11/00, Джерело безперебійного електроживлення з імпульсним стабілізатором напруги / А.А. Торба, Ю.К. Шинкаренко, М.О. Торба, О.О. Торба, Д.Д. Торба – опубл. 10.03.2017, Бюл. № 5, 2017.

Поступила в редколлегию 19.12.2018



**Торба Александр Алексеевич**, кандидат технических наук, профессор кафедры ЭВМ, ХНУРЭ. Область научных интересов – силовая электроника и аппаратные средства криптографических систем.



**Торба Максим Олегович**, студент ХНУРЭ. Область научных интересов – программирование баз данных, аппаратные средства криптографических систем.



**Торба Александр Олегович**, студент ХНУРЭ. Область научных интересов – компьютерная анимация, аппаратные средства криптографических систем.

УДК 621.39

Торба А. А. **Енергозберігаючі джерела безперебійного електроживлення** / А. А. Торба, М. О. Торба, О. О. Торба // Прикладна радіоелектроніка: наук. – техн. журнал. – 2019. – Том 18, № 1, 2. – С. 80–83.

У статті проаналізовано сучасні структури джерел безперебійного електроживлення (ДБЖ) комп'ютерних систем. Для схеми з найкращими технічними характеристиками – ДБЖ подвійного перетворення запропоновані методи зменшення вартості і збільшення ККД.

*Ключові слова:* джерело вторинного електроживлення, ДВЕЖ, джерело безперебійного живлення, ДБЖ, коректор коефіцієнта потужності, ККП.

Іл.: 03. Бібліогр.: 05 найм.

UDC 621.39

Torba A. A. **Energy-saving sources of uninterrupted power supply** / A. A. Torba, M. O. Torba, O. O. Torba // Applied Radio Electronics: Sci. Journ. – 2019. – Vol. 18, № 1, 2. – P. 80–83.

The article analyzes the modern structures of uninterruptible power supplies (UPS) of computer systems. It proposes methods of cost reduction and efficiency increase for the scheme with the best technical characteristics – double conversion UPS.

*Keywords:* secondary power source, SPS, uninterruptible power supply, UPS, power factor corrector, PFC.

Fig.: 03. Ref.: 05 items.