

Системы бесперебойного питания

на базе обратимых непосредственных циклоконвертеров

Традиционная структура системы бесперебойного питания переменного тока включает в себя выпрямитель с импульсным корректором коэффициента мощности, емкостный сглаживающий фильтр, аккумуляторную батарею, инвертор с синусоидальным напряжением и низкочастотный фильтр переменного тока.

**Станислав Резников,
К. Т. Н.,
Олег Гильбурд**

dean3@mai.ru

К основным недостаткам указанной структуры относятся:

- двойное преобразование энергии;
- необратимость направления преобразования (неприемлемость для рекуперативного торможения электроприводов, для взаимосвязи каналов питания и т. п.);
- высокая энергоемкость сглаживающего конденсатора;
- сложность обеспечения синусоидальности выходного напряжения без громоздких низкочастотных фильтров;
- наличие, как правило, высоковольтной аккумуляторной батареи;
- трудность обеспечения общей точки вход-выход (например, заземленной) и реализации трехфазного исполнения с заземленной нейтралью.

Авторами предлагаются две структуры систем бесперебойного питания, свободные от указанных недостатков и основанные на оригинальных схемах импульсных обратимых непосредственных циклоконвертеров (ОНЦ).

На рис. 1а показан несимметричный вариант структуры многомодуляторного ОНЦ, подключенного к вершинам емкостного треугольного фильтра (с относительно малыми емкостями конденсаторов).

Данный ОНЦ способен работать в одном из трех возможных режимов:

- обратимое преобразование $U_1 \leftrightarrow U_2$ или $U_2 \leftrightarrow U_3$ с нулевым или 180-градусным фазовым сдвигом;
- обратимое преобразование $U_1 \leftrightarrow U_3$ со 180-градусным фазовым сдвигом (со сменой полярности);
- вольтодобавочное обратимое преобразование $U_1 \leftrightarrow \pm \Delta U_2 \leftrightarrow U_3$ с нулевым фазовым сдвигом.

Последний (вольтодобавочный) режим представляется наиболее энергоэкономичным при выполнении функции стабилизации напряжения, а первый — при питании от аккумуляторной батареи.

На рис. 1б приведен пример осциллограмм напряжений, соответствующий этому режиму.

При появлении на первой полуовне питающего напряжения U_1 положительного отклонения (всплеска) $\Delta U = U_1 - U_3$ относительно заданной синусоиды U_3 необходимо на вольтодобавочном конденсаторе C_2 сформировать противонапряжение $\Delta U_2 = -\Delta U$. Для этого в течение каждого периода широтно-импульсного модуля сначала включаются электронные ключи ЭК_1 и ЭК_5 , происходит нарастание тока в дросселе L , затем вместо указанных ключей включаются ключи ЭК_2 и ЭК_3 , и ток дросселя спадает при подзарядке C_2 . Указанные циклы периодически повторяются (с относительно высокой частотой) с управляемой по обратной связи относительной длительностью γ по закону $\Delta U_2 = \frac{\gamma}{1-\gamma} U_1$

(в случае непрерывного тока в дросселе). После прохода вершины всплеска для снижения величины в течение каждого периода широтно-импульсного модуля ΔU_2 сначала включаются ЭК_2 и ЭК_3 , а затем вместо ЭК_3 включается ЭК_5 , после чего подзарядается C_3 .

При появлении на первой полуовне U_1 отрицательного отклонения (провала) ΔU необходимо на C_2 сформировать вольтодобавку $\Delta U_2 = \Delta U$.

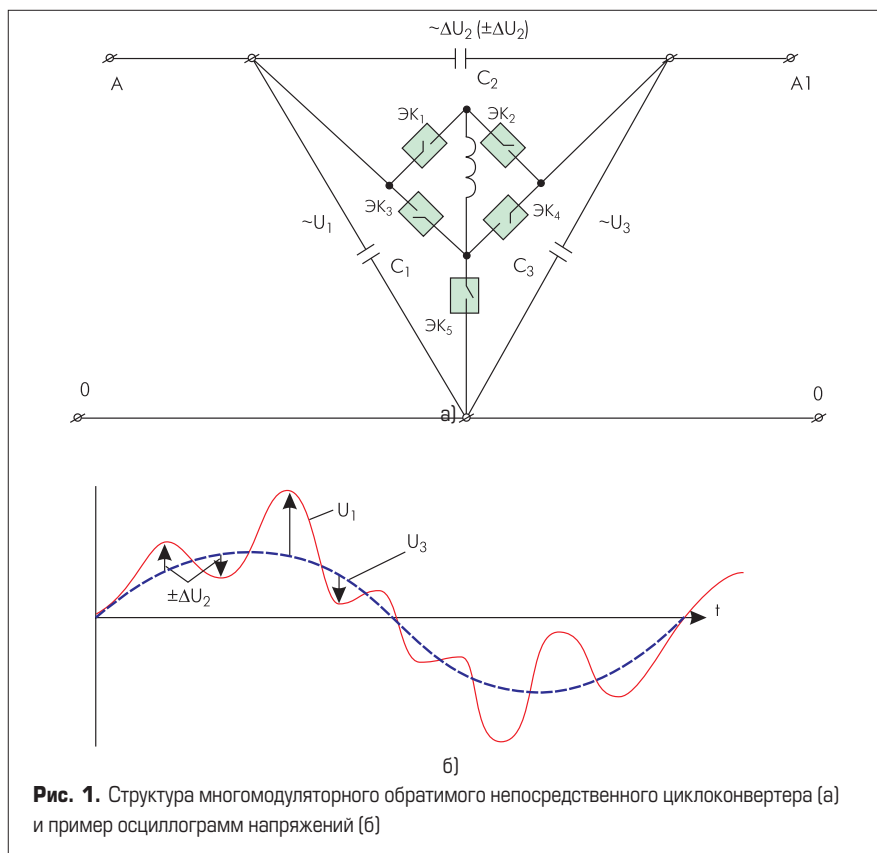


Рис. 1. Структура многомодуляторного обратимого непосредственного циклоконвертера (а) и пример осциллограмм напряжений (б)

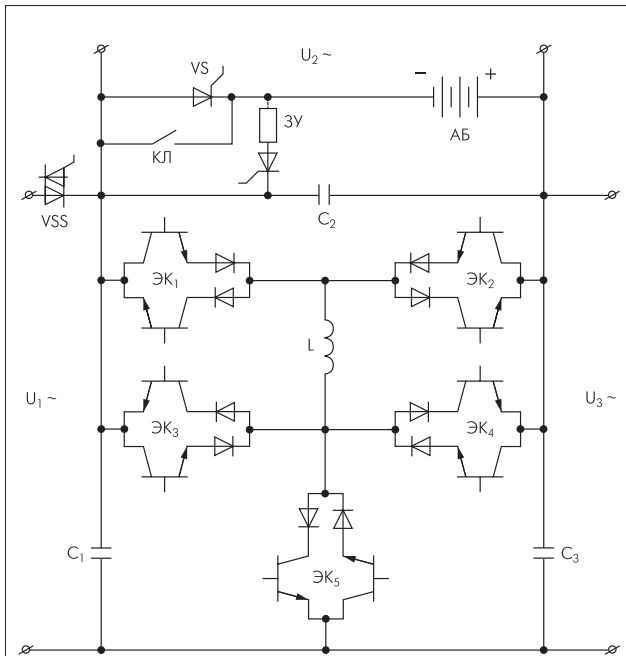


Рис. 2. Система бесперебойного питания на базе многомодуляторного обратимого непосредственного циклоконвертера

Для этого в течение периода ШИМ сначала включаются ЭК₁ и ЭК₅, а затем вместо ЭК₅ — ЭК₁ и т. д. Для снижения величины ΔU_2 в течение того же периода сначала включаются ЭК₁ и ЭК₅, а затем вместо них — ЭК₂ и ЭК₃.

Аналогичным образом парированы отклонения и на отрицательной полуволне U_1 .

Симметрия структуры позволяет аналогичным образом осуществлять обратное питание — со стороны U_3 , например, при рекуперативном торможении электропривода, при форсированном гашении магнитного поля (например, возбуждения электромашин) или при взаимодействии двух каналов (сетей).

На рис. 2 приведена принципиальная схема системы бесперебойного питания на базе многомодуляторного ОНЦ и аккумуляторной батареи АБ, подключаемой параллельно C_2 . При аварийном исчезновении сетевого питания U_1 сначала включается тиристор VS и выключается симистор VSS, а затем симистор VS шунтируется контакторным ключом КЛ для снижения тепловых потерь. При этом ОНЦ работает в качестве инвертора с синусоидальным выходным напряжением U_3 .

Питающая сеть может быть подключена либо со стороны U_1 , либо со стороны U_2 . При этом схема позволяет выбирать режимы (прямоходовые — с понижением или с повышением напряжения, и обратногоходовые) в зависимости от соотношения между напряжениями и в соответствии с их полярностями.

Наличие общей точки для входа и выхода позволяет не только использовать общее заземление, но и без затруднений применить схему для трехфазной сети (с тройным комплектом ОНЦ).

Компьютерное «квазианалоговое» моделирование данной схемы показало, что при амплитудно-модулированных колебаниях питающего напряжения порядка 20–30% и номинальной мощности 3–4 кВт стабили-

зация в вольтодобавочном режиме по сравнению с режимом прямого преобразования позволяет снизить тепловые потери в IGBT-транзисторах на 40–50% (при частоте модуляции 15 кГц).

Если пожертвовать наличием общей точки вход-выход, то можно реализовать двухмодуляторный вариант ОНЦ (вместо рассмотренного 10-модуляторного). В этом случае функция циклического изменения структуры каналов преобразования может быть возложена на низкочастотные тиристоры и симисторы. Такой вариант представляется рациональным в случае относительно высоких значений амплитуд рабочих напряжений (например, $\sqrt{2} \times 380\text{В}$) при относительно больших номинальных токах (200–400 А и более). В этом случае возможен существенный выигрыш в стоимости системы, так как модульные IGBT-транзисторы с предельными значениями 200–400 А и 1200–1700 В в комплекте с драйверами в настоящее время имеют относительно высокую стоимость.

На рис. 3 показана запатентованная авторами принципиальная схема силовой части системы бесперебойного питания на базе двухмодуляторного ОНЦ. Для повышения КПД в схеме предусмотрены только прямоходовые режимы импульсной модуляции:

- а) с понижением напряжения согласно соотношению: $U_2 = U_1 \times \gamma$ (обозначен зеленым цветом; сплошная линия — нарастание тока дросселя, пунктирная — снижение тока);
- б) с повышением напряжения согласно соотношению: $U_2 = U_1 \frac{1}{1-\gamma}$

(обозначен красным цветом). При полярности питания «±» работает второй импульсный модулятор ИМ₂, а при «+» — ИМ₁.

В режиме стабилизации напряжения симисторный мостовой реверсор (МР) может быть зашунтирован контактами К₁ и К₂. В режиме

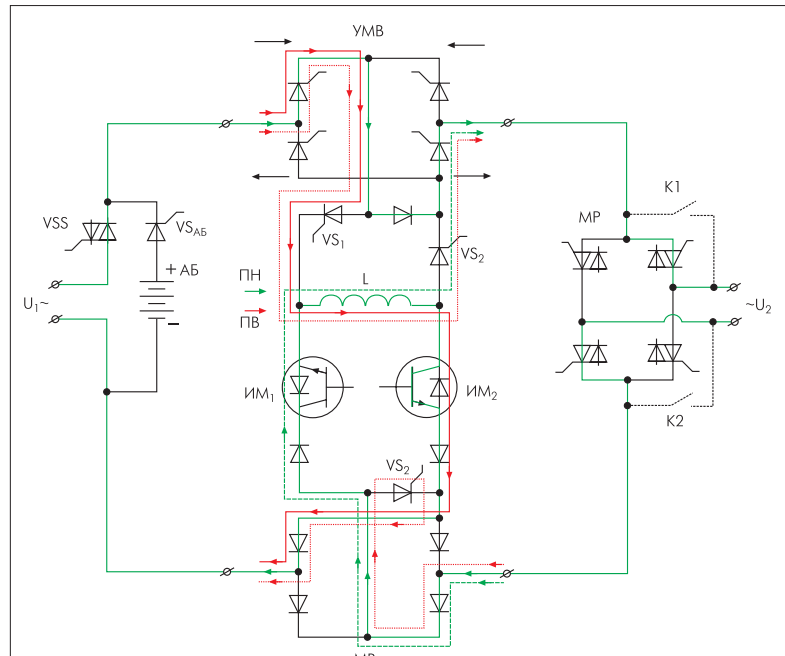


Рис. 3. Система бесперебойного питания на базе двухмодуляторного обратимого непосредственного циклоконвертера

питания от аккумуляторной батареи АБ работают ИМ₂ и МР. Благодаря МР возможен режим смены выходной фазы на 180° по отношению к входной (смена полярности).

Выводы

Предложенные схемы системы бесперебойного питания на базе обратимых непосредственных циклоконвертеров по сравнению с традиционными аналогами имеют следующие преимущества:

- однократное (непосредственное) преобразование энергии, позволяющее повысить КПД, особенно при вольтодобавочном режиме;
- обратимость направления преобразования, позволяющая осуществлять рекуперацию энергии (например, при торможении электропривода, форсированном гашении магнитного поля, взаимосвязи каналов питания и т. п.);
- отсутствие сглаживающего конденсатора с большой емкостью;
- произвольное значение номинального напряжения резервной аккумуляторной батареи и произвольная нестабильность ее реального напряжения;
- наличие общей точки вход-выход, (например, заземленной) и простая реализация трехфазного исполнения (для варианта с многомодуляторным ОНЦ);
- обеспечение синусоидальности выходного напряжения без громоздких низкочастотных фильтров.

Результаты моделирования и экспериментальных исследований рассмотренных схем позволяют рекомендовать их для проектирования перспективных систем бесперебойного питания в широком диапазоне мощностей (до 150–250 кВт) на базе IGBT-транзисторов.