

Двухкиловаттный AC/DC-модуль на основе преобразователя с фазовой модуляцией

Сергей ЧУГУНОВ
Игорь ТВЕРДОВ
alecsan@aeip.ru

В новых модулях питания предприятия «АЛЕКСАНДЕР ЭЛЕКТРИК источники электропитания» (АЭИЭП) используются в основном преобразователи с переключением силового ключа при нулевом напряжении. Первоначально такое переключение было применено в модулях DC/DC серии МДМ-ЕП [1, 2]. Главные преимущества преобразователя — низкие коммутационные потери и экономичность процесса передачи мощности, поскольку колебания напряжения и тока имеют прямоугольную форму. Эти преимущества позволили разработать модули с КПД $\geq 90\%$ в широком диапазоне (10:1) входных напряжений.

Еще более эффективным оказалось применение преобразователей с переключением при нулевом напряжении в AC/DC-модулях мощностью от сотен ватт до единиц киловатт. Ранее в таких модулях была предусмотрена другая схема: «косой» полумост с ШИМ, но значительные потери на переключение ограничивали частоту преобразования на уровне 50 кГц. Мостовые преобразователи с фазовой модуляцией, реализующие переключение ключа при нулевом напряжении, лишены этих недостатков.

Рассматриваемые преобразователи достаточно полно изучены с середины 1990-х, однако широкое внедрение стало возможным только в последние годы, когда были выпущены фазовые контроллеры и высоковольтные МОП-транзисторы. В 2013 году на АЭИЭП разработан 2-киловаттный модуль МАА2000 (рис. 1), выполненный по схеме моста с фазовой модуляцией и заменивший ранее выпускаемый модуль МАА1500, который собран по схеме «косой» полумост [9]. Как видно из таблицы 1, модули изготавливаются в одинаковом корпусе, а большая мощность и высокий КПД подчеркивают преимущества разработанного преобразователя.

Модули МАА2000, как и МАА1500, рассчитаны на трехфазные сети 380 В/50 Гц и 220 В/400 Гц с качеством электроэнергии в соответствии с группой Г по ГОСТ В 24425; выпускаются с выходным напряжением

от 24 до 70 В, суммарная нестабильность которого $\pm 3\%$, амплитуда пульсаций 1%.

Устройства имеют полный комплекс защит — от перегрузки, короткого замыкания, перегрева, превышения выходного напряжения (все виды защит самовосстанавливающиеся), снабжены функцией дистанционного включения-выключения, также предусмотрена возможность параллельного соединения, компенсация выходного напряжения в зависимости от напряжения, дополнительный выход питания вентилятора охлаждения.

Модули МАА2000 базируются на мостовом преобразователе VT1–VT4 (рис. 2), работающем на частоте 100 кГц с фазовой модуляцией. В преобразователе коммутация ключей происходит при нулевом напряжении. На затвор МОП-транзисторов подается сигнал на отпирание, только когда напряжение сток-исток равно нулю [3].

В модуль встроены высокоэффективный трехфазный фильтр радиопомех ФРП (коэффициент подавления > 60 дБ), состоящий из двух Т-образных LC-звеньев, в которых одно звено подавляет помехи по симметричному пути, другое — по несимметричному.

Во входной части модуля между линейными проводами установлены варисторы VR1–VR3, служащие для защиты от высоковольтных импульсов с амплитудой 1000 В и ограничивающие напряжение на уровне 800 В. Таким образом созданы условия для безопасной работы транзисторов преобразователя.

Корректирующий дроссель L7 обеспечивает получение фазного тока, близкого по форме к синусоиде. Известно [3], что пассивная коррекция в трехфазных модулях значительно эффективнее, чем в однофазных. Устройство управления модуля включает ИС контроллера фазовой модуляции, ИС с четырьмя усилителями сигнала затвора, модули служебного источника и параллельной работы, трансформаторную развязку.



Рис. 1. 2-киловаттный модуль МАА2000

Таблица 1. Технические характеристики модулей МАА

Типы преобразователя	МАА900	МАА1500	МАА2000
Выходная мощность, Вт	900	1500	2000
Максимальный выходной ток, А	55	55	100
Входные напряжения, В	~3×380 (323–437)/~3×220 (187–253)		
Выходные напряжения, В	3–80		
КПД, %	90	91	93
Диапазон рабочих температур, °С	–50...+85		
Габаритные размеры, мм	280×170×42	280×170×48	280×170×48

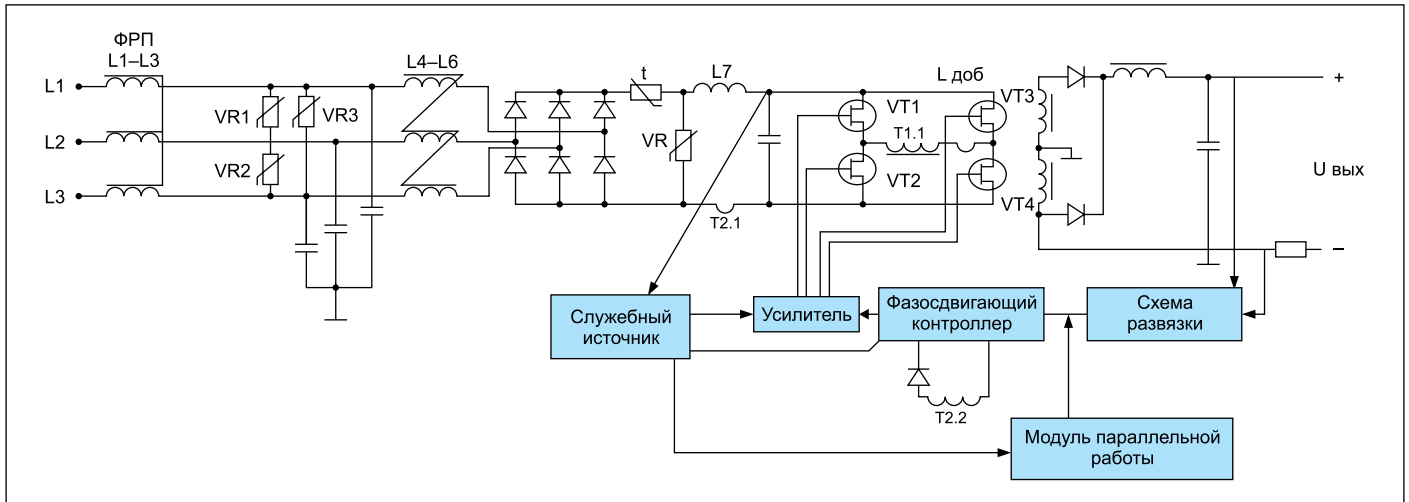


Рис. 2. Структурная схема MAA2000

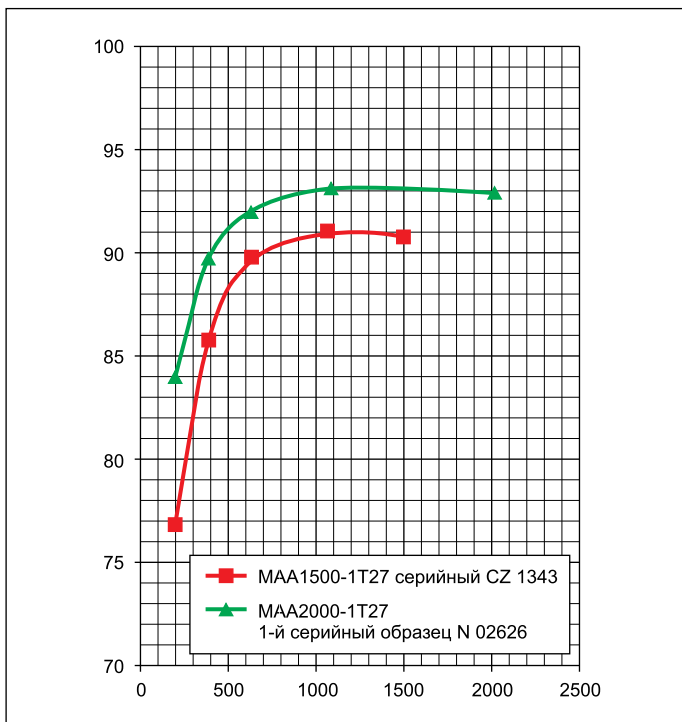


Рис. 3. КПД в диапазоне нагрузок

Еще раз о КПД

Переход на частоту 100 кГц позволил увеличить удельную мощность модуля MAA2000 в 1,3 раза по сравнению с MAA1500, и, несмотря на увеличение количества переключений почти в 2 раза, потери в преобразователе модуля MAA2000 уменьшились и КПД вырос на 2–7% за счет включения при нулевом напряжении сток-исток (рис. 3).

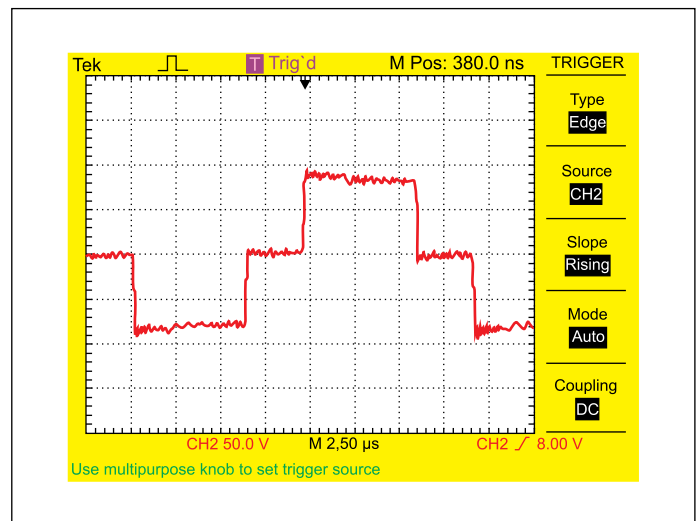


Рис. 4. Напряжение на трансформаторе

Отсутствие перенапряжения

При переключениях транзисторов моста при нуле напряжения отсутствуют выбросы напряжения на обмотках трансформатора (рис. 4). Напряжение на МОП-транзисторах и диодах выходного выпрямителя ограничено напряжением источника.

Параллельная работа

При температуре +85 °С пять модулей, включенных параллельно, работали стабильно в диапазоне нагрузок от холостого хода до номинальной. Разброс токов модулей был более чем в 2 раза меньше допустимого (±15%) (табл. 2).

Электромагнитная совместимость

Электромагнитная совместимость модуля с питающей сетью и электронной аппаратурой обеспечивается экранированием и фильтрацией радиопомех. Модуль имеет встроенные фильтры радиопомех на входе и выходе. На рис. 5 приведен график напряжения радиопомех модуля, а также показаны нормы напряжения помех по ГОСТу. В диапазоне частот от 100 кГц до 30 МГц помехи на входе модуля превышают значения «Норма». Поскольку маловероятно отдельное применение модуля, уровни помех были измерены при

Таблица 2. Разброс токов при параллельной работе

I _{вых} Σ			U _{вых} , В			Разброс токов, %		
0,5I _{ном}	0,7I _{ном}	I _{ном}	0,5I _{ном}	0,7I _{ном}	I _{ном}	0,5I _{ном}	0,7I _{ном}	I _{ном}
38,8	54	77,7	27,05	27,046	27,043	-1,7	+1,8	+3,1
38,1	53	75,5				-0,1	-0,04	+0,21
35,7	49,6	70,9				-6,4	-6,5	-5,9
41,3	56,4	78				+8,3	+6,4	+3,5
36,8	52,1	74,6				-3,5	-1,7	-1

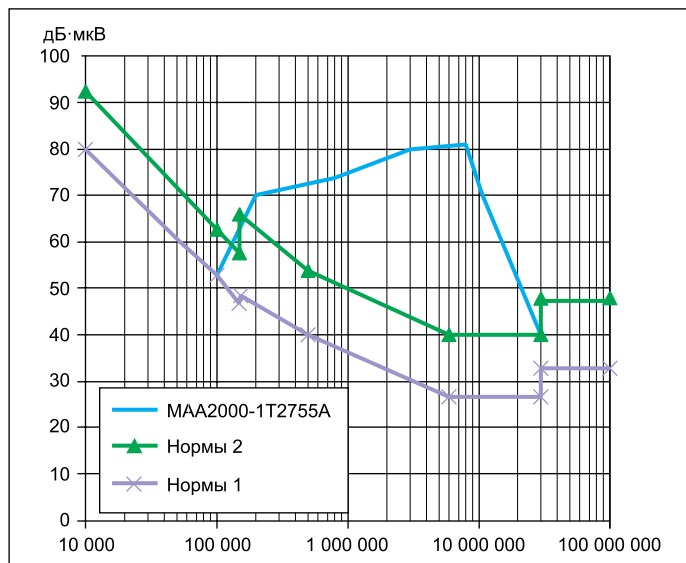


Рис. 5. График напряжения радиопомех модуля

размещении модуля в корпусе, где установлены дополнительные фильтры (рис. 6).

При таком размещении радиопомехи модуля не превышают значений «Норма» по кривой 1.

Поставка модулей МАА2000 с приемкой «5» ведется в рамках ОКР «Разработка унифицированных 1-, 2-, 3-канальных модулей электропитания мощностью 20–2000 Вт с гальванически развязанными выходными каналами, с напряжением развязки вход/выход 1500 В и между каналами 500 В, с высокими удельными характеристиками». Шифр «Ясность-98».

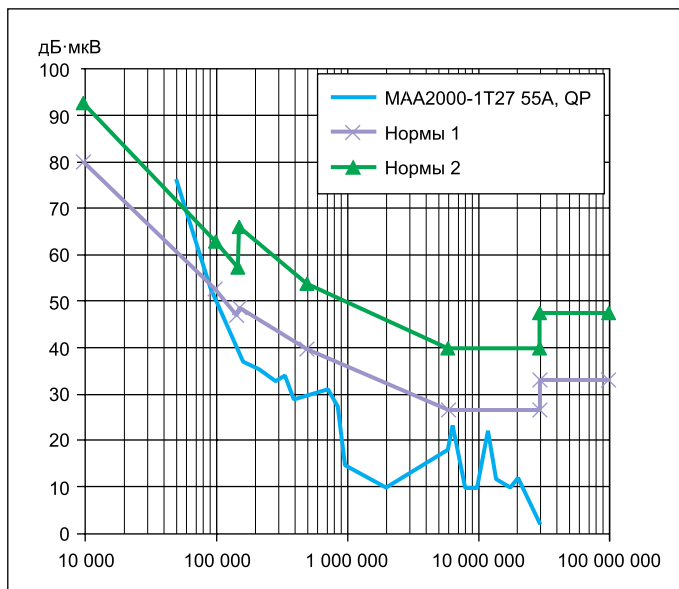


Рис. 6. График напряжения радиопомех модуля в кожухе с внешними фильтрами радиопомех

Литература

1. Твердов И., Кравченко М. Модули питания с высоким КПД // Электронные компоненты. 2012. № 8.
2. Лукин А. Высокочастотные преобразователи с резонансным переключением. Сборник. М.: Электропитание. 1993.
3. Твердов И., Плоткин И. Модуль питания для трехфазной сети 380 В без нейтрали // Электропитание. 2010. № 3.