

# ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ EFE КОМПАНИИ TDK-Lambda – КОМПАКТНЫЕ И НАДЕЖНЫЕ

Е.Рабинович evgeny.r@tdk-lambda.ru

В корпусах медицинских, измерительных, охранных и других систем часто остается лишь небольшой объем для размещения источника питания (ИП). Поэтому необходимы ИП, имеющие малые габариты и в то же время обладающие высокими техническими характеристиками. Инженеры английского подразделения компании TDK-Lambda реализовали ряд интересных решений для создания такого источника. В результате появился ИП, который намного компактнее, надежнее и экономичнее своих предшественников.

Речь идет о новой серии EFE с цифровой схемой контроля (рис.1). Модуль EFE300 отдает нагрузке 300 Вт непрерывной мощности и 400 Вт пиковой мощности и имеет выходы 12 В/25 А или 24 В/12,5 А, а модуль EFE400 отдает 400 Вт в обычном режиме и 530 Вт – в пиковом. Номиналы его выходов 12 В/33,3 А или 24 В/16,7 А. Эти модели по заказу могут быть запрограммированы на нестандартные напряжения

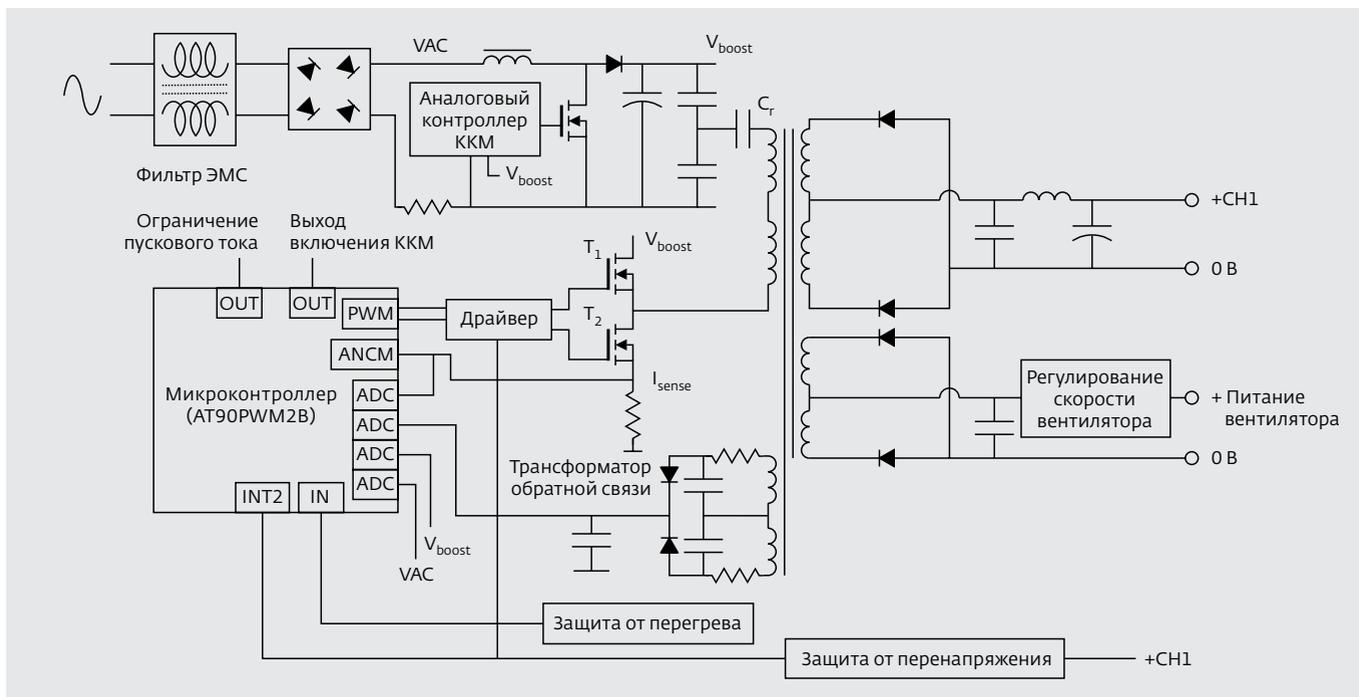


Рис.1. Источник питания серии EFE

систем заказчика. Возможна комплектация дополнительным источником 12 В/0,25 А для охлаждающего вентилятора. Все модели работают от сети переменного тока диапазона 90–264 В и содержат активный корректор коэффициента мощности (ККМ).

В основе преобразователя EFE лежит резонансная архитектура. По внешнему виду его схема (рис.2) почти ничем не отличается от обычной полумостовой. Но регулирование выходного напряжения выполняется не широтно-импульсным, а частотно-импульсным методом. Дополнительная емкость  $C_r$  совместно с первичной обмоткой трансформатора создает колебательный контур. В зависимости от режима работы переключение MOSFET-транзисторов  $T_1$  и  $T_2$  происходит на частотах от 200 до 700 кГц. Вторичные обмотки трансформатора, работающие попеременно, формируют напряжение, пропорциональное напряжению в первичной обмотке. Оно фильтруется и подается на выходные клеммы ИП.

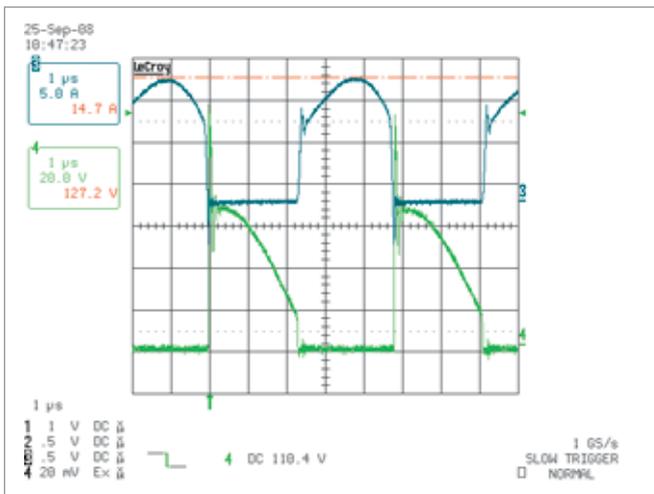
Управление коммутацией транзисторов  $T_1$  и  $T_2$  выполняется не стандартным драйвером-контроллером, а программируемым микроконтроллером. Из-за оптимальных соотношений качества, быстродействия, энергопотребления



**Рис.2.** Блок-схема источника питания EFE300 с цифровым контролем на базе микроконтроллера AT90PWM2B (ATMEL)

и стоимости было решено использовать микроконтроллер AT90PWM2B компании ATMEL. Это 8-битный контроллер, построенный по архитектуре RISC и имеющий 512 байт внутрисистемной памяти SRAM, столько же EEROM-памяти, а также 8 Кбайт флеш-памяти. Его процессорное ядро работает на частоте 16 МГц. У контроллера 11 входов для 10-битного АЦП-преобразования, два дифференцирующих канала для выполнения программируемого предварительного усиления, один канал для ЦАП-преобразования. Микросхема также имеет два независимых выходных канала для 8-битного и 16-битного формирования сигнала ШИМ. Встроенная схема формирования сигнала позволяет не только изменять его фазу, но и устанавливать его частоту, что и дает возможность выполнять частотно-импульсное регулирование выходного напряжения.

Чтобы добиться высокой точности выходного напряжения, замеры состояния выхода производятся с частотой около 80 кГц. Возникает вопрос: как же может выполняться контроль выходного напряжения, если коммутация происходит на частотах 200–700 кГц? Дело в том, что схема регулирования основана на обратной связи по усредненному значению напряжения в выходном каскаде – она не впервые применяется именно в резонансных архитектурах.



**Рис.3.** Кривые тока и напряжения на транзисторах ИП EFE300, снятые между истоком и стоком – переключение при нулевом напряжении

Для организации обратной связи по напряжению используется специальный модуль с обмотками на сердечнике основного трансформатора. С него на один из АЦП-каналов контроллера поступает напряжение, пропорциональное напряжению первичной обмотки. Такая организация обратной связи по напряжению экономит место на плате и снижает стоимость конечных устройств за счет отсутствия оптронной развязки.

Защита от перенапряжения выполняется аналоговой схемой, основанной на диоде Зенера. Сигнал от нее подается на микроконтроллер и в случае перенапряжения переводит источник в состояние "Выкл.". Защита от перегрева представляет собой четыре термодатчика, которые подают сигнал о перегреве на один из аналоговых каналов "Вх./Вых." микросхемы.

Контроллер также постоянно "следит" за значениями напряжения на выходе ККМ и током в контуре полумоста ( $V_{boost}$  и  $I_{sense}$  на схеме). Эти значения позволяют определить, какова мощность, отдаваемая источником в каждый момент времени. Если регистрируется мощность в пределах 133% от номинальной, ИП продолжает работать. Но при этом включается внутренний таймер, который при превышении допустимого интервала времени (как правило, 10 с) сигнализирует о прекращении подачи импульсов на открытие транзисторных ключей и переводит источник во временное выключенное состояние. Таким образом, обеспечивается работа преобразователя в режиме пиковой нагрузки и исключается

опасность выхода из строя каких-либо активно греющихся компонентов.

В технике переключения транзисторами используется принцип переключения при нулевом напряжении (ZVT – zero voltage transition). Когда ток протекает через транзистор  $T_1$ , напряжение между его стоком и истоком близко к нулю. При запираии ключа  $T_1$  ток не исчезает мгновенно из-за энергии, накопленной в индуктивности первичной обмотки. Напряжение в ней меняет свою полярность, напряжение на истоке падает и может стать отрицательным по отношению к истоку транзистора  $T_2$ . Через внутренний диод, направленный от истока к стоку, течет кратковременный ток и разность потенциалов "сток-исток"  $T_2$  не может превысить 0,5 В. Таким образом, на момент открытия транзистора  $T_2$  на его стоке будет напряжение, очень близкое к нулю, и при этих условиях через него потечет ток. Поведение напряжения и тока транзистора можно видеть на экране осциллографа (рис.3). Применение переключения при нулевом напряжении позволяет очень существенно снизить потери мощности на коммутационных ключах и на несколько процентов повысить КПД источника.

Еще один важный момент: использование микроконтроллера обеспечивает очень стабильный "мертвый период" – время между закрытием транзистора  $T_1$  и открытием транзистора  $T_2$ . Отклонения от нормы составляют всего несколько наносекунд, тогда как в аналоговых схемах это время может достигать нескольких десятков наносекунд при тех же частотах. Такая точность очень важна для стабильности режима "мягкого переключения" и для предотвращения коротких замыканий при коммутации.

В целом, применение микроконтроллера снизило количество элементов схемы источника питания на 25%. Это позволило увеличить надежность, уменьшить массу и габариты и достичь удельной мощности в  $1,01 \text{ Вт/см}^3$  в номинальном режиме и  $1,34 \text{ Вт/см}^3$  – в пиковом.

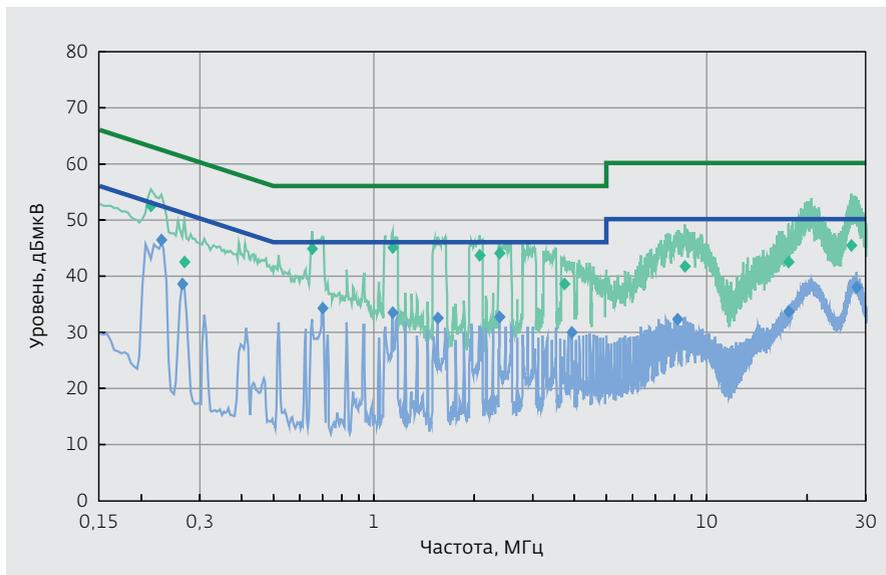
Еще одно оригинальное решение в источниках EFE – схема питания охлаждающего вентилятора (это опциональная добавка). Температурные датчики схемы обеспечивают регулирование скорости вращения вентилятора в зависимости от температуры, а не от тока нагрузки, как в некоторых других сериях TDK-Lambda. В условиях динамических нагрузок это решение дает более благоприятные характеристики акустических шумов.

В устройстве также используется обновленная конструкция трансформатора. Решено



**Рис.4.** Источник питания для медицинского применения EFE400M

применить сдвоенный сердечник вместо двух отдельных, применявшихся в подобных архитектурах ранее. Вторичные обмотки намотаны на двух симметричных отдельных плечах, а первичная обмотка – вокруг них сверху. В результате длина провода первичной обмотки существенно сокращена, сократились также потери в меди и стали. Индуктивность рассеяния увеличилась, но она играет положительную роль при режимах, близких к короткому замыканию. Зато, благодаря



**Рис.5.** Кривые спектра кондуктивных электромагнитных помех ИП EFE300. Синяя кривая – средние значения амплитуд измеренных помех, зеленая – их квазипиковые максимальные значения. Синяя и зеленая ломаные линии – нормы стандарта, соответственно, для средних и квазипиковых значений амплитуд допустимых помех

такой конструкции, было выиграно 2 мм высоты, что для источников открытого исполнения очень ценно. В целом, эффективность трансформатора выросла на 1%.

Источники питания серии EFE доступны в нескольких исполнениях: полностью открытые (PCB-type), открытые на L-платформе, в закрытом корпусе с вентилятором и без него, а также в медицинском исполнении (EFE300M и EFE400M). Модели для медицины, кроме моделей с выходным напряжением 12 и 24 В, также включают 48-В модели (рис.4). Они могут применяться в различных приложениях, таких как системы клинической диагностики, отображения графической информации, диализные системы, медицинские лазерные устройства и др. Приборы для медицины соответствуют не только требованиям 2-го, но и нового 3-го издания стандартов UL60601-1, EN60601-1.

Все модели EFE отвечают стандартам электробезопасности IEC/EN/UL/CSA 60950-1, требованиям Европейских директив (CE) и стандартам IEC/EN 61010-1 для лабораторного и технологического оборудования.

Хочется отметить также соответствие стандарту EN61000-3-2 по кондуктивным гармоническим помехам. Спектрограммы, полученные для ИП EFE300 (рис.5), показывают, что источник имеет очень хороший запас по амплитуде допустимых кондуктивных помех. Это говорит об удачном выборе и компоновке элементов, отличной работе корректора коэффициента мощности, а также эффективной и стабильной работе в режиме ZVT.

Успехи в создании данной серии источников питания – это очень хороший шаг к развитию силовой электроники. Серия EFE еще раз демонстрирует удачный симбиоз аналоговой и цифровой схемотехники, важность применения цифровых микросхем для повышения эффективности преобразования и использования электрической энергии. Это весьма актуально в сетевом оборудовании, медицинских приборах, измерительных системах, системах охраны и безопасности и других применениях преобразователей питания. ●