

Модули питания TDK-Lambda серии PFE:

оптимальный подход к построению компактных распределенных AC/DC-систем средней мощности

Сергей ВОРОБЬЕВ
vorobyev.s@prosoft.ru

В статье рассмотрен метод организации распределенной системы вторичного электропитания средней мощности на основе AC/DC-преобразователей TDK-Lambda серии PFE, описан основной функционал этих устройств и даны практические рекомендации по их применению.

Введение

Построение современной распределенной системы вторичного электропитания — довольно сложный, трудоемкий и ресурсозатратный процесс. Он включает множество этапов, таких как выбор архитектуры построения, элементной базы, конструктива и т. д.

И если в качестве первичной цепи будет выступать сеть напряжения переменного

тока 220 В/50 Гц, что достаточно широко распространено в промышленной аппаратуре, объектах городской инфраструктуры или электронике повышенной надежности для наземного базирования, это может достаточно сильно отразиться на габаритах конечного изделия. При организации системы питания мощностью от 100 Вт многие разработчики применяют AC/DC-преобразователи (рис. 1а, б), которые выполнены в промыш-

ленном форм-факторе и предназначены для крепления на панель или для монтажа на DIN-рейку. Такое решение, как правило, имеет значительные массогабаритные показатели, небольшую стойкость к воздействиям внешних факторов и в ряде случаев оказывается неоптимальным. Поэтому в последнее время наметилась тенденция применения в новых разработках модульных, компактных низкопрофильных AC/DC-преобразователей (рис. 1в), оснащенных активным корректором коэффициента мощности (АККМ). Модули имеют высокие технические характеристики и малые габариты, позволяющие гармонично встраивать эти компоненты в современные архитектуры распределенных систем питания.

Подходы к созданию распределенных систем питания AC/DC

Тенденции последних лет показывают, что современная система питания должна обладать достаточно большим функционалом, таким как обеспечение стабильности выходных параметров, гальваническая изоляция между первичной и вторичной цепью питания, высокое значение КПД, широкий ряд номиналов выходных напряжений, соответствие требованиям ЭМС, расширяемость, возможность контроля параметров и т. д., в то же время оставаясь достаточно компактной. В связи с этим появились различные подходы к разработке, в частности распределенные архитектуры IBA (Intermediate Bus Architecture) и DPA (Distributed power architecture) (рис. 2). Основное их преимущество — снижение габаритов системы питания при повышении эффективности и функциональности в целом.



Рис. 1. Внешний вид AC/DC-преобразователей TDK-Lambda: а) в открытом исполнении; б) для крепления на DIN-рейку; в) для монтажа на печатную плату в низкопрофильном корпусе типа Brick

Архитектуры IBA и DPA уже хорошо зарекомендовали себя на практике [1]. Системы питания, построенные по указанным принципам, можно встретить в самых разных сферах применения, начиная от телекоммуникационного оборудования и заканчивая высоконадежными решениями для оборонно-промышленного комплекса [1, 2]. Для реализации таких систем питания современный рынок электронных компонентов предлагает множество компактных высокоэффективных DC/DC-преобразователей, которые, как правило, выполнены в стандартизованных корпусах. Примером стандартного исполнения может служить корпус типоразмера Brick («кирпич»). Система питания, построенная на таких преобразователях, фактически формируется из готовых «кирпичиков», что позволяет организовать распределенную схему электропитания, которая будет обладать всеми необходимыми номиналами выходных напряжений при малых габаритах. И если сегодня достаточно много решений для преобразования высокого напряжения постоянного тока в низковольтные значения (ведущие мировые производители предлагают широкую элементную базу — модули вторичного электропитания, ЕМI-фильтры, POL-регуляторы и т. п.), то в случае, когда речь идет о первичном преобразовании, то есть из напряжения переменного тока в напряжение постоянного тока, проблема подбора элементной базы для оптимального варианта оказывается гораздо сложнее. Обычно подобный блок становится самым крупногабаритным узлом в системе электропитания. Фактически он должен обеспечить компенсацию реактивной мощности, выпрямление, гальваническую изоляцию, а также понижение уровня выходного напряжения. Решение в виде отдельных крупногабаритных AC/DC-преобразователей (рис. 1а), которые нередко оснащены систе-

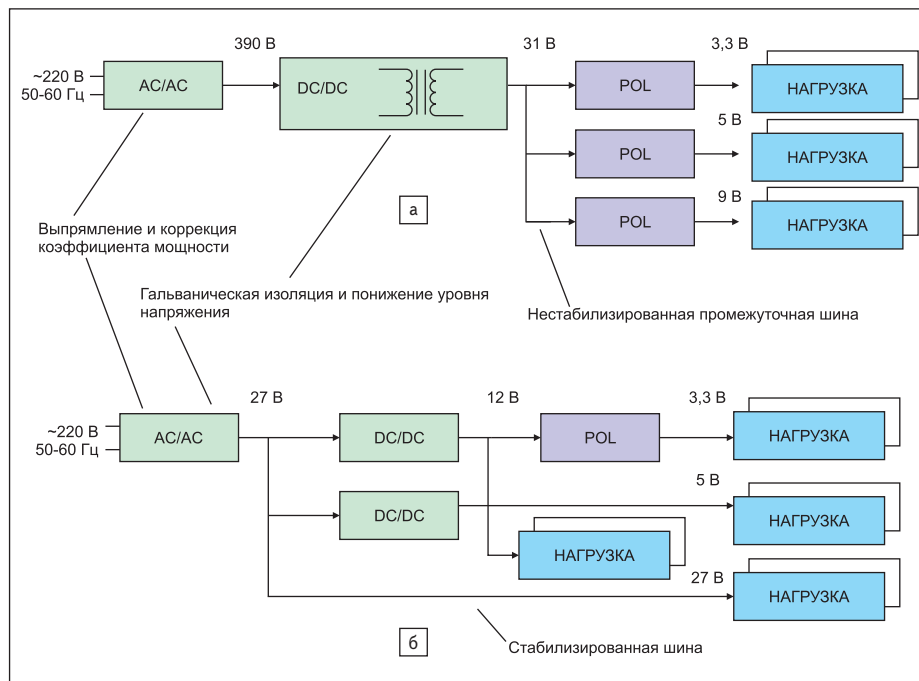


Рис. 2. Пример распределенных систем электропитания:
 а) IBA (Intermediate Bus Architecture) — схема электропитания с промежуточной шиной;
 б) DPA (Distributed Power Architecture) — распределенная схема электропитания с каскадированием

мой активного охлаждения, может свести к минимуму преимущества распределенных архитектур DPA и IBA. Учитывая подобную ситуацию, ряд ведущих производителей ввел в состав своих серийных изделий специализированные модули для адаптации DC/DC-преобразователей к питающим сетям переменного тока — модульные выпрямители со встроенным корректором коэффициента мощности (ККМ) (рис. 3а). Такой модуль предназначен для совместного использования с DC/DC-модулем и позволяет преобразовать переменное напряжение 220 В/50 Гц в постоянное 360–400 В, что адаптирует питающую сеть к работе

с DC/DC-преобразователями. Подобное решение оправдано, если система электропитания обладает большой мощностью (свыше 1000 Вт) и широким рядом выходных напряжений (более пяти).

Использование комбинации из нескольких ККМ и DC/DC-преобразователей позволяет создать очень гибкую систему. Однако если требуется сформировать только три-четыре выходных значения напряжения (например, 5, 12 и 27 В), а суммарная мощность не превышает 700–1000 Вт, использование разделной связки ККМ и DC/DC-преобразователя оказывается нерациональным, так как приводит к увеличению габаритов и стоимости

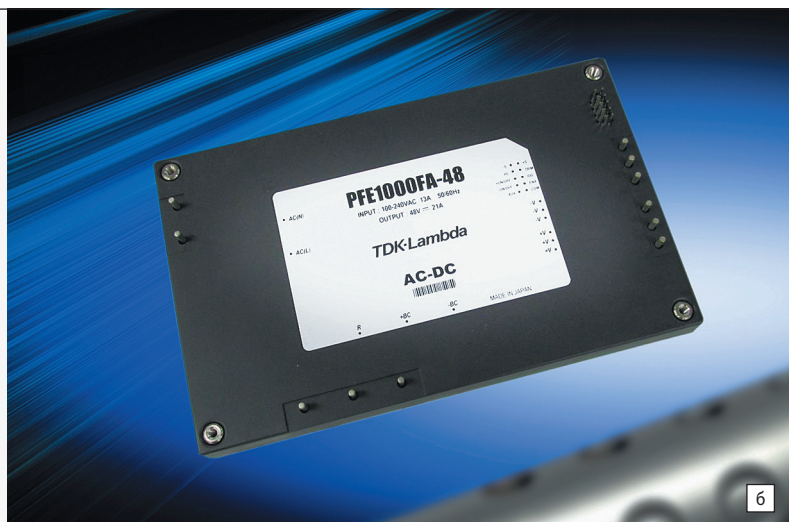


Рис. 3. Решения TDK-Lambda для преобразования напряжения переменного тока (AC) в постоянное (DC):
 а) выпрямитель, совмещенный с корректором коэффициента мощности серии PF; б) AC/DC-преобразователь серии PFE

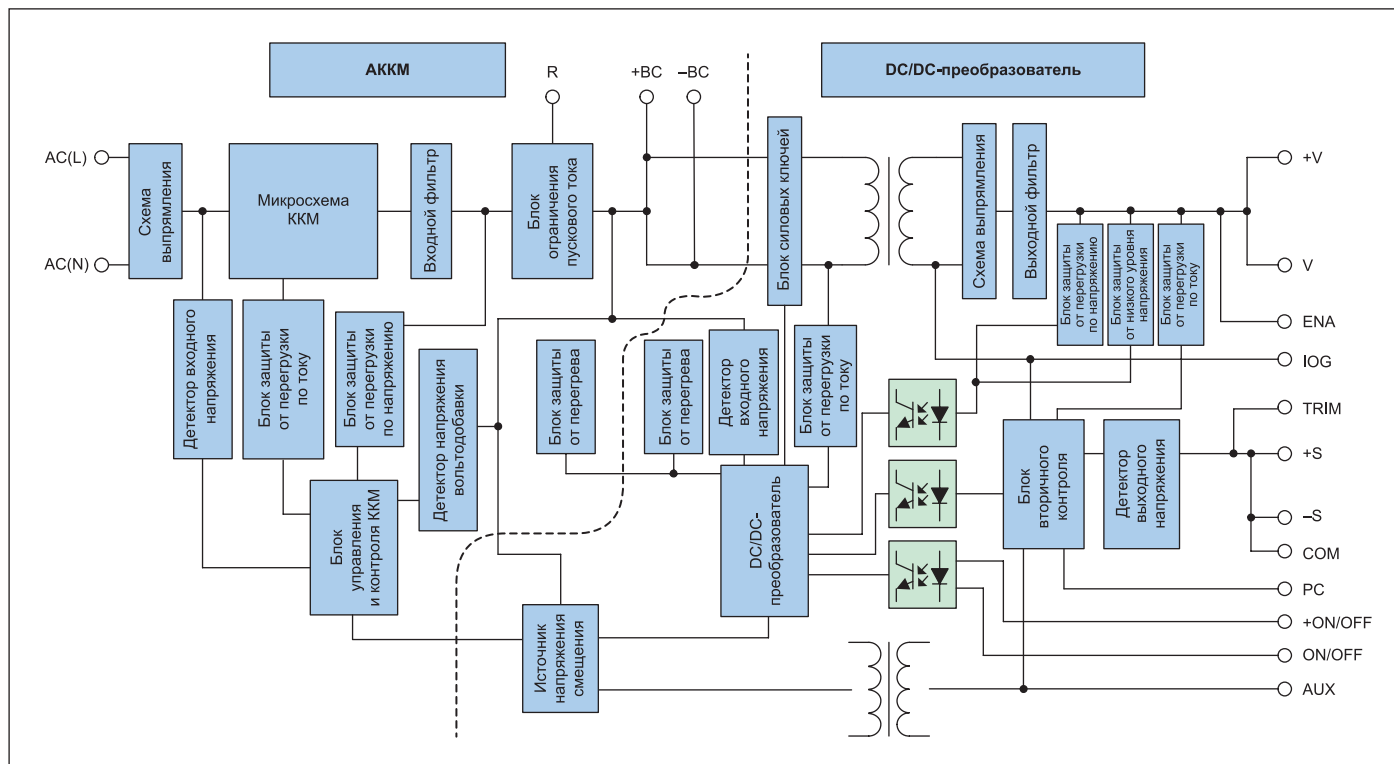


Рис. 4. Структурная схема AC/DC-преобразователя серии PFE

конечного изделия. Оптимальное решение такой задачи предложил один из ведущих производителей модулей и систем электропитания — израильская компания TDK-Lambda, которая разработала стабилизированные, гальванически изолированные AC/DC-преобразователи серии PFE, выполненные в модульных корпусах типа Brick и предназначенные для монтажа на печатную плату (рис. 36).

Основные характеристики

Серия PFE включает более 10 моделей AC/DC-преобразователей с базовыми уровнями выходных напряжений 12, 28 и 48 В. Параметры первичной сети для всей серии имеют широкие допуски: 85–265 В/47–63/440 Гц. Конструктивно модули серии PFE выполнены в герметизированном пластиковом корпусе с металлическим основанием, близким по размеру к форм-фактору Full Brick (рис. 36) и предназначенным для монтажа на печатную плату. Герметизация модуля осуществляется специальным теплопроводным компаундом, обеспечивающим эффективный отвод тепла от электронных компонентов модуля. Кроме того, на металлическом основании устройств присутствуют резьбовые втулки для надежного крепления радиатора.

Применение современной элементной базы позволило специалистам TDK-Lambda минимизировать размеры модулей. Например, высота профиля AC/DC-преобразователя PFE700SA48 мощностью

Таблица. Преобразователи TDK-Lambda серии PFE

Наименование	Выходное напряжение, В	Максимальный выходной ток, А	Выходная мощность, Вт	Нестабильность выходного напряжения, мВ	КПД, % 100/115 В 200/230 В	Диапазон рабочих температур, °С
PFE300SA-12	12	25	300	48	84/85	-40...+100
PFE500SA-12	12	33	396	48	84/86	
PFE500F-12	12	42	504	48	81/83	
PFE1000FA-12	12	60	720	48	84/86	
PFE300SA-28	28	10,8	302	56	87/89	
PFE500SA-28	28	18	504	56	87/89	
PFE500F-28	28	18	504	56	84/86	
PFE1000FA-28	28	36	1008	56	86/89	
PFE300SA-48	48	6,3	302	96	88/90	
PFE500SA-48	48	10,5	504	96	89/91	
PFE500F-48	48	10,5	504	96	84/86	
PFE1000FA-48	48	21	1008	96	87/90	
PFE700SA-48	51 (50–57)	14	714	–	89/91	

700 Вт составляет лишь 12,7 мм, а размеры основания — 116,8×61 мм. Столь высокая удельная мощность достигнута благодаря применению ключевых элементов (силовых MOSFET-транзисторов) в компактных SMD-корпусах, плоских сердечников из пермаллоевых сплавов, обмоток с плоским проводом и т. д. При этом верхняя граница диапазона рабочих температур корпуса достигает +100 °С, что соответствует требованиям, предъявляемым к изделиям для промышленного применения.

Схемотехнически модули серии PFE представляют собой комбинацию из двух функциональных блоков (рис. 4). Первый осуществляет преобразование напряжения переменного тока в постоянное, а также коррекцию коэффициента мощности, второй — это фактически изолированный DC/DC-преобразователь [3]. Его основной

функционал заключается в понижении и стабилизации уровня напряжения постоянного тока, а также в гальванической изоляции между первичной и вторичной цепью питания. В итоге выходное напряжение может быть использовано как в качестве промежуточной шины питания, так и непосредственно для подключения активной нагрузки. На сегодня в состав серии PFE включены преобразователи мощностью 300–1000 Вт (таблица). Из дополнительного функционала можно отметить активную схему деления тока, которая позволяет организовать параллельное подключение модулей с перераспределением нагрузки (до шести модулей), встроенный источник опорного напряжения 11 В, наличие защиты от перегрева и от перегрузки как по току, так и по напряжению, функцию удаленного включения/выключения (рис. 4).

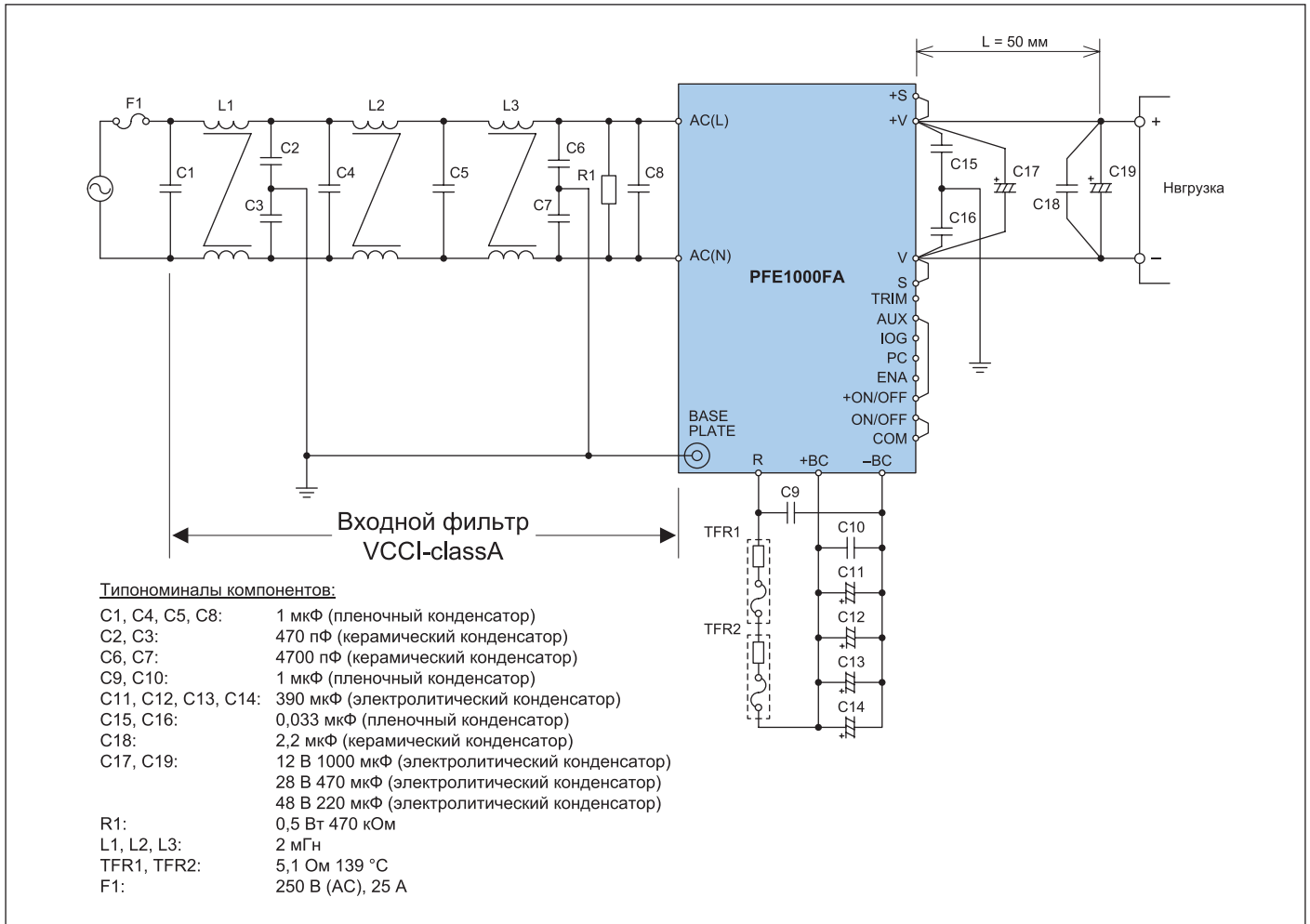


Рис. 5. Схема включения модуля PFE1000FA

Схема включения

Модули серии PFE являются достаточно функциональными устройствами и содержат все основные активные и токонагруженные элементы, гарантирующие заявленный набор характеристик и параметров. Однако для уменьшения массогабаритных показателей конечных изделий реализация тонких или специфических настроек, которые могут быть необходимы для решения отдельных задач, должна осуществляться при помощи компонентов во внешней обвязке. Эти компоненты можно условно поделить на три функциональных блока: блоки входного и выходного фильтра обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) и блок накопительных конденсаторов. При этом в руководствах по применению модулей PFE даны подробные рекомендации по выбору компонентов для реализации таких функциональных блоков [4].

Рассмотрим более подробно типовую схему включения на примере модуля PFE1000FA с выходной мощностью 1000 Вт (рис. 5).

Начнем с блока входного ЕМI-фильтра. Как известно, без правильно организованной системы фильтрации электромагнитных

помех модуль электропитания может оказывать нежелательное влияние на электронное оборудование любого устройства или прибора, которое с ним непосредственно взаимодействует. Таким образом, проблему ЭМС рекомендуется рассматривать достаточно тщательно.

Природа электромагнитных помех подразумевает их распространение как по проводникам (кондуктивные помехи), так и через окружающее пространство и непроводящие среды (индуктивные, излучаемые помехи) [5].

При этом необходимо четко понимать требования по ЭМС, которые могут существенно различаться в зависимости от сферы и объекта применения. Примером могут служить такие стандарты, как европейский EN55022 и японский VCCI. В них описаны два набора ограничений на уровни помех: оборудование класса А, которое может использоваться в промышленных зонах, и оборудование класса В, которое применяется в жилых помещениях [6].

На схеме включения представлен многозвенный ЕМI-фильтр для модуля PFE1000FA. Он состоит из нескольких синфазных дросселей (L1, L2, L3 по 2 мГн каждый), вклю-

ченных последовательно, а также ряда конденсаторов двух типономиналов: X (C1, C4, C5, C8 по 1 мкФ каждый) и Y (C2, C3, C6, C7 по 470 пкФ каждый). Такое решение обеспечивает подавление как дифференциальной, так и синфазной составляющей кондуктивной помехи. В итоге совместное использование фильтра с модулем PFE1000FA позволяет получить характеристики, которые дают возможность «уложиться» в рамки стандарта VCCI по классу А для применения на промышленных объектах.

На рис. 6 приведены спектрограммы кондуктивных помех на входе модуля AC/DC-преобразователя PFE1000FA-28 при условии 100%-ной нагрузки и входном напряжении 100 В AC. Также, говоря о входном фильтре, следует упомянуть стабилизирующий нагрузочный резистор R1 номиналом 470 кОм (так называемый bleeder resistor), который, с одной стороны, обеспечивает поддержание минимального тока через синфазный дроссель для увеличения его эффективности, а с другой — поддерживает безопасный разряд конденсаторов.

Теперь перейдем к описанию организации выходного фильтра в рассматриваемом примере. Как правило, требования для него

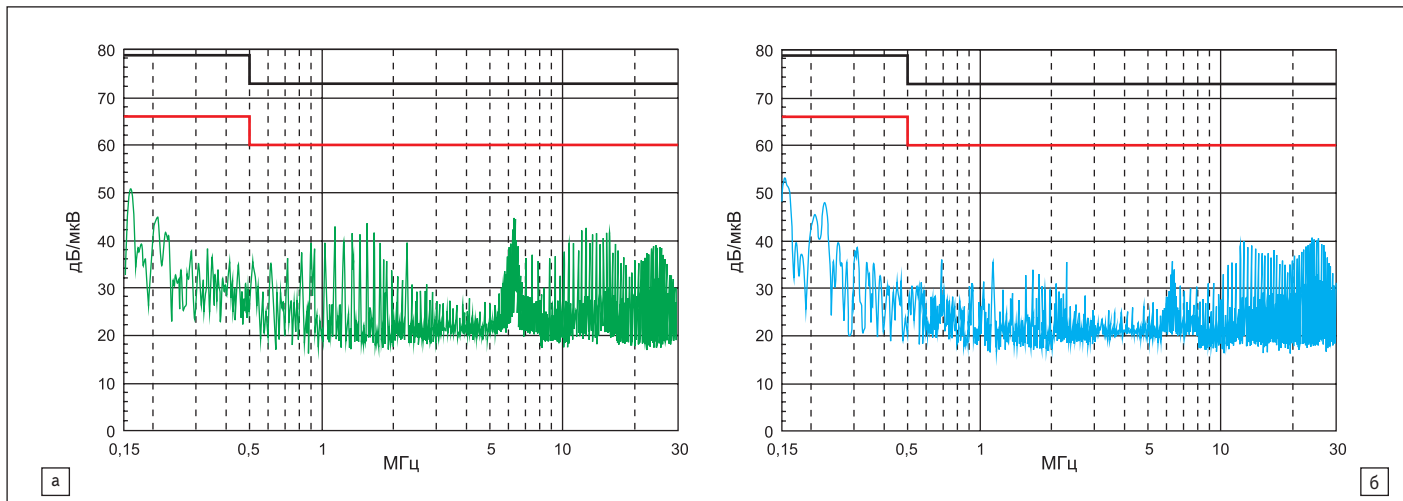


Рис. 6. Спектр кондуктивных помех AC/DC-преобразователя PFE1000FA-28: а) фаза L; б) фаза N

формируются с учетом специфики оконечных устройств. Выходной фильтр предназначен как для уменьшения помех на основной частоте преобразования, так и для компенсации выбросов высоких частот. В приведенном примере он состоит из конденсаторов Y-типа (C16, C15), основная задача которых — снизить синфазное излучение, присутствующее в индуктивных помехах [5], а также пары электролитических конденсаторов (C17, C19), предназначенных для уменьшения шумов и обеспечения более стабильной работы преобразователя. Это типовое решение, в свою очередь, обеспечивает достаточно приемлемый уровень подавления шумов и пульсаций.

И наконец, блок накопительных конденсаторов. Он является ключевым в обвязке преобразователей серии PFE и необходим для нормального функционирования АККМ, который фактически представляет собой повышающий boost-преобразователь. Его основная задача — создание и поддержание на требуемом уровне промежуточного постоянного высоковольтного напряжения (примерно 390–400 В). Данный уровень напряжения является входным для DC/DC-преобразователя, который имеется в состав модуля PFE1000FA и формирует окончательное выходное напряжение. Ввиду сравнительно небольшой рабочей частоты — 100 кГц — boost-преобразователю требуется блок внешних накопительных конденсаторов с рабочим напряжением не менее 450 В. Производитель предлагает выбрать величину емкостного элемента из диапазона 780–2300 мкФ. Но с учетом специфики boost-преобразователя на расчет емкостного элемента влияет множество параметров, и номинал вышеуказанного конденсатора рассчитывается

по определенной методике. Если отходить от общепринятых рекомендаций, которые даны в тематической литературе [7], расчет минимальной емкости накопительного конденсатора в схемах активных ККМ основывается либо на необходимости поддержания выходного напряжения после исчезновения напряжения питающей сети, либо на заданном коэффициенте пульсаций выходного напряжения по второй гармонике [7].

В первом случае требуемая емкость накопительного конденсатора определяется как:

$$C = \frac{2 \times \left(\frac{P \times \Delta t}{\eta} \right)}{U_{\text{ВЫХ. max}}^2 - U_{\text{ВЫХ. min}}^2}, \quad (1)$$

где Δt — время поддержания выходного напряжения на уровне не меньше $U_{\text{ВЫХ. min}}^2$ после исчезновения напряжения питающей сети. Предполагается, что в течение времени Δt $P_{\text{н}} = \text{const}$; C — емкость накопительного конденсатора, Ф; $U_{\text{ВЫХ. max}}^2$ — максимальное напряжение на конденсаторе, В; $U_{\text{ВЫХ. min}}^2$ — минимальное напряжение на конденсаторе, В; P — мощность, Вт; η — КПД потребителя.

В итоге, если рассчитать величину емкости накопительного конденсатора, например для модели PFE1000FA-28 и нагрузки в 800 Вт, сети 220/50 Гц, то мы получим:

$$C = (2 \times ((800 \times 0,05) / 0,87)) / (390^2 - 200^2) = 820 \text{ мкФ},$$

значения параметров при этом: $P = 800$ Вт; $\eta = 87\%$; $U_{\text{ВЫХ. max}}^2 = 390$ В; $U_{\text{ВЫХ. min}}^2 = 200$ В; $\Delta t = 50$ мс (время удержания).

Далее, обычно найденную номинальную емкость уточняют с учетом возможного разброса реальных значений емкостей электролитических конденсаторов [7], например, при разбросе, равном 20%:

$$C = (1 / (1 - 0,2)) \times 820 = 1025 \text{ мкФ}.$$

Вторая методика основана на заданном коэффициенте пульсаций выходного напряжения по второй гармонике. Для вычисления емкости накопительного конденсатора предлагается воспользоваться следующей формулой:

$$C = (P / \eta) / (4\pi f \times K_{\text{П}}^2 - U_{\text{ВЫХ.}}^2), \quad (2)$$

где f — частота питающей сети, Гц; $K_{\text{П}}^2 = U_{\text{СТ}}^2 / U_{\text{ВЫХ.}}^2$ — коэффициент пульсаций напряжения; $U_{\text{СТ}}$ — амплитуда второй гармоники напряжения на выходном конденсаторе.

Принимая $U_{\text{СТ}} = 4$ В, получаем $K_{\text{П}}^2 = 1\%$.

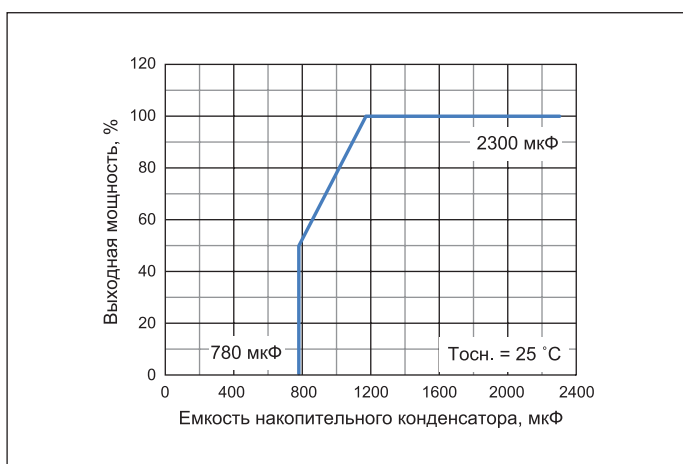


Рис. 7. Рекомендуемая величина емкости накопительного конденсатора для модулей PFE

Для аналогичной конфигурации:

$$C = (800/0,87)/4 \times 3,14 \times 50 \times 0,01 \times 390 \times 390 = 939 \text{ мкФ},$$

$$C = (1/(1-0,8)) \times 939 = 1173 \text{ мкФ}.$$

В итоге при расчете по разным методикам получаются довольно близкие значения — 1025 и 1173 мкФ, что сопоставимо с данными, которые рекомендует производитель (рис. 7). Однако эти значения справедливы для идеального конденсатора, а в реальных системах всегда будут присутствовать такие параметры, как эквивалентное последовательное сопротивление (ESR), эквивалентная последовательная индуктивность (ESL) и т. п. В результате, согласно рекомендации производителя, емкость накопительного конденсатора может быть увеличена вплоть до 2300 мкФ.

Наличие в выходной цепи конденсатора большой емкости накладывает определенные требования по ограничению пусковых токов. Модуль PFE1000FA содержит встроенный контроллер ограничения пускового тока конденсатора, но для его функционирования необходимо установить резистор и предохранитель, включенные последовательно для ограничения тока и соответственно защиты (TFR101, 102). В качестве элементной базы рекомендуется использовать плавкие вставки с фиксированным значением сопротивления (10–20 Ом). Это уменьшает риск протекания максимально высоких токов через входной каскад.

Дополнительный функционал

Современные модули электропитания нередко обладают дополнительными функционалом и сервисными функциями, которые позволяют контролировать процесс работы системы электропитания, масштабировать ее и динамически изменять параметры. В результате у разработчиков появляется возможность организовать комплексную систему с более гибкой и функциональной архитектурой. Модули PFE обладают большим набором подобных функций. Рассмотрим более подробно наиболее интересные из них.

Возможность параллельной работы

Параллельное включение модулей позволяет создать эффективную систему электропитания, которая будет обладать такими преимуществами, как модульность, возможность резервирования, высокие показатели КПД, и т. п. В серии PFE таким функционалом обладают модули с выходной мощностью 500, 700 и 1000 Вт.

При организации параллельной работы модулей необходимо учитывать множество факторов, в первую очередь это относится к одновременному включению модулей и перераспределению нагрузки между ними. И если одновременное включение состоит просто

в подаче на управляющий вывод активного управляющего уровня напряжения в один и тот же момент времени, то у задачи перераспределения нагрузки есть ряд особенностей. Даже несмотря на то, что модули PFE500SA и PFE1000SA являются стабилизированными и точность установки выходного напряжения составляет примерно $\pm 2\%$, рассогласование выходного напряжения приведет к разной нагрузке на модули при работе в параллельном режиме. Чтобы этого не происходило, необходимо соединить между собой выводы РС каждого модуля. Это позволит обеспечить перераспределение нагрузки и подключение до шести модулей параллельно, с максимальной нагрузкой в 85% на каждый.

Подстройка выходного напряжения

Кроме того, как для параллельной работы, так и для отдельно используемых модулей возможна подстройка выходного напряжения в пределах $\pm 20\%$ от номинального значения. Подстройка осуществляется при помощи как подачи внешнего источника напряжения через согласующий резистор 10 кОм, так и внешних резисторов. При этом необходимо, чтобы подстроечные резисторы обладали довольно высоким уровнем точности. Использование высокоточных резисторов (с отклонением от номинального значения сопротивления не более 1%) позволит обеспечить не только точную установку уровня выходного напряжения, но и корректную работу схемы регулировки и распределение токовой нагрузки между модулями при параллельном включении. Помимо подстроечного резистора, на точность установки выходного напряжения влияет топология печатной платы. Соединения и токоведущие дорожки между подстроечным резистором и выводом SENSE должны быть проложены отдельно и максимально изолированы от других соединений, по которым протекает большой ток.

Защита от перенапряжения на выходе

В целях обеспечения защиты нагрузки, а также цепей выходного каскада модуля питания от превышения величины выходного напряжения, в модулях PFE реализована функция защиты от перенапряжения на выходе — Over Voltage Protection (OVP). Она очень важна для предохранения нагрузки от выхода из строя при возможной неисправности модуля питания и рассчитана на случай серьезной неисправности: защита срабатывает при значениях выходного напряжения, составляющих 125–145% от номинального. Уровень срабатывания функции OVP фиксирован и не может быть изменен.

При обнаружении превышения выходного напряжения модуль PFE в первую очередь отключает подачу выходного напряжения на нагрузку, тем самым обеспечивая ее защиту. Далее происходит отключение входного силового каскада и запускается проверка

уровня выходного напряжения. Если уровень выходного напряжения начинает снижаться и достигает отметки 20 В (для модели с выходным напряжением 48 В), то происходит перезапуск модуля питания.

При разработке системы питания нужно также учитывать тип нагрузки и при необходимости обеспечить дополнительную защиту. Например, при использовании нагрузки, которая может самопроизвольно увеличить значение напряжения, желательно установить дополнительные развязывающие диоды на выходе. В качестве примера такой нагрузки можно привести асинхронный двигатель. При отключении он может войти в режим генератора, что в итоге приведет к повышению напряжения на выходе модуля питания. Без дополнительной защиты в таком случае может произойти повреждение и выход модуля из строя.

Защита от перегрузки по току

Этот вид защиты реализован с помощью функции Over Current Protection (OCP), которая не менее важна, чем функция OVP, поскольку обеспечивает защиту модуля питания от короткого замыкания и перегрузки по току. Логика ее работы в целом похожа на логику работы функции OVP. Перегрузка модуля питания PFE по току приводит к снижению уровня выходного напряжения. Функция OCP отслеживает уровень выходного напряжения и при уменьшении его более чем на 20% от номинального в течение около 0,5 с активирует защиту. Последовательность действий модуля питания также схожа с функцией OVP: вначале происходит отключение нагрузки, а затем входного каскада модуля с последующим отслеживанием уровня выходного напряжения для дальнейшего перезапуска модуля.

Значение уровня срабатывания защиты от перегрузки по току OCP, как и в случае с OVP, фиксировано. Следует отметить, что непрерывное и долговременное нахождение модуля питания PFE в состоянии короткого замыкания или перегрузки может привести к его повреждению.

Защита от перегрева

Для защиты модулей PFE от возможного перегрева разработчики компании TDK-Lambda дополнили их функцией Over Temperature Protection (OTP). Эта функция будет активизироваться при нагреве модуля питания до температур +105...+130 °С. Следует подчеркнуть, что при нагреве вплоть до +104 °С модули серии PFE продолжают функционировать в штатном режиме благодаря применению теплопроводных компонентов, которые позволяют отводить тепло с самых токонагруженных элементов на металлическое основание модуля. Логика работы функции OTP схожа с описанными выше защитными функциями OVP и OCP и приводит к перезагрузке модуля питания.

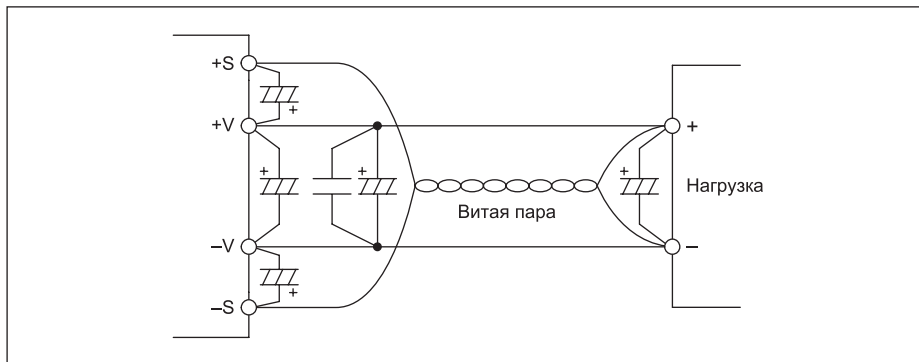


Рис. 8. Вариант реализации функции компенсации падения выходного напряжения для случая нахождения нагрузки на значительном расстоянии

Запрет включения нагрузки

Наличие большого емкостного элемента в схеме модулей PFE накладывает определенные ограничения на включение модулей. Это связано с тем, что для начала работы устройству нужен определенный минимальный уровень заряда конденсатора. Соответственно, для его формирования необходим временной интервал, в течение которого к модулю не будут подключены внешние потребители. Для решения подобной задачи модули PFE имеют выход разрешения подключения нагрузки ENA. Подключение к выводу реализуется по схеме «открытый коллектор». С помощью этой функции можно реализовать постепенное включение всей системы питания.

Индикация ошибки

Для случаев возникновения каких-либо нештатных ситуаций, — например, при срабатывании функций OVP, OTP и OCP или при работе с малой нагрузкой вследствие отключения внешних потребителей тока, — в модулях PFE предусмотрена функция IOG terminal. Она позволяет удаленно идентифицировать наличие нештатного режима работы системы питания. Подключение функции IOG реализуется по схеме «открытый коллектор».

Внешняя обратная связь

Еще одна важная особенность преобразователей серии PFE заключается в их способ-

ности компенсировать падение напряжения на выходных линиях в случае, когда нагрузка расположена на некотором расстоянии от преобразователя. Это обеспечивается присоединением выводов +S к точке с высоким потенциалом непосредственно около нагрузки и присоединением вывода -S к точке нагрузки с низким потенциалом.

Логика работы функции внешней обратной связи заключается в отслеживании разницы напряжений между выводами выходного напряжения +V/-V и +S/-S. В случае различия модуль питания поднимает выходное напряжение, компенсируя тем самым падение на линии. При значительном удалении нагрузки от модуля питания (например, в другом блоке) линию +S/-S желательно реализовывать при помощи кабеля типа «витая пара» для лучшей помехозащищенности цепи, а также добавить электролитический конденсатор между выводами +V/-V и +S/-S (рис. 8). В случае неиспользования этой функции выводы +S/-S должны быть соединены с соответствующими выводами выходного напряжения V+ и V-.

Удаленное включение/выключение, дежурное питание AUX

Модули питания серии PFE предоставляют такую важную при построении многоуровневой системы электропитания функциональную возможность, как дистанционное включение/выключение. Схемотехнически функция реализована при помощи встроенной оптопары (рис. 9).

Следует отметить и наличие в модулях PFE вывода вспомогательного источника дежурного питания (вывод AUX), с напряжением 11 В и максимальной нагрузкой 20 мА, который может быть использован для подачи питания на оптопару и реализации функции удаленного включения и выключения.

Заключение

Построение современной системы электропитания включает множество этапов, которые предусматривают выбор архитектуры, элементной базы, конструктива и т. д.

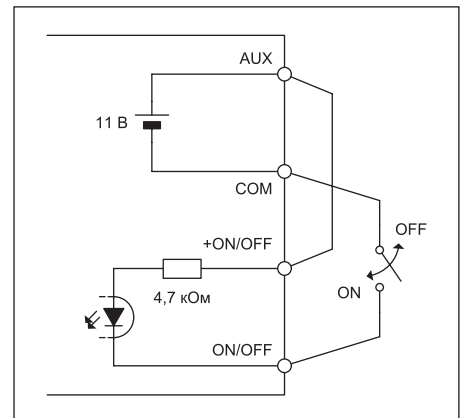


Рис. 9. Вариант реализации включения/отключения модуля при помощи функции дежурного питания (AUX)

Причем AC/DC-преобразователь может стать самым крупногабаритным в проектируемой системе. Этот факт может быть достаточно критичным при построении распределенных схем электропитания средней мощности (до 1000 Вт) с небольшим количеством потребителей. Для существенного уменьшения габаритов конечного изделия компания TDK-Lambda выпускает хорошо зарекомендовавшие себя на рынке стабилизированные гальванически изолированные AC/DC-преобразователи серии PFE с выходной мощностью 500–1000 Вт. Серия PFE оснащена активным корректором коэффициента мощности и выполнена в герметизированных корпусах Brick, что позволяет создать мощную, компактную, эффективную и функционально оснащенную систему питания.

Литература

1. Воробьев С. Построение системы электропитания по принципу ИВА для высоконадежной радиоаппаратуры. Почему бы и нет? // Компоненты и технологии. 2015. № 6.
2. Воробьев С. Выбор элементной базы для систем вторичного электропитания приемопередаточных модулей АФАР // Компоненты и технологии. 2014. № 10.
3. Жданкин В. Компактные источники питания AC/DC для жестких условий эксплуатации // Современная электроника. 2009. № 3.
4. TDK-lambda PFE500F-1000F series instruction manual. www.tdk-lambda.ru/KB/PFE500F1000F-Installation-Manual.pdf
5. Воробьев С. Характеристики электромагнитных помех в системе электропитания и методы борьбы с ними // Силовая электроника. 2016. № 4.
6. Ланцов В., Эраносян С. Электромагнитная совместимость импульсных источников питания: проблемы и пути их решения. Часть 1 // Силовая электроника. 2006. № 4.
7. Белов Г. А., Серебрянников А. В. Расчет корректора коэффициента мощности с упрощенной двухконтурной системой управления // Практическая силовая электроника. 2010. № 3.