

Разработка интегрированных силовых модулей и их применение в источниках вторичного электропитания

Саркис Эраносян, Владимир Ланцов (Санкт-Петербург)

В статье рассмотрены проблемы разработки современных интегрированных силовых модулей для импульсных источников вторичного электропитания (ИВЭП). Предложены перспективные схемные реализации типовых (базовых) интегрированных силовых модулей повышенной степени интеграции («супермодулей» – SIPM) для синтеза мощных ИВЭП. Показано, что вначале целесообразно сосредоточить усилия на разработке SIPM для ряда ИВЭП мощностью 200, 400 и 800 Вт.

На основании анализа силовых модулей, применяемых в современных источниках питания [1], показано, что степень интеграции существующих IPM (IPS) узлов недостаточна для нового поколения ИВЭП. С этой целью конкретизирован ряд мощностей сетевых ИВЭП, предназначенных для наглядной демонстрации конструктивно-технологических преимуществ нового поколения приборов SIPM. Первые (базовые) модели целесообразно разрабатывать на три фиксированных диапазона выходной мощности: 200, 400 и 800 Вт. В этих ИВЭП (AC/DC) оптимально применить три типа схем, распространённых в настоящее время:

- ИВЭП с обратноходовым преобразователем (flyback или offline DC/DC);
- ИВЭП с одноканальным прямоходовым преобразователем (forward DC/DC) с двумя одновременно коммутируемыми транзисторами;
- ИВЭП на основе двоянного преобразователя по схеме (б), в котором ключи работают со сдвигом по фазе на 180° и имеют общий LC-фильтр.

С целью оптимизации номенклатуры введём ограничение количества SIPM в синтезируемых ИВЭП, то есть – не более четырёх типов.

Рассмотрим один из вариантов синтеза AC/DC-преобразователя на

выходную мощность 400 Вт и покажем примеры схем унифицированных модулей SIPM.

Первый модуль охватывает узлы сетевого блока, включенные после входного предохранителя (F), терморезистора (R_t) и варистора (R_{V}) и до выходного напряжения повышающего стабилизатора в системе коррекции коэффициента мощности – ККМ (PFC). Обозначим этот модуль как SIPM-in (входной супермодуль); его схема представлена на рис. 1.

Как видно из рисунка, переменное напряжение сети U_c поступает на входной помехоподавляющий фильтр (A1) CLC-типа. Входной выпрямительный мост соединён с узлом A2, в котором выпрямленное напряжение U_o на конденсаторе C1 преобразуется в постоянное, стабилизированное напряжение U_{DC} (обычно 350...400 В).

Узел A2 – это активный ККМ, выполненный по известной схеме [2], который содержит:

- микросхему ККМ (DA1), в качестве которой на схеме представлена мик-

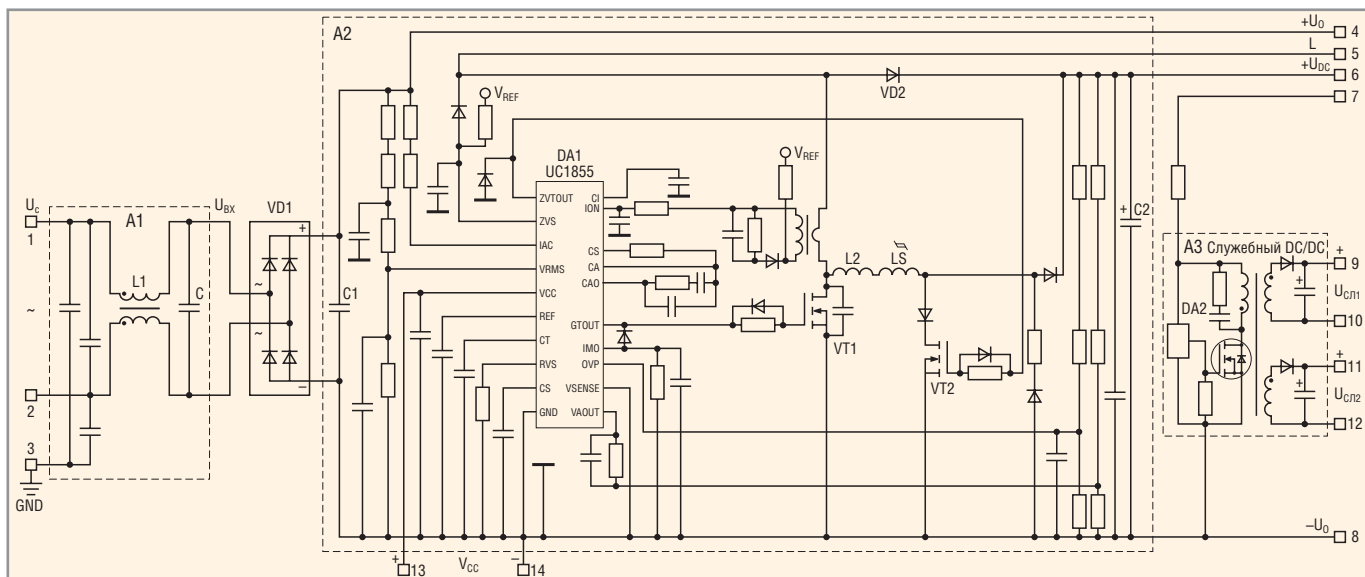


Рис. 1. Схема входного модуля 1 (SIPM-in)

росхема UC1855 фирмы Unitrode (Texas Instruments) [3];

- набор дискретных элементов, подключённых по стандартной схеме к выводам DA1;
- силовые элементы повышающего стабилизатора напряжения, в число которых входят:
 - накопительный дроссель L (на схеме не показан), подключаемый к выводам 4 и 5;
 - трансформатор тока в цепи стока силового транзистора VT1. Вторичная обмотка трансформатора связана «сигнальным» выводом через резистор с выводом 4 DA1 (ION), а первичная обмотка через силовой диод VD2 соединена с конденсатором C2 фильтра выходного напряжения модуля (U_{dc}).

Кроме этого, имеются элементы, формирующие схему переключения при нулевом напряжении (Zero Voltage Switching – ZVT) для уменьшения динамических потерь при выключении силового транзистора VT1. В эту схему входят дроссели и диод, включённые между стоком VT1 и стоком вспомогательного транзистора VT2, а также последовательная цепь диод–резистор–диод между выводами $-U_o$ и U_{dc} . При этом затвор VT1 через цепь R–D подключён к выводу 10 (GTOUT), а затвор VT2 также через свою цепь R–D подключён к выводу 12 (ZVTOUT) микросхемы DA1. Быстродействующий диод VD2 может быть с успехом заменён высоковольтным диодом Шоттки на карбиде кремния. В этом случае ZVT-схему можно исключить, поскольку динамические потери на основном ключе VT1 остаются на том же уровне, что и с ней [5].

При запуске источника напряжение, питающее DA1, первоначально поступает на вывод 9 (V_{cc}) с дополнительной обмотки накопительного дросселя L1 (на схеме эта цепь не показана). В дальнейшем микросхема питается от служебного источника питания U_{cn1} узла A3. Этот узел представляет собой вспомогательный источник питания, имеющий два выходных канала – U_{cn1} и U_{cn2} . В качестве служебного источника можно применить маломощный (1...3 Вт) DC/DC-преобразователь, выполненный на микросхеме UCC3889 [3] или [8]. Узел A3 включён между выводами $-U_o$ и 7; на последний можно подать напряжение U_{dc} .

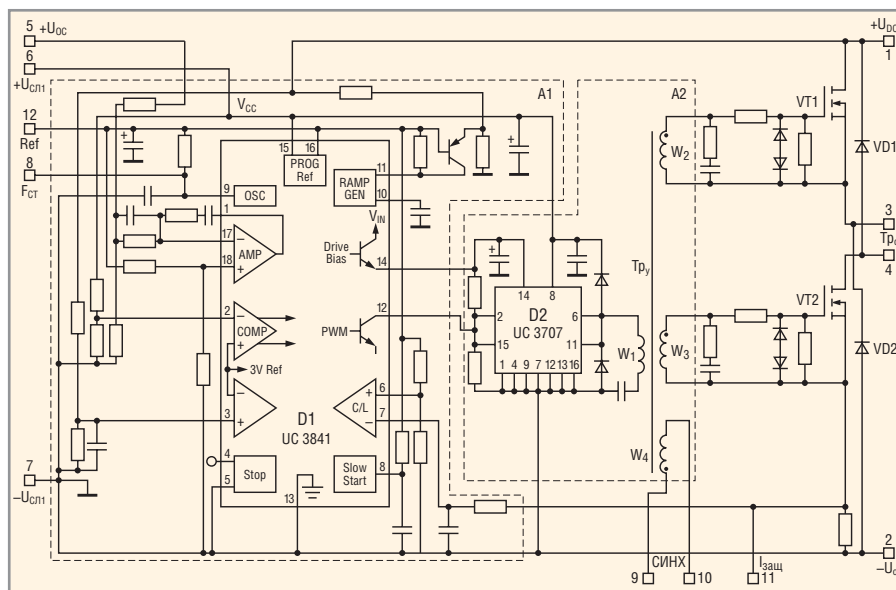


Рис. 2. Схема модуля 2 (SIPM-DC/AC)

Во второй модуль входит одноконтный преобразователь (DC/AC), подключённый к выходу повышающего стабилизатора модуля 1. Обозначим второй модуль как SIPM-DC/AC. Его схема показана на рис. 2.

Как видно из рисунка, напряжение U_{dc} подаётся на прямоходовый преобразователь с двумя силовыми транзисторами VT1 и VT2, которые включаются одновременно. При этом первичная обмотка силового трансформатора (на схеме не показана) включена между выводами 3 и 4 модуля. Управление силовыми транзисторами осуществляется от ШИМ-контроллера D1, в качестве которого может быть использована микросхема UC1841 – UC3841 [3]. С выхода D1 – вывода 12 – сигнал поступает на входы 2 и 15 микросхемы D2 – драйвера усилителя мощности с трансформаторным выходом типа UC1707 – UC3707 [3]. Выход D2 представляет собой два включённых параллельно вывода 6 и 11, к которым подключается один вывод первичной обмотки W1 трансформатора управления Tr_p . Второй вывод W1 через конденсатор соединён с общим выводом 4 (GND). Сигналы управления на затворы транзисторов VT1 и VT2 поступают от вторичных обмоток W2 и W3 трансформатора Tr_p через ограничивающие резисторы. Напряжение питания V_{cc} микросхемы D1 (вывод 15) подаётся с вывода модуля 6, на который оно, в свою очередь, поступает от выходных выводов 11 и 12 модуля SIPM-in (см. рис. 1). Другие выводы микро-

схемы D1 соединяются через дискретные элементы в соответствии с типовой схемой включения в режиме одноконтного ШИМ-контроллера [3]. Напряжение питания на микросхему D2 (вывод 14) поступает с вывода 14 микросхемы D1. При этом обеспечивается оптимальный уровень напряжения питания драйвера D2 благодаря пороговой схеме включения ключевого транзистора Drive Bias (внутри D1 перед выводом 14). Другие выводы драйвера D2 подключаются через дискретные элементы по типовой схеме включения в режиме одноконтного усилителя ШИМ-сигнала с гальванической развязкой выходных цепей. Отметим, что модуль SIPM-DC/AC имеет вывод 8 (F_{ct}) для установки рабочей частоты преобразователя (внешний конденсатор CT). Кроме того, на выводы модуля 9 и 10 (Синхр.) поступает импульсное напряжение от дополнительной обмотки W4 трансформатора Tr_p . Как будет показано ниже, этот сигнал используется в схеме ИВЭП для варианта с синхронным силовым выпрямлением на полевых транзисторах.

Третий модуль содержит узлы выходного высокочастотного силового выпрямителя ИВЭП. Обозначим этот (выходной) модуль как SIPM-out. Подчеркнём, что выходной модуль целесообразно разрабатывать в двух модификациях. Первая предназначена для низковольтных (Low Voltage – LV) ВЧ-выпрямителей при выходном напряжении ИВЭП до 10 В. Элементы для этой модифика-

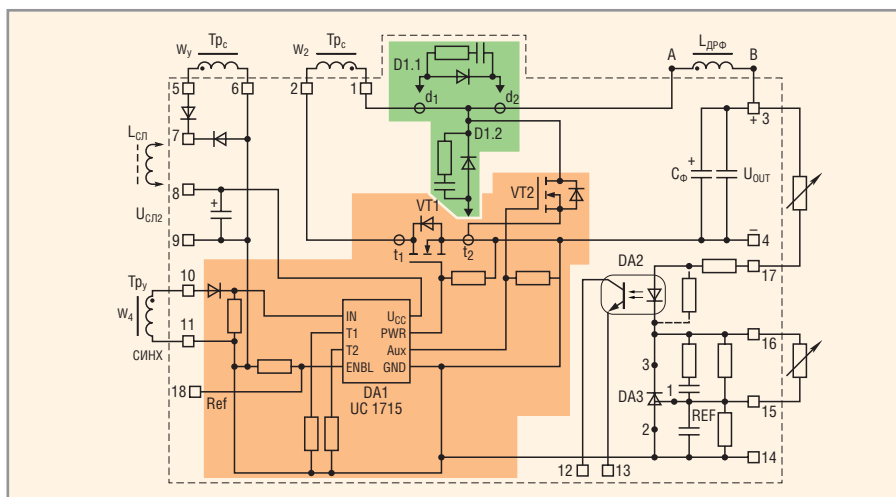


Рис. 3. Схема выходного модуля 3 (SIPM-out/LV)

ции выделены на рисунке 3 оранжевым цветом. В качестве выпрямительного узла применяется система с силовыми полевыми транзисторами, работающими по схеме синхронного выпрямителя. Обозначим этот вариант модуля как SIPM-out/LV. Вторая модификация предназначена для высоковольтных (High Voltage – HV) выпрямителей при выходном напряжении ИВЭП более 10 В. Элементы этой модификации выделены на рисунке 3 зеленым цветом. В этом варианте применяются дискретные диоды или сборки высоковольтных диодов, например, с быстрым восстановлением (Fast Recovery Diodes) или диодах Шоттки. Обозначим этот вариант модуля как SIPM-out/HV.

Как более сложный вариант, рассмотрим работу модуля SIPM-out/LV, т.е. вариант модуля с синхронным выпрямителем.

Как видно из рисунка 3, напряжение от вторичной обмотки W_2 силового трансформатора Tr_c поступает на вход модуля (выводы 1 и 2). Далее это напряжение выпрямляется с помощью двух вентилях. В качестве вентиля, детектирующего прямой импульс ШИМ-сигнала, использован VT1, который включён между выводами 2 и 4. Функцию «нулевого» вентиля выполняет VT2, который включён между выводами 1 и 4 модуля. В варианте синхронного выпрямителя выводы 1, d_1 , d_2 эквипотенциальны и соединяются с выводом А дросселя фильтра $L_{др.ф}$ (расположен вне модуля 3). Второй вывод дросселя (В) соединён с выходным выводом 3 модуля, а между выводами 3 и 4 включён узел конденсаторов выход-

ного фильтра $C_{ф}$. Транзисторы синхронного выпрямителя VT1 и VT2 управляются с выходов микросхемы DA1, в качестве которой может быть использована микросхема типа UC1715 – UC3715 [3]. На выходе этой микросхемы формируются два сигнала управления – PWR и AUX, которые поступают на затворы транзисторов VT1 и VT2 соответственно. Необходимо отметить, что в вариантах модуля SIPM-out/LV, предназначенных для мощных ИВЭП с низковольтным (2...5 В) выходным напряжением, каждый из транзисторов VT1 и VT2 может представлять собой параллельное соединение нескольких транзисторов. По существу число параллельных транзисторов определяет КПД синхронного выпрямителя.

На вход IN микросхемы DA1 через диод поступает импульс синхронизации с обмотки W_4 Tr_p через выводы модуля 10 и 11. Этот импульс положительной полярности повторяет по длительности импульс ШИМ-сигнала.

Алгоритм управления транзисторами синхронного выпрямителя задаётся временными задержками, которые формируются с помощью резисторов на входах T1 и T2 микросхемы DA1. В результате на её выходах PWR и AUX формируются импульсы следующего вида: импульс PWR сдвинут относительно входного ШИМ-сигнала, а положительный фронт импульса AUX формируется только после окончания импульса PWR (Δt_2). Спад импульса AUX формируется до переднего фронта импульса PWR (Δt_1), и таким образом задаётся оптимальная форма управле-

ния транзисторами VT1 и VT2 для реализации функции синхронного выпрямителя.

Питание микросхемы DA1 (вывод U_{cc}) осуществляется от вспомогательного источника питания $U_{сл2}$, получаемого с выходов 11 и 12 модуля SIPM-in (подаётся на выводы 8 и 9 модуля SIPM-out/LV). В номинальном режиме работы силового преобразователя модуля SIPM-DC/AC напряжение с обмотки W_y трансформатора Tr_c поступает на входы 5 и 6 модуля SIPM-out/LV и через выпрямительный диод – на вывод 7. Сглаживающий дроссель фильтра $L_{сл}$ (в схему модуля не входит) включается между выводами 7 и 8. Таким образом, при работе преобразователя обеспечивается «самопитание» микросхемы DA1, а при необходимости – и других узлов выходного модуля ИВЭП.

Элементы цепи усилителя обратной связи подключены к выходным клеммам модуля 3 и 4. Как видно на рис. 3, эти элементы включены между выводами 17 и 14, причём в качестве регулируемого источника опорного напряжения применяется микросхема DA3 типа 142EN19 (аналог микросхемы TL431). Транзисторный оптрон DA2 обеспечивает гальваническую развязку цепи обратной связи от выходного напряжения ИВЭП. При этом цепь коллектор–эмиттер фототранзистора DA2 соединена с выводами 12 и 13 модуля SIPM-out/LV.

Выходное напряжение U_{out} регулируется потенциометром (находится вне модуля), который включён между выводами 3 и 17. Установка величины опорного напряжения осуществляется другим потенциометром (находится вне модуля), который включён между выводами 16 и 15. Так функционируют основные элементы выходного модуля с синхронным выпрямителем.

Коротко расскажем и о работе модуля 3 для варианта ИВЭП, рассчитанного на выходные напряжения больше 10 В, то есть для модуля SIPM-out/HV, элементы которого изображены на рис. 3 зеленым цветом. Как следует из рисунка, выводы d_1 и d_2 размыкаются и между ними включается выпрямительный диод D1.1. В то же время выводы t_1 и t_2 (сток–исток транзистора VT1) замыкаются, а «нулевой» диод D1.2 включается

между выводами d_2 и t_2 . Диоды работают в типовом режиме силового выпрямителя однофазного прямоходового преобразователя. Детектированное напряжение с вывода d_2 и вывода 4, который в этом варианте по существу объединяется с выводом 2, поступает на дроссель фильтра $L_{др.ф}$ (находится вне модуля) и конденсатор $C_{ф}$. Элементы цепи обратной связи подключены и работают так же, как в описанном выше варианте модуля SIPM-out/LV. Разумеется, в случае применения для модуля SIPM-out/HV диодного выпрямителя, в схеме отсутствуют элементы VT1, VT2 и DA1.

Таким образом, описаны три типовых модуля для различных источников электропитания. Теперь можно перейти к синтезу сетевого блока с использованием типовых модулей.

На рисунке 4 изображена в обобщённом виде схема ИВЭП мощностью 400 Вт, синтезированного с использованием описанных выше модулей SIPM.

В схеме переменное сетевое напряжение $220\text{ В} \pm 20\%$ поступает на входные клеммы ИВЭП 1 (L) и 2 (N). Входное напряжение (вывод 1) через предохранитель F1, терморезистор R1 (с отрицательным ТКР) поступает на вывод 1 узла A1, в качестве которого используется типовой модуль SIPM-in. Варистор R_u предназначен для защиты элементов A1 от импульсных перенапряжений в сети. Сетевое напряжение через фильтр радиопомех (модуль 1 – см. рис. 1) поступает на мостовой выпрямитель, на выходе которого установлен демпферный конденсатор. Детектированное напряжение U_o с вывода 4 модуля 1 через первичную обмотку W_1 накопительного дросселя L1 поступает на вывод 5 этого модуля. Дроссель L1 является одним из основных силовых элементов повышающего стабилизатора напряжения в модуле 1. Стабилизатор одновременно обеспечивает как коррекцию коэффициента мощности (Км или $\cos\phi$), потребляемой из сети, так и стабилизацию (с помощью ШИМ) напряжения U_{DC} на выводах 6 и 8 модуля 1. При этом обеспечивается практически синусоидальная форма тока, потребляемого из сети. Параллельно выводам 6 и 8 модуля 1 включён накопительный конденсатор C4, не только

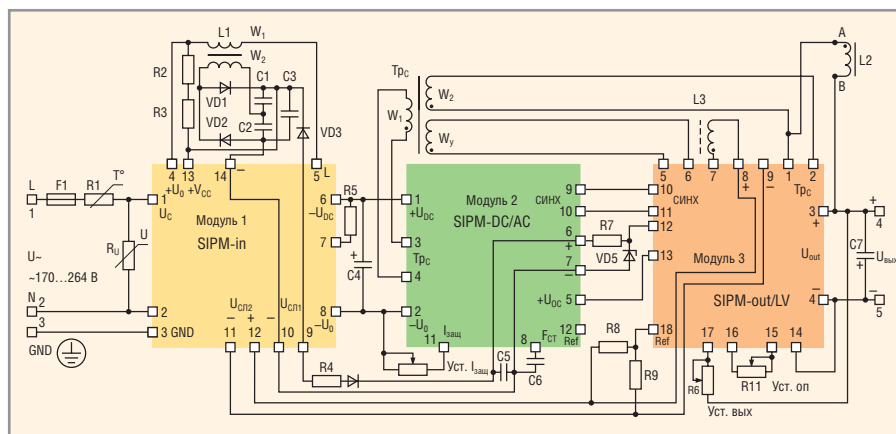


Рис. 4. Схема синтезированного ИВЭП 400 Вт на основе типовых модулей SIPM

обеспечивающий фильтрацию выходного напряжения, но и поддерживающий выходное напряжение ИВЭП при пропадании входного сетевого напряжения.

Микросхема корректора мощности узла A1 первоначально (при запуске ИВЭП) питается от напряжения U_o через резисторы R2 и R3. Затем питание осуществляется от напряжения вторичной обмотки W_2 дросселя L1 через диоды VD1, VD2 и конденсаторы C1, C2 и C3, последний из которых соединён с выводами 13 и 14 (V_{cc}) модуля 1.

В номинальном режиме работы ИВЭП питание микросхемы осуществляется от вспомогательного служебного источника напряжения $U_{сл1}$ через развязывающий диод VD3. Служебные источники напряжений модуля 1 ($U_{сл1}$ и $U_{сл2}$), выводы которых 9, 10 и 11, 12 соответственно, питаются от выходного напряжения U_{DC} модуля 1 через резистор R5 этого модуля.

Стабилизированное напряжение U_{DC} (например, 400 В) подаётся на входы 1 и 2 унифицированного модуля 2 – SIPM-DC/AC (см. рис. 2). Напряжение U_{DC} поступает на силовой однофазный преобразователь с управлением от ШИМ-контроллера, рабочая частота которого устанавливается конденсатором C6 (вывод 8 – F_{CT}). Нагрузкой преобразователя является силовой трансформатор Tr_c , первичная обмотка W_1 которого включена между выводами 3 и 4. Микросхема ШИМ-контроллера модуля 2 питается от служебного источника $U_{сл1}$ (выводы 9 и 10) модуля 1 через резистор R4, диод VD4 и конденсатор C5, соединённый с выводами 6 и 7 модуля 2. Установка порога срабатывания схемы защиты по току силовых

транзисторов преобразователя модуля SIPM-DC/AC выполняется потенциометром R6 (между выводами 2 и 11 модуля 2).

Переменное высокочастотное напряжение с обмотки W_2 силового трансформатора Tr_c подаётся на выводы 1 и 2 модуля 3 – SIPM-out/LV, так как выходное напряжение синтезируемого ИВЭП равно 5 В. Высокочастотное переменное напряжение детектируется MOSFET, работающими в режиме синхронного выпрямителя. Далее оно поступает на фильтр L2, C7 (L2 расположена между выводами 1 и 3 модуля 3, конденсатор C7 подключен к клеммам 4 и 5 ИВЭП).

Напряжение синхронизации для микросхемы управления транзисторами синхронного выпрямителя подаётся с выводов 9 и 10 модуля 2 на выводы 10 и 11 модуля 3. Напряжение питания этой микросхемы формируется на выводах 8 и 9 модуля 3 от вспомогательного служебного напряжения $U_{сл2}$ (контакты 11 и 12 модуля 1). В номинальном режиме работы ИВЭП напряжение обмотки W_y силового трансформатора Tr_c поступает на выводы 5 и 6 модуля 3 и далее через дроссель фильтра L3 на входы 8 и 9 (питание микросхемы DA1 модуля 3). Указанным способом обеспечивается «самопитание» этой микросхемы при работе силового преобразователя.

Стабилизация выходного напряжения $U_{вых}$ осуществляется с помощью сигнала обратной связи U_{oc} (выводы 12 и 13 модуля 3). При этом выходной фототранзистор оптопары DA2 модуля 3 питается от параметрического стабилизатора R7, VD5, подключённого к выводам 6 и 7 модуля 2, а вывод 13 модуля 3 соединён с выводом 5 (U_{oc}) модуля 2. Выходное номинальное на-

пряжение ИВЭП устанавливается потенциометром R10 (выводы 3 и 17 модуля 3), причём опорное напряжение усилителя обратной связи определяется потенциометром R11 (выводы 15 и 16 модуля 3). Делитель напряжения на резисторах R8, R9 задаёт безопасный уровень питания микросхемы управления синхронным выпрямителем в модуле 3.

Итак, рассмотрены структуры и схемные решения унифицированных SIPM, предназначенных для реального синтеза блоков питания мощностью 400 Вт. В принципе, для синтеза достаточно всего четыре типа супермодулей. Два из них имеют

типовую схему для всех значений мощностей: 200, 400 и 800 Вт. Выходной модуль имеет две модификации: одна – для блоков с выходным напряжением до 10 В, другая – более 10 В.

Рассмотрим некоторые технические характеристики разработанных супермодулей и синтезированного блока питания в целом с точки зрения их соответствия современным требованиям по электрическим, конструктивным и технологическим параметрам.

Технические характеристики трёх супермодулей и синтезированного ИВЭП, полученные расчётным путём, сведены в таблицы 1 – 4.

Величины, приведённые в таблицах, получены при следующих условиях:

- входное переменное напряжение 220 В (170... 264 В) с частотой 50 Гц;
- выходное стабилизированное напряжение 5 В, пульсация 100 мВ (размах);
- частота работы повышающего стабилизатора напряжения в модуле 1...250 кГц;
- частота работы однотактного преобразователя напряжения в модуле 2...200 кГц.

Синтезированный ИВЭП, который разработан на основе типовых модулей, имеет КПД порядка 85%.

Таблица 1. Основные параметры узлов и элементов модуля 1 – SIPM-in

Параметры	A1	A2						Другие потери ZVT	C2 + C	U _{сл1} , U _{сл2}
		VD1	C1	VT1	VT2	VD2				
Тип, назначение (корпус)	Фильтр радиопомех	IRF100JBGL	K73-50	IRFP460 (TO247AC)	IRF840 (TO-220AB)	20ETF06S (D2-Pak/SMD-220)	Дроссели, диоды	C2, EHP (Hitano, Тайвань) C, K73-50	Собственное производство	
Основные электрические параметры	Состав: K73-49, дроссель режекторный	Мост выпрямительный 600 В, 10 А	2 × 1,5 мкФ × 500 В	U _{DS} = 500 В, I _D = 20 А, R _{DSON} = 0,27 Ом	U _{DS} = 500 В, I _D = 10 А, R _{DSON} = 0,8 Ом	U = 600 В, I ₂₅ = 20А, t _{RR} = 60 нс	–	220 мкФ × 450 В, 2 × 1,5 мкФ × 500 В	Служебный ИВЭП, например, на TOPSwitch-GX (TOP242) P _{Σ(сл1, сл2)} = 2,5 Вт [6]	
Размеры, мм (объём, дм ³)	40 × 35 × 12, K17,5 × 8,2 × 10 – 1000HM (0,017)	28,5 × 22,5 × 10 (0,0064)	2 × Ø18 × 44 (0,023)	24 × 16 × 5,3 (0,002)	19,5 × 10,6 × 4,7 (0,0009)	10,5 × 12,5 × 4,7 (0,0006)	–	Ø30 × 40, 18 × 44 (0,023)	40 × 35 × 12 (0,017)	
Мощность потерь ΔP, Вт	1	2	–	2,2	2,2	1,6	1,8	–	1	
Потери в остальных элементах – 0,5 Вт в целом, Σ	Суммарный объём модуля 1, исходя из габаритов 175 × 50 × 20 мм, V _{m1} = 0,18 дм ³ ; суммарные потери мощности в модуле 1, P _{пм1} = 12,3 Вт									

Таблица 2. Основные параметры узлов и элементов модуля 2 – SIPM-DC/AC

Параметры	A1	A2		VT1, VT2	VD1, VD2	
	D1	D2	Tr _y			
Тип, назначение(корпус)	UC3841(SOIC-18)	UC3707 (SOIC-16)	Трансформатор управления		IRFP460 (LC) (TO-247AC)	8EWF06S (D-Pak)
Основные электрические параметры	V _{CC} = 32 В, I _{CC} = 15 мА	V _{CC} = 20 В	Собственное производство		U _{DS} = 500 В, I _D = 20 А, R _{DSON} = 0,27 Ом	U _R = 600 В, I _F = 8 А, t _{RR} = 60 нс
Размеры, мм (объём, дм ³)	10 × 11,5 × 2,5 (0,0003)	10 × 10,3 × 2,5 (0,00026)	16 × 10 × 9 – 2000HM, Ø22 × 15 (0,0057)		2 × [24 × 16 × 5,3] (0,004)	2 × [10,5 × 7 × 2,4] (0,00036)
Мощность потерь ΔP, Вт	0,48	0,9	0,1		10,6 _Σ	1,5
В целом, Σ	Потери в остальных элементах – 1,0 Вт					
В целом, Σ	Суммарный объём модуля 2 при габаритах 60 × 50 × 20 мм, V _{m2} = 0,06дм ³ ; суммарные потери мощности в модуле 2, P _{пм2} = 14,62 Вт					

Таблица 3. Основные параметры узлов и элементов модуля 3 – SIPM-out/LV

Параметры	DA1	VT1, VT2	DA2	DA3	Сф, С
	Тип, назначение (корпус)	UC1715 (SOIC-8)	2 × IRF3205 (TO-220AB), параллельно	PC8171, оптрон, (SMD)	TL431 (TO-226AA) или EH19
Основные электрические параметры	V _{CC} = 20 В, I = 20 мА	U _{DS} = 55 В, I _D = 98 А, R _{DSON} = 0,008 Ом	–	2,8...36 В, 1...100 мА	100 мкФ × 10 В, 47 мкФ × 10 В
Размеры, мм (объём, дм ³)	6 × 5 × 1,5 (0,0045)	Кристалл ≈ 14 мм	–	–	16 × 17 × 1,6, Ø4,5 × 9 (0,00044), (0,00014)
Мощность потерь ΔP, Вт	0,4	30,0 _Σ (15 + 15)	0,4 _Σ		–
В целом, Σ	Потери в остальных элементах – 0,5 Вт				
В целом, Σ	Суммарный объём модуля 3 при габаритах 60 × 50 × 20 мм, V _{m3} = 0,06 дм ³ ; суммарные потери мощности в модуле 3, P _{пм3} = 31,3 Вт				

Таблица 4. Основные параметры узлов и элементов сетевого ИВЭП 400 Вт (5 В; 80 А)

Параметры	R1, Ru	Модуль 1	L1	C4	Модуль 2	Трс	Модуль 3	L2	C7
Назначение	R1 – терморезистор, R _u – варистор	Входной (сетевой) модуль	Дроссель накопительный	Конденсатор буферный	Преобразователь DC/AC	Трансформатор силовой	Выходной модуль	Дроссель выходного фильтра	Выходной конденсатор ВЧ-фильтра
Тип узла, элемента	TP-15 (4 тип), BP-9	SIPM-in	Собственное производство	ENP (Hitano, Тайвань)	SIPM-DC/AC	Собственное производство	SIPM-out/LV	Собственное производство	K50-37, K53-25
Основные электрические параметры	10 Ом, 2,5 Вт, ~275 В _{эф}	Вход: ~170...220 В _{эф} , 3 А, выход: ~375...400 В	L1-1, L1-2 – соединены последовательно L1-1 = L1-2 = 250 мкГн, U~ = 194,0 В (магнитная индукция ΔB = 0,12 Тл)	220 мкФ × 450 В (4 шт. параллельно)	Вход = 400 В, выход ≈ 450 В	Магнитная индукция ΔB = 0,06 Тл		L2 = 9,5 мкГн, L2-1, L2-2 – соединены параллельно (L2-1 = L2-2 = 19 мкГн)	47 мкФ × 10 В, 100 мкФ × 10 В
Габариты, мм (объем, дм ³)	20 × 20 × 8, Ø18 × 5 (0,0032), (0,0013)	175 × 50 × 20 (0,175)	2 × Ø30 × 12 [МП-250, K24 × 13 × 7] (0,017 _Σ)	4 × Ø30 × 40 (0,113 _Σ)	50 × 60 × 20 (0,06)	48 × 26 × 56, ПК26 × 13, 2500НМС1 (0,07)	60 × 50 × 20 (0,06)	2 × Ø30 × 14 [МП-250, K24 × 15 × 7] (0,02 _Σ)	Ø4,5 × 9, 16 × 17 × 1,6 (0,00014), (0,00044)
Мощность потерь ΔP, Вт	1,7	12,3	2,8 _Σ	–	13,7 _Σ	6,6 _Σ	31,3 _Σ	4,16 _Σ	–
Потери мощности в целом, Σ	Суммарный объем ИВЭП, исходя из габаритов 185 × 70 × 60 мм, V _{ИВЭП} = 0,78 дм ³ ; суммарные потери мощности в ИВЭП, P _п = 72,5 Вт								

Расчётные параметры узлов и элементов получены при использовании [3 – 8].

Модуль 1 имеет общую печатную кросс-плату размером 175 × 50 мм. В центральной части платы есть окно, в котором расположено металлическое основание с установленными на нём транзисторами VT1 и VT2. Элементы «обрамления» микросхемы DA1 (резисторы, конденсаторы и полупроводниковые элементы) монтируются на керамической плате по толстоплёночной технологии с применением элементов для монтажа на поверхность. Размер платы – 35 × 50 мм. Резисторы мощностью более 0,5 Вт, а также крупногабаритные конденсаторы и другие элементы модуля устанавливаются на кросс-плату.

Модуль 2 целесообразно конструировать в виде единого узла, в котором имеется металлическое основание. На это основание через изолирующие теплопроводящие элементы монтируются кристаллы силовых транзисторов VT1, VT2 и диодов VD1, VD2. Монтаж этих силовых элементов выполняется по технологии, описанной в статьях [9, 10]. Элементы «обрамления» микросхем DA1, DA2 и узла A1 монтируются на керамической плате по толстоплёночной технологии с применением элементов для монтажа на поверхность. Размер платы – 45 × 50 мм.

Модуль 3 выполняется аналогично конструкции модуля 2. На металлическое основание через изолирующие теплопроводные прокладки устанавливаются параллельно соединённые VT1 и VT2. Монтаж этих

силовых элементов также описан [9, 10]. Элементы «обрамления» микросхем DA1 – DA3 вместе с дискретными элементами схемы обратной связи монтируются на керамической плате по толстоплёночной технологии с применением элементов для монтажа на поверхность. Размер платы – 45 × 50 мм.

Конструкция всего блока питания может быть выполнена в виде печатной кросс-платы размером 185 × 70 мм. С одной стороны этой платы устанавливается модуль 1 (SIPM-in), а с другой – модули 2 и 3. На этой же кросс-плате монтируются дроссель L1 (два дросселя L1-1 и L1-2), силовой трансформатор Трс, дроссель фильтра L2 (два дросселя L2-1 и L2-2), четыре буферных конденсатора C4, а также все остальные дискретные элементы ИВЭП согласно схеме блока (см. рис. 4). Данные основных силовых элементов синтезированного сетевого блока питания:

- накопительный дроссель L1: последовательно два дросселя (L1-1 = L1-2 = 250 мкГн), сердечник типа МП250 K24 × 13 × 7; число витков – 34, провод диаметром 0,74 мм, сопротивление обмотки 0,04 Ом;
- силовой трансформатор Трс: сердечник – феррит 2500НМС1 ПК26 × 13; число витков W1 = 114, провод ЛЭШО 0,1 × 19 (сопротивление обмотки 0,78 Ом); число витков W2 = 4, провод – медная лента 0,3 × 19,5 мм (сопротивление обмотки 0,00083 Ом);
- дроссель выходного фильтра L2: параллельно два дросселя (L2-1 = L2-2 = 19 мкГн), сердечник типа МП250 K24 × 15 × 7; число витков –

10, провод – медная лента 1,5 × 4 мм (сопротивление обмотки 0,0012 Ом).

В результате принятой компоновки габариты синтезированного ИВЭП – 185 × 70 × 60 мм, а его объём – примерно 0,8 дм³. При этом удельная мощность блока питания составит P_v = 510 Вт/дм³.

ЛИТЕРАТУРА

1. Эраносян С.А., Ланцов В.В. Электрическое питание. 2005. № 3. С. 45–48.
2. Васильев А., Худяков В., Хабузов В. Анализ современных методов и технических средств коррекции коэффициента мощности у импульсных устройств. Силовая Электроника. 2004. № 2. С. 72–78.
3. Integrated circuits Unitrode. Product & Applications Handbook 1995-96.
4. Виленкин А.Г. Импульсные транзисторные стабилизаторы напряжения. М.: Энергия, 1970.
5. Полищук А. Высоковольтные диоды Шоттки из карбида кремния в источниках электропитания с преобразованием частоты. Компоненты и технологии. 2004. № 5. С. 6–9.
6. Куневич А.В. Ферриты (каталог). М., 1991.
7. Эраносян С.А. Сетевые блоки питания с высокочастотными преобразователями. Л., Энергоатомиздат, 1991.
8. Моусли Я. Power Integrations, Europe. Источники питания для цифрового телевидения. Пер.: Краснополянский Л.Ю. Электрическое питание. 2002. № 2. С. 35–36.
9. Волошин С. Наперегонки с «Мерседесом». Силовая электроника. 2004. № 2. С. 4–6.
10. Колтаков А. Модули SEMTOP как альтернатива дискретным корпусам. Силовая электроника. 2004. № 2. С. 4–6. ©