

Интегрированные компоненты —

основа построения современных источников питания

Тенденции развития интегрированных компонентов и источников питания на их базе показывают, что таким образом можно ускорить процесс разработки, повысить технологичность и надежность средств электропитания аппаратуры.

Владимир Ланцов

vvlantsov@list.ru

**Саркис Эраносян,
к. т. н.**

sarkiseran@svs.ru

Немного истории

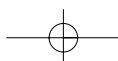
При проектировании источников вторичного электропитания (ИВЭ) разработчики всегда стремились применять интегрированные (в той или иной степени) компоненты (микромодули, микросборки, наборы элементов и т. п.), носившие ранее название унифицированных узлов. Такой подход позволял ускорить разработку, повысить технологичность и надежность, а также снизить стоимость ИВЭ. Несложно проследить эту тенденцию на примере трансформаторных источников питания. Так, в 1960–1970 годах в Советском Союзе и за рубежом достаточно широко применялись унифицированные микромодули (модули), микросборки: сетевые фильтры электромагнитных помех, выпрямительные мосты, линейные и в меньшей степени импульсные стабилизаторы напряжения на кремниевых полупроводниковых приборах. Следует отметить различия в реализации этих подходов в Советском Союзе и за рубежом. В СССР подобные работы носили ведомственный характер, и поэтому было практически трудно или вообще невозможно использовать унифицированные узлы (интегрированные компоненты) вне области спецтехники оборонного или аналогового назначения (разрешения на применение, фондирование). За рубежом при рыночном характере экономики разработчику была доступна очень широкая номенклатура изделий. Для примера можно указать сетевые фильтры. Например, в работе [1] приводятся параметры 15 моделей сетевых фильтров известных фирм CDE, Cordom, Sprague и др. Сведения о направлениях унификации источников питания в те годы будут неполными, если к этому не добавить широко использовавшиеся в СССР унифицированные моточные изделия серии «Габарит» (силовые трансформаторы, дроссели сглаживающих фильтров). Аналогичный подход был принят и за рубежом.

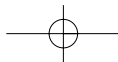
Интересно, что в Советском Союзе еще в 1975–1979 годах в ряде ведущих предприятий по разработке систем и средств вторичного электропитания были проведены научные работы по прогнозу развития этого направления техники до 1990 года. Ведущие специалисты по разработке ИВЭ считали, что будущее за созданием блоков питания на основе унифицированных функциональных узлов. Было показано, что это позволит активно внедрять межотраслевую унификацию отдельных узлов, входящих в ИВЭ. В одной из исследовательских работ предполагалось, что

к 1990 году можно ожидать появление твердотельных унифицированных узлов и модулей, из которых будут формироваться ИВЭ для любой системы электропитания аппаратуры. В концептуальном плане этот прогноз оказался верным. Несмотря на объективные трудности, которые возникли в области средств электропитания (часть из которых рассмотрена авторами ранее [2]), разрабатываемых в период с 1985 по 2000 год, можно утверждать следующее: именно в настоящее время есть все предпосылки для реализации этой задачи на основе разработки ряда суперинтегрированных модулей (SIPM), концепция построения которых рассмотрена авторами в статьях [3, 4].

Применявшиеся и у нас, и за рубежом узлы были, по существу, прообразами более поздних компонентов с большей степенью интеграции, созданных в 1970–1985 годах в виде интегральных микросхем на основе твердотельной (монокристаллической) или гибридной технологии. В качестве примеров можно привести отечественные линейные стабилизаторы: монокристаллические серии К142ЕН(1–12), гибридные типа КМП403/502/817ЕН. За рубежом выпускалась более широкая гамма стабилизаторов, в частности линейные стабилизаторы типа μ A723 (1967 год) и серии μ A7800, μ A7900 (все — Fairchild), серии LMxxx (National Semiconductor — NS), MC1400 (Motorola), NE5550 (Significs) и др. [1, 5, 6].

Развитие импульсных («бестрансформаторных») источников питания с сетевым входом (AC/DC-преобразователей), работавших на высоких частотах (ВЧ) преобразования, вначале привело к частичному разрушению системной унификации узлов ИВЭ. Объективно это было закономерно, так как было связано, с одной стороны, с поиском новых схемотехнических решений и, как следствие, с большим разнообразием авторских (оригинальных) вариантов. С другой стороны, эти решения зависели от уровня интеграции и достигнутых параметров основных компонентов, в первую очередь схем управления. Первоначально схемы управления импульсными ИВЭ выполнялись на основе аналоговых микросхем (операционные усилители, компараторы, таймеры), а также цифровых (логических) схем, маломощных дискретных транзисторов, диодов и их сборок. По мере совершенствования схем управления стали создаваться интегральные микросхемы управления с широтно-импульсной (ШИМ) или частотно-импульсной (ЧИМ) модуляцией, то есть так называемые





ШИМ- и ЧИМ-контроллеры. В их числе нельзя не упомянуть такие известные ШИМ-контроллеры, как одноконтные TDA8380 (Philips), TDA46XX (Siemens) и UC3842 — UC3845 (Unitrode — сейчас в составе корпорации TI); двухтактные TL494 (TI), SG3524 (Silicon General — SG) и др. Эти хорошо отработанные микросхемы управления импульсными ИВЭ, получившие широкое признание в мире, легли в основу разработок многих других компонентов, в том числе отечественных микросхем типа KP1033EY10...16, KP1114EY4 и т. п. [7]. В 1990-х годах появляются специальные микросхемы корректоров коэффициента мощности — ККМ (или Power Factor Corrector — PFC). После выпуска за рубежом ККМ — микросхем типа ML4812, ML4819 (Micro Linear), MC33261, MC33262 (Motorola), UC3855 (Unitrode), и в России появляются ККМ-МС типа (KP)1033EY 4/8, 6 [7].

Значительное повышение допустимых значений токов, напряжений и мощностей силовых транзисторов: униполярных — МОПТ или MOSFET, а затем и биполярных с изолированным затвором — IGBT — вызвало появление новой группы микросхем непосредственного управления с умощненным выходом — драйверов MOSFET и IGBT. Пионером в этом направлении выступила известная фирма International Rectifier (IR) — один из мировых лидеров силовой электроники. Приведем некоторые примеры драйверов:

- низкопотенциальные («нижние») — IR2121;
- высокопотенциальные («верхние») — IR2117, IR2118 — R2125;
- двухканальные (независимые нижний и верхний канал) — IR2113;
- полумостовые — IR2104, IR2105 [8].

Наряду с развитием традиционных интегрированных компонентов, о которых шла речь, с середины 80-х годов появляется новый класс интегральных микросхем — «разумные» (иначе они называются интеллектуальными — smart) мощные интегральные схемы (Smart power). Структура таких силовых микросхем — это сочетание на одном кристалле силовых элементов с логическими и аналоговыми микросхемами (встроенными чипами). Это, в частности, были логические CMOS (КМОП) структуры с высокой плотностью элементов, прецизионные биполярные линейные схемы, мощные биполярные или полевые транзисторы с изолированным затвором (MOSFET) и др. Такие приборы могут служить примером максимального приближения к интеллектуальным (интегрированным) силовым модулям — Integrated Power Modules (IPM). В принципе, приборы Smart power могут образовывать практически законченную схему источника питания без моточных элементов. К сожалению, следует отметить, что возлагавшиеся в то время большие надежды на широкое применение Smart power в импульсных источниках питания (преобразователях AC/DC, DC/DC) и в других применениях силовой электроники не оправдались [9]. Фактически все ограничилось выпуском сравнительно небольшой номенклатуры специальных устройств. Надо признать, что приборы Smart power несколько обогнали свое время, но их разработ-

ка и применение заложили основу дальнейшего развития интегрированных компонентов, в первую очередь силовых интегрированных модулей (IPM). Более подробно история развития Smart power и причины торможения их развития изложены в статьях авторов [1, 3, 10].

К середине 90-х годов зарубежные фирмы параллельно с интеллектуальными силовыми микросхемами стали создавать более «продвинутые» модели «самозащищенных» интеллектуальных силовых ключей. Такие ключи, также называемые Integrating Power Switches (IPS), создавались уже не на биполярных транзисторах, а на более совершенных и надежных MOSFET. К их числу относятся низковольтные (50–70 В), так называемые TOPFET (Temperature and Overload Protection), PROFET (PROtected) и другие Smart Switches. В ключах моделей VNP20N07 (STMicroelectronics), BUK106-50L (Philips), BTS442E2 (Infineon/Siemens) в корпус силового низковольтного MOSFET-ключа были встроены схемы защиты от различных перегрузок, выполняющие и некоторые другие «разумные» функции [11, 12, 13]. Тогда же ведущие фирмы Siemens, Toshiba, Motorola, International Rectifier и прочие начинают промышленный выпуск IPM. Модули представляют собой комбинацию (полумосты и мосты, одно- и трехфазные) мощных типов высоковольтных MOSFET (600 В) или IGBT (600 В, 1200 В) вместе с силовыми диодами (антипараллельными, свободными). Модули выполнялись в специальных корпусах, в которых все выводы электрически изолированы от металлического основания.

В настоящее время IPS и IPM успешно развиваются в следующих направлениях:

- интеграция в одном корпусе нескольких MOSFET или IGBT, в том числе совместно с диодами — для образования более сложных силовых структур;
- встраивание (интеграция) в силовые ключи или их конфигурацию (полумосты, мосты) управляющих драйверов и ШИМ-контроллеров.

Одной из первых предложила применение IPS в AC/DC-преобразователях фирма Power Integrations (PI). Это были IPS средней «высоковольтности» (700 В), в частности, различные модификации так называемых приборов типа TOP Switches [13, 14].

Такие ключи по своей структуре представляют комбинацию MOSFET с интегрированным в одном SIPMOS-чипе ШИМ-контроллером. Также в этой структуре имеются схемы защиты от токовых перегрузок, перегрева и перенапряжения на выходе и др. Уже создано несколько поколений семейств импульсных преобразователей-стабилизаторов TOPSwitches. Развивая достигнутые успехи в интегрированных силовых ключах TOPSwitches и расширяя номенклатуру, фирма выпустила и другие семейства IPS: DPA-Switch, LinkSwitches, TinySwitches [13, 14]. Модели DPA423 — DPA426 семейства DPA-Switch предназначены для построения DC/DC-преобразователей с изолированным выходом при входном напряжении 24/48 В (36–75 В) постоянного тока и рассчитаны соответственно на выходную мощность 18, 35, 70, 100 Вт. Метод управле-

ния — широтно-импульсная модуляция (ШИМ). Частота переключения 400/300 кГц, также схема может быть синхронизирована внешним образом по более низкой частоте. Семейство ключей LinkSwitch-TN (модели LNK304, LNK305, LNK500) предназначено для построения AC/DC-преобразователей с изолированным выходом при входном напряжении $\sim 230 \text{ В} \pm 15\%$ или $\sim 85 \dots \sim 265 \text{ В}$ (универсальный вход) переменного тока и рассчитано на очень малую мощность — не более 3 Вт. Метод управления — релейный («включено — выключено») или ШИМ (LNK500). Частота переключения 66 кГц при релейном управлении или 42 кГц при ШИМ-управлении. Семейство TinySwitches (модели TNY253 — TNY255) или TinySwitches-II (модели TNY264 — TNY268) предназначено для реализации AC/DC-преобразователей малой мощности (2–23 Вт). Частота переключения 44 кГц при релейном управлении или 132 кГц при ШИМ-управлении [13, 14].

Типовые структуры и схемы маломощных DC/DC- и AC/DC-преобразователей на интегрированных ключах фирмы Power Integrations

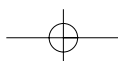
Сделаем несколько предварительных замечаний об IPS (микросхемах) фирмы Power Integrations. При этом заметим, что некоторые зарубежные фирмы (National Semiconductor, Linear Technology, Maxim и др.) оценили перспективность данного направления в аспекте перспектив развития силовой электроники в XXI веке. По мнению руководства фирмы Power Integrations, разработанные и выпускаемые фирмой IPS (микросхемы):

- снижают стоимость внешних компонентов либо их устраняют;
- уменьшают уровень помех или упрощают фильтры помех;
- снижают стоимость печатной платы, ее разводки и сборки;
- увеличивают процент выхода годных изделий;
- повышают надежность за счет встроенной защиты от различных перегрузок.

Фирма Power Integrations стремится к уменьшению расхода энергии благодаря энергосберегающей технологии EcoSmart. Микросхемы фирмы, построенные с использованием технологии EcoSmart, позволяют импульсному источнику питания работать в более экономичном режиме при малой нагрузке, при ее отсутствии или в дежурном режиме (www.powerint.com/greenour).

Для иллюстрации этих положений рассмотрим некоторые типовые структуры и схемы DC/DC- и AC/DC-преобразователей на интегрированных ключах фирмы Power Integrations. Микросхемы DPA423—DPA426 семейства DPA-Switch предназначены для построения систем электропитания с распределенной мощностью с входным напряжением 24/48 В (36–75 В) постоянного тока. На рис. 1 представлена функциональная схема DPA-Switch.

DPA-Switch — это силовой MOSFET-ключ, интегрированный со схемой ШИМ-управления. Схема достаточно хорошо известна,



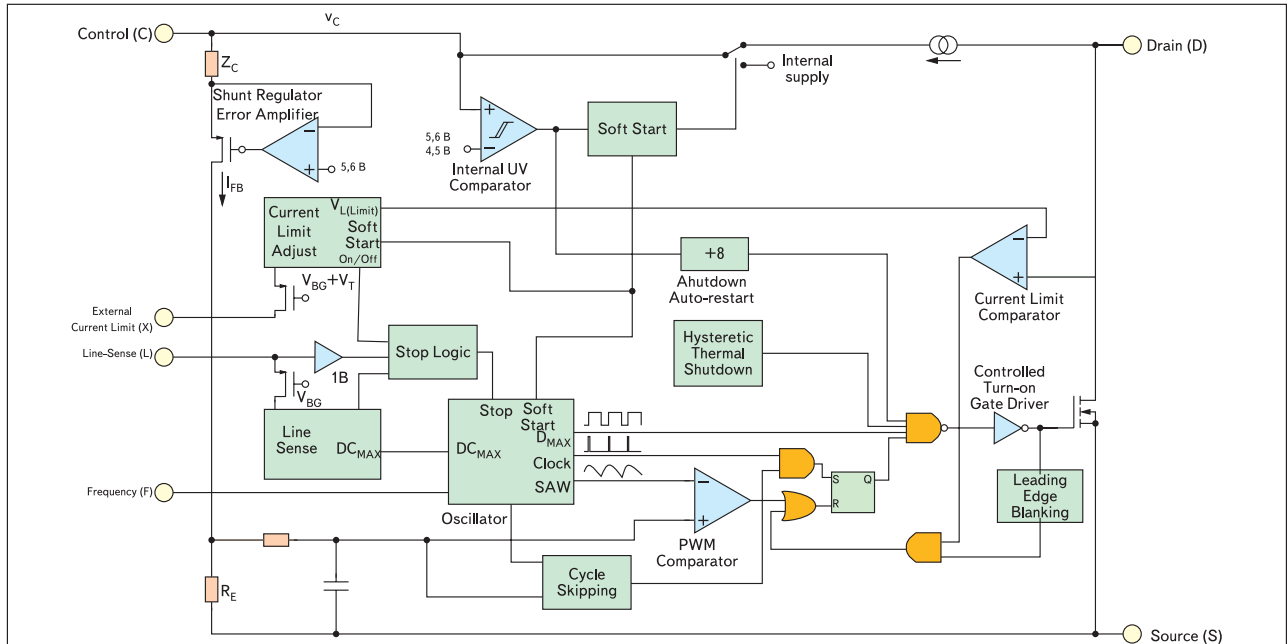
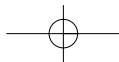


Рис. 1. Функциональная схема интегрированных ключей DPA423–DPA426 семейства DPASwitch фирмы Power Integrations

Таблица 1. Основные параметры и особенности интегрированных ключей DPA423–DPA426

Изделие	Рассеиваемая мощность устройства (Prac), Вт					Основные параметры					Характерные особенности	
	0,5	1,0	2,5	4,0	6,0	P _{вых} (max), Вт	U _{DSS} , В	I _{D peak} , А	R _{DS on} , Ом	F _{max} , кГц		
DPA-Switch	U _{вх} = 36–75 В											1) Метод управления – ШИМ 2) Максимальный коэффициент заполнения K _{з max} = 75% 3) Мягкий старт 4) Интегрированный датчик тока 5) Регулируемое ограничение тока 6) Автоматический перезапуск 7) Защита от перегрева 8) Ограничение мощности 9) Определение максимального напряжения (OV) 10) Определение минимального напряжения (UV) 11) EcoSmart – снижение потребления в дежурном режиме 12) Одновременная регулировка по напряжению сети и ограничение тока 13) Дистанционное включение–выключение
DPA423P или G	12	16	–	–	–	18		1,75	1,5	400/300		
DPA423R	12	16	–	–	–	18	220	1,75	1,5	400/300		
DPA424P или G	16	23	–	–	–	35	220	1,75	1,5	400/300		
DPA424R	16	23	35			35	220	3,5	0,75	400/300		
DPA425P или G	23	32	–	–	–	70	220	3,5	0,75	400/300		
DPA425R	23	32	50	62	–	70	220	7,0	0,38	400/300		
DPA426R	25	35	55	70	83	100	220	7,0	0,38	400/300		

Примечание. 1. Тип корпуса: P – пластиковый DIP, G – DIP – для поверхностного монтажа; R – TO-263-7C

2. Графы «Рассеиваемая мощность устройства» указывают, какую выходную мощность можно получить для различных DPA42X и принятых значениях Prac

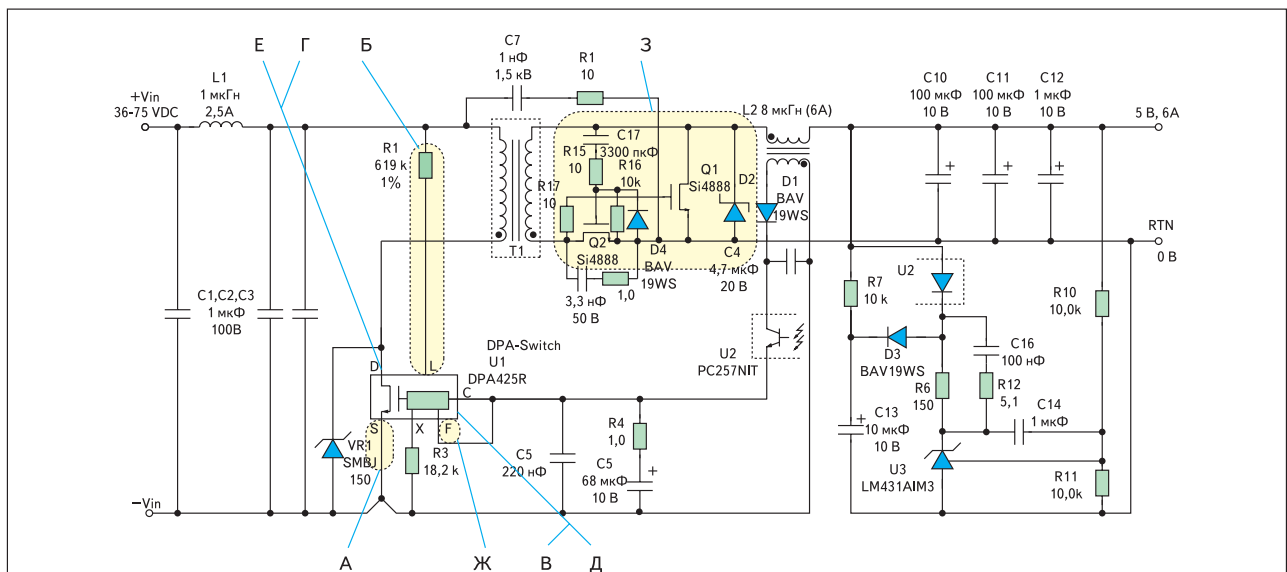
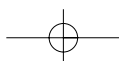


Рис. 2. Схема DC/DC-преобразователя с выходной мощностью 30 Вт (5 В, 6 А) на основе интегрированного ключа DPA425R



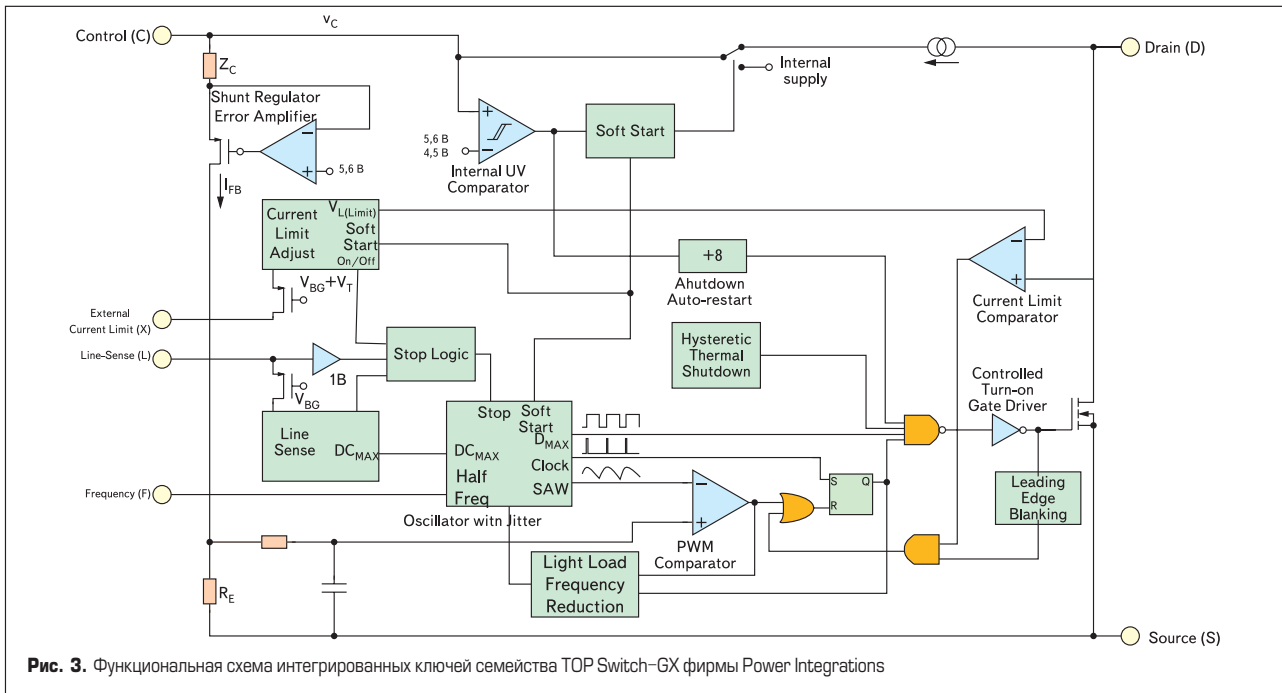
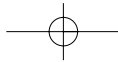


Рис. 3. Функциональная схема интегрированных ключей семейства TOP Switch-GX фирмы Power Integrations

поэтому основные параметры и особенности интегрированных ключей DPA423 — DPA426 изложим в виде таблицы (табл. 1).

В качестве примера, поясняющего применение DPA-Switch, на рис. 2 представлена схема DC/DC-преобразователя с выходной мощностью 30 Вт, с изолированным выходом +5 В и 6 А на микросхеме DPA425R.

DC/DC-преобразователь выполнен по схеме однотактного прямоходового преобразователя с синхронным выпрямителем на низковольтных быстродействующих MOSFET типа SI4888DY (SMD-компонент). Для упрощения схемы транзисторы синхронного выпрямителя управляются непосредственно напряжением со вторичной обмотки трансформатора, то есть без дополнительной схемы управления. Основные параметры MOSFET типа SI4888DY (в корпусе SO-8): напряжение «сток-исток» $U_{DSS} = 30$ В, ток стока $I_D = 11$ А, мощность рассеяния $P_D \leq 16$ Вт, сопротивление открытого канала сток-исток $R_{DS(on)} \leq 0,007$ Ом, время нарастания $t_r = 20$ нс, время спада $t_f = 30$ нс. Диод Шоттки D2(12CWQ03FM) в SM-корпусе (D-Pak), включенный параллельно транзистору Q1, защищает затвор Q1 (SI4888) от опасных перенапряжений при коммутации напряжения. Он имеет следующие параметры: максимальное обратное напряжение $U_{RRM} = 30$ В, ток $I_F(AV) = 12$ А, прямое падение напряжения $U_F = 0,37$ В. Быстродействующий (1пс) диод — подавитель помех VR1(SMBJ150) ограничивает величину импульсных перенапряжений на стоке ключа DPA425R на допустимом уровне ($U_{WM} = 167-204$ В).

Особенности и преимущества использования схемы на DPA-Switch (рис. 2):

- Исток присоединен к подложке, что снижает уровень помех и упрощает схему фильтра.
- Встроенный датчик выходного напряжения обеспечивает высокую термостабильность, контролирует UV/OV (undervoltage/overvoltage) и заменяет до 10 компонентов.

- Встроенная тепловая защита контролирует температуру MOSFET, обеспечивает гистерезисный автоматический перезапуск; заменяет до 4 дискретных компонентов.

- Встроенная схема старта высокоэффективна и заменяет до 4 компонентов.

- Встроенный ШИМ-контроллер позволяет получить коэффициент заполнения более 50% и заменяет до 10 компонентов.

- Встроенный датчик тока устраняет внешний резистор или трансформатор тока, обеспечивая жесткий допуск и термостабильность.

- Встроенный генератор может обеспечить частоту переключения ключа 300–400 кГц.

3. Схема простого синхронного выпрямления на MOSFET надежно работает благодаря контролю напряжения DPA-Switch на обмотке трансформатора.

Характеристики DC/DC-преобразователя (рис. 2) [13]:

- Выходная мощность 30 Вт (непрерывно).
- КПД не менее 90%.
- Частота переключения 300 кГц.
- Нестабильность выходного напряжения +5 В (0–6 А) $\leq \pm 1\%$.
- Пульсации и помехи ≤ 100 мВ пик-пик.
- Габаритные размеры 58×44×11 мм (на SMD-компонентах).
- Возможная удельная мощность $p_V = 1070$ Вт/дм³.
- Работа без теплоотвода до +65 °С, с теплоотводом — до +85 °С.

Перейдем к рассмотрению интегрированных ключей для AC/DC-преобразователей.

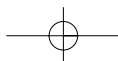
На рис. 3 изображена функциональная схема интегрированных ключей TOP Switches-GX.

Основные особенности и параметры интегрированных ключей TOP242 — TOP250 приведены в таблице 2.

В качестве примера, поясняющего применение TOP Switches-GX, на рис. 4 представлена схема многоканального AC/DC-преобразователя с выходной мощностью 45 Вт на основе

TOP Switches-GX типа TOP 246Y. Схема заимствована из руководства [13] и несколько доработана авторами для лучшей иллюстрации излагаемых положений. Рассмотрим основные устройства (узлы), компоненты и работу AC/DC-преобразователя.

На сетевом входе (~220 В, 50 Гц) после стандартных защитных элементов (терморезистор R_T , варистор R_{V1}) включен сетевой помехоподавляющий фильтр (ФС) типа Cx1LCxy. Этот фильтр осуществляет подавление электромагнитных помех (EMI) как со стороны сети, так и со стороны самого импульсного источника. Сетевые фильтры целесообразно применять в виде готовых узлов (интегрированных компонентов), которые выпускаются некоторыми фирмами, в том числе Schaffner, Belling Lee, Vicor [11, 14]. Применение готовых сетевых фильтров, имеющих нормированный коэффициент ослабления (подавления) помех в диапазоне частот (типовой от 100 кГц до 30 МГц), исключает их проектирование, тестирование и проверку после изготовления источника. Отметим также, что в схеме фильтра, по нашему мнению, целесообразно использовать комбинированные (интегрированные) помехоподавляющие конденсаторы вида $C_{xy} = C_x + 2 \times C_y$ — здесь в одном корпусе совмещены фазный (симметричный) конденсатор C_x и два несимметричных конденсатора C_y («на землю»), которые используются для подавления несимметричных помех. Примерами таких конденсаторов могут служить отечественные помехоподавляющие конденсаторы типов K73-43, K75-37, K75-41, K75-61. Параметры элементов фильтра приведены непосредственно на схеме. Низкочастотный дроссель L1 на выходе фильтра ФС (микромодуль A1) выполняет функцию пассивного ККМ (PFC), что характерно для источников питания небольшой мощности. Фирма Ercos выпускает подобные дроссели [11]. Рекомендуется дроссели пассивного ККМ включать по-



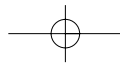


Таблица 3. Параметры некоторых компонентов схемы многоканального AC/DC-преобразователя на TOP246Y

VD1	VD2'	VD2''	VD3	VD4	VD5	DA2	DA3
2KB60R	1N4937	P6KE170	UF5402	BYV32-200	MBR1045	LTV817	TL431(CLP)
$U_{RRM} = 600$ В $I_o = 2$ А	$U_{RRM} = 600$ В $I_{F(AV)} = 1$ А $t_{rr} = 200$ нс - время восстановления	$U_{WM} = 170$ В (ограничение) $P_{PRM} = 600$ Вт - пиковая $P_W = 5$ Вт - постоянная $I_{FSM} = 100$ А - пиковый	$U_{RRM} = 200$ В $I_{F(AV)} = 3$ А - ultrafast	$U_{RRM} = 200$ В $I_{F(AV)} = 2 \times 9$ А $t_{rr} = 25$ нс	Диод Шоттки: $U_{RRM} = 45$ В $I_{F(AV)} = 10$ А	Опторанзистор: CTR = 50–600% Вход: 50 мА max Выход: $U_{CER} = 35$ В $I_c = 40$ мА	Регулируемый ИОН: Выход: 2,8–36 В 1–100 мА max $\pm 0,003\%$ /°C Вход: 4,5–40 В

ратной связи выполнена по широко распространенной схеме, принятой для источников питания невысокой стабильности. Ее образуют микросхема регулируемого источника опорного напряжения DA2 (TL431) и включенная последовательно оптопара DA2 (LTV817), которая одновременно выполняет функции усилителя обратной связи и гальванической развязки. Выбором соответствующих значений сопротивлений резисторов делителя обратной связи (R6–R8) достигается приемлемая стабильность напряжений каналов +3,3 В и +5 В, хотя схема управления всего одна (СУ2). Другое условие удовлетворительной стабильности напряжений упомянутых каналов — примерно одинаковые значения их токов нагрузки. В то же время стабильность напряжения канала +27 В, конечно, хуже, чем в каналах +5 В и +3,3 В, так как этот канал непосредственно не охвачен цепью обратной связи. Но при соблюдении условия, что выходная мощность этого канала существенно меньше суммарной мощности двух других каналов с обратной связью, достигается вполне приемлемая стабильность канала +27 В. В рассматриваемой схеме существует следующее соотношение:

$$P_{\text{вых}}(+3,3 \text{ В}; +5 \text{ В}) = 11,5 \text{ Вт} + 20 \text{ Вт} = 31,5 \text{ Вт} > P_{\text{вых}}(+27 \text{ В}) = 13,5 \text{ Вт}.$$

Также немаловажно, что вторичная обмотка трансформатора для канала +3,3 В является частью вторичной обмотки для канала +5 В. Значения параметров использованных пассивных компонентов указаны непосредственно на схеме источника (рис. 4). Типы и некоторые параметры активных компонентов приведены для справки в таблице 3.

Характеристики AC/DC-преобразователя (рис. 4) [13]:

- Выходная мощность 45 Вт (непрерывно), 60 Вт (пиковая).
- КПД не менее 73%.
- Частота 100 кГц.
- Нестабильность выходных напряжений:
 - каналы +3,3 В и +5 В не более $\pm 5\%$;
 - канал +27 В не более $\pm 7-8\%$.

Типовые структуры и схемы мощных AC/DC-преобразователей на интегрированных компонентах

Для мощных (более 500 Вт) AC/DC-преобразователей необходимо применять другие схемные решения и другие, более мощные интегрированные компоненты. Современные мощные источники питания с сетевым входом выполняются с активным корректором коэффициента мощности. В работе [15] описана схема мощного сетевого источника питания с активным ККМ и на основе одностороннего однофазного прямоходового («косой»

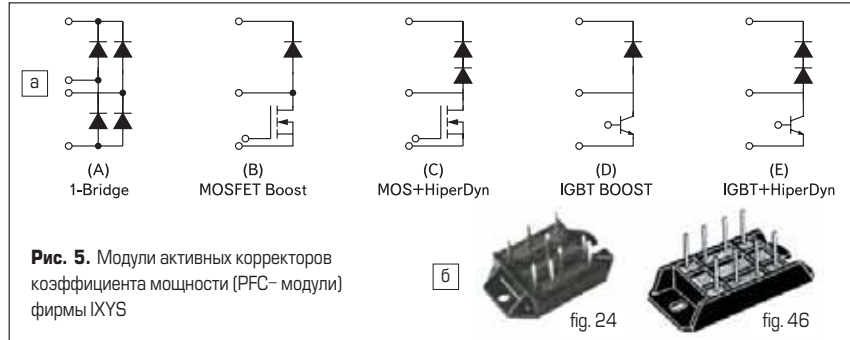


Рис. 5. Модули активных корректоров коэффициента мощности (PFC- модули) фирмы IXYS

Таблица 4. Основные параметры модулей активных корректоров коэффициента мощности (PFC-модули) фирмы IXYS

Тип	Схема	Основные параметры					Корпус
		MOSFET		Диод	Мост		
		U_{DSS} , В	I_D , А ($T_c = 25$ °C)		$R_{DS(on)}$, Ом	U_{RRM} , В	
VUM24-05N	A+B	500	35	0,12	600	800	Fig. 46
VUM33-05N	A+B	500	47	0,12	600	800	Fig. 46

мост) преобразователя, выполненного, в основном, на дискретных компонентах. Как показано авторами, такая схема может обеспечить выходную мощность до 1500 Вт (описана схема с выходом 27 В, 45 А). В настоящее время имеется возможность использовать интегрированные силовые модули, например фирмы IXYS [17]. В частности, это ККМ-модули (PFC-modules) и мостовые модули для преобразователя. Остановимся подробнее на описании этих компонентов. Фирма IXYS производит несколько модулей, которые могут быть использованы для PFC [17]:

- модули на MOSFET и IGBT с быстродействующим диодом (MOSFET/FRED и IGBT/FRED) для схемы повышающего импульсного стабилизатора («бустерная» цепь — boost circuit), то есть последовательное включение ключа и диода;
- однофазный входной выпрямительный мост в комбинации с «бустерной» цепью (соединяются внешним монтажом).

В таблице 4 приведены основные параметры ККМ-модулей фирмы IXYS [17].

Модуль UVM24-05M с MOSFET-ключом со следующими параметрами: напряжение $U_{DSS} = 500$ В, ток $I_D = 35$ А и сопротивление $R_{DS(on)} = 0,12$ Ом — вполне пригоден для использования в мощных ККМ. Еще в большей степени это относится к модулю UVM33-05M.

Рассмотрим схемы интегрированных мостовых MOSFET-модулей (рис. 6) фирмы IXYS.

Модуль VHM40-06P1 (рис. 6а) — это «косой» мост (квазимост), то есть мостовой ключ, в плечах которого «крест-накрест» находятся MOSFET и быстродействующие (FRED) диоды. Преимущества «косого» моста:

- отсутствие необходимости использовать дополнительную размагничивающую обмот-

ку в силовом трансформаторе и меньшее импульсное напряжение при закрывании ключа, что характерно для классического прямоходового преобразователя;

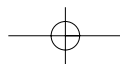
б) отсутствие сквозного тока через ключи и простота выполнения силового низковольтного выпрямителя по сравнению с чисто мостовой схемой преобразователя.

Модуль VKM40-06P1 (рис. 6б) — полный мост, в котором параллельно каждому MOSFET включен быстродействующий диод. Его основные преимущества: большая мощность (3–10 кВт и более) и знакопеременное напряжение на входе трансформатора. Недостатки: наличие (большая вероятность) сквозных токов через каждое плечо и более сложная схема управления. В модуле VBH40-05P1 (рис. 6в) интегрированы однофазный сетевой выпрямительный мост и полный MOSFET-мост. В каждом из модулей размещен датчик температуры нагрева модулей — терморезистор (NTC) — для организации защиты от перегрева.

В таблице 5 приведены основные параметры и особенности интегрированных MOSFET-модулей фирмы IXYS.

Модули VHM40-06P1 и VKM40-06P1 имеют практически идентичные характеристики для MOSFET: $U_{DSS} = 600$ В, $I_D = 38$ А, $R_{DS(on)} = 0,07$ Ом и быстродействие: $t_r = 95$ нс, $t_f = 10$ нс. MOSFET выполнены по CoolMOS-технологии.

На рис. 7 представлена схема мощного сетевого источника питания на основе описанных выше интегрированных компонентов фирмы IXYS. В целях преемственности и наглядности изложения выбрана схема, описанная авторами в одной из предыдущих публикаций [16, пример 1], то есть схема сетевого источника питания мощностью 1215 Вт (27 В, 45 А) с активным ККМ и на основе односторон-



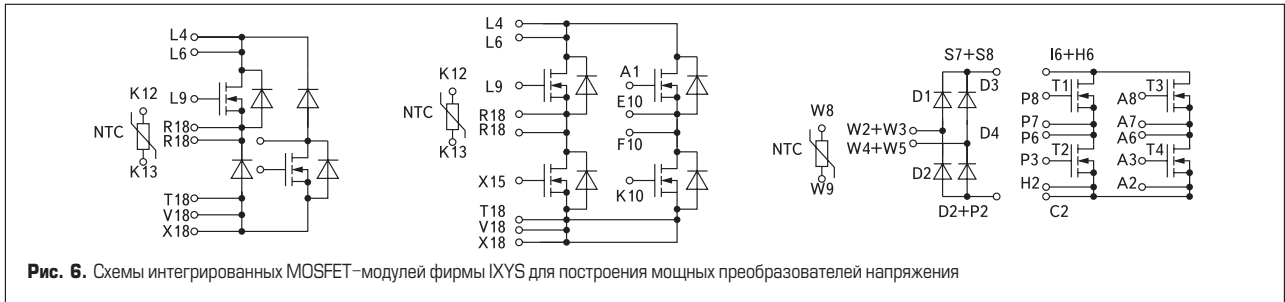
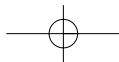


Рис. 6. Схемы интегрированных MOSFET-модулей фирмы IXYS для построения мощных преобразователей напряжения

Таблица 5. Основные параметры и особенности интегрированных модулей фирмы IXYS для построения мощных преобразователей напряжения

Наименование (тип) модуля	VHM40-06P1	VKM40-06P1	VBN40-05P1
Схема	«косой» MOSFET-мост (рис. 6а)	полный MOSFET-мост (рис. 6б)	однофазный выпрямительный мост и полный MOSFET-мост (рис. 6в)
Технология	CoolMOS	CoolMOS	HiperFET
U_{DS} , В	600	600	500
I_D , А (25 °С)	38	38	40
$R_{DS(on)}$, Ом	0,07	0,07	0,116
t_r/t_f нс/MOSFET/	95/10 (25 А, 380 В)	95/10 (25 А, 380 В)	50/80 (20 А, 250 В)
Диоды:			
$I_F(AV)$	18,5	-	40,0
U_F , В	1,1	1,1	1,5
t_{rr} , нс	70 (10 А) min	-	300 (40 А) тип
Встроенный терморезистор:	+	+	+
R_{th} , кОм	$5,0 \pm 0,25$	$5,0 \pm 0,25$	$2,16 \pm 0,11$
$\sim U_{sw}$, В (50/60 Гц, 1 с – к основанию – base)	3600	3600	3000
Выпрямительный мост:	нет	нет	есть
U_{RRM} , В			1200
$I_F(AV)$, А			45
Корпус	ECO-PAK 2	ECO-PAK 2	ECO-PAK 2

го однотактного прямоходового преобразователя («косой» мост). По сравнению с упомянутой схемой [16, пример 1], в схеме на рис. 7 имеется ряд изменений (они сделаны для использования интегрированных компонентов). В частности, применены: ККМ-модуль типа UVM33-05M (A2) и модуль «косого» моста типа

VHM40-06P1 (A3), характеристики которых приведены в таблицах 4, 5. В низковольтном ВЧ-выпрямителе вместо одианных диодов Шоттки типа 83CNQ80A (1R), включенных по 2 диода параллельно, применена «двойка» более сильноточных (160 А) диодов Шоттки типа DSS2x160-01A (IXYS) [16, 17].

Для управления ККМ-модулем (его выходное напряжение $U_o = +375$ В или +400 В) могут быть использованы многие микросхемы ККМ-контроллеров. В частности, в описываемой схеме может быть применена микросхема UC1855 (DA1) [18]. Определенный интерес представляет применение комбинированного контроллера TDA16888 (Infineon) [19, 20]. Управление MOSFET-ключами модуля VHM40-06P1 организовано с помощью известной микросхемы UC3844 (DA4) одноканального (однотактного) ШИМ-контроллера. Микросхема DA4 работает на микросхемы DA2, DA3 высокопотенциальных драйверов MOSFET, например типа IR2125. Следует заметить, что для «верхнего» MOSFET-ключа (VT2) необходим отдельный источник (канал) напряжения (+15 В), гальванически развязанный от «низкопотенциальной» шины (OB1) — он служит для питания выходного высокопотенциального буферного каскада драйвера. «Бутстрепную» (bootstrap) схему питания применить здесь нельзя, так как оба ключа (и верхний, и нижний) открываются одновременно. В целях упрощения схемы управления CY2 возможно применение микросхем 2-канальных драйверов, содержащих каналы и низкопотенциального, и высокопотенциального управления, например IR2113. Однако следует иметь в виду, что такие драйверы создавались в основном для управления полумостовы-

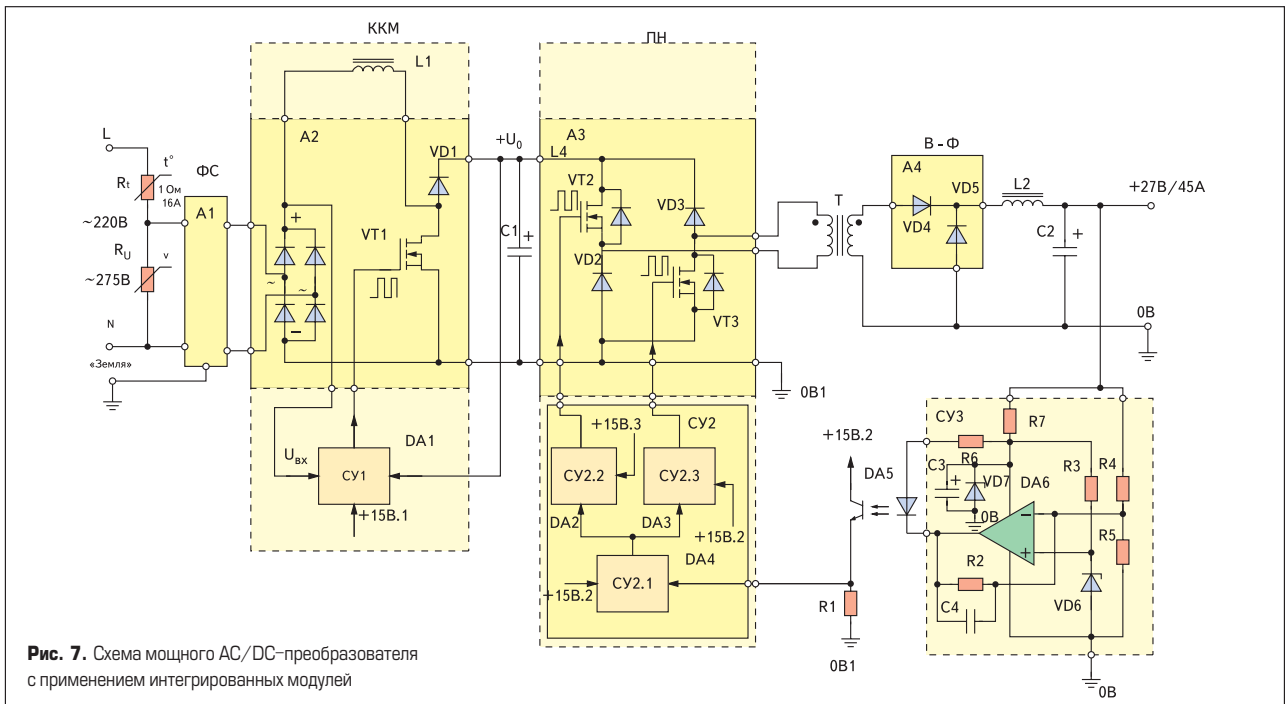
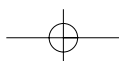
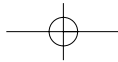


Рис. 7. Схема мощного AC/DC-преобразователя с применением интегрированных модулей





ми преобразователями и поэтому их выходы работают в противофазе. В то же время в рассматриваемой схеме (рис. 7) ключи VT2 и VT3 работают синфазно, что обуславливает необходимость применения дополнительных каскадов для согласования фаз сигналов при использовании драйверов типа IR2113.

Схема управления СУЗ на микросхеме DA6 (операционный усилитель), формирующая сигнал обратной связи, также может быть выполнена на более интегрированном компоненте. Для этой цели могут быть использованы микросхемы маломощных линейных стабилизаторов с повышенной стабильностью — можно выбрать, например, многофункциональные стабилизаторы типа μ A723, L200. Также могут использоваться маломощные (ток до 100 мА) микросхемы 3-выводных регулируемых стабилизаторов, например типа LN317L. В таком режиме использования выход стабилизатора подключается к выходу мощного источника, а вход (+ $U_{вх}$) через резистор и светодиод оптопары (DA5) — к более высокому напряжению, чем на выходе микросхемы.

Заключение

Некоторые аспекты развития интегрированных компонентов и источников питания на их базе показывают, что таким образом можно ускорить процесс разработки, повысить технологичность и надежность средств электропитания аппаратуры.

Приведенные структуры и схемы одноканального DC/DC-преобразователя с выходной мощностью 30 Вт и трехканального AC/DC-преобразователя с выходной мощностью 45 Вт иллюстрируют высокую эффективность применения IPS.

Приведенная для примера схема AC/DC-преобразователя с выходной мощностью порядка 1200 Вт (27 В, 45 А), в которой использованы интегрированные силовые модули и другие и интегрированные компоненты, подтверждает возможность и целесообразность выполнения широкого класса импульсных ИВЭ на интегрированных компонентах, номенклатура которых постоянно расширяется.

Литература

1. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники. М.: Мир, 1983.
2. Эраносян С. А., Ланцов В. В. Интеллектуальные силовые модули для источников электропитания // Электрическое питание. 2005. № 1.
3. Эраносян С., Ланцов В. Интеллектуальные силовые модули для источников электропитания // Электрическое питание. 2005. № 2.
4. Эраносян С., Ланцов В. Пути развития и архитектура отечественных интегрированных модулей для импульсных источников вторичного электропитания // Электрическое питание. 2005. № 3, 4.
5. Фелпс Р. 750 практических электронных схем. М.: Мир. 1986.
6. Интегральные микросхемы: Микросхемы для линейных источников питания и их применение. М.: ДОДЭКА. 1996.
7. Интегральные микросхемы: Микросхемы для импульсных источников питания и их применение. М.: ДОДЭКА. 1996.
8. International Rectifier — Short Form Catalog 1999–2000. www.irf.com
9. SMART POWER. Application manual. STMicroelectronics. 1989. www.st.com
10. Ланцов В., Эраносян С. Интеллектуальная силовая электроника: вчера, сегодня, завтра // Силовая электроника. 2006. № 1.
11. Каталог электронных компонентов FAENELLINONE 2006–2007. www.farnellinone.com
12. www.alldatasheet.com
13. Date Book. Design Guide and Seminar Handbook. Power Integrations. 2002. www.powerint.com
14. Микросхемы Power Integrations для импульсных источников питания Проспект, 2004 Макро-Петербург.
15. Белогуров В. Модули фильтрации и защиты от перенапряжений фирмы Vicor // Силовая электроника. 2004. № 2. www.vicorpower.com
16. Эраносян С., Ланцов В. Электронные компоненты для мощных импульсных источников питания // Силовая электроника. 2006. № 2.
17. www.ixys.com
18. Забровский Д. Коррекция коэффициента мощности в импульсных источниках // Компоненты и технологии. 2003.
19. Поляков В., Барышников А. Применение комбинированного контроллера TDA16888 в типовых источниках питания.
20. www.infineon.com

