

ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЕ DC/DC-ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ СЕРИИ "МИСТРАЛЬ" ДЛЯ ЖЕСТКИХ ПРИМЕНЕНИЙ



Группа компаний "Александр Электрик" предлагает новые модули вторичного электропитания постоянного тока серии "Мистраль" для особо жестких условий применения. Обладая выходной мощностью 6–40 Вт, модули отличаются весьма малыми габаритами, высокой удельной мощностью и широким диапазоном рабочих температур.

И.Лукьянов,
А.Гончаров

СХЕМОТЕХНИКА МОДУЛЕЙ

Преобразователи серии "Мистраль" реализованы на основе однотактных прямоходовых и обратных преобразователей. Модули на 6 и 10 Вт выполнены по схеме обратного преобразователя (рис. 1). Силовой транзистор VT1 периодически открывается и закрывается схемой управления (контроллером ШИМ). Пока VT1 открыт, в трансформаторе (многообмоточном дросселе) T1 накапливается энергия, которая затем, при закрытом VT1, через выпрямительный диод VD1 передается на выход и заряжает конденсатор C1. Когда VT1 вновь открывается, выпрямительный диод VD1 запирается и нагрузка потребляет энергию от выходного конденсатора C1. Схема управления стабилизирует выходное напряжение, изменяя относительную длительность импульсов открытого состояния VT1 с помощью отрицательной обратной связи (ООС).

Радиоэлектронная аппаратура изделий классов military, defense, space, aerospace, industrial наиболее часто требует электропитания стабилизированными постоянными напряжениями из ряда 3,3; 5; 9; 12; 15; 24; 27; 48 и 60 В при работе от входных сетей постоянного тока 12, 24, 27 и 48 В. Для решения именно этой задачи предназначены модули электропитания класса DC/DC серии "Мистраль". Серия состоит из двух линий модулей: MR и MR-T. Рассмотрим модули мощностью 6–40 Вт, оставив рассказ о более мощных модулях (80–320 Вт) для следующей статьи.

Модули производятся совместно фирмами "Александр Электрик Дон" (Воронеж) и AEPS-group s.r.o. (Прага), входящими в состав группы компаний "Александр Электрик". Они выпускаются с приемкой "1", однако уже подбирается высокотехнологичная отечественная элементная база с приемкой "5" – серийная или находящаяся на стадии ОКР – и в ближайшее время фирма "Александр Электрик Дон" приступит к выпуску опытных образцов данных модулей с приемкой заказчика в рамках ОКР "Мистраль". Затем последует их серийное производство.

Каждый тип модуля представлен различными вариантами исполнения, различающимися входным/выходным напряжением, числом входов, температурным диапазоном, а также особенностями конструкции корпуса (табл. 1, 2). Помимо серийно производимых модулей с типовыми наборами параметров, возможно и изготовление модулей на заказ, с отличными от приведенных в табл. 1 и 2 характеристиками.

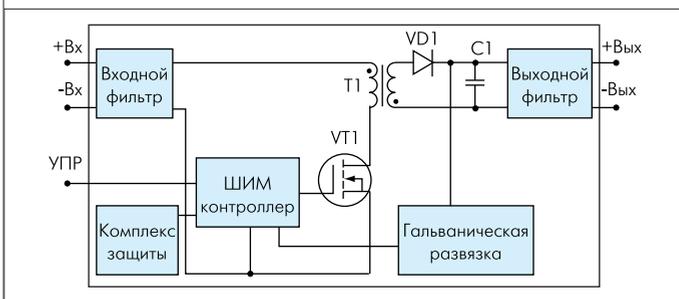


Рис. 1. Структурная схема модулей серии "Мистраль" мощностью 6 и 10 Вт

Модули с выходной мощностью 20 и 40 Вт выполнены по схеме прямоходового преобразователя (рис. 2). Силовой транзистор VT1 периодически открывается и закрывается контроллером ШИМ. Пока VT1 открыт, через трансформатор T1 и выпрямительный диод VD1 на выход передается энергия, часть которой накапливается в дрос-

Таблица 1. Основные параметры и варианты исполнения модулей серии "Мистраль" на 6–40 Вт

Тип модуля	Ориентировочная цена для крупных партий (без НДС), € , линии MR / MR-T	Мощность, Вт	Удельная мощность, Вт/дм ³	Возможное число выходов	Типовые выходные напряжения, В	Максимальный суммарный выходной ток, А	Типоразмер корпуса, мм	Возможные диапазоны рабочих температур, °С
MR6 / MR6T	15 / 32	6	1000	1	3; 5; 6; 9; 12; 15; 24; 27	1,2	30x20x10	Для линии MR: -10...+85 -50...+85 -60...+85 Для линии MR-T: -60...+125
				2	(5, 5); (5, 12); (5, 15); (9, 9); (12, 12); (15, 15); (24, 24); (27, 27)			
MR10 / MR10T	17 / 36	10	833	1	3; 5; 6; 9; 12; 15; 24; 27;	2	40x30x10	
				2	(5, 5); (5, 12); (5, 15); (9, 9); (12, 12); (15, 15); (24, 24); (27, 27)			
				3	(5, 12, 12); (5, 15, 15)			
MR20 / MR20T	24 / 52	20	1262	1	3; 5; 9; 12; 15; 24; 27	4	48x33x10	
				2	(5, 5); (5, 12); (5, 15); (9, 9); (12, 12); (15, 15); (24, 24); (27, 27)			
MR40 / MR40T	32 / 65	40	1724	1	3; 5; 9; 12; 15; 24; 27	4	58x40x10	
				2	(5, 5); (5, 12); (5, 15); (9, 9); (12, 12); (15, 15); (24, 24); (27, 27)			



Таблица 2. Общие технические характеристики модулей электропитания серии "Мистраль"

Входное напряжение	
Номинал, В	Диапазон входного напряжения / допустимое переходное отклонение (1 с), В
12	10,5–15 / 10,5–16,8
24	18–36 / 18–37,8
24 с расширенным диапазоном*	18–75 / 17–80
27	17–36 / 17–80
48	36–75 / 36–84
Установившееся отклонение выходного напряжения	
для одноканального и двухканального	Выход 1 – $\pm 2\%$, выход 2 – $\pm 6\%$
для двухканального и трехканального с отличием напряжений каналов $\geq 20\%$	Выход 1 – $\pm 2\%$, выход 2 и 3 – $\pm 12\%$
Суммарная нестабильность выходного напряжения	
для одноканального и двухканального	Выход 1 – $\pm 4\%$, выход 2 – $\pm 7\%$
для двухканального и трехканального с отличием напряжений каналов $\geq 20\%$,	Выход 1 – $\pm 4\%$, выход 2 и 3 – $\pm 14\%$
Размах пульсаций (пик-пик)	$< 2\% U_{\text{вых.ном}}$
Уровень срабатывания защиты от перегрузки	$> 120\% / U_{\text{вых.ном}}$
Защита от короткого замыкания	$> 150\% / U_{\text{вых.ном}}$
Уровень срабатывания защиты от перенапряжения	$> 120\% U_{\text{вых.ном}}$
Порог срабатывания тепловой защиты для MR / MR-T	90 / 130 °C
Суммарная нестабильность выходного напряжения	
КПД	80 %
Частота преобразования	200 кГц
Прочность изоляции (напряжение вход / выход, вход / корпус, выход / корпус, выход/выход)	500 В постоянного тока
Сопротивление при 500 В постоянного тока	20 МОм
Стойкость к внешним воздействующим факторам	
Повышенная влажность	98–100 % при 35°C
Циклическое изменение температуры для MR / MR-T	-60...+85 / -60...+125 °C
Многочисленные механические удары	150g 5–10 мс
Однократный механический удар	1000g 0,5–2 мс
Синусоидальная вибрация (устойчивость)	2–2000 Гц 20g
Синусоидальная вибрация (прочность)	20–2000 Гц 23g
Наработка на отказ	2,4 млн. часов при 25°C
Охлаждение	Естественная конвекция или радиатор

* Не поддерживается в модулях типа MR20 / MR20T и MR40 / MR40T

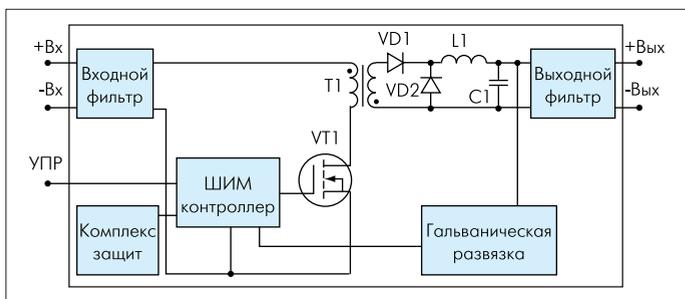


Рис.2. Структурная схема модулей серии "Мистраль" мощностью 20 и 40 Вт

селе L1 и в конденсаторе C1. Когда VT1 закрывается, запирается и выпрямительный диод VD1, а накопленная в дросселе L1 энергия открывает диод VD2 и передается на выход. Выходное напряжение, как и в предыдущем случае, стабилизируется схемой управления с

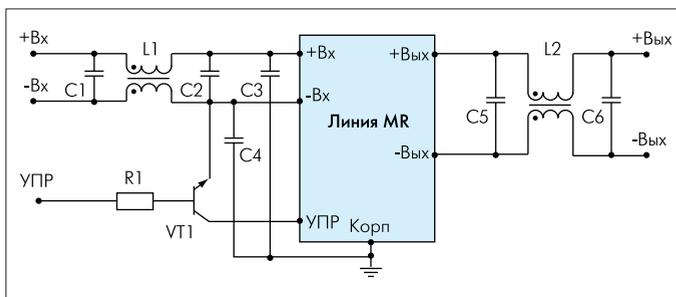


Рис.3. Схема включения модуля линии MR для особо чувствительной аппаратуры

исключены оптопары (только трансформаторная обратная связь), применены высокотемпературные ферритовые материалы и встроены более эффективные входной и выходной фильтры. Кроме того, у модулей MR-T выходное напряжение может подстраиваться в пределах $\pm 5\%$ от номинального значения, для этого к выводу подстройки подключается внешний резистор.

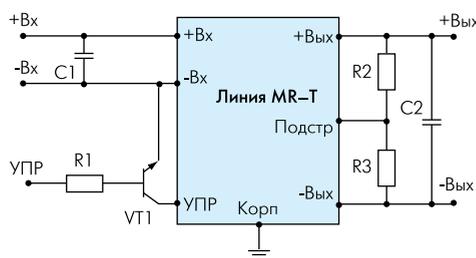


Рис.4. Типовая схема включения модуля линии MR-T

Модули линии MR содержат на входе П-образные помехоподавляющие CLC-фильтры, что позволяет приблизить уровень генерации помех во входной шине питания к нормам EN55022 класс А. Преобразователи линии MR-T, помимо того, оснащены дополнительными фильтрующими устройствами, так что уровень генерации помех во входной шине питания близок к нормам EN55022 класс В. Поэтому в большинстве случаев модули "Мистраль" можно использовать без дополнительных фильтров на входе и выходе. Однако наличие внешнего входного фильтра всегда желательно, его можно выполнить на печатной плате рядом с модулем.

Отметим, что основные показатели эффективности модулей – надёжность и КПД – соответствуют требованиям современной РЭА. А по показателям удельной мощности (см. табл. 1) модули серии "Мистраль" значительно превосходят аналогичную продукцию, присутствующую на российском рынке в классе military, defense, space, aerospace и industrial.

ТИПОВЫЕ СХЕМЫ ВКЛЮЧЕНИЯ

Типовая схема включения модулей линии MR представлена на рис.3. Для хорошей электромагнитной совместимости модулей с особо чувствительной аппаратурой в схему введены дополнительные входные и выходные помехоподавляющие фильтры. Дроссели фильтров должны быть выполнены на ферритовых материалах с коэффициентом магнитной проницаемости порядка 7000–15000. На транзисторе VT1 построен ключ дистанционного включения-выключения модуля.

Схема включения модуля линии MR-T (рис.4) не содержит внешних дополнительных помехоподавляющих фильтров даже для применений с особо чувствительной аппаратурой, так как они уже присутствуют в составе модуля. Резисторы R2 или R3 служат для подстройки выходного напряжения ($\pm 5\%$). Резистор R2 уменьшает выходное напряжение, а резистор R3 – увеличивает, поэтому достаточно одного из них. Можно подстраивать выходное напряжение в более широких пределах, чем $\pm 5\%$, однако максимальная выходная мощность при этом снижается.

ФУНКЦИИ ЗАЩИТЫ

При увеличении выходного тока свыше 110–140% от номинального значения система управления преобразователя начинает снижать выходное напряжение модуля, ограничивая тем самым его выходную мощность. При дальнейшем увеличении выходного тока, вплоть до короткого замыкания (КЗ), модуль переходит в режим релаксации. После устранения причины КЗ работоспособность автоматически восстанавливается. Для защиты от перенапряжения на выходе в модулях предусмотрена цепь обратной связи, независимая от основной, которая активируется, когда выходное напряжение модуля превышает 110–120% от номинального значения.

Высокая надёжность модулей поддерживается и системой защиты от перегрева, которая активируется при температуре корпуса 90°C (для линии MR) и 130°C (для линии MR-T). При этом модуль переходит в режим релаксации. Когда температура опускается ниже этих порогов, модуль автоматически восстанавливает работоспособность.

КОНСТРУКЦИЯ МОДУЛЕЙ

Модули выполнены в металлическом корпусе на основе двусторонней печатной платы с элементами поверхностного монтажа (рис.5). В качестве пассивной элементной базы используются керамические чип-конденсаторы и чип-резисторы типоразмеров 0603, 0805,

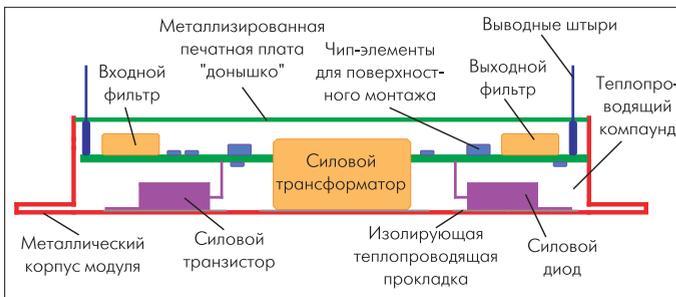


Рис.5. Модуль серии "Мистраль" в разрезе

1206, 1812 и 2220. Активные элементы – это МОП-транзисторы, диоды Шоттки и ультрабыстрые диоды, микросхемы контроллеров ШИМ, источники опорного напряжения, операционные усилители и оптроны. В конструкции модуля они используются в микрокорпусном исполнении и залиты теплопроводящим силиконовым компаундом. В результате полностью исключается дорогостоящая гибридно-пленочная технология. Такое исполнение позволяет защитить все компоненты модуля от влаги, вибраций и ударов, а также передать тепло, выделяемое в компонентах, на поверхность корпуса.

Выводами модуля являются штыри. Их можно либо непосредственно впаивать в аппаратурную печатную плату, либо подпаивать к ним проводники объёмного монтажа. Штыри не только служат надёжным элементом крепления всего модуля к аппаратурной печатной плате, через них также отводится (в плату) часть рассеиваемого модулем тепла. Со стороны выводов модуля расположена печатная плата-доннышко, металлизация которой является экраном электромагнитных помех.

Для прижима основания корпуса модуля к радиатору, а также для дополнительного крепления предназначены резьбовые втулки, размещённые по углам модуля (суффикс С в обозначении), либо крепежные фланцы модуля (суффикс U).

Размещённые на печатной плате мощные компоненты с большим тепловыделением (силовой МОП-транзистор, выпрямительный диод) через эластичные изоляционные прокладки с хорошей теплопередачей прижимаются к внутренней поверхности алюминиевого корпуса. Трансформатор и выходной дроссель приближены к поверхности корпуса и залиты специальным высокотеплопроводящим компаундом. Это позволяет вывести тепло на поверхность корпуса по пути с минимальным тепловым сопротивлением.

ТЕПЛОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МОДУЛЕЙ

Важным показателем для модулей электропитания является зависимость максимальной отдаваемой мощности от температуры окружающей среды (рис.6). Для расчёта теплового режима модуля (температуры корпуса $T_{корп}$) необходимо определить мощность по-



Рис.6. Типовая кривая снижения выходной мощности модуля в зависимости от окружающей температуры



терь P_n и тепловое сопротивление корпус – окружающая среда $R_{корп-ос}$.

Мощность потерь составляет $P_n = P_{вых} / (\eta - 1)$, где $P_{вых}$ – номинальная выходная мощность модуля, η – КПД. При расчётах КПД для каждого типа модуля должен быть уточнён по графику на рис.7. Из графика видно, что значение КПД пропорционально выходному напряжению модуля: минимальными КПД будут у модулей с выходными напряжениями 3,3 и 5 В, по мере его увеличения КПД будет расти.

Тепловое сопротивление корпус – окружающая среда вычисляется как $R_{корп-ос} = (T_d - T_b) / P_n$. В табл.3 приведены значения $R_{корп-ос}$ для маломощных DC/DC-модулей серии "Мистраль", рассчитанных при типовом значении КПД = 80%.

Таблица 3. Значения теплового сопротивления корпус – окружающая среда для маломощных DC/DC-модулей серии "Мистраль", рассчитанных при типовом значении КПД = 80%

Параметры	MR6	MR10	MR20	MR40	MR6T	MR10T	MR20T	MR40T
$T_b, ^\circ\text{C}$	52	54	27	-6	92	94	67	34
$R_{корп-ос}, ^\circ\text{C}/\text{Вт}$	31,8	18,4	14,6	10,6	31,8	18,4	14,6	10,6

Зная тепловое сопротивление $R_{корп-ос}$ и мощность потерь P_n (теперь уже рассчитанную для необходимой мощности нагрузки на выходе модуля), можно вычислить температуру корпуса модуля при любом значении температуры окружающей среды $T_{ос}$ по формуле: $T_{корп} = R_{корп-ос} \times P_n + T_{ос}$. Применяя дополнительный конвекционный радиатор или принудительный обдув, можно значительно расширить температурную область работы модуля (см. рис.6).

Необходимо обратить внимание на то, что максимальный КПД обычно соответствует 60–70% выходной мощности (см. рис.7).

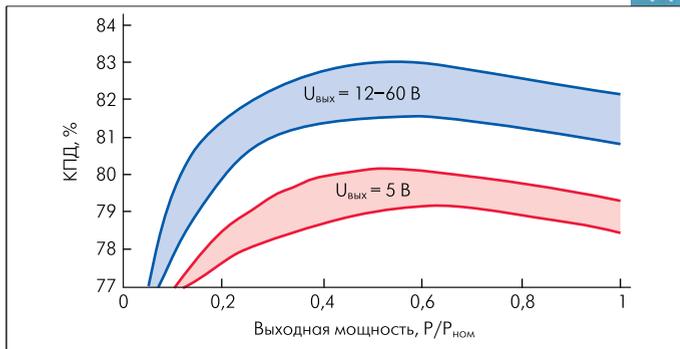


Рис.7. Типовая зависимость КПД модуля от нагрузки

И если мощность потребления равна номинальной, КПД ниже максимального значения на 1–2%. Поэтому рекомендуется ограничивать мощность нагрузки модуля на уровне 0,6–0,7 от его номинала. Тогда модуль будет работать с максимальным КПД, рассеивать допустимую мощность, а его надежность приблизится к предельной. Требования ограничения нагрузки диктуют и общие соображения по надежности, так же как и для других мощных компонентов – транзисторов, диодов и т. д.

В следующей статье будут рассмотрены DC/DC-модули электропитания серии "Мистраль" мощностью 80, 160 и 320 Вт, которые обладают дополнительными сервисными функциями, такими как выносная обратная связь и возможность параллельной работы. Ряд входных напряжений этих модулей дополнен диапазонами 110, 160 и 230 В. Мы расскажем, как на основе этих модулей построить резервированную систему электропитания по принципу N+M. ○