

# DC/DC-модули электропитания MR25D и MR50D линии Mistral для аппаратуры классов military и industry

**АЛЕКСАНДР ГОНЧАРОВ**, академик МАИ, президент, Группа компаний «Александр Электрик»

**ОЛЕГ НЕГРЕБА**, инженер-разработчик, ООО «Александр Электрик Дон»

**ИВАН ЛУКЬЯНОВ**, директор, Alexander Electric

**ВЛАДИМИР МАСЛОВ**, главный инженер, ООО «Александр Электрик Дон»

**АНДРЕЙ КУЗНЕЦОВ**, главный технолог, Alexander Electric

**КОНСТАНТИН СТЕПНЕВ**, руководитель подразделения маркетинга и продаж, Группа компаний «Александр Электрик»



Фирма Alexander Electric (Чешская республика) представляет новые маломощные модули электропитания для тяжелых условий эксплуатации MR25D и MR50D [1], расширяющие по результатам серийного освоения линейку популярных модулей MR20D и MR40D. При весьма небольших габаритных размерах (48 × 33 × 10 мм для MR25D и 58 × 40 × 10 мм для MR50D) данные модули обеспечивают максимальную выходную мощность до 30 Вт (MR25D) и 60 Вт (MR50D), работают в диапазоне температур до -60...125°C, имеют один или два гальванически развязанных выходных канала, могут включаться и выключаться по команде, имеют полный комплекс защит от перегрузки по току, короткого замыкания, от превышения температур, могут включаться параллельно и последовательно по выходам, имеют два типа корпуса, покрытого никелем и выдерживающего опайку.

Модули MR25D и MR50D являются одними из самых миниатюрных в популярной серии MR — Mistral фирмы Alexander Electric, расположенной в Праге близости от знаменитой компании TESLA.

Удельная мощность этой наукоемкой и высокотехнологичной продукции достигает рекордного значения для устройств с таким комплексом характеристик — 2155 Вт/дм<sup>3</sup>, что позволяет заметно повысить конкурентоспособность аппаратуры классов military и industry, выполненной с применением MR25D и MR50D.

Эти модули уверенно конкурируют на российском рынке с аналогичной продукцией фирм Power One, Traco Power, Mean Well, Fabrimex и т.д. не только по совокупности технических характеристик, которые в ряде случаев являются уникальными, но и по ценам. Близких российских аналогов не имеется.

Серия Mistral [2], [3] состоит из низкопрофильных DC/DC-преобразователей выходной мощностью 3...1000 Вт. Преобразователи выполнены в конструктивном профиле двух стандартных размеров — толщина составляет 10 мм для модулей мощностью до 50 Вт и 12,7 мм — для модулей мощностью 60...1000 Вт. Для эффективного использования в российской технике для модулей данной серии выпущены и поддерживаются российские технические условия БКЛЮ.436610.011ТУ.

## ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА МОДУЛЕЙ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ

Схема модулей MR25D и MR50D содержит в своей основе обратный преобразователь напряжения с гальва-

нической развязкой между входом и выходом [4], показанный на рисунке 1.

На упрощенной схеме показан двухканальный вариант модулей. В одноканальном варианте исключаются элементы T1.2, VD3, C6.

## ВХОДНЫЕ, ВЫХОДНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ И КОМПЛЕКС ЗАЩИТ МОДУЛЕЙ MR8D И MR12D

Модули MR25D и MR50D работают с входными напряжениями, отвечающими группе «Г» ГОСТ В 24425 (пределу «1» ГОСТ 19705-89 для модулей с входным напряжением 27 В) с дополнениями и уточнениями, указанными в таблице 1 [5].

При заказе модулей необходимо выбирать значения выходного напряжения из ряда 3; 3,3; 5; 9; 12; 15; 24; 27; 48; 60 В. Установившееся отклонение выходного напряжения в НКУ составляет не более ± 2% для одноканальных модулей и для первого (основного) канала двухканальных модулей и не более ± 6% для второго канала. Если выходное напряжение второго канала отличается более чем на 20% от первого (основного) канала, то установившееся отклонение в НКУ обеспечивается не превышающим ±12%.

Одноканальные модули MR25D и MR50D имеют вывод для регулирования выходного напряжения в диапазоне ( $\Delta U_p$ ) не менее ±5% и обеспечивают максимальный выходной ток  $I_n$ , соответствующий максимальной выходной мощности, но не более 5 и 10 А соответственно.

Минимальное значение выходного тока ( $I_{нмин}$ ) — 0,1нА. В случае если номинальное значение выходного напряжения второго канала отличается более чем на 20% от первого (основного) канала, минимальное значение выходного

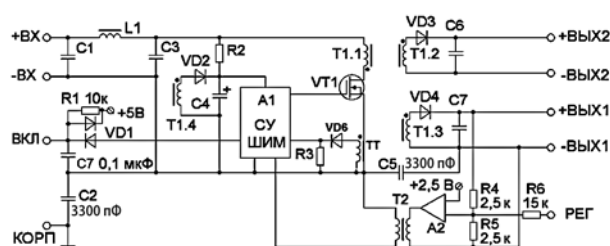


Рис. 1. Упрощенная схема модулей MR25D и MR50D

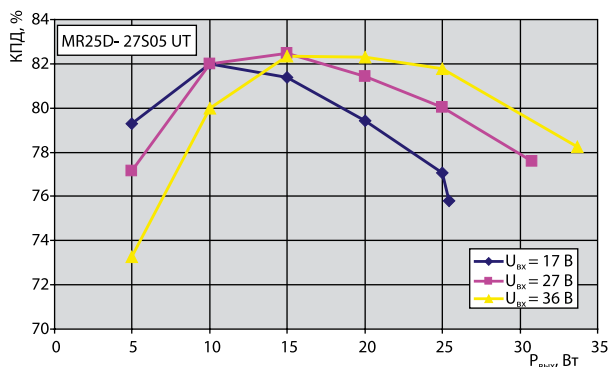


Рис. 2. Зависимость КПД от выходной мощности модуля MR25D

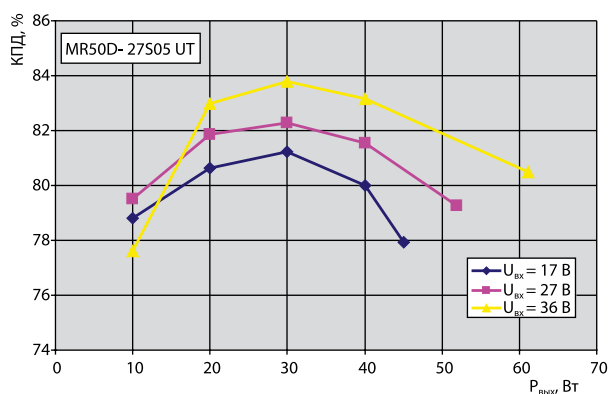


Рис. 3. Зависимость КПД от выходной мощности модуля MR50D

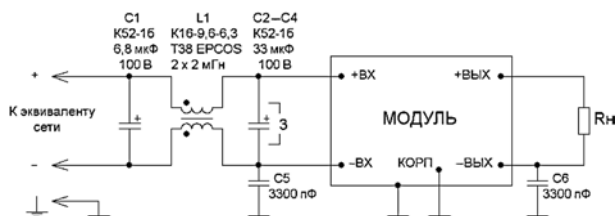


Рис. 4. Типовая схема подключения модулей MR25D и MR50D

Табл. 1. Нормы качества электроэнергии на входе модулей

Обозначение номинального входного напряжения*	Номинальное входное напряжение, В	Диапазон установившегося значения, В	Диапазон переходного отклонения, В	Длительность переходного отклонения, с
12	12	10,5...18	10,5...18	1
12W		10,5...36	10,5...40	
24	24	18...36	17...40	
24W		18...75	17...84	
27	27	17...36	17...80	
48	48	36...75	36...84	

\*Примечание. Для входного напряжения с обозначением 12W, 24W модули MR25D и MR50D имеют пониженное значение выходной мощности — 20 и 40 Вт соответственно.

тока — не менее 0,3In для первого (основного) канала и не менее 0,5In — для второго канала.

Нестабильность выходного напряжения при плавном изменении входного напряжения и выходного тока должна быть не более  $\pm 2\%$  для первого (основного) канала модуля и не более  $\pm 7\%$  для второго канала модуля. В случае если номинал выходного напряжения второго канала отличается более чем на 20% от первого (основного) канала, нестабильность выходного

напряжения при плавном изменении входного напряжения и выходного тока должна быть не более  $\pm 12\%$ .

Переходное отклонение выходного напряжения модулей электропитания ( $\delta U_{\text{пер}}$ ) при воздействии переходного отклонения входного напряжения с длительностью фронта не менее 0,5 мс и при скачкообразном изменении выходного тока с длительностью фронта не менее 0,5 мс составляет не более  $\pm 10\%$ .

Помимо упомянутой защиты от перегрева с автоматическим возвратом в рабочий режим после его устранения модули имеют защиту от перегрузки по выходному току и от короткого замыкания с автоматическим возвратом в рабочий режим после снятия короткого замыкания. Ток начала срабатывания защиты от перегрузки по выходному току не превышает значения, соответствующего выходной мощности 1,8Pn.

Напряжение срабатывания защиты от перенапряжения ( $U_{\text{сраб}}$ ) первого (основного) канала не превышает 1,25Un.

### ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МОДУЛЕЙ MR25D И MR50D

На рисунках 2 и 3 приведены типовые зависимости КПД данных модулей для наиболее типового и энергетически «неудобного» выходного напряжения 5 В. Для больших выходных напряжений КПД увеличивается, доходя до 87% для MR25D и до 88% — для MR50D. Необходимо заметить, что несколько пониженные значения КПД являются типичными для аналогичных модулей электропитания со столь широким диапазоном температур и описанным ниже комплексом внешних воздействий, в т.ч. излучений.

Для модулей с большой кратностью изменения входного напряжения сети 12W и 24W [6] КПД по отношению к приведенным значениям уменьшается в среднем на 2%.

Полезным для потребителей может оказаться уникальное свойство этих сверхминиатюрных модулей отдавать весьма большую для их габаритов выходную мощность. Из приведенных графиков видно, что для MR25D выходная мощность может достигать до 30 Вт, а для MR50D — до 60 Вт!

Конечно, такой режим необходимо оговаривать при заказе, для того чтобы производитель мог проводить стопроцентное тестирование модулей на данной выходной мощности.

### КОМПЛЕКС ВОЗМОЖНЫХ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ПРИ РАБОТЕ МОДУЛЕЙ MR25D И MR50D

Модули выполняют свои функции, сохраняют параметры и внешний вид в процессе и после воздействия механических и климатических факторов по группе исполнения 1U ГОСТ РВ 20.39.414.1-97 с дополнениями и уточнениями, приведенными в таблице 2 [5].

### ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ МОДУЛЕЙ

Уровень радиопомех модулей MR25D и MR50D соответствует ГОСТ В 25803-91 (пункт 2.1) для кривой 2, а также европейским нормам EN55022 В в составе функциональной аппаратуры при использовании типовой схемы подключения, приведенной в качестве примера для одноканального модуля на рисунке 4.

При использовании упрощенной схемы включения (без дросселя L1) модули MR25D и MR50D удовлетворяют нормам EN55022 А, EN55024:1998, EN61000-6-1:2007, EN61000-6-3:2007.

Для полной схемы включения модулей, когда в аппаратуре отсутствуют обычно обязательные входные фильтры помех, требуется высокая прочность модулей к воздействию входных импульсных напряжений, а также если необходима повышенная ЭМС, модули MR25D и MR50D удовлетворяют нормам EN55022 В.

### ПОВЕДЕНИЕ ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ МОДУЛЕЙ MR25D И MR50D ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБАХ ВКЛЮЧЕНИЯ И ИМИТАЦИИ ОТКАЗА ЦЕПИ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ

Наиболее сложные процессы происходят в модулях при скачкообразном включении входного напряжения, при незадействованном командном входе «ВКЛ».

В это время происходит несколько, зачастую мешающих друг другу, процессов: заряжается емкость питания контроллера ШИМ, происходит первый цикл включения — заряжаются внутренние и внешние емкости модуля, срабатывает защита по току, также начинает работать схема мягкого запуска. В это время контроллер ШИМ разряжает свою емкость питания до порога его выключения. В самом неблагоприятном случае (излишняя емкостная нагрузка, пусковые токи в питаемой аппаратуре, отрицательная температура, просадка входного напряжения и т.д.) модуль может не успеть запуститься за один цикл и начнет отрабатывать следующий цикл и т.д.

На рисунке 5 показан переходный процесс именно для неблагоприятного сочетания внешних условий, например при минимальном питающем напряжении. При входном напряжении 17 В задержка включения составила 270 мс. При входном напряжении 36 В модуль MR25D-27S05 UT гораздо быстрее выходит на режим — за 100 мс. Следует помнить, что использование факта появления выходного напряжения модуля в качестве точки отсчета времени, например для формирования точной по времени команды перезапуска микропроцессора, едва ли целесообразно. Во всяком случае, необходимо рассчитывать на возможную ошибку по времени в 30...150 мс, особенно при большой емкости на выходе.

На рисунке 6 приведена характеристика включения модуля по команде «ВКЛ» при заранее поданном входном напряжении. Модуль гарантированно выходит на режим за время менее 100 мс.

При отказе цепи обратной связи срабатывает внутренняя защита от перенапряжения, и выходное напряжение модуля плавно увеличивается на 5—20%.

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМАНДНОГО ВХОДА «ВКЛ»

Дистанционное выключение/включение модулей выполняется с помощью механического реле или электрического ключа типа «разомкнутый коллектор». Выключение модуля электропитания должно осуществляться при соединении вывода «Вкл» с выводом «-Вх». При этом через ключ протекает ток до 5 мА, а максимальное падение напряжения на ключе должно быть не более 1,1 В. Включение модуля происходит за счет размыкания ключа за время не более 5 мкс. В разомкнутом состоянии к ключу приложено напряжение до 20 В, допустимая утечка тока через ключ не должна превышать 50 мкА. При необходимости одновременного включения/выключения нескольких модулей электропитания одним ключом последовательно с их выводами «Вкл» следует устанавливать разделительные диоды с максимальным прямым падением напряжения не более 0,8 В. При этом падение напряжения на ключе должно быть не более 0,3 В.

### ВЫХОДНЫЕ ПУЛЬСАЦИИ МОДУЛЕЙ MR25D И MR50D

Размах напряжения выходных пульсаций во всем диапазоне входных воздействий, включая температуру  $-60^{\circ}\text{C}$ , может составить 2%. Типовая форма пульсаций приведена на рисунке 7.

### ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ И ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ ВКЛЮЧЕНИЕ ВЫХОДОВ МОДУЛЕЙ MR25D И MR50D

Этот тип модулей имеет оригинальное включение цепи обратной связи по напряжению, что позволяет без специальной схемы параллельной работы объединять выходы

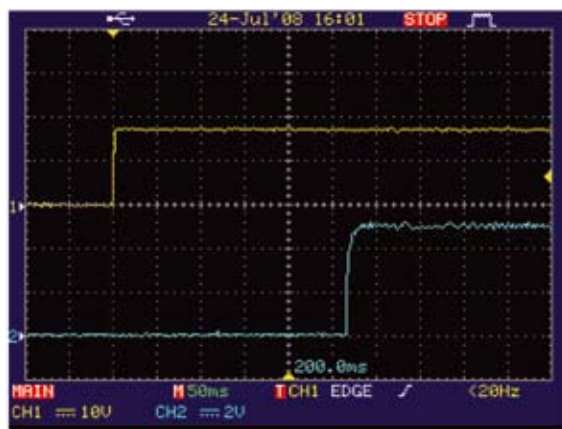


Рис. 5. Переходный процесс выходного напряжения (внизу) при скачкообразном включении входного напряжения 17 В (вверху) модуля MR25D-27S05 UT

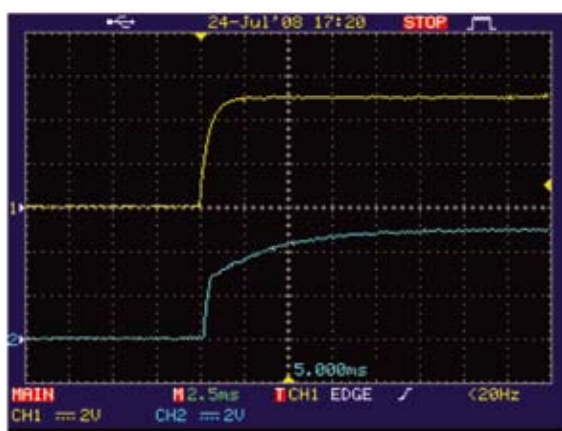


Рис. 6. Переходный процесс выходного напряжения (внизу) по команде на вход «ВКЛ» (вверху)

Табл. 2. Внешние воздействующие факторы

Наименование воздействующего фактора	Значение воздействующего фактора
<i>Механические факторы</i>	
Синусоидальная вибрация: диапазон частот, Гц	1...2000
Амплитуда ускорения, $\text{м/с}^2$ (g)	200 (20)
Амплитуда виброперемещения, мм	0,3
Механический удар одиночного действия: Пиковое ударное ускорение, $\text{м/с}^2$ (g) длительность Действия ударного ускорения, мс	10000 (1000) 0,1...2
Механический удар многократного действия: Пиковое ударное ускорение, $\text{м/с}^2$ (g) Длительность действия ударного ускорения, мс	1500 (150) 1...5
Линейное ускорение, $\text{м/с}^2$ (g)	1500 (150)
Акустический шум: диапазон частот, Гц Уровень звукового давления (относительно $2 \cdot 10^{-5}$ Па), дБ	50...10000 170
<i>Климатические факторы</i>	
Повышенная рабочая температура среды, $^{\circ}\text{C}$ : Для температурного диапазона «М»: Для температурного диапазона «Т»:	85 125
Пониженная рабочая температуры среды, $^{\circ}\text{C}$ :	-60
Повышенная влажность воздуха: относительная влажность при температуре среды $35^{\circ}\text{C}$ , %	100
Атмосферное давление, Па (мм рт.ст.)	$0,67 \cdot 10^3$ (5) ... $2,92 \cdot 10^5$ (2207)

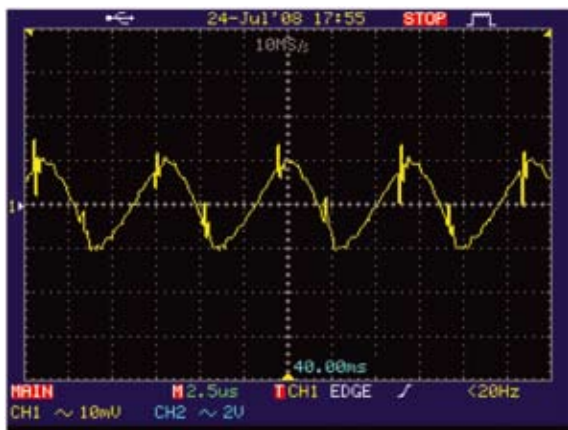


Рис. 7. Напряжение выходных пульсаций модуля MR25D-27505 UT

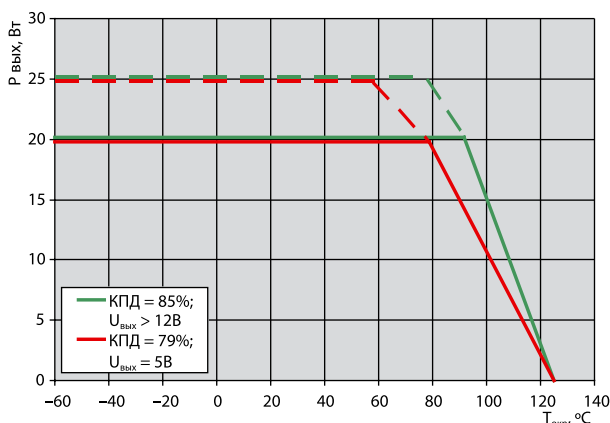


Рис. 8. Типовые графики зависимости максимальной выходной мощности модулей MR25D от температуры окружающей среды без использования дополнительного теплоотвода

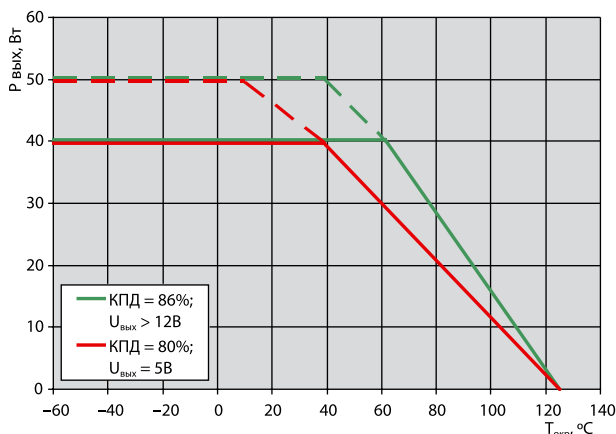


Рис. 9. Типовые графики зависимости максимальной выходной мощности модулей MR12D от температуры окружающей среды без использования дополнительного теплоотвода

двух и более модулей, а также удваивать и утраивать выходную мощность.

В принципе, можно включать выходы параллельно и в составе одного модуля с двумя или тремя выходными каналами, при условии, что все выходы имеют один номинал напряжения. Также выходы одного или разных модулей можно включать последовательно, обязательно подключая параллельно каждому из используемых выходов обратные включенные диоды.

Данное свойство является уникальным, поскольку, имея многоканальный модуль с гальванически развязанными выходами, можно составлять несколько комбинаций выходного напряжения.

### ВЫХОДНАЯ МОЩНОСТЬ МОДУЛЕЙ MR25D И MR50D В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

На рисунках 8 и 9 приведены типовые зависимости максимальной выходной мощности при любом входном, конечно допустимом для данного модуля, напряжении от температуры окружающей среды без использования дополнительного теплоотвода, кроме корпуса самого модуля [7, 8]. Зная эти базовые характеристики, можно всегда рассчитать энергетические характеристики модулей в условиях конкретной системы охлаждения.

Сплошные кривые соответствуют использованию любой из допустимых входных сетей, включая входные напряжения с коэффициентом изменения 4:1 — 12W и 24W.

Пунктирные кривые соответствуют сетям входного напряжения 12, 24 и 48 В.

Наконец, как уже было отмечено выше, в некоторых случаях изготовитель может согласовать применение модулей MR25D и MR50D на выходную мощность 30 и 60 Вт соответственно.

### СОСТАВ РЯДА МОДУЛЕЙ MR25D И MR50D И ЦЕНОВАЯ ПОЛИТИКА ФИРМЫ ALEXANDER ELECTRIC

Фактически данные модули возглавляют два ряда модулей, при этом каждый ряд имеет один типоразмер корпуса. В пределах ряда обеспечено одинаковое расположение выводов и одинаковый комплекс всех характеристик при отличиях по номинальной мощности, по порогу срабатывания защиты по току и по температурной группе.

Ряд модулей электропитания MR25D в корпусах размером  $48 \times 33 \times 10$  мм содержит следующие устройства.

**MR20D-CM и MR20D-UM.** Предназначены для аппаратуры классов industry и military. Выполнены на элементной базе, тестируемой в расширенном диапазоне температур. Работают в диапазоне температур  $-60...85^\circ\text{C}$ , содержат микросхему точной температурной защиты на  $82...85^\circ\text{C}$ , обеспечивают номинальную выходную мощность до 20 Вт. Выпускаются в тонкостенном штампованном металлическом корпусе (С) и во фрезерованном корпусе с крепежными фланцами (U). Эти модули проходят специальные температурные испытания и электротермотренировку. Базовые цены для одноканального варианта данных модулей при количествах более 500 шт. составляют около 31,4 и 37,9 евро без НДС соответственно.

**MR20D-UT.** Предназначен для аппаратуры класса military. Выполнен на заказной элементной базе. Имеет расширенный температурный диапазон до  $-60...125^\circ\text{C}$ , содержит микросхему точной температурной защиты на  $122...125^\circ\text{C}$ , обеспечивает до 20 Вт номинальной выходной мощности. Выпускается во фрезерованном корпусе с крепежными фланцами (U) и может иметь один или два гальванически (до 500 В) изолированных выходы. Модуль проходит специальные виды температурных и предельных испытаний, в т.ч. электротермотренировку с экстремальными режимами включения и выключения. Базовая цена модуля составляет около 43,8 евро без НДС.

Замыкают ряд модулей в корпусах размером  $48 \times 33 \times 10$  мм самые мощные в данном ультратонком исполнении модули электропитания **MR25D-CM (UM)** и **MR25D-CT (UT)**, наиболее ориентированные для применения в аппаратуре класса military и для ответственных применений industry. Элементная база модулей проходит входной контроль по наиболее критическим характеристикам. Они имеют полный набор перечисленных выше функций и обеспечивают рекордный показатель номинальной выходной мощности — 25 Вт и диапазон температур  $-60...85^\circ\text{C}$  и  $-60...125^\circ\text{C}$ , соответственно. Модули проходят специальные виды температурных и предельных испытаний, в т.ч. электротермотренировку с экстремальными режимами включения и выключения. Базовые цены данных модулей при количествах более 500 шт. составляют от 37,7 евро.

Ряд модулей электропитания в корпусах размером 58 × 40 × 10 мм содержит модули электропитания **MR40D-UM** — industry и military, **MR40D-UT** — military, **MR50D-UM** — industry и military, **MR50D-UT** — для применения в аппаратуре класса military и ответственных применений industry, military.

Модули этого ряда имеют идентичные электрические, климатические и механические характеристики, проходят те же испытания, что и модули MR20D-UM (СМ), MR20D-UT, MR25D-UM (СМ), MR25D-UT соответственно, однако имеют большую номинальную выходную мощность — 40 и 50 Вт, соответственно. Их базовые цены по сравнению с ценами MR20D...MR25D на 20...40% выше.

Фирма Alexander Electric изготавливает модули электропитания MR25D и MR50D (при отсутствии их на складе готовой продукции) в количестве не менее 20 шт. в одном заказе в срок не более 14 дней от момента оплаты при прямом обращении в фирму. В случае необходимости проведения исследований рекомендуется демонстрационная плата Evaluation board, на основе которой измеряются все необходимые характеристики модулей, проводятся тепловые испытания и испытания на ЭМС. Возможно также самостоятельное изготовление демонстрационной платы на основе рекомендуемой в БКЯЮ.436610.011ТУ типовой печатной платы.

#### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДУЛЕЙ В РОССИЙСКОЙ АППАРАТУРЕ КЛАССА MILITARY

Использовать данные модули в российской аппаратуре (экспортный вариант аппаратуры) можно следующими несколькими способами:

- как импортный компонент, изготовленный в соответствии с российскими ЧТУ, согласованными между производителем и потребителем. Согласование применения в соответствующих инстанциях одного компонента всегда проще, чем

нескольких десятков импортных компонентов для самостоятельного построения модулей. По результатам испытаний аппаратуры потребитель модулю присваивается литера О1. Приемно-сдаточные испытания проводятся потребителем.

- как модуль, изготовленный на российской фирме ООО «Александр Электрик Дон» по лицензии фирмы Alexander Electric с применением импортной комплектации на основе российских ТУ ГК в рамках частной ОКР по заданию потребителя. По результатам испытаний аппаратуры потребитель модулю присваивается литера О1. Приемно-сдаточные испытания проводятся на фирме ООО «Александр Электрик Дон».

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Официальный сайт группы компаний «Александр Электрик» [www.aeps-group.ru](http://www.aeps-group.ru)
2. Гончаров А., Лукьянов И. Высокоэффективные DC/DC-преобразователи для жестких применений серии «Мистраль» ГК «Александр Электрик»//Электронные компоненты 2005. № 8.
3. Гончаров А., Негреба О., Лукьянов И., Маслов В., Кузнецов А. — Новые сверхминиатюрные изолированные DC/DC-модули для промышленной и военной аппаратуры//Электронные компоненты 2008. № 8.
4. Гончаров А.Ю. Начальная школа построения импульсных DC/DC-преобразователей. Первый — пятый классы.//«Электронные компоненты», №№6,7 — 2002, №№ 1, 5, 6 — 2003.
5. Модули серии MR. Технические условия БКЯЮ.436610.011ТУ.
6. Гончаров А., Негреба О. Особенности применения модулей вторичного электропитания с расширенным диапазоном входного напряжения//Современная электроника. 2006. № 7.
7. Гончаров А., Негреба О. Рекомендации по выбору теплового режима модулей питания//Компоненты и технологии. 2007. № 8.
8. Гончаров А., Негреба О. Рекомендации по выбору теплового режима модулей электропитания. Часть 2//Компоненты и технологии. 2008. № 3.

## КОМПОНЕНТЫ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ

**АЕ** АЛЕКСАНДЕР  
ЭЛЕКТРИК  
[www.aeps-group.ru](http://www.aeps-group.ru)

- AC/DC ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ
- DC/DC ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ
- ФИЛЬТРЫ
- ИСТОЧНИКИ БЕСПЕРЕБОЙНОГО ПИТАНИЯ
- ЗАКАЗНЫЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ
- АКСЕССУАРЫ
- РАЗРАБОТКА  
И СЕРВИСНОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ
- ПРИЁМКА ОТК И ПЗ

**НОВЫЕ ЦЕНЫ  
НИЖЕ!  
ДО 50%**

ВОРОНЕЖ:  
ТЕЛ./ФАКС: (4732) 519-518  
ALEXDON@VMAIL.RU  
МОСКВА:  
ТЕЛ./ФАКС: (495) 674-93-70  
AEI@AEDON.RU  
ПРАГА:  
ТЕЛ.: +420 266-107-455  
ФАКС: +420 266-107-609  
AEPS@AEPS-GROUP.COM

WWW.AEPS-GROUP.RU

**АЕ** ALEXANDER  
ELECTRIC  
[www.aeps-group.ru](http://www.aeps-group.ru)