СОГЛАСОВАНО

Представитель 632 ВП МО РФ

_____В.Н. Сопов

«3» 06 2010 г.

УТВЕРЖДАЮ
Генеральный директор
ООО «Александер Электрик источники электропитания»

_____А.А. Астахов

«3» 06 2010 г.

МОДУЛИ ПИТАНИЯ
серии МДМ, МДМ-П, МДМ-ЕП, МДМ-М, МДМ-МП

Руководящие технические материалы

БКЮС.434732.503 Д1

СОГЛАСОВАНО
Главный конструктор
ООО «Александер Электрик источники электропитания»

_____А.Н. Нагайцев

«3» июня 2010 г.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взамен инв. №	Инв. № дублик.	Подп. и дата

Утвержден

БКЮС.434732.503 Д1-ЛУ

МОДУЛИ ПИТАНИЯ

серии МДМ, МДМ-П, МДМ-ЕП, МДМ-М, МДМ-МП

Руководящие технические материалы

БКЮС.434732.503 Д1

Подпись и дата	
Инв. № дубл	
Взамен инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл	

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 3
1. Схемотехническая реализация 8
2. Электрические параметры и режимы эксплуатации 10
3. Конструкция и тепловые режимы 29
4. Электробезопасность 40
5. Надежность 41
6. Указания по применению модулей в РЭА 43
7. Модульные блоки 51
8. Типичные ошибки потребителей при использовании, а также действия, приводящие к выходу из строя модулей 55
Приложение А 56
Приложение Б 57
Приложение В 61

3.06.10

2	Зам.	БКЮС-008-13		17.05.13
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Бабенкова		3.06.10
Пров.		Твердов		3.06.10
Т.контр.		Сбродов		3.06.10
Н.контр.		Трошина		3.06.10
Утв.		Плоткин		3.06.10

БКЮС.434732.503 Д1

Модули питания серии МДМ, МДМ-П, МДМ-ЕП, МДМ-М, МДМ-МП

Лит.	Лист	Листов
	2	70

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

ВВЕДЕНИЕ

Настоящие руководящие технические материалы (РТМ) распространяются на унифицированные модули вторичного электропитания (далее модули) серий МДМ, МДМ-П, МДМ-ЕП, МДМ-М, МДМ-МП.

Модули предназначены для питания стабилизированными напряжениями 1,5; 2; 2,5; 3; 5; 6; 9; 12; 15; 24; 36; 48; 68; 80 В аналоговой и цифровой аппаратуры военного и промышленного назначения.

Модули рассчитаны на работу в сетях постоянного тока с напряжениями 12, 27, 48, 60, 110, 160, 230 В соответствующими ГОСТ В 24425-90, ГОСТ 19705-89, ГОСТ 54073-2010, ГОСТ 23396-78.

Модули разработаны для эксплуатации в особо жестких условиях, содержат набор сервисных функций, что при высокой энергетической плотности позволяет создавать высокоэффективные блоки и системы вторичного электропитания.

Модули выпускаются с выходной мощностью 3…480 Вт, имеют один, два или три выходных канала.

Одноканальные модули МДМ-П мощностью 5; 7,5; 15; 30; 60; 120; 160; 240; 320; 480 Вт; МДМ-ЕП мощностью 3, 5, 8, 10, 20, 40, 80, 160, 240 Вт; МДМ-М 30, 60, 120 Вт; МДМ-МП 60, 120, 160, 240, 320, 480 Вт обеспечивают подстройку выходного напряжения.

Модули серий МДМ-П мощностью 120, 160, 240, 320, 480 Вт; МДМ-ЕП мощностью 160, 240 Вт; МДМ-М мощностью 60, 120 Вт; МДМ-МП мощностью 120, 160, 240, 320, 480 Вт обеспечивают наращивание мощности за счет параллельного соединения выходов и имеют выносную обратную связь для компенсации падения напряжения на проводах.

Допускается эксплуатация модулей при температуре корпуса:

85 ºС для групп Л, М;

105 ºС для группы Т;

115 ºС для группы В (125 ºС для приемки «ОТК»).

Конструктивно модули выполняются в металлических корпусах с крепежными фланцами или без них. Корпуса модулей изготавливаются с покрытием, которое обеспечивает пайку низкотемпературными припоями, что позволяет разработчикам электронной аппаратуры соединить корпус с конденсаторами фильтров радиопомех, увеличивая их эффективность.

Далее представлены основные характеристики каждой серии модулей.

Серия МДМ

Модули электропитания серии МДМ предназначены для жестких условий эксплуатации в технике специального назначения. Модули выполнены на современной отечественной элементной базе. Поставляются в соответствии с техническими условиями БКЮС.430609.001 ТУ по КД литеры «О1» и БКЮС.430609.001-01 ТУ по КД литеры «А». В 2006 году модули, выпускаемые по БКЮС.430609.001-01 ТУ включены в Перечень МОП 44001.18.

Серия МДМ-П

Модули электропитания серии МДМ-П изготовлены с применением импортной элементной базы, определенной перечнем Ассоциации «Фонд УНИЭТ» «Номенклатура - 2003» и имею большую энергетическую плотность. Двух- и трехканальные модули выполнены с гальванической развязкой выходных каналов. В одноканальных модулях предусмотрена функция подстройки выходного напряжения, а модули с выходной мощностью 120, 160, 240, 320 и 480 Вт имеют возможность параллельного соединения выходов и выносную обратную связь. Модули поставляются с приемкой «5» в соответствии с техническими условиями БКЮС.430609.001 ТУ и с приемкой «ОТК» в соответствии с БКЮС.430609.008 ТУ.

Серия МДМ-ЕП

Модули электропитания серии МДМ-ЕП предназначены для применения в аппаратуре специального назначения в сетях постоянного тока с напряжением 27 В с широкими пределами изменения напряжения от 9 до 36 В, с переходными отклонениями от 8 до 80 В, а также в сети 48 В с изменением напряжения от 18 до 72 В с переходным отклонением от 15 до 84 В. Модули могут эксплуатироваться при повышенной температуре корпуса 115 ºС. Серия изготовлена с применением импортной элементной базы. Модули поставляются с приемкой «5» в соответствии с техническими условиями БКЮС.430609.002 ТУ. Модули обеспечивают создание универсальной аппаратуры, рассчитанной на несколько бортсетей одновременно: 12, 24, 27 В и 27, 48, 60 В.

Серия МДМ-М, МДМ-МП

Модули электропитания серии МДМ-М, МДМ-МП предназначены для работы от входной сети постоянного тока с напряжением 110, 160, 230 В. Модули имеют подстройку выходного напряжения в пределах ± 5 %, модули мощностью 60 (МДМ-М), 120, 160, 240, 320, 480 Вт имеют выносную обратную связь и возможность параллельного соединения выходов. Поставляются с приемкой «5» в соответствии с техническими условиями

БКЮС.436437.004 ТУ. Модули эффективно применяются в объектах, где на входе переменный ток бестрансформаторно преобразуется в постоянный.

ТИПЫ МОДУЛЕЙ, ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ

Условное обозначение модулей

* - возможность параллельного соединения выходов, выносная обратная связь для модулей серии МДМ-П мощностью 120, 160, 240, 320, 480 Вт; модулей серии МДМ-М мощностью 60, 120 Вт; модулей МДМ-МП мощностью 120, 160, 240, 320, 480 Вт; модулей серии МДМ-ЕП мощностью 160, 240 Вт.

Рис. 1. Система обозначения модулей

Все типы модулей каждой серии, основные характеристики и функциональные особенности представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1

Серия модуля	Номинальная выходная мощность, Вт	Максимальный выходной ток, А	Диапазон входного напряжения/ переходное отклонение (1сек.), В	Выходное напряжение, В	Диапазон рабочей температуры корпуса, °С	Количество выходных каналов	Гальваническая развязка выходных каналов	Дистанционное управление	Подстройка выходного напряжения в одноканальных модулях	Параллельная работа, выносная обратная связь	Габаритные размеры модулей без фланцев (с фланцами), мм	Масса, г	Конструкторская документация, приемка
МДМ	7,5	1,5	«А» – 12(10,5…15/10…16,8) «В» – 27(17…36/17…80) «Д» – 60(36…72/36…84)	3…70	«П» – минус 40…+85 «М» – минус60…+85 «Т» – минус 60…+105	1,2,3	—	+	—	—	48x33x10, (58x33x10)	40	БКЮС.430609.001-01 ТУ, КД лит. «А», перечень МОП 44001.18, приемка «5», БКЮС.430609.001 ТУ, КД лит. «О1», приемка «5»
	15	3				1,2	—	+	—	—	58x40x10 (68x40x10)	60	
	30	6				1,2	—	+	—	—	73x53x13 (85x53x13)	100	
	60	10				1	—	+	—	—	95x68x13 (107x68x13)	170	
	120	20				1	—	+	—	—	110x84x13 (122x84x13)	240	
МДМ-П	5	1		3…80	«П» – минус 40…+85 «М» – минус 60…+85 Т» – минус 60…+105	1,2	+	+	±5%	—	30x20x10 (40x20x10)	25	БКЮС.430609.001 ТУ, КД лит. «О», приемка «5». БКЮС.430609.008 ТУ, приемка «ОТК»
	7,5	1,5				1,2,3	+	+		—	40x30x10 (50x30x10)	25	
	15	3				1,2	+	+		—	48x33x10, (58x33x10)	35	
	30	6				1,2	+	+		—	58x40x10 (68x40x10)	45	
	60	10				1	—	+		—	73x53x13 (85x53x13)	100	
	120	20				1	—	+		+	95x68x13 (107x68x13)	150	
	160	20				1	—	+		+	95x68x13 (107x68x13)	150	
	240	30				1	—	+		+	110x84x13 (122x84x13)	250	
	320	30				1	—	+		+	110x84x13 (122x84x13)	250	
	480	40				1	—	+		+	127x97x13 (139x97x13)	340	
МДМ-ЕП	3	1	«Е» – 27(9…36/8…80) «И» – 48(18…72/15…84)	1,5…80	«М» – минус 60…+85 «Т» – минус 60…+105 «В» – минус 60…+115 (до +125 для ОТК)	1,2	+	+	±5%	—	30x20x8 (40x20x8)	25	БКЮС.430609.002 ТУ, КД лит. «О», приемка «5», приемка «ОТК»
	5	1,5				1,2	+	+		—	30x20x10 (40x20x10)	25	
	8	2				1,2	+	+		—	30x20x10 (40x20x10)	25	
	10	3				1,2,3	+	+		—	40x30x10 (50x30x10)	35	
	20	5				1,2	+	+		—	48x33x10, (58x33x10)	45	
	40	10				1,2	+	+		—	58x40x10 (68x40x10)	65	
	80	15				1	—	+		—	73x53x13 (85x53x13)	100	
	160	25				1	—	+		+	95x68x13 (107x68x13)	150	
	240	30				1	—	+		+	110x84x13 (122x84x13)	250	
МДМ-М и МДМ-МП	30	6	«Н» – 110(82…154/170) «Р» – 160(130…185/252) «М» – 230(175…350/400)	3…80	«М» – минус 60…+85 «Т» – минус 60…+105	1,2	+	+	±5%	—	73x53x13 (85x53x13)	110	БКЮС.436437.004 ТУ, КД лит.«О», приемка «5» , приемка «ОТК» (для МДМ-МП)
	60	10				1	—	+		+	95x68x13 (107x68x13)	180	
	120	20				1	—	+		+	110x84x13 (122x84x13)	250	
	60П	10				1	—	+		—	73x53x13 (85x53x13)	110	
	120П	20				1	—	+		+	95x68x13 (107x68x13)	180	
	160П	20				1	—	+		+	110x84x13 (122x84x13)	250	
	240П	30				1	—	+		+	110x84x13 (122x84x13)	250	
	320П	35				1	—	+		+	110x84x13 (122x84x13)	250	
	480П	40				1	—	+		+	127x97x13 (139x97x13)	340	

Модули имеют один, два или три выходных канала. Первый канал (основной), охвачен обратной связью, номинальная выходная мощность его не менее 50% номинальной выходной мощности модуля. Два выходных канала модулей МДМ имеют общую среднюю точку. Модули остальных серий имеют гальваническую развязку между выходными каналами.

Примеры обозначения при заказе:

Модуль питания МДМ5-2В0505МП БКЮС.430609.001 ТУ

Модули устойчивы к воздействию механических, климатических и биологических факторов в пределах норм и условий по группе 4У ГОСТ РВ 20.39.414.1 с уточнениями, приведенными в таблице 1.2.

Таблица 1.2

Наименование воздействующего фактора, единица измерения	Значение воздействующего фактора			
	Л	М	Т	В
Механические факторы				
Синусоидальная вибрация: диапазон частот, Гц амплитуда ускорения, м/с^2 (g)	—	1 – 2000 196 (20)		
Широкополосная случайная вибрация: диапазон частот, Гц среднеквадратическое значение ускорения, м/с^2(g) продолжительность воздействия, с	—	20-2000 225,4 (23) 260		
Механический удар одиночного действия: пиковое ударное ускорение, м/с^2(g) длительность действия ударного ускорения, мс	—	9800 (1000) 0,1 - 2		
Механический удар многократного действия: пиковое ударное ускорение, м/с^2(g) длительность действия ударного ускорения, мс	—	1470 (150) 5 - 10		
Акустический шум: диапазон частот, Гц уровень звукового давления (относит.2х10^{5}Па), дБ	—	50 – 10000 170		
Линейное ускорение, м/с^2(g)	—	1470 (150)		
Климатические факторы				
Повышенная предельная температура среды, °С:	85		105	115
Пониженная температура среды, °С: при эксплуатации при транспортировании и хранении	минус 40 минус 60	минус 60 минус 60		
Повышенная температура корпуса, °С:	85		105	115
Повышенная влажность воздуха: относительная влажность при температуре среды 35 °С, %	98			
Атмосферное повышенное давление устойчивость, Па (мм рт.ст.) прочность, Па (мм рт. ст.)	—	1,2х10^5 (900) 2,5х10^5 (1875)		
Атмосферное пониженное давление, Па (мм.рт.ст.)	1,34х10^{-4}(10^{-6})			
Изменение атмосферного давления, Па/с (мм.рт.ст./с)	—	0,1х10^5(75)		
Атмосферные конденсированные осадки (иней, роса): при пониженной температуре среды, °С при пониженном атмосферном давлении, Па (мм.рт.ст.) при относительной влажности не менее, % (при 28 °С)	минус 20 22,67х10^3 (170) 95			

Продолжение таблицы 1.2

Статическая пыль (песок): концентрация, г/м^3 скорость циркуляции, м/с	 3 0,5 – 1,0
Плесневые грибы: при относительной влажности, % при температуре, ºС	 95 – 98 29

Модули серии МДМ стойки к воздействию специальных факторов «И» и «С» с характеристиками 7.И1-7.И11, 7.С1-7.С6, соответствующими группе унифицированного исполнения 1Ус по ГОСТ РВ 20.39.414.2-98, и факторов «К» с характеристиками 7.К1-7.К8, соответствующими группе унифицированного исполнения 1К по ГОСТ РВ 20.39.414.2-98.

Уровень бесперебойной работы 7.И8 модулей при воздействии фактора «И» с характеристикой 7.И6 – 0,001·1Ус.

Допустимое время потери работоспособности при воздействии факторов «И» - не более 5 мс.

1 Схемотехническая реализация

В модулях используется принцип высокочастотного преобразования электрической энергии с одновременной стабилизацией выходного напряжения на основе широтно-импульсной модуляции. Подавление высокочастотных помех на входе и на выходе осуществляется встроенными фильтрами.

На приведенных структурных схемах (рис. 1.1, 1.2) показаны основные функциональные узлы, которые входят в состав двухканальных модулей серии МДМ и модулей серии МДМ-П с количеством выходных каналов от одного до трех. Модули остальных серий имеют аналогичную структуру.

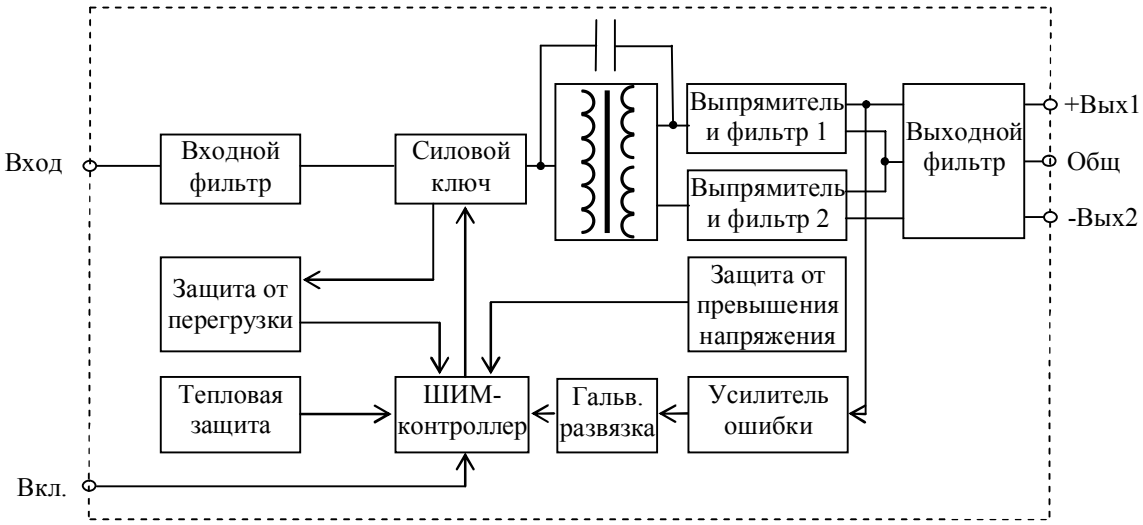


Рис. 1.1 Структурная схема двухканального модуля МДМ

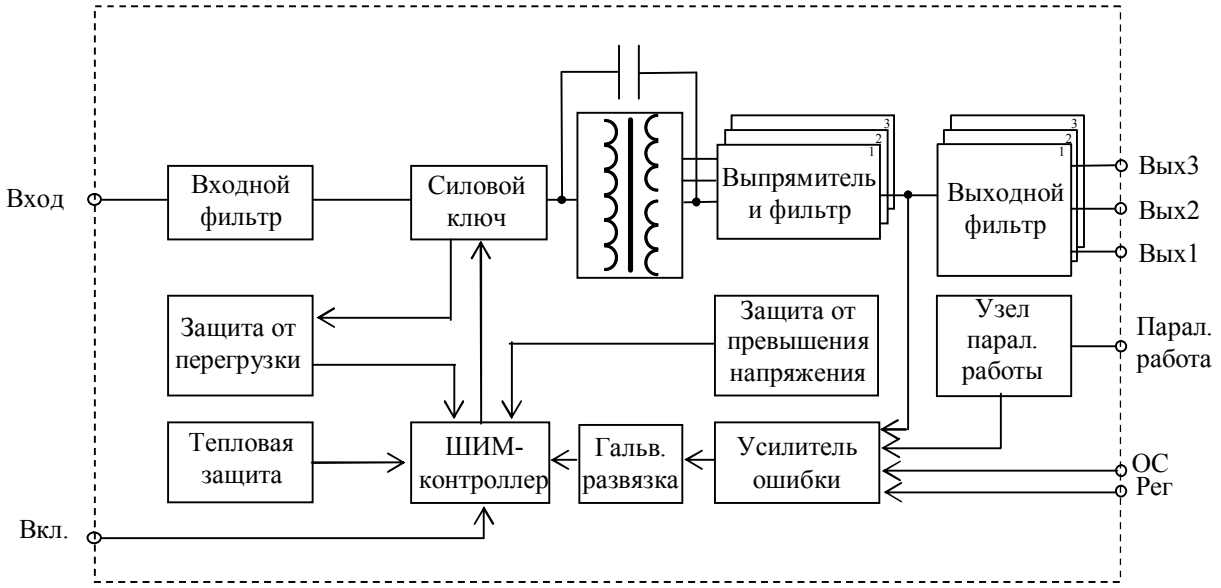


Рис. 1.2 Структурная схема модуля МДМ-П

Все модули имеют гальваническую развязку между входом и выходом, между входом и корпусом, между выходом и корпусом. Два выходных канала модулей МДМ имеют общую среднюю точку. Модули остальных серий имеют гальваническую развязку между выходными каналами. Параметры сопротивления изоляции и прочности изоляции приведены в разделе «Электробезопасность».

При разработке модулей МДМ и МДМ-П использованы однотактные обратноходовые и прямоходовые схемы преобразователей (рис. 1.3, 1.4). Для модулей МДМ гальваническая развязка цепи обратной связи по напряжению выполнена на базе трансформатора Т3, для МДМ-П с использованием оптрона.

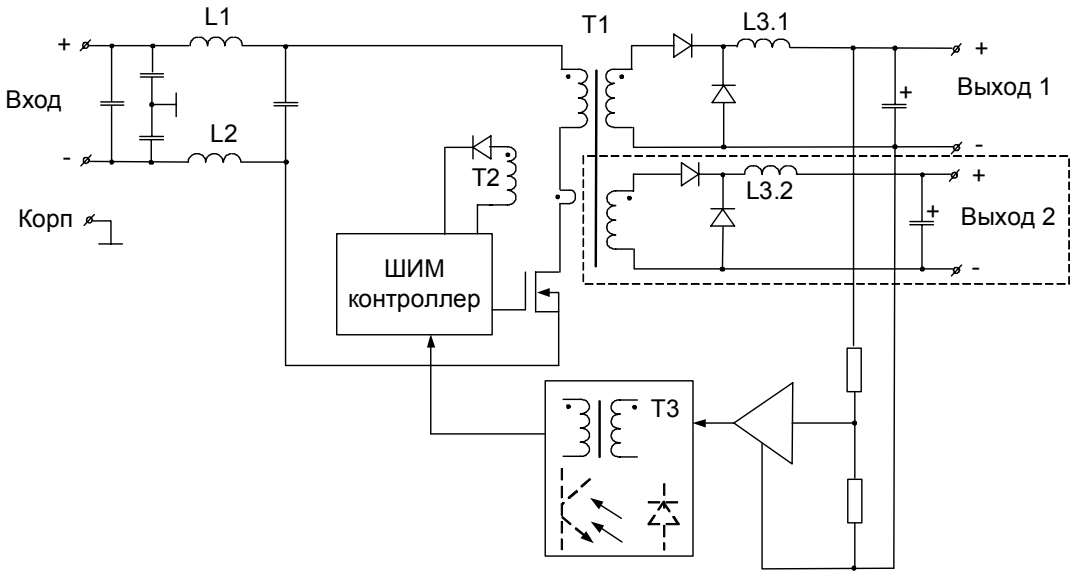


Рис. 1.3 Прямоходовой преобразователь

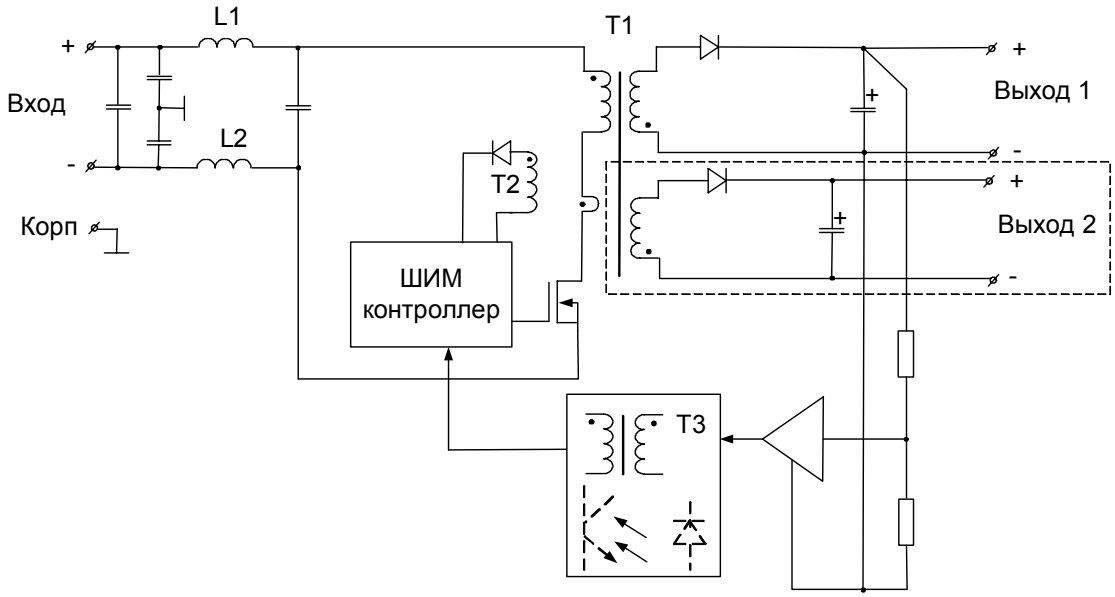


Рис. 1.4 Обратноходовой преобразователь

Для модулей МДМ-М применен преобразователь по схеме косой полумост (рис. 1.5).

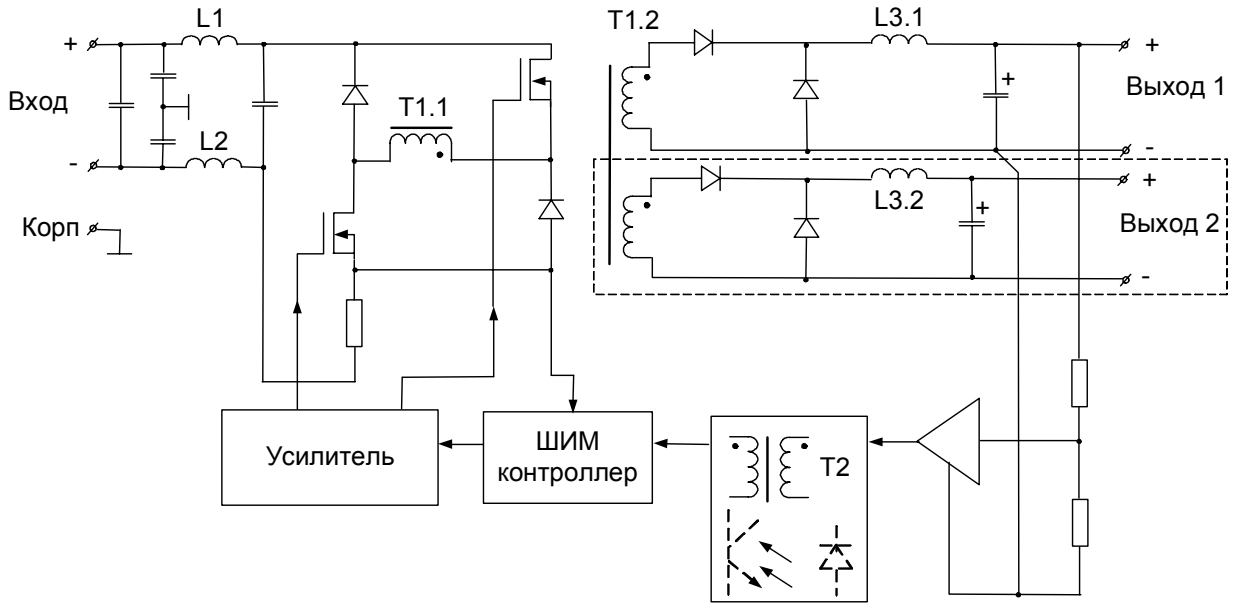


Рис.1.5 Преобразователь по схеме косой полумост

2 Электрические параметры и режимы эксплуатации

Качество входной электроэнергии постоянного тока соответствует требованиям групп А, Г ГОСТ В 24425-90 для входных напряжений А, Д, И; ГОСТ 23396-78 для входных напряжений Н, Р, М; ГОСТ 19705-89 за исключением п. 2.3 приложения 4 предел 3 и 4 для входного напряжения В; ГОСТ Р 54073-2010 за исключением п. А.2.3 приложения А предел 4 для входного напряжения Е. Нормы качества входной электроэнергии приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1. Нормы качества электроэнергии на входе модулей

Входное напряжение		Установившееся отклонение, В	Переходное отклонение. В	Длительность переходного отклонения, с
Обозначение	Номинальное значение, В			
А	12	10,5…15	10,5…16,8	1
В	27	17…36	17…80	
Д	60	36…72	36…84	
Е	27	9…36	8…80	
И	48	18…72	15…84	
Н	110	82…154	82…170	
Р	160	130…185	130…252	
М	230	175…350	175…400	

Значения номинального выходного напряжения модулей, их установившиеся отклонения в НКУ и значения выходного напряжения при холостом ходе должны соответствовать таблице 2.2.

Таблица 2.2. Значения номинальных выходных напряжений, их установившиеся отклонения в НКУ и значении выходного напряжения при холостом ходе

$U_{вых. ном}$, В	Установившееся отклонение, В			$U_{вых.}$ при холостом ходе, не более, В		
	1 канал	2,3 канал	2,3 канал*	1 канал	2,3 канал	2,3 канал*
	±2%	±6%	±12%	110%	120%	130%
1,5	±0,03	± 0,09	±0,18	1,65	1,8	1,95
2	±0,04	± 0,12	±0,24	2,2	2,4	2,6
2,5	±0,05	± 0,15	±0,30	2,75	3,0	3,25
3	±0,06	± 0,18	±0,36	3,3	3,6	3,9
5	±0,10	± 0,30	±0,60	5,5	6,0	6,5
6	±0,12	± 0,36	±0,72	6,6	7,2	7,8
9	±0,18	± 0,54	±1,08	9,9	10,8	11,7
12	±0,24	± 0,72	±1,44	13,2	14,4	15,6
15	±0,30	± 0,90	±1,80	16,5	18	19,5
20	±0,40	± 1,20	±2,40	22,0	24,0	26,0
24	±0,48	± 1,44	±2,88	26,2	28,8	31,2
27	±0,54	± 1,62	±3,24	29,7	32,4	35,1
48	±0,96	± 2,88	±5,76	52,8	57,6	62,4
68	±1,36	± 4,08	±8,16	74,8	81,6	88,4
80	±1,60	± 4,8	±9,60	88,0	96	104

* – номинальные значения выходных напряжений второго и третьего каналов отличаются от первого более чем на 20%.

Примечание - По заказу могут поставляться модули с нестандартными выходными напряжениями от 1,5 до 80 В

Установившееся отклонение выходного напряжения модулей в НКУ должно быть не более ± 2 % для первого канала и не более ± 6 % для второго (третьего) канала. В случае, если номинальное значение выходного напряжения второго или третьего канала отличается на 20 % и более от номинального значения выходного напряжения первого канала, их установившиеся отклонения в НКУ должны быть не более ± 12 %.

Допускается работа модулей без нагрузки (при холостом ходе), при этом выходное напряжение основного канала изменяется не более, чем на 10 % от $U_{ном}$. Выходное напряжение дополнительных каналов – не более, чем на 20 % от $U_{ном}$, если номиналы выходных напряжений отличаются менее, чем на 20 % от номинала основного канала, и на 30 %, если номиналы выходных напряжений отличаются более, чем на 20 %.

Номинальное значение выходного тока ($I_{ном}$) рассчитывается по формулам:

для одноканальных модулей: $I_{ном\ 1} = P_{ном} / U_{вых\ 1}$

для двухканальных модулей: $I_{ном\ 1} = P_{ном} / 2U_{вых\ 1}$

$$I_{ном\ 2} = P_{ном} / 2U_{вых\ 2}$$

для трехканальных модулей: $I_{ном\ 1} = P_{ном} / 2U_{вых\ 1}$

$$I_{ном\ 2} = P_{ном} / 4U_{вых\ 2}$$

$$I_{ном\ 3} = P_{ном} / 4U_{вых\ 3},$$

где $U_{вых\ 1}$, $U_{вых\ 2}$, $U_{вых\ 3}$ – номинальные выходные напряжения первого, второго, третьего каналов соответственно, В,

$P_н$ – номинальная выходная мощность, Вт.

Для одноканальных модулей номинальный выходной ток должен быть не более:

МДМ, МДМ-П: 5 Вт – 1 А; 7,5 Вт – 1,5 А; 15 Вт – 3 А; 30 Вт – 6 А; 60 Вт – 10 А; 120 Вт – 20 А; 160 Вт – 25А ; 240 Вт – 30 А; 320 Вт – 30 А; 480 Вт – 40 А.

МДМ-ЕП: 3 Вт – 1А; 5 Вт – 1,5 А; 8 Вт – 2 А; 10 Вт – 3 А; 20 Вт – 5 А; 40 Вт – 10 А; 80 Вт – 15 А; 160 Вт – 25 А; 240 Вт – 30 А.

МДМ-М, МП: 30 Вт – 6 А; 60 Вт – 10 А; 120 Вт – 20 А; 160 Вт – 25 А; 240 Вт – 30 А; 480 Вт – 40 А.

Для двухканальных модулей максимальный выходной ток должен быть для каждого канала не более:

МДМ, МДМ-П: 5 Вт – 0,5 А; 7,5 Вт – 0,75 А; 15 Вт – 1,5 А; 30 Вт – 3 А.

МДМ-ЕП: 3 Вт – 0,5 А; 5 Вт – 0,75 А; 8 Вт – 1 А; 10 Вт – 1,5 А; 20 Вт – 2,5 А; 40 Вт – 5 А.

МДМ-М: 30 Вт – 3 А.

Для второго и третьего каналов трехканальных модулей МДМ7,5-3XXX максимальный выходной ток не более 0,37 А.

Диапазон рабочих выходных токов каналов составляет от 10 до 100 %. В случае, если номинальные значения выходных напряжений второго и третьего каналов отличаются более, чем на 20 % от номинального значения напряжения основного канала, то минимальные значения выходных токов таких модулей должны быть не более $0,3I_{ном1}$ – для основного канала и не более $0,5I_{ном2,3}$ – для дополнительных каналов.

При работе модулей без нагрузки (при холостом ходе) значения типового входного тока должны соответствовать таблицам 2.2.1-2.2.5.:

Таблица 2.2.1. Типовой входной ток (мА) при холостом ходе на выходе, при номинальном входном напряжении для модулей МДМ БКЮС.430609.001-01ТУ.

Тип сети	Тип модуля				
	МДМ7,5	МДМ15	МДМ30	МДМ60	МДМ120
В (27В)	28	39	54	61	78

Таблица 2.2.2. Типовой входной ток (мА) при холостом ходе на выходе, при номинальном входном напряжении для модулей МДМ БКЮС.430609.001ТУ.

Тип сети	Тип модуля				
	МДМ7,5	МДМ15	МДМ30	МДМ60	МДМ120
В (27В)	25	33	42	48	65

Таблица 2.2.3. Типовой входной ток (мА) при холостом ходе на выходе, при номинальном входном напряжении для модулей МДМ-П БКЮС.430609.001ТУ.

Тип сети	Тип модуля							
	МДМ5	МДМ7,5	МДМ15	МДМ30	МДМ60	МДМ120	МДМ240	МДМ 480
В (27В)	22	28	33	38	59	78	85	93

Таблица 2.2.4. Типовой входной ток (мА) при холостом ходе на выходе, при номинальном входном напряжении для модулей МДМ-М, МДМ-МП БКЮС.436437.004ТУ.

Тип сети	Тип модуля					
	МДМ30	МДМ60	МДМ120	МДМ120-П	МДМ240-П	МДМ480-П
М (230В)	10	12	25	20	15	25

Суммарная нестабильность выходного напряжения составляет не более ± 4 % для основного канала и не более ± 7 % по дополнительным каналам и рассчитывается по формуле

$$H_{\Sigma} = H_{тех} + H_U + H_I + H_T,$$

где $H_{тех}$ – технологическая нестабильность (точность установки выходного напряжения),

H_U – нестабильность выходного напряжения от изменения входного напряжения,

H_I – нестабильность выходного напряжения от изменения выходного тока,

H_T – температурная нестабильность выходного напряжения.

Диапазон рабочих выходных токов составляет от 10 до 100 %.

В случае, если номиналы выходных напряжений второго и третьего каналов отличаются более, чем на 20 % от основного канала, то минимальные выходные токи таких модулей – не более 0,3 $I_{H\ 1}$ – для основного канала, и 0,5$I_{H\ 2,3}$ – для дополнительных каналов, а суммарная нестабильность для второго и третьего канала в этом случае должна быть не более ± 14 %.

Технологическую нестабильность $H_{тех}$ проверяют при номинальном входном напряжении и нагрузке 0,5$I_{ном}$. Нестабильность выходного напряжения от изменения входного H_U проверяют при номинальном выходном токе. Нестабильность выходного напряжения от изменения выходного тока H_I в канале измеряется при номинальном входном напряжении и нагрузке 0,5 $I_{ном\ 1,\ 2}$ остальных каналов для многоканального модуля питания.

Нестабильность выходного напряжения при плавном изменении входного напряжения и выходного тока (H_U + H_I) должна быть не более ± 2 % для первого канала модулей и не более ± 7 % для второго (третьего) канала модулей. В случае, если номинальное значение выходного напряжения второго или третьего канала отличается на 20 % и более от номинального значения выходного напряжения первого канала, нестабильность их выходного напряжения при плавном изменении входного напряжения и выходного тока (H_U+ H_I) должна быть не более ± 12 %.

Температурная нестабильность выходного напряжения не превышает ± 1 % для первого канала и ± 3 % для второго и третьего каналов.

Амплитуда пульсации выходного напряжения – не более 0,01 $U_{ном}$ во всем диапазоне температур (рис. 2.1).

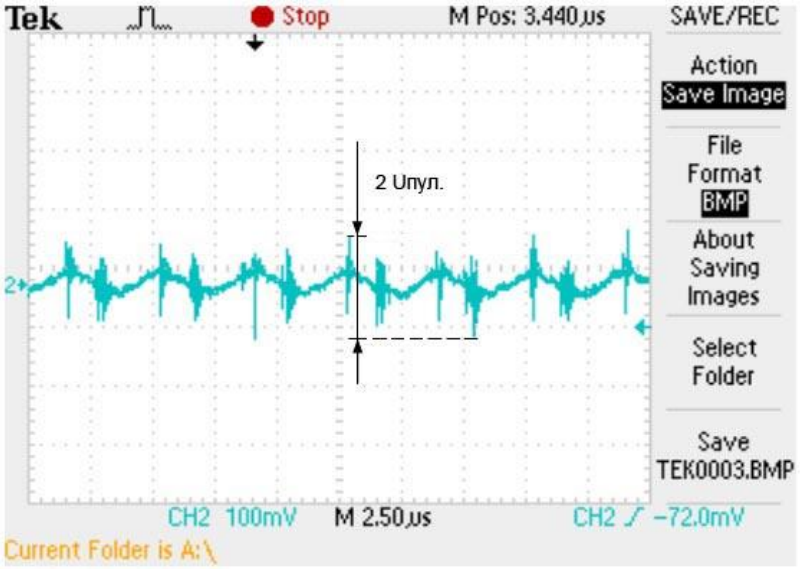


Рис. 2.1 Пульсации выходного напряжения

Допускается два варианта измерения пульсаций выходного напряжения модулей питания:

а) к выводам модуля витой парой длиной около 30 см подключается керамический конденсатор емкостью 0,47 мкФ, к которому в свою очередь подключается коаксиальный кабель, идущий на осциллограф, при этом неэкранированные концы кабеля должны быть длиной не более 10 мм.

б) используется специальный щуп для измерения пульсаций. Эскиз щупа с указанными номиналами используемых элементов приведен на рис. 2.2.

Слева распаивается витая пара длиной около 30 см, идущая от выходных штырьков модуля, справа – коаксиальный кабель к осциллографу. Плата изготавливается из фольгированного стеклотекстолита. Неэкранированные концы кабеля должны быть длиной не более 10 мм. Щуп для измерения пульсаций имеет обозначение БКЮС.685119.101 и поставляется предприятием.

Применение таких способов измерения обеспечивает однозначность результатов измерения на предприятии-изготовителе и у потребителя.

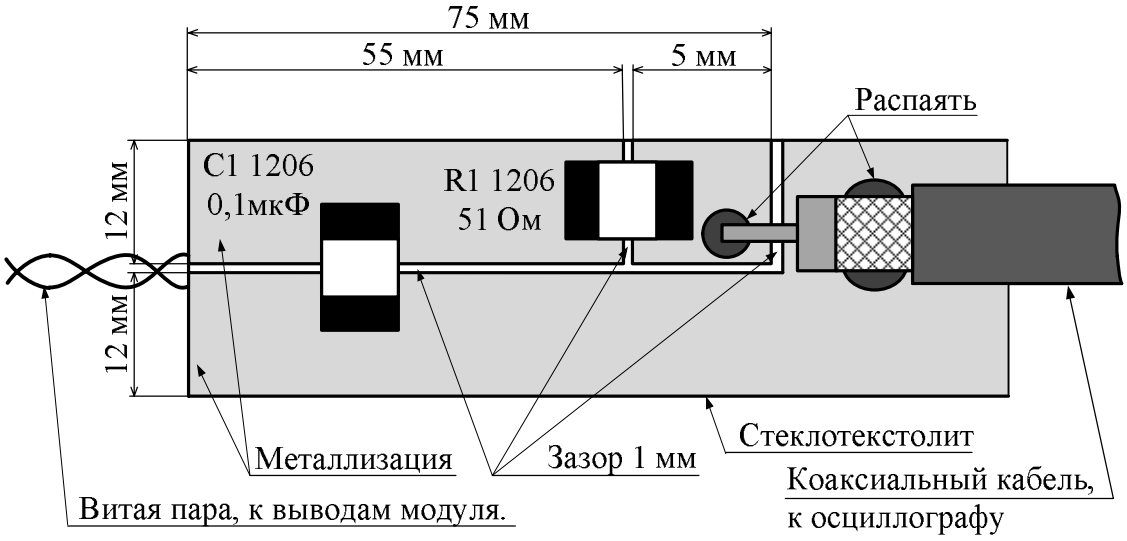


Рис 2.2 Щуп для измерения пульсаций БКЮС.685119.101

Время установления выходного напряжения при включении модулей не более 0,1 с. Процесс включения модуля представлен на рис 2.3.

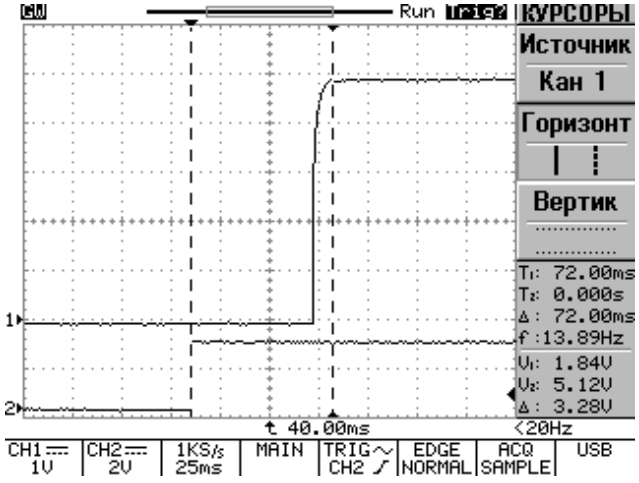


Рис 2.3 Установление выходного напряжения при включении

Кривая 1 показывает изменение выходного напряжения в момент включения, кривая 2 показывает подаваемое входное напряжение. На приведенном рисунке время включения составляет 72 мс. Выходное напряжение считается установившимся с момента вхождения в поле допуска, определяемое суммарной нестабильностью.

На рисунке 2.4 представлены три типа ***переходных процессов*** на выходе модуля при его включении. ~~Выброс напряжения не превышает 10 % от номинального выходного напряжения.~~ (4)

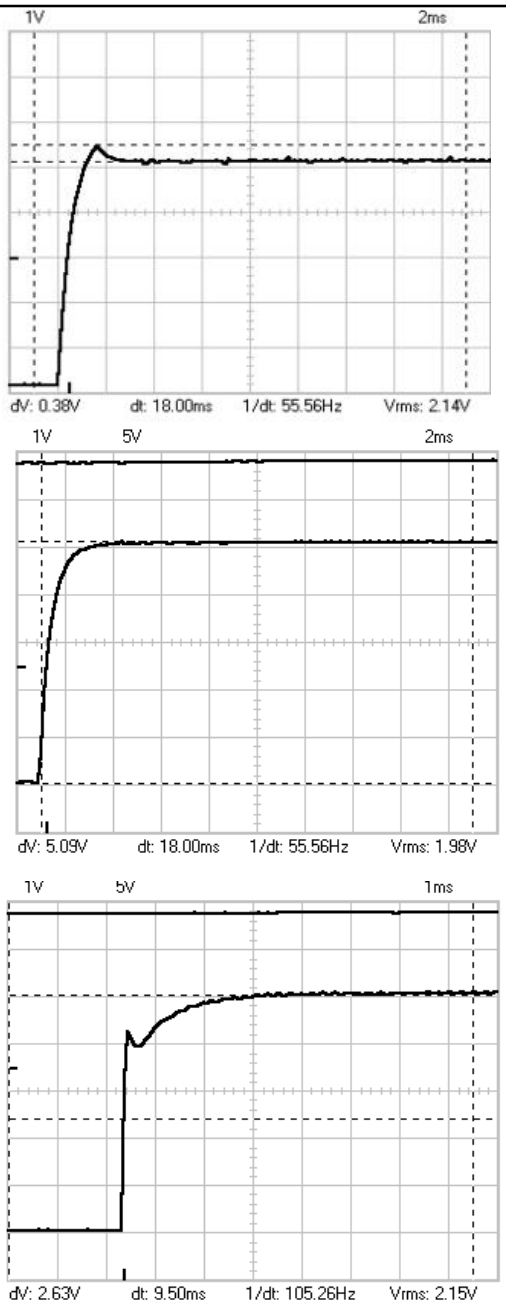


Рис. 2.4 Переходные процессы на выходе модулей МДМ, МДМ-П при включении

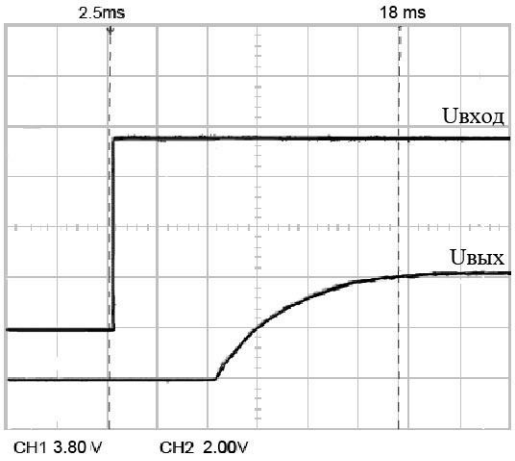


Рис. 2.4.1 Переходные процессы на выходе модуля МДМ-ЕП при включении. Время установления выходного напряжения модуля при подаче входного напряжения $t \leq 25$ мс

Коэффициент полезного действия (КПД) модулей должен быть не менее 70% при $U_{вых}$ < 5 В, 70 – 80% при $U_{вых}$ от 5 до 9 В, не менее 80% при $U_{вых}$ > 9 В. Измерение КПД модулей проводят при установившемся номинальном значении входного напряжении $U_{вх\ ном}$ и выходном токе равном 0,8 $I_{вых\ ном}$.

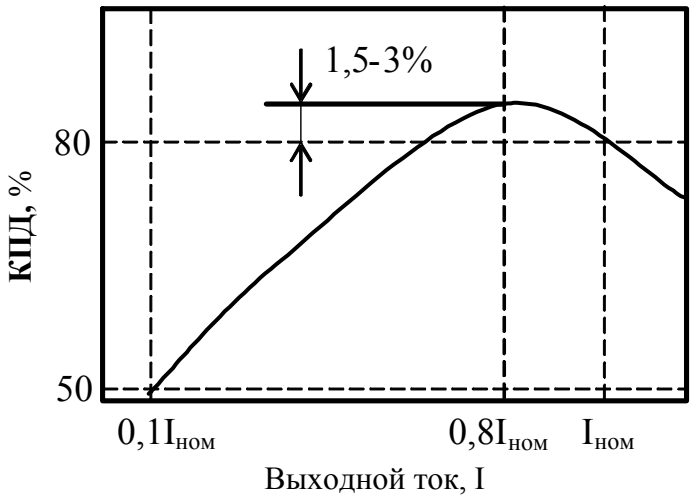
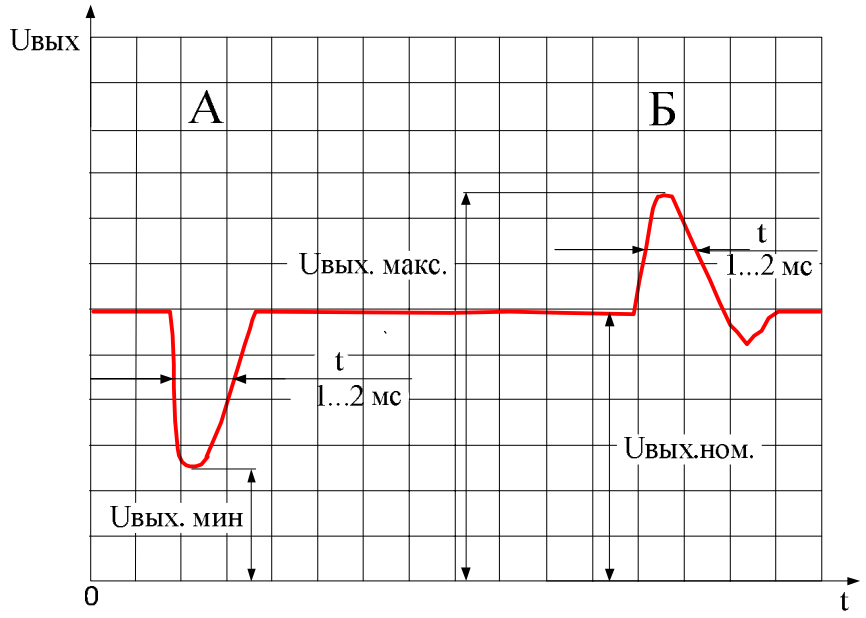


Рис.2.5 Зависимость КПД от выходного тока.

График ***зависимости КПД*** от выходного тока модуля представляет собой кривую, изображённую на рисунке 2.5. Типовой КПД модулей с выходным напряжением 5 В составляет 80 %. Точка перегиба кривой, а также крутизна снижения КПД с уменьшением нагрузки варьируется для модулей различных мощностей. Максимальный КПД модуля достигается при нагрузке $0,8I_{ном}$ и превышает значение в номинальном режиме на 1,5 – 3 %.

В приложении В для каждого типа модулей приведены зависимости КПД от нагрузки.

Переходное отклонение выходного напряжения при скачкообразном изменении выходного тока в пределах от $I_{ном}$ до $0,1\times I_{ном}$ (от $I_{ном}$ до $0,5\times I_{ном}$ для МДМ-ЕП) и при воздействии переходного отклонения входного напряжения (в пределах значений, представленных в табл. 2.1) не должно превышать 10 % от номинального выходного напряжения. Характер изменения выходного напряжения представлен на рис. 2.6.



t - длительность переходного отклонения
Uвых. ном. – номинальное выходное напряжение
Uвых. макс. – максимальное выходное напряжение
Uвых. мин. – минимальное выходное. напряжение

Рисунок 2.6 Характер изменения выходного напряжения при скачкообразном изменении выходного тока и воздействии переходного отклонения входного напряжения
(А – при набросе нагрузки или воздействии отрицательного отклонения входного напряжения, Б – при сбросе нагрузки или воздействии положительного отклонения входного напряжения)

Защита модуля от перегрузки по току (рис. 2.7) ограничивает выходную мощность модуля при увеличении выходного тока более 1,1…1,4$I_{ном}$. Также модули имеют защиту от коротких замыканий в цепи нагрузки, которая срабатывает при увеличении выходного тока до 1,5$I_{ном}$ с последующим автоматическим возвратом в режим стабилизации напряжения после снятия короткого замыкания. Режим защиты от короткого замыкания – длительный.

Максимальная мощность, потребляемая модулем от сети не должна превышать 0,6 $P_{ном}$, для модулей МДМ-ЕП - 0,4 $P_{ном}$.

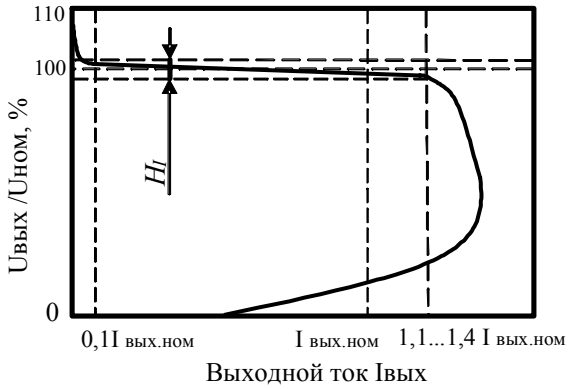


Рис.2.7 Защита модуля от перегрузки по току и короткого замыкания
Hi – нестабильность выходного напряжения от изменения выходного тока

Ток, потребляемый от сети при включении модуля не должен превышать трехкратной величины по сравнению с током установившегося режима при полной мощности. На рис. 2.8 а) представлена типовая осциллограмма входного тока модуля при включении. Осциллограмма снята на сопротивлении R = 0,1 Ом, включенным в плюсовой провод входной цепи. В момент подключения модуля к источнику питания имеется первый кратковременный выброс тока, связанный с зарядом входной емкости, амплитуда которой ограничена только внутренним сопротивлением источника. Включение собственно модуля приводит ко второму выбросу тока, который связан с переходными процессами в силовой части после включения схемы управления.

Эти токи показаны на рис. 2.8 б) и в) в увеличенном масштабе по оси времени. Как видно из осциллограмм, первый импульс больше по амплитуде, но значительно меньше по длительности и не несет энергетической составляющей. Поэтому в ТУ нормируется амплитуда второго токового выброса.

Рис.2.8 а)

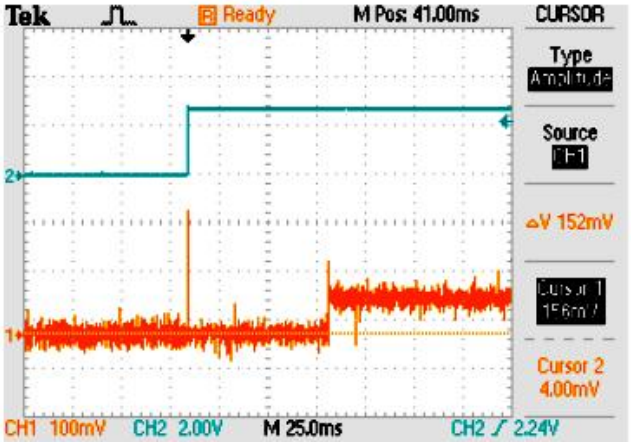


Рис.2.8 б)

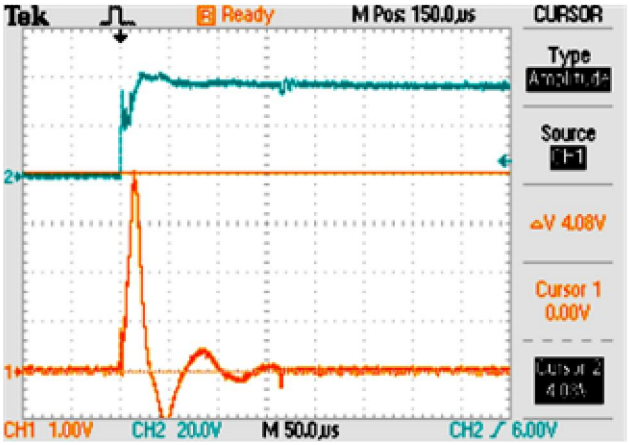


Рис.2.8 в)

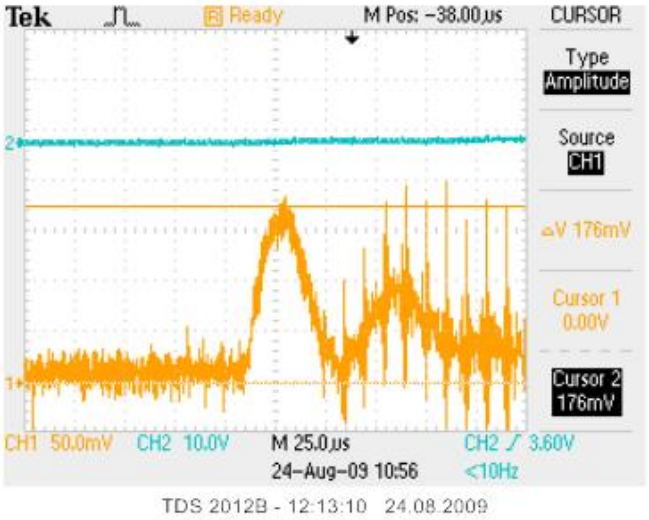


Рисунок 2.8. Осциллограммы входного напряжения (верхняя) и входного тока (нижняя) при включении.

а) первый и второй выброс тока (медленная развертка),

б) первый выброс тока (быстрая развертка),

в) второй выброс тока (быстрая развертка).

Измерение величины выброса входного тока производится при номинальном входном напряжении и номинальном выходном токе.

Параллельная работа. Модули с индексом «Р» допускают параллельное соединение по выходу (до девяти модулей) при работе на общую нагрузку. Мощность нагрузки рассчитывается исходя из того, что суммарная мощность должна быть равна $N\times P_{вых}$, где $P_{вых}$ – выходная мощность каждого модуля с коэффициентом загрузки 0,7, N – количество модулей ($N\leq 9$).

Предохранители FU1…FU9 должны быть рассчитаны на трехкратные значения тока, потребляемого модулем при включении. Выводы «+ОС», «-ОС» каждого модуля подключаются непосредственно к нагрузке в одной точке (рис. 2.9) для компенсации падения напряжения на проводах и контактах.

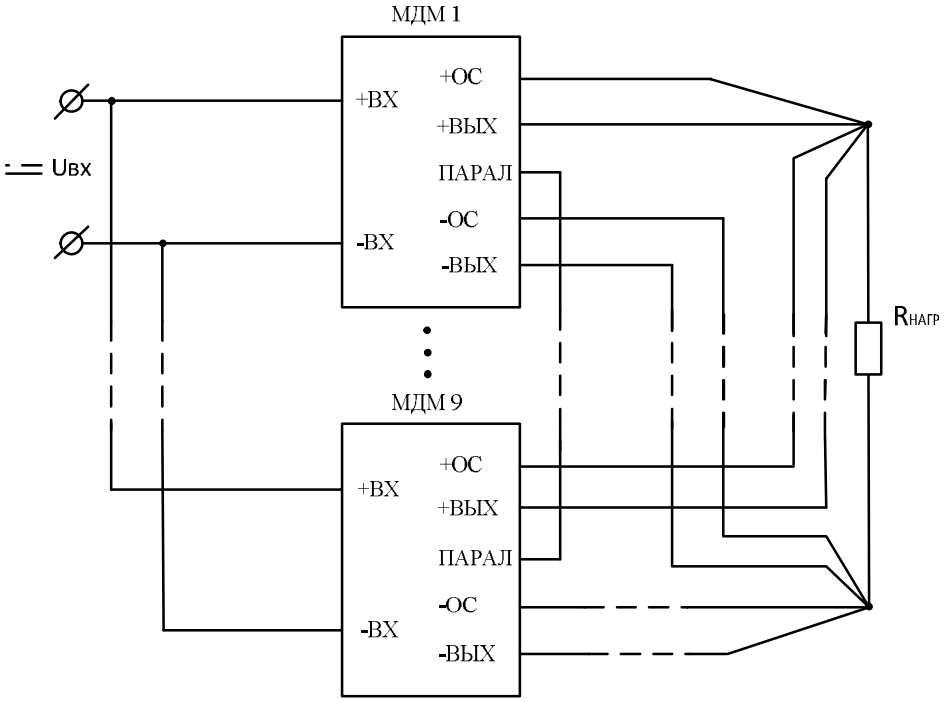


Рис. 2.9 Параллельное подключение модулей питания по выходу

Наращивание мощности следует выполнять при выключенной нагрузке.

Осциллограмма на рис. 2.10 подтверждает правильность выбранного алгоритма: провал выходного напряжения при последующем включении нагрузки с номинальным током не превышает 5 %.

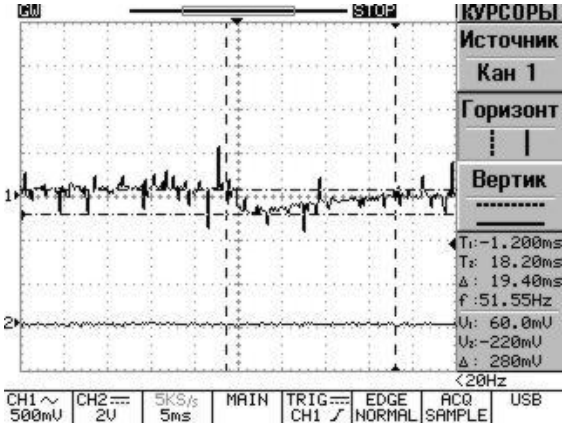


Рис. 2.10

Повышение надежности. Возможность параллельного включения, выносная обратная связь в модулях позволяют создавать на их основе надежные системы электропитания по схеме резервирования N+1, где N модулей обеспечивает мощность нагрузки $P_н$, а один модуль мощностью $P_н/N$ используется, как резерв. Предположим, что полная нагрузка системы 420 Вт,

в этом случае для электропитания требуются пять модулей МДМ120-1ПР или МДМ120-1УПР с коэффициентом загрузки 0,7. Шестой модуль – это резерв. Диоды, включенные на выходе каждого модуля (рис. 2.11) защищают систему от КЗ по выходу отказавшего модуля, а также позволяют упростить индикацию отказа модуля.

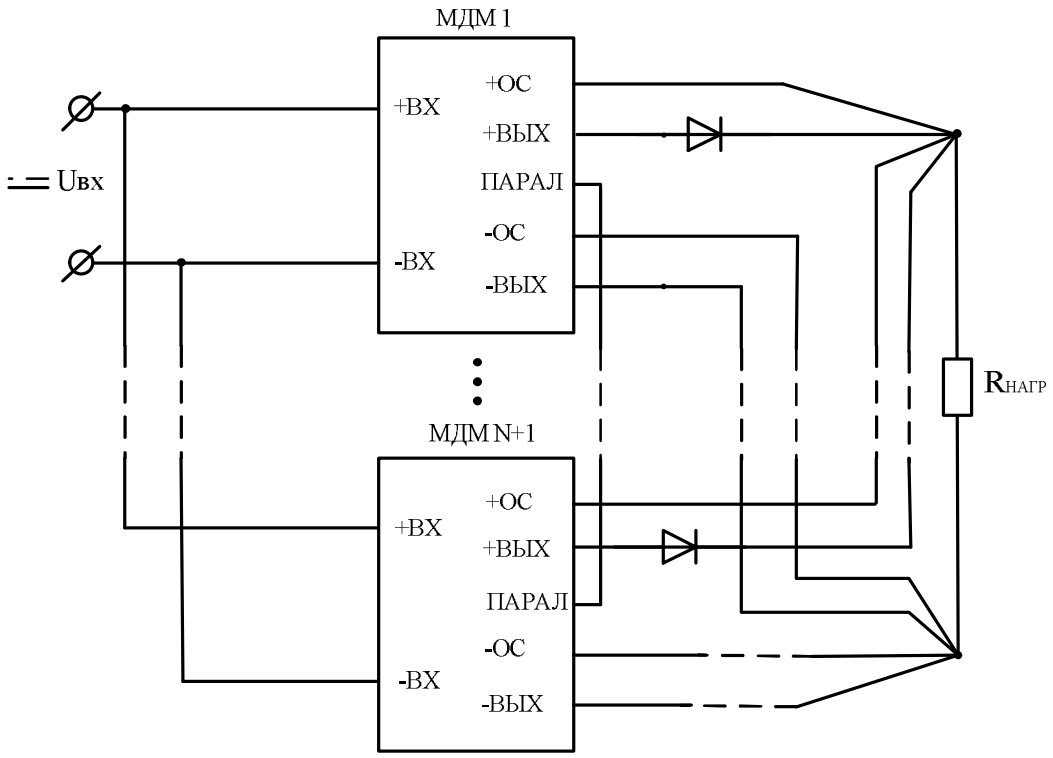


Рис. 2.11 Подключение модулей питания с резервированием

Увеличение среднего времени между отказами (Tcp_c) для системы электропитания с резервированием N+1 достигает значения

$$Tcp_c = \frac{Tcp_м^{\,2}}{T_в \times \prod_{j=0}^{1} (N+j)}$$

где $T_в$ – время замены модуля, $Tcp_м$ – среднее время наработки на отказ одного модуля, N – минимальное количество модулей, необходимое для обеспечения требуемой мощности нагрузки.

$$N = \frac{P_н}{P_м}$$

где $P_н$ - требуемая мощность нагрузки, $P_м$ – мощность одного модуля.

Система обладает такой высокой надёжностью только при условии своевременной замены модуля, поэтому система должна иметь индикацию (R1...R9, VD10…VD18) и дистанционную сигнализацию оператору об отказавшем модуле.

При резервировании по схеме (N+1) замена отказавшего модуля производится при включенной аппаратуре (горячая замена). При горячей замене отказавшего модуля за счет отсекающих диодов между модулями и нагрузкой исключены колебания напряжения на нагрузке в переходный период, а выброс напряжения не превышает 9,5 % (рис. 2.12).

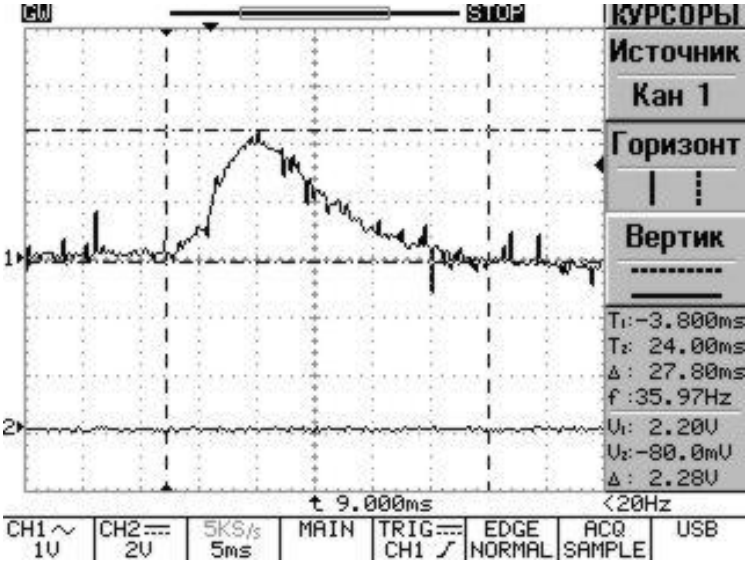


Рис. 2.12

В момент отказа одного из трех модулей переходный процесс незначителен (Рис. 2.13), так как реакция остальных модулей аналогична набросу нагрузки в пределах допустимого диапазона.

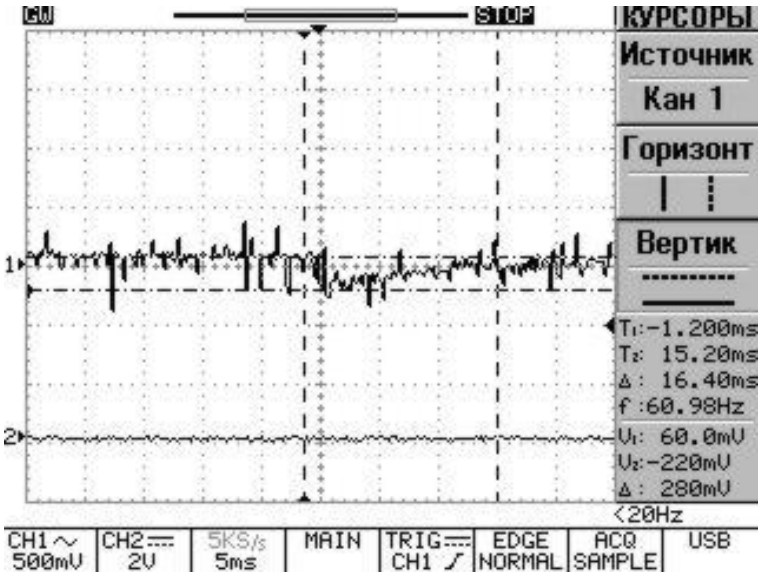


Рис. 2.13

По экономическим причинам процент резервирования рекомендуется выбирать в пределах от 33 до 20 % от выходной мощности. На рис. 2.14 показан источник вторичного электропитания (ИВЭП), состоящий из четырех модулей, где мощность модуля для

резервирования равна 33 %. ИВЭП из четырех модулей, при мощности каждого 100 Вт, имеет полную мощность 400 Вт, резервируемую 300 Вт.

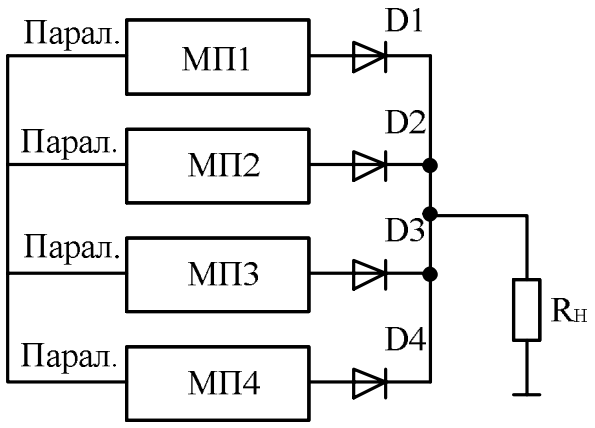


Рис. 2.14

Подстройка позволяет изменить выходное напряжение модуля в пределах ± 5 %.

Для повышения выходного напряжения на 5 % одноканальных модулей МДМ-П, МДМ-М, МДМ-МП, МДМ-ЕП на 5 % необходимо соединить выводы «ПОДСТР» и «-ВЫХ» («–ОС»).

Для повышения выходного напряжения модуля менее чем на 5 % между выводами «ПОДСТР» и «–ВЫХ» («–ОС») необходимо установить резистор R1 (рис. 2.15, а), величина которого рассчитывается по формуле:

$$R1 = [2{,}1 \times (Uном – 2{,}5) / (Uвых - Uном)] – K, [кОм].$$

Для модулей МДМ-ЕП:

для Uном 1,5-3 В: $R_1 = [0{,}75 / (0{,}75 / (U_{вых} / U_{ном} – 1))] – K$, [кОм],

для Uном 5-80 В: $R_1 = [2{,}1 \times (U_{ном} – 2{,}5) / (U_{вых} - U_{ном})] – K$, [кОм],

где $U_{ном}$ – номинальное выходное напряжение модуля, В

$U_{вых}$ – требуемое выходное напряжение модуля (от $U_{ном}$ до $1{,}05U_{ном}$), В

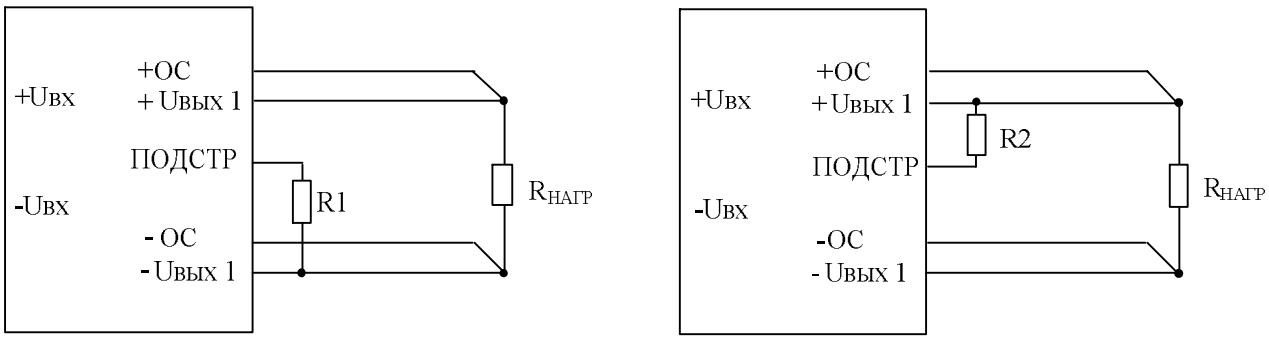
К – коэффициент, определяемый из таблицы 2.3

Таблица 2.3

Uном, В	K, кОм
1,5	15
2	15
2,5	15
3	15
5	21
6	24,5
7	27
9	30,3
12	33,3
15	35
20	36,8
24	37,6
27	38,1
30	38,5
32	38,7
35	39
36	39,1
40	39,4
45	39,7
48	39,8
60	40,3
80	40,7

Таблица 2.4

Uном, В	K, кОм
1,5	-
2	1,1
2,5	6,2
3	11
5	18,5
6	32,6
7	48,2
9	81,6
12	134
15	189
20	281
24	356
27	412
30	469
32	507
35	563
36	582
40	658
45	752
48	809
60	1036
80	1416



а) б)

Рис. 2.15

Для понижения выходного напряжения на 5 % одноканальных модулей МДМ-П, МДМ-М, МДМ-МП, МДМ-ЕП на 5 % необходимо соединить выводы «ПОДСТР» и «+ВЫХ» («+ОС»).

Для понижения выходного напряжения модуля менее чем на 5 %, между выводами «ПОДСТР» и «+ВЫХ» («+ОС») необходимо установить резистор R2 (рис. 2.15,б), величина которого рассчитывается по формуле:

$$R2= [(Uном– 2,9) \times (Uном– 2,5) / (Uном– Uвых)] – K, [кОм].$$

Для модулей МДМ-ЕП:

для Uном 2-3 В: $R_2 = [(U_{вых} – 1,75) / (1 – (U_{вых} – 1,25) / (U_{ном} – 1,25))] – K$, [кОм],

для Uном 5-80 В: $R_2 = [(U_{ном} – 2,9) \times (U_{ном} – 2,5) / (U_{ном} – U_{вых})] – K$, [кОм],

где $U_{ном}$ – номинальное выходное напряжение модуля, В

$U_{вых}$ – требуемое выходное напряжение модуля (от $U_{ном}$ до $1,05U_{ном}$), В

К – коэффициент, определяемый из таблицы 2.4

Повышение точности стабилизации. Для компенсации падения напряжения на контактах и проводах, предотвращения влияния омических сопротивлений контактов и проводов на точность стабилизации напряжения при изменении нагрузки модули с индексом «Р» должны быть подключены по цепи обратной связи «ОС» непосредственно к нагрузке (рис. 2.16). Подключение витой парой, диаметр проводников $d \geq 0,2$ мм.

В случае, когда обратная связь не используется, вывод «+ОС» должен быть соединён с выводом «+ВЫХ», а вывод «-ОС» должен быть соединён с выводом «-ВЫХ» (рис. 2.17).

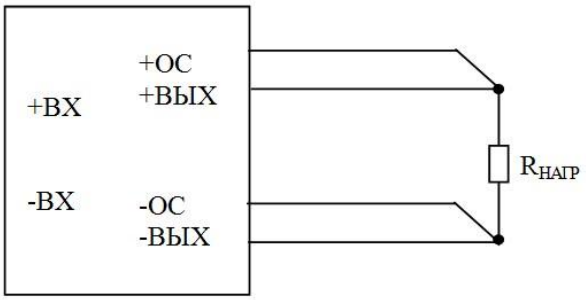


Рис. 2.16

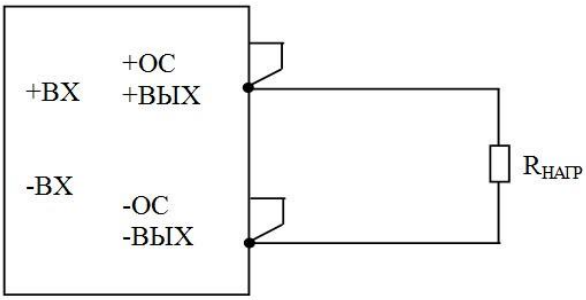


Рис. 2.17

Дистанционное выключение/включение может осуществляться с помощью механического ключа, реле или электрического ключа типа разомкнутый коллектор (рис. 2.18). Выключение модуля осуществляется соединением вывода «ВКЛ» с выводом «-ВХ». При этом через ключ может протекать ток до 5 мА, а максимальное падение напряжения на ключе должно быть не более 1,1 В (0,5 В для МДМ-ЕП).

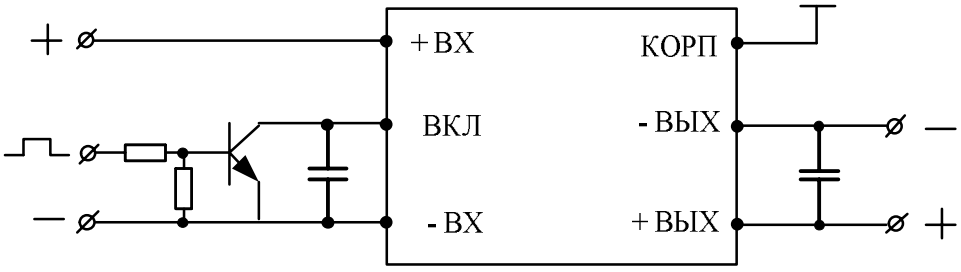


Рис. 2.18 Дистанционное выключение/включение модуля питания

Типовые значения входных токов модулей при выключении по выводу «ВКЛ» представлены в таблицах 2.2.6 - 2.2.8:

Таблица 2.2.6. Типовой входной ток (мА) при выключении по выводу «ВКЛ», при номинальном входном напряжении для модулей МДМ БКЮС.430609.001 ТУ

Тип сети	Тип модуля				
	МДМ7,5	МДМ15	МДМ30	МДМ60	МДМ120
А (12 В)	4	4	4	4	15
В (27 В)	5	5	5	5	14
Д (60 В)	6	6	6	6	14

Таблица 2.2.7. Типовой входной ток (мА) при выключении по выводу «ВКЛ», при номинальном входном напряжении для модулей МДМ БКЮС.430609.001-01 ТУ

Тип сети	Тип модуля				
	МДМ7,5	МДМ15	МДМ30	МДМ60	МДМ120
А (12 В)	4	4	4	4	15
В (27 В)	5	5	5	5	14
Д (60 В)	6	6	6	6	14

Таблица 2.2.8. Типовой входной ток (мА) при выключении по выводу «ВКЛ», при номинальном входном напряжении для модулей МДМ-П БКЮС.430609.001 ТУ

Тип сети	Тип модуля							
	МДМ5	МДМ7,5	МДМ15	МДМ30	МДМ60	МДМ120	МДМ240	МДМ480
А (12 В)	4	4	4	4	4	6	35	-
В (27 В)	5	5	5	5	5	9	45	45
Д (60 В)	6	6	6	6	6	10	45	45

Модули имеют **защиту от превышения напряжения на выходе модуля**, которая срабатывает при достижении значения выходного напряжения 1,2 $U_{ном}$ за время не более 1 мс. **Тепловая защита** обеспечивает защиту модуля от перегрева, выключая его при превышении температуры корпуса значений, приведенных в таблице 1.2. При снижении температуры корпуса модуль автоматически восстанавливает свою работоспособность.

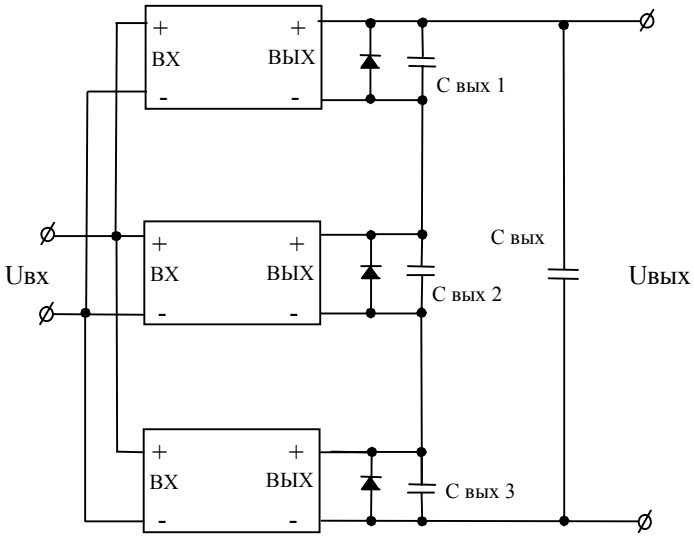


Рис. 2.19 Последовательное включение модулей питания по выходу

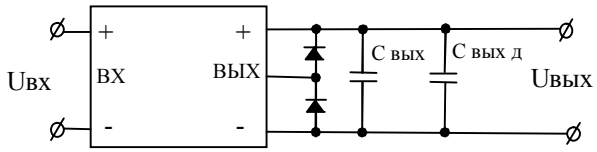


Рис. 2.20 Использование двухканального модуля в режиме одноканального

Модули могут быть включены последовательно по выходу для **увеличения выходного напряжения или мощности** (рис. 2.19) При этом необходимо к выводам «+ВЫХ 1», «-ВЫХ 1», «+ВЫХ 2», «-ВЫХ 2» присоединить обратно включенные диоды, чтобы избежать переполюсовки при включении. При использовании двухканального модуля в режиме одноканального необходимо к выводам «+ВЫХ 1», «ОБЩ», «–ВЫХ 2» также присоединить обратно включенные диоды (рис. 2.20).

3 Конструкция и тепловые режимы

3.1 Внешний вид, качество покрытия, габаритные, установочные и присоединительные размеры модуля должны соответствовать требованиям ТУ, комплекту конструкторской документации и инструкции по контролю внешнего вида, маркировки и качества покрытия БКЮС.435714.001.И54.

Масса модуля не должна превышать значений, указанных в таблице 1.1

Выводы модулей должны быть механически прочными и выдерживать без механических повреждений воздействие растягивающей силы не более:

для выводов диаметром 0,8 мм – 10 Н,

для выводов диаметром 1,0 мм – 20 Н,

для выводов диаметром 1,5 мм – 40 Н.

Покрытие выводов обеспечивает пайку без лужения и допускает трехкратную перепайку без нарушения целостности выводов и ухудшения электрических свойств.

Материалы, защитные покрытия, комплектующие изделия, применяемые в модулях, должны соответствовать требованиям ГОСТ РВ 20.39.309.

Конструктивно модули выполняются в металлических корпусах с крепежными фланцами или без них. Для установки на радиатор охлаждения или на печатную плату имеются резьбовые втулки и фланцы. Все модули имеют кремнийорганическую полимерную защиту – герметизацию компаундом с теплопроводным наполнителем.

В основе конструкции модуля лежит печатная плата (рис. 3.1) с элементами поверхностного монтажа, размещенная в алюминиевом корпусе и залитая эластичным компаундом.

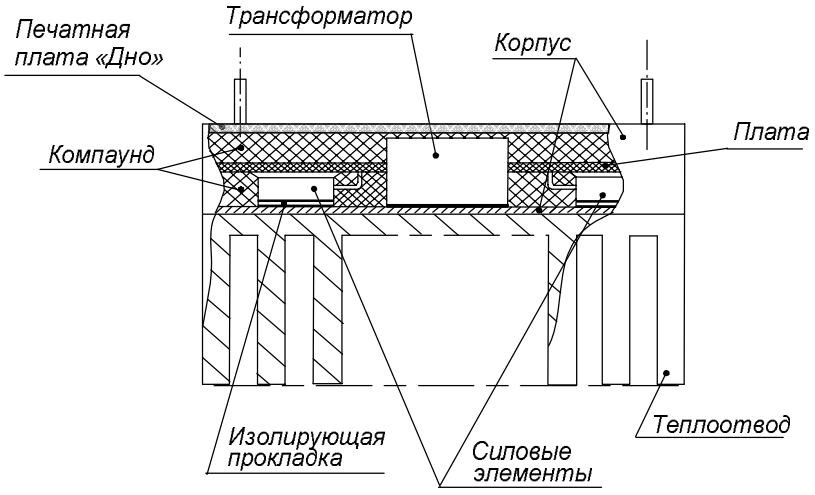


Рис.3.1 Эскиз модуля в разрезе

С 2006 года корпуса модулей изготавливаются с покрытием, которое обеспечивает пайку низкотемпературными припоями. На модули устанавливается опаиваемая печатная плата «Дно», которая обеспечивает механическую защиту элементов и является экраном от излучаемых радиопомех.

Обеспечение теплового режима

Тепловая энергия модуля выделяется в окружающее пространство излучением и конвекцией, причем основное тепло отдается за счет конвекции.

Теплоотдача путем конвекции с поверхности модуля, корпус которого нагрет до температуры $\theta_к$ в окружающую среду с температурой $\theta_{ср}$ определяется законом Ньютона.

$$P_п = \alpha_к \cdot S \cdot \Delta\theta, \qquad (1)$$

где $P_п$ – мощность потерь модуля,

$\alpha_к$ - коэффициент конвекции (Вт / °С · см^2),

S – площадь поверхности (см^2),

$\Delta\theta$ – разница между температурами корпуса и среды,

$\Delta\theta = \theta_к - \theta_{ср}$ (°С).

По формуле (1) можно определить температуру перегрева $\Delta\theta$ модуля относительно окружающей среды:

$$\Delta\theta = P_п /(\alpha_к \cdot S) \qquad (2)$$

Большинство предприятий, выпускающих универсальные модули, заменяют выражение $1/(\alpha_к \cdot S)$ на тепловое сопротивление R_θ, которое приводят в datasheet, при этом формула (2) принимает вид:

$$\Delta\theta = P_п \cdot R_\theta \qquad (3)$$

Мощность потерь $P_п$ определяется по формуле:

$$P_п = P_{вых} \cdot (1/\eta - 1), \qquad (4)$$

где $P_{вых}$ – мощность, потребляемая нагрузкой,

η – КПД

Поскольку в ТУ приведен только типовой КПД модулей, при расчётах следует уточнять КПД для каждого типа модуля по графикам, показывающим зависимость КПД от выходной мощности и входного напряжения. Эти графики также приводятся в datasheet на модули [8]. Пример таких графиков для модулей МДМ7,5-1 с выходными напряжениями 5 и 12 В приведен на рисунке 3.2.

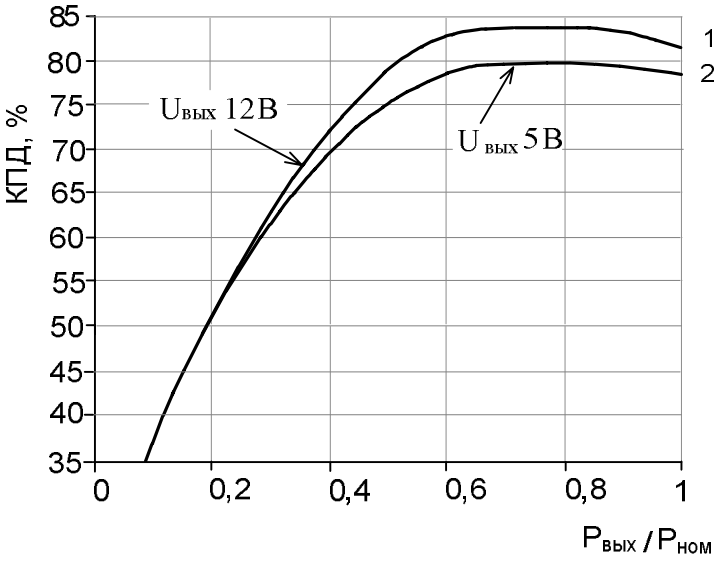


Рис. 3.2 График зависимости КПД модуля МДМ7,5-1 с различными выходными напряжениями от нагрузки при входном напряжении 27 В.

По известным значениям R_θ и $P_п$ по формуле (3) можно рассчитать температуру перегрева $\Delta\theta$ и определить температуру окружающей среды $\theta_{ср}$, при которой модуль может работать без радиатора:

$$\theta_{ср} = \theta_{к\ макс} - \Delta\theta, \qquad (5)$$

где $\theta_{к\ макс}$ – максимально допустимая температура корпуса модуля

Пример 1.

Определить максимальную выходную мощность $P_{вых\ max}$ модуля МДМ7,5-1В12М, преобразующего напряжение 27 В в 12 В при температуре окружающей среды 70 °С.

По формуле (5) с учетом выражений (3) и (4) получаем:

$$P_{вых\ max} = \frac{\theta_{к\ max} - \theta_{ср}}{R_\theta \cdot (1/\eta - 1)}, \qquad (6)$$

Из datasheet на модуль МДМ7,5-1В12М имеем

$\theta_{к\ max} = 85$ ºС; $R_\theta = 10{,}5$ ºС / Вт; $\eta = 0{,}81$;

$$P_{вых\ max} = \frac{85 - 70}{10{,}5 \cdot (1/0{,}81 - 1)} = 6{,}1\ [Вт]$$

Тепловые графики, приведенные в datasheet, также позволяют решить эту задачу. Эти графики показывают, как меняется допустимая мощность на выходе модуля в зависимости от внешней температуры. До температуры среды $\theta_{ср}$, равной

$$\theta_{ср} = \theta_{к\ max} - P_{ном} \cdot R_\theta \cdot (1/\eta - 1) \qquad (7)$$

график идет параллельно оси абсцисс с ординатой $P_{ном}$, где $P_{ном}$ – номинальная выходная мощность. Далее допустимая выходная мощность начинает снижаться и становится равной нулю при температуре $\theta_{ср} = \theta_{к\ max}$. Наиболее часто в datasheet ниспадающий участок графика представлен прямой, соединяющей эти две точки. Прямая является приближенным решением уравнения:

$$\theta_{к\ max} = \theta_{ср} + P_{вых} \cdot R_\theta \cdot (1/\eta - 1), \qquad (8)$$

так как параметр η - нелинейный и зависит от выходной мощности.

Аппроксимирующая прямая 1 на рис. 3.3 дает хорошее совпадение с реальной только для значений выходной мощности в диапазоне от $0{,}5P_{ном}$ до $P_{ном}$, когда изменения КПД незначительны. Для малых выходных мощностей допустимое значение температуры $\theta_{ср}$ необходимо считать по формуле (7). Для подтверждения этого вывода на рисунке 3.3 приведена кривая 2, которая построена по формуле (7), для десяти значений $P_{вых}$ в диапазоне от $0{,}1P_{ном}$ до $P_{ном}$.

Для каждого значения мощности $P_{вых}$ рассчитывалась мощность потерь по формуле (4), при этом был использован график зависимости КПД данного модуля от нагрузки (рис. 3.2), а затем определяли температуру перегрева по формуле (3). Из сравнения тепловых графиков

видно, что определение допустимой температуры среды $\theta_{ср}$ в диапазоне малых мощностей по аппроксимирующей прямой приводит к значительным ошибкам. Разработчики, которые используют модули при малых нагрузках, не учитывают значительное уменьшение КПД, и модули могут перегреваться.

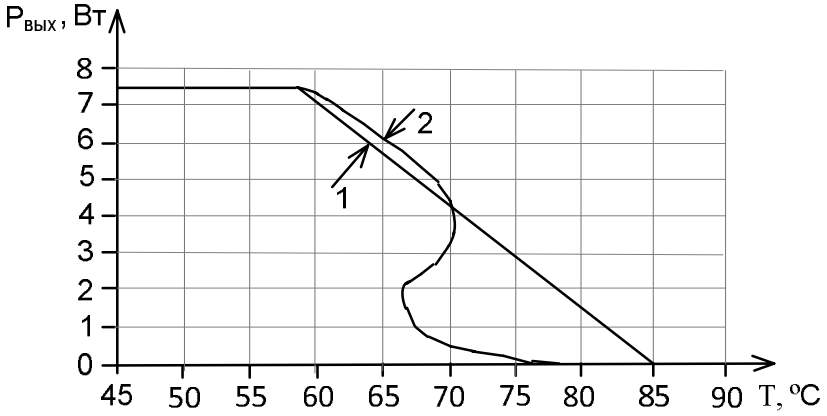


Рис. 3.3 Тепловой график модуля МДМ7,5

Тепловые графики показывают, что в широком диапазоне температур модули мощностью до 30 Вт могут быть использованы без радиатора при номинальной мощности или при ее незначительном уменьшении. Модули большей мощности требуют установки на теплоотводы с плотным прилеганием через теплопроводящую пасту (рис. 3.4).

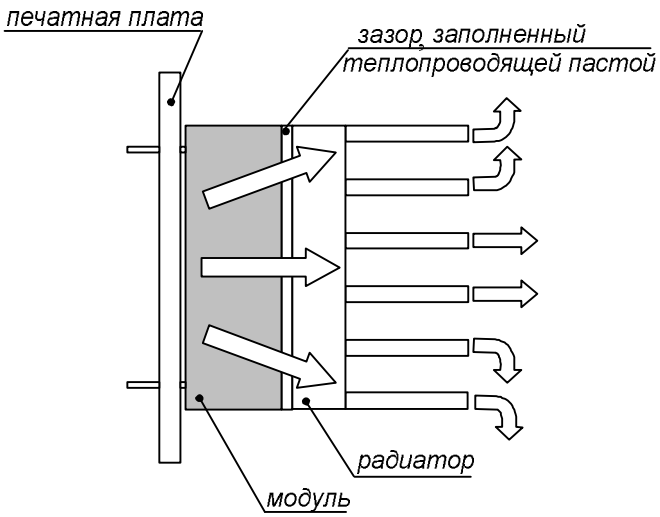
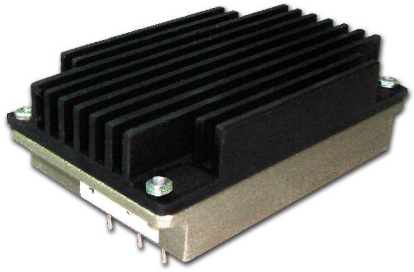
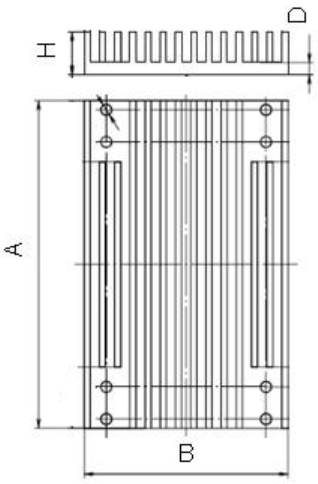


Рис. 3.4

Допускается установка модулей на теплоотводы любой конструкции. Необходимая площадь поверхности теплоотвода, обеспечивающая допустимый перегрев, зависит от многих факторов: высоты ребер радиатора, расстояния между ребрами, толщины основания и пр. Тепловые расчеты в этих условиях крайне сложны. Целесообразно для модулей использовать специальные радиаторы. Предприятие выпускает радиаторы для применения вместе с модулями (таблица 3.1), размеры основания которых соответствуют размерам модуля (рис. 3.5), радиаторы типа А с высотой ребра H = 10 мм и радиаторы типа Б с H = 20 мм, для которых экспериментально определены значения теплового сопротивления. $R_{\theta MP}$ (таблица 3.1). Также для сравнения приведены значения теплового сопротивления модуля $R_{\theta M}$.





а) б) в)

Рис. 3.5. Модуль МДМ30 с радиатором А (а) и с радиатором Б (б), габаритный чертеж (в)

Таблица 3.1 – Тепловое сопротивление модулей с радиаторами, рекомендуемыми для применения:

Тип, габариты модулей	Тепловое сопротивление модуля, $R_{\theta M}$, °С/Вт	Децимальный номер радиатора	Тип А		Тип Б	
			S, $см^2$	Тепловое сопротивление модуля с радиатором $R_{\theta MPA}$, °С/Вт	S, $см^2$	Тепловое сопротивление модуля с радиатором $R_{\theta MPБ}$, °С/Вт
МДМ5-П, МДМ3-ЕП, МДМ5-ЕП, МДМ8-ЕП 30×20×10, 30×20×8	16	БКЮС.752695.412	46	13,5	71	10
МДМ7,5-П, МДМ10-ЕП 40×30×10	12	БКЮС.752695.404	57	10,6	83	7,5
МДМ7,5; МДМ15-П, МДМ20-ЕП 47,5×33×10	10,5	БКЮС.752695.262	125	7,6	208	5,3
МДМ15, МДМ30-П, МДМ40-ЕП 57,5×40×10	9,5	БКЮС.752695.263	180	5,4	305	3,6
МДМ30, МДМ60-П, МДМ80-ЕП 72,5×52,5×12,7	6	БКЮС.752695.264	277	3,5	373	2,9
МДМ60 , МДМ120-П, МДМ160-ЕП 95×67,5×12,7	3,5	БКЮС.752695.265	432	2,2	737	1,5
МДМ120, МДМ240-П, МДМ320-П 110×84×12,7	2,5	БКЮС.752695.266	587	1,6	1009	1,1
МДМ480-П 127×97×12,9	1,8	БКЮС.752695.414	663	0,9	1191	0,5

Существует ряд применений, для которых оправдана разработка сверхминиатюрных модулей с удельной мощностью 3000…5000 Вт/$дм^3$. Это, прежде всего, случай, когда в электронной аппаратуре имеется корпусной теплоотвод значительной площади, на который можно установить модуль, такие модули предпочтительны для бортовой аппаратуры, имеющей

ограниченное время работы после пуска, или при работе в режимах кратковременной отдачи максимальной мощности, и, конечно, в условиях принудительной вентиляции, когда тепловое сопротивление уменьшается в три и более раз.

Тепловой расчет модуля, установленного на стенке корпуса

Рассмотрим случай, когда стенка корпуса РЭА используется в качестве теплоотвода.

С целью упрощения расчета температуры модуля, расположенного на стенке корпуса, прямоугольное основание модуля с размерами ℓ_1, ℓ_2 и пластина стенки с размерами L_1, L_2 заменяются эквивалентными дисками с размерами r_0 и R_0 (см. рис. 3.6),

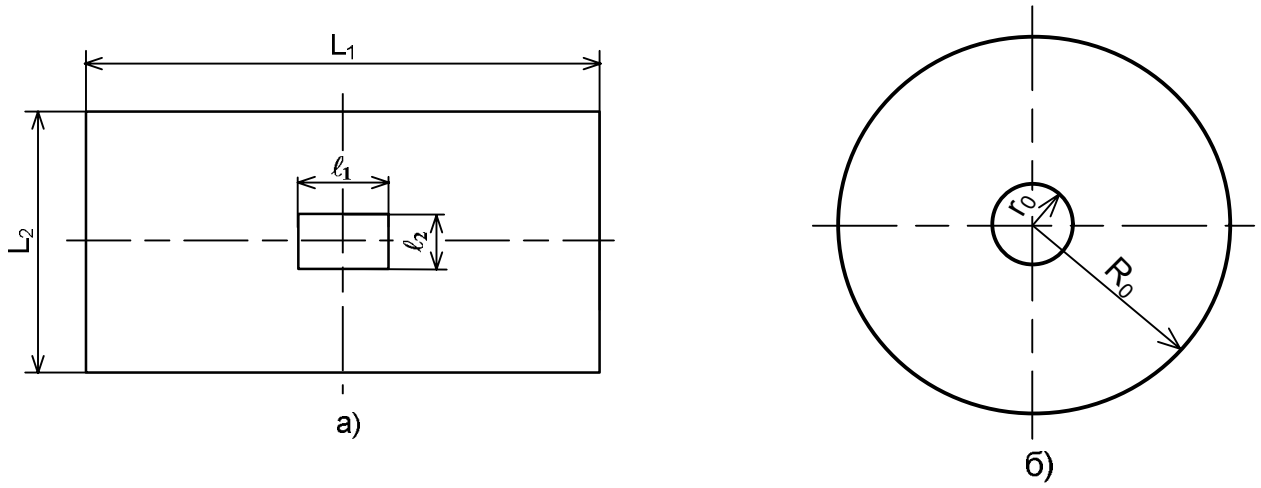


Рис. 3.6

Рассчитывается тепловой коэффициент F, определяющий зависимость между мощностью потерь в модуле и температурой перегрева

$$F = 0{,}5\ \varphi / \lambda \cdot \delta, \qquad (9)$$

где

$$\varphi = 0{,}64 \cdot [\lg(R_0 / \gamma\ r_0) + 1/\gamma^2 - 0{,}25], \qquad (10)$$

λ, δ - коэффициенты теплопроводности и толщина пластины.

Коэффициент φ зависит от безразмерных параметров

$$\gamma = \sqrt{B_i \cdot K_ц}, \qquad (11)$$

$$r_0 / R_0 = a \cdot \ell_2 / L_1, \qquad (12)$$

где

$$Bi = \alpha_0 \cdot L_1^2 / \lambda \cdot \delta, \qquad (13)$$

$$K_ц = L_2 / \pi L_1 , \quad (14)$$

$$a = 1 / \sqrt{1 + (L_2 / L_1)^2} \quad (15)$$

α_0 – коэффициент теплоотдачи стенки.

Определяется температура перегрева модуля.

$$\Delta\theta = \theta_к - \theta_{ср} = F \cdot P_п, \quad (16)$$

где $\theta_к$ – температура корпуса модуля,

$\theta_{ср}$ – температура окружающей среды

Пример 2.

В центре прямоугольной дюралюминиевой стенки кожуха (λ = 170 Вт / м · °С) с размерами L_1 = 28 см, L_2 = 17 см, δ = 4 мм смонтирован модуль МДМ15-1В05М. Между стенками и средой происходит естественная конвекция, коэффициент теплоотдачи поверхности α_0 = 16 Вт / м^2 · °С. Найти температуру модуля, когда мощность потерь в нем составляет 3,2 Вт.

Решение:

1. По формулам (15) и (14) определяем параметры а и $K_ц$

$$a = 1 / \sqrt{1 + (17 / 28)^2} = 0,86$$

$$K_ц = 17 / 28\pi = 0,19$$

2. По формулам (13), (11) находим критерий Bi и γ:

$$Bi = 16 \cdot (0,28)^2 / 170 \cdot 4 \cdot 10^{-3} = 1,85;$$

$$\gamma = \sqrt{1,85 \cdot 0,19} = 0,59$$

3. По формуле (12) рассчитываем отношение:

$$r_0 / R_0 = 0,86 \cdot 4 / 28 = 0,123$$

4. По формуле (10) находим критерий

$$\varphi = 0,64 \cdot [\lg(1 / 0,123 \cdot 0,59) + 1 / 0,59^2 - 0,25)] = 3,9$$

5. По формулам (9) и (16) находим тепловой коэффициент F и температуру перегрева модуля $\Delta\theta$:

$$F = 0,5 \cdot 3,9 / 17 \cdot 4 \cdot 10^{-3} = 2,8 \text{ °С / Вт}$$

$$\Delta\theta = 2,8 \cdot 3,2 = 9 \text{ °С}$$

Программа, реализующая расчет, приведена на сайте предприятия www.aeip.ru

Тепловой расчет модуля после включения

Рассмотрим работу модуля без радиатора после включения. Определим время, которое модуль может работать без превышения максимальной температуры.

Повышение температуры модуля $\Delta\theta_м$ после включения происходит по экспоненте.

$$\Delta\theta_м = P_п \cdot R_\theta (1 - e^{-t / T}), \quad (17)$$

где $P_п$ – мощность потерь в модуле (Вт), определяется в соответствии с

$P_п = P_{вых} \cdot (1/\eta - 1)$,

R_θ – тепловое сопротивление (ºС / Вт), которое приводится в datasheet,

$T = C_o \cdot M \cdot R_\theta$ – временная тепловая постоянная (18)

C_o, M – удельная теплоемкость и масса

Температура модуля после включения изменяется от значения температуры среды $\theta_{ср}$ до максимального значения $\theta_{макс}$ (Рис. 3.7),

$$\theta_{макс} = \theta_{ср} + \Delta\theta_у \quad (19)$$

где $\Delta\theta_у = P_п \cdot R_\theta$ – установившаяся температура перегрева модуля

В момент $t_{бр}$ температура модуля без радиатора (бр) достигает предельно допустимой рабочей температуры $\theta_{рм.}$

$$\Delta\theta = \Delta\theta_у (1 - e^{-t\,бр / T}), \quad (20)$$

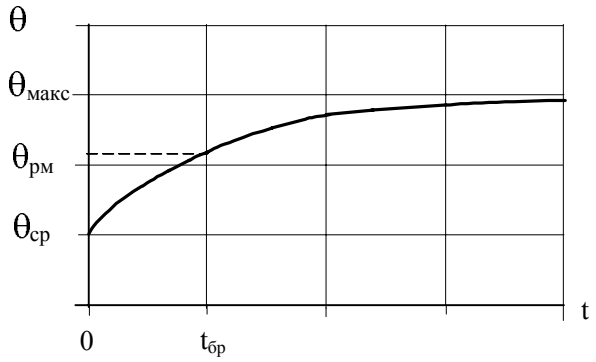
где $\Delta\theta$ – допустимое значение перегрева модуля

$$\Delta\theta = \theta_{рм} - \theta_{ср} \quad (21)$$

Решим уравнение (20) относительно $t_{бр}$

$$t_{бр} = T \cdot \ln (\Delta\theta_у / (\Delta\theta_у - \Delta\theta)) \quad (22)$$

В уравнении (22) все величины известны, кроме удельной теплоемкости C_o модуля, которая входит в выражение (18) для временной тепловой постоянной T. В справочниках приводятся только значения C_o для конкретных материалов, в то время, как модуль состоит из различных материалов и электронных компонентов.



Изменение температуры модуля после включения

Рис. 3.7

На предприятии выполнено экспериментальное определение значения C_o и установлено, что $C_o \sim 1050$ Вт сек / кг ºС.

Это значение несколько выше удельной теплоемкости алюминия (C_o = 890) и ниже удельной теплоемкости компаунда (C_o = 2000). Именно эти материалы определяют основную массу модуля.

Пример 3

Определить время работы модуля МДМ120–П после включения на нагрузку 120 Вт при температуре среды $\theta_{ср}$ = 35 ºС. Выписываем основные характеристики МДМ120-П из datasheet. Тепловое сопротивление R_θ = 3,6 ºС/Вт, масса М = 0,15 кг, η = 0,82, предельно допустимая рабочая температура $\theta_{рм}$ = 85 ºС, удельная теплоемкость C_o = 1050 Вт сек / кг ºС.

Определяем мощность потерь:

$P_п = P_{вых} \cdot (1/\eta - 1)$,

По формуле (19) определяем установившееся превышение температуры корпуса модуля над температурой окружающей среды:

$\Delta\theta_у = P_п \cdot R_\theta = 26,3 \cdot 3,6 = 94,8$ ºС

По формуле (18) рассчитываем тепловую постоянную времени:

$T = C_o \cdot M \cdot R_\theta = 1\,050 \cdot 0,15 \cdot 3,6 = 567$ сек.

Определяем из (21) допустимый перегрев модуля:

$\Delta\theta = \theta_{рм} - \theta_{ср} = 85 - 35 = 50$ ºС.

Подставляем найденные значения в уравнение (22) и вычисляем значение времени работы модуля без радиатора после включения:

$t_{бр} = T \cdot \ln(\Delta\theta_у / (\Delta\theta_у - \Delta\theta)) = 567 \cdot \ln(94,8 / (94,8 - 50) = 425$ сек.

Тепловой расчет модуля при кратковременном режиме отдачи максимальной мощности

Достаточно часто модуль питает аппаратуру, которая потребляет мощность в виде импульсов длительностью τ, которые повторяются с периодом T_u (см. рис. 3.8).

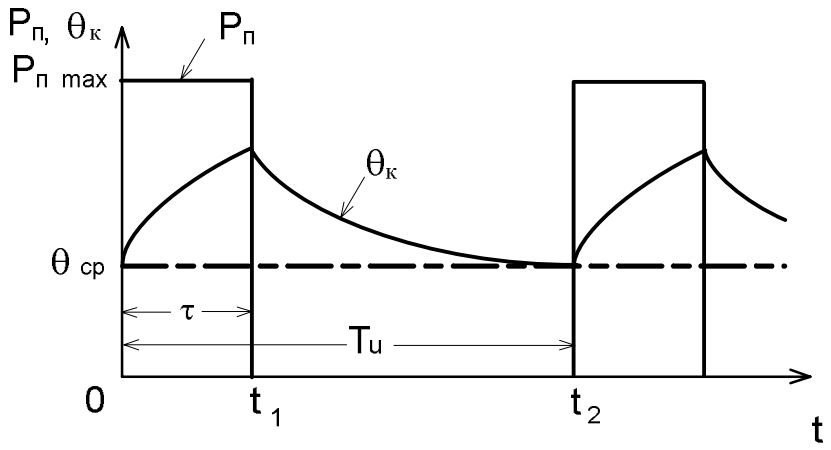


Рис.3.8

Изменение температуры модуля в режиме импульсной нагрузки можно вычислить по формулам Граннемана:

$\theta_к = \theta_{ср} + (P_{п\,max} - P_{п\,ср}) \cdot R_\theta \cdot (1 - e^{-t/T}), \quad 0 \le t \le t_1$ (23)

$\theta_к = \theta_{к\,max} + P_{п\,ср} \cdot R_\theta\,(1 - e^{-(t - t1)/T}), \qquad t_2 \ge t \ge t_1$ (24)

где $P_{п\,ср} = P_{п\,max} \cdot \tau / T_u$, (25)

$\theta_{ср} = P_{ср} \cdot R_\theta$ (26)

где $T = C_o \cdot M \cdot R_\theta$ – временная тепловая постоянная (27)

C_o, M– удельная теплоемкость и масса

Пример 4

Определить максимальную температуру модуля МДМ120-1В12, работающего на нагрузку, мощность в импульсе 120 Вт, длительность τ = 600 сек, длительность периода повторения T_u = 50 мин. Из datasheet на модуль МДМ120-1В12 находим: R_θ = 3 °С / Вт;

η = 0,85; M = 0,24 кг; C_o = 1050 Вт сек / кг ºС,

По формулам (4), (25), (26), (27) определяем параметры:

$T = 1050 \cdot 0{,}24 \cdot 3 = 756$ сек

$P_{п\,max} = 120 \cdot (1 / 0{,}85 - 1) = 21$ Вт

$P_{п\,ср} = 21 \cdot 600 / 3000 = 4{,}2$ Вт

$\theta_{ср} = 4{,}2 \cdot 3 = 12{,}6$ °С

Температуру θ_{max} вычисляем по формуле (23) для момента $t = \tau$

$\theta_{к\,max} = 12{,}6 + (21 - 4{,}2) \cdot 3 \cdot (1 - e^{-600/756}) = 40{,}2$ °С

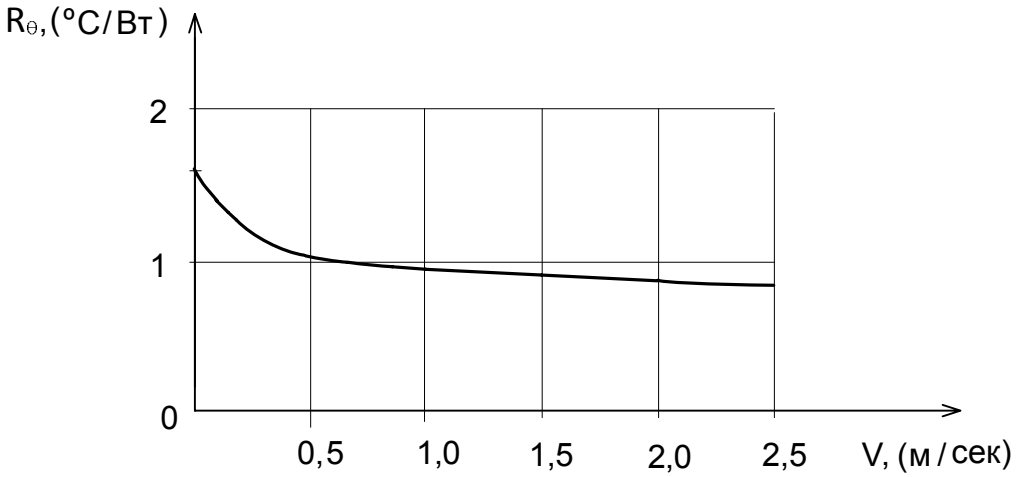


Рис. 3.9 Тепловое сопротивление модуля МДМ120 с радиатором типа А при вентиляторном охлаждении

Принудительное охлаждение

Диапазон работы модуля может быть расширен, если применить принудительное охлаждение. Наиболее эффективно тепловое сопротивление снижается при увеличении скорости воздушного потока до 0,5 м/сек (перемешивания воздуха). Уже при скорости 1,5 м/сек начинается срыв воздуха с поверхности модуля и тепловое сопротивление остается практически постоянным. В качестве подтверждения на рисунке 3.9 приведен график зависимости теплового сопротивлений модуля МДМ120 с радиатором типа А от скорости воздушного потока.

Таким образом, успешное решение вопроса эффективности устройств охлаждения невозможно без учета конструктивных особенностей аппаратуры и режимов её эксплуатации.

4 Электробезопасность

Требования безопасности модулей должны соответствовать КД на модули и ГОСТ В 24425-90.

Электрическое сопротивление изоляции цепей модулей, не имеющих гальванической связи между собой, а также между токоведущими цепями и корпусом должно быть не менее:

в НКУ - 20 МОм;

при повышенной влажности - 1 МОм;

при повышенной температуре - 5 МОм.

Значение напряжения постоянного тока для измерения сопротивления изоляции равно:

100 В - для модулей МДМ, МДМ-П, МДМ-ЕП,

500 В - для модулей МДМ-М, МДМ-МП.

Для модулей МДМ, МДМ-П, МДМ-ЕП электрическая прочность изоляции токоведущих цепей модулей, не имеющих гальванической связи между собой, и токоведущих цепей относительно корпуса должна обеспечивать отсутствие пробоев и поверхностных перекрытий при воздействии переменного напряжения частотой 50 Гц с амплитудным значением:

в НКУ - 0,5 кВ;

при повышенной влажности - 0,3 кВ;

Для модулей МДМ-М, МДМ-МП электрическая прочность изоляции между входными цепями и корпусом и между входными цепями и выходными цепями должна обеспечивать отсутствие пробоев и поверхностных перекрытий при воздействии переменного напряжения частотой 50 Гц с амплитудным значением:

в НКУ – 1,5 кВ;

при повышенной влажности – 0,7 кВ;

а между входными цепями и корпусом:

в НКУ – 0,5 кВ;

при повышенной влажности – 0,3 кВ.

Время приложения испытательного напряжения 1 мин.

5 Надежность

Показатели надежности:

срок службы, $T_{сл}$, лет 15

гамма-процентный ресурс , $T_р$, ч 150000 (γ = 97,5 %)

Гамма-процентная наработка до отказа T_γ при γ = 97,5 %, в типовом режиме эксплуатации, в пределах срока службы 15 лет, должна быть не менее 100000 часов.

Характеристики типового режима:

$U_{вых}$ = 27 В;

$I_{вых}$ = $I_{вых\ ном}$;

температура корпуса 85 ºС.

Гамма-процентный срок сохраняемости $T_{c\gamma}$ при $\gamma = 97{,}5$ % при хранении модулей питания в упаковке поставщика в условиях отапливаемых хранилищ или вмонтированных в аппаратуру, а также в защищенном комплекте ЗИП, составляет 15 лет.

Гамма-процентный срок сохраняемости модулей питания в неотапливаемых хранилищах или под навесом должен быть не менее 10 лет. Хранение модулей питания на открытой площадке не допускается.

В настоящее время среди расчетных параметров надежности наиболее часто используется средняя наработка.

Модули являются элементами, которые отказывают и не восстанавливаются, и в соответствии с ГОСТ 27.002-89 к ним применяется понятие средняя наработка до отказа – время от начала эксплуатации до первого отказа. Это понятие имеет международное обозначение MTTF (mean time to feature). Для наиболее распространенной модели надежности, предполагающей экспоненциальные распределения, т.е. постоянную интенсивность отказов, справедливо соотношение:

T_0 (MTTF) = $1/\lambda$

$T_0 = 1/\Sigma\, \lambda_{э\,i}$,

где $\lambda_{э\,i\,max}$ – интенсивность отказов i-го ЭРИ.

Расчетные значения наработки до отказа модулей питания серии МДМ приведены в таблице 5.1.

Расчет проведен согласно ГОСТ РВ 20.57.304-98 «Методы оценки соответствия требованиям по надежности». Для расчета использовались электрические принципиальные схемы, перечень элементов, приведенный в КД на модули и справочник.

Таблица 5.1 Значения наработки до отказа модулей питания серии МДМ

Наименование модуля	Расчетная наработка до отказа. T_0 (ч)				Температура окружающей среды, ºС
	Классы аппаратуры по ГОСТ РВ 20.39.304				
	1.3	2.2	3.3	4.6	
МДМ7,5-1	464878	273380	97858	197984	105
МДМ7,5-2	473686	283607	101163	208533	
МДМ15-1	426166	259161	92712	186351	
МДМ15-2	446428	269084	96329	192652	
МДМ30-1	407133	234296	84320	169839	
МДМ30-2	400737	236043	85234	169949	
МДМ60-1	267838	163899	59893	118052	
МДМ120-1	226978	143297	52991	100800	

Оценить надежность модуля для других температур можно по следующему критерию: интенсивность отказов увеличивается примерно в 2 раза при повышении температуры на 15 ºС.

Кроме температуры на значение T_0 влияет коэффициент нагрузки (Кн).

Для модулей зависимости интенсивности отказов в функции времени при разных коэффициентах $К_н$ показана на рис. 5.1.

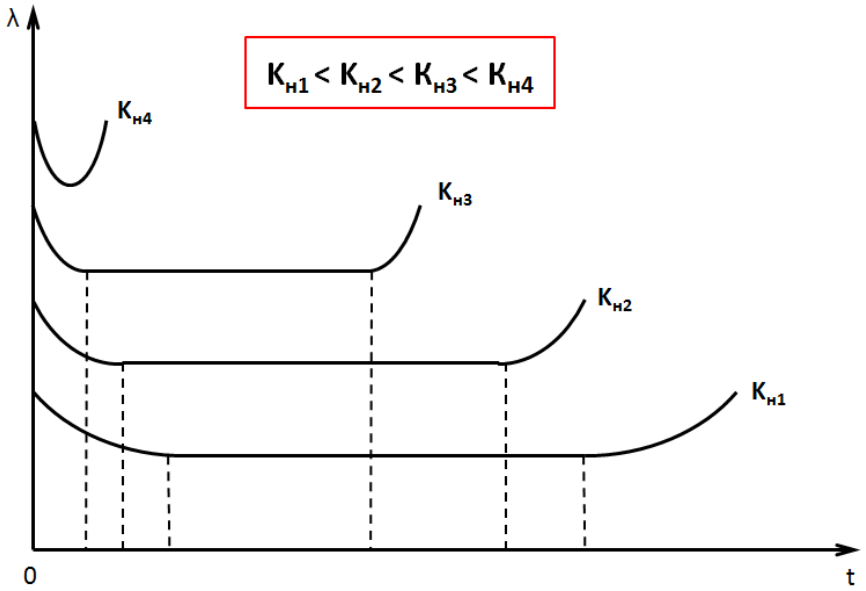


Рис. 5.1. График зависимости интенсивности отказов при разных коэффициентах нагрузки Кн.

Из графиков следует, что с увеличением коэффициента нагрузки кривая λ = f(t) смещается вверх влево. При этом участок нормальной работы сокращается до нуля.

На графике (Рис. 5.1) показана качественная картина изменения интенсивности отказов в зависимости от коэффициента нагрузки.

Рекомендуется использовать модули с коэффициентом загрузки не более 0,7.

6 Указания по применению модулей в радиоэлектронной аппаратуре (РЭА)

Эксплуатация модулей должна осуществляться с учетом требований по защите от статического электричества в соответствии с ОСТ 11 073.062-2001 для степени жесткости III.

Установку модулей и способ их крепления в РЭА необходимо производить с учетом механических нагрузок, в которых работает аппаратура, и обеспечения отвода тепла.

Модули, имеющие резьбовые втулки или фланцы, могут крепиться к плате и к теплоотводу винтами. При монтаже момент затяжки винтов должен быть не более 6 кгс·см для резьбы М3 и не более 4 кгс·см для резьбы М2,5. Для исключения деформации печатной платы, затяжку винтов следует производить по диагонали с поочередным увеличением усилия.

Необходимо учитывать особенности конструкции модулей при их креплении в аппаратуре. В основе конструкции лежит печатная плата с элементами для поверхностного монтажа, размещенная и залитая эластичным компаундом в тонкостенном алюминиевом корпусе. Со стороны выводов на модули устанавливают печатную плату «дно». Недопустимо приложение механических усилий при креплении модуля хомутом, планкой, радиатором и т.п. к печатной плате «дно».

В условиях механических воздействий модули, не имеющие резьбовых втулок или фланцев, рекомендуется подклеивать к печатной плате или элементам конструкции клеями-демпферами (например, КВК-68). Допускается наносить клей-демпфер на открытое дно корпуса со стороны выводов.

При установке модулей допускается:

- незначительный изгиб выводов, возникший в процессе установки модулей в антистатическую прокладку;

- обрезка выводов на расстоянии не менее 3 мм от плоскости компаунда;

- одноразовый изгиб выводов на угол не более 90° от первоначального положения в плоскости, перпендикулярной плоскости основания корпуса, на расстоянии не менее 5 мм от корпуса с радиусом изгиба не менее 1,7 диаметра вывода.

При обрезке, изгибе и формовке выводов необходимо применять специальные шаблоны, а также обеспечивать неподвижность выводов между местом изгиба и корпусом модуля. Кручение выводов вокруг оси не допускается.

Пайку выводов модулей рекомендуется производить электропаяльником мощностью не более 60 Вт при температуре не более 260 °С в течение не более 5 сек на один вывод. Допускается пайка выводов не более 3 раз на расстоянии не менее 2 мм от корпуса. Пайку гибкого проводника к корпусу модуля или пайку корпуса модуля к заземляющему проводнику рекомендуется производить электропаяльником мощностью 80 Вт при температуре не более 350 °С в течение не более 30 сек. Пайку гибкого проводника рекомендуется производить к боковой поверхности корпуса модуля.

Допускается при проведении входного контроля, технологических проверок, лабораторных испытаний осуществлять подключение пайкой в течение 2 сек на один вывод.

Для входного контроля рекомендуется использовать стенд проверочный БКЮС.441461.112 и БКЮС.441461.114, поставляемый предприятием-производителем модулей.

Запрещается производить монтаж и подключение модулей к электрическим цепям, находящимся под напряжением.

При применении модулей питания в условиях воздействия повышенной влажности, соляного (морского) тумана, агрессивных сред, статической, динамической пыли и песка, плесневых грибов рекомендуется дополнительная герметизация модулей лаком УР-231 ТУ 6-10-863-84 или ЭП-730 ГОСТ 20824-81 в три слоя.

Основные схемы включения

Для исключения резонансных явлений в цепях питания на частоте пульсаций необходимо шунтировать входные и выходные цепи каждого модуля керамическими конденсаторами $C_{вх}$, $C_{вых}$ типа К10-47в (предпочтительно) или К10-47а в соответствии со схемами, приведенными на рис.6.1.

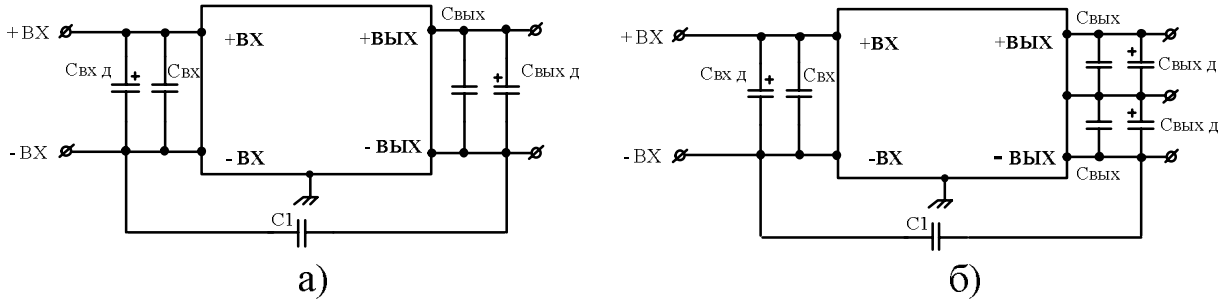


Рис. 6.1 (а, б) Рекомендуемые схемы включения модулей

Емкости конденсаторов $C_{вх}$ и $C_{вых}$ выбираются согласно таблице 6.1. При работе модуля на динамическую нагрузку с целью уменьшения динамической нестабильности рекомендуется параллельно конденсаторам $C_{вх}$ и $C_{вых}$ подключать танталовые электролитические конденсаторы $C_{вх\ д}$ и $C_{вых\ д}$ типа К53. При этом произведение $U_{вых.} \times C_{вых\ д}$ должно быть не более указанного в таблице 6.1 (для двухканального модуля эта величина в два раза меньше по каждому из каналов), величина емкости $C_{вх\ д}$ не ограничена. Конденсаторы должны быть расположены в непосредственной близости от выводов модуля на расстоянии не более 10 мм.

Таблица 6.1

Тип модуля	Свх, Свых, мкФ	Uвых ×Свых д, В×мкФ
МДМ5; МДМ7,5	0,47 – 1,5	500
МДМ15	1 – 3	1000
МДМ30	1 – 3	2500
МДМ60, МДМ120	2,2 – 6,8	5000
МДМ240, МДМ480	2,2 – 6,8	5000
Примечание - Указанные в таблице значения справедливы для одноканальных, двухканальных или трехканальных модулей любого исполнения (У, П, УП).		

В случаях питания аппаратуры, чувствительной к импульсам на частоте пульсаций, для повышения электромагнитной совместимости может устанавливаться конденсатор С1 емкостью 3,3…15 нФ (рис. 6.1), соединяющий выводы $U_{вх}$ и $U_{вых}$ или «Общ». Целесообразность установки конденсатора определяется в процессе отработки аппаратуры.

При наличии протяженных линий связи (длиной более 2 см) выхода и входа модуля до разъемов, выходных и входных колодок, до питаемых функциональных узлов необходимо устанавливать керамические конденсаторы соответствующего напряжения на пути следования линий связи, например, на контактах разъемов и в цепях электропитания функциональных узлов (рис. 6.2). Керамические конденсаторы С устанавливать типа К10-47в (предпочтительно), К10-47а. Емкость конденсаторов 0,47-1,5 мкФ соответствующего напряжения.

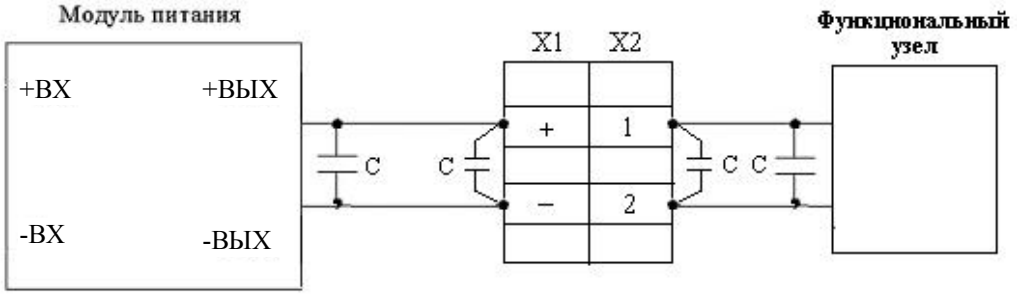


Рис. 6.2 Подключение модуля через разъем

Необходимо обращать внимание на правильность разводки печатных плат или правильность подключения объемных проводников (рис. 6.3). Силовые цепи и цепи управления

аппаратуры необходимо развести как можно дальше друг от друга на плате или в пространстве. Не рекомендуем размещать под модулем каких-либо проводников, чтобы исключить возможность наводок от модуля в цепи управления аппаратуры. Для большинства применений полезным является заземление корпуса модуля через вывод «Корпус», если он предусмотрен, через гибкий проводник, припаянный к корпусу модуля или через резьбовые втулки корпуса, возможна также пайка корпуса модуля непосредственно к заземляющему проводнику.

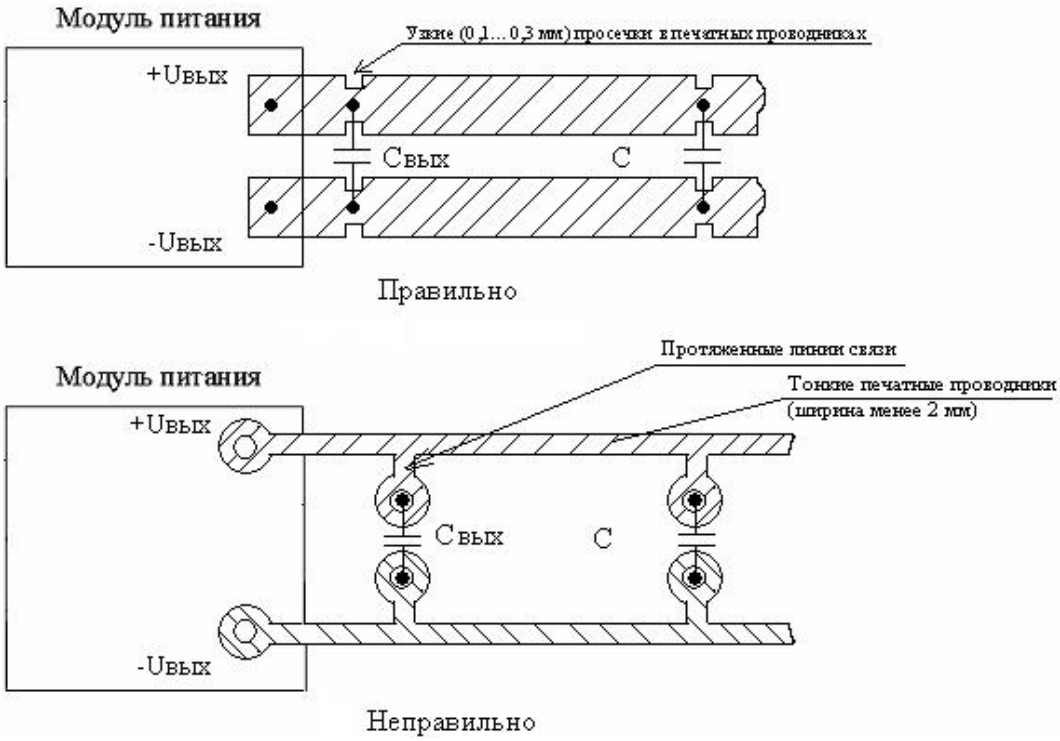


Рис.6.3 Рекомендации по разводке печатных плат

Электромагнитная совместимость

Для того, чтобы обеспечить требования по радиопомехам в соответствии с ТУ необходимо установить на вход и выход модулей дроссели L индуктивностью более 1 мГн на ферритовых сердечниках с $\mu > 6000$, а также на вход конденсаторы С2, С3 емкостью 3,3…15 нФ (рис. 6.4). Емкость конденсаторов $C_{вх}$ и $C_{вых}$ выбирается из таблицы 6.1. В качестве помехоподавляющих дросселей L рекомендуется использовать, выпускаемые предприятием дроссели ДФ БКЮС.670109.001 ТУ, ДФ, ДФК БКЮС.670109.002 ТУ, ДФ, ДФК БКЮС.670109.002-01 ТУ.

Для уменьшения уровня радиопомех также применяются модули защиты и фильтрации (МЗФ), которые выпускаются предприятием для двухпроводных сетей с изолированными шинами питания МРМ, МРР, так и для однопроводных сетей с общей шиной МРО.

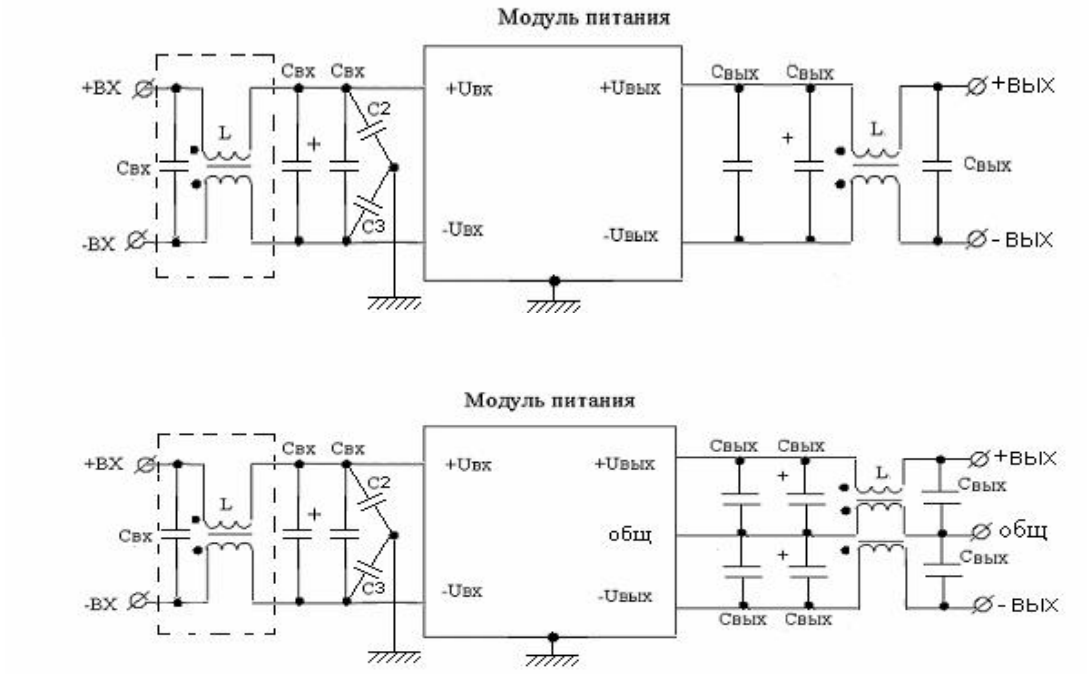


Рис. 6.4 Включение фильтров радиопомех в модулях

Основные характеристики модулей защиты и фильтрации приводятся ниже.

Диапазон входного напряжения/переходное отклонение (1 сек):

27 В.....0…40
60 В.....0…84

Коэффициент ослабления радиопомех в диапазоне частот, дБ: для МРМ (МРО)

0,15…0,3 МГц ..... ≥ 30 (30)
0,3…1,0 МГц ..... ≥ 40 (40)
1,0…10 МГц..... ≥ 60 (40)
10…30 МГц..... ≥ 50 (30)
30…60 МГ……..≥ 45
60…100 МГц……..≥ 40

Падение напряжения на модуле,
% $U_{вх\ ном.}$..... ≤1 (0,5)

Температура (рабочая и хранения), ºС
среды..... -60…85
корпуса..... -60…85

Повышенная влажность, %100 при 35ºС

Прочность изоляции для МРМ:
напряжение (ампл. значение), В:
±вх/корп, -±вых/корп..... ~500
Сопротивление изоляции, МОм.....≥20

Наработка до отказа, ч.
при 70 ºС..... 150 тыс.
при 85 ºС..... 100 тыс.

Способы охлаждения .....
естественная конвекция/радиатор

Материал корпуса …….металл

Модули МРМ, МРР (МРО) имеют малые габариты и массу (таблица 6.3).

Таблица 6.3

Наименование модуля	Проходной ток, А	Габаритные размеры, мм		Масса не более, г
		Типовой корпус	Усиленный корпус с фланцами	
МРМ1, МРО1	2,5	30 × 20 × 10	40 × 20 × 10	20
МРМ2,(МРО2	5	40 × 30 × 10	50 × 30 × 10	30
МРМ3, МРО3	10	47,5 × 33 × 10	57,5 × 33 × 10	40
МРМ4, МРО4	20	57,5 × 40 × 10	67,5 × 40 × 10	60
МРО5	40	72,5 × 52,5 × 12,7	84,5 × 52,5 × 12,7	90
МРР3	60	-	168 × 61 × 22	380
МРР4	120	-	175 × 97 × 33,5	700

МЗФ могут устанавливаться, как на входе, так и на выходе модулей (Рис. 6.5, 6.6).

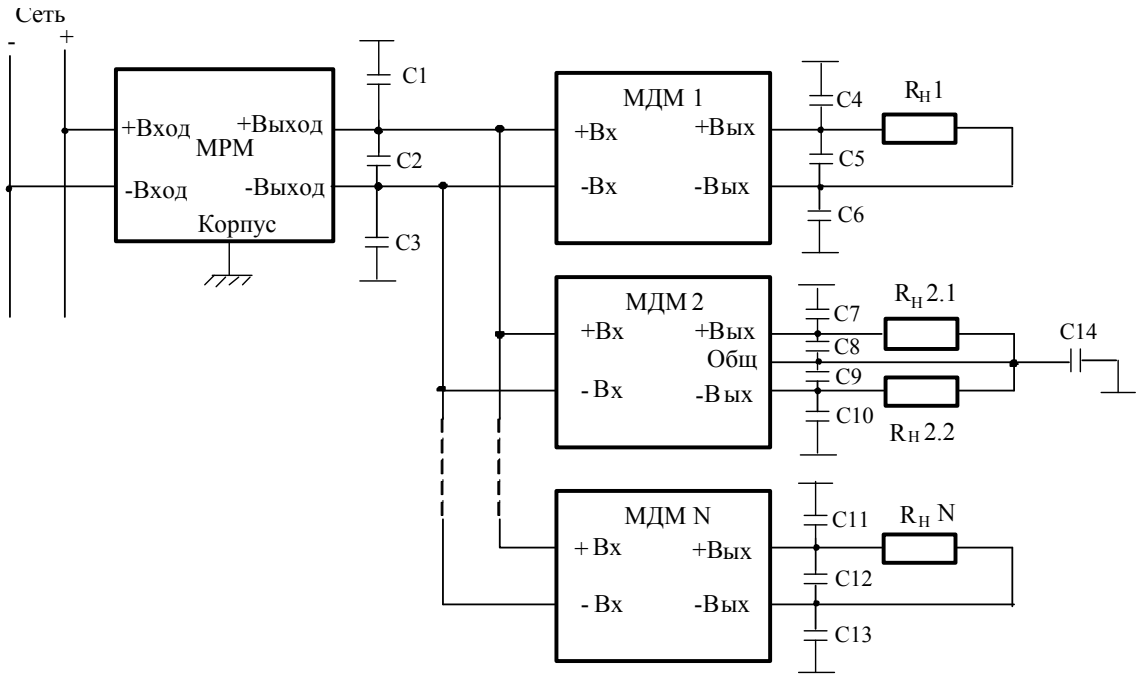


Рис. 6.5 Схема включения модуля питания с модулем защиты и фильтрации МРМ, МРР на входе

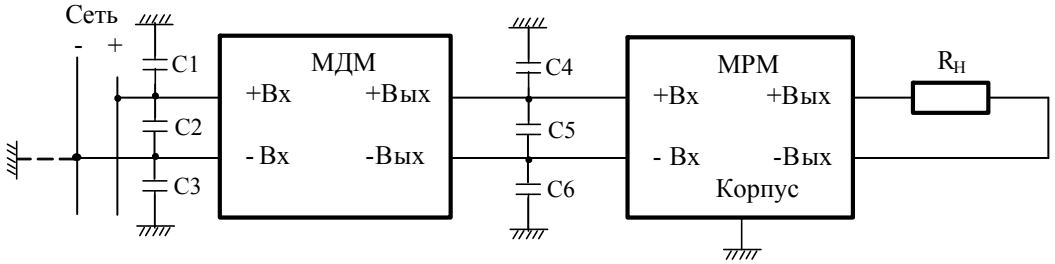


Рис. 6.6 Схема включения модуля питания с модулем защиты и фильтрации МРМ, МРР на выходе

При использовании МЗФ серии МРМ, МРР совместно с модулем необходима установка внешних дополнительных керамических конденсаторов, например, К10-47б или К10-47а. Емкость конденсаторов выбирается согласно таблице 6.4.

Таблица 6.4.

Проходной ток фильтра, А	С1, С3, мкФ	С4, С6, мкФ	С2, мкФ	С5, мкФ
2,5	0,047	0,047	0,47	0,47
5	0,1	0,1	1,5	1,5
10	0,33	0,33	3,3	3,3
20	0,47	0,47	5,0	5,0
60	1,5	1,5	15	15
120	3,3	3,3	33	33

Типовые схемы включения МЗФ серии МРО совместно с модулями МДМ на рис. 6.7, 6.8 приведены ниже.

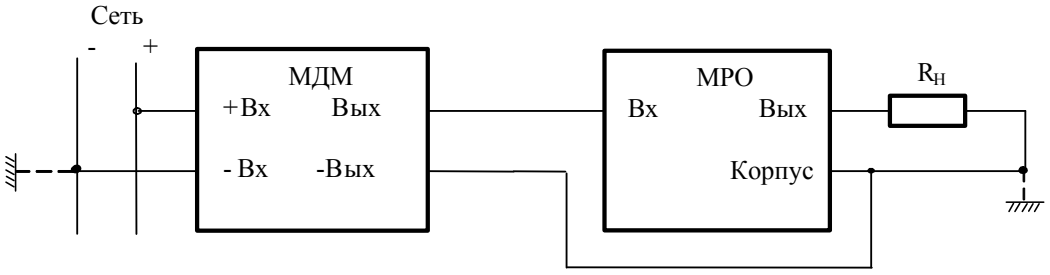


Рис. 6.7 Схема включения модулей питания с модулем защиты и фильтрации МРО на выходе

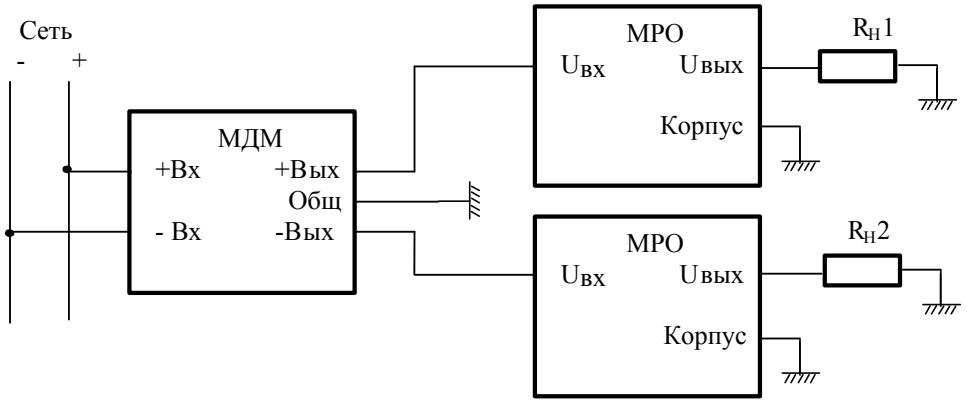


Рис. 6.8 Схема включения модулей питания с модулем защиты и фильтрации МРО на выходе

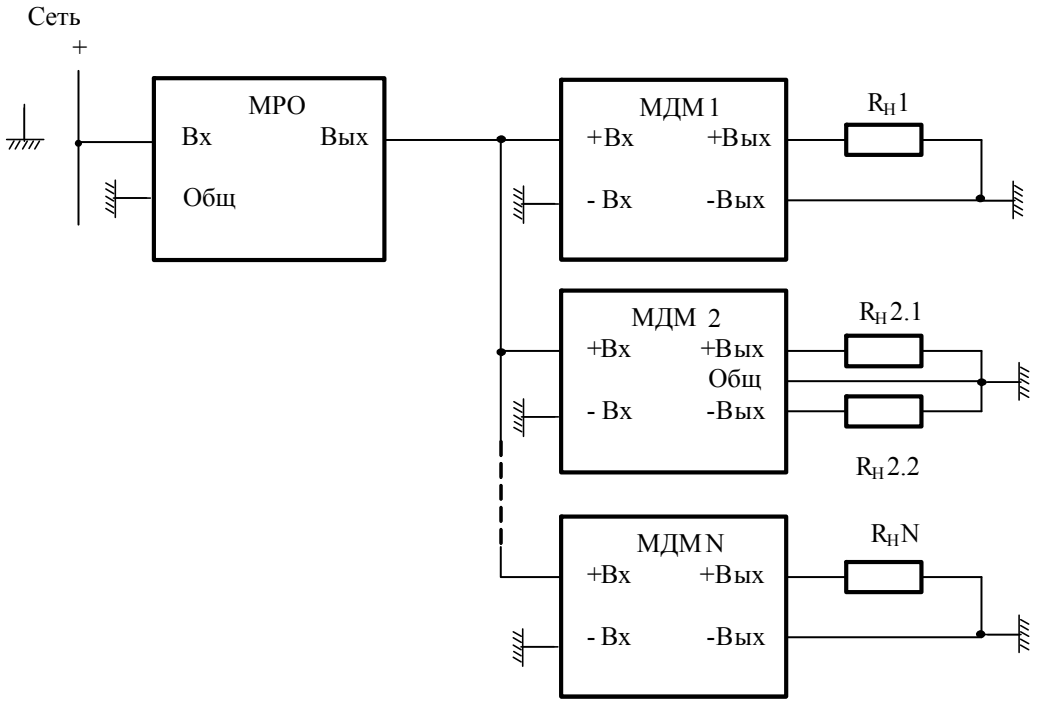


Рис. 6.9 Схема включения модулей защиты и фильтрации серии МРО в сеть с общей шиной

Эффективность работы МЗФ совместно с модулями питания зависит от разводки печатной платы потребителя. Рекомендуемый пример разводки печатной платы с модулями МРМ, МРР установленными на входе модуля питания, показан на рисунке 6.10, для модуля МРО – на рисунке 6.11.

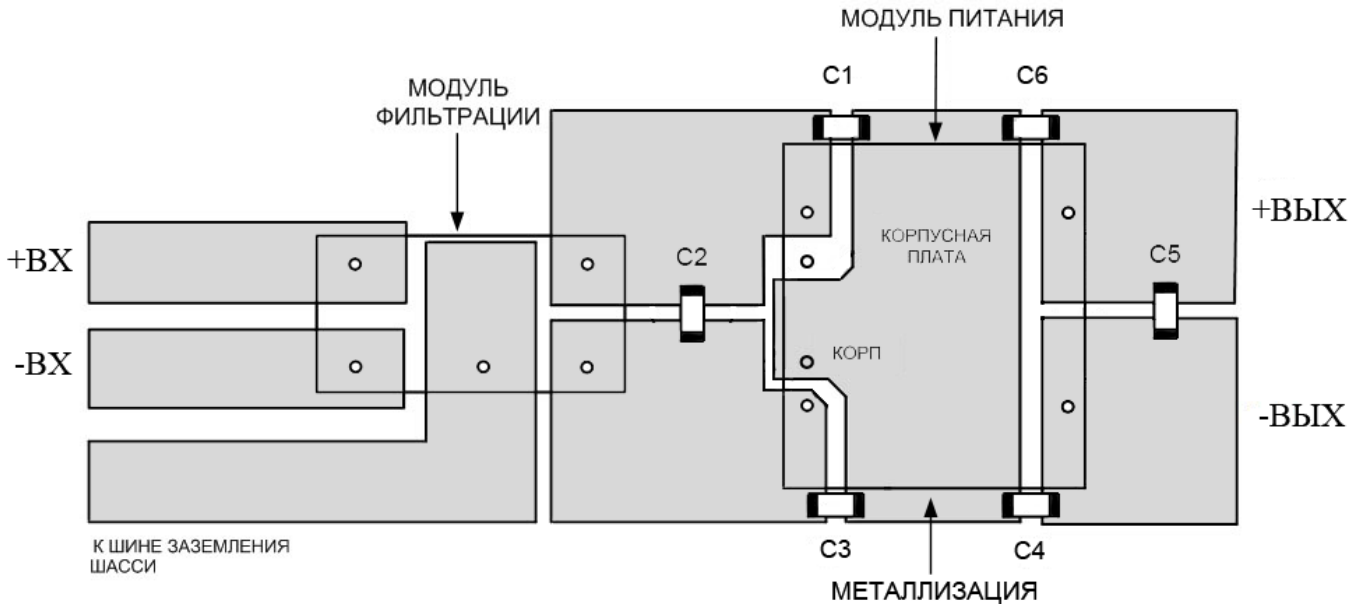


Рис. 6.10 Рекомендуемая разводка печатной платы при включении модуля питания совместно с модулем защиты и фильтрации МРМ, МРР

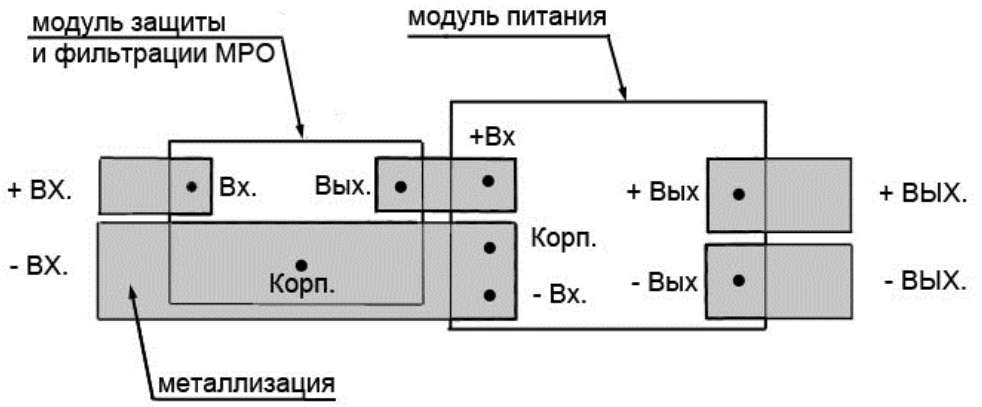


Рис. 6.11 Рекомендуемая разводка печатной платы при включении модуля питания совместно с модулем защиты и фильтрации МРО

7 Модульные блоки питания (БП)

Изготовление БП на основе универсальных модулей в несколько раз сокращает сроки разработки, упрощает схему и конструкцию, облегчает настройку и обслуживание.

При разработке БП достаточно дополнить модуль необходимыми аксессуарами (радиаторами, тумблерами, разъемами, фильтрами радиопомех) и решить вопросы конструирования.

Эти преимущества обеспечили широкое применение модульных БП. В настоящее время БП электронной аппаратуры (ЭА) в 70% случаев строятся на основе модулей.

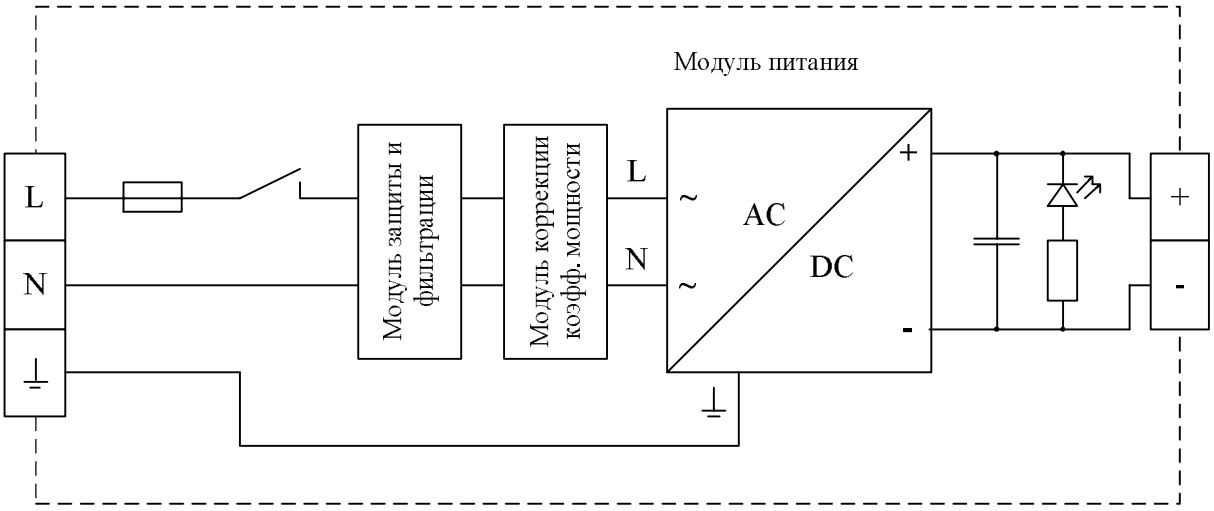


Рис. 7.1 Структурная схема блока питания

Может быть рекомендована структурная схема модульного БП (рис. 7.1), в которой к основному элементу модулю добавят разъемы, предохранитель, выключатель, индикаторы.

Особое внимание при разработке модульных БП необходимо уделить вопросам электромагнитной совместимости и эффективности отвода тепла.

Если в модульном БП уровни помех превышают допустимые уровни для РЭА, применяют внешние фильтры. При изготовлении БП могут быть рекомендованы МЗФ серии МРМ, МРР и МРО, выпускаемые предприятием.

При совместном применении МЗФ и модуля помехи на выходе БП не превышают значений, определяемых графиком 2 Норм.

Для отвода тепла в БП рекомендуется использовать специализированные радиаторы, размеры которых согласованы с модулем, и применять вентиляционное охлаждение, что позволяет примерно в три раза снизить массу и объем блока.

Унифицированные ряды МЗФ для двухпроводных сетей с изолированными шинами питания типа МРМ и для однопроводных сетей (с общей шиной) типа МРО представлены модулями на токи от 2,5 до 120 (40) А в двух номиналах входного напряжения 27 и 60 В. Модули выпускаются в типовом корпусе и в корпусе с фланцами (табл. 6.3 и рис. 7.2, 7.3, 7.3.2).

Рис. 7.2 Модуль МРМ4

Рис. 7.3 Модуль МРМ4 в корпусе с фланцами

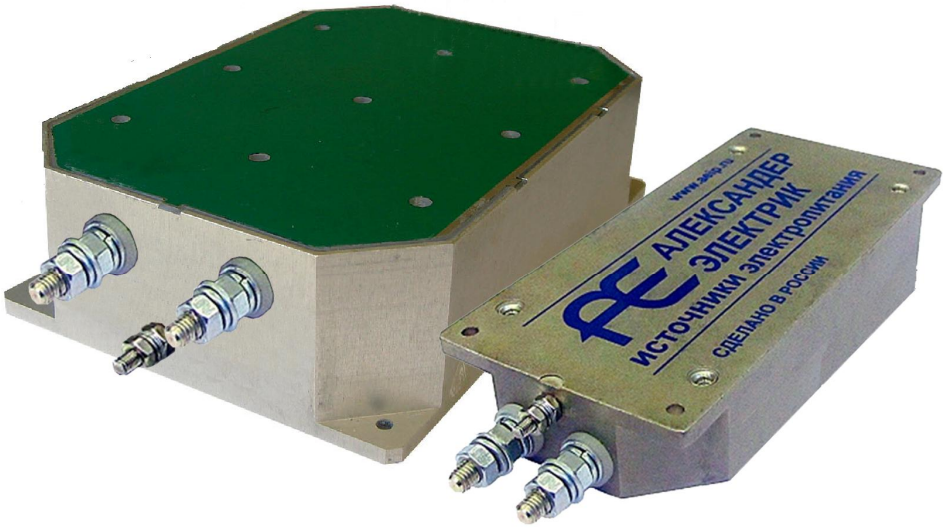


Рис. 7.3.2 Модули МРР4(120А), МРР3(60А)

На основе модулей МДМ-М можно получить блоки класса AC/DC. Для этого потребителю достаточно самостоятельно поставить на входе модуля четыре диода и конденсатор или использовать готовый выпрямительный модуль МВМ, выпускаемый предприятием.

Модули выпрямительные малогабаритные МВМ выпускаются с максимальными выходными токами 0,15; 0,3 и 1,3 А (для входной сети ~220 В 50 Гц), а также 0,5; 2 и 3,5 А (для входной сети ~115 В 400 Гц) и комплектуются соответственно с модулями МДМ30-М, МДМ60-М(МП), МДМ120-М(МП). Структурная схема совместного включения модуля МВМ и модуля МДМ-М приведена на рис. 7.4.

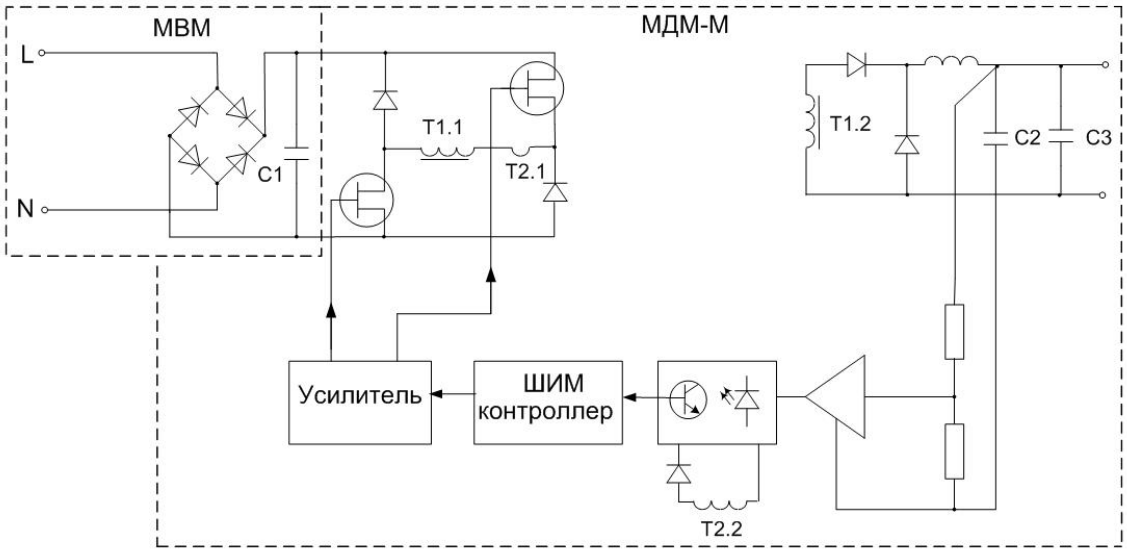


Рис.7.4 Структурная схема модуля МВМ и модуля МДМ-М

По требованию заказчика модули МВМ дополнительно комплектуются корректирующим дросселем, позволяющим обеспечить синусоидальную форму потребляемого тока и фильтр помех.

Достаточно просто, используя модули, построить многоканальный блок питания необходимой мощности с заданными электрическими характеристиками. Высокая надежность и КПД, малые габариты и масса модулей определяют эффективность такого блока питания. Это наиболее частое применение модулей для бортовых БП заказчиками.

Типовое применение модулей показано на примере блока питания станции космической связи (СКС), которая может получать энергию как от внутренних АБ с напряжением 12 В (носимый вариант), так и от сети переменного тока с напряжением 220 В, и от бортсети с напряжением 12 и 27 В (рис. 7.5). Модули используются как во встраиваемом блоке питания, так и в адаптивном, который обеспечивает согласование напряжения 12 В основного

первичного источника – АБ с дополнительными по роду тока и частоте. Трехканальные модули МДМ-П обеспечивают стабилизированные напряжения питания приемника, возбудителя, пульта управления. Предприятию, выпускающему СКС, осталось только изготовить высоковольтный преобразователь для питания передатчика.

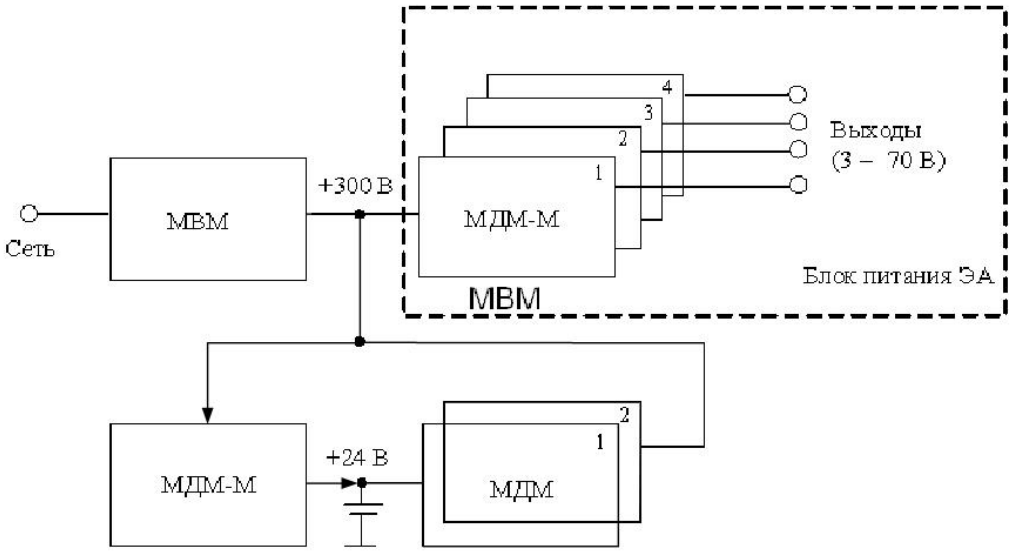


Рис.7.5 Модульный ИБП

В ИБП модули МДМ-М не только преобразуют напряжение 300 В в номиналы 3; 5; 12 В, необходимые для питания электронной аппаратуры, но и обеспечивают заряд аккумуляторной батареи. Для бесперебойности выходных напряжений используется преобразователь постоянного напряжения в постоянное, повышающий напряжение батареи до 300 В. Преобразователь построен на основе двух двухканальных модулей МДМ, соединенных по входу параллельно, выходы которых с напряжением 75 В соединены последовательно.

8 Типичные ошибки потребителей при использовании, а также действия, приводящие к выходу из строя модулей:

- поломка выводов в результате их неоднократного перегиба;

- приложение механических усилий к плате «дно» при креплении модуля, что ведет к повреждению конструкции и выходу модуля из строя;

- приложение очень сильного механического воздействия к модулю при монтаже модуля на радиатор, что приводит к повреждению его внутренней конструкции и выходу из строя;

- ошибки при подключении: подача на вход напряжения обратной полярности выводит модуль из строя, подача входного напряжения между выводами «+Вх» и «Вкл»;

- измерение сопротивления изоляции и проверка прочности изоляции при отсутствии соединения выводов на входе и выводов на выходе модуля;

- измерение выходного напряжения на нагрузке, а не на выходных штырьках. При этом не учитывается падение напряжения в выходных цепях (особенно актуально для мощных модулей с большими выходными токами);

- перегрев штырьков при пайке, что приводит к растеканию припоя на печатную плату и замыканию, которое в свою очередь ведет к отказу модуля;

- пайка более двух проводников на один вывод модуля;

- нарушение условий хранения модуля, что ведет к преждевременному окислению выводов;

- плохой тепловой контакт корпуса модуля и поверхности радиатора, что ведет к перегреву модуля;

- нагрузка дополнительных каналов при холостом ходе в основном канале.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Перечень литературы, на которую в РТМ имеются ссылки

Название	Номер раздела, ссылки
1. И. Плоткин, С. Маняшин, О. Комаров. «АЛЕКСАНДЕР ЭЛЕКТРИК источники электропитания производитель унифицированных вторичных источников для вооружения и военной техники». Электронные Компоненты №4 2005. 2. И. Плоткин, В. Тюшевский «Модули DC/DC с выходным напряжением до 400 В предприятия АЭИЭП». Электронные Компоненты №7 2005. 3. И. Твердов, А. Нагайцев, Н. Сагайдаков «Параллельное включение модулей питания предприятия «АЛЕКСАНДЕР ЭЛЕКТРИК источники электропитания». Электронные Компоненты №9 2005. 4. И. Плоткин «Производство средств защиты от помех на предприятии АЭИЭП» Автоматизация в промышленности №2 2007. 5. И. Твердов и др. «Новые модули фильтрации радиопомех и защиты от перенапряжений». Cheps New, №3 2004. 6. И. Твердов, А. Миронов, С. Затулов «Модули фильтрации радиопомех и защиты». Силовая электроника №4, 2007. 7. И. Твердов «Охлаждение универсальных модулей питания». Электронные компоненты №8 2008. 8. CD-диск с каталогом продукции АЭИЭП, 2012.	3.9, 3.10, 3.11

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Зависимости максимальной выходной мощности модулей от температуры окружающей среды

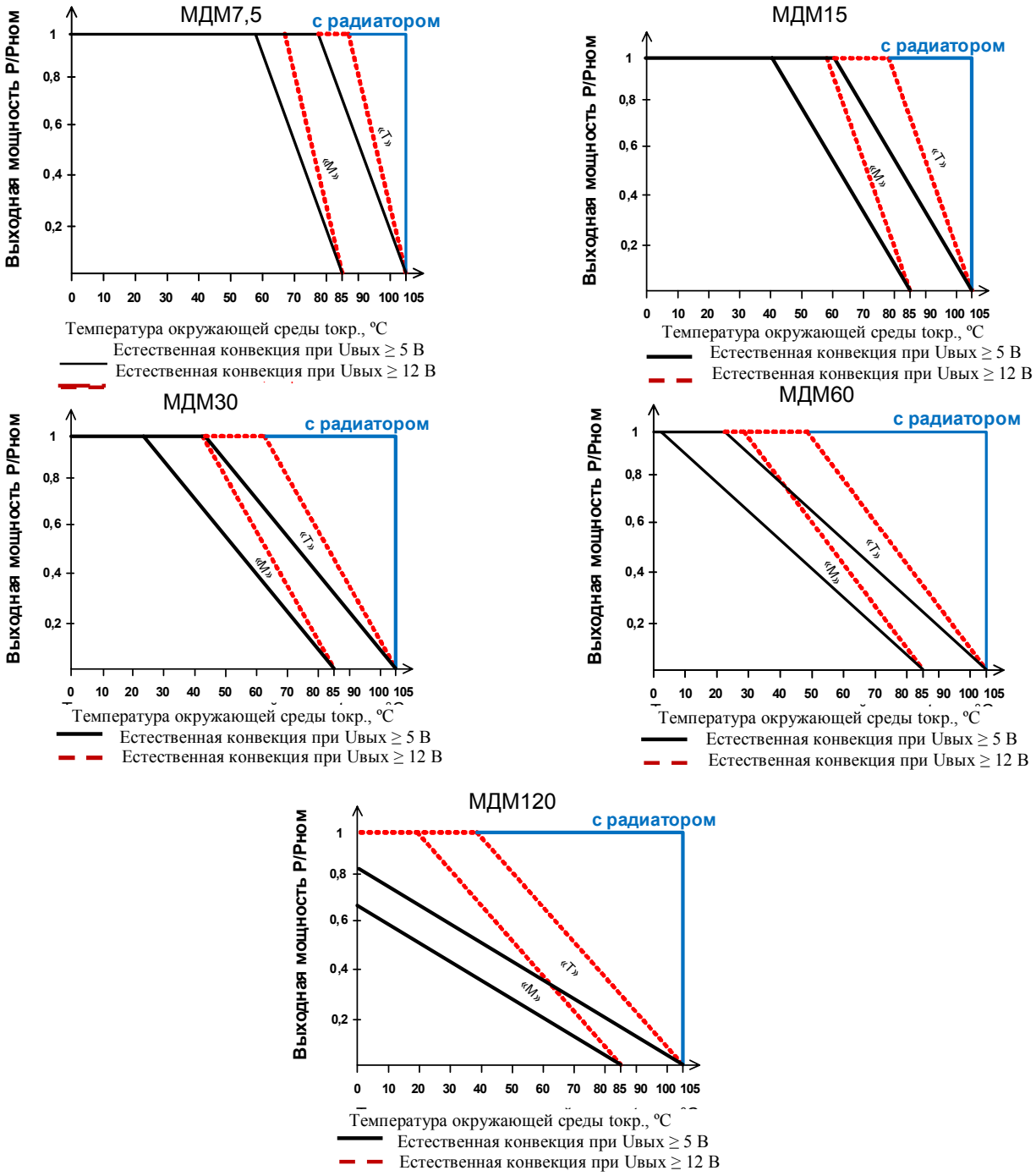
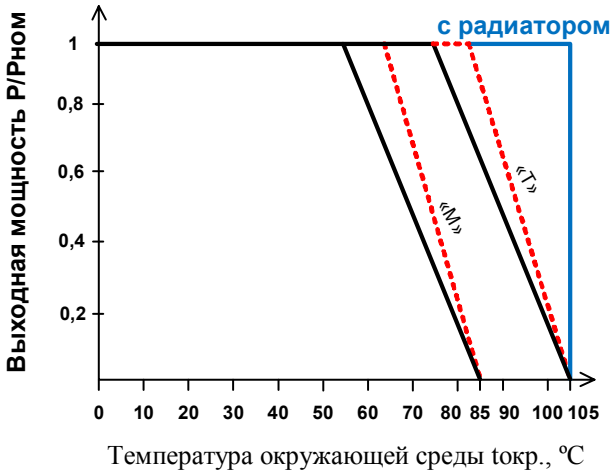


Рис. Б.1 Графики снижения мощности для модулей серии МДМ

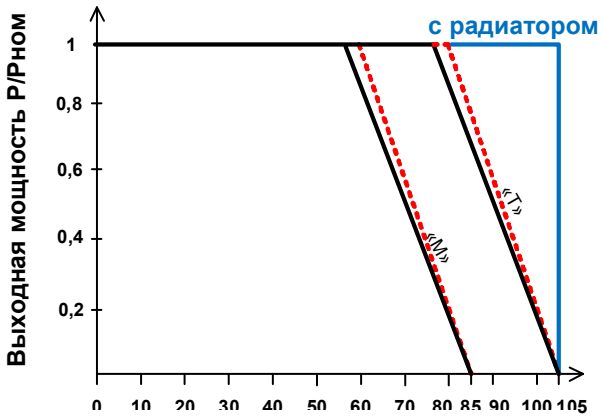
МДМ5-П



Температура окружающей среды tокр., ºС

Естественная конвекция при Uвых ≥ 5 В
Естественная конвекция при U вых ≥ 12 В

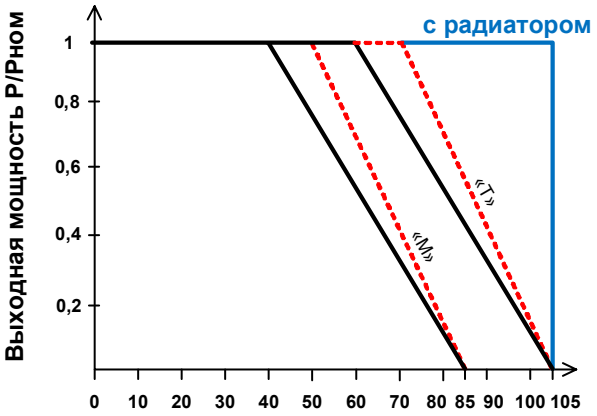
МДМ7,5-П



Температура окружающей среды tокр., ºС

Естественная конвекция при Uвых ≥ 5 В
Естественная конвекция при U вых ≥ 12 В

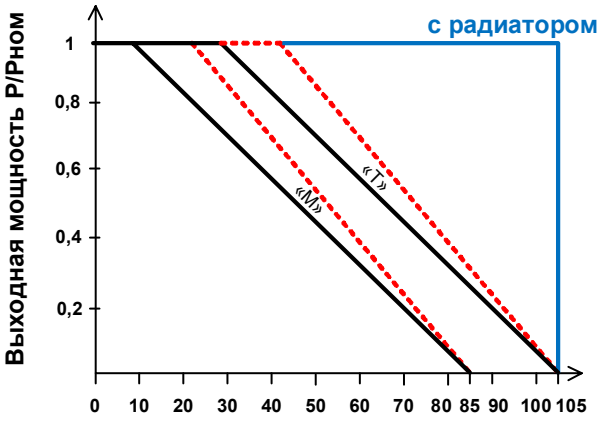
МДМ15-П



Температура окружающей среды tокр., ºС

Естественная конвекция при Uвых ≥ 5 В
Естественная конвекция при U вых ≥ 12 В

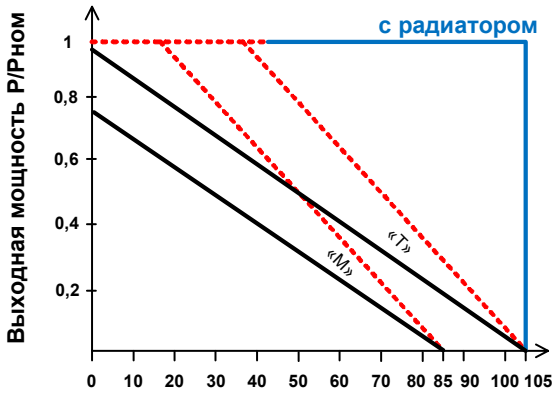
МДМ30-П



Температура окружающей среды tокр., ºС

Естественная конвекция при Uвых ≥ 5 В
Естественная конвекция при U вых ≥ 12 В

МДМ60-П

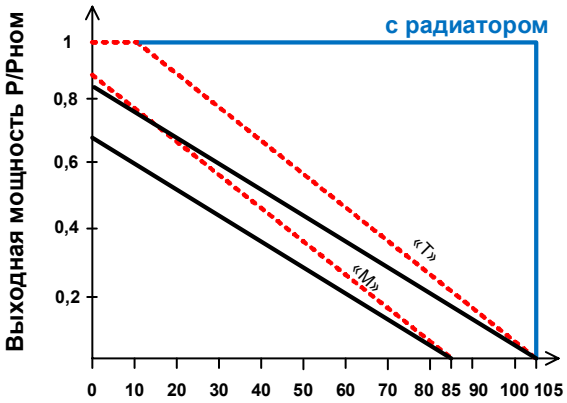


Температура окружающей среды tокр., ºС

Естественная конвекция при Uвых ≥ 5 В

Естественная конвекция при U вых ≥ 12 В

МД120-П

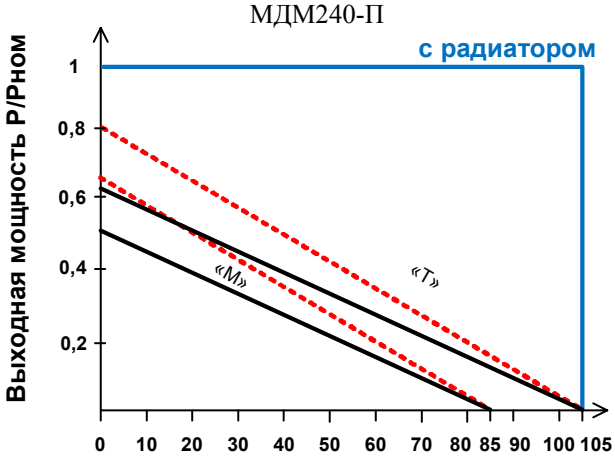


Температура окружающей среды tокр., ºС

Естественная конвекция при Uвых ≥ 5 В

Естественная конвекция при U вых ≥ 12 В

МДМ240-П

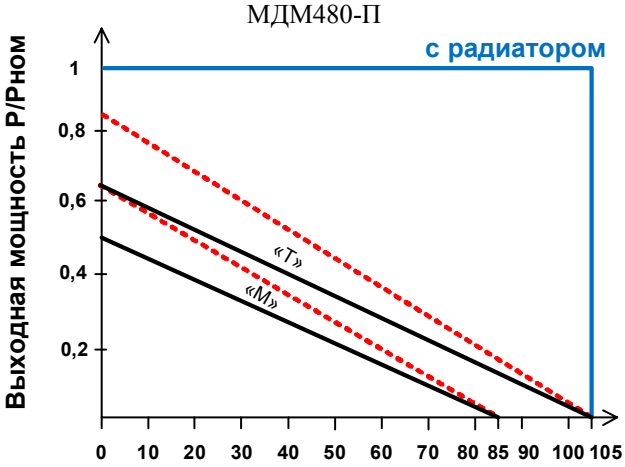


Температура окружающей среды tокр., ºС

Естественная конвекция при Uвых ≥ 5 В

Естественная конвекция при U вых ≥ 12 В

МДМ480-П

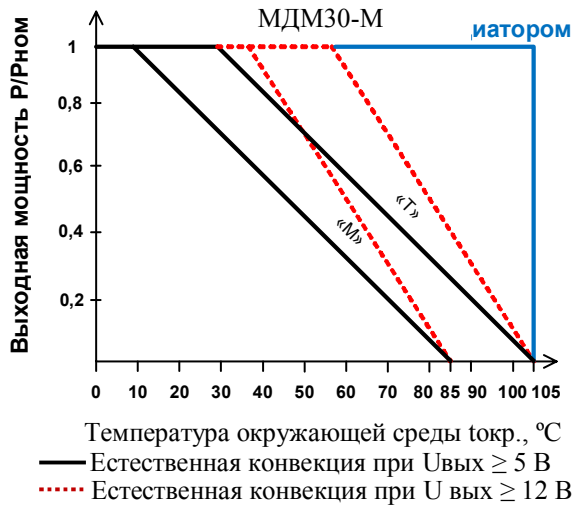


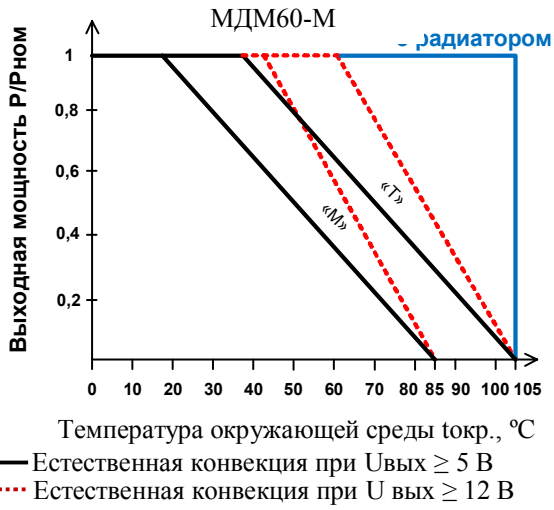
Температура окружающей среды tокр., ºС

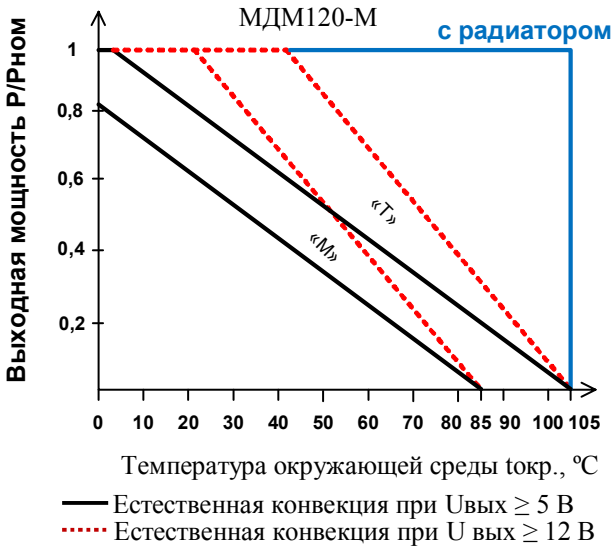
Естественная конвекция при Uвых ≥ 5 В

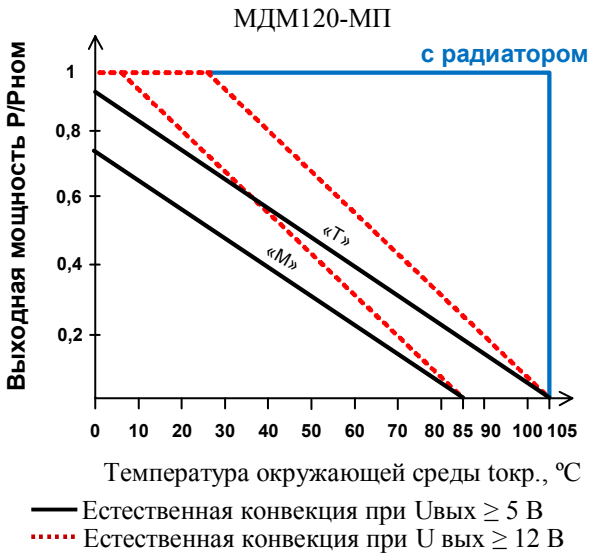
Естественная конвекция при U вых ≥ 12 В

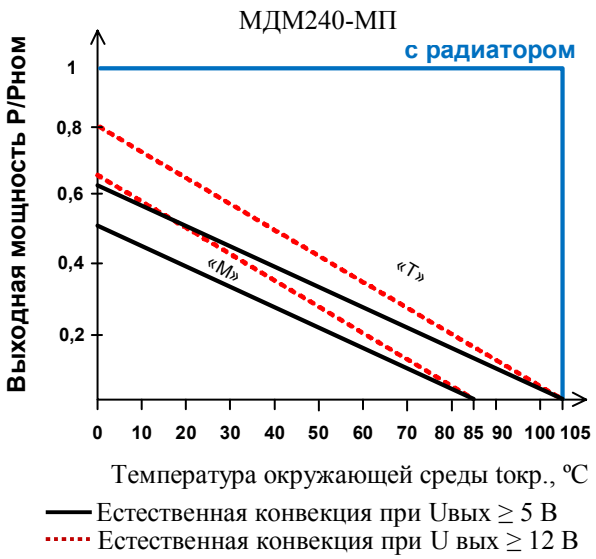
Рис. Б.2 Графики снижения мощности для модулей серии МДМ-П











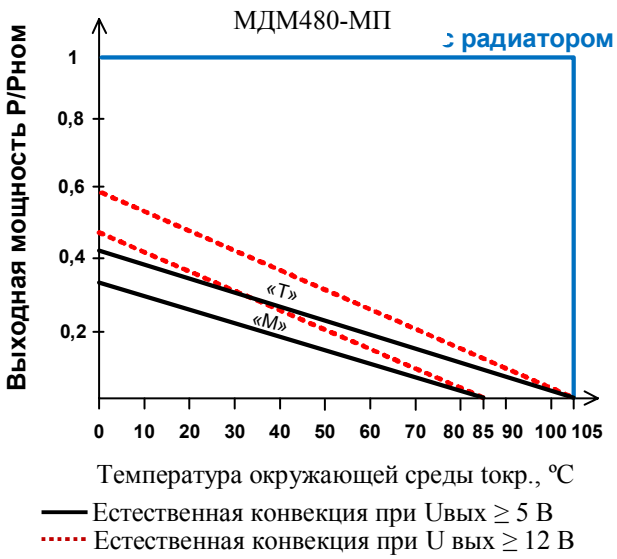
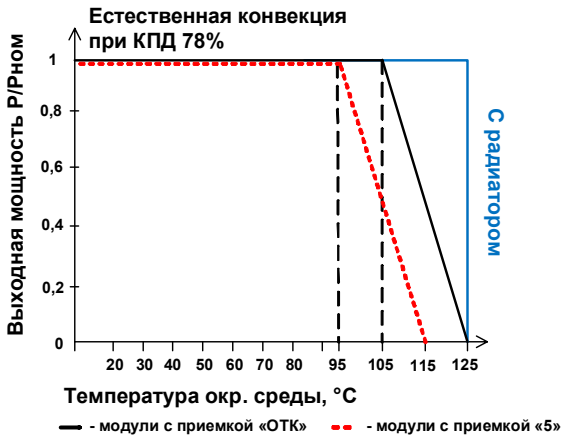
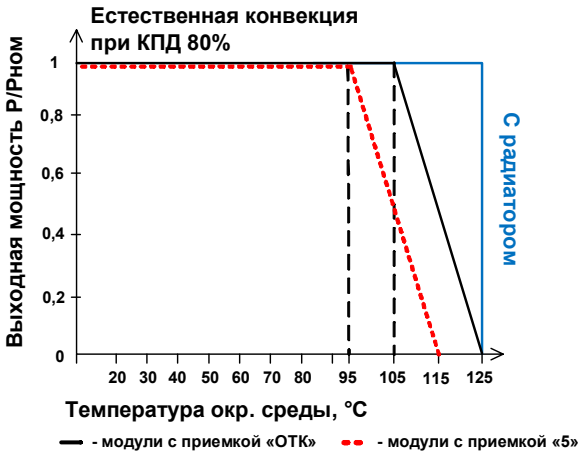


Рис. Б.3 Графики снижения мощности для модулей серии МДМ-М

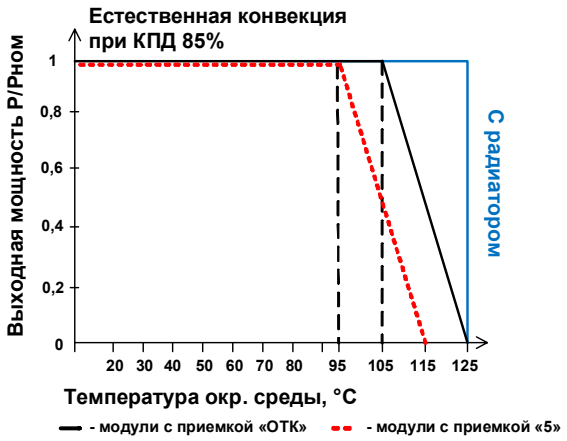
МДМ3-ЕП



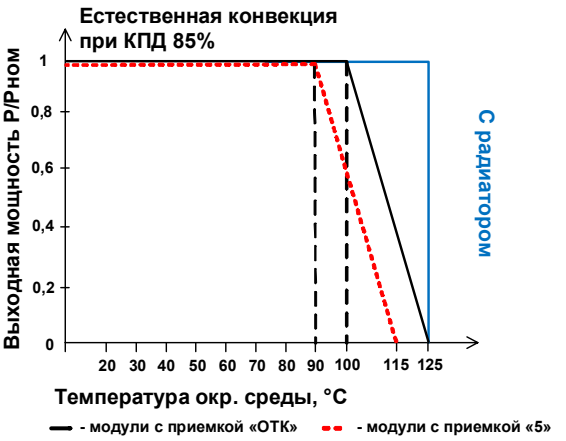
МДМ5-ЕП



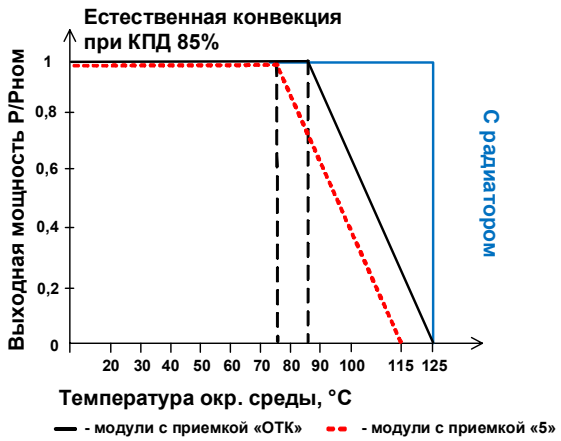
МДМ8-ЕП



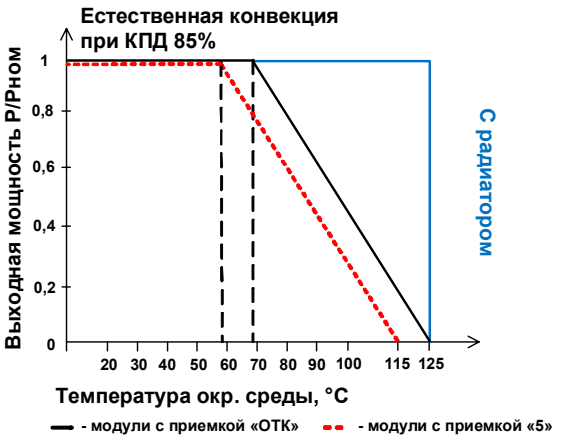
МДМ10-ЕП



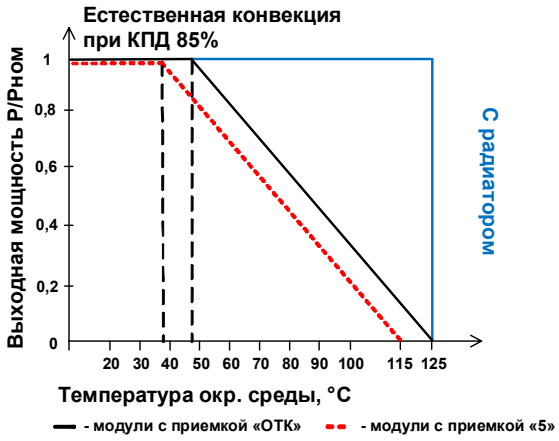
МДМ20-ЕП



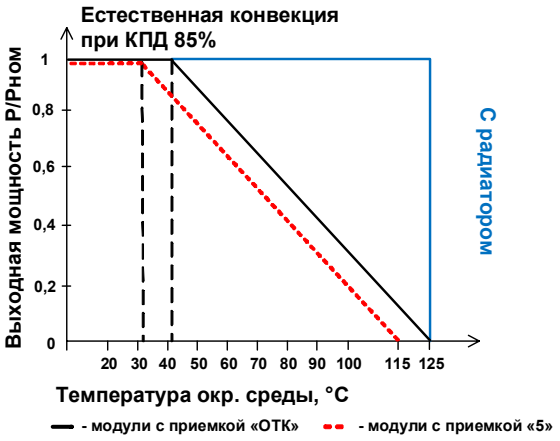
МДМ40-ЕП



МДМ80-ЕП



МДМ160-ЕП



МДМ240-ЕП

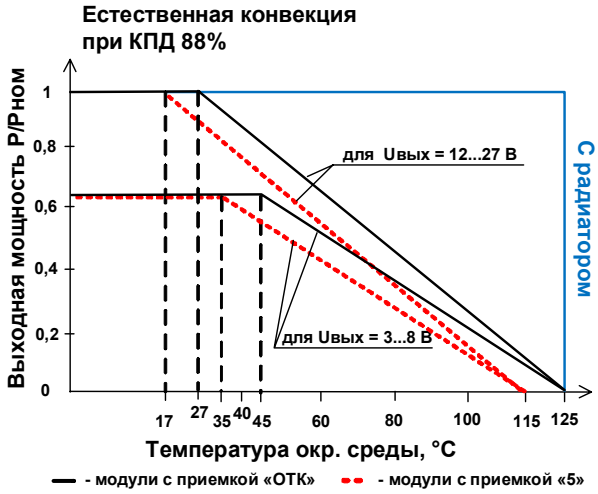
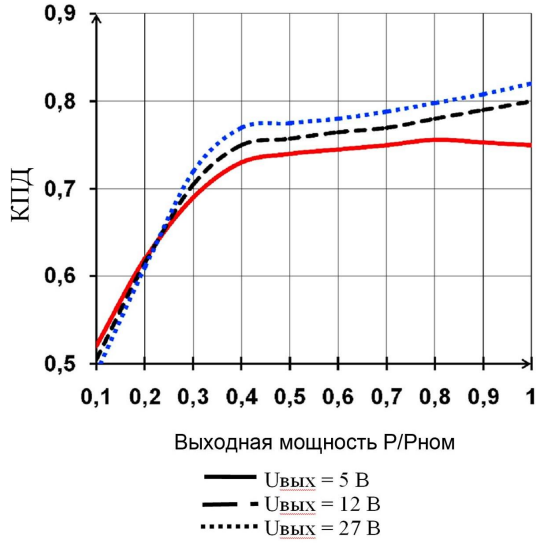


Рис.Б.4 Графики снижения мощности для модулей серии МДМ-ЕП.

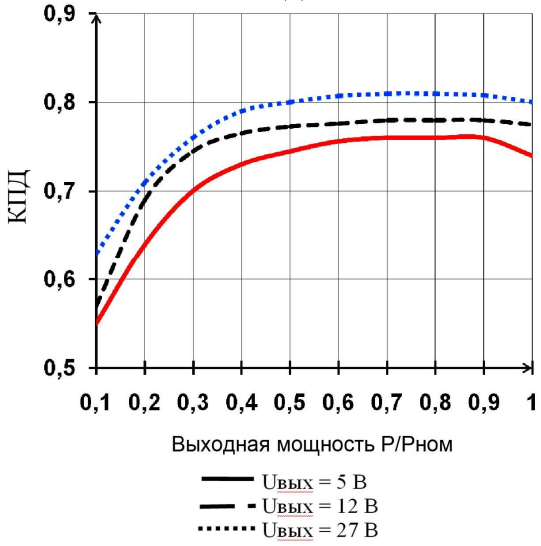
ПРИЛОЖЕНИЕ В

Зависимость КПД от нагрузки и от выходного напряжения

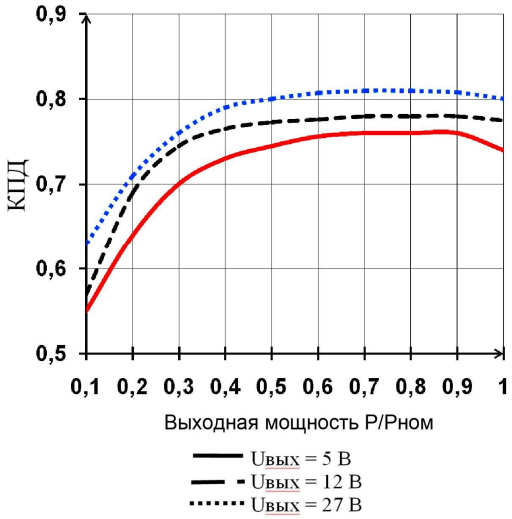
МДМ7,5



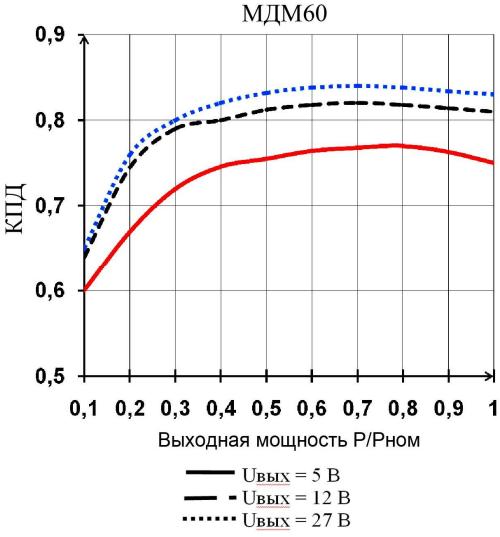
МДМ15



МДМ30



МДМ60



МДМ120

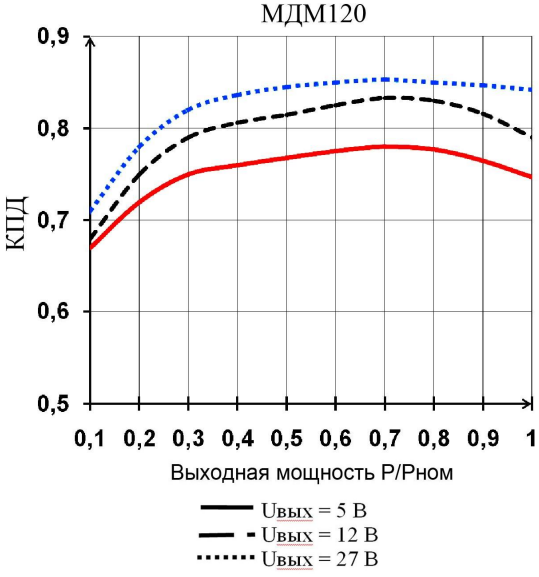
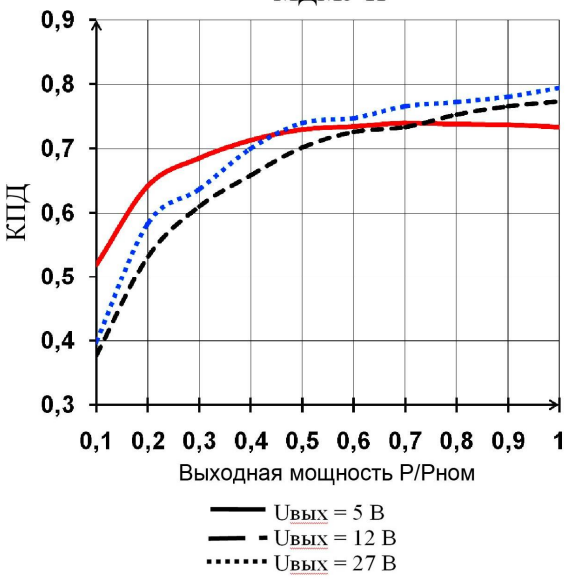
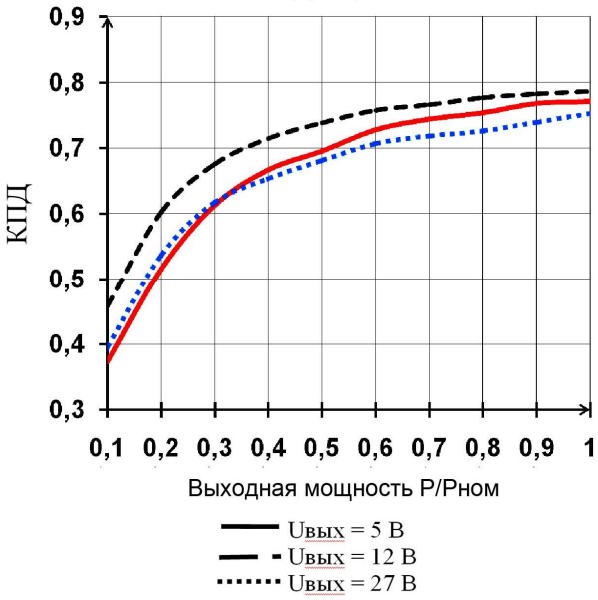


Рис. В.1 Графики зависимости КПД от мощности для модулей серии МДМ.

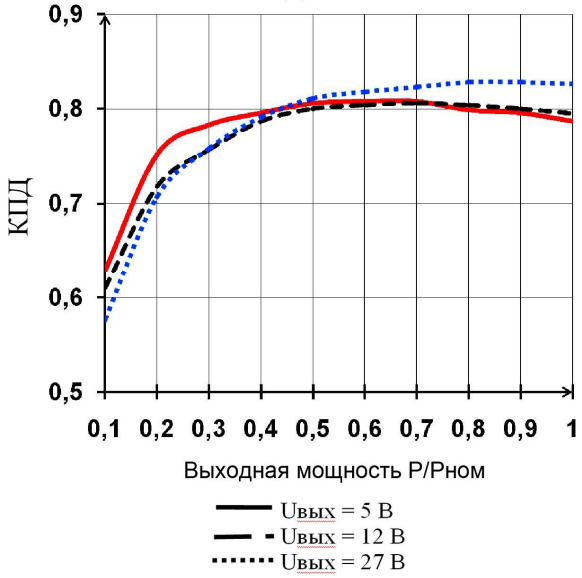
МДМ5-П



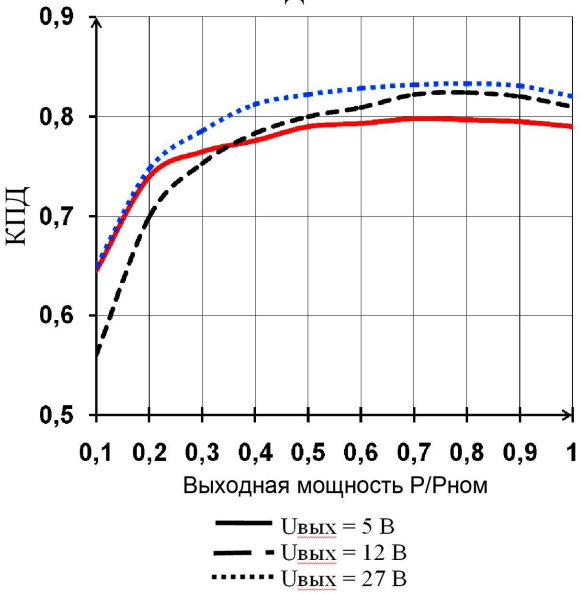
МДМ7,5-П



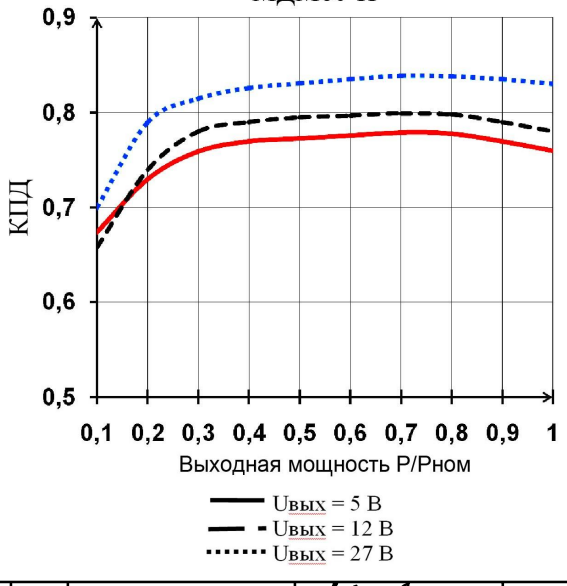
МДМ15-П



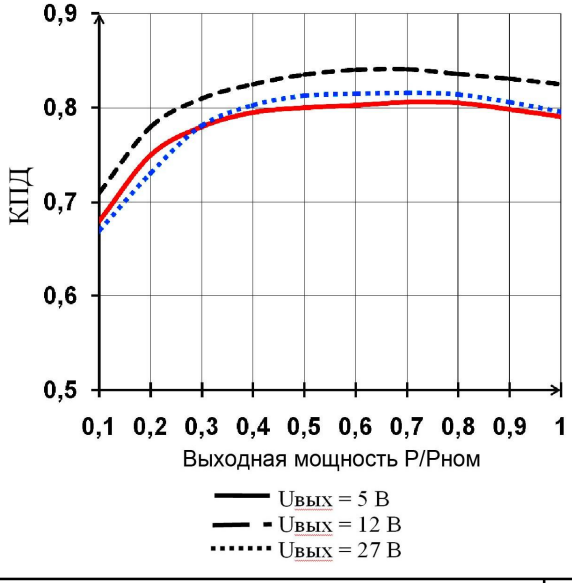
МДМ30-П



МДМ60-П



МДМ120-П



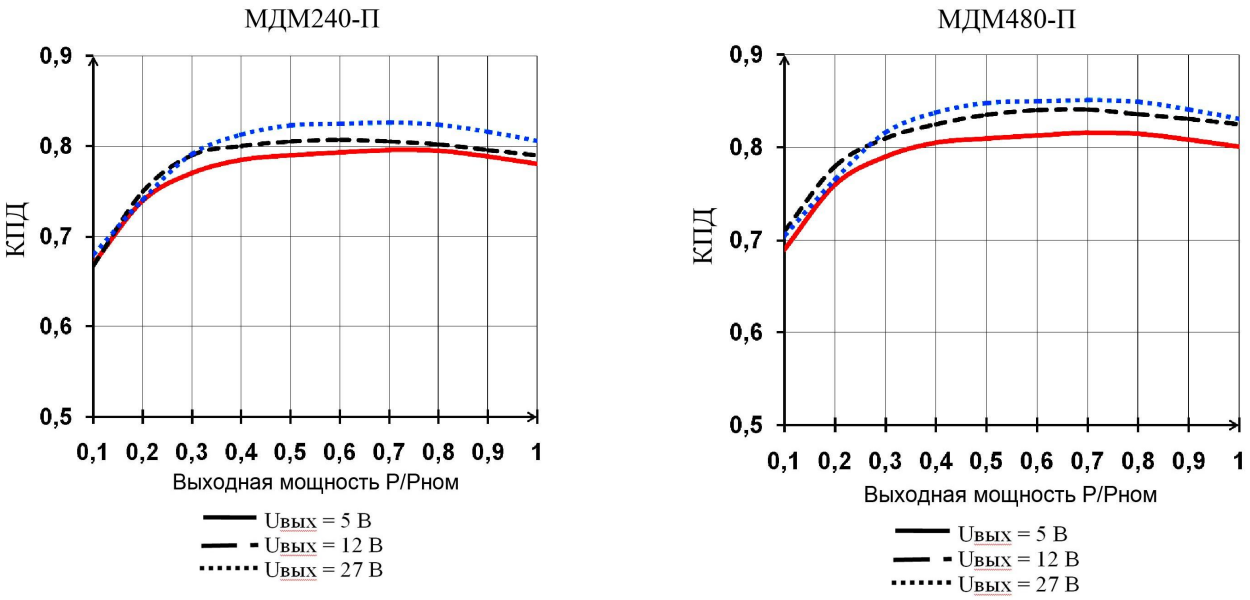
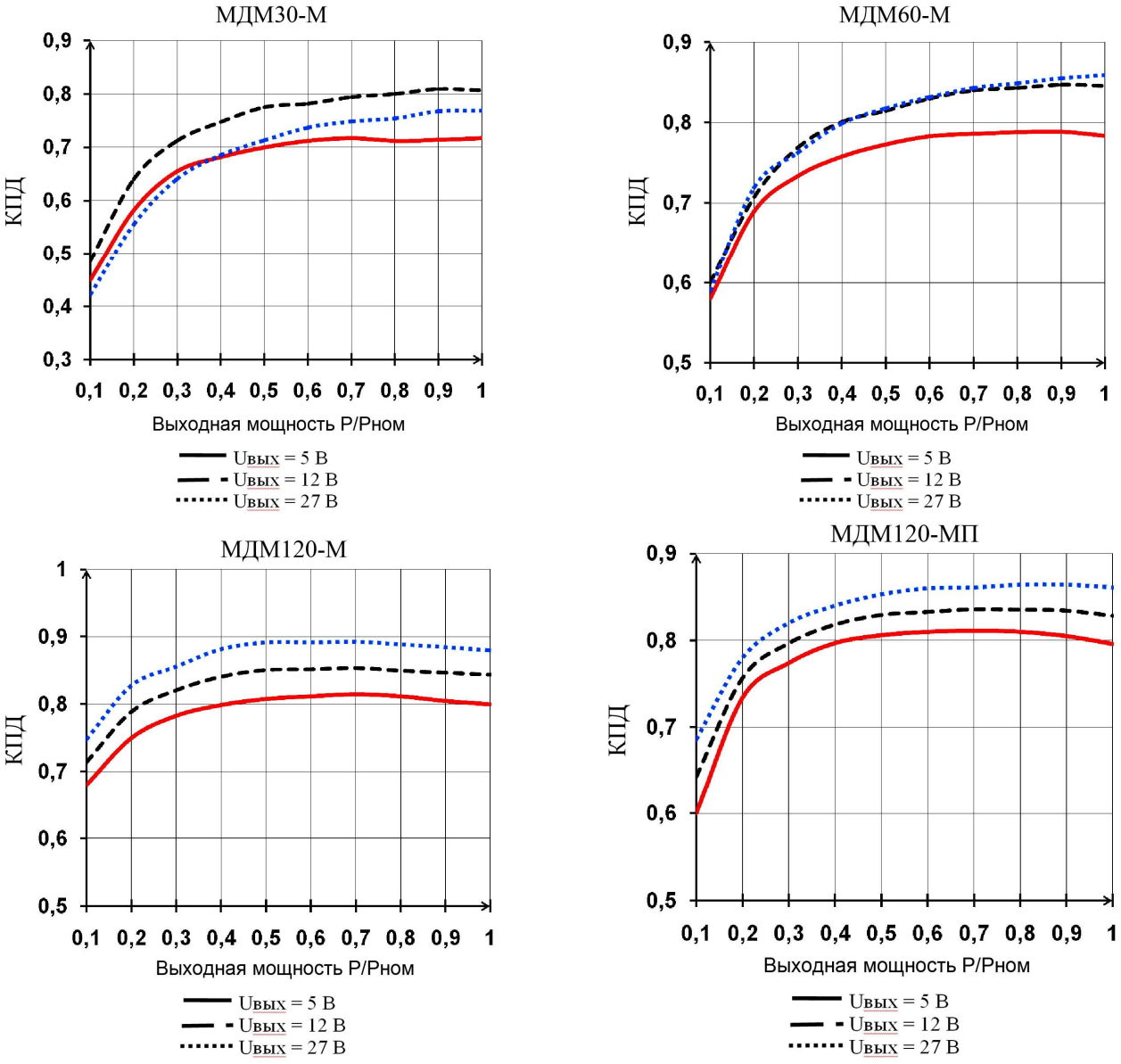


Рис. В.2 Графики зависимости КПД от мощности для модулей серии МДМ-П



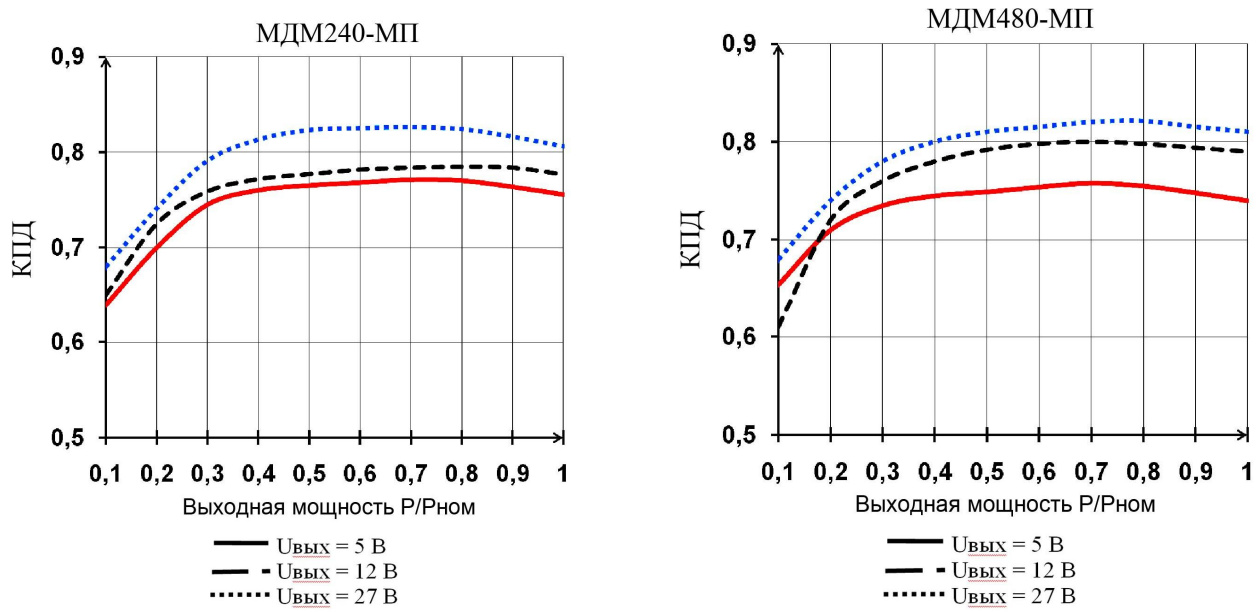
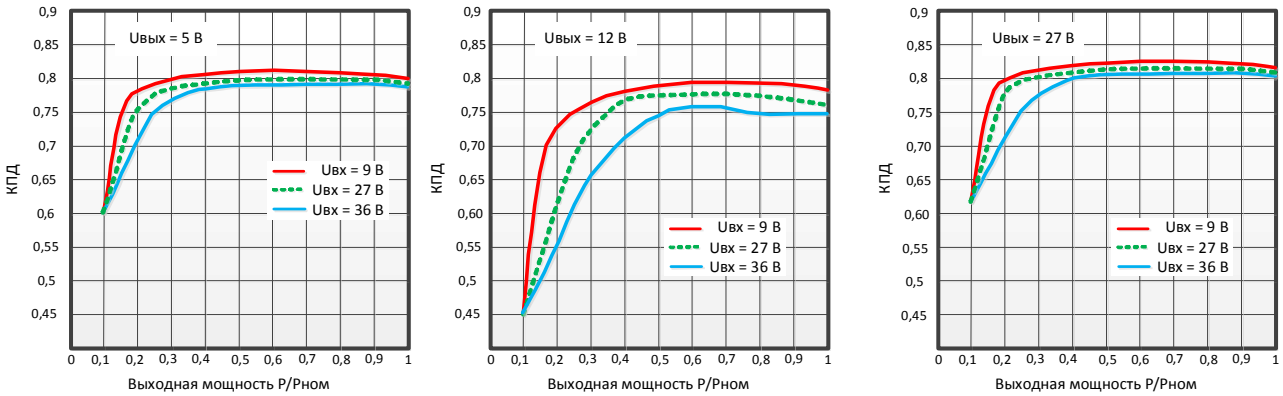
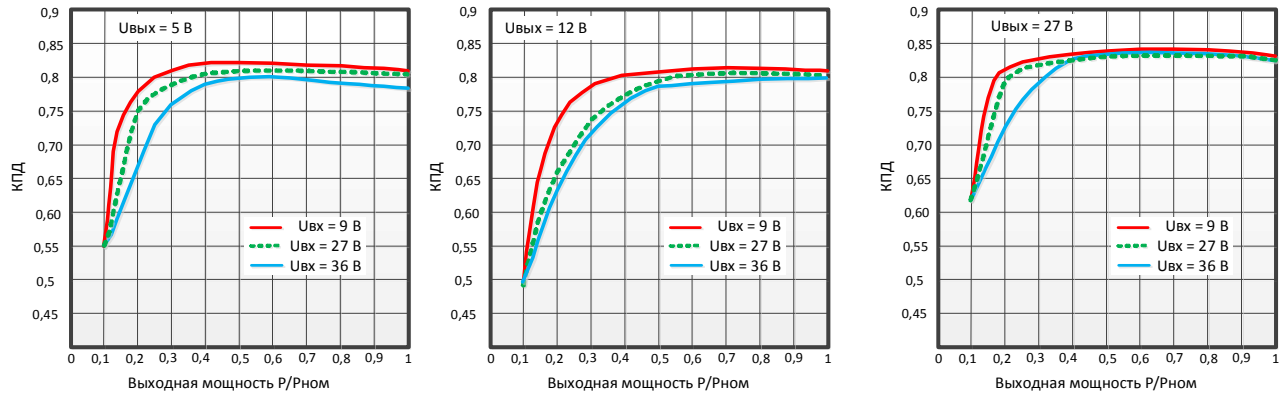


Рис. В.3 Графики зависимости КПД от мощности для модулей серии МДМ-М

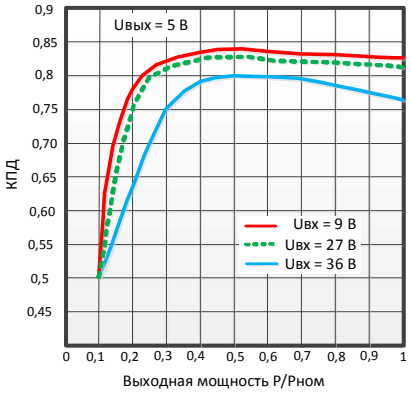
МДМ3-ЕП

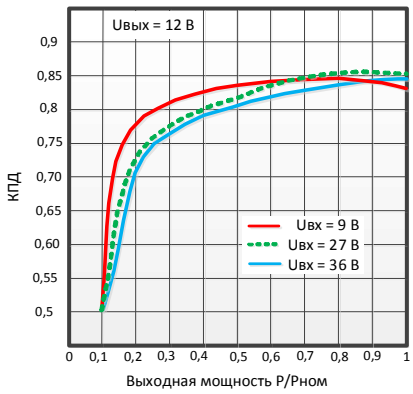


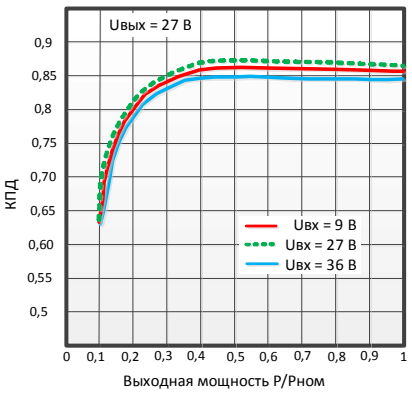
МДМ5-ЕП



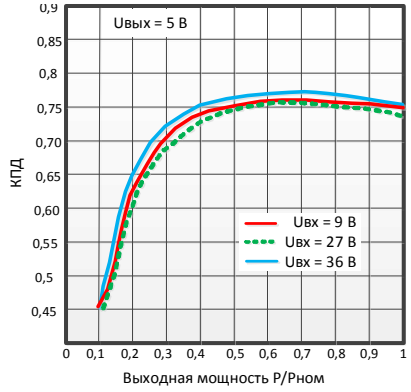
МДМ8-ЕП

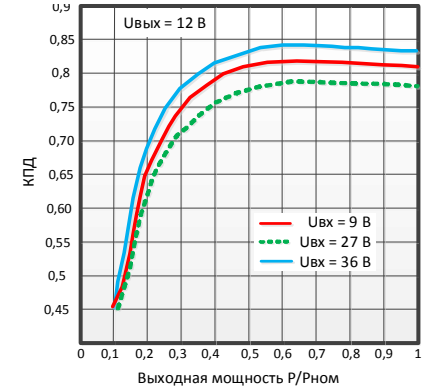


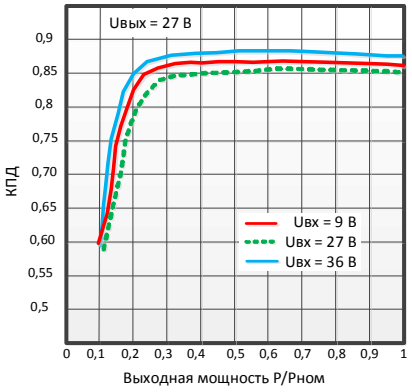




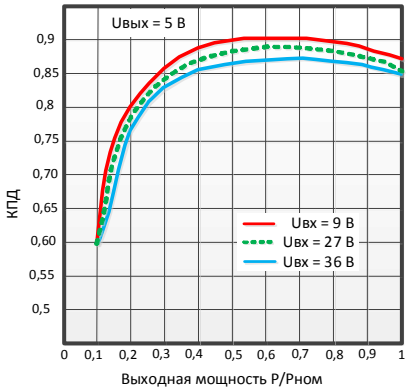
МДМ10-ЕП

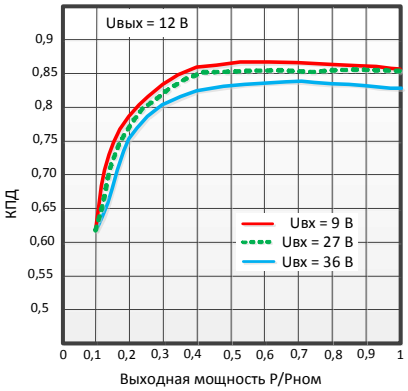


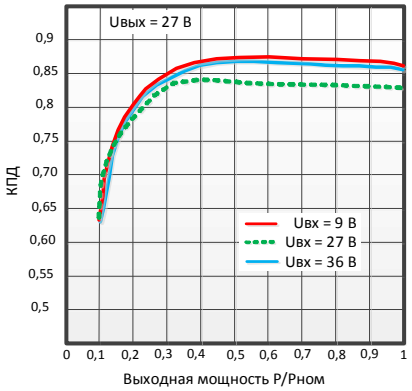




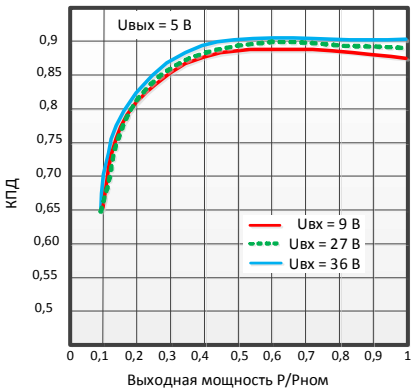
МДМ20-ЕП

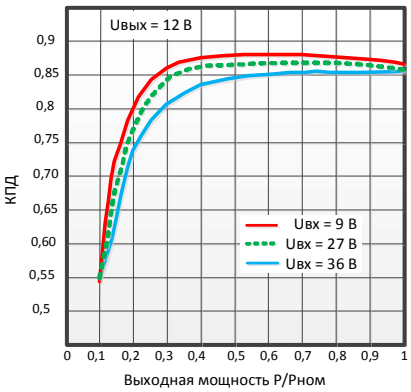


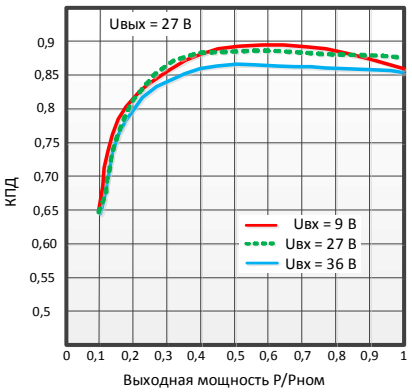




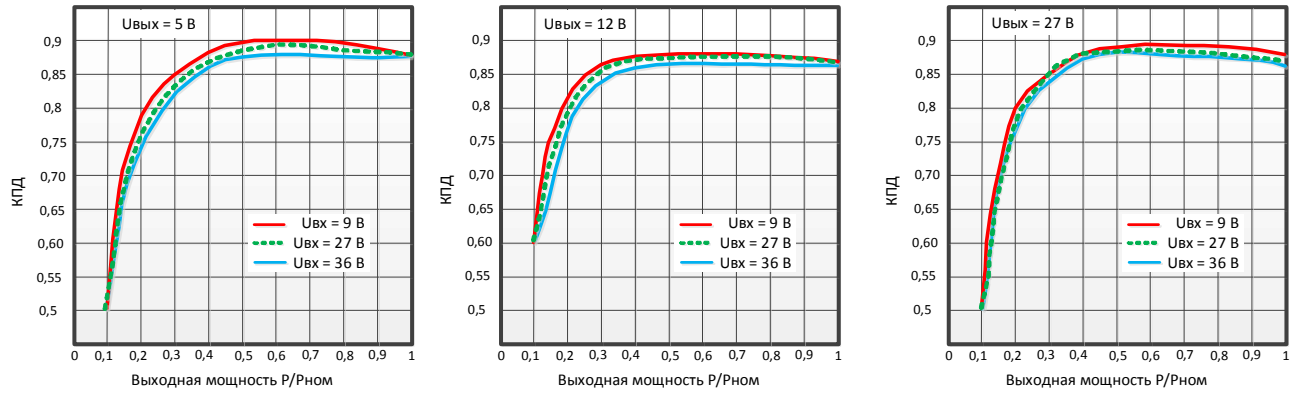
МДМ40-ЕП



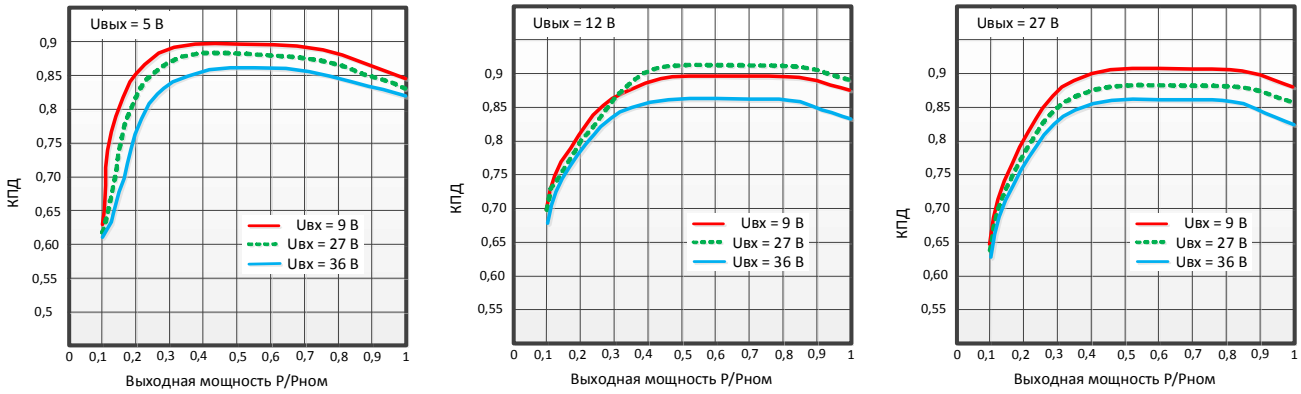




МДМ80-ЕП



МДМ160-ЕП



МДМ240-ЕП

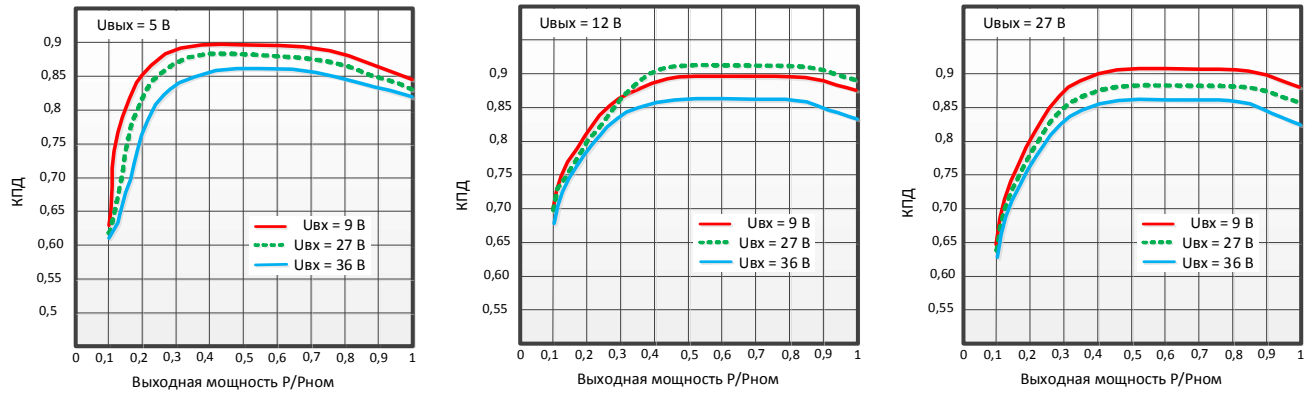


Рис. В.4 Графики зависимости КПД от мощности для модулей серии МДМ-ЕП

Изм	Номера листов (страниц)				Всего листов (страниц) докум.	№ докум.	Входящий № сопроводительного докум. и дата	Подп.	Дата
	Измененных	Замененных	Новых	Аннулированных					
1	4, 6, 7, 12	44	–	–	66	БКЮС-020-11	–		23.12.11
2	65	2...64	66...69	–	70	БКЮС-008-13	–		17.05.13
3	15, 16, 45	–	–	–	70	БКЮС-026-13	–		25.10.13
4	16	-	-	-	70	БКЮС-067-20	-		08.06.20

Изм.	Л.	№ докум.	Подп.	Дата	БКЮС.434732.503 Д1	Лист 70

Инв. № подл.	Подп. и дата.	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

Копировал Формат А4