

Модули электропитания МДМ и МДМ-П. Характеристики и рекомендации по применению

Модули МДМ и МДМ-П класса DC/DC предназначены для питания стабилизированным напряжением аналоговой и цифровой аппаратуры специального и промышленного назначения, в том числе бортовой авиационной, ракетной и т. д. [1]. Модули обладают всеми качествами необходимыми для работы в особо жестких условиях. Они содержат полный набор необходимых функций, что при высокой энергетической плотности позволяет создавать миниатюрные высокоэффективные системы электропитания.

Модули МДМ представлены рядом мощностей, начиная от 7,5 до 120 Вт. Диапазоны входных напряжений 10,5...15В, 17...36В, 36...72В. Диапазон выходных напряжений: от 3 до 68В. До 30Вт включительно имеются двухканальные модули. Двухканальные модули имеют два одинаковых разнополярных напряжения на выходе со средней точкой.

В процессе выполнения ОКР «Мираж» (разработка модулей МДМ) большинство потребителей с приемкой «5» указали на необходимость уменьшения габаритов модулей. Проведенные нашей фирмой научные исследования в области создания новых высокоэффективных структур преобразователей, моделирования режимов электромагнитных компонентов позволили открыть ОКР «МИРАЖ-П». Она была направлена на значительное повышение энергетической плотности модулей серии Мираж. Модули серии МДМ-П представлены рядом мощностей от 5 до 120Вт. Диапазон выходных напряжений от 3 до 80В. Отличительными особенностями серии МДМ-П от МДМ являются уменьшенные габаритные размеры модуля, гальваническая развязка выходных каналов между собой, наличие трехканального исполнения. Выходные напряжения для двухканальных и трехканальных модулей питания могут быть различными по величине.

Конструктивно модули могут быть выполнены в тонкостенных штампованных или во фрезерованных алюминиевых корпусах. В аппаратуре модули устанавливаются на радиатор охлаждения и на печатную плату, для чего имеются резьбовые втулки и фланцы. Все модули имеют двойную кремнийорганическую полимерную защиту – герметизацию особым компаундом с теплопроводным наполнителем.

В основе конструкции модуля лежит печатная плата (рис.1) с элементами поверхностного монтажа, размещенная и залитая эластичным компаундом в алюминиевом корпусе с открытым дном со стороны выводов.

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

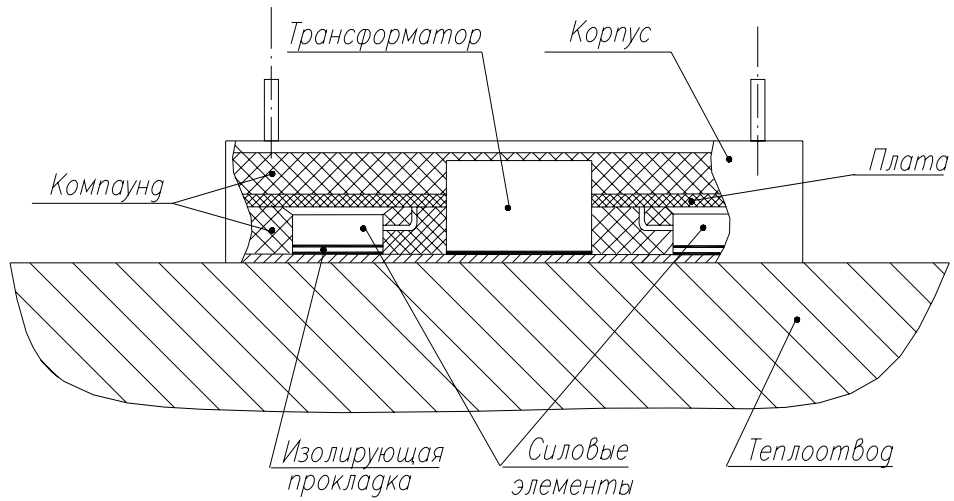


Рис. 1 Эскиз модуля в разрезе

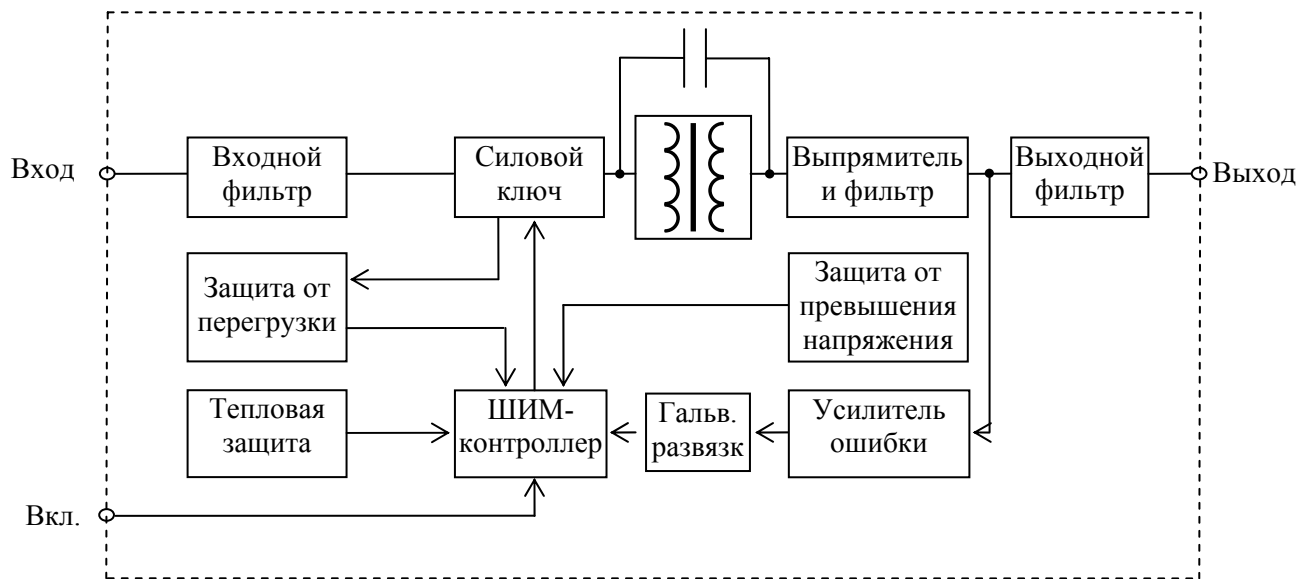


Рис. 2 Структурная схема одноканального модуля питания МДМ.

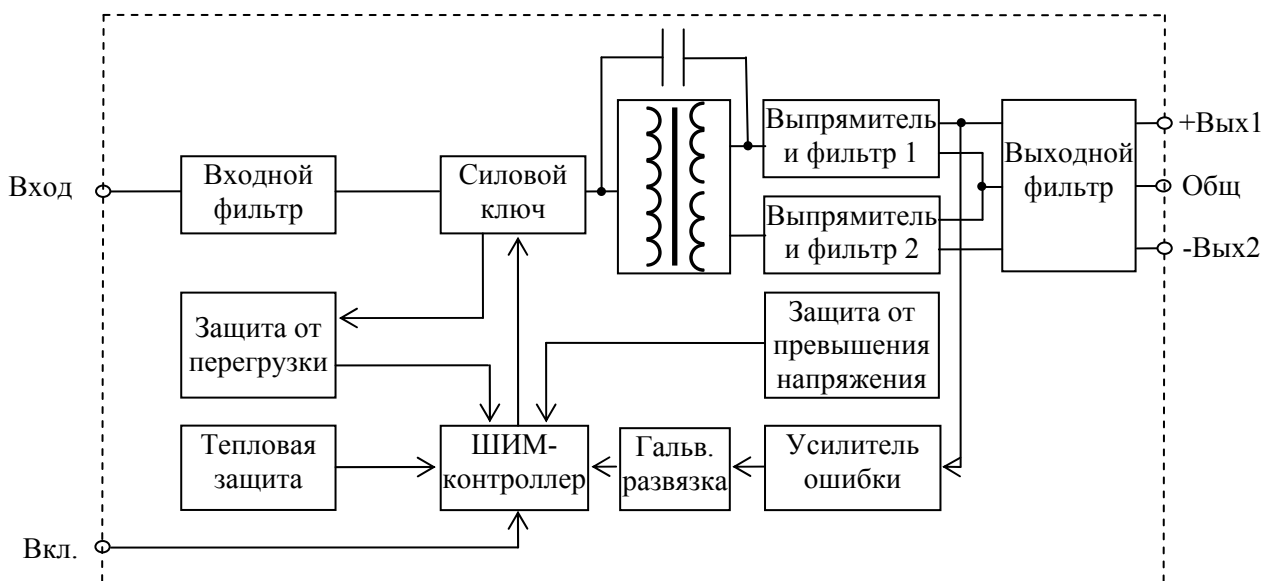


Рис. 3 Структурная схема двухканального модуля питания МДМ.

На приведенных структурных схемах (рис.2, 3) показаны основные функциональные узлы, которые входят в состав одноканального и двухканального модулей питания серии МДМ. Модули питания серии МДМ-П имеют аналогичную структуру.

Все модули вышеуказанных серий имеют гальваническую развязку с напряжением 500В между входом и выходом, между входом и корпусом, между выходом и корпусом. Модули типа МДМ-П имеют также гальваническую развязку между выходными каналами. Сопротивление изоляции составляет величину не менее 20 МОм в нормальных климатических условиях.

Модули имеют три диапазона входных напряжений: 10,5...15В (12В), 17...36В (27В), 36...72В (60В).

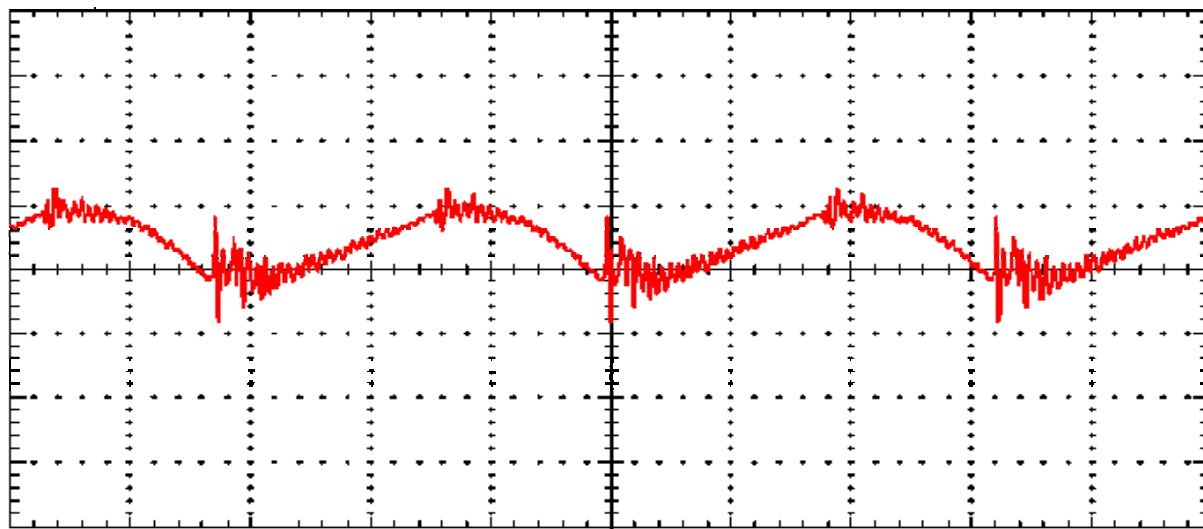


Рис. 4 Пульсации выходного напряжения

Пульсации выходного напряжения составляют величину не более $U_{ном} \cdot 2\%$ от пика до пика во всем рабочем диапазоне температур (рис.4).

Нестабильность выходного напряжения от выходного тока в нормальных климатических условиях составляет $\pm 2\%$ по основному каналу и $\pm 4\%$ по дополнительному каналу. Суммарная нестабильность выходного напряжения составляет не более $\pm 4\%$ для основного канала и не более $\pm 7\%$ по дополнительным каналам. Эта нестабильность

$$H_{\Sigma} = H_{mex} + H_U + H_I + H_T$$

H_{mex} – технологическая нестабильность (точность установки выходного напряжения)

H_U – нестабильность выходного напряжения от изменения входного

H_I – нестабильность выходного напряжения от выходного тока

H_T – нестабильность выходного напряжения от температуры

содержит в себе нестабильности выходного напряжения от следующих факторов: точность установки выходного напряжения, нестабильность при изменении входного напряжения, нестабильность при изменении выходного тока, температурная нестабильность и временная нестабильность. Диапазон рабочих выходных токов составляет от 10% до 100%. В случае, если номиналы выходных напряжений второго и третьего каналов (для модулей серии МДМ-П) отличаются более, чем на 20% от основного канала, то минимальные выходные токи таких модулей не более $0,3 \cdot I_n$ – для основного канала и $0,5 \cdot I_n$ – для дополнительных

каналов, а суммарная нестабильность для второго и третьего канала в этом случае должна быть не более $\pm 14\%$. Все модули безопасно работают на ХХ, при этом выходное напряжение основного канала изменяется не более чем на $\pm 10\%$ от $U_{ном}$, выходное напряжение дополнительных каналов не более чем на $\pm 20\%$ ($\pm 30\%$) от $U_{ном}$, если номиналы выходных напряжений отличаются менее (более), чем на 20% от основного канала.

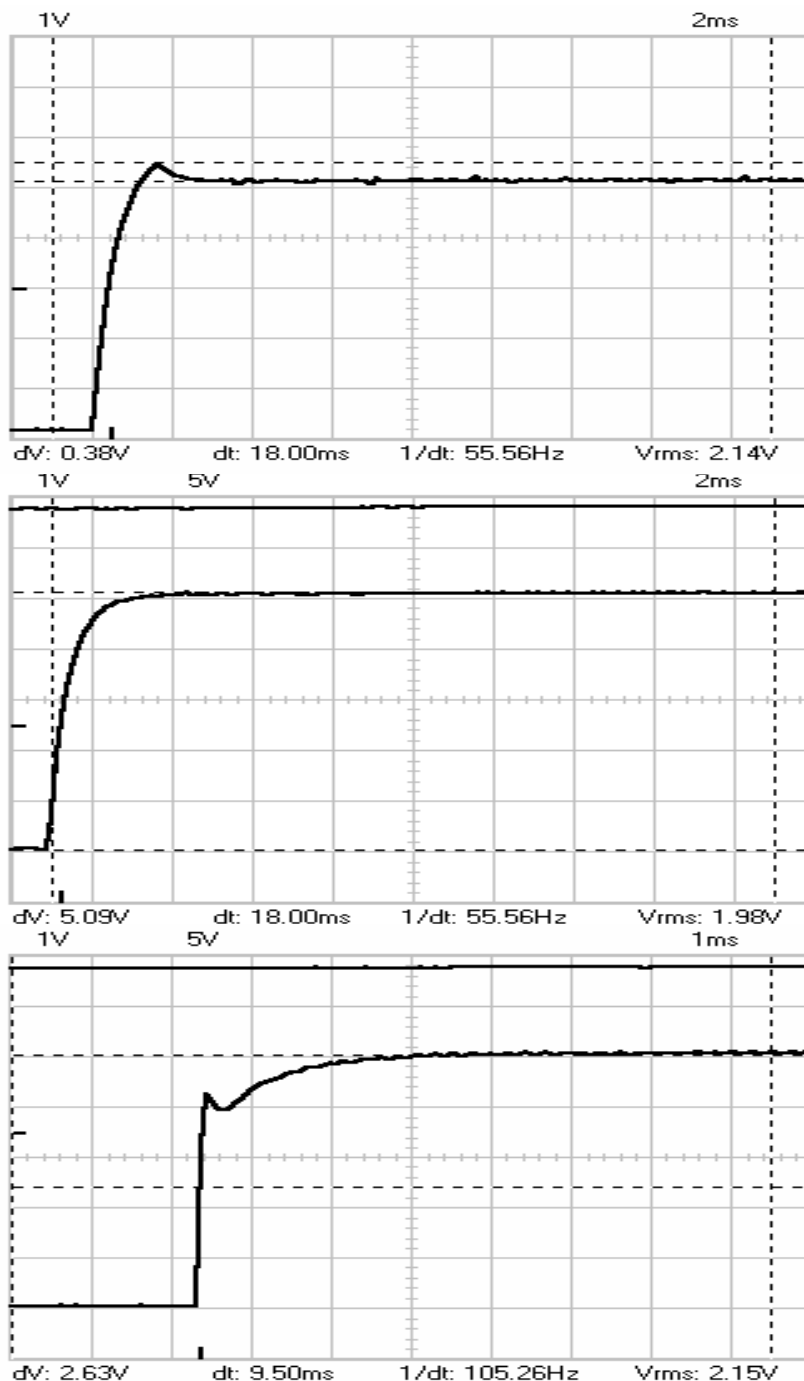


Рис. 5 Переходные процессы на выходе модуля при его включении.

На рисунке 5 представлены три возможных типа переходных процессов на выходе модуля при его включении. Выброс напряжения не превышает 10% от номинального выходного напряжения. Переходное отклонение выходного напряжения при воздействии переходного входного напряжения и при скачкообразном изменении выходного тока в пределах от 0,1 до I_n также не превышает 10% от номинального выходного напряжения.

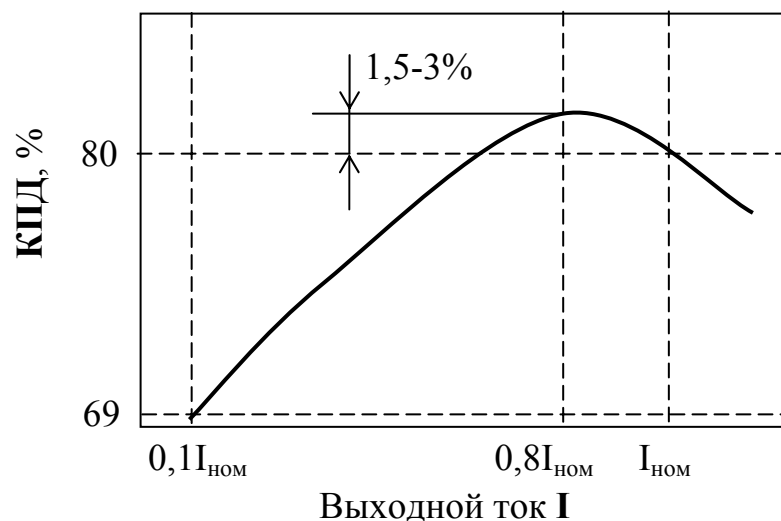


Рис. 6 Зависимость КПД от выходного тока

График зависимости КПД от выходного тока модуля представляет собой кривую, изображённую на рисунке 6. Типовой КПД модулей с выходным напряжением 5В 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 %.

Модули разделяются на две группы **Л** и **М** по внешним воздействующим факторам. Параметры приведены в таблице 1.

Таблица 1. Группы внешних воздействующих факторов.

Наименование параметра	Параметры внешних воздействующих факторов	
	Л	М
Рабочая повышенная температура, °С	70	70
Предельная повышенная температура, °С	85	85
Рабочая пониженная температура, °С	-10	-60
Пониженное атмосферное давление, Па	6×10^4	$0,67 \times 10^3$
Синусоидальная вибрация (устойчивость)		196 м/с ² 2...2000 Гц
Синусоидальная вибрация (прочность)	19,6 м/с ²	196 м/с ²
	20...25 Гц	1...2000 Гц
Механический удар Многократный	-	1470 м/с ² 5...10 мс
Механический удар Одиночный	-	9800 м/с ² 0,5...2 мс
Линейное ускорение	-	1127 м/с ²
В Переходное отклонение в течение 1с, - для 12В - для 27В - для 60В	10,5...16,8	10,5...16,8
	17...37,8	17...80
	36...84	36...84

Стоит обратить внимание, что модули с входной сетью В – 17...36В из группы по внешним воздействующим факторам М могут выдерживать переходное отклонение по входу до 80В в течение 1с.

Все модули МДМ и МДМ-П имеют полный комплекс защит.

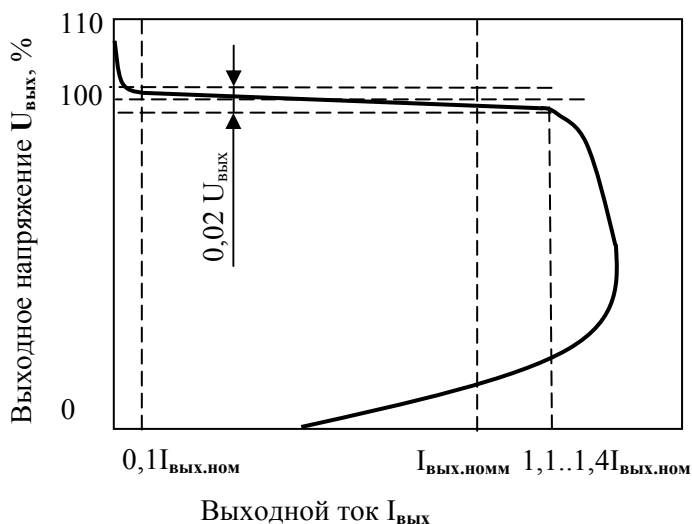


Рис. 7 Защита модуля от перегрузки по току и короткого замыкания.

Защита модуля от перегрузки по току (рис.7) ограничивает выходную мощность модуля при увеличении выходного тока более $1,1...1,4 \cdot I_{ном}$. Также модули питания имеют защиту от коротких замыканий в цепи нагрузки, которая срабатывает при увеличении выходного тока до $1,5 \cdot I_{ном}$ с последующим автоматическим возвратом в режим стабилизации напряжения после снятия короткого замыкания. Защита от короткого замыкания – длительная. Модуль питания имеет защиту от превышения напряжения на выходе модуля. Она срабатывает при достижении значения выходного напряжения $1,2U_{ном}$ за время не более 1мс. Тепловая защита обеспечивает защиту модуля от перегрева, выключая его при превышении температуры корпуса модуля определенного значения. При снижении температуры корпуса модуля он автоматически восстанавливает свою работоспособность.

Модули также содержат командный вход дистанционного включения-выключения. Данный вход гальванически связан с минусом входного напряжения и по параметрам согласован с ТТЛ с открытым коллектором.

Минимальная наработка на отказ для модулей серий МДМ и МДМ-П составляет 100 тыс. час. при температуре корпуса $+70^{\circ}\text{C}$, что в пересчете на температуру $+20^{\circ}\text{C}$ составляет величину около 3200 тыс. час. Оценить надежность модуля питания можно по следующему критерию: интенсивность отказов увеличивается примерно в 2 раза при повышении температуры на 15 градусов. Минимальный срок службы составляет 15 лет. Минимальный срок сохраняемости составляет 15 лет. Для увеличения надежности рекомендуется использовать модуль с коэффициентом загрузки по мощности 0,7.

Модули питания, имеющие резьбовые втулки или фланцы, могут крепиться к плате и к теплоотводу винтами. В связи с особенностью конструкции модулей питания недопустимо приложение механических усилий при креплении модуля хомутом, планкой и т. п. к эластичному компаунду. В условиях больших 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. Модули питания, как правило, требуют установки на теплоотвод с плотным прилеганием их через теплопроводящую пасту (например, КПТ-8). Модули питания можно устанавливать на теплоотводы любой конструкции, обеспечивающей заданную температуру корпуса модулей питания, в том числе использование принудительного обдува. При этом

необходимо чтобы максимальная температура корпуса модуля была не более +85°С [1].

Датчик температуры должен устанавливается на середину крышки модуля питания при этом необходимо применять теплопроводящую пасту (например, КПТ – 8) для уменьшения теплового сопротивления между датчиком и металлической крышкой. Если модуль прикреплен к радиатору и нет возможности прикрепления датчика к крышке, то допускается установить датчик с применением теплопроводящей пасты к середине одной из длинной боковой стороны модуля питания.

Эксплуатация модулей питания должна осуществляться с учетом требований по защите от статического электричества.

Запрещается включать модули питания во время проверок с помощью контактных устройств, допускающих кратковременные перерывы контактов (дрезбег).

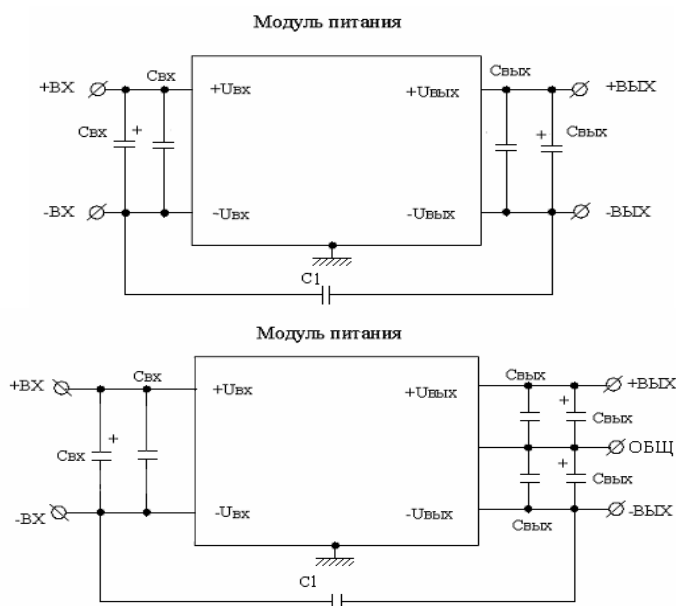


Рис. 8 Рекомендуемые схемы включения модулей питания

Для обеспечения надежной работы модуля питания и питаемой аппаратуры необходимо шунтировать входные и выходные цепи каждого модуля питания керамическими конденсаторами Свх, Свых, типа К10-47в (предпочтительно), К10-47а соответствующего напряжения в соответствии с приведенной на рис.8 схемой (для одноканального и двухканального модулей соответственно).

Таблица 2.

	Мощность, Вт		
	5, 7,5	15, 30	60, 120
Свх, Свых, мкФ	0,47 – 1,5	1 - 3	2,2 – 6,8

Емкость конденсаторов выбирается согласно таблице 2. При работе модуля на динамическую нагрузку с целью уменьшения динамической нестабильности рекомендуется увеличивать емкость конденсаторов Свх и Свых за счет параллельного подключения к ним танталовых электролитических конденсаторов типа К53 (предпочтительно), К52 соответствующего напряжения. При этом произведение $U_{вых} \cdot C_{вых}$ должно соответствовать таблице 3 (для двухканального модуля питания эта величина в два раза меньше по каждому из каналов), величина емкости Свх не ограничена. Конденсаторы должны быть расположены в непосредственной близости от выводов модуля питания на расстоянии не более 10 мм.

Таблица 3.

Тип модуля	Емкость на выходе модуля
МДМ5; МДМ7,5	500В х мкФ
МДМ15	1000В х мкФ
МДМ30	2500В х мкФ
МДМ60	5000В х мкФ
МДМ120	5000В х мкФ

В случаях питания чувствительной аппаратуры для повышения электромагнитной совместимости может устанавливаться конденсатор С1 емкостью 3,3...15 нФ соответствующего напряжения, соединяющий выводы Uвх и Uвых или «Общ». Целесообразность установки конденсатора определяется в процессе отработки аппаратуры.

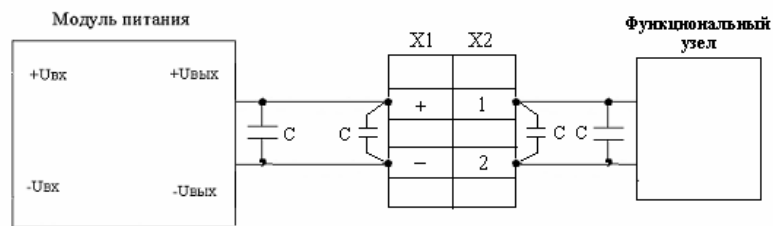


Рис. 9 Подключение модуля питания при наличии протяженной линии связи

При наличии протяженных линий связи (длинной более 2см) выхода и входа модуля питания 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.9). Керамические конденсаторы С устанавливать типа К10-47в (предпочтительно), К10-47а. Емкость конденсаторов 0,47-1,5 мкФ соответствующего напряжения.

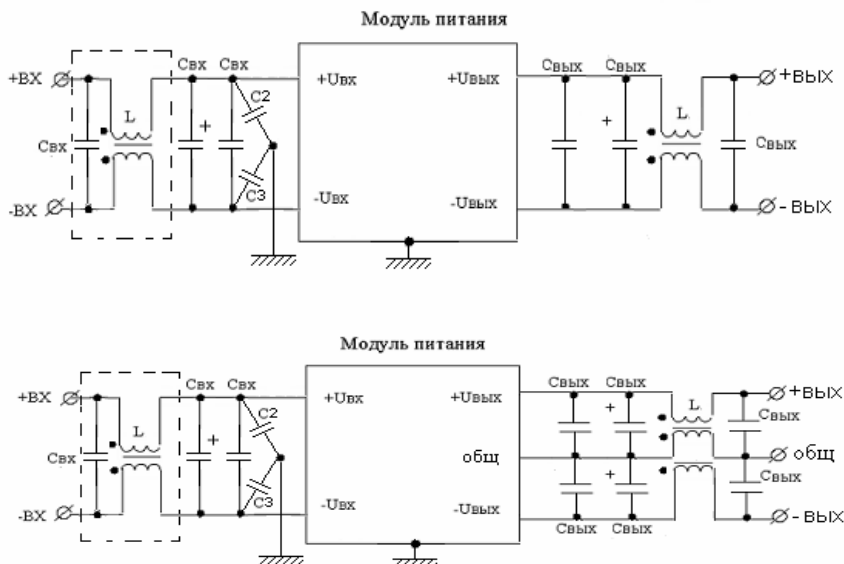


Рис.10 Включение модуля питания с дополнительными помехоподавляющими дросселями

Для особо чувствительной к импульсным помехам аппаратуры рекомендуется устанавливать на выход модулей питания (по возможности и на вход) дроссели L на ферритовых сердечниках, а также на вход конденсаторы С2, С3 в соответствии с рисунком 10.

Емкость конденсаторов С2, С3 3,3...15нФ соответствующего напряжения. Емкость конденсаторов Свх и Свых выбирается из таблицы 4. На изготовление помехоподавляющих дросселей принимаются заказы.

Таблица 4.

	Мощность, Вт		
	5, 7,5	15, 30	60, 120
Свх, Свых, мкФ	0,47 – 1,5	1 - 3	2,2 – 6,8

Для уменьшения уровня импульсных помех и шумов рекомендуется использовать также готовые изделия - модули защиты и фильтрации. Для обеспечения эффективной работы модуля защиты и фильтрации совместно с модулем питания необходима установка внешних дополнительных керамических конденсаторов, например, К10-47б или К10-47а (или танталовых К53-52) соответствующего напряжения, как показано на рис. 11.

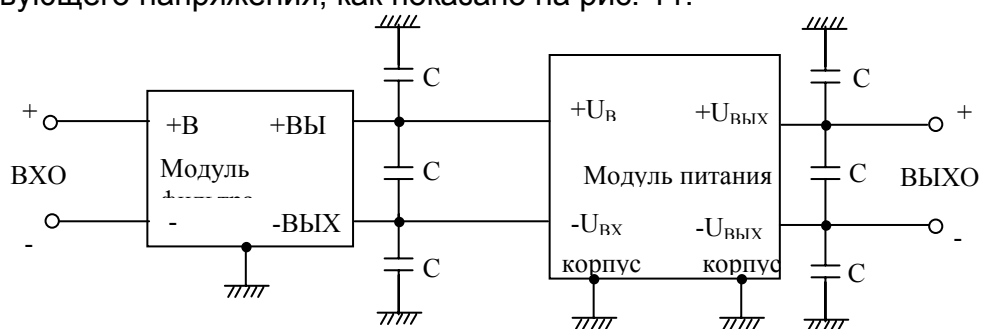


Рис.11 Схема включения модуля питания совместно с модулем защиты и фильтрации.

Емкость конденсаторов выбирается согласно таблице 4.

Таблица 4.

Прходной 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

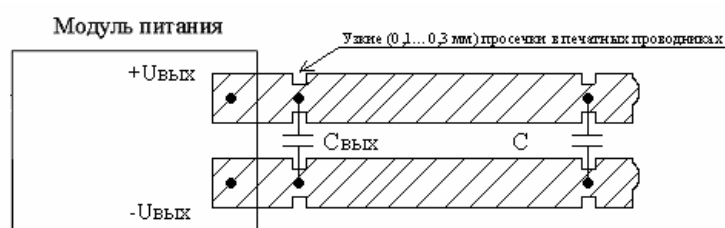


Рис. 6.4а Правильно

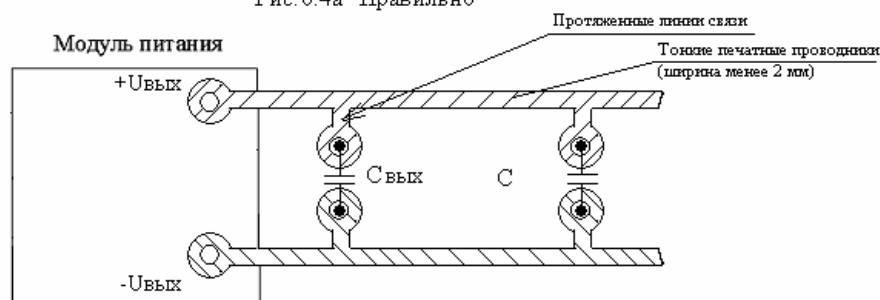


Рис. 6.4б Неправильно

Рис. 12 Рекомендации по разводке печатных плат

Необходимо обращать внимание на правильность разводки печатных плат или правильность подключения объемных проводников (рис.12). Толщину фольги, ширину трасс для печатных плат или диаметр объемных проводников, с помощью которых осуществляется подключение, необходимо выбирать исходя из величины токов по входу и выходу модуля. Их длину необходимо делать как можно меньше. Силовые цепи и цепи управления аппаратуры необходимо разнести 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 питания в цепи управления аппаратуры. Для большинства применений полезным является заземление корпуса модуля питания через вывод «Корпус», если он предусмотрен, или через резьбовые втулки корпуса.

Эффективность работы модулей защиты и фильтрации совместно с модулями питания также зависит от разводки печатной платы. Рекомендуемый пример разводки печатной платы показан на рисунке 13 [2].

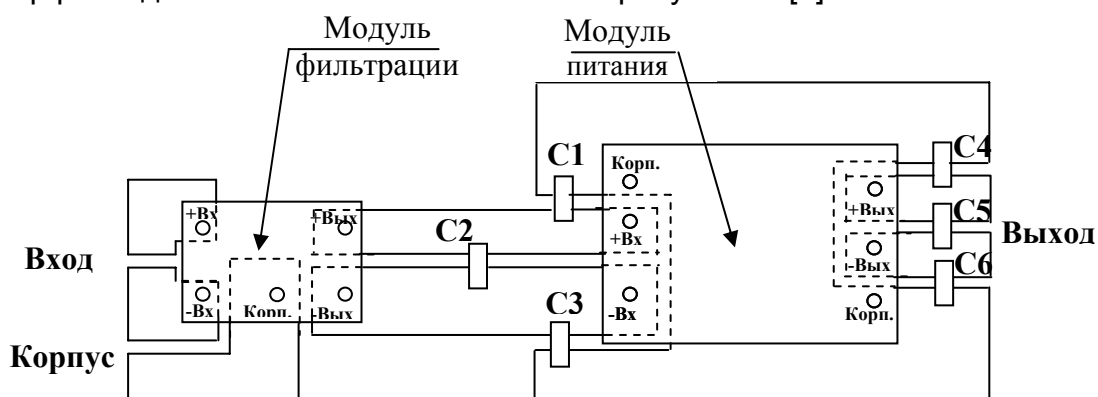


Рис. 13 Рекомендуемая печатная плата при включении модуля питания совместно с модулем защиты и фильтрации.

Для обеспечения заданной прочности изоляции между первичной и вторичной стороной схемы питания расстояние между ближайшими проводниками этих цепей должно быть не менее 1мм.

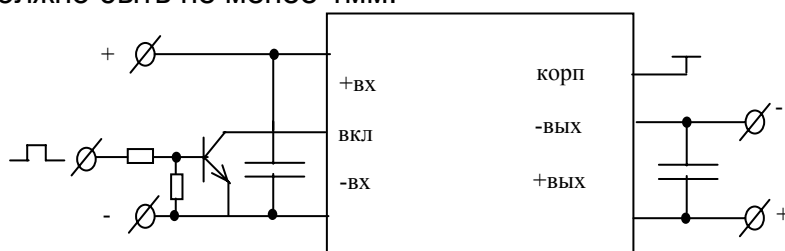


Рис. 14 Дистанционное выключение – включение модуля питания.

Дистанционное выключение/включение может осуществляться с помощью механического ключа, реле или электрического ключа типа разомкнутый коллектор (рис.14). Выключение модуля питания осуществляется соединением вывода «ВКЛ» с выводом «-ВХ». При этом через ключ может протекать ток до 5мА, а максимальное падение напряжения на ключе должно быть не более 1,1В. Включение модуля питания осуществляется размыканием ключа за время не менее 5мкс. В разомкнутом состоянии к ключу приложено напряжение до 15В, допустимая утечка тока через ключ не должна превышать 5 мкА.

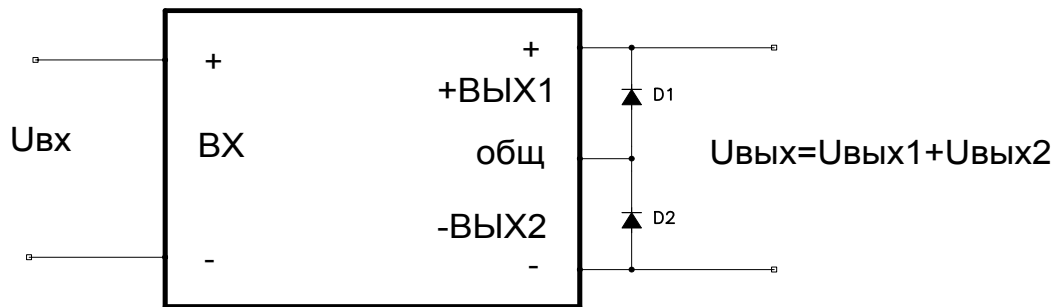


Рис. 15 Использование двухканального модуля питания в режиме одноканального.

При использовании двухканального модуля питания в режиме одноканального необходимо к выводам «+ВЫХ1», «ОБЩ», «-ВЫХ2» присоединить обратно включенные диоды (рис.15).

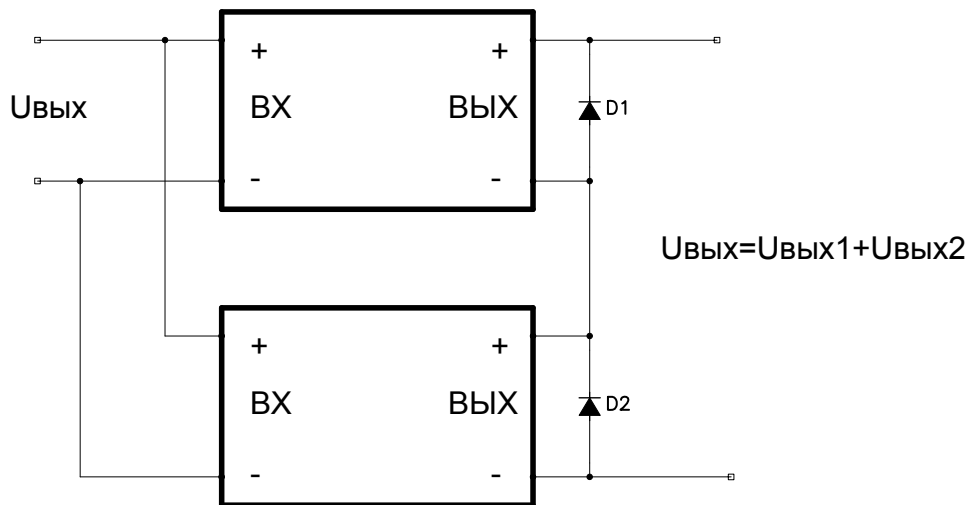


Рис. 16 Последовательное включение модулей питания по выходу.

Модули могут быть включены последовательно по выходу для увеличения выходной напряжения или мощности (рис.16). При этом необходимо к выводам «+ВЫХ1», «-ВЫХ1», «+ВЫХ2», «-ВЫХ2» присоединить обратно включенные диоды.

Выводы модулей питания допускают их покрытие после пайки любым типом лака, используемым для покрытия паяных соединений. Допускается обрезка выводов модулей питания, при этом оставшаяся длина вывода должна быть не менее 3мм от плоскости компаунда.

Пайку выводов модулей питания рекомендуется производить электропаяльником мощностью не более 60Вт при температуре не более 260°С в течение не более 5 секунд на один вывод. Допускается пайка выводов не более 3 раз на расстоянии не менее 2 мм от корпуса. Изгиб выводов не допускается.

Допускается два варианта измерения пульсаций выходного напряжения модулей питания серий МДМ и МДМ-П:

а) Для измерения пульсаций выходного напряжения необходимо пользоваться коаксиальным кабелем. К выводам модуля питания витой парой длиной 30 см должен быть подключен керамический конденсатор ёмкостью 0,47 мкФ. Коаксиальный кабель подключается к выводам конденсатора, при этом неэкранированные концы кабеля должны быть длиной не более 10 мм.

б) Для измерения пульсаций выходного напряжения необходимо использовать специальный «щуп для измерения пульсаций». Эскиз щупа с указанными номиналами используемых элементов приведён ниже. Слева

распаивается коаксиальный кабель или витая пара (длина ≤ 30 мм), идущие от выходных штырьков модуля питания, справа – коаксиальный кабель к осциллографу. Плата изготавливается из фольгированного стеклотекстолита. Неэкранированные концы кабеля должны быть длиной не более 10 мм. Щуп для измерения пульсаций выпускается и может быть заказан.

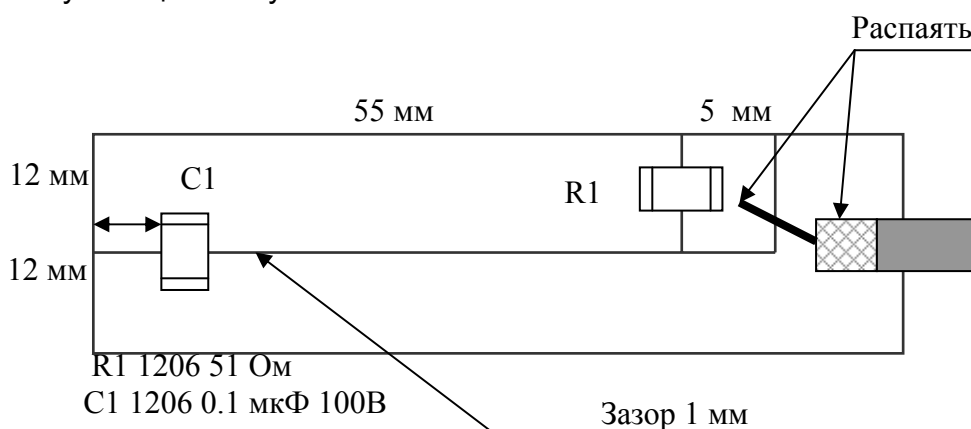


Рис. 17 Щуп для измерения пульсаций

В таблице 5 приведены ориентировочные геометрические параметры дюралюминиевых радиаторов, для условия конвекционного охлаждения.

Таблица 5.

Модуль питания	Суммарная площадь радиатора при температуре 50°С, не менее, см ²	Толщина основания радиатора, не менее, мм
МДМ5	-	-
МДМ7,5	60	2,5
МДМ15	115	2,5
МДМ30	250	3
МДМ60	450	4
МДМ120	900	4

Указанные в таблице значения справедливы для одноканальных или двухканальных модулей питания любого исполнения (У, П, УП).

Мощность, которая рассеивается модулем питания, рассчитывается по формуле:

$$P_T = P_{\text{вых}} \cdot (1 - \text{КПД}) / \text{КПД}$$

В соответствии с ТУ на модули питания МДМ и МДМ-П [1] технически возможно изготовление модулей с выходными напряжениями, отличающимися от предпочтительного ряда, указанного в ТУ. Для модулей МДМ возможно изготовление с выходными напряжениями в диапазоне от 3 до 68В, для модулей МДМ-П - от 3 до 80В. При этом суммарный выходной ток модулей должен быть не более: 5Вт – 1А, 7,5Вт – 1,5А, 15Вт – 3А, 30Вт – 6А, 60Вт – 10А, 120Вт – 20А. Рассмотрим пример, где показано как вычисляется реальная выходная мощность модуля, когда есть ограничения по максимальному выходному току. Например, МДМ120-1В05МУП. Делим выходную мощность 120Вт на выходное напряжение 5В, получаем выходной ток 24А, а т. к. у нас существует ограничение по выходному току, его максимальное значение будет составлять 20А. Таким образом, реальная максимальная выходная мощность модуля будет составлять 100Вт.

Стенды СМДМ, СМДМП предназначены для проведения проверки электрических параметров модулей питания МДМ и МДМ-П на соответствие

требованиям ТУ. Стенды используются для проведения входного контроля, технологических проверок и лабораторных испытаний модулей питания.

Стенд представляет собой пульт управления (рис.18), содержащий клеммную колодку для подключения модулей питания типа МДМ или МДМ-П соответственно, клеммы и разъёмы для подсоединения измерительных приборов, источников питания, нагрузки и заземления, а также управляющие тумблеры и кнопки. Схема лицевой панели пульта управления с подключенными типовыми приборами приведена ниже.

Дополнительно проверочные стенды СМДМ, СМДМП могут комплектоваться также щупами для измерения пульсаций.

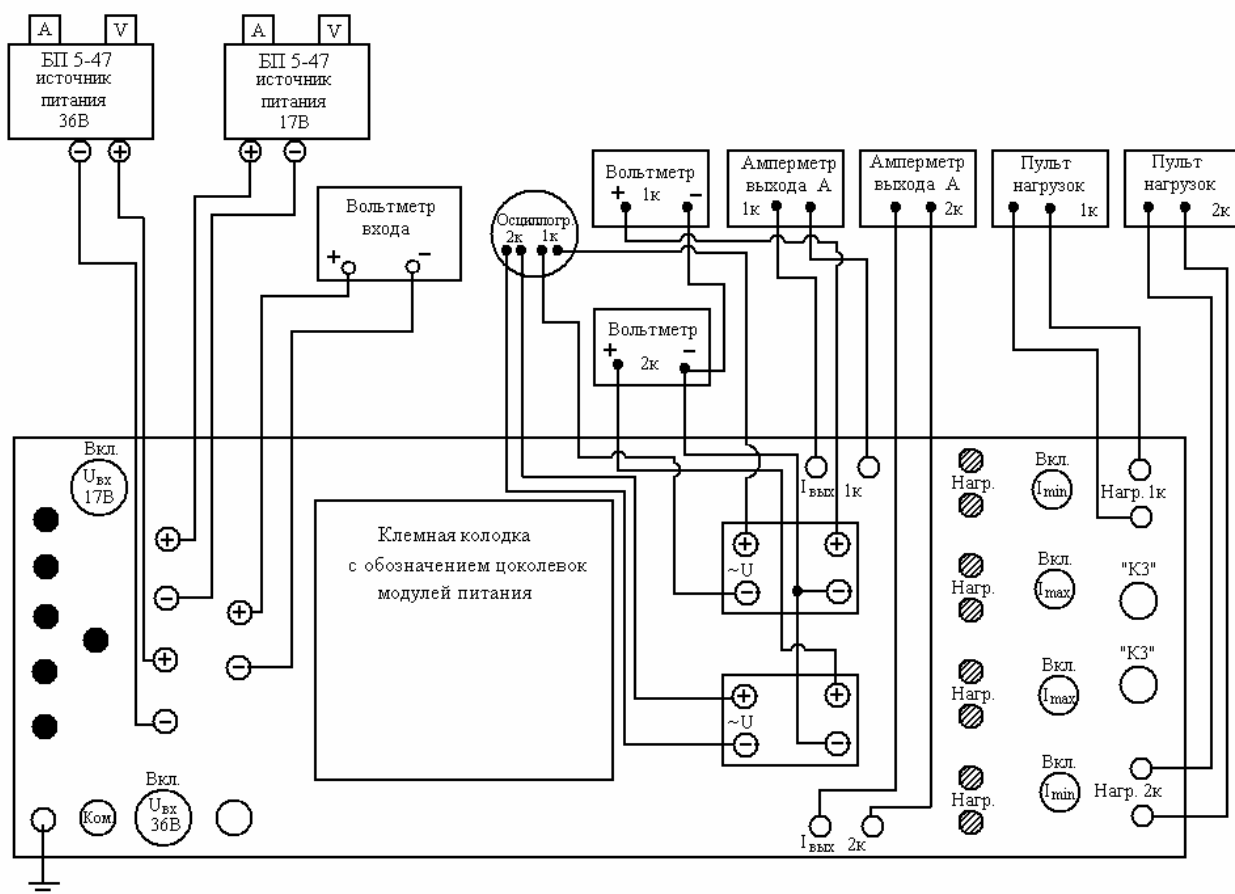


Рис.18 Схема лицевой панели пульта управления.

Ниже приведены типичные ошибки потребителей при использовании, а также действия, приводящие к выходу из строя модулей питания:

- поломка выводов в результате их неоднократного перегиба;
- приложение механических усилий к эластичному компаунду при креплении модуля, что ведет к повреждению конструкции и выходу модуля из строя;
- ошибки при подключении;
- измерение выходного напряжения на нагрузке, а не на выходных штырьках (особенно данный вопрос актуален для мощных модулей с большими выходными токами, не учитывается падение напряжения в выходных цепях);
- приложение очень сильного механического воздействия к модулю при монтаже модуля на радиатор, что приводит к повреждению его внутренней конструкции и выходу из строя;
- перегрев штырьков при пайке, что приводит к растеканию припоя на печатную плату и замыканию, которое в свою очередь ведет к отказу модуля;

- нарушение условий хранения модуля, что ведет к преждевременному окислению выводов;
- плохой тепловой контакт корпуса модуля и поверхности радиатора, что ведет к перегреву модуля;
- игнорирование проведения профилактических работ при использовании стендов СМДМ и СМДМП (непромывание клеммной колодки), что приводит к ошибке результатов измерений и неправильной забраковке модулей.

Технические условия на модули питания серии МДМ БКЮС.430609.001 ТУ.

Технические условия на модули защиты и фильтрации серии МРМ БКЮС.468240.003 ТУ.