

# Конструирование блоков обработки сигналов и информации

Алексей Карих (Москва)

**В статье рассматриваются основные вопросы, связанные с конструированием блоков обработки сигналов и информации: защита от механических и климатических воздействий, а также электромагнитная совместимость узлов в составе блока. Даны практические рекомендации и варианты построения блоков.**

Электронный блок – это комплекс различных деталей, определённым образом объединённых электрически и механически друг с другом и выполняющих заданные функции в заданных условиях и режимах эксплуатации. От правильного выбора этих деталей и материалов, правильного их размещения, закрепления зависят важнейшие характеристики блока (объём, масса, потребляемая мощность, допустимые условия эксплуатации, надёжность, стоимость).

Выбор конструкции (размеры, элементы охлаждения, конструктивные элементы) блока определяется выделяемым физическим объёмом в общем конструктиве, в который входит блок, а также количеством тепла, которое необходимо отвести от блока. Блок должен отвечать тактико-техническим, конструктивно-технологическим, эксплуатационным, надёжностным и экономическим требованиям, согласно существующим нормативам и ГОСТам.

К конструкциям блоков предъявляются требования:

- максимально возможная плотность компоновки;
- обеспечение температурного режима работы всех составных единиц, компонентов и узлов;
- максимальное использование физического объёма блока;

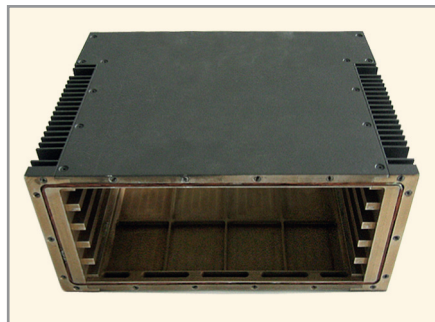


Рис. 1. Шасси блока вычислительных средств

- удобство доступа к составным единицам блока (ячейкам и платам);
- высокая надёжность.

В статье рассматривается: шасси (корпус) блока вычислительных средств, блоки обработки сигналов и сопряжения.

На рис. 1 показано шасси блока вычислительных средств без лицевой панели и входящих ячеек. Блок питается от бортовой сети постоянного напряжения 27 В. В блок входят составные единицы в конструктивном формате 6U: вычислительная машина с кондуктивным отводом тепла, двухканальный модуль «Манчестер» и источник питания. Отвод тепла и крепление составных единиц в блоке осуществляются при помощи клиновой группы, показанной на рис. 2, которая состоит из двух клиньев, двух подвижных упоров и одного неподвижного. Расклинивание (закрепление) ячейки в блоке осуществляется при помощи винта. Составные единицы подключаются к информационной шине VME. Отвод тепла от блока – кондуктивный. Температурный диапазон эксплуатации блока –50...+60°C.

На рис. 3 показан блок обработки сигналов. Блок питается от бортовой сети переменного напряжения 220 В, 400 Гц. В блок входят составные единицы в конструктивном формате 6U: вычислительная машина с кондуктивным отводом тепла, девять ячеек цифровой обработки и источник питания. Отвод тепла и крепление составных единиц в блоке осуществляются при помощи клиновой группы. Составные единицы подключаются к информационной шине VME. Отвод тепла от блока – кондуктивный. Температурный диапазон эксплуатации блока –50...+60°C. На рис. 4 показан блок обработки

со снятой верхней крышкой, вид сверху.

Все блоки изготовлены в пылебрызгозащищённом исполнении с двухслойным покрытием: первый слой – олово-висмут, второй слой – чёрная порошковая краска. Стенки блоков выполнены в виде рёбер-плит, изготовленных из алюминиевого сплава (Д16М, Д16Т) фрезерованием (при серийном производстве возможно литьём). Повышенные требования предъявляются к точности и к качеству обработки поверхностей. Шероховатость должна быть не хуже Rz 3,2 с допуском изготовления на некоторые сопрягающие детали  $\pm 0,1$  мм.

На рис. 5 показан блок обработки и сопряжения. Блок питается от постоянного напряжения 27 В. В блок входят составные единицы в конструктивном формате 6U: вычислительная машина с воздушным охлаждением, ячейки цифровой обработки и источник питания. Отвод тепла в блоке осуществляется при помощи воздушного охлаждения, циркулирующего в замкнутом объёме. Составные единицы подключаются к информационной шине VME. Температурный диапазон эксплуатации блока –40...+50°C.

Так как блоки относятся к аппаратуре специального применения и к ним предъявляются повышенные требования как в части механики, так и в части электрических, информационных связей, то стандартных и готовых конструктивов нет. Под каждую задачу разрабатывается новый конструктив, и унификация в этом случае получается очень небольшая.

Блоки эксплуатируются в стационарных условиях либо на подвижных объектах (автомобильном, гусеничном, воздушном, водном), т.е. на блок в процессе эксплуатации воздействует вибрация, ударные нагрузки и линейные ускорения, а это накладывает определённые требования к конструкции блока. Как показывает опыт эксплуатации транспортируемых изделий, наибольшее разрушающее воздействие на конструкцию оказывает вибрация. Как правило, если

блок выдерживает воздействие вибрационных нагрузок в определённом частотном диапазоне, то в том же частотном диапазоне он выдерживает ударные нагрузки и линейные ускорения со значительно большими значениями. Поэтому при конструировании блока необходимо уделить особое внимание расчёту вибрационных нагрузок.

Для уменьшения воздействия вибраций и ударов блок устанавливают на амортизаторы или применяют демпфирующие материалы. Воздействие линейных ускорений с перегрузкой эквивалентно увеличению массы блока и при значительной длительности воздействия требует увеличения прочности конструкции. Амортизаторы от линейных ускорений практически не защищают.

Но самое страшное для конструкции – явление резонанса, когда частота внешнего воздействия совпадает с частотой собственных колебаний элементов конструкции. Для борьбы с этим явлением надо вводить дополнительные элементы конструкции, изменять взаимное расположение элементов и входящих в блок составных единиц, а также крепление блока к общему конструктиву. Необходимо, чтобы частота собственных колебаний элементов конструкции была выше верхней допустимой частоты внешних возмущающих колебаний. Частоту собственных колебаний элементов конструкции повышают за счёт увеличения числа точек крепления, рёбер жёсткости, увеличения толщины крышек и стенок, изменения геометрических размеров блока.

Блок должен быть уравновешен в пространстве, чтобы центр тяжести находился в середине блока. На практике центр тяжести может не совпадать с физическим центром блока, это связано с тем, что составные элементы и единицы неравномерно установлены в блоке и имеют разную массу.

В процессе эксплуатации и хранения блок подвергается воздействию влаги и агрессивной среды (морской соли, химических веществ и т.д.). При попадании влаги внутрь блока через микропоры и щели происходит химическое взаимодействие, вызывающее коррозию. Наличие в атмосфере кислот, щелочей, солей в большинстве случаев ускоряет процессы кор-

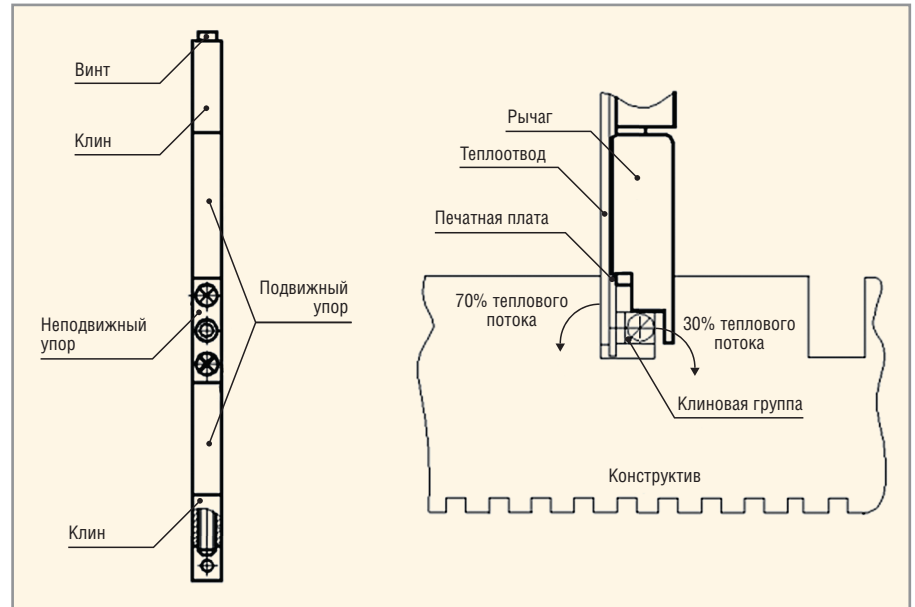


Рис. 2. Клиновое устройство

розии. Действие влаги усиливается при контакте металлов с сильно отличающимися электрохимическими потенциалами, а также в местах швов; это может привести к постепенному или внезапному отказу или ухудшению параметров аппаратуры. Для защиты блоков применяют защитное покрытие (цинковое, кадмиевое, оловянно-висмутное, оловянно-свинцовое, никелевое). Выбор того или иного вида покрытия в каждом конкретном случае зависит от материала детали, её функционального назначения и условий эксплуатации.

Особенно тщательно следует подходить к защите разъёмных и неразъёмных контактов, а также к защите от коррозии резьбовых соединений. Для этой цели паяные и сварные соединения покрывают лаком, ответственные разъёмные соединения золотят, резьбовые соединения покрывают слоем кадмия.

Конструкция блока бывает разъёмная и неразъёмная. Швы неразъёмных блоков выполняются пайкой, склеиванием, заливкой специальными компаундами (герметиками) типа ВГО-1 или Висксинт. Аппаратура такого класса практически неремонтопригодна и считается одноразовой. Как правило, она используется в спецтехнике, например в аппаратуре космического применения. Если необходимо иметь доступ к составным единицам блока при эксплуатации, то корпус делают разъёмным. Обычно разъёмной является верхняя крышка, редко боковая стенка. Между соеди-

нительными деталями (корпусом и крышкой) помещают эластичную прокладку. Условием непроницаемости такого соединения является сохранение за всё время службы контактного давления между прокладкой и соединяемой поверхностью. Прокладка может быть резиновая или из эластичного герметика. При использовании резины следует помнить, что для этого материала характерно свойство релаксации, т.е. постепенного падения внутренних напряжений



Рис. 3. Блок обработки сигналов

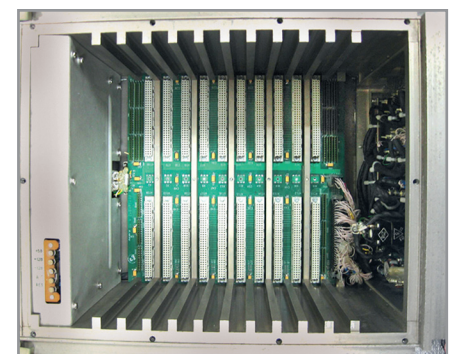


Рис. 4. Блок обработки сигналов без верхней крышки



Рис. 5. Блок обработки и сопряжения

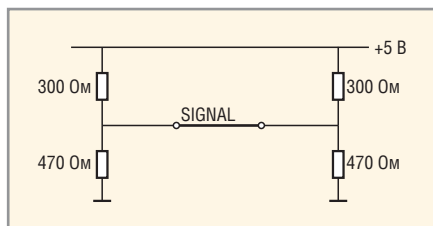


Рис. 6. Пассивное согласование шины

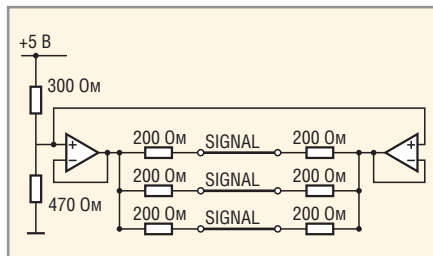


Рис. 7. Активное согласование шины

при неизменном значении деформации. Через 20 мин напряжение снижается на 14%, через двое суток – на 25% и затем стабилизируется. В связи с этим узел уплотнения с резиновой прокладкой следует подтягивать через 2 суток после сборки. Температурный коэффициент расширения резины равен  $500 \times 10^{-6}$  1/град, что почти в 40 раз больше, чем у стали. Это надо учитывать при конструировании узла уплотнения, предназначенного для работы в широком диапазоне температур. Для герметизации блоков наиболее часто применяются прокладки из силиконовой резины, которая обладает повышенной влагостойкостью, теплопроводностью и термостойкостью в диапазоне температур  $-60...+125^{\circ}\text{C}$ . Если стенки блоков должны быть электрически связаны между собой по единому контуру, то применяют электропроводящую резину.

Основной сложностью при изготовлении блока является объёмно-жгутовой монтаж, особенно переход с объединительной платы на лицевую панель. Монтаж выполняется проводом МГШВ, МНВ или МГТФ. Жгуты могут иметь плоскую или цилиндрическую форму. Жгутовой монтаж – операция не технологичная и трудно поддающаяся автоматизации, она занимает до 40% времени сборки блока. Применение гибко-жесткой печатной платы вместо жгутов позволяет упростить изготовление блока и исключить ошибки в монтаже. Разъёмы впаиваются в печатную плату, и плата крепится к лицевой панели; такой подход вызывает ряд конструктивных сложностей, так как необходимо сопрячь несколько деталей, имеющих разные допуски. Российская промышленность выпускает разъёмы для печатного монтажа: МР5П, аналог МР1 (НКЦС.434410.117ТУ), ОНЦ-БС/БМ (АШКДК.434410.088ТУ), ОНЦ-БС/БМ аналог ОНЦ-БС/БМ (НКЦС.434410.110ТУ), СНЦ127 (АШКДК.434410.082ТУ), РС (АШКДК.434410.059ТУ). При разработке конструкции электрических связей необходимо предусмотреть возможность доступа к отдельным частям при изготовлении и ремонте без полной разборки блока.

Конструктивно все рассматриваемые блоки состоят из объединительной платы, к которой стыкуются через разъёмы составные единицы – ячейки. Обеспечение внутренней ЭМС становится непростой задачей, так как множество устройств разной мощности, работающих на разных тактовых частотах, сосредоточены в ограниченном объёме блока и влияют друг на друга как по цепям питания, так и через излучение.

Электрическое объединение ячеек осуществляется связями двух видов: сигнальными шинами и цепями питания.

Любая электрическая линия характеризуется распределённой ёмкостью, индуктивностью и омическим сопротивлением. Реальная электрическая линия неоднородна, так как состоит из различных отрезков с различными параметрами. Но при расчёте электрическую линию необходимо рассматривать как однородную.

Переходные процессы в линии зависят от характера перепада напря-

жения на входе линии и соотношения волновых сопротивлений. В идеале необходимо согласовывать волновые сопротивления передатчика, линии и приёмника. На практике это равенство трудно выполнить, но при проектировании необходимо к этому стремиться и выбирать тип линии и вид соединителей с близкими волновыми сопротивлениями. Кроме того, приёмник и передатчик в процессе работы меняются местами, и нелинейные входные и выходные характеристики при переключении схем изменяются на несколько порядков, что усложняет расчёт и анализ.

Основные причины, вызывающие искажения сигналов при прохождении по сигнальным цепям:

- отражения от несогласованной нагрузки и от неоднородностей;
- затухание сигналов при прохождении их по цепям;
- ухудшения фронтов и задержки при включении нагрузок с реактивными составляющими;
- перекрёстные помехи;
- наводки от внешних электромагнитных полей.

При передаче сигналов по шине (VME, VXI и др.) либо по информационным каналам (RS, Ethernet и др.) необходимо соблюдать рекомендации стандартов по согласованию и разводке. Например, в рассматриваемых блоках используется шина VME, и стандарт рекомендует два вида согласования на концах шины: пассивное (рис. 6) и активное (рис. 7). Пассивное согласование рассеивает около 5 Вт, активное в разы меньше, но требует применения большого количества операционных усилителей. При помощи делителя на линии шины поддерживается напряжение 2,94 В (третье состояние).

В объединительной плате сигнальные провода разводят в одном слое, отделяют друг от друга проводниками с нулевым потенциалом или разводят в разных слоях, разделяя их слоями с нулевым потенциалом. Для уменьшения взаимной связи между сигнальными проводниками в жгуте и улучшения помехоустойчивости сигнальный и обратный провод выполняют скруткой или коаксиальным кабелем. Не следует прокладывать силовые и сигнальные провода в одном жгуте.



В статическом состоянии по цепям питания протекают стационарные токи, вызывающие падение напряжения на шине питания. Если рассматривать объединительную плату, на которой стоят ячейки, то в наихудших условиях с точки зрения помехозащищённости по шине питания находится  $n$ -я ячейка (если считать относительно источника питания), поскольку её реальная статическая помехозащищённость уменьшена по сравнению с номинальной на значение падения напряжения на шине питания. Уровень помехи рассчитывается так:

$$U_{\text{пом.ст}} = \Delta R_{\text{ш}} I_{\text{п}} n(n+1)/2,$$

где  $U_{\text{пом.ст}}$  – максимально допустимое значение статической помехи;  $I_{\text{п}}$  – ток потребления одной ячейкой;  $n$  – номер ячейки;  $\Delta R_{\text{ш}}$  – сопротивление участка шины питания между двумя расположенными рядом ячейками.

При работе ячеек на шине происходит включение одних ячеек и выключение других, потребление ячеек меняется в зависимости от программ, возникает процесс перераспределения токов. Ток потребления по шине питания изменяется, что приводит к нежелательным падениям напряжения и паразитным наводкам, возникают переходные процессы в шине, что приводит к колебанию напряжения. Так как шина питания имеет паразитную ёмкостную и индуктивную связь с сигнальными шинами, в зависимости от значения этой связи, перепада напряжения и тока при переключении элементов в ячейке, на сигнальных связях наводятся сравнительно большие помехи.

Уменьшение помех достигается схемотехническими, конструкторскими и технологическими методами. К схемотехническим методам относятся:

- использование элементной базы с максимальной помехоустойчивостью;
- применение LC- и RC-фильтров в цепях питания;
- компенсация и локализация помех (например, использование скруток);
- минимизация аппаратных средств (ячеек, плат).

К конструкторским методам относятся:

- уменьшение количества типов линий связи и переходов в одной цепи;
- ослабление паразитной связи путём разнесения источников и приёмников помех либо ортогональное расположение проводников в соседних слоях печатной платы;
- увеличение числа точек заземления и сечения шин питания;
- экранирование печатных плат, ячеек и узлов, которые генерируют помехи.

К технологическим методам относятся:

- увеличение однородности линий одного технологического исполнения (печатный проводник, кабель);
- уменьшение разброса параметров элементов схемы с помощью применения элементов с небольшими разбросами (прецизионных).

Как отмечалось ранее, для уменьшения помех применяют RC-фильтры, – по сути, сглаживающие конденсаторы, которые устанавливаются между шиной питания и общим проводом непосредственно возле разъёма присоединения ячейки. Заряжаясь до напряжения питания, конденсаторы являются как бы индивидуальным источником питания схемы.

Используется два вида конденсаторов.

Первый тип предназначен для сглаживания импульсных помех в момент работы ячейки. В качестве таких элементов используется конденсаторы, обладающие малым импедансом и ESR. Ёмкость выбирается из условия равенства заряда, накапливаемого конденсатором за время работы ячейки. При этом изменение напряжения на конденсаторе не должно превышать некоторого заданного значения, равного допустимой помехе по шине питания:

$$C \geq \frac{\Delta_n \tau_{\text{ф}}}{2U_{\text{ип}}},$$

где  $\Delta_n$  – максимальное значение переменной составляющей тока потребления;  $U_{\text{ип}}$  – допустимая импульсная помеха на шине питания;  $\tau_{\text{ф}}$  – длительность фронта импульса переключения.

Второй тип предназначен для компенсации бросков тока. Обычно это электролитические конденсаторы большой ёмкости, обеспечивающие исключения резонансных явлений в цепях питания:

$$C \geq \frac{4L_{\text{пит}}}{R_{\text{ип}}^2},$$

где  $L_{\text{пит}}$ ,  $R_{\text{ип}}$  – индуктивность и сопротивление шины питания.

Теперь несколько слов о заземлении в блоке. Существует два вида общих (земляных) шин – корпусная и схемная. Корпус блока согласно требованием электробезопасности, подключается к общей (земляной) шине общего конструктива, в который этот блок входит. Система заземления представляет собой цепь возврата тока, обладающую хоть и низким, но конечным импедансом. Как известно, протекание любого тока в системе заземления приводит к появлению разности потенциалов. Для работы составных единиц (ячеек) необходимо, чтобы эта разность потенциалов была минимальна. Для этого необходимо сократить длину и увеличить поперечное сечение системы заземления, а схемный общий провод должен быть изолирован и соединяться с корпусом блока в одной точке. При несоблюдении этих требований импульсные напряжения, создаваемые уравнивающими и наведёнными токами на общей (земляной) шине блока, вызывают помехи и сбои в ячейках.

Для особо чувствительных схем применяют плавающую землю. Такая схема требует полной изоляции схемного общего провода и корпуса блока, т.е. высокого сопротивления и низкой ёмкости. Для предотвращения накопления статического электричества схемный общий провод подключают к корпусу блока через высокоомное сопротивление.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Барнс Дж. Электронное конструирование: методы борьбы с помехами. М.: Мир, 1990.
2. Варламова Р.Г. Справочник конструктора РЭА. М: Советское радио, 1980.
3. Ленк Дж.Д. Справочник по проектированию электронных схем. Техника, 1979.
4. Ненашев А.П. Конструирование радиоэлектронных средств. Высшая школа, 1990.
5. Преснухин Л.Н., Шахнов В.А. Конструирование электронных вычислительных машин и систем. Высшая школа, 1986.
6. Селиванова З.М. Схемотехника электронных устройств. Тамб. гос. тех., 2008.
7. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники. М: Мир, 1998.

