

Подключение модулей к работающему устройству

Встречаются системы, состоящие из нескольких модулей, главный из которых работает постоянно, а дополнительные (съёмные) модули могут подключаться или отключаться по ходу работы системы. Часто запросы на создание таких систем поступают от заказчиков промышленной электроники и сверхнадежных вычислительных систем. Например, на большинстве серверов локальных вычислительных сетей стоят подключаемые жесткие диски, которые меняются во время работы системы в случае сбоя или переполнения. К счастью, наступили времена качественной популярной электроники. Теперь требования к подключению модулей во время работы системы выставляются только для того, чтобы пользователь не задумывался о сохранности устройства и порядке включения системы.

Для того, чтобы создать подключаемый модуль, необходимо выполнить несколько требований, которые, во-первых, предупредят поломку модуля при подключении к работающей системе и, во-вторых, не приведут к сбоям в работе системы. Интерфейс между подключаемым и основным модулями состоит из шин питания, земли и сигнальных шин. Модель микросхемы, подключаемой к системе показана на рис. 1.

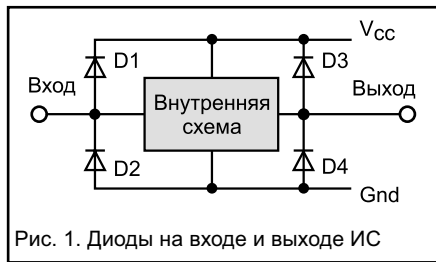


Рис. 1. Диоды на входе и выходе ИС

Диоды $D_1...D_4$ в микросхеме выполняют следующие функции.

D_1 . Этот диод присутствует в большинстве микросхем КМОП. Он защищает микросхему от электростатических разрядов, ограничивая напряжение на входе микросхемы. Этого диода нет ни на биполярных микросхемах ТТЛ и ЭСЛ, ни на микросхемах БикМОП.

D_2 . Паразитный диод, появление которого предопределено структурой входа микросхем. В цифровых микросхемах дополнительно в этом диоду ставят еще один, с меньшим сопротивлением, для того чтобы фильтровать пики напряжения, меньшие уровня логического нуля. Такие пики появляются в результате токового отражения сигналов. Этот диод также защищает вход микросхемы от электростатического разряда.

D_3 . В микросхемах КМОП этот диод вставляется для защиты от электростатических разрядов. В большинстве биполярных микросхем на этом месте есть паразитный диод. Исключением являются биполярные микросхемы с открытым коллектором или с триста-

бильным выходом. Выход этих микросхем всегда остается в состоянии высокого импеданса.

D_4 . Присутствует во всех цифровых микросхемах. В биполярных микросхемах вставляется дополнительный диод Шоттки для фильтрации напряжения, меньшего уровня логического нуля. Как и в случае с диодом D_2 , предполагается, что такое напряжение появляется при отражении сигнала. В КМОП микросхемах диод вставляется для защиты от электростатических разрядов.

При подключении или отключении модулей во время работы системы самый большой интерес представляет напряжение, которое появляется на входах и выходах микросхемы. Таблица 1 иллюстрирует работу вышеописанных четырех диодов и возможные значения напряжений на входах и выходах интерфейсных микросхем.

При создании подключаемых модулей микросхемы БикМОП выгодно отличаются от прочих тем, что имеют добавочную цепь, которая держит выход микросхемы в состоянии высокого импеданса в момент ее включения. Эта цепь следит за напряжением питания. Она показана на рис. 2. Цепь состоит из двух диодов – D_1, D_2 – и транзистора Q_1 , на базу которого подается напряжение. При напряжении питания, которое меньше установленного (например, для серии АВТ/ВСТ $V_{COFF} \sim 2,5$ В, для LVT $V_{COFF} \sim 1,8$

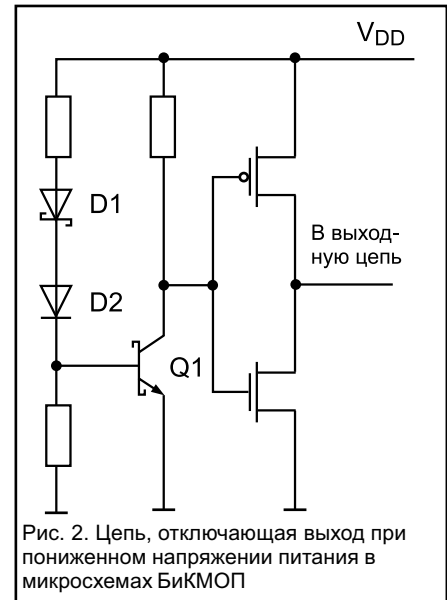


Рис. 2. Цепь, отключающая выход при пониженном напряжении питания в микросхемах БикМОП

В), выход этой цепи переходит в состояние логической единицы. При этом он отключает сигнал на выходе микросхемы, независимо от сигнала, который присутствует на входе. Это свойство микросхем БикМОП гарантирует, что поведение схемы предсказуемо даже при очень низком напряжении питания.

Условия работы системы при смене модулей

Предполагается, что входы и выходы микросхем, описанные выше, подключаются к работающей системе, и весь интерфейс можно представить как набор подобных выводов. Подключаемый модуль и система показаны на рис. 3. Для определенности скажем, что модуль М-1 уже подключен к системе. Этот модуль получает энергию через источник V_1 .

Если модуль М-2 вставить в разъем, то не все контакты модуля и системы соприкоснутся одновременно. При этом возможны самые разные сочетания напряжений на сигнальных контактах разъема. Влияет на это последовательность включения контактов земли, питания и сигнальных цепей, а также уровень сигнала в цепи.

Поведение системы будет предсказуемо, если соблюдаются по крайней мере два условия:

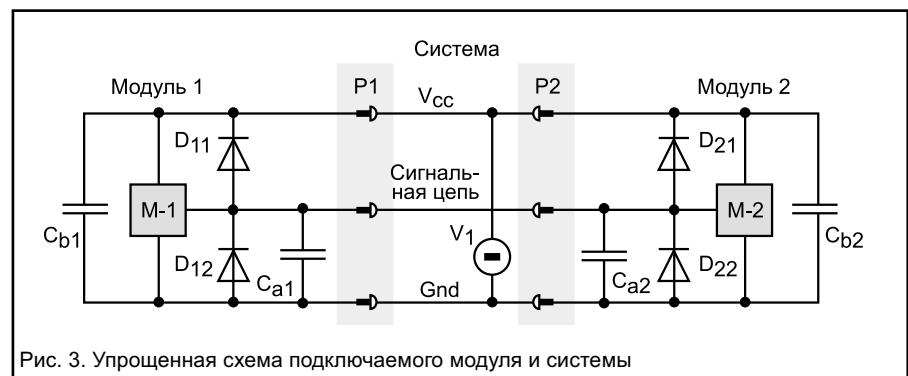


Рис. 3. Упрощенная схема подключаемого модуля и системы

Таблица 1. Напряжение на входах и выходах микросхем, фильтруемое внутренними диодами

Серия	Вход D<~> ₁ , В	Тотемный выход D<~> ₃ , В	Выход с открытым коллектором D<~> ₃ , В	Тристабильный выход D<~> ₃ , В	Состояние высокого импеданса при включении
SN7400	5,5	7	7	V<~> _{cc} +0,5	Нет
SN74LS	7	V<~> _{cc} +0,5	7	5,5	Нет
SN74S	5,5	V<~> _{cc} +0,5	7	5,5	Нет
SN74F	7	V<~> _{cc} +0,5	7	5,5	Нет
SN74ALS	7	V<~> _{cc} +0,5	7	5,5	Нет
SN74AS	7	V<~> _{cc} +0,5	7	5,5	Нет
SN74BCT	7	–	5,5	5,5	Да
SN74ABT	7	–	–	5,5	Да
SN74LVT	7	–	–	5,5	Да
SN7HC	V<~> _{cc} +0,5	V<~> _{cc} +0,5	V<~> _{cc} +0,5	V<~> _{cc} +0,5	Нет
SN74AC	V<~> _{cc} +0,5	V<~> _{cc} +0,5	–	V<~> _{cc} +0,5	Нет
SN74LV	V<~> _{cc} +0,5	V<~> _{cc} +0,5	V<~> _{cc} +0,5	V<~> _{cc} +0,5	Нет
SN74LVC	7	V<~> _{cc} +0,5	–	5,5	Нет
SN74ALVC	4,6	–	–	V<~> _{cc} +0,5	Нет

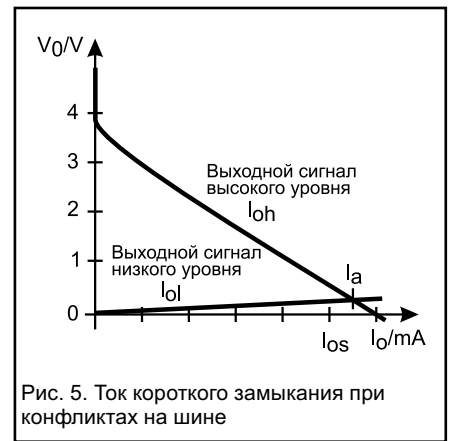


Рис. 5. Ток короткого замыкания при конфликтах на шине

Иначе ток, который потечет при его зарядке, вызовет искажение сигнала.

2) Проблема возможных конфликтов на шине остается нерешенной. Часто, когда два шинных формирователя подают сигналы одного и того же уровня на шину, они начинают бороться между собой и побеждает тот, кто пропускает через выходной транзистор больший ток (здесь надо смотреть схему выходного каскада тех микросхем, которые стоят на шине). При этом они перегреваются и сгорают.

Как избежать конфликтов и помех на сигнальных шинах?

Проблема конфликтов на шине стоит особенно остро, когда встречаются выходные сигналы разных уровней – низкого и высокого. На рис. 5 можно увидеть упрощенную характеристику этого процесса. Ток, который возникает в результате конфликта, достигает $I_S = 120 \text{ mA}$, и в этой борьбе выживает та микросхема, которая имеет на выходе низкий уровень. Микросхема с высоким уровнем на выходе достигает тока короткого замыкания и сгорает.

Для того чтобы не допустить конфликт, нужна дополнительная схема, которая во время включения питания держала бы выходы в состоянии высокого импеданса.

Основным элементом этой схемы может быть ИС TLC7705. Такие микросхемы используются для генерации сигнала Reset при включении прибора. В нашем случае выводы этой микросхемы подключаются к входам разрешения шинных формирователей. Во время инициализации или включения модуля сигнал Reset переводит выходы микросхем в третье состояние. При создании таких схем удобно использовать микросхемы, которые имеют два входа Enable (например, SN74ABT541). Это и другие альтернативные решения показаны на рис. 6.

При подключении нового модуля к системе, переключаемая емкость цепи должна быть заряжена до уровня напряжения на той цепи, к которой она подключается. В противном случае, при подключении конденсатор C_{S2} (рис. 3) будет перезаряжаться, и возникнет ток, из-за которого могут произойти помехи в

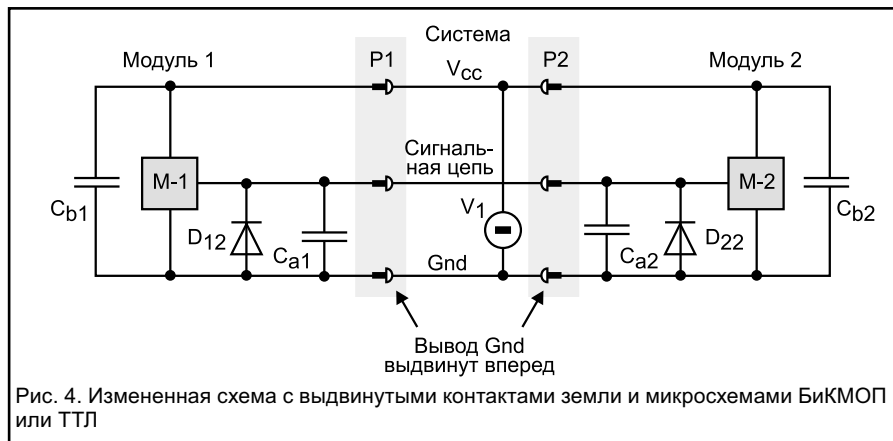


Рис. 4. Измененная схема с выдвинутыми контактами земли и микросхемами БикМОП или ТТЛ

1) На разъеме есть один или несколько контактов земли, выдвинутых вперед относительно других контактов.

2) Интерфейс состоит только из микросхем, не имеющих диодов D_{11} и D_{21} , показанных на рис. 3.

Второму условию удовлетворяют все биполярные или БикМОП микросхемы с тристабильными выходами или выходами с открытым коллектором.

В последнем случае, при включении дополнительного модуля в работающую систему первым появляется потенциал земли. Если же первым было подключено напряжение питания, то

выходы интерфейсных сигналов могут переключиться в неконтролируемое состояние.

Эти простые предосторожности уже гарантируют, что интерфейсные микросхемы не будут разрушены при включении. Если этого достаточно для выполнения требований к подключаемым модулям, то на этом варианте можно остановиться и не принимать более глобальных и дорогих решений. Следует заметить однако, что:

1) При включении модуля и соединении сигнальной линии конденсатор C_{b2} на рис. 4 должен быть заряжен.

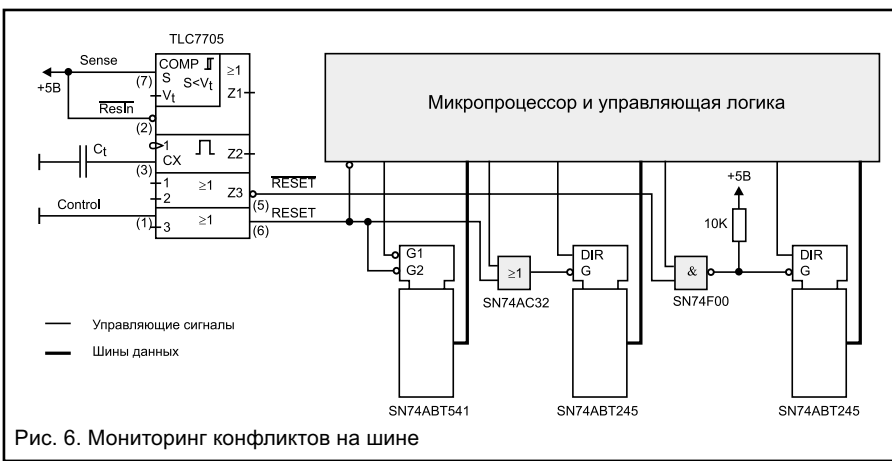


Рис. 6. Мониторинг конфликтов на шине

В ней используются:

- диод D_1 – источник опорного напряжения необходимого для зарядки емкости;
- коммутатор U_3 (например, SN74CBT3244), который подает напряжение для зарядки во время включения модуля;
- микросхема мониторинга напряжения питания U_1 , которая держит шинные формирователи в отключенном состоянии во время включения модуля. Как видно из рис. 11, для того чтобы сконструировать сложный интерфейс с шинами большой разрядности, необходимо потратить довольно много сил и ресурсов. Здесь показана схема толь-

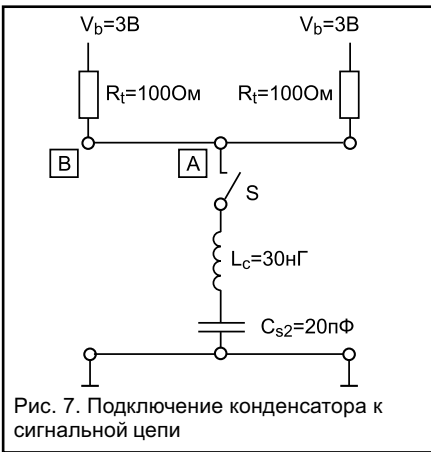


Рис. 7. Подключение конденсатора к сигнальной цепи

жения 1,5 В. Эквивалентная схема показана на рис. 9.

При этом броски напряжения уменьшатся примерно в два раза и будут выглядеть примерно так, как показано на рис. 10.

На практике это означает, что разъем подключаемого модуля должен быть устроен следующим образом: первыми должны соприкасаться шины земли и зарядки конденсаторов, вторыми – шины питания и сигнальные шины. На рис. 11 показана схема, которая предлагается для применения в целях защиты системы от помех на шине.

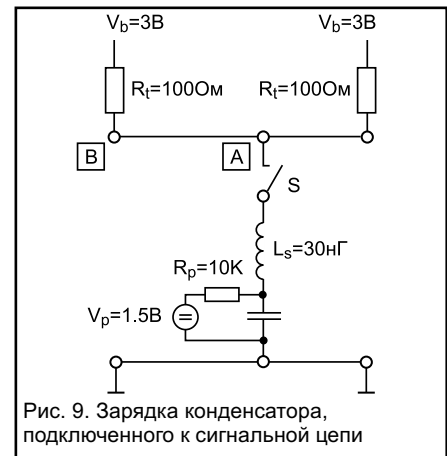


Рис. 9. Зарядка конденсатора, подключенного к сигнальной цепи

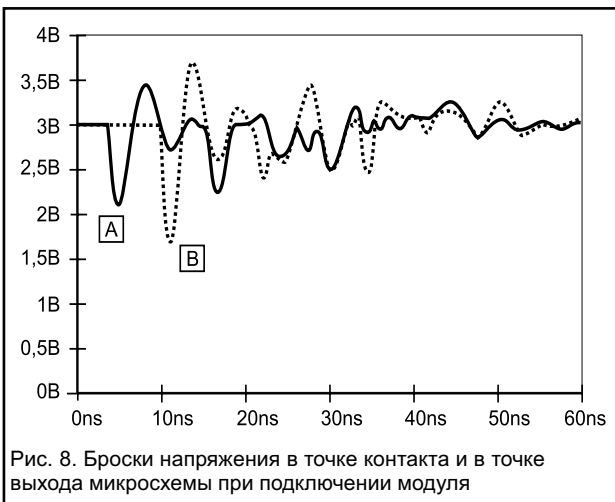


Рис. 8. Броски напряжения в точке контакта и в точке выхода микросхемы при подключении модуля

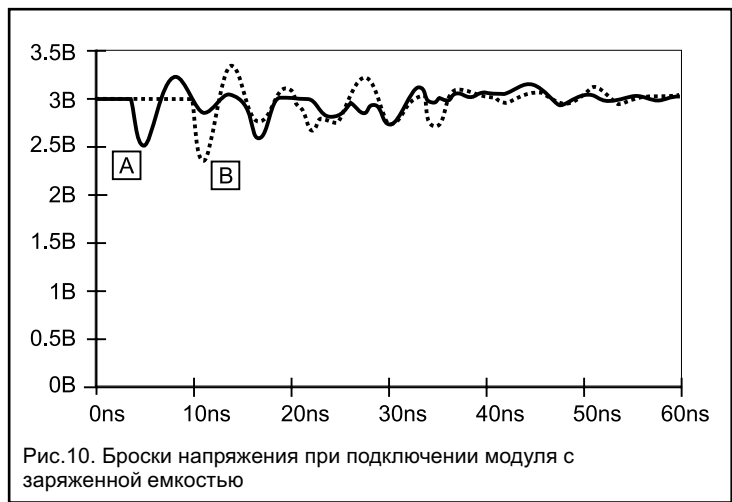


Рис. 10. Броски напряжения при подключении модуля с заряженной емкостью

сигнале. На рис. 7 показана эквивалентная схема, описывающая этот процесс.

На схеме переключающийся конденсатор в центре цепи $C_{S2}=20$ пФ, индуктивность контакта разъема $L_c=30$ нГ, импеданс линии $Z_0=30$ Ом при времени распространения сигнала 10 нс. Линия терминирована с обеих сторон резисторами $R_t=100$ Ом.

При подсоединении разъема ключ S замыкается. Напряжение в точке A резко меняется. Напряжение в точке B также меняется и вызывает потерю данных на шине (если в этот момент шла передача данных).

Для того, чтобы уменьшить этот бросок напряжения, нужно зарядить конденсатор до уровня порогового напря-



Рис. 11. Схема, защищающая интерфейс от помех на сигнальных шинах

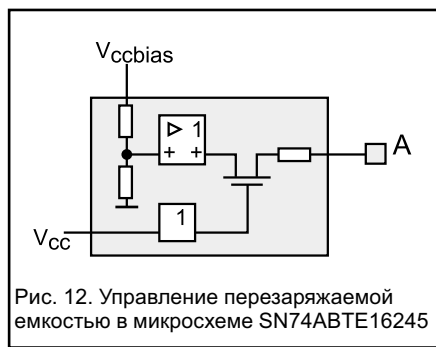


Рис. 12. Управление перезаряжаемой емкостью в микросхеме SN74ABTE16245

после подсоединения контактов V_{CC1} и Gnd на микросхеме U3 появляется напряжение V_{CCBIAS} . Одновременно включаются микросхемы U2 и U1, и сигналом OE отключают выходы шинного формирователя от шины.

Как избежать бросков напряжения в цепях питания при подключении модуля? Броски напряжения в цепях питания системы при подключении модуля появляются точно так же, как броски в сигнальных цепях. При этом величина заряжаемой емкости колеблется от де-

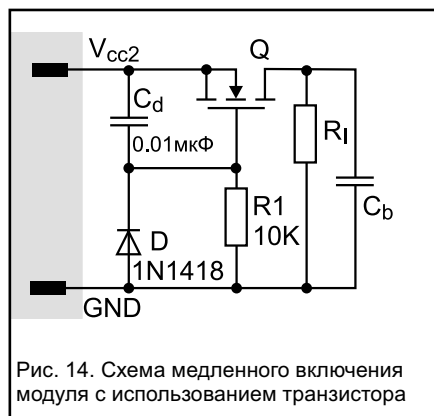


Рис. 14. Схема медленного включения модуля с использованием транзистора

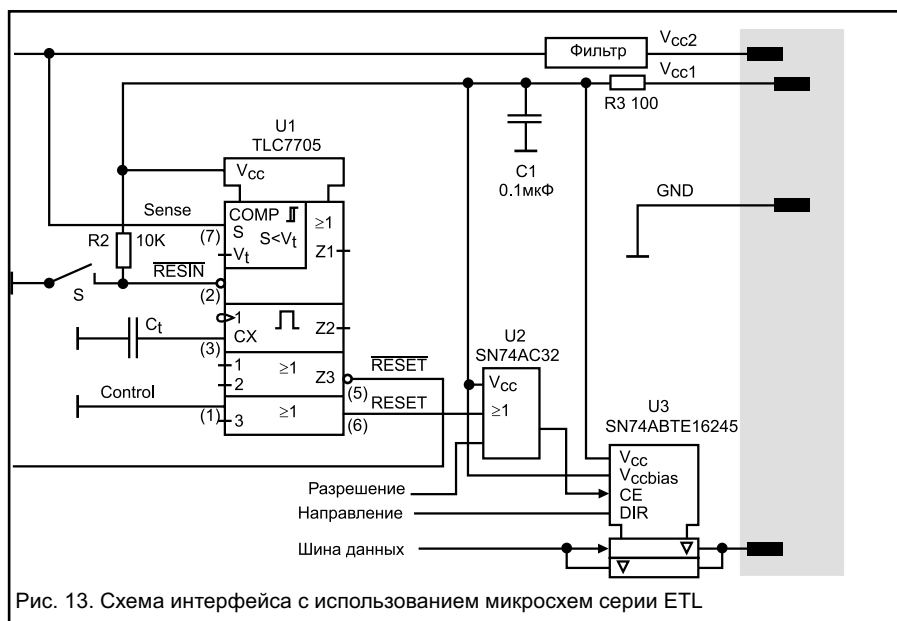


Рис. 13. Схема интерфейса с использованием микросхем серии ETL

ко для одного сигнала, в то время как популярные шины имеют разрядность 32 и более бит данных.

Специальные микросхемы для сменных модулей

Существуют шинные формирователи, которые уже содержат в себе все необходимые для защиты от шинных конфликтов компоненты – коммутаторы и резисторы. Их использование упрощает схему, показанную на рис. 11. Эти микросхемы выпускаются в двух сериях: ETL (Enhanced Transceiver Logic, серия SN74ABTE) и BTL (Backplane Transceiver Logic, серия SN74FB).

Микросхемы серии ETL имеют дополнительный вывод для подключения напряжения зарядки выходной емкости микросхемы, обычно называемый V_{CCBIAS} . Он питает схему, заряжающую конденсатор во время включения модуля. На рис. 12 показана структура блока, где присутствуют напряжение питания и напряжение зарядки – соответственно V_{CC} и V_{CCBIAS} . Для простоты в схеме не нарисована цепь, отключающая выход микросхемы при пониженном напряжении питания (она была показана на рис. 2).

На рис. 13 показана схема интерфейса, в которой используются микросхемы ETL. В момент включения модуля,

сятков до сотен микрофард и зависит от емкости блокирующего конденсатора. Один из путей к ограничению скачка напряжения – включение в цепь питания коммутатора, который медленно включается. На рис. 14 предложена схема, в которой роль коммутатора играет P-МОП транзистор. Цепочка RC обеспечивает медленное изменение сигнала на базе транзистора. Дiode D быстро разряжает конденсатор, после того как модуль был выключен.

Предполагается, что транзистор имеет малое сопротивление во включенном состоянии. При работе рассеиваемая мощность на транзисторе невелика из-за небольшого падения напряжения. Поэтому можно использовать транзисторы в планарном корпусе, например P-МОП TPS1101PW. При необходимости можно параллельно включать несколько транзисторов.

На рис. 15 приведена схема источника питания, который получает из системы от десяти до сорока вольт и преобразует их импульсным способом в 5 В. Схема не дает броска напряжения при включении. Анализ работы схемы можно найти в описании импульсного преобразователя TL5001.

Рекомендации

Итак, есть два набора рекомендаций, которые необходимо выполнять при

создании подключаемых модулей. Первый набор применим для модулей, подключаемых к системе, работа которой может быть нарушена во время подключения, и второй – для модулей, подключающихся к системе без нарушения ее работы. Естественно, создать модуль, который удовлетворял бы второму требованию, гораздо сложнее.

Единственное, что требуется в этом случае, – уверенность, что при подключении модуля по сигнальным линиям не течет никаких случайных токов. Для этого необходимо:

- 1) Использовать разъем с выдвинутыми вперед выводами земли.
- 2) Интерфейсные цепи при отключенном питании должны оставаться в состоянии высокого импеданса.
- 3) Желательно использовать микросхемы, которые имеют механизм отключения сигнальных шин при включении питания (рис. 2). Рекомендуемые серии – ABT, VCT и LVT (таблица 1).

II. Необходимо, во-первых, выполнить все рекомендации раздела I и, во-вторых, иметь уверенность, что при подключении модуля к системе не произойдет никаких помех в сигнальных цепях и цепях питания. Необходимо:

- 1) Использовать разъем с выдвинутыми вперед выводами земли и специальными выводами питания.
- 2) Использовать исключительно микросхемы, отключающие свои выходы при пониженном напряжении питания.
- 3) Использовать цепи мониторинга напряжения питания.
- 4) Емкости сигнальных линий до подключения сигнальных линии с шиной системы должны быть заряжены – для этого рекомендуется использовать микросхемы серий BTL и ETL со специальными выводами V_{CCBIAS} .
- 5) При включении модуля не должно быть бросков напряжения в цепях питания. При необходимости можно вставить в разрыв цепи питания схему, которая бы исключала влияние блокирующего конденсатора модуля на напряжение питания системы.

Вадим Стрижов, strijov@ccas.ru