

# Аnalog Devices представляет: решение проблемы последовательного включения и управления источниками питания

Алан МОЛОНИ  
Перевод: Алексей ВЛАСЕНКО  
alexey.vlasenko@analog.com.ru

Разработчики источников питания применяют различные схемы мониторинга питания, схемы управления последовательностью и задержкой включения источников питания (далее — секвенсоры) и схемы регулирования. В этой статье мы постарались показать, что и как делается в этой области.

## Введение

Мониторинг и управление питанием в системах, где количество линий и напряжений питания растет, становится очень важным аспектом безопасности, экономичности, надежности и корректной работы электронной системы в течение многих лет эксплуатации — особенно для систем на базе микропроцессоров. Нормирование момента включения источника питания или вхождение напряжения питания в область допустимых значений, а также включение и выключение напряжений питания в заданной последовательности — все это важно для надежной и безотказной работы.

Существует много методов решения различных аспектов этой проблемы. Например, с помощью простой схемы с делителем на прецизионных резисторах, с компаратором и источником опорного напряжения можно отслеживать, находится ли напряжение питания выше минимально допустимого уровня. В генераторах сброса, например ADM803, помимо этих элементов, имеется также генератор задержки, предназначенный для того, чтобы удерживать микропроцессор или DSP в состоянии сброса на то время, пока напряжение питания достигает номинального уровня. Такой уровень мониторинга питания является достаточным для многих систем.

В тех случаях, когда требуется отслеживать напряжение на нескольких шинах питания, применяется несколько параллельно включенных компараторов (или многоканальный компаратор и соответствующие дополнительные элементы); однако имеется спрос на специализированные микросхемы для мониторинга, обеспечивающие не только функции компаратора.

Например, представим себе общие требования к питанию такого устройства: FPGA (программируемая логическая интегральная схема) может питаться от источника напря-

жением 3,3 В. Это напряжение должно быть подано за 20 мс до включения 5-вольтового источника питания портов ввода/вывода, иначе при включении устройство может выйти из строя. Эти требования так же важны для нормальной работы устройства, как и соблюдение номинального напряжения питания и номинального температурного диапазона.

Количество линий питания в некоторых системах значительно возрастает. Сложные устройства, например коммутаторы LAN или базовые станции сотовой связи, имеют до 10 линий питания, но даже в потребительских устройствах, таких как плазменные телевизоры, может присутствовать до 15 отдельных шин питания, для многих из которых требуется контроль напряжения и определенная последовательность включения.

Для многих современных высокоинтегрированных микросхем требуется несколько напряжений питания. Например, наличие отдельных напряжений питания для процессорного ядра и для портов ввода/вывода — довольно типичная ситуация для многих устройств. Цифровые сигнальные процессоры (DSP) могут требовать до четырех отдельных шин питания. А во многих случаях в одной системе могут сосуществовать несколько микросхем, требующих нескольких напряжений питания — FPGA, DSP, ASIC (специализированные интегральные схемы), микропроцессоры и микроконтроллеры, а также аналоговые компоненты.

Многие устройства могут работать при стандартных уровнях напряжения питания (например, 3,3 В), тогда как для других требуются специфические напряжения. Кроме того, специфические и независимые линии питания могут требоваться в нескольких местах. Например, отдельные шины питания для аналоговой и цифровой части устройства:  $3,3V_{ANALOG}$  и  $3,3V_{DIGITAL}$ . Наличие разных шин с одинаковым напряжением может по-

требоваться по разным причинам: чтобы повысить эффективность (например, шина питания динамического ОЗУ может потреблять сотни ампер) или если требуется определенная последовательность включения (секвенсинг), например, питание  $3,3V_A$  и  $3,3V_D$  должны подаваться с определенной задержкой относительно друг друга. Все эти факторы увеличивают число шин питания.

Мониторинг напряжения и секвенсинг могут быть довольно сложными, особенно если система должна обеспечивать не только определенную последовательность включения шин питания, но и определенную последовательность выключения, а также определенную реакцию на любые возможные сбои на различных шинах во время работы устройства. Лучший путь для решения такой инженерной задачи — использовать специализированный центральный контроллер питания.

При большом количестве источников питания повышается вероятность сбоев. Этот риск растет пропорционально количеству источников питания, числу элементов, сложности системы. Различные внешние факторы также повышают риск. Например, основной ASIC функционирует при неких определенных параметрах питания. Если новая версия этого процессора требует иных характеристик питания, то разработчик должен предусмотреть возможность изменить величины напряжений питания, порогов срабатывания и последовательности включения источников в соответствии с новыми спецификациями. Если требования изменились, то, возможно, даже разводку печатной платы придется изменить — с соответствующими потерями времени и увеличением стоимости разработки. Более того, иногда спецификации питания разрабатываемого устройства могут измениться в ходе разработки. В таких случаях проще изменить параметры питания, если контроль питания осуществляется посредством специализированной микросхемы-

контроллера. Фактически возможность гибкого управления мониторингом напряжения, секвенсором и уровнями напряжений шин питания в таких системах становится жизненной необходимостью.

Разработка схем защиты от сбоев и секвенсинга в таких системах может потребовать значительных усилий и временных затрат, поэтому микросхемы, способные упростить этот процесс, обеспечат ускорение конструирования прототипа и уменьшат время выхода на рынок. Обработка сбоев и оцифровка величин напряжений питания и температуры — очень полезные свойства таких устройств как в серийно выпускаемых изделиях, так и на всех стадиях разработки — от разработки печатной платы до получения готового прототипа.

### Мониторинг питания: простейшая схема

На рис. 1 показана простая схема мониторинга нескольких линий питания, в которой применены ИС ADCMP354 — компараторы со встроенными источниками опорного напряжения. Отдельный компаратор применен для каждой шины питания. Резистивные делители обеспечивают определенный уровень срабатывания компаратора на каждой линии. Все выходы соединены вместе и вырабатывают единый сигнал *power-good* («напряжения питания в норме»).

### Секвенсор питания: простейшая схема

На рис. 2 показано, каким образом можно реализовать простой секвенсор на отдельных компонентах, применяя логические пороговые схемы вместо компараторов. 12-вольтный и 5-вольтный источники питания подключены ко входу схемы. Для того чтобы схема работала корректно, необходимо обеспечить определенные задержки включения. Это сделано с помощью RC-цепочки, задерживающей рост напряжения на затворе *n*-канального транзистора MOSFET, который установлен в шине питания 5 В. Величина RC выбрана в соответствии с требу-

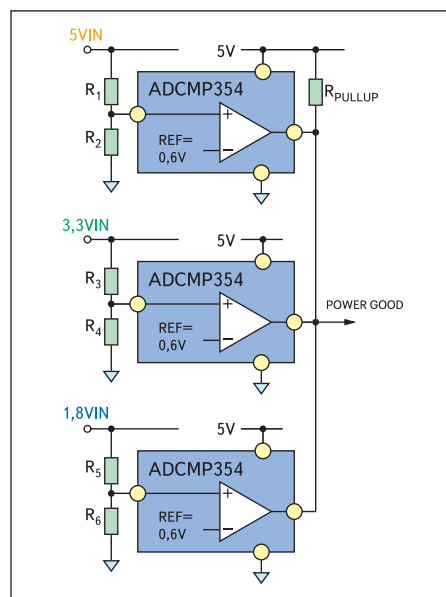


Рис. 1. Схема на компараторах с открытыми стоками, обнаруживающая падение напряжения

мым временем задержки — так чтобы напряжение на затворе достигло напряжения открывания транзистора не раньше определенного времени. Напряжения питания 3,3 В и 1,8 В получены с помощью стабилизаторов ADP3330 и ADP3333. Время включения этих стабилизаторов также определяется величинами соответствующих RC-цепочек. Здесь уже не требуются транзисторы в цепи

питания, так как RC-цепочки управляют сигналами на входах включения /SD каждого стабилизатора. Величины RC также выбраны в соответствии с требуемым временем задержки  $t_2$  и  $t_3$  соответственно и уровнем срабатывания входов /SD.

При таком простом и недорогом подходе к решению проблемы секвенсора источников питания не требуется много места на плате, поэтому такая схема вполне пригодна во многих случаях. Схема подходит для систем, где цена является одним из важнейших факторов, требования к секвенсору невысоки и точность не критична.

Но во многих случаях требуется нечто более точное, чем схемы задержки на RC-цепочках. Кроме того, описанное решение не позволяет реализовать корректную обработку сбоев питания (например, отключение источника 5 В приведет к отключению двух других шин).

### Секвенсор питания на специализированных микросхемах

На рис. 3 показано, как микросхемы-секвенсоры ADM6820 и ADM1086 могут быть использованы для точного и надежного управления включением шин питания. Внутренние компараторы определяют момент, когда напряжение превысило заданный пороговый уровень. Выходные сигналы с заданной задержкой включают стабилизаторы

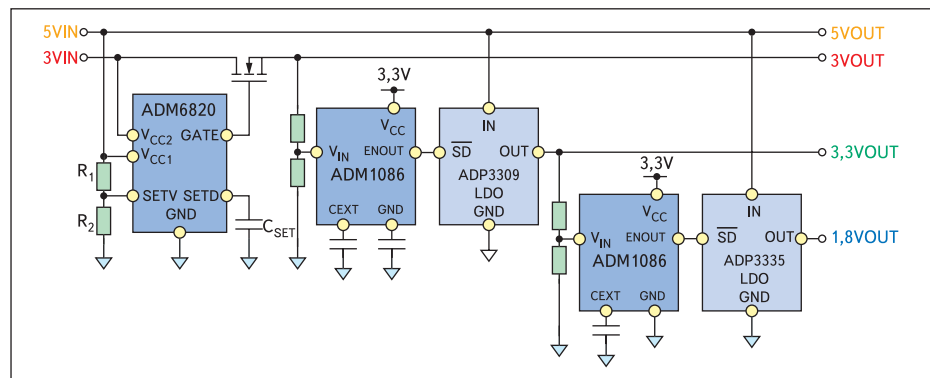


Рис. 3. Секвенсор на специализированных микросхемах

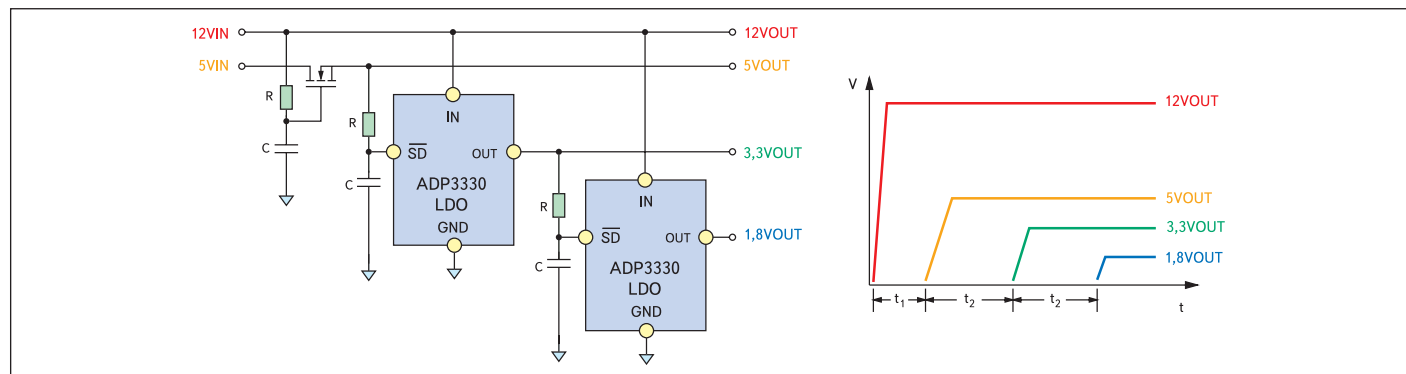


Рис. 2. Простейшая схема управления последовательностью включения источников питания (секвенсор)

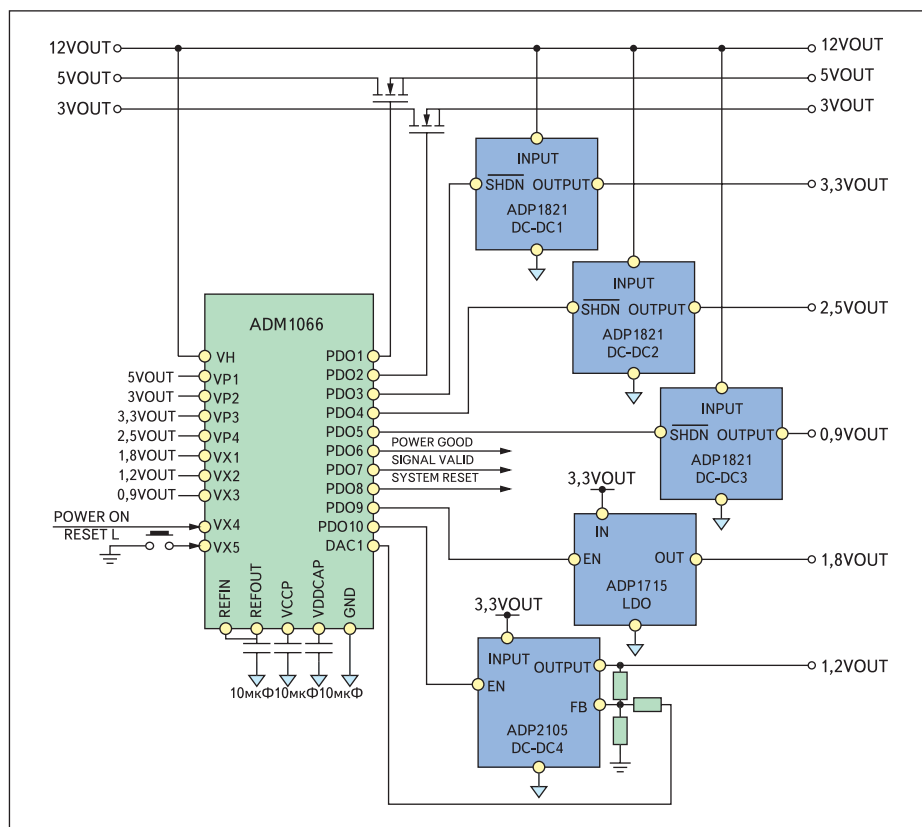


Рис. 4. Схема на 8 линий питания со специализированным центральным секвенсором

ADP3309 и ADP3335 в желаемой последовательности. Пороги срабатывания устанавливаются резистивными делителями, время задержки задается конденсаторами.

Имеется довольно большой выбор микросхем-секвенсоров. Некоторые имеют выходы, позволяющие напрямую управлять питанием, причем доступны различные конфигурации выходов. Некоторые подобные микросхемы имеют встроенные схемы «зарядовых насосов» на переключаемых конденсаторах. Такие ИС особенно полезны в низковольтных схемах, где нужно управлять линиями более высокого напряжения, например для управления затвором *n*-канального MOSFET-транзистора, стоящего в линии питания 12 В. Многие секвенсоры имеют вход разрешения (enable), позволяющий с помощью внешнего сигнала от кнопки или контроллера перезапускать секвенсор или отключать его, когда требуется.

### Интегрированные системы управления питанием

В некоторых системах имеется так много шин питания, что подход к построению секвенсоров на дискретных микросхемах приводит к слишком значительному усложнению и удорожанию схемы и уже не может обеспечить соответствующих характеристик.

Представьте систему, в которой есть 8 линий питания и которая требует определенной последовательности включения. Каждая

шина отслеживается на предмет повышения или падения напряжения. В случае падения напряжения нужно отключить все остальные шины, или запустить последовательность отключения, в зависимости от вида сбоя. Это действие должно запускаться в зависимости от неких управляющих сигналов, и в свою очередь некие управляющие сигналы должны быть сгенерированы этой схемой. Если такую схему реализовывать на дискретных компонентах, она может потребовать сотен отдельных компонентов, будет занимать огромное место на плате и иметь весьма высокую стоимость.

В системе с четырьмя и более линиями питания есть смысл использовать единый контроллер-секвенсор для управления линиями питания. Пример такого подхода показан на рис. 4.

### Централизованный мониторинг и секвенсинг

В секвенсорах семейства Super Sequencer ADM106x также присутствуют компараторы, но есть некоторые тонкости. На каждом входе имеется два компаратора, так что схема может обнаруживать как снижение напряжения, так и превышение определенного уровня напряжения питания.

Так, изображенная на рис. 4 система отслеживает напряжения, которые генерируют импульсные преобразователи ADP1821 и ADP2105 и стабилизатор ADP1715, то есть проверяет,

находятся ли эти напряжения в заданных «окнах». Низкое напряжение на шине — это нормально в первый момент после включения системы, и схема обрабатывает последовательное включение — секвенсинг. Превышенные напряжения обычно говорят о сбое — возможно, произошел пробой транзистора или замыкание индуктивности — и такое состояние требует немедленной реакции.

Система с большим количеством источников питания сложна и требует более высокой точности. Требования к точности особенно высоки для низких напряжений питания, таких как 1,0 В или 0,9 В. Хотя для 5-вольтовой шины вполне допустимым разбросом будет разброс 10%, обычно такая точность неприемлема для шины 1 В. ИС ADM1066 позволяет обеспечить точность срабатывания компаратора не хуже 1% при очень низких напряжениях (0,6 В) во всем температурном диапазоне. В данном секвенсоре имеются встроенные схемы фильтрации выбросов и гистерезис. Логические входы могут использоваться для запуска секвенсора, отключения всех шин, а также для выполнения других действий.

Информация с линейки компараторов поступает в логическое ядро, которое выполняет следующие функции:

- **Секвенсинг.** Когда напряжение попадает в пределы «окна», запускается генератор задержки, после чего включается следующая шина питания. Можно реализовать сложные алгоритмы включения и выключения линий питания.
- **Ожидание.** Если напряжение на «разрешенной» шине не появляется в течение заданного времени, секвенсор может выполнять определенное действие (например, генерировать прерывание или отключать всю систему).
- **Мониторинг.** Если напряжение на какой-либо шине вышло за пределы «окна», секвенсор также может выполнять определенное действие в зависимости от конкретной шины, от вида сбоя и от заданного режима. Встроенный генератор напряжения на переключающихся конденсаторах обеспечивает напряжение 12 В для управления затвором, даже если на схему подано только 3 В. Это позволяет напрямую управлять *n*-канальным MOSFET-транзистором.

Дополнительные выходы позволяют включать или выключать DC/DC-преобразователи или стабилизаторы. Выходы могут работать в режиме с открытым стоком. Эти выходы можно также использовать как выходы сигналов состояния, например «power-good» или «включение питания». К выходу можно напрямую подключить светодиод — индикатор состояния.

### Регулировка напряжения питания

Помимо мониторинга нескольких шин питания и обеспечения комплексного управления

последовательностью их включения, интегрированные устройства управления питанием, такие как ADM1066, также обеспечивают средства для временной или постоянной регулировки напряжения отдельных шин. Выходное напряжение DC/DC-преобразователя или стабилизатора может быть подано на вход секвенсора, предназначенный для контроля. Обычно между выходом стабилизатора и входом контроллера подключается резистивный делитель. Это, в свою очередь, устанавливает номинальное выходное напряжение. Простая схема, позволяющая переключать дополнительные резисторы или контролировать сопротивление в цепи обратной связи, будет обеспечивать регулировку выходного напряжения.

В ADM1066 имеются встроенные цифро-аналоговые преобразователи (ЦАП), обеспечивающие прямое управление в цепи обратной связи. Для получения максимальной эффективности эти ЦАП работают не во всем диапазоне от напряжения «земли» до максимального напряжения питания. Вместо этого их выходной сигнал находится в относительно узком «окне», центрованном относительно номинального уровня напряжения в цепи обратной связи. Таким образом, с помощью ЦАП можно вести подстройку выходного напряжения.

В ADM1066 также имеется 12-разрядный аналогово-цифровой преобразователь (АЦП), измеряющий напряжение питания, так что на базе контроллера ADM1066 можно реализовать схему управления с замкнутой петлей обратной связи. Выходное напряжение, установленное с помощью ЦАП, можно измерять с помощью АЦП и корректировать уже программным путем в оцифрованном виде. Таким образом, выходное напряжение можно регулировать с очень высокой точностью. В такой схеме точность резисторов делителя в цепи ОС уже не играет большой роли. На рис. 4 показано, каким образом выходное напряжение модуля DC/DC4 регулируется с помощью встроенного ЦАП.

Такая схема регулирования напряжения питания применяется в основном в двух слу-

чаях. Во-первых, при тестировании устойчивой работы схемы в пределах номинального напряжения питания. Производители систем передачи данных, телекоммуникационных систем, систем инфраструктуры сотовой связи, серверов и оборудования для хранения данных должны тщательно тестировать свое оборудование перед поставкой заказчику. Все источники питания в системе имеют определенную спецификацию по точности (например,  $\pm 5\%$ ,  $\pm 10\%$ ). Описанная выше система позволяет получить любое напряжение в указанных пределах разброса и произвести тестирование оборудования. Централизованное управление питанием с возможностью регулирования напряжения питания позволяет упростить схему, сэкономить место на плате и без лишних сложностей выполнить тестирование, которое понадобится только один раз — при прохождении заводского контроля.

Часто требуется тестирование «по четырем углам», то есть тестирование системы при минимальном и максимальном напряжении питания и температуре; для подобных случаев контроллер ADM1062, помимо схемы регулирования напряжения, имеет встроенный датчик температуры с возможностью считывания данных.

Другая область применения схемы регулирования — это компенсация изменений напряжения питания в работающем устройстве. Существует много причин таких изменений. Напряжение может изменяться из-за температурного дрейфа. Также может иметь место долговременный дрейф, когда в процессе эксплуатации системы медленно меняются параметры компонентов. В таких случаях петля регулирования с АЦП и ЦАП может запускаться периодически (скажем, каждые 10, 30 или 60 с) и выполнять программную калибровку напряжений питания.

### Гибкость

В ADM1066 имеется встроенная энерго-независимая память, позволяющая перепрограммировать устройство столько раз,

сколько нужно, если параметры секвенсора и мониторинга приходится изменять в процессе разработки устройства. Это означает, что разработку аппаратной части можно закончить на ранних стадиях создания прототипа, а оптимизацию параметров мониторинга можно производить уже по ходу дальнейшей разработки.

Такие функции, как цифровое измерение температуры и напряжения, упрощают и ускоряют процесс разработки. В ситуациях, когда процессоры ASIC, матрица FPGA или центральный процессор также находятся в разработке, и требования к питанию еще могут измениться при выходе новой версии процессора, подстроить напряжение источников питания можно будет с помощью программных средств. Перепрограммирование контроллера питания не займет и нескольких минут, при этом не потребуются менять компоненты платы или, тем более, перепроектировать устройство.

### Заключение

Увеличение числа линий питания и необходимость управления последовательностью включения этих линий приводит к повышению требований к источнику питания — это актуально для многих систем, начиная с портативных компьютеров, приемников цифрового мультимедийного контента (set-top boxes) и автомобильных систем и заканчивая серверами, системами хранения данных, базовыми станциями сотовой связи, интернет-роутерами и сетевыми коммутаторами. Более сложные процедуры тестирования, новые уровни сбора информации и возможность быстрого управления и перепрограммирования тоже востребованы, особенно в системах среднего и высокого класса сложности. Для обеспечения безотказной работы и надежности таких систем фирмой Analog Devices выпускается много специализированных интегральных схем, позволяющих решить перечисленные задачи надежно, эффективно, с минимальными затратами, и при этом сократить время выхода изделия на рынок. ■