

НОВЫЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРЫ КОМПАНИИ MICROCHIP

СО ВСТРОЕННЫМ ШУНТИРУЮЩИМ РЕГУЛЯТОРОМ

Одна из первостепенных задач, стоящих перед разработчиком встраиваемых микроконтроллерных приложений, – формирование источника питания микроконтроллера. Решение ее особенно актуально, когда доступен только один источник питания на напряжение, большее, чем максимально допустимое напряжение питания микроконтроллера (V_{DD}). Для упрощения разработки встраиваемых приложений компания Microchip Technology предлагает новые микроконтроллеры PIC12HV615 и PIC16HV616 со встроенным 5-В шунт-регулятором, позволяющим им работать при различных значениях напряжения питания без применения внешнего источника. Микроконтроллеры такого типа могут существенно упростить схемотехнику пожарных датчиков, автомобильных электронных систем и телекоммуникационных устройств, приборов с питанием от сети на напряжение 220 В и др. Основная проблема при разработке шунт-регулятора – выбор сопротивления внешнего последовательного резистора, необходимого для получения требуемого напряжения микроконтроллера. Возможны различные цепи питания с использованием встроенного шунтирующего регулятора и разнообразные схемотехнические приемы и трюки, расширяющие возможности применения микроконтроллеров с такими регуляторами.

ОСОБЕННОСТИ НОВЫХ МИКРОСХЕМ

Восьмиразрядные микроконтроллеры со встроенным шунт-регулятором PIC12HV615 и PIC16HV616 (см. таблицу) компании Microchip характеризуются:

- напряжением питания от 2 В (верхнее значение задается программно);
- возможностью внутрисхемного программирования;
- встроенным высокоточным программно-переключаемым генератором (4/8 МГц);
- встроенным 5-В шунт-регулятором;
- диапазоном шунтирования 4-50 мА;
- токами портов I/O 25 мА (втекающий и вытекающий ток).

И.Смирнов
van@gamma.spb.ru

ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ШУНТ-РЕГУЛЯТОРА

В микроконтроллере с шунт-регулятором напряжение на его входе V_{DD} отслеживается и сравнивается с внутренним опорным напряжением. В зависимости от разницы этих напряжений шунтирующий регулятор устанавливает ток, протекающий через последовательно включенный резистор R_{ser} , таким, чтобы падение напряжения на R_{ser} было равно разности между напряжением питания V_{unreg} и напряжением V_{DD} (рис. 1). Примечательной особенностью шунт-регулятора является то, что напряжение питания V_{unreg} по сути ограничено только рассеиваемой мощностью и пробивным напряжением внешнего резистора R_{ser} , а не мощностью и пробивными характеристиками самого регулятора. Поэтому, по сути, разработка шунти-

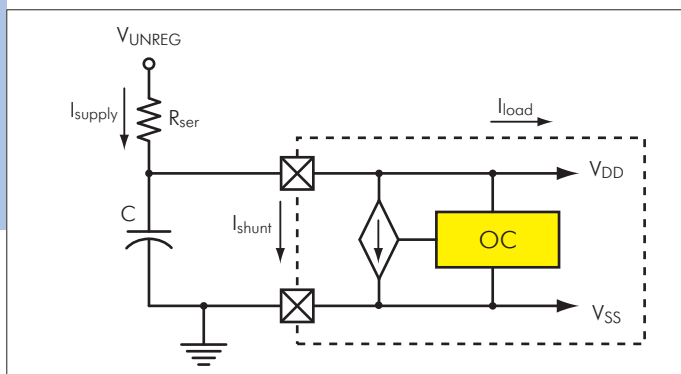


Рис. 1. Схема шунт-регулятора



Основные характеристики контроллеров PIC12HV615 и PIC16HV616 со встроенным шунт-регулятором

Тип	Флэш ПП, Кбайт	ОЗУ, байт	Порты I/O	Число каналов 10-бит АЦП	Аналоговый компаратор	Частота, макс., МГц	Частота встроенного генератора, МГц	Таймеры 8/16 бит	Сторожевой таймер	ССР/ЕССР	Тип корпуса
PIC12HV615	1,792	64	6	4	1	20	4, 8	2/1	1	0/1	8P, 8SN, 8MD, 8MS
PIC16HV616	3,584	128	12	8	2	20	4, 8	2/1	1	0/1	14P, 14SL, 14ST, 16ML

рующего регулятора сводится к выбору номинального сопротивления последовательно включенного резистора так, чтобы в диапазоне напряжений, которые должен контролировать регулятор, резистор обеспечивал падение напряжения, необходимое для формирования напряжения 5 В. Таким образом, все, что нужно знать для разработки шунтирующего регулятора, – это закон Ома. Проблема заключается в том, что напряжение питания V_{unreg} не постоянно и не равно требуемому напряжению питания. К тому же напряжение, которое способен контролировать регулятор, также ограничено. Поэтому задача выбора резистора R_{ser} не однозначна. Кроме того, топология регулятора допускает подключение других внешних по отношению к микроконтроллеру цепей и питание их от вывода V_{DD} .

ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Процесс проектирования лучше всего начать с определения возможного диапазона изменения питающего напряжения и тока нагрузки. Для этого сначала определим граничные минимальные и максимальные значения сопротивления резистора R_{SER} :

$$R_{MAX} = \frac{(V_{U_min} - 5,0)}{1,05 \cdot (I_{load_max} + 4 \text{ mA})}; \quad (1)$$

$$R_{MAX} = \frac{(V_{U_min} - 5,0)}{0,95 \cdot (I_{load_min} + 50 \text{ mA})}. \quad (2)$$

где V_{U_min} – минимально допустимое напряжение питания; V_{U_max} – максимально допустимое напряжение питания; I_{load_min} – минимальный ток нагрузки, допускаемый регулятором (4 мА), I_{load_max} – максимальный ток нагрузки, допускаемый регулятором (50 мА); I_{load_min} – минимальный ток нагрузки, допускаемый регулятором; 5,0 В – напряжение V_{DD} регулятора.

Полученные значения сопротивления резисторов R_{min} и R_{max} задают диапазон, в котором можно выбирать номинальное сопротивление резистора. При этом следует учесть, что, если минимальное значение сопротивления резистора R_{min} больше максимального R_{max} , необходимый для регулировки диапазон изменения значений напряжения питания и тока нагрузки не может быть получен с помощью только одного резистора. В этом случае следует использовать следующие схемотехнические подходы:

- уменьшить номинальный диапазон изменения тока нагрузки;

- организовать систему выбора необходимого компонента из нескольких резисторов ;

- уменьшить номинальный диапазон изменения напряжения V_{unreg} .

Если $R_{min} < R_{max}$, номинальное сопротивление резистора может быть выбрано в интервале $(R_{min} - R_{max})$. После расчета диапазона возможного изменения номинального сопротивления резистора R_{ser} , не лишней будет проверка минимального и максимального токов регулятора (I_{reg_min} и I_{reg_max}), воспользовавшись следующими уравнениями:

$$I_{reg_max} = \frac{(V_{u_max} - 5,0)}{R_{SER}} - I_{load_min}; \quad (3)$$

$$I_{reg_min} = \frac{(V_{u_min} - 5,0)}{R_{SER}} - I_{load_max}. \quad (4)$$

Собственно проверка заключается в установлении того факта, что максимальный ток регулятора больше минимального ($I_{reg_min} < I_{reg_max}$), а их разница меньше максимального тока нагрузки $I_{load_max} = 50$ мА. Если это не так, то нужно перепроверить расчет резистора.

Минимальная номинальная мощность резистора P_{MIN} может быть вычислена с помощью следующего выражения:

$$P_{MIN} = \frac{(V_{u_max} - 5,0)^2}{R_{SER}}. \quad (5)$$

При выборе конечного значения мощности, не стоит забывать про охлаждение и следует предусмотреть некоторый запас по этому параметру.

Следующий шаг – выбор значения емкости конденсатора источника питания. Многие микроконтроллерные приложения допускают приближенный выбор номинальной емкости такого конденсатора, однако особые свойства шунт-регулятора осложняют этот выбор. Прежде всего, резистор и конденсатор образуют RC-цепочку, которая ограничивает время нарастания напряжения питания микроконтроллера V_{DD} . Поэтому необходимо ограничить максимальное значение емкости конденсатора так, чтобы время нарастания напряжения V_{DD} было меньше значения этого показателя, заданного для микроконтроллера.

Минимальная скорость нарастания напряжения питания V_{DD} для контроллеров компании Microchip составляет 0,5 В/мс, до тех пор пока напряжение не достигнет значения 2,1 В (Power-on Reset trip point – точка восстановления питания). Таким образом, питание должно достичь 2,1 В за 42 мс

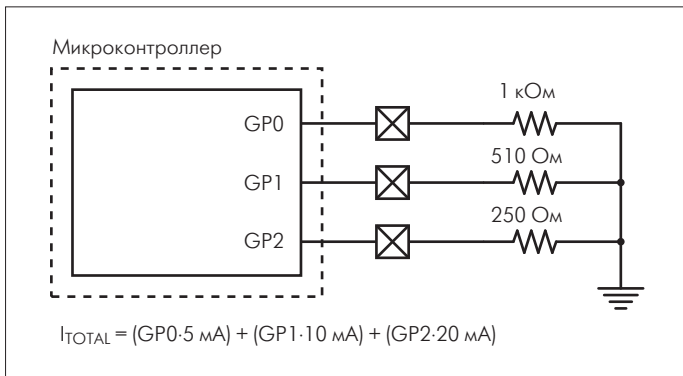


Рис.2. Подключение нагрузочных резисторов к свободным выводам МК

(2,1/0,5 мс). Исходя из вышесказанного, максимальное значение емкости конденсатора C_{max} может быть вычислено по следующей формуле:

$$C_{max} = - \frac{42 \text{ мс}}{R_{ser} \cdot \ln\left(\frac{2,1}{5,0}\right)} \quad (6)$$

Таким образом, емкость конденсатора шунт-регулятора должна быть меньше значения, рассчитанного по формуле (6), чтобы удовлетворять заданным требованиям по нарастанию питания, но больше 0,1–0,047 мкФ – для подавления пульсаций и помех.

СХЕМОТЕХНИЧЕСКИЕ ПРИЕМЫ И ТРЮКИ, РАСШИРЯЮЩИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ШУНТ-РЕГУЛЯТОРА

Как было отмечено выше, для того чтобы обходиться одним резистором, приходится уменьшать либо диапазон возможных изменений тока нагрузки, либо диапазон возможных изменений напряжения питания V_{unreg} . Для преодоления существующих ограничений и увеличения диапазона питающего напряжения и тока нагрузки, рассмотрим несколько приемов, позволяющих расширить возможности применения контроллеров со встроенным шунт-регулятором.

Прием 1. Нагрузочные резисторы. Один из методов уменьшения вариаций значений тока нагрузки – подключение нагрузочных резисторов к свободным выводам контроллера (рис.2). При установке высокого уровня на соответствующих выводах микроконтроллера ток нагрузки I_{LOAD} увеличивается.

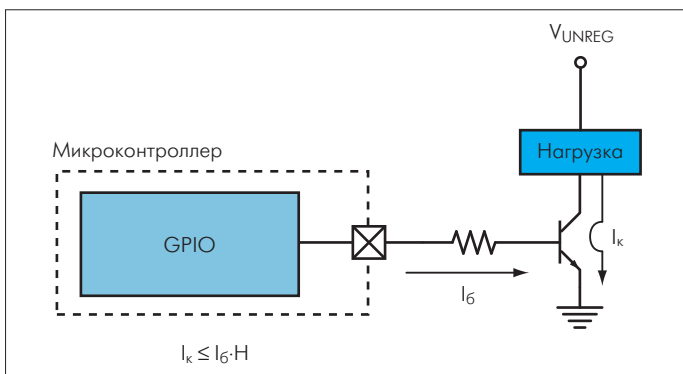


Рис.3. Управление нагрузкой с помощью ключа с открытым коллектором

Прием 2. Ключи с открытым коллектором. Еще один способ уменьшения возможных вариаций тока нагрузки – управление нагрузкой при помощи ключей с открытым коллектором (рис.3).

Прием 3. Ключи с открытым стоком. Этот метод уменьшения максимального тока нагрузки в основном схож с методом 2, за исключением того, что управление ключом не требует непрерывного тока смещения (рис. 4). Кроме того, падение напряжения через МОП-транзистор в открытом состоянии значительно ниже, чем у биполярного транзистора. Благодаря отсутствию необходимости непрерывного смещения базы ток нагрузки уменьшается, а снижение падения напряжения ключа во включенном состоянии приводит к тому, что на выход передается больше энергии.

Однако недостаток применения МОП-транзистора – увеличение на определенных частотах значения тока, требуемого для заряда или разряда емкости затвора, до нескольких ампер. Поэтому решение вопроса об использовании биполярного или МОП-транзистора основывается на выборе между такими параметрами, как ток смещения и падение напряжения, с одной стороны, и дополнительными требованиями к току, необходимому для переключения МОП-транзистора, – с другой.

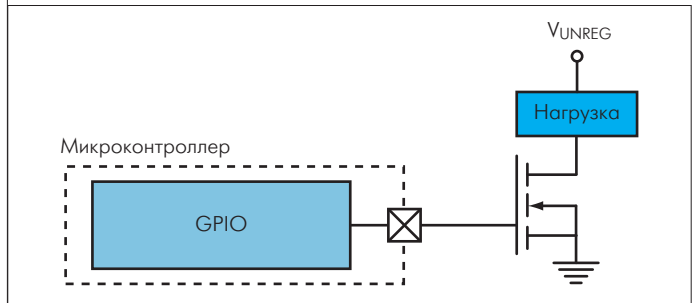


Рис.4. Ключ с открытым стоком

Прием 4. Управление с использованием триаков. В системах управления нагрузками переменного тока в качестве выходного драйвера часто используется триак. Несмотря на то что триаки известны уже много-много лет, некоторые инженеры до конца не знают их возможности и не используют в своих разработках все их достоинства. Так, одно из наиболее значимых усовершенствований этих приборов – создание так называемых триаков с чувствительными затворами, работающих с гораздо меньшими токами затвора, чем обычные триаки. Уменьшение управляющего тока означает, что триаки смогут хорошо работать не только в первой и третьей четвертях, но и во второй и четвертой четвертях, расширяя возможности управления для разработчиков (рис.5).

Применение триаков с чувствительным затвором в системах на основе контроллеров с шунтирующим регулятором имеет следующие достоинства:

- уменьшение токов затвора, которые должен выдавать микроконтроллер для управления триаком;

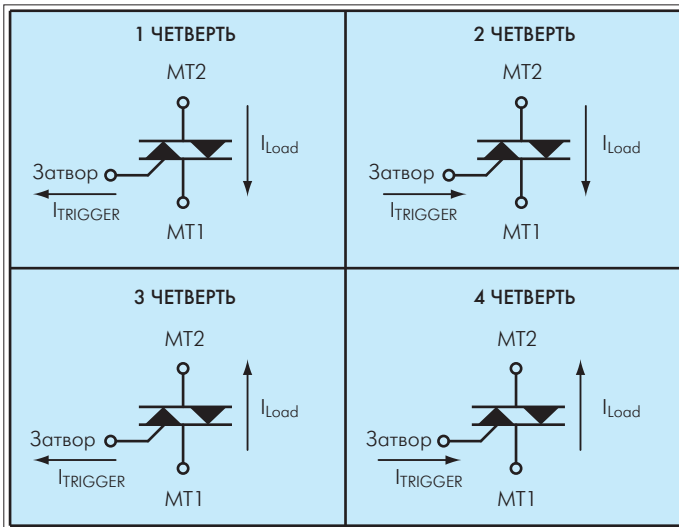


Рис.5. Спецификация четвертей симистора

- уменьшение токов удержания, что сокращает время управления контроллером затвором в течение каждого периода переменного напряжения;
- включение триака как положительным, так и отрицательным током затвора благодаря работе микроконтроллера во всех четвертях симистора.

Другое усовершенствование триаков – уменьшение значения тока удержания, т.е. минимального рабочего тока, при котором триак защелкивается.

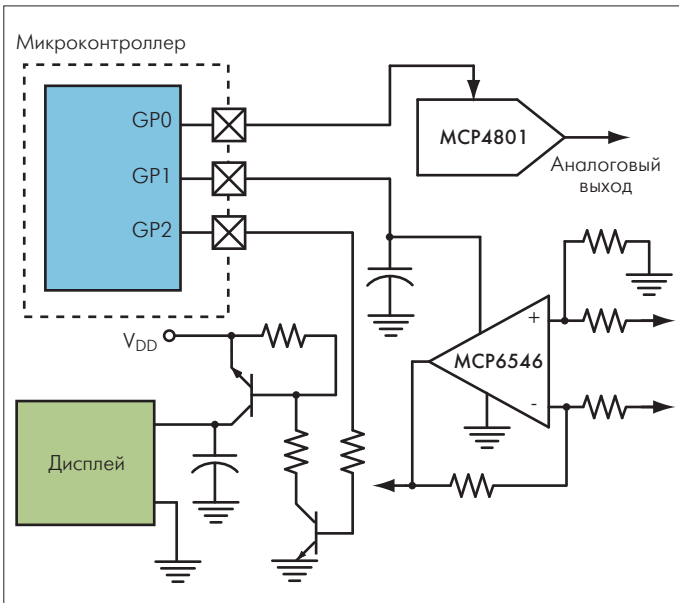


Рис.6. Использование портов для питания V_{DD}

Прием 5. Использование портов I/O для питания V_{DD}. В системах с внешними цепями для сокращения энергопотребления желательно отключать неиспользуемые цепи. Если требуемое значение тока цепи меньше максимально возможного тока GPIO-выводов микроконтроллера (обычно 20 мА), эту цепь можно питать непосредственно от GPIO-портов (рис.6). Это позволяет программно управлять питанием цепи, подавая его по мере необходимости и отключая, когда часть схемы в данный момент не задействована. Если ток,

необходимый для управления, больше возможного тока GPIO-порта, можно подключить внешний транзистор для усиления тока вывода.

Другая возможность – использовать выводы GPIO для управления входами "Shutdown" (выключения) и "Enable" (разрешение) активных устройств цепи (ОУ, АЦП, фильтров или ЦАП) (рис.6).

Прием 6. Требования к переходным режимам. Один из путей решения проблемы токов в переходных режимах – "перезагрузка" напряжения питания V_{DD}. Падение напряжения питания V_{DD} может быть уменьшено за счет увеличения номинальной емкости используемого конденсатора. Это также приводит к увеличению времени, необходимого системе для восстановления после перезагрузки. Поэтому необходимо выбирать оптимальное значение емкости конденсатора с учетом спада напряжения и времени его восстановления. Значение спада напряжения питания V_{u_min}, которое выдержит система, и время T_{recover}, требуемое для восстановления напряжения питания после спада, можно рассчитать по следующим формулам:

$$V_{u_min} = 5,0 - \frac{I_{surge} \cdot T_{surge}}{C_{by_pass}} ; \quad (7)$$

$$T_{recover} = \frac{(5,0 \text{ В} - V_{ss_min}) \cdot C_{by_pass}}{(I_{max} - I_{nominal})} . \quad (8)$$

Прием 7. Применение альтернативного резистора. Следующий метод получения широкого диапазона значений напряжения и тока нагрузки при формировании питания состоит в изменении значений сопротивления резистора (рис.7). Согласно этому методу, резистор программно шунтируется резистором с более низким сопротивлением. Когда уровень сигнала на выводе GPIO высокий, транзисторный

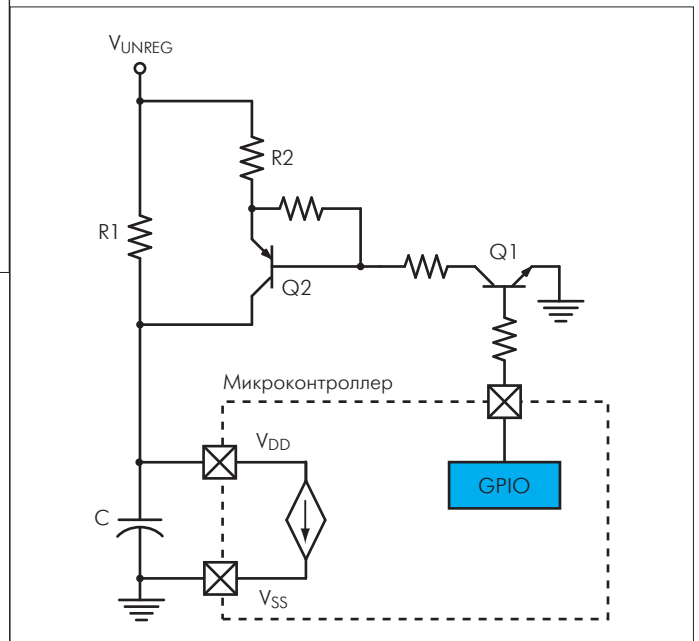


Рис.7. Использование альтернативного резистора

ключ с открытым коллектором (Q1) устанавливает низкое напряжение базы транзисторного ключа Q2, что, в свою очередь, открывает Q2, и резистор R1 шунтируется резистором R2 с меньшим сопротивлением. В результате ток контроллера и цепей, питающихся от V_{DD} , возрастает. При переходе цепи в режим низкого энергопотребления уровень вывода GPIO становится низким, оба транзистора закрываются, и ток протекает через резистор R1. Тем самым потребление тока системой сокращается.

Такая система имеет, по сути, два источника питания: один, обеспечивающий минимальный и максимальный ток в режиме "низкого потребления", второй – минимальный и максимальный ток в режиме "высокого потребления". Таким образом, в режиме низкого потребления используется резистор R1, в режиме высокого – резистор R2.

Применение такой системы позволяет получить хорошее решение проблемы, когда минимальное расчетное значение сопротивления резистора R_{min} из выражения (1) больше максимального R_{max} выражения (2).

Замечание: Значения напряжения пробоя транзисторов Q1 и Q2 должны быть больше V_{unreg} .

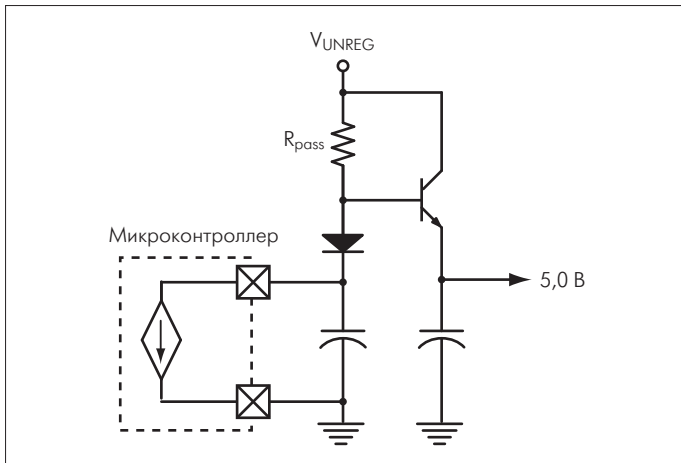


Рис.8. Увеличение тока с помощью последовательно включенного транзистора

Прием 8. Увеличение тока с помощью последовательно включенного транзистора. С выхода последовательно включенного внешнего транзистора управляемого шунт-регулятором микроконтроллера можно получить большую мощность (рис.8). В этом случае транзистор, по сути, является последовательным регулятором, суммирующим опорное напряжение контроллера и прямое напряжение диода и формирует на выходе напряжение в 4,9–5,2 В. При этом транзисторы выбираются, исходя из двух параметров: падения напряжения, необходимого для управления напряжением питания, и мощности рассеивания с учетом возможного диапазона изменения напряжения источника питания.

Прием 9. Уменьшение диапазона V_{unreg} с помощью вторичного дискретного шунтирующего регулятора. В предыдущих примерах рассматривались методы уменьше-

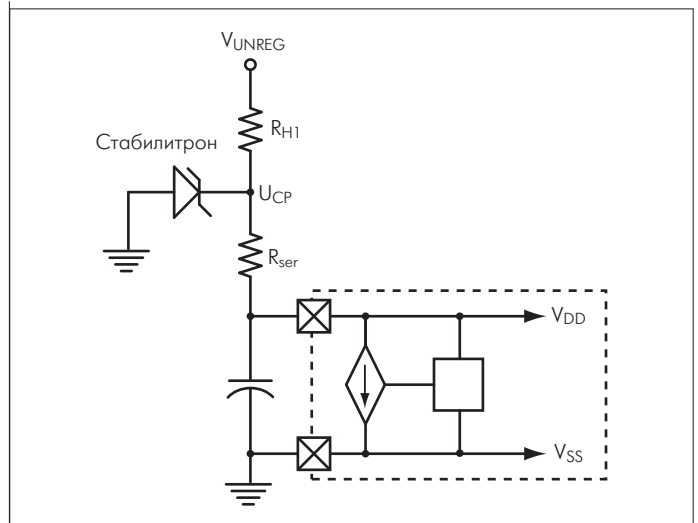


Рис.9. Применение вторичного дискретного шунтирующего регулятора для уменьшения диапазона значений V_{unreg}

ния диапазона тока нагрузки и методы организации выбора последовательного пропускающего резистора. Существует и метод уменьшения диапазона изменения номинального напряжения V_{unreg} . Поэтому в заключение рассмотрим метод ограничения интервала $[V_{U_min}, V_{U_max}]$ за счет регулировки высокой составляющей напряжения V_{ser} другим шунтирующим регулятором, выполненным на стабилитроне (рис.9). Два резистора R_{HI} и R_{SER} образуют делитель напряжения с напряжением в средней точке U_{CP} , удерживаемым напряжением стабилитрона. Увеличение V_{unreg} вызывает увеличение тока через R_{HI} и в результате рост падения напряжения на нем. Таким образом напряжение средней точки поддерживается относительно постоянным. Это приводит к уменьшению диапазона изменения напряжения, который может отслеживать R_{SER} и вторичный шунт-регулятор, упрощая тем самым выбор резистора R_{SER} .

Разработка шунтирующего регулятора на высокое напряжение аналогична разработке регулятора микроконтроллера. Наибольшее и наименьшее значения V_{unreg} , как и наибольшие и наименьшие токи нагрузки, указываются в технической документации (на микроконтроллер, шунтирующий регулятор и дополнительные нагрузки). Стабилитрон выбирается на основе значений напряжения ВАХ приблизительно в интервале между V_{UNREG_MIN} и V_{DD} .

Необходимо учитывать рассеиваемую мощность стабилитрона и шунтирующего регулятора. Используя полученный из спецификации максимальный ток стабилитрона, минимальное и максимальное значения R_{HI} можно вычислить с помощью следующих модифицированных с учетом напряжения V_{zener} выражений (1) и (2):

$$R_{hi_max} = \frac{(V_{U_min} - V_{zener})}{1,05 \cdot (I_{load_max} + I_{zener_min})}; \tag{9}$$

$$R_{hi_min} = \frac{(V_{U_max} - V_{zener})}{0,95 \cdot (I_{load_min} + I_{zener_max})}. \tag{10}$$

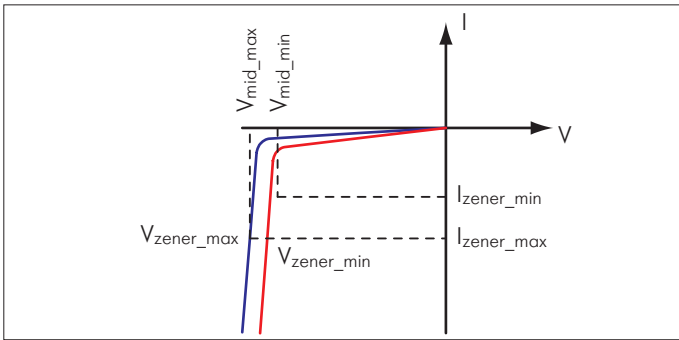


Рис. 10. Вольтамперная характеристика стабилитрона

Если значение R_{HI} стабилитрона не может быть подобрано в пределах этого диапазона, можно выбрать более мощный стабилитрон с большим значением I_{ZENER_MAX} или сниженным до V_{DD} значением напряжения. Если не удастся подобрать соответствующие значения тока или напряжения, а также если мощность рассеивания стабилитрона или R_{HI} слишком велики, а другие рассмотренные методы окажутся неприемлемыми, то для кардинального решения проблемы, возможно, понадобится применить импульсный регулятор. Однако, если все же удастся подобрать R_{HI} и стабилитрон, на следующем этапе, исходя из значений V_{unreg} и R_{HI} , следует определить диапазон изменения тока стабилитрона I_{zener} .

$$I_{zener_max} = \frac{(V_{u_max} - V_{zener})}{R_{hi} \cdot 0,95} - I_{load_min}; \quad (11)$$

$$I_{zener_min} = \frac{(V_{u_min} - V_{zener})}{R_{hi} \cdot 1,05} - I_{load_max}. \quad (12)$$

Задавшись значениями минимального и максимального тока стабилитрона I_{zener_min} и I_{zener_max} , с помощью ВАХ стабилитрона можно оценить минимальное и максимальное значения напряжения средней точки V_{cp_min} и V_{cp_max} (рис. 10):

Заменяя в формулах (1) и (2) значения V_{U_MIN} и V_{U_MAX} , полученными значениями V_{mid_min} и V_{mid_max} можно рассчитать R_{SER} . Далее процедура разработки шунтирующего регулятора на высокое напряжение абсолютно аналогична рассмотренной выше.

Применение встроенного в микроконтроллер шунт-регулятора упрощает разработку различных схем контроля и управления, оперирующих напряжениями большими, чем напряжение питания контроллера. Микроконтроллеры со встроенным регулятором могут использоваться в системах управления сетевым напряжением (диммеры, интеллектуальные устройства), в автомобильных устройствах, распределенных системах контроля и управления с питанием от шлейфа, а также в качестве источника питания других активных устройств. ○