

ПРЕЦИЗИОННЫЕ ИСТОЧНИКИ ОПОРНОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Параметры и особенности применения

В. Авербух, к.т.н., институт метрологической службы Госстандарта России

Цель настоящей статьи - помочь разработчику устройств, включающих прецизионные источники опорного напряжения, получить максимально возможное качество изделия за самое короткое время. Основное содержание статьи - как выбрать из широкой номенклатуры тактичных источников наиболее соответствующий поставленной задаче и уже на начальном этапе максимально учесть влияющие факторы, которые нередко всплывают только на стадии заключительных испытаний. Приведенные в тексте численные данные конкретных приборов четырех ведущих производителей опорных источников напряжения позволяют сориентироваться в достигнутом уровне.

ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ПРЕЦИЗИОННЫХ ИСТОЧНИКОВ ОПОРНОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Прецизионные источники опорного напряжения (ИОН) нужны во многих случаях, и область их применения постоянно расширяется. Это измерительные приборы, системы связи, даже зарядные устройства литиевых батарей, но чаще всего необходимость в них возникает при построении аналогово-цифровых преобразователей (АЦП), представляющих на выходе отношение входного напряжения к опорному в цифровой форме и цифро-аналоговых (ЦАП), на выходе которых получают напряжение опорного источника в масштабе, определяемом кодом на его цифровом входе. Некоторые из таких приборов имеют встроенный опорный источник, некоторым необходим внешний, часто прибор может работать как с внешним, так и внутренним источником. Сегодня 12-разрядная точность ЦАП и АЦП стала довольно обычной. Граница 20 разрядов пройдена более 10 лет назад. Еще в 80-е годы Минский завод "Эталон" серийно производил измерительную систему АКСАМИТ разработки В.М. Малышева с разрешением АЦП в 22 разряда. Сегодня целый ряд фирм производят 24 разрядные интегральных АЦП, реальное разрешение которых достигает 22 разрядов. В интегральных ЦАП достигнутый на сегодняшний день уровень - 18 разрядов. В какой степени параметр разрешение будет реализован в точности измерения или воспроизведения напряжения в значительной степени зависит от источника опорного напряжения. Стоимость ИОН обычно составляет малую часть системы в целом, но может оказать существенное влияние на ее результирующие характеристики, поэтому нет особого смысла экономить на этом нем [1]. Кроме того, нередко система включает несколько устройств с собственными ИОН и для снижения общей погрешности системы целесообразно использовать один ИОН для всех устройств. Далее рассматривается ряд важных особенностей ИОН и их применения в основном применительно к отдельным приборам этого вида, хотя многие положения в такой же степени относятся и к встроенным ИОН.

Тенденция к увеличению точности всегда в измерительной технике существовала всегда, далее речь идет о весьма высоких точностях, и

уровень достигнутого целесообразно оценить по достигнутому мировой метрологией.

ДОСТИГНУТАЯ ТОЧНОСТЬ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ

Начиная с 1972 года во всем мире национальные эталоны напряжения строятся на базе открытого в 1962 года квантового эффекта Джозефсона. Без учета фундаментальной константы Джозефсона приведенная относительная погрешность составляет 5×10^{-9} , константа известна с точностью до 4×10^{-7} . Однако это сложная стационарная установка, основной элемент которой работает при температуре 4,2 К и в качестве эталона сравнения напряжения в метрологической практике используются известные еще с 19 века гальванические нормальные элементы, или по имени их изобретателя - Вестона (Weston) с э.д.с. 1,018 В с среднеквадратичным отклонением менее 5×10^{-8} , групповой нестабильностью 6×10^{-7} в год. К сожалению, эти приборы очень чувствительны к внешним условиям, тряске и температуре. При 20°C температурный коэффициент составляет $-40,6$ мкВ/°С. После изменения температуры требуется для достижения такой точности требуется значительное время, иногда до месяца. Для сравнения с полупроводниковыми источниками опорного напряжения эти величины удобнее выразить в относительных единицах, обычно используемых в справочных данных на такие приборы - ppm (промил). 1 ppm - миллионная доля измеряемой величины. Таким образом, среднеквадратичное отклонение напряжения нормального элемента 0,05 ppm, годовая нестабильность 0,6 ppm, температурный коэффициент около -40 ppm [2].

ИОНЫ НА ОСНОВЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ Зенеровский переход

В полупроводниковой электронике для получения стабильного напряжения чаще всего используют обратную ветвь вольтамперной характеристики r-n перехода с Зенеровским пробоем. Зенеровский пробой происходит при напряжениях примерно от 5 до 10 В. Для получения хороших метрологических характеристик требуется ток через переход не менее нескольких десятых мА. Получаемое таким путем напряжение имеет положительный температурный коэффициент, зависящий от напряжения Зенеровского пробоя данного перехода и тока через

него. Для его компенсации в прецизионных Зенеровских стабилитронах последовательно с Зенеровским включают прямосмещенные диоды, обладающие отрицательным температурным коэффициентом. В отечественном прецизионном стабилитроне Д818 таких переходов 3. Выбором протекающего тока удается существенно улучшить термостабильность. Часто в технических описаниях встречается термин "buried Zener". Он отражает технологический прием, когда для повышения стабильности переход формируется под поверхностью полупроводникового кристалла и отделен от нее защитным диффузионным слоем, что позволяет снизить влияние механических напряжений, загрязнений и нарушений кристаллической решетки, которые сильнее всего проявляются на поверхности. Лучшие результаты с использованием Зенеровского стабилитрона достигнуты мировым лидером в области калибраторов Fluke Corp. Модель калибратора 734А, использующая специально разработанную фирмой микросхему, которая не продается отдельно, и термостабилизацию, имеет при таком же как у нормального элемента напряжении стабильность 0,8 ppm/месяц и 2 ppm/год, температурную зависимость 0,1 ppm/°С, т.е. сравнимы с нормальным элементом [3].

Лучшие интегральные источники опорного напряжения ведущих производителей полупроводников, выпускаемые серийно, имеют сравнимые характеристики. Например, ADR292 имеет временную нестабильность 0,2 ppm/1000 часов, т.е. почти за полтора месяца, а температурный коэффициент $5...25$ ppm/°С, REF102 до 2,5 ppm/°С с возможностью подстройки, MAX671 температурную зависимость менее 1 ppm/°С без термостатирования. Многие прецизионные интегральные схемы опорных источников напряжения имеют встроенные датчики температуры кристалла, позволяющие значительно улучшить температурную стабильность результатов измерения одним из двух путей: строить прецизионные стабилизаторы температуры или программно корректировать результаты измерений. Некоторые ИОНЫ имеют встроенные нагреватели (LT1019).

Следует отметить, что все полупроводниковые ИОН обладают гистерезисом по температуре, т.е. при возвращении к первоначальной температуре после нагрева или охлаждения, величина опорного напряжения возвращается к

прежней величине с некоторой погрешностью. Минимальное значение имеет порядок 20 ppm (MAX6225). К сожалению, чаще всего производитель не указывает эту величину. Чтобы избежать этой погрешности в калибраторе Fluke 734A ИОН всегда находится при постоянной температуре, и для термостатирования при перевозке предусмотрен аккумулятор, рассчитанный на 36 часов непрерывной работы.

Если необходимо большее опорное напряжение, чем обеспечивает Зенеровский пробой, стабилитроны могут включаться последовательно, причем специальный подбор стабилитронов в группы позволяет снизить суммарный температурный коэффициент. Лучшие в мире результаты на этом пути достигнуты российской фирмой "Мегавольт-Метрология" в установке DWINA-1000, поставленной испытательному центру IREQ в Канаде. Максимальное напряжение 1000000 В, основной погрешностью 20 ppm и температурной в диапазоне от 15°C до 35°C 2,5 ppm (отметим что это не градиент, а максимальное изменение в данном диапазоне температур) [4].

Однако значительно чаще требуются напряжения меньшие напряжения Зенеровского пробоя. Очевидным и используемым путем является прецизионное деление напряжения, полученного на Зенеровском стабилитроне, как это сделано в AD584, имеющем одновременно выходы 10 В, 5 В и 2,5 В.

BANDGAP

Другим стандартным путем получения опорных напряжений ниже уровней Зенеровского пробоя является использование известных с 1970 года "bandgap" схем [5]. Этот термин, не имеющий общепринятого русского эквивалента, можно перевести как "барьерный потенциал р-п перехода".

Упрощенная принципиальная схема такого прибора представлена на рис.1. Здесь транзисторная пара создает на резисторе R1. Падение напряжения пропорциональное абсолютной температуре, которое компенсирует отрицательный температурный коэффициент напряжения база-эмиттер транзистора V_{BE} . Выходное напряжение схемы V_Z определяется через постоянную Больцмана k , заряд электрона q , абсолютную температуру T и отношение плотностей тока эмиттеров транзисторов:

$$V_Z = V_{BE} + 2\Delta V_{BE} R_1/R_2$$

$$\text{где } \Delta V_{BE} = kT/q \times \ln I_1/I_2$$

При равных эмиттерных токах и площади эмиттера первого транзистора в 8 раз больше

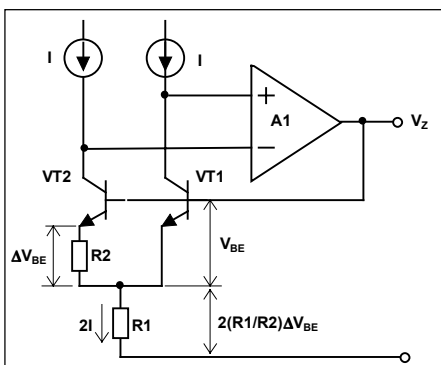


Рис.1. Получение стабильного опорного напряжения в bandgap схеме.

второго, нулевой температурный коэффициент V_Z достигается при его значении 1,205В, что соответствует барьерному напряжению р-п перехода, экстраполированному на температуру абсолютного нуля, с чем связано название прибора. Включение делителя напряжения между выходом усилителя и базами транзисторов позволяет получить большие значения V_Z . Температурно зависимое напряжение на R1 используется для измерения температуры кристалла, как например в AD780 [6].

Поскольку значение V_{BE} обратно пропорционально, а компенсирующая величина прямо пропорциональна абсолютной температуре, точность компенсации зависит от температуры, а для устройства в целом от рабочего диапазона температур. В зависимости от последнего температурная погрешность может указываться изготовителем весьма малой, например, 3 ppm/°C (REF01).

Этот вид приборов отличается существенно меньшим потреблением энергии, что особенно важно для применения в мобильных изделиях. Например, семейство LT1634 с напряжениями 1,25 В, 2,5 В, 4,096 В и 5 В потребляет всего 10 мкА при начальной точности 0,2%, термостабильности 25 ppm/°C и минимальной разнице входного и выходного напряжений 0,9 В. Приборы выпускаются в двух схемотехнических вариантах. Двухвыводной или параллельный (shunt) с внешними вольтамперными характеристиками, подобными стабилитрону. Они требуют внешнее токоограничивающее устройство, например резистор. Трехвыводной (в принципе, но фактически может иметь больше выводов) или последовательный (series) обеспечивает втекающий и вытекающий в ИОН токи без внешних компонентов и ток через внутреннюю схему опорного напряжения, в отличие от первого варианта, независим от нагрузки. Отметим что ИОНЫ на базе Зенеровского пробоя выпускаются только по второму варианту. Эквивалентом первого являются прецизионные стабилитроны.

ТЕХНОЛОГИЯ XFET™

Новым способ получения стабильных опорных напряжений запатентовала компания Analog Devices [6]. Разность напряжений около 0,5 В с точно определенным диэлектрической постоянной кремния отрицательным температурным коэффициентом порядка 120 ppm/°C получают на стоках двух полевых транзисторов с изоляцией затвора р-п переходом (рис.2), имеющих разные напряжения отсечки и работающих при одинаковых токах стока. Конструктивно FET1 и FET2 отличаются только конфигурацией затворов. Точная температурная компенсация достигается применением пропорциональным температуре источником тока I_{PTAT} .

Выходное напряжение схемы определяется выражением:

$$V_{OUT} = \Delta V_P (R_1 + R_2 + R_3)/R_1 + I_{PTAT} R_3$$

Главные преимущества XFET перед bandgap приборами - беспрецедентная временная стабильность 0,2 ppm за 1000 часов, примерно в 4 раза меньший шум при стабильности и экономичности того же порядка, что достигается благодаря работе на основных носителях тока. Изобретение реализовано в приборах последовательного типа ADR290, ADR291,

ADR292, ADR293 с напряжениями 2,048 В, 2,5 В, 4,096 В и 5 В, соответственно, работающих при токе потребления от 12 мкА и разности входного и выходного напряжений не более 0,6 В. Погрешность начальной установки выходного напряжения 2 мВ, температурный коэффициент 8 ppm/°C, шумы 6 мкВ пик-пик от 0,1 Гц до 10 Гц и спектральная плотность шу-

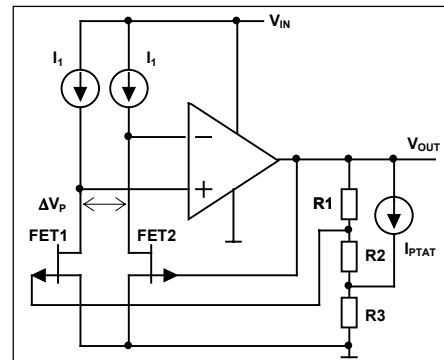


Рис.2. Получение стабильного опорного напряжения в XFET схеме.

мов на 1 кГц составляет 420 нВ/Гц^{-1/2}.

ПОЛУЧЕНИЕ МАКСИМАЛЬНОЙ ТОЧНОСТИ ЦАП И АЦП С ВНУТРЕННИМИ ИОНАМИ

Основной причиной применения в ЦАП и АЦП внешних прецизионных источников опорного напряжения - желание достичь максимально возможную точность. Если при этом используются приборы, имеющие встроенный источник опорного напряжения, следует учесть, что изготовители нередко используют заводскую подгонку коэффициентов передачи преобразователей, компенсируя таким путем отклонения напряжения внутреннего опорного источника от номинального значения, которая лежит в пределах не лучше 0,5...1%. Простая замена внутреннего источника внешним прецизионным может не только не дать положительного эффекта по абсолютной величине, но и привести к отрицательным результатам. Конечно, в этом случае временная и температурная стабильность будет улучшены, но для улучшения абсолютной точности преобразования в целом необходима коррекция мультипликативной погрешности, внесенной заводской подгонкой. Это обычно достигается подстройкой опорного источника. Такая подстройка в пределах ±3% предусмотрена во многих прецизионных приборах. На рис.3 показана схема подстройки

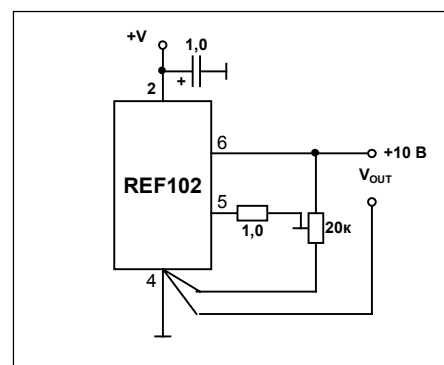


Рис.3. Схема коррекции выходного напряжения в REF102.

REF102 [7] в пределах ± 25 мВ, если замкнуть резистор 1 Ом, пределы регулировки расширяются до ± 300 мВ.

ВЛИЯНИЕ ПИТАЮЩЕГО НАПЯЖЕНИЯ, НАГРУЗКИ, ПОДВОДЯЩИХ ПРОВОДНИКОВ

При изменении питающего напряжения выходное напряжение ИОН также несколько изменяется, что необходимо учитывать. Иногда это изменение задается в абсолютных значениях, иногда в относительных. Этот параметр показывает, насколько должно быть стабилизировано входное напряжение ИОН для получения нужной точности.

Изменение выходного напряжения ИОН от тока нагрузки также можно найти в справочниках и они тоже могут быть заданы как в абсолютных, так и относительных единицах. Порядок этих величин для высококачественных последовательных ИОН от 20 ppm/мА (REF102) до 30 ppm/мА (ADR290).

Применение внешних источников опорного напряжения в прецизионных преобразователях требует учета падения напряжения в подводящих опорное напряжение проводниках. Потребление по входу опорного напряжения АЦП и ЦАП часто имеет порядок нескольких миллиампер, а в случае АЦП прямого взвешивания (flash ADC) и более. Например, flash ADC TDC1035 фирмы Raytheon [9] требует опорного напряжения 2 В при токе 35 мА. При сопротивлении проводников 0,1 Ом падение напряжения составит 3,5 мВ, что близко к гарантированной абсолютной погрешности АЦП - 3,9 мВ. Кроме пассивных мер, таких как снижение сопротивления проводников увеличением их ширины, некоторые прецизионные источники опорного напряжения (например MAX671, AD688) имеют встроенные средства борьбы с этим явлением путем перехода к четырехпроводной системе соединения с нагрузкой (схема Кельвина). При этом измерительные входы земли и обратной связи опорного источника соединены с нагрузкой отдельными проводниками. Упрощенная схема одного из таких приборов - MAX670, представлена на рис.4 [8]. Здесь выводы SENSE1 и GND SENSE1 используются для коррекции по выходному напряжению, а SENSE2 и GND SENSE2 для компенсации влияния тока нагрузки. Обычно выходной ток прецизионных ИОН составляет 5...30 мА, что в ряде случаев, например, для упомянутого выше TDC1035, недостаточно и необходимо использовать дополнительный внешний буфер. В случае схемы Кельвина для повышения нагрузочной способ-

ности ИОН с минимальной потерей точности дополнительный буфер необходимо охватить общей с ИОН петлей обратной связи, как показано на рис.5.

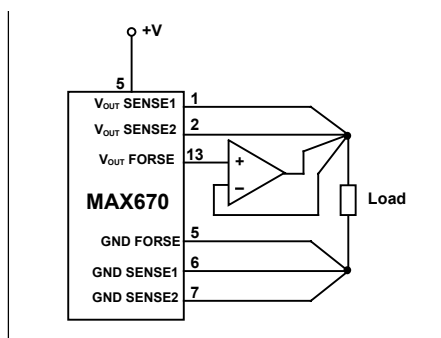


Рис.5. Повышение нагрузочной способности с буфером в 4-проводной схеме Кельвина.

Другой полезный вариант увеличения выходного тока с применением дополнительного транзистора представлен на рис.6 [7].

При токе нагрузки до величины, создающей на резисторе R1 падения напряжения около 0.6В, при котором транзистор начинает открываться, ИОН работает по существу в обычном включении. Далее увеличение выходного тока ИОН увеличивается на базовый ток транзистора, а выходной ток устройства в целом на величину, умноженную на коэффициент усиления транзистора по току, который может составлять от нескольких десятков до нескольких тысяч. Такую схему нетрудно реализовать с близкой к схеме Кельвина топологией.

Иногда встречается необходимость использовать ИОН аналогично стабилизатору как ограничитель напряжения, т.е. с втекающим током. Никаких трудностей не возникает с двухвыводными приборами, которые имеют вольтамперные характеристики аналогичные Зенеровскому стабилизатору, хотя

большинство из них относятся к bandgap приборам.

Обычно последовательный ИОН работает как источник положительного напряжения (с вытекающим током). Как правило, все такие приборы снабжены внутренним буфером, позволяющим работать как с вытекающим, так и втекающим током, однако для последнего максимально допустимое значения может быть намного меньше. Например, у AD584 это 10 мА и 5 мА, а у REF02 даже 10 мА и 0,3 мА. Необходимо убедиться по данным изготовителя, что выбранный режим приемлем для прибора в режиме втекающего тока. При недостаточной величине последнего токовая характеристика прибора может быть смещена подключением на его выходе дополнительного источника втекающего тока или хотя бы резистора между его выходом и общим выводом (землей) или отрицательным источником напряжения.

ПОЛУЧЕНИЕ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ОПОРНЫХ НАПЯЖЕНИЙ

Чаще всего прецизионные источники опорного напряжения изготавливаются на положительные напряжения, хотя бывают и исключения, например, МХ2701. Для получения отрицательных напряжений от источников положи-

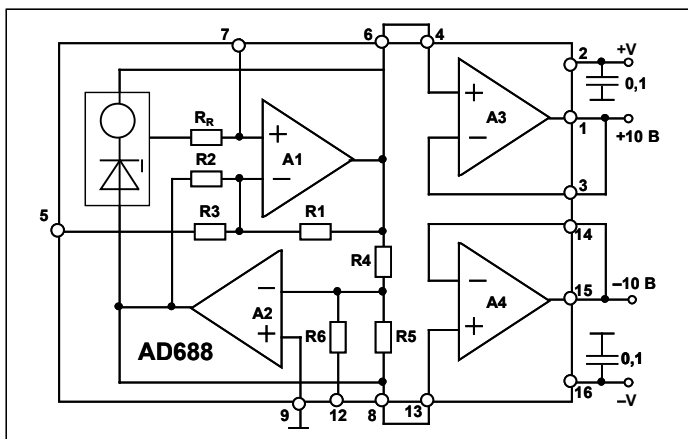


Рис.7. Получение двухполярного опорного напряжения с AD688.

тельных использование инверторов нежелательно, поскольку добавит погрешность инвертора. Возможно включение двухвыводного источника аналогично стабилизатору, т.е. необходимо подать на его отрицательный вывод отрицательный ток, хотя бы через резистор, под-

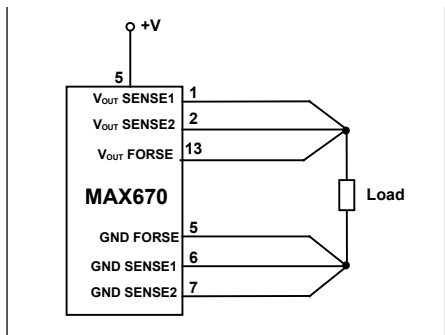


Рис.4. 4-проводная схема (Кельвина) для уменьшения влияния подводящих проводников.

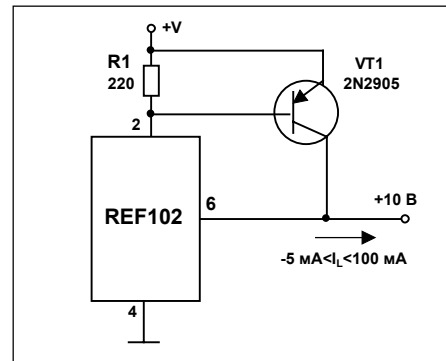


Рис.6. Повышение нагрузочной способности с транзистором

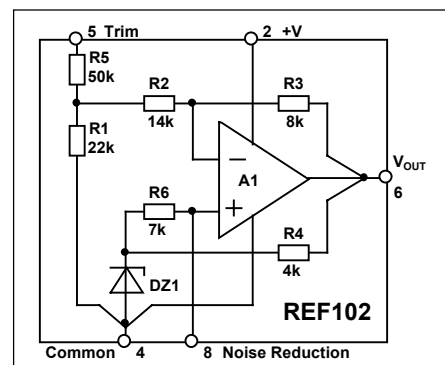


Рис.8. Снижение шумов подключением фильтрующих конденсаторов.

ключенный от отрицательному источнику напряжения. Если необходимо использовать трехвыводную схему на положительные напряжения, ее выход должен быть заземлен, а на общий вывод прибора (обычно маркируемый как GND) с помощью источника тока или хотя бы резистора, подать отрицательный ток, достаточный для питания нагрузки и собственных нужд прибора. Следует убедиться, что напряжение между выводами входа и GND не превышает допустимой для прибора величины. В некоторые ИОН предусмотрены и другие варианты получения отрицательного напряжения. На рис.7 показана схема включения AD688 для получения двухполярного напряжения с помощью имеющихся в его составе дополнительных буферов. Следует помнить, что в случаях, когда требуется получить предельно возможную точность, нежелательно любое применение дополнительных элементов, даже расположенных на той же подложке.

СНИЖЕНИЕ ШУМОВ И УСТОЙЧИВОСТЬ

Для снижения шумов, в особенности высокочастотных, некоторые опорные источники имеют специальные выводы для подсоединения фильтрующих конденсаторов. На рис.8. представлена упрощенная схема REF102. Поскольку основным источником шума является диод Зенера, подключение внешнего конденсатора 1 мкФ между выводами Noise Reduction и землей (Common) позволяет снизить шум с 800 мкВ до 200 мкВ от пика до пика (5 мкВ пик-пик в диапазоне 0,1 Гц...10 кГц). Определенного эффекта можно добиться включением конденсатора параллельно нагрузке. Следует учесть, что это может вызвать генерацию буфера, и проверить по данным изготовителя, какие максимальные емкостные нагрузки допускаются. Например, REF102 допускает всего 1 нФ, хотя для других изделий той же фирмы допускается, и даже рекомендуется 1 мкФ.

ВРЕМЯ УСТАНОВЛЕНИЯ РАБОЧЕГО РЕЖИМА

Обычное время установления выходного напряжения источников опорного напряжения после подачи питания порядка 1...10 мс, высокоточные приборы также требуют некоторого времени, которое может достигать секунд, для установления теплового режима, обеспечивающего точность, приведенную в справочных данных.

Если требуется снизить время установления рабочего режима, необходимо выбрать тип прибора, рассчитанного на быстрый старт, и минимизировать как емкостные нагрузки, так и фильтрующие емкости. Очень хорошие стартовые характеристики имеют например REF01 и REF02 - время установления до $\pm 0,1\%$ не более 5 мкс. Время установления теплового режима REF102 - не более 15 мкс (!).

ПОСТРОЕНИЕ ПРЕЦИЗИОННЫХ ИСТОЧНИКОВ ТОКА

Необходимость в прецизионных источниках тока встречается гораздо реже, чем в прецизионных источниках напряжения. Ввиду этого в номенклатуре многих производителей источники тока либо отсутствуют (Analog Devices, Maxim), либо представлены очень скупо - Burr-Brown - один тип с посредственными характеристиками (REF200).

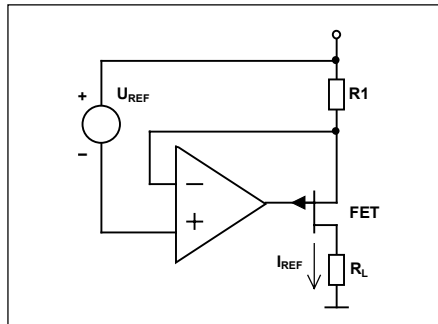


Рис.9. Стандартная схема построения прецизионного источника тока.

Прецизионные источники тока обычно строятся на базе ИОН. Стандартное решение для питания заземленной нагрузки R_L положительным током представлено на рис.9. Операционный усилитель А охвачен токовой отрицательной обратной связью через полевой транзистор FET и резистор R1, определяющий величину тока стабилизации I_{REF} , поступающего в нагрузку R_L . Использование полевого транзи-

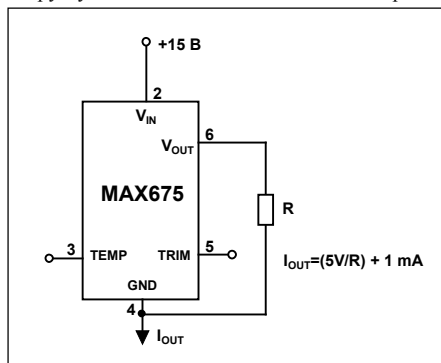


Рис.10. Прецизионный источник тока на ИОНе.

стора необходимо для максимального уменьшения тока ответвления в цепь управления токостабилизирующего элемента (здесь FET). Другую хорошую возможность представляют ИОН с малым потреблением тока, построенные на bandgap и XFET принципах. Такая схема представлена на рис.10. Величина тока стабилизации I_{OUT} , поступающего в нагрузку здесь равна сумме токов через резистор R, подключенный к выходу ИОН и тока собственного потребления ИОН. Поскольку он может составлять 10...20 мкА, а его изменение от напряжения, приложенного между выводами ИОН IN и G имеет порядок 30 ppm/V, на этом принципе уже с величины тока порядка 1...2 мА может быть построен прецизионный источник тока.

КОРПУС И МОНТАЖ

Для получения максимальной точности и стабильности результатов следует также учитывать механические напряжения и равномерность распределения температуры в кристалле. Механические напряжения создаются при монтаже кристалла в корпус по причине разных температурных коэффициентов расширения кристалла и корпуса и в результате передачи на кристалл деформаций печатной платы. Для снижения этих эффектов используются специальные технологические приемы, такие как введение в конструкцию прибора кремниевых

или полимерных слоев со специальными свойствами. Для устранения остаточных напряжений рекомендуется также после получения микросхемы ИОН от поставщика неделю выдерживать ее при температуре 100°C. Механические напряжения, возникающие при деформации печатной платы также могут играть существенную роль. Так, в [10] описан случай, когда выходное напряжение изменилось от деформации печатной платы на 56 ppm. Поэтому при конструировании важно обеспечить гибкую механическую связь участка, где смонтирован ИОН с остальной печатной платой, как минимум не заглублять выводы ИС на всю глубину, а лучше использовать специальные гибкие крепления. Наилучшие результаты получают с металлическими корпусами, которые не создают механические напряжения при монтаже кристалла. Тонкие внутренние проводники к проволочным выводам и сами эти выводы практически устраняют механическую связь с печатной платой, а металлическая оболочка увеличивает тепловую инерцию и равномерность распределения температуры по кристаллу. Хорошие результаты получены также с корпусами для поверхностного монтажа SO и SOT-23.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Schweber B. Investments in voltage references pays big system dividends. Electronic Design News, 1998, April, p.23.
2. АИНО8.027-89. Государственный первичный эталон и Государственная поверочная схема для средств измерения электродвижущей силы и напряжения.
3. Fluke Corporation, Catalog 1997/98.
4. А.А. Боярин, Г.А. Владимиров, Т.В. Мишук, В.Н. Ярославский, Новое поколение эталонов высокого напряжения, Законодательная и прикладная метрология, 1995, №5.
5. Widlar R.J., New developments in IC voltage regulators. IEEE International Solid-State Conference, 1970, Session FAM 13.3.
6. Analog Devices, Designers' Reference Manual, Winter 97/98 (CD).
7. Burr-Brown Corporation, 1998 CD-ROM Catalog.
8. Maxim, Program 1/98 (CD).
9. Raytheon, Electronics Semiconductor Division, 1997 Data Book (CD).
10. Kester W. Linear design seminar, Analog Devices Inc., 1995, Chapter 8.

Таблица 1. Основные характеристики серийно выпускаемых источников опорного напряжения

Напряжение	Основная погрешность	Температурная погрешность	Температурный диапазон	Временная нестабильность	Шум	Выходной ток	Вид схемы	Принцип	Тип прибора
1,2 В	±4 iА (±0,3%)	30 ppm/°C	-55°C...125°C	20 ppm/1000 ÷аÑ	60 iЕА rms (10 Äö...10 êÄö)	10 iЕА...20 iА		Bandgap	LM185-1.2
1,2 В	±4 iА (±0,3%)	30 ppm/°C	40°C... 85°C	20 ppm/1000 ÷аÑ	60 iЕА rms (10 Äö...10 êÄö)	10 iЕА...20 iА		Bandgap	LM285-1.2
1,2 В	±4 iА (±0,3%)	30 ppm/°C	0°C...70°C	20 ppm/1000 ÷аÑ	60 iЕА rms (10 Äö...10 êÄö)	10 iЕА...20 iА		Bandgap	LM385-1.2
1,2 В	±1%	30 ppm/°C	-40°C...85°C		10 iЕА p-p (0,1...10 Äö)			Bandgap	MAX6120
1,2 В	±1%	50 ppm/°C	-40°C...85°C		10 iЕА p-p (0,1...10 Äö); 400 iЕА p-p (10 Äö...10 êÄö)		Series	Bandgap	MAX6520
1,2 В	±4 iА	20 ppm/°C	0°C...70°C, -40°C...85°C	20 ppm/1000 ÷аÑ	60 iЕА p-p (0,1...10 Äö)	20 iА	Shunt	Bandgap	REF1004-1.2
1,22 В	1%	100 ppm/°C	-55°C...125°C		5 iЕА rms (typ) (10... 100 Äö)	20 iА	Shunt	Bandgap	LM113
1,22 В	1%	100 ppm/°C	0°C...70°C		5 iЕА rms (typ) (10... 100 Äö)	0,5...20 iА	Shunt	Bandgap	LM313
1,225 В	±0,1%	100ppm/°C	-40°C...85°C		20 iЕА rms (10... 100 Äö)	12 iА...60 iА	Shunt	Bandgap	LM4041
1,225 В	0,1%	100 ppm/°C	-40°C...85°C	120 ppm/1000 ÷аÑ	20 iЕА rms (10 Äö...10 êÄö)	60 iЕА...20 iА	Shunt	Bandgap	SC4041
1,23 В	+20/-30 iА	10 ppm/°C	-55°C...125°C, 0°C...70°C		5 iЕА (10 Äö...10 êÄö)			Bandgap	ICL8069
1,23 В	±1%	15 ppm/°C	-40°C...85°C		15 iЕА p-p (0,1...10 Äö) 500 iЕА p-p (10 Äö...10 êÄö)		Series	Bandgap	MAX6160
1,235 В	±4 iА (0,3 %)	20 ppm/°C	0°C...70°C	20 ppm/1000 ÷аÑ	60 iЕА	20 iА		Bandgap	AS1004
1,235 В	1%	20 ppm/°C	-40°C... 85°C	20 ppm/1000 ÷аÑ	60 iЕА (10 Hz to 10 kHz)	20 iЕА...20 iА	Shunt	Bandgap	SC1004-1.2
1,24 В	1%		-55°C...125°C	20 ppm/1000 ÷аÑ		10 iЕА...20 iА	Shunt	Bandgap	LM185
1,24 В	1%		-40°C... 85°C	20 ppm/1000 ÷аÑ		10 iЕА...20 iА		Bandgap	LM285
1,24 В	1%	30 ppm/°C	0°C to 70°C	20 ppm/1000 ÷аÑ	50 iЕА rms (10 Äö...10 êÄö)	10 iЕА...20 iА		Bandgap	LM385
1,25 В	±2 4 iА	20 ppm/°C	-55°C...125°C, 0°C...70°C	20 ppm/1000 ÷аÑ	60 iЕА (10 Äö...10 êÄö)	20 iА	Shunt	Bandgap	LT1004-1.2C
1,25 В	±2 4 iА (0,32%)	20 ppm/°C	-55°C...125°C	20 ppm/1000 ÷аÑ	60 iЕА (100 iЕА, 10 Äö...10 êÄö)	20 iА	Shunt	Bandgap	LT1004-1.2M
1,25 В	0,05%	10 ppm/°C	0°C to 70°C, -40°C...85°C		12 iЕА (0,1...10 Äö)	30 iА	Shunt	Bandgap	LT1634
1,25 В	0,2%	20ppm/°C	-40°C... 85°C	50 ppm/1000 ÷аÑ	25 iЕА p-p (0,1...10 Äö); 65 iЕА rms (10 Äö...10 êÄö)	500 iЕА	Series	Bandgap	MAX6012
2,048 В	±2 iА	8 ppm/°C	-40°C...125°C	0,2 ppm/1000 ÷аÑ	6 iЕА p-p (0,1...10 Äö)	5 iА		XFET™	ADR290
2,048 В	0,2%	20 ppm/°C		50 ppm/1000 ÷аÑ	40 iЕА p-p (0,1...10 Äö); 105 iЕА rms (10 Äö...10 êÄö)	500 iЕА	Series	Bandgap	MAX6021
2,048 В	±2 iА	5 ppm/°C	-40°C...85°C	1,2 ppm/1000 ÷аÑ	20 iЕА p-p (0,1...10 Äö)	30 iА	Series	Bandgap	REF191
2,5 Ä	±10 iА	10 ppm/°C	0°C...70°C			10 iА		Bandgap	AD1403
2,5 В	0,1%	50 ppm/°C	-40°C...85°C	100 ppm/1000 ÷аÑ	70 iЕА p-p (0,1...10 Äö), 50 iЕА rms (10 Äö...10 êÄö)	5 iА	Series	Bandgap	AD1582
2,5 Ä	±0,4%	10 ppm/°C	0°C...70°C, -55°C...125°C	250 iЕА	8 iЕА p-p (0,1...10 Äö)	5 iА		Bandgap	AD580
2,5 Ä	±5 iА	1 ppm/°C	-40°C...85°C, 0°C...70°C	25 ppm/1000 ÷аÑ	8 iЕА p-p	10 iА		Bandgap	AD680
2,5 Ä	±1 iА	3 ppm/°C	-40°C...85°C, -55°C...125°C	20 ppm/1000 ÷аÑ	4 iЕА p-p (0,1...10 Äö)	10 iА	Series, Shunt	Bandgap	AD780
2,5 Ä	±2 iА	15 ppm/°C	-40°C...125°C	0,2 ppm/1000 ÷аÑ	6 iЕА p-p (0,1...10 Äö)	5 iА		XFET™	ADR291
2,5 Ä	±1%		-55°C...125°C	20 ppm/1000 ÷аÑ		400 iЕА...10 iА	Shunt	Bandgap	LM136-2.5
2,5 Ä	±20 iА (±0.8%)	30 ppm/°C	-55°C...125°C	20 ppm/1000 ÷аÑ	120 iЕА (10 Äö...10 êÄö)	20 iЕА...20 iА	Shunt	Bandgap	LM185-2.5
2,5 Ä	1%		-25 °C... 85°C	20 ppm/1000 ÷аÑ		400 iЕА...10 iА	Shunt	Bandgap	LM236
2,5 Ä	±1%		-55°C...125°C	20 ppm/1000 ÷аÑ		400 iЕА...10 iА	Shunt	Bandgap	LM236-2.5
2,5 Ä	±20 iА (±0.8%)	30 ppm/°C	-40°C... 85°C	20 ppm/1000 ÷аÑ	120 iЕА (10 Äö...10 êÄö)	20 iЕА...20 iА	Shunt	Bandgap	LM285-2.5
2,5 Ä	1%		0°C...70°C	20 ppm/1000 ÷аÑ		400 iЕА...10 iА	Shunt	Bandgap	LM336
2,5 Ä	±1%		-55°C...125°C	20 ppm/1000 ÷аÑ		400 iЕА...10 iА	Shunt	Bandgap	LM336-2.5
2,5 Ä	±20 iА (±0.8%)	30 ppm/°C	0°C to 70°C	20 ppm/1000 ÷аÑ	120 iЕА (10 Äö...10 êÄö)	20 iЕА...20 iА	Shunt	Bandgap	LM385-2.5
2,5 Ä	±0,1%	100ppm/°C	-40°C...85°C		35 iЕА rms (typ) (10...100 Äö)	12 iА...60 iА	Shunt	Bandgap	LM4040
2,5 Ä	±2%	30 ppm/°C	0°C...70°C	120 ppm/1000 ÷аÑ	35 iЕА rms (10 Äö...10 êÄö)	100 iЕА...15 iА.	Shunt	Bandgap	LM4431
2,5 Ä	±20 iА	20 ppm/°C	0°C...70°C	20 ppm/1000 ÷аÑ	120 iЕА (100 iЕА, 10 Äö...10 êÄö)		Shunt	Bandgap	LT1004-2.5C
2,5 Ä	±20 iА	20 ppm/°C	-55°C...125°C	20 ppm/1000 ÷аÑ	120 iЕА (100 iЕА, 10 Äö...10 êÄö)		Shunt	Bandgap	LT1004-2.5M
2,5 Ä	0,05%	3 ppm/°C	-55°C...125°C, -25°C... 85°C, 0°C...70°C		2,5 iЕА rms (10 Äö...1 êÄö) 2,5 iЕА p-p (0,1...10 Äö)	10 iА	Series, Shunt	Bandgap	LT1019
2,5 Ä	0,15%	40 ppm/°C	0°C...70°C	ñäö ñäññö	20 iЕА p-p (0,1...10 Äö)	10 iА		Bandgap	LTC1258-2.5
2,5 Ä	±1% (±25 iА)	15 ppm/°C	-40°C...85°C		15iЕА p-p (0,1...10 Äö) 500 iЕА p-p (10 Äö...10 êÄö)		Series	Bandgap	MAX6125
2,5 Ä	±0,02% (1 iА)	1 ppm/°C	-55°C...125°C, -25°C... 85°C, 0°C...70°C	20 ppm/1000 ÷аÑ	1,5 iЕА p-p (0,1...10 Äö)	15 iА	Series	Zener	MAX6225
2,5 Ä	±0,02% (±1iА)	1 ppm/°C	-55°C...125°C, -40°C... 85°C, 0°C...70°C	30 ppm/1000 ÷аÑ	1,5 iЕА p-p (0,1...10 Äö); 1,3 iЕА rms (10 Äö...1 êÄö)	15 iА	Series	Zener	MAX6325
2,5 Ä	±0,2% (±5 iА)	40ppm/°C	-40°C... 85°C, 0°C...70°C	20 ppm/1000 ÷аÑ	60 iЕА (0,1...10 Äö)		Series	Bandgap	MAX872
2,5 Ä	±1,5 iА	7ppm/°C	-55°C...125°C, -40°C... 85°C, 0°C...70°C	20 ppm/1000 ÷аÑ	15 iЕА rms (10 Äö...10 êÄö)		Series	Bandgap	MAX873
2,5 Ä	1%	10 ppm/°C	0°C...70°C			10 iА	Series	Bandgap	MC1403

Напря- жение	Основная по- грешность	Температурная погрешность	Температурный диапазон	Временная неста- бильность	Шум	Выходной ток	Вид схе- мы	Принцип	Тип прибора	
2,5 Å	±0,4%	12ppm/°C	-55°C...125°C, -25°C... 85°C, 0°C...70°C	250 iĀ	50 iĀ (0,1...10 Åö)			Bandgap	MX580	
2,5 Å	±20 iĀ	20 ppm/°C	0°C...70°C, -40°C...85°C	20 ppm/1000 ÷ñ	60 iĀ p-p (0,1...10 Åö)	20 iĀ		Bandgap	REF1004-2.5	
2,5 Å	±2 iĀ	2 ppm/°C	-40°C...85°C	1,2 ppm/1000 ÷ñ	30 iĀ p-p (0,1...10 Åö)	30 iĀ	Series	Bandgap	REF192	
2,5 Å	±0,05%	10 ppm/°C	-55°C...125°C, -40°C... 85°C	ñäö ñäññö	7 iĀ p-p (0,1...10 Åö)	20 iĀ		Bandgap	REF43	
2,5 Å	1%	20 ppm/°C	-40°C... 85°C	20 ppm/1000 ÷ñ	120 iĀ (10 Åö...10 ěÄö)	20 iĀ...20 iĀ		Shunt	Bandgap	SC1004-2.5
2,5 Å	0,1%	100 ppm/°C	-40°C...85°C	120 ppm/1000 ÷ñ	20 iĀ rms (10 Åö...10 ěÄö)	60 iĀ...20 iĀ		Shunt	Bandgap	SC4040
2,5 Å	1%		0°C...70°C, -40°C...85°C			1...100 iĀ		Shunt	Bandgap	TL431
3 Å	0,1%	50 ppm/°C	-40°C...85°C	100 ppm/1000 ÷ñ	85 iĀ p-p (0,1...10 Åö), 60 iĀ rms (10 Åö...10 ěÄö)	5 iĀ	Series	Bandgap	AD1583	
3 Å	±10 iĀ	2 ppm/°C	-40°C...85°C	1,2 ppm/1000 ÷ñ	20 iĀ p-p (0,1...10 Åö)	30 iĀ	Series	Bandgap	REF193	
3,29 Å	±10 iĀ	2 ppm/°C	-40°C...85°C	1,2 ppm/1000 ÷ñ	20 iĀ p-p (0,1...10 Åö)	30 iĀ	Series	Bandgap	REF196	
4,096 Å	0,1%	50 ppm/°C	-40°C...85°C	100 ppm/1000 ÷ñ	110 iĀ p-p (0,1...10 Åö), 90 iĀ rms (10 Åö...10 ěÄö)	5 iĀ	Series	Bandgap	AD1584	
4,096 Å	±3 iĀ	25 ppm/°C	-40°C...125°C	0,2 ppm/1000 ÷ñ	6 iĀ p-p (0,1...10 Åö)	5 iĀ		XFET™	ADR292	
4,096 Å	0,2%	20ppm/°C		50 ppm/1000 ÷ñ	60 iĀ p-p (0,1...10 Åö), 125 iĀ rms (10 Åö...10 ěÄö)	500 iĀ	Series	Bandgap	MAX6025	
4,096 Å	±1% (±41 iĀ)	15 ppm/°C	-40°C...85°C		25 iĀ p-p (0,1...10 Åö), 700 iĀ p-p (10 Åö...10 ěÄö)		Series	Bandgap	MAX6141	
4,096 Å	±0,02%	1 ppm/°C	-55°C...125°C, -25°C... 85°C, 0°C...70°C	20 ppm/1000 ÷ñ	1,5 iĀ p-p (0,1...10 Åö)	15 iĀ	Series	Zener	MAX6241	
4,096 Å	±0,1 iĀ	1 ppm/°C	-55°C...125°C, -40°C... 85°C, 0°C...70°C	30 ppm/1000 ÷ñ	1,5 iĀ p-p (0,1Hz to 10Hz), 1,3 iĀ rms (10 Åö...1 ěÄö)	15 iĀ	Series	Zener	MAX6341	
4,096 Å	±0,2% (±8 iĀ)	40ppm/°C	-40°C... 85°C, 0°C...70°C	20 ppm/1000 ÷ñ	90 iĀ (0,1...10 Åö)		Series	Bandgap	MAX874	
4,096 Å	±2 iĀ	2 ppm/°C	-40°C...85°C	1,2 ppm/1000 ÷ñ	20 iĀ p-p (0,1...10 Åö)	30 iĀ	Series	Bandgap	REF198	
4,5 Å	0,2%	20ppm/°C		50 ppm/1000 ÷ñ	110 iĀ p-p (0,1...10 Åö), 200 iĀ rms (10 Åö...10 ěÄö)	500 iĀ	Series	Bandgap	MAX6045	
4,5 Å	±1% (±45 iĀ)	15 ppm/°C	-40°C...85°C		30 iĀ p-p (0,1...10 Åö), 800 iĀ p-p (10 Åö...10 ěÄö)		Series	Bandgap	MAX6145	
4,5 Å	±2 iĀ	2 ppm/°C	-40°C...85°C	1,2 ppm/1000 ÷ñ	20 iĀ p-p (0,1...10 Åö)	30 iĀ	Series	Bandgap	REF194	
5m	0,1%	50 ppm/°C	-40°C...85°C	100 ppm/1000 ÷ñ	140 iĀ p-p (0,1...10 Åö), 100 iĀ rms (10 Åö...10 ěÄö)	5 iĀ	Series	Bandgap	AD1585	
5 Å	±2 iĀ	2 ppm/°C	0°C...70°C, -40°C...85°C	15 ppm/1000 ÷ñ	4 iĀ p-p (0,1...10 Åö)	10 iĀ	Series	Zener	AD586	
5 Å	±3 iĀ	8 ppm/°C	-40°C...125°C	0,2 ppm/1000 ÷ñ	15 iĀ p-p (0,1...10 Åö)	5 iĀ		XFET™	ADR293	
5 Å	1%		-55°C...125°C	20 ppm/1000 ÷ñ			Shunt	Zener	LM136-5.0	
5 Å	1%		-25°C... 85°C	20 ppm/1000 ÷ñ			Shunt	Zener	LM236-5.0	
5 Å	1%		0°C...70°C	20 ppm/1000 ÷ñ			Shunt	Zener	LM336-5.0	
5 Å	0,2%	20ppm/°C		50 ppm/1000 ÷ñ	110 iĀ p-p (0,1...10 Åö); 215 iĀ rms (10 Åö...10 ěÄö)	500 iĀ	Series	Bandgap	MAX6050	
5 Å	±1% (±50 iĀ)	15 ppm/°C	-40°C...85°C		35 iĀ p-p (0,1...10 Åö), 900 iĀ p-p (10 Åö...10 ěÄö)		Series	Bandgap	MAX6150	
5 Å	±0,02%	1 ppm/°C	-55°C...125°C, -25°C... 85°C, 0°C...70°C	20 ppm/1000 ÷ñ	1,5 iĀ p-p (0,1...10 Åö)	15 iĀ	Series	Zener	MAX6250	
5 Å	±0,1 iĀ	1 ppm/°C	-55°C...125°C, -40°C... 85°C, 0°C...70°C	30 ppm/1000 ÷ñ	1,5 iĀ p-p (0,1Hz to 10Hz); 1,3 iĀ rms (10 Åö...1 ěÄö)	15 iĀ	Series	Zener	MAX6350	
5 Å	±0,15%	12ppm/°C	-55°C...125°C, -40°C... 85°C, 0°C...70°C		10 iĀ p-p		Series		MAX675	
5 Å	±2 iĀ	7ppm/°C	-55°C...125°C, -40°C... 85°C, 0°C...70°C	20 ppm/1000 ÷ñ	30 iĀ rms (10 Åö...10 ěÄö)		Series	Bandgap	MAX875	
5 Å	±0,3%	3 ppm/°C	-55°C...125°C, 0°C...70°C	ñäö ñäññö	20 iĀ p-p (0,1...10 Åö)	21iĀ	Series	Bandgap	REF01	
5 Å	±0,1%	8,5 ppm/°C	-40°C...85°C	ñäö ñäññö	10 iĀ p-p (0,1...10 Åö)	21iĀ	Series	Bandgap	REF02	
5 Å	±0,1%	8,5 ppm/°C	-40°C...85°C	ñäö ñäññö	10 iĀ p-p (0,1...10 Åö)	21 iĀ	Series	Bandgap	REF02	
5 Å	±2 iĀ	2 ppm/°C	-40°C...85°C	1,2 ppm/1000 ÷ñ	20 iĀ p-p (0,1...10 Åö)	30 iĀ	Series	Bandgap	REF195	
6,9 Å	5%	6 ppm/°C	-55°C...125°C	20 ppm/1000 ÷ñ	7 iĀ p-p (0,1...10 Åö)	0,5...15 iĀ		Zener	LM129	
6,9 Å	2%	1 ppm/°C	-55°C...125°C	20 ppm/1000 ÷ñ	7 iĀ (10 Hz to 10 kHz)	500 iĀ...10 iĀ		Zener	LM199	
6,9 Å	2%	1 ppm/°C	-25 °C... 85°C	20 ppm/1000 ÷ñ	7 iĀ (10 Hz to 10 kHz)	500 iĀ...10 iĀ		Zener	LM299	
6,9 Å	5%	6 ppm/°C	0°C...70°C	20 ppm/1000 ÷ñ	7 iĀ p-p (0,1...10 Åö)	0,5...15 iĀ		Zener	LM329	
6,9 Å	2%	1 ppm/°C	0°C to 70°C	20 ppm/1000 ÷ñ	7 iĀ (10 Hz to 10 kHz)	500 iĀ...10 iĀ		Zener	LM399	
6,9 Å	2%	1 ppm/°C	0°C...70°C	20 ppm/1000 ÷ñ	7 iĀ (10 Åö...10 ěÄö)	0,5...10 iĀ		Zener	LM3999	
10 Å	±5 iĀ	5 ppm/°C	0°C...70°C, -55°C...125°C	25 ppm/1000 ÷ñ	40 iĀ p-p (0,1...10 Åö)	10 iĀ		Bandgap	AD581	
10 Å	±2,5 iĀ	5 ppm/°C	0°C...70°C, -55°C...125°C	25 ppm/1000 ÷ñ	50 iĀ p-p (0,1...10 Åö)	10 iĀ	Series	Zener	AD584	
10 Å	±65 iĀ	5 ppm/°C	0°C...70°C, -55°C...125°C	15 ppm/1000 ÷ñ	4 iĀ p-p (0,1...10 Åö)	10 iĀ		Zener	AD587	
10 Å	1 iĀ	1,5 ppm/°C	-55°C...125°C, -25°C...85°C; 0°C...70°C	15 ppm/1000 ÷ñ	6 iĀ p-p (0,1...10 Åö)	10 iĀ		Zener	AD588	
10 Å	2 iĀ (±0,02%)	1,5 ppm/°C	-55°C...125°C, -40°C...85°C	15 ppm/1000 ÷ñ	6 iĀ p-p (0,1...10 Åö)			Zener	AD688	
10 Å	2,5 iĀ	3 ppm/°C	-55°C...125°C, -40°C... 85°C, 0°C...70°C	50 ppm/1000h	12 iĀ (0,1...10 Åö)	10 iĀ	Series	Zener	MAX670	
10 Å	1 iĀ	1 ppm/°C	-55°C...125°C, -40°C... 85°C, 0°C...70°C	50 ppm/1000h	12 iĀ (0,1...10 Åö)	10 iĀ	Series	Zener	MAX671	
10 Å	±0,15%	12ppm/°C	-55°C...125°C, -40°C... 85°C, 0°C...70°C		20 iĀ (0,1...10 Åö)			Zener	MAX674	
10 Å	±3 iĀ	7ppm/°C	-55°C...125°C, -40°C... 85°C, 0°C...70°C	20 ppm/1000 ÷ñ	60 iĀ rms (10 Åö...10 ěÄö)		Series	Bandgap	MAX876	
10 Å	2,5 iĀ	3 ppm/°C	-55°C...125°C, -25°C... 85°C, 0°C...70°C	50 ppm/1000÷ñ	6 iĀ p-p (0,1...10 Åö)	10 iĀ	Series	Zener	MX2700	
10 Å	2,5 iĀ	1 ppm/°C	-55°C...125°C, -25°C... 85°C, 0°C...70°C	50 ppm/1000÷ñ	6 iĀ p-p (0,1...10 Åö)	10 iĀ	Series	Zener	MX2710	
10 Å	10 iĀ	15ppm/°C	-55°C...125°C, -25°C... 85°C, 0°C...70°C	25 ppm/1000÷ñ	50 iĀ (0,1...10 Åö)	10 iĀ		Bandgap	MX581	
10 Å	10 iĀ	15ppm/°C	-55°C...125°C, -25°C... 85°C, 0°C...70°C	25 ppm/1000÷ñ	50 iĀ (0,1...10 Åö)	10 iĀ		Bandgap	MX584	
10 Å	±0,3%	8,5 ppm/°C	-65°C...150°C, -55°C...125°C, -40°C...85°C, 0°C...70°C	ñäö ñäññö	30 iĀ p-p (0,1...10 Åö)	20 iĀ	Series	Bandgap	REF01	
10 Å	±0,3%	3 ppm/°C	-55°C...125°C, 0°C...70°C	ñäö ñäññö	10 iĀ p-p (0,1...10 Åö)	21iĀ			REF02	
10 Å	±5 iĀ	1 ppm/°C	-55°C...125°C, 0°C...70°C	10 ppm/1000 ÷ñ	6 iĀ p-p (0,1...10 Åö)	10 iĀ	Series	Zener	REF10	
10 Å	±2,5 iĀ	2,5ppm/°C	-55°C...125°C, -25°C...85°C	5 ppm/1000 ÷ñ	5 iĀ p-p (0,1...10 Åö)	10 iĀ	Series	Zener	REF102	
-10 B	2,5 iĀ	3 ppm/°C	-55°C...125°C, -25°C... 85°C, 0°C...70°C	50 ppm/1000 ÷ñ	6 iĀ p-p (0,1...10 Åö)	10 iĀ	Series	Zener	MX2701	

Таблица 2. Производители и типы корпусов источников опорного напряжения

1.	AD1403	Analog Devices	DIP-8
2.	AD1582	Analog Devices	SOT-23-3
3.	AD1583	Analog Devices	SOT-23
4.	AD1584	Analog Devices	SOT-23
5.	AD1585	Analog Devices	SOT-23
6.	AD580	Analog Devices	TO-52
7.	AD581	Analog Devices	TO-5 metal can
8.	AD584	Analog Devices	TO-99, DIP-8
9.	AD586	Analog Devices	DIP-8, Cerdip-8, SO-8
10.	AD587	Analog Devices	DIP-8, Cerdip-8, SO-8
11.	AD588	Analog Devices	CerDIP-16
12.	AD680	Analog Devices	TO-92, DIP-8, SOIC-8
13.	AD688	Analog Devices	CerDIP-16
14.	AD780	Analog Devices	CerDIP-8, DIP-8, SOIC-8
15.	ADR290	Analog Devices	TO-92, SO-8, TSSOP-8
16.	ADR291	Analog Devices	TO-92, SO-8, TSSOP-8
17.	ADR292	Analog Devices	TO-92, SO-8, TSSOP-8
18.	ADR293	Analog Devices	TO-92, SO-8, TSSOP-8
19.	AS1004	Astec Semiconductor	TO-92, SOIC-8, SOT-89
20.	ICL8069	Maxim	TO-52
21.	LM113	National Semiconductor	H02A
22.	LM129	National Semiconductor	TO-46
23.	LM136-2.5	National Semiconductor	TO-46, TO-92, SO-8
24.	LM136-5.0	National Semiconductor	TO-46
25.	LM185	National Semiconductor	TO-46
26.	LM185-1.2	National Semiconductor	TO-46, LCC
27.	LM185-2.5	National Semiconductor	TO-46, LCC
28.	LM199	National Semiconductor	TO-46
29.	LM236	Semtech, STMicroelectronics	TO-92, SO-8
30.	LM236-2.5	National Semiconductor	TO-46, TO-92, SO-8
31.	LM236-5.0	National Semiconductor	TO-92, TO-46
32.	LM285	National Semiconductor	TO-92, SO-8
33.	LM285-1.2	National Semiconductor	TO-46, TO-92, SO-8, SOT-23
34.	LM285-2.5	National Semiconductor	TO-92, SO-8, SOT-23
35.	LM299	National Semiconductor	TO-46
36.	LM313	National Semiconductor	H02A
37.	LM329	National Semiconductor	TO-46, TO-92
38.	LM336	Semtech, STMicroelectronics	TO-92, SO-8
39.	LM336-2.5	National Semiconductor	TO-46, TO-92, SO-8
40.	LM336-5.0	National Semiconductor	SO-8
41.	LM385	National Semiconductor	TO-92, SO-8
42.	LM385-1.2	National Semiconductor	TO-46, TO-92, SO-8, SOT-23
43.	LM385-2.5	National Semiconductor	TO-92, SO-8, SOT-23
44.	LM399	National Semiconductor	TO-46
45.	LM3999	National Semiconductor	TO-92
46.	LM4040	National Semiconductor	SOT-23
47.	LM4040	Micrel	SOT-23
48.	LM4041	National Semiconductor	SOT-23
49.	LM4041	Micrel	SOT-23
50.	LM4431	National Semiconductor	SOT-23
51.	LT1004-1.2C	Linear Technology	TO-46, TO-92
52.	LT1004-1.2M	Linear Technology	TO-46
53.	LT1004-2.5C	Linear Technology	TO-92
54.	LT1004-2.5M	Linear Technology	TO-46
55.	LT1019	Linear Technology	TO-5, DIP-8, SO-8
56.	LT1634	Linear Technology	SO-8, TO-92, MSOP
57.	LTC1258-2.5	Linear Technology	SO-8
58.	MAX6012	Maxim	SOT-23-3
59.	MAX6021	Maxim	SOT-23-3
60.	MAX6025	Maxim	SOT-23-3
61.	MAX6045	Maxim	SOT-23-3
62.	MAX6050	Maxim	SOT-23-3
63.	MAX6120	Maxim	SO-8, SOT-23-3
64.	MAX6125	Maxim	SO-8, SOT-23-3
65.	MAX6141	Maxim	SO-8, SOT-23-3
66.	MAX6145	Maxim	SO-8, SOT-23-3
67.	MAX6150	Maxim	SO-8, SOT-23-3
68.	MAX6160	Maxim	SO-8, SOT143-4
69.	MAX6225	Maxim	CerDIP-8, DIP-8, SO-8
70.	MAX6241	Maxim	DIP-8, SO-8
71.	MAX6250	Maxim	DIP-8, SO-8
72.	MAX6325	Maxim	CerDIP-8, DIP-8, SO-8
73.	MAX6341	Maxim	CerDIP-8, DIP-8, SO-8
74.	MAX6350	Maxim	CerDIP-8, DIP-8, SO-8
75.	MAX6520	Maxim	SOT-23-3
76.	MAX670	Maxim	CerDIP-14
77.	MAX671	Maxim	CerDIP-14
78.	MAX672	Maxim	çàìàìàì ìà MAX674
79.	MAX673	Maxim	çàìàìàì ìà MAX675
80.	MAX674	Maxim	TO-99, DIP-8, CerDIP--8, SO-8
81.	MAX675	Maxim	TO-99, CerDIP--8, DIP-8
82.	MAX872	Maxim	DIP-8, SO-8
83.	MAX873	Maxim	DIP-8, SO-8
84.	MAX874	Maxim	DIP-8, SO-8
85.	MAX875	Maxim	DIP-8, SO-8
86.	MAX876	Maxim	DIP-8, SO-8
87.	MC1403	STMicroelectronics	SO-8, DIP-8
88.	MX2700	Maxim	CerDIP-14
89.	MX2701	Maxim	CerDIP-14
90.	MX2710	Maxim	CerDIP-14
91.	MX580	Maxim	TO-52, SO-8
92.	MX581	Maxim	TO-39, SO-8
93.	MX584	Maxim	TO-99, CerDIP-8, DIP-8, SO-8
94.	REF01	Analog Devices	TO-99, CerDIP-8, DIP-8, LCC-20, SO-8, PLCC-20
95.	REF01	Maxim	TO-99, CerDIP-8, DIP-8, SO-8
96.	REF02	Maxim	TO-99, CerDIP-8, DIP-8, SO-8
97.	REF02	Burr-Brown	DIP-8, SO-8
98.	REF02	Analog Devices, Burr-Brown	DIP-8, SO-8
99.	REF10	Burr-Brown	TO-99
100.	REF1004-1.2	Burr-Brown	SO-8
101.	REF1004-2.5	Burr-Brown	SO-8
102.	REF102	Burr-Brown	TO-99, DIP-8, SO-8
103.	REF191	Analog Devices	DIP-8, SO-8, TSSOP-8
104.	REF192	Analog Devices	DIP-8, SO-8, TSSOP-8
105.	REF193	Analog Devices	DIP-8, SO-8, TSSOP-8
106.	REF194	Analog Devices	DIP-8, SO-8, TSSOP-8
107.	REF195	Analog Devices	DIP-8, SO-8, TSSOP-8
108.	REF196	Analog Devices	DIP-8, SO-8, TSSOP-8
109.	REF198	Analog Devices	DIP-8, SO-8, TSSOP-8
110.	REF43	Analog Devices	TO-99, CerDIP-8, DIP-8, LCC-20, SO-8, PLCC-20
111.	SC1004-1.2	Semtech	SO-8
112.	SC1004-2.5	Semtech	SO-8
113.	SC4040	Semtech	TO-92, SO-8, SOT-23
114.	SC4041	Semtech	TO-92, SO-8, SOT-23
115.	TL431	STMicroelectronics	SO-8

Таблица 3. Производители прецизионных источников опорного напряжения

Производители		Дистрибьюторы
Analog Devices	http://www.analog.com	
Astec Semiconductor	http://www.astec.com	
Burr-Brown	http://www.burr-brown.com	
Linear Technology	http://www.linear-tech.com	
Maxim	http://www.maxim-ic.com	
Micrel	http://www.micrel.com	
National Semiconductor	http://www.national.com	
Semtech	http://www.semtech.com	
STMicroelectronics	http://www.st.com	