

Недорогой изолирующий усилитель, пригодный для использования в промышленных устройствах

[Журнал РАДИОЛОЦМАН, май 2015](#)

Andrew Russell

EDN

Изображённая на Рисунке 1а недорогая схема изолированного усилителя для измерительных устройств обеспечивает гальваническую развязку между входом и выходом до 500 В. В усилителе используется лишь один миниатюрный дешёвый трансформатор, а с небольшой модификацией схема может использоваться в многоканальных приложениях. При входном сигнале 2 В линейность передаточной характеристики составляет примерно 0.05%. Основными элементами схемы являются микромощный программируемый источник опорного напряжения [LM385](#), работающий в шунтовом режиме, и сдвоенный планарный диод [BAV99](#).

Чтобы понять принцип работы схемы, прежде всего, необходимо обратить внимание на фиксатор уровня (Рисунок 1б). Шунтовой стабилизатор LM385 состоит из управляющего усилителя, транзистора токового шунта и внутреннего прецизионного источника опорного напряжения 1,25 В. Выходное напряжение устанавливается двумя внешними резисторами обратной связи R_1 и R_2 . При обычном использовании микросхемы LM385 точкой фиксации служит коллектор транзистора Q. Однако в описываемой схеме ограничитель должен блокировать постоянную составляющую тока, что обеспечивается диодом V_{D2} , поскольку схема получает питание от сигнала переменного тока с вторичной обмотки трансформатора. V_{D1} , находящийся в петле обратной связи LM385, компенсирует падение напряжения V_{D2} . Благодаря тепловой связи диодов V_{D1} и V_{D2} , расположенных в общем корпусе, температурные изменения падения напряжения на V_{D2} зеркально повторяются в напряжении V_{D1} . Передаточная функция схемы фиксации уровня описывается выражением

$$V_{CL} = 2V_{REF} + V_{IN}.$$

где V_{CL} – напряжение фиксации.

В общей схеме симметричные прямоугольные импульсы с частотой 10 кГц управляют недорогим NPN транзистором [BC237](#), который, в свою очередь, управляет первичной обмоткой трансформатора T_1 . Во время прямого хода ток вторичной обмотки отсутствует из-за блокирующего действия V_{D2} . В течение этой фазы ток намагничивания первичной обмотки, преобразуемый схемой в энергию магнитного поля, увеличивается с нуля до -650 мкА.

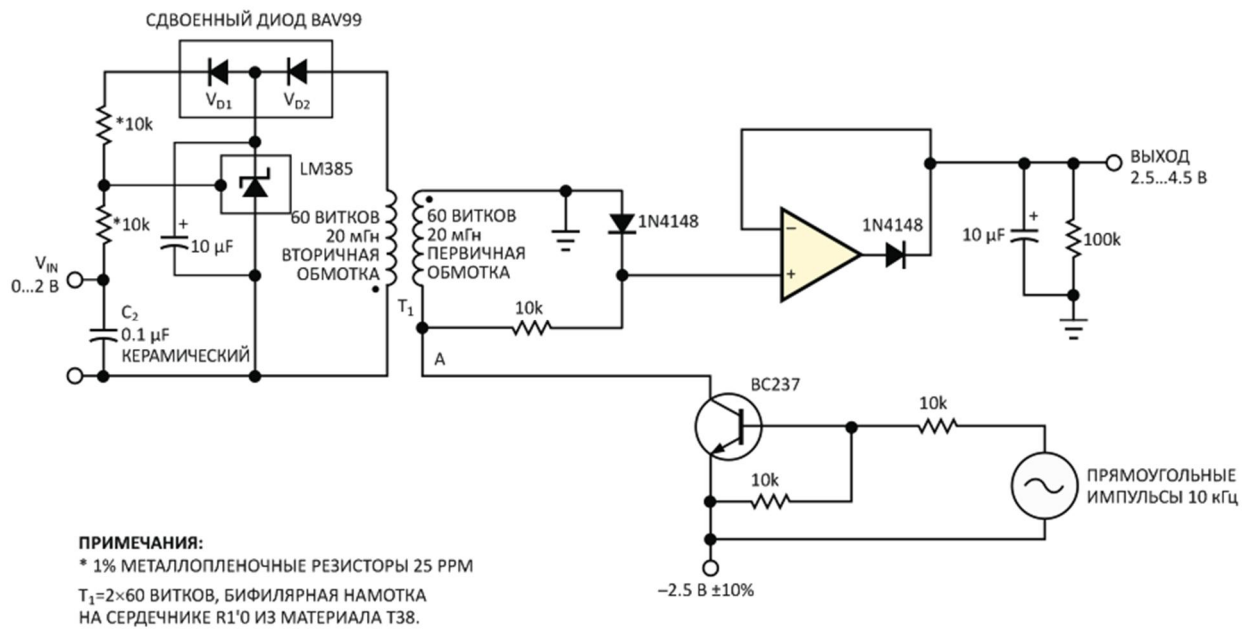


Рис. 1а

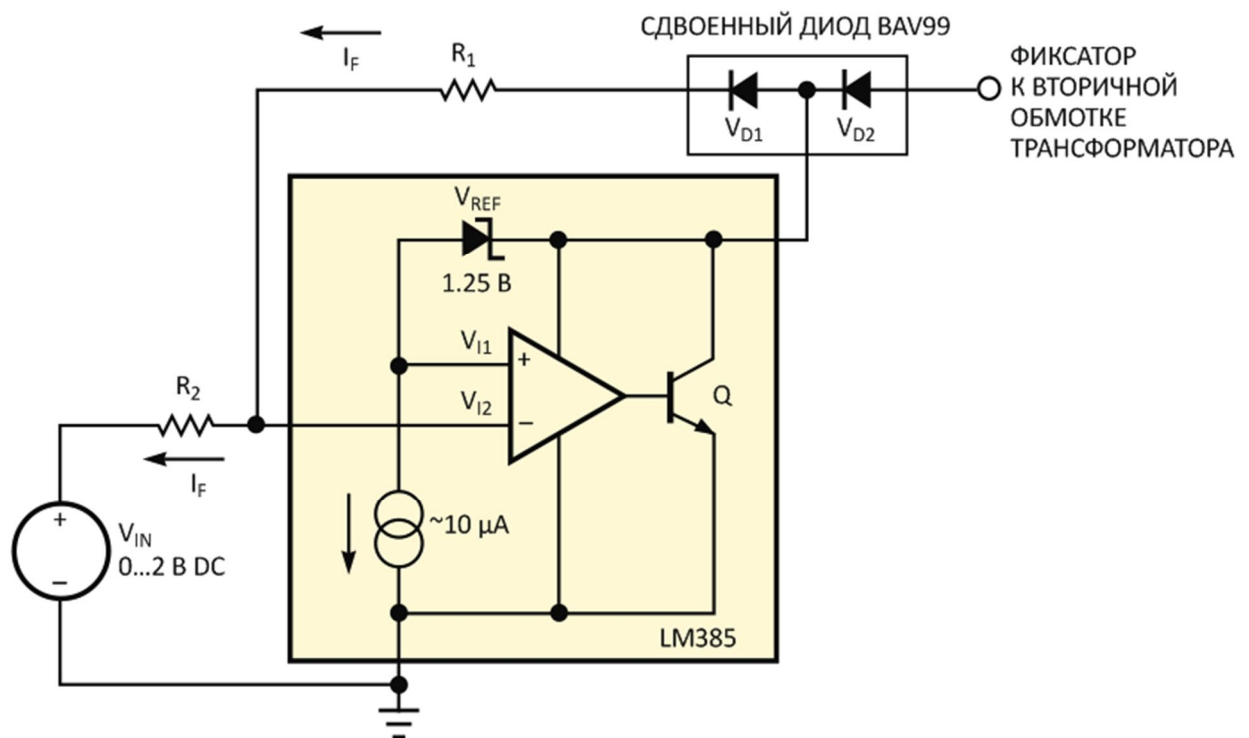


Рис. 16

Изолированный усилитель для измерительных приложений обеспечивает гальваническую развязку 500 В, используя лишь один недорогой трансформатор (а). Схема фиксации уровня включает диод VD2, удаляющий постоянную составляющую тока (б).

Когда уровень напряжения на базе BC237 становится низким, транзистор выключается, и накопленная в сердечнике индуктивная энергия передаётся во вторичную обмотку, вследствие чего прямое напряжение открывает VD2, позволяя течь току через LM385 и

возвращаться обратно к другому концу вторичной обмотки. Напряжение на аноде LM385 с большой точностью фиксируется на уровне

$$V_{IN} + 2V_{REF} - VD_1.$$

Однако добавление VD_2 к напряжению фиксации на аноде VD_2 компенсируется напряжением VD_1 , в результате чего напряжение фиксации будет равно

$$2V_{REF} + V_{IN}.$$

Заметим, что напряжения, падающие на диодах во время ограничения, неодинаковы из-за значительного рассогласования токов двух диодов; если через VD_2 течёт пиковый ток фиксации, то VD_1 пропускает лишь ток обратной связи. Тем не менее, схема в значительной мере компенсирует обусловленные температурой изменения прямых падений напряжения, которые могут быть основным источником ошибок. Несмотря на некоторое расхождение температурных зависимостей характеристик диодов, обусловленное различием их прямых токов, это несоответствие достаточно невелико с точки зрения его влияния на результирующую точность схемы, что позволяет вам рассматривать его как эффект второго порядка.

Время отклика схемы в точке А, измеренное между уровнями 10% и 90% от размаха входного сигнала, было менее 3 мс. Учтите, что входной сигнал должен быть способен отдавать втекающий ток обратной связи I_F , величина которого при использованных в схеме элементах составляет примерно 65 мкА. При выборе сопротивлений резисторов обратной связи, равными 100 кОм, ток в цепи обратной связи уменьшается примерно до 8 мкА. Дрейф схемы определяется преимущественно стабильностью резисторов обратной связи, температурной стабильностью LM385 и согласованностью вольт-амперных характеристик диодов BAV99. Средний ток, потребляемый схемой, без учёта пикового детектора приблизительно равен 150 мкА. Шумы и стабильность источника напряжения $-2,5$ В, от которого питается трансформатор, не критичны, поэтому будет вполне достаточно регулятора на стабилитроне. Рисунок 2 иллюстрирует характеристики линейности, выраженные в процентах от измеренного значения и в процентах от полной шкалы.



Рисунок 2

Характеристики линейности схемы, измеренные в процентах от измеренного значения и в процентах от полной шкалы.

В многоканальных изолированных приложениях каскад пикового детектора можно исключить, и подключить первичную обмотку трансформатора (точку А) непосредственно к быстродействующему многоканальному АЦП. При задающей частоте 10 кГц плоские вершины сигнала после его ограничения имеют типичную длительность от 20 до 40 мкс. Выборка значений должна происходить в определенное фиксированное время после переднего фронта импульса, например, через 25...30 мкс, поскольку величина тока, идущего в микросхему LM385, уменьшается по мере затухания магнитной энергии в сердечнике трансформатора. Общее динамическое сопротивление, которое имеют LM385 и связанный с микросхемой выпрямительный диод V_{D2} , зависит от тока, проводимого каждым устройством. На сопротивлении первичной обмотки происходит умножение тока фиксации, приводящее к дальнейшему росту составляющей ошибки. Обе ошибки объединяются и проявляются в виде наклона плоских вершин ограниченного сигнала, который с помощью осциллографа можно наблюдать в точке А первичной обмотки. По этой причине вы должны производить выборки сигнала в определенные фиксированные моменты времени, следующие за нарастающими фронтами ограниченного сигнала. В противном случае ошибки могут привести к тому, что будут считываться данные, выбранные для другого цикла измерения.

В рассматриваемой схеме небольшие выбросы, возникающие на передних фронтах, слишком коротки, чтобы создать какие-либо проблемы пиковому детектору, однако при подключении быстродействующего АЦП они станут источниками погрешностей. Опять же, проблема решается выборкой значений сигнала в определенные моменты времени, следующие за его передними фронтами.

Обратите внимание, что из-за начального смещения 2,5 В, вносимого слагаемым $2V_{REF}$ в выражение для передаточной функции, измеренное в точке А выходное напряжение фиксации изменяется от 2,5 до 4,5 В. Вы можете исключить это смещение либо с помощью включённой последовательно схемы компенсации смещения, либо, в случае использования быстродействующего АЦП, посредством простого программного вычитания. Использование методов программной калибровки делает схему пригодной для промышленного использования.