

Диоды вычисляют логарифмы и экспоненты в оптическом измерителе переменного и постоянного тока

Stephen Woodward

EDN

Теоретически, разработка схемы измерения тока, обычно основанной на простом измерении падения напряжения на резисторе, установленном последовательно с измеряемым током, выглядит совсем простой задачей. Это в теории. Но на практике осложняющие факторы иногда объединяются и делают эту задачу гораздо более интересной.

Например, чтобы минимизировать потери КПД и мощности в токоизмерительном резисторе, его сопротивление обычно ограничивают миллиомами, из-за чего падение напряжения на нем составляет милливольты, которые надо извлекать из синфазного напряжения шин питания, составляющего десятки (иногда сотни) вольт, в компании с большими шумовыми компонентами. Эти проблемы проектирования нашли отражение в разработке многих инновационных схемных решений и специализированных устройств. (52 последних выпускаются одной только Analog Devices)!

В предлагаемой статье решение этой классической проблемы рассматривается под другим углом. Здесь, с использованием только стандартных компонентов, реализована оптически изолированная (и, следовательно, устойчивая к синфазным помехам) топология измерения тока, совместимая с источниками как постоянного тока любой полярности, так и переменного тока. Получившуюся схему

можно с уверенностью назвать универсальным датчиком тока, который, к тому же, дешев, поскольку в нем нет деталей стоимостью более \$1. Теперь посмотрим, как это работает (Рисунок 1).

Резисторный шунт R_s выполняет роль обычного токоизмерительного резистора, устанавливающего масштабный коэффициент для полной шкалы, равный $0.1/R_s = 20$ ампер. В этом примере $R_s = 5$ мОм. Однако, выбрав подходящий резистор, можно задать почти любой ток полной шкалы. Напряжение V_s , падающее на R_s , выбирается последовательно соединенными светодиодами оптопар O1 и O2 в соответствии с вариантом классического уравнения диода (полученным из вольт-амперных характеристик, приведенных в техническом описании изготовителя):

$$I_F = e^{\frac{V}{0.065}} \text{ [A]}.$$

Светодиоды, несмотря на их замечательную способность излучать свет, все же остаются не более чем просто диодами, а их логарифмическая/экспоненциальная функциональность является очень точной, если прямой ток I_F ограничен значениями в пределах примерно от 0.0001 до 0.1 от максимально

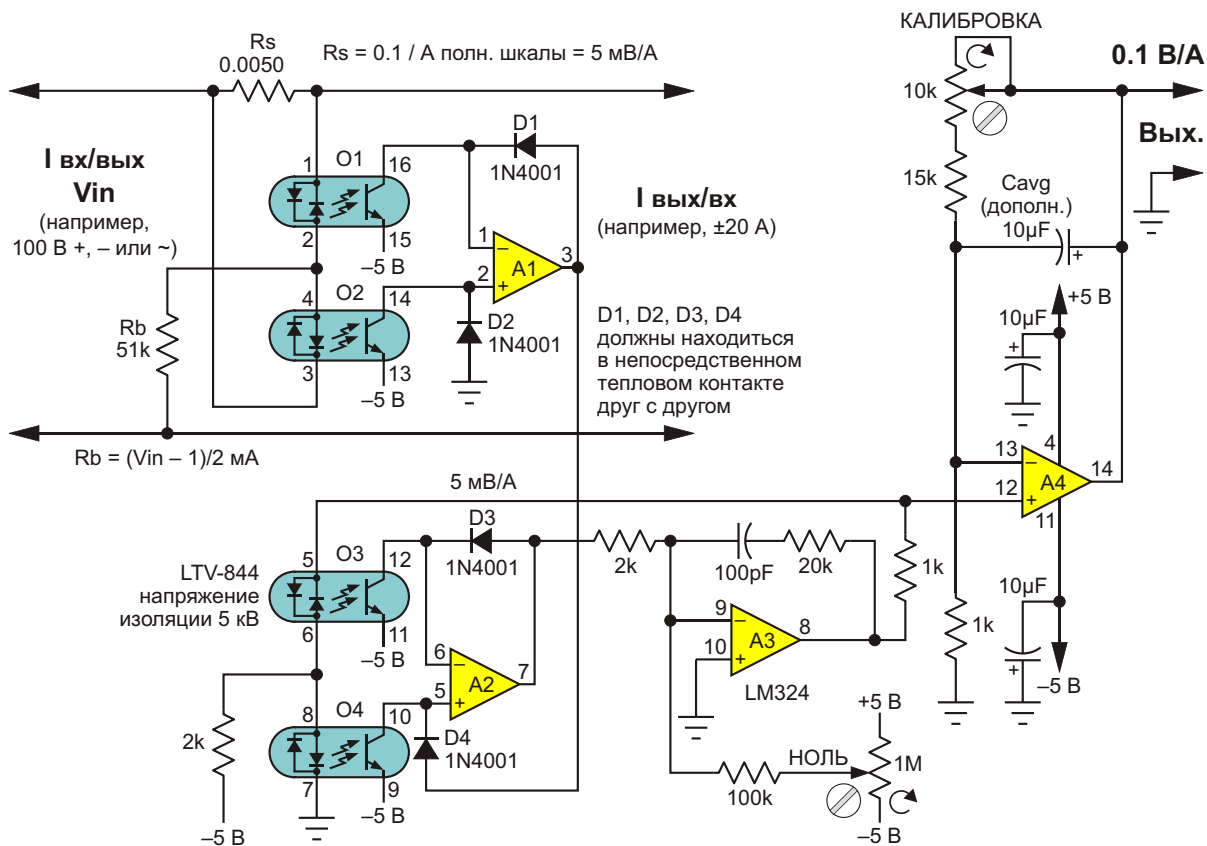


Рисунок 1. Схема оптически изолированного датчика биполярного тока.

допустимой величины. Аналогичный критерий применим и для расчетов на полезном участке логарифмической/ экспоненциальной характеристики диода 1N4001, также используемого в этой схеме.

Благодаря встречно-последовательному включению светодиодов оптронов O1 и O2, фиксированный член 1.45 В вычитается и исчезает из уравнения диода, оставляя ток смещения I_b (номинальное значение 2 мА), распределяющийся между диодами в соотношении, определяемом резистором Rb:

$$\frac{I_{F2}}{I_{F1}} e^{\frac{V_s}{0.065}},$$

которое изменяется от 1.00 при $V_s = 0$ (нулевой ток) до:

$$e^{\frac{V_s}{0.065}} e^{1.54} 4.66$$

при $V_s = 100$ мВ ($20 \text{ A} \times 0.005 \text{ Ом}$).

Обратите внимание, что отношение токов не зависит от точной величины I_b , а значит, и

от изменения напряжения питания. Также обратите внимание на возможность вычисления отношения при изменении направления тока, например:

$$\frac{I_{F2}}{I_{F1}} e^{\frac{V_s}{0.065}} e^{1.54} \frac{1}{4.66} 0.215$$

при $V_s = -100$ мВ.

Хотя с изменением температуры эти числа будут меняться, на точность это не влияет, поскольку светодиоды в своем общем корпусе отслеживают температуры друг друга. Более того, поскольку излучатели LTV-844 в действительности состоят из двух идентичных светодиодов, включенных антипараллельно, изменение полярности приложенного напряжения просто переключает излучение с одного светодиода на другой, не затрагивая функцию измерения тока. Это обеспечивает упомянутые ранее возможности измерения биполярного и переменного тока.

Уровни излучения светодиодов оптронов O1/O2 пропорциональны отношению I_{F2}/I_{F1} , и такое же соотношение связывает коллектор-

ные токи выходных фототранзисторов (коэффициент передачи тока оптрона при прямом токе 1 мА равен примерно 80%), которые вводятся в диоды D1 и D2, генерируя прямые напряжения Vd1 и Vd2 в соответствии с уравнением диода для 1N4001:

$$V_{1N4001} = 0.91 + 0.051 \ln(I_F).$$

Суммирование с учетом знаков дает:

$$V_{d2} - V_{d1} = 0.91 + 0.051 \ln(I_{F1}) - 0.91 - 0.051 \ln(I_{F2}) = 0.051 \ln \frac{I_{F1}}{I_{F2}}.$$

Затем этот сигнал вычитается из идентичного логарифма отношения, вычисляемого диодами D3, D4 и усилителем A2, взятого из опорных оптронов O3 и O4, управляемых усилителем обратной связи A3. Конечным результатом является то, что при обнулении выхода A2 усилитель A3 неявно вычисляет сигнал управления для O3/O4, который точно и линейно отражает сигнал токоизмерительного резистора на O1/O2. Этот сигнал масштабируется усилителем A4 и становится конечным выходным сигналом, отображающим величину тока. Дополнительный интегрирующий конденсатор Cavg фильтрует выпрямленное двухполупериодное напряжение, получаемое в результате измерения переменного тока. Без конденсатора Cavg полоса пропускания датчика равна примерно 50 кГц, а с конденсатором, подавляющим

пульсации 60 Гц до уровня менее 1% – порядка 0.8 Гц (RC = 200 мс).

Полярность выходного сигнала показывает, проходит ли ток вперед от входного порта к выходному (положительный), или обратно от выхода к входу (отрицательный). Это полезно, например, при контроле состояния аккумулятора, когда простое интегрирование выходного сигнала будет отражать соотношение разряда и заряда.

Согласование и коррекция производственного разброса параметров активных устройств обеспечиваются подстроечными резисторами НОЛЬ (смещение) и КАЛИБРОВКА (усиление). Оптимальная компенсация температурной зависимости членов уравнения диода достигается за счет теплового контакта диодов D1 – D4, вычисляющих отношение логарифмов, и общего корпуса оптронов O1 – O4. Задача упрощается тем фактом, что единственное назначение аналогового вычисления, выполняемого диодами D1 – D4, заключается в определении знака.

Получившийся датчик тока – недорогой, универсальный и надежный – способен выдерживать броски тока, более чем в 20 раз превышающие ток полной шкалы (ограничивающим фактором является способность Rs к поглощению тепла) и большие синфазные напряжения (LTV-844 рассчитан на 5 кВ!). **РЛ**

Материалы по теме

1. [Datasheet LITE-ON LTV-844](#)
2. [Datasheet Texas Instruments LM324](#)
3. [Datasheet Vishay 1N4001](#)