

КОМПЕНСАЦИЯ ХОЛОДНОГО СПЯЯ В ПРАКТИКЕ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

В статье рассматриваются основные операции с термопарами, в том числе – определение и расчет температуры холодного спая. Это необходимо для определения абсолютной величины измеренной температуры. Также даются рекомендации по выбору методов измерения температуры в зависимости от требований к устройству. Рассматривается применение микросхем МХ7705, МАХ6002, МАХ6610, МАХ6627, МАХ6675.

На сегодняшний день термопары получили наибольшее распространение среди датчиков измерения температуры. Использование термопар в большом диапазоне температур более эффективно по сравнению с такими решениями, как термопреобразователь сопротивления (ТПС), термистор, или интегральный датчик температуры (ИДТ). Термопары используются, например, в автомобилях или бытовой технике. Вдобавок, их надежность, стабильность и малое время отклика делают термопары наилучшим выбором для многих видов оборудования.

Однако и в применении термопар есть некоторые сложности, в первую очередь – значительная нелинейность характеристик. К тому же, ТПС и ИДТ обычно обладают лучшими характеристиками по чувствительности и точности, что важно для прецизионных решений. Выходной сигнал термопары имеет очень малый уровень и требует усиления или

применения цифровых преобразователей высокой разрядности для обработки сигнала.

Но, несмотря на все перечисленные недостатки, низкая стоимость, легкость применения и широкий температурный диапазон до сих пор являются причинами популярности термоэлектрических преобразователей.

Основные сведения о термопарах

Термопары относятся к дифференциальным измерителям температуры. Конструктивно они представляют из себя два термоэлектрода из разных металлов, один из которых принимается за положительный, другой – за отрицательный. В таблице 1 представлены наиболее распространенные типы термопар, используемые металлы или сплавы и температурный диапазон для каждого варианта. Каждый тип термопар обладает уникальными термоэлектрическими свойствами в определенном для них температурном диапазоне.

Таблица 1. Основные характеристики термопар

Тип	Положительный Металл/Сплав	Отрицательный Металл/Сплав	Температурный диапазон, °С
Т	Медь	Константан	-200...350
J	Железо	Константан	0...750
К	Хромоникелевый сплав	Алюмель	-200...1250
Е	Хромоникелевый сплав	Константан	-200...900

МАХИМ

Новый драйвер Ethernet

с коррекцией предискажений

Компания Maxim Integrated Products представила МАХ3984 – одноканальный драйвер Ethernet с коррекцией предискажений на выходе и компенсацией на входе, способный работать с быстродействием 1...10,3 Гбит/сек. Устройство компенсирует затухания в медных линиях связи (оптоволоконные каналы 8,5 Гбит/сек, Ethernet 10 Гбит/сек), позволяя достичь длины линии до 10 м при использовании провода 24 AWG. Драйвер предусматривает выбор четырех уровней коррекции предискажений и возможность коррекции на входе. Это позволяет компенсировать потери сигнала при его передаче по проводникам длиной до 10 дюймов на текстолите FR-4.

МАХ3984 также поддерживает SFP-совместимую функцию обнаружения потери сигнала (LOS) и имеет вход отключения передачи TX_DISABLE. Возможность выбора размаха выходного сигнала позволяет оптимизировать электромагнитные излучения и потребляемую мощность. МАХ3984 выпускается в 16-выводном корпусе TQFN (3x3 мм) без содержания свинца и рассчитан на работу в пределах температурного диапазона 0...85°C.

Отличительные особенности:

- Управление линией связи длиной до 10м, выполненной из провода 24 AWG;
- Управление проводниками на текстолите FR-4 длиной до 30 дюймов;
- Выборочный размах дифференциального выходного сигнала 1000 мВ (p-p) или 1200 мВ (p-p);
- Выборочная коррекция предискажений на выходе;
- Выборочная компенсация на входе;
- Обнаружение потери сигнала (LOS) со встроенным подавителем шума;
- Отключение передачи;
- Возможность оперативной коммутации.

При соединении двух металлов (пайкой или сваркой) получают два перехода (спаев), как показано на рис. 1а, разность потенциалов образуется в цепи вследствие разности температур спаев. Это явление называется эффектом Зеебека, он состоит в преобразовании тепловой энергии в электрическую. Эффект Зеебека обратен эффекту Пельтье, заключающемуся в преобразовании электрической энергии в тепловую, что применяется в частности в термоэлектрических охладителях. На рис. 1 показано, что выходное напряжение $V_{\text{вых}}$ — это разница между потенциалами холодного и горячего спаев. Т.к. $V_{\text{гор}}$ и $V_{\text{хол}}$ образуются за счет разности температур спаев, $V_{\text{вых}}$ является функцией этой разности. Коэффициент, равный отношению разности потенциалов к разности температур, известен как коэффициент Зеебека.

На рисунке 1б показана наиболее часто употребляемая схема использования термопары. Здесь использован третий металл (т.н. металл-посредник), что дает дополнительный спай. В этом примере каждый термоэлектрод соединен с медным проводом. Пока между ними нет разности температур, металл-посредник не оказывает никакого влияния на выходное напряжение. Эта схема позволяет использовать термопару без отдельного опорного спаев. Напряжение $V_{\text{вых}}$ так и остается функцией от разности температур холодного и горячего спаев, определяемой коэффициентом Зеебека. Однако до тех пор, пока измеряется именно разность температур, для определения актуальной температуры горячего спаев необходимо знать температуру холодного.

Самый простой метод — поддержание температуры холодного спаев на уровне 0°C . В этом случае $V_{\text{вых}} = V_{\text{гор}}$, и измерение напряжения дает непосредственную информацию о температуре горячего спаев.

Раньше этот вариант считался стандартом при использовании термопар, однако сейчас обеспечение такого охлаждения холодного спаев зачастую непрактично. Для

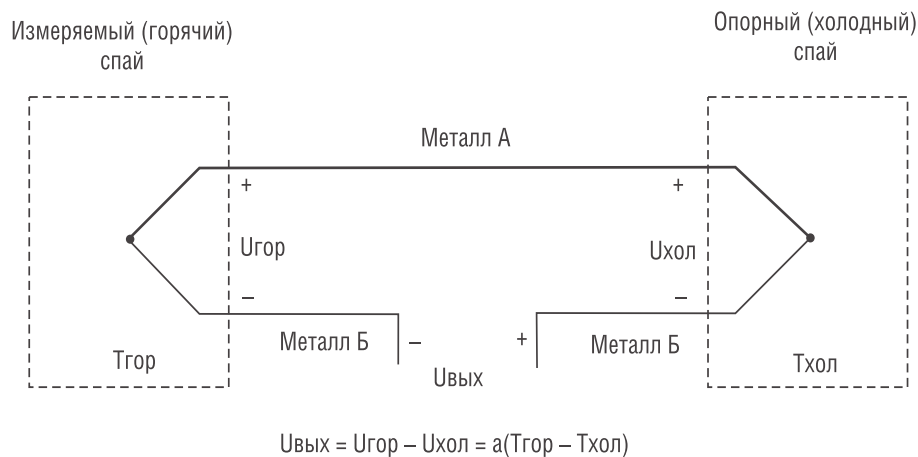


Рис. 1а. Напряжение в цепи в результате эффекта Зеебека

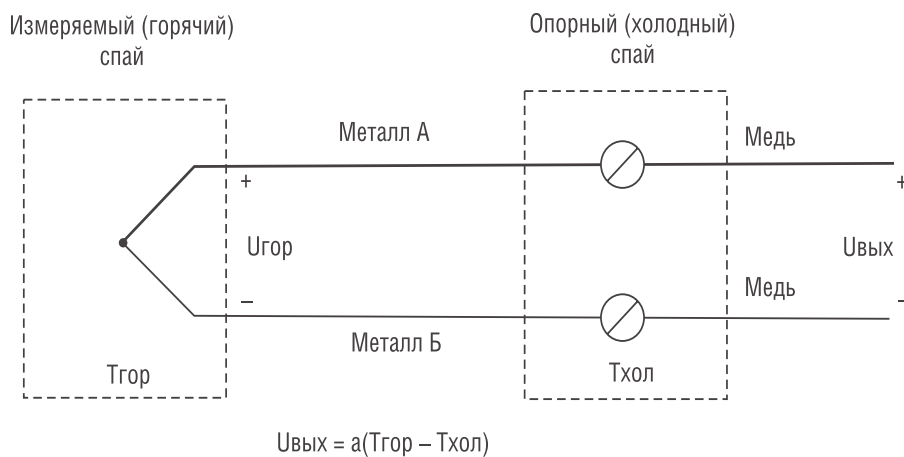


Рис. 1б. Наиболее распространенная схема реализации термопары

получения результатов измерения в абсолютных величинах необходимо знать температуру холодного спаев. Выходное напряжение термопары должно быть компенсировано с учетом влияния потенциала холодного спаев при ненулевой температуре. Это и называется — компенсация холодного спаев.

Выбор устройства для измерения температуры холодного спаев

Данные о температуре холодного спаев можно получить с помощью различных датчиков и устройств. Среди самых распространенных — резистивный температурный преобразователь (РТП), термистор и интегральный датчик температуры (ИДТ). Каждое из этих устройств имеет свои достоинства и недостатки, поэтому применение того или иного датчика

определяется условиями конкретной задачи.

Для устройств с высокими требованиями по точности лучшим выбором будет калиброванный платиновый РТП с его широким температурным диапазоном. Однако это решение — дорогостоящее.

Термисторы и ИДТ — недорогая альтернатива РТП в случаях, когда требования к точности не столь строгие. У термисторов рабочий температурный диапазон шире, однако ИДТ используются чаще из-за линейности характеристик. Корректировка нелинейности термисторов может потребовать слишком много ресурсов от микроконтроллера устройства. ИДТ обладают превосходной линейностью характеристик, но узким диапазоном измерений.

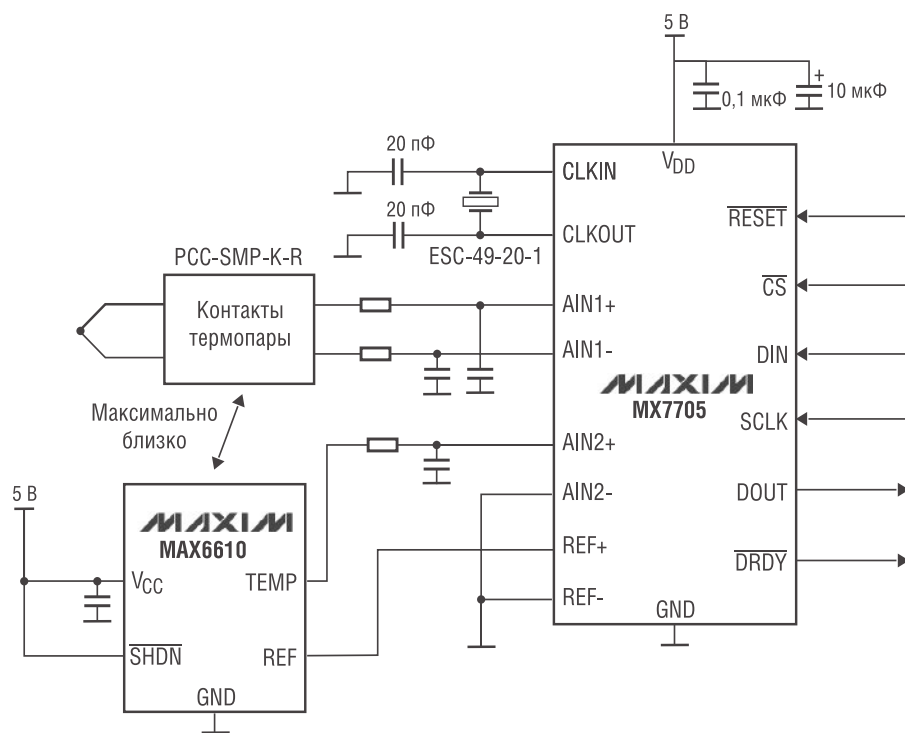


Рис. 2. Термочувствительная ИМС (MAX6610)

Итак, измеритель температуры холодного спая выбирается, исходя из требований к системе. На выбор оказывают влияние точность, диапазон измерения температур, линейность характеристик и стоимость.

Решение числовых задач

Когда вы определились с методом компенсации холодного спая, скомпенсированное выходное напряжение должно быть преобразовано в данные о температуре. Самый простой метод — воспользоваться таблицами, предоставленными Национальным Бюро Стандартов США (NBS) (в России значения расчетных коэффициентов можно найти в справочной литературе, базирующейся на ГОСТ Р 8.585-2001 ГСИ. «Термопары. Номинальные статические характеристики преобразования» — прим.

ред.). Поиск данных в этих таблицах программным путем требует определенного объема памяти для их хранения, но это быстрое и точное решение в случаях, когда измерения повторяются с большой частотой. Два других метода для преобразования напряжения в данные требуют больших ресурсов, чем поиск данных в таблицах: 1) линейная аппроксимация с помощью полиномов; 2) аналоговая линейаризация выходного сигнала термопары.

Линейная аппроксимация программным путем популярна, т.к. необходима память только для хранения заранее известных коэффициентов полинома. Недостаток этого метода в том, что время измерения зависит от скорости расчета полиномов высокой степени. Время на расчет растет с возрастанием степени полинома, что обычно происходит при уве-

личении диапазона измерений прибора. Для температур, при измерении которых требуется использование полиномов высоких степеней, применение таблиц может оказаться более эффективным и точным.

До того, как появилось программное обеспечение современного уровня, аналоговая линейаризация достаточно часто применялась для преобразования напряжения в температурные данные (в дополнение к ручному поиску данных в таблицах). Этот аппаратный метод основывался на использовании аналоговых схем для корректировки нелинейности сигнала термопары. Точность зависела от реализации аналоговой корректировки. Такой подход до сих пор используется в мультиметрах, принимающих сигнал с термопар.

Схемы устройств

Приводимые ниже примеры демонстрируют три метода компенсации холодного спая с использованием термочувствительных интегральных микросхем. Во всех примерах требования к устройствам достаточно скромные — узкий диапазон температур холодного спая (от 0°C до 70°C и от -40°C до 85°C), и точность не более нескольких разрядов. Схема 1 содержит ИДТ, монтируемый непосредственно у холодного распая, с целью определения его температуры. На схеме 2 представлен вынесенный температурный датчик, выполненный в виде транзистора, включенного по схеме диода и установленного на термопару. На схеме 3 показано использование аналого-цифрового преобразователя (АЦП) со встроенной компенсацией холодного спая. Во всех примерах используется термопара типа К, изготовленная из хромеля и алюмеля.

Пример 1

На схеме, показанной на рис. 2, термочувствительная ИМС (MAX6610) измеряет температуру холодного спая. ИДТ располагается в непосредственной близости от спая.

Таблица 2. Измерения для схемы на рисунке 2

	Температура холодного спая, °C	Измеренная температура горячего спая, °C
Изм. 1	-39,9	+101,4
Изм. 2	0,0	+101,5
Изм. 3	+25,2	+100,2
Изм. 4	+85,0	+99,0

16-битный сигма-дельта АЦП (MX7705) преобразует низковольтный сигнал с термопары в выходной цифровой сигнал разрядностью 16 бит. Интегрированный усилитель с программируемым коэффициентом усиления позволяет увеличить разрешающую способность АЦП, что часто необходимо при работе с малыми напряжениями, генерируемыми термопарами. Интегральный датчик температуры, помещенный в непосредственной близости от соединителей термопары, измеряет температуру около холодного спая. Этот метод основан на допущении, что температура микросхемы в этом случае будет близка к температуре холодного спая. Выходное напряжение с датчика на холодном спае подается на канал 2 АЦП. опорное напряжение термодатчика (2,56 В) должно быть развязано с напряжением питания микросхемы.

Работая в биполярном режиме, АЦП преобразует отрицательный и положительный уровни напряжения с выхода термопары, поступающие на канал 1. Канал 2 работает в однополярном режиме, АЦП преобразует выходное напряжение с интегральной микросхемы MAX6610 в данные, используемые впоследствии в работе микроконтроллера. Выходное напряжение интегрального датчика температуры изменяется пропорционально изменению температуры холодного спая.

Для определения абсолютной температуры горячего спая, вы должны прежде знать температуру холодного. Для этого используйте таблицы перевода температуры холодного спая в соответствующее ей термоэлектрическое напряжение. После установки коэффициента усиления встроенного усилителя, учтите это напряжение в оцифрованном сигнале с термопары. После этого переведите полученное значение в температуру, снова используя таблицы. Результат и будет абсолютным значением температуры горячего спая. Таблица 2 показывает результаты измерений при изменении температуры холодного спая в диапазоне от -40°C

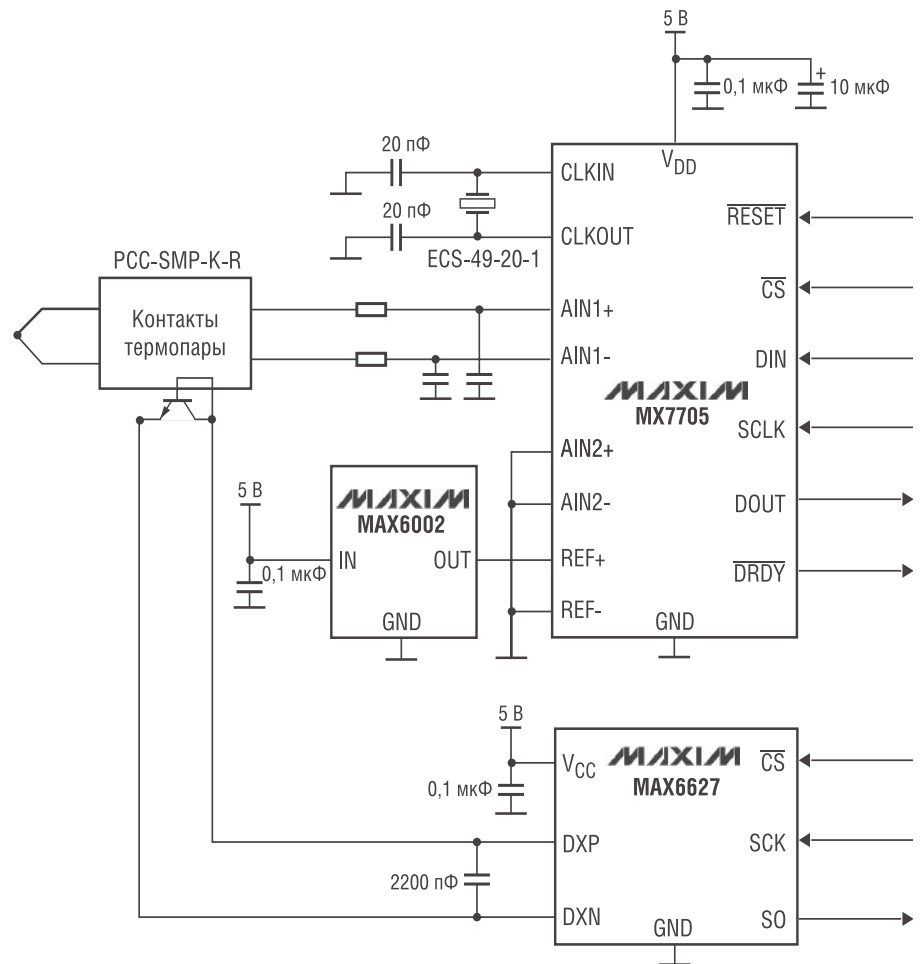


Рис. 3. ИДТ с использованием удаленного диода

до 85°C и постоянной температуре горячего, равной 100°C. Точность измерения в основном зависит от точности ИДТ и температуры холодного спая.

Пример 2

Как показано на рис. 3, ИДТ на выносном диоде используется для измерения температуры холодного спая. Этот диод может быть смонтирован непосредственно на контактах термопары. MAX6002 обеспечивает опорное напряжение 2,5 В для АЦП. В отличие от предыдущего примера, датчик с использованием удален-

ного диода не должен обязательно находиться в непосредственной близости от термопары, для измерения используется диодно-включенный транзистор типа NPN. Этот транзистор монтируется непосредственно в месте соединения выходов термопары и медных выводов. ИДТ в свою очередь преобразует сигнал с транзистора в цифровой: на канал 1 АЦП поступает выходное напряжение термопары и преобразуется в цифровой сигнал. Канал 2 не используется и заземлен. опорное напряжение АЦП 2,5 В обеспечивает отдельная интегральная микросхема.

Таблица 3. Измерения для схемы на рисунке 3

	Температура холодного спая, °C	Измеренная температура горячего спая, °C
Изм. 1	-39,8	+99,1
Изм. 2	-0,3	+98,4
Изм. 3	+25,0	+99,7
Изм. 4	+85,1	+101,5

Таблица 4. Измерения для схемы на рисунке 4

	Температура холодного спая, °С	Измеренная температура горячего спая, °С
Изм. 1	0,0	+100,25
Изм. 2	+25,2	+100,25
Изм. 3	+50,1	+101,00
Изм. 4	+70,0	+101,25

Таблица 3 показывает результаты измерений при изменении температуры холодного спая в диапазоне от -40°C до 85°C и постоянной температуре горячего, равной 100°C . Точность измерения в основном зависит от точности ИДТ с удаленным диодом и температуры холодного спая.

Пример 3

На рис. 4 представлена схема с использованием 12-битной АЦП с интегрированным термочувствительным диодом, который преобразует температуру окружающей среды в напряжение. Используя

это напряжение и напряжение непосредственно с термопары, ИМС вычисляет компенсированную температуру горячего спая. Эти данные в виде цифрового сигнала поступают на цифровой выход микросхемы. Гарантированная температурная погрешность данного устройства ± 9 LSB (младший значащий бит АЦП) в диапазоне температур горячего спая от 0 до 700°C . Хотя это устройство имеет широкий диапазон измеряемых температур, измерения ниже 0°C невозможны.

В табл. 4 представлены результаты измерений, полученные с по-

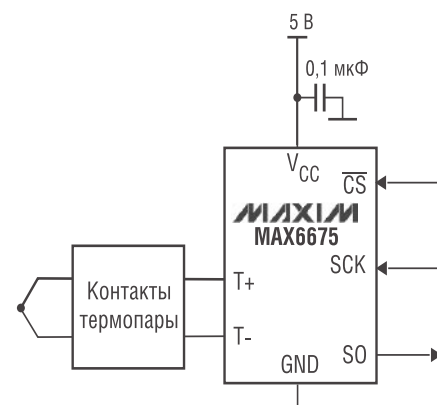


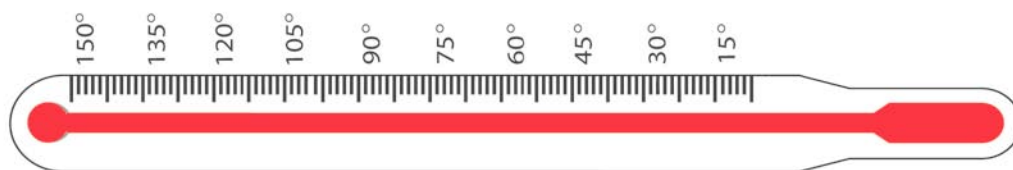
Рис. 4. Применение АЦП с интегрированной схемой компенсации

мощью схемы на рис. 4 при изменении температуры холодного спая от 0 до 70°C при сохранении постоянной температуры на горячем, равной 100°C .

Получение технической информации, заказ образцов, поставка — e-mail: analog.vesti@compel.ru

MAXIM
www.maxim-ic.com

ЦИФРОВЫЕ ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ДАТЧИКИ



Наименование	Тип датчика	Дополнительно	Интерфейс	Разрешение по температуре, бит	Точность (-/+°C)	$U_{пит}$, В	Генерируемое опорное напр., В	$I_{потр.}$ мКА
MAX6610	Встроенный	Встроенный ИОН	Аналоговый	—	1.0	3...5,5	2,560	150
MAX6611	Встроенный	Встроенный ИОН	Аналоговый	—	1.0	4,5...5,5	4,096	150
MAX6627	Удаленный (термотранзистор)	Время между отсчетами — 0,5 с	3-Wire/SPI	13	1.0	3...5,5	—	200
MAX6628	Удаленный (термотранзистор)	Время между отсчетами — 8 с	3-Wire/SPI	13	1.0	3...5,5	—	30



Компэл
www.compel.ru