

# Применение программируемых микросхем Anadigm для подключения датчиков температуры на основе термопары

В статье даны рекомендации и представлен процесс проектирования с использованием AnadigmDesigner2, с примером постепенного построения схемы измерительного тракта для измерения температуры с помощью термопары.

Александр ЩЕРБА

Действие термопары основано на эффекте термоэлектричества, открытом немецким физиком Т. Зеебеком в 1822 году. Коротко суть эффекта заключается в возникновении электродвижущей силы (ЭДС) на концах двух спаянных проводов из разнородных металлов при нагревании. Величина ЭДС может достигать нескольких милливольт, а температурный коэффициент — десятков мкВ на градус. Подобный эффект успешно используется для измерения в широком диапазоне температур — вплоть до +2500 °С [1].

Принцип измерения температуры с помощью термопары можно проиллюстрировать: на рис. 1 представлены два спая из проводников разных материалов — материал X (выделен красным цветом) и материал Y (синий цвет). Термоэлектрическая ЭДС, возникающая в каждом из спаев, будет различна в зависимости от температур T1 и T2. Если температуры спаев различаются и температура одного из спаев известна (например, измерена с помощью термометра), то температуру второго спая (измеряемую температуру) можно вычислить по соответствующим уравнениям [2].

При подключении к термопаре внешней электрической цепи появляются новые контакты разнородных металлов, которые вводят в измерительную цепь дополнительные ЭДС. Однако можно видеть на рис. 1, что ЭДС двух контактов измерительной цепи встречно включены и имеют одинаковую температуру T3, и потому будут компенсировать друг друга. Это позволяет использовать термопару на достаточно большом удалении от измерителя напряжения, соединив их обычными медными проводами.

Для существенного упрощения конструкции измерения температуры (T1) термопарой, как правило, применяют один «горячий» спай, а в качестве второго, «холодного» — естественный контакт в разъеме на стороне измерительного устройства, чью температуру (T2) контролируют (рис. 2).

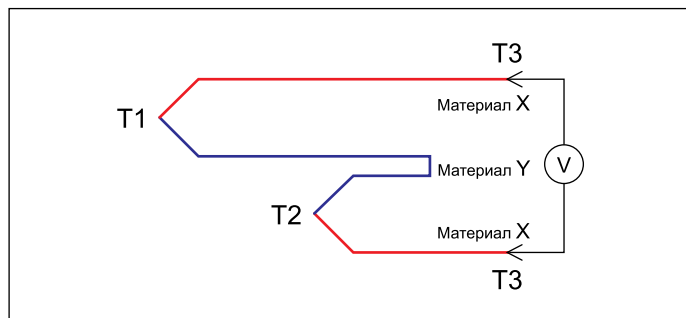


Рис. 1. Принцип измерения температуры с помощью двух термопар

## Усиление сигнала от термопары и входные измерительные цепи

Чувствительность термопары колеблется от нескольких единиц до десятков мкВ/°С в зависимости от типа термопары. Из-за низкого входного напряжения возникают проблемы в построении измерительной схемы. Во-первых, это синфазные помехи промышленной частоты 50 Гц и радиопомехи, наведенные на элементах измерительной цепи. Поэтому провода, идущие от термопары к измерительному устройству, должны быть витой парой, помещенной в общий экран. Во-вторых, входной каскад измерительного устройства должен хорошо подавлять паразитную синфазную составляющую сети переменного тока с частотой 50 Гц, наведенную на провода, соединяющие термопару и измерительное устройство.

Далее в зависимости от требуемого рабочего диапазона измеряемых температур необходимо определить усиление напряжения от термопары для использования максимального динамического диапазона. Перед дальнейшей обработкой сигнала с помощью программируемых аналоговых микросхем (ПАИС) Anadigm 2-го поколения AN221E04 напряжение от термопары должно быть усилено до ±4 В (верхний предел выходного напряжения ПАИС). Для получения такого уровня сигнала надо обеспечить усиление ЭДС термопары до 1000 или более раз. При столь значительном повышении сигнала напряжение смещения аналогового усилителя способно существенно повлиять на точность и результаты измерения температуры. Напряжение смещения на входе будет умножено на коэффициент усиления, и если не принять мер, усилитель может уйти в насыщение от собственного напряжения смещения.

Посредством двух разных методов ПАИС Anadigm обеспечивает очень большие значения коэффициента усиления без насыщения [2]. Первый метод заключается в использовании специальных усилителей с прерыванием, для которых можно добиться коэффициента усиления вплоть до 128 с очень маленьким напряжением смещения.

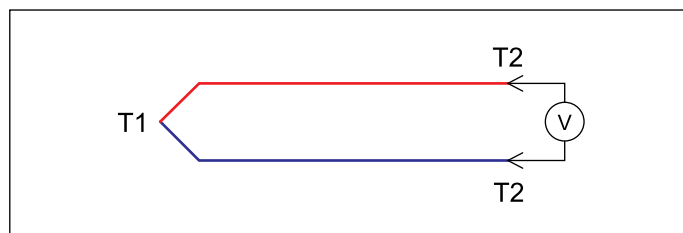


Рис. 2. Схема измерения температуры с помощью одной термопары

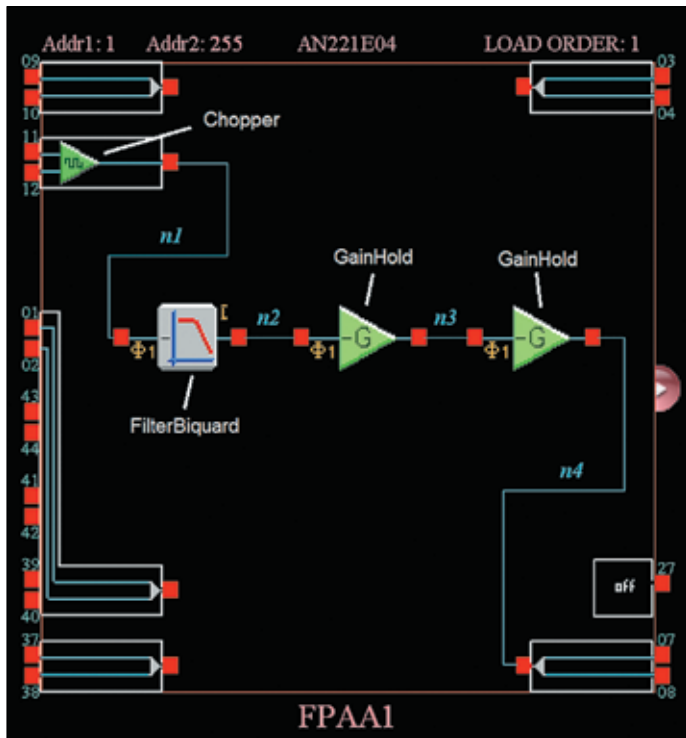


Рис. 3. Типовой тракт усиления сигнала от термопары, выполненного на базе ПАИС Anadigm

Принцип действия усилителей стабилизацией нуля прерыванием основан на постоянной коррекции смещения постоянного напряжения на входе усилителя с частотой прерывания с помощью специальных ключей. При этом на выходе такого усилителя появляется паразитный сигнал с частотой прерывания и амплитудой, пропорциональной напряжению смещения, который при желании не трудно удалить фильтром нижних частот.

В дополнение к усилителю с прерыванием, в составе САПР AnadigmDesigner2 имеется готовый конфигурируемый аналоговый модуль (КАМ) — усилитель с защелкой (GainHold) [3]. Одно из его достоинств — автоматическое компенсирование собственного смещения с помощью схемы тактирования, которая измеряет смещение в одной фазе и затем обнуляет его в другой. Объединив усилитель с прерыванием (Chopper) во входной цепи и усилители с защелкой (GainHold) в последующих цепях, можно добиться очень малого смещения при высоком коэффициенте усиления сигнала от термопары (рис. 3).

В этом примере (рис. 3) коэффициент усиления усилителя со стабилизацией прерыванием во входной ячейке ограничен на уровне 64, после чего следует фильтр Баттерворта нижних частот с применением биквадратичного фильтра (FilterBiquad) с частотой среза 2 кГц ( $K_u = 1, Q = 0,707$ ). Усилитель с прерыванием (Chopper) работает на частоте 125 кГц, поэтому последующие КАМ-модули должны на пути прохождения сигнала использовать частоту тактирования

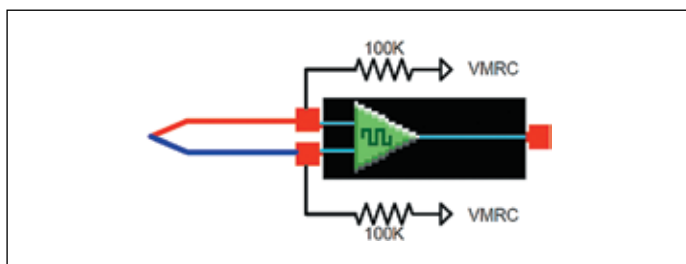


Рис. 4. Подключение термопары к ПАИС Anadigm

250 кГц. Такой выбор схемы и ее характеристик обеспечивает оптимальное усиление при очень высокой линейности.

Поскольку напряжение, генерируемое термопарой, является дифференциальным сигналом, то подключение термопары непосредственно осуществляется к выводам входной ячейки ПАИС Anadigm, настроенной в режим усилителя с прерыванием (рис. 4) [2]. Подтягивающие резисторы номиналом по 100 кОм требуются для того, чтобы задать необходимое смещение входов дифференциального усилителя [4].

При использовании усилителей с защелкой необходимо быть внимательным, чтобы не допустить ошибок правильной фазы [5]. Если на пути прохождения сигнала фаза обработки сигнала первого усилителя с защелкой может быть выбрана произвольно, то второй и последующие усилители должны иметь одинаковую фазу в соответствии с первым выбором.

### Линеаризация показаний термопары

Типичный ответ термопары представлен на рис. 5. Из графика на рис. 5 можно увидеть, что выходное напряжение от термопары не идеально пропорционально температуре и линейность сохраняется только на некотором участке.

Для расчета температуры на основании напряжения от термопары требуется произвести перерасчет с помощью или табличных данных, или же техники аналоговой линеаризации. Для этих целей в ПАИС Anadigm применяется конфигурируемый аналоговый модуль передаточной функции (TransferFunction). При использовании схемы на рис. 6 и предварительно загруженных табличных данных в модуль передаточной функции напряжение на выходе сумматора будет автоматически корректироваться

В схеме, изображенной на рис. 6, предполагается, что входной сигнал на входе передаточной функции равномерно распределен вокруг нуля вольт. Если это не так, то весь динамический диапазон передаточной функции не будет использован в полной мере и точ-

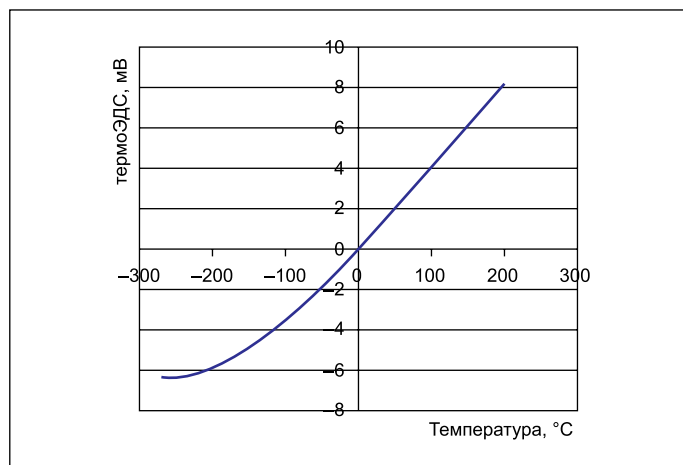


Рис. 5. Ответ термопары (тип К, хромель-алюмель) на изменение температуры относительно 0 °С

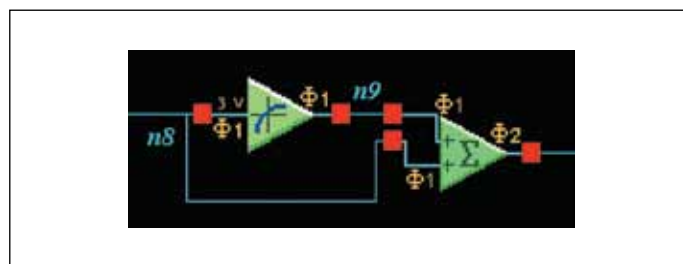


Рис. 6. Схема линеаризации напряжения от термопары

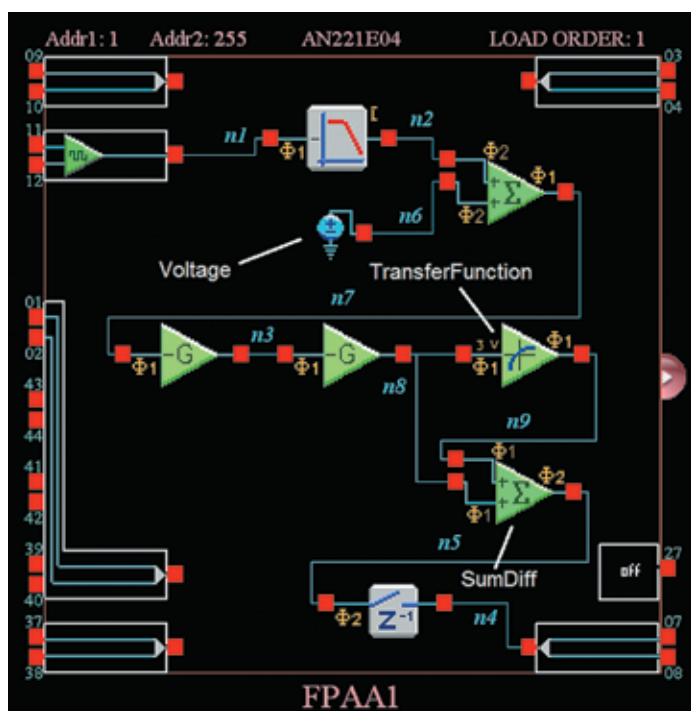


Рис. 7. Итоговая схема измерительного тракта на базе ПАИС Anadigm для измерения температуры с помощью термопары

ность аппроксимации будет снижена. Для того чтобы поднять точность, необходимо сдвинуть входной сигнал по постоянному напряжению на некоторую постоянную величину, для чего в схему следует добавить сумматор (SumDiff) и программируемый источник опорного напряжения (Voltage). В результате первоначальная схема (рис. 4) примет окончательный вид (рис. 7).

### Литература

1. Денисенко В. Термопары: принципы измерения, разновидности, погрешности измерений // Современные технологии автоматизации. 2012. № 3.
2. Application Note: Anadigmvortex Thermocouple Solution. Doc No. AN221012-U214, Rev: T 1.0.0, 2011, Anadigm.
3. Щерба А. Программируемые аналоговые ИС Anadigm: применение конфигурируемых аналоговых модулей в составе программы AnadigmDesigner2 // Компоненты и технологии. 2007. № 12.
4. Щерба А. Построение входных и выходных цепей программируемых аналоговых схем Anadigm // Компоненты и технологии. 2008. № 12.
5. Щерба А. Анализ и исправление наиболее часто возникающих ошибок при проектировании с помощью САПР AnadigmDesigner2 // Компоненты и технологии. 2011. № 12.