**НОРМИРУЮЩИЕ УСИЛИТЕЛИ ДЛЯ ОДНОВРЕМЕННОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАЗНОТИПНЫХ ДАТЧИКОВ СИГНАЛОВ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ТЕМПЕРАТУРОПРОВОДНОСТИ МЕТОДОМ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ВОЛН**

Черноскутов М.Ю., Мешков В.В., Ивлиев А.Д., Суслов А.А.

*ФГАОУ ВПО «Российский государственный профессионально-педагогический университет».* *mikhail.chernoskutov@gmail.com*

**Введение.** При измерении температуропроводности методом температурных волн [1,2] производится запись сигналов температурных датчиков: термопары и фотодиода. Сигналы датчиков имеют переменную составляющую, по параметрам которой оцениваются теплофизические характеристики исследуемого образца, и постоянную составляющую, несущую информацию о средней температуре образца. При цифровой обработке необходимо, чтобы параметры сигналов были согласованы с возможностями аналого-цифровых преобразователей (АЦП).

Сигналы датчиков предварительно усиливаются и подвергаются линейной фильтрации, позволяющей избавиться от помех промышленной частоты. Несмотря на это, основная проблема заключается в том, что величина постоянной составляющей сигналов при высоких температурах значительно превосходит амплитуду переменной составляющей. Поэтому необходимо отделять переменную составляющую от постоянной и производить усиление переменной составляющей отдельно. Измерительная система имеет канал оценки параметров переменной составляющей сигнала и канал оценки параметров постоянной составляющей.

Целью настоящей работы является разработка нормирующего усилителя, позволяющего быстро согласовать параметры выходных сигналов предварительного усилителя с возможностями АЦП, что необходимо для обеспечения работоспособности теплофизической установки.

Усилитель должен выполнять следующие функции:

* выделение постоянной составляющей сигнала;
* выделение переменной составляющей сигнала и ее усиление (коэффициент усиления зависит от амплитуды сигнала).

**Функциональная схема нормирующих цепей** показана на рис. 1.

На вход усилителя подаётся дифференциальный сигнал, который преобразуется в однополярный блоком У1 и усиливается в два раза. Дальнейшая обработка сигнала заключается в выделении постоянной составляющей и её удаление из сигнала.

Измерение постоянной составляющей происходит при помощи АЦП микроконтроллера. Сигнал проходит через элемент У3, усиливается и подаётся на мультиплексор аналого-цифрового преобразователя.

Удаление постоянной составляющей может происходить двумя путями. Первый путь – это удаление постоянной составляющей при помощи блока Ф1, который представляет собой конденсатор. Однако выход на рабочий режим в таком случае занимает продолжительное время.


Рис. 1. Функциональная схема усилителя.

Второй путь – это использование схемы с дифференциальным усилителем и цифровым управлением. Элемент У2 выполняет роль дифференциального усилителя. На его инвертирующий вход подаётся сигнал, а на неинвертирующий вход подается напряжение от ЦАП для сдвига сигнала. Детектировать превышение амплитуды сигнала помогают аналоговые компараторы К3 и К4, реагирующие на верхнюю и нижнюю границу сигнала. Сигнал компаратора вызывает прерывание на микроконтроллере, что вызывает повторное измерение и подстройку сигнала.

Элемент У4 усиливает сигнал переменной составляющей и передаёт его на аналоговые компараторы К1 и К2 для детектирования превышения амплитуды, на мультиплексор АЦП микроконтроллера и на преобразователи У5 и У6, которые преобразуют сигнал в дифференциальный вид и передают на главный АЦП.

Для нормировки сигнала использован операционный усилитель подключенный по схеме дифференциального усилителя[4,5]. Неинвертирующий вход усилителя (V+) подключен к цифро-аналоговому преобразователю, а вход V1,2 подключен к источнику сигнала.


Рисунок 2. Инвертирующий усилитель с изменённой виртуальной землёй

Процесс нормировки сигнала при таком подключении можно описать системой двух уравнений:

$$\left\{\begin{array}{c}V\_{+}=\frac{(V\_{1}×V\_{out2}-V\_{2}×V\_{out1})}{(V\_{1}-V\_{2}+V\_{out2}-V\_{out1})}\\R2=\frac{\left(V\_{out2}-V\_{+}\right)×R\_{1}}{(V\_{+}-V\_{2})}\end{array}\right.$$

где Vout1 и Vout2 – минимальное и максимальное напряжение выхода усилителя, V1 и V2 – минимальное и максимальное напряжение на входе усилителя, V+ напряжение на неинвертирующем входе усилителя.

Значения Vout1 и Vout2 по сути являются константами и равняются:

$$\genfrac{}{}{0pt}{}{V\_{out1}=V\_{max}×\left(\frac{1}{2}+\frac{1}{4}\right)}{V\_{out2}=V\_{max}×\left(\frac{1}{2}-\frac{1}{4}\right)}$$

где Vmax – это максимальное напряжение АЦП.

Значения V1 и V2, измеряются в течение двух периодов сигнала.

Сам процесс нормировки является итеративным. На первой итерации значения V1 и V2 снимаются непосредственно с входного сигнала. На последующих итерациях (для увеличения точности нормировки) значения V1 и V2 снимаются с выхода усилителя и вычисляются по формуле:

$$V\_{-}=\frac{R\_{1}}{R\_{2}}×\left(V\_{+}-V\_{out}\right)+V\_{+}$$

Процесс заканчивается на третьей итерации и начинается заново в случае срабатывания компараторов К1, К2, К3, К4 или в случае уменьшения амплитуды (|V1 – V2|) более чем в два раза.

**Выводы.** Созданное устройство обеспечивает выделение и усиление постоянной составляющей сигнала и переменной составляющей сигнала и тем самым решает поставленную задачу.

Отличительными плюсом созданного устройства является увеличенная скорость выхода на рабочий режим сравнимая с несколькими периодами переменой составляющей сигнала. Немаловажным является и тот факт, что при помощи данной системы можно не только выделять полезный сигнал, но и в автоматическом режиме производить измерения температуры исследуемого образца для дальнейшего использования в анализе.

Получившаяся схема может работать в необходимом диапазоне частот с минимальными искажениями сигнала. Итоговый максимальный коэффициент усиления равен 10 000. Благодаря использованию дифференциального сигнала при передаче данных от модуля к модулю, грамотному экранированию и заземлению отношение сигнал/шум остаётся на приемлемом для измерения уровне[3].

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты № 11-08-00275 и № 14-08-00228).

**ЛИТЕРАТУРА**

1. **Ивлиев А. Д.** Метод температурных волн в теплофизических исследованиях [Текст] / А. Д. Ивлиев // Теплофизика высоких температур. – 2009. – Т. 47. – № 5. – С. 771 – 792.
2. **Походун А. И.** Экспериментальные методы исследований. Измерения теплофизических величин. Учебное пособие. [Текст] / А. И. Походун, А. В. Шарков. СПб.: СПб ГУ ИТМО, 2006. – 87 с.
3. **Денисенко В. В.** Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием [Текст] / В. В. Денисенко – М.: Горячая линия–Телеком, 2009. – 608 с., ил.
4. **Операционный усилитель.** [Электронный ресурс] / Режим доступа: [http://ru.wikipedia.org/wiki/Операционный\_усилитель/](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D1%83%D1%81%D0%B8%D0%BB%D0%B8%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C/) – Загл. с экрана
5. **Авербух В.Д.** Операционные усилители и компараторы [Текст]. / В.Д. Авербух, Н.В. Каратаев, А.В. Макашов, А.Н. Рабодзей, Т.И. Сенникова, В.А. Шерстюк. – М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2002. – 560 с.