

Усилитель сигнала от преобразователя колебаний температуры поверхности образца

И. М. ВЕКШИН*, О. А. ВЕКШИНА**, А. А. КУРИЧЕНКО***, А. Д. ИВЛИЕВ****

* Уральский оптико-механический завод им. Э. С. Яламова, Екатеринбург, Россия; e-mail: kb@uomz.com

** Научно-производственное объединение автоматики, Екатеринбург, Россия; e-mail: avt@npoa.ru

*** Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, Россия; e-mail: LTI@ursmu.ru

**** Российский государственный профессионально-педагогический университет, Екатеринбург, Россия; e-mail: ad_i@r66.ru

Рассмотрены принцип действия и схема построения низкочастотного усилителя переменного тока с программно-управляемым коэффициентом передачи и сравнительно малым временем регулирования.

Ключевые слова: усилитель переменного тока, амплитудно-частотная характеристика, фазочастотная характеристика, аналого-цифровой преобразователь.

The principles of action and a scheme for constructing low-frequency ac amplifier, which has software-controlled transfer coefficient and a relatively short time of adjustment.

Key words: ac amplifier, amplitude-frequency characteristic, phase-frequency characteristics, analog-digital converter.

При проведении исследований теплофизических свойств конденсированных материалов в области высоких температур получил распространение метод температурных волн [1, 2]. В этом методе теплофизические характеристики оценивают по параметрам колебаний температуры поверхности исследуемого образца. В используемой авторами установке в качестве датчиков, преобразующих колебания температуры в электрический сигнал, служат либо высокотемпературные термопары, либо фотоэлектрические преобразователи (фотодиоды). Амплитуда колебаний электрического сигнала в зависимости от типа датчика и диапазона температур составляет 1—1000 мкВ, диапазон рабочих частот 1—100 Гц. Обработка сигналов осуществляется в цифровой форме в ЭВМ. Чтобы полностью использовать возможности аналого-цифрового преобразователя (АЦП), требуется входной линейный нормирующий усилитель переменного тока с меняющимся коэффициентом передачи. Усилитель должен быть достаточно широкополосным, чтобы вносить незначительные фазовые искажения в сигнал, поскольку фаза — важный параметр, на основании которого рассчитывается температуропроводность исследуемого вещества. Важной величиной является и коэффициент усиления, по которому можно вычислить амплитуду входного электрического сигнала, необходимую для оценки теплоемкости. Следует иметь в виду, что кроме полезного сигнала на АЦП поступают также электрические шумы различного происхождения и значительные помехи в виде гармоник промышленной частоты. Возникновение помех связано с работой нагревателя — электрической печи сопротивления, при помощи которой

изменяют среднюю температуру исследуемого образца. Таким образом, в составе установки должен быть регулируемый усилитель, в котором осуществляется режекция помех на частотах 50 и 100 Гц.

В качестве подобного усилителя можно применять следящую систему, обеспечивающую автоматическое регулирование усиления (АРУ) [3]. Естественно, что в данном случае эту систему разумно замкнуть через ЭВМ. Однако с учетом того, что система АРУ должна функционировать при частотах исследуемого сигнала в единицы герц, длительность переходного процесса может составлять несколько минут. По этой причине падает скорость проведения измерений, что весьма нежелательно. Целью настоящей работы является создание усилителя переменного тока, работающего в диапазоне частот от долей герца до единиц килогерца с оперативно изменяющимся коэффициентом усиления с динамическим диапазоном 60 дБ, имеющего в своем составе режекторные фильтры на частотах 50 и 100 Гц.

Функциональная схема усилителя, поясняющая принцип достаточно быстрого регулирования его коэффициента передачи, показана на рис. 1. Блок переменного тока состоит из первого усилителя (коэффициент усиления $K_1 = 100$), режекторных фильтров на частоты 50 и 100 Гц, второго усилителя ($K_2 = 100$), перемножающего цифроаналогового преобразователя ЦАП, третьего усилителя ($K_3 = 100$) и регистра-защелки кода усиления. Имеется и усилитель постоянного тока УПТ с коэффициентом передачи $K = 100$ и полосой пропускания в единицы герц, при помощи которого оценивают среднюю температуру исследуемого образца по среднему напряжению сигнала, поступающего с термопарного

датчика. Дополнительно УПТ выполняет функцию развязывающего устройства входной цепи от возможных помех, создаваемых АЦПЗ. Сигналы с усилителей через АЦП поступают в *вычислитель* параметров сигналов на базе ЭВМ (IBM PC).

На вход устройства подаются сигналы датчиков. Если в качестве датчика колебаний температуры используется фотодиод, то его сигнал поступает на разъем *Вх. U_c* . Ключ *S1* в данном режиме разомкнут. Сигнал с термопары при этом проходит через разъем *Вх. ТП* только на УПТ и затем на АЦПЗ для вычисления средней температуры образца. Если же датчиком колебаний температуры является термопара, то фотодатчик отключается, ключ *S1* замыкается и сигнал с термопары поступает на оба усилителя.

Рассмотрим работу усилителя переменного тока. Входящие в его состав режекторные фильтры обеспечивают такое подавление сосредоточенных помех, что при любых реально возникающих полезных сигналах первый и второй каскады усилителя работают в линейном режиме. Процесс регулирования удобно разделить на три этапа. На первом с помощью АЦП2 в течение 10 периодов полезного сигнала оценивается среднеквадратическое значение напряжения U_{c2} на выходе второго усилителя. Информация о периоде колебаний поступает в ЭВМ через АЦП4 от генератора опорного напряжения [4], формирующего гармонические колебания, частота которых равна частоте температурной волны, т. е. частоте полезного сигнала. На втором этапе по значению U_{c2} программно рассчитывается коэффициент усиления последнего блока усилителя, а точнее, коэффициент передачи ЦАП такой, чтобы на выходе третьего звена усилителя среднеквадратическое значение выходного напряжения находилось на уровне 4,0 В. Расчет осуществляется по формуле $K_{ЦАП} = 0,04/U_{c2}$. Значение установленного коэффициента передачи всего усилителя используется затем для расчета теплофизических параметров исследуемого вещества. На третьем этапе результат расчета в цифровой форме в параллельном коде (два байта) через интерфейсную плату поступает в усилитель на *регистр-защелку*, включенный перед ЦАП. В соответствии с этим кодом устанавливается требуемый коэффициент передачи ЦАП, который остается постоянным до окончания процесса записи полезного сигнала в память ЭВМ. «Замораживание» коэффициента передачи на время преобразования полезного сигнала в цифровую форму необходимо, чтобы исключить появление искажений, вызванных изменением $K_{ЦАП}$.

Благодаря принятым мерам динамический диапазон АЦП1 интерфейсной платы используется практически полностью. Однако параметры сигнала в процессе измерения могут измениться. Поэтому если в процессе записи полезного

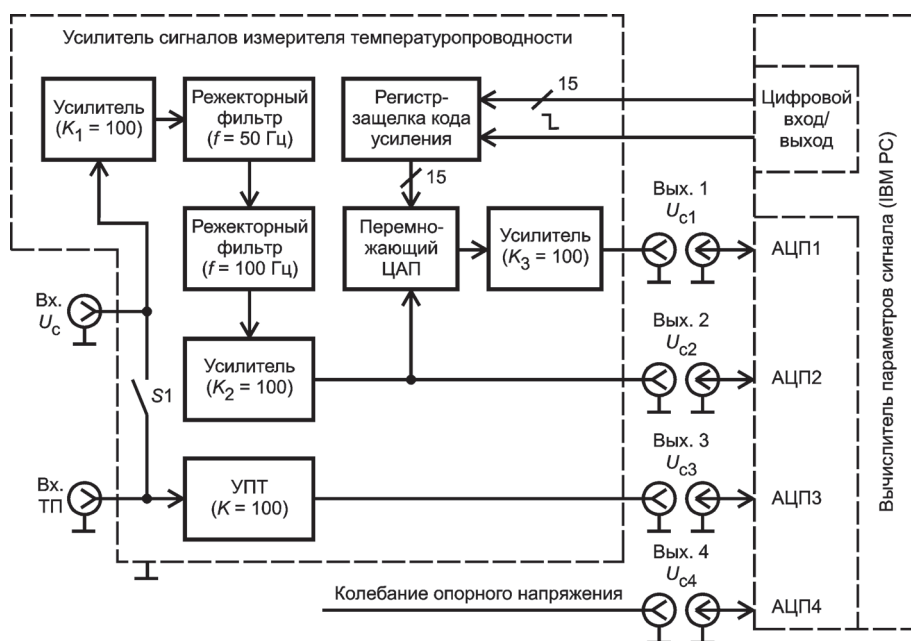


Рис. 1. Функциональная схема усилителя

сигнала обнаруживается, что напряжение на входе АЦП1 превысило допустимое значение либо стало чрезмерно малым, то процесс регулирования выполняется заново. Порогами для принятия решения о необходимости изменения коэффициента передачи служат либо наличие определенного числа ограничений сигнала на выходе третьего усилителя (о чем судят по показаниям АЦП1), либо недостаточное для срабатывания старших разрядов АЦП1 значение этого сигнала.

Линейные цепи (см. рис. 1) изготовлены с использованием аналоговых интегральных микросхем ОП-27 [5], обладающих высокой стабильностью коэффициента передачи и малым уровнем собственных помех. На входе усилителя переменного тока включен разделительный конденсатор. Постоянная времени входной цепи составляет 8 с.

Режекторные фильтры (см. рис. 1) выполнены по схеме с двойным Т-образным мостом на основе усилителей с ограниченным коэффициентом передачи [6]. Передаточные функции фильтров реализуют полиномы Баттерворта. В составе фильтров применены высокостабильные конденсаторные сборки типа К73 с допустимым отклонением электрической емкости от номинального значения в 0,5 %, которые обеспечивают стабильность фазочастотной характеристики (ФЧХ) усилителя. Фазовое запаздывание, создаваемое усилителем, измеряется для каждой частоты температурной волны в специальном калибровочном эксперименте и затем полагается неизменным. На рис. 2 представлены нормированная амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) и ФЧХ созданного усилителя.

Регистр-защелка (схема памяти) выполнен на микросхемах КР1533ИР23. Запись кода в регистр проводится при появлении отрицательного фронта (логического «0») в старшем бите кода, поступающего с интерфейсной платы. При

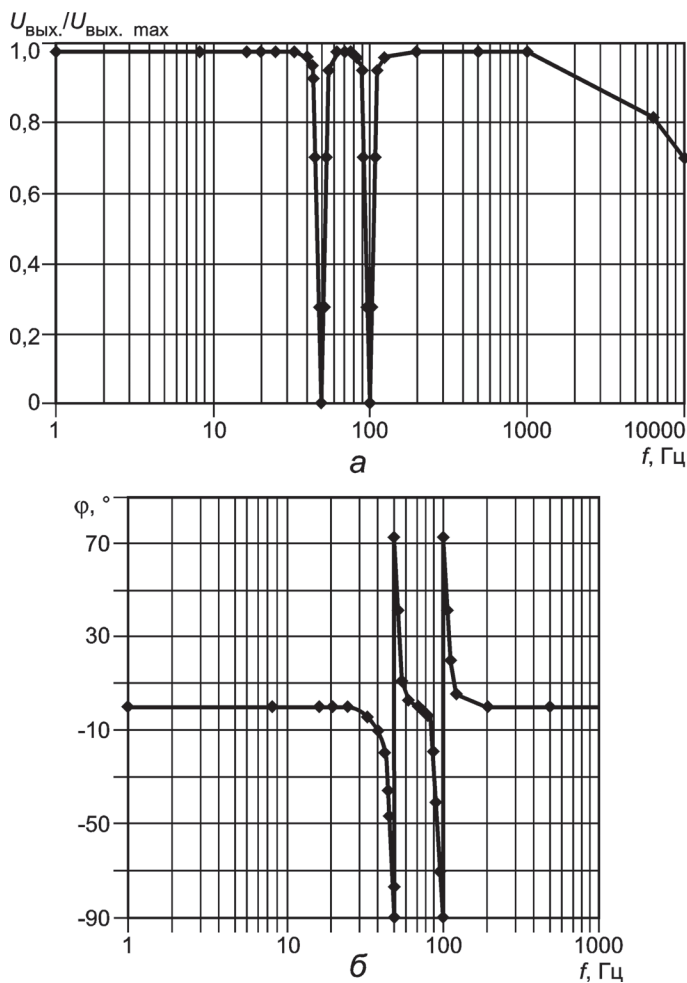


Рис. 2. Амплитудно-частотная (а) и фазочастотная (б) характеристики усилителя

этом длительность переходного процесса в усилителе, обусловленного дискретным изменением его коэффициента усиления, приблизительно равна 10 с. Регулирующими элементами аттенюатора являются десятиразрядные ЦАП типа К572ПА1.

Выводы. Характеристики созданного усилителя определены экспериментально. Его полоса пропускания по уровню 0,707 лежит в пределах от 0,01 Гц до 10 кГц, где межпиковое значение напряжения шумов, приведенных ко входу усилителя, равно 1,5 мкВ, а вносимый дополнительный сдвиг

по фазе сигнала на границах рабочей полосы частот не превышает 0,5°. Схема регулирования позволяет дискретно изменять коэффициент передачи в диапазоне 10 000 — 1 000 000, его нестабильность составляет 0,1 %, нестабильность фазовой характеристики 0,1°. Время установления (регулирования) коэффициента передачи не превышает 30 с.

Таким образом, созданный усилитель обладает качествами, необходимыми для измерения теплофизических свойств веществ методом температурных волн. Усилитель также можно применить и в составе других измерительных устройств для решения широкого круга инженерных и научных задач.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 11-08-00275).

Л и т е р а т у р а

1. Филиппов Л. П. Измерение теплофизических свойств веществ методом периодического нагрева. М.: Энергоатомиздат, 1984.
2. Ивлиев А. Д. Метод температурных волн в теплофизических исследованиях // Теплофизика высоких температур. 2009. Т. 47. № 5. С. 771—792.
3. Куриченко А. А., Ивлиев А. Д., Зиновьев В. Е. Экспериментальная установка для измерения температуропроводности и относительной теплоемкости материалов в твердой фазе при высоких температурах / Свердловский горный ин-т. Деп. в ВНИИТИ 19.02.1985, № 7993-85.
4. Векшина О. А. и др. Высокостабильный модулятор теплового излучения установки для измерения теплофизических характеристик материалов // Измерительная техника. 2010. № 6. С. 42—45; Vekshina O. A. et al. A highly stable thermal radiation modulator for equipment for measuring the thermal characteristics of materials // Measurement Techniques. 2010. V. 53. N 6. P. 668—673.
5. Интегральные схемы: Операционные усилители. Т. 1. М.: Физматлит, 1993.
6. Знаменский А. Е., Теплюк И. Н. Активные RC-фильтры. М.: Связь, 1970.

Дата принятия 22.05.2012 г.