

лиз текущего состояния биологической системы, определять переходные процессы и делать оценку поведения системы в будущем.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Заболевания вегетативной нервной системы. Руководство для врачей/ Под ред. проф. А.М. Вейна – М.: Медицина. 1991.
2. *Вентцель Е.С.* Теория вероятностей. М., 1962.
3. *Земцовский Э.В., Тихоненко В.М., Реева С.В., Демидова М.М.* Функциональная диагностика состояния вегетативной нервной системы. С-Пб., 2004.
4. *Марпл С.Л.* Цифровой спектральный анализ и его приложения. – М.: Мир, 1990.
5. *Стюарт И.* Играет ли Бог в кости? Математика хаоса.
6. *Малинецкий Г.Г., Потапов А.Б.* Современные проблемы нелинейной динамики. 0150М. Эдиториал УРСС, 2000.

**А.А. Зори, В.Д. Корнев, М.Г. Хламов, Р.З. Амиров**

#### **ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ УЧЕТЕ ПОТРЕБЛЕНИЯ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ**

Постоянный рост цен на энергоносители приводит к удорожанию тепловой энергии, которая используется в системах теплоснабжения производственных и жилых помещений. Поэтому повышение точности измерения тепла, отпускаемого потребителям, является актуальной задачей.

Инструментальный учет тепловой энергии требует регулярного измерения температуры теплоносителя в трубопроводах системы теплоснабжения. Бытует мнение, что все проблемы измерения температуры при учете тепловой энергии решены. Однако это далеко не так. Анализ показывает, что систематическая составляющая погрешности измерения температуры и перепада температур между подающим и обратным трубопроводами, особенно в условиях малых значений перепада, вносит существенный вклад в инструментальную погрешность учета тепловой энергии.

В теплосчетчиках расчет тепла и массы теплоносителя с заданной точностью в большинстве случаев выполняется по формулам [1]

$$G = \int_{t1}^{t2} Q_0 k (T_1 - T_2) dt, \quad M = \int_{t1}^{t2} Q_0 \rho dt,$$

где  $Q_0$  – объемный расход теплоносителя;

$T_1$  и  $T_2$  – значения температуры теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах;

$k$  – тепловой коэффициент (коэффициент Штюка), который зависит от параметров теплоносителя и места установки расходомера – на трубе прямой или обратной подачи воды;

$\rho$  – плотность теплоносителя.

В качестве измерителей температуры в теплосчетчиках нашли широкое применение платиновые термометры сопротивления (ТС), допускаемая погрешность преобразования температуры у лучшего класса точности которых нормируется по ГОСТу выражением  $\Delta_d = \pm(0,15 + 0,002|T|)$ . При перепаде температур  $\Delta T \approx 10$  °С и температуре теплоносителя в подающем трубопроводе  $T_1 \approx 80$  °С, допускаемая составляющая погрешности измерения разности температур может достигать  $\pm 0,5$  °С, что эквивалентно погрешности по измерению тепла в  $\pm 5$  % в закрытой системе теплоснабжения. В то же время вклад составляющей по измерению расхода теплоносителя в современных теплосчетчиках не превышает  $\pm 1$  %.

Таким образом, вклад «сложного» вида измерений – измерений расхода – в 5 раз меньше вклада «простых» измерений температуры.

Существующие отечественные системы теплоснабжения характеризуются очень низким использованием теплового потенциала (малым перепадом температур между подающим и обратным трубопроводами) даже в условиях нормального теплоснабжения. Если учесть еще и широко практикуемый в настоящее время ненормативный отпуск тепла, обусловленный дороговизной и дефицитом энергоносителей, ситуация вообще становится печальной.

Повышение точности измерения отпущенного потребителю тепловой энергии напрямую зависит от точности измерения температуры теплоносителя, а вернее – точности измерения разности температур между подающим и обратным трубопроводами. В последнее время для снижения погрешности измерения разности температур применяют подобранную и согласованную пару платиновых терморезисторов, т.е. применяют комплекты термометров сопротивления. Это, конечно, улучшает положение, но радикально его не изменяет, так как компенсируется только составляющая погрешности, порождаемая комплектом терморезисторов, без учета вклада других элементов термометра (например, измерительного канала).

Применяемые методы снижения составляющих инструментальной погрешности термометров сопротивления в основном могут быть отнесены к консервативным методам стабилизации его статической характеристики преобразования. Исключением можно считать стабилизацию характеристики преобразования измерительного канала ТС за счет введения глубокой отрицательной обратной связи – это один из структурных методов повышения точности измерения температуры. Применение структурно-алгоритмических методов [2] коррекции погрешности целесообразно, когда возможности консервативных методов исчерпаны.

При наличии аддитивной и мультипликативной составляющих погрешности уравнение средства измерения (СИ), имеющего линейную характеристику преобразования, имеет вид

$$y = K[1 + \delta_m(t)] x + \Delta y(t) = K[1 + \delta_m(t) + \delta_a(t)]x,$$

где  $K$  – коэффициент преобразования СИ;

$\delta_m(t)$  – суммарная относительная мультипликативная погрешность;

$\Delta y(t)$  – суммарная абсолютная аддитивная погрешность на выходе СИ;

$\delta_a(t) = \Delta y(t)/(K \cdot x)$  – относительная аддитивная погрешность, приведенная ко входу СИ;

$x$  – входная измеряемая величина;

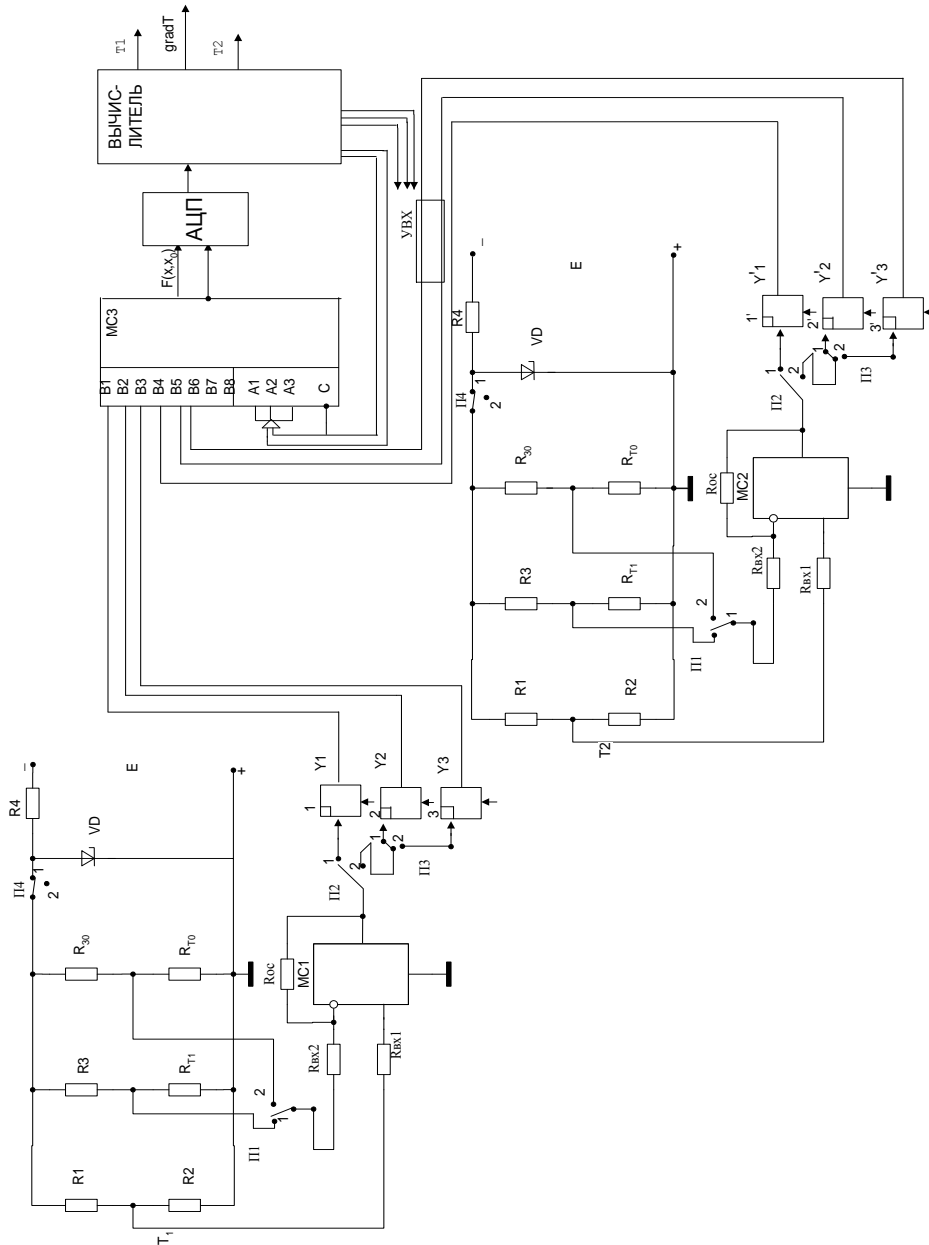
$y$  – выходной сигнал (величина) СИ.

В измерительном канале термометра сопротивления имеют место обе составляющие погрешности – аддитивная и мультипликативная ( $\Delta y$  и  $\delta_m$ ), обусловленные смещением нуля измерительного усилителя и изменением его коэффициента передачи под действием внешних дестабилизирующих факторов.

Алгоритмы компенсации аддитивной и мультипликативной составляющих погрешности измерительного канала СИ путем использования структурно-алгоритмических методов рассмотрены в [3]. Конкретная реализация структурно-алгоритмического метода повышения точности измерительного канала термометра сопротивления путем коррекции аддитивной и мультипликативной составляющих погрешности предложена в [4].

На рисунке приведена функциональная схема устройства, осуществляющего коррекцию аддитивных и мультипликативных составляющих погрешностей измерительных каналов двух термометров сопротивления для снижения погрешности измерения разности температур  $\Delta T = T_1 - T_2$ .

На базе общих двух плеч моста ( $R_1, R_2$ ) образованы измерительный мост ( $R_1, R_2, R_3, R_{m1}$ ), обеспечивающий измерения температуры  $T_1$  в подающем трубопроводе, и мост ( $R_1, R_2, R_{30}, R_{m0}$ ), формирующий образцовое воздействие (эквивалент образцовой температуры  $T_0$ ). Для компенсации погрешности от нестабильности напряжения питания они оба подключены к общему источнику питания (параметрический стабилизатор напряжения  $R_4, VD$ ) через переключатель  $П_4$ .



Второй измерительный канал для измерения температуры  $T_2$  в обратном трубопроводе строится по аналогичной схеме. Значения  $T_2$  и  $T_1$  используются для определения разности температур  $\Delta T = T_1 - T_2$  в вычислителе устройства.

В измерительных каналах выходные сигналы с измерительных и образцовых мостов усиливаются дифференциальными усилителями МС1 (МС2), выполненными на ОУПТ типа 140УД17. Неинвертирующий вход усилителя подключен через  $R_{ex1}$  к общим плечам моста ( $R_1$ ,  $R_2$ ), а инвертирующий с резистором  $R_{ex2}$  через переключатель  $\Pi_1$  подключается в положении 1 к измерительному, а в положении 2 к образцовому мостам. Резистор обратной связи  $R_{oc}$  определяет требуемый коэффициент усиления. Выходной сигнал усилителя через переключатели  $\Pi_2$  и  $\Pi_3$  подключается к трем элементам памяти (1, 2, 3) для каждого из каналов, представляющих собой, например, схемы выборки-хранения. Выходы этих схем через мультиплексор МС3 поочередно коммутируются ко входу АЦП.

Применение структурно-алгоритмического метода для компенсации смещения нуля и изменения коэффициента усиления измерительного канала температуры позволило уменьшить погрешность измерения разности температур в 1,5 раза. При использовании этого метода в теплосчетчиках повышается также точность измерения количества тепла, что обеспечивает значительную экономию материальных и финансовых ресурсов.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Бойко В.І., Зорі А.А., Коренев В.Д., Хламов М.Г.* Підвищення точності вимірювальних систем. – Донецьк: РВА-ДонНТУ, 2005. – 252 с.
2. *Головко Д.Б., Скрипник Ю.О., Хімичева Г.І.* Структурно-алгоритмічні методи підвищення точності вимірювання температури. – Киев: ФАДА, ЛТД, 1999. – 206 с.
3. Аналоговые электроизмерительные приборы: Учебное пособие для вузов по специальности «Информационно-измерительная техника» / *Е.Г. Бишару, Е.А. Киселева, Г.П. Лебедев и др.* – М.: Высшая школа, 1991. – 415 с.
4. *Таланчук П.М., Скрипник Ю.О., Дубровний В.О.* Засоби вимірювання в автоматичних інформаційних та керуючих системах: Підручник для студентів вузів, які навчаються із спец. «Автоматизація технологічних процесів і виробництв». – Киев: Радуга, 1994. – 672 с.

**С.С. Фролов**

#### МЕТОДЫ АППРОКСИМАЦИИ «ПОЛОСОВЫХ» РАВНОАМПЛИТУДНЫХ ПОЛИНОМОВ

В процессе разработки, производства и эксплуатации радиотехнических и телекоммуникационных систем остаются востребованными измерение и идентификация частотных характеристик (ЧХ) их узлов и каналов связи в диапазоне *инфранизких частот (ИНЧ) – от значений близких к нулю до нескольких десятков герц.*

Известные высокоточные ручные методы измерения ЧХ в указанном частотном диапазоне требуют значительных трудозатрат – до нескольких десятков человеко-часов [1].

В известных автоматизированных методах измерения (на основе испытательных ЛЧМ-импульсов, многочастотных сигналов или импульсов короткой длительности) для обеспечения в диапазоне ИНЧ приемлемых метрологических ха-