

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Олифер В.Г., Олифер Н.А.* Компьютерные сети. Питер, 2005.
2. *Шетра П.* Microsoft Windows 2003. Практическое руководство. – СПб, 2006.
3. Windows 2000 server, Microsoft Corporation One Microsoft Way Redmond, WA 98052-6399 USA 0399.
4. *Чекмарев А.* Windows 2000 Active Directory. – СПб, 2001.
5. http://samag.ru/art/01.2004/01.2004_11.html.
6. <http://www.networkdoc.ru/files/insop/ad/read.html?ad2000-1.html>.

А.В. Пирский

**РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ФУНКЦИИ
ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ТЕНЗОРЕЗИСТИВНОГО
ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА ДАТЧИКА АБСОЛЮТНОГО
ДАВЛЕНИЯ**

Создание интеллектуальных датчиков (ИД) физических величин связано с разработкой алгоритмического и программного обеспечения, проверка и отладка которого осуществляется в составе специальных испытательных стендов. Формирование измеряемого сигнала для реализации процедур проверки и отладки с помощью соответствующих физических установок на этапах разработки нецелесообразно, поскольку требует больших и необоснованных затрат. Наиболее эффективным в этом случае является использование вместо реального физического сигнала его имитации на уровне электрических сигналов чувствительного элемента (ЧЭ). Это позволит отойти от создания крупногабаритных аналогово-цифровых имитационных стендов, обеспечить гибкость в работе и снизить стоимость разработки в целом.

Широкое распространение получили интеллектуальные датчики абсолютного давления (ИДАД). В качестве ЧЭ в ИДАД применяется тензорезистивный преобразователь, принципом которого является измерение деформации тензорезисторов, сформированных в эпитаксиальной пленке кремния на подложке из сапфира (КНС), припаянной твердым припоем к титановой мембране. Иногда вместо кремниевых тензорезисторов используют металлические: медные, никелевые, железные и др. Распространение тензорезистивных преобразователей обусловлено хорошей защищенностью ЧЭ от воздействия любой агрессивной среды, налаженным серийным производством и низкой стоимостью. Наряду с достоинствами следует отметить принципиальное ограничение КНС-преобразователя – неустрашимую временную нестабильность градуировочной характеристики и существенные гистерезисные эффекты от давления и температуры. Это обусловлено неоднородностью конструкции и жесткой связью мембраны с конструктивными элементами датчика. Поэтому при построении математической модели функции преобразования ЧЭ на основе КНС необходимо учесть влияние температуры окружающей среды.

Для ИДАД необходимым является синхронная имитация сигналов, снимаемых с двух каналов ЧЭ – давления и температуры, поскольку в ИДАД корректировка температурного влияния на результат измерения абсолютного давления осуществляется автоматически в процессе обработки поступающих данных о текущих измеренных значениях давления и температуры [1]. Чтобы построить математическую модель функции преобразования тензорезистивного ЧЭ с точностью до 0,1%, требуется построить градуировочную характеристику имитируемого ЧЭ с точностью на порядок выше заданной, полученной экспериментальным путем. Для построения градуировочной поверхности функции преобразования давления применен полином вида

$$U_P = C + D_1 \cdot P + D_2 \cdot P^2, \quad (1)$$

где коэффициенты C, D_1, D_2 – это функции от температуры:

$$\begin{aligned} C &= \beta_{00} + \beta_{01} \cdot T + \beta_{02} \cdot T^2; \\ D_1 &= \beta_{10} + \beta_{11} \cdot T + \beta_{12} \cdot T^2; \\ D_2 &= \beta_{20} + \beta_{21} \cdot T + \beta_{22} \cdot T^2. \end{aligned} \quad (2)$$

После подставки коэффициентов (2) в полином (1), он примет вид

$$\begin{aligned} U_P &= \beta_{00} + \beta_{01} \cdot T + \beta_{02} \cdot T^2 + \beta_{10} + \beta_{11} \cdot T + \beta_{12} \cdot T^2 + \\ &+ \beta_{20} + \beta_{21} \cdot T + \beta_{22} \cdot T^2. \end{aligned} \quad (3)$$

Для определения коэффициентов в выражении (3) произведем замену

$$X_1 = T, X_2 = T^2, X_3 = P, X_4 = TP, X_5 = T^2P, X_6 = P^2, X_7 = TP^2, X_8 = T^2P^2$$

и перепишем выражение (3) в виде

$$\begin{aligned} U_P &= \beta_{00} + \beta_{01} \cdot X_1 + \beta_{02} \cdot X_2 + \beta_{10} \cdot X_3 + \beta_{11} \cdot X_4 + \beta_{12} \cdot X_5 + \\ &+ \beta_{20} \cdot X_6 + \beta_{21} \cdot X_7 + \beta_{22} \cdot X_8. \end{aligned} \quad (4)$$

К выражению (4) применим метод наименьших квадратов

$$\begin{aligned} D = \sum_{i=1}^m (U_{PYi} - U_{Pi})^2 &= \sum_{i=1}^m (U_{PYi} - (\beta_{00} + \beta_{01} \cdot X_{1i} + \beta_{02} \cdot X_{2i} + \\ &+ \beta_{10} \cdot X_{3i} + \dots + \beta_{22} \cdot X_{8i}))^2. \end{aligned}$$

Здесь $m \geq n + 1$ – число измерений.

Для определения коэффициентов β необходимо решить систему нормальных уравнений:

$$\begin{cases} m \cdot \beta_{00} + \beta_{01} \cdot \sum_i X_{1i} + \beta_{02} \cdot \sum_i X_{2i} + \dots + \beta_{22} \cdot \sum_i X_{8i} = \sum_i U_{Pi}, \\ \beta_{00} \cdot \sum_i X_{1i} + \beta_{01} \cdot \sum_i X_{1i}^2 + \beta_{02} \cdot \sum_i X_{1i} \cdot X_{2i} + \dots + \beta_{22} \cdot \sum_i X_{1i} \cdot X_{8i} = \sum_i X_{1i} \cdot U_{Pi}, \\ \beta_{00} \cdot \sum_i X_{2i} + \beta_{01} \cdot \sum_i X_{1i} \cdot X_{2i} + \beta_{02} \cdot \sum_i X_{2i}^2 + \dots + \beta_{22} \cdot \sum_i X_{2i} \cdot X_{8i} = \sum_i X_{2i} \cdot U_{Pi}, \\ \dots \\ \beta_{00} \cdot \sum_i X_{8i} + \beta_{01} \cdot \sum_i X_{1i} \cdot X_{8i} + \beta_{02} \cdot \sum_i X_{2i} \cdot X_{8i} + \dots + \beta_{22} \cdot \sum_i X_{8i}^2 = \sum_i X_{8i} \cdot U_{Pi}. \end{cases} \quad (5)$$

В связи с тем, что напряжение температуры зависит только от самой величины температуры и не зависит от величины давления, то для по-

строения градуировочной кривой достаточно воспользоваться линейной зависимостью

$$U_T = \gamma_0 + \gamma_1 \cdot T. \quad (6)$$

Для определения коэффициентов γ необходимо решить систему линейных уравнений

$$\begin{cases} \gamma_0 + \gamma_1 \cdot T_i = U_{Ti}, \\ \gamma_0 + \gamma_1 \cdot T_{i+1} = U_{Ti+1}. \end{cases} \quad (7)$$

Укрупненная структурная схема работы математической модели функции преобразования ЧЭ ИДАД представлена на рис. 1.

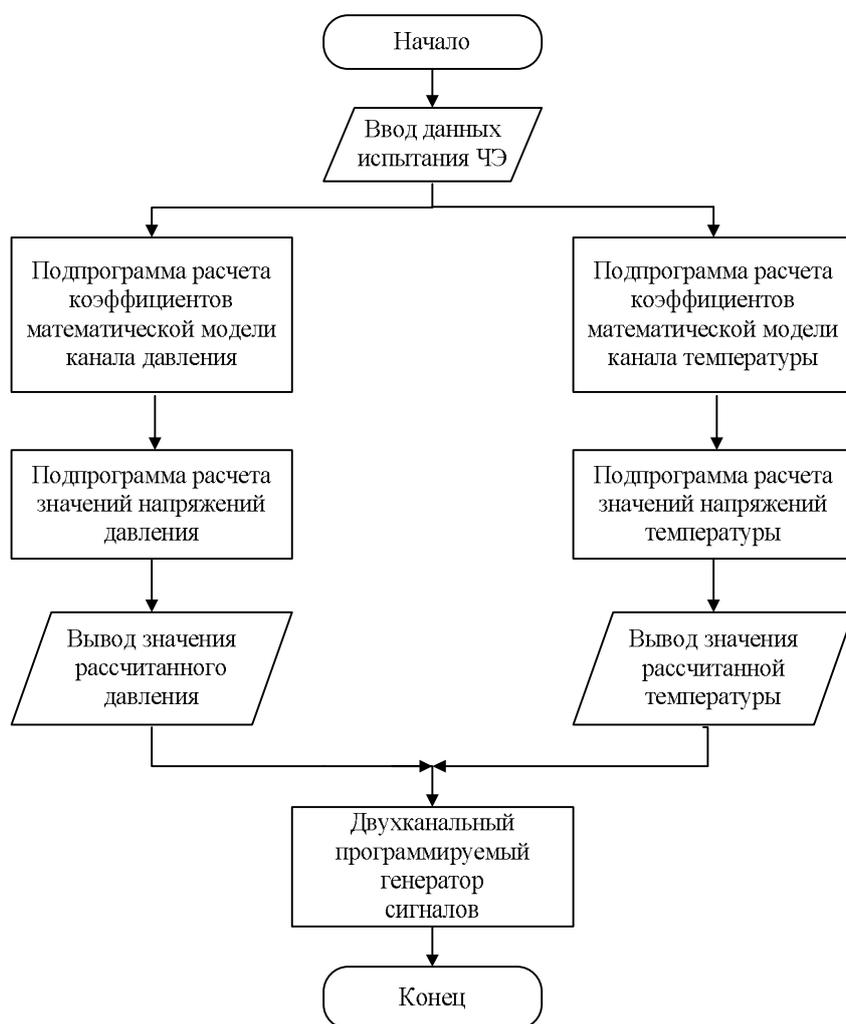


Рис.1. Укрупненная структурная схема имитации сигналов ЧЭ

Согласно структурной схеме (рис.1), для построения математической модели ЧЭ требуется в начале программы ввести данные, полученные

в результате испытаний ЧЭ. Следующим этапом производится расчет коэффициентов математической модели для каждого из каналов имитации ЧЭ. Коэффициенты считаются один раз в начале работы. По этим коэффициентам будут рассчитываться выходные значения напряжений для каждого из каналов. После расчета коэффициентов идет режим имитации. В этом режиме выбирается функция изменения измеряемого давления и температуры и шаг h изменения функции. По заданным функциям с шагом h изменения давления и температуры выбираются требуемые коэффициенты математических моделей, после чего они используются при определении выходных напряжений ЧЭ. Полученные значения напряжений отображаются пользователю в требуемой им форме. Рассчитанные данные напряжений поступают в виде массива данных на вход двухканального программируемого генератора аналоговых сигналов. Непрерывно генерируемые аналоговые сигналы поступают на входы интеллектуального датчика абсолютного давления.

Коэффициенты аппроксимации функциональных зависимостей (1) и (6) определяются с помощью метода наименьших квадратов, используя данные экспериментальных испытаний ЧЭ датчиков абсолютного давления.

Для определения коэффициентов по блок-схеме рис. 1 была написана программа в среде MATLAB, блок-схема алгоритма моделирования которой приведена на рис. 2. Также программа включает расчет величины относительной ошибки построения градуировочных функций для канала давления и канала температуры.

В качестве исходных данных для построения математической модели функции преобразования тензорезистивного ЧЭ берутся значения, полученные в результате испытаний ЧЭ датчиков абсолютного давления.

Градуировочная поверхность размером 3x3 для канала давления

В результате работы программы моделирования канала давления по блок-схеме рис. 2 рассчитываются коэффициенты C , D_1 , D_2 и напряжения давления U_p . График, построенной по рассчитанным значениям напряжения давления градуировочной поверхности, изображен на рис. 3.

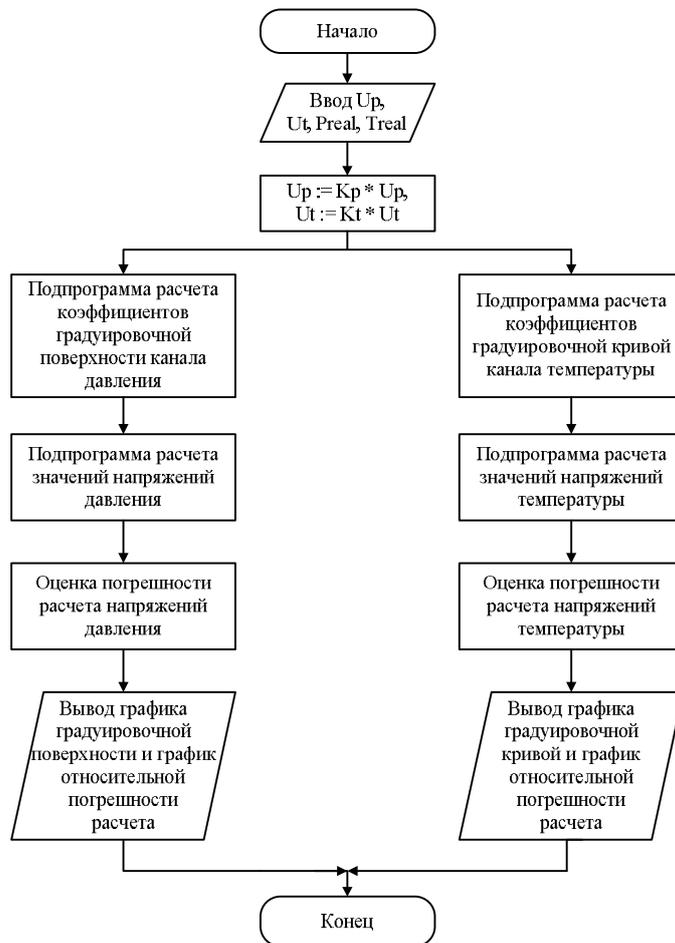


Рис. 2. Укрупненная блок-схема работы программы моделирования

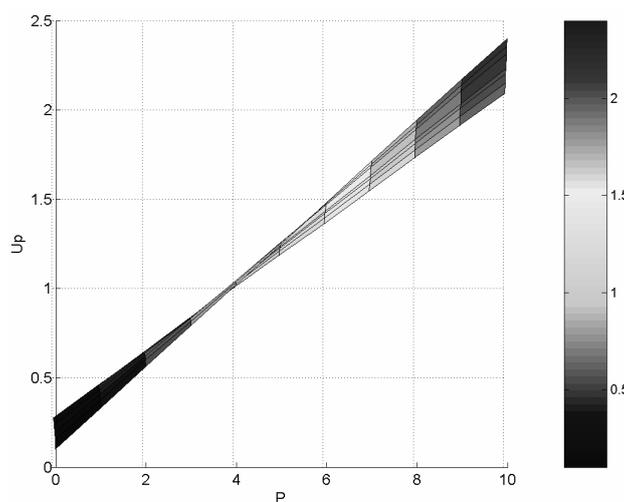


Рис.3. График градуировочной поверхности

График относительной погрешности отображен на рис. 4.

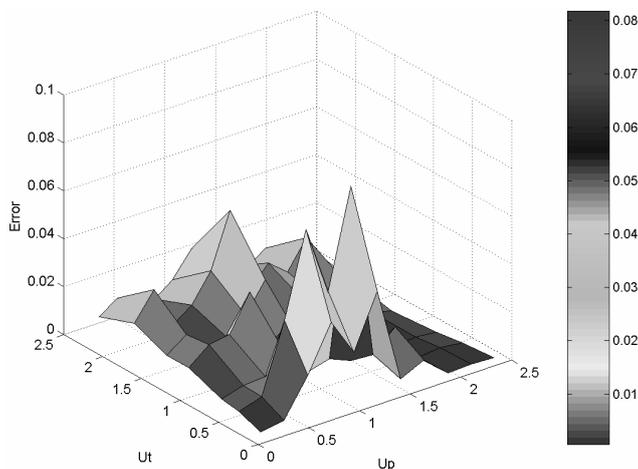


Рис.4. График относительной погрешности

Согласно результатам моделирования изображенным на рис. 4, максимальная величина относительной погрешности равна 0,081853%, что удовлетворяет поставленной задаче на 0,1%.

Градуировочная кривая для канала температуры

По результатам работы программы моделирования канала температуры по блок-схеме рис. 2 рассчитываются коэффициенты γ и напряжения температуры U_T . Так как значение напряжения температуры не зависит от величины входного давления, следовательно, коэффициенты γ будут одни и теми же для всей области давлений.

График построенной по рассчитанным значениям напряжения температуры градуировочной кривой изображен на рис. 5 .

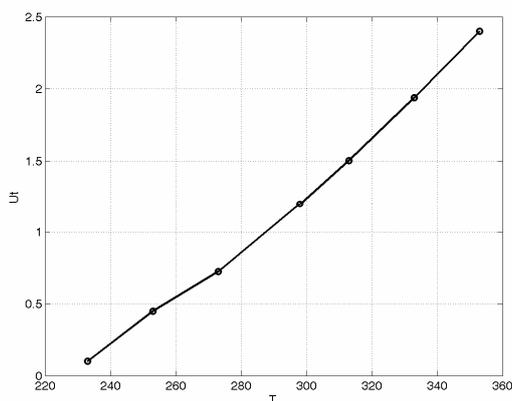


Рис.5. График градуировочной кривой

График относительной погрешности отображен на рис. 6.

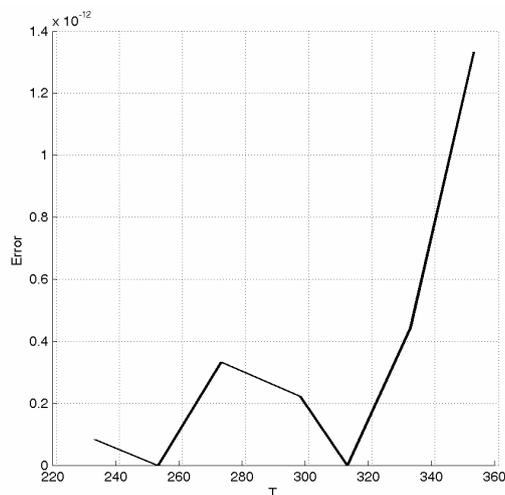


Рис.6. График относительной погрешности расчета напряжения температуры

Согласно результатам моделирования отображенных на рис. 6, максимальная величина относительной погрешности равна $1,3323 \cdot 10^{-12}\%$, что удовлетворяет поставленной задаче на $0,1\%$.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Клевцов С.И., Линьков В.С., Веретельников Ю.А., Кузьминов В.Г. Погрешности вычисления давления в интеллектуальном датчике при матрично-полиномиальной аппроксимации его градуировочной характеристики // Известия ТРТУ. 2004. №2.
2. Семенов Л.А., Сирая Т.Н. Методы построения градуировочных характеристик средств измерений. – М.: Изд-во стандартов, 1986.
3. Клевцов С.И., Удод Е.В. Пространственная плоскостная модель градуировочной характеристики интеллектуального датчика давления // Известия ТРТУ. 2005. №1.

Е.С.Синютин

ВЫБОР ВЕЙВЛЕТ-ФУНКЦИИ ДЛЯ ОПТИМАЛЬНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЭКГ-СИГНАЛА

Рассмотрим возможность построения «собственной» вейвлет-функции, наиболее оптимально подходящей для экономного представления данной ЭКГ. Задача состоит в преобразовании отрезка ЭКГ с усредненным QRS комплексом в функцию $\Psi_0(t)$, которая является базисом вейвлет-преобразования.

Рассмотрим требования, которым должна удовлетворять функция $\Psi_0(t)$.