

А2186с.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

Московский государственный институт электроники и математики
(Технический университет)

Кафедра управления
и информатики
в технических системах

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КАНАЛА
ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ**

Методические указания
к курсовому проекту по курсу
«Информационно-измерительные системы»

Москва 2010

Составитель: д-р техн. наук, проф. В.В. Макаров

УДК 621.317

Проектирование измерительного канала информационно-измерительной системы: Метод. указания к курсовому проекту по курсу «Информационно-измерительные системы»/ Моск. гос. ин-т электроники и математики; Сост.: В.В. Макаров. М., 2010. - 17 с.

Излагается содержание курсового проекта, задачи проектирования, исходные данные, методики анализа статических и динамических погрешностей измерительного канала информационно-измерительной системы.

Для студентов III курса специальности 220200, изучающих дисциплину «Информационно-измерительные системы».

Табл. 2. Ил. 5. Библиогр.: 11.

ISBN 978-5-94506-251-1

1. ЦЕЛЬ КУРСОВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Проектирование измерительного канала (ИК) информационно-измерительной системы (ИИС), анализ статических и динамических погрешностей измерений в ИК.

В разделе 2 рассмотрено содержание курсового проекта; в разделе 3 (Приложение) - таблицы вариантов и требования к его оформлению; в разделе 4 - список рекомендуемой литературы.

2. СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Курсовой проект выполняется студентом индивидуально, в соответствии с вариантом, указанным в таблицах вариантов для студентов групп А-71, А-72 (Приложение, табл. 1,2). Номер варианта совпадает с номером студента в списке группы.

Ниже в прямоугольных рамках перечислены обязательные действия проектанта.

Во введении к курсовому проекту укажите номер варианта; перечислите исходные данные для проектирования, взятые из таблицы вариантов; приведите структурную схему ИК.

Обобщенная структурная схема ИК приведена на рис. 1. Отдельные устройства в структурной схеме могут отсутствовать или занимать другие места.

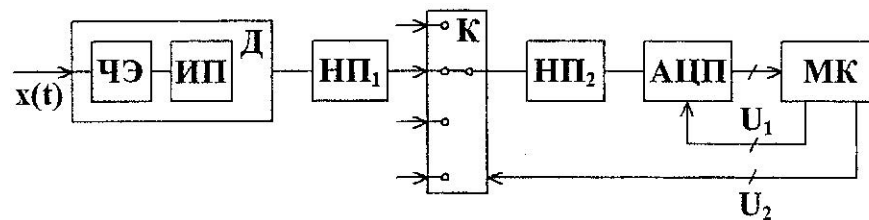


Рис. 1. Структурная схема ИК

На схеме используются следующие обозначения:

- $x(t)$ - изменяющаяся во времени измеряемая физическая величина;
- Д - датчик физической величины с электрическим выходом;
- ЧЭ - чувствительный элемент датчика;

ИП - измерительный преобразователь - преобразователь выходного сигнала чувствительного элемента в электрический сигнал;

НП₁, НП₂ - нормирующие преобразователи;

К - коммутатор с четырьмя входами;

АЦП - аналого-цифровой преобразователь;

МК - микроконтроллер;

U₁, U₂ - команды управления АЦП и коммутатором;

-/- - шина передачи цифровых сигналов.

В различных вариантах выполнения курсового проекта, при наличии необходимости, допустимо отсутствие одних устройств, появление других устройств или изменение мест их включения.

2.1. Выбор устройств, входящих в структурную схему и расчет параметров устройств

В различных вариантах курсового проекта используются следующие чувствительные элементы или датчики.

Термопара (ТП) марки ТПР-2075 - датчик температуры, имеет следующие технические характеристики:

- материал - сплав платины и родия;
- рабочий диапазон температур (в град.С) указан в таблице вариантов;
- функция преобразования $E = S(T - T_0)$;
- чувствительность $S = K \cdot 10^{-3}$ мВ/град. С (K - в таблице вариантов);
- T, T₀ = 20 град.С - температуры горячего, холодного спаев термопары;
- E - термо-ЭДС в мВ;
- постоянная времени термопары $\tau = 0,2$ с;
- предельная допускаемая основная погрешность $\delta_{ор} = \pm 0,1$ %;
- внутреннее сопротивление R_т = 2,5 Ом.

Термосопротивление (ТР) марки ТСМ-0281 - чувствительный элемент, имеет технические характеристики:

- материалом служит медь;
- рабочий диапазон температур (в град.С) указан в таблице вариантов;
- функция преобразования $R = R_0 + S_T(T - T_0)$;
- R₀ - начальное сопротивление при температуре T₀ = 20 град.С (в таблице вариантов);
- чувствительность S_T = 0,214 Ом/град.С;
- постоянная времени $\tau = 0,1$ с;
- предельная допускаемая основная погрешность $\delta_{ор} = \pm 0,2$ %.

Датчик ускорения (ДУ) марки ММА7360L, имеет следующие технические характеристики:

- интегральное исполнение;
- рабочий диапазон ускорений (в м/с²) указан в таблице вариантов;
- функция преобразования $U = U_{см} + Sa$;
- постоянное напряжение смещения U_{см}, В (в таблице вариантов);
- чувствительность $S = 0,0816$ В/(м/с²);
- постоянное напряжение питания U_п = 3 В, ток питания I_п = 0,4 мА;
- постоянная времени $\tau = 0,4$ мс;
- предельная допускаемая основная погрешность $\delta_{ор} = \pm 0,5$ %;
- выходное сопротивление равно 1,5 кОм.

Датчик давления (ДД) марки МРХ-5100А, имеет следующие технические характеристики:

- интегральное исполнение;
- рабочий диапазон давлений (в кПа) указан в таблице вариантов;
- функция преобразования $U = U_{см} + SP$;
- постоянное напряжение смещения U_{см} = 0,5 В;
- чувствительность S, мВ/кПа (в таблице вариантов);
- постоянное напряжение питания U_п = 5 В;
- постоянная времени $\tau = 1$ мс;
- предельная допускаемая основная погрешность $\delta_{ор} = \pm 2,5$ %;
- выходное сопротивление равно 2,75 кОм.

Для чувствительных элементов необходимо выбрать измерительный преобразователь ИП и номинальные значения элементов его схемы [1-4]. Для датчиков этого делать не нужно. Напряжение питания ИП не должно превосходить 10 В. Датчики и чувствительные элементы являются инерционными - аperiodическими звеньями 1-го порядка.

Нормирующие преобразователи. Нормирующие преобразователи необходимы для согласования уровней напряжений, поступающих на вход АЦП, с рабочим диапазоном последнего. В этом случае эффективно используется вся измерительная шкала АЦП [1-4].

Их количество и место включения зависят от необходимости и выбираются индивидуально. Нормирующий преобразователь представляет собой схему преобразования уровней или измерительный усилитель или фильтр и др.

Коммутатор. В курсовом проекте используется одноступенчатый коммутатор с 4-мя входами.

Тип коммутатора выбирается студентом самостоятельно. Он может быть построен на следующих электрических ключах: электромагнитных реле; герконах; биполярных транзисторах; полевых транзисторах.

Технические характеристики ключей важны для оценки статических погрешностей ИК и приведены в [1-4]. Могут использоваться известные коммутаторы, например [2], или взятые из других источников.

При выборе типа коммутатора необходимо учитывать следующие обстоятельства:

- 1) его предназначение для коммутации аналоговых сигналов;
- 2) необходимость учета уровней коммутируемых сигналов;
- 3) быстродействие коммутатора, соотношение с быстродействием

остальных устройств ИК.

АЦП. В качестве АЦП используется преобразователь, изучавшийся в домашней работе в прошлом семестре [5]. Может быть выбран и другой тип АЦП [2, 6-8]. При выборе АЦП необходимо учитывать следующие обстоятельства:

- 1) АЦП, главным образом, используются для преобразований в двоичный код постоянных напряжений;
- 2) должны быть известны основные технические характеристики АЦП, используемые в дальнейшем для оценки точности измерений;
- 3) на АЦП необходимо подать напряжения питания; для некоторых типов АЦП необходим также источник опорного напряжения.

Микроконтроллеры. В качестве них можно использовать 8-ми, 16-ти или 32-разрядные микроконтроллеры или микропроцессоры [2].

При выборе микроконтроллера необходимо согласовывать разрядность микроконтроллера с разрядностью АЦП, тактовую частоту его работы с частотой преобразований АЦП.

В этой части курсового проекта необходимо

1) выбрать устройства, входящие в состав ИК; указать технические характеристики устройств, используемые в дальнейших расчетах:

- датчика или чувствительного элемента;
- измерительного преобразователя и его элементов;
- нормирующих преобразователей и их элементов;
- коммутатора или электрических ключей, на которых он построен (известных или типичных для этих ключей);
- АЦП;
- микроконтроллера (тактовая частота, разрядность, порты ввода данных);

2) для каждого из устройств рассчитать входное и выходное сопротивление, коэффициент передачи, постоянную времени, уровни минимальных и максимальных входных и выходных сигналов, с целью обеспечения эффективной работы ИК;

3) разработать и нарисовать новую структурную схему ИК.

2.2. Расчет статических погрешностей ИК

Условия работы ИК полагаем нормальными; рассчитывается основная составляющая статической погрешности измерений. Действующие шумы и помехи в расчете не учитываются. На рис. 2 приведена расчетная схема, с помощью которой находится статическая погрешность ИК.

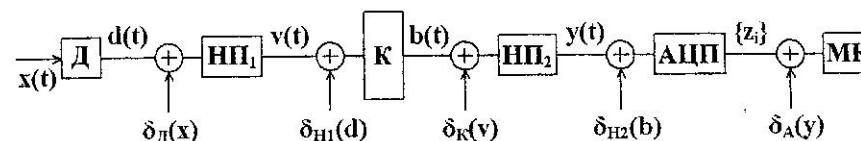


Рис. 2. Расчетная схема, используемая при определении статической погрешности ИК

На рис. 2 используются следующие обозначения:

$x(t)$ - измеряемая физическая величина;

$d(t)$, $v(t)$, $b(t)$, $y(t)$ - промежуточные аналоговые сигналы;

$\{z_i\}$ - поток двоичных кодов, передаваемых с выхода АЦП во входной порт МК;

$\delta_d(x)$, $\delta_{н1}(d)$, $\delta_к(v)$, $\delta_{н2}(b)$, $\delta_A(y)$ - относительные погрешности соответствующих устройств ИК.

Погрешностями вычислений и округлений результатов в МК можно пренебречь, если разрядность данных в МК превышает на 3...4 разряда разрядность АЦП. Поэтому в расчетной схеме погрешности МК отсутствуют.

Из метрологии известно, что суммарная относительная статическая погрешность ИК равна сумме относительных погрешностей входящих в его состав устройств [9, 10]:

$$\delta_{сз}(x) = \delta_d(x) + \delta_{н1}(d) + \delta_к(v) + \delta_{н2}(b) + \delta_A(y). \quad (1)$$

Будем оценивать статическую точность ИК с помощью максимальной, приведенной к верхней границе \hat{x} диапазона $[\check{x}; \hat{x}]$ измеряемой физической величины $x(t)$, суммарной погрешности измерений $\delta_{сз}(x)$. Рассмотрим определение отдельных составляющих суммарной погрешности.

Датчики, чувствительные элементы. В пункте 2.1 даны их предельные допускаемые основные погрешности $\delta_{ор}$. Максимальную относительную погрешность датчика положим равной модулю погрешности $\delta_{ор}$:

$$\delta_d(x) = |\delta_{ор}|. \quad (2)$$

Термосопротивление включаем в измерительную схему датчика; в ней используются прецизионные резисторы с погрешностями менее 0,01%. Максимальная относительная погрешность датчика приблизительно равна погрешности терморезистора (2). **Внимание:** чувствительность датчика S , использующего терморезистор, необходимо рассчитать с учетом схемы измерительного преобразования и чувствительности S_T терморезистора.

Нормирующий преобразователь НП₁. В качестве НП₁, как правило, применяется измерительный усилитель, построенный на операционных усилителях (ОУ) и прецизионных резисторах [1-3]. Простая структурная схема дифференциального измерительного усилителя приведена на рис. 3. В ней выполняются соотношения: $R_1 = R_3$, $R_2 = R_4$.

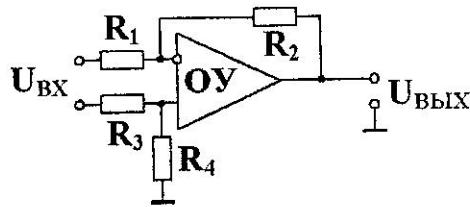


Рис. 3. Структурная схема измерительного усилителя

Параметры измерительного усилителя равны:

$$W(p) = \frac{k_y}{T_y p + 1}, \quad k_y = \frac{R_2}{R_1}, \quad T_y = \frac{k_y}{2\pi f_1}, \quad R_{\text{ввых}} = \frac{r_{\text{ввых}} k_y}{K}, \quad R_{\text{вх}} = 2R_1, \quad (3)$$

где k_y, T_y - коэффициент усиления и постоянная времени;
 $K, r_{\text{ввых}}$ - коэффициент усиления и выходное сопротивление ОУ;
 f_1 - частота единичного усиления ОУ;
 $R_{\text{вх}}, R_{\text{ввых}}$ - входное и выходное сопротивления усилителя.

Максимальные аддитивная и относительная мультипликативная погрешности измерительного усилителя, приведенные к его выходу, равны

$$\Delta U_{\text{ввых}} \approx k_y |e_{\text{см}}| + R_2 |\Delta i_{\text{вх}}|, \quad \delta k_y \approx \delta R_1 + \delta R_2,$$

где $e_{\text{см}}, \Delta i_{\text{вх}}$ - напряжение смещения и разность входных токов ОУ;
 $\delta R_1, \delta R_2$ - относительные погрешности резисторов R_1 и R_2 .

Приведенная к верхнему пределу \hat{v} диапазона выходного сигнала НП₁ максимальная относительная погрешность НП₁ равна:

$$\delta_{\text{НП}}(\hat{v}) = \Delta U_{\text{ввых}} / \hat{v} + \delta k_y. \quad (4)$$

Коммутатор. Его коэффициент передачи и постоянная времени равны

[1, 4]:
$$k_{\text{км}} = \frac{R_{\text{н}}}{R_{\text{н}} + R + r_3},$$

$$T_{\text{к}} = (m - 1)(R + r_3)C_p \quad \text{- для транзисторных,}$$

$$T_{\text{к}} = 1/\hat{f}_{\text{к}} \quad \text{- для ключей на реле, герконах,} \quad (5)$$

где $R_{\text{н}}$ - нагрузочное сопротивление;
 R - выходное сопротивление НП;
 r_3 - сопротивление замкнутого ключа коммутатора;
 m - число входов коммутатора;
 C_p - проходная емкость разомкнутого ключа;
 $\hat{f}_{\text{к}}$ - максимальная частота коммутации.

Приведенная к выходу аддитивная погрешность коммутатора равна:

$$\Delta U_{\text{ввых}} = 3(R \| R_{\text{н}} / r_p) \hat{v} + 3RI_o - U_o,$$

где $\|$ - символ вычисления сопротивления параллельного соединения;
 I_o, U_o - остаточные ток и напряжение замкнутого ключа;
 r_p - сопротивление разомкнутого ключа.

Относительная погрешность коэффициента передачи коммутатора

$$\delta k_{\text{км}} = \frac{R + r_3}{R_{\text{н}} + R + r_3}.$$

Приведенная к верхнему пределу рабочего диапазона измеряемой величины максимальная относительная погрешность коммутатора равна:

$$\delta_{\text{к}}(\hat{b}) = \Delta U_{\text{ввых}} / \hat{b} + \delta k_{\text{км}}. \quad (6)$$

Нормирующий преобразователь НП₂ согласует диапазон выходного сигнала коммутатора с диапазоном преобразований АЦП [1]. Его структурная схема и согласующее преобразование поясняются рис. 4.

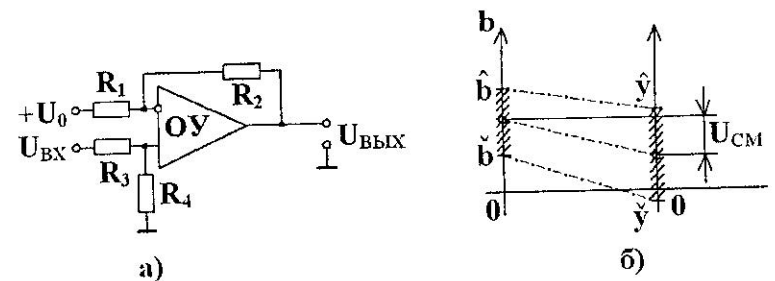


Рис. 4. Структурная схема а) и преобразование б) в устройстве согласования диапазонов

На рис. 4,6 показаны диапазон выходного сигнала коммутатора $[\hat{b}; \check{b}]$, диапазон преобразований АЦП $[\check{y}; \hat{y}]$ и середины диапазонов. Пунктирными линиями показано преобразование диапазона; необходимая величина сдвига диапазона равна $U_{см}$. Из рисунка видно, что необходимые коэффициент передачи k_c и напряжение смещения $U_{см}$ равны:

$$k_c = (\hat{y} - \check{y}) / (\hat{b} - \check{b}), \quad U_{см} = 0,5(\hat{b} + \check{b}) - 0,5(\hat{y} + \check{y}).$$

Структурная схема устройства согласования включает операционный усилитель (ОУ), прецизионные резисторы и источник напряжения смещения U_0 . Выполняются соотношения: $R_1 = R_3$, $R_2 = R_4$. Параметры схемы согласования аналогичны параметрам (3):

$$W(p) = \frac{k_c}{T_c p + 1}, \quad k_c = \frac{R_2}{R_1}, \quad T_c = \frac{k_c}{2\pi f_1}, \quad R_{вх} = \frac{r_{вх} k_c}{K},$$

$$R_{вх} = R_1, \quad U_{см} = -U_0 k_c, \quad (7)$$

где k_c, T_c - коэффициент усиления и постоянная времени;
 $R_{вх}, R_{вх}$ - входное и выходное сопротивления;
 $K, r_{вх}, f_1$ - параметры ОУ.

Максимальная относительная приведенная к верхнему пределу рабочего диапазона ИК погрешность нормирующего преобразователя НП₂ находится аналогично погрешности НП₁:

$$\delta_{н2}(\hat{y}) = \Delta U_{вх} / \hat{y} + \delta k_c, \quad (8)$$

где \hat{y} - максимальное значение выходного сигнала НП₂.

АЦП. Максимальная относительная погрешность коэффициента передачи АЦП определяется его входным сопротивлением $R_{вх}$ и выходным сопротивлением $R_{вх}$ предшествующего устройства - НП₂:

$$\delta k_A = \frac{R_{вх}}{R_{вх} + R_{вх}}.$$

В большинстве случаев $R_{вх} \leq 0,001 R_{вх}$ и этой погрешностью можно пренебречь. Абсолютная погрешность АЦП - Δ_A образуется из погрешности квантования $\Delta_{кв}$, погрешности смещения нуля Δ_0 , погрешности интегральной нелинейности $\Delta_{нл}$ и погрешности полной шкалы Δ_1 :

$$\Delta_A = \Delta_{кв} + |\Delta_0| + |\Delta_{нл}| + |\Delta_1|.$$

Погрешность квантования определяется с помощью кванта шкалы q , ширины диапазона преобразования L_v и разрядности n :

$$\Delta_{кв} \leq 0,5q, \quad \text{где } q = L_v / (2^n - 1).$$

Составляющие погрешности $\Delta_0, \Delta_{нл}, \Delta_1$ указываются в технических характеристиках АЦП. Они измеряются в числе единиц младшего разряда (ЕМР) или (в иностранной литературе) в числе младших значащих разрядов (МЗР), равных кванту шкалы АЦП: $1 \text{ ЕМР} = 1 \text{ МЗР} = q$.

Суммарная максимальная абсолютная погрешность АЦП в конце шкалы может быть найдена с помощью правила сложения случайных погрешностей в виде:

$$\Delta_A(\hat{y}) = [\Delta_{кв}^2 + \Delta_0^2 + \Delta_{нл}^2]^{1/2} + \Delta_1.$$

Максимальное значение относительной приведенной к верхнему пределу диапазона измерений величины погрешности равно:

$$\delta_A(\hat{y}) = \Delta_A(\hat{y}) / \hat{y}, \quad (9)$$

где \hat{y} - значение верхнего предела диапазона преобразований АЦП.

Динамической характеристикой АЦП является время преобразования $T_{пр}$.

Находим суммарную относительную приведенную погрешность ИК. Подставляем значения составляющих погрешности, найденные с помощью выражений (2), (4), (6), (8), (9), в выражение (1) и находим величину $\delta_{с2}(x)$.

В этом разделе курсового проекта необходимо:

- 1) определить значения погрешностей датчика, нормирующих преобразователей, коммутатора, АЦП;
- 2) рассчитать значение $\delta_{с2}(x)$ суммарной относительной приведенной статической погрешности измерений;
- 3) если статическая погрешность ИК существенно (более чем на порядок) превышает аналогичную погрешность датчика (чувствительного элемента), следует вернуться к выбору устройств ИК (пункт 2.1), провести новый расчет и добиться приемлемого результата.

2.3. Расчет динамических погрешностей ИК

Основными источниками динамических погрешностей ИК являются инерционность датчика и конечное время преобразования АЦП. Если величины постоянных времени нормирующих преобразователей (3), (7) и коммутатора (5) на 1-2 порядка меньше постоянной времени датчика τ , инерционностью этих устройств в расчете можно пренебречь. В дальнейшем полагаем эти устройства безынерционными.

Расчет динамических погрешностей ИК состоит из двух этапов:

- 1) расчета динамических погрешностей аналоговой части (АЧ) ИК;
- 2) расчета динамических погрешностей дискретизации-восстановления, возникающих из-за конечного времени преобразования АЦП [10].

Расчетная схема, которая служит для определения динамических погрешностей АЧ, приведена на рис. 5.

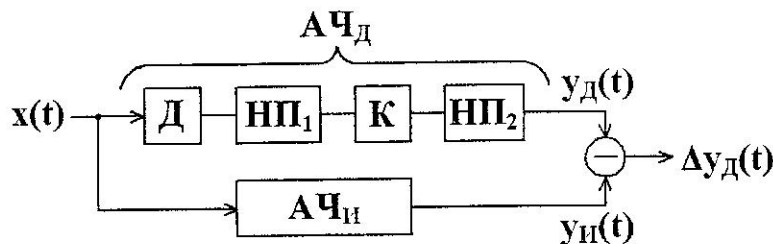


Рис. 5. Расчетная схема определения динамических погрешностей АЧ

На рис. 5 используются следующие обозначения:

- АЧ_д, АЧ_н - действительная и идеальная аналоговые части;
- y_д(t), y_н(t) - выходные сигналы АЧ_д и АЧ_н, соответственно;
- Δy_д(t) - динамическая погрешность АЧ.

За время работы ИК в определенные моменты времени измеряемая величина x(t) может изменяться с постоянной, случайной по величине скоростью v_x. В таблице вариантов приведено максимальное значение v_x скорости изменения измеряемой величины x(t) за время работы ИК. В качестве математической модели изменения величины x(t) в процессе расчета динамической погрешности АЧ будем использовать выражение:

$$x(t) = v_x t, \quad \text{для } t \geq 0.$$

Действительная передаточная функция АЧ_д находится в виде [10,11]:

$$W_d(p) = W_s(p) k_y k_{км} k_c = \frac{A}{\tau p + 1},$$

где $W_s(p) = \frac{S}{\tau p + 1}$ - передаточная функция датчика;

$k_y, k_{км}, k_c$ - коэффициенты передачи устройств НП₁, К и НП₂, соответственно;

$A = S k_y k_{км} k_c$ - статический коэффициент передачи АЧ_д;

S - чувствительность датчика.

Идеальная передаточная функция АЧ_н находится из выражения АЧ_д, приравняв нулю оператор p преобразования Лапласа [10]:

$$W_n(p) = W_d(0) = A.$$

Изображение динамической погрешности имеет вид (рис. 5):

$$\Delta y_d(p) = x(p) [W_n(p) - W_d(p)].$$

С помощью таблиц преобразования Лапласа находим изображение x(p) и подставляем в последнее выражение:

$$\Delta y_d(p) = \frac{v_x}{p^2} \frac{A \tau p}{\tau p + 1}.$$

Далее находим оригинал динамической погрешности:

$$\Delta y_d(t) = A v_x \tau [1 - \exp(-t/\tau)].$$

Найдем установившееся значение динамической погрешности; подставляем в него максимальное значение скорости \hat{v}_x и получаем максимальное значение относительной динамической погрешности, приведенной к верхнему пределу \hat{y} диапазона преобразования АЦП:

$$\delta_{д1} = A \hat{v}_x \tau / \hat{y}. \quad (10)$$

Рассмотрим определение динамических погрешностей, возникающих из-за конечного быстродействия АЦП.

В курсовом проекте используется способ восстановления аналоговых сигналов посредством симметричной ступенчатой экстраполяции.

Максимальное абсолютное значение искомой составляющей динамической погрешности за все время работы ИК равно:

$$\Delta y_d = 0,5 \hat{v}_x T_{пр},$$

где $\hat{v}_x = A \hat{v}_x$ - максимальная скорость входного сигнала АЦП.

Максимальное значение относительной динамической погрешности, приведенной к верхнему пределу \hat{y} диапазона преобразований АЦП, найдем в виде:

$$\delta_{д2} = \Delta y_d / \hat{y} = 0,5 A \hat{v}_x T_{пр} / \hat{y}. \quad (11)$$

Полагая обе составляющие динамической погрешности случайными и взаимно независимыми, найдем суммарную относительную приведенную динамическую погрешность измерений с помощью правила сложения случайных погрешностей:

$$\delta_{де} = [(\delta_{д1})^2 + (\delta_{д2})^2]^{1/2}. \quad (12)$$

Суммарная приведенная погрешность ИК находится с помощью выражений (1), (12):

$$\delta_z = \delta_{сг} + \delta_{де}.$$

Она является основной характеристикой точности измерений, выполняемых в ИК.

В этом разделе необходимо
 1) рассчитать обе составляющие динамической погрешности и найти суммарную приведенную динамическую погрешность $\delta_{дл}$;
 2) определить суммарную приведенную погрешность измерений δ_{Σ} ;
 3) если суммарная приведенная погрешность существенно (более чем на два порядка) превышает погрешность датчика (чувствительного элемента), следует вернуться на пункт 2.1, провести новый расчет и добиться приемлемого результата.

3. ПРИЛОЖЕНИЕ

3.1. Таблицы вариантов

Таблица 1. Варианты студентов группы А-71

№ варианта	Тип Д или ЧЭ	Диапазон измеряемой величины D_x	Максимальная скорость V_x	K	$R_{o, Om}$	$U_{cm, B}$	$S, мВ/кПа$
1	ТП	0...1000 град.С	3,2 град.С/с	7,5	-	-	-
2	ТР	-50...100 град.С	2,6 град.С/с	-	52	-	-
3	ДУ	0...12 м/с ²	15 м/с ³	-	-	1	-
4	ДД	0...100 кПа	62 кПа/с	-	-	-	3,27
5	ТП	0...800 град.С	4,4 град.С/с	10,5	-	-	-
6	ТР	0...100 град.С	8,1 град.С/с	-	100	-	-
7	ДУ	0...15 м/с ²	12,2 м/с ³	-	-	1,5	-
8	ДД	0...50 кПа	75 кПа/с	-	-	-	4,14
9	ТП	20...1200 град.С	6,6 град.С/с	9,2	-	-	-
10	ТР	-20...80 град.С	7,2 град.С/с	-	75	-	-
11	ДУ	0...9,2 м/с ²	8,6 м/с ³	-	-	1,25	-
12	ДД	0...80 кПа	42 кПа/с	-	-	-	3,56
13	ТП	0...1500 град.С	7,5 град.С/с	12,5	-	-	-
14	ТР	0...120 град.С	4,5 град.С/с	-	150	-	-
15	ДУ	0...8,5 м/с ²	9,5 м/с ³	-	-	1,4	-
16	ДД	0...75 кПа	56 кПа/с	-	-	-	3,82
17	ТП	0...1600 град.С	4,2 град.С/с	14,6	-	-	-
18	ТР	-20...+100 град.С	5,6 град.С/с	-	210	-	-
19	ДУ	0...13,6 м/с ²	9,8 м/с ³	-	-	1,6	-
20	ДД	0...90 кПа	65 кПа/с	-	-	-	4,22

Таблица 2. Варианты студентов группы А-72

№ варианта	Тип Д или ЧЭ	Диапазон измеряемой величины D_x	Максимальная скорость V_x	K	$R_{o, Om}$	$U_{cm, B}$	$S, мВ/кПа$
1	ДД	1..80 кПа	20 кПа/с	-	-	-	3,22
2	ДУ	1...20 м/с ²	2,8 м/с ³	-	-	0,75	-
3	ТР	± 100 град.С	3,1 град.С/с	-	110	-	-
4	ТП	20...500 град.С	5,2 град.С/с	13,4	-	-	-
5	ДД	1...120 кПа	32 кПа/с	-	-	-	4,14
6	ДУ	2...15 м/с ²	3,2 м/с ³	-	-	0,8	-
7	ТР	0...200 град.С	4,5 град.С/с	-	85	-	-
8	ТП	20...1350 град.С	3,5 град.С/с	10,8	-	-	-
9	ДД	2...140 кПа	110 кПа/с	-	-	-	4,52
10	ДУ	1...18,6 м/с ²	4,4 м/с ³	-	-	1,2	-
11	ТР	-20...150 град.С	5,7 град.С/с	-	125	-	-
12	ТП	0...1250 град.С	6,2 град.С/с	11,6	-	-	-
13	ДД	1...85 кПа	85 кПа/с	-	-	-	3,65
14	ДУ	3...21,4 м/с ²	7,8 м/с ³	-	-	0,65	-
15	ТР	-50...150 град.С	2,5 град.С/с	-	105	-	-
16	ТП	0...1450 град.С	4,8 град.С/с	9,5	-	-	-
17	ДД	0...125 кПа	105 кПа/с	-	-	-	3,85
18	ДУ	0...25,2 м/с ²	6,3 м/с ³	-	-	0,85	-
19	ТР	-40...+175 град.С	5,7 град.С/с	-	75,5	-	-
20	ТП	0...1800 град.С	2,9 град.С/с	8,6	-	-	-

3.2. Требования к оформлению курсового проекта

1. Курсовой проект должен быть оформлен грамотно и аккуратно, иметь титульный лист.
2. Результаты проектирования должны обеспечивать высокую точность измерений.
3. Текст курсового проекта может быть набран как на ЭВМ, так и вручную; в последнем случае он должен быть разборчив.
4. В целях облегчения проверки, расчеты должны содержать промежуточные результаты и сопровождаться словесными пояснениями.
5. Курсовой проект должен оканчиваться заключением, содержащим выводы по результатам проектирования.
6. Любые новые идеи и соображения в развитие темы проекта будут только приветствоваться.

4. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Макаров В.В. Курс лекций по дисциплине «ИИС», в рукописи.
2. Гутников В.С. Интегральная электроника в измерительных устройствах. - Л.: Энергоатомиздат, 1988. - 304 с.
3. Цапенко М.П. Измерительные информационные системы: Структуры и алгоритмы, системотехническое проектирование. - М.: Энергоатомиздат, 1985. - 439 с.
4. Каган Б.М., Воителев А.И., Лукьянов Л.М. Системы связи УВМ с объектами управления в АСУТП. Под ред. Б.М. Кагана. - М.: Советское радио, 1978. - 304 с.
5. Макаров В.В. Задание к домашней работе по курсу «ИИС», в рукописи.
6. Интегральные микросхемы: микросхемы для аналого-цифрового преобразования и средств мультимедиа. Выпуск 1. - М.: ДОДЭКА, 1996. - 384 с.
7. Микросхемы АЦП и ЦАП. - М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2005. - 432 с.
8. Федорков Б.Г., Телец В.А. Микросхемы ЦАП и АЦП: функционирование, параметры, применение. - М.: Радио и связь, 1988. - 320 с.
9. Кузнецов В.А., Ялунина Г.В. Общая метрология. - М.: Изд-во стандартов, 2001. - 272 с.
10. Макаров В.В. Метрология и электрические измерения. Ч.1. - М.: МГИЭМ, 1999. - 81 с.
11. Бессекерский В.А. Теория автоматического управления. - СПб.: Профессия, 2004. - 752 с.

Учебное издание

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КАНАЛА ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Составитель МАКАРОВ Владимир Васильевич

Редактор С.П. Клышнинская
Технический редактор О.Г. Завьялова

Подписано в печать 29.04.10. Формат 60x84/16. Бумага офсетная.
Ризография. Усл. - печ. л. 1.4. Уч.-изд. л. 0,95. Изд. № 42. Тираж 50 экз.
Заказ 402. Бесплатно.

Московский государственный институт электроники и математики.
109028, Москва, Б. Трехсвятительский пер. 3/12.

Отдел оперативной полиграфии Московского государственного
института электроники и математики. 113054,
ул. М. Пионерская, 12.