

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

С. С. ШАХКАМЯН

ВОПРОСЫ СТРУКТУРНОГО ПОСТРОЕНИЯ
 ЦИФРОВЫХ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ

Цифровые приборы для измерения температуры в настоящее время находят широкое применение в различных отраслях народного хозяйства.

Улучшение технических характеристик и расширение функциональных возможностей изделий микроэлектроники позволяет повысить эффективность сравнительно простых методов аналого-цифрового преобразования, что раньше было связано со значительными трудностями. Применение метода двухтактного время-импульсного преобразования [1, 2] наряду со схемой простотой обеспечивает и требуемые при технических измерениях метрологические характеристики, как при работе с термопреобразователями сопротивления (ТС), так и с термоэлектрическими преобразователями (ТЭ).

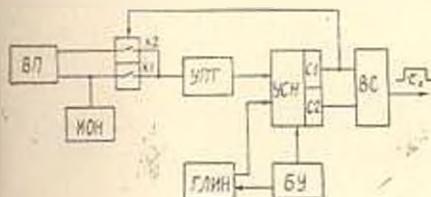


Рис. 1.

Основная функциональная схема преобразователя сигнала термодатчика и интервал времени приведена на рис. 1. Схема состоит из входного преобразователя (ВП) сигнала термодатчика в постоянное напряжение, источника опорного напряжения (ИОН), аналоговых ключей К1, К2, усилителя постоянного тока прямого усиления (УПТ), устройства сравнения напряжений (УСН), генератора линейно-изменяющего напряжения (ГЛИН), блока управления (БУ) и временного селектора (ВС). Преобразование происходит в два такта — в первом такте по сигналу БУ запускается ГЛИН и открывается ключ К1. Через некоторое время в момент времени t_1 выходные напряжения УПТ и ГЛИН становятся равными и происходит первое срабатывание УСН, выходной сигнал С1 которого открывает ключ К2 (закрывая К1) и ВС, на выходе которого формируется передний фронт импульсного сигнала интервала времени t_x . При этом входное напряжение УПТ скачком увеличивается на величину, равную выходному напряжению ВП.

В момент времени τ_x происходит второе срабатывание УСН. выходной сигнал С2 которого закрывает ВС и на его выходе формируется задний фронт сигнала интервала времени τ_x .

Длительность интервала времени равна:

$$\tau_x = K_n \left(U_{вх} + \Delta U_{вх} + \frac{1}{K_y} \Delta U_c \right), \quad (1)$$

где $K_n = K_y/K_r$ — коэффициент преобразования; K_y — коэффициент усиления УПТ; K_r — крутизна выходного напряжения ГЛИН; $U_{вх}$ — выходное напряжение ВП; $\Delta U_{вх}$, ΔU_c — изменения напряжения смещения УПТ и погрешности сравнения УСН за интервал времени τ_x .

Для уменьшения составляющей погрешности ΔU_c в УСН применяется один компаратор для обоих тактов преобразования, предложенный в [2].

В преобразователях, работающих с ТП, целесообразно предусмотреть узел автокомпенсации термо-э.д.с. свободных концов ТП. Тогда в качестве ВП целесообразно применить схему рис. 2, состоящую из

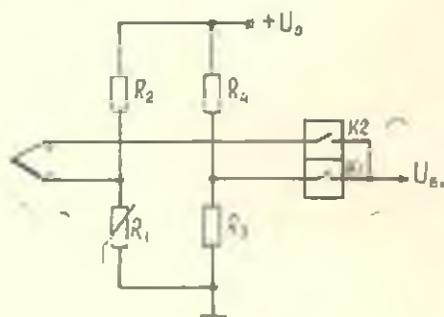


Рис. 2.

двух делителей напряжения. Эквивалентное значение входного напряжения, преобразуемое в интервал времени, равно

$$U_{вх, экв} = E_{ТП} + U_1 - U_2, \quad (2)$$

где $E_{ТП}$ — термо-э. д. с. ТП; U_1 , U_2 — падения напряжения на резисторах $R1$ и $R3$.

Резистор $R1$ — медный и устанавливается вблизи свободных концов ТП, поэтому имеем:

$$R_1 = R_0(1 + \alpha T_d), \quad (3)$$

где R_0 — сопротивление при $T_0 = 0^\circ\text{C}$; $\alpha = 4,28 \cdot 10^{-1} 1/^\circ\text{C}$ т. к. с. медного резистора.

При выборе параметров схемы из условия равенства падений напряжений на резисторах $R1$ и $R3$ при $T_0 = 0^\circ\text{C}$ и удовлетворения условия $U_1 - U_2 = \alpha R_0 I_1 T_0 = K_{ТП} T_0$ ($K_{ТП}$ — крутизна линеаризованной статической характеристики ТП в диапазоне температур окружающей среды) в процессе измерения осуществится также и автокомпенсация термо-э.д.с. свободных концов ТП. Погрешность измерения температуры с ТП составляет несколько градусов Цельсия и в значительной степени зависит от режима работы ТП [3]. Поэтому основная погрешность ЦТ при работе с ТП из благородных металлов (ТХА, ТХК) целесообразно брать не более $\pm 2^\circ\text{C}$ и разработать ЦТ с диапазоном измерений $0-600^\circ\text{C}$ для ТХК и $0-900^\circ\text{C}$ для ТХА, с ценой единицы младшего разряда, равной 1°C . Известно, что ТП имеют нелинейную статическую характеристику, поэтому длительность интервала времени τ_x также не-

линейно зависит от измеряемой температуры. На современном этапе развития микроэлектроники наиболее целесообразно применять цифровую линейаризацию, метод расчета схемы которой приведен в [4]. Схема блока преобразования интервала времени в цифровой код с одновременной линейаризацией статической характеристики термодатчика приведена на рис. 3.

При этом частота квантующих импульсов на каждом участке кусочно-линейной аппроксимации статической характеристики термодатчика будет определяться выражением

$$f_j = \alpha_j f_0, \quad (1)$$

где α_j — коэффициент линейаризации (см. табл.); f_0 — опорная частота.

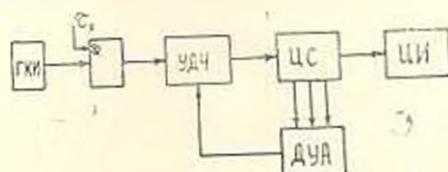


Рис. 3.

Параметры схемы цифровой линейаризации статических характеристик ТП приведены в табл. где ΔE_j , ΔT_j — погрешности кусочно-линейной аппроксимации статической характеристики датчика в узловых точках; $\Delta T_{j, \max}$ — максимальные значения погрешности внутри данного участка аппроксимации.

Таблица

Вид характеристики	Номер участка	Диапазон аппроксимации, °C		α_j	ΔE_j , мВ	ΔT_j , °C	$\Delta T_{j, \max}$, °C
		начало	конец				
ХК	1	0	50	8,7	-0,013	-0,22	0,55
	2	50	100	15,14	-0,003	-0,05	0,1
	3	100	200	1	-0,04	-0,8	2
	4	200	250	9,10	+0,068	-1	0,24
	5	250	300	11,12	0,038	0,5	0,71
	6	300	400	9,10	-0,088	-1,4	0,65
	7	400	500	6,7	+0,019	+0,33	0,6
	8	500	600	7,8	-0,084	-1,4	0,61
ХЛ	1	0	300	1	0	0	-0,82
	2	300	500	19,20	-0,13	+3	-0,8
	3	500	600	1	-0,06	-1,3	-0,87
	4	600	800	19,20	+0,14	+3,1	1,8
	5	800	900	19,18	-0,056	-1,27	-1,2
	6	900	1000	1	-0,069	-1,57	-0,43

При измерении температуры в комплекте с ТС информативный сигнал не равен нулю при измеряемой температуре $T=0^\circ\text{C}$ и имеет одну полярность для отрицательных и положительных температур. Следовательно, в схеме ЦТ необходимо предусмотреть подавление начального сигнала ТС и возможность автоматического определения знака измеряемой температуры.

Для исключения влияния сопротивления соединительной линии на результат измерений необходимо применять четырехпроводную схему подключения ТС.

Медные ТС Государственной системы промышленных приборов (ГСН) выпускаются по классам точности II, III с основной погрешностью $\pm 0,3^\circ\text{C}$ и более. Следует отметить, что для ТСМ кл. II погрешность измерения температуры из-за разброса значений коэффициента α при $T=200^\circ\text{C}$ может составлять примерно $\pm 0,5^\circ\text{C}$, а для ТСМ кл. III будет в два раза больше, поэтому вполне достаточно иметь погрешность дискретности $0,1^\circ\text{C}$.

Погрешность ТС значительно увеличивается в зависимости от режима (температуры и длительности воздействия) работы, поэтому для технических измерений с медными ТС основную погрешность ЦТ целесообразно брать в пределах $0,2 \dots 0,5^\circ\text{C}$. При этом целесообразно разработать 2 модификации ЦТ с диапазоном измерений от -60 до $99,9^\circ\text{C}$ и от -180 до 180°C с ценой единицы младшего разряда $0,1^\circ\text{C}$.

При измерении температуры с платиновыми ТС в ЦТ необходимо предусмотреть устройство линеаризации статической характеристики ТС. При широком диапазоне измерений целесообразно использовать цифровую линеаризацию и цифровой блок ЦТ построить по схеме рис. 3. Методика расчета и параметры схемы для диапазона измерений от -200 до 650°C приведены в [4].

Для повышения точности измерений с ТС в широком диапазоне внешних влияющих величин целесообразно применять метод образцовой меры. При этом процессе измерения состоит из двух циклов. В первом цикле измеряется сопротивление датчика, а во втором — сопротивление образцового резистора. Функциональная схема такого ЦТ приведена на рис. 4. Питание ВП осуществляется от источника напряжения (ИН), который гальванически развязан от остальных узлов ЦТ. В качестве ИОН используется падение напряжения на резисторе R2 и одном соединительном проводе. В качестве источника входного напряжения ГЛНН используется падение напряжения на резисторе R3. Такая схема ВП обеспечивает исключение влияния изменений напряжения ИН и соединительной линии на результат измерений. Схема работает следующим образом. В первом цикле сигнал устройства управления (УУ) замыкает ключ К1, дает разрешение на переключение ключей К3, К5, запускает ГЛНН, устанавливает УСН на начальное состояние, а РЦС — на режим работы «сложение».

Эквивалентное входное напряжение УПТ и крутизна ГЛНН равны

$$U_{\text{вх}} = iR_{\text{ТС}}, \quad K_T = \frac{IR_3}{\tau_1}, \quad (5)$$

где i — измерительный ток датчика; $R_{\text{ТС}}$ — сопротивление ТС; τ_1 — постоянная времени интегрирующей цепи ГЛНН.

Следовательно, в конце первого цикла на РЦС будет записано число

$$N_1 = f_K \tau_x = K_{\text{ин}} R_{\text{ТС}} = N_0 + N_T, \quad (6)$$

где f_x — частота квантующих импульсов; $K_{пр} = f_x K$ — коэффициент преобразования сопротивления в число импульсов;

$$\tau_x = K_y \frac{R_{TC}}{R_1} \tau_T = K_T R_{TC}.$$

Во втором цикле сигнал УУ замыкает ключ К2 (размыкая К1), дает разрешение на переключение ключей К4 и К5, заново запускает ГЛНН и устанавливает УСН на начальное состояние, а РЦС — на режим работы «вычитание». В конце второго цикла на РЦС будет записано число

$$N_T = N_X - N_0, \quad (7)$$

где $N_0 = K_{пр} \cdot R_1$; R_1 — сопротивление образцового резистора, равное сопротивлению ТС при $T = 0^\circ\text{C}$.

Для медного ТС получим:

$$N_T = K_{пр} \cdot \alpha \cdot R_1 \cdot T = K_T T, \quad (8)$$

где $K_T = K_{пр} \cdot \alpha \cdot R_1$ — коэффициент преобразования температуры.

При переходе РЦС через нулевое состояние, которое имеет место при измерении отрицательных температур, необходимо РЦС автоматически переключить на режим работы «сложение». Следовательно, знак измеряемой температуры определится по состоянию РЦС в конце цикла измерения.

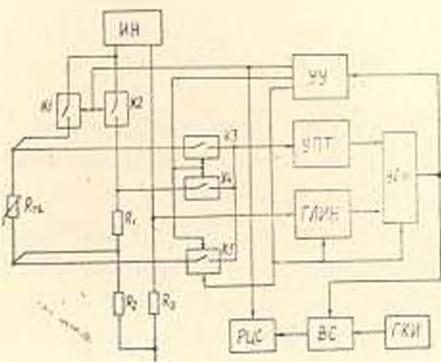


Рис. 4.

ГСКБ ПЭА

Поступило 15. X. 1981

Ս. Ս. ՇԱՎԿԱՄՅԱՆ

ԶԵՐՄԱՍՏԻՃԱՆԻ ԹՎԱՅԻՆ ԶԱՓԻԶ ՍԱՐԳՅԵՐԻ ԿՍՈՒՅՎԱԾՔԱՅԵՅԻՆ
ՍՈՒՆԱԿՆՄԱՆ ՀԱՐՑԵՐԸ

Ա մ փ ո փ ո ս լ մ

Տրված է ջերմաստիճանի թվային չափիչ սարքերի հիմնական ֆունկցիոնալ սխեման ջերմադիմադրությունների և ջերմադույզերի սարքեր ստատիկական բնութագրեր ունեցող սվիչների հետ աշխատելու դեպքում, հիմնադրված են թվային ջերմաչափերում սվիչի սպառանշանը թվային կոդի ձևափոխելու մեթոդները և սխեմայի հիմնական պարամետրերի որոշման համար տրված են հաշվարկային բանաձևեր:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Гитис Э. Н. Преобразователи информации для электронных цифровых вычислительных устройств. М., «Энергия», 1975
2. Шахмян А. С., Шахмян С. С. Устройство сравнения напряжений. Авт. свид. № 627350, БИ № 37, 1978.
3. ГОСТ 3041—77. Преобразователи термоэлектрические, градуировочные таблицы.
4. Куликовский К. Л., Шахмян А. С., Шахмян С. С. Метод расчета схемы цифровой линеаризации функции преобразования измерительных устройств. «Приборы и системы управления», 1978, № 8.