

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЕ СРЕДСТВА ГРАДУИРОВКИ И ОТБРАКОВКИ ПЕРВИЧНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ТЕРМОМЕТРОВ И ТЕРМОАНЕМОМЕТРОВ ПО ТЕМПЕРАТУРЕ

Зори А.А. д.т.н. проф., Кузнецов Д.Н. аспирант.
E-mail: kuzen@skif.net.

Донецкий национальный технический университет, кафедра ЭТ.

The electronic system of graduation of primary measuring converters of thermometers and thermoanemometers on temperature is offered. The technique of graduation, algorithm of work of system and its software is described. The technique of processing of results and criterion of selection termistors is offered.

В настоящее время в СКТБ “Турбулентность” при Донецком национальном университете для ИИС измерения расхода природного газа в качестве первичных измерительных преобразователей (ПИП) термометра и термоанемометра применяются малогабаритные термисторы СТЗ-19. Разброс параметров и большой процент брака используемых термисторов требуют индивидуальной градуировки каждого из них.

Задачами градуировки ПИП по температуре являются:

- определение градуировочных коэффициентов;
- выявление термисторов с большим отклонением параметров от нормативных (брак).
- установление области использования термисторов (термометрия или термоанемометрия).

Зависимость сопротивления термистора от температуры выражается формулой:

$$R_t = R_o \cdot e^{\frac{B \cdot T_o - T}{T_o \cdot T}}, \quad (1)$$

где $T_o = 273,15$ °K; $R_o = R_t(T_o)$; B – постоянный коэффициент.

Методика градуировки заключается в том, что каждый термистор помещается в жидкую среду температура которой изменяется в пределах рабочего диапазона (от 0 до 130°С) и может быть установлена, поддержана и измерена с высокой точностью. Устанавливаются определенные значения температуры и фиксируются соответствующие им показания вольтметра, подключенного к выходу блока первичной обработки сигнала (БПОС) от термистора. Полученные данные обрабатываются с целью определения градуировочных постоянных (R_o , B) и отбраковки непригодных термисторов.

Для сокращения времени градуировки, повышения точности определения градуировочных коэффициентов и минимизации участия оператора была разработана электронная система градуировки (рис.1.а). Она построена на базе однокристалльного flash микроконтроллера (МК) AT89C52 фирмы Atmel и 12-разрядного АЦП с последовательным выходом AD7895AN-10. Диапазон входных напряжений АЦП составляет от –10 В до +10 В.

Система позволяет одновременно градуировать до 7 термисторов, которые подключаются через БПОС ко входам 1-7 аналогового коммутатора АМХ1. На восьмой вход подается сигнал от образцового термометра. Предел допустимой относительной погрешности каналов ввода аналоговых сигналов составляет $\pm 1\%$. Диапазоны изменения входных напряжений системы составляют: от –0,012 В до –1,3 В по каналам 1...7 и от 0,1 до +1,4 В по восьмому

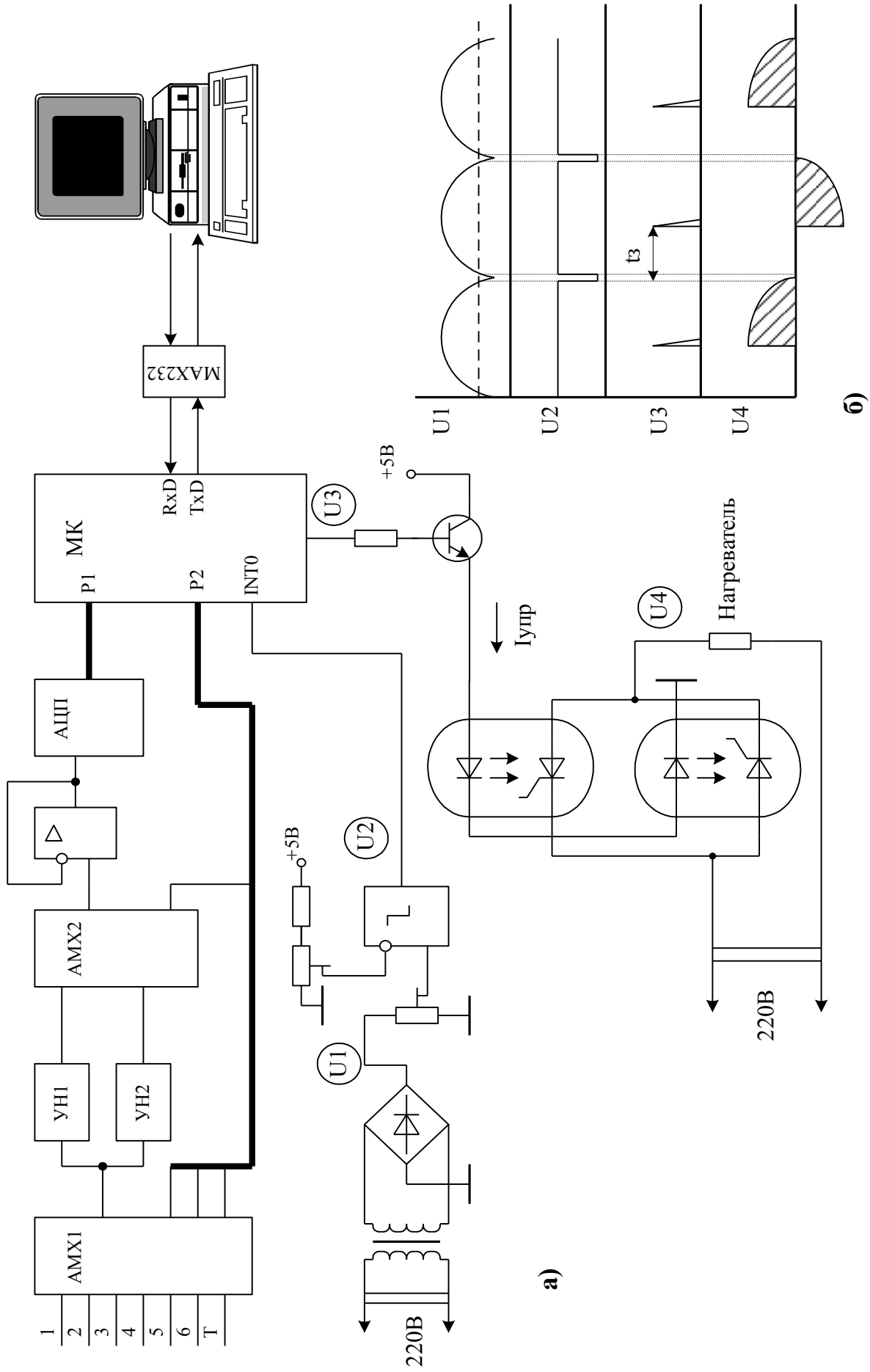


Рис.1. а) функциональная схема электронной системы градуировки;
 б) диаграммы напряжений в контрольных точках.

каналу. Для обеспечения заданной точности по каналам ввода аналоговых сигналов диапазон входных напряжений системы разбит на два поддиапазона (по абсолютным значениям):

- первый поддиапазон входных напряжений – от 0,01 до 0,14 В;
- второй поддиапазон входных напряжений – от 0,14 до 1,4 В.

Если уровень напряжения по какому-либо из каналов соответствует первому поддиапазону, то сигнал усиливается усилителем напряжения УН1 с коэффициентом передачи $K_{u1}=70$, иначе будет задействован усилитель УН2 с $K_{u2}=7$. Выбор усилителя осуществляется программно посредством коммутатора АМХ2.

Для установки заданных значений температуры в системе предусмотрено фазовое управление мощностью нагревателя. Временные задержки импульсов открытия силовых тиристоров (t_z) формируются микроконтроллером программно, благодаря чему существенно упрощена схема управления мощностью нагревателя. На рис.1.б представлены диаграммы напряжений в контрольных точках схемы, поясняющие работу тиристорного регулятора. Компаратор DA2 формирует импульсы низкого уровня в моменты перехода напряжения сети через нуль. Эти импульсы поступают на вход INT0 внешнего запроса прерывания микроконтроллера. В эти моменты выполнение основной программы временно прекращается и выполняется подпрограмма обработки внешнего прерывания, которая загружает в счетный регистр таймера T0 микроконтроллера значение, соответствующее t_z , и запускает таймер T0. По истечению времени t_z таймер T0 переполняется и МК формирует короткий импульс, открывающий один из тиристоров.

Программное обеспечение состоит из программы инициализации, подпрограмм обработки прерываний от таймеров T0, T1 и подпрограммы обработки запроса внешнего прерывания по входу INT0. Алгоритм работы системы следующий:

- 1) Начальная инициализация портов и регистров микроконтроллера при подаче питания или нажатии на кнопку “Сброс”.
- 2) Передача в персональный компьютер кода готовности к работе.
- 3) Получение от персонального компьютера ряда контрольных значений температуры.
- 4) Установка ближайшего большего значения температуры из ряда заданных контрольных значений.
- 5) Быстрый опрос каналов за время $T_{опр}=0,8$ мс и усреднение напряжений по каждому каналу за период $T_{уср}=25$ мс (по тридцати значениям).
- 6) Передача результатов в ПК, их вывод на монитор для текущего контроля и запись в файл.
- 7) Повтор п. 4-6 для каждого контрольного значения температуры.
- 8) Завершение работы, отключение нагревателя.

Период опроса канала измерения температуры определяется частотой переполнения таймера T1 и составляет 0,5 секунд. На рис.2. представлена блок-схема подпрограммы обработки прерывания от таймера T1. Эта подпрограмма вызывается циклически через каждые 0,5 секунд, проверяет, достигла ли температура среды текущего контрольного значения, и если достигла, то осуществляет быстрый опрос всех каналов, усреднение напряжений по каждому из них и передачу результатов в компьютер. Период опроса одного канала при этом определяется формулой:

$$T = t_{AMX1} + t_{AMX2} + t_{ацп} + t_{пер} , \quad (2)$$

где t_{AMX1} , t_{AMX2} – время переключения аналоговых коммутаторов АМХ1 и АМХ2;
 $t_{ацп}$ – время преобразования АЦП;
 $t_{пер}$ – время передачи данных от АЦП к микроконтроллеру.

Для данной системы период T составляет порядка 100 мкс, что дает возможность многократного опроса каналов за заданный короткий интервал времени усреднения $T_{уср}$. С одной стороны, чем меньше $T_{уср}$, тем меньше изменение температуры и, следовательно, выше точ-

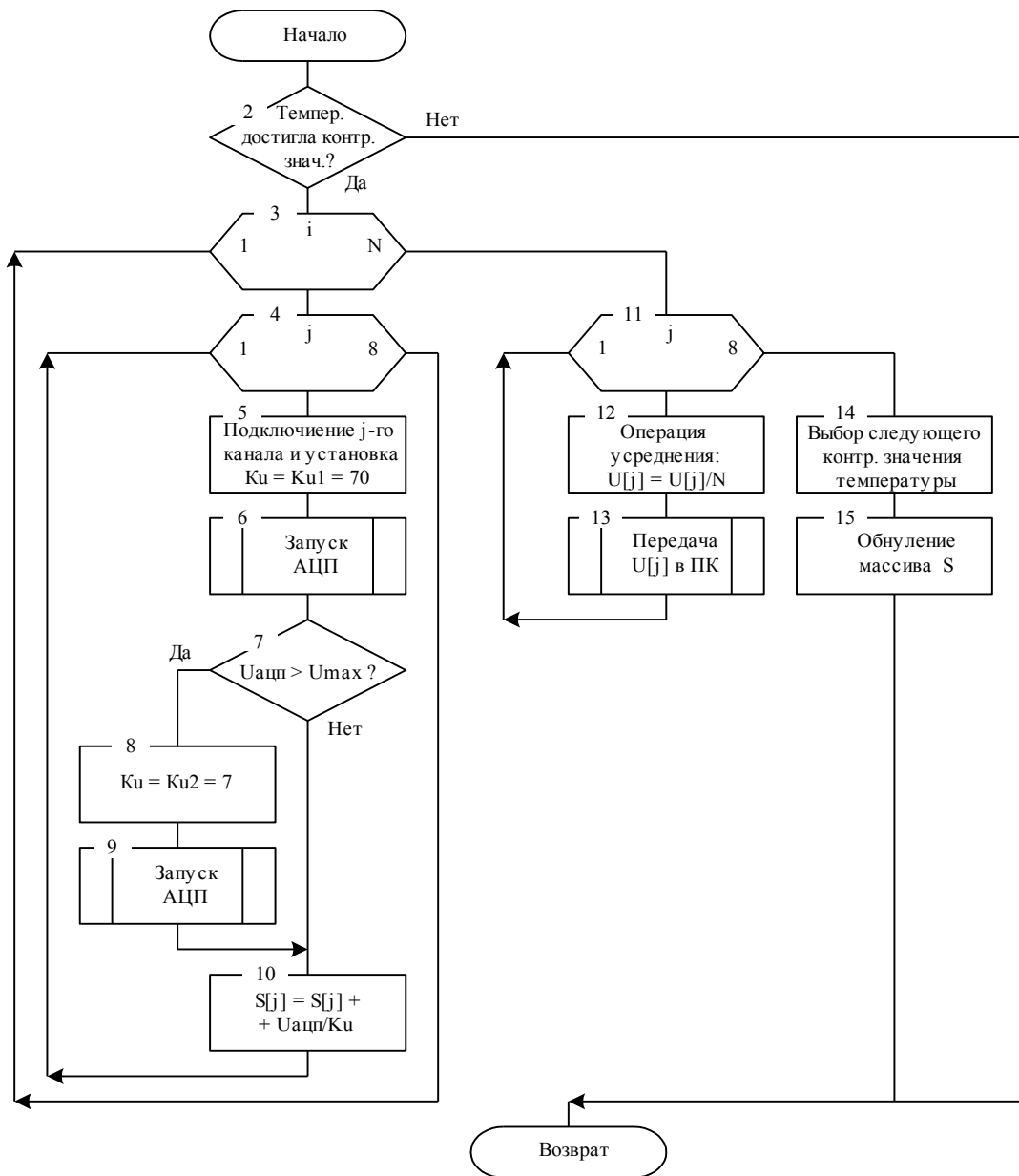


Рис.2. Блок-схема подпрограммы обработки прерывания от таймера T1.

ность. С другой, – чем больше значений измеряемой величины мы будем иметь за время $T_{\text{уср}}$, тем выше эффективность усреднения и меньше случайная составляющая погрешности. Очевидно, что необходимо стремиться к уменьшению периода опроса каждого канала T . Однако эта величина имеет конечное минимальное значение, определяемое аппаратными возможностями системы. Практически было выбрано $T_{\text{уср}}=25$ мс. За это время система успевает опросить каждый канал 30 раз.

В зависимости от уровня сигнала выбирается коэффициент усиления $Ku1$ или $Ku2$. Введенные с каждого канала напряжения суммируются в массиве S , и по истечении времени равного периоду усреднения выполняется операция усреднения. Усредненные значения напряжений по каждому каналу передаются в последовательный порт персонального компьютера стандарта IBM PC и записываются в файл. По завершению измерений накопленные данные обрабатываются и по каждому термистору создается протокол градуировки, на основании которого принимается решение о целесообразности использования данного термистора в термометре, термоанемометре или его отбраковка по причине сильного отклонения па-

раметров от нормативных, указанных в ТУ. В качестве примера в таблицах 1-3 приведены протоколы результатов градуировки термисторов серии СТЗ-19.

Градуировка осуществляется в двух температурных поддиапазонах. Первый – от 0 до 50 °С, второй – от 100 до 130 °С. Разбиение на поддиапазоны вызвано тем, что в термометре термисторы работают при температурах не выше 50 °С, а в термоанемометре задается перегрев порядка 120-130 °С. Измерения при температурах 80 и 90 °С выполняются с целью дополнительного контроля. Температуре жидкости $T_{ж}$ соответствует напряжение термистора E_t . По известным значениям E_t рассчитываются значения сопротивления термистора R_t и далее параметра B . Затем из формулы (1) находят $T_{изм}$ (температуру, измеренную с помощью термистора) и рассчитывают абсолютную погрешность ($\Delta = T_{изм} - T_{ж}$). Определяется среднее квадратическое отклонение (СКО) погрешности измерения температуры по поддиапазонам. В две последние колонки заносят значения сопротивления термистора при 0 °С и при 120 °С, а также усредненные по поддиапазонам значения параметра B .

Критерии пригодности термистора к использованию в термометре или термоанемометре основаны на характеристиках погрешности измерения с его помощью температуры. Критериями, в частности, являются уровень абсолютной погрешности Δ , характер ее распределения по температурным поддиапазонам, а также СКО погрешности измерения температуры в поддиапазонах. Практически более значимым является критерий отбора термисторов по СКО разности измеренных и истинных значений температур в поддиапазонах. По величине СКО в первом поддиапазоне принимается решение о пригодности термистора к использованию в термометре, во втором – в термоанемометре. Граница допустимого значения СКО для термисторов термометра принята равной 0,2 °С на основании требований к точности термометра, для термисторов термоанемометра – 0,5 °С. Если же СКО в каком либо поддиапазоне превышает значение 3 °С, термистор отправляется на повторную градуировку или отбраковывается.

Табл.1 Протокол градуировки термистора №198К.

№ 198 К									
$T_{ж}, ^\circ\text{C}$	$E_t, \text{В}$	$R_t, \text{Ом}$	$B, ^\circ\text{C}$	$T_{изм}, ^\circ\text{C}$	$T_{ж}-T_{изм}$	СКО, °С	R_0	R_{120}	Вывод
0,1	1028,9	5196,465	#ДЕЛ/0!	0,096274	0,003726	1,7024	5216,291	137,4709	
10,15	686,4	3466,667	3117,232	10,89628	-0,74628		B		
20,5	540,8	2731,313	2529,548	17,66631	2,83369		2909	3254	
29,43	343,3	1733,838	3093,949	31,50732	-2,07732				
39,67	262,8	1327,273	2948,125	40,27857	-0,60857				
49,55	207,6	1048,485	2854,041	48,44846	1,101543				
80,11	70,1	354,0404	3240,814	77,96691					
90,02	54,2	273,7374	3248,435	88,38983					
99,62	43	217,1717	3249,589	99,41397	0,206034	0,4692			Пригоден к использованию в термоанемометре
110,18	34,1	172,2222	3241,744	109,5759	0,504084				
120,38	26,9	135,8586	3257,816	120,5586	-0,17856				
130,1	21,8	110,101	3266,861	130,8337	-0,7337				

Используя выбранный критерий и приведенные протоколы градуировки термисторов, установим области их использования. Термистор №198 (табл.1.) не пригоден для использования в термометре, т.к. фактическое СКО погрешности измерения температуры данным термистором в первом температурном поддиапазоне имеет значение 1,7024 °С, превышающее установленное граничное значение 0,2 °С. Однако по второму поддиапазону СКО равное 0,4692 °С не превышает допустимого значения для этого поддиапазона 0,5 °С, поэтому термистор №198 пригоден к использованию в термоанемометре. Аналогичным образом де-

лаем вывод о пригодности термистора №205К (табл.2) для термометра ($0,1467 < 0,2$). СКО погрешности измерений температуры посредством термистора №224К (табл.3) не превышает граничных значений ни в первом ни во втором температурном поддиапазоне, поэтому считаем его универсальным пригодным и для термометра и для термоанометра.

Табл.2 Протокол градуировки термистора №205К.

№ 205 К									
T _ж , °C	E _t , В	R _t , Ом	B, °C	T _{изм} , °C	T _ж -T _{изм}	СКО, °C	R ₀	R ₁₂₀	Вывод
-0,35	905,5	4573,232	#ДЕЛ/0!	0,097348	0,002652	0,1467	4592,279	132,7874	Пригоден к использованию в термометре
10,33	591,3	2986,364	3095,458	10,62111	0,15889		B		
20,24	407,5	2058,081	3113,385	20,50078	0,189222		3140	3171	
29,91	288,9	1459,091	3130,875	30,26057	0,099429				
39,78	207,9	1050	3139,691	40,22357	0,006427				
50,09	150,2	758,5859	3150,17	50,73162	-0,19162				
80,39	78,5	396,4646	2929,553						
90,25	55,2	278,7879	3069,872						
100,67	41,9	211,6162	3111,155	99,5223	1,597697	1,5960			
110,08	30,7	155,0505	3212,883	112,5842	-2,05423				
120,03	25,9	130,8081	3175,668	120,7304	-0,25044				
130,41	20,8	105,0505	3185,81	131,7597	-0,89967				

Табл.3 Протокол градуировки термистора №224К.

№ 224 К									
T _ж , °C	E _t , В	R _t , Ом	B, °C	T _{изм} , °C	T _ж -T _{изм}	СКО, °C	R ₀	R ₁₂₀	Вывод
-0,49	981,5	4957,071	#ДЕЛ/0!	0,107913	0,002087	0,1062	4980,373	132,876	Пригоден к использованию в термометре
10,3	632,8	3195,96	3157,39	10,77655	0,123455		B		
20,64	426,4	2153,535	3173,98	21,10951	0,130489		3192	3243	
29,42	311	1570,707	3183,243	29,92683	0,093168				
39,83	218,3	1102,525	3194,625	40,46575	-0,03575				
49,56	160,3	809,596	3198,558	50,27926	-0,11926				
80,24	66,9	337,8788	3218,229	84,56117					
90,04	51,9	262,1212	3228,082	90,20803					
99,69	40,9	206,5657	3237,138	100,0363	0,253743	0,2081			Пригоден к использованию в термоанометре
109,44	32,6	164,6465	3243,097	110,0378	0,002189				
119,75	26,1	131,8182	3243,659	120,378	-0,02804				
129,71	21,2	107,0707	3247,42	130,5646	-0,25464				

Выводы. Использование рассмотренной электронной системы значительно сократило общее время градуировки благодаря автоматизации процесса и возможности одновременной градуировки семи термисторов. Предложенные схмотехнические решения позволили упростить схему, конструкцию, уменьшить стоимость системы и обеспечить заданную точности измерительного канала. Быстрый опрос каналов позволил снизить погрешность, вызванную колебаниями температуры за период опроса. Предложена методика обработки результатов и критерий отбора термисторов.

Литература

1. Ференец В.А. Полупроводниковые струйные термоанометры. – М.: “Энергия”, 1986.
2. Бродин В.Б., Шагурин И.И. Микроконтроллеры. Архитектура, программирование, интерфейс. – М.: Издательство ЭКОМ, 1999, –400 с.: илл.
3. Сташин В.В., Урусов А.В., Мологонцева О.Ф. Проектирование цифровых устройств на однокристалльных микроконтроллерах. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 224 с.