

Ա.Ս. ՇԱՂԳԱՍՅԱՆ, Լ.Կ. ԲԵԳՈՑԱՆ

ԹՎԱՅԻՆ ՋԵՐՄԱՉԱՓ ՋԵՐՄԱԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ԿԵՐԱՎԱՓՈԽՉՈՎ

Մշակվել է ջերմաէլեկտրական կերպափոխիչով աշխատող թվային ջերմաչափի կառուցվածքային սխեման, առաջարկված է ջերմաէլեկտրական կերպափոխիչի (ՋԿ) ստատիկ բնութագրի գծայնացման եղանակ, բերված են գծայնացման պարամետրերի հաշվարկի բանաձևերը և $TTP(R)$ տիպի ՋԿ-ի գծայնացման պարամետրերի հաշվարկների արդյունքները:

Առանցքային բառեր. թվային ջերմաչափ, ջերմաէլեկտրական կերպափոխիչ, գծայնացում:

Ջերմաստիճանի չափման համակարգերում լայն տարածում են ստացել ջերմաէլեկտրական կերպափոխիչները (ՋԿ), որոնք օգտագործվում են հիմնականում բարձր ջերմաստիճանների չափման համար: Շահագործման ընթացքում առաջանում է լրացուցիչ սխալանք՝ կախված շահագործման պայմաններից, այդ պատճառով անհրաժեշտ է իրականացնել ՋԿ-ի պարբերական ստուգաչափում: Սովորաբար այդ նպատակով ՋԿ-ները հանվում են օբյեկտից և ուղարկվում չափագիտական լաբորատորիա, ինչը պահանջում է լրացուցիչ ծախսեր, իսկ որոշ դեպքերում հանգեցնում է նաև օբյեկտի տեխնոլոգիական ռեժիմի խախտման: Նշված թերությունների վերացման համար նպատակահարմար է ՋԿ-ների ստուգաչափումն իրականացնել տեղում՝ օբյեկտի նույն ջերմաստիճանային դաշտում տեղադրելով համապատասխան ճշգրտությամբ տվիչ՝ ստուգաչափվող ՋԿ-ի հարևանությամբ: Ներկայումս արտադրվում են $KTXA$, $KTXK$, $KTHH$, $KTXA$, $KTJK$ տիպերի ՋԿ-ներ, որոնց պահպանիչ պատյանում նախատեսված է լրացուցիչ անցք՝ ճշգրիտ մալուխային տվիչ տեղադրելու համար: Մալուխային տվիչներն ունեն համեմատաբար բարձր չափագիտական բնութագրեր ու փոքր չափսեր և ներկայումս լայն տարածում են ստանում ջերմաստիճանի չափման ու հսկման համակարգերում [1]: Արդյունաբերական օբյեկտներում տեղադրված ՋԿ-ների ստուգաչափման նպատակով առաջարկվում է մշակել մալուխային տվիչներով աշխատող բարձր ճշգրտության թվային ջերմաչափ: Գործնականում 600°C -ից բարձր ջերմաստիճանների չափման համար հիմնականում օգտագործվում են ՋԿ-ներ, որոնց սխալանքները մեծ են $1,5^{\circ}\text{C}$ -ից: Աղ. 1-ում բերված են արդյունաբերությունում օգտագործվող ՋԿ-ների թույլատրելի սխալանքների սահմանային արժեքներն ըստ ԳՕՍՏ 3044-94-ի [2]: Համաձայն ԳՕՍՏ 8.558-2009-ի [3]՝ ջերմաստիճանի 3-րդ կարգի աշխատանքային էտալոնի և աշխատանքային ՋԿ-ի վստահելի սխալանքների սահմանների հարաբերությունը պետք է լինի փոքր $0,5$ -ից, հետևաբար՝ մշակվող թվային ջերմաչափում օգտագործվող ՋԿ-ի ազատ ծայրերի ջերմաէլեկտրիկ համակշռման սխալանքը նպատակահարմար է ընտրել փոքր $0,25^{\circ}\text{C}$ -ից:

Թվային ջերմաչափների մշակման հիմնական խնդիրներից է տվիչների ոչ գծային ստատիկ բնութագրի գծայնացումը: Ներկայումս օգտագործվում են գծայնացման տարբեր եղանակներ: Մշակվող թվային ջերմաչափում նպատակահարմար է օգտագործել տվիչի ստատիկ բնութագիրը բեկյալով մոտարկելու եղանակը (նկ. 1): Մոտարկման ճշգրտությունը կախված է մոտարկման քայլից: Թվային ջերմաչափի սխեմայի պարզեցման նպատակով մոտարկումը կատարվում է հաստատուն քայլով՝ ըստ ջերմաէլշուի: Մոտարկող բեկյալի գազաթնթին համապատասխանող ջերմաստիճանների արժեքները գրանցվում են միկրոկոնտրոլերի հիշողությունում, իսկ մոտարկման j-րդ տեղամասի ներսում ջերմաստիճանի արժեքը որոշվում է հետևյալ բանաձևով՝

$$\theta_{jx} = \theta_{j-1} + K_j(E_{jx} - E_{j-1}), \quad (1)$$

որտեղ θ_{j-1} -ը բեկյալի j-րդ տեղամասի սկզբնակետին համապատասխանող ջերմաստիճանն է, K_j -ն՝ բեկյալի թեքությունը j-րդ տեղամասում, E_{jx} -ը՝ բեկյալի j-րդ տեղամասի ներսում գտնվող չափվող ջերմաստիճանի ջերմաէլշուն, E_{j-1} -ը՝ բեկյալի j-րդ տեղամասի սկզբնակետին համապատասխանող ջերմաէլշուն:

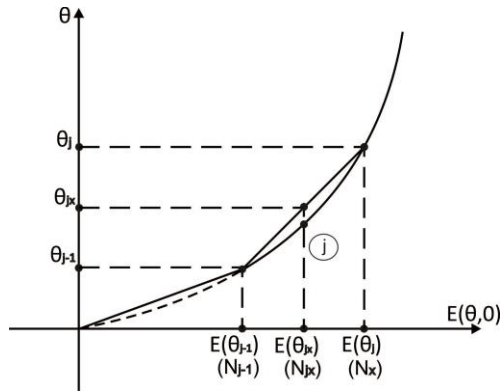
Աղյուսակ 1

ՋԿ-ների սխալանքների սահմանային արժեքները

Ջերմաստիճանը, °C	ՋԿ-ների սխալանքի սահմանը, °C															
	BP (A-2)	ПР(В) 2-րդ դաս	ПП(С) 2-րդ դաս	ХА(К)		ХК(Е)		МК _и (Т)		ЖК(І)		СС(І)		НН(Н)		
				1-ին դաս	2-րդ դաս	1-ին դաս	2-րդ դաս	1-ին դաս	2-րդ դաս	1-ին դաս	2-րդ դաս	1-ին դաս	2-րդ դաս	1-ին դաս	2-րդ դաս	
100	-	-	1,5	1,5	2,5	1,5	2,5	0,5	1,0	1,5	2,5	1,5	2,5	1,5	2,5	
200	-	-	1,5	1,5	2,5	1,5	2,5	0,8	1,5	1,5	2,5	1,5	2,5	1,5	2,5	
300	-	-	1,5	1,5	2,5	1,5	2,5	1,2	2,25	1,5	2,5	1,5	2,5	1,5	2,5	
400	-	-	1,5	1,6	3,0	1,6	3,0	1,6	3,0	1,6	3,0	1,6	3,0	1,6	3,0	
600	-	1,5	1,5	2,4	4,5	2,0	4,5	-	-	2,4	4,5	2,4	4,5	2,4	4,5	
750	-	1,87	1,9	3,0	5,6	3,2	5,6	-	-	3,0	5,0	3,0	5,0	3,0	5,6	
800	-	2,0	2,0	3,2	6,0	4,0	6,0	-	-	3,2	6,0	3,2	6,0	3,2	6,0	
1000	7,0	2,5	2,5	4,0	7,5	-	7,5	-	-	-	-	-	-	4,0	7,5	
1200	8,4	3,0	3,0	-	9,0	-	9,0	-	-	-	-	-	-	-	-	
1600	11,2	4,0	4,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1700	11,9	4,25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1800	12,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2200	15,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Ներկայումս արտադրվող ՋԿ-ներից ամենաբարձր ճշգրտությունն ունեն պլատինային խմբի ՋԿ-ները: Նպատակահարմար է ընտրել պլատին-պլատինառողիումային ТПП (R) տիպի ՋԿ, որը նախատեսված է մինչև 1800 °C ջերմաստիճան չափելու համար: ՋԿ-ի ստատիկ բնութագրի մոտարկման ֆունկցիայի գազաթնթին արժեքների

օպտիմալ ընտրության համար նպատակահարմար է մոտարկման քայլն ըստ ջերմա-
էլշուի ընտրել այնպիսին, որ դրա ուժեղացված արժեքն արտահայտվի 2^k թվով:



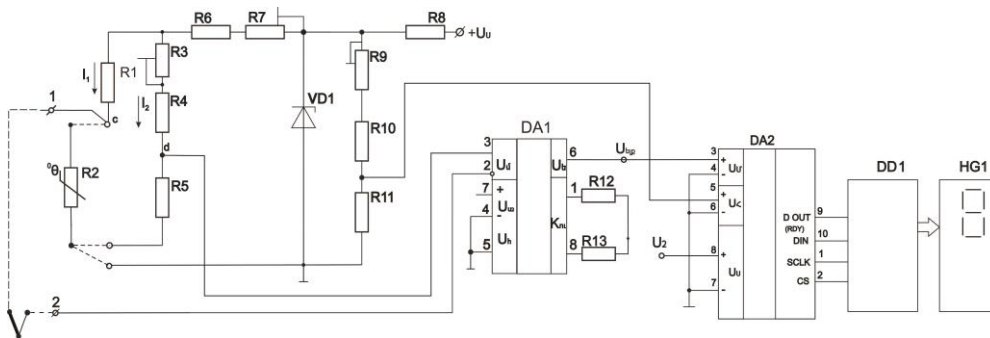
Նկ. 1. ՋԿ-ի ստատիկ բնութագրի մոտարկումը բեկյալով

Մոտարկման սխալանքը թույլատրելի սահմաններում ստանալու նպատակով ընտրում ենք $k=13$, որը $\theta > 600^\circ\text{C}$ տիրույթում համապատասխանում է մոտավորապես 68°C ջերմաստիճանին: Նկատի ունենալով, որ ՋԿ-ները հիմնականում օգտագործվում են բարձր ջերմաստիճանների չափման համար, կարելի է ստատիկ բնութագրի մոտարկումը բեկյալով սկսել $N_x=2048$ թվին համապատասխան ջերմաստիճանից ($112,33^\circ\text{C}$), իսկ մոտարկման քայլն ընտրել $\Delta N=2048$: Աղ. 2-ում բերված են պլատին-պլատինառողիումային ՋԿ-ի (R տիպի) ստատիկ բնութագրի մոտարկման տվյալները:

Թվային ջերմաչափի կառուցվածքային սխեման բերված է նկ. 2-ում: ՋԿ-ի ջերմաէլշուն ուժեղացվում է DA1 սարքային ուժեղարարով (ՄՈւ) և միաժամանակ կատարվում է ջերմագույգի ազատ ծայրերի ջերմաէլշուի ավտոմատ համակշռում R1-R5 ռեզիստորներով կառուցված կամրջակային սխեմայով: ՄՈւ-ի ելքային լարումը տրվում է DA2 անալոգաթվանշանային կերպափոխիչին (ԱԹԿ), որի ելքում ստացվում են ջերմաէլշուի երկուսական կոդերը: Ներկայումս չափիչ սարքերում լայնորեն օգտագործվում են սիգմա-դելտա ԱԹԿ-ները, որոնք ունեն բարձր ճշգրտություն և աղմկապաշտպանվածություն: Այդ ԱԹԿ-ների հիմնական բնութագրերից են ելքային կոդի կարգերի թիվը, աղմուկից գերծ կոդի կարգերի թիվը, մուտքային լարման դինամիկ տիրույթը, հենային լարման արժեքը, ներքին աղմուկների միջին քառակուսային արժեքը: Սիգմա-դելտա ԱԹԿ-ի ելքային կոդին համապատասխան թիվը որոշվում է հետևյալ բանաձևով՝

$$N_x = \frac{U_{\text{ս}}}{q} = \frac{U_{\text{ս}}}{U_{\text{հ}}/2^n} = 2^n U_{\text{ս}}/U_{\text{հ}}, \quad (2)$$

որտեղ $U_{\text{ս}}$ -ն ԱԹԿ-ի մուտքային լարումն է, $U_{\text{հ}}$ -ն՝ ԱԹԿ-ի հենային լարումը, q -ն՝ ԱԹԿ-ի մուտքային լարման քվանտը, n -ը՝ ԱԹԿ-ի կոդի կարգերի թիվը:



Նկ. 2. Թվային ջերմաչափի կառուցվածքային սխեման

Եթե ԱԹԿ-ի կողի կարգերի թիվն ընտրենք $n=16$, ապա ԱԹԿ-ի կողին համապատասխան ամենամեծ թիվը կստացվի՝ $N_{xm}=65536$: Հետևաբար՝

$$N_x = 65536 U_0/U_h: \quad (3)$$

Եթե ԱԹԿ-ի հենային լարումն ընտրենք հավասար $U_h=2,62144$ Վ, ապա կստանանք՝ $q=40$ մկՎ, $N_x=U_0/40$ (որտեղ U_0 -ը արտահայտվում է մկՎ-ով): Քանի որ ԱԹԿ-ի մուտքային լարումն ուժեղացվում է K_m ուժեղացման գործակցով, ապա ԱԹԿ-ի էլքային կողին համապատասխան թիվը կստացվի՝

$$N_x = K_m E(\theta, 0)/40, \quad (4)$$

որտեղ $E(\theta, 0)$ -ն ՋԿ-ի ջերմաէլեկտրի ստանդարտացված արժեքն է ըստ ԳՕՍՍ 3044-ի [2]:

Գործիքային ուժեղարարն ընտրվել է INA333 տիպի: Եթե ուժեղարարի ուժեղացման գործակիցն ընտրենք $K_m=100$, իսկ $E(\theta, 0)$ -ն արտահայտվի մկՎ-ով, ապա կստանանք՝

$$N_x = 2,5 E(\theta, 0): \quad (5)$$

Աղ. 2-ում բերված են պլատին-պլատինառողիումային ՋԿ-ի ստատիկ բնութագրի մոտարկման բեկյալի գագաթներին համապատասխան ջերմաստիճանների և դրանց համապատասխան էլքային կողի թվային արժեքներն ու դրանց երկուական կոդերը, ինչպես նաև մոտարկման տեղամասերի K_j^* զգայնությունները (բեկյալների թեքությունները): Մոտարկման տեղամասերի K_j^* զգայնությունները որոշվել են հետևյալ բանաձևով՝

$$K_j^* = (\theta_j - \theta_{j-1}) / (N_j - N_{j-1}) = (\theta_j - \theta_{j-1}) / 2048, \quad (6)$$

որտեղ N_{j-1} -ը և N_j -ն մոտարկման j -րդ տեղամասի սկզբնական և վերջնական համապատասխան թվային արժեքներն են (աղ. 2):

Պլատին-պլատինառողիումային ՋԿ-ի ստատիկ բնութագրի մոտարկման տվյալները և բեկյալի զագաթների ջերմաստիճանների ջերմաէլշունների երկուական կոդերը

j	N _j	Θ _j , °C	E _j ,մՎ	N _j -ի 2-ական կոդը					K _j [*] , °C	ΔΘ _j , °C
				2 ¹⁵	2 ¹⁴	2 ¹³	2 ¹²	2 ¹¹		
1	2048	122,33	0,8192	0	0	0	0	1	0,05973	0,09
2	4096	218,95	1,6384	0	0	0	0	0	0,04717	0,08
3	6144	305,86	2,4576	0	0	0	1	1	0,04243	0,07
4	8192	387,38	3,2768	0	0	0	1	0	0,03981	0,06
5	10240	465,35	4,096	0	0	1	0	1	0,03807	0,06
6	12288	540,45	4,9152	0	0	1	0	0	0,03667	0,10
7	14336	613,25	5,7344	0	0	1	1	1	0,03555	0,06
8	16384	683,03	6,55360	0	0	1	1	0	0,03407	0,08
9	18432	752,50	7,37280	0	1	0	0	1	0,03392	0,02
10	20480	819,50	8,19200	0	1	0	0	0	0,03271	0,06
11	22528	880,50	9,01120	0	1	0	1	1	0,02978	0,04
12	24576	948,50	9,83040	0	1	0	1	0	0,03320	0,08
13	26624	1010,5	10,6496	0	1	1	0	1	0,03027	0,08
14	28672	1070,5	11,4688	0	1	1	0	0	0,02929	0,02
15	30720	1132,0	12,2880	0	1	1	1	1	0,03002	0,10
16	32768	1196,0	13,1072	0	1	1	1	0	0,03125	0,02
17	34816	1250,0	13,9264	1	0	0	0	1	0,02637	0,06
18	36864	1309,0	14,7456	1	0	0	0	0	0,02881	0,01
19	38912	1367,2	15,5648	1	0	0	1	1	0,02842	0,04
20	40960	1425,2	16,3840	1	0	0	1	0	0,02832	0,02
21	43008	1483,8	17,2032	1	0	1	0	1	0,02861	0,04
22	45056	1541,4	18,0224	1	0	1	0	0	0,02812	0,00
23	47104	1600,8	18,2416	1	0	1	1	1	0,02900	0,04
24	49152	1659,0	19,6608	1	0	1	1	0	0,02841	0,02
25	51200	1719,8	20,4800	1	1	0	0	1	0,02968	
26	53248	1779,8	21,2992	1	1	0	0	0		

Եթե K_j^* զգայնության արժեքները կլորացնենք 5 նշվող թվանշանով, ջերմաստիճանի չափման սխալանքը կստացվի փոքր 0,1 °C-ից (ամենամեծ արժեքները կստացվեն մոտարկող բեկյալի զագաթներին մոտ կետերում, դրանք բերված են աղ .2-ի ΔΘ_j սյունակում):

Ընտրված պարամետրերի դեպքում մոտարկման տեղամասերի միջանկյալ արժեքների համար կստանանք՝

$$\theta_{jx} = \theta_{j-1} + \Delta\theta_{jx} = \theta_{j-1} + K_j(E_{jx} - E_{j-1}) = \theta_{j-1} + K_j^*(N_{jx} - N_{j-1}), \quad (7)$$

որտեղ $\Delta\theta_{jx} = K_j^*(N_j - N_{j-1})$ –մոտարկման j-րդ տեղամասի ներսի կոդին համապատասխանող լրացուցիչ ջերմաստիճանային աճի արժեքն է, N_{jx}-ը՝ մոտարկման j-րդ տեղամասի ներսի կոդին համապատասխանող թիվը:

Օրինակ, եթե N_{jx}=11240, ապա j=6, եթե Θ_{j-1}=465,35 °C, $K_j^*=0,03667$ °C, N_{jx} - N_{j-1}=1000, ապա կստանանք՝ Θ_{jx}=36,67 °C, Θ_{jx}=502,02 °C:

Միկրոկոնստրուկտի (DD1) միջոցով ԱԹԿ-ի ելքային կոդի 2^{11} -ից մինչև 2^{15} կշռային գործակիցների կարգերով կորոշվեն մոտարկման տեղամասի j համարը, այդ տեղամասի սկզբի գագաթի ջերմաստիճանն ու K_j^* զգայնությունը, իսկ 2^0 -ից մինչև 2^{10} կշռային գործակիցների կարգերով՝ մոտարկման տեղամասի ներսում $\Delta\theta_{jx}$ ջերմաստիճանների արժեքները, և բանաձև (7)-ով կորոշվի չափվող ջերմաստիճանը:

Միկրոկոնստրուկտում հաշվարկները ամբողջ թվերով կատարելու համար կարելի է 10^5 անգամ մեծացնել θ_j ջերմաստիճանների ու K_j^* զգայնության արժեքները, հետո՝ վերջնական արժեքը բաժանել 10^5 -ի:

ԱԹԿ-ի ընտրությունը կատարվում է՝ ելնելով ադմոկից գերծ կոդի ցածր կարգի միավորի պահանջվող արժեքից, որը տվյալ դեպքում 40 մկՎ է: Արտադրվող ԱԹԿ-ներից նպատակահարմար է ընտրել AD7715 տիպի սիգմա-դելտա ԱԹԿ (DA2), որի հենային լարումը 2,5 Վ է, իսկ կերպափոխման հաճախությունն ընտրվում է 2 կերպ/վրկ [4]: ՋԿ-ի ազատ ծայրերի ջերմաէլեկտրիկ ավտոմատ համակշռման կամրջակային սխեման սնվում է բարձր ճշգրտության լարման պարամետրական կայունարարից, որը կառուցված է КЦ108В տիպի ստաբիլիտրոնի վրա (կայունացման լարման ջերմաստիճանային գործակիցը փոքր է 0,0005 %/°C-ից): Հետևաբար՝ ԱԹԿ-ի հենային լարումը նպատակահարմար է ստանալ ստաբիլիտրոնի միացված լարման բաժանիչից (R9-R11):

ԳՐԱԿՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. Каржавин В.А., Каржавин А.В. Методика периодической поверки термоэлектрических преобразователей непосредственно на термометрируемом объекте. temperatures.ru/pdf/tesey.pdf
2. ГОСТ 3044-94. Преобразователи термоэлектрические. Номинальные статические характеристики преобразования. - 200 с.
3. ГОСТ 8.558-2009. Государственная поверочная схема для средств измерений температуры. - 10 с.
4. http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD7715.pdf

ՀՊՃՀ (ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿ): Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 10.04.2014:

А.С. ШАХКАМЯН, Л.К. БЕГОЯН

ЦИФРОВОЙ ТЕРМОМЕТР С ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ

Разработана структурная схема цифрового термометра, работающего с термоэлектрическим преобразователем (ТП). Предложен метод линеаризации статической характеристики ТП. Приведены формулы для расчета параметров линеаризации и результаты расчета для ТП статической характеристики ТП (R).

Ключевые слова: цифровой термометр, термоэлектрический преобразователь, линеаризация.

A.S. SHAGHGAMYAN, L.K. BEGOYAN

A DIGITAL THERMOMETER WITH A THERMOELECTRIC TRANSDUCER

The block diagram of a digital thermometer is developed operating with a thermoelectric transducer. A method for linearizing the static characteristics of TT is proposed. Formulae for calculating the linearization parameters and the calculation results for TT static R characteristics are introduced.

Keywords: digital thermometer, thermoelectric transducer, linearization.