

ՆԱ. ՇԱՂԳԱՄՅԱՆ

ՋԵՐՄԱՍՏԻՃԱՆՆԵՐԻ ՏԱՐԲԵՐՈՒԹՅԱՆ ՉԱՓԻՉ ԿԵՐՊԱՓՈԽԻՉ

Առաջարկվում է դիմադրության ջերմակերպափոխիչներով (առանց զույգ ընտրության) ջերմաստիճանների տարբերության չափիչ կերպափոխիչի սխեման, և վերջինիս պարամետրերի ու ջերմաստիճանների տարբերության չափման սխալների հաշվարկի բանաձևերը: Նկարագրված է սխեմայի կարգաբերման մեթոդը:

Առանցքային բառեր. ջերմաստիճանների տարբերություն, գումարող ուժեղարար, ջերմային էներգիայի հաշվիչ:

Ջրային ջերմամատակարարման համակարգերում ջերմային էներգիայի ծախսի չափման համար չափվում են տաք ու սառը խողովակներով անցնող ջրի ջերմաստիճանները զույգ ընտրված դիմադրության ջերմակերպափոխիչների (ԴՋ-ների) միջոցով և որոշվում է ջերմաստիճանների տարբերությունը, ինչը որոշակի դժվարություններ է առաջացնում ինչպես զույգերի ընտրության, այնպես էլ շահագործման պայմաններում: Անհրաժեշտ է, որ ԴՋ-ների բացարձակ սխալներն աշխատանքային պայմաններում լինեն նույն նշանով և մոտավորապես իրար հավասար, իսկ պարբերական ստուգաչափումներից հետո դրանք տեղադրվեն նույն տեղերում [1,2]:

Ջերմային էներգիայի հաշվիչի սխեմայի պարզեցման համար նպատակահարմար է անմիջականորեն չափել ջերմաստիճանների տարբերությունն այնպես, որ հնարավոր լինի նաև զգալիորեն մեղմացնել վերը նշված պահանջները: Այդ, ինչպես նաև բարձր ճշգրտություն ապահովելու նպատակով, առաջարկվում է հաջորդաբար միացնել ԴՋ-ները և դրանց միջով անցկացնել I_0 հոսանք (կայունացված հոսանքի աղբյուրից, ՀԱ), իսկ ԴՋ-ների վրա լարման անկումներն ուժեղացնել գումարող ուժեղարարով: Ջերմաստիճանների տարբերության չափիչ կերպափոխիչի սխեման բերված է նկ.1-ում: Այս սխեմայում ԴՋ-ները միացված են երեք հաղորդալարային սխեմաներով, ընդ որում երրորդ գծերի (հաղորդալարերի) դիմադրությունները պետք է լինեն իրար հավասար ($R_{q1}=R_{q2}$), իսկ հաղորդալարերը պետք է միացվեն սխեմայի ընդհանուր կետին: Գումարող ուժեղարարի ելքային ազդանշանը կստացվի՝

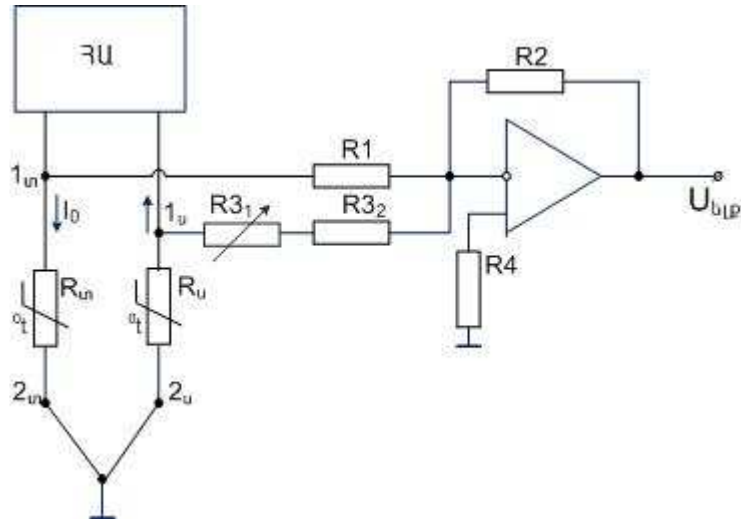
$$U_{ելք} = \frac{R_2}{R_1} I_0 (R_u + R_{q1}) - \frac{R_2}{R_3} I_0 (R_u + R_{q2}),$$

որտեղ R_{q1} , R_{q2} -ը միացման երրորդ հաղորդալարերի դիմադրություններն են, I_0 -ն՝ ԴՋ-ներով անցնող հոսանքը, R_u -ն և R_u -ն տաք և սառը խողովակներում տեղադրված ԴՋ-ների դիմադրություններն են:

Եթե ընտրենք միևնույն սկզբնական ($t=0$ °C) դիմադրությամբ ($R_{0u}=R_{0u}=R_0$) և ստատիկ բնութագրով ԴՋ-ներ և $R_1=R_3=R$, կստանանք՝

$$U_{ելք} = \frac{R_2}{R} I_0 (R_u - R_u) = \frac{R_2 I_0 R_0}{R} (W_{tu} - W_{tu}) = K_t (W_{tu} - W_{tu}) = K_t \Delta W_t, \quad (1)$$

որտեղ $K_t = I_0 R_0 R_2 / R$, $\Delta W_t = W_{t_u} - W_{t_u}$, W_t -ն ԴՋ-ի ջերմաստիճանային գործակիցն է (ГОСТ 6651-94 [3]) տաք (W_{t_u}) և սառը (W_{t_u}) խողովակներում տեղադրված ԴՋ-ների համար:



Նկ.1. Ջերմաստիճանների տարբերության չափման սխեման

Պլատինե ԴՋ-ի ջերմաստիճանային գործակիցը 0-ից մինչև 600 °C տիրույթում արտահայտվում է հետևյալ մոտարկման բանաձևով [3]՝

$$W_t = 1 + At + Bt^2,$$

որտեղ $A=3,9692 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, $B=-5,8290 \cdot 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-2}$ ($W_{100}=1,3910$ դեպքում):

Հետևաբար կստանանք՝

$$\Delta W_t = A(t_u - t_u) + B(t_u^2 - t_u^2) = A[1 - 1,4686 \cdot 10^{-4}(2t_u - \Delta t)]\Delta t, \quad (2)$$

որտեղ $\Delta=t_u-t_u$:

Աղյուսակ 1

$t_u, \text{ } ^\circ\text{C}$	$\Delta t, \text{ } ^\circ\text{C}$							
	1	5	10	20	35	55	75	95
40	0,0039	0,0196	0,0393	0,0787	0,1380	-	-	-
60	0,0039	0,0195	0,0391	0,0782	0,1372	0,2162	-	-
80	0,0039	0,0194	0,0388	0,0778	0,1364	0,2149	0,2940	-
100	0,0039	0,0193	0,0386	0,0773	0,1356	0,2137	0,2922	0,3713

Աղ.1-ում բերված են (W_t -ի արժեքները տաք և սառը խողովակների տարբեր t_u և t_u ջերմաստիճանների դեպքում ($\Delta t=t_u-t_u$): Աղ.1-ից հետևում է, որ երբ $t_u \leq 100 \text{ } ^\circ\text{C}$, բավականին բարձր ճշգրտությամբ կարելի է ընդունել՝

$$\Delta t = \frac{\Delta W_t}{0,003891} = K_1 \Delta W_t = 257 \Delta W_t, \quad K_1=257: \quad (3)$$

Ըստ ГОСТ Р 51649-2000-ի [4]՝ ջերմային էներգիայի հաշվիչներում մեծ մասամբ ընտրվում է $40^{\circ}\text{C} \leq t_{\text{in}} \leq 100^{\circ}\text{C}$), իսկ $1 \leq t \leq 10^{\circ}\text{C}$ (ամենափոքր արժեքը) և $\Delta t \leq (t_{\text{in}} - 5)^{\circ}\text{C}$ (ամենամեծ արժեքը) :

Աղ.2-ում բերված են (2) և (3) բանաձևերով հաշվված (t-ի արժեքները, որտեղից հետևում է, որ չափելով ΔW_t -ն, կարելի է բարձր ճշգրտությամբ որոշել (t-ն տաք ջրի $40 \leq t_{\text{in}} \leq 100^{\circ}\text{C}$ ջերմաստիճանային տիրույթում:

Աղյուսակ 2

$t_{\text{in}}, ^{\circ}\text{C}$	$\Delta t, ^{\circ}\text{C} (K_1=257)$							
	1	5	10	20	35	55	75	95
40	1,008	5,044	10,096	20,222	35,467	-	-	-
60	1,002	5,014	10,036	20,102	35,257	55,569	-	-
80	0,996	4,984	9,976	19,982	35,048	55,239	75,551	-
100	0,990	4,954	9,916	19,862	34,838	54,910	75,102	95,414

Եթե ԴՋ-ներն ընտրված են միևնույն ճշգրտության դասով և նույն նշանի սխալով, ապա էլքային լարումը կարելի է ներկայացնել

$$U_{\text{էլք}} = \frac{R_2}{R_1} I_0 (R_{0\text{in}} W_{\text{tin}} - R_{0\text{u}} W_{\text{tu}}) = a [(R_{0\text{in}} + \Delta R_{0\text{in}}) W_{\text{tin}} - (R_{0\text{u}} + \Delta R_{0\text{u}}) W_{\text{tu}}] =$$

$$= a R_0 \left[(W_{\text{tin}} - W_{\text{tu}}) + \frac{\Delta R}{R_0} (W_{\text{tin}} - \alpha_R W_{\text{tu}}) \right]$$

տեսքով, որտեղից՝

$$U_{\text{էլք}} = a R_0 \Delta W_t (1 + \beta), \quad (4)$$

որտեղ $R_{0\text{in}}$ -ը և $R_{0\text{u}}$ -ը ԴՋ-ների անվանական դիմադրություններն են 0°C -ում և $R_{0\text{in}} = R_{0\text{u}} = R_0$, $\Delta R = \Delta R_{0\text{in}} = b R_0$, $\Delta R_{0\text{u}} = \alpha_R \Delta R$ (որտեղ $\alpha_R \leq 1$), b-ն որոշվում է ԴՋ-ի ճշգրտության դասով (A դասի համար $b=0,0005$, B-ի համար՝ $b=0,001$ [3]),

$$\alpha = I_0 R_2 / R_1,$$

$$\beta = b \cdot (W_{\text{tin}} - \alpha_R W_{\text{tu}}) / \Delta W_t = b \lambda,$$

$$\lambda = 1 + W_{\text{tu}} (1 - \alpha_R) / \Delta W_t = 1 + (W_{\text{tin}} / \Delta W_t - 1) (1 - \alpha_R):$$

Աղյուսակ 3

t_{in}	W_{tin}	$\Delta t, ^{\circ}\text{C}$							
		1	5	10	20	35	55	75	95
40	1,1578	30,687	6,907	3,946	2,471	1,839			
60	1,2321	32,592	7,318	4,151	2,576	1,898	1,570		
80	1,3138	34,687	7,772	4,386	2,689	1,963	1,611	1,477	
100	1,3911	36,669	8,208	4,604	2,800	2,026	1,651	1,476	1,375

t_{un}	W_{un}	$\Delta t, ^\circ\text{C}$							
		1	5	10	20	35	55	75	95
40	1,1578	60,374	12,814	6,892	3,942	2,678			
60	1,2321	64,185	13,637	7,302	4,151	2,796	2,159		
80	1,3138	68,374	14,544	7,772	4,377	2,926	2,223	1,894	
100	1,3911	72,338	15,416	8,208	4,599	3,052	2,302	1,952	1,749

Աղ.3-ում և 4-ում բերված են λ -ի հաշվարկային արժեքները տարբեր t_{un} -ի, Δt -ի դեպքում, համապատասխանաբար $\alpha_R=0,9$ ու $\alpha_R=0,8$ համար: Լավագույն դեպքում Δt -ի չափման սխալը կորոշվի ԴՋ-ների ճշգրտության դասով (b գործակցով), եթե $\Delta R_{\text{oun}} = \Delta R_{\text{ou}}$ (երբ $\alpha_R=1$):

Աղ.3-ից և 4-ից ու բանաձև (4)-ից հետևում է, որ ընդհանուր դեպքում անհրաժեշտ է օգտագործել միայն A ճշգրտության դասի ԴՋ-ներ, որոնց սխալները նույն նշանով են և միմյանցից տարբերվում են մինչև 20 % ($\alpha_R=0,80$): Հակառակ դեպքում սխալի սահմանային արժեքները կարող են զգալիորեն մեծանալ (t -ի փոքր արժեքների համար: Եթե $\Delta t > 20 ^\circ\text{C}$, ապա կարելի է օգտագործել նաև B ճշգրտության դասի ԴՋ-ներ:

Բարձր ճշգրտություն ապահովելու նպատակով ուժեղարարում անհրաժեշտ է օգտագործել փոքր զրոյի շեղման լարումով ինտեգրալային գործիքային ուժեղարարներ (ԳՈԻ-K140YՄ17A, K140YՄ26A, K140YՄ27A, OP07 տիպի) և C2-29B տիպի ճշգրիտ ռեգիստրներ: Սխեման կարգաբերելու համար R3-ի շղթայում պետք է մտցնել СПЗ-39, СП-2B կամ փոքր ջերմաստիճանային գործակցով այլ տիպի կարգաբերող ռեգիստր (R3i) ու կարգաբերումը կատարել երկու ԴՋ-ները միևնույն կայուն ջերմաստիճանում (օրինակ՝ $25 ^\circ\text{C}$ $30 ^\circ\text{C}$ կամ $40 ^\circ\text{C}$) տեղադրելով:

Եթե $t_{\text{un}} < 100 ^\circ\text{C}$, ապա նպատակահարմար է ընդունել՝ $U_{\text{ելք}}=0,1\Delta t$: Հետևաբար (1) և (4) բանաձևերից կստանանք (եթե $t_{\text{un}} < 100 ^\circ\text{C}$)՝

$$U_{\text{ելք}} = 0,003891 K_t \Delta t \quad \text{և} \quad 0,003891 K_t = 0,1 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (5)$$

որտեղից՝

$$K_t = \frac{I_0 R_0 R_2}{R_1} = 25,7 \text{ } ^\circ\text{C}: \quad (6)$$

Եթե $R_0=100 \text{ Ohm}$, $I_0=2 \text{ mA}$, ապա $R_2/R_1=128,5$:

Ընդհանուր դեպքում ընտրված նույն ճշգրտության դասով ԴՋ-ները կարող են միմյանցից տարբերվել ինչպես R_0 -ով, այնպես էլ W_t -ով, հետևաբար կարելի է ընդունել, որ

$$R_{0\text{un}} = R_0(1+b), \quad R_{0u} = R_0(1+\alpha_R b) \quad \text{և} \\ W_{\text{un}} = W_{\text{un0}}(1+\alpha_{W_{\text{un}}}), \quad W_{\text{tu}} = W_{\text{u0}}(1+\alpha_{W_u}), \quad -1 \leq \alpha_R \leq 1, \quad (7)$$

որտեղ b -ի և α_W -ի սահմանային արժեքները կախված են ԴՋ-ների ճշգրտության դասից, W_{un0} -ն և W_{u0} -ն տաք և սառը խողովակներում տեղադրված ԴՋ-ների ջերմաստիճանային գործակցների անվանական (ստանդարտ) արժեքներն են:

Հետևաբար, ուժեղարարի ելքային լարումը կարելի է ներկայացնել հետևյալ տեսքով.

$$U_{\text{ելք}} = \frac{R_2}{R_1} I_0 R_0 W_{\text{un0}}(1+b)(1+\alpha_{W_{\text{un}}}) - \frac{R_2}{R_3} I_0 R_0 W_{\text{u0}}(1+\alpha_R b)(1+\alpha_{W_u}): \quad (8)$$

Եթե սխեման կարգաբերվի ԴՋ-ների միևնույն որոշակի ջերմաստիճանում ($W_{\text{un0}}=W_{\text{u0}}=W_t$) և R3-ի փոփոխումով ստացվի $U_{\text{ելք}}=0$, ապա կստանանք՝

$$R_3 = R_1(1 + \alpha_R b)(1 + \alpha_{W_u}) / (1 + b)(1 + \alpha_{W_{in}}) : \quad (9)$$

Հետևաբար ելքային լարումը կարելի է ներկայացնել հետևյալ տեսքով.

$$U_{ելք} = \frac{R_2 I_0 R_0}{R_1} (1 + b)(1 + \alpha_{W_{in}})(W_{in0} - W_{u0}) = \frac{R_2 I_0 R_0}{R_1} (1 + b)(1 + \alpha_{W_{in}}) \Delta W_{t0}, \quad (10)$$

որտեղ $\Delta W_{t0} = W_{in0} - W_{u0}$:

Այնուհետև անհրաժեշտ է R_3 -ի ճյուղն անջատել սառը ԴՋ-ից ու միացնել դրա ներքևի (2) սեղմակին, ճշգրիտ չափել տաք ԴՋ-ի ջերմաստիճանը (t_{in1}) և այնպես կարգաբերել R_2 -ը կամ I_0 -ն, որ ելքում ստացվի տվյալ ջերմաստիճանին համապատասխան լարում: Այդ դեպքում կարելի է ընդունել, որ ԴՋ-ների ներքևի սեղմակները (2) միացնող հաղորդալարերի դիմադրությունները փոքր են՝ $R_{q1} = R_{q2} = R_q < 0,005 R_0$, իսկ քանի որ ГОСТ 6651-94-ի [3] համաձայն $\alpha_w < 0,0005/1,391$, ապա վատագույն դեպքում ($\alpha_{w_{in}} = 0,0004$, $\alpha_{w_u} = -0,0004$, $\alpha_R = -1$, $b = 0,001$) կստանանք՝

$$\begin{aligned} U_{ելք_{in1}} &= \frac{I_0 R_0 R_2}{R_1} (1 + b)(1 + \alpha_{W_{in}}) W_{t_{in1}} + \frac{I_0 R_{q1} R_2}{R_1} - \frac{I_0 R_{q2} R_2}{R_3} = \\ &= \frac{I_0 R_0 R_2}{R_1} (1 + b)(1 + \alpha_{w_{in}}) W_{t_{in1}} \left[1 - 0,0028 \frac{R_q}{R_0 (1 + b)(1 + \alpha_{w_{in}}) W_{t_{in1}}} \right] \quad (11) \end{aligned}$$

որտեղ $W_{t_{in1}}$ -ը տվյալ t_{in1} ջերմաստիճանին համապատասխան W_t -ի ստանդարտ արժեքն է [3]:

Քանի որ $R_q < 0,005 R_0$, ապա գործնականում կարելի է անտեսել փակագծերի միջի երկրորդ անդամը, հետևաբար կստանանք՝

$$U_{ելք_{in1}} = \frac{I_0 R_0 R_2}{R_1} (1 + b)(1 + \alpha_{w_{in}}) W_{t_{in1}} : \quad (12)$$

Ստացված (12) արտահայտությունը տեղադրելով (10) բանաձևի մեջ՝ կստանանք՝

$$U_{ելք} = \frac{U_{ելք_{in1}}}{W_{t_{in1}}} \Delta W_{t0} : \quad (13)$$

Կատարելով նշված կարգաբերումները և ունենալով $U_{ելք_{in1}}$ -ի ու $W_{t_{in1}}$ -ի արժեքները՝ հետագայում կարելի է օգտվել (13) բանաձևից:

Հետևաբար ԴՋ-ների ընտրությանը կարելի է ներկայացնել ավելի մեղմ պահանջներ (ընտրել ԴՋ-ներ նույն ճշգրտության դասով և R_0 -ի, W_{100} -ի նույն անվանական արժեքներով) և դրանք փոխելիս կատարել համապատասխան կարգաբերում, որը թույլ կտա զգալիորեն էժանացնել չափիչ սարքավորման պատրաստման և շահագործման ծախսերը: Քանի որ 40°C -ից մինչև 100°C տիրույթում ԴՋ-ի դիմադրության փոփոխությունը $50\text{ }^\circ\text{C}$ -ից փոքր կլինի ($R_0 = 100\text{ }^\circ\text{C}$, $W_{100} = 1,391$ դեպքում), ապա R_1 -ը պետք է ընտրել այնպես, որ ուժեղացման գործակցի փոփոխությունը լինի շատ քիչ ($0,1\%$ -ից փոքր), հետևաբար՝

$$50/R_1 < 10^{-3},$$

որտեղից կստանանք՝ $R_1 \geq 50\text{ }^\circ\text{C}$:

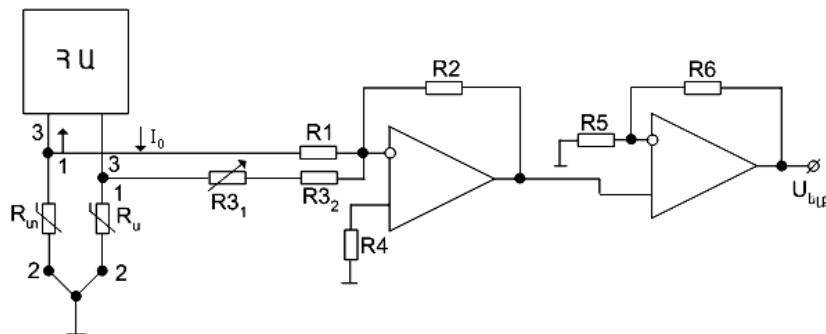
Նկատի ունենալով, որ ԳՈՒ-ների հետադարձ կապի շղթայում նպատակահարմար է միացնել $R_2 \leq 10^6\text{ }^\circ\text{C}$ դիմադրությամբ ռեզիստոր, մեկ ԳՈՒ-ով կարելի է ապահովել $R_2/R_1 \leq 20$ արժեք: Հետևաբար անհրաժեշտ է օգտագործել ևս մեկ ուժեղացման կասկադ

(նկ.2) և K_t գործակցի արժեքը կարգաբերել երկրորդ ուժեղարարի հետադարձ կապի R_5 կամ R_6 ռեզիստորների միջոցով՝

$$U_{\text{էլք}} = \frac{U_{\text{էլքտ1}} R_6}{W_{\text{տ1}} R_5} \Delta W_{\text{տ0}} = 0,1 \Delta t, \text{ որտեղից՝ } \frac{R_6}{R_5} = 0,1 W_{\text{տ1}} K_1 / U_{\text{էլքտ1}} :$$

Ճշգրտության A դասով ջերմային էներգիայի հաշվիչներին համապատասխանում են b -ի և α_w -ի առավելագույն արժեքները, որոնք փոքր են 0,001-ից, հետևաբար կարգաբերող R_{31} և R_{32} ռեզիստորների դիմադրությունները նպատակահարմար է ընտրել հետևյալ կերպ՝

$$R_{31} \approx 0,01 R_1, \text{ իսկ } R_{32} \approx 0,99 R_1 :$$



Նկ.2. Ջերմաստիճանների տարբերության չափիչ կերպափոխիչի սխեման

Առաջարկված սխեմայով ջերմաստիճանների տարբերության չափիչ կերպափոխիչի կառուցումը հնարավորություն կտա զգալիորեն մեղմել ԴՋ-ների ընտրությանը ներկայացվող պահանջները և նվազեցնել չափիչ սարքավորման պատրաստման ու շահագործման ծախսերը:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Кузник И.В., Тиунов Ю.М., Брюханов В.А.** Метрологические проблемы измерений тепловой энергии в открытых системах водяного теплоснабжения // Законодательная и прикладная метрология. - 2000.- №6.- С.19-24.
2. **Тарбеев Ю.В., Новицкий П.В., Мишустин В.И.** Метрологическое обслуживание узлов учета тепловой энергии и теплоносителя // Измерительная техника. – 1998. - №11.- С.54-56.
3. ГОСТ 6651-94. Термопреобразователи сопротивления. ОТТ и методы испытаний.
4. ГОСТ Р 51649-2000. Теплосчетчики для водяных систем теплоснабжения. ОТУ.

ՀՊՃՀ(Պ). Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 18.04 2010:

Н.А. ШАХКАМЯН

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ РАЗНОСТИ ТЕМПЕРАТУР

Предложена схема измерительного преобразователя разности температур для водяных систем теплоснабжения, которая обеспечивает высокую точность преобразования при использовании несогласованных пар термопреобразователей сопротивления. Приведены формулы для расчета параметров схемы и погрешностей измерения. Представлена методика наладки схемы.

Ключевые слова: измерение тепловой энергии, разность температур, суммирующий усилитель.

N.A. SHAGHGAMYAN

MEASURING CONVERTER OF TEMPERATURE DIFFERENCE

A scheme of measuring converter of temperature difference which provides high precision of conversion using unmatched resistance thermoconverter pairs with non-equal nominal resistance (R_0) and temperature coefficient (W_t) tolerances is proposed. The methodology for scheme adjustment is presented.

Keywords: heat energy, measurement, temperature difference, summing amplifier.