



ÚŘAD PRO VYNÁLEZY
A OBJEVY

POPIS VYNÁLEZU 217 269

K AUTORSKÉMU OSVĚDČENÍ

(61)

(23) Výstavní priorita
(22) Přihlášeno 25 09 78
(21) PV 6171-78

(11) (B1)

(51) Int. Cl.³ G 01 N 25/20

(40) Zveřejněno 26 03 82
(45) Vydáno 15 07 84

(75)
Autor vynálezu

TYDLITÁT VRATISLAV RNDr. CSc., JADAVAN JAROMÍR, PRAHA

- (54) Způsob absolutního měření součinitele přestupu tepla a jeho radiační složky a zařízení k jeho provádění.

1

Vynález se týká způsobu absolutního měření součinitele přestupu tepla a jeho radiační složky a zařízení k jeho provádění.

Podle dosavadního způsobu nebylo možno měřit součinitel přestupu tepla v prostředích (kapalných, plyných nebo fluidních), pokud se tepelné a přenosové poměry měnily s časem. Až dosud nebylo možno v neustálených teplotních a přenosových podmínkách snímat jedinou měřenou veličinu k určení okamžitého součinitele přestupu tepla například kompenzačním zapisovačem nebo číslicovým záznamem dat v pravidelných časových intervalech.

Dosavadní způsoby měřily pouze celkovou hodnotu součinitele přestupu tepla a nerozlišovaly mezi přenosem tepla zářením a přestupem tepla prouděním.

Při dosavadním způsobu měření se dlouhodobě měřil tepelný tok povrchem například termotransistometrem a rozdíl teplot povrchu a ovzduší (prostředí). Z těchto měření se určila pouze jediná střední hodnota součinitele přestupu tepla za období měření. Další způsob využívá takzvaného alfa-kalorimetru, buď elektricky vyhřívaného v prostředí o konstantní teplotě a při časově neproměnném přestupu tepla, kde se elektricky dodává a reguluje a integruje ztracené teplo a při delším měření se vypočte časová střední

hodnota součinitele přestupu. Při třetím způsobu se sleduje rychlost vychládání alfa-lerimetru o známé tepelné kapacitě a známém přechodovém napětí v prostředí s časově neproměnnými teplotními a přestupovými poměry. Absolutní měření v neustálených teplotních a přestupových poměrech se dosud neprovádělo, pouze relativní vztažená k cejchovným hodnotám. K měření tepelných účinků slunečního záření navrhl K. Angström v r. 1890 tepelně kompenzační metodu, při které se stejné zvýšené teploty ozářeného odporového vodiče dosáhne na stejném neozářeném vodiči průchodem elektrického proudu a shodnost teplot se měří dle nulového napětí diferenciálního termočlánku. Toto zařízení není možné použít k určení součinitele přestupu tepla v podmínkách, kde dochází k přestupu tepla prouděním i zářením, neboť Angströmov pyroheliometr neměří konveční přestup tepla. Způsob měření součinitele přestupu tepla podle čs. AO 168975 je možno provádět a není jím možno odděleně měřit jeho zářivou a konveční složku. Nevýhody dosavadního způsobu měření součinitele přestupu tepla se složkami konveční a tepelné zářivou jsou z velké části odstraněny způsobem "konstantní odchylky teploty" podle vynálezu.

Podstata způsobu současného absolutního měření součinitele přestupu tepla a jeho radiační složky mezi materiálem povrchu čidla známé velikosti povrchu a kapalným, plynným či fluidním prostředím obklopujícím čidlo v neustálených teplotních, rychlostních, konvečních a látkových poměrech spočívá v tom, že se vytápěná část čidla zahřívá na teplotu o stálý teplotní interval vyšší než je teplota prostředí určená teploměrnou částí čidla a rozdíl teplot se reguluje v závislosti na odchylce napětí rozdílového termočlánku od vztažného napětí odpovídajícího stálému teplotnímu intervalu.

Podstata měření radiační a konveční složky celkové hodnoty součinitele přestupu tepla mezi absolutně černým povrchem a prostředím spočívá v současném využití dvojitého čidla sestávajícího ze dvou čidel podle předchozího odstavce s tím, že u prvního čidla je elektrickým proudem vyhřívána část i teploteměrná část opatřena povrchem silně pohlcujícím tepelné záření (černým) a u druhého čidla je pouze elektrickým proudem vyhřívána část opatřena povrchem tepelné záření silně odrazujícím, přičemž teploteměrná část je opět opatřena povrchem silně absorbujícím (černým).

Čidlo je svým výstupem (svými výstupy) připojené přes zdroj srovnávacího napětí na citlivý stejnoměrný zesilovač, regulátor rozdílu teplot a na přesedník napětí na výkon (watmetrový obvod). Jednotlivé členy jsou připojeny paralelně ke zdroji napájecích napětí. Výstupem jsou napětí nebo proud přímo úměrné měřenému součiniteli přestupu tepla v nestacionárních podmínkách. Při měření radiační a konveční složky součinitele přestupu tepla se vedle hodnot úměrných součinitelům přestupů tepla na pohlcujícím a odrazivém čidle, zaznamenává ještě teplota měřená absorbující teploteměrnou částí těchto čidel, nejvýhodněji pomocí zvláštního tam zabudovaného elektrického teploměru.

Je velmi výhodné, když jsou jednotlivé části čidla tvořeny vždy dvěma destičkami vzájemně svými čely spojenými, mezi nimiž je vytvořena dutina, v níž je uloženo tepelné vinutí u vytápěné části čidla. Rozsah teplot mezi vytápěnou a nevytápěnou částí se snímá elektricky

tepelné vinutí a termočlánek jsou vyvedeny na destičkovitý spojovací díl z tepelně dobře izolujícího materiálu. Destičkovitý díl se upevňuje ke sverkovnici a může být opatřen rukojetí, kterou přívody procházejí nebo se upevňuje na stojan k dlouhodobým měřením v jediném místě. Jako materiál pro destičky se jeví nejvýhodnější dobře tepelně vodivé kovy neb slitiny. Povrch se opatří velmi tenkou, dobře tepelně absorbující vrstvou nebo při měření zářivé a proudivé složky přenosového součinitele se odrazivé povrchu dosáhne vyleštěním kovového povrchu s případným polevením ušlechtilějším kovem.

Výhody nově navrženého způsobu podle vynálezu jsou následující:

Lze měřit absolutní hodnotu součinitele přestupu tepla od jejich nejnižších hodnot (při teplotách blízkých absolutní nule a ve vakuu součinitel přestupu nabývá hodnot pod $0,01 \text{ W/m}^2 \text{ K}$) až po hodnoty značně vysoké (až $1000 \text{ W/m}^2 \text{ K}$) a více) v podmínkách neustálé teploty a neustálého přestupu tepla jak zářením tak prouděním ve všech plynných, kapalných, parních i fluidních prostředích.

Změřený absolutní celkový součinitel přestupu tepla je v zařízení převeden na elektrický signál, jehož napětí je úměrné hodnotě součinitele a tu veličinu lze nepřetržitě a dlouhodobě snímat analogovým způsobem (zapisovačem) nebo číslicově v časových intervalech i velmi krátkých.

Z měření lze odečítat okamžitou hodnotu součinitele přestupu tepla i vypočítat střední hodnotu v čase.

Radiační složku záření lze z měření pomocí dvojitého čidla určovat rovněž v neustálých teplotních, přestupových a zářivých poměrech registrací obdobných údajů z lesklého čidla a následným výpočtem.

Kenvekční složka se z naměřených součinitelů celkového a radiačního vypočte jako jejich rozdíl a tím i tato se určuje v neustálých poměrech teploty a přestupu tepla.

Příklad způsobu podle vynálezu je popsán na funkci příkladu konkrétního provedení zařízení podle vynálezu, který je znázorněn na připojeném výkresu, kde na obr. 2 je blokové schéma zařízení k nestacionárnímu měření. Obr. 1 je čidlo k nestacionárnímu měření v axonometrickém pohledu a částečném řezu. Obr. 4 je blokové schéma zařízení k nestacionárnímu měření celkového součinitele přestupu z jeho zářivé části a potřebných teplot okolí. Obr. 3 je dvojité čidlo k měření celkového součinitele zářivé části součinitele přestupu tepla v ustálených teplotních poměrech v axonometrickém pohledu a částečném řezu.

Zařízení k měření součinitele přestupu tepla v neustálých teplotních poměrech sestává z čidla (obr. 1) a elektroniky s čidlem 21 (v blokovém schématu na obr. 2). Čidlo je tvořené čtyřmi čtvercovými destičkami 1, 2, 3, 4. Uprostřed destiček 2 a 4 jsou utvářeny dutiny, v jejichž středech jsou umístěny svarové spoje rozdílového termočlánu měď - konstantanového ($\text{Cu} - \text{Cu}^{\text{Ni}}$).

Měděné vodiče elektrického teploměru 8 jsou vyvedeny jako vstup do elektroniky spojovacím tepelně izolujícím členem 10 ve tvaru písmene E, který je dvouvrstvý.

Okolo termočlánekového spoje na destičce 2 je nalepen mezi dvěma tenkými papírovými listy 13 a 11 vodič 5 topného vinutí z konstantanu tak, že vyplňuje rovnoměrně plochu destiček 1, 2, 3, 4. Rozdílový termočlánek 7 a topné vinutí 2 jsou co nejdekoneleji elektricky odizolovány od destiček 1, 2, 3, 4 a navzájem vhodným lepidlem. Volbou tohoto lepidla je zaručen dobrý tepelný kontakt mezi topným vinutím 2 a destičkami 1 a 2. Měděné vodiče elektrického teploměru 8 jsou společně nalepeny mezi tenkými papírovými listy 6, 11, 12, 13, které jsou sevřeny tepelně a elektricky izolujícími deskami 9 a 10 spojovacího členu. Destičky 1 a 2, 3 a 4 a izolující desky 9 a 10 jsou navzájem snýtovány. Vodiče topného vinutí 5, 7 jsou dále připájeny k přívednímu kabelu cínem a spolu s vývedy rozdílového termočlánu 8 jsou vedeny jako čtyřpramenný kabel prostřednictvím averek do dalších přístrojů.

Vývedy termočlánu z kalorimetrické části čidla 21 - viz. obr. 2 - jsou připojeny jako vstup na zesilovač 22 nízkých napětí, který svým výstupem je připojen na vstup regulátoru 23 rozdílu teplot. Topné vinutí u čidla 21 je napájeno regulátorem 22 rozdílu teplot. Paralelní výstup z regulátoru 23 rozdílu teplot je veden na převodník napětí 25 na výkon (wattmetrový obvod). Z převodníku napětí 25 ke výstup snímán paralelně ručkovým měřidlem 26 a zapisovačem 27, nebo jedním z nich. Zdroj 24 napájecích napětí je připojen k zesilovači 22, k regulátoru 23 rozdílu teplot a k převodníku napětí 25 na výkon.

Měření součinitele přestupu tepla v neustálém teplotním stavu ocelního kapalného, plynného nebo fluidního prostředí je založeno na newtonově vztahu mezi teplotou t_p pevné látky, což je teplota vytápěných destiček 1, 2 čidla a teplotou t_v v kapalném, plynném nebo fluidním prostředí, na které se ustálí teplotoměrná část čidla tvořená destičkami 3, 4, velikostí F vnějšího povrchu vytápěných destiček 1, 2 a tepelným tokem Q do čidla, kterýžto vztah je vyjádřen takto:

$$Q = \alpha \cdot F \cdot (t_p - t_v) = \alpha \cdot F \cdot \Delta t \quad (1)$$

Ve vztahu (1) se dosadí za rozdíl teplot $t_p - t_v$ hodnota teplotního rozdílu Δt , která je udržována časově neměnná, i když se teplota t_v v prostředí mění s časem. Jestliže se ve vytápěné části čidla ztracený tepelný tok Q nahradí stejným výkonem $N(W)$ elektrického proudu přiváděného do topného vinutí 2, takže platí

$$Q = N, \quad (2)$$

vypočte se součinitel α přestupu tepla za vzorce (1) a obdrží se tento vztah

$$\alpha = \frac{N}{F \cdot \Delta t} \quad (Wm^{-2}K^{-1}) \quad (3)$$

Je výhodné, když časově neměnný rozdíl teplot Δt se velí malý, lze jej však volit v rozmezí od 0,01 do 100°C.

Výkonem N elektrického proudu zaváděného do topného vinutí 2 ve vytápěných destičkách 1, 2 čidla se nahrazují jejich tepelné ztráty do prostředí, které destičky 1, 2 ochlazuje a tak se udržuje rozdíl teplot $t_p - t_v = \Delta t$ čidla a prostředí neměnný. Přitom se rozdíl teplot destiček 1, 2 čidla a prostředí měří rozdílovým termočlánekem a neměnnost tohoto rozdílu se udržuje s nepatrnými a zanedbatelnými odchylkami pomocí porovnání napětí rozdílového termočlánu se vztažným elektrickým napětím, které odpovídá teplotnímu rozdílu na termočlánu.

Rozdíl mezi napětím na sverkách rozdílového termočlánku 8 a vztažným napětím se zesílí v citlivém stejnosměrném zesilovači 22 a přenesse se na regulátor 23 rozdílu teplot, který zvýší nebo sníží tepný proud I přiváděný do tepného vinutí 5 do ustálení stavu, kterýžto děj je podstatně rychlejší než změny teplotních a přenosových poměrů v prostředí a tak se se zanedbatelným zpožděním určují tepelné přenosné poměry i v neustálených podmínkách.

Z hodnoty stejnosměrného tepného proudu I se pomocí převodníku 25 při znalosti elektrického odporu z tepného vinutí 5 vytvoří napětí U úměrně tepnému výkonu N, pro který platí vztah

$$KU = N = RI^2 \quad (4)$$

kde K je konstanta (W/V), a hodnota výstupního napětí U se v převodníku napětí na výkon seřídí jednou převždy tak, aby na stupnici zapisovače byla výchylka pro napětí U ve voltech stejnosměrného napětí rovna hodnotě stupnice pro součinitele přestupu tepla α ve wattech/m². K. Velikost povrchu F a součinitel emise ϵ povrchu vytápěných destiček 1, 2 čidla se určí jednou převždy při zhotovení čidla obr. 1. Vztažné napětí, které určuje na jakém rozdílu Δt teplot se udržují vytápěná a nevytápěná část čidla se nastaví při zhotovení elektroniky a periodicky jednou na několik set hodin měření se kontroluje, případně seřituje. Rozdílový termočlánek musí mít přibližně lineární charakteristiku v oboru teplot t_v , kterých prostředí nabývá, jinak je nutné výstupní napětí U kalibrovat.

Při měření celkového součinitele a radiační složky součinitele přenosu dvojitým čidlem 38 (obr. 4) se zaznamenávají: hodnota součinitele α_c s naměřeným tepelným zářením absorbujičím čidlem a hodnota součinitele α_L naměřená pro tepelné záření odrazivým čidlem. Při dosažení součinitele emise ϵ_L povrchu dostatečně odrazivého (ϵ_L menší než 0,3), se vypočte radiační část α_R součinitele tepla podle vzorce:

$$\alpha_R = \frac{(\alpha_c - \alpha_L) \cdot \Delta t}{(1 - \epsilon_L) \cdot (t_c - t_{ip} + \Delta t)} \quad (5)$$

a konvekční část α_k součinitele přestupu tepla mezi absolutně černým tělesem a prostředím podle vzorce:

$$\alpha_k = \alpha_c - \alpha_R \quad (6)$$

Při tom teplota t_c se určí měřením elektrickým teploměrem (termočlánkem) umístěným v teplotě střední části čidla a teplota t_{ip} je teplota povrchů, které dvojitě čidlo obklopuje (například teplota stěn, podlahy a stropu při měření v místnosti se zatemněnými okny) a kterou je třeba současně měřit.

Příklad způsobu podle vynálezu je popsán na funkci kontrolního provedení zařízení podle vynálezu, které je znázorněno na připojeném výkresu obr. 3 v axonometrickém pohledu a částečném řezu a na obr. 4 je blokové schéma zařízení k měření součinitele přestupu tepla a příslušné radiační složky součinitele přestupu tepla v ustálených i neustálených teplotních poměrech.

Zařízení nakreslené na připojeném obr. 3 sestává ve svém principu ze systému dvou čidel podle obr. 1 a 2 příkladu z tohoto popisu provedení podle vynálezu. Uvedená obě čidla se liší schopností pohlcovat tepelné záření, což je přesněji uvedeno v dalším popisu. Konkrétní provedení čidla k současnému měření celkového součinitele přestupu tepla a jeho zářivé složky uvedené na obr. 3 sestává ze čtyř dvojitých čtvercových destiček 14, 15, 16, 17 z dobře tepelně vedivého kovu. Mezi destičkami 14 a 16 jsou umístěna identická tepná vinutí a dvojice termočlánků, kterými se měří rozdíl teplot

let vytápěných a nevytápěných částí jako v provedení nakresleném na obr. č. 1. Vytápěné destičky 14 a 16 se liší vlastnostmi svých povrchů: povrch destičky 14 je silně pohltivý pro tepelné záření (černý), povrch destičky 16 je lesklý a pro tepelné záření silně odrazivý. Obě nevytápěné části 15 a 17 čidla jsou opatřeny absorbuujícími povrchy. Dvojice destiček 14 a 15, 16 a 17 jsou mechanicky spojeny izolujícími deskami 19 s krytem sverkovnice 20, ze které jsou vyvedeny vodiče rozdílových termočlánků a tepných vinutí vícepramenným kabelem 18. Na obr. 4 je v blokovém schématu dvojitě čidlo 38 připojeno ke dvěma různým regulačním obvodům, kde první obvod se zesilovačem 36, regulátorem 33, převodníkem (wattmetrovým obvodem) 31 a ručkovým měřidlem 28 přísluší absorbuující části a druhý obvod se zesilovačem 37, regulátorem 35, převodníkem 32 a ručkovým měřidlem 30 přísluší k části vytápěnými reflektujícími destičkami a absorbuujícími nevytápěnými destičkami, přičemž zdroje 34 napájecích napětí a zapisovač 29 jsou společné oběma regulačním obvodům.

Rozdíly teplot Δt mezi destičkami 14 a 15 (obr. 3) a mezi destičkami 16 a 17 jsou stejné a nastavují se jednou provždy a za delší dobu měření se kontrolují citlivým měřidlem. Funkce regulátorů 33 a 35 a dalších obvodů je obdobná jako v případě dle obr. 1 a obr. 2.

Navržený způsob absolutního měření součinitele přestupu tepla a popsané zařízení je možné používat k měření celkového součinitele přestupu tepla a jeho radiační a konvekční složky v prostředí vakua, plynů, par, kapalin a ve fluidních prostředích i v případech, že průběhy teplot i součinitelů jsou časově proměnné.

Navržený způsob i zařízení byly použity k měření nízkých hodnot součinitelů přestupu tepla v obytných a pracovních místnostech, kde jejich hodnoty jsou rozhodující pro tepelnou pohodu (tepelný komfort) prostředí. Způsob i zařízení jsou vhodné všude tam k měření přestupových parametrů, kde se určují tepelné ztráty, tepelné účinnosti, jiné tepelné parametry a tepelné materiálové vlastnosti závislé na časově proměnných hodnotách teplot a součinitelů přestupu. Čidlo může být použito v aerodynamických zařízeních a měřicích soustavách jako snímač při regulaci součinitele přestupu tepla. Čidlo není vhodné k měření směrového zářivého tepelného toku, je však vhodné k určení přestupové vložky rozptýleným zářením.

P Ř E D M Ě T V Ý N Á L E Z U

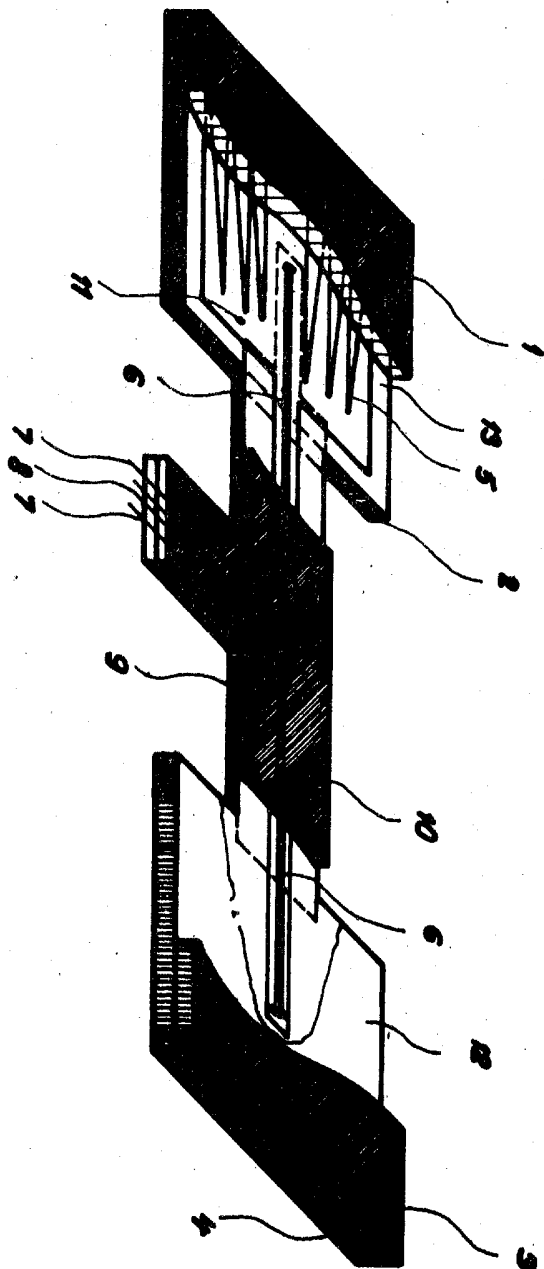
1. Způsob absolutního měření součinitele přestupu tepla a jeho radiační složky v neustálených podmínkách teploty a přestupu tepla mezi materiálem povrchu čidla o známe velikosti povrchu s plyným, kapalným nebo fluidním prostředím vyznačený tím, že se vytápěná část čidla zahřívá na teplotu o stálý teplotní interval vyšší, než je teplota prostředí určená tepelnou částí čidla a rozdíl teplot se reguluje v závislosti na eschylce napětí rozdílového termočlánku od vztažného napětí odpovídajícího stálému teplotnímu intervalu.
2. Zařízení k provádění způsobu dle bodu 1, sestávající z kalometrického a tepleměrného čidla vyznačené tím, že tepleměrná a kalorimetrická část čidla (21) s rozdílovým elektrickým tepleměrem (8) jsou svým vstupem připojeny na regulátor (23) rozdílu teplot a svým výstupem na citlivý stejnosměrný zesilovač (22) a na regulátor (23) rozdílu teplot a na převodník napětí na výkon (25), dále stejnosměrný zesilovač (22) a regulátor (23) rozdílu teplot jsou paralelně připojeny ke zdroji (24) napájecího napětí.
3. Zařízení k provádění způsobu podle bodu 1, přičemž se zároveň měří radiační složka

kalemetrických částí čidel (21) a dvou stejných soustav obvodů zesilovače (36, 37), regulátor (33, 35) rozáflu teplot a převodník (31, 32), kde vytápěná část (14) složená z destiček jedné z kalemetrických částí čidel (21) tvořících dvojité čidlo (38) je opatřena povrchem silně absorbujícím a vytápěná část destiček (16) druhé z kalemetrických částí čidel (21) tvořících dvojité čidlo (38) je opatřena povrchem silně reflektujícím a tepleměrné části dvojitého čidla (38) složené z destiček (15 a 17) jsou opatřeny povrchy silně absorbuujícími.

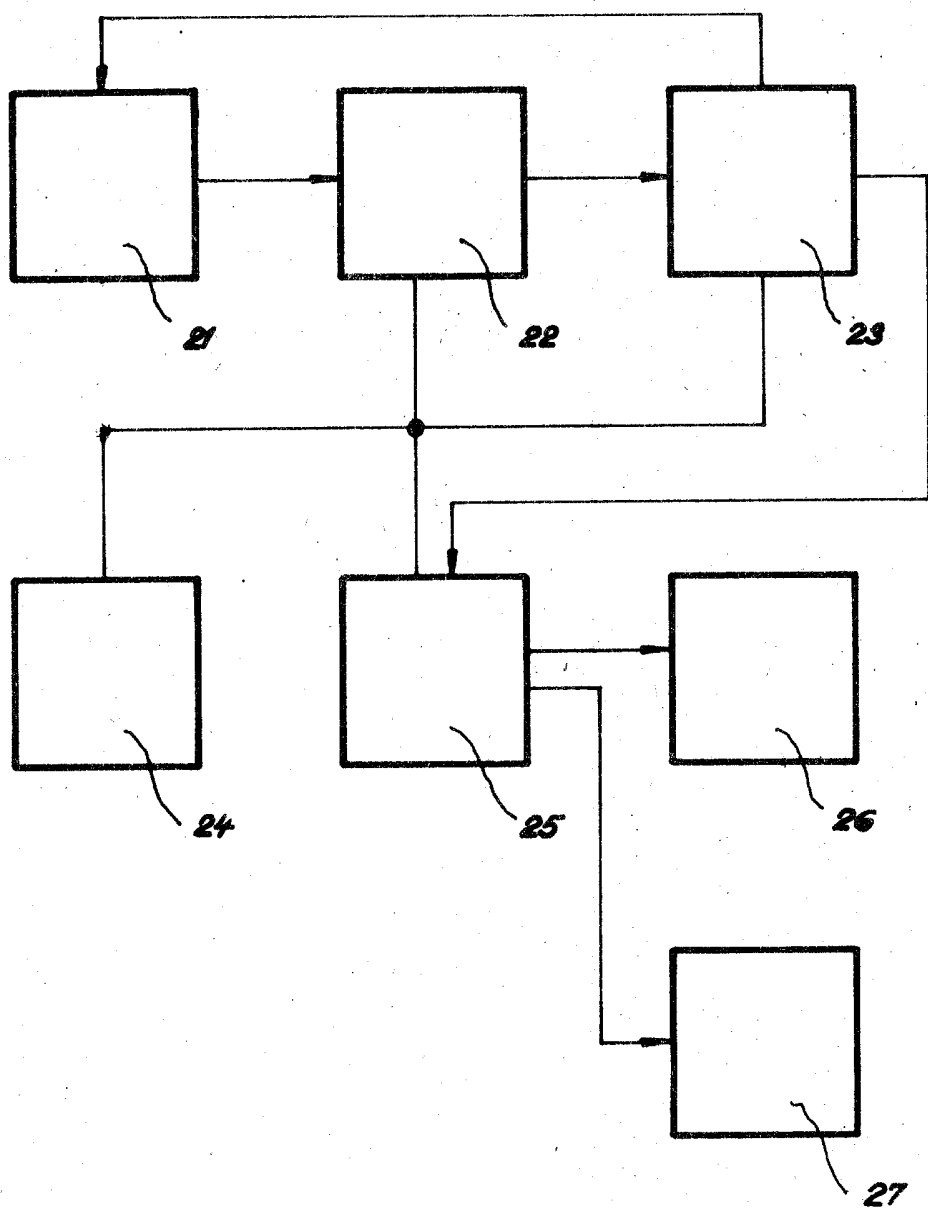
4. Zařízení podle bodu 2, vyznačené tím, že kalerimetrická destička (1) a tepleměrná destička (3), čidla (21) jsou spojeny dobře tepelně izolujícím materiálem například pertinaxem a spojovací vodiče elektrického teploměru (8) mezi destičkami (1, 3) čidla (21) mají průřez od 10^{-6} m² do 10^{-1} m².

5. Zařízení podle bodu 2 a 3 vyznačené tím, že v čidle (21) jsou teploměr, odporové vinutí a izolace zhotoveny z části nebo zcela napařením kovových, polovodičových a izolačních vrstev.

4 výkresy

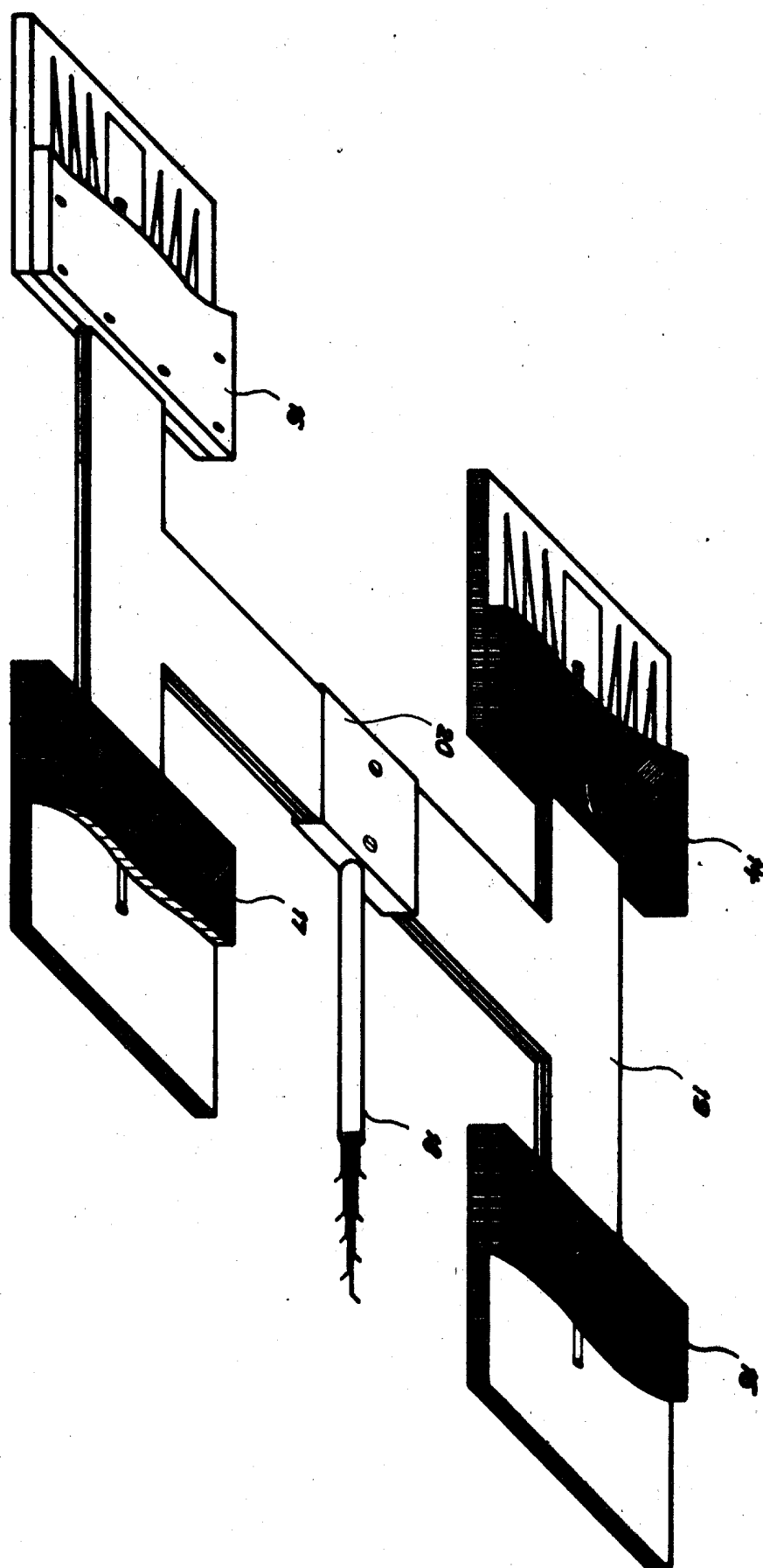


abr. 1.



08R.2

add. 3.



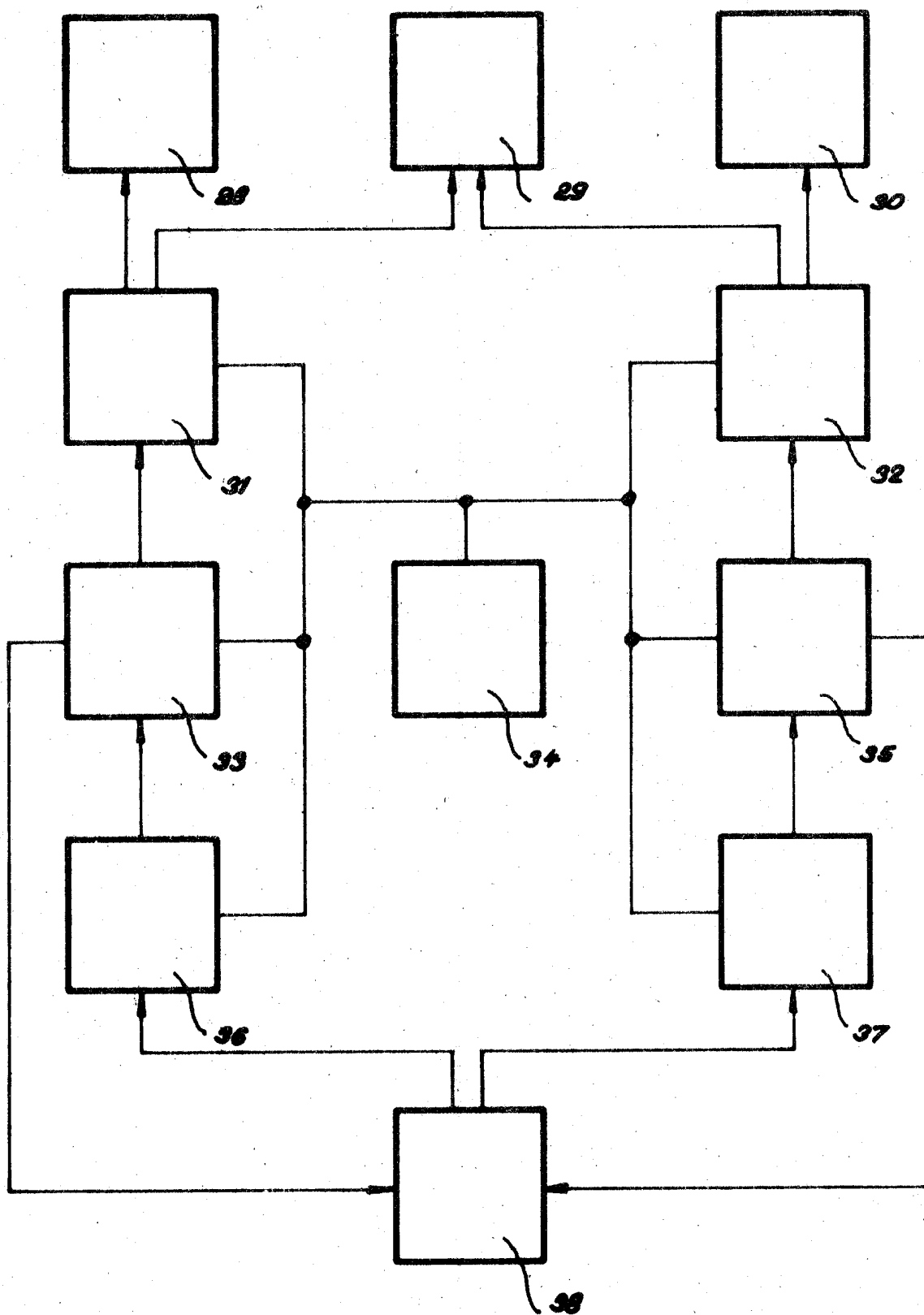


FIG. 4