

UŽITNÝ VZOR

(11) Číslo dokumentu:

28 903

(13) Druh dokumentu: **U1**

(51) Int. Cl.:

G01J 5/12 (2006.01)
G01J 5/20 (2006.01)

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLVÉHO
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2015-31542**
(22) Přihlášeno: **21.09.2015**
(47) Zapsáno: **30.11.2015**

- (73) Majitel:
Vysoké učení technické v Brně, Brno, CZ
- (72) Původce:
Ing. Pavel Neužil, Ph.D., Praha - Krč, CZ
doc. Ing. Jaromír Hubálek, Ph.D., Brno - Štýřice,
CZ
doc. Ing. Lukáš Fajcik, Ph.D., Brno - Slatina, CZ
- (74) Zástupce:
Ing. Dobroslav Musil, patentová kancelář, Ing.
Dobroslav Musil, Zábrdovická 11, 615 00 Brno

- (54) Název užitého vzoru:
**Elektronický systém pro detekci IR záření
pomocí pole bolometrů**

CZ 28903 U1

Elektronický systém pro detekci IR záření pomocí pole bolometrů

Oblast techniky

Technické řešení se týká elektronického systému pro detekci IR záření pomocí pole bolometrů, které je uspořádáno za optickou soustavou s říditelně otevíratelnou a uzavíratelnou clonou, přičemž poli bolometrů jsou přiřazeny obvody pro zjišťování elektrického odporu teplotního odporového snímače každého z bolometrů a vyhodnocovací elektronika výstupního signálu bolometrů, která je napojena na zobrazovací a záznamové prostředky.

Dosavadní stav techniky

Mikrobolometry jsou systémy obvykle používané na detekci infračerveného (IR) záření v oblasti 8 až 12 μm , případně i delší. Mikrobolometry jsou založeny na principu ohřevu tepelně izolované membrány dopadajícím IR zářením a následném měření změny teploty této membrány, přičemž tato změna teploty odpovídá množství membránou absorbované energie. Pomocí signálů z pole bolometrů je pak možné vytvořit IR obraz, např. pro tzv. termovizi. Takové bolometry jsou popsány např. v US 5 756 999.

Pole bolometrů, resp. mikrobolometrů, je schopné detekce tepelné energie emitované člověkem na vzdálenost až půl kilometru i více, vzhledem k tomu, že množství tepla emitované člověkem je velmi malé, musí být bolometr velmi citlivá součástka, aby i toto malé množství tepelné energie bylo schopné ohřát membránu bolometru tak, aby se tato změna dala detekovat. Do membrány bolometru je pro zjišťování její teploty integrován teplotní odporový snímač s typickou nominální hodnotou elektrického odporu mezi 2 k Ω a 10 k Ω . Výstupní signál tohoto snímače je nutné patřičně zesílit. Problém však je, že celková změna odporu tohoto snímače v důsledku ohřevu membrány bolometru dopadajícím IR zářením může být i jen 0,3 Ω a pro vytvoření standardního obrazu z IR kamery potřebujeme rozlišení minimálně 8 bitů. Samozřejmě vliv nominální hodnoty elektrického odporu řečeného teplotního snímače na výstupní signál se musí odstranit nejlépe analogově s velkým potlačením souhlasného signálu, tzv. common mode rejection (CMR), aby bylo možné patřičně zesílit složku, která obsahuje informaci o IR záření absorbovaném membránou bolometru.

Hodnota elektrického odporu teplotního snímače membrány bolometru se zjišťuje měřením elektrického proudu po přiložení elektrického napětí (Frank Niklaus, Christian Vieider & Henrik Jakobsen, MEMS-Based Uncooled Infrared Bolometer Arrays - A Review, Proc. of SPIE Vol. 6836, 68360D (2007)). Membrána bolometru je tepelně izolována od okolí, a proto v důsledku protékajícího proudu membránou bolometru dojde k jejímu ohřevu. Tento jev se nazývá vlastní ohřev, tzv. self-heating (SH), a je nutné ho kompenzovat. Pro jeho kompenzaci se používá metoda porovnávání dvou signálů, kdy jeden signál pochází z měřeného bolometru a druhý signál pochází z identického bolometru, který neabsorbuje IR záření, typicky z bolometru buď umístěného za clonou, takže na něj IR záření nedopadá, nebo z bolometru opatřeného tenkou vrstvou kovu, např. hliníku, který IR záření odrazí.

Dalším problémem u měření IR záření pomocí bolometrů je nehomogenita parametrů jednotlivých bolometrů v poli bolometrů, tzv. fixed pattern noise (FPN). Pole bolometrů termovizní kamery s vyšším rozlišením má typicky velikost 320 x 240 pixelů. Při jeho výrobě však není technicky možné dosáhnout toho, aby všechny bolometry celého pole bolometrů měly teplotní snímač s identickou nominální hodnotou elektrického odporu. Bohužel je tento rozptyl parametrů podstatně větší, než je změna elektrického odporu teplotního snímače v důsledku IR záření pohlceného membránou bolometru a v poli bolometrů tak dochází ke vzniku FPN, který je rovněž nutné kompenzovat. Kompenzace FPN spočívá v tom, že se IR kamera zamíří na plochu, která nemá žádný kontrast, tedy například se zavře clona IR kamery, takže IR kamera, resp. její pole bolometrů, zobrazuje pouze clonu. Obraz vzniklý při zavřené cloně ukazuje nehomogenitu parametru jednotlivých bolometrů, tj. jednotlivých pixelů vytvářeného IR obrazu. Kompenzace FPN

se v současné době provádí tak, že se podle obrazu vytvořeného se zavřenou clonou IR kamery vypočítají velikosti korekčních signálů pro každý jednotlivý bolometr, a tyto korekční signály se následně přes D/A převodník posílají zpět do čipu pole bolometrů tak, aby vznikl homogenní obraz při zavřené cloně, čímž se kompenzuje nerovnoměrnost parametrů jednotlivých bolometrů celého pole bolometrů. Toto řešení je známo např. z US 5 489 776 a také z článku: Paul Kruse, Uncooled Infrared Imaging Arrays and Systems, 1997 Academic Press. ISBN 0-12-752155-0.

Dalším známým způsobem zpracování signálu z pole bolometrů je zdigitalizovat celý signál s 20 až 22 bitovým rozlišením a následně pomocí digitálního zpracování signálu (DSP) získat IR obraz.

UI obou výše uvedených způsobů, tj. u zavádění korekčního signálu do čipu pole bolometrů i u digitalizace signálu a následného zpracování DSP, však vyvstává problém v podobě dosažení potřebné rychlosti převodu při daném rozlišení IR kamery. IR kamery pro snímání v reálném čase totiž pracují, buď v systému PAL, nebo v systému NTSC, a navíc se obvykle používá dvojnásobná frekvence obrazu, než je nominální frekvence pro každý z uvedených systémů. Znamená to tedy, že u PAL systému je nezbytné provést 25 x 320 x 240 převodů za sekundu a u NTSC systému je to ještě více, neboť tento systém používá 30 obrázků za sekundu. Bohužel je signál odpovídající IR záření dopadajícímu na membránu bolometrů v oblasti převodu nejméně významných bitů, tzv. least significant bits (LSB), zatímco nejvíce významné bity, tzv. most significant bits (MSB) obsahují pouze nezajímavou část obsahující CMR, FPN a SH.

Cílem technického řešení je vytvořit elektronický systém pro detekci IR záření pomocí pole bolometrů, u kterého by byly odstraněny nebo alespoň sníženy nevýhody dosavadního stavu techniky při zpracování signálu z pole bolometrů, zejména zjednodušen systém odstraněním FPN a kompenzace SH a CMR a sníženy nároky na výkonnost systému zpracování signálu při zachování kvality a přesnosti.

25 Podstata technického řešení

Cíle technického řešení je dosaženo elektronickým systémem pro detekci IR záření pomocí pole bolometrů, jehož podstata spočívá v tom, že vyhodnocovací elektronika výstupního signálu bolometrů obsahuje $\Sigma\Delta$ modulátor prvního řádu, který zpracovává výstupní signály bolometrů a dále obsahuje paměť pro uložení hodnot výstupních signálů bolometrů ve dvou různých okamžicích s odlišnou intenzitou dopadajícího IR záření, přičemž vyhodnocovací elektronika dále obsahuje prostředky pro určení rozdílu mezi hodnotami výstupních signálů bolometrů v těchto dvou různých okamžicích pro každý bolometr z pole bolometrů a prostředky pro přenesení těchto rozdílů do zobrazovacích a záznamových prostředků.

Tím, že se zpracovává rozdílový signál mezi měřeným bolometrem a referenčním bolometrem pomocí sigma-delta modulátoru ($\Sigma\Delta$) prvního řádu se automaticky provádí potlačení CMR a také se do značné míry eliminuje SH. $\Sigma\Delta$ modulátor je vlastně integrátor, u něhož při správném nastavení nedojde k saturaci výstupu. Integruje se pak rozdíl mezi měřeným bolometrem a referenčním bolometrem, přičemž tento rozdíl obsahuje pouze složku, která odpovídá FPN a pohlcenému IR záření, čímž se současně automaticky potlačuje šum z bolometru i elektroniky. Další výhodou řešení podle technického řešení je to, že tento integrátor v systému $\Sigma\Delta$ modulátoru prvního řádu je automaticky ochráněn proti saturaci.

Technickým řešením je tak vytvořen jednoduchý systém pro odstranění FPN, SH a CMR z výstupního signálu bolometru, resp. pole bolometrů, což umožňuje vypustit dříve užívanou kalibraci IR kamery pro určení korekční hodnoty pro jednotlivé bolometry z pole bolometrů, ukládání řady těchto hodnot do paměti, vytváření korekčního signálu a jeho posílání do čipu pole bolometrů, takže se celý systém elektronického zpracování signálů z pole bolometrů díky tomuto technickému řešení velmi zjednodušuje.

Příklady uskutečnění technického řešení

Technické řešení bude popsáno na příkladu zapojení obvodu pro zpracování signálu bolometru 1 z pole bolometrů. Obvod obsahuje referenční bolometr 11 a měřený bolometr 10, které jsou napojeny na první a druhé napájecí napětí V_1 a V_2 s referenčním proudem I_{ref} . Měřený bolometr 10 představuje 1 pixel vytvářeného obrazu IR kamery, tj. 1 pixel z pole bolometrů.

Oba bolometry jsou připojeny k prvnímu vstupu 200 integrátoru 20, na jehož druhý vstup 201 je připojeno první referenční napětí V_5 . Výstup 202 integrátoru 20, který je současně výstupem V_4 celého obvodu, je zpětnou vazbou 210 s kondenzátorem 21 napojen na první vstup 200 integrátoru 20. Hodnota kapacity kondenzátoru 21 se zvolí podle požadované měřicí doby. Referenční bolometr 11 má výstupní napětí V_7 , jak je schematicky znázorněno na obrázku.

Výstup 202 integrátoru 20 je dále napojen na první vstup 220 komparátoru 22, na jehož druhý vstup 221 je připojeno druhé referenční napětí V_6 . Komparátor 22 je současně napojen na časovač 222. Výstup 223 komparátoru 22 je veden na spínač 23 přívodu třetího napájecího napětí V_3 o referenčním proudě I_{ref} napojeného na první vstup 200 integrátoru 20.

Integrátor 20 tvoří společně s komparátorem 22 sigma-delta ($\Sigma\Delta$) modulátor prvního řádu.

Výše popsaný a na obrázku znázorněný obvod měří ve třech fázích:

1. fáze je fáze referenční, kdy se příslušný měřený bolometr 10 měří při zavřené cloně, čímž se tento měřený bolometr 10 de-facto měří jako referenční bolometr 11. Tímto měřením se získá hodnota napětí $V_4(0)$ na výstupu 202 integrátoru 20 pro konkrétní bolometr 10. Provedením měření na všech bolometrech 10 se získá hodnota napětí $V_4(0)$ na výstupu 202 integrátoru 20 pro každý bolometr 10 a tato hodnota se pro každý bolometr 10 se zapíše do paměti.

2. fáze je fáze měření IR záření, kdy se příslušný měřený bolometr 10 měří při otevřené cloně, čímž se získá hodnota napětí $V_4(IR)$ na výstupu 202 integrátoru 20 pro konkrétní bolometr 10. Provedením měření na všech bolometrech 10 se získá hodnota napětí $V_4(IR)$ na výstupu 202 integrátoru 20 pro každý bolometr 10 a tato hodnota se pro každý bolometr 10 se zapíše do paměti.

3. fáze je fáze zpracování rozdílových napětí $V_4(IR) - V_4(0)$, kdy se pro každý bolometr 10 vzájemně odečtou hodnoty napětí $V_4(IR)$ a $V_4(0)$ uložené do paměti během měření.

Pokud napětí $V_5 = V_7$, pak $\Sigma\Delta$ modulátor prvního řádu podle technického řešení zjišťuje, kolikrát byl výstup komparátoru 22 pozitivní v poměru k celkovému počtu kroků a tato hodnota se vynásobí referenčním proudem I_{ref} integrátoru 20. Výsledkem je hodnota rozdílového signálu, což v případě bolometrů 10, 11 odpovídá hodnotě FPN. Vlastní hodnota amplitudy absorbovaného IR záření přitom ovlivňuje pouze hodnotu napětí V_4 na výstupu integrátoru 20, která se měří jako výstupní signál, u něhož automaticky dochází ke zvýšení CMR a k potlačení SH a FPN.

Způsobem podle technického řešení se referenční výstupní signál a měřicí výstupní signál zpracovává $\Sigma\Delta$ modulátorem prvního řádu, přičemž se $\Sigma\Delta$ modulátor využívá na zabránění přetečení integrátoru 20, na kterém se integruje signál odpovídající amplitudě absorbovaného IR záření. Při měření se $\Sigma\Delta$ modulátor prvního řádu nastaví pro zamezení saturace výstupu integrátoru 20.

Elektronický systém podle technického řešení obsahuje pole bolometrů 10, které je uspořádáno za optickou soustavou s říditelně otevíratelnou a uzavíratelnou clonou. Pole bolometrů 10 má v jednom příkladu provedení standardních 320 x 240 bolometrů 10 (pixelů) a pracuje v systému PAL, tj. 25 snímků za sekundu.

V jiném příkladu provedení má pole bolometrů 10 jiný vhodný počet řádků a sloupců bolometrů 10.

Polí bolometrů 10 jsou přiřazeny obvody pro zjišťování elektrického odporu teplotního odporového snímače každého z bolometrů 10 a také vyhodnocovací elektronika výstupního signálu bo-

lometrů 10, která je napojena na další prostředky IR kamery, zejména na digitální zpracování signálů, zobrazovací a záznamové prostředky, např. IR kamery.

5 Vyhodnocovací elektronika výstupního signálu bolometrů přitom obsahuje $\Sigma\Delta$ modulátor prvního řádu, který je opatřen alespoň jedním vstupem referenčního napětí pro nastavení potlačení saturace svého výstupu.

10 Vyhodnocovací elektronika výstupního signálu bolometrů 10 dále obsahuje paměť pro uložení informací o množství IR záření dopadajícího na membránu každého bolometru 10 ve dvou různých okamžicích, z nichž v každém okamžiku má dopadající IR záření odlišnou intenzitu, a dále obsahuje prostředky pro určení rozdílu mezi hodnotami dopadajícího IR záření v těchto dvou různých okamžicích pro každý bolometr 10. Vyhodnocovací elektronika dále obsahuje prostředky pro přenesení těchto rozdílů do dalších prostředků IR kamery, zejména zobrazovacích a záznamových prostředků IR kamery.

15 V příkladu provedení IR kamery podle technického řešení je celé pole bolometrů rozděleno tak, že se signál zpracovává po řádcích, kdy se posuvným registrem zvolí řádek bolometrů 10 a každý sloupec bolometrů 10 má přiřazen vlastní obvod pro zpracování signálu z bolometru 10 patřícího do zvoleného řádku a tímto obvodem se provedou obě měření, tj. jak při zavřené tak i otevřené cloně IR kamery. To znamená, že poli bolometrů 10 je přiřazen systém posuvného registru řádků bolometrů 10 a každému sloupci bolometrů 10 je přiřazen jeden vyhodnocovací obvod se $\Sigma\Delta$ modulátorem prvního řádu podle technického řešení. Paralelně se tak měří všechny sloupce bolometrů 10, ale postupně se zpracovávají signály ze všech bolometrů v řádku, tzn. čas je počet řádků krát (x) dlouhý, než kdyby se snímalo celé pole bolometrů 10 po jednotlivých bolometrech 10 (pixelech). Je tedy k dispozici okolo 100 μ s na zpracování signálu z jednoho bolometru 10.

20 V jiném příkladu provedení je posuvný registr přiřazen sloupcům bolometrů 10 a každému řádku bolometrů je přiřazen jeden vyhodnocovací obvod se $\Sigma\Delta$ modulátor prvního řádu podle technického řešení.

30 Při zachování snímkové frekvence dvojnásobné, než je nominální snímková frekvence pro systém PAL (nebo N.TSC), je potřeba zpracovat signály z celého pole bolometrů 10 50x (nebo 60x) za sekundu s přesností 20 až 22 bitů, přičemž informace o amplitudě absorbovaného infračerveného záření je obsažena pouze v nejméně významných bitech. Použitím $\Sigma\Delta$ modulátoru prvního řádu podle technického řešení pracujícím s hodinovým kmitočtem (taktovací frekvencí) 10 MHz se během doby 100 μ s dosáhne převodu analogové podoby signálu do digitální podoby 10 bitů. V těchto 10 bitech je přitom informace o statickém rozdílu v hodnotách odporu mezi měřeným bolometrem 10 a referenčním bolometrem 11, přičemž těchto 10 bitů neobsahuje informaci o amplitudě absorbovaného IR záření. Minimálně se tedy pracuje s hodinovým kmitočtem $\Sigma\Delta$ modulátoru prvního řádu o hodnotě 100 kHz a během doby, která je rovna nebo je kratší, než je doba určená podílem počtu snímků za sekundu a počtem řádků nebo sloupců, se analogový signál převede do digitálního signálu.

Průmyslová využitelnost

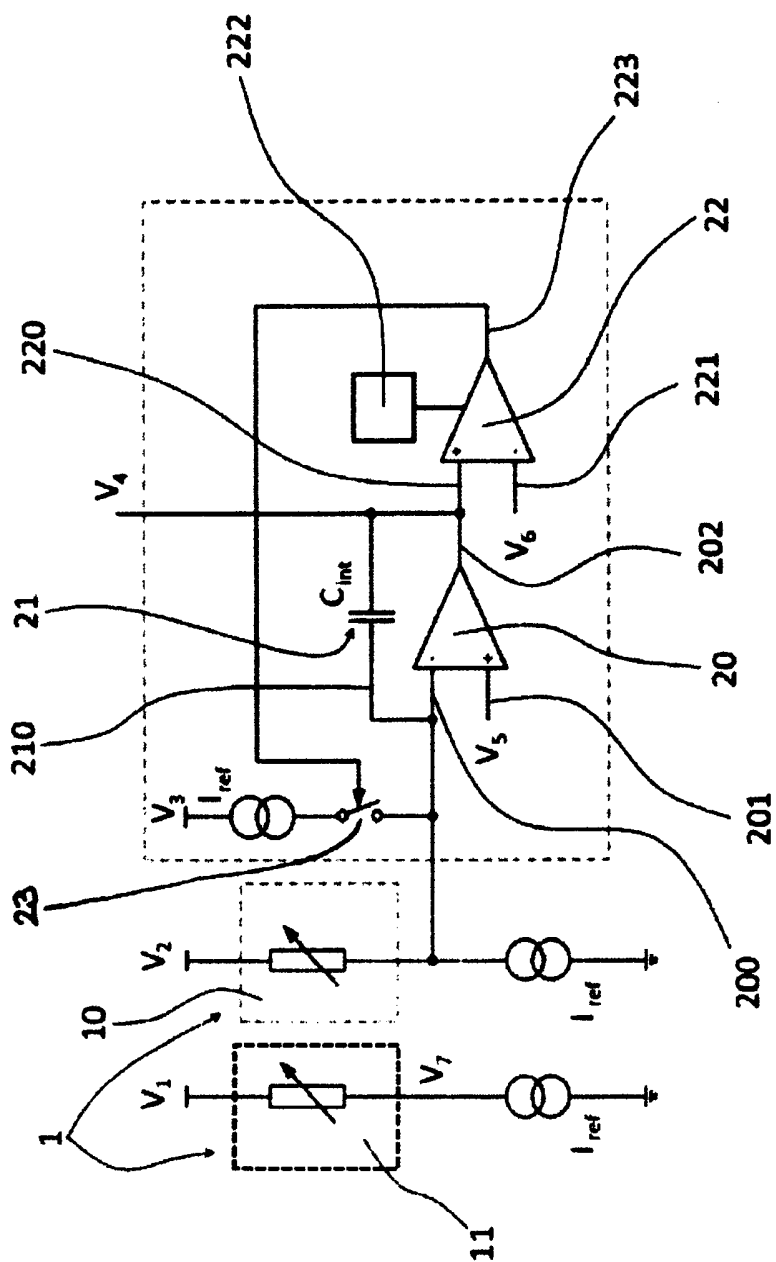
40 Technické řešení je využitelné v tzv. termovizi, tj. sledování teplo vyzařujících objektů a k detekci IR záření s velmi dlouhou vlnovou délkou, případně až pro oblast THz.

N Á R O K Y N A O C H R A N U

1. Elektronický systém pro detekci IR záření pomocí pole bolometrů, které je uspořádáno za optickou soustavou s říditelně otevíratelnou a uzavíratelnou clonou, přičemž poli bolometrů jsou přiřazeny obvody pro zjišťování elektrického odporu teplotního odporového snímače každého

- z bolometrů a vyhodnocovací elektronika výstupního signálu bolometrů, která je napojena na zobrazovací a záznamové prostředky, **v y z n a č u j í c í s e t í m**, že vyhodnocovací elektronika výstupního, signálu bolometrů obsahuje $\Sigma\Delta$ modulátor prvního řádu pro zpracování výstupních signálů bolometrů (10) a dále obsahuje paměť pro uložení hodnot výstupních signálů bolometrů (10) ve dvou různých okamžicích s odlišnou intenzitou dopadajícího IR záření, přičemž vyhodnocovací elektronika dále obsahuje prostředky pro určení rozdílu mezi hodnotami výstupních signálů bolometrů (10) v těchto dvou různých okamžicích pro každý bolometr (10) pole bolometrů (10) a prostředky pro přenesení těchto rozdílů do zobrazovacích a záznamových prostředků.
- 10 **2.** Elektronický systém podle nároku 1, **v y z n a č u j í c í s e t í m**, že $\Sigma\Delta$ modulátor prvního řádu obsahuje integrátor (20), na jehož první vstup (200) je napojen výstup bolometru (10, 11), přičemž na druhý vstup (201) integrátoru (20) je připojeno první referenční napětí (V_5) a výstup (202) integrátoru (20), který je současně výstupem (V_4) celého obvodu, je zpětnou vazbou (210) s kondenzátorem (21) napojen na první vstup (200) integrátoru (20) a současně je vý-
- 15 **st**up (202) integrátoru (20) dále napojen na první vstup (220) komparátoru (22), na jehož druhý vstup (221) je připojeno druhé referenční napětí (V_6), komparátor (22) je napojen na časovač (222) a výstup (223) komparátoru (22) je veden na spínač (23) přívodu třetího napájecího napětí (V_3) o referenčním proudu (I_{ref}) napojeného na první vstup (200) integrátoru (20) a referenční bolometr (11) má výstupní napětí (V_7).
- 20 **3.** Elektronický systém podle nároku 2, **v y z n a č u j í c í s e t í m**, že $\Sigma\Delta$ modulátor prvního řádu je opatřen alespoň jedním vstupem (221) referenčního napětí (V_6) pro nastavení potlačení saturace výstupu integrátoru (20).
- 4.** Elektronický systém podle kteréhokoli z nároků 1 až 3, **v y z n a č u j í c í s e t í m**, že poli bolometrů (10) je v jednom směru přiřazen posuvný registr pro volbu řádků nebo sloupců bolometrů a ve druhém směru jsou poli bolometrů (10) přiřazeny vyhodnocovací obvody se $\Sigma\Delta$ modulátorem prvního řádu pro vyhodnocování výstupního signálu každého bolometru (10) ve zvoleném řádku nebo sloupci.
- 25

1 výkres



Konec dokumentu