



FEDERÁLNÍ ÚŘAD  
PRO VYNÁLEZY

# POPIS VYNÁLEZU K AUTORSKÉMU OSVĚDČENÍ

267 001

(21) FV 3041-84  
(22) Přihlášeno 24 04 84

(40) Zveřejněno 12 03 87  
(45) Vydáno 30 06 90

(11)

(13) B1

(51) Int. Cl.<sup>4</sup>

H 03 H 11/10

(75)

Autor vynálezu

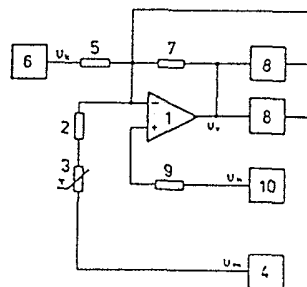
MARKES Rudolf ing. CSc.,  
HOLEC Jaroslav, Liberec

(54)

Zapojení termistorového převodníku  
teplota - napětí

(57)

S termistorem (3) o záporném teplotním součiniteli odporu je v sérii zapojen odpor (2), přičemž tyto součástky jsou spojeny s invertujícím vstupem operačního zesilovače (1). Na volný konec termistoru (3) nebo obvodu vytvořeného z jednoho nebo více termistorů (3) a odporů, je připojen zdroj (4) konstantního napětí. Podstatou řešení je, že invertující vstup operačního zesilovače (1) je spojen přes odpor (7) a jeden nebo více nelineárních obvodů (8) s výstupem operačního zesilovače (1) a dále přes odpor (5) spojen se zdrojem (6) konstantního napětí. Neinvertující vstup operačního zesilovače (1) je spojen se zdrojem (10) konstantního napětí přes odpor (9). Zdroje (4, 6, 10) konstantního napětí jsou vytvořeny jako odporový dělič napětí nebo jsou vytvořeny spojením se zemí. Nelineární obvod (8) je tvořen diodovým jednocestným usměrňovačem s operačním zesilovačem.



Vynález se týká termistorového převodníku tepla - napětí s termistorem o záporném teplotním součiniteli odporu a s operačním zesilovačem, jehož invertující vstup je přes odpor a v sérii s ním zapojený termistor spojen se zdrojem konstantního napětí.

Termistory se záporným teplotním součinitelem odporu jsou často užívanými čidly teploty. K jejich přednostem patří zejména velká citlivost a možnost dosáhnout malé časové konstanty. Naproti tomu je nutno se v aplikacích vypořádat se silně nelineární teplotní závislostí jejich odporu. Pro získání napětí lineárně závislého na teplotě jsou užívána zapojení založená na různých analogových a číslicových principech. Poměrně dobrou linearizaci, vyznačující se shodou s lineární závislostí při třech teplotách, lze získat zapojením odporu vhodné hodnoty do série s termistorem. Odchytky od lineární závislosti rostou s třetí mocninou šířky pásma linearizace, to je se třetí mocninou rozdílu nejvyšší a nejnižší teploty shody s lineární závislostí a nelze je ovlivnit zapojením paralelního odporu k termistoru či užitím sérioparalelní kombinace s odpory a jedním termistorem. Odchytky mohou být za cenu podstatného zvětšení dosažitelné časové konstanty sníženy, použije-li se tak zvaný termilinární dvojpól, tvořený dvěma termistory a odporem.

Známa zapojení převodníku teplota - napětí s odporem v sérii s termistorem jsou představována děličem napětí, spojeným s obvodem pro snímání napětí na odporu, který je v sérii s termistorem. Jejich nevýhody spočívají zejména v tom, že obvod pro snímání napětí musí mít relativně velký vstupní odpor, že jeho výstupní napětí má na teplotě nezávislou složku obvykle nevhodné velikosti a zejména, že lze jen obtížně rozšířit oblast teplot s malými odchylkami od linearity.

Nevýhody známých zapojení termistorového převodníku teplota - napětí s odporem v sérii s termistorem o záporném teplotním součiniteli odporu odstraňuje zapojení podle vynálezu, obsahující operační zesilovač, jehož invertující vstup je přes odpor a v sérii s ním zapojený termistor spojen se zdrojem konstantního napětí. Podstata řešení spočívá v tom, že invertující vstup operačního zesilovače je přes další odpor spojen s jiným zdrojem konstantního napětí a přes jiný odpor a přes alespoň jeden nelineární obvod spojen s výstupem téhož operačního zesilovače. Neinvertující vstup operačního zesilovače je spojen s dalším zdrojem konstantního napětí a to přes odpor.

V převodníku podle vynálezu může být nelineární obvod výhodně vytvořen jako diodový jednocestný usměrňovač s operačním zesilovačem, který je na invertujícím vstupu opatřen odpory pro spojení s výstupem operačního zesilovače převodníku, k němuž je připojen termistor, a ke spojení se zdroji konstantního napětí. Zdroje konstantního napětí lze vytvořit jako odporový dělič nebo vytvořit spojením se zemí. Operační zesilovač nelineárního obvodu je na výstupu opatřen odporem pro spojení s invertujícím vstupem operačního zesilovače, k němuž je připojen termistor.

Zapojení podle vynálezu umožňuje dosáhnout značně nižší odchylky od lineární závislosti výstupního napětí na teplotě než u známých převodníků teplota - napětí, v nichž je v sérii s termistorem odpor, a nižší nebo stejné odchylky jako u převod-

níků s termistorem, pracujících na jiných analogových nebo číslicových principech. Může být dosažena stejná nebo lepší linearita než s tak zvaným termilineárním dvojpólem a to i při nižší dosažitelné časové konstantě. Na teplotě nezávislá složka výstupního napětí může být v převodníku podle vynálezu snadno přizpůsobena danému účelu. Parametry převodníku lze volit tak, že hodnota výstupního napětí je, s přesností odpovídající linearizaci, dekadickým násobkem teploty ve  $^{\circ}\text{C}$ ,  $^{\circ}\text{F}$  a podobně. Zapojení je do té míry jednoduché, že může být bez obtíží realizováno v rozměrech, odpovídajících umístění v rukojeti čidla. Tím je vytvořena možnost navzájem výměnných čidel i s běžnými termistory, vykazujícími navzájem odlišné teplotní závislosti odporu. Převodník podle vynálezu umožňuje plně využít přesnosti termistoru se zaručovanou teplotní závislostí odporu. Pro ten případ přichází v úvahu i výroba převodníku technikou hybridních integrovaných obvodů.

Zapojení podle vynálezu dává možnost dosáhnout jak dobré linearizace tak nízké časové konstanty, což se u dosud známých zapojení vzájemně vylučuje. Tak lze např. ve vzduchu proudícím rychlostí řádu  $0,1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  a nižší, měřit termistorem teplotu s časovou konstantou pod 2 sec při přesnosti linearizace, závislé pouze na použitém zapojení. V zapojení je možno použít dva zpětnovazební nelineární obvody s rozdílovými operačními usměrňovači a k dosažení maximální odchylky  $\pm 0,048 \text{ }^{\circ}\text{C}$  v intervalu 0 až  $100 \text{ }^{\circ}\text{C}$  je použit termistor s teplotní závislostí odporu  $1000/(T + 273,16) = 3,042 + 0,9655 \cdot 1_n R + 0,0012 \cdot (1_n R)^3$ . Pokud se použije čtyř nelineárních obvodů téhož typu, např. dvou integrovaných obvodů MAA 1458 s pasivními součástkami, bude pro dané pásmo 0 až  $100 \text{ }^{\circ}\text{C}$  maximální odchylka od linearity nejvýše  $\pm 0,041 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Zapojení podle vynálezu je dále vysvětleno na příkladech.

#### Příklad 1

V zapojení podle obrázku je na invertující vstup operačního zesilovače 1 připojen přes odpor 2 termistor 3, spojený se zdrojem 4 napětí. Invertující vstup je přes odpor 5 spojen se zdrojem 6 napětí a přes odpor 7 s výstupem operačního zesilovače 1. Další spojení výstupu s invertujícím vstupem je provedeno dvěma nelineárními obvody 8. Na neinvertující vstup operačního zesilovače 1 je přes odpor 9 připojen zdroj 10 napětí. Termistor má s přesností lepší než  $0,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$  závislost odporu  $R$  ( $k \Omega$ ) na teplotě ( $^{\circ}\text{C}$ ).

$$(T + 273,16)^{-1} = 10^{-3} \cdot [3,0472 + 0,9655 \cdot 1_n(R) + 0,0012 \cdot (1_n R)^3]$$

Napětí zdroje 4 je 0 V, napětí zdroje 6 je 0,5 V a napětí zdroje 10 je 0,05 V. Oba nelineární obvody 8 jsou zapojeny (v obr. 1 není zakresleno) jako rozdílové jednocestné usměrňovače s operačním zesilovačem, kde jsou zpětné vazby z výstupu na invertující vstup provedeny přes diodu v sérii s odporem a přes opačně pólovanou diodu a které mají invertující vstup přes odpory spojen s výstupem operačního zesilovače 1 a také se zdrojem konstantního napětí. Neinvertující vstup je uzemněn. Uzel mezi diodou a odporem ve zpětné vazbě je přes odpor uzemněn a dalším odporem, který má hodnotu  $2700 \text{ k}\Omega$ , je spojen s invertujícím vstupem operačního zesilovače 1.

Funkce zapojení je taková, že mezi teplotami  $18,36 \text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $76,06 \text{ }^{\circ}\text{C}$  se uplatňuje pouze linearizační vliv sériového odporu 2, zatímco při nižších a vyšších teplotách

mají vliv nelineární obvody  $\underline{8}$  a dochází k nelineární korekci. Při hodnotách odporu  $\underline{2}$  0,2594 k $\Omega$ , odporu  $\underline{7}$  33,099 k $\Omega$  a odporu  $\underline{5}$  18,281 k $\Omega$  je napětí na výstupu operačního zesilovače  $\underline{1}$  úměrné teplotě ve  $^{\circ}\text{C}$  s konstantou úměrnosti 0,01 V.K $^{-1}$  a maximální absolutní hodnotou odchylky 0,05205 K. Tato hodnota odchylky se objevuje jako kladná při 18,36  $^{\circ}\text{C}$  a 60,97  $^{\circ}\text{C}$  a jako záporná při 32,19  $^{\circ}\text{C}$  a 76,06  $^{\circ}\text{C}$ . Nulová odchylka od lineární závislosti je při 22  $^{\circ}\text{C}$ , 46,314  $^{\circ}\text{C}$  a 72  $^{\circ}\text{C}$ . Napětí zdroje, připojených na invertující vstupy nelineárních obvodů, odpovídají teplotám počátku nelineární korekce a jejich zesílení je zvoleno takové, že maximální absolutní hodnota odchylky je opět rovna 0,05205 K, což platí do 0  $^{\circ}\text{C}$  na jednom a do 88,38  $^{\circ}\text{C}$  na druhém konci nastaveného rozsahu linearizace.

Pro výstupní napětí  $U_k$  nelineárních obvodů  $\underline{8}$  platí

$$U_k = 3,00803 \cdot (0,1841 - U_v) \quad \text{pro } T \leq 18,36 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

$$U_k = 2,61473 \cdot (0,7601 - U_v) \quad \text{pro } T \geq 70,06 \text{ } ^{\circ}\text{C},$$

kde  $U_v$  je výstupní napětí operačního zesilovače  $\underline{1}$  (V)

$T$  je teplota termistoru ( $^{\circ}\text{C}$ )

V konkrétním provedení jsou odpory  $\underline{5}$  a  $\underline{7}$  a zesílení obou nelineárních obvodů  $\underline{8}$  nastavitelné, což je zajištěno odporovými trimry. Zdroje  $\underline{6}$  a  $\underline{10}$  napětí jsou vytvořeny jako odporový dělič stabilizovaného napájecího napětí.

#### Příklad 2

Schéma zapojení odpovídá obr. s tou výjimkou, že jsou použity čtyři nelineární obvody  $\underline{8}$ . Termistor  $\underline{3}$  je stejný jako v příkladu 1, stejně jsou provedeny nelineární obvody  $\underline{8}$ , shodná jsou i napětí zdrojů  $\underline{4}$ ,  $\underline{6}$ , a  $\underline{10}$ .

Odchylky výstupního napětí od lineární závislosti jsou ve své absolutní hodnotě menší než 0,02283 K v rozmezí teplot od 0,36  $^{\circ}\text{C}$  do 100,90  $^{\circ}\text{C}$ . Odpor  $\underline{2}$  má při tom hodnotu 0,2534 k $\Omega$ , odpor  $\underline{7}$  je 32,729 k $\Omega$  a odpor  $\underline{5}$  je 18,235 k $\Omega$ .

Při funkci zapojení probíhá linearizace jen sériovým odporem  $\underline{2}$  v rozmezí 26,19  $^{\circ}\text{C}$  až 70,10  $^{\circ}\text{C}$ . Mezi 11,81  $^{\circ}\text{C}$  a 26,19  $^{\circ}\text{C}$  a také mezi 70,10  $^{\circ}\text{C}$  a 86,66  $^{\circ}\text{C}$  se uplatňuje činnost jednoho nelineárního obvodu  $\underline{8}$ . Na koncích rozsahu linearizace pak jsou v činnosti dva nelineární obvody  $\underline{8}$ . Největší absolutní hodnota odchylky od lineární závislosti, tj. 0,02263 K, se vyskytuje při teplotách 0,36  $^{\circ}\text{C}$  (kladná odchylka), 5,93  $^{\circ}\text{C}$  (záporná odchylka), 11,81  $^{\circ}\text{C}$  (kladná), 18,67  $^{\circ}\text{C}$  (záporná), 26,19  $^{\circ}\text{C}$  (kladná), 36,84  $^{\circ}\text{C}$  (záporná), 58,76  $^{\circ}\text{C}$  (kladná), 70,10  $^{\circ}\text{C}$  (záporná), 78,67  $^{\circ}\text{C}$  (kladná), 86,69  $^{\circ}\text{C}$  (záporná), 93,89  $^{\circ}\text{C}$  (kladná), 100,90  $^{\circ}\text{C}$  (záporná).

Při stejné hodnotě výstupních odporů nelineárních obvodů  $\underline{8}$  jako v příkladu 1 platí pro jejich výstupní napětí:

$$U_k = 1,72887 \cdot (0,2621 - U_v) \quad \text{pro } T \leq 26,19 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

$$U_k = 2,36002 \cdot (0,1183 - U_v) \quad \text{pro } T \leq 11,81 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

$$U_k = 1,54256 \cdot (0,7008 - U_v) \quad \text{pro } T \geq 70,10 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

$$U_k = 1,54819 \cdot (0,8667 - U_v) \quad \text{pro } T \geq 86,69 \text{ } ^{\circ}\text{C}.$$

Zapojení podle vynálezu může být také využito pro tak zvaný termilineární dvojpól místo termistoru a také k linearizaci výstupního signálu jiných čidel, jejichž odpor vykazuje podobnou závislost na vstupní veličině jako termistor na teplotě, jako například fotoodporů.

#### P Ř E D M Ě T V Y N Á L E Z U

1. Zapojení termistorového převodníku teplota - napětí, s termistorem o záporném teplotním součiniteli odporu a s operačním zesilovačem, kde invertující vstup operačního zesilovače je přes odpor a v sérii s ním zapojený termistor spojen se zdrojem konstantního napětí, vyznačené tím, že invertující vstup operačního zesilovače (1) je přes odpor (5) spojen se zdrojem konstantního napětí (6) a přes odpor (7) a alespoň jeden nelineární obvod (8), vytvořený jako diodový jednocestný usměrňovač s operačním zesilovačem, spojen s výstupem operačního zesilovače (1) a neinvertující vstup operačního zesilovače (1) je přes odpor (9) spojen se zdrojem (10) konstantního napětí.

2. Zapojení podle bodu 1, vyznačené tím, že operační zesilovač nelineárního obvodu (8) je na invertujícím vstupu opatřen odpory pro spojení s výstupem operačního zesilovače (1) a se zdrojem konstantního napětí a na výstupu odporem pro spojení s invertujícím vstupem operačního zesilovače (1).

CS 267 001 B1

