



ÚŘAD PRO VYNÁLEZY  
A OBJEVY

# POPIS VYNÁLEZU K AUTORSKÉMU OSVĚDČENÍ

[22] Přihlášeno 26 08 81  
[21] (PV 6355-81)

[40] Zveřejněno 17 09 84

[45] Vydáno 15 02 87

**235114**  
(11) (B1)

(51) Int. Cl.<sup>3</sup>  
H 03 F 1/30

(75)

Autor vynálezu

BYDŽOVSKÝ JAN ing. CSc., PRAHA

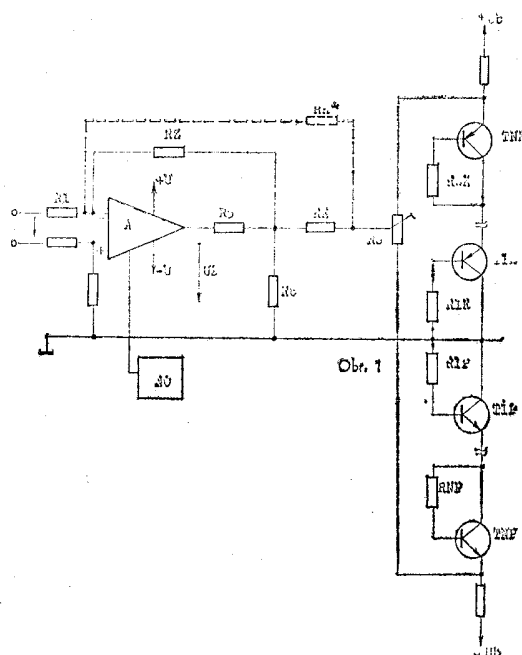
## (54) Zapojení pro teplotní kompenzaci operačního zesilovače

1

Vynález spadá do oboru zesilovací elektroniky a jeho účelem je odstranění nutnosti vybírat vhodné operační zesilovače s kladnou nebo zápornou charakteristikou změny napětí v závislosti na změně teploty okolí a podle toho pak vyhledávat vhodné kompenzační prvky.

Podle podstaty vynálezu se toho docílilo tím, že výstup, popřípadě vstup operačního zesilovače je zapojen v úhlopříčce kompenzačního můstku, v jehož jedné větvi jsou v každém ramenu jeden nebo více tranzistorů v sérii v zapojení se spol. emitorem opačného typu vodivosti a v druhé větvi nastavovací potenciometr. V druhé úhlopříčce je zapojen napájecí zdroj.

2



Vynález se týká zapojení pro teplotní kompenzaci operačního zesilovače.

U operačních zesilovačů, ať integrovaných monolitických nebo z diskretních součástí, se následkem nedokonalosti výroby, respektive následkem nestejných parametrů součástí projevuje tzv. teplotní drift. Ten je příčinou změny výstupního napětí operačního zesilovače při změně okolní teploty za předpokladu konstantního napětí mezi invertujícím a neinvertujícím vstupem operačního zesilovače. Teplotní drift nastává především v důsledku teplotní změny vstupního odporu operačního zesilovače a teplotních změn parametrů součástí vstupních obvodů, čímž se mění napětí a proudy mezi invertující a neinvertujícím vstupem operačního zesilovače. Na velikost teplotního driftu má především vliv zapojení vstupního obvodu, který je většinou realizován jako diferenční zapojení.

Je známa řada zapojení řešících teplotní kompenzaci operačního zesilovače. Například mezi invertující vstup a napájecí zdroj nebo mezi invertující vstup a nulovou sběrnici je zapojen teplotně závislý odpor. Jiné řešení používá teplotně závislého napájecího zdroje proudu, z něhož je napájen invertující vstup. Jiná řešení používají teplotně závislých odporů ve zpětné vazbě nebo na výstupu operačního zesilovače.

Nevýhodou těchto zapojení je, že kompenzace je řešena pouze pro malý rozsah teplot. Kromě toho musí být známo, jaký drift u operačního zesilovače nastává, tj. bude-li změna napětí na výstupu v závislosti na teplotě kladná nebo záporná.

U stejného typu zesilovače může být drift kladný nebo záporný, v závislosti na provedení vstupního obvodu. Proto je nejprve nutno provádět výběr operačních zesilovačů a teprve potom řešit teplotní kompenzaci výběrem teplotně závislého prvku s kladným nebo záporným součinitelem podle charakteru driftu. Velké obtíže vznikají zejména při náhradě poškozených operačních zesilovačů, které vykazovaly drift, jehož charakter není znám.

Shora uvedené nevýhody odstraňuje zapojení podle vynálezu, jehož podstata spočívá v tom, že je opatřeno kompenzačním můstkem, v jehož jedné úhlopříčce je zapojen napájecí zdroj, v jedné větvi nastavitelný dělič napětí, v druhé větvi jeden či více tranzistorů v sérii v zapojení se společným emitorem v každém ramenu opačného typu vodivosti, přičemž mezi střední vývod nastavitelného děliče napětí a uzel spojující tranzistory opačného typu vodivosti je v druhé úhlopříčce zapojen výstup operačního zesilovače.

Výhodou zapojení je široký rozsah teplot od  $-10^{\circ}\text{C}$  do  $+80^{\circ}\text{C}$ . Zapojení lze použít pro operační zesilovače s libovolným charakterem tepelného driftu (kladná nebo záporná změna výstupního napětí). Při velkých zesíleních (větších než 100) se na ve-

likosti kompenzačního napětí, na výstupu operačního zesilovače neuplatňuje zařazený odpor.

Při řešení zapojení podle vynálezu se vycházelo z fyzikální podstaty jevu. Na základě měření se dosáhlo, že teplotní drift operačního zesilovače se řídí stejnou funkční závislostí, jako je teplotní závislost napětí na tranzistoru. Tento drift může být kladný nebo záporný, v závislosti na provedení vstupního obvodu.

Na připojených výkresech je na obr. 1 uveden příklad zapojení a na obr. 2 graf závislosti výstupního napětí u kompenzačního členu na teplotě. Na obr. 1 je znázorněno známé zapojení operačního zesilovače **A** s prvním odporem **R1** na invertujícím vstupu a pátým, šestým a zpětnovazebním odporem **R5**, **R6** a **Rz** na výstupu, určujícími zesílení a zpětnou vazbu. Jde tedy o zapojení se zpětnou vazbou pomocí **T** článku.

K výstupu operačního zesilovače **A** je podle vynálezu připojen kompenzační můstek, v jehož jedné větvi jsou zapojeny tranzistory, a to tak, že v ramenu spojeném s kladným pólem napájecího zdroje + **Ub** je zapojen jeden nebo více **PNP** tranzistorů **T1K** až **TNK** v sérii, typu **PNP**, v zapojení se společným emitorem a v druhém ramenu, spojeném se záporným pólem napájecího zdroje - **Ub** je zapojen jeden nebo více **NPN** tranzistorů **T1P** až **TNP** v sérii, typu **NPN**, rovněž v zapojení se společným emitorem. V druhé větvi je zapojen nastavitelný dělič napětí **RS** tak, že krajní konce jsou připojeny na uzly úhlopříčky, v níž je napájecí zdroj + **Ub**, - **Ub**. Na střed nastavitelného děliče napětí **RS**, tvořeného běžcem potenciometru a uzlový bod spojující tranzistory opačného typu vodivosti první **PNP** tranzistor **T1K** a první **NPN** tranzistor **T1P** je v druhé úhlopříčce můstku zapojen výstup operačního zesilovače **A**, popřípadě jeho vstup, jak je naznačeno na výkrese čárkovaně.

Následkem teplotního driftu dochází ke změně stejnosměrného napětí na výstupu operačního zesilovače **A**. K vykompenzování tohoto posunu napětí je na výstup operačního zesilovače **A** přivedeno přes dělič napětí **RS** napětí kladné nebo záporné podle nastavení běžce. Důležité je, že absolutní hodnota tohoto napětí se mění v závislosti na teplotě okolí. Proto stačí zjistit charakter driftu a podle toho nastavit dělič napětí **RS**. Při provozu je na tranzistorech kompenzačního můstku stejnosměrné napětí, jehož hodnota musí být kompenzována pomocí nastavovacího obvodu **NO**, který je součástí každého operačního zesilovače.

Návrh kompenzace operačního zesilovače vychází z toho, že teplotní závislost napětí na sepnutých bipolárních tranzistorech je stejného charakteru jako je teplotní drift operačních zesilovačů. Teplotní drift operačního zesilovače může být kladný nebo

záporný, to znamená, že změna výstupního napětí může být kladná nebo záporná při konstantním napětí na vstupu operačního zesilovače. Proto byl navržen kompenzační obvod takového charakteru, který umožňuje vykompenzovat libovolný charakter driftu. Jedná se o operační zesilovač známého zapojení o invertujícím a neinvertujícím vstupu, jehož zesílení se nastavuje pomocí zpětnovazebního členu typu T, který je tvořen zpětnovazebním pátým a šestým odporem **RZ**, **R5**, **R6**. Do součtového bodu, který je tvořen vývody zpětnovazebního pátého a šestého odporu **RZ**, **R5**, **R6** je přivedeno kompenzační napětí přes kompenzační odpor **RK** z kompenzačního členu.

Část kompenzačního napětí je přivedena na invertující vstup operačního zesilovače **A** přes zpětnovazební odpor **RZ**. Toto napětí je zesíleno operačním zesilovačem **A**, přičemž zesílení závisí na hodnotách zpětnovazebního pátého a šestého odporu **RZ**, **R5**, **R6**. Zesílené napětí je opačné polarity než kompenzační napětí přivedené přes kompenzační odpor **RK** do součtového bodu. Na výstupu operačního zesilovače **A** je potom kompenzační napětí dané rozdílem zesíleného napětí a napětí přiváděného do součtového bodu. Projevuje se tedy zpětnovazební působení, které celé kompenzační zapojení stabilizuje. Pro velká zesílení (větší než 100) se na velikosti kompenzačního napětí na výstupu neuplatní zpětnovazební odpor **RZ**.

Kompenzační člen je tvořen sepnutými bipolárními tranzistory, zapojenými dle obrázku. V příkladu zapojení jsou uvedeny dvě větve tvořené tranzistory typu **PNP** a **NPN**. Počet zapojených tranzistorů v sérii závisí od velikosti driftu operačního zesilovače, který se kompenzuje. V praktických zapojeních při kompenzaci monolitických operačních zesilovačů Tesla se vystačí s dvěma tranzistory v každé větvi kompenzačního členu.

Absolutní hodnotu napětí mezi emitorem n-tého **PNP** tranzistoru **TNK** a dále pak n-tého **NPN** tranzistoru **TNP** se zmenšuje s rostoucí teplotou. Tato závislost je uvedena na obr. 2. Přičemž závislost 1, 2, 3 platí pro první až n-tý **PNP** tranzistor **T1K...TNK**.

Podobně závislosti 10, 20, 30 platí pro první až n-tý **NPN** tranzistor **T1P...TNP**.

V případě, že drift operačního zesilovače vykazuje průběh označený na obrázku 2 ja-

ko „a“. Uvedenou teplotní závislost posuneme mezi křivky 1 — 2, jedná se o průběh označený jako „b“. Kompenzaci lze provést pomocí prvního **PNP** a prvního **NPN** tranzistorů **T1K**, **TNK** zapojených v sérii, přičemž při teplotách v rozsahu kompenzace je zapotřebí pomoci potenciometru (nebo pevně nastaveného odporového děliče) nastavit odpovídající kompenzační napětí. Teplotě 20 °C odpovídá bod A', teplotě 80 °C pak bod B'. Bodu A' odpovídá stejnosměrné napětí  $U_0$ , které způsobuje počáteční rozvážení operačního zesilovače. Proto je zapotřebí pomoci nulovacího obvodu **NO** provést opětovné vyvážení operačního zesilovače. Nulovací obvod **NO** je tvořen potenciometrem zapojeným mezi kladné a záporné napájecí napětí, z jehož běžce je přes odpor přiváděno nulovací napětí na nulovací vstup operačního zesilovače. Nulování operačního zesilovače se provádí ve výstupní části, která ovlivňuje celkový drift zesilovače zanedbatelně.

Nastavení teplotní kompenzace se provede takto:

Změří se teplotní frift operačního zesilovače při nastavení běžce děliče napětí **RS** do středu, tj. mezi běžcem a nulovou sběrnici je nulové napětí.

Tepelný drift napětí vykazuje průběh „a“. Posuneme průběh „a“ tak, aby byl mezi průběhy napětí 1, 2. Je zřejmé, že ke kompenzaci jsou zapotřebí minimálně 2 tranzistory typu **PNP** v sérii. Operační zesilovač, který byl vynulován při  $T = 20\text{ °C}$  se zahřeje na  $T = -80\text{ °C}$  a nastaví se pomocí děliče napětí **RS** nulová výchylka na výstupu operačního zesilovače (napětí  $U_2$ ). Zesilovač se ochladí na  $T = 20\text{ °C}$  a pomocí nulovacího obvodu **NO** se nastaví hodnota na výstupu. Postup se několikrát opakuje.

Výhodou zapojení je dokonalá kompenzace driftu v rozmezí teplot  $-10\text{ °C}$  až  $+80\text{ °C}$ , kterou nebylo možno dosáhnout jiným známým způsobem.

Použití přichází v úvahu především u přesných zesilovačů pro průmyslová použití, pro zesilovače termočlánků, měřicí zesilovače pracující v širokém rozsahu pracovních teplot při zesíleních větších než 100.

Zapojení je vhodné pro monolitické a hybridní operační zesilovače. Osvědčilo se i u rychlých operačních zesilovačů z diskretních součástí.

#### PŘEDMĚT VYNÁLEZU

Zapojení pro teplotní kompenzaci operačního zesilovače, vyznačené tím, že je opatřeno kompenzačním můstkem, v jehož jedné úhlopříčce je zapojen napájecí zdroj (+ $U_b$ , - $U_b$ ), v druhé větvi nastavitelný dělič napětí (**RS**), v druhé větvi jeden či více **PNP** a **NPN** tranzistorů (**T1K** až **TNK** a **T1P** až **TNP**) v sérii v zapojení se společným e-

mitorem v každém rameni opačného typu vodivosti, přičemž mezi střední vývod nastavitelného děliče napětí (**RS**) a uzel spojující tranzistory opačného typu vodivosti první **PNP** tranzistor a první **NPN** (**T1K**, **T1P**) je v druhé úhlopříčce zapojen výstup operačního zesilovače (**A**).

