

(19)



(10) **LT 4024 B**

(12)

PATENTO APRAŠYMAS

(11) Patento numeris: **4024**

(51) Int. Cl.⁶: **H03F 3/45**

(21) Paraiškos numeris: **95-069**

(22) Paraiškos padavimo data: **1995 06 15**

(41) Paraiškos paskelbimo data: **1996 01 25**

(45) Patento paskelbimo data: **1996 08 26**

(72) Išradėjas:

Rišard Kurylo, LT

(73) Patento savininkas:

Rišard Kurylo, a/d 1266, 2056 Vilnius, LT

(54) Pavadinimas:

Operacinis stiprintuvas

(57) Referatas:

Išradimas priskiriamas elektronikai ir mikroelektronikai, konkrečiai - greitiems integriniams operaciniams stiprintuvams.

Siūlomas operacinis stiprintuvas su nebalansiniais įėjimo laipsniais (1, 2), jų darbo režimą užduodančiais srovės šaltiniais (3, 4, 5, 6), srovės veidrodžiais (7, 8), dviejų kaskadų (17, 18) išėjimo laipsniu su jo darbo režimą užduodančiais sudvejintais srovės šaltiniais (19, 20). Diferencialinė įėjimo įtampa įėjimo laipsniuose keičiama į diferencialinius srovės pokyčius, paduodamus į srovės veidrodžius (7, 8), kur jie verčiami į antifazinius srovės pokyčius ir paduodami į žemos varžos išėjimo laipsnio įėjimus. Išėjimo laipsnyje atliekamas tiek įtampos, tiek galios stiprinimas. Grįžtamo ryšio grandinė su srovės šaltiniais (11, 12), tranzistoriais (13, 14), srovės užduodančiomis grandinėmis (15, 16) ir atraminių įtampų šaltiniais (9, 10) stabilizuoja stiprintuvo darbą normaliose sąlygose ir keičiantis išoriniams poveikiams.

Išradimas priskiriamas elektronikai ir mikroelektronikai, konkrečiai - greitiems integriniams operaciniams stiprintuvams.

Žinomi klasikinės architektūros greiti integriniai operaciniai stiprintuvai su skirtingų laidumo tipų bipoliariniais tranzistoriais, sudaryti iš įėjimo laipsnio balansinio diferencialinio stiprintuvo pagrindu, srovės veidrodžių, stiprinimo laipsnio su dinamine apkrova, išėjimo laipsnio įtampos kartotuvo pagrindu ir srovės šaltinių, reglamentuojančių stiprintuvo darbo režimą. Pagrindinis šio tipo integrinių operacinių stiprintuvų trūkumas yra nepakankamai didelis greitis.

Taip pat yra žinomi pasižymintys dideliu greičiu transimpedansinio tipo diferencialiniai integriniai stiprintuvai su skirtingų laidumo tipų bipoliariniais tranzistoriais, sudaryti iš įtampą į srovę keičiančio įėjimo laipsnio nebalansinės schemos pagrindu, srovės veidrodžių, stiprinimo laipsnio su dinamine apkrova, išėjimo laipsnio įtampos kartotuvo pagrindu ir srovės šaltinių, reglamentuojančių stiprintuvo darbo režimą, pavyzdžiui: *Electronics*, 1988, No 1, p.151-156, fig.2 ir *EDN*, October 26, 1989, p.212, fig.2.

Transimpedansiniai diferencialiniai stiprintuvai supaprastintos architektūros dėka pralenkia greičiu klasikinės architektūros integrinius operacinius stiprintuvus, tačiau turi esminių trūkumų, iš kurių paminėtini nesimetriniai įėjimai, maža invertuojančio įėjimo varža, didelės įėjimo srovės, didelė postūmio srovė, mažas stiprinimo koeficientas su atvira grįžtamo ryšio grandine. Įėjimų asimetrija ir maža invertuojančio įėjimo varža apsprendžiami pačios transimpedansinio stiprintuvo architektūros. Nesant įėjimo laipsnyje balansinės schemos, įėjimo srovės yra apsprendžiamos ne įėjimo tranzistorių bazių srovių dydžių skirtumo, bet skirtingų laidumo tipų tranzistorių kolektorių srovių dydžių skirtumo, kuris yra žymiai didesnis už bazių srovių dydžių skirtumą. Integrinė technologija neužtikrina skirtingų laidumo tipų tranzistorių parametrų vienodumo tokiu pat mastu, kaip vieno laidumo tipo tranzistorių parametrų vienodumas. Todėl srovių šaltinių su skirtingų laidumo tipų tranzistoriais dydžiai skiriasi, skiriasi ir iš įvairaus poliaringo maitinimo šaltinių imamų srovių dydžiai. Jų skirtumas didėja dalimi teka per stiprintuvo išėjimą, pasiskirstydamas tarp apkrovos ir grįžtamo ryšio grandinės. Tekanti grįžtamo ryšio grandine šios srovės dalis iššaukia signalo persistūmimą ir papildomą stiprintuvo paklaidą. Skirtinguose technologiniuose procesuose suformuoti įvairių laidumo tipų tranzistoriai skiriasi parametrų reakcijos į išorinius poveikius (darbo aplinkos temperatūra, apšvietimas, įonizuojantys poveikiai) dydžiu. Pagaliau, įtampos stiprinimo nebūvimas nebalansiniame įėjimo laipsnyje duoda mažesnį įtampos stiprinimo koeficientą su atvira grįžtamo ryšio grandine lyginant su klasikinės architektūros integriniais operaciniais stiprintuvais.

Išradimo uždavinys - pateikti greitą integrinį operacinį stiprintuvą, išsaugantį teigiamas transimpedansinio stiprintuvo savybes ir pašalinantį jo neigiamas savybes, tame tarpe užtikrinti įėjimų simetriją ir didelę įėjimo varžą abiejuose stiprintuvo įėjimuose, sumažinti įėjimo ir postūmio srovės, padidinti stiprintuvo

stiprinimo koeficientą pagal įtampą su atvira grįžtamo ryšio grandine ir jo atsparumą išoriniams poveikiams - darbo aplinkos temperatūros svyravimams, apšvietimui, jonizuojantiems poveikiams.

Šiuos uždavinius išsprendžia operacinis stiprintuvas su nebalansiniu įėjimo laipsniu, turintis srovės veidrodžius su skirtingų laidumo tipų bipoliariniais tranzistoriais, dinaminės apkrovos grandinę, dvitaktį išėjimo laipsnį, turintį sužadavimo ir galios kaskados su atitinkamomis diodinėmis suderinimo grandinėmis ir ryšio tranzistoriais, kurių emiteriai yra išėjimo laipsnio įėjimais tuo, kad į jį įvestas papildomas nebalansinis įėjimo laipsnis ir papildomi jo darba užtikrinantys srovės šaltiniai su skirtingų laidumo tipų bipoliariniais tranzistoriais, kurių valdymo įėjimai prijungti prie atitinkamų bendrų atraminių įtampų šaltinių, papildomo nebalansinio įėjimo laipsnio srovės išėjimai prijungti prie atitinkamų srovės veidrodžių išėjimų, o abiejų nebalansinių įėjimo laipsnių žemos varžos įėjimai sujungti per vidinę arba išorinę fazę koreguojančią grandinę, pavyzdžiui, rezistorių, taip pat įvesti du papildomi srovės šaltiniai su skirtingų laidumo tipų bipoliariniais tranzistoriais, kurių valdantys įėjimai prijungti prie atitinkamų bendrų atraminių įtampų šaltinių, išėjimai sujungti vienas su kitu, ir du papildomi skirtingų laidumo tipų bipoliariniai tranzistoriai, kurių bazės prijungtos prie papildomų srovės šaltinių išėjimų sujungimo vietos, kolektoriai prijungti prie atitinkamo poliaringumo maitinimo šinių, o emiteriai per srovę užduodančias grandines, pavyzdžiui, rezistorius, sujungti su atitinkamų atraminių šaltinių valdančiais įėjimais, o išėjimo laipsnio ryšio tranzistorių bazės prijungtos prie atitinkamų bendrų atraminių įtampų šaltinių, o emiteriai prie atitinkamų srovės veidrodžių išėjimų.

Išradimas toliau aprašomas remiantis brėžiniais.

- 1 fig. pateikta operacinio stiprintuvo schema;
- 2 fig. pateikta alternatyvinė įėjimo laipsnio schema;
- 3 fig. pateikta įėjimo laipsnio su srovės dauginimu schema.

Stiprintuvo įėjimo laipsnį sudaro pagrindinis 1 ir papildomas 2 nebalansiniai įtampų keitikliai į srovę, kurių darbo režimą nustato pirmo 3 su antru 4 ir trečio 5 su ketvirtu 6 srovės šaltinių poros su skirtingų laidumo tipų bipoliariniais tranzistoriais, prijungtos atitinkamai taškuose A ir E, D ir H; pagrindinio 1 įtampų keitiklio į srovę išėjimai prijungti prie pirmo 7 ir antro 8 srovės veidrodžių su skirtingų laidumo tipų tranzistoriais įėjimų taškuose B ir F, papildomo 2 įtampų keitiklio į srovę išėjimai sujungti su pirmo 7 ir antro 8 srovės veidrodžių išėjimais taškuose C ir G. Mažos varžos pagrindinio 1 ir papildomo 2 įtampų keitiklių į srovę įėjimai sujungti tarpusavyje per vidinę arba išorinę fazę koreguojančią grandinę Z_k , pavyzdžiui, rezistorių. Pagrindinio 1 įtampų keitiklio į srovę didelės varžos įėjimas yra neinvertuojantis operacinio stiprintuvo įėjimas, papildomo 2 įtampų keitiklio į srovę didelės varžos įėjimas yra invertuojantis operacinio stiprintuvo įėjimas. Pirmo 3 ir trečio 5 srovės šaltinių valdymo įėjimai prijungti prie pirmo 9, o antro 4 ir ketvirtu 6 srovių šaltinių valdymo įėjimai prijungti prie antro 10 bendrų stiprintuvo atraminių įtampų šaltinių. Prie šių atraminių įtampų šaltinių taip pat atitinkamai prijungti pirmo 11 ir antro 12 papildomų srovės šaltinių su

skirtingų laidumo tipų bipoliariniais tranzistoriais valdymo įėjimai, o jų išėjimai sujungti tarpusavyje. Prie šio sujungimo taško prijungtos taip pat pirmo 13 ir antro 14 papildomų skirtingų laidumo tipų tranzistorių bazės, o jų kolektoriai prijungti prie atitinkamo poliaringo maitinimo šinių, o emiteriai per srovę užduodančias grandines 15 ir 16, pavyzdžiui, rezistorius, prijungti prie pirmo 9 ir antro 10 atraminių įtampų šaltinių valdančių įėjimų. Dvitaktis išėjimo laipsnis su sužadinančiu 17 ir galios stiprinimo 18 kaskadais, valdomas sudvejintų srovės šaltinių 19 ir 20 su skirtingų laidumo tipų bipoliariniais tranzistoriais, kurių bazės prijungtos prie pirmo 9 ir antro 10 bendrų atraminių įtampų šaltinių, o emiteriai, esantys išėjimo laipsnio įėjimais, prijungti atitinkamai prie pirmo 7 ir antro 8 srovės veidrodžių išėjimų ir srovės užduodančių grandinių 25, 26 pirmų galų, kurių antri galai prijungti prie atitinkamų maitinimo šinių. Išėjimo laipsnio išėjimas yra operacinio stiprintuvo išėjimas.

Operacinis stiprintuvas dirba tokiu būdu. Diferencialinė įėjimo įtampa paduodama tarp invertuojančio ir neinvertuojančio operacinio stiprintuvo įėjimų ir keičiama į diferencialinę srovę tokiu būdu, kad skirtingose įėjimo laipsnio išėjimuose susidaro skirtingų fazių išėjimo srovių pokyčiai. Tie pokyčiai paduodami į pirmą 7 ir antrą 8 srovės veidrodžius tokiu būdu, kad srovės veidrodžių išėjimuose (taškuose C ir G) srovės veidrodžių atspindėti srovės pokyčiai yra priešingos fazės, negu papildomo 2 įtampų keitiklio į srovę išėjimuose iššaukiami srovės pokyčiai. Klasikinės architektūros integriniuose operaciniuose stiprintuvuose, taip pat prototipuose - transimpedansiniuose stiprintuvuose tai iššaukia signalo įtampos stiprinimą dinaminės apkrovos grandinėje, sustiprintas signalas kartojamas išėjimo laipsnio - įtampos kartotuvo su didele įėjimo varža. Nagrinėjamu atveju srovės veidrodžių išėjimai (taškai C ir G) yra užšuntuoti mažų išėjimo laipsnio įėjimo varžų ir išėjimo laipsnį valdančių srovės šaltinių srovės užduodančių grandinių 25 ir 26, todėl įėjimo laipsnyje stiprinimas pagal įtampą nevyksta, signalas perduodamas į išėjimo laipsnį skirtingų fazių srovės pokyčiais pirmo 7 ir antro 8 srovės veidrodžių išėjimuose (taškai C ir G). Tokiu būdu yra pasiekiamas pageidaujamas efektas - išsaugant būdingą transimpedansiniams stiprintuvams signalo formavimo būdą įėjimo laipsnyje, pasiekiamas jo simetriškumas įėjimų atžvilgiu ir užtikrinama aukšta invertuojančio įėjimo varža. Šis darbo algoritmas nepriklauso nuo pirmo 1 ir antro 2 įtampų keitiklių į srovę principinės schemos. Fig. 2 pateikta kita populiari transimpedansiniuose stiprintuvuose naudojama įėjimo keitiklių schema, nagrinėjamu aspektu ji yra ekvivalentiška. Skirtingų fazių srovės pokyčiai iš srovės veidrodžių išėjimų paduodami į išėjimo laipsnio įėjimus - tranzistorių 21, 22 iš vienos pusės ir 23, 24 iš kitos pusės emiterius, kur jie sukelia pirmo 19 ir antro 20 išėjimo laipsnį valdančių srovių šaltinių antifazinius srovės pokyčius. Poromis sujungti sudvejinti valdančios srovės šaltiniai sužadinimo kaskade 17 ir galios stiprinimo kaskade 18 sudaro dinaminės apkrovos grandines, taigi išėjimo laipsnis apjungia įtampos stiprinimo ir galios stiprinimo funkcijas. Tai yra antras skiriamasis stiprintuvo funkcionavimo požymis lyginant su klasikine integrinių operacinių stiprintuvų architektūra, taip pat lyginant su transimpedansinių

stiprintuvų architektūra, kur įtampos stiprinimas ir galios stiprinimas atliekami skirtinguose laipsniuose.

Operacinio stiprintuvo struktūra su srovės ryšiu tarp įėjimo ir išėjimo laipsnių užtikrina forsuotą išėjimo laipsnio valdymą (didesnis dinaminis įtampos skirtumas tarp įėjimo ir išėjimo sukuria didesnę išėjimo laipsnio žadinimo srovę), kas duoda pranašumą prieš stiprintuvus su tradiciniu ryšio tarp įėjimo ir išėjimo organizavimu esant talpuminei apkrovai, taip pat didelio signalo režime ribinių dažnių atveju ir didina operacinio stiprintuvo greitį šiomis ekstremaliomis sąlygomis.

Nors įėjimo laipsnyje signalo stiprinimas pagal įtampą nevyksta, bendras įtampos stiprinimo koeficientas su atvira grįžtamo ryšio grandine priklauso tiek nuo įėjimo, tiek nuo išėjimo laipsnio ir gali būti išreikštas kaip įėjimo laipsnio keitimo statumo S ir išėjimo laipsnio dinaminės apkrovos efektyvumo D sandauga: $K = S \times D = \Delta U_{in} / \Delta v \times \Delta v / \Delta U_{iš}$, kur ΔU_{in} - diferencialinės įėjimo įtampos pokytis; Δv - diferencialinis srovės pokytis, pirmo 7 ir antro 8 srovės veidrodžių išėjimo srovių skirtumas; $\Delta U_{iš}$ - išėjimo įtampos pokytis. Išėjimo laipsnio dinaminės apkrovos efektyvumas D priklauso tik nuo naudojamos elementinės bazės ir jo darbo režimo, o įėjimo laipsnio keitimo statumas S nagrinėjamame operaciniame stiprintuve gali būti valdomas konstruktyviai, tokiu būdu užtikrinant aukštą įtampos stiprinimo koeficientą su atvira grįžtamo ryšio grandine. Aukščiau parodyta, kad funkcionavimo aspektu operacinis stiprintuvas yra invariantiškas įėjimo laipsnio įtampos keitiklio į srovę schemai, todėl nekeičiant operacinio stiprintuvo funkcionavimo ypatybių, jo stiprinimo koeficiento su atvira grįžtamo ryšio grandine padidinimui panaudojama schema su srovės dauginimu. Paprasčiausias šio sprendimo realizacijos būdas schemeje 1 fig. tai lygiagretus papildomų skirtingų laidumo tipų tranzistorių prijungimas prie išėjimo tranzistorių pagrindiniame 1 ir papildomame 2 įėjimo laipsniuose. Kitokia įėjimo laipsnio schema su srovės dauginimu pateikta fig.3.

Išėjimo laipsnio darbo režimą nustatantys srovės šaltiniai 3, 4, 5, 6 valdymo įėjimais prijungti prie pirmo 9 ir antro 10 bendrų atraminių įtampos šaltinių, prie tų pačių šaltinių prijungti papildomi 11 ir 12 srovės šaltiniai, kurių išėjimai sujungti tarpusavyje, o neigiamo grįžtamo ryšio per papildomus tranzistorius 13, 14 ir srovę užduodančias grandines 15 ir 16 pagalba pasiekiamas tikslus jų srovių dydžių atitikimas. Tuo pačiu pasiekiamas visų kitų srovės šaltinių porų (3 ir 4, 5 ir 6, 21 ir 23, 22 ir 24) srovių dydžių atitikimas vieno tipo integrinių bipoliarinių tranzistorių technologinio išbarstymo ribose ir sumažinamos operacinio stiprintuvo įėjimo srovės, kurių dydis yra apsprendžiamas skirtingų laidumo tipų tranzistorių pagrindu sudarytų srovės šaltinių išėjimo srovių dydžių skirtumo. Prie bendrų atraminių įtampų prijungti taip pat išėjimo laipsnio srovės šaltinių 19 ir 20 valdymo įėjimai, toku būdu pasiekiamas tikslus stiprintuvo maitinimo srovių iš skirtingo poliaringumo maitinimo šaltinių dydžių atitikimas ir operacinio stiprintuvo signalo postūmio srovės sumažinimas.

Neigiamo grįžtamo ryšio, apimančio bendrus atraminių įtampų šaltinius, dėka operacinis stiprintuvas išsaugo stabilias charakteristikas keičiantis išoriniams

poveikiams. Keičiantis darbo aplinkos temperatūrai, kristalo apšvietimui, jonizuojantiems poveikiams, atsirandant vidiniam fotoefektui skirtingų laidumo tipų bipoliariniai tranzistoriai keičia savo parametrus nevienodai, išlaikydami pokyčių vienodumą vienodo laidumo tipo tranzistoriams. Grįžtamo ryšio pagalba ir pasikeitus tranzistorių parametrams plačiose ribose automatiškai nusistato tokios atraminių įtampų reikšmės, kurios užtikrina vienodas aktyvių grandinių režimus užduodančių srovių reikšmes ir išsaugomos stabilios operacinio stiprintuvo charakteristikos. Panaudojant sroves užduodančiose grandinėse 15 ir 16 termokompensuojančius elementus, pavyzdžiui, integrinių rezistorių ir diodų kombinacijas, pasiekiamas temperatūriškai kompensuotas stiprintuvo darbo režimas ir stabilios dinaminės charakteristikos aplinkos darbo temperatūrų diapazone.

IŠRADIMO APIBRĖŽTIS

1. Operacinis stiprintuvas su nebalansiniu jėjimo laipsniu, turintis srovės veidrodžius su skirtingų laidumo tipų bipoliariniais tranzistoriais, dinaminės apkrovos grandinę, išėjimo laipsnį ir stiprintuvo darbo režimą reglamentuojančius srovės šaltinius, besiskiriantis tuo, kad į jį įvestas papildomas nebalansinis jėjimo laipsnis ir jo darbo režimą užduodantys srovės šaltiniai, kurių valdymo išvadai prijungti prie atitinkamų bendrų atraminių įtampų šaltinių su skirtingų laidumo tipų bipoliariniais tranzistoriais, o papildomo nebalansinio jėjimo laipsnio srovės išėjimai prijungti prie atitinkamų srovės veidrodžių išėjimų, o abiejų jėjimo laipsnių mažos varžos jėjimai sujungti per vidinę arba išorinę koreguojančią grandinę, pavyzdžiui, rezistorių, o išėjimo laipsnis dvitaktis su srove valdomais jėjimais, kurie prijungti prie atitinkamų srovės veidrodžių išėjimų.

2. Operacinis stiprintuvas pagal 1 punktą, besiskiriantis tuo, kad į jėjimo laipsnį įvesta srovės dauginimo schema.

3. Operacinis stiprintuvas pagal 1, 2 punktus, besiskiriantis tuo, kad į jį įvesti du papildomi srovių šaltiniai su skirtingų laidumo tipų bipoliariniais tranzistoriais, kurių valdantys jėjimai prijungti prie atitinkamų bendrų atraminių įtampos šaltinių, o išėjimai sujungti vienas su kitu, ir du papildomi skirtingų laidumo tipų bipoliariniai tranzistoriai, kurių bazės prijungtos prie papildomų srovės šaltinių išėjimų sujungimo vietos, kolektoriai prijungti prie atitinkamų maitinimo šinių, o emiteriai per srovę užduodančias grandines, pavyzdžiui, rezistorius, prijungti prie atraminių įtampų šaltinių valdymo jėjimų.

4. Operacinis stiprintuvas pagal 3 punktą, besiskiriantis tuo, kad srovę užduodančios grandinės sudarytos iš termokompensuotų elementų, pavyzdžiui, diodų ir integrinių rezistorių kombinacija.

5. Operacinis stiprintuvas pagal 1-4 punktus, besiskiriantis tuo, kad dvitakčio išėjimo laipsnio ryšio tranzistorių bazės prijungtos prie bendrų atraminių įtampų šaltinių.

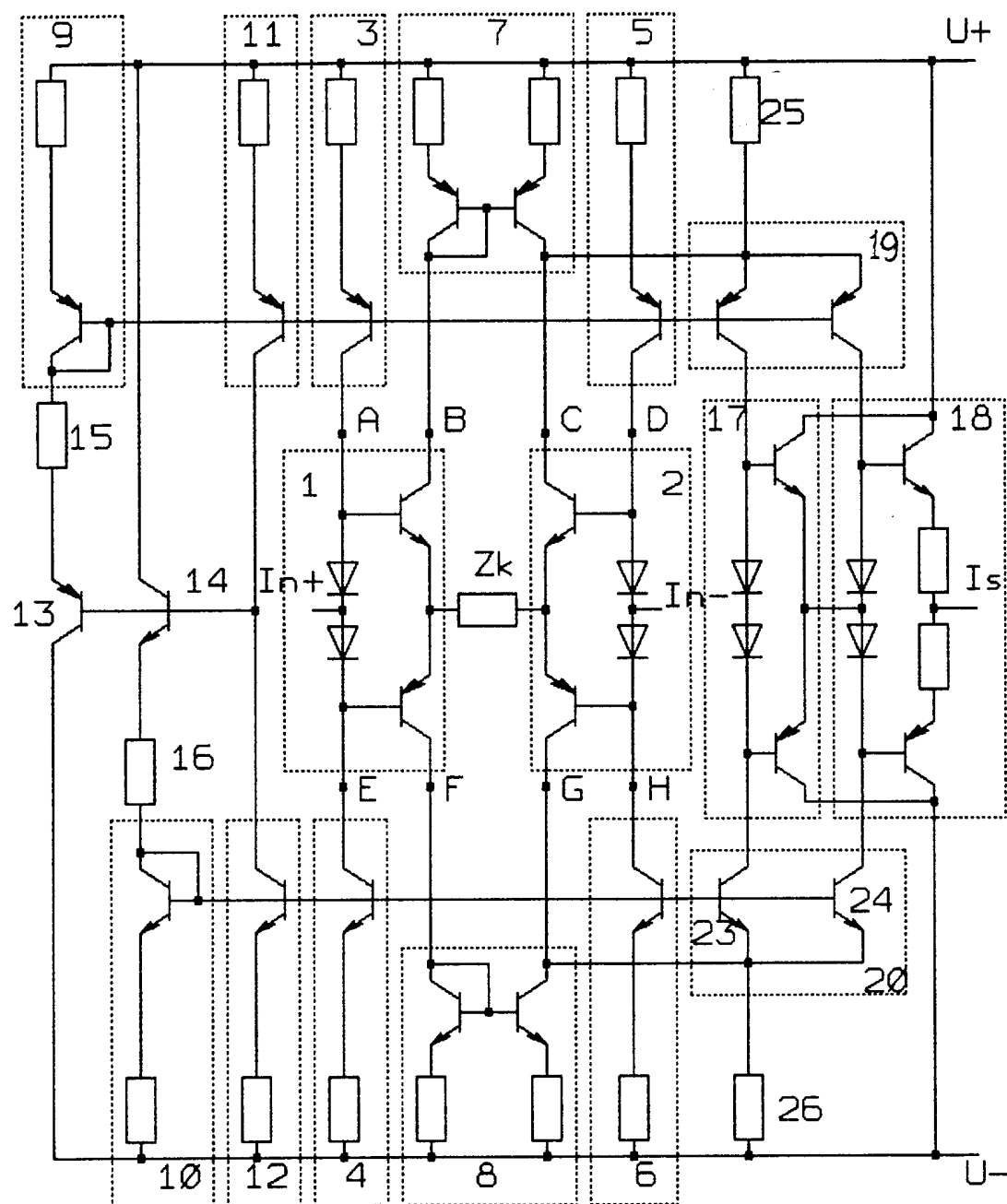


Fig. 1

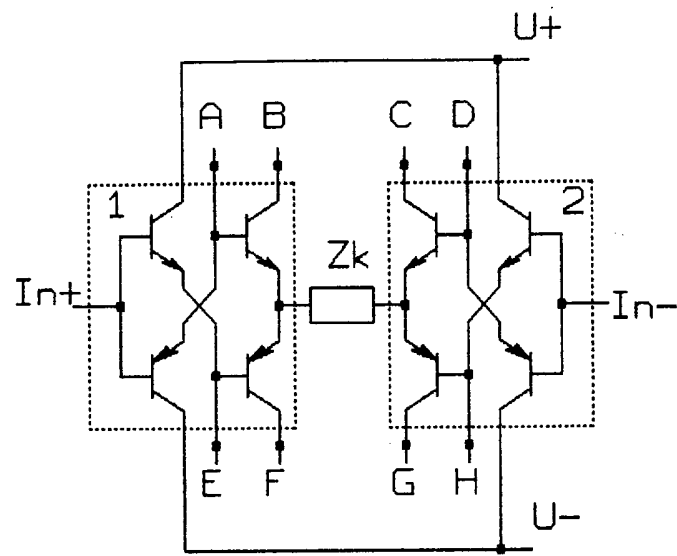


Fig. 2

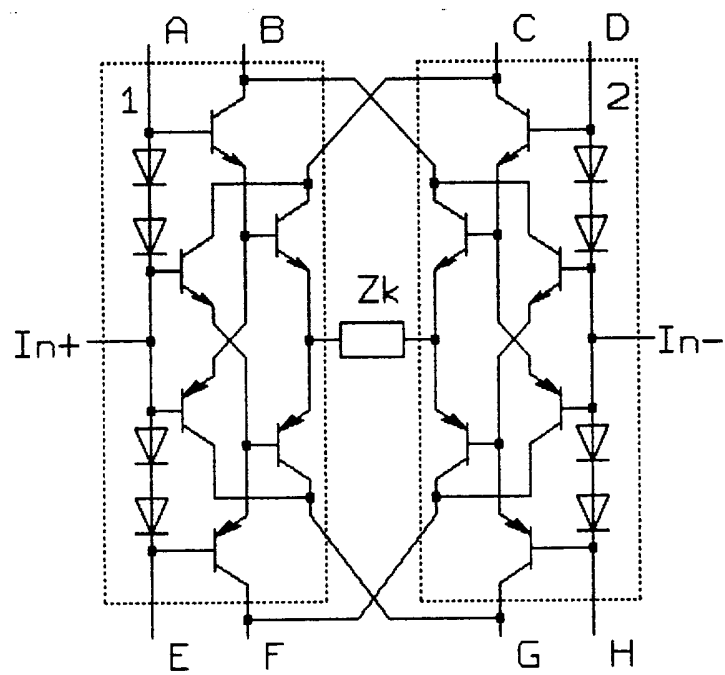


Fig. 3