

19



Octroiraad
Nederland

11 192859

12 C OCTROOI

21 Aanvraag om octrooi: 8020357

22 Ingediend: 11.09.80

86 Oorspronkelijke internationale aanvraag:
PCT/US80/01167

87 Publicatienummer en -datum oorspronkelijke
internationale aanvraag: WO 81/00938 02.04.81

51 Int.Cl.⁶
H03F3/45, H03F3/16, H03F1/42

30 Voorrang:
27.09.79 US 0000079341

43 Ter inzage gelegd:
01.07.81 I.E. 81/12

44 Openbaargemaakt:
03.11.97 I.E. 97/11

47 Dagtekening:
04.03.98

45 Uitgegeven:
06.05.98 I.E. 98/05

73 Octrooihouder(s):
American Microsystems, Inc. te Santa Clara,
Californië, Verenigde Staten van Amerika (US).

74 Gemachtigde:
Ir. J.J.H. Van kan c.s. te 5600 AP Eindhoven.

54 Operationele versterkerschakeling.

Operationele versterkerschakeling

De uitvinding heeft betrekking op een operationele versterkerschakeling, omvattende een tweetal vermogensgeleiders dat is ingericht om met twee potentiaalbronnen op verschillende niveaus te worden verbonden, een met de vermogensgeleiders verbonden voorspanningsnetwerk, een met het voorspanningsnetwerk gekoppelde verschilversterker die een verschilversterkeruitgangsknooppunt heeft, een niveauverschuivingsorgaan dat een eerste MOS-transistor en een tweede MOS-transistor omvat, waarbij de poort van de eerste MOS-transistor met het verschilversterkeruitgangsknooppunt is verbonden en de poort van de tweede MOS-transistor met het voorspanningsnetwerk is gekoppeld, en waarbij de eerste transistor met een van het tweetal vermogensgeleiders en met een niveauverschuivingsuitgangsknooppunt is verbonden en de tweede transistor met de tweede van het tweetal vermogensgeleiders en met het niveauverschuivingsuitgangsknooppunt is verbonden, een eerste condensator die een eerste en een tweede plaat heeft, waarbij de eerste plaat van de eerste condensator met het verschilversterkeruitgangsknooppunt is verbonden en de tweede plaat van de eerste condensator met het niveauverschuivingsuitgangsknooppunt is verbonden, en een met het niveauverschuivingsuitgangsknooppunt verbonden uitgangstrap,

Een dergelijke inrichting is bekend uit de Japanse octrooiaanvraag 5.141.031.

De uitvinding beoogt de frequentieresponsie en voedingsbruisonderdrukking van de bekende operationele versterkerschakeling te verbeteren, en voorziet daartoe in een inrichting van de in de aanhef genoemde soort, die het kenmerk heeft, dat de operationele versterkerschakeling een tussen de verschilversterker en de uitgangstrap verbonden frequentiecompensatie-orgaan omvat voor het doen toenemen van de versterkingsbandbreedte van de operationele versterkerschakeling, waarbij het frequentiecompensatie-orgaan een tweede condensator omvat, die een eerste plaat en een tweede plaat heeft, waarbij de eerste plaat van de tweede condensator met het verschilversterkeruitgangsknooppunt is verbonden en de tweede plaat van de tweede condensator door middel van een transmissiepoort met de uitgangstrap is gekoppeld.

In overeenstemming met de principes van de onderhavige uitvinding, wordt frequentiecompensatie in een operationele versterker bereikt door de combinatie van een tweede condensatoren- en een transmissiepoort, samengesteld uit twee MOS-transistoren, welke werken als een weerstand. Eén condensator wordt volgens het Miller-effect vermenigvuldigd met de open-lus-versterkingsfactor van de versterker en is de dominante pool in de versterking. De tijdconstante van deze condensator en de twee MOS-inrichtingen, wordt gebruikt voor het verschuiven van de positie van de nul in het rechterhalfvlak, welke wordt opgewekt wanneer de MOS-inrichtingen van de transmissiepoort niet aanwezig zijn, maar een nul in het linkerhalfvlak en deze voordelig te plaatsen. De tweede condensator wordt gebruikt bij de compensatiemaatregel, teneinde het product van versterkingsfactor en bandbreedte van de versterker te verbeteren en de onderdrukking van de ruis van de voedingsbron door de versterker te verbeteren. Deze tweede condensator maakt gebruik van het opheffen van een nul door een pool, teneinde de bandbreedte van de niveauverschuivingstrap te verbreden en derhalve door het verwijderen van secundaire polen, waardoor het mogelijk wordt de positie van de dominante pool te verschuiven naar een hogere frequentie door het kleiner maken van de eerste condensator. Dit vergroot het product van versterkingsfactor en bandbreedte. De onderdrukking door de operationele versterker van de ruis van de voedingsbron is eveneens afhankelijk van de plaats van de dominante pool en verbetert naarmate de plaats van de pool wordt verschoven naar een hogere frequentie.

Samenvattend voorziet de uitvinding in een operationele versterkerschakeling, samengesteld uit complementaire MOS-transistoren, en omvattende een instelgedeelte, een verschilversterkergedeelte, een niveauverschuivingstrap en een uitgangstrap, waarin frequentiecompensering wordt gerealiseerd onder gebruikmaking van twee condensatoren. Eén condensator, verbonden tussen het verschilversterkergedeelte van de uitgangstrap middels een CMOS-transmissiepoort, welke werkt als een weerstand, werkt als de dominante pool van de overdrachtsfunctie. Een tweede condensator tussen het uitgangsknooppunt van het versterkergedeelte en een niveauverschuivingstransistor, functioneert voor het verwijderen van de secundaire pool in de overdrachtsfunctie en doet de dominante pool optreden op een hogere frequentie.

Andere doelen, voordelen en kenmerken van de uitvinding zullen duidelijk worden aan de hand van de hierna volgende gedetailleerde beschrijving van een voorkeursuitvoeringsvorm van de uitvinding, in samenhang met de tekening, omvattende een enkele figuur, die een schakelingschema toont van een operationele versterker, welke de principes van de onderhavige uitvinding belichaamt.

Teneinde operationele stabiliteit te verzekeren voor een operationele versterker met meerdere versterkertrappen, dient de faseverschuiving van de uitgang ervan onder open-lus-condities niet de 180° te overschrijden. Teneinde dit te bereiken, dient de operationele versterker inwendig te worden gecompenseerd.

Een schakeling volgens de stand van de techniek voor het verschaffen van een dergelijke compensering,

was een compenseringscondensator (C_c) te gebruiken in de leiding tussen de uitgang en de ingang van de operationele versterker. Deze inrichting resulteerde echter in het scheppen van een nul in de overdrachtsfunctie bij $\frac{gm}{C_c}$,

5 waarin gm de transconductantiefactor voor de schakeling is in het frequentiedomein, vanwege de rechtstreekse meekoppeling. Voor MOS-schakelingen, bevindt deze nul zich binnen de bandbreedte van belang en vermindert de faseverschuiving aan de uitgang. Tegelijkertijd voorkomt dit dat de uitgangsamplitude afvalt en kan instabiliteit in de versterker veroorzaken. Een maatregel volgens de stand van de techniek voor het oplossen van dit probleem, bracht het gebruik met zich mee van een niet-inverterende buffer-
10 versterker in de terugkoppelweg, welke diende om de meekoppeleffecten, die oorspronkelijk de nul veroorzaakten, te vermijden. Deze benadering is beschreven in IEEE Journal of Solid State Circuits, vol. SC-11, blz. 748–753. Een nadeel echter van deze maatregel is dat de bufferversterker een relatief groot vermogen verbruikte. Een andere benadering voor het oplossen van dit probleem, was het reduceren van de waarde van de compenseringscondensator (C_c). Het effect van deze benadering is het verschuiven van de frequentie van de overdrachtsfunctie nul naar een hogere frequentie, buiten het gebied van belang voor
15 de bepaalde operationele versterker. Deze maatregel lijkt redelijk voor operationele versterkers met een grote open-lus-versterkingsfactor, zoals operationele CMOS-versterkers. Het nadeel van deze techniek echter is dat de onderdrukking van de hoog-frequentruis van de voedingsbron slecht is. Dit is het gevolg van het feit dat bij lage frequenties geen enkele ruis op de aardgeleider door het ingangselement van de uitgangstrap wordt versterkt. Bij toenemende frequentie echter, scheidt de condensator C_c een kleine
20 impedantie tussen inwendige knooppunten, hetgeen een vergrote spanning tussen de stuur- en bron-elektrode van de ingangselementen verschaft en resulteert in een verslechterde onderdrukking van ruis afkomstig van de voedingsbron.

De enkele figuur van de tekening toont het schakelschema van een operationele versterker 10, welke de principes van de onderhavige uitvinding belichaamt, en welke is samengesteld uit MOSFET-elementen. In
25 het algemeen omvat de operationele versterker een verschilversterker 12, verbonden met een instelnetwerk 14 en een tussenliggende niveauverschuivingstrap 16, verbonden met een uitgangstrap 18. De verschilversterker omvat kenmerkend een ingangstrap, verbonden met een constante stroombron 20. Verbonden tussen de verschilversterker 12 en de uitgangstrap 18 is een frequentiecompensatieorgaan 22.

Alle transistorelementen van de verscheidene componenten van de operationele versterker 10 zijn
30 MOSFET-inrichtingen en voor de juiste werking van de operationele versterkerschakeling dienen deze inrichtingen, met de uitzondering van de transistoren 96 en 98 van een transmissiepoort, welke later zal worden beschreven, te werken in de verzadigingsmodus, in tegenstelling tot de lineaire modus. De functie van het instelnetwerk 14 is te verzekeren dat de MOSFET-schakelingsinrichtingen, met uitzondering van de inrichtingen 96 en 98, werken in het geschikte verzadigingsgebied en dit instelnetwerk 14 omvat twee
35 MOSFET-inrichtingen 24 en 26, elk met een bron-, afvoer- en stuur-elektrode. De bronelektrode van de transistor 24 is verbonden met een positieve voedingsspanning V_{DD} door middel van een vermogensleiding 28 en de bron van de transistor 26 is verbonden door een leiding 30 met een negatieve voedingsbron V_{SS} . De afvoer- en stuur-elektrode van de transistor 24 zijn verbonden met een knooppunt 32 en de afvoer- en stuur-elektrode van de transistor 26 zijn verbonden met een knooppunt 34. Deze knooppunten 32 en 34 zijn
40 onderling verbonden door een leiding 36, en een leiding 38 van knooppunt 34 verschaft de instelspanning voor beide constante stroombronnen en het niveauverschuivingsgedeelte van de schakeling.

De constante stroombron 20 omvat een MOSFET-inrichting, waarvan de stuur-elektrode is verbonden met de instelspanningsleiding 38. De bronelektrode van deze transistor is verbonden met de negatieve vermogensleiding 30 en de afvoerelektrode ervan is verbonden met de ingangstrap van de verschil-
45 versterker.

Deze ingangstrap omvat een tweetal MOSFET-inrichtingen 42 en 44, waarvan de respectieve bron-elektrodes zijn verbonden met een gemeenschappelijke leiding 46, welke eveneens is verbonden van een knooppunt 40 naar de afvoerelektrode van transistor 20. De afvoerelektrode van de inrichting 40 is
50 verbonden met een knooppunt 48 van de verschilversterker en de afvoerelektrode van inrichting 44 is verbonden met het knooppunt 50 van de verschilversterker. De stuur-elektrode van ingangsinrichting 42 is verbonden met de inverterende ingangsklem van de operationele versterker en de stuur-elektrode van de inrichting 44 is verbonden met de niet-inverterende ingangsklem ervan.

Het belastingsgedeelte van de verschilversterker 12 omvat een tweetal MOSFET-inrichtingen 52 en 54, waarvan de bronklemmen beide zijn verbonden met de positieve vermogensleiding 28. De stuur-elektrodes van deze inrichtingen zijn onderling verbonden door een leiding 56, welke eveneens door een leiding 58 is
55 verbonden met knooppunt 48.

De tussenliggende niveauverschuiwingstrap 16 van de operationele versterker 10 omvat een tweetal MOSFET-inrichtingen 60 en 62, die in serie zijn verbonden tussen de positieve en negatieve vermogensleidingen. De afvoer van inrichting 60 is verbonden met de positieve vermogensleiding 28 en de bron van inrichting 62 is verbonden met de negatieve vermogensleiding 30.

5 De bronelektrode van inrichting 60 is door een leiding 64 verbonden met de afvoerelektrode van de inrichting 62. De sturelektrode van inrichting 60 is door een leiding 66 verbonden met het knooppunt 50. Een eerste knooppunt 68 in de leiding 66 is verbonden door een leiding 70 met de sturelektrode van de MOSFET-inrichting 72 in de uitgangstrap 18 van de operationele versterker 10. Een tweede knooppunt 74 in de leiding 66 is door een leiding 76 verbonden met één zijde van een condensator 78, waarvan de andere
10 zijde is verbonden met de leiding 64.

De uitgangstrap 18 omvat de MOSFET-inrichting 72, waarvan de bronelektrode is verbonden met de positieve vermogensleiding 28 en de tweede MOSFET-inrichting 80, waarvan de bronelektrode is verbonden met de negatieve vermogensleiding 30. De afvoerelektroden van deze twee transistoren zijn verbonden door een gemeenschappelijke leiding 82. De sturelektrode van MOSFET 80 is door een leiding 84 verbonden
15 met een knooppunt 86 in de leiding 64 tussen de inrichtingen 60 en 62.

Het frequentiecompensatieorgaan 22 is aangebracht tussen het verschilversterkergedeelte 12 en de uitgangstrap 18. Het frequentiecompensatieorgaan 22 omvat de condensator 78 tussen de leidingen 64 en 66 en eveneens een condensator 88 met één zijde verbonden met een knooppunt 90 in de uitgangszijde van de verschilversterker 12. De andere zijde van deze condensator 88 is door een leiding 92 verbonden
20 met een de afvoerelektroden van de twee MOSFET-inrichtingen 96 en 98 verbindende leiding 94, van welke MOSFET-inrichtingen 96 en 98 de beide bronelektroden zijn verbonden met één einde van een leiding 100, waarbij het andere einde van de leiding 100 eindigt in een uitgangsknooppunt 102 voor de operationele versterker in de leiding 82. De sturelektrode van MOSFET 96 is verbonden met de vermogensleiding 28 en de sturelektrode van de MOSFET 38 is verbonden met leiding 30.

25 De werking van de operationele versterker 10 met het frequentiecompensatieorgaan ervan kan als volgt worden beschreven. De transistoren 96 en 98 vormen een transmissiepoort, welke werkt als een weerstand. De condensator 88 in leiding 92 wordt door middel van het Miller-effect vermenigvuldigd met de open-lus-versterkingsfactor van de operationele versterker en werkt als de dominante pool in de overdrachtsfunctie ervan. Bij afwezigheid van transistoren 96 en 98, zal rechtstreekse verbinding van
30 condensator 88 met de uitgang 102 hebben geresulteerd in een nul in het rechter halfvlak. Door gebruikmaking echter van de transistoren 96 en 98 wordt de nul in het rechterhalfvlak omgezet in een nul in het linkerhalfvlak en is op voordelige wijze geplaatst om secundaire polen in de open-lus-frequentiereponsie op te heffen.

De condensator 78 werkt voor het verbreden van de bandbreedte van de niveauverschuiwingstrap
35 bestaande uit transistoren 60 en 62. Dit wordt bereikt doordat het mogelijk is met de nul, opgewekt door de condensator 78 de pool, opgewekt door de sturelektrodecapaciteit van de transistor 60 op te heffen. Door het verwijderen van de secundaire polen in de overdrachtsfunctie van de operationele versterker, wordt het mogelijk de plaats van de dominante pool te verschuiven naar een hogere frequentie, waardoor dus het product van de versterkingsfactor en de bandbreedte van de versterker wordt vergroot.

40 De schakeling dient eveneens voor het verbeteren van de onderdrukking van de ruis van de voedingsbron door de versterker. Bij lage frequenties, wordt geen enkele ruis op V_{DD} versterkt door de uitgangstraptransistor 72 aangezien de V_{gs} ervan kleiner is. Daar het uitgangsknooppunt 90 van de verschilversterker een punt met hoge impedantie is, zal elke voedingsruis daar eveneens optreden. Bij toenemende frequentie echter, wekt de condensator 88 een kleinere impedantie op tussen knooppunt 50 en knooppunt 90. Niet alle
45 voedingsbruis treedt dus op op knooppunt 50 en dit schept een eindige V_{gs} voor transistor 72. Dit wordt versterkt door de uitgangstraptransistoren 72 en 80 en resulteert in een verminderde onderdrukking van de voedingsbruis. Het gebruik van eerste condensator 78 maakt het mogelijk de tweede condensator 88 kleiner te kiezen, waardoor een grotere impedantie tussen de knooppunten 50 en 90 aanwezig is. Dit heeft tot gevolg dat de voedingsbruis in de operationele versterker bij een hogere frequentie wordt versterkt
50 dan anderszins en verbetert de ruiskarakteristieken in de laagfrequent audioband, hetgeen het gebied van belang bij de meeste toepassingen van operationele MOS-versterkers is.

Conclusies

55

1. Operationele versterkerschakeling, omvattende een tweetal vermogensgeleiders dat is ingericht om met twee potentiaalbronnen op verschillende niveaus te worden verbonden, een met de vermogensgeleiders

- verbonden voorspanningsnetwerk, een met het voorspanningsnetwerk gekoppelde verschilversterker die een verschilversterkeruitgangsknooppunt heeft, een niveauverschuivingsorgaan dat een eerste MOS-transistor en een tweede MOS-transistor omvat, waarbij de poort van de eerste MOS-transistor met het verschilversterkeruitgangsknooppunt is verbonden en de poort van de tweede MOS-transistor met het voorspannings-
- 5 netwerk is gekoppeld, en waarbij de eerste transistor met een van het tweetal vermogensgeleiders en met een niveauverschuivingsuitgangsknooppunt is verbonden en de tweede transistor met de tweede van het
- 10 tweetal vermogensgeleiders en met het niveauverschuivingsuitgangsknooppunt is verbonden, een eerste condensator die een eerste en een tweede plaat heeft, waarbij de eerste plaat van de eerste condensator met het verschilversterkeruitgangsknooppunt is verbonden en de tweede plaat van de eerste condensator
- 15 met het niveauverschuivingsuitgangsknooppunt is verbonden, en een met het niveauverschuivingsuitgangsknooppunt verbonden uitgangstrap, met het kenmerk, dat de operationele versterkerschakeling een tussen de verschilversterker en de uitgangstrap verbonden frequentiecompensatie-orgaan omvat voor het doen toenemen van de versterkingsbandbreedte van de operationele versterkerschakeling, waarbij het frequentie-
- 20 compensatieorgaan een tweede condensator omvat, die een eerste plaat en een tweede plaat heeft, waarbij de eerste plaat van de tweede condensator met het verschilversterkeruitgangsknooppunt is verbonden en de tweede plaat van de tweede condensator door middel van een transmissiepoort met de uitgangstrap is gekoppeld.
2. Operationele versterkerschakeling volgens conclusie 1, met het kenmerk, dat de transmissiepoort bestaat uit een P-kanaal veldeffecttransistor en een N-kanaal veldeffecttransistor die tussen het tweetal vermogensgeleiders zijn verbonden.
3. Operationele versterkerschakeling volgens conclusie 2, met het kenmerk, dat de poort van de P-kanaal veldeffecttransistor met een van het tweetal vermogensgeleiders is gekoppeld en de poort van de N-kanaal veldeffecttransistor met de andere van het tweetal vermogensgeleiders is gekoppeld.

Hierbij 1 blad tekening

