

Octrooiraad



⑩ A Terinzagelegging ⑪ 7906987

Nederland

⑲ NL

- ⑤4 Zeer snelle operationele versterker met lage drift.**
- ⑤1 Int.Cl³: H03F3/45.**
- ⑦1 Aanvragers: Hitachi Limited en Nippon Telegraph & Telephone Public Corporation beide te Tokio.**
- ⑦4 Gem.: Ir. H.M. Urbanus c.s.
Vereenigde Octrooibureaux
Nieuwe Parklaan 107
2587 BP 's-Gravenhage.**

- ②1 Aanvraag Nr. 7906987.**
- ②2 Ingediend 19 september 1979.**
- ③2 Voorrang vanaf 20 september 1978.**
- ③3 Land van voorrang: Japan (JP).**
- ③1 Nummer van de voorrangsaanvraag: 114629/78 .**
- ②3 --**
- ⑥1 --**
- ⑥2 --**

- ④3 Ter inzage gelegd 24 maart 1980.**

De aan dit blad gehechte afdruk van de beschrijving met conclusie(s) en eventuele tekening(en) bevat afwijkingen ten opzichte van de oorspronkelijk ingediende stukken; deze laatste kunnen bij de Octrooiraad op verzoek worden ingezien.

VO 8412

Zeer snelle operationele versterker met lage drift.

De onderhavige uitvinding heeft betrekking op een operationele versterker, en meer in het bijzonder op een zeer snelle operationele versterker met lage drift met een frequentieband van 0 tot 100 MHz en een temperatuurcoëfficiënt van de verschuifspanning van ongeveer $1,2 \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$.

Een keten van het chopper-type, zoals getoond is in fig. 1 van de bijgaande tekeningen, wordt op grote schaal toegepast als een zeer snelle operationele versterker met lage drift.

Fig. 1 toont dat een hoogfrequente component van een ingangssignaal e_i , dat toegevoerd is aan ingangsklem 1, versterkt wordt door een zeer snelle operationele versterker 6, en een laagfrequente component van het ingangssignaal versterkt wordt door een versterker 9 met lage drift, welke gevormd wordt door een chopperketen 2, een wisselstroomversterker 3, een synchrone gelijkrichter 4 en een afvlakketen 5. De in fig. 1 getoonde keten kan dus over het geheel genomen een uitgangssignaal e_o afgeven, met een zeer snelle lage driftkarakteristiek, welk signaal afgenomen kan worden van een uitgangsklem 7. In de lage driftversterker 9, worden de volgende handelingen uitgevoerd. Het ingangssignaal e_i wordt door de chopperketen 2 omgezet in een blok golf signaal, nl. een wisselstroom signaal, dat versterkt wordt door de versterker 3 en dan gedetecteerd door de synchrone gelijkrichter 4. Het blok golf signaal dat afgegeven wordt door de gelijkrichter 4 wordt door de afvlakketen 5 afgevlakt. Respective schakelaars van de chopperketen 2 en de synchrone versterker 4 worden gevoed met een aan-uitsignaal dat opgewekt wordt door een blok golf generator 8. In de in fig. 1 getoonde keten, is de chopperruis welke ontstaat door het maken en verbreken van de schakelaar, hetwelk tot stand gebracht wordt door

7906987

het uitgangssignaal van de blokgolfgenerator 8, dikwijls een probleem geweest. Verder is de bovenbeschreven keten ingewikkeld van opbouw, en kan geen differentiaalbewerking op een ingangssignaal ervan uitvoeren.

5 De onderhavige uitvinding beoogt te voorzien in een nieuwe zeer snelle operationele versterker met lage drift welke bovengenoemde problemen welke ontstaan bij de conventionele operationele versterker, kan oplossen.

10 Om deze en andere doeleinden te bereiken is er, overeenkomstig de uitvinding, voorzien in een zeer snelle operationele versterker met lage drift waarin een laagfrequente operationele versterker met een lage driftkarakteristiek, aan de ingangsklem daarvan, gekoppeld is aan zowel een weerstand als aan één uiteinde van een terugkoppelketen, en aan de uitgangsklem gekoppeld
15 is met het andere uiteinde van de terugkoppelketen, om zo gebruikt te worden als een inverterende versterker met een spanningsversterker G_1 , welke groter is dan 1 (gewoonlijk liggend in een gebied van 10 tot 100), ^{nl.} als een coëfficiëntketen voor het vermenigvuldigen van een ingangsspanning met een coëfficiënt G_1 ,
20 waarin een driftcompenserende keten opgenomen is in de coëfficiëntketen, en een laag doorlaatfilter in cascade gekoppeld is met de coëfficiëntketen, en waarin de inverterende en niet-inverterende ingangsklemmen van een brede band operationele versterker gekoppeld zijn met resp. de ingangs- en de uitgangsklem
25 van de driftcompenserende keten.

In de bovenbeschreven ketenopbouw, komen de inverterende ingangsklem van de brede band operationele versterker en de niet-inverterende ingangsklem van de laagfrequente operationele versterker resp. overeen met de inverterende en niet-inverterende
30 de ingangsklemmen van een zeer snelle operationele versterker met lage drift, volgens de uitvinding.

De uitvinding zal in het hierna volgende nader beschreven worden aan de hand van een uitvoeringsvoorbeeld, onder verwijzing naar de tekening. Hierin toont:

7906987

Fig. 1 een ketenschema van een conventionele operationele versterker.

Fig. 2 een ketenschema van een uitvoeringsvorm van een operationele versterker volgens de uitvinding,

5 fig. 3 een equivalente keten van de in fig. 2 getoonde keten, met een uitwendige keten daarvan,

fig. 4 en 5 grafieken welke de frequentiekaracteristieken van de spanningsversterker van een operationele versterker volgens de uitvinding tonen,

10 fig. 6 een grafiek welke de resultaten toont van experimenten, welke uitgevoerd zijn om de verbetering van de drift met behulp van de uitvinding te bevestigen.

In fig. 2 geven de verwijzingscijfers 11 en 12 differentiaal ingangsklemmen aan, 13 een brede band operationele versterker met een relatief grote spanningsverschuivings- en driftwaarden (waarvan een gecombineerde waarde uitgedrukt kan worden als functie van een ingangswaarde ed_1), 14 een laagfrequentie operationele versterker met voldoende kleine spanningsverschuivings- en driftwaarden (waarvan een gecombineerde waarde uitgedrukt kan worden als een ingangswaarde ed_2) vergeleken met de versterker 13; 15 een laag doorlaatfilter, en 16 een uitgangsklem. De laagfrequentie operationele versterker 14, de weerstanden R_1 en R_2 en een condensator C_1 vormen een coëfficiënte keten met een overdrachtsfunctie g welke bij benadering gegeven wordt door de volgende uitdrukking:

25

$$g = \frac{R_2}{R_1} \times \frac{1}{1 + SC_1 R_2} \text{ ----- (1)}$$

waarin S een operator aangeeft.

30 De spanningsverschuivings- en driftwaarden, die opgewekt worden door de in fig. 2 getoonde keten, kunnen uitgedrukt worden als een ingangswaarde ed_0 , welke bij benadering gegeven wordt door de volgende uitdrukking:

7906987

$$ed_0 \approx ed_2 + \frac{ed_1}{g} \quad \text{-----} \quad (2)$$

waarin $g \gg 1$.

In het hierna volgende zal een manier voor het afleiden van uitdrukking (2) verklaard worden. In het bijzonder zal een geval verklaard worden waarbij een operationele versterker A, welke in fig. 2 getoond is, toegepast wordt als inverterende versterker waarbij de inverterende ingangsklem 11 van de versterker A gekoppeld is met een serieweerstand R_S en een terugkoppelweerstand R_F en waarbij de niet-inverterende ingangsklem 12 ge-

10

aard is.

De bovengenoemde waarden ed_1 en ed_2 , kunnen, zoals getoond in fig. 3, beschouwd worden als uitgangsspanningen van energiebronnen welke resp. verbonden zijn met de inverterende ingangsklem van de brede band operationele versterker 13 en die van de laagfrequente operationele versterker 14. Zoals getoond is in fig. 3, is e_1 een spanning aan de inverterende ingangsklem 11, G_1 een spanningsversterking van de laagfrequent operationele versterker 14, ib_2 een elektrische stroom welke in de inverterende ingangsklem van de versterker 14 vloeit, e_2 een spanning op het verbindingspunt tussen de weerstand R_1 en een terugkoppelimpedantie Z (welke opgebouwd is uit de weerstand R_2 en condensator C_1 , getoond in fig. 2), e_3 een uitgangsspanning van de laagfrequente operationele versterker 14, e_0 een uitgangsspanning van de operationele versterker A, en G_2 een spanningsversterker van de brede band operationele versterker 13, wanneer een elektrische stroom i , die in de niet-inverterende ingangsklem van de versterker 13 vloeit, gelijk gemaakt is aan nul, ontstaan de volgende uitdrukkingen:

20

25

30

$$\frac{e_i - e_0}{R_S} = \frac{e_1 - e_0}{R_F} + \frac{e_1 - e_2}{R_1} \quad \text{-----} \quad (3)$$

$$\frac{e_1 - e_2}{R_1} = \frac{e_2 - e_3}{R_2} + ib_2 \quad \text{-----} \quad (4)$$

$$e_3 = -G_1 (e_2 - ed_2) \quad \text{-----} \quad (5)$$

$$e_0 = G_2 (e_1 - ed_1 - e_3) \quad \text{-----} \quad (6)$$

De spanningen e_1 , e_2 en e_3 worden uit de uitdrukkingen (3), (4), (5) en (6) geëlimineerd, waarbij verondersteld wordt dat $G_1 = G_2 = \infty$. Dan wordt de uitgangsspanning e_0 door de volgende uitdrukking gegeven:

$$e_0 = -\frac{R_F}{R_S} e_i + \left(\frac{1}{R_S} + \frac{1}{R_F}\right) R_F \cdot ed_2 + \frac{R_1 Z}{R_1 + Z} \left(1 + \frac{R_F}{R_S} + \frac{R_F}{R_1}\right) \left(\frac{ed_1}{Z} + ib_2\right) \quad \text{-----} \quad (7)$$

Door te stellen dat $\frac{1}{R_S} + \frac{1}{R_F} \gg \frac{1}{R_1}$ en $R_1 \ll |Z|$, wordt uitdrukking (7) omgezet in de volgende uitdrukking:

$$e_0 \approx -\frac{R_F}{R_S} e_i + \left(1 + \frac{R_F}{R_S}\right) \left(ed_2 + \frac{R_1}{Z} ed_1 + R_1 \cdot ib_2\right).$$

Verder wordt de volgende uitdrukking verkregen door gebruik te maken van $\frac{R_1}{Z} = \frac{R_1}{R_2} (1 + SC_1 R_2) = \frac{1}{g}$.

$$e_0 \approx -\frac{R_F}{R_S} e_i + \left(1 + \frac{R_F}{R_S}\right) \left(ed_2 + \frac{ed_1}{g} + R_1 \cdot ib_2\right) \quad \text{-----} \quad (8)$$

De formule $\left(ed_2 + \frac{ed_1}{g} + R_1 \cdot ib_2\right)$, welke ook aangegeven kan worden ed'_0 , welke in de tweede term van uitdrukking (8) verschijnt, zoals getoond in fig. 3, geeft een resulterende waarde aan van de spanningsverschuivings- en driftwaarden van de operationele versterker A, uitgedrukt in termen van de ingangswaarde aan de niet-inverterende ingangsklem van de versterker A, in het geval dat de ingangsspanning e_i gelijk gemaakt is aan nul (of aardpotentiaal). Wanneer verondersteld wordt dat de stroom ib_2 welke in de laagfrequente operationele versterker 14 vloeit voldoende klein is, worden de volgende uitdrukkingen verkregen, welke gelijk zijn aan uitdrukking (2).

$$ed'_0 \approx ed_2 + \frac{ed_1}{g} = ed_0$$

Zoals uit uitdrukking (2) blijkt, wordt, wanneer de overdrachtsfunctie g van de coëfficiëntketen groot gemaakt is, de ingangswaarde ed_0 vrijwel gelijk aan ed_2 . Dat wil zeggen dat de

7906987

ingangswaarde ed_1 , welke overeenkomt met grote spanningsverschuivings- en driftwaarden in hoofdzaak klein gemaakt is, en de ingangswaarde ed_0 slechts bepaald wordt door de ingangswaarde ed_2 , welke veel kleiner is dan de ingangswaarde ed_1 . Derhalve ver-
5 krijgt men een operationele versterker met lage drift.

In het hierna volgende zal de frequentiekarakteristiek van de keten volgens fig. 2 verklaard worden.

Wanneer deze keten toegepast wordt in een toestand waarbij de uitgangsklem geaard is, of in een daaraan vrijwel gelijkwaardige toestand, wanneer de keten bijvoorbeeld toegepast wordt als
10 een coëfficiëntsoptelketen met polariteitsomkering of als een invertor, wordt de brede bandkarakteristiek van de brede band operationele versterker 16 nooit verslechterd. Omdat echter de uitgangsimpedantie van de laagfrequente operationele versterker
15 14 groot wordt in het gebied van de hoge frequenties, wordt de stapresponsie van de brede band operationele versterker 13 verslechterd, en derhalve wordt de brede bandkarakteristiek verslechterd. Om een dergelijk nadeel te ondervangen, wordt een laag doorlaatfilter 15 toegepast dat opgebouwd is uit een weer-
20 stand R en een condensator C. Omdat de uitgangsimpedantie van het laag doorlaatfilter 15 voldoende laag is in het hoogfrequente gebied, wordt hoogfrequente ruis in het laag doorlaatfilter 15 geabsorbeerd en derhalve wordt de brede bandkarakteristiek van de versterker 13 niet nadelig beïnvloed door de voorgaande
25 versterker 14.

Verder is het laag doorlaatfilter 15 nodig om oscillatie te verhinderen in een toestand (ii) welke later beschreven zal worden. Wanneer de afsnijfrequenties van de brede band operationele versterker 13, de laagfrequente operationele versterker 14
30 en de coëfficiëntketen (welke opgebouwd is uit de operationele versterker 14, de weerstand R_2 en de condensator C_1) resp. gegeven worden door f_{c1} , f_{c2} en f_1 , kan oscillatie van de in fig. 2 getoonde keten voorkomen worden door de ketenelementen zo te kiezen dat zij voldoen aan de relatie $f_2 \leq f_{c1} < f_3$ in een toe-

7906987

stand (i) waarin $f_{c1} > f_1$ en voldoen aan een relatie $f_4 < f_{c1} < f_1$ in een toestand (ii) waarbij $f_{c1} < f_1$, waarbij

$$f_1 = \frac{1}{2\pi C_1 R_2}, \quad f_2 = \frac{1}{2\pi C_1 R_1}, \quad f_3 = \frac{1}{2\pi C R}, \quad f_4 = \frac{K}{2\pi C R}, \quad \text{en}$$

$$K = \frac{R_2}{R_1}.$$

In het hierna volgende zal verklaard worden waarom oscillatie verhinderd wordt.

Wanneer onder verwijzing naar de keten volgens fig. 2, de spanningsoverdrachtsfuncties van de coëfficiëntketen (opgebouwd uit de laagfrequente operationele versterker 14, de weerstand R_2 en de condensator C_1), het laag doorlaatfilter 15 en de brede band operationele versterker 13 resp. aangegeven worden door G_1 , k en G_2 , wordt de samengestelde spanningsoverdrachtsfunctie G_0 van de operationele versterker A gegeven door de volgende uitdrukking:

$$G_0 = G_2 (1 + kG_1) \quad \text{-----} \quad (9)$$

Om te verhinderen dat de operationele versterker A, die verbonden is met de serieweerstand R_s en de terugkoppelweerstand R_F , zoals getoond in fig. 3 en welke gebruikt wordt als invertierende versterker, oscilleert, is het nodig dat de samengestelde overdrachtsfunctie G_0 een eerste orde vertraging bezit.

In het geval dat voldaan wordt aan de bij toestand (i) beschreven relatie, hebben de spanningsoverdrachtsfuncties G_1 , G_2 en k frequentiekaracteristieken zoals aangegeven door de doorgetrokken lijnen in fig. 4. Dientengevolge bezit een term $(1 + kG_1)$ een frequentiekaracteristiek, zoals die aangegeven is door een gestippelde lijn en de samengestelde overdrachtsfunctie G_0 , zoals aangegeven door een streep-stippellijn, met een gedeelte zonder frequentiekaracteristiek en een gedeelte met een eerste orde vertraging. Dat wil zeggen dat een vertraging welke overeenkomt met de bovenbeschreven frequentiekaracteristiek van de samengestelde overdrachtsfunctie G_0 kleiner is dan $\frac{\pi}{2}$, en derhalve kan de in fig. 3 getoonde keten niet oscilleren.

Op gelijke wijze/^{bezitten,} wanneer aan de relatie welke aangegeven is bij toestand (ii) is voldaan, de spanningsoverdrachtsfuncties G_1 , G_2 en k de frequentiekaracteristieken welke door doorgetrokken lijnen in fig. 5 aangegeven zijn. Dienovereenkomstig heeft de term $(1 + kG_1)$ een frequentiekaracteristiek die door een onderbroken lijn aangegeven is, en de samengestelde overdrachtsfunctie G_0 , een frequentiekaracteristiek die aangegeven is door een streep-stippellijn, met een gedeelte zonder frequentiekaracteristiek en een gedeelte met een vertraging van de eerste orde. Dat wil zeggen dat een vertraging, die overeenkomt met de frequentiekaracteristiek van de samengestelde overdrachtsfunctie G_0 , kleiner is dan $\frac{\pi}{2}$, en dat de operationele versterker A die in fig. 3 getoond is, nooit kan oscilleren.

De frequentiekaracteristiek van de samengestelde overdrachtsfunctie^{die} overeenkomt met toestand (i) en in fig. 4 getoond is, kan gerealiseerd worden door de ketenelementen op een geschikte wijze te kiezen, zelfs indien het laag doorlaatfilter 15 niet toegepast wordt. De samengestelde overdrachtsfunctie G_0 , die overeenkomt met de toestand (ii), en die in fig. 5 getoond is, kan echter het gedeelte met een vertraging van de eerste orde bezitten door het laag doorlaatfilter 15 tussen de operationele versterker 13 en 14 te plaatsen. Dat wil zeggen dat het laag doorlaatfilter 15 in dit geval niet gemist kan worden om oscillatie te voorkomen.

Fig. 6 toont de variatie van de verschuifspanning met de temperatuur, de tekens $\bigcirc$ geven gemeten offsetspanningen aan in een geval waarbij de driftcompenserende keten volgens de uitvinding niet toegepast werd. Een rechte lijn L_1 welke verkregen is met behulp van deze gemeten waarde, via de methode van de kleinste kwadraten, toont dat de verschuifspanning een temperatuurcoëfficiënt van $26 \mu V/^{\circ}C$ had in dit geval. De tekens $\times$ geven gemeten waarden aan in het geval waarbij de compenserende keten volgens de uitvinding toegepast werd. Een rechte lijn L_2 , die verkregen werd uit de gemeten waarden, toont dat de verschuif-

7906987

spanning een temperatuurcoëfficiënt van $1,2 \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ of minder had.
Zoals uit bovenbeschreven experimenten blijkt, kan een brede band operationele versterker welke voorzien is van een driftcompenserende keten volgens de uitvinding, een temperatuurcoëfficiënt
5 van de offsetspanning bezitten die gelijk is aan of kleiner dan $1,2 \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$.

Zoals in het voorgaande verklaard is, zijn overeenkomstig de uitvinding, een brede band operationele versterker, een laag-frequente operationele versterker met een lage driftkarakteris-
10 tiek, en een laag doorlaatfilter met elkaar gecombineerd om zo een zeer snelle operationele versterker met lage drift te vormen, welke tot nu toe niet door middel van een enkele operationele versterker gerealiseerd is.

7906987

= CONCLUSIES =

1. Operationele versterker met een eerste en tweede ingangsklem
gekenmerkt door een coëfficiëntketen die verbonden is met de
eerste en tweede ingangsklem en die een eerste operationele ver-
sterker omvat, waarbij deze eerste operationele versterker een
5 lage driftkarakteristiek heeft; een laag doorlaatfilter waaraan
het uitgangssignaal van de coëfficiëntketen toegevoerd is; en
een tweede brede band operationele versterker op één ingangsklem
waarvan het uitgangssignaal van het laag doorlaatfilter aange-
legd is en aan de andere ingangsklem waarvan een signaal op de
10 eerste ingangsklem aangelegd is.
2. Operationele versterker volgens conclusie 1, met het kenmerk
dat de coëfficiëntketen de eerste operationele versterker omvat
aan één van de ingangsklemmen waarvan een signaal op de tweede
ingangsklem aangelegd is, een resistief element dat gekoppeld
15 is tussen de eerste ingangsklem en de andere ingangsklem van
de eerste operationele versterker, en een impedantie-element dat
gekoppeld is tussen de andere ingangsklem en de uitgangszijde van
de eerste operationele versterker.
3. Operationele versterker volgens conclusie 2, met het kenmerk
20 dat het impedantie-element opgebouwd is uit een weerstand en een
condensator, welke parallel verbonden zijn.

7906987

FIG. 1

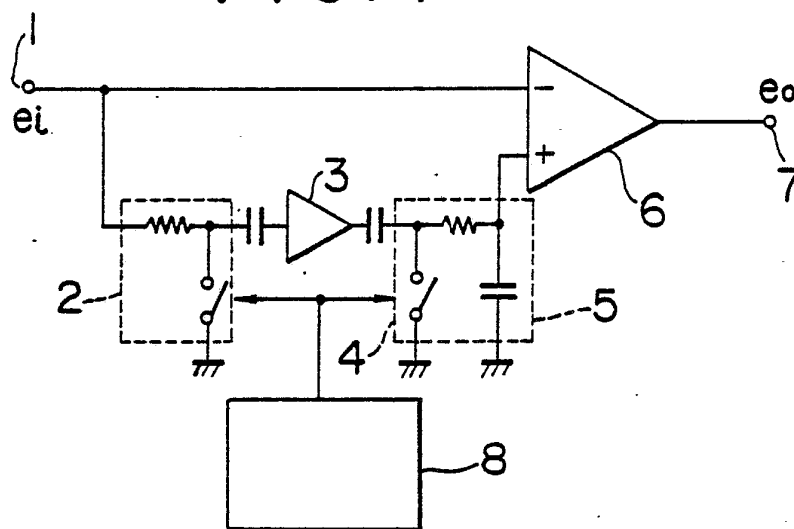
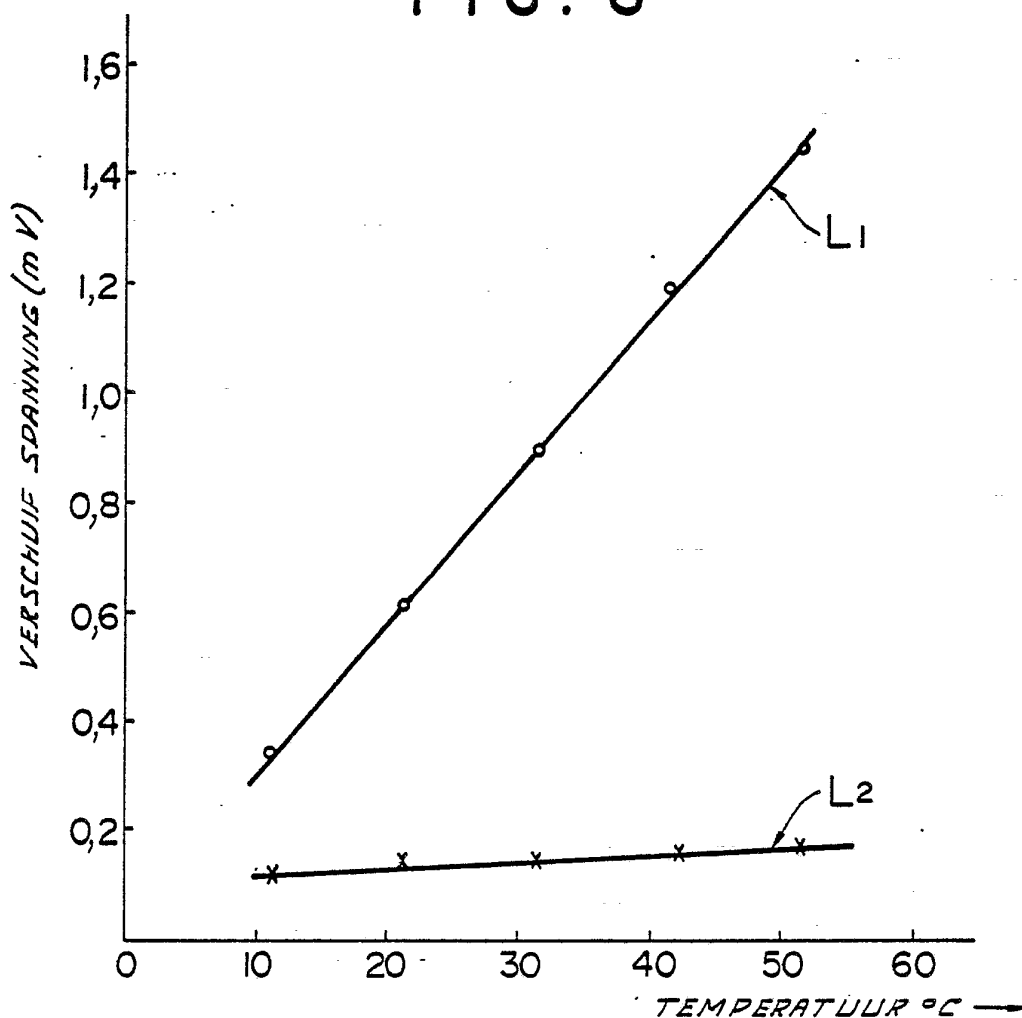


FIG. 6



7906987

FIG. 2

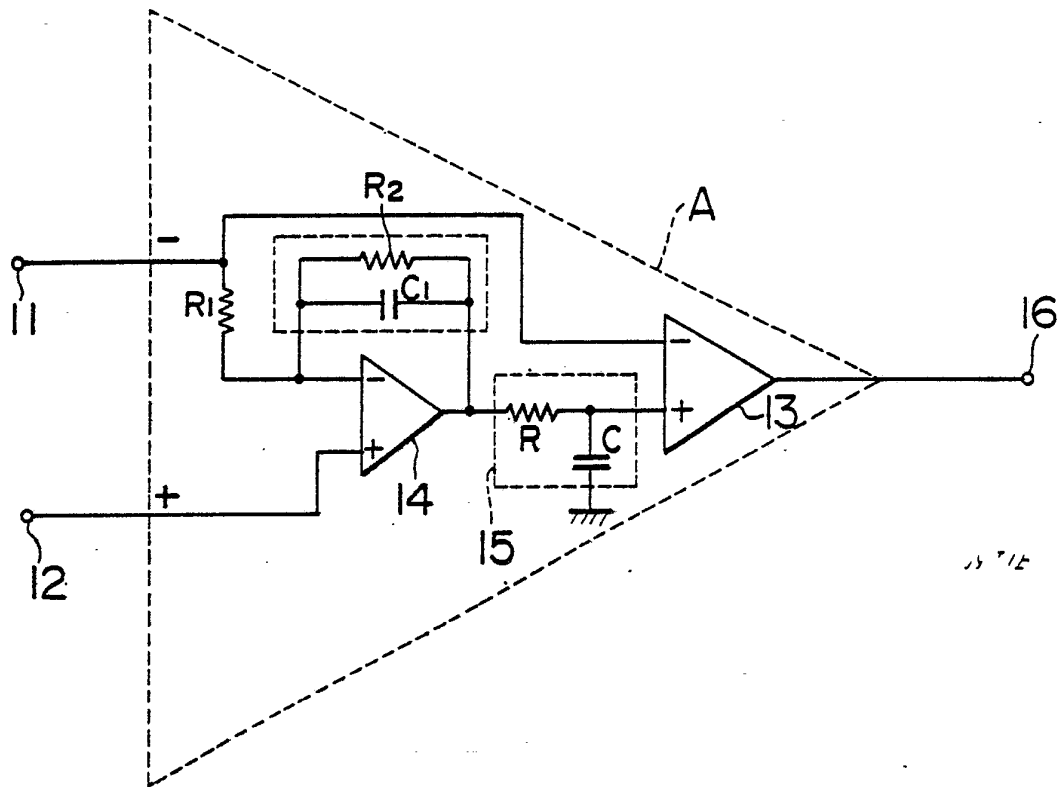
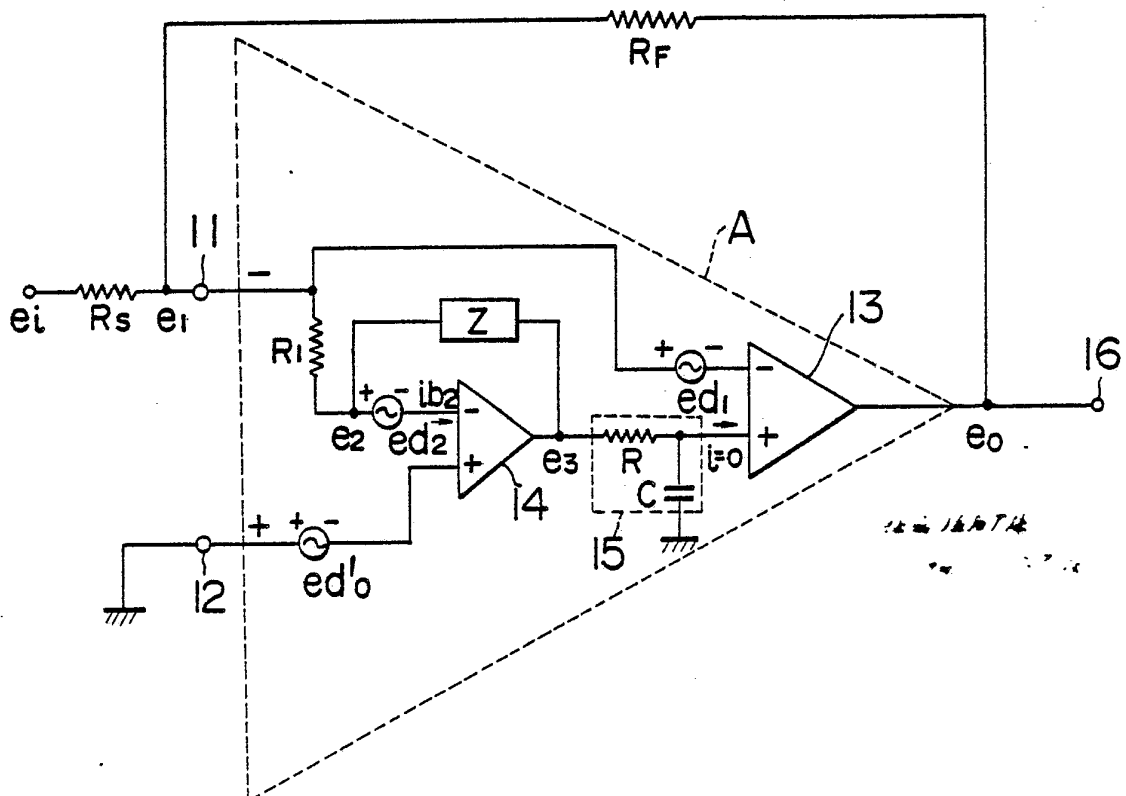


FIG. 3



7906987

FIG. 4

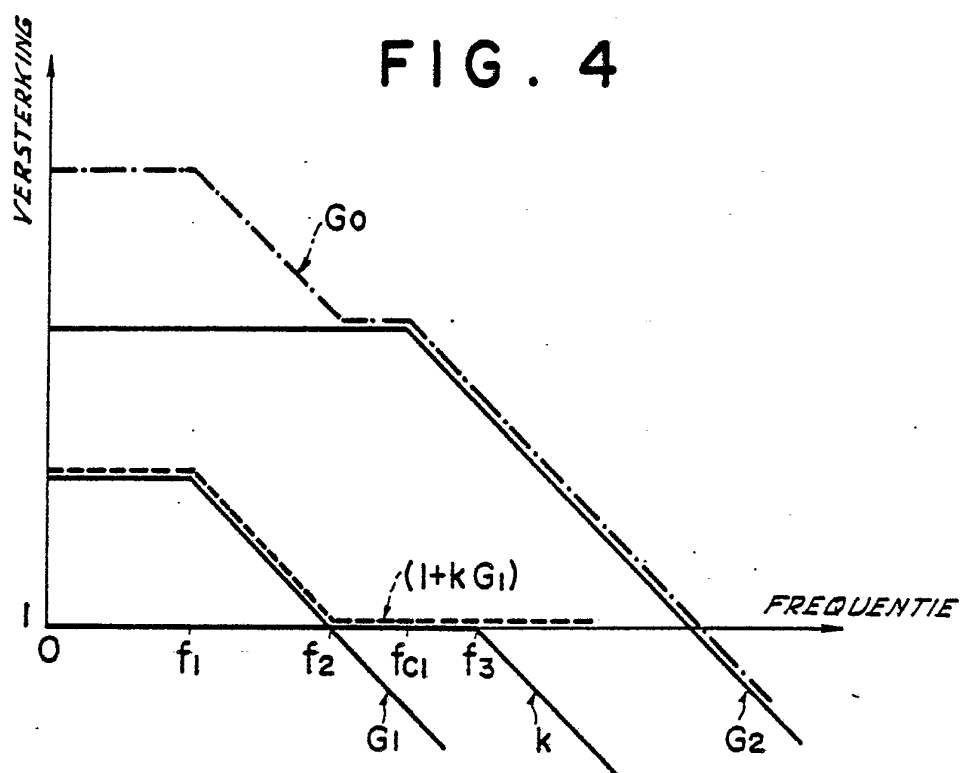
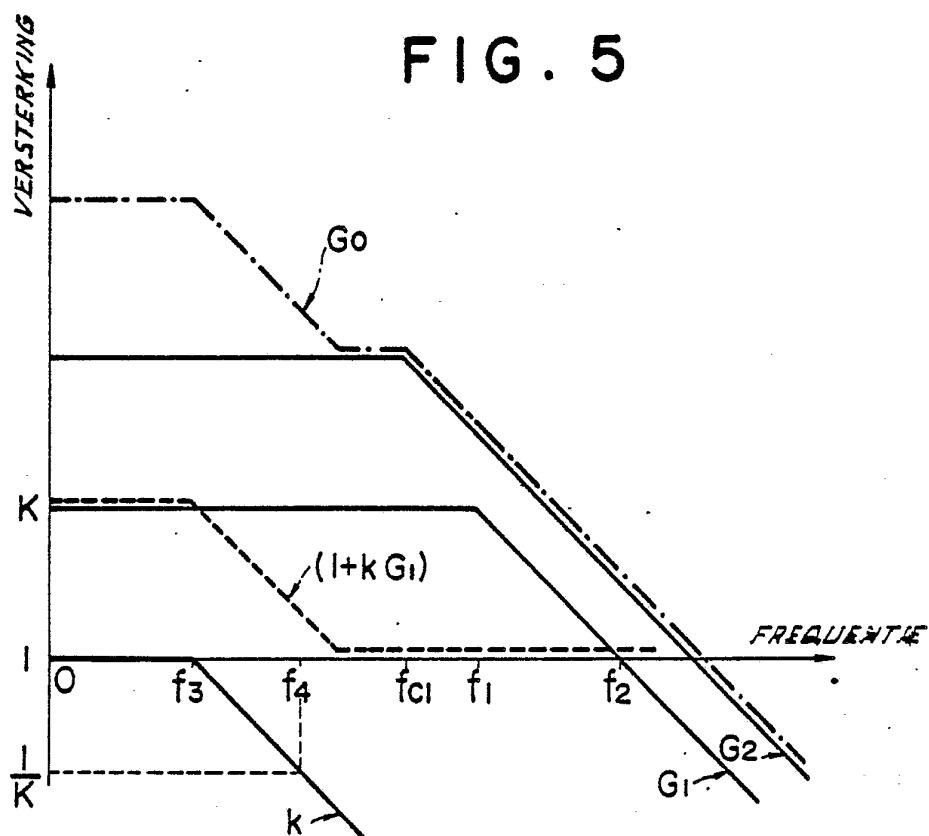


FIG. 5



7906987