



Brevetto d'invenzione rilasciato per la Svizzera ed il Liechtenstein
Trattato sui brevetti, del 22 dicembre 1978, fra la Svizzera ed il Liechtenstein

⑫ **FASCICOLO DEL BREVETTO** A5

⑲ Numero della domanda: 4190/84

⑳ Data di deposito: 31.08.1984

⑳ Priorità: 02.09.1983 US 528774

㉔ Brevetto rilasciato il: 31.12.1987

④⑤ Fascicolo del
brevetto pubblicato il: 31.12.1987

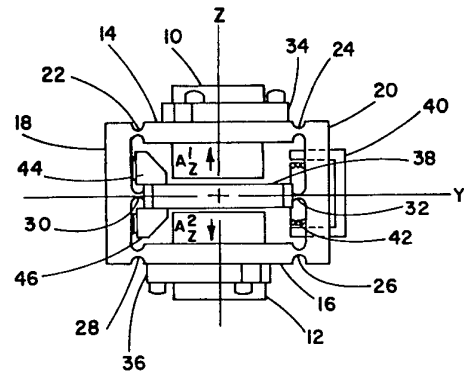
⑦③ Titolare/Titolari:
Sundstrand Data Control, Inc., Redmond/WA
(US)

⑦② Inventore/Inventori:
Peters, Rex B., Woodinville/WA (US)

⑦④ Mandatario:
E. Blum & Co., Zürich

⑤④ **Apparecchio per generare un segnale di velocità angolare comprendente una struttura ad accelerometri.**

⑤⑦ In un sistema inerziale per rilevare la rotazione angolare ed il moto di traslazione di una struttura utilizzando una coppia di accelerometri (10, 12) in una disposizione dorso a dorso che vibrano sostanzialmente in maniera lineare lungo un asse normale ai loro assi sensibili alla forza, viene usato un meccanismo che utilizza una struttura a parallelogramma (14, 16, 18, 20, 40) ed un meccanismo di azionamento elettromagnetico (42) per impartire il moto vibratorio agli accelerometri.



RIVENDICAZIONI

1. Apparecchio per generare un segnale rappresentante il moto di velocità angolare di una struttura, comprendente: un primo accelerometro (10) avente un primo asse sensibile alla forza; un secondo accelerometro (12) avente un secondo asse sensibile alla forza; e mezzi elaboratori di segnali collegati operativamente a detti primo e secondo accelerometro per generare un segnale di velocità rappresentante il moto di velocità angolare della struttura, caratterizzato da ciò che esso presenta un meccanismo a parallelogramma includente un primo organo di supporto (14) di accelerometro assicurato a detto primo accelerometro, un secondo organo di supporto (16) di accelerometro assicurato a detto secondo accelerometro ed un meccanismo di accoppiamento (18, 20, 38) fissato a detti primo e secondo organo di supporto di accelerometro e assicurato alla struttura in maniera tale che detto primo e detto secondo asse sensibile alla forza siano allineati in parallelo e mezzi di azionamento (40, 41) collegati operativamente a detto meccanismo a parallelogramma per far vibrare detti primo e secondo organo di supporto di accelerometro in una direzione sostanzialmente normale a detti primo e secondo asse sensibile alla forza ad una frequenza ω .

2. Apparecchio secondo la rivendicazione 1, in cui detto meccanismo di accoppiamento include un primo organo di accoppiamento (18) collegato girevolmente a detti primo e secondo organo di supporto di accelerometro, un secondo organo di accoppiamento (20) collegato girevolmente a detti primo e secondo organo di supporto di accelerometro ed un organo di supporto centrale (38) assicurato alla struttura e collegato girevolmente a detti primo e secondo organo di accoppiamento.

3. Apparecchio secondo la rivendicazione 2, in cui detti mezzi di azionamento includono un primo elemento di azionamento elettromagnetico (42) assicurato a detto organo di supporto centrale ed un secondo elemento di azionamento elettromagnetico (40) assicurato a detto primo organo di accoppiamento.

4. Apparecchio secondo la rivendicazione 2, in cui detti primo e secondo organo di accoppiamento sono collegati girevolmente a detti primo e secondo organo di supporto di accelerometro mediante elementi flessibili (22, 24, 26, 28).

5. Apparecchio secondo la rivendicazione 4, in cui detto organo di supporto centrale è collegato girevolmente a detti primo e secondo organo di accoppiamento mediante elementi flessibili (30, 32).

6. Apparecchio secondo la rivendicazione 1, in cui detti mezzi di azionamento fanno vibrare detti primo e secondo accelerometro di un angolo θ di 0,01-0,1 radianti.

7. Apparecchio secondo la rivendicazione 1, in cui detta frequenza ω è una frequenza costante di 200-400 radianti per secondo.

8. Apparecchio secondo la rivendicazione 1, in cui detti primo e secondo accelerometro sono fatti vibrare di un angolo θ sfalsato di un angolo ψ da una posizione nominale ed in cui detti mezzi di azionamento includono mezzi di regolazione (118) per regolare l'angolo ψ di sfalsamento ad un valore desiderato.

9. Apparecchio secondo la rivendicazione 1, in cui detti mezzi di azionamento includono mezzi di regolazione di fase (114) per regolare la fase della vibrazione di detti primo e secondo accelerometro.

10. Apparecchio secondo la rivendicazione 1, in cui detti mezzi di azionamento includono: un circuito generatore di segnali periodici (100) per generare un segnale di uscita avente la frequenza ω ; un circuito amplificatore (108) collegato operativamente a detto generatore di segnali periodici per amplificare la uscita di detto generatore di segnali periodici; un elemento di azionamento (42) collegato operativamente a detto meccanismo a parallelogramma e sensibile a detto segnale periodico amplifi-

cato per far vibrare detti primo e secondo accelerometro a detta frequenza ω ; e mezzi di reazione (44, 46, 106) sensibili alla posizione di detto meccanismo a parallelogramma per applicare un segnale di reazione a detto circuito amplificatore onde regolare l'ampiezza θ della vibrazione di detti primo e secondo accelerometro.

11. Apparecchio secondo la rivendicazione 2, in cui gli assi sensibili alla forza del primo e secondo accelerometro sono generalmente paralleli al primo e secondo organo di accoppiamento.

12. Apparecchio secondo la rivendicazione 1, in cui gli assi sensibili alla forza del primo e secondo accelerometro sono orientati in direzioni opposte.

13. Apparecchio secondo la rivendicazione 10, includente inoltre un generatore (50) di impulsi per fornire impulsi al generatore di segnali periodici (100), in cui il detto generatore di segnali periodici (100) è un generatore di onde sinusoidali.

L'invenzione si riferisce ad un apparecchio per generare un segnale rappresentante il moto di velocità angolare di una struttura, comprendente: un primo accelerometro avente un primo asse sensibile alla forza; un secondo accelerometro avente un secondo asse sensibile alla forza; e mezzi elaboratori di segnali collegati operativamente a detti primo e secondo accelerometro per generare un segnale di velocità rappresentante il moto di velocità angolare della struttura.

Secondo la tecnica antecedente (US-PS 4 445 376) nonché nell'articolo di Shmuel J. Merhav intitolato «A Nongyroscopic Inertial Measurement Unit» pubblicato nel maggio 1981 da Technion Israel Institute of Technology, sono previsti un metodo ed un apparecchio per misurare il vettore di forza specifica ed il vettore di velocità angolare di un corpo in movimento per mezzo di numerosi accelerometri azionati ciclicamente. Vengono anche descritte nella domanda di brevetto US-CIP 528 776 tecniche simili per misurare il vettore di forza specifica ed il vettore di velocità angolare di un corpo in movimento utilizzando uno solo o due accelerometri che vibrano ad una frequenza costante.

In una delle realizzazioni della tecnica antecedente del sensore di velocità, secondo la detta domanda di brevetto che utilizza due accelerometri a vibrazione, viene descritta una disposizione in cui gli accelerometri sono orientati in una disposizione dorso a dorso, cioè con i loro assi sensibili alla forza allineati in direzioni opposte, ed in cui gli accoppiamenti vengono fatti vibrare in una direzione sostanzialmente lineare normale agli assi sensibili alla forza. Un'applicazione di tale sensore di velocità può avvenire in un sistema di riferimento inerziale che potrebbe venire usato in un sistema di navigazione inerziale per aerei. In tale applicazione, è importante mantenere il meccanismo per la vibrazione degli accelerometri quanto più semplice possibile nonché ridurre la dimensione ed il costo del sistema. È anche considerato assai desiderabile eliminare per quanto possibile il numero di parti che possono usurarsi in tale sistema.

Una soluzione di questo problema tecnico è definita nella rivendicazione 1.

L'invenzione è spiegata dalla seguente descrizione di forme d'esecuzione dell'apparecchio secondo l'invenzione, illustrate dalle annesse figure, nelle quali:

la fig. 1 è uno schema che fornisce una illustrazione concettuale di un accoppiamento a parallelogramma per far vibrare due accelerometri in una direzione sostanzialmente lineare;

le figg. 2 e 3 sono viste dall'alto e laterale rispettivamente di un meccanismo per attuare l'illustrazione del moto degli accelerometri della fig. 1;

la fig. 4 è uno schema a blocchi di un circuito elaboratore

per convertire i segnali di accelerometro in segnali di velocità angolare e di forza; e

la fig. 5 è uno schema a blocchi di un generatore di segnali di azionamento da usare con il circuito elaboratore di fig. 4.

Descrizione dettagliata dell'invenzione

Nella fig. 1 è prevista in forma schematica una illustrazione di una disposizione a parallelogramma per far vibrare due accelerometri 10 e 12 in una direzione indicata dall'asse Y. Gli accelerometri 10 e 12 sono assicurati su organi di supporto 14 e 16 di accelerometro rispettivamente che a loro volta sono collegati a due organi 18 e 20 di accoppiamento mediante disposizioni 22-28 a perno di rotazione od a cuscinetto. Quando gli organi 18 e 20 di accoppiamento vengono fatti ruotare attorno ai perni 30 e 32 di rotazione rispettivamente di un angolo θ gli accelerometri 10 e 12 vibreranno lungo l'asse Y che è normale ai loro assi A_1^z e A_2^z sensibili alla forza. Nello schema di fig. 1 l'angolo presenta uno sfalsamento iniziale attorno al quale avviene l'oscillazione dell'angolo θ .

Le accelerazioni derivanti dal moto degli organi di supporto 14 e 16 di accelerometro nella direzione Y misurate lungo gli assi A_1^z ed A_2^z sensibili alla forza degli accelerometri e perpendicolarmente a questi una è data dall'equazione (1) ed una è data dall'equazione (2) in appresso, rispettivamente:

$$\ddot{Z} = \omega^2 R \cos \Psi \theta_0^2 \cos 2\omega t + \omega^2 R \theta_0 \sin \psi \sin \omega t \quad (1)$$

$$\ddot{Y} = \omega^2 R \cos \psi \theta_0 \sin \omega t \quad (2)$$

in cui ω rappresenta la frequenza della vibrazione angolare attraverso l'angolo θ ed R rappresenta la lunghezza del braccio 18 o 20 di collegamento da uno dei perni 30 o 32 centrali ad uno dei perni di supporto 22-28 degli accelerometri. Come si può rilevare dall'equazione (1) e dall'equazione (2), le accelerazioni lungo l'asse Z degli accelerometri 10 e 12 dovute al movimento del meccanismo illustrato nella fig. 1 sono relativamente piccole per piccoli valori di θ e verranno essenzialmente annullate nell'elaboratore di segnali mostrato nella fig. 4. Pertanto, dovrebbe essere evidente dalla fig. 1 che il moto principale degli accelerometri 10 e 12 è essenzialmente lineare lungo l'asse Y per piccoli angoli di θ e di ψ . Nella realizzazione preferita dell'invenzione, θ_0 dovrebbe avere un valore di 0,01-0,1 radianti e ψ dovrebbe essere minore di 0,01 radianti. Inoltre, nella realizzazione preferita dell'invenzione, la frequenza ω dovrebbe essere 200-400 radianti/secondo. Una ulteriore rilevanza del moto dell'asse di entrata descritto nell'equazione (1) verrà discussa con riguardo al generatore di segnali di azionamento di fig. 5.

Nelle figg. 2 e 3 viene illustrata la realizzazione preferita di un meccanismo per attuare la struttura a parallelogramma di fig. 1. Come si può osservare dalla vista laterale di fig. 3, gli accelerometri 10 e 12 sono assicurati agli organi 14 e 16 di supporto di accelerometro mediante elementi 34 e 36 a flangia di accelerometro. Allo scopo di semplificare la struttura e rendere minima l'usura, i perni 22-28 di rotazione che collegano gli organi 14 e 16 di supporto di accelerometro agli elementi 18 e 20 di accoppiamento sono attuati nella realizzazione preferita dell'invenzione come sottili elementi flessibili metallici. Similmente i perni 30 e 32 di rotazione che collegano gli elementi 18 e 20 di accoppiamento ad un organo di supporto centrale sono attuati sotto forma di sottili elementi flessibili metallici. L'organo 38 di supporto centrale è collegato alla struttura (non mostrata) nei riguardi della quale l'apparecchio delle figg. 2 e 3 deve fornire segnali indicanti la rotazione angolare ed il moto di traslazione.

Un meccanismo di azionamento del tipo di D'Arsonval che include un magnete 40 permanente fissato ad un organo 20 di accoppiamento ed una bobina 42 assicurata all'organo 38 di supporto centrale fa muovere gli accelerometri 10 e 12 in paral-

lelo ma in direzioni opposte generalmente lungo l'asse Y come illustrato nella fig. 1. L'ampiezza θ di vibrazione può essere controllata per mezzo di un servomeccanismo con un solo anello di reazione utilizzando due elementi 44 e 46 rivelatori capacitivi come mostrato nella fig. 3.

L'apparecchio mostrato nelle figg. 2 e 3 fornisce un meccanismo semplice in maniera unica con un minimo di parti mobili per far vibrare due accelerometri 10 e 12 sostanzialmente in modo lineare lungo un asse Y normale agli assi A_1^z ed A_2^z sensibili alla forza degli accelerometri.

Nella fig. 4 è previsto un elaboratore di segnali per separare i segnali F_z di forza dai segnali Ω_x di velocità angolare ed i segnali di uscita degli accelerometri 10 e 12. Un generatore 50 di impulsi di comando genera segnali su una linea 52 in funzione della frequenza ω i quali faranno sì che un generatore 54 di segnali di azionamento faccia vibrare gli accelerometri 10 e 12 alla frequenza ω come precedentemente descritto. I segnali a_1^z ed a_2^z di uscita degli accelerometri 10 e 12 vengono trasmessi sulle linee 56 e 58 ad un elaboratore 60 di preseparazione. L'elaboratore 60 di preseparazione mostrato nella fig. 4 è atto alla meccanizzazione degli accelerometri appaiati del tipo mostrato nella fig. 1 in cui gli assi A_1^z ed A_2^z sensibili alla forza sono allineati in direzioni opposte. I segnali di uscita degli accelerometri sulle linee 56 e 58 vengono differenziati in una giunzione 62 sommatrice e sommati in una giunzione 64 sommatrice. Due amplificatori 66 e 68 demoltiplicatori ricevono i segnali sommati e differenziati dalle giunzioni 64 e 62 sommatrici rispettivamente lungo linee 70 e 72.

Il principio della separazione di forza è lo stesso di quello descritto nella domanda di brevetto US-CIP 528 776 e nell'articolo di Shmuel L. Merhav intitolato «A Nongyroscopic Inertial Measurement Unit» pubblicato nel maggio 1981 da Technion Israel Institute of Technology in cui il segnale combinato dall'amplificatore 66 viene fornito lungo una linea 74 ad un canale 76 di forza. Il canale 76 di forza include un circuito integratore ed un circuito a campionamento e tenuta con segnali dal generatore 50 di impulsi di comando che vengono applicati sulle linee 78 e 80 ai circuiti integratore ed a campionamento e tenuta. I segnali di accelerazione combinati sulla linea 74 vengono integrati per il periodo T di tempo della frequenza ω onde fornire un segnale F_z sulla linea 82 che rappresenta il cambio di velocità lungo l'asse Z della struttura alla quale è fissato l'organo di supporto centrale.

Analogamente, un elaboratore 34 di canale di velocità angolare riceve i segnali differenziati sulla linea 86 e li moltiplica per la funzione periodica di media zero $\text{sgnc } \omega t$. Come per il canale di forza, il segnale risultante viene integrato per un periodo T di tempo attraverso un circuito a campionamento e tenuta su una linea 88 di uscita. Il segnale Ω_x rappresentante l'informazione di velocità angolare viene trasmesso attraverso un filtro 90 passabasso e una uscita su una linea 92.

Nella maniera di cui sopra i segnali dalla disposizione ad accelerometri illustrata nelle figg. 1-3 possono venire elaborati onde produrre segnali di forza e segnali di velocità angolare.

Un ulteriore dettaglio della realizzazione preferita del generatore 54 di segnali di azionamento è mostrato nella fig. 5. Gli impulsi dal generatore 50 di impulsi di comando vengono inviati lungo la linea 52 ad un generatore 100 di onde sinusoidali che produce una tensione sostanzialmente sinusoidale sulla linea 104. L'uscita di una giunzione 106 sommatrice aziona un amplificatore 108 ad alto guadagno. L'uscita dell'amplificatore 108 è una corrente che viene applicata alla bobina 42 di azionamento. L'uscita di coppia della bobina 42 di azionamento interagisce con la dinamica del meccanismo delle figg. 1-3 rappresentata del blocco 110 per produrre il moto condotto degli accelerometri. Tale moto condotto eccita le bobine 44 e 46 di prelievo per produrre una tensione di reazione sulla linea 112. Secondo la servo-teoria ben nota agli esperti nella tecnica, il

guadagno $A(\omega)$ dell'amplificatore 108 è reso molto alto in maniera tale che la tensione di azionamento sulla linea 104 e la tensione di reazione sulla linea 112 siano costrette ad essere sostanzialmente uguali ed il movimento del meccanismo seguirà sostanzialmente la tensione di azionamento sulla linea 104. Altre regolazioni da utilizzare durante la taratura dell'apparecchio sensibile alla velocità angolare delle figg. 1 e 3 sono mostrate in 114 e 118. Il circuito 114 di regolazione di fase è un circuito che produce una tensione regolabile sulla linea 116 la quale regola la fase dell'uscita 104 del generatore 100 di onde sinusoidali rispetto agli impulsi di comando sulla linea 52. Il circuito 118 di regolazione di sfalsamento è un circuito che produce una tensione regolabile sulla linea 120 per regolare l'angolo medio del meccanismo illustrato nella fig. 1.

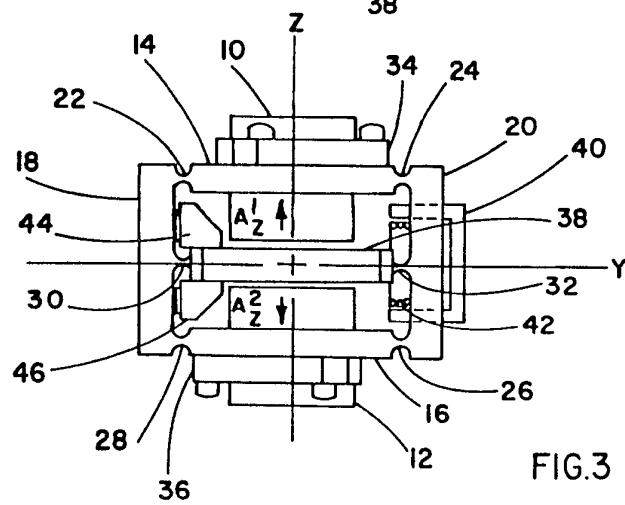
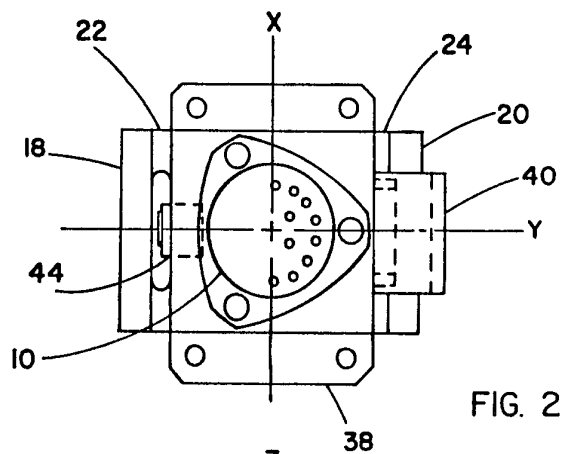
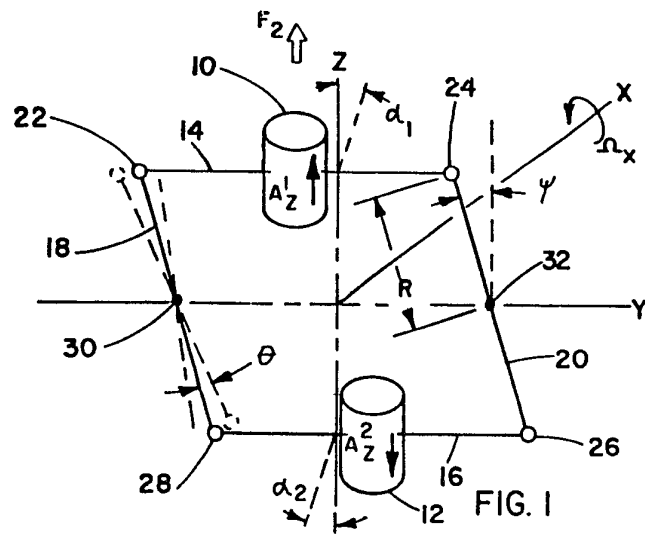
Il motivo di avere le regolazioni 114 e 118 incluse nel circuito può essere trovato esaminando il comportamento dell'elaboratore nei riguardi dell'accelerazione espressa nell'equazione (1). Il primo termine nell'equazione (1) rappresenta una piccola accelerazione di frequenza doppia che non sarebbe presente in un meccanismo puramente traslatorio e pertanto rappresenta un compromesso di progetto che viene accettato allo scopo di ottenere un meccanismo semplice. Esso è un compromesso molto piccolo poichè se ne può dimostrare l'esatta cancellazione nell'elaboratore per un moto di azionamento a stato stazionario e altresì la sostanziale cancellazione anche in presenza di un tremolio di azionamento. Il secondo termine rappresenta un segnale identico a quello che sarebbe causato da un comune disallineamento di modo dei due accelerometri di un angolo ψ .

Si può dimostrare che l'elaboratore di fig. 4, quando sotto-

posto sia a sfasamento nel segnale ϕ di azionamento che a disallineamento α_1 e α_2 degli assi A_1^2 e A_2^2 sensibili alla forza degli accelerometri 10 e 12, rispettivamente, rispetto all'asse Z, come mostrato in fig. 1, produrrà una sollecitazione di velocità apparente data da:

$$\Omega_b = \frac{\omega}{4} (\alpha_1 + \alpha_2) \sin \phi \quad (3)$$

Per esempio, con $\omega = 200$ radianti per secondo, $\alpha_1 = \alpha_2 = 0,001$ radianti e $\phi = 0,001$ radianti, l'equazione (3) rivela che ne deriverà una sollecitazione di velocità apparente di 10^{-4} radianti per secondo o $20,6^\circ$ /ora. La regolazione elettrica di ψ permette la regolazione di α_1 e α_2 ad un valore relativamente grande senza regolazioni meccaniche così che ϕ può venire regolato ad un valore molto piccolo mediante considerazione di Ω_b . ϕ può poi venire sfalsato esattamente di 90° alternando temporaneamente le connessioni dei segnali di tempo sulle linee 78 e 80 così che la somma degli angoli α_1 e α_2 di disallineamento può venire regolata a zero regolando ϕ , di nuovo considerando Ω_b . Quando ϕ è fatto tornare di nuovo a zero e tutte le regolazioni sono bloccate a posto, l'apparecchio non solo sarà stato regolato per un valore minimo di Ω_b , ma anche per uno spostamento minimo di Ω_b nel caso α_1 , α_2 , o ϕ dovessero esibire uno spostamento da invecchiamento dopo la taratura. La possibilità di regolare elettricamente consente che tale intera procedura venga effettuata in maniera rapida, precisa, e senza necessità di regolazioni meccaniche critiche.



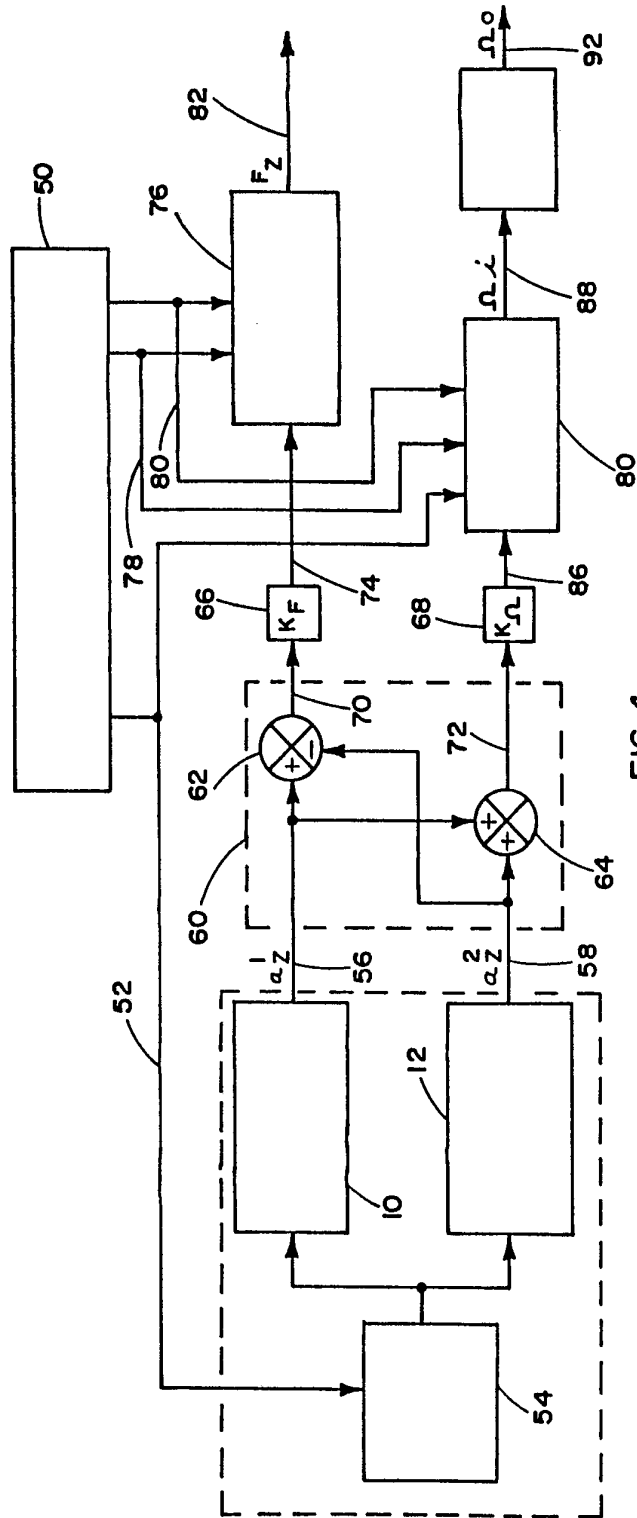


FIG. 4

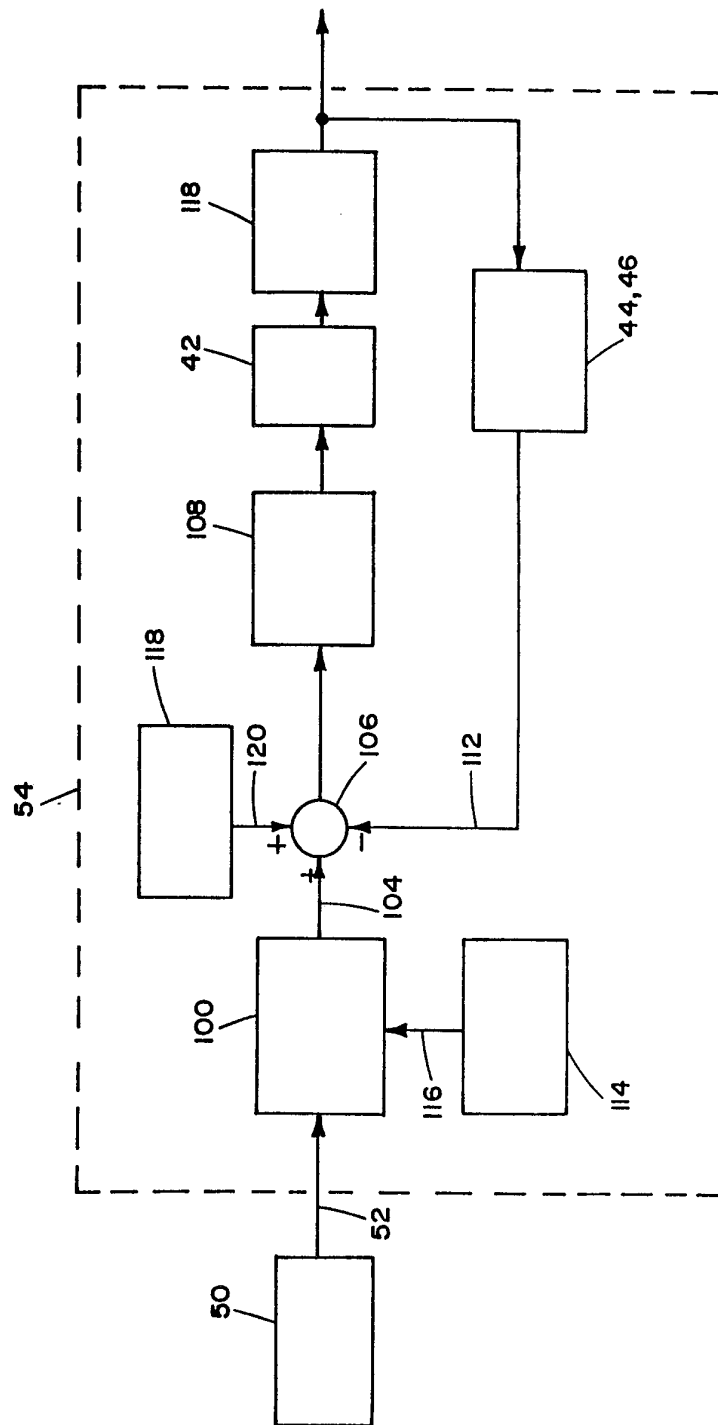


FIG.5