

ITALIAN PATENT OFFICE

Document No.

102011901968230A1

Publication Date

20130128

Applicant

STMICROELECTRONICS S.R.L.

Title

GIROSCOPIO MICROELETTROMECCANICO CON STADIO DI LETTURA
PERFEZIONATO, E METODO

DESCRIZIONE

del brevetto per invenzione industriale dal titolo:

"GIROSCOPIO MICROELETTROMECCANICO CON STADIO DI LETTURA
PERFEZIONATO, E METODO"

di STMICROELECTRONICS S.R.L.

di nazionalità italiana

con sede: VIA C. OLIVETTI, 2

AGRATE BRIANZA (MB)

Inventori: DONADEL Andrea, VISCONTI Andrea

La presente invenzione è relativa a un giroscopio microelettromeccanico con stadio di lettura perfezionato, a un relativo metodo di lettura.

Come è noto, l'impiego di sistemi microelettromeccanici o MEMS ("Micro-Electro-Mechanical Systems") si è andato sempre più diffondendo in vari settori della tecnologia e ha dato risultati incoraggianti specialmente nella realizzazione di sensori inerziali, giroscopi microintegrati, e oscillatori elettromeccanici per svariate applicazioni.

I sistemi MEMS di questo tipo sono di solito basati su strutture microelettromeccaniche comprendenti almeno una massa mobile collegata a un corpo fisso (statore) mediante molle e mobile rispetto allo statore secondo prefissati gradi di libertà. La massa mobile è inoltre accoppiata al

corpo fisso tramite strutture capacitive (condensatori). Il movimento della massa mobile rispetto al corpo fisso, ad esempio a causa di una sollecitazione esterna, modifica la capacità dei condensatori; da qui si può risalire allo spostamento relativo della massa mobile rispetto al corpo fisso e quindi alla forza applicata. Viceversa, fornendo opportune tensioni di polarizzazione, è possibile applicare una forza elettrostatica alla massa mobile per metterla in movimento. Inoltre, per realizzare oscillatori elettromeccanici si sfrutta la risposta in frequenza delle strutture MEMS inerziali, che tipicamente è di tipo passabasso del secondo ordine.

Molti sistemi MEMS (in particolare, tutti gli oscillatori elettromeccanici e i giroscopi) devono prevedere dispositivi di pilotaggio che hanno il compito di mantenere la massa mobile in oscillazione.

Un primo tipo di soluzione nota prevede di fornire, in anello aperto, sollecitazioni periodiche alla frequenza di risonanza della struttura MEMS. La soluzione è semplice, ma anche molto poco efficace, perché la frequenza di risonanza non è nota con precisione a causa delle ineliminabili dispersioni nei processi di microlavorazione dei semiconduttori. Inoltre, la frequenza di risonanza di ogni singolo dispositivo può variare nel tempo, ad esempio a causa di gradienti di temperatura o, più semplicemente, per

l'invecchiamento.

Sono poi stati proposti circuiti di pilotaggio retroazionati, basati sull'uso di modulatori sigma-delta. Circuiti di questo tipo sono indubbiamente più efficaci dei precedenti nello stabilizzare l'oscillazione della massa mobile alla reale frequenza di risonanza e nel sopprimere i disturbi. Tuttavia, sono necessari diversi stadi per il filtraggio, la decimazione e l'ulteriore elaborazione del flusso di bit fornito dal modulatore sigma-delta. Per questa ragione, i circuiti di pilotaggio retroazionati attualmente disponibili sono complessi da realizzare, ingombranti e, in definitiva, costosi.

Inoltre, è necessario considerare che i giroscopi hanno una struttura elettromeccanica complessa, che comprende due masse mobili rispetto allo statore e accoppiate fra loro in modo da avere un grado di libertà relativo. Le due masse mobili sono entrambe capacitivamente accoppiate allo statore. Una delle masse mobili è dedicata al pilotaggio (massa di pilotaggio) e viene mantenuta in oscillazione alla frequenza di risonanza. L'altra massa mobile (massa di rilevazione) viene trascinata nel moto oscillatorio e, in caso di rotazione della microstruttura rispetto a un asse prefissato con una velocità angolare, è soggetta a una forza di Coriolis proporzionale alla velocità angolare stessa. In pratica, la massa di

rilevazione opera come un accelerometro che consente di rilevare la forza di Coriolis.

Per consentire l'attuazione e realizzare un oscillatore elettromeccanico in cui il sensore svolge il ruolo di amplificatore selettivo di frequenza, con funzione di trasferimento di secondo ordine di tipo passa-basso e elevato fattore di merito, la massa di pilotaggio è dotata di due tipi di strutture capacitive differenziali: elettrodi di pilotaggio ed elettrodi di rilevamento di pilotaggio. Gli elettrodi di pilotaggio hanno lo scopo di sostenere l'autoscillazione della massa mobile nella direzione di attuazione. Gli elettrodi di rilevamento di pilotaggio hanno lo scopo di misurare, attraverso la carica trasdotta, la posizione di traslazione o rotazione della massa di rilevazione nella direzione di attuazione.

Il brevetto EP 1 624 285 descrive un sistema di controllo della velocità di oscillazione del giroscopio comprendente un sistema di lettura includente un amplificatore differenziale di lettura, un amplificatore passa-alto ed uno stadio di attuazione e controllo, operante in modo tempo-continuo. Tutti i componenti che formano il sistema di lettura sono di tipo analogico a tempo discreto e, in particolare, sono realizzati mediante circuiti completamente differenziali a condensatori commutati.

EP 1 959 234 descrive un perfezionamento del sistema di controllo precedente, in cui l'anello di controllo comprende un filtro avente lo scopo di ridurre l'offset e gli effetti di componenti e accoppiamenti parassiti, operando sul guadagno e sulla fase complessivi dell'anello di retroazione.

La figura 1 mostra, schematicamente, un sistema di lettura per leggere il segnale generato in uscita da un giroscopio secondo una forma di realizzazione di tipo noto. Il sistema di lettura comprende un amplificatore di carica AMP_C, un demodulatore DEM, un filtro passa-basso LPF, uno stadio di campionamento ("sample and hold") S&H, e un amplificatore di uscita AMP_O, collegati fra loro in cascata. L'amplificatore di carica AMP_C e il demodulatore DEM sono di tipo completamente differenziale a condensatori commutati. L'amplificatore di carica AMP_C ha ingressi collegati ai terminali della massa di rilevazione, per ricevere correnti di lettura (o pacchetti di carica) correlate alla velocità lineare di oscillazione della massa di rilevazione. Secondo il funzionamento dell'amplificazione di carica AMP_C, sulle sue uscite sono presenti tensioni di lettura indicative dello spostamento della massa di rilevazione. Il segnale fornito in uscita dall'amplificatore di carica AMP_C è un segnale modulato in ampiezza.

Il demodulatore DEM riceve le tensioni di lettura fornite dall'amplificatore di carica AMP_C ed effettua, in modo noto, una demodulazione del segnale ricevuto. L'uscita del demodulatore DEM è fornita al filtro LPF e, quindi, allo stadio di campionamento S&H, che effettua un campionamento, in modo noto.

I sistemi di lettura secondo le forme di realizzazione note, di tipo analogico, comportano un elevato utilizzo di area, elevati consumi, introducono rumore, e non consentono una gestione realmente efficiente del segnale di uscita dal giroscopio.

Scopo della presente invenzione è fornire ("provide") un giroscopio microelettromeccanico con stadio di lettura perfezionato, e un relativo metodo di lettura che permettano di superare le limitazioni dell'arte nota.

Secondo la presente invenzione vengono forniti un giroscopio microelettromeccanico con stadio di lettura perfezionato, e un relativo metodo di lettura secondo le rivendicazioni allegate.

Per una migliore comprensione dell'invenzione, ne verranno ora descritte alcune forme di realizzazione, a puro titolo di esempio non limitativo e con riferimento ai disegni allegati, nei quali:

- la figura 1 mostra un circuito di lettura per un giroscopio secondo una forma di realizzazione di tipo noto;

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

- la figura 2 è uno schema a blocchi semplificato di un giroscopio;

- la figura 3 è una vista in pianta dall'alto di una microstruttura inclusa nel giroscopio di figura 2;

- la figura 4 è una vista in pianta dall'alto di una ulteriore microstruttura del giroscopio di figura 2;

- la figura 5 è uno schema a blocchi più dettagliato del giroscopio di figura 2;

- la figura 6 è uno schema a blocchi di un circuito di lettura del giroscopio di figura 2 o figura 5, secondo una forma di realizzazione della presente invenzione;

- le figure 7a e 7b sono grafici che illustrano andamenti di grandezze relative al circuito di lettura di figura 6; e

- la figura 8 è uno schema a blocchi semplificato di un sistema elettronico incorporante il giroscopio secondo una forma di realizzazione della presente invenzione.

La figura 2 mostra nel complesso un giroscopio 100 microelettromeccanico, che comprende una microstruttura 102, realizzata in materiale semiconduttore, un dispositivo di pilotaggio 103, e un dispositivo di lettura 104.

La microstruttura 102 è realizzata in materiale semiconduttore e comprende una struttura fissa 6, una massa di pilotaggio 107 e almeno una massa di rilevamento 108. Per semplicità, nella forma di realizzazione qui illustrata

si farà riferimento al caso di un giroscopio monoassiale, in cui è presente una sola massa di rilevamento 108. Quanto di seguito descritto si applica tuttavia anche nel caso di giroscopi multiassiali, che comprendono due o più masse o sistemi di masse di rilevamento, per rilevare rotazioni secondo rispettivi assi indipendenti.

La massa di pilotaggio 107 è vincolata elasticamente alla struttura fissa 6 in modo da poter oscillare attorno a una posizione di riposo secondo un grado di libertà traslatorio o rotatorio. La massa di rilevamento 108 è meccanicamente accoppiata alla massa di pilotaggio 107 in modo da essere trascinata in moto secondo il grado di libertà della massa di pilotaggio 107 stessa. Inoltre, la massa di rilevamento 108 è vincolata elasticamente alla massa di pilotaggio 107 in modo da oscillare a sua volta rispetto alla massa di pilotaggio 107 stessa, con un rispettivo ulteriore grado di libertà.

Nella forma di realizzazione qui descritta, in particolare, la massa di pilotaggio 107 è mobile linearmente lungo un asse di pilotaggio X, mentre la massa di rilevamento 108 è mobile rispetto alla massa di pilotaggio 107 secondo un asse di rilevamento Y perpendicolare all'asse di pilotaggio X. Si intende tuttavia che il tipo di movimento (traslatorio o rotatorio) consentito dai gradi di libertà e la disposizione degli

assi di pilotaggio e di rilevamento possono variare secondo il tipo di giroscopio. Con riferimento ai movimenti della massa di pilotaggio 107 e della massa di rilevamento 108, inoltre, le espressioni "secondo un asse" e "in accordo a un asse" verranno indifferentemente utilizzate per indicare movimenti lungo un asse o attorno a un asse, secondo che i movimenti consentiti alle masse dai rispettivi gradi di libertà siano traslatori (lungo un asse) oppure rotatori (attorno a un asse), rispettivamente. Analogamente, le espressioni "secondo un grado di libertà" e "in accordo a un grado di libertà" saranno indifferentemente utilizzate per indicare movimenti traslatori o rotatori, come consentito dal grado di libertà medesimo.

Inoltre, la massa di pilotaggio 107 (con la massa di rilevamento 108) è collegata alla struttura fissa 6 in modo da definire un sistema meccanico risonante con una frequenza di risonanza ω_R (secondo l'asse di pilotaggio X).

Come mostrato in figura 3, secondo una forma di realizzazione, la massa di pilotaggio 107 è capacitivamente accoppiata alla struttura fissa 6 mediante gruppi di pilotaggio 10 ("driving units") e gruppi di rilevamento di retroazione 12 ("feedback sensing units"). L'accoppiamento capacitivo è, ad esempio, di tipo differenziale.

Più in dettaglio, i gruppi di attuazione 10 comprendono primi e secondi elettrodi fissi di pilotaggio

10a, 10b, ancorati alla struttura fissa 6 ed estendentisi sostanzialmente perpendicolari alla direzione di pilotaggio X, ed elettrodi mobili di pilotaggio 10c, ancorati alla massa di pilotaggio 107 e anch'essi sostanzialmente perpendicolari alla direzione di pilotaggio X. Gli elettrodi mobili di pilotaggio 10c sono interdigitati e capacitivamente accoppiati con rispettivi primi elettrodi fissi di pilotaggio 10a e secondi elettrodi fissi di pilotaggio 10b. Inoltre, i primi e secondi elettrodi fissi di pilotaggio 10a, 10b dei gruppi di attuazione 10 sono elettricamente collegati rispettivamente a un primo e a un secondo terminale di pilotaggio 13a, 13b della microstruttura 102. Come accennato, inoltre, l'accoppiamento è di tipo differenziale. In altre parole, in ciascun gruppo di attuazione 10 un movimento della massa di pilotaggio 107 lungo l'asse di pilotaggio X determina l'aumento della capacità fra elettrodo mobile di pilotaggio 10c e uno degli elettrodi fissi di pilotaggio 10a, 10b. La capacità fra l'elettrodo mobile di pilotaggio 10c e l'altro degli elettrodi fissi di pilotaggio 10a, 10b diminuisce invece in misura corrispondente.

La struttura dei gruppi di rilevamento di retroazione 12 è analoga a quella dei gruppi di attuazione 10. In particolare, i gruppi di rilevamento di retroazione 12 comprendono primi e secondi elettrodi fissi di rilevamento

12a, 12b, ancorati alla struttura fissa 6, ed elettrodi mobili di rilevamento 12c, ancorati alla massa di pilotaggio 107 e interdigitati e capacitivamente accoppiati con rispettivi primi elettrodi fissi di rilevamento 12a e secondi elettrodi fissi di rilevamento 12b. Inoltre, i primi e secondi elettrodi fissi di rilevamento 12a, 12b dei gruppi di rilevamento di retroazione 12 sono elettricamente collegati rispettivamente a un primo e a un secondo terminale di rilevamento di retroazione 14a, 14b della microstruttura 102.

In pratica, quindi, la massa di pilotaggio 107 è accoppiata ai terminali di pilotaggio 13a, 13b attraverso capacità differenziali di pilotaggio C_{D1} , C_{D2} e ai terminali di rilevamento 14a, 14b attraverso capacità differenziali di rilevamento di retroazione C_{FBS1} , C_{FBS2} .

La massa di rilevamento 108 è collegata elettricamente alla massa di pilotaggio 107, senza interposizione di strutture isolanti. Pertanto, la massa di rilevamento 108 e la massa di pilotaggio 107 si trovano allo stesso potenziale. La massa di rilevamento 108 è inoltre capacitivamente accoppiata alla struttura fissa 6 mediante gruppi di rilevamento di segnale 15 ("signal sensing units"), come meglio mostrato in figura 4. Più precisamente, i gruppi di rilevamento di segnale 15 comprendono terzi e quarti elettrodi fissi di rilevamento

15a, 15b, ancorati alla struttura fissa 6, ed elettrodi mobili di rilevamento 15c, ancorati alla massa di rilevamento 108 e interposti fra rispettivi terzi elettrodi fissi di rilevamento 15a e quarti elettrodi fissi di rilevamento 15b. Anche in questo caso, l'accoppiamento capacitivo è di tipo differenziale, ma è ottenuto mediante elettrodi a piatti paralleli, perpendicolari alla direzione di rilevamento Y. Inoltre, i terzi e quarti elettrodi fissi di rilevamento 15a, 15b dei gruppi di rilevamento di segnale 15 sono elettricamente collegati rispettivamente a un primo e a un secondo terminale di rilevamento di segnale 17a, 17b della microstruttura 102. In pratica, la massa di rilevamento 108 è accoppiata ai terminali di rilevamento di segnale 17a, 17b attraverso capacità differenziali di rilevamento di segnale C_{SS1} , C_{SS2} .

La figura 5 mostra una forma di realizzazione di tipo noto del giroscopio 100. Il dispositivo di pilotaggio 103 è collegato ai terminali di pilotaggio 13a, 13b e ai terminali di rilevamento di retroazione 14a, 14b della microstruttura 102 in modo da formare, con la massa di pilotaggio 107, un anello microelettromeccanico 18 oscillante, con controllo di posizione della massa di pilotaggio 107. Il dispositivo di pilotaggio 103 non è oggetto della presente invenzione, e può essere di tipo diverso da quanto qui descritto. Il dispositivo di

pilotaggio 103 comprende un amplificatore di carica 20, un primo modulo sfasatore 21, un filtro passa-basso 22, uno stadio di attuazione 23, un controllore 24, un comparatore 25 e un circuito ad aggancio di fase o circuito PLL 27. Inoltre, un oscillatore 28 e un generatore di temporizzazione 30, controllato dal circuito PLL 27, sono impiegati per fornire segnali di temporizzazione per il dispositivo di pilotaggio 103 stesso, e per il dispositivo di lettura 104. Il dispositivo di lettura 104 comprende, più in particolare, un generatore di lettura 4 e un circuito di lettura 5 (quest'ultimo meglio descritto in seguito).

Il dispositivo di lettura 104 ha una uscita 104a che fornisce un segnale di uscita S_{OUT} . In particolare, il segnale di uscita S_{OUT} è correlato all'accelerazione a cui è sottoposta la massa di rilevamento 108 lungo il secondo asse Y, ed è indicativo della velocità angolare Ω della microstruttura 102 ovvero indicativo di una posizione della massa di rilevamento 108. Il dispositivo di lettura 104 legge gli spostamenti della massa di rilevamento 108, che sono determinati dalla risultante delle forze agenti sulla massa di rilevamento 108 stessa lungo il secondo asse Y.

Secondo una forma di realizzazione, il dispositivo di pilotaggio 103 sfrutta l'anello 18 per mantenere la massa di pilotaggio 107 in auto-oscillazione lungo il primo asse

X alla sua pulsazione di risonanza ω_R . Inoltre, il dispositivo di pilotaggio 103 genera un primo segnale di temporizzazione ("clock signal") CK_M e un secondo segnale di temporizzazione CK_{90} , sfasato di 90° rispetto al primo segnale di temporizzazione CK_M , e alimenta almeno uno di essi, o un segnale di temporizzazione correlato ad uno di essi secondo una relazione nota, al dispositivo di lettura 104, allo scopo di sincronizzare le operazioni di pilotaggio e lettura della microstruttura 102. Il giroscopio 100 opera dunque sulla base di un sincronismo noto e condiviso.

Il giroscopio 100 opera nel modo seguente. La massa di pilotaggio 107 viene posta in oscillazione lungo il primo asse X e trascina in movimento nella stessa direzione anche la massa di rilevamento 108. Di conseguenza, quando la microstruttura 102 ruota attorno a un asse perpendicolare al piano degli assi X, Y con una certa velocità angolare istantanea, la massa di rilevamento 108 è soggetta a una forza di Coriolis, che è parallela al secondo asse Y ed è proporzionale alla velocità angolare istantanea della microstruttura 102 e alla velocità lineare delle due masse 107, 108 lungo il primo asse X. Più precisamente, la forza di Coriolis (F_C) è data dall'equazione:

$$F_C = -2M_S\Omega X'$$

dove M_S è il valore della massa di rilevamento 108, Ω è la

velocità angolare della microstruttura 102 e X' è la velocità lineare delle due masse 107, 108 lungo il primo asse X.

In pratica, anche la massa di pilotaggio 107 è soggetta a una forza di Coriolis; tuttavia, tale forza viene sostanzialmente contrastata da vincoli che impongono alla massa di pilotaggio 107 di muoversi esclusivamente lungo il primo asse X.

La forza e l'accelerazione di Coriolis a cui è sottoposta la massa di rilevamento 108 vengono rilevate. Il segnale così rilevato può tuttavia comprendere anche una componente dovuta a moti di trascinamento spuri, che non corrispondono a rotazioni reali della microstruttura 102 e sono dovuti a imperfezioni dei vincoli della massa di pilotaggio 107 oppure dell'accoppiamento meccanico con la massa di rilevamento 108.

In particolare, il segnale di uscita S_{OUT} comprende una componente correlata alla forza (e all'accelerazione) di Coriolis e quindi anche alla velocità angolare istantanea della microstruttura 102, ed una componente correlata ai moti di trascinamento spuri. Inoltre, il segnale di uscita S_{OUT} è un segnale modulato in ampiezza in modo proporzionale alla forza di Coriolis e, di conseguenza, alla velocità angolare istantanea della microstruttura 102. Il segnale di uscita è in particolare un segnale con portante soppressa

(di tipo DSB-SC, "Double Side Band-Suppressed Carrier"). La banda di pulsazioni associate alla grandezza modulante, ossia la velocità angolare istantanea, è molto più bassa della pulsazione di risonanza ω_R (alcuni ordini di grandezza in meno). La pulsazione di risonanza ω_R è, ad esempio, compresa tra 1 e 30 kHz, mentre la banda di pulsazioni associate alla grandezza modulante è ad esempio, compresa tra 1 e 300 Hz. Tali valori sono puramente indicativi di possibili forme di realizzazione, e non limitativi.

Con riferimento alla figura 5, viene brevemente descritto il funzionamento del dispositivo di pilotaggio 103. L'amplificatore di carica 20 definisce un'interfaccia di rilevamento per rilevare la posizione x della massa di pilotaggio 107 rispetto all'asse di pilotaggio X . I restanti componenti del dispositivo di pilotaggio 103 cooperano per controllare, in base alla posizione x della massa di pilotaggio 107, l'ampiezza di oscillazione dell'anello microelettromeccanico 18, in particolare l'ampiezza di oscillazione della massa di pilotaggio 107, e mantenerla prossima a un'ampiezza di riferimento. L'ampiezza di riferimento è in particolare determinata mediante una tensione di riferimento V_{REF} , che viene fornita al controllore 24.

L'amplificatore di carica 20 ha ingressi

rispettivamente collegati al primo e al secondo terminale di rilevamento di retroazione 14a, 14b, definisce un'interfaccia di rilevamento per rilevare la posizione x della massa di pilotaggio 107 rispetto all'asse di pilotaggio X . L'amplificatore di carica 20 riceve pacchetti di carica differenziali Q_{FB1} , Q_{FB2} dai terminali di rilevamento di retroazione 14a, 14b della microstruttura 102 e li converte in tensioni di retroazione V_{FB1} , V_{FB2} , indicative della posizione x della massa di pilotaggio 107. In questo modo, l'amplificatore di carica 20 effettua una lettura a tempo discreto della posizione x della massa di pilotaggio 107.

Il modulo sfasatore 21 e il filtro passa-basso 22 effettuano un condizionamento del tensioni di retroazione V_{FB1} , V_{FB2} .

Più in dettaglio, il modulo sfasatore 21 è collegato in cascata all'amplificatore di carica 20 e introduce uno sfasamento il più possibile vicino a 90° e comunque compreso nell'intervallo $90^\circ \pm 40^\circ$. In una forma di realizzazione, il modulo sfasatore 21 comprende un circuito di "sample and hold" ed è inoltre configurato in modo da operare un primo filtraggio di tipo passa-basso. Tensioni di retroazione sfasate V_{FB1}' , V_{FB2}' fornite dal modulo sfasatore 21 sono quindi ritardate e attenuate rispetto alle tensioni di retroazione V_{FB1} , V_{FB2} .

Il filtro passa-basso 22 è posto a valle del modulo sfasatore 21, è un filtro completamente differenziale del secondo ordine e fornisce tensioni di retroazione filtrate V_{FB1} , V_{FB2} variabili con continuità nel tempo. La frequenza di taglio del filtro passa-basso 22 è selezionata in modo che la frequenza di oscillazione dell'anello microelettromeccanico 18 (cioè la frequenza di pilotaggio ω_D della massa di pilotaggio 107) sia inclusa nella banda passante e in modo che la fase del segnale utile indicativo della posizione x della massa di pilotaggio 107 non sia sostanzialmente alterata. Inoltre, la banda passante del filtro passa-basso 22 è tale che le componenti di segnale indesiderate, legate al campionamento mediante lettura a tempo discreto, siano attenuate di almeno 30 dB.

Allo scopo di evitare offset che potrebbero compromettere il controllo delle oscillazioni dell'anello microelettromeccanico 18, sia il modulo sfasatore 21, sia il filtro passa-basso 22 sono basati su amplificatori dotati di funzione di autozero.

Lo stadio di attuazione 23 è di tipo completamente differenziale a tempo continuo e ha guadagno variabile. Inoltre, lo stadio di attuazione 23 è posto in cascata al filtro passa-basso 22 e ha uscite collegate ai terminali di pilotaggio 13a, 13b della microstruttura 102, per fornire tensioni di pilotaggio V_{D1} , V_{D2} tali da sostenere

l'oscillazione dell'anello microelettromeccanico 18 alla frequenza di pilotaggio ω_D , che è prossima alla frequenza di risonanza meccanica ω_R della microstruttura 102. A questo scopo, il guadagno G dello stadio di attuazione 23 è determinato dal controllore 24 mediante un segnale di controllo V_C correlato alle tensioni di retroazione filtrate V_{FB1} , V_{FB2} fornite dal filtro passa-basso 22. Il controllore 24 è ad esempio un controllore PID a tempo discreto. In particolare, il guadagno G è determinato in modo da mantenere le condizioni di oscillazione dell'anello microelettromeccanico 18 (guadagno d'anello unitario e con sfasamento multiplo intero di 360°). A questo scopo, il controllore 24 riceve in ingresso la tensione di riferimento V_{REF} , che è indicativa dell'ampiezza di oscillazione di riferimento desiderata. Inoltre, lo stadio di attuazione 23 è configurato per invertire il segno delle componenti differenziali alternate (componenti AC) delle tensioni di pilotaggio V_{D1} , V_{D2} in ogni ciclo di CDS durante la fase di lettura. Più in dettaglio, le tensioni di pilotaggio V_{D1} , V_{D2} sono rispettivamente date da:

$$V_{D1} = V_{CM} + K_0 \sin \omega_A t$$

$$V_{D2} = V_{CM} - K_0 \sin \omega_A t$$

Nelle equazioni sopra esposte V_{CM} indica una tensione di modo comune dello stadio di attuazione 23, K_0 è una costante e ω_A è la frequenza di oscillazione attuale

dell'anello microelettromeccanico 18 (prossima alla frequenza di pilotaggio ω_D a regime). Le componenti differenziali delle tensioni di pilotaggio V_{D1} , V_{D2} sono definite dai termini $K_0 \sin \omega_{At}$. La seconda frazione del ciclo inizia simultaneamente alla fase di rilevamento e si conclude in lieve anticipo.

Il comparatore 25 ha ingressi collegati agli ingressi dello stadio di attuazione 23, che definiscono nodi di controllo 25a, e riceve la tensione differenza ΔV fra le tensioni di retroazione filtrate $V_{FB1''}$, $V_{FB2''}$ dal filtro passa-basso 22. Il comparatore 25 commuta ad ogni passaggio per lo zero ("zero-crossing") della tensione differenza ΔV , operando così come dispositivo rilevatore di frequenza. In una forma di realizzazione, il comparatore 25 è collegato a un solo nodo di controllo e commuta ad ogni passaggio per lo zero di una fra le tensioni di retroazione filtrate $V_{FB1''}$, $V_{FB2''}$ (i passaggi per lo zero delle tensioni di retroazione filtrate $V_{FB1''}$, $V_{FB2''}$ e della tensione differenza ΔV coincidono).

L'uscita del comparatore 25, che fornisce un segnale di clock nativo CK_N , è collegata a un ingresso del circuito PLL 27, così da consentire l'aggancio di fase con l'anello microelettromeccanico 18. Il segnale di clock nativo CK_N è tuttavia sfasato rispetto alla massa di pilotaggio, per la presenza dell'amplificatore di carica 20, del primo modulo

sfasatore 21 e del filtro passa-basso 22.

Il circuito PLL 27 fornisce un segnale di clock principale ("master clock") CK_M e un segnale di clock in quadratura CK_{90} . Il segnale di clock principale CK_M ha frequenza pari a un multiplo intero della frequenza del segnale di clock nativo CK_N . Indicando con ω_M la frequenza del segnale di clock principale CK_M , con ω_N la frequenza del segnale di clock nativo CK_N , si ha dunque $\omega_M = K\omega_N$, ad esempio con $K=2^{10}$. La variabile K può tuttavia assumere valori diversi, anche il valore unitario.

Il segnale di clock in quadratura CK_{90} ha la stessa frequenza ed è sfasato di 90° rispetto al segnale di clock nativo CK_N e viene utilizzato per temporizzare il controllore 24. In pratica, il segnale di clock in quadratura CK_{90} commuta ai massimi e ai minimi delle tensioni di retroazione filtrate V_{FB1}'' , V_{FB2}'' in uscita dal filtro passa-basso 22. Il controllore 24 viene così correttamente temporizzato in modo da prelevare i valori di picco della tensione differenza ΔV fra le tensioni di retroazione filtrate V_{FB1}'' , V_{FB2}'' .

L'oscillatore 28 fornisce al generatore di temporizzazione 30 un segnale di clock ausiliario CK_{AUX} avente frequenza calibrata, prossima alla frequenza principale ω_M .

Il generatore di temporizzazione 30 riceve il segnale

di clock principale CK_M e il segnale di clock ausiliario CK_{AUX} e li utilizza per generare i segnali di temporizzazione necessari per i componenti a tempo discreto e, più in generale, per il corretto funzionamento del giroscopio 100. Il segnale di clock ausiliario viene utilizzato quando il circuito PLL 27 non è sincronizzato con le oscillazioni dell'anello microelettrimeccanico 18 e quindi il segnale di clock principale CK_M non è disponibile, come ad esempio durante fasi di avviamento o durante fasi di ripristino a seguito di urti. Il segnale di clock principale CK_M viene utilizzato quando le oscillazioni dell'anello microelettrimeccanico 18 sono stabilizzate alla frequenza di pilotaggio ω_D .

In dettaglio, il generatore di temporizzazione 30 fornisce un segnale di temporizzazione Φ_{CLK} che, a regime, ha frequenza pari a un multiplo intero della frequenza del segnale di clock nativo CK_N , ad esempio pari alla frequenza del segnale di clock principale CK_M .

Il segnale di temporizzazione Φ_{CLK} viene utilizzato per pilotare il generatore di lettura 4 in modo da fornire alla massa di pilotaggio 107 e alla massa di rilevamento 108 un segnale di lettura V_R a onda quadra di durata pari alla durata della fase di rilevamento.

Il circuito di lettura 5 è configurato per rilevare una posizione y della massa di rilevamento lungo l'asse di

rilevamento Y. In particolare, il circuito di lettura 5 ha un'uscita fornente il segnale di uscita S_{OUT} .

Durante l'uso, la massa di pilotaggio 107 viene posta in oscillazione lungo l'asse di pilotaggio X dal dispositivo di pilotaggio 103 con la frequenza di pilotaggio ω_D a regime. La massa di rilevamento 108 è trascinata in movimento lungo l'asse di pilotaggio X dalla massa di pilotaggio 107. Di conseguenza, quando la microstruttura 102 ruota attorno a un asse giroscopico perpendicolare al piano degli assi X, Y con una certa velocità angolare Ω istantanea, la massa di rilevamento 108 è soggetta a una forza di Coriolis, che è parallela all'asse di rilevamento Y ed è proporzionale alla velocità angolare Ω della microstruttura 102 e alla velocità delle due masse 107, 108 lungo l'asse di pilotaggio X.

Gli spostamenti della massa di rilevamento 108 causati dalla forza di Coriolis vengono letti applicando il segnale di lettura V_R alla massa di rilevamento 108 stessa e generando, sulla base dei pacchetti di carica differenziali così prodotti, il segnale di uscita S_{OUT} . Il controllore 24, il comparatore 25 e il circuito PLL 27 cooperano con il modulo sfasatore 21, il filtro passa-basso 22 e lo stadio di attuazione 23 per creare e mantenere le condizioni di oscillazione dell'anello microelettromeccanico 18 in diverse fasi di funzionamento del giroscopio 100. In

particolare, lo stadio di attuazione 23 applica alla massa di pilotaggio 107 forze elettrostatiche tali da favorirne in ogni istante le oscillazioni.

Il circuito di lettura 5 è mostrato in dettaglio in figura 6, e descritto con riferimento a tale figura.

Con riferimento alla figura 6, il dispositivo di lettura 5 comprende un amplificatore di carica 120, un convertitore analogico-digitale 124, un elaboratore digitale 126, e un generatore di frequenza di campionamento 127.

L'amplificatore di carica 120 ha ingressi collegati ai terminali 17a, 17b della massa di rilevamento 108 per ricevere segnali di lettura in corrente che sono correlati alla velocità lineare di oscillazione della massa di rilevamento 108 lungo il secondo asse Y. A causa dell'amplificazione di carica, sulle uscite dell'amplificatore di carica 120 sono presenti tensioni di lettura indicative dello spostamento della massa di rilevamento 108 lungo il secondo asse Y.

In particolare, in uscita dall'amplificatore di carica 120 è presente un segnale intermedio S_{int} , ad esempio del tipo mostrato schematicamente in figura 7a, che è correlato sia alla velocità angolare istantanea della microstruttura 102, sia ai moti di trascinamento spuri.

Il convertitore analogico-digitale 124 è collegato

all'amplificatore di carica 120, a valle di quest'ultimo, e riceve in ingresso il segnale intermedio S_{int} . Il convertitore analogico-digitale 124 ha inoltre un ingresso di conversione 124a collegato al generatore di frequenza di campionamento 127 per ricevere un segnale di temporizzazione CK_{SAMPLE} con frequenza ω_{SAMPLE} . L'uscita del convertitore analogico-digitale 124 è un segnale digitale quantizzato e comprende parole numeriche su n bit (con n scelto in funzione dell'elaboratore digitale 126 utilizzato e a seconda della precisione richiesta). Tali parole numeriche sono fornite all'elaboratore digitale 126 per successive fasi di elaborazione (opzionali, non facenti parti della presente invenzione).

Il segnale intermedio S_{int} è modulato in ampiezza in modalità DSB-SC ed è la somma di due componenti. Una prima componente, utile per la misura della velocità angolare istantanea, è in fase con lo spostamento della massa di rilevamento 108 e ha ampiezza correlata alla forza (accelerazione) di Coriolis, lungo il secondo asse Y , a cui la massa di rilevamento 108 stessa è soggetta per effetto dell'oscillazione lungo il primo asse X e della rotazione della microstruttura 102. Una seconda componente, sfasata di 90° , è correlata ai moti di trascinamento spuri. Ad esempio, se la massa di pilotaggio 107 oscilla in una direzione non perfettamente allineata al primo asse X , la

massa di rilevamento 108 può essere trascinata in oscillazione lungo il secondo asse Y anche in assenza di rotazione della microstruttura 102.

Entrambi i contributi hanno la stessa frequenza portante, ossia la frequenza di risonanza ω_R della massa di pilotaggio 107, ma sono reciprocamente sfasati di 90° . Ad esempio, il primo contributo è in fase con il segnale di temporizzazione CK_N , mentre il secondo contributo è in fase con il segnale di temporizzazione CK_{90} .

La figura 7a mostra il segnale intermedio S_{int} , modulato in ampiezza, suddiviso nelle sue prima e seconda componente S_{int}' , S_{int}'' . Come si nota, la prima e la seconda componente S_{int}' , S_{int}'' sono tra loro sfasate di 90° , cosicché quando la prima componente S_{int}' (contributo utile) raggiunge un valore di massimo, la seconda componente S_{int}'' (contributo correlato ai moti di trascinamento spuri, non utile) assume un valore nullo. Il segnale S_{MOD} (mostrato in linea tratteggiata) è l'involuppo superiore ed è illustrativo del segnale modulante.

La prima componente S_{int}' del segnale intermedio S_{int} ha una frequenza nota, ed in particolare pari alla frequenza di pilotaggio ω_D , che è prossima alla frequenza di risonanza ω_R . Anche la seconda componente S_{int}'' del segnale intermedio S_{int} ha frequenza pari alla frequenza di risonanza ω_R . Di conseguenza, il periodo della prima e

della seconda componente S_{int}' , S_{int}'' è pari a $1/\omega_R$. Il convertitore analogico-digitale 124 è configurato in modo tale da eseguire un campionamento del segnale intermedio S_{int} in corrispondenza degli istanti temporali $t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$, dove ciascuno di tali istanti temporali t_1-t_n pari ad un multiplo del periodo base $1/\omega_R$. In questo modo, ciascun campione (in figura 7a indicati esemplificativamente con il numero di riferimento 150) è esclusivamente indicativo dell'informazione utile del segnale intermedio S_{int} , e non porta informazione relativa alla seconda componente S_{int}'' (poiché, come si nota dalla figura, la seconda componente S_{int}'' negli istanti temporali t_1-t_n è pari a circa zero).

Gli istanti temporali di campionamento sono definiti dal segnale di temporizzazione CK_{SAMPLE} , mostrato in figura 7b utilizzando la stessa scala temporale utilizzata in figura 7a. Il periodo del segnale di temporizzazione CK_{SAMPLE} è pari a $1/\omega_R$ dove, come detto, ω_R è la frequenza di risonanza, nota poiché il sistema opera con un sincronismo noto.

In generale, se il giroscopio 100 non opera alla frequenza di risonanza, la fase di conversione analogico-digitale avviene ad una frequenza ω_{SAMPLE} (cioè con periodo definito dal segnale di temporizzazione CK_{SAMPLE} pari a $1/\omega_{SAMPLE}$) pari alla frequenza ω_D del segnale di pilotaggio

(pari alla frequenza del segnale di temporizzazione CK_N , o pari ad un multiplo o sottomultiplo della frequenza del segnale di temporizzazione CK_N).

Poiché, in pratica, la frequenza del segnale modulante S_{MOD} è di uno o più ordini di grandezza inferiore rispetto alla frequenza del segnale $S_{int'}$, il teorema di campionamento è sempre rispettato.

Il dispositivo di lettura 104 è vantaggioso, perché permette di ottenere una lettura precisa degli spostamenti della massa di rilevamento 108 utilizzando soltanto circuiti di tipo digitale, in particolare eliminando la necessità di una pluralità di blocchi analogici disposti in cascata tra loro per prelevare il segnale utile.

Per questo motivo, il dispositivo di lettura 104 è molto più semplice da realizzare, rispetto ai dispositivi di lettura di tipo noto.

In figura 8 è illustrata una porzione di un sistema elettronico 300 in accordo a una forma di realizzazione della presente invenzione. Il sistema 300 incorpora il giroscopio 100 e può essere utilizzato in dispositivi come, ad esempio, un calcolatore palmare (personal digital assistant, PDA), calcolatore "laptop" o portatile, eventualmente con capacità "wireless", un telefono cellulare, un dispositivo di messaggistica, un lettore musicale digitale, una camera digitale o altri dispositivi

atti a elaborare, immagazzinare, trasmettere o ricevere informazioni. Ad esempio, il giroscopio 100 può essere utilizzato in una camera digitale per rilevare movimenti ed effettuare una stabilizzazione di immagine. In altre forme di realizzazione, il giroscopio 100 è incluso in un calcolatore portatile, un PDA, o un telefono cellulare per rilevare una condizione di caduta libera e attivare una configurazione di sicurezza. In un'ulteriore forma di realizzazione, il giroscopio 100 è incluso in un'interfaccia utente attivata da movimento per calcolatori o console per videogiochi. In un'ulteriore forma di realizzazione, il giroscopio 100 è incorporato in un dispositivo di navigazione satellitare ed è utilizzato per il tracciamento temporaneo di posizione in caso di perdita del segnale di posizionamento satellitare.

Il sistema elettronico 300 può comprendere, oltre al giroscopio 100, un controllore 310, un dispositivo di ingresso/uscita (I/O) 320 (ad esempio una tastiera o uno schermo), un'interfaccia "wireless" 340 e una memoria 360, di tipo volatile o non volatile, accoppiati fra loro attraverso un bus 350. In una forma di realizzazione, una batteria 380 può essere utilizzata per alimentare il sistema 300. Si noti che l'ambito della presente invenzione non è limitato a forme di realizzazione aventi necessariamente uno o tutti i dispositivi elencati.

Il controllore 310 può comprendere, ad esempio, uno o più microprocessori, microcontrollori e simili.

Il dispositivo di I/O 320 può essere utilizzato per generare un messaggio. Il sistema 300 può utilizzare l'interfaccia wireless 340 per trasmettere e ricevere messaggi a e da una rete di comunicazione wireless con un segnale a radiofrequenza (RF). Esempi di interfaccia wireless possono comprendere un'antenna, un ricetrasmittitore wireless, come un'antenna a dipolo, benché l'ambito della presente invenzione non sia limitato sotto questo aspetto. Inoltre, il dispositivo I/O 320 può fornire una tensione rappresentativa di ciò che è memorizzato sia in forma di uscita digitale (se sono state immagazzinate informazioni digitali), sia in forma di informazione analogica (se sono state immagazzinate informazioni analogiche).

Risulta infine evidente che al sistema microelettromeccanico risonante descritto possono essere apportate modifiche e varianti, senza uscire dall'ambito della presente invenzione, come definito nelle rivendicazioni allegate.

Ad esempio, il dispositivo di lettura 104 può inoltre comprendere un filtro di anti-aliasing disposto a valle del convertitore analogico-digitale 124.

Inoltre, l'invenzione può essere vantaggiosamente

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

sfruttata per realizzare oscillatori elettromeccanici di qualsiasi tipo, come già accennato in precedenza. Inoltre, il dispositivo di lettura secondo l'invenzione può essere utilizzato in giroscopi aventi microstrutture diverse da quelle descritte. Ad esempio, la massa di pilotaggio e la massa di rilevamento potrebbero essere in connessione elettrica diretta fra loro, senza regioni di isolamento. In questo caso, è però preferibile associare all'amplificatore a transimpedenza uno stadio di compensazione degli offset. In alternativa, è anche possibile utilizzare un'unica massa con sistemi di attuazione e rilevamento per due assi indipendenti.

Inoltre, l'invenzione può essere vantaggiosamente sfruttata in giroscopi con una o più masse di rilevamento mobili linearmente rispetto alla massa di pilotaggio e sensibili a rotazioni di beccheggio e/o rollio (oltre che all'imbardata); in giroscopi con masse di rilevamento a mensola (a sbalzo) o a travi oscillanti attorno ad assi baricentrici o non baricentrici; e in giroscopi monoassiali e multiassiali con massa di pilotaggio oscillante angolarmente.

Inoltre, è chiaramente possibile utilizzare un diverso numero di segnali di temporizzazione, con diverse relazioni di fase, per effettuare il pilotaggio dell'anello microelettromeccanico. A questo proposito, è possibile

generare i segnali di temporizzazione utilizzando un unico segnale di clock principale fornito da un oscillatore asincrono calibrato alla frequenza di pilotaggio. Il circuito PLL può così essere eliminato, con notevole risparmio in termini di area occupata e di componenti aggiuntivi esterni alla piastrina.

RIVENDICAZIONI

1. Giroscopio microelettromeccanico, comprendente:

un corpo (102, 6);

una massa di pilotaggio (107), mobile rispetto al corpo con un primo grado di libertà in accordo a un asse di pilotaggio (X);

un dispositivo di pilotaggio (103), formante un anello di controllo microelettromeccanico (18) con il corpo e la massa di pilotaggio e configurato per mantenere la massa di pilotaggio in oscillazione secondo l'asse di pilotaggio (X) con una frequenza di pilotaggio (ω_D);

una massa di rilevamento (108), meccanicamente accoppiata alla massa di pilotaggio (107) in modo da essere trascinata in movimento in accordo all'asse di pilotaggio (X) e mobile rispetto alla massa di pilotaggio con un secondo grado di libertà in accordo a un asse di rilevamento (Y), in risposta a rotazioni del corpo;

un dispositivo di lettura (104), configurato per ricevere in ingresso almeno un segnale di rilevamento associato al movimento della massa di rilevamento (108) rispetto all'asse di pilotaggio (X) e all'asse di rilevamento (Y), e per fornire un segnale di uscita (S_{OUT}) indicativo di una posizione della massa di rilevamento (108) rispetto all'asse di pilotaggio (X) e all'asse di rilevamento (Y),

caratterizzato dal fatto che il dispositivo di lettura (104) comprende un convertitore analogico-digitale (124) configurato per ricevere in ingresso un segnale di tensione (S_{int}) associato al segnale di rilevamento,

detto segnale di tensione (S_{int}) includendo una componente di segnale utile (S_{int}') ed una componente di segnale spuria (S_{int}'') sfasate l'una rispetto all'altra di circa 90° ,

il convertitore analogico-digitale (124) essendo inoltre configurato per campionare detto segnale di tensione (S_{int}) in corrispondenza di valori massimi (150) assunti dalla componente di segnale utile (S_{int}').

2. Giroscopio microelettromeccanico secondo la rivendicazione 1, in cui detta componente di segnale utile (S_{int}') è correlata alla forza di Coriolis a cui la massa di rilevamento (108) è soggetta durante l'uso, e detta componente di segnale spuria (S_{int}'') è correlata a moti di trascinamento spuri massa di rilevamento (108) a cui la massa di rilevamento (108) è soggetta durante l'uso.

3. Giroscopio microelettromeccanico secondo la rivendicazione 1 o 2, in cui detto segnale di tensione (S_{int}) associato al segnale di rilevamento è un segnale modulato in ampiezza con portante soppressa, detta frequenza di pilotaggio avendo valore prossima ad una frequenza di risonanza (ω_R) della massa di pilotaggio

(107).

4. Giroscopio microelettromeccanico secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui, quando la componente di segnale utile (S_{int}') assume detti valori massimi, la componente di segnale spuria (S_{int}'') assume valori circa nulli, detta componente di segnale utile assumendo i valori massimi con frequenza pari alla frequenza di pilotaggio (ω_D).

5. Giroscopio microelettromeccanico secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui il convertitore analogico-digitale (124) è configurato per campionare detto segnale di tensione (S_{int}) associato al segnale di rilevamento con frequenza pari ad un multiplo o sottomultiplo di detta frequenza di pilotaggio (ω_D).

6. Giroscopio microelettromeccanico secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui detto dispositivo di pilotaggio (103) comprende: un amplificatore differenziale di lettura (20), fornente primi segnali (V_{FB1} , V_{FB2}) indicativi di una velocità di oscillazione di detta massa (107); uno stadio di attuazione e controllo (23, 24, 25, 27) fornente secondi segnali (V_{D1} , V_{D2}) per pilotare detta massa (107) sulla base di detti primi segnali (V_{FB1} , V_{FB2}); un circuito di sincronizzazione (25, 27) associato a un controllore (24), per temporizzare detto controllore (24) in base a detti primi segnali (V_{FB1} , V_{FB2}), il circuito

di sincronizzazione (25, 27) includendo un comparatore (25) ricevente in ingresso segnali ($V_{FB1''}$, $V_{FB2''}$) associati a detti primi segnali (V_{FB1} , V_{FB2}) e fornente in uscita un primo segnale di temporizzazione (CK_N) nella forma di una tensione a onda quadra avente fronti di salita in corrispondenza di rispettivi istanti temporali in cui la componente di segnale utile (S_{int}') assume detti valori massimi.

7. Giroscopio microelettromeccanico secondo la rivendicazione 6, comprendente inoltre mezzi filtranti (21, 22) di tipo passa-alto, collegati fra detto amplificatore differenziale di lettura (20) e detto stadio di attuazione e controllo (23, 24, 25, 27) e aventi una banda passante includente detta frequenza di pilotaggio (ω_D), in cui detto amplificatore differenziale di lettura, detti mezzi filtranti e detto stadio di attuazione e controllo sono collegati in modo da formare un anello di retroazione (18) oscillante, includente detta massa (107).

8. Sistema comprendente un'unità di controllo (310) e un giroscopio microelettromeccanico (100, 200) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 1 a 7 accoppiato all'unità di controllo (310).

9. Metodo per l'attuazione di un giroscopio microelettromeccanico (100), in cui il giroscopio

microelettromeccanico comprende un corpo (6) e una massa di pilotaggio (107), mobile rispetto al corpo (6) con un primo grado di libertà in accordo a un asse di pilotaggio (X), e una massa di rilevamento (108), meccanicamente accoppiata alla massa di pilotaggio (107) in modo da essere trascinata in movimento in accordo all'asse di pilotaggio (X) e mobile rispetto alla massa di pilotaggio con un secondo grado di libertà in accordo a un asse di rilevamento (Y), in risposta a rotazioni del corpo,

il metodo comprendendo:

- mantenere la massa di pilotaggio in oscillazione secondo l'asse di pilotaggio (X) con una frequenza di pilotaggio (ω_D) mediante un dispositivo di pilotaggio (103) formante un anello di controllo microelettromeccanico (18) con il corpo e la massa di pilotaggio;

- movimentare la massa di rilevamento (108) in accordo all'asse di pilotaggio (X) e all'asse di rilevamento (Y);

- acquisire almeno un segnale di rilevamento associato al movimento della massa di rilevamento (108) rispetto all'asse di pilotaggio (X) e all'asse di rilevamento (Y);

- fornire, sulla base del segnale di rilevamento, un segnale di uscita (S_{OUT}) indicativo di una posizione della massa di rilevamento (108) rispetto all'asse di pilotaggio (X) e all'asse di rilevamento (Y),

caratterizzato dal fatto di comprendere inoltre:

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

- generare un segnale di tensione (S_{int}), associato al segnale di rilevamento, avente una componente di segnale utile (S_{int}') ed una componente di segnale spuria (S_{int}'') sfasate l'una rispetto all'altra di circa 90° ; e

- campionare detto segnale di tensione (S_{int}) associato al segnale di rilevamento in corrispondenza di valori massimi (150) assunti dalla componente di segnale utile (S_{int}').

10. Metodo secondo la rivendicazione 9, in cui detta componente di segnale utile (S_{int}') è correlata alla forza di Coriolis a cui la massa di rilevamento (108) è soggetta durante l'uso, e detta componente di segnale spuria (S_{int}'') è correlata a moti di trascinamento spuri massa di rilevamento (108) a cui la massa di rilevamento (108) è soggetta durante l'uso.

11. Metodo secondo la rivendicazione 9 o 10, comprendente modulare in ampiezza detto segnale di tensione (S_{int}) associato al segnale di rilevamento generando un segnale con portante soppressa, detta frequenza di pilotaggio avendo valore uguale ad una frequenza di risonanza (ω_R) della massa di pilotaggio (107).

12. Metodo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 9-11, in cui, quando la componente di segnale utile (S_{int}') assume i valori massimi, la componente di segnale spuria (S_{int}'') assume valori circa nulli, detta componente di

segnale utile assumendo i valori massimi con frequenza pari alla frequenza di pilotaggio (ω_D).

13. Metodo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 9-12, comprendente inoltre campionare detto segnale di tensione (S_{int}) associato al segnale di rilevamento con frequenza pari ad un multiplo o sottomultiplo di detta frequenza di pilotaggio (ω_D).

p.i.: STMICROELECTRONICS S.R.L.

Elena CERBARO

CLAIMS

1. A microelectromechanical gyroscope, comprising:

- a body (102, 6);

5 - a driving mass (107), mobile with respect to the body with a first degree of freedom according to a driving axis (X);

- a driving device (103), forming a microelectromechanical control loop (18) with the body and the driving mass, and configured for keeping the driving mass in oscillation
10 according to the driving axis (X) at a driving frequency (ω_D);

- a sensing mass (108), mechanically coupled to the driving mass (107) so as to be drag into motion according to the driving axis (X), and being mobile with respect to the driving mass with a second degree of freedom according to a sensing
15 axis (Y), in response to rotations of the body; and

- a reading device (104), configured for receiving at input at least one sensing signal associated to the movement of the sensing mass (108) with respect to the driving axis (X) and to the sensing axis (Y), and for supplying an output signal (S_{OUT})
20 indicating a position of the sensing mass (108) with respect to the driving axis (X) and to the sensing axis (Y),

said gyroscope being characterized in that the reading device (104) comprises an analog-to-digital converter (124), configured for receiving at input a voltage signal (S_{int})
25 associated to the sensing signal, said voltage signal (S_{int}) including a useful signal component (S_{int}') and a spurious signal component (S_{int}'') phase-shifted with respect to one another by approximately 90° , the analog-to-digital converter (124) being moreover configured for sampling said voltage
30 signal (S_{int}) in correspondence of maximum values (150) reached by the useful signal component (S_{int}').

2. The microelectromechanical gyroscope according to claim 1, wherein said useful signal component (S_{int}') is correlated to
35 the Coriolis force to which the sensing mass (108) is subject during use, and said spurious signal component (S_{int}'') is

correlated to spurious drag motions of the sensing mass (108) to which the sensing mass (108) is subject during use.

3. The microelectromechanical gyroscope according to claim 1 or claim 2, wherein said voltage signal (S_{int}) associated to the sensing signal is a suppressed-carrier amplitude-modulated signal, said driving frequency having a value close to a resonance frequency (ω_R) of the driving mass (107).

10 4. The microelectromechanical gyroscope according to any one of the preceding claims, wherein, when the useful signal component (S_{int}') reaches said maximum values, the spurious signal component (S_{int}'') reaches approximately zero values, said useful signal component assuming the maximum values with
15 a frequency equal to the driving frequency (ω_D).

5. The microelectromechanical gyroscope according to any one of the preceding claims, wherein the analog-to-digital converter (124) is configured for sampling said voltage signal
20 (S_{int}) associated to the sensing signal at a frequency equal to a multiple or submultiple of said driving frequency (ω_D).

6. The microelectromechanical gyroscope according to any one of the preceding claims, wherein said driving device (103)
25 comprises: a differential read amplifier (20), supplying first signals (V_{FB1} , V_{FB2}) indicating a rate of oscillation of said mass (107); a driving-and-control stage (23, 24, 25, 27) supplying second signals (V_{D1} , V_{D2}) for driving said mass (107) on the basis of said first signals (V_{FB1} , V_{FB2}); and a
30 synchronisation circuit (25, 27) associated to a controller (24), for timing said controller (24) on the basis of said first signals (V_{FB1} , V_{FB2}), the synchronisation circuit (25, 27) including a comparator (25) receiving at input signals (V_{FB1}'' , V_{FB2}'') associated to said first signals (V_{FB1} , V_{FB2}) and
35 supplying at output a first clock signal (CK_N) in the form of a square-wave voltage having rising edges at respective

instants where the useful signal component (S_{int}') assumes said maximum values.

7. The microelectromechanical gyroscope according to claim 6,
5 further comprising filtering means (21, 22) of a high-pass type, connected between said differential read amplifier (20) and said driving-and-control stage (23, 24, 25, 27) and having a passband including said driving frequency (ω_D), wherein said differential read amplifier, said filtering means and said
10 driving-and-control stage are connected so as to form an oscillating feedback loop (18), including said mass (107).

8. A system, comprising a control unit (310) and a microelectromechanical gyroscope (100, 200) according to any
15 one of claims 1 to 7 coupled to the control unit (310).

9. A method for driving a microelectromechanical gyroscope (100), wherein the microelectromechanical gyroscope comprises a body (6) and a driving mass (107), which is mobile with
20 respect to the body (6) with a first degree of freedom according to a driving axis (X), and a sensing mass (108), which is mechanically coupled to the driving mass (107) so as to be drag into motion according to the driving axis (X) and is mobile with respect to the driving mass with a second
25 degree of freedom according to a sensing axis (Y), in response to rotations of the body, the method comprising:

- keeping the driving mass in oscillation according to the driving axis (X) at a driving frequency (ω_D) by means of a driving device (103) forming a microelectromechanical control
30 loop (18) with the body and the driving mass;
- moving the sensing mass (108) according to the driving axis (X) and the sensing axis (Y);
- acquiring at least one sensing signal associated to the movement of the sensing mass (108) with respect to the driving
35 axis (X) and the sensing axis (Y); and
- supplying, on the basis of the sensing signal, an output

signal (S_{OUT}) indicating a position of the sensing mass (108) with respect to the driving axis (X) and to the sensing axis (Y),

said method being characterized in that it further comprises:

- 5 - generating a voltage signal (S_{int}), associated to the sensing signal, having a useful signal component (S_{int}') and a spurious signal component (S_{int}'') phase-shifted with respect to one another by approximately 90° ; and
- sampling said voltage signal (S_{int}) associated to the sensing
10 signal at maximum values (150) assumed by the useful signal component (S_{int}').

10. The method according to claim 9, wherein said useful signal component (S_{int}') is correlated to the Coriolis force to
15 which the sensing mass (108) is subject during use, and said spurious signal component (S_{int}'') is correlated to spurious drag motions of the sensing mass (108) to which the sensing mass (108) is subject during use.

20 11. The method according to claim 9 or claim 10, comprising amplitude modulating said voltage signal (S_{int}) associated to the sensing signal to generate a suppressed-carrier signal, said driving frequency having a value equal to a resonance frequency (ω_R) of the driving mass (107).

25 12. The method according to any one of claims 9-11, wherein, when the useful signal component (S_{int}') assumes the maximum values, the spurious signal component (S_{int}'') assumes approximately zero values, said useful signal component
30 assuming the maximum values at a frequency equal to the driving frequency (ω_D).

13. The method according to any one of claims 9-12, further comprising sampling said voltage signal (S_{int}) associated to
35 the sensing signal at a frequency equal to a multiple or submultiple of said driving frequency (ω_D).

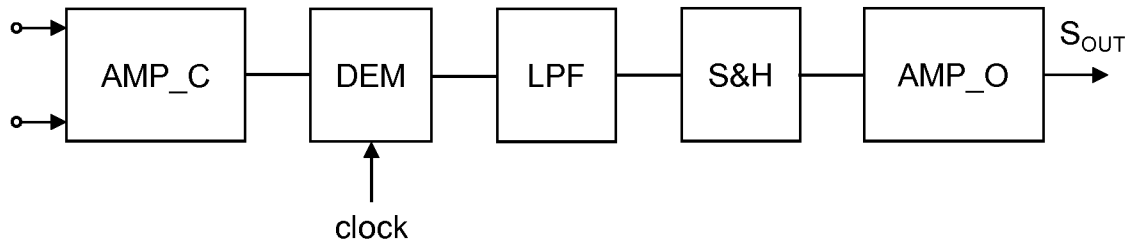


Fig.1

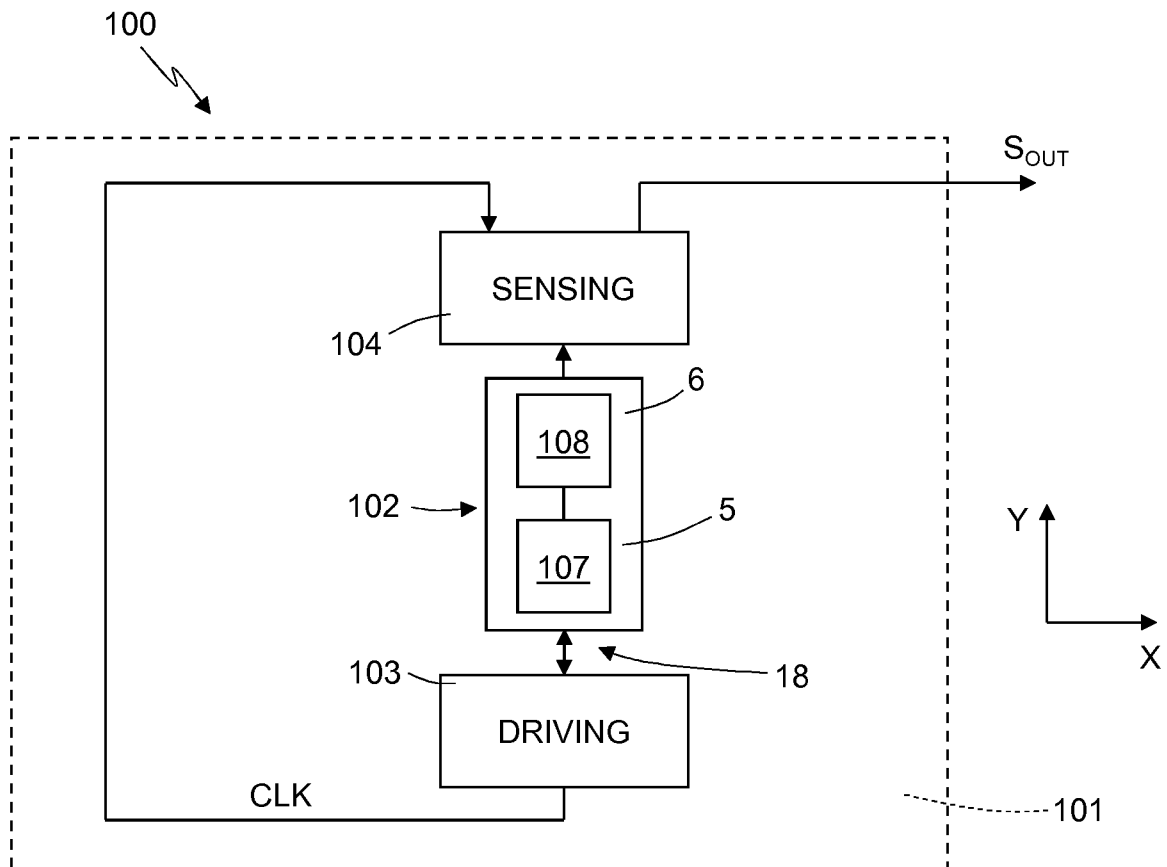
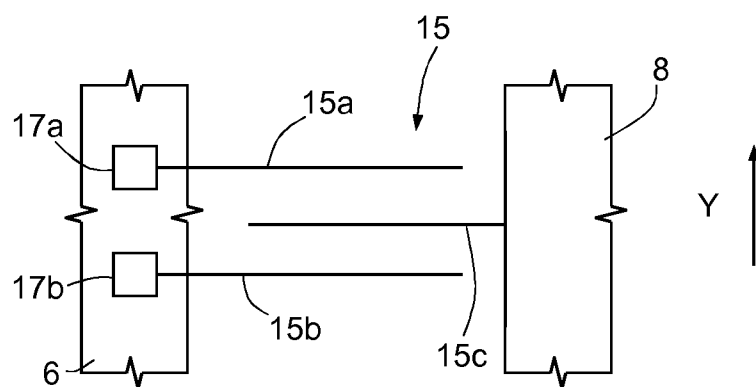
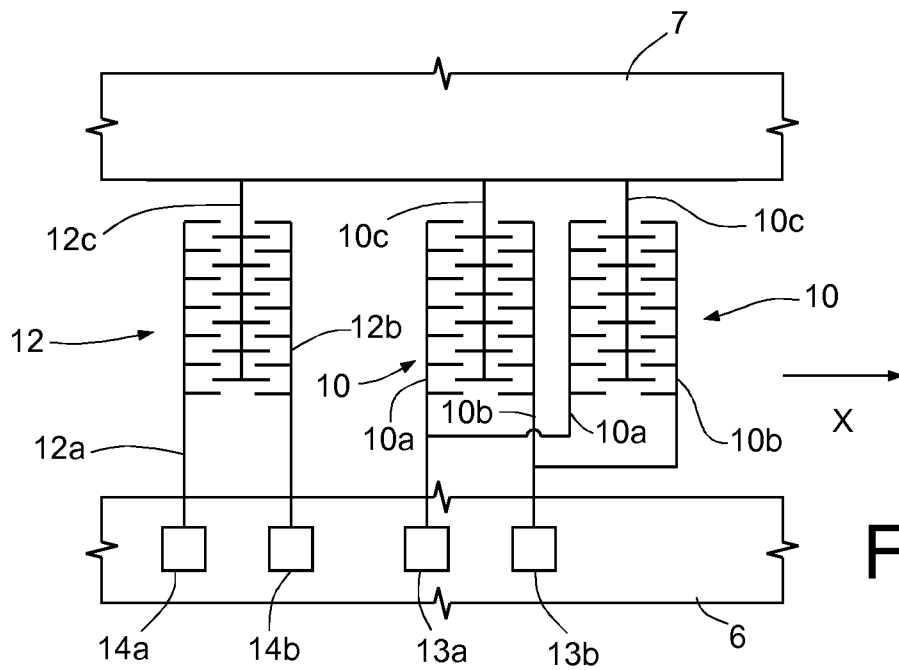


Fig.2



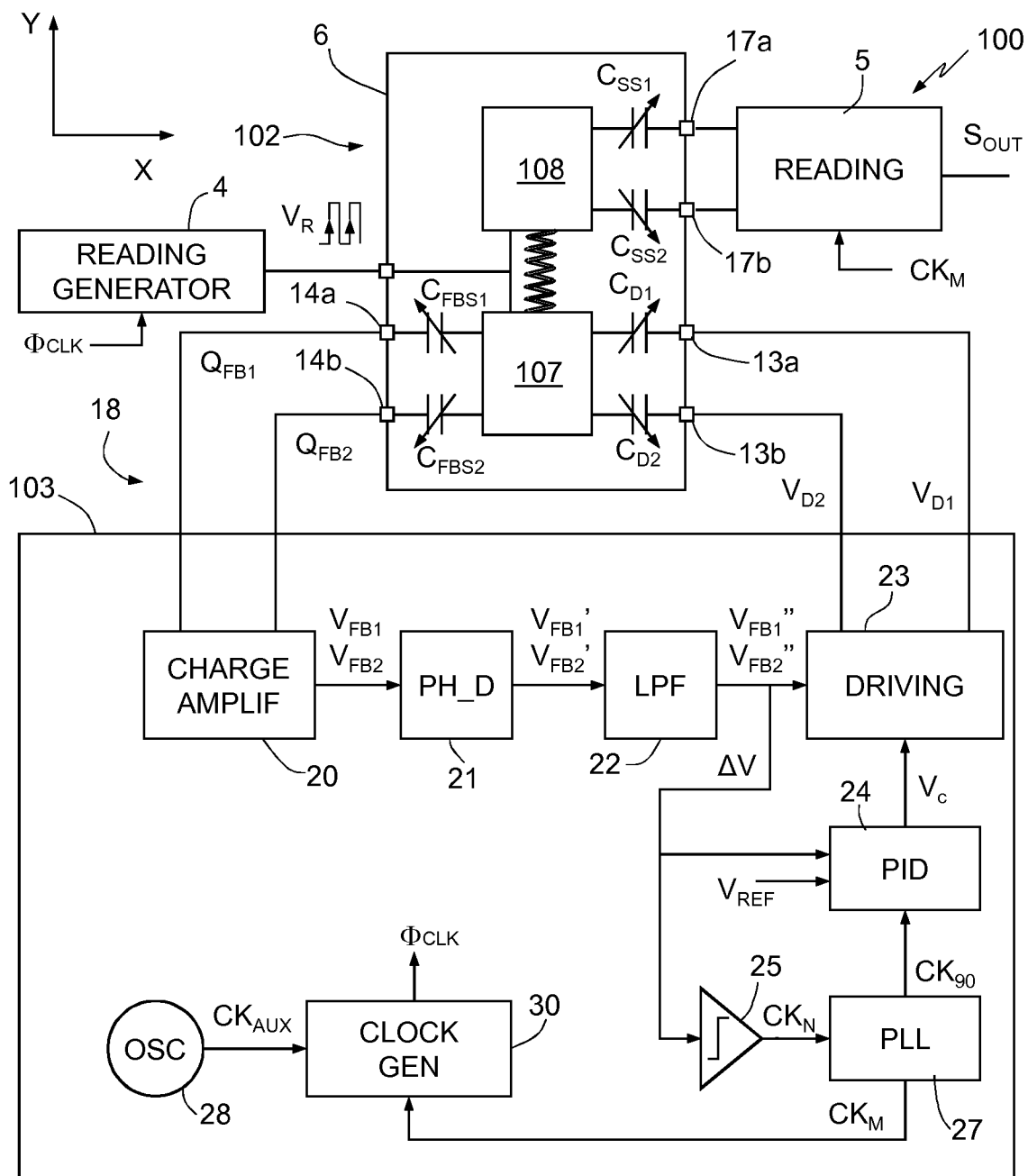


Fig.5

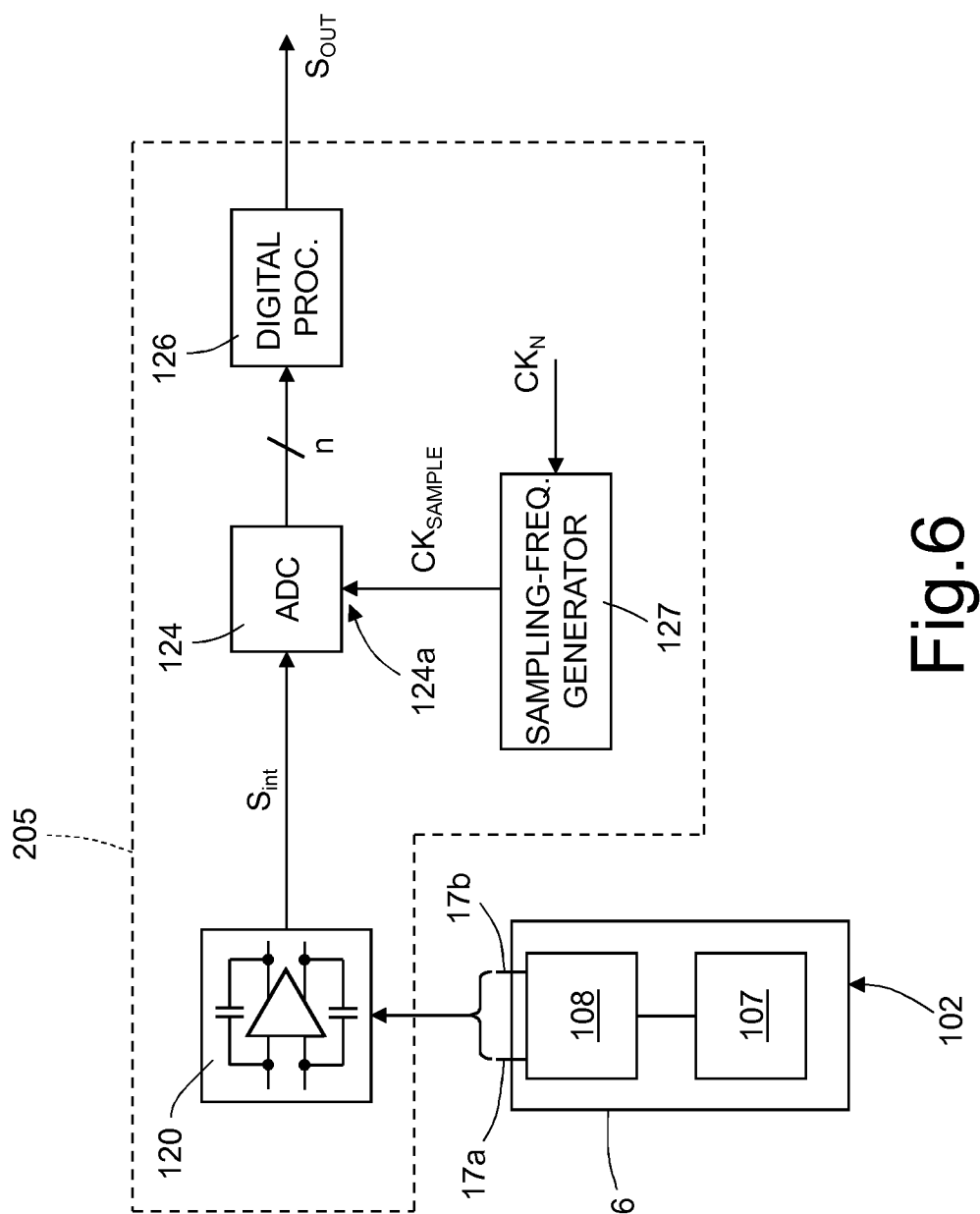


Fig.6

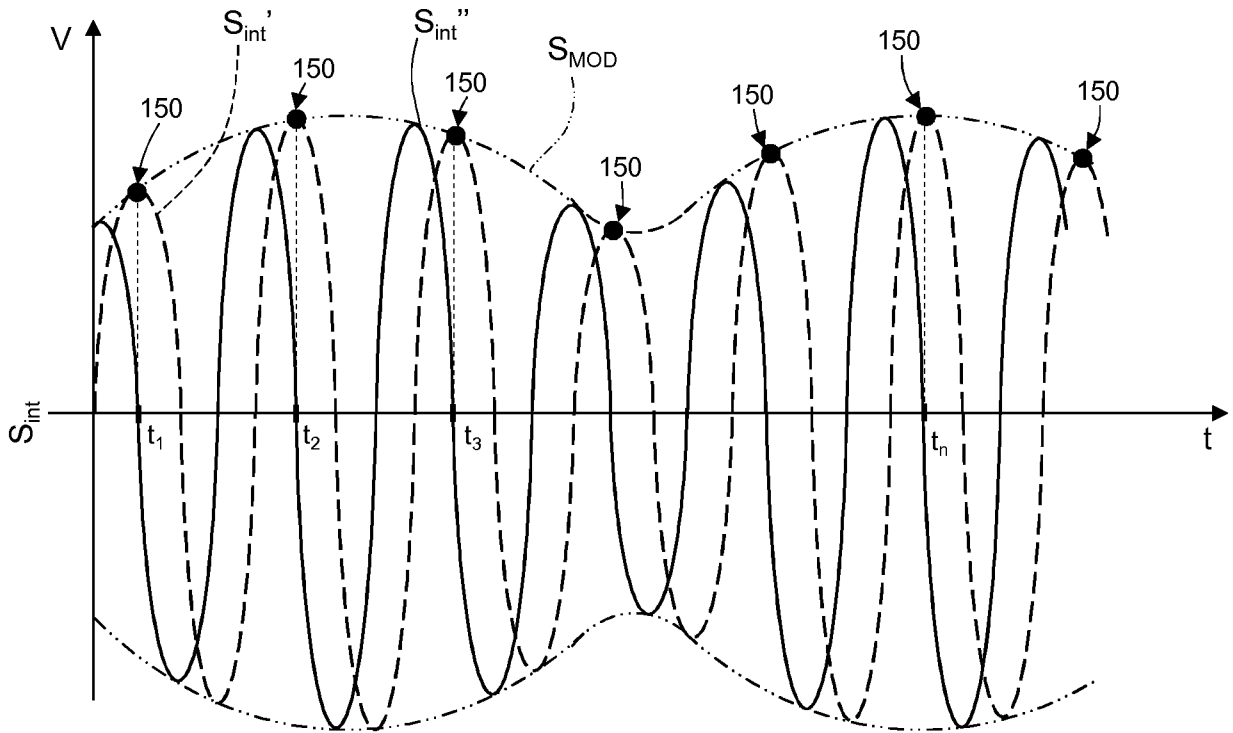


Fig.7a

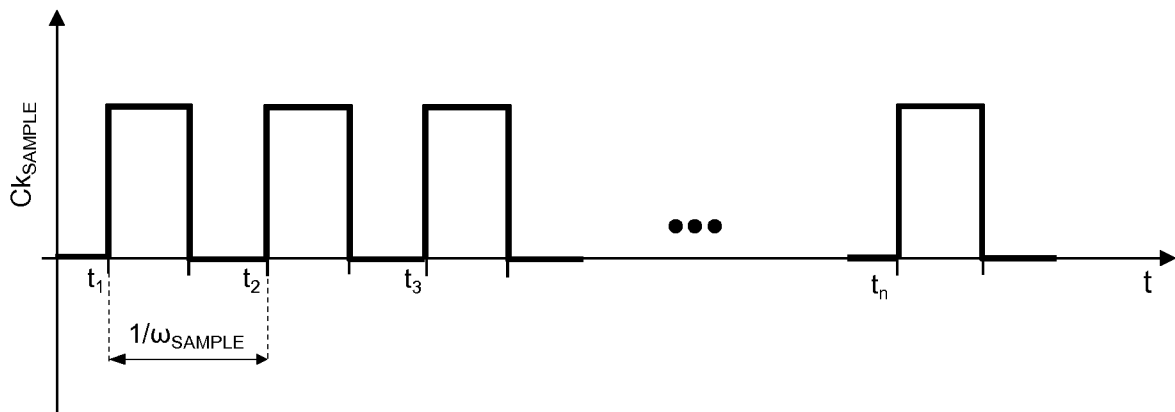


Fig.7b

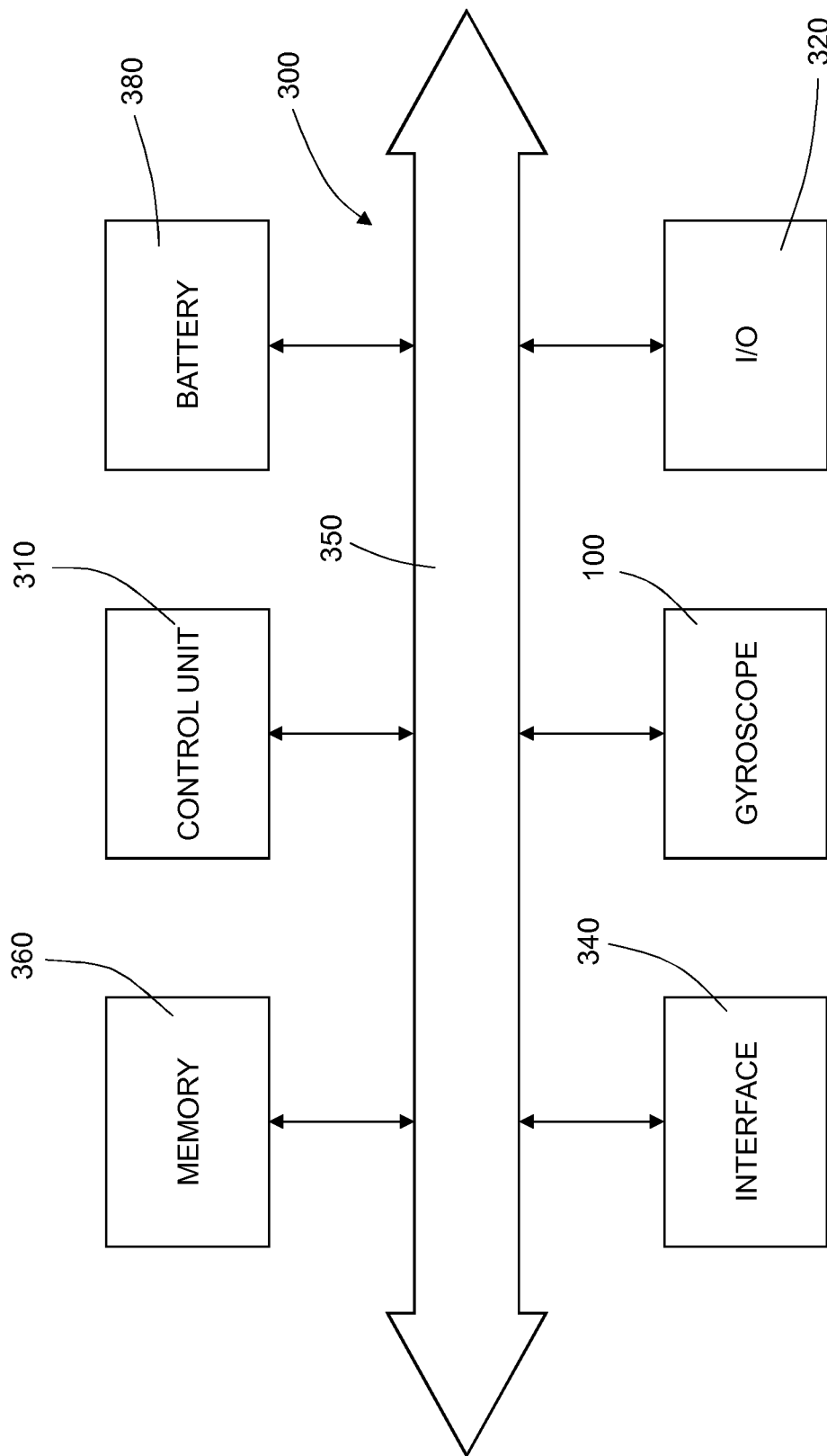


Fig.8