



Ministero delle Imprese e del Made in Italy
DIREZIONE GENERALE PER LA TUTELA DELLA PROPRIETA' INDUSTRIALE
UFFICIO ITALIANO BREVETTI E MARCHI

UIBM

DOMANDA DI INVENZIONE NUMERO	102023000002319
Data Deposito	10/02/2023
Data Pubblicazione	10/08/2024

Classifiche IPC

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
G	01	D	3	08

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
G	01	D	5	165

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
G	01	D	5	48

Titolo

Sensore di posizione configurato per monitorare la condizione e/o il livello di usura di tale sensore di posizione durante il suo utilizzo

“Sensore di posizione configurato per monitorare la condizione e/o il livello di usura di tale sensore di posizione durante il suo utilizzo”

DESCRIZIONE

5 **[0001].** Campo dell'invenzione

[0002]. La presente invenzione si riferisce alla sensoristica di posizione, in particolare ad un sensore di posizione configurato per monitorare la condizione e/o il livello di usura di tale sensore di posizione durante il suo utilizzo.

10 **[0003].** Sfondo tecnologico dell'invenzione

[0004]. È noto l'utilizzo di sensori di posizione assoluti, implementanti tecnologie di trasduzione con contatto elettrico strisciante e senza contatto elettrico strisciante, in sistemi di controllo del movimento di macchinari industriali.

15 **[0005].** Un esempio di sensore di posizione assoluto con contatto elettrico strisciante è costituito da un potenziometro resistivo, mentre un esempio di sensore di posizione assoluto senza contatto elettrico strisciante è costituito da un sensore di posizione magnetostrittivo.

[0006]. In linea generale, un sensore di posizione è principalmente costituito
20 da un elemento sensibile accoppiato ad almeno un cursore mobile connesso al componente meccanico di cui si desidera rilevare la posizione.

[0007]. Durante l'utilizzo, può capitare che una o entrambe le parti principali di tale sensore si danneggino.

[0008]. Nel caso di un sensore di posizione potenziometrico resistivo, i guasti
25 sono tipicamente relativi al contatto elettrico strisciante tra l'elemento

sensibile ed il cursore.

[0009]. Se la forza di contatto risultasse eccessiva, ciò comporterebbe una rapida usura dell'elemento sensibile, con un possibile surriscaldamento e un'ossidazione locale nei punti di usura.

5 **[0010].** In modo analogo, una forza di contatto insufficiente comporterebbe un aumento della resistenza elettrica di contatto, causando nuovamente surriscaldamento e ossidazioni locali.

[0011]. Entrambe queste due condizioni comportano un peggioramento del contatto elettrico strisciante, con la possibilità che si verifichino archi elettrici
10 e/o fusione dell'elemento sensibile, determinando così il guasto del sensore di posizione.

[0012]. Ciò comporta evidentemente degli inconvenienti soprattutto nel caso in cui il sensore di posizione sia utilizzato in un sistema di diagnostica.

[0013]. Infatti, dai guasti non rilevati e/o dal degrado delle prestazioni di tale
15 sensore di posizione si potrebbero derivare diagnosi errate, con la possibilità di generare seri danni ad apparecchiature e/o persone.

[0014]. Inoltre, nel caso di sistemi di controllo ad anello chiuso per il controllo automatico di macchinari industriali, rilevazioni errate della posizione di un componente meccanico dovute a guasti e/o al degrado delle prestazioni del
20 sensore di posizione potrebbero provocare danni la cui entità dipende dalla sensibilità del sistema di controllo alla misurazione errata.

[0015]. Una possibile soluzione a tali problemi potrebbe essere costituita dall'adozione di una politica di manutenzione preventiva, basata sull'adozione di interventi di manutenzione regolare al fine di prevenire i guasti prima che

si verificano.

[0016]. Questo approccio, tutt'ora molto utilizzato nella pratica, non azzerava comunque la probabilità che si verificano dei guasti non previsti.

[0017]. Inoltre, tale politica di manutenzione richiederebbe un controllo e una
5 calibrazione sistematica dei sensori di posizione, rendendo tale soluzione dispendiosa sotto diversi aspetti, primo tra tutti quello economico.

[0018]. In alternativa all'adozione di una politica di manutenzione preventiva, potrebbero essere utilizzati dei sensori dotati di capacità autodiagnostiche, cioè sensori in grado di rilevare e segnalare l'insorgenza di guasti e/o della
10 degradazione delle prestazioni metrologiche.

[0019]. In tal senso, nell'ambito dei sensori di posizione resistivi, US 2010/058830 A1 riguarda un circuito elettronico per il rilevamento di guasti intermittenti nei sensori di posizione resistivi.

[0020]. In tale documento, eventuali guasti, riconducibili al degrado del
15 contatto elettromeccanico tra elemento resistivo e contatto strisciante, sono rilevati mediante un opportuno filtraggio di un segnale di uscita di tale sensore di posizione.

[0021]. Sempre in ambito di sensori di posizione resistivi, CN 215219115 U divulga un circuito elettronico per il rilevamento *online* di guasti nei sensori di
20 posizione resistivi.

[0022]. Tale circuito elettronico comprende un partitore di tensione resistivo, utilizzato al fine di limitare il range della tensione di uscita del sensore di posizione.

[0023]. Le tipologie di guasti rilevabili mediante tale soluzione sono la
25 dissaldatura e la disconnessione dei contatti dell'elemento resistivo.

[0024]. Tali guasti sono rilevati ogni qualvolta che la tensione di uscita del sensore fuoriesce da un intervallo prefissato.

[0025]. Entrambe le soluzioni descritte nei suddetti documenti brevettuali sopracitati forniscono soluzioni circuitali complesse in grado di rilevare solo
5 alcune condizioni di guasto nei sensori di posizione resistivi.

[0026]. In ambito di sensori di posizione magnetostrittivi, US 2022/136864 A1 divulga un sensore di posizione magnetostrittivo in cui è impiegata una tecnica di autodiagnosi che si basa sulla determinazione della differenza tra due tempi di volo che idealmente dovrebbero essere identici.

10 **[0027].** Tale tecnica appare comunque poco precisa in quanto tali tempi di volo non sono legati in alcun modo con le proprietà fisiche dell'elemento sensibile magnetostrittivo, che rappresenta invece il componente principale da monitorare ai fini di poter effettivamente determinare guasti del sensore che potrebbero compromettere effettivamente la rilevazione della posizione
15 del componente meccanico da monitorare.

[0028]. Sommario

[0029]. Lo scopo della presente invenzione è quello di escogitare e mettere a disposizione un sensore di posizione configurato per monitorare la condizione e/o il livello di usura di tale sensore di posizione durante il suo utilizzo che
20 consenta di ovviare almeno parzialmente agli inconvenienti qui sopra lamentati con riferimento alla tecnica nota e che sia in grado di eseguire tale monitoraggio durante il suo utilizzo in modo autonomo e senza ricorrere all'impiego di strumentazione esterna e/o senza dover scollegare il sensore di posizione dal processo dinamico nel quale è impiegato.

25 **[0030].** Tale scopo viene raggiunto mediante un sensore in accordo con la

rivendicazione 1.

[0031]. Forma oggetto della presente invenzione un metodo di monitoraggio della condizione e/o del livello di usura di un sensore di posizione durante il suo utilizzo.

5 **[0032].** Breve descrizione delle figure

[0033]. Ulteriori caratteristiche e vantaggi del sensore secondo l'invenzione risulteranno dalla descrizione di seguito riportata di esempi preferiti di realizzazione, dati a titolo indicativo e non limitativo, con riferimento alle annesse figure, in cui:

10 **[0034].** – la figura 1 mostra schematicamente un sensore di posizione configurato per monitorare la condizione e/o il livello di usura di tale sensore di posizione durante il suo utilizzo, in accordo alla presente invenzione.

[0035]. – la figura 2 mostra schematicamente una un'ulteriore rappresentazione del sensore di posizione della figura 1, in accordo ad una
15 forma di realizzazione della presente invenzione;

[0036]. – la figura 3 mostra schematicamente un'ulteriore rappresentazione del sensore di posizione della figura 1, in accordo ad un'ulteriore forma di realizzazione della presente invenzione;

[0037]. – la figura 4 mostra schematicamente un modello rappresentativo del
20 sensore di posizione in accordo alla forma di realizzazione della figura 3;

[0038]. – la figura 5 mostra, mediante un diagramma di flusso, un algoritmo di autodiagnostica per la stima di parametri del modello della figura 4, in accordo ad una forma di realizzazione della presente invenzione;

[0039]. – la figura 6 mostra schematicamente un modello rappresentativo del

5 sensore di posizione in accordo alla forma di realizzazione della figura 2;

[0040]. – la figura 7 mostra, mediante un diagramma di flusso, un algoritmo di autodiagnostica per la stima di parametri del modello della figura 6, in accordo ad una forma di realizzazione della presente invenzione;

5 [0041]. – la figura 8 mostra schematicamente, mediante uno schema a blocchi, un circuito elettronico del sensore di posizione in accordo ad una forma di realizzazione della presente invenzione;

[0042]. – la figura 9 mostra schematicamente, mediante uno schema a blocchi, un blocco di *front-end* analogico del circuito elettronico della figura 8, in accordo
10 ad una forma di realizzazione della presente invenzione;

[0043]. – la figura 10 mostra schematicamente, mediante uno schema a blocchi, un blocco di *front-end* analogico del circuito elettronico della figura 8, in accordo ad una ulteriore forma di realizzazione della presente invenzione;

[0044]. – la figura 11 mostra, schematicamente, un sensore di posizione
15 configurato per monitorare la condizione e/o il livello di usura di tale sensore di posizione, in accordo ad un'ulteriore forma di realizzazione della presente invenzione;

[0045]. – la figura 12 mostra schematicamente un modello rappresentativo del sensore di posizione in accordo alla forma di realizzazione della figura 11;

20 [0046]. – la figura 13 mostra, mediante un diagramma di flusso, un algoritmo di autodiagnostica per la stima di parametri del modello della figura 12, in accordo ad una forma di realizzazione della presente invenzione;

[0047]. – la figura 14 mostra, schematicamente, un sensore di posizione configurato per monitorare la condizione e/o il livello di usura di tale sensore di
25 posizione, in accordo ad un'ulteriore forma di realizzazione della presente

invenzione;

[0048]. – la figura 15 mostra schematicamente un modello rappresentativo del sensore di posizione in accordo alla forma di realizzazione della figura 14;

[0049]. – la figura 16 mostra, mediante un diagramma di flusso, un algoritmo di autodiagnostica per la stima di parametri del modello della figura 15, in
5 accordo ad una forma di realizzazione della presente invenzione;

[0050]. – la figura 17 mostra schematicamente, mediante uno schema a blocchi, un circuito elettronico del sensore di posizione in accordo un'ulteriore forma di realizzazione della presente invenzione;

10 **[0051].** – la figura 18 mostra schematicamente, mediante uno schema a blocchi, un blocco di *front-end* analogico del circuito elettronico della figura 17, in accordo ad una forma di realizzazione della presente invenzione;

[0052]. – la figura 19 mostra schematicamente, mediante uno schema a blocchi, un blocco di *front-end* analogico del circuito elettronico della figura 17,
15 in accordo ad una ulteriore forma di realizzazione della presente invenzione.

[0053]. Descrizione dettagliata

[0054]. Con riferimento alle suddette figure, viene ora descritto un sensore 100 di posizione configurato per monitorare la condizione e/o il livello di usura di tale sensore di posizione, nel seguito anche solo sensore di posizione o
20 semplicemente sensore, durante il suo utilizzo, in accordo alla presente invenzione.

[0055]. Il sensore 100 è impiegabile per il controllo del movimento di un componente meccanico.

[0056]. Per “componente meccanico” s'intende un qualsivoglia componente
25 meccanico impiegato in ambito industriale di cui si necessita misurare e

monitorare una posizione durante la sua movimentazione, ad esempio, nell'ambito dell'idraulica mobile, un segmento di un braccio articolato di un macchinario di movimentazione materiale, componenti delle sospensioni o del servosterzo, componenti di mezzi agricoli e macchine cingolate per il movimento terra, componenti di macchine per stampaggio plastica, componenti di carrelli porta stampo, estrattori, o cilindri.

5
10
[0057]. Ai fini della presente descrizione, per “condizione” del sensore 100 di posizione s’intende, per esempio, una specifica condizione del proprio elemento sensibile, in grado di riflettere specifica situazione di guasto rilevabile nel sensore 100.

[0058]. Per “livello di usura” del sensore 100 di posizione s’intende una quantità empirica, determinata a partire dalle caratteristiche meccaniche e/o elettriche di un sensore di posizione integro, definita per indicare qualitativamente l’insorgenza di guasti e la degradazione delle prestazioni metrologiche del sensore 100 rispetto al sensore di posizione integro.

[0059]. Con “sensore di posizione integro” o “sensore integro” s’intende un sensore che non sia mai stato utilizzato, e che risulti stoccato in maniera tale che le sue grandezze di influenza rientrino negli intervalli di valori specificati dai relativi campi di magazzino.

20
[0060]. Ad esempio, il “livello di usura” si può intendere quando e quanto l’usura dell’elemento sensibile e/o eventualmente di un altro componente del sensore inizia e progredisce nel tempo in modo da provocare l’insorgenza di guasti, quindi una degradazione delle prestazioni metrologiche del sensore.

[0061]. Nel caso in cui il sensore di posizione sia di tipo magnetostrittivo, il
25 “livello di usura” può riguardare sostanzialmente solo l’elemento sensibile del

5 sensore mentre nel caso in cui il sensore di posizione sia di tipo potenziometrico resistivo il “livello di usura” può riguardare, oltre all’elemento sensibile, anche ad esempio il cursore mobile del sensore.

[0062]. Ritornando in generale alla presente invenzione, con particolare riferimento alla figura 1, il sensore 100 comprende un corpo sensore 10 estendentesi lungo un asse di sviluppo longitudinale d, quest’ultimo rappresentato nelle figure con una linea tratteggiata.

[0063]. Il corpo sensore 10 ha una rispettiva estremità libera configurata per essere operativamente collegata ad un primo componente meccanico (non mostrato nelle figure).

[0064]. Il sensore 100 comprende inoltre un elemento sensibile 101 disposto nel corpo sensore 10 ed estendentesi lungo l’asse di sviluppo longitudinale d del corpo sensore 10.

[0065]. Il sensore 100 comprende inoltre almeno un cursore mobile 102 operativamente collegato al corpo sensore 10 in modo da poter scorrere rispetto al corpo sensore 10 coassialmente lungo l’asse di sviluppo longitudinale d del corpo sensore.

[0066]. L’almeno un cursore mobile 102 ha una rispettiva estremità libera configurata per essere operativamente collegata ad un secondo componente meccanico (anch’esso non mostrato nelle figure).

[0067]. Il sensore 100 comprende inoltre un circuito elettronico 20 alloggiato all’interno del corpo sensore 10.

[0068]. Il circuito elettronico 20 comprende un’unità di elaborazione dati 30.

[0069]. L’unità di elaborazione dati 30 è, ad esempio, un microcontrollore, un microprocessore o un dispositivo logico programmabile quale un FPGA

(dall'acronimo inglese, Field Programmable Gate Array”).

[0070]. Il circuito elettronico 20 comprende un'unità di memoria 40 operativamente associata all'unità di elaborazione dati 30.

[0071]. L'unità di memoria 40 è una memoria di tipo riscrivibile e permanente ed è basata, ad esempio, su tecnologia EEPROM, FRAM o MRAM.

[0072]. Il circuito elettronico 20 comprende inoltre un modulo di comunicazione 50 operativamente collegato all'unità di elaborazione dati 30.

[0073]. Il modulo di comunicazione 50 può essere configurato con tecnologia di tipo cablata (“wired”), ad esempio tecnologia Ethernet o tecnologia IEEE 408, oppure con tecnologia di tipo senza fili (“wireless”), ad esempio tecnologia Bluetooth o tecnologia IEEE 802.11.

[0074]. Il circuito elettronico 20 comprende inoltre un modulo 60 di monitoraggio dell'elemento sensibile 101, operativamente collegato all'unità di elaborazione dati 30 ed almeno all'elemento sensibile 101.

[0075]. Il modulo 60 di monitoraggio dell'elemento sensibile 101 è un *front-end* analogico configurato per svolgere una funzione di interrogazione e *read-out* dell'elemento sensibile 101.

[0076]. In altre parole, il modulo 60 di monitoraggio dell'elemento sensibile 101 è configurato per determinare grandezze rappresentative del funzionamento del sensore 100 di posizione, sia esso un sensore di posizione resistivo o un sensore di posizione magnetostrittivo (come verrà descritto nel seguito in dettaglio), da fornire all'unità di elaborazione dati 30.

[0077]. Tali grandezze rappresentative del funzionamento del sensore 100 di posizione saranno descritte nel seguito.

[0078]. Il circuito elettronico 20 comprende inoltre un modulo 70 di

rilevazione di temperatura, operativamente collegato all'unità di elaborazione 30.

[0079]. Il modulo 70 di rilevazione di temperatura è configurato per rilevare un valore di temperatura del corpo sensore 10 durante l'utilizzo del sensore 5 100 di posizione.

[0080]. Il modulo 70 di rilevazione di temperatura può essere, per esempio, un termistore o un sensore di temperatura integrato.

[0081]. L'unità di elaborazione dati 30 è configurata per determinare la posizione assoluta dell'almeno un cursore 102 rispetto all'elemento sensibile 10 101 del sensore 100.

[0082]. Inoltre, l'unità di elaborazione dati 30 è configurata per stimare durante l'utilizzo del sensore 100 di posizione, mediante l'esecuzione di un algoritmo di autodiagnostica del sensore 100 di posizione, parametri di un modello rappresentativo del sensore 100 di posizione sulla base di tali 15 grandezze rappresentative del funzionamento del sensore 100 di posizione determinate dal modulo 60 di monitoraggio dell'elemento sensibile 101.

[0083]. Detti parametri del modello rappresentativo del sensore 100 di posizione sono rappresentativi della condizione e/o del livello di usura del sensore di posizione.

20 **[0084].** Tali parametri del modello rappresentativo del sensore 100 di posizione, in accordo a diverse forme di realizzazione, saranno descritti nel seguito.

[0085]. In accordo ad una forma di realizzazione, in combinazione con la precedente, l'unità di elaborazione dati 30 è configurata per compensare le 25 grandezze rappresentative del funzionamento del sensore 100 di posizione

sulla base del valore di temperatura T_{cs} del corpo sensore 10 rilevato dal modulo 70 di rilevazione di temperatura.

[0086]. A tal proposito, si noti infatti che la rilevazione del valore di temperatura del corpo sensore 10 è un aspetto importante in quanto, come
5 sarà descritto anche nel seguito, le grandezze rappresentative del funzionamento del sensore 100 di posizione dipendono dalla temperatura a cui è soggetto il corpo sensore 10, in particolare l'elemento sensibile 101 del sensore 100, quindi conoscere il valore di temperatura T_{cs} del corpo sensore 10 consente di compensare in temperatura le grandezze rappresentative del
10 funzionamento del sensore 100 di posizione.

[0087]. In questo modo, i parametri del modello rappresentativo del sensore 100, stimati dall'unità di elaborazione dati 30 sulla base di tali grandezze rappresentative del funzionamento del sensore 100 di posizione, sono indipendenti dalla temperatura alla quale opera il sensore 100.

[0088]. Pertanto, è vantaggiosamente possibile evitare di classificare come
15 usura del sensore 100 una variazione di uno o più dei parametri stimabili del modello rappresentativo del sensore 100 dovuta ad una variazione della temperatura del corpo sensore 10.

[0089]. Con riferimento in particolare alle figure 2 e 3, in accordo ad una
20 forma di realizzazione, l'elemento sensibile 101 comprende una prima regione 103 ed una seconda regione 104 atte a delimitare la corsa elettrica utile del sensore 100, avente una stabilita lunghezza FS.

[0090]. La posizione assoluta dell'almeno un cursore mobile 102 rispetto
25 all'elemento sensibile 101, ovvero la distanza dell'almeno un cursore mobile 102 dalla prima regione 103, indicata nelle figure 2 e 3 con il riferimento x , è

la quantità trasdotta dal sensore 100 durante il suo utilizzo che rappresenta la misura sotto monitoraggio rappresentativa del movimento relativo tra l'elemento sensibile 101 e l'almeno un cursore 102, ovvero tra il primo componente meccanico ed il secondo componente meccanico ai quali
5 l'elemento sensibile 101 e l'almeno un cursore mobile 102 del sensore 100 sono rispettivamente collegati.

[0091]. In accordo ad una forma di realizzazione, in combinazione con la precedente e mostrata nella figura 3, il sensore 100 è un sensore di posizione resistivo.

10 **[0092].** In questa forma di realizzazione, l'elemento sensibile 101 comprende una pista resistiva e l'almeno un cursore mobile 102 comprende un contatto strisciante.

[0093]. In questa forma di realizzazione, il sensore 100 comprende un primo contatto elettrico 105 elettricamente collegato alla prima regione 103
15 dell'elemento sensibile 101.

[0094]. Inoltre, il sensore 100 comprende un secondo contatto elettrico 106 elettricamente collegato alla seconda regione 104 dell'elemento sensibile 101.

[0095]. Il sensore 100 comprende inoltre un terzo contatto elettrico 107
20 elettricamente collegato all'almeno un cursore mobile 102.

[0096]. In questa forma di realizzazione, è prevista un'alimentazione elettrica dell'elemento sensibile 101 mediante l'applicazione di una tensione elettrica costante tra il primo contatto elettrico 105 ed il secondo contatto elettrico 106.

[0097]. La posizione assoluta dell'almeno un cursore mobile 102 rispetto
25 all'elemento sensibile 101 è proporzionale alla caduta di tensione elettrica tra

il primo contatto elettrico 105 ed il terzo contatto elettrico 107.

[0098]. Il sensore 100 di posizione resistivo della figura 3 può essere rappresentato da un rispettivo modello M1 rappresentativo del sensore 100 di posizione.

5 **[0099].** In questa forma di realizzazione, il modello M1 rappresentativo del sensore 100 di posizione è un modello resistivo, un cui esempio è illustrato nella figura 4.

[0100]. Il modello M1 comprende:

10 **[0101].** – un primo resistore R1, la cui resistenza è indicata con R_0 , che rappresenta la resistenza del primo contatto elettrico 105 e della prima regione 103;

[0102]. – un secondo resistore R2, la cui resistenza è indicata con R_0 , che rappresenta la resistenza del secondo contatto elettrico 106 e della seconda regione 104;

15 **[0103].** – un terzo resistore R3, la cui resistenza è indicata con R_c , che rappresenta la resistenza del contatto strisciante compreso nell'almeno un cursore mobile 102;

20 **[0104].** – un quarto resistore R4, la cui resistenza è indicata con R_{p1} , che rappresenta una prima partizione resistiva dell'elemento sensibile 101 tra la prima regione 103 e la posizione dell'almeno un cursore mobile 102;

[0105]. – un quinto resistore R5, la cui resistenza è indicata con R_{p2} , che rappresenta una seconda partizione resistiva dell'elemento sensibile 101 tra la seconda regione 104 e la posizione dell'almeno un cursore mobile 102.

25 **[0106].** In maggior dettaglio, il valore di resistenza R_{p1} del quarto resistore R4 e il valore di resistenza R_{p2} del quinto resistore R5 possono essere

espressi a partire da parametri elettrici (resistività ρ) e geometrici (sezione S) dell'elemento sensibile 101 e della posizione x dell' almeno un cursore mobile 102 rispetto alla prima regione 103 dell'elemento sensibile 101.

[0107]. Al proposito, il valore di resistenza R_{p1} del quarto resistore R_4 e il
 5 valore di resistenza R_{p2} del quinto resistore R_5 possono essere espressi dalle
 seguenti relazioni matematiche:

$$R_{p1} = \frac{\rho x}{S} = \xi x \quad (1)$$

$$R_{p2} = \frac{\rho}{S}(FS - x) = \xi(FS - x) \quad (2)$$

[0108]. Dalle relazioni matematiche (1) e (2) si ottiene che la somma del
 valore di resistenza R_{p1} del quarto resistore R_4 e del valore di resistenza R_{p2}
 del quinto resistore R_5 coincide con la resistenza totale dell'elemento
 10 sensibile 101.

[0109]. Il valore di resistenza, indicato nel seguito con R_{12} , tra il primo
 contatto elettrico 105 ed il terzo contatto elettrico 107 (assumendo il secondo
 contatto elettrico 106 aperto), il valore di resistenza, indicato nel seguito con
 R_{23} , tra il terzo contatto elettrico 107 ed il secondo contatto elettrico 106
 15 (assumendo il primo contatto elettrico 105 aperto), il valore di resistenza,
 indicato nel seguito con R_{13} , tra il primo contatto elettrico 105 ed il secondo
 contatto elettrico 106 (assumendo il terzo contatto elettrico 107 aperto),
 possono essere espressi in funzione dei valori di resistenza del modello
 resistivo M_1 , come segue:

$$R_{12} = R_0 + R_{p1} + R_c = R_0 + \xi x + R_c \quad (3)$$

$$R_{23} = R_c + R_{p2} + R_0 = R_c + \xi(FS - x) + R_c \quad (4)$$

$$R_{13} = 2R_0 + R_{p1} + R_{p2} = 2R_0 + \xi FS \quad (5)$$

[0110]. Si noti che le relazioni (3)-(5) evidenziano che i valori di resistenza R_{12} , R_{23} e R_{13} , espresse a partire dal modello resistivo M1 del sensore 100 di posizione resistivo secondo lo schema di figura 4, dipendano da parametri che sono connessi alle condizioni e/o al livello di usura del sensore 100 di
5 posizione.

[0111]. Ad esempio, un parametro è la resistenza per unità di lunghezza ξ dell'elemento sensibile 101.

[0112]. Infatti, nel caso in cui la forza di contatto tra l'elemento sensibile 101 e il contatto strisciante compreso nell'almeno un cursore mobile 102 risulti
10 eccessiva si otterrà, dopo un certo intervallo di tempo, una condizione di usura del sensore 100 dovuta alla riduzione della sezione S dell'elemento sensibile 101, implicando un conseguente innalzamento della resistenza per unità di lunghezza ξ .

[0113]. Un aumento del valore di resistenza R_c può essere connesso
15 all'ossidazione del contatto strisciante compreso nell'almeno un cursore mobile 102, la quale determina un peggioramento del contatto elettrico tra quest'ultimo e l'elemento sensibile 101.

[0114]. Infine, per quanto riguarda i valori di resistenze R_0 (primo resistore R_1 e secondo resistore R_2) un aumento di tali valori può essere connesso
20 all'usura della prima regione 103 e della seconda regione 104 dell'elemento sensibile 101, dovuta allo scorrimento dell'almeno un cursore mobile 102 al di fuori della corsa elettrica utile definita tra la prima regione 103 e la seconda regione 104.

[0115]. Pertanto, i parametri stimati del modello rappresentativo del sensore
25 100 di posizione rappresentativi della condizione e/o del livello di usura del

5 sensore 100 di posizione durante il suo utilizzo comprendono:

[0116]. – resistenza R_0 del primo contatto elettrico 105 e della prima regione 103;

[0117]. – resistenza R_0 del secondo contatto elettrico 106 e della seconda regione 104;

[0118]. – resistenza R_c del contatto strisciante compreso nell'almeno un cursore mobile 102;

[0119]. - la resistenza per unità di lunghezza ξ dell'elemento sensibile 101.

[0120]. Per questo motivo, è possibile modellizzare analiticamente il sensore 100 di posizione resistivo mediante le relazioni matematiche (3)-(5), la cui unione forma il seguente sistema matriciale (6):

$$R = Ap \rightarrow \begin{bmatrix} R_{12} \\ R_{23} \\ R_{13} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & x \\ 1 & 1 & FS - x \\ 2 & 0 & FS \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_0 \\ R_c \\ \xi \end{bmatrix} \quad (6)$$

[0121]. I valori di resistenza R_{12} , R_{23} e R_{13} (raggruppate nel vettore R) sono legati ai parametri R_0 , R_c e ξ (raggruppati nel vettore p) attraverso la matrice A .

[0122]. La stima dei parametri p permette di monitorare la condizione e/o il livello di usura del sensore 100 di posizione resistivo durante il suo utilizzo, come rappresentato nella figura 3, influenti sulle prestazioni metrologiche del sensore 100.

[0123]. A tal proposito, come detto in precedenza, l'unità di elaborazione dati 30 del circuito elettronico 20 del sensore 100 è configurata per stimare durante l'utilizzo del sensore 100 di posizione (in questo caso resistivo), mediante l'esecuzione di un algoritmo di autodiagnostica del sensore 100 di posizione, parametri (in questa forma di realizzazione, R_0 , R_c e ξ) di un

modello rappresentativo del sensore 100 di posizione sulla base di grandezze rappresentative del funzionamento del sensore 100 di posizione determinate dal modulo 60 di monitoraggio dell'elemento sensibile 101.

[0124]. In questa forma di realizzazione, le grandezze rappresentative del funzionamento del sensore 100 di posizione determinabili dal modulo 60 di monitoraggio dell'elemento sensibile 101 comprendono valori di tensioni elettriche (V_{12} , V_{23} , V_{13}) e correnti elettriche (I_{12} , I_{23} e I_{13}), descritte nel seguito, impiegabili per la determinazione dei valori di resistenza R_{12} , R_{23} , R_{13} del modello resistivo ed un valore di temperatura T_{CS} del corpo sensore rilevato dal modulo 70 di rilevazione di temperatura.

[0125]. Come detto in precedenza, in una forma di realizzazione, l'unità di elaborazione dati 30 è configurata per compensare le grandezze rappresentative del funzionamento del sensore 100 di posizione sulla base di un valore di temperatura del corpo sensore 10 rilevato dal modulo 70 di rilevazione di temperatura.

[0126]. Nel caso di un sensore 100 di posizione di tipo resistivo, si fa presente quanto segue.

[0127]. Il valore di resistenza dipende dalla temperatura. Per esempio, la resistività in un metallo aumenta all'aumentare della temperatura nel seguente modo: $\rho = \rho_0 [1 + \alpha(T_{CS}-T_0)]$.

[0128]. Conoscendo il valore di temperatura T_{CS} del corpo sensore 10, la resistività ρ_0 del metallo alla temperatura di riferimento T_0 ed il coefficiente termico α è possibile mappare, ad opera dell'unità di elaborazione 30, le misure di resistenze effettuate al valore di temperatura T_{CS} variabile come se

fossero misurate tutte ad una temperatura fissa T_{set} .

[0129]. In questo modo, la stima dei parametri R_0 , R_C , ξ del modello resistivo M1 sono indipendenti dalla temperatura T_{CS} alla quale sono effettuate le misure di resistenze.

5 **[0130].** Con riferimento ora anche alla figura 5, è descritto un algoritmo di autodiagnostica 200 implementabile dall'unità di elaborazione dati 30 del circuito elettronico 20 per stimare i parametri R_0 , R_C e ξ .

[0131]. Si osservi che tale stima è definibile di tipo “*online*” in quanto è eseguibile senza ricorrere all'impiego di strumentazione esterna e/o senza
10 dover scollegare il sensore di posizione dal processo dinamico nel quale è impiegato.

[0132]. L'algoritmo di autodiagnostica 200 comprende una fase simbolica di inizio ST.

[0133]. L'algoritmo di autodiagnostica 200 comprende una fase di stimare
15 201 i parametri R_0 , R_C e ξ relativi al sensore 100 di posizione resistivo integro, al fine di determinare le condizioni iniziali del sensore 100.

[0134]. Tali parametri, indicati con i termini $\overline{R_0}$, $\overline{R_C}$ e $\overline{\xi}$ sono raggruppati nel vettore \overline{p} .

[0135]. La definizione di “sensore integro” è stata indicata in precedenza.

20 **[0136].** I parametri del vettore \overline{p} sono stimati dall'unità di elaborazione dati 30 a partire dal modello resistivo M1, risolvendo il sistema matriciale (6) di tre equazioni rispetto ai parametri incogniti p .

[0137]. Per risolvere tale sistema matriciale è necessario disporre dei valori di resistenze R_{12} , R_{23} e R_{13} e della posizione x dell'almeno un cursore mobile
25 102 rispetto alla prima regione 103 alla quale sono stati misurati tali valori dal

modulo 60 di monitoraggio dell'elemento sensibile 101.

[0138]. In questa fase di stimare 201, la posizione x dell'almeno un cursore mobile 102 rispetto alla prima regione 103 è nota, in quanto supposta rilevata da uno strumento esterno, come per esempio un asse lineare connesso
5 meccanicamente all'almeno cursore mobile 102.

[0139]. Alla luce di questa ipotesi, la stima dei parametri del vettore \bar{p} è definita di tipo "offline", in quanto condotta ricorrendo ad una strumentazione esterna al sensore 100.

[0140]. Per ottenere una stima dei parametri del vettore \bar{p} robusta rispetto al
10 rumore presente sulle misure dei valori di resistenza R_{12} , R_{23} e R_{13} è possibile stimare i parametri del vettore \bar{p} ai minimi quadrati, misurando i valori di resistenza R_{12} , R_{23} e R_{13} in diverse stabilite (ovvero note) posizioni x dell'almeno un cursore mobile 102 rispetto alla prima regione 103, lungo l'intera corsa elettrica utile del sensore 100.

[0141]. Ad esempio, supponendo di disporre di uno stabilito numero intero di
15 tuple N_{init} della forma $[R_{12}, R_{23}, R_{13}, x]$, con $N_{init} > 1$.

[0142]. In tal caso, i parametri del vettore \bar{p} sono stimati ai minimi quadrati risolvendo il seguente sistema sovradeterminato:

$$\bar{A}\bar{p} = \bar{R} \quad (7)$$

[0143]. I termini \bar{A} e \bar{R} sono rispettivamente una matrice $3N_{init} \times 3$ e un vettore
20 $3N_{init} \times 1$, ottenuti concatenando verticalmente le diverse matrici A e i diversi vettori R relativi alle stabilite posizioni x dell'almeno un cursore mobile 102 rispetto alla prima regione 103 alle quali sono misurate i valori di resistenze R_{12} , R_{23} e R_{13} .

[0144]. Conclusa la fase 201 di stima dei parametri rappresentativi della

condizione e/o del livello di usura del sensore 100 di posizione resistivo a sensore integro, l'algoritmo di autodiagnostica 200 comprende una fase di memorizzare 202, ad opera dell'unità di elaborazione dati 30, i parametri del vettore \bar{p} stimato a sensore integro nell'unità di memoria 40 del circuito elettronico 20.

[0145]. L'algoritmo di autodiagnostica 200 prosegue con la stima, ad opera dell'unità di elaborazione dati 30, di parametri di un vettore p' rappresentativi della condizione e/o del livello di usura del sensore 100 di posizione resistivo durante il suo utilizzo.

10 **[0146].** Si noti che l'unità di elaborazione dati 30, al fine di stimare i parametri del vettore p' , esegue le stesse fasi eseguite in precedenza per stimare i parametri del vettore \bar{p} rappresentativi della condizione e/o del livello di usura del sensore 100 a sensore integro.

[0147]. Infatti, i parametri p' sono stimati ai minimi quadrati a partire da N tuple $[R_{12}, R_{23}, R_{13}, x']$, con $N \geq 1$, dove il termine x' indica una stima della posizione x dell'almeno un cursore mobile 102 rispetto alla prima regione 103 alla quale sono misurate le resistenze R_{12} , R_{23} e R_{13} .

[0148]. In maggior dettaglio, l'algoritmo di autodiagnostica 200 comprende una fase di inizializzare 203 una variabile contatore $n = 0$.

20 **[0149].** Successivamente, l'algoritmo di autodiagnostica 200 comprende una fase di misurare 204, ad opera del modulo 60 di monitoraggio dell'elemento sensibile 101, valori di resistenza R_{12} , R_{23} e R_{13} ad una incognita posizione x dell'almeno un cursore mobile 102 rispetto alla prima regione 103, durante l'utilizzo del sensore 100.

25 **[0150].** L'algoritmo di autodiagnostica 200 comprende quindi una fase di

stimare 205, ad opera dell'unità di elaborazione dati 30, un valore di posizione x' dell'almeno un cursore mobile 102 rispetto alla prima regione 103 sulla base dei parametri del vettore \bar{p} stimati a sensore integro e dai valori di resistenze R_{12} , R_{23} e R_{13} misurate alla fase di misurare 204 precedente.

5 **[0151]**. In particolare, il valore di posizione x' è determinato tramite la risoluzione ai minimi quadrati del seguente sistema sovradeterminato:

$$\begin{bmatrix} R_{12} - \bar{R}_0 - \bar{R}_c \\ R_{23} - \bar{R}_0 - \bar{R}_c \\ R_{13} - 2\bar{R}_0 - \bar{\xi}FS \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{\xi} \\ -\bar{\xi} \\ 0 \end{bmatrix} x' \quad (8)$$

[0152]. L'algoritmo di autodiagnostica 200 comprende quindi una fase di memorizzare 206, ad opera dell'unità di elaborazione dati 30, della tupla $[R_{12}, R_{23}, R_{13}, x']$ nell'unità di memoria 40 del circuito elettronico 20.

10 **[0153]**. Successivamente, l'algoritmo di autodiagnostica 200 comprende quindi una fase di incrementare 207, ad opera dell'unità di elaborazione dati 30, la variabile contatore n di un'unità.

[0154]. L'algoritmo di autodiagnostica 200 comprende quindi una fase di verificare 208, ad opera dell'unità di elaborazione dati 30, se la variabile
15 contatore n incrementata sia minore di N ($n < N$).

[0155]. Fintanto che $n < N$ (Y-S nella figura 5) l'unità di elaborazione dati 30 ripete le fasi precedenti da 204 a 207.

[0156]. Nel caso in cui $n = N$ (N-O nella figura 5), la ripetizione delle fasi da 204 a 207 termina all' N -esima iterazione.

20 **[0157]**. A questo punto, nell'unità di memoria 40 del circuito elettronico 20 sono state immagazzinate dall'unità di elaborazione dati 30 N tuple della

forma $[R_{12}, R_{23}, R_{13}, x']$.

[0158]. Successivamente, l'algoritmo di autodiagnostica 200 comprende una fase di stimare 209, ad opera dell'unità di elaborazione dati 30, i parametri R_0' , R_C' e ξ' , raggruppati nel vettore p' , durante l'utilizzo del sensore 100, sulla
5 base delle N tuple $[R_{12}, R_{23}, R_{13}, x']$ presenti nell'unità di memoria 40 del circuito elettronico 20.

[0159]. Analogamente alla stima dei parametri del vettore \bar{p} stimati a sensore integro, la stima durante l'utilizzo del sensore 100 dei parametri del vettore p' è determinata, ad opera dell'unità di elaborazione dati 30, mediante la
10 risoluzione ai minimi quadrati del seguente sistema sovradeterminato:

$$R' = A'p' \quad (9)$$

[0160]. in cui A' e R' sono rispettivamente una matrice $3N \times 3$ e un vettore $3N \times 1$, ottenuti concatenando verticalmente le diverse matrici A e i diversi vettori R relativi alle N tuple $[R_{12}, R_{23}, R_{13}, x']$ ottenute dalle N iterazioni delle fasi 204-207 precedenti.

15 **[0161].** L'algoritmo di autodiagnostica 200 comprende una prima fase di memorizzare 210, ad opera dell'unità di elaborazione dati 30, i parametri R_0' , R_C' , ξ' del vettore p' stimati nell'unità di memoria 40 del circuito elettronico 20 al passo 209.

20 **[0162].** L'algoritmo di autodiagnostica 200 comprende inoltre una seconda fase di memorizzare 211, ad opera dell'unità di elaborazione dati 30, il valore di temperatura T_{CS} del corpo sensore 10 rilevato dal modulo 70 di rilevazione di temperatura nell'unità di memoria 40 del circuito elettronico 20.

[0163]. Si noti che i parametri R_0' , R_C' , ξ' del vettore p' stimati memorizzati nella prima fase di memorizzare 210 e il valore di temperatura T_{cs}

memorizzato nella seconda fase di memorizzazione 211 sono posti in relazione in quanto sussiste una correlazione, come noto dalla fisica, tra i parametri R_0' , R_C' , ξ' del vettore p' stimati e il valore attuale di temperatura T_{CS} del corpo sensore 10 memorizzato.

5 **[0164].** L'algoritmo di autodiagnostica 200 comprende una fase simbolica di fine ED.

[0165]. In una forma di realizzazione, in combinazione con la precedente e mostrata con linee tratteggiate nella figura 5, l'algoritmo di diagnostica 200 comprende una fase di trasmettere 212, ad opera dell'unità di elaborazione
10 dati 30 tramite il modulo di comunicazione 50, i parametri R_0' , R_C' , ξ' del vettore p' stimati e il valore di temperatura T_{CS} ad un dispositivo utilizzatore esterno quale, ad esempio, un display, un supporto di memorizzazione esterno, un database, e così via.

[0166]. Si noti che il sensore 100 di posizione resistivo descritto è un sensore
15 di posizione lineare.

[0167]. Tuttavia, gli insegnamenti della presente invenzione possono essere applicati anche altre tipologie differenti di sensori resistivi, non necessariamente lineari, ad esempio sensori di posizione angolari o rotativi.

[0168]. In una forma di realizzazione, in alternativa ad una qualsiasi delle
20 precedenti in cui il sensore 100 sia un sensore di posizione resistivo, il sensore 100 è un sensore di posizione magnetostrittivo.

[0169]. In questa forma di realizzazione, mostrata nella figura 2, l'elemento sensibile 101 è realizzato in un materiale magnetostrittivo.

[0170]. Inoltre, la prima regione 103 e la seconda regione 104 sono realizzate

in un materiale magnetostrittivo.

[0171]. In questa forma di realizzazione, l'almeno un cursore mobile 102 comprende un magnete permanente.

[0172]. In questa forma di realizzazione, il sensore 100 comprende il primo
5 contatto elettrico 105 elettricamente collegato alla prima regione 103 dell'elemento sensibile 101 ed il secondo contatto elettrico 106 elettricamente collegato alla seconda regione 104 dell'elemento sensibile 101.

[0173]. Si noti che essendo il sensore 100 di posizione magnetostrittivo privo di contatto (contactless) tra l'elemento sensibile 101 e l'almeno un cursore
10 mobile 102, il sensore 100 è privo di qualsiasi contatto elettrico elettricamente collegato all'almeno un cursore mobile 102.

[0174]. La misurazione (trasduzione) della posizione x dell'almeno un cursore rispetto all'elemento sensibile 101 è realizzabile in diverse modalità.

[0175]. Ad esempio, la posizione x dell'almeno un cursore mobile 102
15 rispetto alla prima regione 103 può essere trasferita all'elemento sensibile 101 tramite interazione magnetica.

[0176]. In maggior dettaglio, tale interazione magnetica è originabile a partire da un primo campo magnetico generato dal magnete permanente compreso nell'almeno un cursore mobile 102 e da un secondo campo magnetico
20 generato dallo scorrimento di una corrente elettrica impulsiva nell'elemento sensibile 101.

[0177]. L'interazione magnetica tra il primo campo magnetico ed il secondo campo magnetico è tale da generare simultaneamente, alla posizione x dell'almeno un cursore mobile 102 rispetto alla prima regione, una prima onda
25 torsionale che si propaga verso la prima regione 103, indicata con il

riferimento T_1 , e una seconda onda torsionale che si propaga verso la seconda regione 104, indicata con il riferimento T_2 .

[0178]. La posizione x dell' almeno un cursore mobile 102 rispetto alla prima regione 103 può dunque essere trasdotta a partire:

5 **[0179].** – dal tempo che intercorre tra il lancio di un impulso di corrente elettrica nell'elemento sensibile 101 ed il rilevamento di una o entrambe la prima onda torsionale T_1 e la seconda onda torsionale T_2 ;

[0180]. – dalla velocità di propagazione a_t della prima onda torsionale T_1 e della seconda onda torsionale T_2 nell'elemento sensibile 101.

10 **[0181].** Il sensore 100 di posizione magnetostrittivo della figura 2 può essere rappresentato da un rispettivo modello M2 rappresentativo del sensore 100 di posizione.

[0182]. In questa forma di realizzazione, il modello M2 rappresentativo del sensore 100 di posizione è un modello magnetostrittivo, un cui esempio è
15 illustrato nella figura 6.

[0183]. Il modello M2 comprende:

[0184]. – una prima linea di ritardo D_0 , che rappresenta il tempo t_0 necessario alla prima onda torsionale T_1 per attraversare la prima regione 103;

20 **[0185].** – una seconda linea di ritardo D_1 , che rappresenta il tempo t_1 necessario alla prima onda torsionale T_1 per attraversare l'elemento sensibile 101 tra la prima regione 103 e l' almeno un cursore mobile 102;

[0186]. – una terza linea di ritardo D_2 , che rappresenta il tempo t_2 necessario alla seconda onda torsionale T_2 per attraversare l'elemento sensibile 101 tra l' almeno un cursore mobile 102 e la seconda regione 104;

25 **[0187].** – una quarta linea di ritardo D_4 , che rappresenta il tempo t_0

necessario alla seconda onda torsionale T_2 per attraversare la seconda regione 104.

[0188]. I tempi t_0 , t_1 e t_2 possono essere espressi a partire da parametri meccanici (densità ρ e modulo elastico di taglio G) e geometrici (lunghezza L della prima regione 103 e della seconda regione 104 dell'elemento sensibile 101) dell'elemento sensibile 101 e dalla posizione x dell'almeno un cursore mobile 102 rispetto alla prima regione 103.

[0189]. La velocità di propagazione a_t di un'onda torsionale in un solido è definita dalla seguente relazione matematica:

$$a_t = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad (10)$$

[0190]. in cui i termini ρ e G sono rispettivamente la densità e il modulo elastico di taglio del materiale magnetostrittivo utilizzato per la realizzazione dell'elemento sensibile 101.

[0191]. Il modulo elastico di taglio G è definito dalla seguente relazione matematica:

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)} \quad (11)$$

[0192]. in cui E rappresenta il modulo di Young dell'elemento sensibile 101 e ν rappresenta il coefficiente di Poisson dell'elemento sensibile 101.

[0193]. I tempi t_0 , t_1 e t_2 possono essere espressi utilizzando la relazione matematica (10), come segue:

$$t_0 = La_t = L \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad (12)$$

$$t_1 = xa_t = x \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad (13)$$

$$t_2 = (FS - x)a_t = (FS - x) \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad (14)$$

[0194]. La prima onda torsionale T_1 e la seconda onda torsionale T_2 sono rispettivamente rilevate nel primo contatto elettrico 105 e nel secondo contatto elettrico 106.

[0195]. Un primo tempo di eco t_{ec1} corrisponde alla somma del tempo t_1 necessario alla prima onda torsionale T_1 ad attraversare la seconda linea di ritardo D1 e del tempo t_0 necessario alla prima onda torsionale T_1 ad attraversare la prima linea di ritardo D0 mentre un secondo tempo di eco t_{ec2} corrisponde alla somma del tempo t_2 necessario alla seconda onda torsionale T_2 ad attraversare la terza linea di ritardo D2 e del tempo t_0 necessario alla seconda onda torsionale T_2 ad attraversare la quarta linea di ritardo D3.

[0196]. Dalle relazioni (12)-(14) si ottiene che il primo tempo di eco t_{ec1} ed il secondo tempo di eco t_{ec2} risultano:

$$t_{ec1} = t_0 + t_1 = (L + x) \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad (15)$$

$$t_{ec2} = t_2 + t_0 = (FS - x + L) \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad (16)$$

[0197]. Dalle relazioni matematiche (15)-(16) è possibile notare che il primo tempo di eco t_{ec1} ed il secondo tempo di eco t_{ec2} , espressi a partire dal modello M2 del sensore di posizione magnetostrittivo secondo lo schema di figura 6, dipendano dai parametri geometrici e meccanici dell'elemento sensibile 101.

[0198]. Nello specifico, tali tempi di eco sono in relazione con parametri

meccanici quali densità ρ e modulo elastico di taglio G , i quali possono essere utilizzati per inferire le condizioni anomale nel materiale magnetostrittivo utilizzato nella realizzazione dell'elemento sensibile 101.

[0199]. Per esempio, nel caso di difetti localizzati nel materiale magnetostrittivo, legati per esempio al processo di trafilatura/estrazione di tale materiale o al danneggiamento di quest'ultimo durante l'utilizzo del sensore 100 in un processo dinamico industriale, tramite la stima del modulo elastico di taglio G del materiale magnetostrittivo dell'elemento sensibile 101 è possibile individuare tali condizioni anomale, ovvero una condizione e/o un livello di usura del sensore 100 durante il suo utilizzo, le quali influiscono direttamente sulle prestazioni metrologiche del sensore.

[0200]. Pertanto, i parametri stimati del modello rappresentativo del sensore 100 di posizione rappresentativi della condizione e/o del livello di usura del sensore 100 di posizione comprendono il modulo elastico di taglio G del materiale magnetostrittivo dell'elemento sensibile 101.

[0201]. Il sensore 100 di posizione magnetostrittivo può essere modellizzato analiticamente mediante le relazioni matematiche (15)-(16), la cui unione forma il sistema matriciale sovradeterminato:

$$t = A\sqrt{G} \rightarrow \begin{bmatrix} t_{ec1} \\ t_{ec2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{L+x}{\sqrt{\rho}} \\ FS - x + L \\ \sqrt{\rho} \end{bmatrix} \sqrt{G} \quad (17)$$

[0202]. Il primo tempo di eco t_{ec1} ed il secondo tempo di eco t_{ec2} (raggruppati in un vettore t) sono legati alla radice quadrata del parametro G (modulo elastico di taglio) attraverso il vettore A .

[0203]. Assumendo la densità ρ nota e fissa, il sistema matriciale (17) si

riduce ad un sistema di due equazioni in cui l'unica incognita è il parametro G (modulo elastico di taglio).

[0204]. A tal proposito, come detto in precedenza, l'unità di elaborazione dati 30 del circuito elettronico 20 del sensore 100 è configurata per stimare
5 durante l'utilizzo del sensore 100 di posizione (in questo caso magnetostrittivo),
mediante l'esecuzione di un algoritmo di autodiagnostica del sensore 100 di
posizione, parametri (in questa forma di realizzazione, G) di un modello
rappresentativo del sensore 100 di posizione sulla base di grandezze
rappresentative del funzionamento del sensore 100 di posizione determinate
10 dal modulo 60 di monitoraggio dell'elemento sensibile 101.

[0205]. In questa forma di realizzazione, le grandezze rappresentative del
funzionamento del sensore 100 di posizione determinabili dal modulo 60 di
monitoraggio dell'elemento sensibile 101 comprendono invece il primo tempo
di eco t_{ec1} della prima onda torsionale T_1 ed il secondo tempo di eco t_{ec2} di una
15 seconda onda torsionale T_2 ed il valore di temperatura T_{CS} del corpo sensore
10 rilevato dal modulo 70 di rilevazione di temperatura.

[0206]. Come detto in precedenza, in una forma di realizzazione, l'unità di
elaborazione dati 30 è configurata per compensare le grandezze
rappresentative del funzionamento del sensore 100 di posizione sulla base di
20 un valore di temperatura del corpo sensore 10 rilevato dal modulo 70 di
rilevazione di temperatura.

[0207]. Nel caso di un sensore 100 di posizione di tipo magnetostrittivo, si fa
presente quanto segue.

[0208]. Come noto dalla letteratura, la velocità di propagazione a_t di un'onda
25 meccanica in un solido dipende dalla temperatura dello stesso, in quanto sia

la densità ρ che il modulo elastico di taglio G dipendono entrambi dalla temperatura: $a_t = (G(T_{CS}) / \rho(T_{CS}))^{1/2}$.

[0209]. Conoscendo il valore di temperatura T_{CS} del corpo sensore 10 è possibile mappare, ad opera dell'unità di elaborazione 30, il primo tempo di eco t_{ec1} ed il secondo tempo di eco t_{ec2} rilevati al valore di temperatura T_{CS} variabile come se fossero rilevati tutti ad una temperatura fissa T_{set} .

[0210]. In questo modo, la stima del parametri G del modello magnetostrittivo M2 non è influenzata dal valore di temperatura T_{CS} alla quale sono rilevati i tempi di eco.

10 **[0211].** Con riferimento ora anche alla figura 7, è descritto un algoritmo di autodiagnostica 300 implementabile dall'unità di elaborazione dati 30 del circuito elettronico 20 per stimare il parametro G .

[0212]. Anche in questa forma di realizzazione, la stima è definibile di tipo "online" in quanto è eseguibile senza ricorrere all'impiego di strumentazione esterna e/o senza dover scollegare il sensore di posizione dal processo dinamico nel quale è impiegato.

[0213]. L'algoritmo di autodiagnostica 300 comprende una fase simbolica di inizio ST.

20 **[0214].** L'algoritmo di autodiagnostica 300 comprende una fase di stimare il parametro G relativo al sensore di posizione magnetostrittivo integro, al fine di determinare le condizioni iniziali del sensore 100 di posizione magnetostrittivo.

[0215]. Anche in questo caso, per "sensore integro" s'intende un sensore che non sia mai stato utilizzato, e che risulti stoccato in maniera tale che le sue grandezze di influenza rientrino negli intervalli di valori specificati dai relativi

campi di magazzino.

[0216]. Il parametro stimato nella fase di stimare 301 è indicato con il termine \bar{G} ed è stimato dall'unità di elaborazione dati 30 risolvendo il sistema matriciale sovradeterminato (17) indicato in precedenza.

5 **[0217].** Per risolvere tale sistema matriciale è necessario disporre del primo tempo di eco t_{ec1} , del secondo tempo di eco t_{ec2} e della posizione x dell'almeno un cursore mobile 102 rispetto alla prima regione 103 alla quale sono ottenuti tali tempi di eco dal modulo 60 di monitoraggio dell'elemento sensibile 101.

10 **[0218].** In questa fase di stimare 301, la posizione x dell'almeno un cursore mobile 102 rispetto alla prima regione 103 è nota in quanto supposta rilevata da uno strumento esterno, come per esempio un asse lineare connesso meccanicamente all'almeno un cursore mobile 102.

15 **[0219].** Alla luce di tale ipotesi, la stima del parametro \bar{G} è definibile di tipo "offline", in quanto condotta ricorrendo ad una strumentazione esterna al sensore 100.

20 **[0220].** Per ottenere una stima del parametro \bar{G} robusta rispetto agli errori relativi al rilevamento del primo tempo di eco t_{ec1} e del secondo tempo di eco t_{ec2} è possibile stimare il parametro \bar{G} ai minimi quadrati, rilevando il primo tempo di eco t_{ec1} ed il secondo tempo di eco t_{ec2} in diverse posizioni x note del cursore mobile 102, lungo l'intera corsa elettrica utile del sensore 100.

[0221]. Ad esempio, si supponga, di disporre di uno stabilito numero intero N_{init} di tuple della forma $[t_{ec1}, t_{ec2}, x]$, con $N_{init} > 1$.

[0222]. In tal caso, il parametro \bar{G} è stimato ai minimi quadrati risolvendo il

seguinte sistema sovradeterminato:

$$\bar{A}\sqrt{\bar{G}} = \bar{t} \quad (18)$$

[0223]. I termini \bar{A} e \bar{t} sono due vettori $2N_{init} \times 1$, ottenuti concatenando verticalmente i diversi vettori A e t relativi alle posizioni x note dell' almeno un cursore mobile 102 alle quali sono state rilevati il primo tempo di eco t_{ec1} ed il secondo tempo di eco t_{ec2} .

[0224]. Concluso la fase 301 di stima dei parametri rappresentativi della condizione e/o del livello di usura del sensore 100 di posizione magnetostriativo a sensore integro, l'algoritmo di autodiagnostica 300 comprende una fase di memorizzare 302, ad opera dell'unità di elaborazione dati 30, il parametro \bar{G} stimato a sensore integro nell'unità di memoria 40 del circuito elettronico 20.

[0225]. L'algoritmo di autodiagnostica 300 prosegue con la stima, ad opera dell'unità di elaborazione dati 30, del parametro G' rappresentativo della condizione e/o del livello di usura del sensore 100 di posizione resistivo durante il suo utilizzo.

[0226]. Si noti che l'unità di elaborazione dati 30, al fine di stimare il parametro G' , esegue le stesse fasi eseguite in precedenza per stimare il parametro \bar{G} rappresentativo della condizione e/o del livello di usura del sensore 100 a sensore integro.

[0227]. Infatti, il parametro G' è stimato ai minimi quadrati a partire da N tuple $[t_{ec1}, t_{ec2}, x']$, con $N \geq 1$, dove il termine x' indica una stima della posizione x dell' almeno un cursore mobile 102 rispetto alla prima regione 103 alla quale sono rilevati il primo tempo di eco t_{ec1} ed il secondo tempo di eco t_{ec2} .

[0228]. In maggior dettaglio, l'algoritmo di autodiagnostica 300 comprende

una fase di inizializzare 303 una variabile contatore $n = 0$.

[0229]. Successivamente, l'algoritmo di autodiagnostica 300 comprende una fase di misurare 304, ad opera del modulo 60 di monitoraggio dell'elemento sensibile 101, il primo tempo di eco t_{ec1} , il secondo tempo di eco t_{ec2} ad una
5 incognita posizione x dell'almeno un cursore mobile 102 rispetto alla prima regione 103, durante l'utilizzo del sensore 100.

[0230]. L'algoritmo di autodiagnostica 300 comprende quindi una fase di stimare 305, ad opera dell'unità di elaborazione dati 30, un valore di posizione x' dell'almeno un cursore mobile 102 rispetto alla prima regione 103 sulla
10 base del parametro \bar{G} stimato a sensore integro e del primo tempo di eco t_{ec1} e del secondo tempo di eco t_{ec2} misurati alla fase di misurare 304 precedente.

[0231]. In particolare, il valore di posizione x' è ricavata dalla risoluzione ai minimi quadrati del seguente sistema sovradeterminato (18'):

$$\begin{bmatrix} t_{ec1}\sqrt{\frac{\bar{\rho}}{\bar{G}}} - L \\ t_{ec2}\sqrt{\frac{\bar{\rho}}{\bar{G}}} - L - FS \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \end{bmatrix} x' \quad (18')$$

[0232]. L'algoritmo di autodiagnostica 300 comprende quindi una fase di
15 memorizzare 306, ad opera dell'unità di elaborazione dati 30, della tupla $[t_{ec1}, t_{ec2}, x']$ nell'unità di memoria 40 del circuito elettronico 20.

[0233]. Successivamente, l'algoritmo di autodiagnostica 300 comprende quindi una fase di incrementare 307, ad opera dell'unità di elaborazione dati 30, la variabile contatore n di un'unità.

[0234]. L'algoritmo di autodiagnostica 300 comprende quindi una fase di
20 verificare 308, ad opera dell'unità di elaborazione dati 30, se la variabile

contatore n incrementata sia minore di N ($n < N$).

[0235]. Fintanto che $n < N$ (Y-S nella figura 7) l'unità di elaborazione dati 30 ripete le fasi precedenti da 304 a 307.

[0236]. Nel caso in cui $n = N$ (N-O nella figura 7), la ripetizione delle fasi da
5 304 a 307 termina con l' N -esima iterazione.

[0237]. A questo punto, nell'unità di memoria 40 del circuito elettronico 20 sono state immagazzinate dall'unità di elaborazione dati 30 N tuple della forma $[t_{ec1}, t_{ec2}, x']$.

[0238]. Successivamente, l'algoritmo di autodiagnostica 300 comprende una
10 fase di stimare 309, ad opera dell'unità di elaborazione dati 30, il parametro G' durante l'utilizzo del sensore 100, sulla base delle N tuple $[t_{ec1}, t_{ec2}, x']$ presenti nell'unità di memoria 40 del circuito elettronico 20.

[0239]. Analogamente alla stima del parametro \bar{G} stimato a sensore integro, la stima durante l'utilizzo del sensore 100 del parametro G' è determinata, ad
15 opera dell'unità di elaborazione dati 30, mediante la risoluzione ai minimi quadrati del seguente sistema sovradeterminato:

$$A'\sqrt{G'} = t' \quad (19)$$

[0240]. in cui A' e t' sono dei vettori $2N \times 1$ ottenuti dalla concatenazione verticale dei diversi vettori A e t relativi alle N tuple $[t_{ec1}, t_{ec2}, x']$ ottenute dalle N iterazioni delle fasi 304-307 precedenti.

[0241]. L'algoritmo di autodiagnostica 300 comprende una prima fase di
20 memorizzare 310, ad opera dell'unità di elaborazione dati 30, il parametro G' stimato nell'unità di memoria 40 del circuito elettronico 20 al passo 309.

[0242]. L'algoritmo di autodiagnostica 300 comprende inoltre una seconda fase di memorizzare 311, ad opera dell'unità di elaborazione dati 30, il valore

di temperatura T_{CS} del corpo sensore 10 rilevato dal modulo 70 di rilevazione di temperatura nell'unità di memoria 40 del circuito elettronico 20.

[0243]. Il parametro G' memorizzato nella prima fase di memorizzare 310 e il valore di temperatura T_{CS} del corpo sensore 10 memorizzato nella seconda
5 fase di memorizzare 311 sono posti in relazione in quanto sussiste una correlazione, come noto dalla fisica, tra la velocità di propagazione a_t dell'onda torsionale e il valore di temperatura T_{CS} del corpo sensore 10 memorizzato.

[0244]. L'algoritmo di autodiagnostica 300 comprende una fase simbolica di fine ED.

10 **[0245].** In una forma di realizzazione, in combinazione con la precedente e mostrata con linee tratteggiate nella figura 7, l'algoritmo di diagnostica 300 comprende una fase di trasmettere 312, ad opera dell'unità di elaborazione dati 30 tramite il modulo di comunicazione 50, il parametro G' stimato e il valore della temperatura T_{CS} ad un dispositivo utilizzatore esterno quale, ad
15 esempio, un display, un supporto di memorizzazione esterno, un database, e così via.

[0246]. Con riferimento alla figura 8, viene ora descritto il circuito elettronico 20 impiegabile all'interno del sensore 100 di posizione, in accordo ad una forma di realizzazione della presente invenzione.

20 **[0247].** Il circuito elettronico 20, per chiarezza d'illustrazione mostrato esternamente al sensore 100 di posizione nella figura 8, comprende, come già detto in precedenza:

[0248]. – un'unità di elaborazione dati 30;

[0249]. – un'unità di memoria 40 operativamente associata all'unità di

elaborazione dati 30;

[0250]. – un modulo di comunicazione 50 operativamente collegato all'unità di elaborazione dati 30;

[0251]. – un modulo 60 di monitoraggio dell'elemento sensibile 101 operativamente collegato all'unità di elaborazione dati 30 ed almeno
5 all'elemento sensibile 101 del sensore 100;

[0252]. – un modulo 70 di rilevazione di temperatura operativamente collegato all'unità di elaborazione dati 30; il modulo 70 di rilevazione di temperatura è configurato per rilevare un valore di temperatura T_{CS} del corpo
10 sensore 10.

[0253]. L'unità di elaborazione dati 30, l'unità di memoria 40, il modulo di comunicazione 50 ed il modulo 70 di rilevazione di temperatura rappresentano una porzione fissa 20' del circuito elettronico 20, ovvero quella
15 porzione del circuito elettronico 20 che, da un punto di vista hardware, rimane invariata al variare della tipologia di sensore di posizione all'interno del quale il circuito elettronico 20 è installato.

[0254]. Il modulo 60 di monitoraggio dell'elemento sensibile 101 rappresenta invece una porzione variabile 20" del circuito elettronico 20, ovvero quella
20 porzione del circuito elettronico 20 che è configurata in modo opportuno per determinare specifiche grandezze rappresentative del funzionamento del sensore 100 di posizione a seconda della tipologia di sensore di posizione all'interno del quale il circuito elettronico 20 è installato, quindi a seconda del modello rappresentativo del sensore di posizione impiegato per l'implementazione dell'algoritmo di autodiagnostica.

[0255]. Con riferimento ancora alla porzione fissa del circuito elettronico 20,

l'unità di elaborazione 30, implementabile per esempio attraverso un opportuno microcontrollore, è configurata per determinare la posizione assoluta dell'almeno un cursore 102 rispetto all'elemento sensibile 101 del sensore 100 e per implementare un algoritmo di autodiagnostica relativo alla
5 tipologia di sensore di posizione all'interno del quale è installato il circuito elettronico 20.

[0256]. L'esecuzione dell'algoritmo di autodiagnostica da parte dell'unità di elaborazione dati 30 è coadiuvata dall'unità memoria 40 e dal modulo 60 di monitoraggio dell'elemento sensibile 101.

10 **[0257].** L'unità di memoria 40 è utilizzata principalmente per memorizzare i parametri relativi alla condizione del sensore di posizione integro e i dati intermedi prodotti durante l'esecuzione dell'algoritmo di autodiagnostica.

[0258]. Il modulo di comunicazione 50 è configurato per trasferire ad un utilizzatore esterno (display, dispositivo di memorizzazione esterno,
15 database, etc.) le informazioni prodotte dall'unità di elaborazione 30 circa le condizioni e/o il livello di usura del sensore di posizione.

[0259]. Si noti che il trasferimento di tali informazioni può avvenire sia per via cablata sia per via wireless.

[0260]. Si noti che, in una forma di realizzazione, in cui il sensore 100 di
20 posizione sia magnetostrittivo, il circuito elettronico 20 è collegato al primo contatto elettrico 105 ed al secondo contatto elettrico 106 del sensore 100.

[0261]. In una ulteriore forma di realizzazione, in cui il sensore 100 di posizione sia resistivo (mostrata con linee tratteggiate nella figura 8), il circuito elettronico 20 è inoltre collegato al terzo contatto elettrico 107

elettricamente connesso all'almeno un cursore mobile 102.

[0262]. Con riferimento alla porzione variabile del circuito elettronico 20 ed alla figura 9, viene ora descritto il modulo 60 di monitoraggio dell'elemento sensibile 101 in accordo ad una forma di realizzazione, in combinazione con
5 una qualsiasi delle precedenti in cui il sensore 100 di posizione sia resistivo.

[0263]. Come detto in precedenza, nel caso in cui il sensore 100 di posizione sia resistivo, l'algoritmo di autodiagnostica 200 (figura 5) è progettato per stimare i parametri R_0 , R_c e ξ del modello resistivo M1 relativo ad un sensore di posizione resistivo, al fine di monitorare le condizioni e/o il livello di usura
10 di tale sensore.

[0264]. Per stimare i parametri R_0 , R_c e ξ , l'algoritmo di autodiagnostica 200 richiede la misurazione delle resistenze elettriche tra il primo contatto elettrico 105 ed il terzo contatto elettrico 107, indicata con R_{12} , tra il terzo contatto elettrico 107 ed il secondo contatto elettrico 106, indicata con R_{23} , tra il primo
15 contatto elettrico 105 ed il secondo contatto elettrico 106, indicata con R_{13} .

[0265]. La resistenza elettrica può essere misurata ricorrendo a diverse metodologie, per esempio mediante il metodo amperometro-voltmetro, ponte di Wheatstone, ponte Carey-Foster, e così via.

[0266]. L'approccio più immediato è costituito dal metodo amperometro-voltmetro, il quale determina la resistenza elettrica a partire dalla tensione elettrica ai suoi capi e dalla corrente elettrica che scorre attraverso essa.
20

[0267]. Utilizzando tale approccio, dunque, le resistenze elettriche R_{12} , R_{23} e R_{13} sono misurate a partire dalle tensioni elettriche tra il primo contatto elettrico 105 ed il terzo contatto elettrico 107, tra il terzo contatto elettrico 107 ed il secondo contatto elettrico 106, tra il primo contatto elettrico 105 ed il
25

secondo contatto elettrico 106, indicate rispettivamente con i termini V_{12} , V_{23} e V_{13} , e dalle correnti elettriche che scorrono tra il primo contatto elettrico 105 ed il terzo contatto elettrico 107, tra il terzo contatto elettrico 107 ed il secondo contatto elettrico 106, tra il primo contatto elettrico 105 ed il secondo contatto elettrico 106, indicate rispettivamente con i termini I_{12} , I_{23} e I_{13} .

[0268]. Le resistenze elettriche R_{12} , R_{23} e R_{13} sono dunque valutate applicando la prima legge di Ohm, come riportato nelle seguenti equazioni:

$$R_{12} = \frac{V_{12}}{I_{12}} \quad (20)$$

$$R_{23} = \frac{V_{23}}{I_{23}} \quad (21)$$

$$R_{13} = \frac{V_{13}}{I_{13}} \quad (22)$$

[0269]. In questa forma di realizzazione, il modulo 60 di monitoraggio dell'elemento sensibile 101, implementato all'interno del circuito elettronico 20 installato su un sensore di posizione resistivo, è realizzato al fine di fornire all'unità di elaborazione dati 20 le tensioni elettriche V_{12} , V_{23} , V_{13} e le correnti elettriche I_{12} , I_{23} e I_{13} .

[0270]. A partire da tali grandezze, l'unità di elaborazione dati 30 determina le resistenze elettriche R_{12} , R_{23} e R_{13} secondo le equazioni (20)-(22).

[0271]. Da un punto di vista circuitale, con riferimento alla figura 9, il modulo 60 di monitoraggio dell'elemento sensibile 101 per un sensore di posizione resistivo comprende un blocco di commutazione (switching) 91, un generatore di corrente elettrica 92 e un convertitore analogico-digitale 93.

[0272]. Il generatore di corrente elettrica 92 è configurato per imporre una corrente elettrica I nota attraverso una coppia di contatti elettrici tra il primo

contatto elettrico 105 ed il terzo contatto elettrico 107, il terzo contatto elettrico 107 ed il secondo contatto elettrico 106 ed il primo contatto elettrico 105 ed il secondo contatto elettrico 106.

5 **[0273].** Il convertitore analogico-digitale 93 è configurato per digitalizzare e trasferire all'unità di elaborazione 30 una tensione elettrica V , generata ai capi di tale coppia di contatti elettrici dalla corrente elettrica I .

10 **[0274].** Ciascuna coppia di contatti elettrici è selezionabile in modo sequenziale tramite il blocco di commutazione 91, il quale può essere composto da una pluralità di interruttori, opportunamente interconnessi tra loro e con il sensore 100 di posizione resistivo, il generatore di corrente 92 e il convertitore analogico-digitale 93.

[0275]. Il blocco di commutazione 91 è operativamente collegato all'unità di elaborazione dati 30 (non mostrata nella figura 9) la quale è configurata per pilotare il blocco di commutazione 91.

15 **[0276].** L'unità di elaborazione dati 30 è configurata per determinare il valore di resistenze elettriche R_{12} , R_{23} e R_{13} del modello resistivo M1 a partire dalla coppia di contatti elettrici selezionata, dalla tensione elettrica V digitalizzata e dal valore della corrente elettrica I nota.

20 **[0277].** Con riferimento ancora alla porzione variabile del circuito elettronico ed alla figura 10, viene ora descritto il modulo 60 di monitoraggio dell'elemento sensibile 101 in accordo ad una ulteriore forma di realizzazione, in combinazione con una qualsiasi delle precedenti in cui il sensore 100 di posizione sia magnetostrittivo.

25 **[0278].** Come detto in precedenza, nel caso in cui il sensore 100 di posizione sia magnetostrittivo, l'algoritmo di autodiagnostica 300 (figura 7) è progettato

per stimare il parametro G (modulo elastico di taglio) del modello magnetostrittivo M2 relativo ad un sensore di posizione magnetostrittivo, al fine di monitorare la condizioni e/o il livello di usura di tale sensore.

[0279]. Per stimare il parametro G , l'algoritmo di autodiagnostica 300
5 richiede il rilevamento del primo tempo di eco t_{ec1} che intercorre tra il lancio di un impulso di corrente nell'elemento sensibile 101 ed il rilevamento del passaggio della prima onda torsionale T_1 nel primo contatto elettrico 105 ed il rilevamento del secondo tempo di eco t_{ec2} che intercorre tra il lancio dell'impulso di corrente nell'elemento sensibile 101 ed il rilevamento del
10 passaggio della seconda onda torsionale T_2 nel secondo contatto elettrico 106.

[0280]. Come già detto in precedenza, con riferimento al modello M2 della figura 6, il primo tempo di eco t_{ec1} corrisponde al tempo impiegato dalla prima
15 onda torsionale T_1 ad attraversare la seconda linea di ritardo D1 e la prima linea di ritardo D0 mentre il secondo tempo di eco t_{ec2} corrisponde al tempo impiegato dalla seconda onda torsionale T_2 ad attraversare la terza linea di ritardo D2 e la quarta linea di ritardo D3.

[0281]. In questa forma di realizzazione, il modulo 60 di monitoraggio dell'elemento sensibile 101, implementato all'interno del circuito elettronico
20 installato su un sensore di posizione magnetostrittivo, è realizzato al fine di rilevare il passaggio della prima onda torsionale T_1 e della seconda onda torsionale T_2 rispettivamente per il primo contatto elettrico 105 ed il secondo contatto elettrico 106 e di fornire conseguentemente all'unità di elaborazione dati 30 il primo tempo di eco t_{ec1} ed il secondo tempo di eco t_{ec2} .

[0282]. Da un punto di vista circuitale, con riferimento alla figura 10, il modulo
25

60 di monitoraggio dell'elemento sensibile 101 per un sensore di posizione magnetostrittivo comprende un blocco di rilevamento 111, un generatore di impulsi di corrente elettrica 112 e un blocco di temporizzazione 113.

[0283]. Il generatore di impulsi di corrente elettrica 112, operativamente
5 collegato all'unità di elaborazione 30, è configurato per imporre il passaggio di una corrente elettrica impulsiva all'interno dell'elemento sensibile 101 tramite il primo contatto 105 ed il secondo contatto 106.

[0284]. Tale corrente impulsiva genera un campo magnetico impulsivo che interagisce con il campo magnetico generato dal magnete permanente
10 presente sull'almeno un cursore mobile 102.

[0285]. Dall'interazione magnetica tra i due campi magnetici si originano simultaneamente la prima onda torsionale T_1 e la seconda onda torsionale T_2 , le quali si propagano nell'elemento sensibile 101 rispettivamente verso il primo contatto elettrico 105 ed il secondo contatto elettrico 107.

15 **[0286].** Il blocco di rilevamento 111 è configurato per rilevare la prima onda torsionale T_1 e la seconda onda torsionale T_2 .

[0287]. In maggior dettaglio, il blocco di rilevamento 111 potrebbe contemplare, per esempio, l'utilizzo di un primo disco piezoelettrico ed un secondo disco piezoelettrico rispettivamente connessi meccanicamente alla
20 prima regione 103 ed alla seconda regione 104 dell'elemento sensibile 101.

[0288]. Tali dischi piezoelettrici sono configurati per convertire una deformazione meccanica dell'elemento sensibile 101 dovuta alla prima onda torsionale T_1 ed alla seconda onda torsionale T_2 in un rispettivo segnale elettrico, il quale è utilizzato per rilevare il passaggio della prima onda
25 torsionale T_1 per il primo contatto elettrico 105 ed il passaggio della seconda

onda torsionale T_2 per il secondo contatto elettrico 106.

[0289]. Il blocco di temporizzazione 113 è configurato per rilevare e fornire all'unità di elaborazione dati 30 il primo tempo di eco t_{ec1} ed il secondo tempo di eco t_{ec2} .

5 **[0290].** In una forma di realizzazione, in combinazione con la precedente, il blocco di temporizzazione 113 comprende un primo timer TM1 ed un secondo timer TM2.

[0291]. Entrambi questi timer sono avviati dall'unità di elaborazione dati 30 quando quest'ultima comanda la trasmissione al generatore di impulsi di
10 corrente elettrica 112 di generare l'impulso di corrente elettrica nell'elemento sensibile 101.

[0292]. Il primo timer TM1 è configurato per essere arrestato dal blocco di rilevamento 111 non appena quest'ultimo rileva il passaggio della prima onda torsionale T_1 per il primo contatto elettrico 105.

15 **[0293].** Il secondo timer TM2 è arrestato dal sistema di rilevamento 111 al passaggio della seconda onda torsionale T_2 per il secondo contatto elettrico 106.

[0294]. In accordo ad una forma di realizzazione, in combinazione con una qualsiasi delle precedenti, il sensore 100 comprende inoltre uno o più ulteriori
20 cursori mobili 102' operativamente collegati al corpo sensore 10 in modo da poter scorrere rispetto al corpo sensore 10 coassialmente lungo l'asse di sviluppo longitudinale d del corpo sensore 10.

[0295]. In questa forma di realizzazione, l'unità di elaborazione dati 30 è inoltre configurata per determinare la posizione assoluta di detti uno o più cursori

ulteriori mobili 102' rispetto all'elemento sensibile 101 del sensore 100.

[0296]. La posizione assoluta di detti uno o più ulteriori cursori mobili 102' rispetto all'elemento sensibile 101 è una quantità trasdotta dal sensore 100 durante il suo utilizzo che rappresenta una misura sotto monitoraggio
5 rappresentativa del movimento relativo tra l'elemento sensibile 101 e l'almeno un cursore 102.

[0297]. La presenza di più cursori mobili consente vantaggiosamente all'unità di elaborazione dati 30 di stimare i parametri rappresentativi della condizione e/o del livello di usura del sensore 100 di posizione durante il suo
10 utilizzo senza dover eseguire una fase di stima di parametri rappresentativi del sensore integro che, dovendo essere condotta "offline", richiede strumentazione esterna in grado di registrare le diverse posizioni alle quali era posto il cursore mobile (nel caso in cui sia singolo).

[0298]. In accordo ad una forma di realizzazione, mostrata nella figura 11 in
15 combinazione con una qualsiasi delle precedenti in cui il sensore di posizione sia resistivo, il sensore 100 comprende inoltre un secondo cursore mobile 102' operativamente collegato al corpo sensore 10 in modo da poter scorrere rispetto al corpo sensore 10 coassialmente lungo l'asse di sviluppo longitudinale d del corpo sensore 10.

[0299]. Il secondo cursore mobile 102' comprende un rispettivo contatto
20 strisciante.

[0300]. Il sensore 100 comprende inoltre un ulteriore contatto elettrico 107' elettricamente collegato al secondo cursore mobile 102'.

[0301]. La posizione dell'almeno un cursore mobile 102 rispetto alla prima
25 regione 103 dell'elemento sensibile 101 è indicata con x1 mentre la posizione

del secondo cursore mobile 102' rispetto alla prima regione 103 dell'elemento sensibile è indicata con x_2 .

[0302]. L'almeno un cursore mobile 102 ed il secondo cursore mobile 102' sono posizionati ad una stabilita distanza reciproca Δx , fissa e nota.

5 **[0303].** Il sensore 100 di posizione resistivo della figura 11 può essere rappresentato da un rispettivo modello M1' rappresentativo del sensore 100 di posizione.

[0304]. In questa forma di realizzazione, il modello M1' rappresentativo del sensore 100 di posizione è un modello resistivo, un cui esempio è illustrato
10 nella figura 12.

[0305]. Il modello M1' comprende:

[0306]. – un primo resistore R1, la cui resistenza è indicata con R_0 , che rappresenta la resistenza del primo contatto elettrico 105 e della prima regione 103;

15 **[0307].** – un secondo resistore R2, la cui resistenza è indicata con R_0 , che rappresenta la resistenza del secondo contatto elettrico 106 e della seconda regione 104;

[0308]. – un terzo resistore R3, la cui resistenza è indicata con R_c , che rappresenta la resistenza del contatto strisciante compreso nell'almeno un
20 cursore mobile 102;

[0309]. – un quarto resistore R4, la cui resistenza è indicata con R_c , che rappresenta la resistenza del contatto strisciante compreso nel secondo cursore mobile 102';

[0310]. – un quinto resistore R5, la cui resistenza è indicata con R_{p1} , che
25 rappresenta una prima partizione resistiva dell'elemento sensibile 101 tra la

prima regione 103 e la posizione dell' almeno un cursore mobile 102;

[0311]. – un sesto resistore R6, la cui resistenza è indicata con ΔR , che rappresenta una seconda partizione resistiva dell'elemento sensibile 101 tra la posizione dell' almeno un cursore mobile 102 e la posizione del secondo
5 cursore mobile 102'.

[0312]. – un settimo resistore R7, la cui resistenza è indicata con R_{p2} , che rappresenta una terza partizione resistiva dell'elemento sensibile 101 tra la seconda regione 104 e la posizione del secondo cursore mobile 102'.

[0313]. In maggior dettaglio, il valore di resistenza R_{p1} del quinto resistore
10 R5, il valore di resistenza ΔR del sesto resistore R6 e il valore di resistenza R_{p2} del settimo resistore R7 possono essere espressi a partire da parametri elettrici (resistività ρ) e geometrici (sezione S) dell'elemento sensibile 101, della posizione x_1 dell' almeno un cursore mobile 102 rispetto alla prima regione 103 dell'elemento sensibile 101, della posizione x_2 del secondo
15 cursore mobile 102' rispetto alla prima regione 103 dell'elemento sensibile 101 e della stabilita distanza reciproca Δx tra l' almeno un cursore mobile 102 ed il secondo cursore mobile 102'.

[0314]. Al proposito, il valore di resistenza R_{p1} del quinto resistore R5, il valore di resistenza ΔR del sesto resistore R6 e il valore di resistenza R_{p2} del
20 settimo resistore R7 possono essere espressi dalle seguenti relazioni matematiche:

$$R_{p1} = \frac{\rho}{S} x_1 = \xi x_1 \quad (23)$$

$$\Delta R = \frac{\rho}{S} \Delta x = \xi \Delta x \quad (24)$$

$$R_{p2} = \frac{\rho}{S} (FS - x_2) = \xi (FS - x_2) \quad (25)$$

[0315]. Il valore di resistenza tra il primo contatto elettrico 105 ed il terzo contatto elettrico 107 è indicato con R_{12a} . Il valore di resistenza tra il primo contatto elettrico 105 e l'ulteriore contatto elettrico 107' è indicato con R_{12b} . Il valore di resistenza tra il terzo contatto elettrico 107 e il secondo contatto elettrico 106 è indicato con R_{23a} . Il valore di resistenza tra l'ulteriore contatto elettrico 107' e il secondo contatto elettrico 106 è indicato con R_{23b} . Il valore di resistenza tra il primo contatto elettrico 105 e il secondo contatto elettrico 106 è indicato con R_{13} .

[0316]. Questi valori di resistenze sono nuovamente esprimibili in funzione dei parametri R_0 , R_c e ξ del modello resistivo M1', come riportato nelle equazioni matematiche (26)-(30):

$$R_{12a} = R_0 + R_{p1} + R_c = R_0 + \xi x_1 + R_c \quad (26)$$

$$R_{12b} = R_0 + R_{p1} + \Delta R + R_c' = R_0 + \xi x_2 + R_c \quad (27)$$

$$R_{23a} = R_0 + \Delta R + R_{p2} + R_0 = R_0 + \xi(FS - x_1) + R_c \quad (28)$$

$$R_{23b} = R_c + R_{p2} + R_0 = R_0 + \xi(FS - x_2) + R_c \quad (29)$$

$$R_{13} = R_0 + R_{p1} + \Delta R + R_{p2} + R_0 = 2R_0 + \xi FS \quad (30)$$

[0317]. Sottraendo la (27) dalla (26) e sommando la (26) con la (29) si ottengono:

$$\Delta = R_{12b} - R_{12a} = \xi(x_2 - x_1) = \xi \Delta x \quad (31)$$

$$\Sigma = R_{12a} + R_{23b} = \xi(x_2 - x_1) = 2R_0 + 2R_c + \xi(FS - \Delta x) \quad (32)$$

[0318]. Da quanto considerato precedentemente, i parametri R_0 , R_c e ξ sono vantaggiosamente rappresentativi della condizione e/o del livello di usura del sensore 100 di posizione durante il suo utilizzo, influenzando direttamente sulle

prestazioni metrologiche del sensore.

[0319]. Per questo motivo, è possibile modellizzare analiticamente il sensore 100 di posizione resistivo mediante le relazioni matematiche (30)-(32), la cui unione forma il seguente sistema matriciale (33):

$$\hat{R} = \hat{A}\hat{p} \rightarrow \begin{bmatrix} \Delta \\ \Sigma \\ R_{13} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \Delta x \\ 2 & 2 & FS - \Delta x \\ 2 & 0 & FS \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_0 \\ R_c \\ \xi \end{bmatrix} \quad (33)$$

5 **[0320].** Le resistenze Δ , Σ e R_{13} (raggruppate nel vettore \hat{R}) sono legate ai parametri R_0 , R_c e ξ (raggruppati nel vettore \hat{p}) attraverso la matrice \hat{A} .

[0321]. La stima dei parametri \hat{p} permette di monitorare la condizione e/o il livello di usura del sensore 100 di posizione resistivo durante il suo utilizzo, come rappresentato nella figura 11, influenti sulle prestazioni metrologiche del sensore 100.

[0322]. Si noti che il modello resistivo M1' relativo al sensore 100 di posizione resistivo della forma di realizzazione della figura 11 differisce dal modello resistivo M1 relativo al sensore 100 di posizione resistivo della forma di realizzazione della figura 3 per il fatto che gli elementi della matrice \hat{A} non dipendono dalla posizione assoluta dell' almeno un cursore 102 e del secondo cursore 102' ma solamente dalla loro distanza reciproca Δx .

[0323]. Questa differenza permette di associare al sensore 100 di posizione resistivo un ulteriore algoritmo di autodiagnostica, descritto nel seguito in accordo ad un'ulteriore forma di realizzazione, in grado di stimare direttamente durante l'utilizzo del sensore 100 i parametri R_0 , R_c e ξ , senza necessitare della loro stima "offline" iniziale, ovvero a sensore integro, la quale doveva essere realizzata mediante l'utilizzo di un sistema esterno per

il rilevamento della posizione x dell' almeno un cursore 102.

[0324]. A tal proposito, come detto in precedenza, l'unità di elaborazione dati 30 del circuito elettronico 20 del sensore 100 è configurata per stimare durante l'utilizzo del sensore 100 di posizione (in questo caso resistivo),
5 mediante l'esecuzione di un algoritmo di autodiagnostica del sensore 100 di posizione, parametri (in questa forma di realizzazione, R_0 , R_C e ξ) di un modello rappresentativo del sensore 100 di posizione sulla base di grandezze rappresentative del funzionamento del sensore 100 di posizione determinate dal modulo 60 di monitoraggio dell'elemento sensibile 101.

10 **[0325].** In questa forma di realizzazione, le grandezze rappresentative del funzionamento del sensore 100 di posizione determinabili dal modulo 60 di monitoraggio dell'elemento sensibile 101 comprendono valori di tensioni elettriche (V_{12a} , V_{12b} , V_{23b} , V_{13}) e correnti elettriche (I_{12a} , I_{12b} , I_{23b} , I_{13}), descritte nel seguito, impiegabili per la determinazione dei valori di resistenza R_{12a} , R_{12b} ,
15 R_{23b} , R_{13} ed il valore di temperatura T_{CS} del corpo sensore 10 rilevato dal modulo 70 di rilevazione di temperatura.

[0326]. Come detto in precedenza, in una forma di realizzazione, l'unità di elaborazione dati 30 è configurata per compensare le grandezze rappresentative del funzionamento del sensore 100 di posizione sulla base di
20 un valore di temperatura del corpo sensore 10 rilevato dal modulo 70 di rilevazione di temperatura.

[0327]. Nel caso del sensore 100 di posizione di tipo resistivo in cui sia presente anche il secondo cursore mobile 102', sono valide le stesse considerazioni, qui non ripetute, già descritte in precedenza per il sensore
25 100 di posizione di tipo resistivo in cui è presente solo l' almeno un cursore

mobile 102.

[0328]. Con riferimento ora anche alla figura 13, è descritto un algoritmo di autodiagnostica 400 implementabile dall'unità di elaborazione dati 30 del circuito elettronico 20 per stimare i parametri R_0 , R_C e ξ .

5 **[0329].** Si osservi che tale stima è definibile di tipo “*online*” in quanto è eseguibile senza ricorrere all'impiego di strumentazione esterna e/o senza dover scollegare il sensore di posizione dal processo dinamico nel quale è impiegato.

[0330]. L'algoritmo di autodiagnostica 400 comprende una fase simbolica di
10 inizio ST.

[0331]. L'algoritmo di autodiagnostica 400 comprende una fase di inizializzare 401 una variabile contatore $n = 0$.

[0332]. Successivamente, l'algoritmo di autodiagnostica 400 comprende una fase di misurare 402, ad opera del modulo 60 di monitoraggio dell'elemento
15 sensibile 101, valori di resistenza R_{12a} , R_{12b} , R_{23b} , R_{13} . Tale misura può essere effettuata al variare della posizione x_1 dell'almeno un cursore mobile 102 rispetto alla prima regione 103 e della posizione x_2 del secondo cursore 102' dalla prima regione 103.

[0333]. L'algoritmo di autodiagnostica 400 comprende una fase di
20 determinare 403, ad opera dell'unità di elaborazione dati 30, valori di resistenze Δ e Σ rispettivamente secondo le equazioni matematiche (31)-(32), a partire dalla misura dei valori di resistenza R_{12a} , R_{12b} , R_{23b} , R_{13} .

[0334]. L'algoritmo di autodiagnostica 400 comprende quindi una fase di memorizzare 404, ad opera dell'unità di elaborazione dati 30, la tupla $[\Delta, \Sigma,$

R₁₃] nell'unità di memoria 40 del circuito elettronico 20.

[0335]. Successivamente, l'algoritmo di autodiagnostica 400 comprende quindi una fase di incrementare 405, ad opera dell'unità di elaborazione dati 30, la variabile contatore n di un'unità.

5 **[0336].** L'algoritmo di autodiagnostica 400 comprende quindi una fase di verificare 406, ad opera dell'unità di elaborazione dati 30, se la variabile contatore n incrementata sia minore di N ($n < N$), con N numero intero ≥ 1 .

[0337]. Fintanto che $n < N$ (Y-S nella figura 13) l'unità di elaborazione dati 30 ripete le fasi precedenti da 402 a 405.

10 **[0338].** Nel caso in cui $n = N$ (N-O nella figura 13), la ripetizione delle fasi da 402 a 405 termina con l'N-esima iterazione.

[0339]. A questo punto, nell'unità di memoria 40 del circuito elettronico 20 sono state immagazzinate dall'unità di elaborazione dati 30 N tuple della forma $[\Delta, \Sigma, R_{13}]$.

15 **[0340].** Successivamente, l'algoritmo di autodiagnostica 400 comprende una fase di stimare 407, ad opera dell'unità di elaborazione dati 30, i parametri R_0, R_c e ξ , durante l'utilizzo del sensore 100, sulla base delle N tuple $[\Delta, \Sigma, R_{13}]$ presenti nell'unità di memoria 40 del circuito elettronico 20.

20 **[0341].** Tale stima è ottenuta dalla risoluzione ai minimi quadrati del seguente sistema matriciale sovradeterminato (34):

$$\bar{\bar{A}}\bar{\bar{p}} = \bar{\bar{R}} \quad (34)$$

[0342]. in cui $\bar{\bar{A}}$ e $\bar{\bar{R}}$ sono rispettivamente una matrice $3N \times 3$ e un vettore $3N \times 1$, ottenuti concatenando verticalmente le diverse matrici \hat{A} e i diversi vettori \hat{R} relativi alle N tuple $[\Delta, R, R_{13}]$ presenti nell'unità di memoria 40 del

circuito elettronico 10.

[0343]. L'algoritmo di autodiagnostica 400 comprende una prima fase di memorizzare 408, ad opera dell'unità di elaborazione dati 30, i parametri $\bar{p} = [\bar{R}_0, \bar{R}_c, \bar{\xi}]$ stimati nell'unità di memoria 40 del circuito elettronico 20.

5 **[0344].** L'algoritmo di autodiagnostica 400 comprende inoltre una seconda fase di memorizzare 409, ad opera dell'unità di elaborazione dati 30, il valore di temperatura T_{CS} del corpo sensore 10 rilevato dal modulo 70 di rilevazione di temperatura nell'unità di memoria 40 del circuito elettronico 20.

[0345]. I parametri $\bar{p} = [\bar{R}_0, \bar{R}_c, \bar{\xi}]$ stimati memorizzati nella prima fase di
10 memorizzare 408 e il valore di temperatura T_{CS} del corpo sensore 10 memorizzato nella seconda fase di memorizzare 409 sono posti in relazione in quanto sussiste una correlazione, come noto dalla fisica, tra i parametri $\bar{p} = [\bar{R}_0, \bar{R}_c, \bar{\xi}]$ stimati e il valore attuale di temperatura T_{CS} del corpo sensore 10 memorizzato.

15 **[0346].** L'algoritmo di autodiagnostica 400 comprende una fase simbolica di fine ED.

[0347]. In una forma di realizzazione, in combinazione con la precedente e mostrata con linee tratteggiate nella figura 13, l'algoritmo di diagnostica 200 comprende una fase di trasmettere 410, ad opera dell'unità di elaborazione
20 dati 30 tramite il modulo di comunicazione 50, i parametri $\bar{p} = [\bar{R}_0, \bar{R}_c, \bar{\xi}]$ stimati e il valore di temperatura T_{CS} ad un dispositivo utilizzatore esterno quale, ad esempio, un display, un supporto di memorizzazione esterno, un database, e così via.

[0348]. In una forma di realizzazione, mostrata nella figura 14 ed in
25 combinazione ad una qualsiasi delle precedenti in cui il sensore 100 sia un

sensore di posizione magnetostrittivo, il sensore 100 comprende inoltre un secondo cursore mobile 102' operativamente collegato al corpo sensore 10 in modo da poter scorrere rispetto al corpo sensore 10 coassialmente lungo l'asse di sviluppo longitudinale d del corpo sensore 10.

5 **[0349].** Il secondo cursore mobile 102' comprende un rispettivo magnete permanente.

[0350]. Il sensore 100 comprende il primo contatto elettrico 105 elettricamente collegato alla prima regione 103 dell'elemento sensibile 101 ed il secondo contatto elettrico 106 elettricamente collegato alla seconda
10 regione 104 dell'elemento sensibile 101.

[0351]. Si noti che essendo il sensore 100 di posizione magnetostrittivo privo di contatto (*contactless*) tra l'elemento sensibile 101 e l'almeno un cursore mobile 102 ed il secondo cursore mobile 102', il sensore 100 è privo di qualsiasi contatto elettrico elettricamente collegato all'almeno un cursore
15 mobile 102 ed al secondo cursore mobile 102'.

[0352]. La misurazione (trasduzione) della posizione x_1 dell'almeno un cursore mobile 102 rispetto alla prima regione 103 e della posizione x_2 del secondo cursore mobile 102' rispetto alla prima regione 103 può essere realizzata in diversi modi.

20 **[0353].** Per esempio, la posizione di un cursore mobile può essere trasferita all'elemento sensibile 101 mediante interazione magnetica tra il campo magnetico generato dal magnete permanente presente su quel cursore mobile e dal campo magnetico generato dallo scorrimento di una corrente elettrica impulsiva nell'elemento sensibile 101.

25 **[0354].** L'interazione magnetica tra il campo magnetico generato dall'impulso

di corrente elettrica nell'elemento sensibile 101 e il campo magnetico relativo al singolo magnete permanente presente su un cursore mobile genera simultaneamente due onde torsionali.

5 **[0355].** In totale, dunque, sono presenti quattro onde torsionali, due per ogni cursore mobile presente.

[0356]. In maggior dettaglio, per quanto riguarda l'almeno un cursore mobile 102, sono presenti:

[0357]. – una prima onda torsionale T_1 che si propaga verso la prima regione 103;

10 **[0358].** – una seconda onda torsionale T_2 che si propaga verso la seconda regione 104.

[0359]. Per quanto riguarda il secondo cursore mobile 102', sono presenti:

[0360]. – una terza onda torsionale T_3 che si propaga verso la prima regione 103;

15 **[0361].** – una quarta onda torsionale T_4 che si propaga verso la seconda regione 104.

[0362]. La posizione x_1 dell'almeno un cursore mobile 102 e la posizione x_2 del secondo cursore mobile 102' sono trasdotte a partire:

20 **[0363].** - dal tempo che intercorre tra il lancio di un impulso di corrente elettrica nell'elemento sensibile 101 e il rilevamento di una o entrambe le onde torsionali associate ad ogni cursore mobile;

[0364]. - dalla velocità di propagazione a_t delle onde torsionali nell'elemento sensibile 101.

25 **[0365].** Il sensore 100 di posizione magnetostrittivo della figura 14 può essere rappresentato da un rispettivo modello $M2'$ rappresentativo del

5 sensore 100 di posizione.

[0366]. In questa forma di realizzazione, il modello M2' rappresentativo del sensore 100 di posizione è un modello magnetostrittivo, un cui esempio è illustrato nella figura 15.

5 **[0367].** Il modello M2' comprende:

[0368]. – una prima linea di ritardo D0, che rappresenta il tempo t_0 necessario alla prima onda torsionale T_1 ed alla terza onda torsionale T_3 per attraversare la prima regione 103;

10 **[0369].** – una seconda linea di ritardo D1, che rappresenta il tempo t_1 necessario alla prima onda torsionale T_1 ed alla terza onda torsionale T_3 per attraversare l'elemento sensibile 101 tra la prima regione 103 e l'almeno un cursore mobile 102;

15 **[0370].** – una terza linea di ritardo ΔD , che rappresenta il tempo t_Δ necessario alla seconda onda torsionale T_2 ed alla terza onda torsionale T_3 per attraversare l'elemento sensibile 101 tra l'almeno un cursore mobile 102 e il secondo cursore 102';

20 **[0371].** – una quarta linea di ritardo D2, che rappresenta il tempo t_2 necessario alla seconda onda torsionale T_2 ed alla quarta onda torsionale T_4 per attraversare l'elemento sensibile 101 tra il secondo cursore mobile 102' e la seconda regione 104;

[0372]. – una quinta linea di ritardo D3, che rappresenta il tempo t_0 necessario alla seconda onda torsionale T_2 ed alla quarta onda torsionale T_4 per attraversare la seconda regione 104.

25 **[0373].** I tempi t_0 , t_1 , t_Δ e t_2 possono essere espressi a partire da parametri meccanici (densità ρ e modulo elastico di taglio G) e geometrici (lunghezza L

della prima regione 103 e della seconda regione 104) dell'elemento sensibile 101, dalla posizione x_1 dell'almeno un cursore mobile 102 rispetto alla prima regione 103, dalla posizione x_2 del secondo cursore mobile 102' rispetto alla prima regione 103 e dalla stabilita distanza reciproca Δx tra l'almeno un cursore mobile 102 e il secondo cursore mobile 102'.

[0374]. Utilizzando l'espressione matematica (10) della velocità di propagazione a_t di un'onda torsionale in un solido, è possibile definire i tempi di volo t_0 , t_1 , t_Δ e t_2 come segue:

$$t_0 = La_t = L \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad (35)$$

$$t_1 = x_1 a_t = x_1 \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad (36)$$

$$t_\Delta = \Delta x a_t = \Delta x \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad (37)$$

$$t_2 = (FS - x_2) a_t = (FS - x_2) \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad (38)$$

[0375]. Si supponga di rilevare un primo tempo di eco t_{ec1} ed un secondo tempo di eco t_{ec3} associati rispettivamente alla prima onda torsionale T_1 ed alla terza onda torsionale T_3 , rilevate nel primo contatto elettrico 105.

[0376]. Il primo tempo di eco t_{ec1} corrisponde al tempo necessario alla prima onda torsionale T_1 per attraversare la seconda linea di ritardo $D1$ e la prima linea di ritardo $D0$ mentre il secondo tempo di eco t_{ec3} corrisponde al tempo necessario alla terza onda torsionale T_3 ad attraversare la terza linea di ritardo ΔD , la seconda linea di ritardo $D1$ e la prima linea di ritardo $D0$.

[0377]. Dalle relazioni matematiche (35)-(37) si ha che il primo tempo di eco

t_{ec1} ed il secondo tempo di eco t_{ec3} risultano:

$$t_{ec1} = t_0 + t_1 = (L + x_1) \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad (39)$$

$$t_{ec3} = t_0 + t_1 + t_{\Delta} = (L + x_1 + \Delta x) \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad (40)$$

[0378]. Dalle relazioni matematiche (39)-(40) si osserva che il primo tempo di eco t_{ec1} ed il secondo tempo di eco t_{ec3} , espressi a partire dal modello M2' del sensore 100 di posizione magnetostrittivo secondo lo schema della figura 15, dipendano nuovamente dai parametri geometrici e meccanici dell'elemento sensibile 101.

[0379]. Nello specifico, tali tempi sono in relazione con il modulo elastico di taglio G , utilizzato precedentemente per inferire delle condizioni anomale nel materiale magnetostrittivo utilizzato nella realizzazione dell'elemento sensibile 101.

[0380]. La stima del parametro G (modulo elastico di taglio) permette di inferire la condizione e/o il livello di usura dell'elemento sensibile 101 del sensore 100 di posizione magnetostrittivo, le quali influiscono direttamente sulle prestazioni metrologiche del sensore.

[0381]. Il sensore 100 di posizione magnetostrittivo può essere modellizzato analiticamente mediante la relazione (41), ottenuta dalla combinazione lineare delle relazioni matematiche (39)-(40).

[0382]. Il quadrato del tempo di eco differenziale Δt^2 è legato al parametro G attraverso il coefficiente $\Delta x^2/\rho$. Assumendo ρ nota e fissa, la relazione matematica (41) si riduce ad un'equazione in cui l'unica incognita è il

parametro G (modulo elastico di taglio):

$$\Delta t = t_{eco3} - t_{eco1} = \frac{\Delta x}{\sqrt{\rho}} \sqrt{G} \rightarrow \Delta t^2 = \frac{\Delta x^2}{\rho} G \quad (41)$$

[0383]. A tal proposito, come detto in precedenza, l'unità di elaborazione dati 30 del circuito elettronico 20 del sensore 100 è configurata per stimare durante l'utilizzo del sensore 100 di posizione (in questo caso magnetostrittivo),
5 mediante l'esecuzione di un algoritmo di autodiagnostica del sensore 100 di posizione, parametri (in questa forma di realizzazione, G) di un modello rappresentativo del sensore 100 di posizione sulla base di grandezze rappresentative del funzionamento del sensore 100 di posizione determinate dal modulo 60 di monitoraggio dell'elemento sensibile 101.

10 **[0384].** In questa forma di realizzazione, le grandezze rappresentative del funzionamento del sensore 100 di posizione determinabili dal modulo 60 di monitoraggio dell'elemento sensibile 101 comprendono il primo tempo di eco t_{ec1} , il secondo tempo di eco t_{ec3} e il valore di temperatura T_{cs} del corpo sensore 10 rilevato dal modulo 70 di rilevazione di temperatura.

15 **[0385].** Con riferimento ora anche alla figura 16, è descritto un algoritmo di autodiagnostica 500 implementabile dall'unità di elaborazione dati 30 del circuito elettronico 20 per stimare il parametro G.

[0386]. Anche in questa forma di realizzazione, la stima è definibile di tipo "online" in quanto è eseguibile senza ricorrere all'impiego di strumentazione
20 esterna e/o senza dover scollegare il sensore di posizione dal processo dinamico nel quale è impiegato.

[0387]. L'algoritmo di autodiagnostica 500 comprende una fase simbolica di

inizio ST.

[0388]. L'algoritmo di autodiagnostica 500 comprende una fase di inizializzare 501 una variabile contatore $n = 0$.

[0389]. Successivamente, l'algoritmo di autodiagnostica 500 comprende una
5 fase di misurare 502 durante l'utilizzo del sensore 100, ad opera del modulo
60 di monitoraggio dell'elemento sensibile 101, il primo tempo di eco t_{ec1} , il
secondo tempo di eco t_{ec3} , i quali possono essere rilevati al variare della
posizione x_1 dell'almeno un cursore mobile 102 dalla prima regione 103 e
della posizione x_2 del secondo cursore mobile 102'.

10 **[0390].** L'algoritmo di autodiagnostica 500 comprende quindi una fase di
determinare 503 un valore di tempo di eco differenziale Δt secondo
l'equazione matematica (41).

[0391]. L'algoritmo di autodiagnostica 500 comprende quindi una fase di
memorizzare 504, ad opera dell'unità di elaborazione dati 30, il valore di tempo
15 di eco differenziale Δt determinato nell'unità di memoria 40 del circuito
elettronico 20.

[0392]. Successivamente, l'algoritmo di autodiagnostica 500 comprende
quindi una fase di incrementare 505, ad opera dell'unità di elaborazione dati
30, la variabile contatore n di un'unità.

20 **[0393].** L'algoritmo di autodiagnostica 500 comprende quindi una fase di
verificare 506, ad opera dell'unità di elaborazione dati 30, se la variabile
contatore n incrementata sia minore di N ($n < N$), con N numero intero ≥ 1 .

[0394]. Fintanto che $n < N$ (Y-S nella figura 16) l'unità di elaborazione dati 30
ripete le fasi precedenti da 502 a 505.

25 **[0395].** Nel caso in cui $n = N$ (N-O nella figura 16), la ripetizione delle fasi da

502 a 505 termina con l'N-esima iterazione.

[0396]. A questo punto, nell'unità di memoria 40 del circuito elettronico 20 sono state immagazzinate dall'unità di elaborazione dati 30 N valori di tempo di eco differenziale Δt .

5 **[0397].** Successivamente, l'algoritmo di autodiagnostica 500 comprende una fase di stimare 507, ad opera dell'unità di elaborazione dati 30, il parametro G durante l'utilizzo del sensore 100, sulla base degli N valori di tempo di eco differenziale Δt presenti nell'unità di memoria 40 del circuito elettronico 20.

10 **[0398].** In maggior dettaglio, la stima del modulo elastico di taglio G è determinata, ad opera dell'unità di elaborazione dati 30, mediante la risoluzione ai minimi quadrati del seguente sistema sovradeterminato:

$$\bar{c}\bar{G} = \bar{\Delta t} \quad (42)$$

15 **[0399].** in cui \bar{c} e $\bar{\Delta t}$ sono due vettori $N \times 1$, ottenuti rispettivamente concatenando verticalmente gli N coefficienti $\Delta x^2/\rho$ e gli N tempi di eco differenziali elevati al quadrato Δt^2 che sono stati precedentemente rilevati alle fasi 502-505.

[0400]. L'algoritmo di autodiagnostica 500 comprende una prima fase di memorizzare 508, ad opera dell'unità di elaborazione dati 30, il parametro \bar{G} stimato nell'unità di memoria 40 del circuito elettronico 20.

20 **[0401].** L'algoritmo di autodiagnostica 500 comprende inoltre una seconda fase di memorizzare 509, ad opera dell'unità di elaborazione dati 30, il valore di temperatura T_{CS} del corpo sensore 10 rilevato dal modulo 70 di rilevazione di temperatura nell'unità di memoria 40 del circuito elettronico 20.

[0402]. Si noti che il parametro \bar{G} memorizzato nella prima fase di memorizzare 508 e il valore di temperatura T_{CS} memorizzato nella seconda

fase di memorizzazione 509 sono posti in relazione in quanto sussiste una correlazione, come noto dalla fisica, tra la velocità dell'onda torsionale a_t e il valore attuale di temperatura T_{CS} del corpo sensore 10 memorizzato.

5 [0403]. L'algoritmo di autodiagnostica 500 comprende una fase simbolica di fine ED.

[0404]. In una forma di realizzazione, in combinazione con la precedente e mostrata con linee tratteggiate nella figura 16, l'algoritmo di diagnostica 500 comprende una fase di trasmettere 510, ad opera dell'unità di elaborazione dati 30, il parametro \bar{G} stimato e il valore di temperatura T_{CS} ad un dispositivo
10 utilizzatore esterno quale, ad esempio, un display, un supporto di memorizzazione esterno, un database, e così via.

[0405]. La figura 17 mostra un circuito elettronico 20 impiegabile all'interno del sensore 100 di posizione, in accordo ad una ulteriore forma di realizzazione della presente invenzione, nel caso in cui il sensore 100 di
15 posizione comprende l'almeno un cursore mobile 102 e il secondo cursore mobile 102'.

[0406]. Per la descrizione di tale circuito elettronico 20 si rimanda, per brevità, alla descrizione del circuito elettronico 20 già indicata in precedenza con riferimento alla forma di realizzazione della figura 8.

20 [0407]. Si noti che, in una forma di realizzazione, in cui il sensore 100 di posizione sia magnetostrittivo, il circuito elettronico 20 della figura 17 è collegato al primo contatto elettrico 105 ed al secondo contatto elettrico 106 del sensore 100.

[0408]. In una ulteriore forma di realizzazione, in cui il sensore 100 di
25 posizione sia resistivo (mostrata con linee tratteggiate nella figura 17), il

circuito elettronico 20 è inoltre collegato al terzo contatto elettrico 107 elettricamente connesso all'almeno un cursore mobile 102 ed all'ulteriore contatto elettrico 107' elettricamente connesso al secondo cursore mobile 102'.

5 **[0409].** Con riferimento alla porzione variabile del circuito elettronico 20 ed alla figura 18, viene ora descritto il modulo 60 di monitoraggio dell'elemento sensibile 101 in accordo alla forma di realizzazione in cui il sensore 100 di posizione sia resistivo e comprenda l'almeno un cursore mobile 102 ed il secondo cursore mobile 102'.

10 **[0410].** Da un punto di vista hardware, il modulo 60 di monitoraggio dell'elemento sensibile 101 in accordo alla forma di realizzazione della figura 18 è identico al modulo 60 di monitoraggio dell'elemento sensibile 101 in accordo alla forma di realizzazione della figura 9 ad eccezione del fatto che il blocco di commutazione 91 è collegato al terzo contatto elettrico 107
15 elettricamente connesso all'almeno un cursore 102 del sensore 100 e all'ulteriore contatto elettrico 107' elettricamente connesso al secondo cursore mobile 102' del sensore 100.

[0411]. Con riferimento a questa forma di realizzazione ed alla figura 18, viene ora descritto, da un punto di vista funzionale, il modulo 60 di
20 monitoraggio dell'elemento sensibile 101.

[0412]. Come detto in precedenza, nel caso in cui il sensore 100 di posizione sia resistivo, l'algoritmo di autodiagnostica 400 (figura 13) è progettato per stimare i parametri R_0 , R_c e ξ del modello resistivo $M1'$ relativo ad un sensore di posizione resistivo, al fine di monitorare le condizioni e/o il livello di usura

di tale sensore.

[0413]. Per stimare i parametri R_0 , R_c e ξ , l'algoritmo di autodiagnostica 400 richiede la misurazione delle resistenze elettriche tra il primo contatto elettrico 105 ed il terzo contatto elettrico 107, indicata con R_{12a} , tra il primo contatto elettrico 105 e l'ulteriore contatto elettrico 107', indicata con R_{12b} , tra l'ulteriore contatto elettrico 107' e il secondo contatto elettrico 106, indicata con R_{23b} , tra il primo contatto elettrico 105 e il secondo contatto elettrico 106, indicata con R_{13} .

[0414]. Utilizzando un metodo amperometro-voltmetro le resistenze elettriche R_{12a} , R_{12b} , R_{23b} e R_{13} sono misurate a partire dalle tensioni elettriche tra il primo contatto elettrico 105 ed il terzo contatto elettrico 107, tra il primo contatto elettrico 105 e l'ulteriore contatto elettrico 107', tra l'ulteriore contatto elettrico 107' e il secondo contatto elettrico 106, tra il primo contatto elettrico 105 ed il secondo contatto elettrico 106, indicate rispettivamente con i termini V_{12a} , V_{12b} , V_{23b} , V_{13} , e dalle correnti elettriche che scorrono tra il primo contatto elettrico 105 ed il terzo contatto elettrico 107, tra il primo contatto elettrico 105 e l'ulteriore contatto elettrico 107', tra l'ulteriore contatto elettrico 107' e il secondo contatto elettrico 106, tra il primo contatto elettrico 105 ed il secondo contatto elettrico 106, indicate rispettivamente con i termini I_{12a} , I_{12b} , I_{23b} , I_{13} .

[0415]. Le resistenze elettriche R_{12a} , R_{12b} , R_{23b} e R_{13} sono dunque valutate applicando la prima legge di Ohm, come riportato nelle seguenti equazioni:

$$R_{12a} = \frac{V_{12a}}{I_{12a}} \quad (43)$$

$$R_{12b} = \frac{V_{12b}}{I_{12b}} \quad (44)$$

$$R_{23b} = \frac{V_{23b}}{I_{23b}} \quad (45)$$

$$R_{13} = \frac{V_{13}}{I_{13}} \quad (46)$$

[0416]. In questa forma di realizzazione, il modulo 60 di monitoraggio dell'elemento sensibile 101, implementato all'interno del circuito elettronico 20 installato su un sensore di posizione resistivo, è realizzato al fine di fornire all'unità di elaborazione dati 20 le tensioni elettriche V_{12a} , V_{12b} , V_{23b} , V_{13} e le correnti elettriche I_{12a} , I_{12b} , I_{23b} , I_{13} .

[0417]. A partire da tali grandezze, l'unità di elaborazione dati 20 determina le resistenze elettriche R_{12a} , R_{12b} , R_{23b} e R_{13} secondo le equazioni (43)-(46).

[0418]. Da un punto di vista circuitale, con riferimento alla figura 18, il generatore di corrente elettrica 92 è configurato per imporre una corrente elettrica I nota attraverso una coppia di contatti elettrici tra il primo contatto elettrico 105 ed il terzo contatto elettrico 107, tra il primo contatto elettrico 105 e l'ulteriore contatto elettrico 107', tra l'ulteriore contatto elettrico 107' e il secondo contatto elettrico 106, tra il primo contatto elettrico 105 ed il secondo contatto elettrico 106.

[0419]. Il convertitore analogico-digitale 93 è configurato per digitalizzare e trasferire all'unità di elaborazione 30 una tensione elettrica V , generata ai capi di tale coppia di contatti elettrici dalla corrente elettrica I .

[0420]. Ciascuna coppia di contatti elettrici è selezionabile in modo sequenziale tramite il blocco di commutazione 91, il quale può essere composto da una pluralità di interruttori, opportunamente interconnessi tra loro e con il sensore 100 di posizione resistivo, il generatore di corrente 92 e

il convertitore analogico-digitale 93.

[0421]. Il blocco di commutazione 91 è operativamente collegato all'unità di elaborazione dati 30 (non mostrata nella figura 18) la quale è configurata per pilotare il blocco di commutazione 91.

5 **[0422].** L'unità di elaborazione dati 30 è configurata per determinare il valore di resistenze elettriche R_{12a} , R_{12b} , R_{23b} e R_{13} del modello resistivo $M1'$ a partire dalla coppia di contatti elettrici selezionata, dalla tensione elettrica V digitalizzata e dal valore della corrente elettrica I nota.

10 **[0423].** Con riferimento ancora alla porzione variabile 20" del circuito elettronico 20 ed alla figura 19, viene ora descritto il modulo 60 di monitoraggio dell'elemento sensibile 101 in accordo ad una ulteriore forma di realizzazione, in combinazione con una qualsiasi delle precedenti in cui il sensore 100 di posizione sia magnetostrittivo e comprenda l'almeno un cursore mobile 102 ed il secondo cursore mobile 102'.

15 **[0424].** Come detto in precedenza, nel caso in cui il sensore 100 di posizione sia magnetostrittivo, l'algoritmo di autodiagnostica 500 (figura 16) è progettato per stimare il parametro G (modulo elastico di taglio) del modello magnetostrittivo $M2'$ relativo ad un sensore di posizione magnetostrittivo, al fine di monitorare la condizioni e/o il livello di usura di tale sensore.

20 **[0425].** Per stimare il parametro G , l'algoritmo di autodiagnostica 500 richiede il rilevamento del primo tempo di eco t_{ec1} che intercorre tra il lancio di un impulso di corrente nell'elemento sensibile 101 ed il rilevamento del passaggio della prima onda torsionale T_1 (dovuta all'almeno un cursore mobile 102) nel primo contatto elettrico 105 ed il rilevamento del secondo
25 tempo di eco t_{ec3} che intercorre tra il lancio dell'impulso di corrente

nell'elemento sensibile 101 ed il rilevamento del passaggio della terza onda torsionale T_3 (dovuta al secondo cursore 102') nel primo contatto elettrico 105.

5 **[0426].** Come già detto in precedenza, con riferimento al modello M2' della figura 15, il primo tempo di eco t_{ec1} corrisponde al tempo impiegato dalla prima onda torsionale T_1 ad attraversare la seconda linea di ritardo D1 e la prima linea di ritardo D0 mentre il terzo tempo di eco t_{ec3} corrisponde al tempo impiegato dalla terza onda torsionale T_3 ad attraversare la terza linea di ritardo ΔD , la seconda linea di ritardo D1 e la prima linea di ritardo D0.

10 **[0427].** In questa forma di realizzazione, il modulo 60 di monitoraggio dell'elemento sensibile 101, implementato all'interno del circuito elettronico 20 installato su un sensore di posizione magnetostriativo, è realizzato al fine di rilevare il passaggio della prima onda torsionale T_1 e della terza onda torsionale T_3 per il primo contatto elettrico 105 e di fornire conseguentemente
15 all'unità di elaborazione dati 30 il primo tempo di eco t_{ec1} ed il secondo tempo di eco t_{ec3} .

[0428]. Il generatore di impulsi di corrente elettrica 112, operativamente collegato all'unità di elaborazione 30, è configurato per imporre il passaggio di una corrente elettrica impulsiva all'interno dell'elemento sensibile 101
20 tramite il primo contatto elettrico 105 ed il secondo contatto elettrico 106.

[0429]. Tale corrente impulsiva genera un campo magnetico impulsivo che interagisce con il campo magnetico generato dal magnete permanente presente sull'almeno un cursore mobile 102 e con il campo magnetico generato dal magnete permanente presente sul secondo cursore mobile

102'.

[0430]. Dall'interazione magnetica tra il campo magnetico impulsivo e il campo magnetico generato dal magnete permanente presente sull'almeno un cursore mobile 102 si origina la prima onda torsionale T_1 .

5 **[0431].** Dall'interazione magnetica tra il campo magnetico impulsivo e il campo magnetico generato dal magnete permanente presente sul secondo cursore mobile 102' si origina la terza onda torsionale T_3 .

[0432]. La prima onda torsionale T_1 e la terza onda torsionale T_3 si propagano nell'elemento sensibile 101 rispettivamente verso il primo contatto elettrico
10 105.

[0433]. Il blocco di rilevamento 111 è configurato per rilevare la prima onda torsionale T_1 e la terza onda torsionale T_3 .

[0434]. In maggior dettaglio, anche in questo caso, il blocco di rilevamento 111 potrebbe contemplare, per esempio, l'utilizzo di un primo disco
15 piezoelettrico connesso meccanicamente alla prima regione 103.

[0435]. Tale disco piezoelettrico è configurato per convertire una deformazione meccanica dell'elemento sensibile 101 dovuta alla prima onda torsionale T_1 ed alla terza onda torsionale T_3 in un rispettivo segnale elettrico, il quale è utilizzato per rilevare il passaggio della prima onda torsionale T_1 ed
20 il passaggio della terza onda torsionale T_3 per il primo contatto elettrico 105.

[0436]. Il blocco di temporizzazione 113 è configurato per rilevare e fornire all'unità di elaborazione dati 30 il primo tempo di eco t_{ec1} ed il secondo tempo di eco t_{ec3} .

[0437]. In maggior dettaglio, il blocco di temporizzazione 113 comprende, ad

esempio, un primo timer TM1 ed un secondo timer TM2.

[0438]. Entrambi questi timer sono avviati dall'unità di elaborazione dati 30 quando quest'ultima comanda la trasmissione al generatore di impulsi di corrente elettrica 112 di generare un impulso di corrente elettrica nell'elemento sensibile 101.

[0439]. Il primo timer TM1 è configurato per essere arrestato dal blocco di rilevamento 111 non appena quest'ultimo rileva il passaggio della prima onda torsionale T_1 per il primo contatto elettrico 105.

[0440]. Il secondo timer TM2 è arrestato dal sistema di rilevamento 111 al passaggio della terza onda torsionale T_3 per il primo contatto elettrico 105.

[0441]. In accordo ad una forma di realizzazione, in combinazione con una qualsiasi delle precedenti in cui il sensore 100 di posizione è di tipo resistivo ed in cui siano presenti l'almeno un cursore mobile 102 ed il secondo cursore mobile 102', l'unità di elaborazione dati 30 del circuito elettronico 20 del sensore 100 è configurata per verificare le condizioni locali dell'elemento sensibile 101.

[0442]. Per "condizioni locali" s'intendono zone di usura locali dell'elemento sensibile.

[0443]. Per esempio, disponendo delle tensioni elettriche V_{12a} e V_{12b} definite in precedenza, l'unità di elaborazione dati 30 è configurata per determinare una grandezza differenziale $\Delta V = V_{12b} - V_{12a}$ al fine di inferire le condizioni locali dell'elemento sensibile 101.

[0444]. Infatti, come detto in precedenza, l'usura dell'elemento sensibile 101 comporta una variazione (più frequentemente un aumento) della relativa resistenza per unità di lunghezza ξ .

[0445]. Una variazione localizzata di ξ si ripercuote in una variazione

localizzata ΔR della resistenza elettrica.

[0446]. Supponendo di alimentare l'elemento sensibile 101 tramite il primo contatto elettrico 105 ed il secondo contatto elettrico 106 ad una tensione elettrica costante, si ottiene una corrente elettrica costante I all'interno
5 dell'elemento sensibile 101.

[0447]. Conseguentemente, le variazioni localizzate ΔR della resistenza elettrica si ripercuotono in una variazione localizzata ΔV della tensione elettrica, rendendo quindi possibile l'individuazione durante l'utilizzo del sensore 100 di zone di usura localizzate dell'elemento sensibile 101.

10 **[0448].** In accordo ad una forma di realizzazione, in combinazione con una qualsiasi di quelle descritte in precedenza in cui siano presenti l'almeno un cursore mobile 102 ed il secondo cursore mobile 102', supponendo di disporre di un valore di tensione elettrica ΔV tra il terzo contatto elettrico 107 e l'ulteriore contatto elettrico 107' del sensore 100 relativo ad una condizione di sensore
15 integro, l'unità di elaborazione dati 30 è configurata per determinare euristicamente il livello di usura dell'elemento sensibile 101.

[0449]. Tale forma di realizzazione è applicabile sia ad un sensore di posizione resistivo (in cui si rileva effettivamente un valore di tensione elettrica ΔV) sia ad un sensore di posizione magnetostrittivo in cui è possibile applicare lo stesso
20 principio ma per rilevare un valore di tempo di eco differenziale Δt , dalla quale determinare variazioni locali del modulo elastico di taglio G e inferire dunque condizioni locali del sensore 100 di posizione magnetostrittivo.

[0450]. In accordo ad una ulteriore forma di realizzazione, in combinazione con una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, l'unità di elaborazione dati 30 del
25 circuito elettronico 20 è configurata per eseguire, tramite l'implementazione di

algoritmi di machine learning, una classificazione delle condizioni e/o del livello di usura del sensore 100 di posizione rappresentati dai parametri stimati del modello rappresentativo del sensore 100 di posizione.

5 **[0451].** In questa forma di realizzazione, l'unità di elaborazione dati 30 è configurata per fornire tale classificazione ad un utilizzatore esterno.

[0452]. Tale classificazione può essere vantaggiosamente utilizzata in un contesto di manutenzione predittiva del sensore 100 di posizione, al fine di monitorare l'attuale condizione e il livello di usura dell'elemento sensibile 101 del sensore 100 e le tempistiche ottimali per la sostituzione del sensore 100 di
10 posizione.

[0453]. Pertanto, l'unità di elaborazione dati 30 del circuito elettronico 20 è configurata per implementare ulteriori algoritmi atti a mitigare l'effetto del degrado delle condizioni del sensore 100 di posizione sulle prestazioni metrologiche dello stesso.

15 **[0454].** È descritto ora un metodo per monitorare la condizione e/o il livello di usura di un sensore 100 di posizione durante il suo utilizzo.

[0455]. Il sensore 100 comprende:

[0456]. - un corpo sensore 10 estendentesi lungo un asse di sviluppo longitudinale d;

20 **[0457].** - un elemento sensibile 101 disposto nel corpo sensore 10 ed estendentesi lungo l'asse di sviluppo longitudinale d del corpo sensore 10;

[0458]. - almeno un cursore mobile 102 operativamente collegato al corpo sensore 10 in modo da poter scorrere rispetto al corpo sensore 10 coassialmente lungo l'asse di sviluppo longitudinale d del corpo sensore.

25 **[0459].** Il metodo comprende una fase di fornire un circuito elettronico 20

alloggiato all'interno del corpo sensore 10, il circuito elettronico 20 comprendendo:

[0460]. - un'unità di elaborazione dati 30;

[0461]. - un'unità di memoria 40 operativamente associata all'unità di elaborazione dati 30;

[0462]. - un modulo di comunicazione 50 operativamente collegato all'unità di elaborazione dati 30;

[0463]. - un modulo 60 di monitoraggio dell'elemento sensibile 101 operativamente collegato all'unità di elaborazione dati 30 ed almeno all'elemento sensibile 101.

[0464]. – un modulo 70 di rilevazione di temperatura operativamente collegato all'unità di elaborazione 30; il modulo 70 di rilevazione di temperatura è configurato per rilevare un valore di temperatura T_{cs} del corpo sensore 10.

[0465]. Il metodo comprende una fase di determinare durante l'utilizzo del sensore 100 di posizione, ad opera del modulo 60 di monitoraggio dell'elemento sensibile 101, grandezze rappresentative del funzionamento del sensore 100 di posizione da fornire all'unità di elaborazione dati 30.

[0466]. Tali grandezze sono state definite in precedenza con riferimento a diverse forme di realizzazione.

[0467]. Il metodo comprende una fase di stimare durante l'utilizzo del sensore 100 di posizione, ad opera dell'unità di elaborazione dati 30, mediante l'esecuzione di un algoritmo di autodiagnostica del sensore 100 di posizione, parametri di un modello rappresentativo del sensore 100 di posizione sulla base di tali grandezze rappresentative del funzionamento del sensore 100 di posizione determinate dal modulo 60 di monitoraggio

dell'elemento sensibile 101.

[0468]. I parametri di un modello rappresentativo del sensore sono stati definiti in precedenza in accordo a diverse forme di realizzazione.

[0469]. Detti parametri stimati del modello rappresentativo del sensore 100 di posizione sono rappresentativi della condizione e/o del livello di usura del sensore 100 di posizione.

[0470]. In accordo ad una forma di realizzazione, in combinazione con la precedente, il metodo comprende una fase di compensare, ad opera dell'unità di elaborazione dati 30, le grandezze rappresentative del funzionamento del sensore 100 di posizione sulla base del valore di temperatura T_{CS} del corpo sensore 10 rilevato dal modulo 70 di rilevazione di temperatura.

[0471]. Come si può constatare, lo scopo della presente invenzione è pienamente raggiunto in quanto il sensore appena descritto presenta diversi vantaggi.

[0472]. Infatti, il sensore 100 di posizione oggetto della presente invenzione è "intelligente", ovvero è dotato di una funzionalità di autodiagnosi implementata mediante un circuito elettronico 20 interno al sensore stesso.

[0473]. Più specificatamente, l'unità di elaborazione dati 30 di tale circuito elettronico 20 è configurata per implementare un algoritmo di autodiagnosi in grado di monitorare le condizioni e/o il livello di usura dell'elemento sensibile 101 del sensore 100 durante l'utilizzo del sensore 100.

[0474]. L'algoritmo di autodiagnosi si basa sulla stima di parametri fisici che rappresentano il modello rappresentativo del sensore 100 stesso.

[0475]. Il sensore 100 oggetto della presente invenzione è in grado di fornire

in maniera autonoma una stima delle attuali condizioni e/o del livello di usura dell'elemento sensibile del sensore 100, senza ricorrere a sistemi esterni al sensore 100.

5 **[0476].** Inoltre, il sensore 100 oggetto della presente invenzione mantiene inalterate le caratteristiche principali tipiche di sensore di posizione quali la relativa semplicità di realizzazione e la loro economicità.

[0477]. Alle forme di realizzazione del sensore sopra descritte, un tecnico del ramo, per soddisfare esigenze contingenti, potrà apportare modifiche, adattamenti e sostituzioni di elementi con altri funzionalmente equivalenti,
10 senza uscire dall'ambito delle seguenti rivendicazioni.

[0478]. Ognuna delle caratteristiche descritte come appartenente ad una possibile forma di realizzazione può essere realizzata indipendentemente dalle altre forme di realizzazione descritte.

RIVENDICAZIONI

1. Sensore (100) di posizione configurato per monitorare la condizione e/o il livello di usura di tale sensore (100) di posizione durante il suo utilizzo,
- 5 comprendente:
- un corpo sensore (10) estendentesi lungo un asse di sviluppo longitudinale (d);
 - un elemento sensibile (101) disposto nel corpo sensore (10) ed estendentesi lungo l'asse di sviluppo longitudinale (d) del corpo sensore (10);
 - 10 - almeno un cursore mobile (102) operativamente collegato al corpo sensore (10) in modo da poter scorrere rispetto al corpo sensore (10) coassialmente lungo l'asse di sviluppo longitudinale d del corpo sensore;
 - un circuito elettronico (20) alloggiato all'interno del corpo sensore (10), il circuito elettronico (20) comprendendo:
 - 15 - un'unità di elaborazione dati (30);
 - un'unità di memoria (40) operativamente associata all'unità di elaborazione dati (30);
 - un modulo di comunicazione (50) operativamente collegato all'unità di elaborazione dati (30);
 - 20 - un modulo (60) di monitoraggio dell'elemento sensibile (101) operativamente collegato all'unità di elaborazione dati (30) ed almeno all'elemento sensibile (101), il modulo (60) di monitoraggio dell'elemento sensibile (101) essendo configurato per determinare durante l'utilizzo del sensore (100) di posizione grandezze rappresentative del funzionamento del

5 sensore (100) di posizione da fornire all'unità di elaborazione dati (30);

- un modulo (70) di rilevazione di temperatura (10) operativamente collegato all'unità di elaborazione (30), il modulo (70) di rilevazione di temperatura essendo configurato per rilevare un valore di temperatura (T_{CS}) del corpo sensore (10);

l'unità di elaborazione dati (30) essendo configurata per determinare la posizione assoluta dell'almeno un cursore (102) rispetto all'elemento sensibile (101) del sensore (100), la posizione assoluta dell'almeno un cursore mobile (102) rispetto all'elemento sensibile (101) essendo la quantità
10 trasdotta dal sensore (100) durante il suo utilizzo che rappresenta la misura sotto monitoraggio rappresentativa del movimento relativo tra l'elemento sensibile (101) e l'almeno un cursore (102),

l'unità di elaborazione dati (30) essendo configurata per stimare durante l'utilizzo del sensore (100) di posizione, mediante l'esecuzione di un
15 algoritmo di autodiagnostica del sensore (100) di posizione, parametri di un modello rappresentativo del sensore (100) di posizione sulla base di tali grandezze rappresentative del funzionamento del sensore (100) di posizione determinate dal modulo (60) di monitoraggio dell'elemento sensibile (101), detti parametri stimati del modello rappresentativo del sensore (100) di
20 posizione essendo rappresentativi della condizione e/o del livello di usura del sensore (100) di posizione.

2. Sensore (100) secondo la rivendicazione 1, in cui l'unità di elaborazione dati (30) è configurata per compensare le grandezze rappresentative del funzionamento del sensore (100) di posizione sulla base
25 del valore di temperatura (T_{CS}) del corpo sensore (10) rilevato dal modulo

(70) di rilevazione di temperatura.

3. Sensore (100) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui l'elemento sensibile (101) comprende una prima regione (103) ed una seconda regione (104) atte a delimitare la corsa elettrica utile del sensore (100), avente una stabilita lunghezza (FS).

4. Sensore (100) secondo la rivendicazione 3, in cui il sensore (100) è un sensore di posizione resistivo, l'elemento sensibile (101) comprendendo una pista resistiva e l'almeno un cursore mobile (102) comprendendo un contatto strisciante, il sensore (100) comprendendo un primo contatto elettrico (105) elettricamente collegato alla prima regione (103) dell'elemento sensibile 101 ed un secondo contatto elettrico (106) elettricamente collegato alla seconda regione (104) dell'elemento sensibile (101), il sensore (100) comprendendo inoltre un terzo contatto elettrico (107) elettricamente collegato all'almeno un cursore mobile (102).

5. Sensore (100) secondo la rivendicazione 4, in cui il modello rappresentativo del sensore (100) di posizione è un modello resistivo (M1), i parametri stimati del modello rappresentativo del sensore (100) di posizione rappresentativi della condizione e/o del livello di usura del sensore (100) di posizione durante il suo utilizzo comprendendo:

- resistenza (R_0) del primo contatto elettrico (105) e della prima regione (103);
- resistenza (R_0) del secondo contatto elettrico (106) e della seconda regione (104);
- resistenza (R_C) del contatto strisciante compreso nell'almeno un

cursore mobile (102);

- resistenza per unità di lunghezza dell'elemento sensibile (101).

6. Sensore (100) secondo la rivendicazione 5, in cui le grandezze rappresentative del funzionamento del sensore (100) di posizione determinabili dal modulo (60) di monitoraggio dell'elemento sensibile (101) sono valori di tensioni elettriche e correnti elettriche impiegabili per la determinazione di valori di resistenza del modello resistivo (M1) e un valore di temperatura (T_{cs}) del corpo sensore (10) rilevato dal modulo (70) di rilevazione di temperatura.

7. Sensore (100) secondo la rivendicazione 3, in cui il sensore (100) è un sensore di posizione di tipo magnetostrittivo, l'elemento sensibile (101) essendo realizzato in un materiale magnetostrittivo, la prima regione (103) e la seconda regione (104) essendo realizzate in un materiale magnetostrittivo, l'almeno un cursore mobile (102) comprendendo un magnete permanente, il sensore (100) comprendendo un primo contatto elettrico (105) elettricamente collegato alla prima regione (103) dell'elemento sensibile (101) ed il secondo contatto elettrico (106) elettricamente collegato alla seconda regione (104) dell'elemento sensibile (101).

8. Sensore (100) secondo la rivendicazione 7, in cui il modello rappresentativo del sensore (100) di posizione è un modello magnetostrittivo (M2), i parametri stimati del modello rappresentativo del sensore (100) di posizione rappresentativi della condizione e/o del livello di usura del sensore (100) di posizione durante il suo utilizzo comprendono il modulo elastico di taglio del materiale magnetostrittivo dell'elemento sensibile (101).

9. Sensore (100) secondo la rivendicazione 8, in cui le grandezze

rappresentative del funzionamento del sensore (100) di posizione determinabili dal modulo (60) di monitoraggio dell'elemento sensibile (101) comprendono un primo tempo di eco di una prima onda torsionale ed un secondo tempo di eco di una seconda onda torsionale ed il valore di temperatura (T_{cs}) del corpo sensore (10) rilevato dal modulo (70) di rilevazione di temperatura.

10. Sensore (100) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti 4 a 6, in cui il modulo (60) di monitoraggio dell'elemento sensibile (101) comprende:

- 10 - un blocco di commutazione (91);
- un blocco un generatore di corrente elettrica (92);
- un convertitore analogico-digitale (93);

il generatore di corrente elettrica (92) essendo configurato per imporre una corrente elettrica nota attraverso una coppia di contatti elettrici tra il primo contatto elettrico (105) ed il terzo contatto elettrico (107), il terzo contatto elettrico (107) ed il secondo contatto elettrico (106) ed il primo contatto elettrico (105) ed il secondo contatto elettrico (106),

il convertitore analogico-digitale (93) essendo configurato per digitalizzare e trasferire all'unità di elaborazione (30) una tensione elettrica generata ai capi di tale coppia di contatti elettrici dalla corrente elettrica,

ciascuna coppia di contatti elettrici essendo selezionabile in modo sequenziale tramite il blocco di commutazione (91), il blocco di commutazione (91) essendo operativamente collegato all'unità di elaborazione dati (30) la quale è configurata per pilotare il blocco di commutazione (91),

l'unità di elaborazione dati (30) essendo configurata per determinare

il valore di resistenze elettriche del modello resistivo (M1) a partire dalla coppia di contatti elettrici selezionata, dalla tensione elettrica digitalizzata e dal valore della corrente elettrica nota.

11. Sensore (100) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti
5 7 a 9, in cui il modulo (60) di monitoraggio dell'elemento sensibile (101) comprende:

- un blocco di rilevamento (111);
- un generatore di impulsi di corrente elettrica (112);
- un blocco di temporizzazione (113);

10 il generatore di impulsi di corrente elettrica (112), operativamente collegato all'unità di elaborazione (30), essendo configurato per imporre il passaggio di una corrente elettrica impulsiva all'interno dell'elemento sensibile (101) tramite il primo contatto (105) ed il secondo contatto (106), tale corrente impulsiva genera un campo magnetico impulsivo che
15 interagisce con il campo magnetico generato dal magnete permanente presente sull'almeno un cursore mobile (102), dall'interazione magnetica tra i due campi magnetici originandosi una prima onda torsionale ed una seconda onda torsionale, le quali si propagano nell'elemento sensibile (101) rispettivamente verso il primo contatto elettrico (105) ed il secondo contatto
20 elettrico (106),

il blocco di rilevamento (111) essendo configurato per rilevare la prima onda torsionale e la seconda onda torsionale,

il blocco di temporizzazione (113) essendo configurato per rilevare e fornire all'unità di elaborazione dati (30) il primo tempo di eco della prima

onda torsionale ed il secondo tempo di eco della seconda onda torsionale.

12. Sensore (100) secondo la rivendicazione 11, in cui il blocco di temporizzazione (113) comprende un primo timer (TM1) ed un secondo timer (TM2), entrambi i timer essendo avviati dall'unità di elaborazione dati (30) quando quest'ultima comanda la trasmissione al generatore di impulsi di corrente elettrica (112) di generare l'impulso di corrente elettrica nell'elemento sensibile (101), il primo timer (TM1) essendo configurato per essere arrestato dal blocco di rilevamento (111) non appena quest'ultimo rileva il passaggio della prima onda torsionale per il primo contatto elettrico (105), il secondo timer (TM2) essendo arrestato dal sistema di rilevamento (111) al passaggio della seconda onda torsionale (T2) per il secondo contatto elettrico (107).

13. Sensore (100) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 4, 5, 6 o 10, in cui l'unità di elaborazione dati (30) del circuito elettronico (20) del sensore (100) è configurata per verificare condizioni locali dell'elemento sensibile (101).

14. Sensore (100) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui l'unità di elaborazione dati (30) è configurata per determinare euristicamente il livello di usura dell'elemento sensibile (101).

15. Sensore (100) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui l'unità di elaborazione dati (30) del circuito elettronico (20) è configurata per eseguire, tramite l'implementazione di algoritmi di machine learning, una classificazione delle condizioni e/o del livello di usura del sensore (100) di posizione rappresentati dai parametri stimati del modello rappresentativo del

5 sensore (100) di posizione.

16. Metodo per monitorare la condizione e/o il livello di usura di un sensore (100) di posizione durante il suo utilizzo, il sensore comprendendo:

- un corpo sensore (10) estendentesi lungo un asse di sviluppo
5 longitudinale (d);

- un elemento sensibile (101) disposto nel corpo sensore (10) ed estendentesi lungo l'asse di sviluppo longitudinale (d) del corpo sensore (10);

- almeno un cursore mobile (102) operativamente collegato al corpo sensore (10) in modo da poter scorrere rispetto al corpo sensore (10)
10 coassialmente lungo l'asse di sviluppo longitudinale (d) dell'almeno un corpo sensore (102),

il metodo comprendendo fasi di:

- fornire un circuito elettronico (20) alloggiato all'interno del corpo sensore (10), il circuito elettronico (20) comprendendo:

15 - un'unità di elaborazione dati (30);

- un'unità di memoria (40) operativamente associata all'unità di elaborazione dati (30);

- un modulo di comunicazione (50) operativamente collegato all'unità di elaborazione dati (30);

20 - un modulo (60) di monitoraggio dell'elemento sensibile (101) operativamente collegato all'unità di elaborazione dati (30) ed almeno all'elemento sensibile (101);

- un modulo (70) di rilevazione di temperatura operativamente collegato all'unità di elaborazione (30);

25 - rilevare durante l'utilizzo del sensore (100) di posizione, ad opera del

modulo (70) di rilevazione di temperatura, un valore di temperatura (T_{cs}) del corpo sensore (10);

- determinare durante l'utilizzo del sensore (100) di posizione, ad opera dell'unità di elaborazione dati (30), la posizione assoluta dell'almeno un cursore (102) rispetto all'elemento sensibile (101) del sensore (100);
- determinare durante l'utilizzo del sensore (100) di posizione, ad opera del modulo (60) di monitoraggio dell'elemento sensibile (101), grandezze rappresentative del funzionamento del sensore (100) di posizione da fornire all'unità di elaborazione dati (30);
- stimare durante l'utilizzo del sensore (100) di posizione, ad opera dell'unità di elaborazione dati (30), mediante l'esecuzione di un algoritmo di autodiagnostica del sensore (100) di posizione, parametri di un modello rappresentativo del sensore (100) di posizione sulla base di tali grandezze rappresentative del funzionamento del sensore (100) di posizione determinate dal modulo (60) di monitoraggio dell'elemento sensibile (101), detti parametri stimati del modello rappresentativo del sensore (100) di posizione essendo rappresentativi della condizione e/o del livello di usura del sensore (100) di posizione.

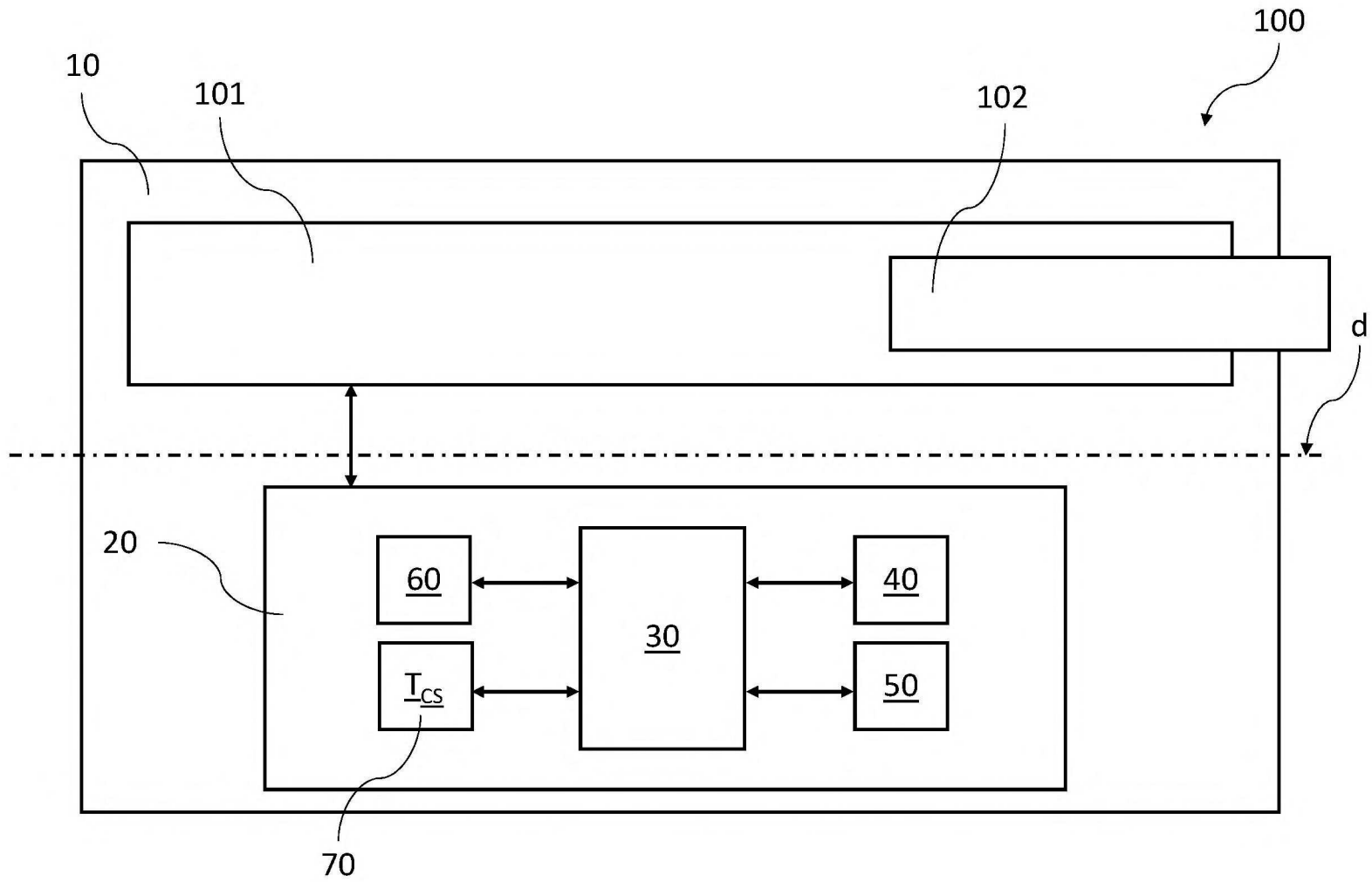


FIG. 1

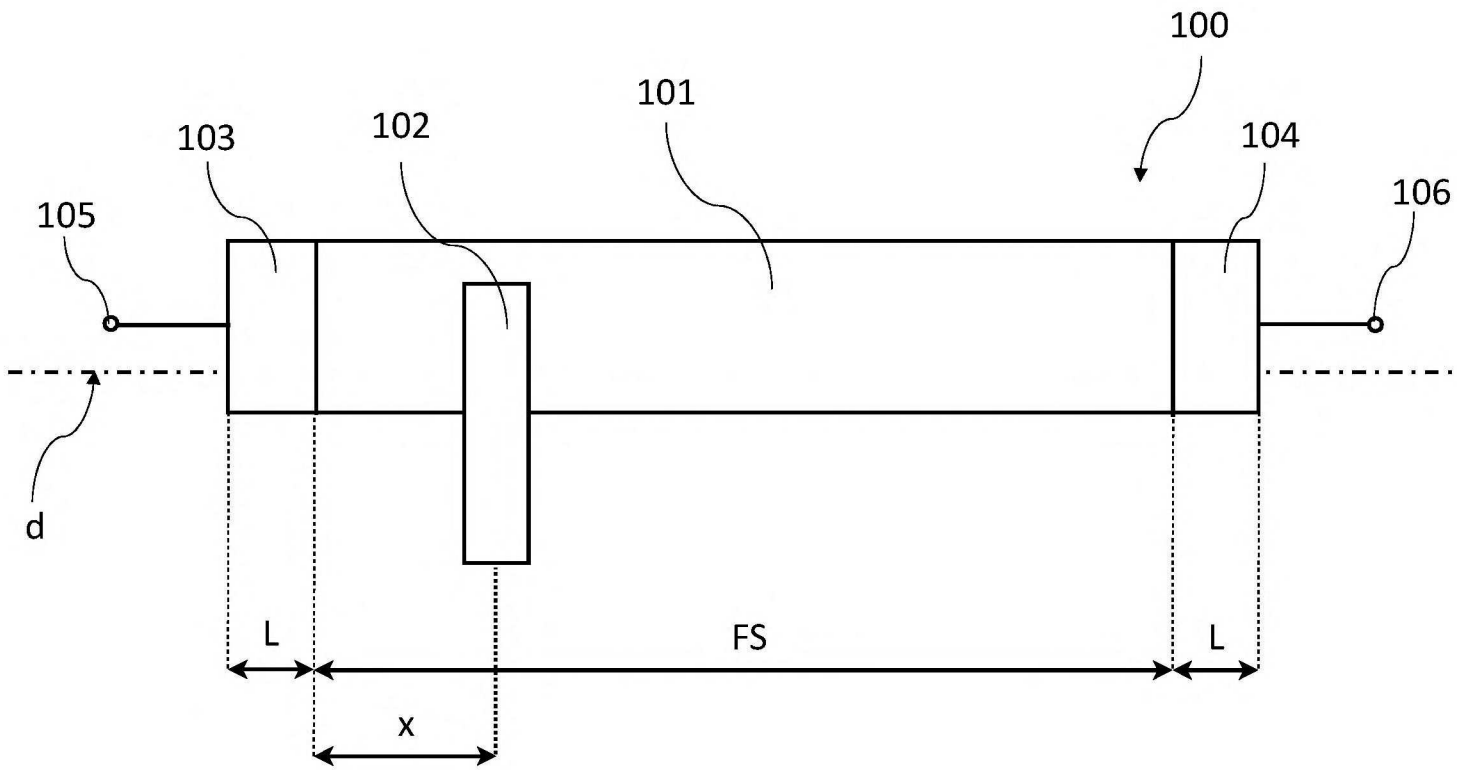


FIG. 2

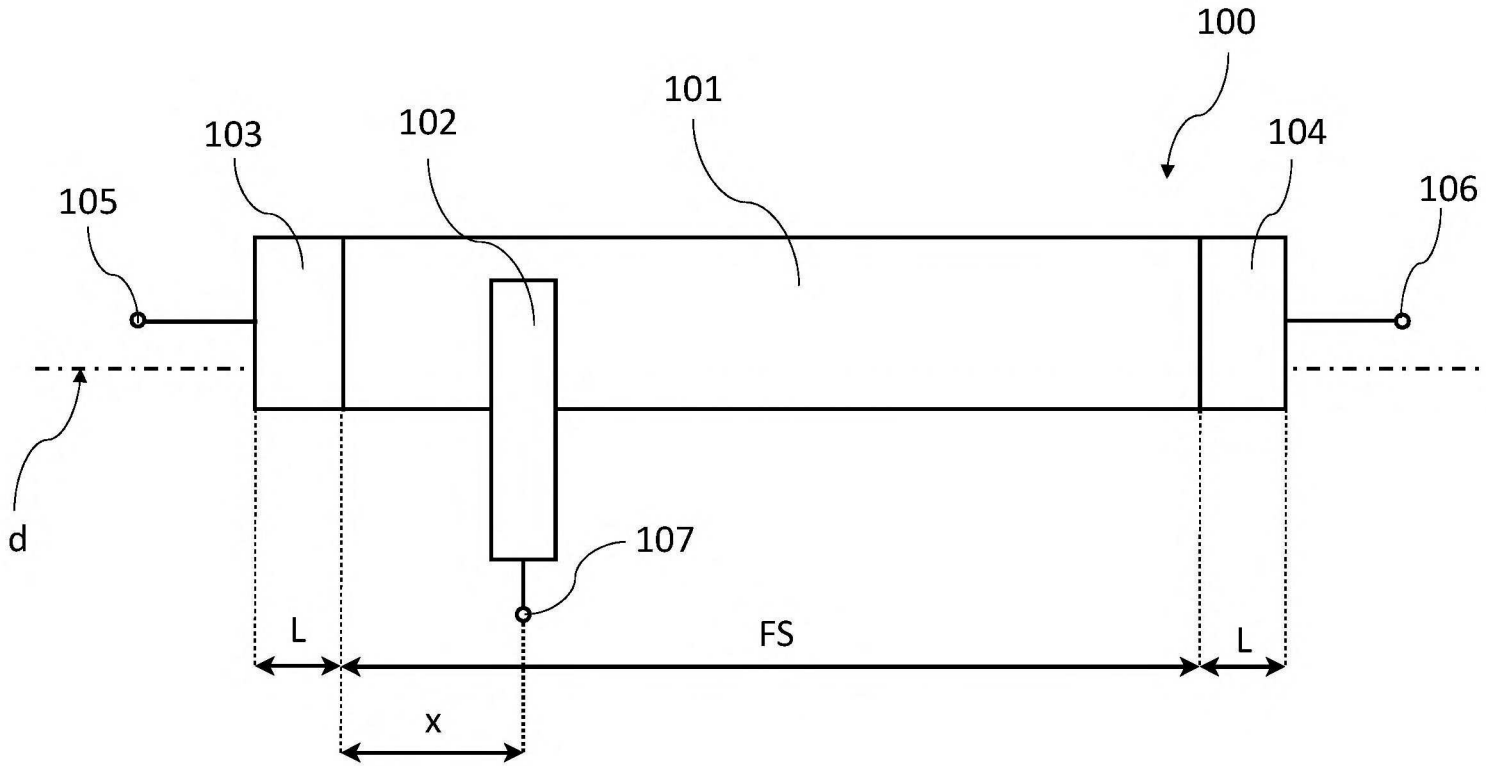


FIG. 3

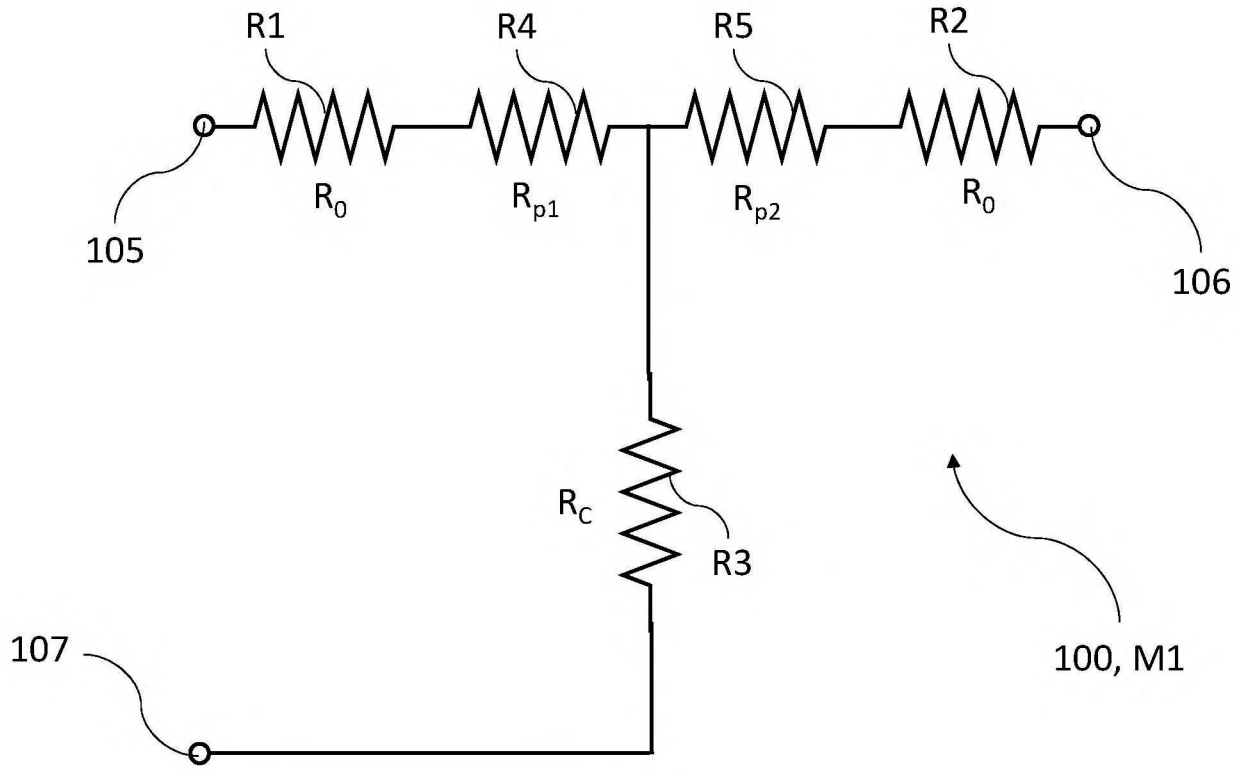


FIG. 4

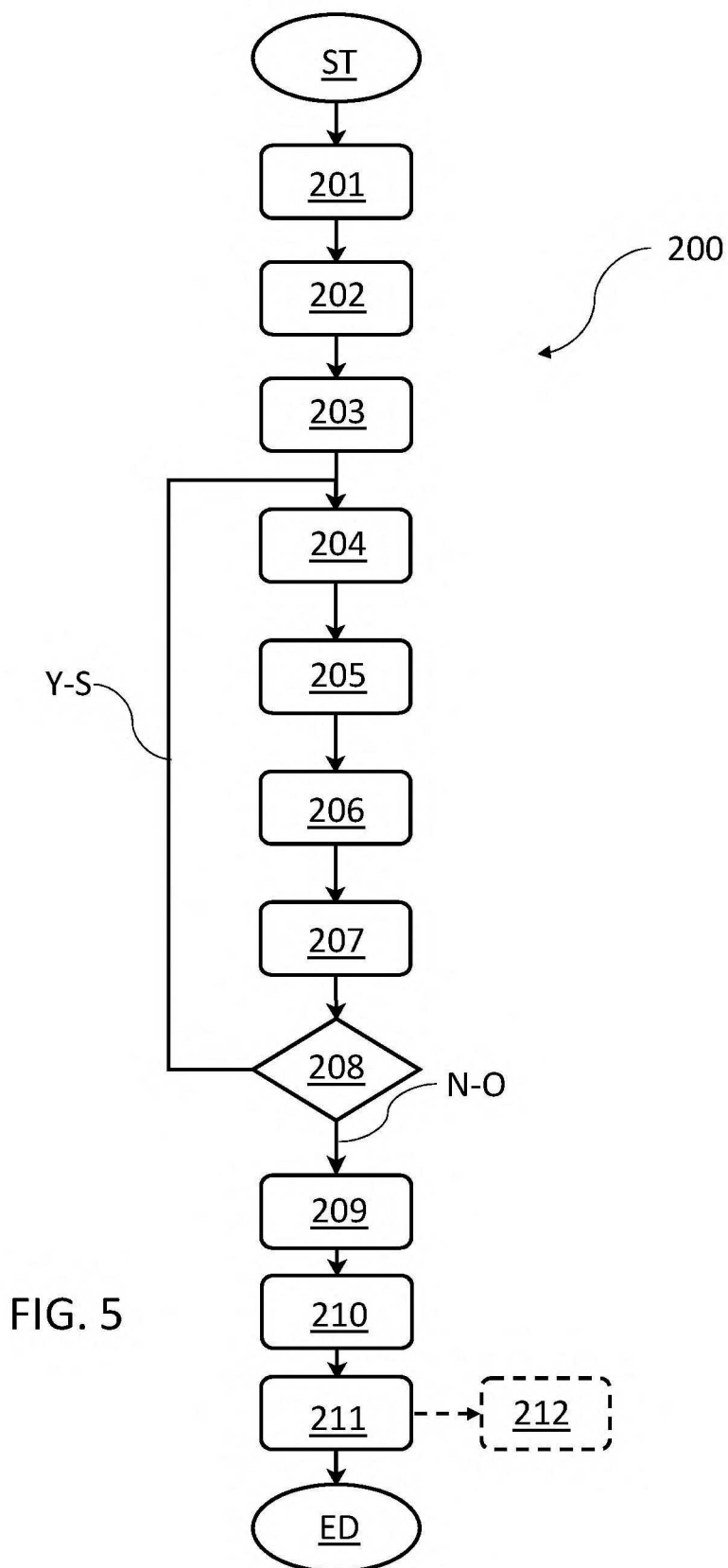


FIG. 5

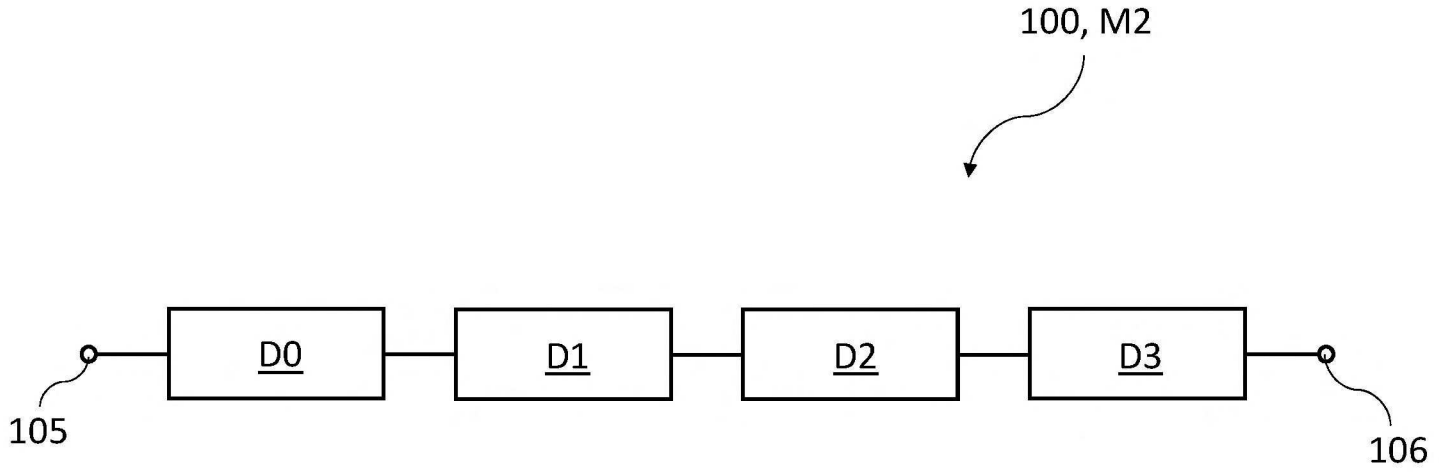


FIG. 6

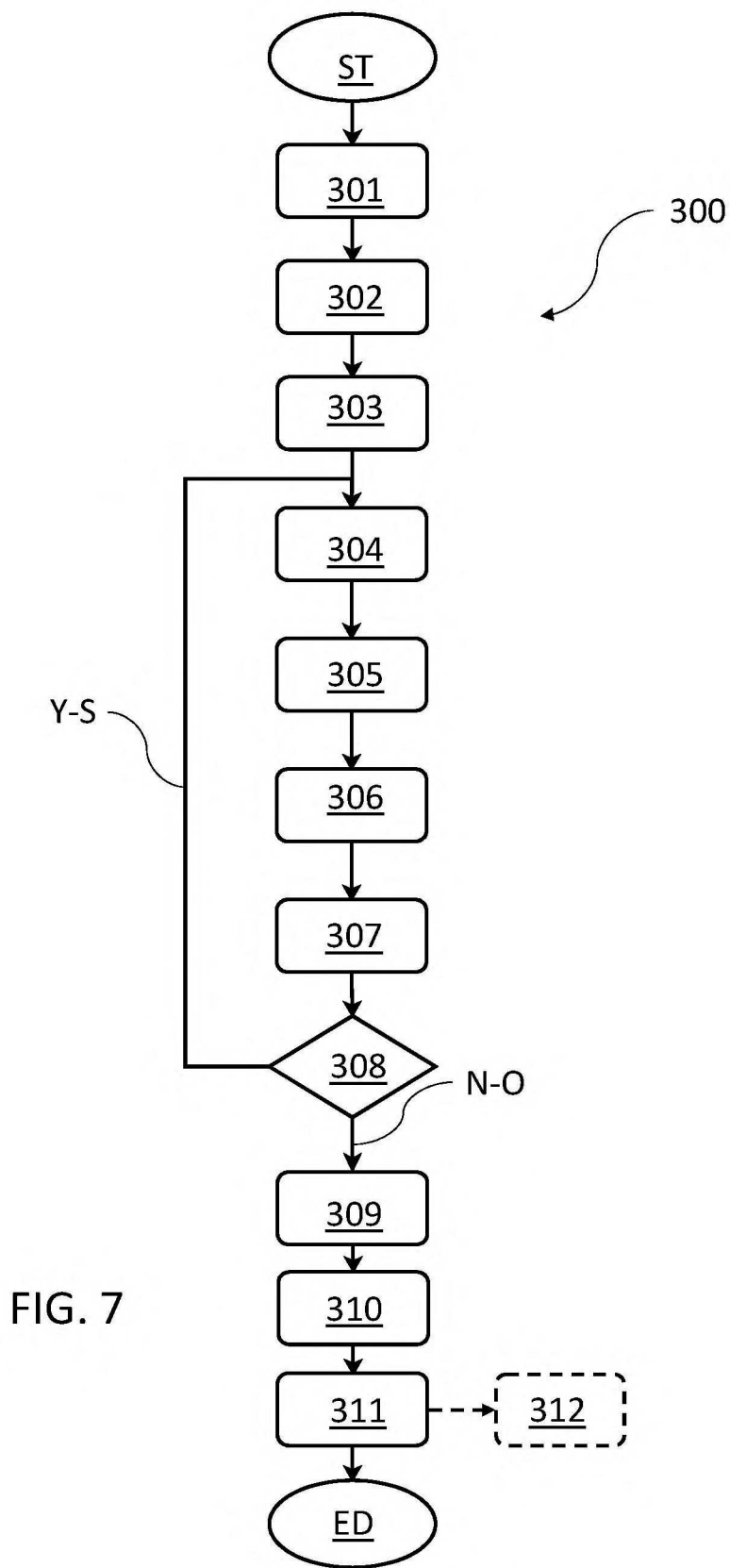


FIG. 7

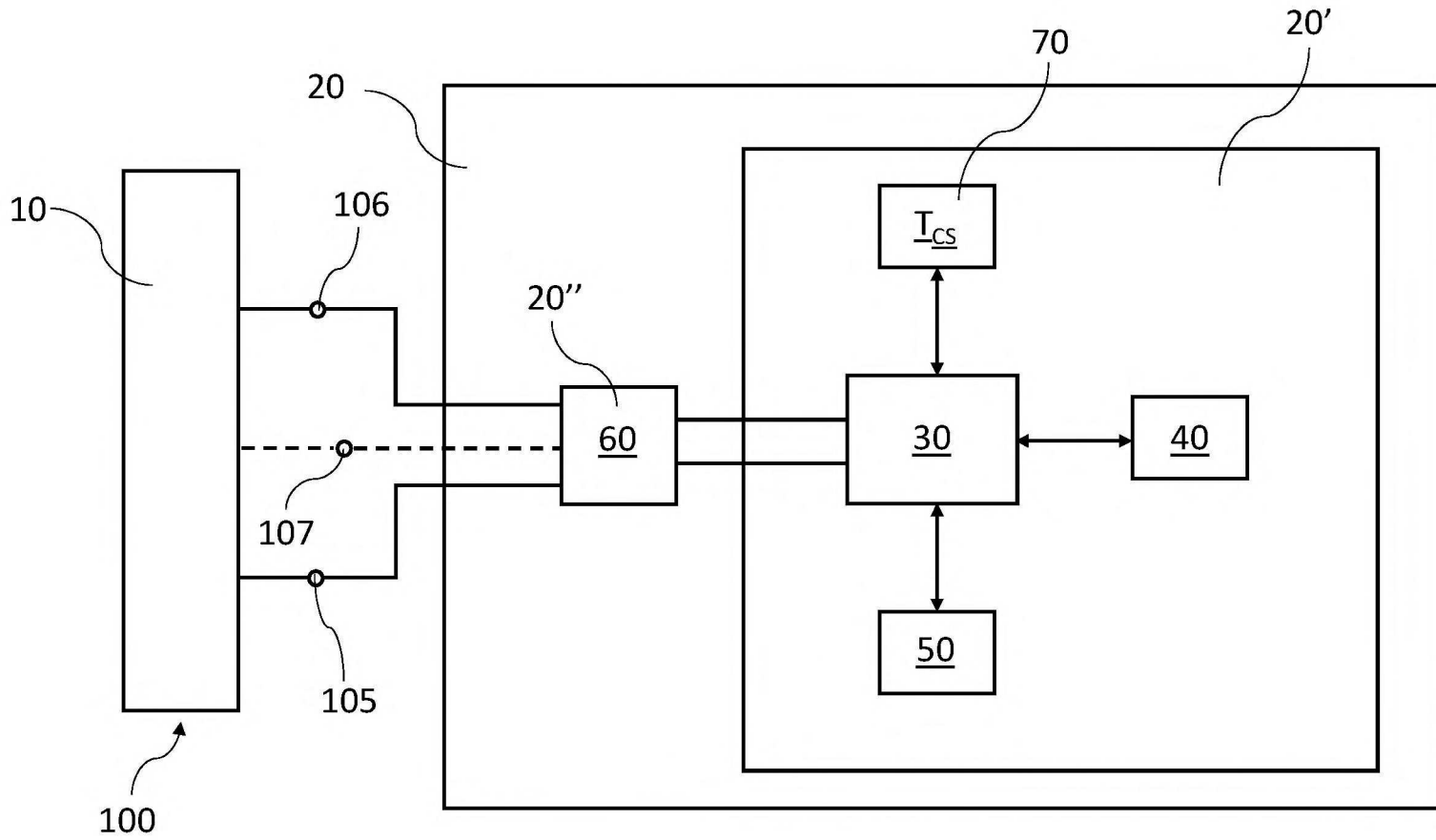


FIG. 8

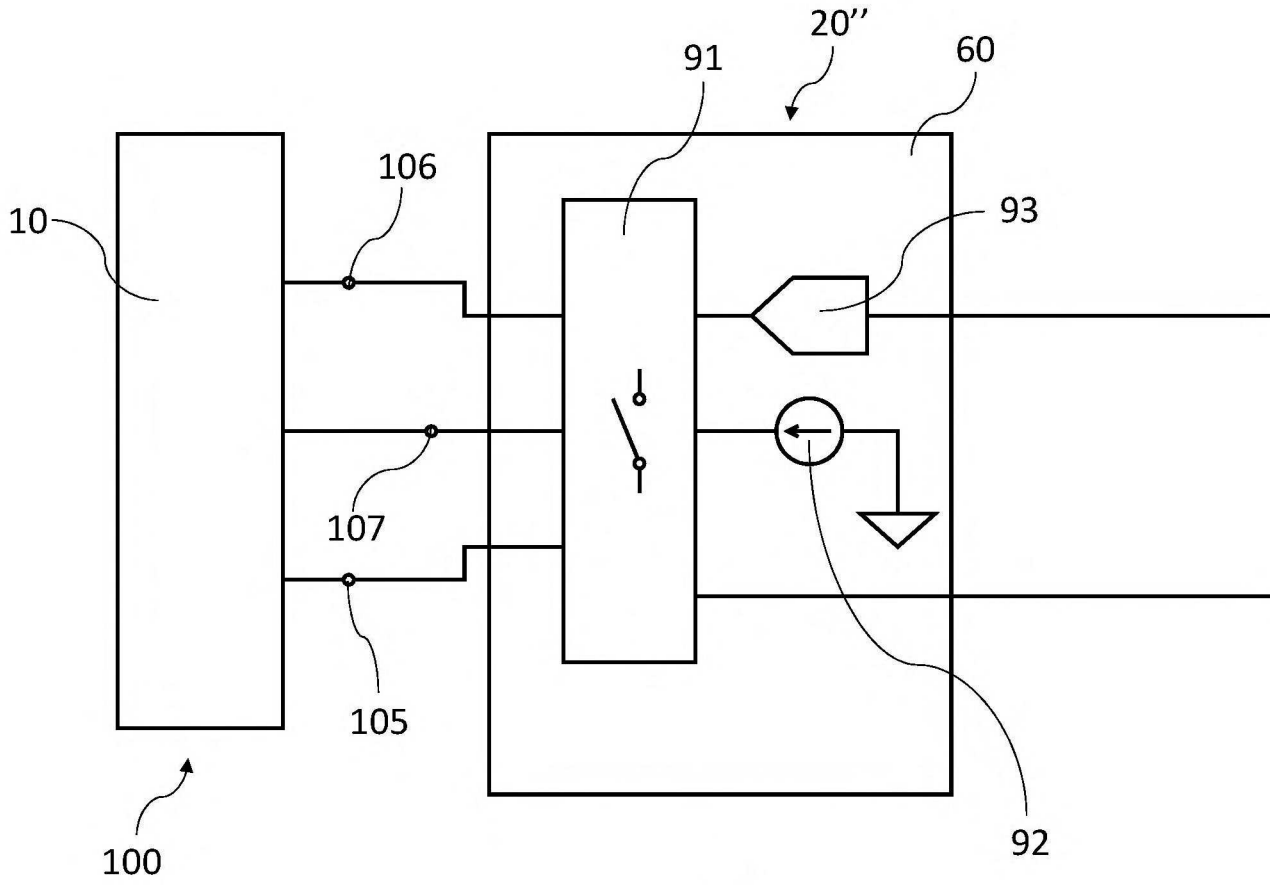


FIG. 9

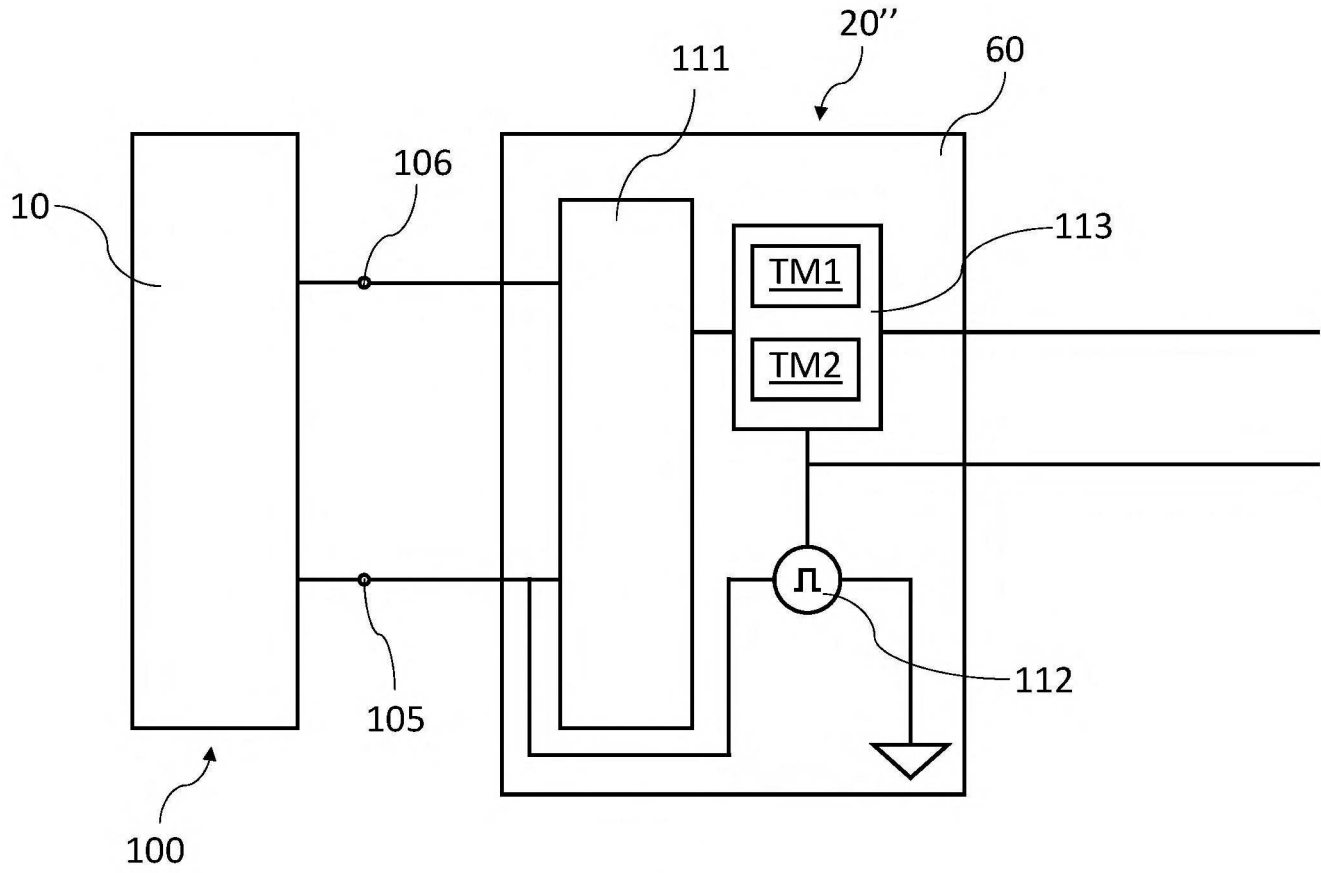


FIG. 10

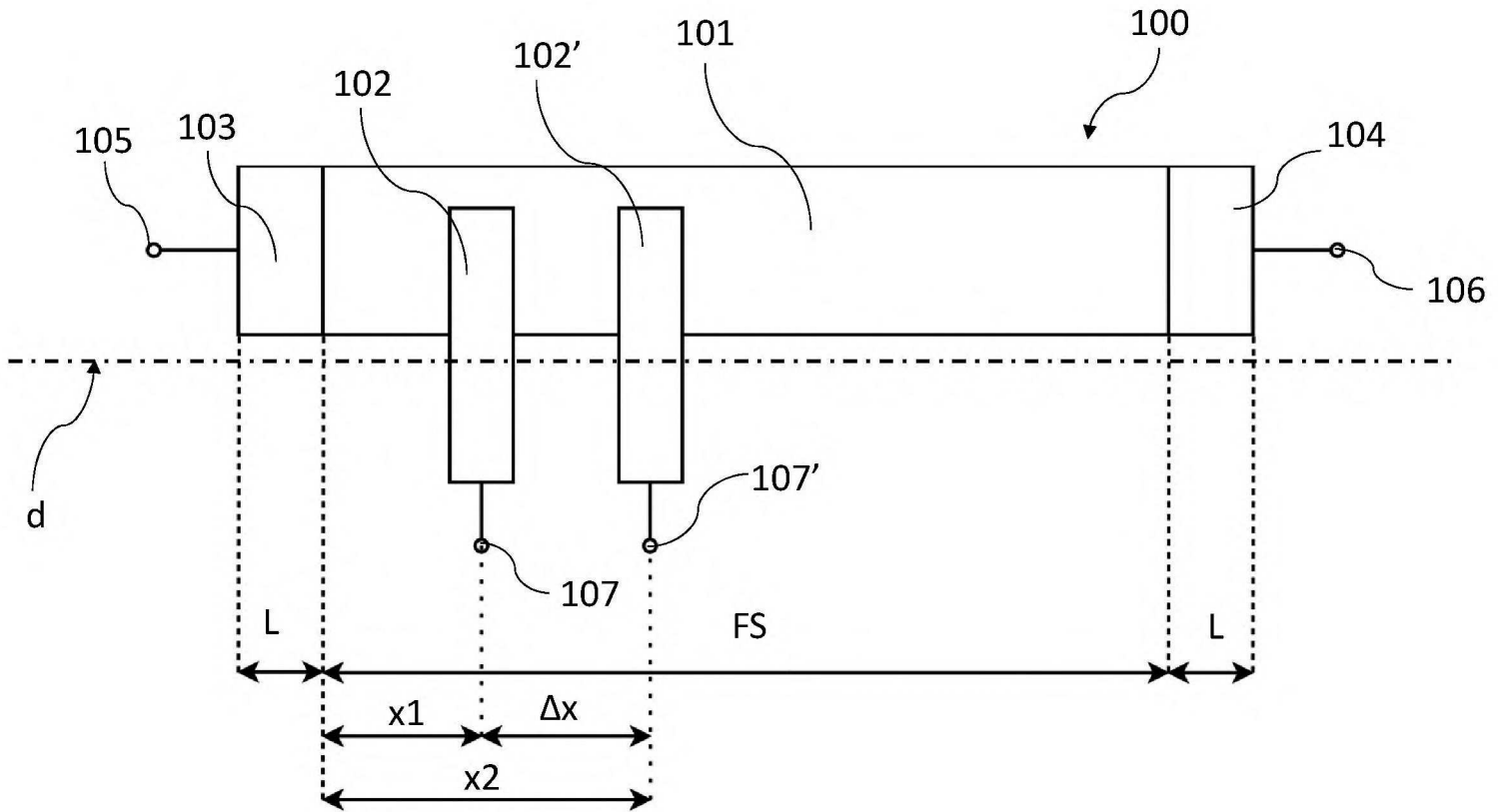


FIG. 11

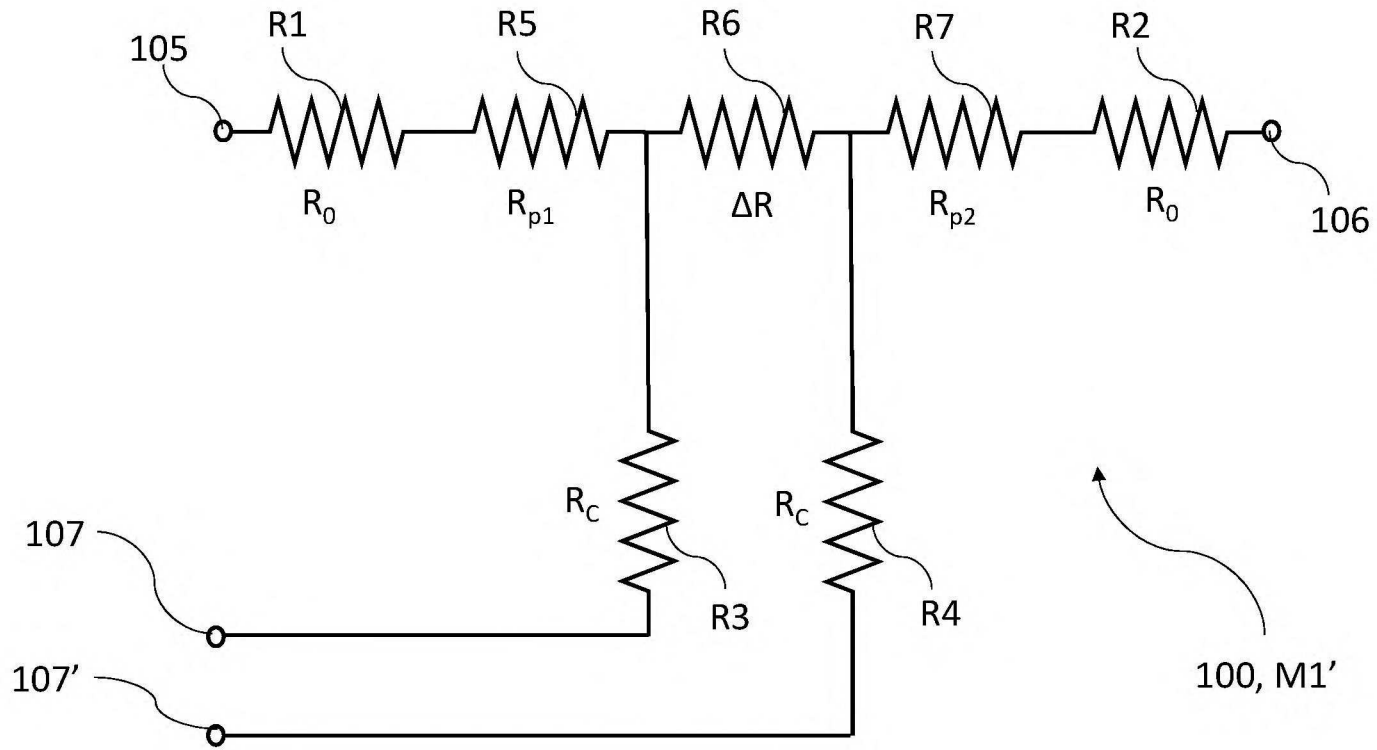


FIG. 12

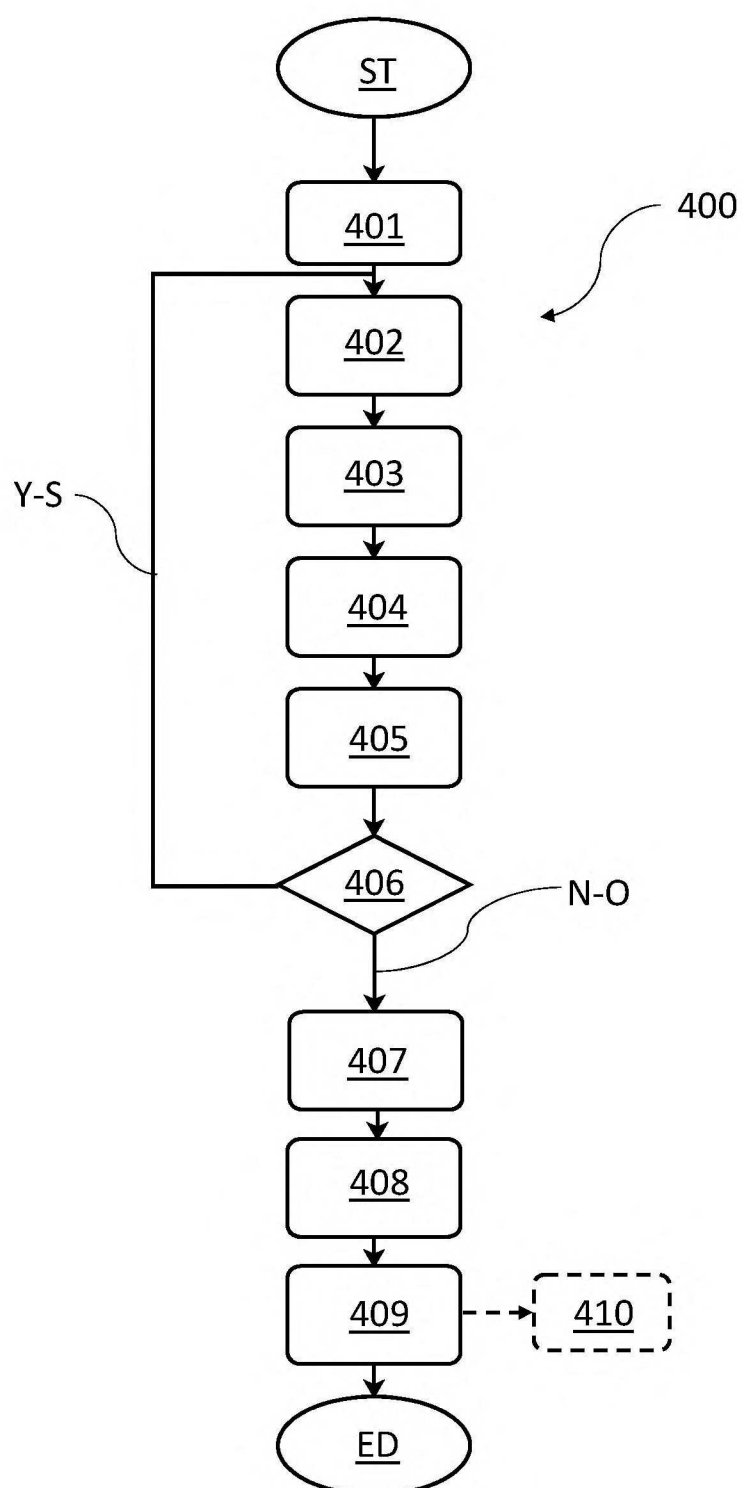


FIG. 13

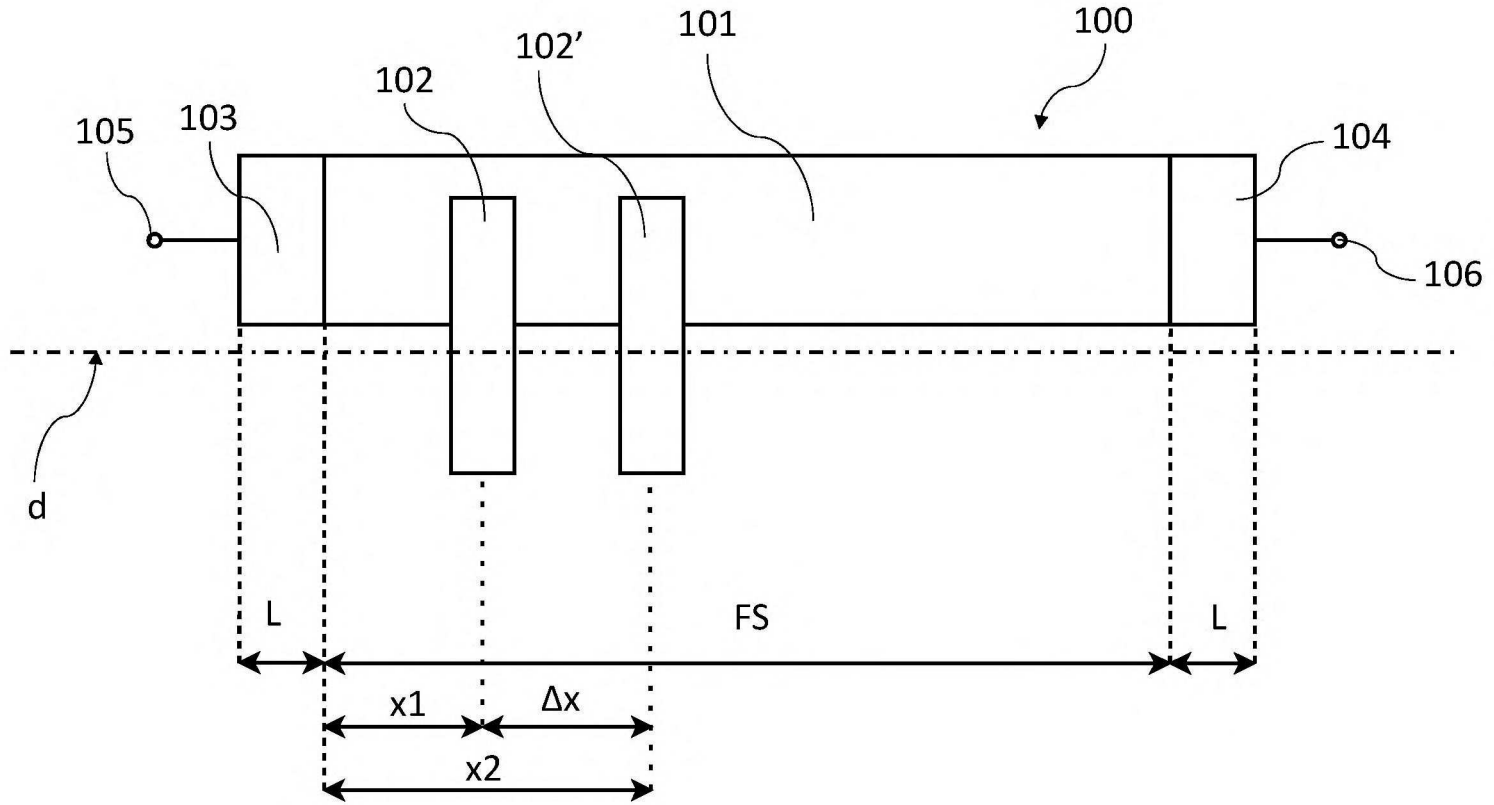


FIG. 14

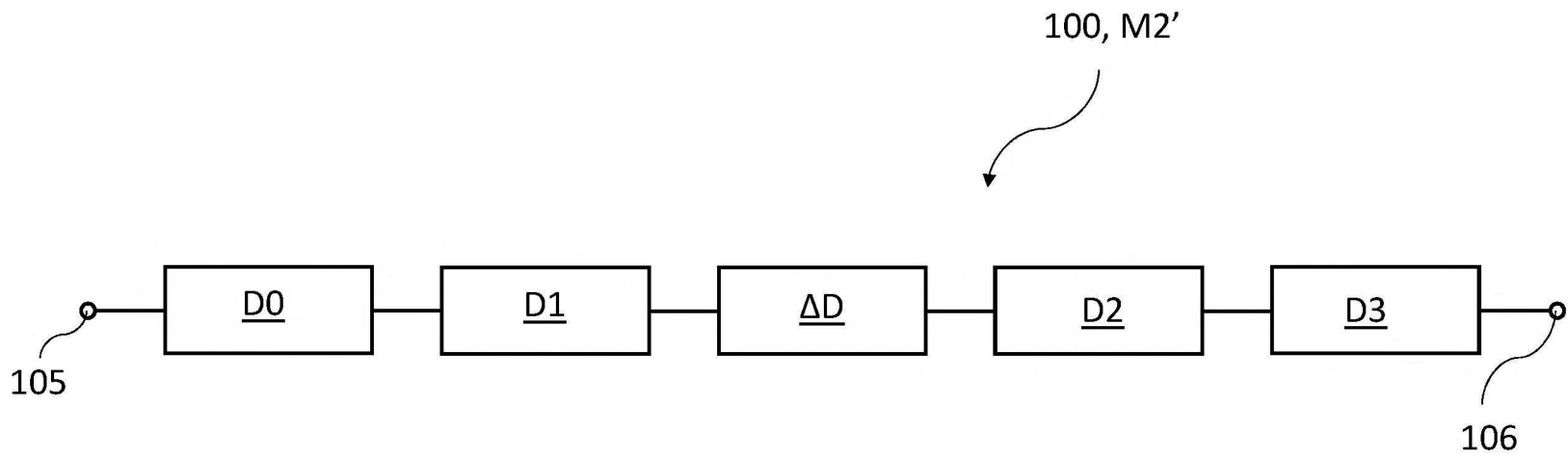


FIG. 15

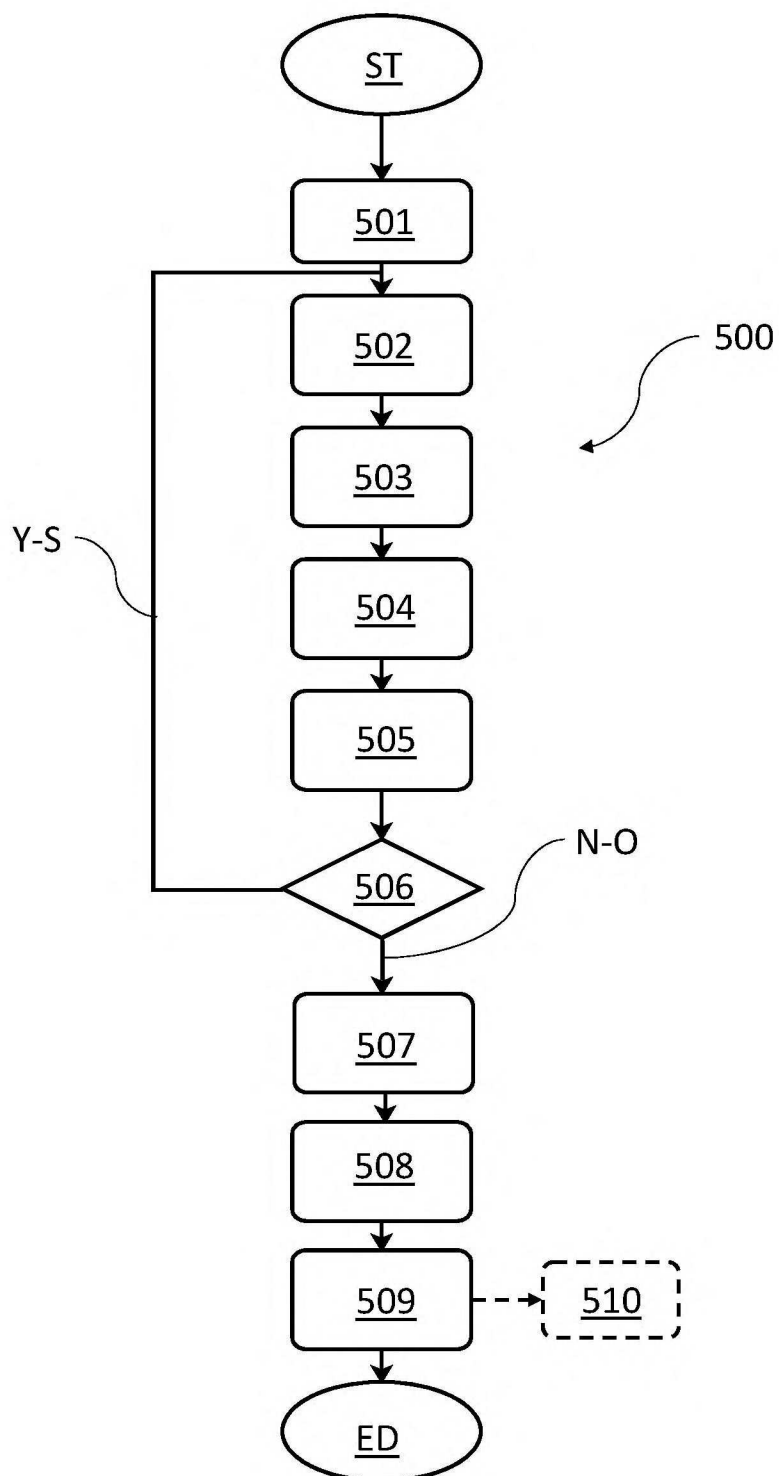


FIG. 16

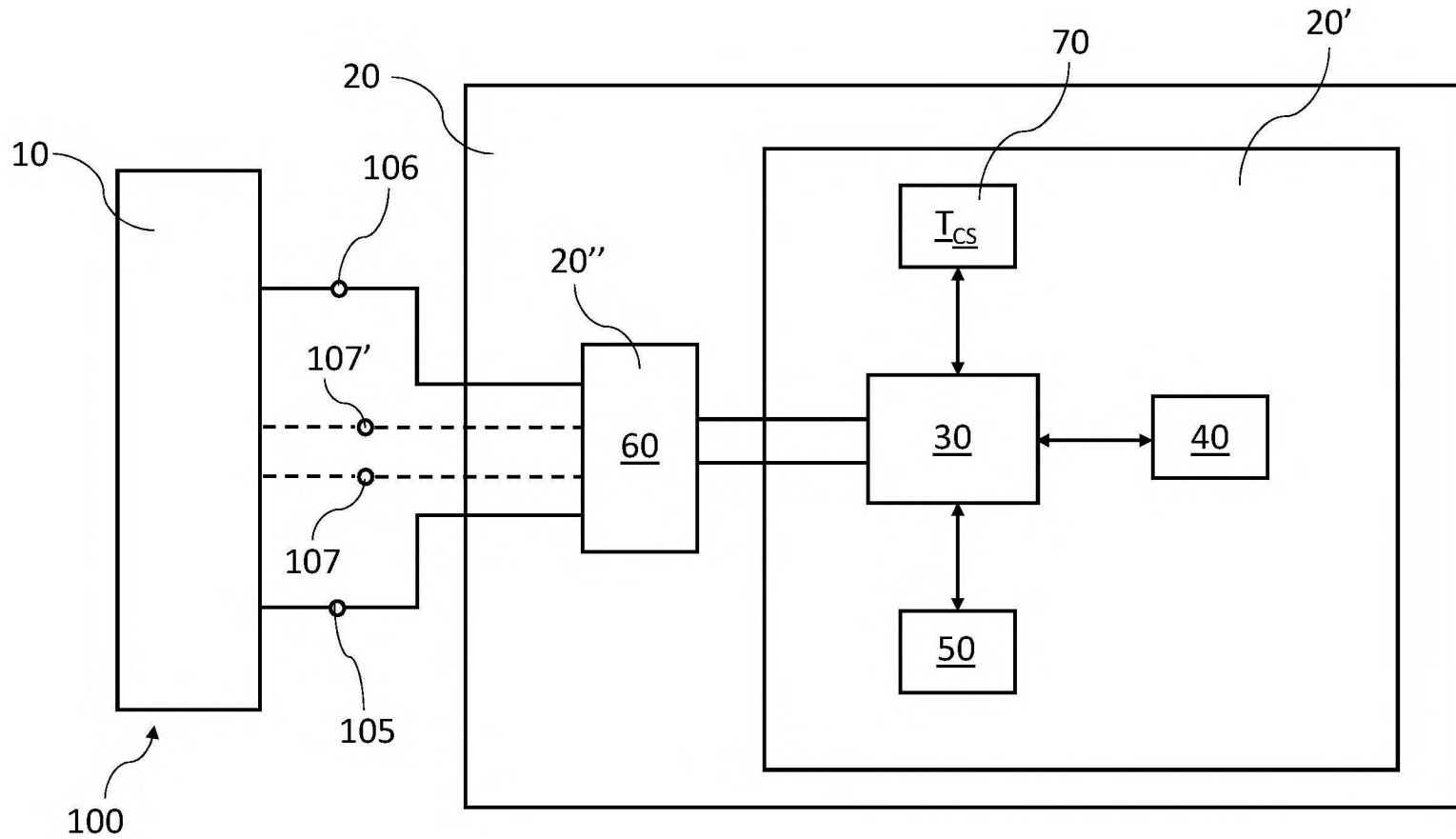


FIG. 17

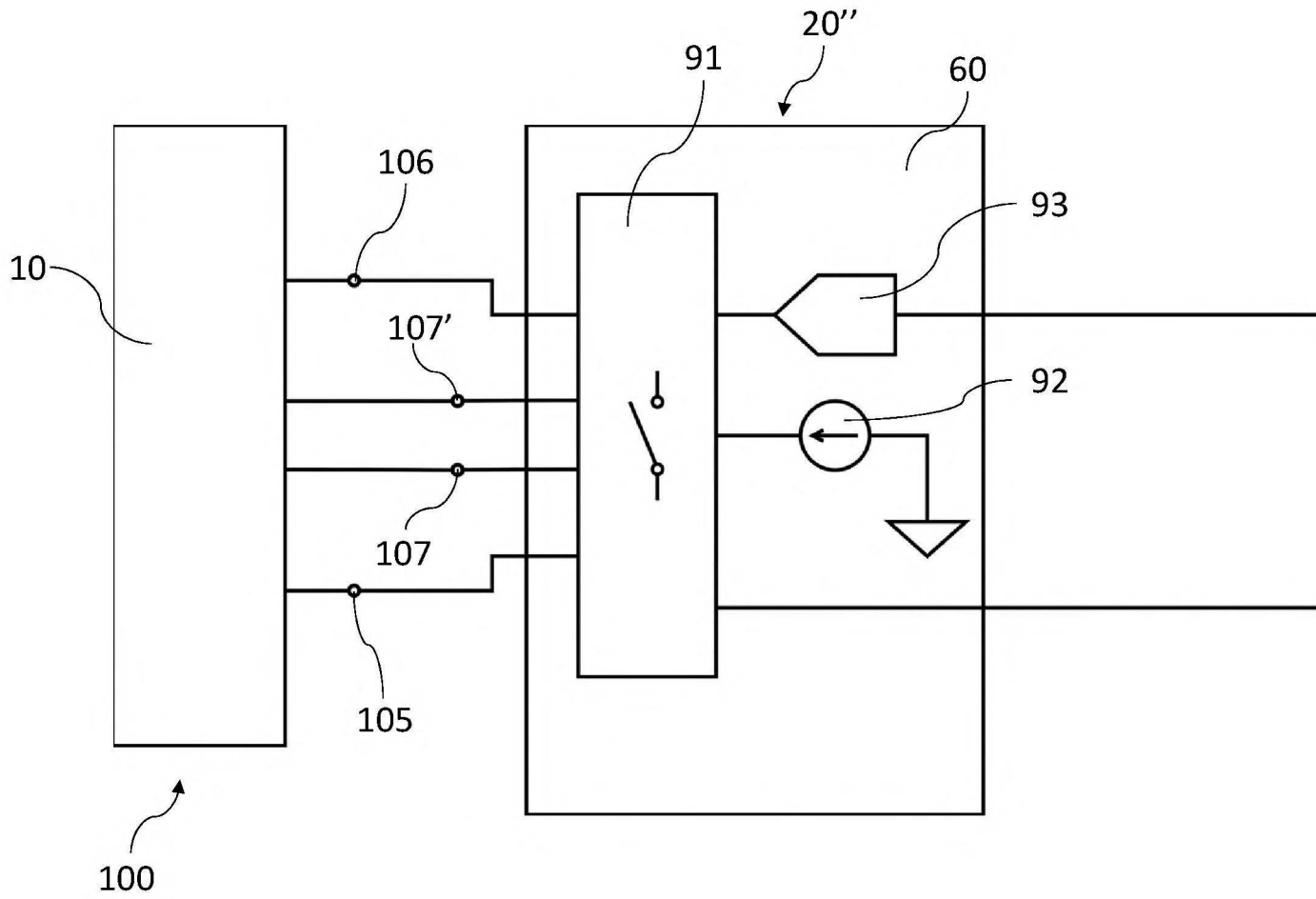


FIG. 18

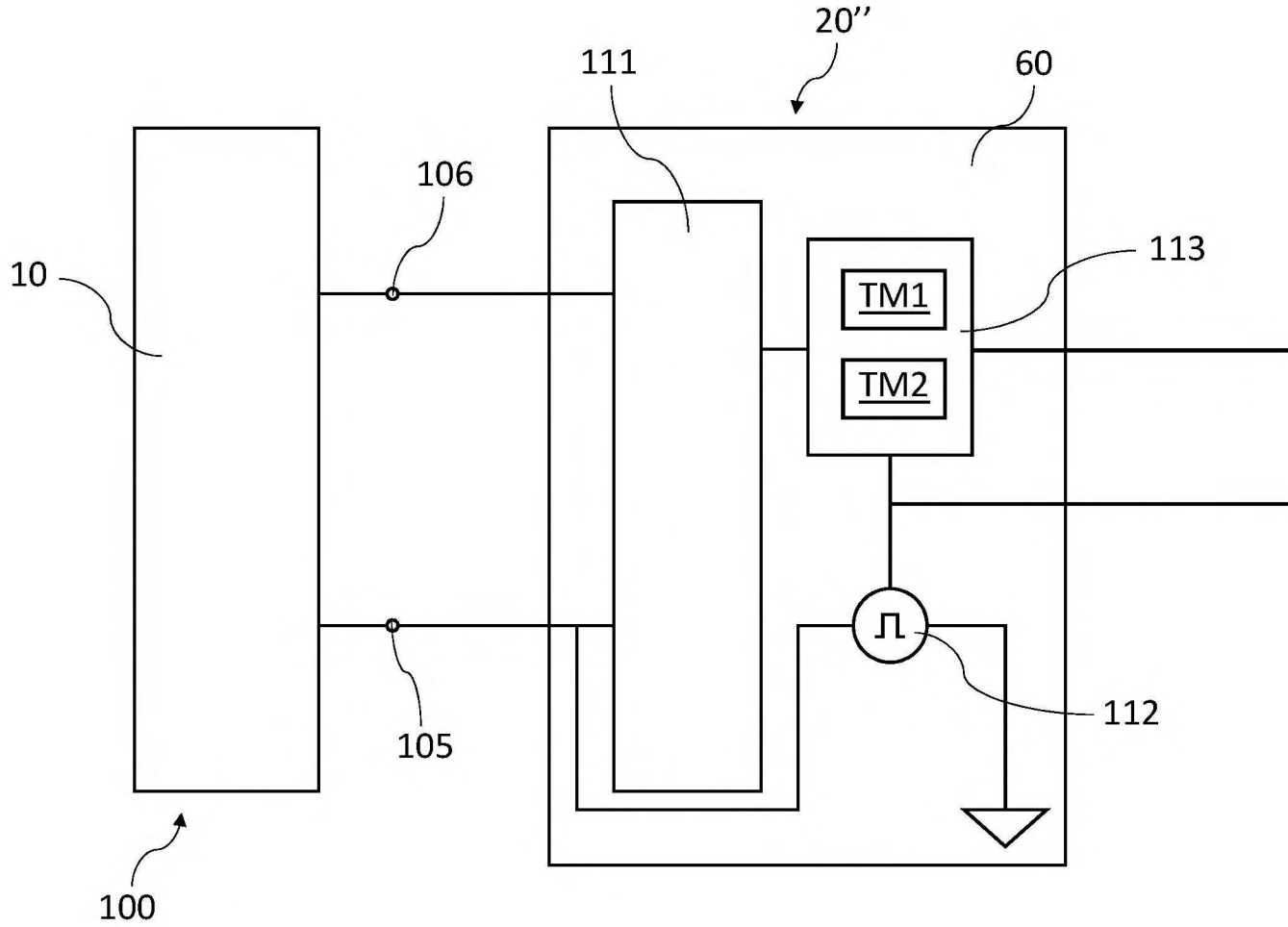


FIG. 19