

DOMANDA DI INVENZIONE NUMERO	102021000031265
Data Deposito	14/12/2021
Data Pubblicazione	14/06/2023

Classifiche IPC

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
F	16	K	31	06

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
F	16	K	3	24

Titolo

Sistema diagnostico per valvola elettro-attuata e relativo metodo

DESCRIZIONECampo tecnico

La presente invenzione si riferisce a un sistema diagnostico per valvola elettro-attuata, a una valvola elettro-attuata comprendente
5 un sistema diagnostico, e a un metodo diagnostico per valvole elettro-attuate.

In generale la presente invenzione trova applicazione in sistemi associati a o compresi in valvole o in altri apparati di interruzione di flusso, tali sistemi essendo atti a indicare o registrare
10 un'operazione di tali valvole, o altresì atti a generare un allarme, in particolare in combinazione con sistemi di test atti a misurare parametri della valvola o dell'apparato di interruzione.

Arte nota

Nel settore tecnico della distribuzione idraulica, riveste
15 importanza la manutenzione predittiva delle valvole. Infatti, in alcuni casi risulta vitale poter intervenire prima che la valvola raggiunga condizioni di guasto tali da determinare la fermata dell'intero impianto ove la valvola risulta installata.

A tale fine sono stati messi a punto vari sistemi e dispositivi
20 che, tramite la verifica di parametri della valvola o del fluido, cercano di identificare l'usura o qualunque altra variazione della valvola in modo tale da pianificare la manutenzione predittiva dell'impianto o del componente.

Come accennato, alcuni sistemi noti ricorrono al monitoraggio
25 della qualità dell'olio, identificando la presenza di residui ferrosi o

metallici nell'olio; questi sistemi fanno genericamente riferimento alla situazione di inizio funzionamento, con olio appena inserito nel circuito e privo di qualunque contaminante. Quando le componenti meccaniche mobili della valvola dovessero usurarsi, l'olio verrebbe a contenere
5 particelle di metallo che, misurate da appositi sensori, genererebbero un allarme per gli utilizzatori. Un tale sistema non sembra privo di problemi, dovuti per esempio all'impossibilità, in circuiti complessi e costituiti da tante valvole, di capire quale valvola si è effettivamente danneggiata.

10 Altri sistemi noti prevedono il monitoraggio delle vibrazioni delle valvole o dei tubi del circuito, al fine di identificare modifiche del segnale derivante dalle vibrazioni stesse. In generale, i sistemi di monitoraggio delle vibrazioni utilizzano come parametro diagnostico uno o più parametri estratti derivabili dal segnale di vibrazione misurato da
15 un accelerometro. Tali ulteriori sistemi presentano comunque problematiche in presenza di vibrazioni o rumore ambientale, e in aggiunta richiedono un trattamento specifico del segnale di vibrazione misurato che può essere oneroso dal punto di vista computazionale.

Il documento EP3141971 (A1) si riferisce a un controller di
20 valvola configurato per eseguire un processo di configurazione e che comprende un dispositivo di input mediante il quale può essere avviato il processo di configurazione e un'unità di memoria per memorizzare i valori dei parametri di configurazione. Il processo di configurazione comprende: determinare uno o più valori di parametro indicativi della
25 funzionalità di almeno uno tra il controller della valvola, l'attuatore e

l'unità di controllo del flusso e memorizzare l'uno o più valori dei parametri come uno o più valori dei parametri di impostazione nell'unità di memoria.

Il documento WO200533567 (A1) si riferisce a una valvola gas
5 con un corpo del dispositivo, e mezzi di rilevamento di anomalia, comprendenti un meccanismo di rilevamento di vibrazioni forniti nel corpo del dispositivo e che rilevano un'anomalia, un corpo valvola per aprire e chiudere un percorso del flusso di gas formati nel corpo del dispositivo e mezzi di azionamento del corpo della valvola per mantenere
10 il corpo della valvola in una posizione in cui il percorso del flusso del gas è aperto e per spostare il corpo della valvola, quando viene rilevata un'anomalia dai mezzi di rilevamento dell'anomalia, per una posizione in cui il percorso del flusso di gas è chiuso.

Sintesi dell'invenzione

15 Uno scopo della presente invenzione è quello di ovviare a inconvenienti tecnici dell'arte nota.

Uno scopo particolare della presente invenzione è quello di presentare un metodo o un sistema che sia in grado di diagnosticare uno stato, in genere l'usura, di un'elettrovalvola o valvola elettro-attuata
20 o di un analogo organo di distribuzione, mediante sensori.

Un ulteriore scopo particolare della presente invenzione è quello di presentare un metodo o un sistema che sia in grado di diagnosticare lo stato di una valvola elettro-attuata, identificando eventuali problematiche in modo rapido, veloce e sicuro.

25 Uno scopo particolare della presente invenzione è quello di

presentare un metodo e un sistema che consentano di pianificare la manutenzione predittiva di una valvola elettro-attuata in maniera più efficace e precisa.

Questi e altri scopi sono raggiunti mediante un sistema
5 diagnostico per valvola elettro-attuata, una valvola elettro-attuata comprendente un sistema diagnostico, e un metodo diagnostico per valvole elettro-attuate secondo le caratteristiche delle allegate rivendicazioni che formano parte integrante della presente descrizione.

Un'idea alla base della presente invenzione è di prevedere un
10 sistema diagnostico per valvola elettro-attuata, comprendente: almeno un sensore di vibrazioni associabile a un corpo della valvola elettro-attuata, per rilevare una vibrazione; almeno un sensore elettrico associabile a un'alimentazione della valvola elettro-attuata, per rilevare una corrente fornita per un'attuazione della valvola elettro-attuata;
15 almeno un dispositivo processore configurato per monitorare un'evoluzione temporale della corrente fornita in un primo intervallo temporale includente un istante di attuazione di un elemento di apertura/chiusura della valvola elettro-attuata, e ulteriormente configurato per monitorare un'evoluzione temporale e uno spettro in
20 frequenza della vibrazione in un secondo intervallo temporale successivo all'istante di attuazione, e ulteriormente configurato per fornire un'indicazione diagnostica di uno stato della valvola elettro-attuata, in base all'evoluzione temporale della corrente fornita e in base all'evoluzione temporale e allo spettro in frequenza della vibrazione.

25 Un'idea alla base della presente invenzione è inoltre di

prevedere un metodo diagnostico per valvola elettro-attuata, comprendente: rilevare una vibrazione della valvola elettro-attuata; rilevare una corrente fornita per un'attuazione della valvola elettro-attuata; monitorare un'evoluzione temporale della corrente fornita in un
5 primo intervallo temporale includente un istante di attuazione di un elemento di apertura/chiusura della valvola elettro-attuata; monitorare un'evoluzione temporale e uno spettro in frequenza della vibrazione in un secondo intervallo temporale successivo all'istante di attuazione; fornire un'indicazione diagnostica di uno stato della valvola elettro-
10 attuata, in base all'evoluzione temporale della corrente fornita e in base all'evoluzione temporale e allo spettro in frequenza della vibrazione.

Un'idea alla base della presente invenzione è inoltre di prevedere una valvola elettro-attuata comprendente un sistema diagnostico.

15 Vantaggiosamente, la presente invenzione consente, in maniera efficace, di diagnosticare uno stato della valvola elettro-attuata, rilevandone il grado di usura o la presenza di malfunzionamenti, mediante la rilevazione di una corrente fornita e di una vibrazione della valvola elettro-attuata.

20 Vantaggiosamente, la presente invenzione consente di diagnosticare lo stato di una valvola elettro-attuata al fine di poter identificare in modo rapido, veloce e sicuro i malfunzionamenti consentendo di ridurre al minimo i disservizi dell'impianto.

Vantaggiosamente, la presente invenzione consente di
25 pianificare la manutenzione predittiva di una valvola elettro-attuata in

maniera più efficace e precisa.

Preferibilmente, la presente invenzione prevede di monitorare una forma d'onda dell'evoluzione della corrente fornita nel tempo, in un primo intervallo temporale immediatamente successivo all'istante di
5 attuazione.

Preferibilmente la presente invenzione prevede di monitorare una vibrazione della valvola elettro-attuata in un secondo intervallo temporale, che è successivo all'istante di attuazione. Vantaggiosamente, la presente invenzione non richiede un monitoraggio continuo della
10 vibrazione, ma è sufficiente effettuarne il monitoraggio per un tempo più ristretto.

Preferibilmente la presente invenzione prevede di diagnosticare un malfunzionamento in caso un'ampiezza a una predeterminata frequenza dello spettro in frequenza risulti superiore a
15 un valore di soglia predeterminato.

Preferibilmente la presente invenzione prevede di diagnosticare un malfunzionamento in caso si presenti, nel secondo intervallo temporale, un descrittore statistico della vibrazione che sia superiore o inferiore quanto confrontato con un ulteriore valore di
20 soglia.

Questi valori di soglia associati a un malfunzionamento possono essere stimati o verificati sperimentalmente per la specifica tipologia o modello di valvola elettro-attuata.

Preferibilmente, il sistema diagnostico e il metodo diagnostico
25 della presente invenzione si appoggiano su algoritmi di intelligenza

artificiale, atti ad analizzare sia l'evoluzione temporale della corrente fornita, sia l'evoluzione temporale e lo spettro in frequenza della vibrazione, così da fornire una fusione di informazioni provenienti dal sensore elettrico e dal sensore di vibrazioni e restituire un'indicazione
5 diagnostica significativa e ricca di informazioni.

Ulteriori caratteristiche e vantaggi risulteranno maggiormente evidenti dalla descrizione dettagliata fatta qui di seguito di forme di realizzazione preferite, non limitative, della presente invenzione, e dalle rivendicazioni dipendenti che delineano forme di realizzazione preferite e
10 particolarmente vantaggiose dell'invenzione.

Breve descrizione dei disegni

L'invenzione è illustrata con riferimento alle seguenti figure, fornite a titolo esemplificativo e non limitativo, in cui:

– La Figura 1 illustra una valvola elettro-attuata
15 comprendente un sistema diagnostico secondo la presente invenzione.

– La Figura 2 esemplifica un'evoluzione temporale di una corrente fornita in un primo intervallo temporale includente un istante di attuazione di un elemento di apertura/chiusura di una valvola elettro-attuata.

20 – La Figura 3 esemplifica un ingrandimento dell'intorno dell'istante di attuazione di Figura 2.

– La Figura 4 esemplifica un'evoluzione temporale di una vibrazione in un secondo intervallo temporale successivo a un istante di attuazione di un elemento di apertura/chiusura di una valvola elettro-
25 attuata.

– La Figura 5 esemplifica uno spettro in frequenza di una vibrazione in un secondo intervallo temporale successivo a un istante di attuazione di un elemento di apertura/chiusura di una valvola elettro-attuata.

5 – La Figura 6 esemplifica un'indicazione diagnostica di uno stato di una valvola elettro-attuata, fornito in base a un'evoluzione temporale di una corrente fornita e in base un'evoluzione temporale e uno spettro in frequenza di una vibrazione.

– La Figura 7 esemplifica un metodo diagnostico per
10 valvola elettro-attuata secondo la presente invenzione.

Nelle differenti figure, elementi analoghi saranno identificati da numeri di riferimento analoghi.

Descrizione di dettaglio

Si deve chiarire che nel contesto della presente divulgazione,
15 con il termine “valvola elettro-attuata” si intende ogni tipologia di valvola o apparato di regolazione o interruzione di flusso, che sia atta a essere operata mediante mezzi elettrici. Un esempio particolare di “valvola elettro-attuata” è un'elettrovalvola, che tipicamente comprende uno o più solenoidi per l'attuazione di un elemento di
20 apertura/chiusura della valvola.

La Figura 1 illustra, in maniera non limitativa, una valvola elettro-attuata 10 del tipo elettrovalvola, che comprende un sistema diagnostico 100 che sarà descritto nel seguito.

È da intendersi che l'elettrovalvola 10 comprende ulteriori
25 componenti interni quale un elemento di apertura/chiusura o “spool”, e

un meccanismo di attuazione tipicamente comprendente uno o più solenoidi. Questi ulteriori componenti interni non saranno descritti per brevità, dal momento che il sistema e metodo di diagnosi secondo la presente invenzione sono applicabili a differenti tipologie e modelli di
5 valvole elettro-attuate.

Tornando al sistema diagnostico 100 per la valvola elettro-attuatora 10, esso comprende un sensore di vibrazioni 101 associabile al corpo della valvola elettro-attuatora 10, opportunamente configurato e posizionato per rilevare una vibrazione associata al corpo della valvola
10 elettro-attuatora 10. In altre parole, vi è un trasduttore di vibrazione 101 che misura vibrazioni, in particolare vibrazioni ad alte frequenze (preferibilmente ma non limitativamente, frequenze superiori a 2.5 kHz oppure superiori a 5.0 kHz), o emissioni ultrasonore, che è integrato nel corpo dell'elettrovalvola 10. Il sistema diagnostico, in una variante,
15 potrebbe comprendere due o più sensori di vibrazioni.

Inoltre, il sistema diagnostico 100 per la valvola elettro-attuatora 10 comprende un sensore elettrico 102 associabile a un'alimentazione 103 della valvola elettro-attuatora, in particolare di uno o più solenoidi configurati per attuare l'elemento di apertura/chiusura
20 della valvola elettro-attuatora 10. Il sensore elettrico 102 è configurato per rilevare una corrente fornita per l'attuazione della valvola elettro-attuatora 10, cioè in particolare per alimentare selettivamente gli uno o più solenoidi e attuare l'elemento di apertura/chiusura, interrompendo o ripristinando il flusso attraverso la valvola elettro-attuatora 10. Il sistema
25 diagnostico, in una variante, potrebbe comprendere due o più sensori

elettrici per misurare la corrente fornita, per esempio a due solenoidi.

Il sistema diagnostico 100 comprende ulteriormente almeno un dispositivo processore 200 (non visibile in Figura 1, ma dettagliato ulteriormente in Figura 6) che è configurato per fornire un'indicazione
5 diagnostica di uno stato della valvola elettro-attuata 10, come sarà ulteriormente descritto. In altre parole, il dispositivo processore 200 è o comprende una centralina di controllo e calcolo, che può essere localizzata nelle vicinanze della valvola elettro-attuata 10, oppure remotamente, oppure – se sufficientemente miniaturizzata – anche a
10 bordo della valvola elettro-attuata 10.

In questo esempio del sistema diagnostico semplificato, il sensore di vibrazione 101, quale a esempio un accelerometro, un sensore a ultrasuoni o un geofono, è disposto a osservare la vibrazione generata dallo spostamento dello spool dell'elettrovalvola 10. Come
15 menzionato, il posizionamento del sensore di vibrazione 101 deve essere tale da poter captare le vibrazioni relative alla turbolenza generata dal trafilamento della valvola 10, ed è pertanto necessario collocarlo in una posizione specifica che tenga conto del tipo di valvola e del tipo di sensore, secondo considerazioni determinabili dal tecnico del ramo per
20 ciascun caso particolare.

In generale, il sistema diagnostico 100 della presente invenzione consente di attuare una verifica della modifica di vibrazione generata dallo spostamento dello spool o da eventuali trafilamenti; questa misura di vibrazione viene coadiuvata dalla misura di corrente
25 assorbita dagli induttori che coordinano lo spostamento dello spool.

Il sistema diagnostico 100 è in particolare atto a monitorare automaticamente l'usura della valvola elettro-attuata 10 o organo di comando elettrico durante il suo funzionamento, in un assieme di comando che lo utilizza all'interno di un impianto.

5 Come accennato, preferibilmente, l'almeno un sensore di vibrazioni 101 comprende un accelerometro o un microfono o un geofono o un sensore a ultrasuoni, configurato per rilevare una vibrazione.

10 La presente invenzione riguarda pertanto anche la valvola elettro-attuata 10 comprendente il sistema diagnostico 100. Infatti, il sistema diagnostico 100 potrebbe essere ricompreso sin dall'origine nella valvola elettro-attuata 10, oppure esservi applicato successivamente oppure essere venduto come kit di trasformazione applicabile a una valvola elettro-attuata 10 già esistente.

15 La Figura 2 esemplifica l'evoluzione temporale di una corrente fornita 2 rilevata dal sensore elettrico 102. Tale rilevazione della corrente fornita avviene in un primo intervallo temporale 20 che, come sarà ulteriormente descritto, è selezionato per includere un istante di attuazione 21 di un elemento di apertura/chiusura della valvola elettro-
20 attuata 10.

Il dispositivo processore 200 del sistema diagnostico 100 è infatti configurato per monitorare un'evoluzione temporale della corrente fornita 2, nel primo intervallo temporale 20 che include l'istante di attuazione 21.

25 Tale istante di attuazione 21 rappresenta l'istante di

attuazione dell'elemento di apertura/chiusura della valvola elettro-
attuata, rilevabile mediante il sensore elettrico 102; per esempio,
l'istante di attuazione 21 è l'istante in cui i solenoidi dell'elettrovalvola
10 vengono energizzati. Preferibilmente, l'istante di attuazione 21
5 corrisponde sostanzialmente all'istante in cui l'elemento di
apertura/chiusura viene alimentato dalla corrente fornita 2.

In una forma di realizzazione preferita, il primo intervallo
temporale 20 include un secondo istante 22 successivo di 100
millisecondi all'istante di attuazione 21. Preferibilmente, il primo
10 intervallo temporale 20 termina con tale secondo istante 22 successivo.
In generale, preferibilmente, il primo intervallo temporale 20 include, e
preferibilmente termina con, un secondo istante successivo all'istante di
attuazione 21 di un tempo compreso tra 100 millisecondi e 500
millisecondi.

15 La presente invenzione prevede quindi un'opportuna selezione
temporale del segnale di interesse della corrente fornita 2.

Come sarà ulteriormente descritto, la diagnostica della valvola
elettro-attuata viene effettuata osservando parametri deducibili dal
segnale di vibrazione, dal segnale di corrente e dalla loro osservazione
20 congiunta.

La Figura 3 esemplifica un ingrandimento dell'intorno
dell'istante di attuazione 2. Si deve notare che lo zero di Figura 3 è
sostanzialmente coincidente con il valore di 3 s sull'asse delle ascisse di
Figura 2 sopra commentata. In altre parole, la Figura 3 rappresenta un
25 ingrandimento del primo intervallo temporale 20 selezionato.

Nell'intervallo temporale 20 si evidenzia l'istante di attuazione 21 dell'elemento di apertura/chiusura della valvola elettro-attuata 10; tale istante di attuazione 21 è rilevato dal sensore elettrico 102. È da chiarire che non è indispensabile che l'istante di attuazione sia il primo
5 istante in cui viene fatta fluire corrente nell'alimentazione 103, ma è sufficiente che sia uno dei primi istanti in corrispondenza dell'istante di attuazione dell'elemento di apertura/chiusura.

Come visibile, il primo intervallo temporale 20 include il secondo istante 22 che in questo esempio è successivo di 100
10 millisecondi all'istante di attuazione 21.

Il dispositivo processore 200, mediante la rilevazione tramite il sensore elettrico 102 della corrente fornita 2, è configurato per rilevare uno o più minimi locali nella corrente fornita 2 nel primo intervallo temporale 20.

15 Infatti, evidenze sperimentali hanno mostrato che difetti della valvola elettro-attuata 10 si manifestano in alterazioni dell'assorbimento di corrente fornita 2, rilevabili nella sua evoluzione temporale.

Il sistema diagnostico 100 analizza i dati sulla corrente fornita 2 estratti dal sensore elettrico 102, nel primo intervallo temporale 20
20 immediatamente successivo al cambio di stato della valvola, ovvero quando viene inviato il comando di attuazione allo spool. Preferibilmente, il primo intervallo temporale 20 analizzato è il primo decimo di secondo.

Nel primo intervallo temporale 20 la corrente fornita 2 si
25 assesta ad un valore nominale di alimentazione, come visibile in Figura

2, ma nel transitorio evidenziato in Figura 3 si evidenzia un cambio nella forma d'onda tra un caso di valvola sana (linea continua) e un caso di valvola con un guasto (linea tratteggiata).

Si deve tenere presente che il sistema diagnostico 100 è atto a
5 fornire un'indicazione diagnostica di uno stato della valvola elettro-attuata 10, riscontrando ogni problematica che venga a crearsi a seguito di qualche tipo di guasto; in particolare, per "guasto" si intende un'usura, un danneggiamento, una variazione delle prestazioni, un gioco tra i componenti meccanici, un trafilamento, che dovessero venirsi
10 a creare nella valvola elettro-attuata 10 a seguito di suo uso e funzionamento.

Il dispositivo processore 200 del sistema diagnostico 100 è quindi configurato per identificare uno stato della valvola elettro-attuata valutando la presenza di un massimo o di un minimo locali in un
15 istante temporale 23 di poco successivo all'istante di attuazione 21 e compreso nel primo intervallo temporale 20. In particolare, in alcune forme di realizzazione, questa valutazione viene effettuata in un istante temporale 23 collocato 0.04 secondi l'istante di attuazione 21. In generale, in forme di realizzazione preferite, il dispositivo processore 200
20 è configurato per ricercare gli uno o più minimi locali 23 tra 10 millisecondi e 100 millisecondi dopo l'istante di attuazione 21.

In una forma di realizzazione in cui l'elettrovalvola 10 comprendesse due solenoidi, un parametro aggiuntivo valutabile dal dispositivo processore 200 è rappresentato dalla differenza tra massimo
25 e minimo della serie temporale risultante dalla differenza tra

l'andamento delle rispettive correnti fornite a ciascuno dei solenoidi.

La Figura 4 esemplifica un'evoluzione temporale di una
vibrazione 3 in un secondo intervallo temporale 30 che è successivo
all'istante di attuazione 21 dell'elemento di apertura/chiusura della
5 valvola elettro-attuata 10. Si deve notare che, tra la Figura 4
considerata ora e la Figura 2 sopra commentata, la scala temporale è la
medesima; in altre parole, mentre la Figura 2 mostra il segnale della
corrente fornita 2 rilevata dal sensore elettrico 102, la Figura 4 mostra il
corrispondente segnale della vibrazione 3 rilevata dal sensore di
10 vibrazione 101.

Il dispositivo processore 200 del sistema diagnostico 100 è
configurato per monitorare un'evoluzione temporale della vibrazione 3
nel secondo intervallo temporale 30 successivo all'istante di attuazione
21.

15 Preferibilmente, il secondo intervallo temporale 30 include, e
più preferibilmente inizia con, un istante 31 successivo di 1 secondo
all'istante di attuazione 21.

Preferibilmente, il secondo intervallo temporale 30 ha una
durata compresa tra 0.1 e 10 secondi.

20 Nel monitorare l'evoluzione temporale della vibrazione 3 nel
secondo intervallo temporale 30, il dispositivo processore 200 è
configurato per calcolare un descrittore statistico della vibrazione 3
associato al secondo intervallo temporale 30, e ulteriormente
configurato per confrontarlo con secondo un valore di soglia.

25 In particolare, quando il descrittore statistico calcolato risulta

superiore o inferiore al secondo valore di soglia, il dispositivo processore 200 del sistema diagnostico 100 fornisce un'indicazione diagnostica di uno stato di "guasto" o "guasto incipiente" della valvola elettro-attuata 10.

5 Esempi di descrittori statistici utilizzabili per la diagnosi da parte del dispositivo processore 200 possono essere, a titolo di esempio, un valore RMS, o un valore di Curtosi, o un Fattore di Cresta o un altro opportuno descrittore statistico della vibrazione 3.

10 La Figura 5 esemplifica uno spettro in frequenza 4 della vibrazione 3 nel secondo intervallo temporale 30, che ricordiamo essere successivo all'istante di attuazione 21 dell'elemento di apertura/chiusura della valvola elettro-attuata 10.

15 In generale, il dispositivo processore 200 del sistema diagnostico 100 è configurato per calcolare e monitorare lo spettro in frequenza 4 della vibrazione 3 nel secondo intervallo temporale 30 successivo all'istante di attuazione 21.

 Come visibile in Figura 5, nello spettro in frequenza 4 si evidenzia un cambio tra un caso di valvola sana (linea tratteggiata) e un caso di valvola con un guasto (linea continua).

20 In particolare, quando un'ampiezza di picco in corrispondenza ad una frequenza predeterminata risulta superiore a un valore di soglia, il dispositivo processore 200 del sistema diagnostico 100 fornisce un'indicazione diagnostica di uno stato di "guasto" o "guasto incipiente" della valvola elettro-attuata 10.

25 Infatti, evidenze sperimentali hanno mostrato che difetti di

funzionamento della valvola elettro-attuata si manifestano in uno o più dei seguenti modi: alterazioni dell'assorbimento di corrente fornita; alterazioni del segnale di vibrazione nel tempo; alterazioni della ampiezza in frequenza del segnale di vibrazione.

5 In particolare, il sistema diagnostico 100 analizza i dati estratti dal sensore di vibrazioni 101, nel secondo intervallo temporale 30 preferibilmente compreso tra 1 secondo dopo lo switch dello spool e l'attuazione successiva della valvola, con una durata minima di 0.1 secondi. I dati di vibrazione estratti in questo intervallo di tempo 30
10 sono usati per l'analisi in frequenza della vibrazione 3. L'analisi dello spettro in frequenza 4 evidenzia la presenza di componenti armoniche con ampiezza maggiore nel caso valvola con guasto o con guasto incipiente, rispetto al caso di valvola sana.

Per quanto riguarda la misura delle vibrazioni mediante il
15 sensore di vibrazioni 101, i parametri preferibilmente usati dal sistema diagnostico 100 per l'identificazione dello stato della valvola elettro-attuata 10 sono valori di ampiezza delle componenti armoniche individuate per quanto riguarda l'analisi in frequenza, mentre valori di uno o più opportuni descrittori statistici della vibrazione nel dominio del
20 tempo.

La Figura 6 esemplifica un'indicazione diagnostica di uno stato di una valvola elettro-attuata, fornito dal sistema diagnostico 100 in base a un'evoluzione temporale nel primo intervallo temporale 20 di una corrente fornita 2, e ulteriormente in base un'evoluzione temporale
25 (non mostrata in figura) e uno spettro in frequenza 4 della vibrazione 3

nel secondo intervallo temporale 30.

Il sistema diagnostico 100 prevede un algoritmo di analisi di dati e di fusione di informazioni provenienti dal sensore elettrico 102 e dal sensore di vibrazioni 101, analizzati secondo il metodo
5 dell'invenzione mediante il dispositivo processore 200.

Il dispositivo processore 200 è configurato per fornire un'indicazione diagnostica 201 di uno stato della valvola elettro-attuata 10, in base all'evoluzione temporale della corrente fornita 2 e in base all'evoluzione temporale e allo spettro in frequenza della vibrazione 3.

10 In particolare, il dispositivo processore 200 è configurato per implementare algoritmi di intelligenza artificiale, che analizzano l'evoluzione temporale della corrente fornita 2, l'evoluzione temporale 3 e lo spettro in frequenza 4 della vibrazione, per fornire una fusione di informazioni provenienti dal sensore elettrico 12 e dal sensore di
15 vibrazioni 101 e fornire così l'indicazione diagnostica 201.

Questi valori combinati, estratti dal sensore elettrico 102 e dal sensore di vibrazione 101, sono poi utilizzati dal dispositivo processore 200 per determinare lo stato della valvola elettro-attuata 10.

L'indicazione diagnostica 201 fornita dal sistema diagnostico
20 100 può comprendere una o più indicazioni, in particolare rappresentabili mediante un diagramma o in altre modalità.

L'indicazione diagnostica 201 fornita dal sistema diagnostico 100 può comprendere, per esempio, una prima indicazione diagnostica 201A del tipo "a diagramma" atta a indicare una stima della vita utile in
25 relazione alla valvola elettro-attuata 10. In tal senso la prima

indicazione diagnostica 201A, in particolare grazie a specifici algoritmi di intelligenza artificiale, è atta a pianificare la manutenzione predittiva della valvola elettro-attuata 10.

L'indicazione diagnostica 201 fornita dal sistema diagnostico
5 100 può comprendere, per esempio, una seconda indicazione diagnostica 201B del tipo "a diagramma" cioè rappresentante differenti situazioni di "guasto/non guasto" in relazione a stati di funzionamento della valvola elettro-attuata 10. In tal senso, anche la seconda indicazione diagnostica 201B, in particolare grazie a specifici algoritmi
10 di intelligenza artificiale, è atta a classificare la tipologia di guasto e la gravità dello stesso, in relazione all'operatività della valvola elettro-attuata 10.

Infatti, gli algoritmi di intelligenza artificiale implementato dal dispositivo processore 200 elaborano le informazioni raccolte dal
15 sensore elettrico 102 e dal sensore di vibrazione 101, analizzando l'andamento dei singoli parametri e la loro correlazione.

Secondo le indicazioni diagnostiche 201, il dispositivo processore 200 raggiunge quindi una classificazione dello stato del sistema valvola elettro-attuata (sano/tipo di guasto) e l'identificazione
20 della vita utile rimanente del componente monitorato.

Preferibilmente, l'indicazione diagnostica 201 include una classe di guasto o una vita utile residua di elementi della valvola elettro-attuata 10.

La Figura 7 esemplifica un metodo diagnostico per valvola
25 elettro-attuata secondo la presente invenzione.

Il metodo diagnostico per valvola elettro-attuata comprende rilevare una vibrazione 3 di almeno una valvola elettro-attuata 10, e rilevare una corrente 2 fornita per un'attuazione della valvola elettro-attuata 10; tali grandezze sono in particolare rilevate dai rispettivi
5 sensore elettrico 102 e sensore di vibrazione 101.

Il metodo diagnostico per valvola elettro-attuata comprende monitorare un'evoluzione temporale della corrente fornita 2 in un primo intervallo temporale 20 includente un istante di attuazione di un elemento di apertura/chiusura della valvola elettro-attuata 10.

10 Il metodo diagnostico per valvola elettro-attuata comprende monitorare un'evoluzione temporale e uno spettro in frequenza della vibrazione 3 in un secondo intervallo temporale 30 successivo all'istante di attuazione.

Il metodo diagnostico per valvola elettro-attuata comprende
15 fornire un'indicazione diagnostica 201 di uno stato della almeno una valvola elettro-attuata 10, in base all'evoluzione temporale della corrente fornita 2 e in base all'evoluzione temporale e allo spettro in frequenza della vibrazione 3.

In generale, il metodo diagnostico per valvola elettro-attuata è
20 implementabile in un sistema diagnostico 100 secondo le caratteristiche descritte nella presente divulgazione.

In generale, il metodo diagnostico per valvola elettro-attuata comprende l'identificazione di informazioni essenziali dai segnali di vibrazione 3 e dai segnali di corrente fornita 2. Le informazioni
25 provenienti vengono poi utilizzate da algoritmi di intelligenza artificiale

per identificare la classe di guasto e la vita utile rimanente dei componenti.

In particolare, alcune informazioni sono ricavate dal dominio del tempo in intervalli specifici 20 e 30 di funzionamento della valvola elettro-attuata 10; ulteriori informazioni vengono ricavate dall'analisi in frequenza dei dati.

In generale, i dati sono comparati con storie temporale ed analisi in frequenza di casi già noti relativa alla tipologia di valvola elettro-attuata di interesse (per esempio, elettrovalvole del medesimo modello). Questi dati vengono poi utilizzati dal metodo diagnostico per identificare una specifica classe di guasto, nota la correlazione del comportamento di una generica valvola elettro-attuata in presenza della stessa condizione di guasto.

Questi stessi dati possono essere usati per aggiornare l'andamento corrente del funzionamento della valvola elettro-attuata e identificare in maniera predittiva un probabile andamento futuro del danneggiamento. In altre parole, il risultato dell'elaborazione viene usato per identificare lo stato di usura e la vita utile della valvola elettro-attuata.

Preferibilmente, il metodo diagnostico prevede una elaborazione dati effettuato da algoritmi di intelligenza artificiale.

Preferibilmente, il metodo diagnostico prevede una trasmissione dati e scrittura dei risultati a database, a cui possono seguire varie azioni quali quelle di arresto, allarme o altro per la valvola elettro-attuata e per l'impianto ad essa associata.

Applicabilità industriale

Vantaggiosamente, la presente invenzione consente il rilevamento dell'usura di valvole elettro-attuate e della loro vita utile residua, per programmare a esempio la manutenzione in maniera
5 efficace prima che si verifichi un guasto.

Tramite la presente invenzione si riesce quindi a monitorare l'usura di una valvola elettro-attuata sfruttando due diversi tipi di sensore: corrente e vibrazione.

La verifica delle vibrazioni e dell'assorbimento di corrente della
10 valvola elettro-attuata permette infatti di identificarne l'usura o qualunque altra variazione di stato, per poter pianificare una manutenzione predittiva del componente.

Considerando la descrizione qui riportata, il tecnico del ramo potrà congegnare ulteriori modifiche e varianti, allo scopo di soddisfare
15 esigenze contingenti e specifiche.

È evidente che, ove non vi siano incompatibilità tecniche evidenti al tecnico del ramo, le configurazioni di specifici elementi descritti con riferimento a talune forme di realizzazione, potranno essere utilizzate in altre forme di realizzazione qui descritte.

20 Per esempio, il sensore elettrico potrebbe rilevare direttamente la corrente fornita per l'attuazione della valvola elettro-attuata, oppure potrebbe rilevare un'associata tensione.

Per esempio, il sensore di vibrazioni potrebbe essere associato a contatto con una specifica porzione del corpo della valvola elettro-
25 attuata, oppure con ulteriori elementi interposti, oppure solo nelle

vicinanze del corpo della valvola elettro-attuata purché atto a rilevare una vibrazione.

Per esempio, il dispositivo processore potrebbe essere collocato a bordo valvola oppure remotamente, e monitorare più di una
5 valvola elettro-attuata contemporaneamente.

Le forme di realizzazione qui descritte sono pertanto da intendersi esempi illustrativi e non limitativi dell'invenzione.

RIVENDICAZIONI

1. **Sistema diagnostico** (100) per valvola elettro-attuata (10), comprendente:

- almeno un sensore di vibrazioni (101) associabile a un corpo di detta valvola elettro-attuata (10), per rilevare una vibrazione (3, 4);
- almeno un sensore elettrico (102) associabile a un'alimentazione (103) di detta valvola elettro-attuata (10), per rilevare una corrente fornita (2) per un'attuazione di detta valvola elettro-attuata (10);
- almeno un dispositivo processore (200) configurato per monitorare un'evoluzione temporale di detta corrente fornita (2) in un primo intervallo temporale (20) includente un istante di attuazione (21) di un elemento di apertura/chiusura di detta valvola elettro-attuata (10),
ed ulteriormente configurato per monitorare un'evoluzione temporale (3) e uno spettro in frequenza (4) di detta vibrazione (3, 4) in un secondo intervallo temporale (30) successivo a detto istante di attuazione (21),
ed ulteriormente configurato per fornire un'indicazione diagnostica (201) di uno stato di detta valvola elettro-attuata (10), in base a detta evoluzione temporale di detta corrente fornita (2) e in base a detti evoluzione temporale (3) e spettro in frequenza (4) di detta vibrazione (3, 4).

2. Sistema diagnostico per valvola elettro-attuata secondo la rivendicazione 1, in cui detto dispositivo processore (200) è configurato

per rilevare uno o più minimi locali (23) di detta corrente fornita (2) in detto primo intervallo temporale (20), preferibilmente ricercando detti uno o più minimi locali (23) tra 10 millisecondi e 100 millisecondi dopo detto istante di attuazione (21).

5 3. Sistema diagnostico per valvola elettro-attuata secondo la rivendicazione 1 o 2, in cui detto primo intervallo temporale (20) include, e preferibilmente termina con, un secondo istante (22) tra 100 millisecondi e 500 millisecondi dopo detto istante di attuazione (21).

10 4. Sistema diagnostico per valvola elettro-attuata secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 1 a 3, in cui in cui detto almeno un sensore di vibrazioni (101) comprende un accelerometro o un microfono o un geofono o un sensore a ultrasuoni, configurato per rilevare una vibrazione di detto corpo causata da detto elemento di apertura/chiusura.

15 5. Sistema diagnostico per valvola elettro-attuata secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 1 a 4, in cui detto secondo intervallo temporale (30) include, e preferibilmente inizia con, un istante successivo di 1 secondo a detto istante di attuazione (21).

20 6. Sistema diagnostico per valvola elettro-attuata secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 1 a 5, in cui detto secondo intervallo temporale (30) ha una durata compresa tra 0.1 e 10 secondi.

25 7. Sistema diagnostico per valvola elettro-attuata secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 1 a 6, in cui detto dispositivo processore (200) è configurato per rilevare un'ampiezza a una predeterminata frequenza di detto spettro in frequenza (4) superiore a

un primo valore di soglia, e/o è configurato per calcolare un descrittore statistico di detta vibrazione (3), quale un valore RMS, Curtosi, Fattore di Cresta o altro, associato a detto secondo intervallo temporale (30) e per confrontarlo con secondo un valore di soglia.

5 8. Sistema diagnostico per valvola elettro-attuata secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 1 a 7, in cui detto dispositivo processore (200) è configurato per implementare algoritmi di intelligenza artificiale analizzanti detta evoluzione temporale di detta corrente fornita (2), detta evoluzione temporale (3) e spettro in frequenza (4) di
10 detta vibrazione (3, 4), per fornire una fusione di informazioni provenienti da detto sensore elettrico (102) e da detto sensore di vibrazioni (101) veicolate a detta indicazione diagnostica (201).

 9. Sistema diagnostico per valvola elettro-attuata secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 1 a 8, in cui detta indicazione
15 diagnostica (201) include una classe di guasto o una vita utile residua di elementi di detta valvola elettro-attuata.

 10. **Valvola elettro-attuata** (10) comprendente un sistema diagnostico (100) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 1 a 9.

 11. **Metodo diagnostico** per valvola elettro-attuata (10),
20 comprendente:

 - rilevare (101) una vibrazione (3, 4) di detta valvola elettro-attuata (10);

 - rilevare una corrente fornita (2) per un'attuazione di detta valvola elettro-attuata (10);

25 - monitorare un'evoluzione temporale di detta corrente fornita

(2) in un primo intervallo temporale (20) includente un istante di attuazione (21) di un elemento di apertura/chiusura di detta valvola elettro-attuata (10);

- monitorare un'evoluzione temporale (3) e uno spettro in
5 frequenza (4) di detta vibrazione (3, 4) in un secondo intervallo temporale (30) successivo a detto istante di attuazione (21);

- fornire un'indicazione diagnostica (201) di uno stato di detta valvola elettro-attuata (10), in base a detta evoluzione temporale di detta corrente fornita (2) e in base a detti evoluzione temporale (3) e spettro in
10 frequenza (4) di detta vibrazione (3, 4).

12. Metodo secondo la rivendicazione 11, implementabile in un sistema diagnostico (100) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 1 a 9.

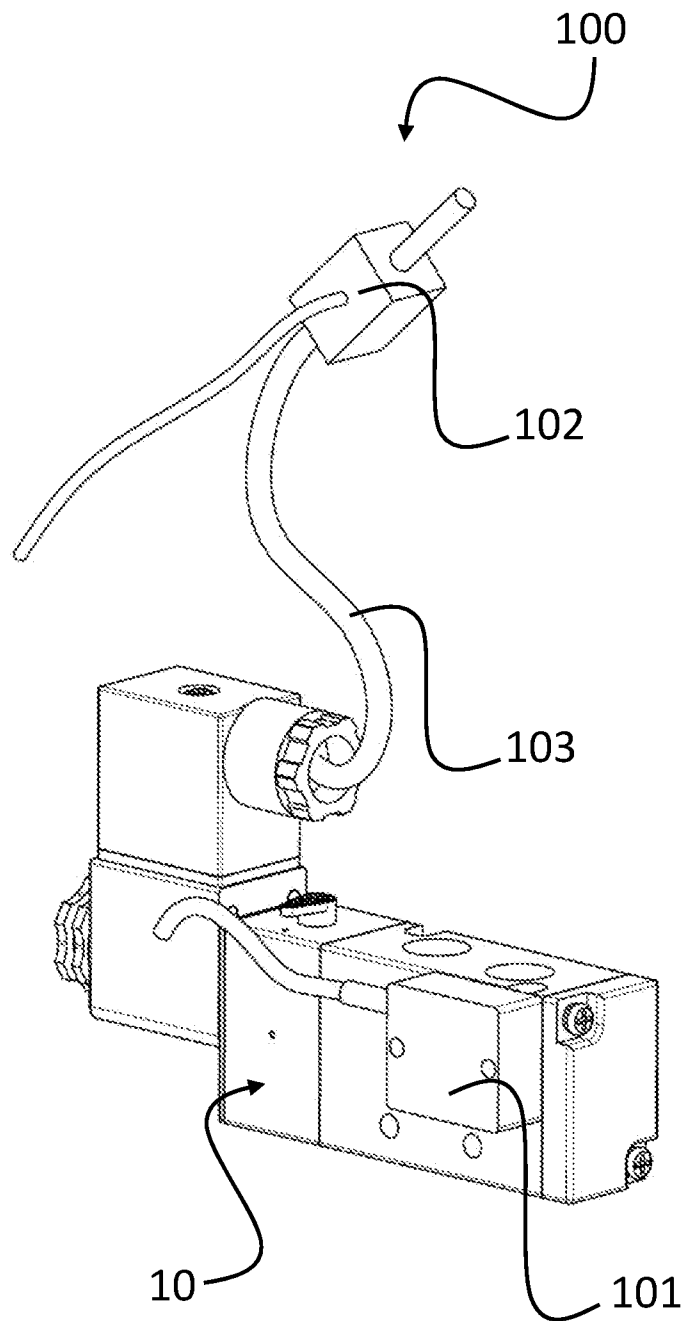


FIG. 1

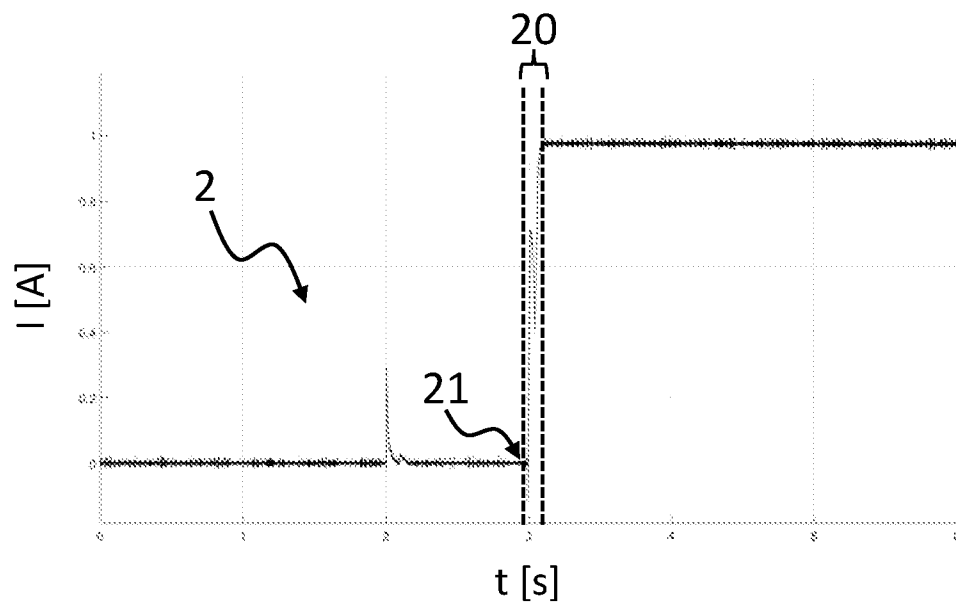


FIG. 2

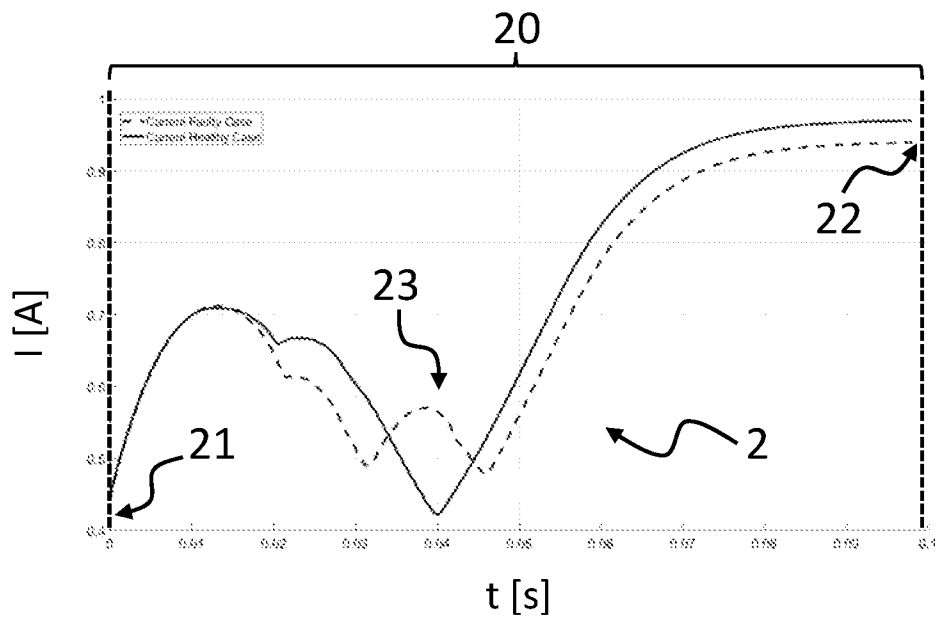


FIG. 3

- 3/5 -

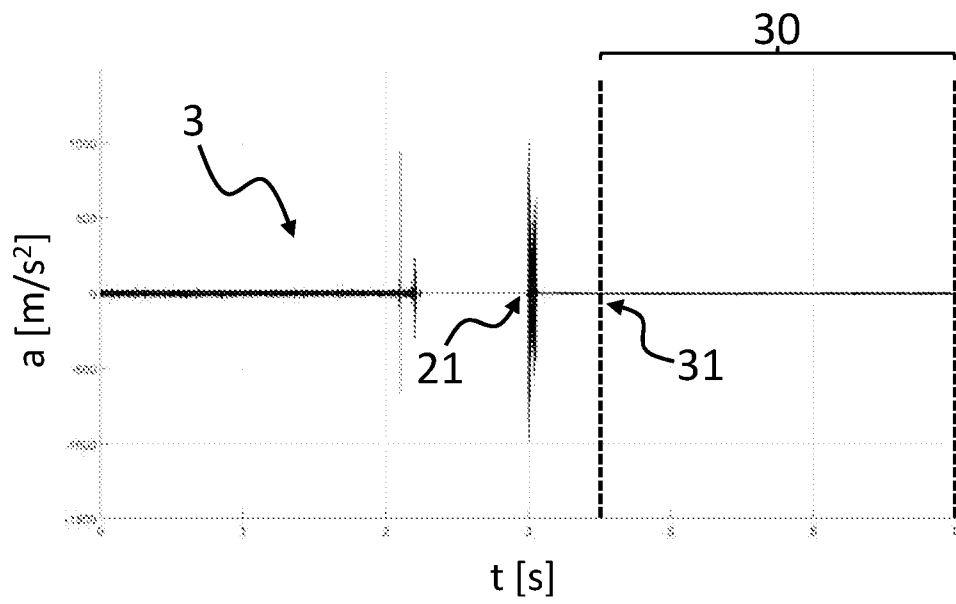


FIG. 4

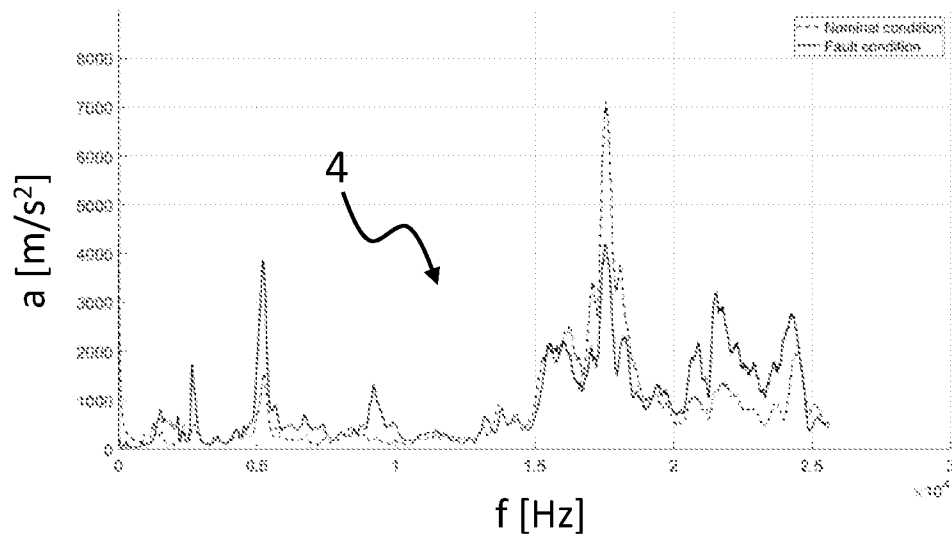
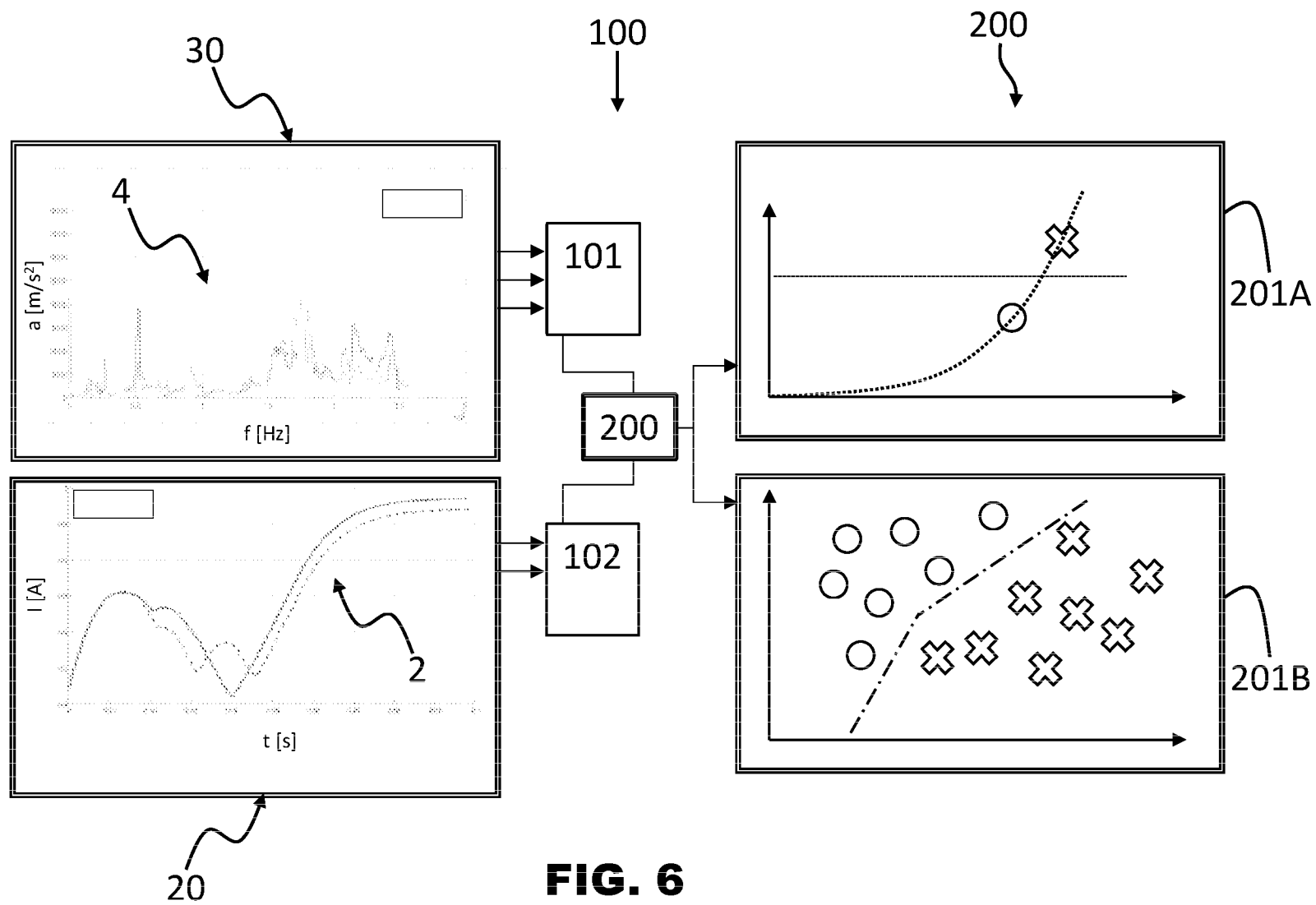


FIG. 5



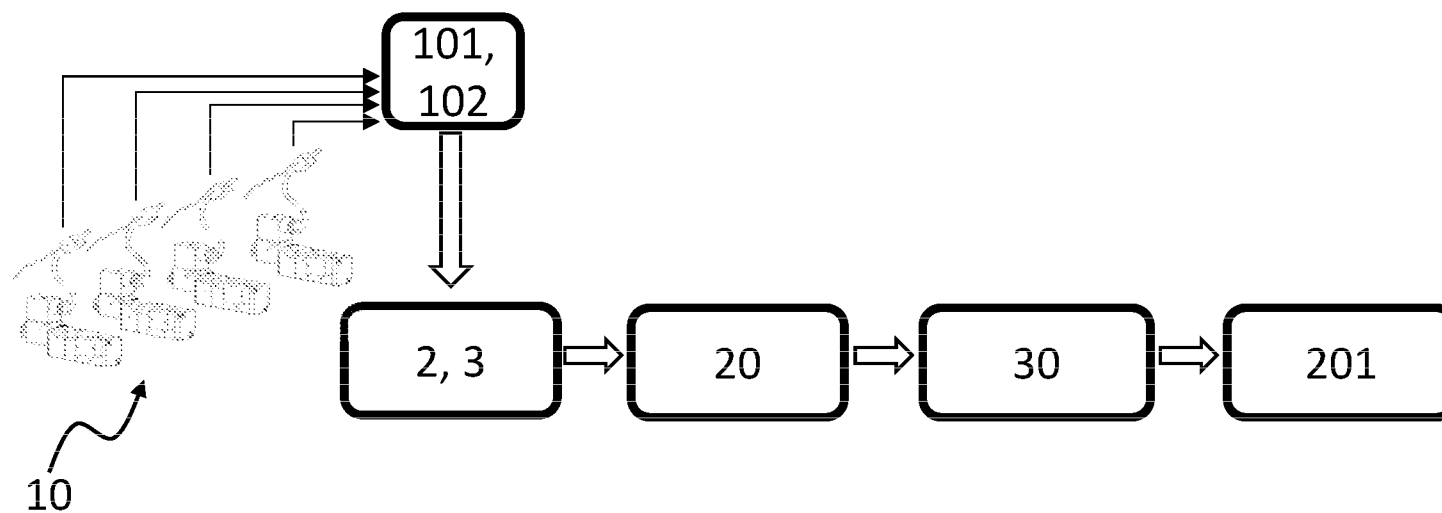


FIG. 7