



MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO
DIREZIONE GENERALE PER LA TUTELA DELLA PROPRIETÀ INDUSTRIALE
UFFICIO ITALIANO BREVETTI E MARCHI

UIBM

DOMANDA NUMERO	101996900566056
Data Deposito	27/12/1996
Data Pubblicazione	27/06/1998

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
F	04	B		

Titolo

METODO ED APPARATO DI DIAGNOSI PER POMPA DA VUOTO.

Descrizione dell'Invenzione Industriale avente per titolo: "Metodo ed apparato di diagnosi per pompa da vuoto".

a nome:

- VARIAN S.p.A, di nazionalità italiana, con sede in Via Varian , 54, 10040 LEINI' (TORINO).

Depositata il **27 DIC. 1996** al n. **TO 36 A 004081**

DESCRIZIONE

La presente invenzione si riferisce ad un metodo ed apparato di diagnosi per pompe da vuoto, in particolare per pompe da vuoto di tipo turbomolecolare.

E' noto che una pompa da vuoto di tipo turbomolecolare comprende una pluralità di stadi di pompaggio alloggiati all'interno di un involucro sostanzialmente cilindrico avente un'apertura assiale di ingresso dei gas aspirati posta ad un'estremità ed un'apertura radiale o assiale di evacuazione dei gas posta all'estremità opposta.

Detti stadi di pompaggio si compongono generalmente di un disco rotore solidale con l'albero girevole della pompa il quale è posto in rotazione mediante un motore elettrico ad una velocità solitamente non inferiore ai 25.000 giri/minuto e che può raggiungere i 100.000


EUGENIO ROBBA
(IN PROPRIO PER GLI ALTRI)

giri/minuto.

Detto disco rotore ruota a stretta tolleranza all'interno di anelli statori solidali con l'involucro della pompa e definenti lo statore dello stadio di pompaggio.

Fra disco rotore ed anelli statori è inoltre definito un canale di pompaggio dei gas aspirati.

Detto canale di pompaggio definito fra rotore e statore in ogni stadio di pompaggio comunica con gli stadi di pompaggio precedente e successivo mediante una bocca di aspirazione ed una bocca di scarico, rispettivamente, previste attraverso lo statore in corrispondenza del canale di pompaggio.

Un esempio di pompa turbomolecolare del tipo suddetto è descritto nel documento EP 0 445 855 a nome della stessa richiedente.

Nell'esempio di pompa turbomolecolare descritto nel documento EP 0 445 855 è previsto l'impiego sia di stadi di pompaggio provvisti di rotori a disco piano sia di stadi di pompaggio provvisti di rotori con palette.

EUGENIO ROBBA
(IN PROPRIO E PER GLI ALTRI)

Questa disposizione combinata di stadi di pompaggio consente alla pompa di fornire ottime prestazioni in termini di rapporto di compressione e di poter evacuare i gas verso l'ambiente esterno

a pressione atmosferica utilizzando pompe di prevuoto semplici del tipo non lubrificato, ad esempio a diaframma.

Inoltre la costruzione della pompa da vuoto del tipo turbomolecolare secondo l'insegnamento del documento EP 0 445 855 consente una notevole riduzione della potenza dissipata dalla pompa da vuoto.

Per l'alimentazione ed il controllo del motore elettrico della pompa da vuoto è prevista, generalmente, un'unità esterna di alimentazione.

E' noto che i componenti girevoli delle pompe da vuoto, in particolare i cuscinetti di supporto dell'albero girevole, essendo sottoposti a forti sollecitazioni, sono soggetti ad usura e, conseguentemente, a grippaggio.

Inoltre, il non corretto allineamento delle parti in rotazione veloce e lo sbilanciamento dei componenti in rotazione veloce sono fonte di vibrazioni che possono produrre una precoce usura dei cuscinetti.

EUGENIO ROBBA
(IN PROPRIO E PER GLI ALTRI)

Poichè l'usura eccessiva o il grippaggio dei cuscinetti di una pompa da vuoto durante il funzionamento della stessa può comportare il danneggiamento di altre parti della pompa e

l'arresto prolungato della pompa per le operazioni di riparazione, sono stati sviluppati metodi di diagnosi che permettono di segnalare in anticipo la presenza di una condizione di funzionamento critica.

Detti metodi di diagnosi prevedono generalmente un'analisi della temperatura della pompa da vuoto e della corrente assorbita dalla stessa.

E' noto infatti che ad un aumento della temperatura della pompa da vuoto oltre una determinata soglia, corrisponde generalmente un aumento del rischio di cedimento dei suoi componenti.

Analogamente, un aumento della corrente assorbita dalla pompa da vuoto indica generalmente il raggiungimento di situazioni critiche di usura.

In generale, tuttavia, i valori di temperatura e di corrente assorbita non sono influenzati solo dall'usura dei componenti in rotazione veloce, ma anche da fattori diversi o esterni alla pompa stessa.

EUGENIO ROBBA
(IN PROPRIO E PER GLI ALTRI)

Il valore di corrente assorbita dalla pompa dipende, ad esempio, anche dal carico di gas al quale la pompa è sottoposta, mentre la temperatura

raggiunta dalla pompa dipende anche dalla temperatura dell'ambiente circostante.

Per ovviare a questo inconveniente sarebbe necessario, in via teorica, equipaggiare la pompa da vuoto con un numero sufficiente di sensori che permettano di tener conto di tutti i parametri di riferimento significativi della condizione di funzionamento.

In tal caso sarebbero ad esempio necessari almeno una pluralità di sensori sulla temperatura delle diverse parti della pompa, almeno un sensore sulla temperatura ambiente ed almeno un sensore sulla pressione esistente all'interno della camera da vuoto.

Ciò comporterebbe, tuttavia, la previsione di un numero elevato di sensori, alcuni dei quali da collocare in zone critiche, come la camera da vuoto, con il rischio di pregiudicare l'efficienza del dispositivo.

EUGENIO ROBBA
(IN PROPRIO E PER GLI ALTRI)

Un primo scopo della presente invenzione è pertanto quello di fornire un metodo ed un apparato di diagnosi per pompe da vuoto che fornisca un'indicazione accurata delle condizioni di usura dei componenti girevoli della pompa da vuoto senza richiedere un numero elevato di sensori e che sia

di semplice funzionamento e di razionale realizzazione.

Questo scopo della presente invenzione viene raggiunto dal metodo ed apparato come rivendicato nelle rivendicazioni 1 e 12, rispettivamente.

Un altro problema connesso con i metodi di diagnosi delle condizioni di funzionamento delle pompe da vuoto è dovuto al fatto che valori anormali delle grandezze misurate attraverso i sensori predisposti sulla pompa non indicano necessariamente la necessità di sostituire la pompa o talune parti di essa.

L'interpretazione dei valori forniti dai sensori è pertanto di vitale importanza per evitare, da un lato, costi eccessivi dovuti alla sostituzione prematura dei componenti della pompa e, dall'altro, il rischio di cedimenti non diagnosticati in anticipo.

EUGENIO ROBBA
(IN PROPRIO E PER GLI ALTRI)

Un secondo scopo della presente invenzione è pertanto quello di provvedere un metodo ed un apparato di diagnosi per pompe da vuoto che sia in grado di segnalare all'utilizzatore l'approssimarsi di una situazione di guasto della pompa con sufficiente, ma non eccessivo anticipo.

Questo scopo della presente invenzione viene

raggiunto dal metodo ed apparato di diagnosi per dispositivi di pompaggio da vuoto come rivendicato nelle rivendicazioni 8 e 17, rispettivamente.

Un ulteriore problema connesso con i metodi di diagnosi delle condizioni di funzionamento delle pompe da vuoto è dovuto al fatto che al variare delle condizioni ambientali in cui opera la pompa, la diagnosi deve poter essere effettuata con lo stesso grado di affidabilità.

Un terzo scopo della presente invenzione è pertanto quello di provvedere un metodo ed apparato di diagnosi per dispositivi di pompaggio da vuoto che permetta di essere rapidamente adattato in base alle mutate condizioni di funzionamento.

Questo scopo della presente invenzione viene raggiunto dal metodo di diagnosi per dispositivi di pompaggio da vuoto come rivendicato nella rivendicazione 9.

EUGENIO ROBBA
(IN PROPRIO E PER GLI ALTRI)

Altri scopi della presente invenzione vengono raggiunti dal metodo ed apparato di diagnosi per dispositivi di pompaggio da vuoto come rivendicato nelle ulteriori rivendicazioni dipendenti.

Ulteriori caratteristiche e vantaggi dell'invenzione risulteranno maggiormente chiari dalla descrizione di una forma di esecuzione,

preferita, ma non esclusiva, del metodo ed apparato di diagnosi per pompe da vuoto illustrato a titolo indicativo, ma non limitativo nei disegni allegati in cui:

la Figura 1 è una vista in sezione di una pompa da vuoto del tipo turbomolecolare;

la Figura 2 è uno schema a blocchi di un dispositivo di pompaggio da vuoto composto da una pompa da vuoto e da un'unità di alimentazione, provvisto di apparato di diagnosi secondo l'invenzione;

la Figura 3 è uno schema a blocchi dell'unità di elaborazione dell'apparato di diagnosi secondo l'invenzione;

le Figure 4a e 4b illustrano un diagramma di flusso del metodo di diagnosi secondo l'invenzione;

le Figure 5a e 5b sono grafici che illustrano l'andamento dello spettro delle ampiezze in due intervalli di frequenze;

EUGENIO ROBBA
(IN PROPRIO E PER GLI ALTRI)

le Figure da 6a a 6d sono grafici che illustrano l'andamento dell'accelerazione in funzione della frequenza per diversi intervalli dello spettro di frequenze;

le Figure da 7a a 7c sono grafici che illustrano l'andamento dell'accelerazione in

funzione della frequenza nel caso di due pompe che lavorano vicine l'una all'altra.

Con riferimento alla Figura 1 una pompa da vuoto del tipo turbomolecolare, indicata globalmente con il riferimento 100, si compone di un involucro 101, di forma sostanzialmente cilindrica, presentante una prima porzione 101a, di sezione inferiore, in cui sono alloggiati il motore 121 ed un cuscinetto 122 di supporto dell'albero girevole 123, ed una seconda porzione 101b, di sezione maggiore, in cui sono alloggiati gli stadi di pompaggio dei gas.

Sull'albero girevole 123 della pompa da vuoto 100 sono montati dischi rotorici piani 113 e dischi rotorici con palette 114 i quali cooperano, rispettivamente, con anelli statori 115 e 116 solidali con l'involucro 101 della pompa 100 e formano con essi canali di pompaggio dei gas.

EUGENIO ROBBA
(IN PROPRIO E PER GLI ALTRI)

La porzione di involucro 101a presenta inoltre una bocca assiale 119 di aspirazione dei gas, posta ad un'estremità, ed una bocca radiale (non illustrata) di evacuazione dei gas, posta all'estremità opposta.

Detta pompa turbomolecolare 100 è inoltre provvista di una ghiera 110 sulla quale sono

presenti fori 117 per l'accoppiamento della pompa turbomolecolare 100 al contenitore o camera, non illustrati, in cui deve essere ottenuto il vuoto.

Dal lato opposto rispetto alla ghiera 110, in corrispondenza della base di detta prima porzione 101a di sezione inferiore dell'involucro 101 è presente un prolungamento cilindrico 118 dovuto alla presenza, all'interno della pompa 100, del cuscinetto inferiore 122 della pompa 100.

Un secondo cuscinetto di supporto dell'albero 123 è generalmente previsto fra il motore 121 e gli stadi di pompaggio alloggiati nella porzione 101b.

Con riferimento allo schema a blocchi della Figura 2 è illustrato un apparato di diagnosi secondo la presente invenzione applicato ad una pompa da vuoto 100.

EUGENIO ROBBA
(IN PROPRIO E PER GLI ALTRI)

Analogamente a quanto descritto con riferimento alla Figura 1, la pompa da vuoto illustrata schematicamente in Figura 2 si compone di una prima porzione di sezione inferiore, indicata con lo stesso riferimento 101a utilizzato in Figura 1, in cui è alloggiato il motore 121 ed il cuscinetto inferiore 122 di supporto dell'albero

girevole 123, e di una seconda porzione di sezione maggiore, indicata con lo stesso riferimento 101b utilizzato in **Figura 1**, in cui sono alloggiati gli stadi di pompaggio dei gas.

L'apparato di diagnosi della **Figura 2** comprende un sensore di temperatura 30, atto a fornire un segnale elettrico di intensità proporzionale al valore di temperatura misurato sulla pompa da vuoto 100.

Detto sensore di temperatura 30 è posto preferibilmente in corrispondenza del prolungamento assiale 118 della porzione 101a dell'involturo 101 della pompa da vuoto.

Per pompe di grandi dimensioni può essere previsto un secondo sensore di temperatura per rilevare la temperatura in un'altra zona del corpo della pompa, ad esempio la zona del secondo cuscinetto che si trova fra gli stadi di pompaggio ed il motore 121 della pompa.

EUGENIO ROBBA
(IN PROPRIO E PER GLI ALTRI)

L'apparato di diagnosi secondo l'invenzione prevede inoltre un trasduttore di vibrazione 31 quale, ad esempio, un accelerometro, un velocimetro, un sensore di posizione, atto a fornire un segnale elettrico di intensità proporzionale all'accelerazione, alla velocità o

allo spostamento misurate in corrispondenza dei componenti girevoli della pompa da vuoto 100.

Detto trasduttore 31 può essere rappresentato, ad esempio, da un accelerometro piezoelettrico, posto preferibilmente a contatto con il corpo della pompa da vuoto 100 in corrispondenza di una delle porzioni di esso in cui sono alloggiati i cuscinetti di supporto dell'albero girevole 123.

Come già ricordato in precedenza, i componenti girevoli di una pompa da vuoto, a causa del non perfetto allineamento dell'asse di rotazione con un asse principale d'inerzia sono anche soggetti, durante la rotazione, a vibrazioni periodiche di periodo sostanzialmente uguale al periodo di rotazione.

In altre parole, poichè vengono trasmesse delle sollecitazioni alla porzione 101a dell'involucro 101 ad ogni rotazione del componente girevole, la frequenza delle vibrazioni indotte corrisponde sostanzialmente alla frequenza di rotazione.

EUGENIO ROBBA
(IN PROPRIO E PER GLI ALTRI)

Un accelerometro è un dispositivo in grado di misurare l'ampiezza dell'accelerazione di una superficie vibrante su cui viene applicato.

Un accelerometro fornisce, in generale, un

segna la cui tensione è proporzionale all'accelerazione misurata lungo l'asse di sensibilità secondo la relazione seguente:

$V_{out} = Scale_Factor * Acceleration + Offset_Voltage$

dove

$Scale_Factor$ = sensibilità del sensore in Volts/G;

$Acceleration$ = accelerazione in G lungo l'asse di sensibilità del sensore;

$Offset_Voltage$ = voltaggio in uscita in assenza di accelerazione;

G = accelerazione di gravità.

In Figura 2 sono anche rappresentati un'unità di comando e di alimentazione 20, conduttori 21 per l'alimentazione, mediante la rete pubblica, di detta unità di comando 20, e conduttori 22 per l'alimentazione, mediante detta unità di comando 20, della pompa da vuoto 100.

EUGENIO ROBBA
(IN PROPRIO E PER GLI ALTRI)

Sempre con riferimento alla Figura 2, l'apparato di diagnosi della presente invenzione comprende inoltre un'unità di elaborazione 40 alla quale è inviato, mediante un conduttore 33, il segnale proveniente da detto trasduttore 31 posto sulla pompa da vuoto 100.

In una forma preferita di realizzazione

dell'apparato di diagnosi secondo l'invenzione illustrata in **Figura 2**, il segnale proveniente da detto sensore di temperatura 30 è inviato all'unità di comando 20 mediante conduttori 32 e da qui è fornito in uscita sulla porta di comunicazione seriale 23, prevista in detta unità di comando 20.

Tutto ciò in quanto l'informazione sulla temperatura viene utilizzata anche nelle funzioni di controllo da parte dell'unità di comando e di alimentazione 20.

Detta porta di comunicazione seriale 23 provvede inoltre a fornire in uscita da detta unità di comando 20 una pluralità di segnali relativi a grandezze significative del funzionamento della pompa da vuoto 100.

EUGENIO ROBBA
(IN PROPRIO E PER GLI ALTRI)

Detti segnali risultano proporzionali, in una forma preferita di realizzazione, alla tensione di alimentazione del motore elettrico, preferibilmente di tipo asincrono trifase, della pompa da vuoto 100 alimentata da detta unità di comando 20 (segnalet WOMO), alla corrente assorbita dal motore elettrico della pompa da vuoto 100 (segnalet CUMO), alla frequenza di pilotaggio del motore elettrico di detta pompa da vuoto 100 (segnalet FRMO), alla tipologia di raffreddamento, ad aria o ad acqua,

della pompa da vuoto 100 (segnale WAC0) ed alla condizione di funzionamento della pompa da vuoto, "normale", "sotto carico" o "bassa velocità" (segnale STATUS).

Detti segnali sono inviati, attraverso una linea seriale di trasmissione dati 34, all'unità di elaborazione 40, anch'essa dotata di porta di comunicazione seriale 45.

Con riferimento alla Figura 3 l'unità di elaborazione 40 comprende un microprocessore 41, un primo dispositivo di memorizzazione 42, in cui sono contenuti i passi delle istruzioni per il comando del microprocessore 41, un secondo dispositivo di memorizzazione 43, in cui sono contenuti valori di soglia predeterminati delle grandezze caratteristiche delle parti in movimento della pompa da vuoto 100, ed un terzo dispositivo di memorizzazione 44, in cui vengono memorizzati periodicamente i valori di dette grandezze caratteristiche delle parti in movimento della pompa da vuoto 100.

EUGENIO ROBBA
(IN PROPRIO E PER GLI ALTRI)

Detto microprocessore 41 comunica con detti dispositivi di memorizzazione da 42 a 43 attraverso "bus" di trasmissione dei dati, indicati in Figura 3 con i riferimenti da 46 a 48,

rispettivamente.

Un ulteriore "bus" 49 di trasmissione dei dati consente al microprocessore 41 di comunicare con l'esterno dell'unità di elaborazione 40 attraverso la porta di comunicazione seriale 45 prevista su di essa.

L'apparato di diagnosi della presente invenzione prevede inoltre dispositivi di segnalazione visiva e/o acustica (non illustrati) attivati dal segnale proveniente dal microprocessore 41 al raggiungimento di condizioni di pre-allarme o di allarme predeterminate.

Inoltre possono essere previsti mezzi per l'interruzione dell'alimentazione elettrica della pompa da vuoto al raggiungimento di una condizione di allarme predeterminata.

Con riferimento alle Figure 4a, 4b, 5 e da 6a a 6d si descriverà una realizzazione preferita del metodo di diagnosi per pompe da vuoto secondo l'invenzione.

In una realizzazione preferita, la logica di funzionamento del metodo di diagnosi secondo l'invenzione è implementata in una serie di istruzioni memorizzate nel primo dispositivo di memorizzazione 42 previsto per il comando delle

EUGENIO ROBBA
(IN PROPRIO E PER GLI ALTRI)

operazioni del microprocessore 41.

Tuttavia, può essere previsto che detta logica sia implementata direttamente in un microprocessore appositamente realizzato.

Con riferimento alla Figura 4a e 4b, in corrispondenza del blocco logico 200 il microprocessore 41 acquisisce, attraverso il segnale STATUS, proveniente dall'unità di comando 20, le informazioni relative alla condizione di funzionamento della pompa da vuoto 100, cioè condizione di funzionamento "normale", "sotto carico" o "bassa velocità".

Se, in corrispondenza del blocco logico successivo 205, non viene riconosciuta la condizione di funzionamento "normale" o "sotto carico" il controllo viene assegnato nuovamente al blocco logico 200 per un'ulteriore acquisizione del segnale STATUS.

EUGENIO ROBBA
(IN PROPRIO E PER GLI ALTRI)

Se invece, in corrispondenza del blocco logico 205, viene riconosciuta la condizione di funzionamento "normale" o "sotto carico" il controllo viene assegnato al blocco logico successivo 210 per l'acquisizione, mediante i corrispondenti segnali associati, dell'informazione relativa ai seguenti parametri della pompa da vuoto

riferiti nel seguito ai segnali corrispondenti:

PARAMETRO	SEGNALI
-----------	---------

Raffreddamento

ad acqua WACO

Corrente assorbita

dal motore CUMO

Tensione di

alimentazione del

motore VOMO

Frequenza di

pilotaggio del motore FRMO

Temperatura

della pompa TEBE

Se, in corrispondenza del blocco logico successivo 215, la differenza fra la temperatura T_{b_n} , disponibile attraverso il segnale TEBE, misurata in corrispondenza della porzione 101a in cui sono alloggiati i cuscinetti ed il motore della pompa da vuoto 100, e la temperatura ottimale stimata T_{b_s} è maggiore di zero ($T_{b_n} - T_{b_s} > 0$) il controllo viene assegnato al blocco logico 216 e da qui direttamente al blocco logico 225.

EUGENIO ROBBA
(IN PROPRIO E PER GLI ALTRI)

In questo esempio di realizzazione la temperatura ottimale stimata T_{b_s} è ottenuta come:

$$T_{b,s} = T_{amb} + (C_p * W_p) + (C_b * W_b)$$

dove

T_{amb} è la temperatura ambiente;

C_p è una costante dimensionale caratteristica della pompa;

W_p è la potenza assorbita dalla pompa per un determinato carico di gas e corrispondente alla differenza fra la potenza totale W_t assorbita dalla pompa e la potenza W_b assorbita dal cuscinetto;

C_b è una costante dimensionale caratteristica del cuscinetto della pompa;

W_b è la potenza assorbita dal cuscinetto della pompa.

detta temperatura T_s può pertanto essere espressa anche come:

$$T_{b,s} = T_{amb} + [(C_p * (W_t - W_b))] + (C_b * W_b)$$

La potenza W_b assorbita dal cuscinetto della pompa e la costante dimensionale C_b del cuscinetto sono variabili note per un dato cuscinetto essendo indipendenti dal carico di gas aspirato dalla pompa.

EUGENIO ROBBA
(IN PROPRIO E PER GLI ALTRI)

Per sopperire alla mancanza di un sensore sulla temperatura ambiente nella stima della temperatura del cuscinetto viene utilizzato, per la

temperatura ambiente, il valore massimo ammissibile.

Essendo la tipologia di raffreddamento della pompa disponibile attraverso il segnale WACO, in questo esempio di realizzazione, è stato posto $T_{ref}=25^{\circ}\text{C}$, se la pompa è raffreddata a liquido, e $T_{ref}=35^{\circ}\text{C}$ se la pompa è raffreddata ad aria.

In corrispondenza del blocco logico 216 il contenuto di una variabile FLAG(Temp) viene commutato dal valore interpretato dal microprocessore 41 come corrispondente alla condizione di temperatura normale, ad esempio FLAG(Temp)=0, a quello interpretato come corrispondente alla condizione di temperatura eccessiva, ad esempio FLAG(Temp)=1.

EUGENIO ROBBA
(IN PROPRIO E PER GLI ALTRI)

Se invece, in corrispondenza del blocco logico 215, la differenza fra la temperatura misurata T_b e la temperatura ottimale stimata T_{ref} è minore o uguale a zero ($T_b - T_{ref} \leq 0$) il controllo viene assegnato al blocco logico 220 in corrispondenza del quale il contenuto della variabile FLAG(Temp) viene commutato dal valore attuale al valore interpretato dal microprocessore 41 come corrispondente alla condizione di temperatura normale.

In corrispondenza del blocco logico successivo 225 avviene l'acquisizione, da parte del microprocessore 41, dei dati relativi all'accelerazione di vibrazione dei componenti girevoli della pompa da vuoto provenienti dall'accelerometro 31.

Secondo una forma preferita di realizzazione del metodo di diagnosi è prevista l'acquisizione dei dati di accelerazione in modo da generare due segnali ACQSL ed ACQSH, rispettivamente per le frequenze comprese fra 0 e 2000 Hz e fra 0 e 12 KHz.

Nelle Figure 5a e 5b sono rappresentati, rispettivamente, i livelli di accelerazione negli intervalli di frequenze comprese fra 0 e 2000 Hz e fra 0 e 12 KHz per una pompa turbomolecolare.

La procedura di acquisizione dei dati di accelerazione prevede il campionamento del segnale analogico proveniente dall'accelerometro 31 ad una frequenza che, per una ricostruzione accurata, dovrà essere almeno il doppio della frequenza massima del segnale (teorema di Nyquist).

EUGENIO ROBBA
(IN PROPRIO E PER GLI ALTRI)

Riferendoci nuovamente alla Figura 4a e 4b, in corrispondenza del blocco logico 230, i segnali acquisiti ACQSL ed ACQSH vengono sottoposti ad

un'analisi di tipo FFT (Fast Fourier Transform) in modo da ottenere lo sviluppo di detti segnali nella corrispondente distribuzione spettrale in ordine di frequenza, ottenendo in tal modo un segnale indicativo della distribuzione dell'accelerazione di vibrazione in funzione della frequenza.

Secondo il metodo di diagnosi della presente invenzione vengono considerate le seguenti frequenze tipiche di vibrazione dei componenti girevoli della pompa:

F_t = frequenza del rotore della pompa da vuoto;

$f_{e..}$ = frequenza dell'anello esterno del cuscinetto;

$f_{i..}$ = frequenza dell'anello interno del cuscinetto;

$f_{s..}$ = frequenza delle sfere del cuscinetto;

f_g = frequenza della gabbia del cuscinetto.

In corrispondenza del blocco logico 235 il microprocessore 41 provvede a stimare la frequenza teorica di rotazione F_t del rotore della pompa da vuoto utilizzando la formula seguente:

$$F_t = F_{e..} - K * I/V$$

dove:

$F_{e..}$ è la frequenza di pilotaggio del motore della pompa da vuoto (disponibile tramite il segnale

EUGENIO ROBBA
(IN PROPRIO E PER GLI ALTRI)

- FRMO previsto in uscita sulla porta seriale dell'unità di alimentazione 20);
- K è una costante dimensionale che dipende dal tipo di motore;
- I è la corrente assorbita dal motore della pompa da vuoto disponibile tramite il segnale CUMO;
- V è la tensione di alimentazione del motore della pompa da vuoto disponibile tramite il segnale VOMO.

In corrispondenza del blocco logico successivo 240 viene definito un intervallo di lavoro della frequenza teorica di rotazione F_t corrispondente all'intervallo $[F_t - 50\text{Hz}, F_t + 50\text{Hz}]$.

In corrispondenza del blocco logico successivo 245 viene ricercato il picco di ampiezza massima all'interno di detto intervallo di lavoro $[F_t - 50\text{Hz}, F_t + 50\text{Hz}]$ ed il valore di frequenza corrispondente a detto picco viene associato alla frequenza sperimentale F_r di rotazione del rotore della pompa da vuoto.

EUGENIO ROBBA
(IN PROPRIO E PER GLI ALTRI)

In corrispondenza del blocco logico successivo 250 vengono calcolate le frequenze tipiche teoriche (fft) della pompa da vuoto utilizzando le equazioni seguenti:

$$f_{o,r} = F_r * 0.5 * z * [1 - D/d_m * \cos(\alpha)];$$

$f_{tr} = F_r * 0.5 * z * [1 + D/d_m * \cos(\alpha)];$

$f_{rb} = F_r * d_m/D * \{1 - [D/d_m * \cos(\alpha)]^2\};$

$f_c = F_r * 0.5 * [1 - D/d_m * \cos(\alpha)],$

dove D , z , d_m ed α sono parametri geometrici tipici dei cuscinetti presenti sulla pompa in cui:

D = diametro delle sfere;

z = numero di sfere del cuscinetto;

d_m = diametro medio del cuscinetto;

α = angolo di contatto delle sfere del cuscinetto.

Poichè sulla pompa da vuoto 100 sono presenti due cuscinetti, la stima delle frequenze tipiche teoriche verrà effettuata sia per il cuscinetto superiore (f_2) sia per quello inferiore (f_1)...

Inoltre, per ognuna delle fft stimate, verranno considerate anche tutte le armoniche superiori fino alla frequenza di 12 KHz.

EUGENIO ROBBA
(IN PROPRIO E PER GLI ALTRI)

In corrispondenza dei blocchi logici da 255 a 310, il metodo secondo l'invenzione prevede la ricerca sullo spettro ottenuto mediante l'elaborazione FFT dei segnali di accelerazione, dei picchi corrispondenti alle frequenze sperimentali di vibrazione (f_{tr}) dei componenti in rotazione e l'associazione di detti picchi alle frequenze tipiche teoriche fft corrispondenti.

Questa fase di ricerca prevede i passi

seguenti.

In corrispondenza del blocco logico 255, per ogni frequenza tipica teorica fft_x , non ancora considerata o alla quale non è ancora stato associato un valore di ampiezza sperimentale, viene individuato l'intervallo di lavoro $[fft_x - n\Delta f, fft_x + n\Delta f]$ dove

n = numero di righe spettrali considerate (ad esempio $5 \div 10$);

Δf = risoluzione dello spettro considerato.

In corrispondenza del blocco logico 260 viene calcolato il numero di fft che si trova all'interno dell'intervallo di lavoro $[fft_x - n\Delta f, fft_x + n\Delta f]$ individuato nel blocco logico precedente 255.

Calcolato il numero di fft nell'intervallo di lavoro, viene individuato, in corrispondenza del blocco logico 265, un nuovo intervallo di lavoro $[fft_{min}, fft_{max}]$, all'interno del primo intervallo di lavoro.

EUGENIO ROBBA
(IN PROPRIO E PER GLI ALTRI)

Detto secondo intervallo di lavoro risulta delimitato dalle fft minima e massima che si trovano all'interno del primo intervallo di lavoro $[fft_x - n\Delta f, fft_x + n\Delta f]$.

Stabiliti i limiti del secondo intervallo di lavoro $[fft_{min}, fft_{max}]$, essi vengono

successivamente allargati, in corrispondenza del blocco logico 270, di $n/\Delta f$ ottenendo in tal modo un terzo intervallo di lavoro esteso $[ftt_{min} - n/\Delta f, ftt_{max} + n/\Delta f]$ che, per brevità, indicheremo come $[x_{min}, x_{max}]$.

In corrispondenza del blocco logico 275 viene calcolato il numero NN di ftt che si trova nell'intervallo di lavoro esteso $[x_{min}, x_{max}]$ individuato nel blocco logico precedente 270.

Qualora all'interno dell'intervallo di lavoro esteso $[x_{min}, x_{max}]$ siano presenti ulteriori ftt rispetto a quelle considerate nel primo intervallo di lavoro, il cui numero è già stato calcolato in corrispondenza del blocco logico 260, anche queste verranno prese in considerazione nei calcoli successivi.

In corrispondenza del blocco logico 280 viene calcolato il valore medio dell'ampiezza dello spettro contenuto all'interno dell'intervallo di lavoro esteso $[x_{min}, x_{max}]$.

EUGENIO ROSSA
(IN PROPRIO E PER GLI ALTRI)

In corrispondenza del blocco logico successivo 285 viene costruito uno spettro ausiliario in cui i valori delle ampiezze all'interno dell'intervallo $[x_{min}, x_{max}]$ che risultano minori della media calcolata nel blocco

logico precedente 280 vengono uguagliati alla media stessa.

In corrispondenza del blocco logico 290 viene calcolato il numero dei picchi NNP relativi allo spettro ausiliario che si trovano all'interno dell'intervallo di lavoro esteso $[x_{min}, x_{max}]$.

La procedura descritta con riferimento ai blocchi logici da 280 a 290 ha lo scopo di eliminare la componente dello spettro legata al rumore di fondo.

Con riferimento ai blocchi logici da 300 a 305, gli NNP picchi rilevati vengono associati alle NN ampiezze corrispondenti alle frequenze teoriche ftt nell'intervallo di frequenze considerato, secondo il principio per cui ad ogni frequenza teorica viene associato il picco rilevato alla frequenza più vicina.

Più precisamente sono previste le seguenti quattro condizioni mutuamente esclusive.

EUGENIO ROBBA
(IN PROPRIO E PER GLI ALTRI)

Se, in corrispondenza del blocco logico 300, si verifica la condizione $NNP=0$, cioè la condizione in cui non è possibile rilevare alcun picco nell'intervallo di lavoro esteso $[x_{min}, x_{max}]$, alle frequenze teoriche ftt presenti nell'intervallo di lavoro esteso viene associata, in corrispondenza

del blocco logico 301, una frequenza rilevata uguale a quella teorica ed un'ampiezza pari al livello di fondo nell'intervallo.

Un esempio relativo a questa situazione è illustrato in Figura 6a in cui, all'unica frequenza teorica (linea tratteggiata) esistente nell'intervallo considerato, viene associato il valore di ampiezza relativo al livello di fondo (media delle ampiezze) essendo i valori di ampiezza sperimentale sempre crescenti all'interno dell'intervallo.

In Figura 6a le linee verticali continue delimitano l'intervallo di lavoro esteso e la linea orizzontale continua rappresenta il valore medio delle ampiezze in detto intervallo.

Se invece, in corrispondenza del blocco logico 300, si verifica la condizione $NNP \neq 0$, il controllo viene assegnato al blocco logico successivo 302.

EUGENIO ROBBA
(IN PROPRIO E PER GLI ALTRI)

Se, in corrispondenza del blocco logico 302, si verifica la condizione $NNP = NN$, ad ogni frequenza teorica nell'intervallo di lavoro esteso $[x_{min}, x_{max}]$ viene associato, in corrispondenza del blocco logico successivo 303, il picco rilevato alla frequenza più vicina.

Un esempio relativo alla situazione $NNP=NN$ è illustrato in Figura 6b in cui, ad ogni frequenza teorica ftt (linee tratteggiate) viene associato il massimo corrispondente alla frequenza più vicina (croce).

In Figura 6b le linee verticali continue delimitano l'intervallo di lavoro esteso $[x_{min}, x_{max}]$ e la linea orizzontale continua rappresenta il valore medio delle ampiezze all'interno di detto intervallo.

Qualora invece, sempre in corrispondenza del blocco logico 302, si verifichi la condizione $NNP>NN$, in corrispondenza del blocco logico 304 verranno utilizzati solo i picchi, rilevati più vicini a quelli teorici in termini di frequenza.

I picchi rilevati non utilizzati, cioè non associati a nessuna ftt, vengono esclusi in quanto si considerano legati a disturbi esterni.

EUGENIO ROBBA
(IN PROPRIO E PER GLI ALTRI)

Un esempio relativo a questa situazione è illustrato in Figura 6c in cui il picco sperimentale più prossimo (croce) è associato all'unica frequenza teorica (linea tratteggiata) esistente nell'intervallo considerato.

In Figura 6c le linee verticali continue delimitano l'intervallo di lavoro esteso

$[x_{min}, x_{max}]$ e la linea orizzontale rappresenta il valore medio delle ampiezze in detto intervallo.

Qualora ancora, sempre in corrispondenza del blocco logico 302, si verifichi la condizione $NNP < NN$, in corrispondenza del blocco logico 305 ad ogni ftt viene associato il picco rilevato alla frequenza più vicina.

Qualora, durante la procedura di assegnazione dei picchi rilevati alle frequenze teoriche ftt, descritta con riferimento ai blocchi da 300 a 305, si sia verificata la condizione in cui lo stesso picco sperimentale è stato associato a più di una frequenza teorica ftt, in corrispondenza del blocco logico 309 detto picco sperimentale rilevato viene associato alla frequenza teorica più vicina, mentre alle altre frequenze teoriche, precedentemente associate allo stesso picco, viene associata l'ampiezza corrispondente al livello di fondo nell'intervallo di lavoro considerato.

EUGENIO ROBBA
(IN PROPRIO E PER GLI ALTRI)

Questa condizione si verifica necessariamente nel caso in cui $NNP < NN$.

Un esempio relativo al caso $NNP < NN$ è illustrato in Figura 6d in cui l'unico picco sperimentale identificato (croce di destra) è associato alla frequenza teorica più prossima

(linea tratteggiata di destra), mentre alla restante frequenza teorica (linea tratteggiata di sinistra) è associato il valore di ampiezza corrispondente al livello di fondo (media) delle ampiezze (croce di sinistra).

In Figura 6d le linee verticali continue delimitano l'intervallo di lavoro esteso $[x_{min}, x_{max}]$ e la linea orizzontale continua rappresenta il valore medio delle ampiezze in detto intervallo.

Una variante del metodo secondo l'invenzione prevede che, qualora uno stesso picco sperimentale sia stato associato a più di una fft, l'ampiezza associata corrispondente venga ridotta proporzionalmente al numero di fft cui è stato associato lo stesso picco.

Ad esempio se lo stesso picco è stato associato a due fft, l'ampiezza corrispondente associata alle due fft sarà la metà di quella del picco.

EUGENIO ROBBA
(IN PROPRIO E PER GLI ALTRI)

Questa seconda forma realizzativa del metodo secondo l'invenzione risulta particolarmente vantaggiosa nel caso di pompe di piccole dimensioni sulle quali sono montati cuscinetti uguali le cui fft sono coincidenti.

Successivamente, in corrispondenza del blocco logico 310, l'ampiezza di ogni picco associato alle fft viene memorizzata in modo da generare per il rotore, il cuscinetto inferiore ed il cuscinetto superiore la seguente matrice di dati.

Frequenza teorica	F. rilevata	Aampiezza picco
f_{e_ϵ}	F_r	$A(F_r)$
$f_{1_{r_\epsilon}}$	$f_{1_{r_\epsilon},_r}$	$A1(f_{1_{r_\epsilon},_r})$
$f_{1_{r_\epsilon}}$	$f_{1_{r_\epsilon},_r}$	$A1(f_{1_{r_\epsilon},_r})$
$f_{1_{r_\epsilon}}$	$f_{1_{r_\epsilon},_r}$	$A1(f_{1_{r_\epsilon},_r})$
$f_{1_{\epsilon}}$	$f_{1_{\epsilon},_r}$	$A1(f_{1_{\epsilon},_r})$
$f_{2_{0_\epsilon}}$	$f_{2_{0_\epsilon},_r}$	$A2(f_{2_{0_\epsilon},_r})$
$f_{2_{1_\epsilon}}$	$f_{2_{1_\epsilon},_r}$	$A2(f_{2_{1_\epsilon},_r})$
$f_{2_{r_\epsilon}}$	$f_{2_{r_\epsilon},_r}$	$A2(f_{2_{r_\epsilon},_r})$
$f_{2_{\epsilon}}$	$f_{2_{\epsilon},_r}$	$A2(f_{2_{\epsilon},_r})$

In corrispondenza del blocco logico successivo 315 le ampiezze dei massimi precedentemente associati alle fft vengono confrontate con le soglie di riferimento contenute nel dispositivo di memorizzazione 43 dell'unità di elaborazione 40.

EUGENIO ROBBA
(IN PROPRIO E PER GLI ALTRI)

Dette soglie di riferimento vengono determinate sulla base degli spettri ottenuti per pompe nuove ed usate.

Se uno dei valori di ampiezza memorizzato

· supera la rispettiva soglia di riferimento, in corrispondenza del blocco logico 320 avviene la commutazione del contenuto della variabile FLAG(ftt) dal valore interpretato dal microprocessore 41 come corrispondente alla condizione di ampiezza regolare, ad esempio $FLAG(ftt)=0$, a quello corrispondente alla condizione di ampiezza eccessiva, $FLAG(ftt)=1$.

Se invece, in corrispondenza del blocco logico 315, il valore di ampiezza è inferiore alla rispettiva soglia di riferimento, in corrispondenza del blocco logico 325 avviene la commutazione del contenuto della variabile FLAG(ftt) dal valore interpretato dal microprocessore 41 come corrispondente alla condizione di ampiezza eccessiva, $FLAG(ftt)=1$, a quello corrispondente alla condizione di ampiezza regolare, $FLAG(ftt)=0$.

Le soglie di riferimento per le ampiezze di accelerazione utilizzate nell'esempio di realizzazione descritto sono state le seguenti:

EUGENIO ROBBA
(IN PROPRIO E PER GLI ALTRI)

F_{rot} 1.10 m/sec^2

f_c cuscinetto superiore 0.50 m/sec^2

f_a cuscinetto inferiore 0.34 m/sec^2

ftr comprese fra

F_{rot} e 8500 Hz 0.60 m/sec^2

ftr superiori a 8500 Hz 1.20 m/sec²

Queste soglie sono relative ad un tipo particolare di pompa utilizzato in un esempio di realizzazione e potranno pertanto essere modificate per adattare il metodo di diagnosi a pompe di tipo diverso memorizzando opportuni valori nel dispositivo di memorizzazione 43.

Come già riferito in precedenza, l'interpretazione dei risultati forniti dal metodo di diagnosi è di vitale importanza poichè, in base all'interpretazione che viene fornita, l'utilizzatore è informato sulla probabilità di guasto della pompa e quindi sulla necessità di effettuare la manutenzione.

In una forma preferita di realizzazione del metodo secondo l'invenzione è previsto, in corrispondenza del blocco logico 330, il calcolo del livello di attenzione LEVEL in base al superamento delle soglie di sicurezza sulla temperatura e vibrazione della pompa.

Il numero LEVEL di FLAGS che si trovano nella condizione indicante il superamento del livello di soglia corrispondente viene calcolato utilizzando la seguente somma pesata su tutte le frequenze

EUGENIO ROBBA
(IN PROPRIO E PER GLI ALTRI)

tipiche teoriche i:

$$\text{LEVEL} = \sum_i [W(i) * \text{FLAG}(i)] + W(\text{Temp}) * \text{FLAG}(\text{Temp})$$

dove $W(i)$ sono i pesi assegnati alle FLAGS associate alle ampiezze dello spettro di vibrazione.

Nell'esempio di realizzazione descritto sono stati utilizzati i pesi seguenti:

$W(\text{Temp})$ 1

$W(F_{rot})$ 1

$W(F_c)$ 3 cuscinetto superiore

$W(F_c)$ 3 cuscinetto inferiore

$W(ftr)$ 2

Qualora siano previsti più sensori di temperatura collocati in zone diverse dell'involucro della pompa, ad esempio, come detto in precedenza, nel caso di pompe di grandi dimensioni, la somma di cui sopra terrà conto dei valori di temperatura forniti da tutti questi sensori, opportunamente pesati.

EUGENIO ROBBA
(IN PROPRIO E PER GLI ALTRI)

In base al valore raggiunto dal livello LEVEL il microprocessore 41 provvede, in corrispondenza del blocco logico 335, a segnalare le tre condizioni di funzionamento seguenti.

Una prima condizione di funzionamento viene indicata se LEVEL=0.

Questa condizione si riferisce ad una situazione di funzionamento normale che non necessita interventi.

Una seconda condizione di funzionamento viene indicata se LEVEL≤3.

Questa condizione si riferisce ad una situazione in cui è necessario un intervento a medio termine.

Una terza condizione di funzionamento viene indicata se LEVEL>3.

Questa condizione si riferisce ad una situazione in cui è necessario un intervento immediato.

E' inoltre previsto che il livello di allarme venga indicato solo se tale livello permane per un determinato intervallo di tempo.

Nella realizzazione considerata, ad esempio, questo intervallo è stato posto a 60 minuti.

EUGENIO ROBBA
(IN PROPRIO E PER GLI ALTRI)

E' anche previsto che i parametri relativi al funzionamento della pompa vengano memorizzati periodicamente per poter essere successivamente analizzati ed utilizzati per modificare i livelli di soglia predeterminati.

Poichè, come si è detto in precedenza, lo spettro di vibrazione risente anche delle

apparecchiature che si trovano nelle vicinanze della pompa da vuoto da diagnosticare, in una seconda forma di realizzazione del metodo secondo l'invenzione, è prevista una fase preliminare di analisi dello spettro di vibrazione per la distinzione fra i segnali dovuti alla presenza di due pompe da vuoto che lavorino nelle vicinanze.

A differenza del metodo descritto in precedenza, in questa seconda forma di realizzazione vengono stimate le frequenze teoriche di rotazione F_{t1} ed F_{t2} del rotore della pompa utilizzando la formula seguente:

$$F_{t1} = F_{ecc1} - K_1 * I_1 / V_1$$

$$F_{t2} = F_{ecc2} - K_2 * I_2 / V_2$$

Analogamente al metodo descritto con riferimento alla Figura 4a e 4b, viene definito un intervallo opportuno contenente le due frequenze teoriche di rotazione. Supponendo $F_{t1} < F_{t2}$, tale intervallo sarà, ad esempio, $[F_{t1} - 50\text{Hz}, F_{t2} + 50\text{Hz}]$.

EUGENIO ROBBA
(IN PROPRIO E PER GLI ALTRI)

All'interno di detto intervallo di lavoro vengono ricercati i due picchi di ampiezza massima ed i valori di frequenza corrispondenti a detti picchi vengono associati alle frequenze sperimentali F_{r1} ed F_{r2} di rotazione dei rotori delle pompe da vuoto.

Successivamente viene applicato il metodo in modo analogo a quanto descritto con riferimento alla realizzazione precedente per entrambe le frequenze F_{r1} ed F_{r2} .

Essendo infatti nota l'origine delle frequenze tipiche teoriche calcolate sarà possibile distinguere i picchi sperimentali provenienti dall'una o dall'altra pompa ed associare le ampiezze sperimentali alla pompa corrispondente.

Nelle Figure 7a, 7b e 7c sono rappresentati gli spettri relativi, rispettivamente, ad una pompa che ruota alla velocità di 680 Hz, ad una pompa contigua che ruota alla velocità di 700 Hz e alla sovrapposizione dei due spettri precedenti.

Nelle Figure da 7a a 7c le linee verticali corrispondono ai picchi teorici e le croci ai picchi sperimentali.

In un'ulteriore forma di realizzazione del metodo di diagnosi secondo la presente invenzione, è prevista anche la valutazione del livello delle ampiezze di vibrazione dei componenti della pompa da vuoto.

EUGENIO ROBBA
(IN PROPRIO E PER GLI ALTRI)

In particolare può essere predisposto un livello di allarme proporzionale alla differenza fra l'ampiezza misurata e l'ampiezza teorica.

Il metodo di diagnosi secondo l'invenzione permette di identificare all'interno dello spettro di vibrazione della pompa le righe spettrali prodotte dalle vibrazioni dei componenti girevoli durante la loro rotazione e fornisce un'indicazione sull'usura della pompa, indipendente dai disturbi prodotti, ad esempio, da altre pompe operanti nelle vicinanze, da trasformatori di tensione, da relè e altre sorgenti di vibrazioni.

Ciò è stato reso possibile con un'accurata analisi spettrale e combinando ulteriori informazioni relative al funzionamento della pompa da vuoto, diverse dallo spettro di accelerazione, come temperatura e corrente assorbita.

EUGENIO ROBBA
(IN PROPRIO E PER GLI ALTRI)

RIVENDICAZIONI

1. Metodo di diagnosi per pompa da vuoto (100), detta pompa comprendendo:

- un involucro (101), provvisto di bocca di aspirazione (119) e di bocca di scarico (120), in cui è definita assialmente una prima porzione (101a) ed una seconda porzione (101b);

- una pluralità di stadi di pompaggio dei gas ottenuti dalla cooperazione di dischi rotorii (113,114), solidali con l'albero girevole (123) della pompa da vuoto, con anelli statori (115,116), solidali con detto involucro della pompa da vuoto, detti stadi di pompaggio essendo alloggiati in detta seconda porzione di involucro (101b);

- un motore elettrico (121) atto a porre in rotazione detto albero girevole della pompa da vuoto ed almeno un cuscinetto (122) di supporto di detto albero girevole (123), detto motore (121) e detto almeno un cuscinetto (122) essendo alloggiati in detta prima porzione di involucro (101a);

EUGENIO ROBBA
(IN PROPRIO E PER GLI ALTRI)

in cui sono previste le fasi di:

- acquisire almeno un segnale indicativo dell'accelerazione di vibrazione dei componenti girevoli della pompa da vuoto;

- sviluppare detto segnale indicativo dell'accelerazione di vibrazione dei componenti girevoli della pompa da vuoto nella corrispondente distribuzione spettrale in ordine di frequenza, ottenendo in tal modo un segnale indicativo della distribuzione dell'ampiezza dell'accelerazione di vibrazione in funzione della frequenza;
- ricercare all'interno di detta distribuzione spettrale i picchi corrispondenti alle frequenze tipiche di vibrazione di detti componenti girevoli della pompa da vuoto;
- confrontare le ampiezze di detti picchi con rispettive soglie di riferimento predeterminate;
- attivare un segnale di allarme al superamento di almeno una di dette soglie di riferimento da parte della rispettiva ampiezza di picco.

2. Metodo di diagnosi secondo la rivendicazione 1, in cui detta fase di ricerca dei picchi corrispondenti alle frequenze tipiche di vibrazione di detti componenti girevoli della pompa da vuoto comprende inoltre le fasi di:

- stimare la frequenza teorica di rotazione F_{rot} del rotore della pompa da vuoto in funzione

EUGENIO ROBBA
(IN PROPRIO E PER GLI ALTRI)

- della frequenza di eccitazione $F_{...}$ del motore della pompa da vuoto, della corrente assorbita I da detto motore e della tensione di alimentazione V del motore;
- ricercare all'interno di un intervallo di frequenze predeterminato di detta distribuzione spettrale il picco di ampiezza massima;
 - associare il valore di frequenza corrispondente a detto picco di ampiezza massima alla frequenza sperimentale F_r di rotazione del rotore della pompa da vuoto;
 - calcolare le frequenze tipiche teoriche di vibrazione ftt di detti componenti girevoli della pompa da vuoto in funzione di detta frequenza sperimentale F_r ;
 - ricercare in detta distribuzione spettrale per ognuna delle frequenze tipiche teoriche di vibrazione ftt calcolata i picchi relativi alla corrispondente frequenza sperimentale di vibrazione.

EUGENIO ROBBA
(IN PROPRIO E PER GLI ALTRI)

3. Metodo di diagnosi secondo la rivendicazione 2,
in cui detto intervallo di frequenze predeterminato corrisponde ad un intorno della frequenza teorica di rotazione F_{rot} del rotore di ± 50 Hz.

4. Metodo di diagnosi secondo la rivendicazione 3, in cui la fase di ricerca in detta distribuzione spettrale per ognuna delle frequenze teoriche di vibrazione della corrispondente frequenza sperimentale di vibrazione comprende inoltre le fasi di:

- determinare su detta distribuzione spettrale un intervallo di lavoro di ognuna delle frequenze tipiche teoriche ftt di vibrazione dei componenti girevoli della pompa da vuoto;
- individuare, all'interno di detto intervallo di lavoro, il picco di frequenza minima ftt... e il picco di frequenza massima ftt...;
- determinare su detta distribuzione spettrale per ognuno degli intervalli di lavoro un intervallo di lavoro allargato di ampiezza non inferiore all'intervallo delimitato dalle frequenze corrispondenti a detto picco di frequenza minima ftt... e da detto picco di frequenza massima ftt...;
- calcolare il numero di frequenze tipiche teoriche ftt di vibrazione che si trovano all'interno di detto intervallo di lavoro allargato;
- associare ad ogni frequenza tipica teorica ftt

EUGENIO ROBBA
(IN PROPRIO E PER GLI ALTRI)

di vibrazione che si trova all'interno di detto intervallo di lavoro allargato l'ampiezza corrispondente ai picchi rilevati secondo il criterio per il quale ad ogni fft viene associato il picco rilevato alla frequenza più prossima e per il quale il picco associato a più di una fft viene associato solo alla fft più prossima, alle rimanenti fft essendo associata l'ampiezza media dell'intervallo di lavoro allargato considerato.

5. Metodo di diagnosi secondo la rivendicazione 4, in cui detto intervallo di lavoro determinato per ogni frequenza tipica teorica fft di rotazione corrisponde ad un intorno di detta frequenza fft di rotazione di ampiezza $\pm n/\Delta f$, dove Δf è la risoluzione dello spettro ed n è un numero intero compreso fra 5 e 10 ed in cui detto intervallo di lavoro allargato corrisponde all'intervallo $[fft_{min} - n/\Delta f, fft_{max} + n/\Delta f]$.

EUGENIO ROBBA
(IN PROPRIO E PER GLI ALTRI)

6. Metodo di diagnosi secondo la rivendicazione 5,

in cui è prevista inoltre la fase di:

- commutare il contenuto di indicatori di allarme dal valore corrispondente alla condizione di funzionamento normale della

pompa da vuoto al valore corrispondente alla condizione di funzionamento critico di detta pompa al superamento di dette soglie da parte delle rispettive ampiezze.

7. Metodo di diagnosi secondo la rivendicazione 5, in cui sono inoltre previste le fasi di:

- acquisire almeno un segnale indicativo della temperatura di detta prima porzione (101a) della pompa da vuoto;
- confrontare detto almeno un segnale indicativo della temperatura di detta prima porzione della pompa da vuoto con almeno una rispettiva soglia di riferimento;
- commutare il contenuto di almeno un indicatore di allarme dal valore corrispondente alla condizione di funzionamento normale della pompa da vuoto al valore corrispondente alla condizione di funzionamento critico di detta pompa al superamento di detta almeno una soglia di riferimento da parte del rispettivo almeno un segnale indicativo della temperatura.

EUGENIO ROBBA
(IN PROPRIO E PER GLI ALTRI)

8. Metodo di diagnosi secondo le rivendicazioni 6 e 7, in cui sono inoltre previste le fasi di:

- memorizzare il contenuto di detti indicatori

- di allarme in mezzi di memorizzazione;
- sommare il numero degli indicatori di allarme in cui il contenuto corrisponde alla condizione di funzionamento normale della pompa;
- attivare un segnale di pre-allarme al superamento di una soglia di pre-allarme da parte di detta somma ed un segnale di allarme al superamento di una soglia di allarme da parte di detta somma.

9. Metodo di diagnosi secondo la rivendicazione 8, in cui è inoltre prevista la fase di:

- memorizzare periodicamente i dati relativi alle frequenze teoriche di vibrazione fft, alle frequenze sperimentali di vibrazione corrispondenti ftr e alle ampiezze sperimentali di vibrazione associate a dette frequenze sperimentali di vibrazione.

EUGENIO ROBBA
(IN PROPRIO E PER GLI ALTRI)

10. Metodo di diagnosi secondo la rivendicazione 1, in cui la fase di sviluppo di detto segnale indicativo dell'accelerazione dei componenti girevoli della pompa da vuoto nella relativa distribuzione spettrale è ottenuta mediante una procedura di tipo FFT (Fast Fourier Transform).

11. Metodo di diagnosi secondo una qualunque delle

rivendicazioni precedenti, in cui detta pompa da vuoto è una pompa di tipo turbomolecolare.

12. Apparato di diagnosi per pompa da vuoto (100), detta pompa comprendendo:

- un involucro (101), provvisto di bocca di aspirazione (119) e di bocca di scarico (120), in cui è definita assialmente una prima porzione (101a) ed una seconda porzione (101b);
- una pluralità di stadi di pompaggio dei gas ottenuti dalla cooperazione di dischi rotori (113,114), solidali con l'albero girevole (123) della pompa da vuoto, con anelli statori (115,116), solidali con detto involucro della pompa da vuoto, detti stadi di pompaggio essendo alloggiati in detta seconda porzione di involucro (101b);
- un motore elettrico (121) atto a porre in rotazione detto albero girevole ed almeno un cuscinetto (122) di supporto dell'albero girevole (123) della pompa da vuoto, detto motore (121) e detto almeno un cuscinetto (122) essendo alloggiati in detta prima porzione di involucro (101a);
- un'unità elettronica di alimentazione (20) di

EUGENIO ROBBA
(IN PROPRIO E PER GLI ALTRI)

detto motore elettrico (121) della pompa da vuoto (100),

in cui sono previsti:

- almeno un trasduttore (31) atto a fornire un segnale elettrico di intensità proporzionale al valore di accelerazione o velocità o spostamento misurato in corrispondenza dei componenti girevoli della pompa da vuoto (100);
- un'unità elettronica di elaborazione (40), comprendente un microprocessore (41), mezzi di memorizzazione e mezzi di comunicazione atti a ricevere il segnale proveniente da detto trasduttore (31) ed una pluralità di segnali indicativi della condizione di funzionamento della pompa da vuoto provenienti da detta unità elettronica di alimentazione (20), mezzi atti a sviluppare detto segnale proveniente da detto trasduttore (31) nella corrispondente distribuzione spettrale in ordine di frequenza ottenendo in tal modo un segnale indicativo della distribuzione dell'ampiezza dell'accelerazione di vibrazione in funzione della frequenza, detta unità di elaborazione (40) essendo atta a fornire un segnale

EUGENIO ROBBA
(IN PROPRIO E PER GLI ALTRI)

indicativo dello stato di usura dei componenti girevoli della pompa da vuoto.

13. Apparato di diagnosi secondo la rivendicazione 12, in cui sono inoltre previsti mezzi di comunicazione (45) atti a ricevere attraverso una linea di comunicazione (34) detta pluralità di segnali indicativi della condizione di funzionamento della pompa da vuoto provenienti dall'unità elettronica di alimentazione (20).

14. Apparato di diagnosi secondo la rivendicazione 13, in cui detto trasduttore (31) è un accelerometro di tipo piezoelettrico posto a contatto con il corpo della pompa da vuoto (100) in corrispondenza della porzione di esso in cui sono alloggiati i cuscinetti di supporto dell'albero girevole.

EUGENIO ROBBA
(IN PROPRIO E PER GLI ALTRI)

15. Apparato di diagnosi secondo la rivendicazione 13, in cui è previsto almeno un trasduttore (30) atto a fornire un segnale elettrico di intensità proporzionale alla temperatura misurata in corrispondenza dei componenti girevoli della pompa da vuoto (100).

16. Apparato di diagnosi secondo la rivendicazione 14 e 15, in cui detta pluralità di segnali indicativi della condizione di

funzionamento della pompa da vuoto provenienti da detta unità elettronica di alimentazione (20) comprende almeno:

- un segnale indicativo della presenza di mezzi per il raffreddamento a liquido della pompa da vuoto;
- un segnale indicativo della corrente assorbita dal motore elettrico della pompa da vuoto;
- un segnale indicativo della tensione di alimentazione del motore elettrico della pompa da vuoto;
- un segnale indicativo della frequenza di pilotaggio del motore elettrico della pompa da vuoto;
- un segnale indicativo della temperatura della pompa da vuoto.

EUGENIO ROBBA
(IN PROPRIO E PER GLI ALTRI)

17. Apparato di diagnosi secondo la rivendicazione 16, in cui sono previsti inoltre mezzi indicatori della condizione di pre-allarme e della condizione di allarme relativamente allo stato di usura dei componenti girevoli della pompa da vuoto.

18. Apparato di diagnosi secondo una qualunque delle rivendicazioni precedenti, in cui detta pompa da vuoto è una pompa di tipo turbomolecolare.

19. Pompa da vuoto comprendente:

- un involucro (101), provvisto di bocca di aspirazione (119) e di bocca di scarico (120), in cui è definita assialmente una prima porzione (101a) ed una seconda porzione (101b);
- una pluralità di stadi di pompaggio dei gas ottenuti dalla cooperazione di dischi rotorici (113,114), solidali con l'albero girevole (123) della pompa da vuoto, con anelli statori (115,116), solidali con detto involucro della pompa da vuoto, detti stadi di pompaggio essendo alloggiati in detta seconda porzione di involucro (101b);
- un motore elettrico (121) atto a porre in rotazione detto albero girevole ed almeno un cuscinetto (122) di supporto dell'albero girevole (123) della pompa da vuoto, detto motore (121) e detto almeno un cuscinetto (122) essendo alloggiati in detta prima porzione di involucro (101a);
- un'unità elettronica di alimentazione (20) di detto motore elettrico (121) della pompa da vuoto (100),

in cui è previsto un apparato di diagnosi provvisto

EUGENIO ROBBA
(IN PROPRIO E PER GLI ALTRI)

di mezzi per:

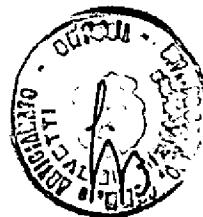
- acquisire almeno un segnale indicativo dell'accelerazione di vibrazione dei componenti girevoli della pompa da vuoto;
- sviluppare detto segnale indicativo dell'accelerazione di vibrazione dei componenti girevoli della pompa da vuoto nella corrispondente distribuzione spettrale in ordine di frequenza, ottenendo in tal modo un segnale indicativo della distribuzione dell'ampiezza dell'accelerazione di vibrazione in funzione della frequenza;
- ricercare all'interno di detta distribuzione spettrale i picchi corrispondenti alle frequenze tipiche di vibrazione di detti componenti girevoli della pompa da vuoto;
- confrontare le ampiezze di detti picchi con rispettive soglie di riferimento predeterminate;
- attivare un segnale di allarme al superamento di almeno una di dette soglie di riferimento da parte della rispettiva ampiezza di picco.

20. Pompa da vuoto secondo la rivendicazione 19, in cui sono previsti mezzi atti ad interrompere l'alimentazione elettrica di detta pompa al

EUGENIO ROBBA
(IN PROPRIO E PER GLI ALTRI)

superamento di un numero prefissato di dette soglie
di riferimento.

EUGENIO ROCCA
(IN PROPRIO E PER GLI ALTRI)



T0964001092

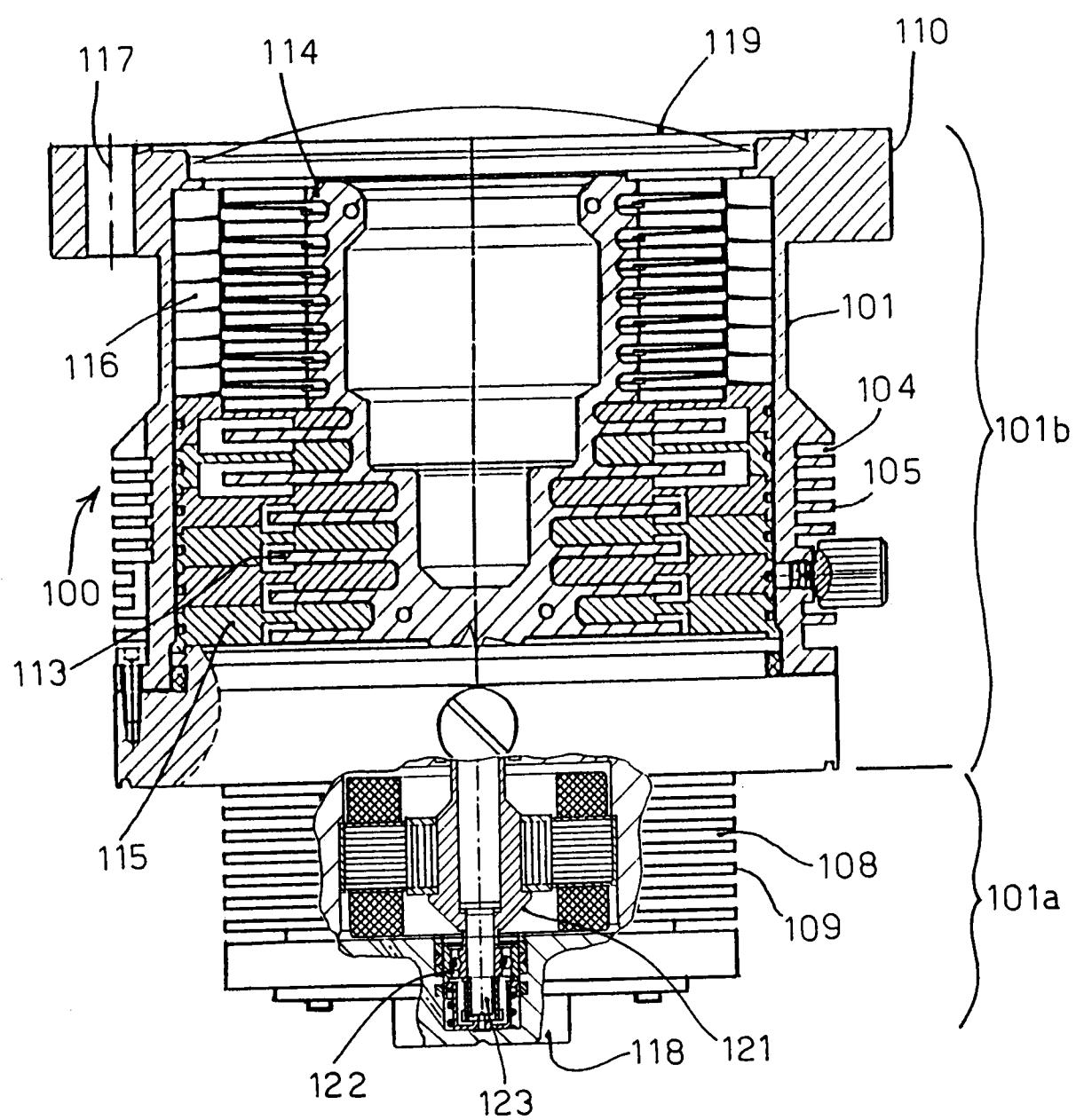
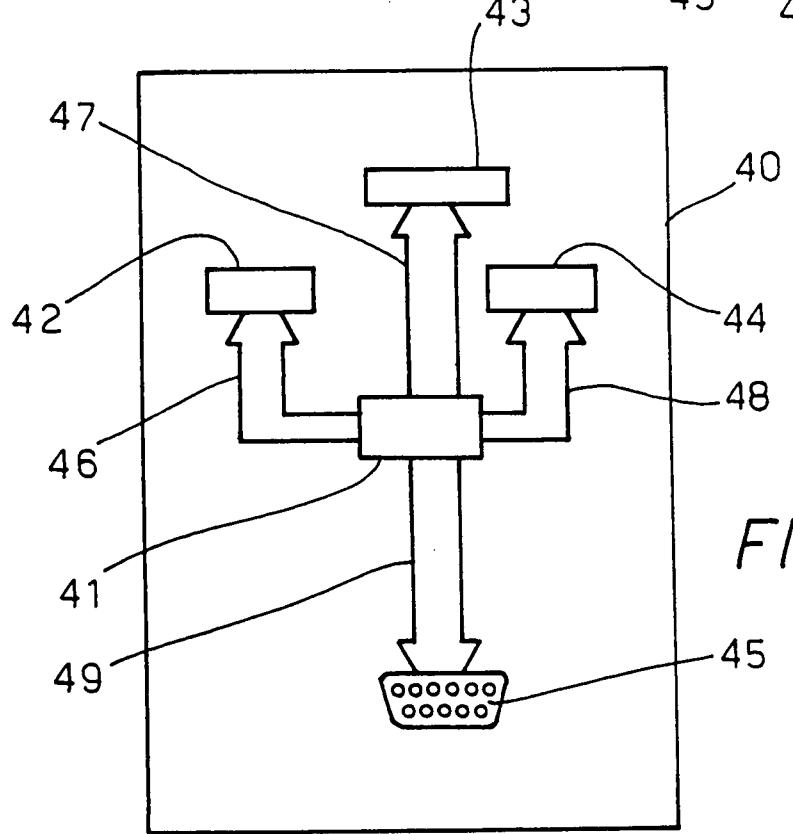
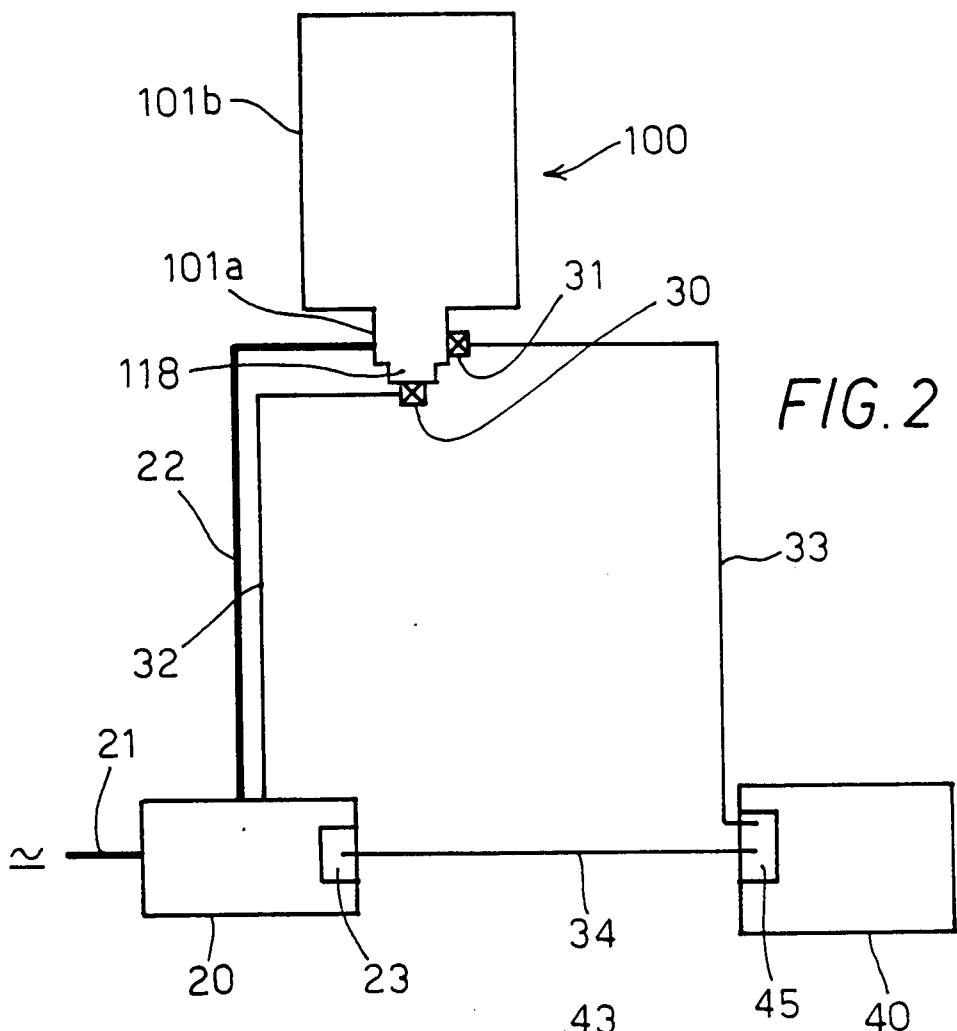


FIG. 1

EB
EUGENIO ROBBA
IN PROPRIO PER GLI ALTRI

T086 A001081



EUGENIO ROBBA
(IN PROPRIO PER GLI ALTRI)

T096A001081

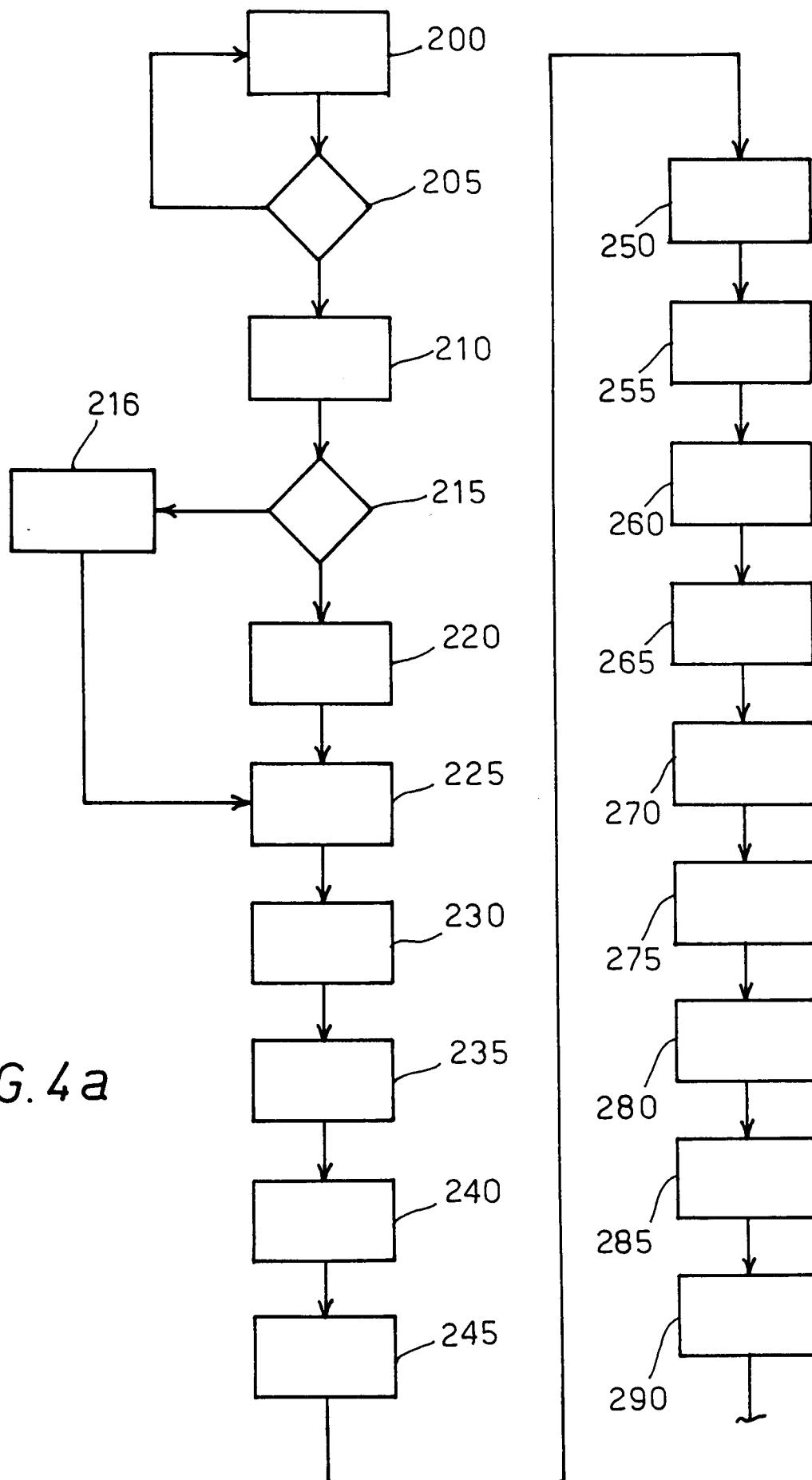


FIG. 4a

EUGENIO ROBBA
(IN PROPRIO E PER GLI ALTRI)

T096A0010g1

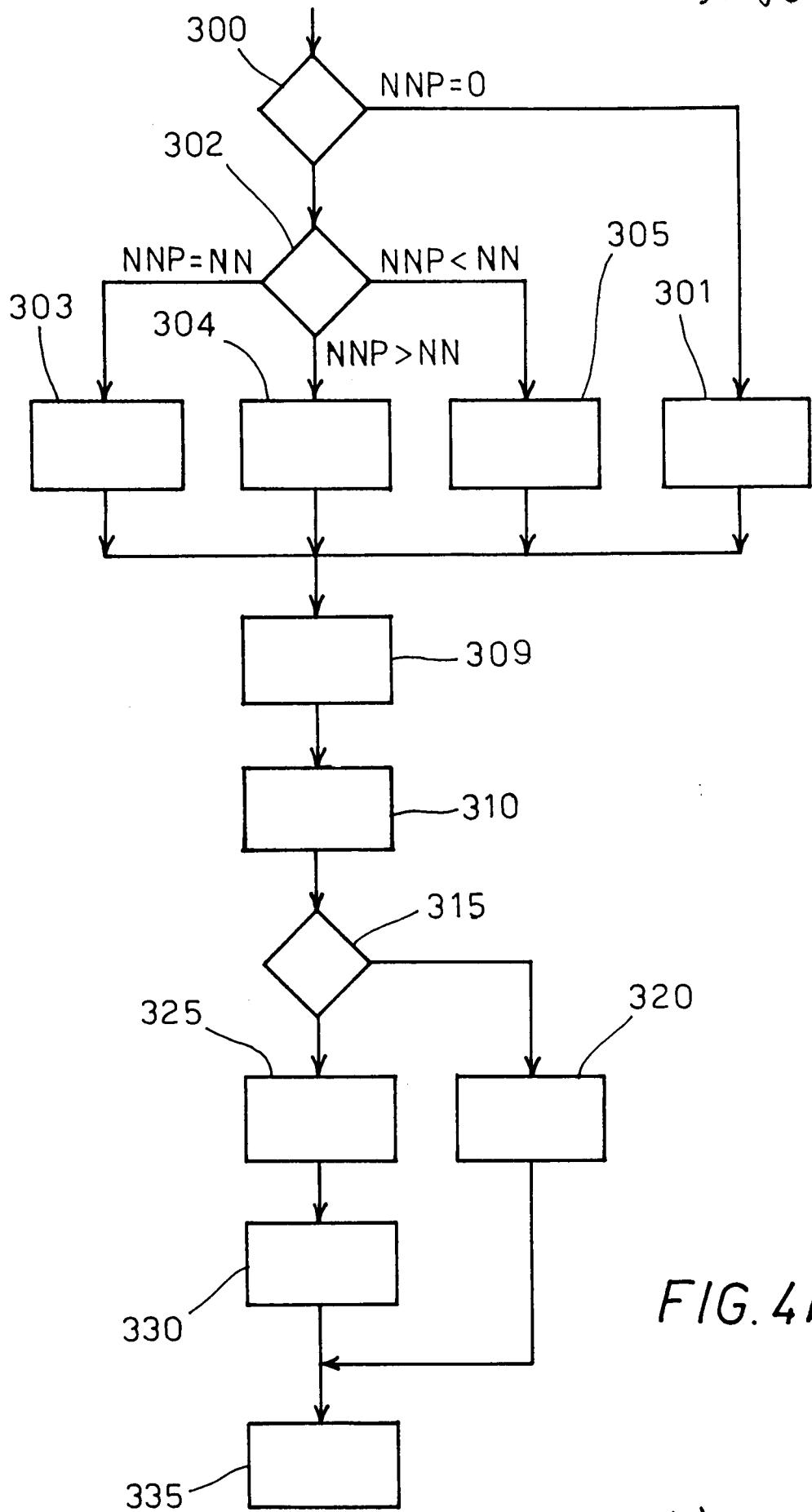


FIG. 4b

EUGENIO ROBBA
(IN PROPR. DI PER GLI ALTRI)

TO 96 A 001091

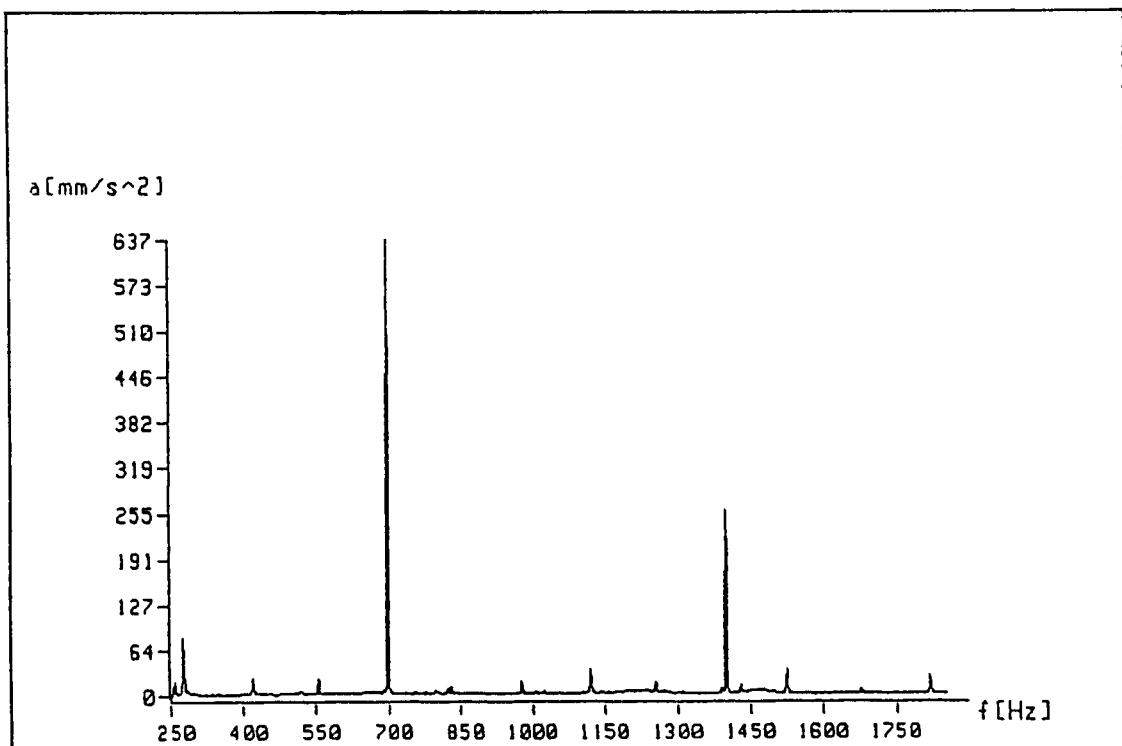


FIG. 5a

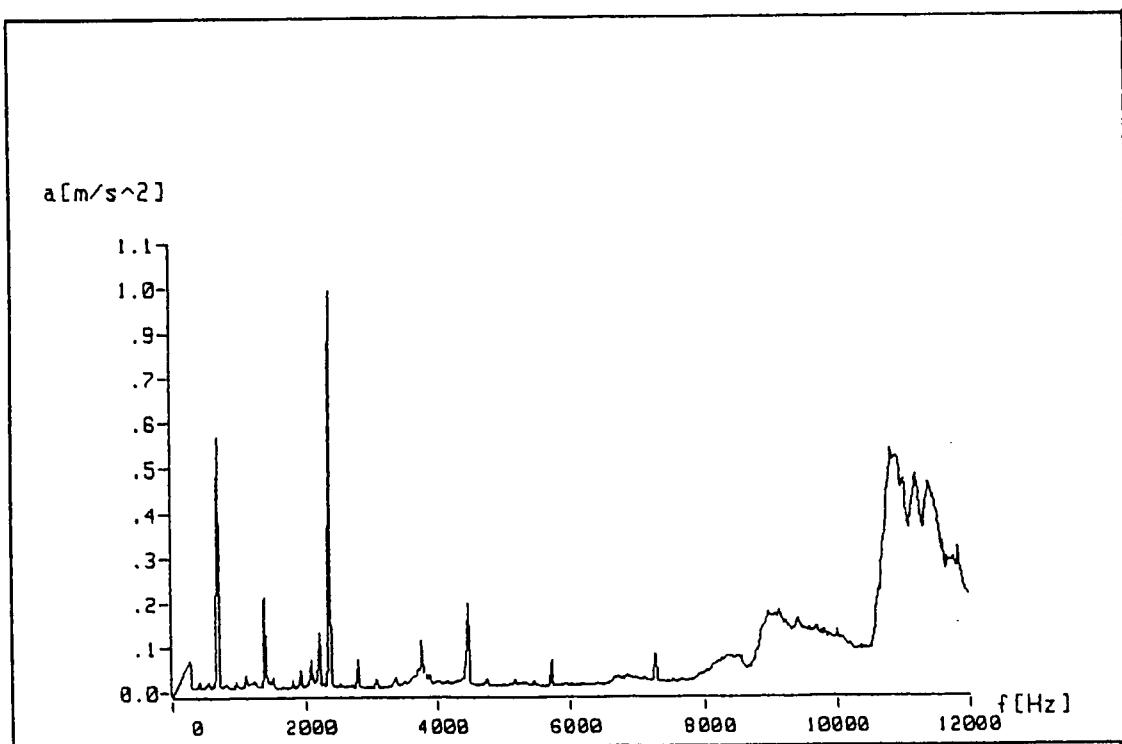


FIG. 5b

EUGENIO ROBBA
(IN PROPRIO PER GLI ALTRI)

T086 A 001091

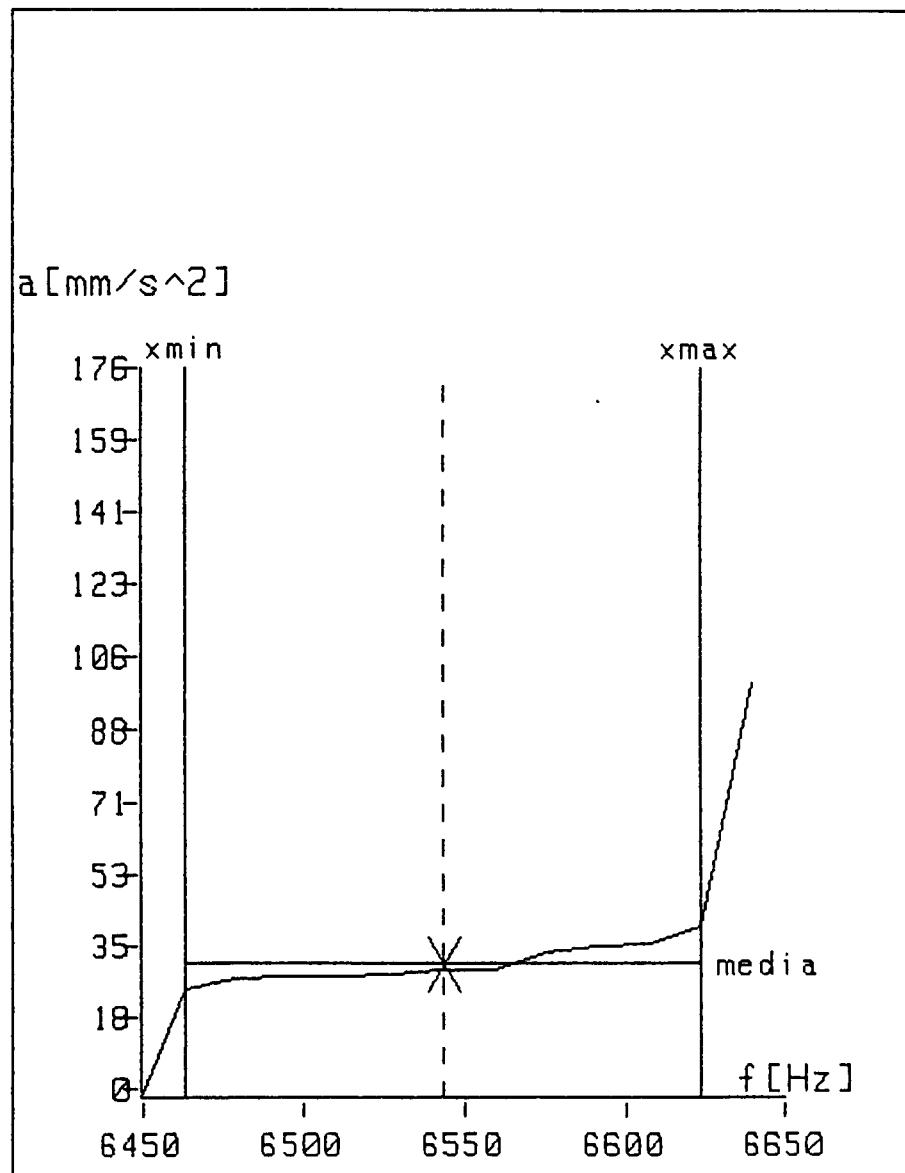


FIG. 6a

LB

EUGENIO COEBA
(IN PROPRIO E PER GLI ALTRI)

T086 A001081

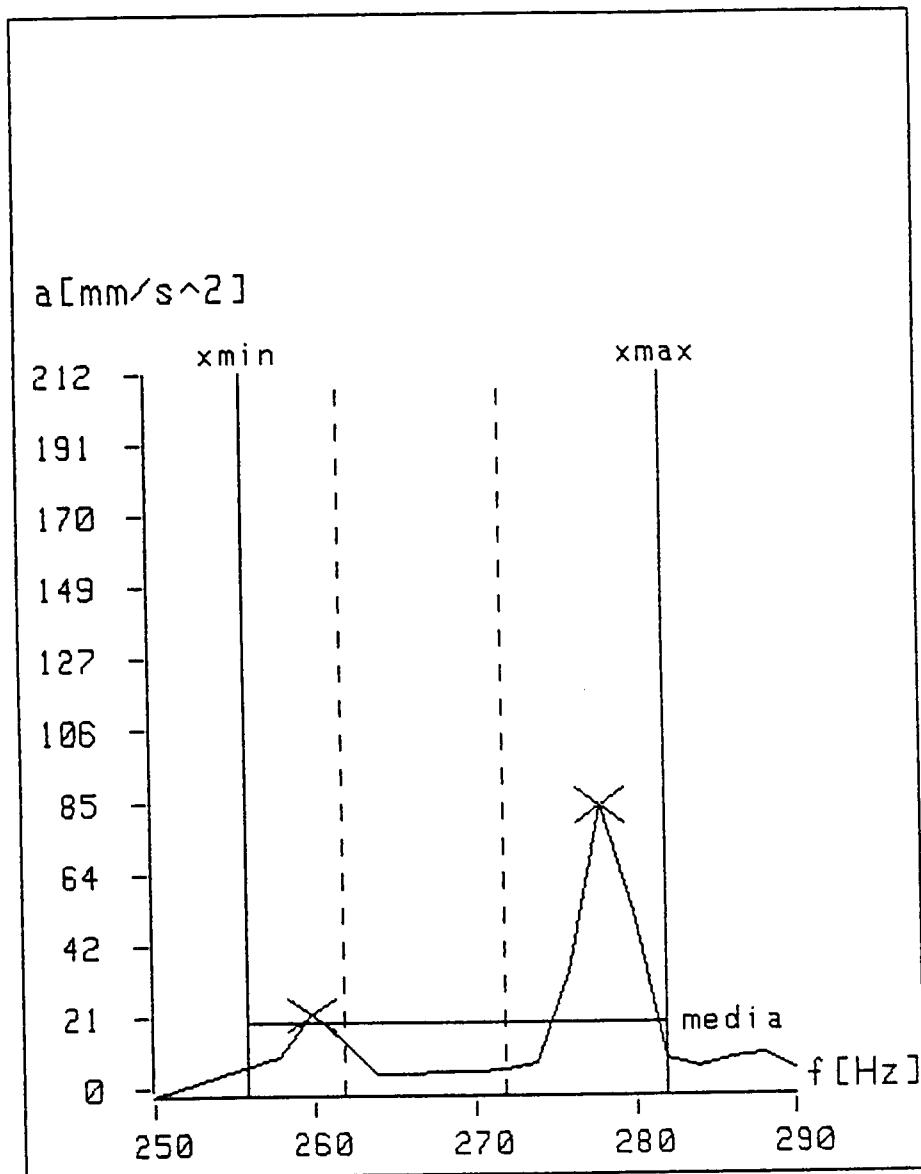


FIG. 6b

EP
EUGENIO ROCCA
(IN PROPRIETÀ PER GLI ALTRI)

TO96A001031

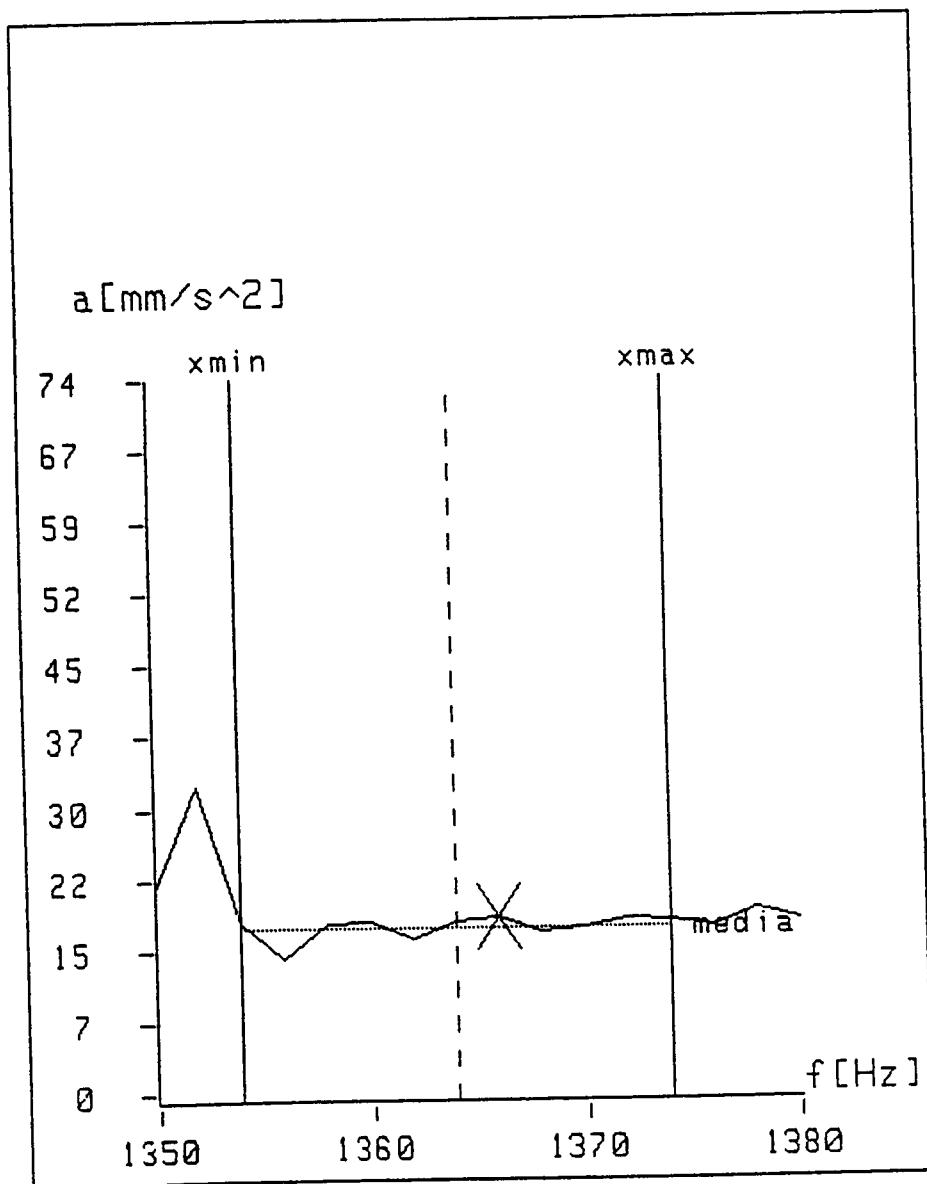


FIG. 6c

fb

EUGENIO ROBBA
(IN PROPRIO E PER GLI ALTRI)

T086A 00 1081

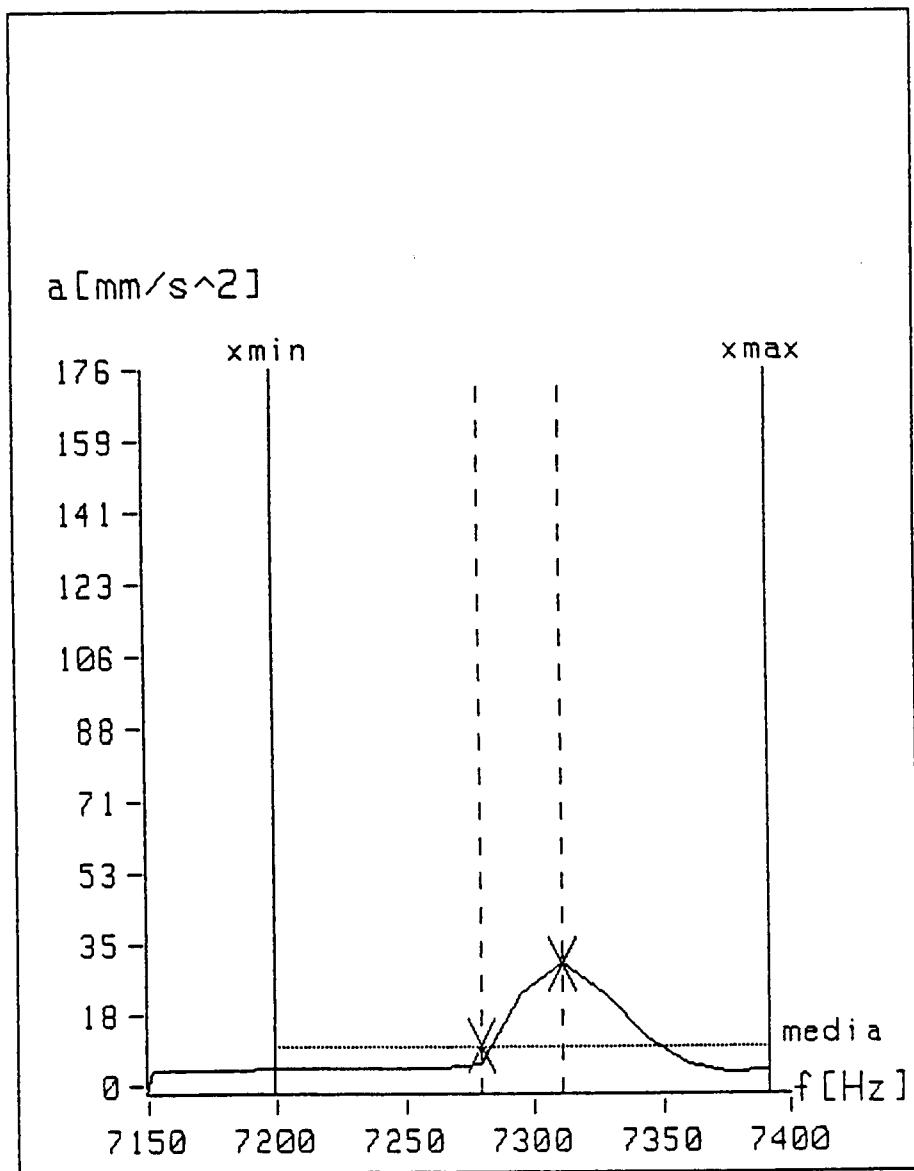


FIG. 6d

EB
EUGENIO ROBBA
(IN PROPRIO PER GLI ALTRI)

T086A 001081

a [mm/s²]

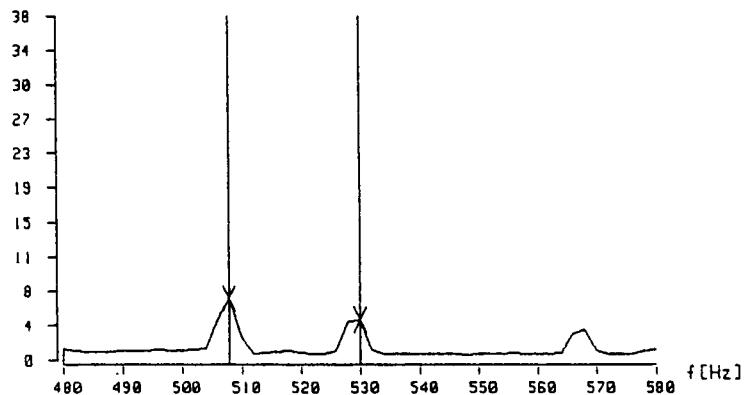


FIG. 7a

a [mm/s²]

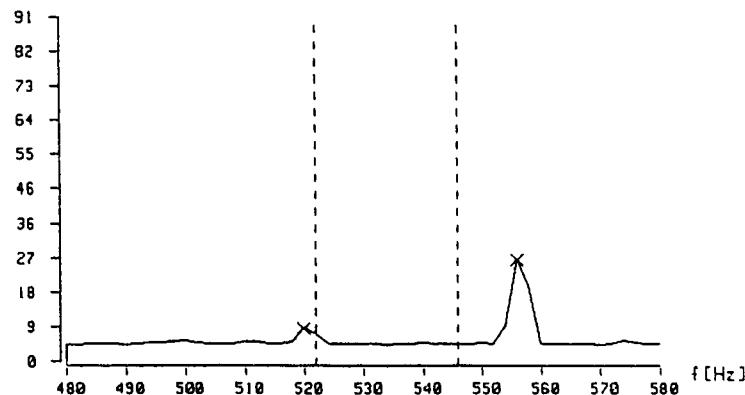


FIG. 7b

a [mm/s²]

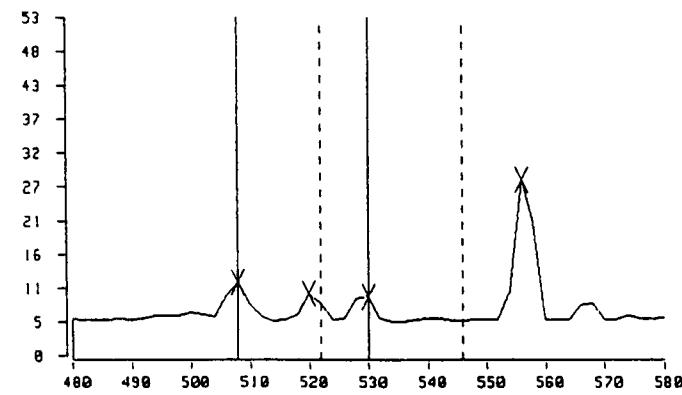


FIG. 7c

EUGENIO ROBBA
(IN PROPRIETÀ PER GLI ALTRI)