



MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO
DIREZIONE GENERALE PER LA LOTTA ALLA CONTRAFFAZIONE
UFFICIO ITALIANO BREVETTI E MARCHI

DOMANDA NUMERO	102001900902708
Data Deposito	19/01/2001
Data Pubblicazione	19/07/2002

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
G	01	C		

Titolo

PROCEDIMENTO E SISTEMA PER MISURARE LA DISTANZA DI UN CORPO MOBILE DA UNA PARTE FISSA.
--

DESCRIZIONE dell'invenzione industriale dal titolo:

"Procedimento e sistema per misurare la distanza di un corpo mobile da una parte fissa",

di: Comau Systems Spa, nazionalità italiana, Via Rivalta 30, 10095 Grugliasco (TO).

Inventore designato: BORGHI Luigi.

Depositata il: 19 gennaio 2001

TO 2001A 000035

TESTO DELLA DESCRIZIONE

La presente invenzione riguarda un procedimento ed un sistema per misurare senza contatto la distanza di un corpo mobile da una parte fissa.

La presente invenzione è stata sviluppata con particolare riguardo al campo delle macchine utensili a controllo numerico ma può essere applicata in qualunque campo in cui si abbia la necessità di misurare con elevata precisione e senza contatto la posizione di un corpo mobile in un'area con dimensioni variabili da pochi cm alle decine di metri.

Un sistema largamente utilizzato sulle macchine di tipo cartesiano utilizza righe ottiche lineari disposte lungo i tre assi di movimentazione del corpo mobile. Ciascuna riga ottica misura la posizione del corpo mobile lungo il relativo asse e per determinare la posizione del corpo nello spazio

BUZZI, NOTARO &
ANICINELLI & C. s.r.l.

si assume che i tre assi siano a 90° fra loro. Questa assunzione introduce inevitabilmente degli errori nel caso in cui gli assi di movimentazione della macchina non siano perfettamente a 90° fra loro.

Per evitare questo tipo di errore, si è cercato di sviluppare sistemi di misura della posizione di un corpo mobile che siano indipendenti dal sistema di trasmissione che impartisce il movimento al corpo mobile. Tali sistemi possono essere identificati come sistemi di misura "senza contatto" in quanto non richiedono un contatto meccanico fra la parte fissa e l'oggetto da misurare. Gli attuali sistemi noti e disponibili in commercio possono essere suddivisi in tre categorie:

- sistemi che utilizzano sensori magnetici,
- sistemi basati sulla misura del tempo di volo di segnali ad ultrasuoni, segnali radio (radar) o laser,
- sistemi basati sull'angolo di riflessione di un raggio laser, e
- sistemi ad interferometria laser.

I sistemi che utilizzano sensori magnetici hanno possibilità di applicazione limitate in quanto richiedono una vicinanza molto stretta (quasi con contatto) con il corpo mobile.

I sistemi di misura ad ultrasuoni basati sul calcolo del tempo di volo hanno una precisione scandente (dell'ordine di 2-3 mm) e sono difficilmente applicabili con distanze superiori a 3 mt.

Gli attuali sistemi con carrier elettromagnetici (laser, radio) basati sul tempo di volo hanno risoluzioni molto scarse.

I sistemi ad interferometria laser sono difficilmente applicabili a corpi mobili lungo uno spazio tridimensionale in quanto richiedono costantemente un sostanziale allineamento fra una sorgente di emissione del raggio laser ed il corpo mobile. Questi sistemi di misura inoltre presentano dei problemi quando l'ambiente di misura ha delle caratteristiche disomogenee, dovute per esempio alla presenza di fumi, liquidi lubrificanti trucioli e residui di lavorazione, come normalmente avviene nel campo delle macchine utensili.

Lo scopo della presente invenzione è quello di fornire un procedimento ed un sistema per la misura della posizione di un corpo mobile, che non siano affetti dai suddetti inconvenienti.

Secondo la presente invenzione, questo scopo viene raggiunto da un procedimento e da un sistema

ALFRED NOVARO &
ANTONIO D'AMICO
INGEGNERI

aventi le caratteristiche formanti oggetto delle rivendicazioni.

La presente invenzione è essenzialmente basata sull'applicazione del principio dell'interferometria alle onde radio ed alle onde ultrasoniche, per realizzare sistemi di misura diretti utilizzabili anche in ambienti opachi e nello spazio tridimensionale non lineare.

La presente invenzione verrà ora descritta con riferimento ai disegni allegati, dati a puro titolo di esempio non limitativo, in cui:

- la figura 1 è uno schema a blocchi illustranti il principio di funzionamento su cui è basata la presente invenzione,

- la figura 2 è uno schema a blocchi di un sistema secondo l'invenzione predisposto per distinguere la direzione di movimento del corpo mobile,

- la figura 3 è uno schema a blocchi del sistema di figura 2 predisposto per compensare le variazioni di permeabilità del mezzo di propagazione del segnale, e

- le figure 4-7 sono diagrammi che illustrano la somma di due segnali sinusoidali con diversi sfasamenti relativi.

PUZZI, NICOLASO &
C. CO. S.p.A.
Milano

Riferendosi inizialmente alla figura 1, nella sua forma di realizzazione più semplice il sistema secondo la presente invenzione comprende una parte stazionaria 10 fissata al corpo di riferimento ed una parte mobile 12 fissata al corpo di cui si vuole conoscere la distanza dal corpo di riferimento. Fra la parte fissa e la parte mobile vi è un mezzo di propagazione che potrà essere il vuoto, aria o qualsiasi altro gas, acqua o qualsiasi altro liquido.

La parte stazionaria 10 comprende un trasmettitore di segnale 14 associato ad un oscillatore 16 che genera un segnale alternato sinusoidale con frequenza prestabilita. Il segnale trasmesso dal trasmettitore 14 potrà essere un'onda radio con frequenza compresa fra 3 KHz e 300 GHz e preferibilmente compresa fra 10 e 300 GHz in alternativa, il segnale potrebbe essere un'onda elastica acustica con frequenza compresa fra 40 KHz e 10 MHz; in questo caso il trasmettitore 14 sarà costituito da un trasduttore piezoelettrico. Il segnale viene puntato contro la parte mobile 12 che comprende un ricevitore 18 sintonizzato sulla frequenza di trasmissione f del trasmettitore 14. Il segnale ricevuto dal ricevitore 18 viene moltiplicato in frequenza da un moltiplicatore 20 e

RECEIVED
FEB 10 1964
U.S. AIR FORCE
RESEARCH & DEVELOPMENT
DIVISION

viene ritrasmesso verso la parte fissa 10 da un trasmettitore 22 solidale alla parte mobile 12. Il segnale con frequenza nf (dove n è il moltiplicatore) è rigidamente agganciato alla fase del segnale ricevuto dal ricevitore 18. Il ritardo di fase introdotto dal moltiplicatore 20 è costante e non modifica la rigida relazione di fase fra i segnali f ed nf . Nel caso in cui la parte mobile 12 effettua una moltiplicazione per due della frequenza del segnale ricevuto, il moltiplicatore di frequenza 20 può essere costituito da un duplicatore a ponte di diodi che garantisce un rigido sincronismo di fase fra il segnale di ingresso a frequenza f ed il segnale di uscita a frequenza $2f$.

Il segnale emesso dalla parte fissa è una funzione sinusoidale del tempo che può essere espressa dalla formula $r(t) = R \sin(2\pi ft + \phi_0)$. Il segnale che viene trasmesso dal trasmettitore 22 della parte mobile 12 è una funzione sinusoidale con frequenza nf che può essere rappresentato dalla formula $s(t) = S \sin(2\pi nft + \phi_1)$ se t_1 è l'istante in cui il segnale $r(t)$ viene ricevuto dal ricevitore 18 della parte mobile 12, la fase iniziale ϕ_1 del segnale $s(t)$ dovrà essere tale per cui all'istante t_1 la fase del segnale $s(t)$ è uguale alla fase del segnale $r(t)$,

TUTTI I NOTIZIARI &
 AGGIORNAMENTI
 SULLA

cioè: $2\pi f t_1 + \varphi_0 = 2\pi n f t_1 + \varphi_1$. Da cui si ricava $\varphi_1 = \varphi_0 - 2\pi f t_1 (n-1)$.

Il segnale $s_{(t)}$ viene ricevuto da un ricevitore 24 portato dalla parte fissa 10 e sintonizzato sulla frequenza $n f$. Il fatto che il trasmettitore 14 ed il ricevitore 24 della parte fissa 10 sono sintonizzati su diverse frequenze evita che il segnale emesso dal trasmettitore 14 interferisca con il ricevitore 24. Dal ricevitore 24, il segnale $s_{(t)}$ viene filtrato in frequenza da un filtro 26 e successivamente la sua ampiezza S viene normalizzata da un amplificatore 28 ad ampiezza d'uscita costante.

A monte del trasmettitore 14 il segnale $r_{(t)}$ viene moltiplicato in frequenza da un moltiplicatore 30 analogo al moltiplicatore 20 della parte mobile 12, che produce un segnale con una frequenza pari a quella del segnale $s_{(t)}$ ed una fase iniziale identica a quella del segnale $r_{(t)}$. Il segnale $u_{(t)}$ può quindi essere rappresentato dalla relazione:
 $u_{(t)} = U \sin(2\pi n f t + \varphi_0)$. Questo segnale viene normalizzato da un amplificatore ad ampiezza di uscita costante 32 in modo che all'uscita degli amplificatori 28 e 32 i segnali $S_{(t)}$ ed $u_{(t)}$ hanno ampiezze S ed U uguali. I due segnali vengono inviati ad un miscelatore 34 che effettua la somma dei due segnali sinusoidali. Nel miscelatore 34

NOTARIO &
ARISTIDE BLOUX
GEL

It's
XEROGRAPHIC
& COMPOUND LTD.

It's
XEROGRAPHIC
& COMPOUND LTD.

$\phi_1 = 2\pi f t_1 (n-1)$ dove t_1 rappresenta il tempo impiegato dal segnale $r(t)$ trasmesso nell'istante $t_0=0$ a percorrere la distanza d fra la parte fissa e la parte mobile. Quindi, $t_1 = d/c$ dove c è la velocità di propagazione del segnale nel mezzo. Quindi, il segnale in uscita sul terminale 38 è una misura della distanza del corpo mobile dalla parte fissa. Se il corpo 12 è fermo, il segnale di uscita sul terminale 38 è un valore costante. Se il corpo 12 si muove il segnale 38 varia con una frequenza che è proporzionale alla velocità di spostamento. La distanza percorsa dal corpo mobile 12 può ad esempio essere determinata contando il numero di passaggi attraverso una soglia prestabilita (ad esempio lo 0) del segnale di uscita 38. Ogni passaggio per lo 0 del segnale di uscita 38 equivale ad una differenza di fase di 360° fra ϕ_1 e ϕ_0 , il che equivale ad uno spostamento del corpo mobile di una lunghezza pari alla lunghezza d'onda λ del segnale. Quindi, con il conteggio dei passaggi per lo 0 del segnale di uscita 38 si ottiene una misura della distanza percorsa dal corpo mobile con una precisione pari alla lunghezza d'onda del segnale. Questa precisione può essere migliorata tenendo conto della differenza fra l'ampiezza del segnale di uscita 38 fra l'inizio e la fine di un intervallo di

campionamento. In questo modo si riesce a determinare anche la frazione di lunghezza d'onda percorsa fino a circa $1/1000$ di λ . La precisione complessiva del sistema di misura raggiunge pertanto l'ordine di $0,001 \lambda$. La distanza percorsa dal corpo mobile può essere rilevata ad intervalli di tempo prestabiliti, ad esempio dell'ordine di 2 ms. In questo modo, l'unità di controllo che comanda il movimento del corpo mobile 12 ogni 2 ms conosce la posizione esatta del corpo.

Il sistema di misura descritto con riferimento alla figura 1 consente di determinare la posizione (allontanamento o avvicinamento) del corpo mobile lungo l'asse del cono di influenza dei trasmettitori 14 o 22. La posizione del corpo in uno spazio tridimensionale può essere ottenuta semplicemente disponendo tre dispositivi di misura ortogonali fra loro operanti secondo lo stesso principio, ed aventi il complesso mobile 12 operante in una zona del volume di lavoro influenzata dai tre lobi (Coni) simultaneamente.

Il sistema descritto con riferimento alla figura 1 è in grado di determinare con elevata precisione la distanza percorsa dal corpo mobile 12 in un determinato intervallo di tempo ma non è in grado di determinare la direzione di movimento del corpo

mobile cioè non è in grado di determinare se a distanze misurate è stata percorsa in allontanamento od in avvicinamento con riferimento alla parte fissa. La variante del sistema di misura illustrata nella figura 10 consente di ovviare a questo inconveniente. Nella figura 2 i componenti identici a quelli descritti in precedenza sono indicati con gli stessi o con corrispondenti riferimenti numerici. Anche in questo caso il corpo mobile 12 è dotato di un ricevitore di segnale, di un moltiplicatore di frequenza e di un trasmettitore del segnale con frequenza moltiplicata. Rispetto alla variante descritta in precedenza, sulla parte fissa 10 sono previsti due ricevitori 24', 24" associati a rispettivi amplificatori a potenza di uscita costante 28', 28". Anche in questo caso, il segnale a frequenza f generato dall'oscillatore 16 viene moltiplicato in frequenza da un moltiplicatore 30 e viene normalizzato da un amplificatore ad ampiezza d'uscita costante 32. Preferibilmente, fra il moltiplicatore 30 e l'amplificatore 32 è interposto un filtro 31. I due ricevitori 24', 24" sono sfasati fra loro di una distanza δd pari ad una frazione della lunghezza d'onda λ del segnale trasmesso dal corpo mobile più eventualmente un numero intero di lunghezze d'onda, secondo la

Fig. 10

relazione: $\delta d = p\lambda + \lambda/q$ dove p è un numero intero pari o superiore a 0 e q è un numero intero pari o superiore a 2 e preferibilmente pari a 4. I due ricevitori 24' e 24" ricevono rispettivi segnali $s'_{(t)}$ ed $s''_{(t)}$ che sono sfasati fra loro di un angolo pari a $360^\circ/q$. I segnali $s'_{(t)}$ e $s''_{(t)}$ dopo la normalizzazione effettuata dagli amplificatori 28' e 28" vengono inviati a rispettivi miscelatori 34', 34" dove ciascuno dei quali viene sommato al segnale normalizzato $u_{(t)}$ proveniente dall'amplificatore 32. I segnali uscenti dai miscelatori 34', 34" passano a rispettivi rivelatori di potenza o di ampiezza di segnale 36' 36" e, dopo il passaggio attraverso rispettivi filtri 40', 40" i segnali vengono inviati a rispettivi amplificatori di uscita 42' 42". Sulle due uscite indicate con A e B si ottengono due segnali costanti con diversa ampiezza quando il corpo 12 è fermo. Quando il corpo 12 si muove, i due segnali alle uscite A e B hanno una variazione alternata con la stessa ampiezza massima e la stessa frequenza ma diverso sfasamento iniziale. In funzione del fatto che i segnali A e B siano entrambi crescenti o decrescenti oppure siano uno crescente e l'altro decrescente, si stabilisce la direzione di movimento del corpo mobile 12 cioè se

43
44
45
46
47
48
49
50

esso si sta avvicinando oppure allontanando dalla parte fissa.

E' importante sottolineare che la distanza δd fra i due ricevitori 24', 24", nel caso di segnali radio, deve essere intesa come differenza di percorso elettrico fra l'ingresso dell'antenna di ciascun ricevitore ed il nodo del rispettivo miscelatore 34', 34". Questa differenza deve rimanere costante nel tempo. Per ottenere questo risultato è sufficiente rendere regolabile la posizione di uno dei due ricevitori, con una regolazione micrometrica con una corsa massima pari alla lunghezza d'onda del segnale.

Nel caso in cui il segnale è un'onda elastica ad ultrasuoni, il tempo di transito del segnale elettrico dopo la conversione subita di due ricevitori 24', 24" (trasduttori) per arrivare ai miscelatori 34', 34" e trascurabile se confrontato con il percorso del segnale in aria. Il loro rapporto è quasi di un ppm. Eventuali differenze di propagazione del segnale elettrico tra i due canali non influenzano il calcolo della differenza del tempo di volo del segnale fra i due ricevitori (trasduttori piezoelettrici).

Nel caso in cui il segnale ha una frequenza nel campo delle microonde invece è necessario che il

percorso elettrico del segnale dell'uscita del ricevitore (antenna) all'interno del miscelatore sia identico, perché il rapporto fra la velocità di propagazione del segnale in aria e la velocità del segnale elettrico nei due canali, inclusi i tempi di propagazione dei dispositivi elettronici, è quasi di 1/1.

Le stesse considerazioni valgono anche per il percorso elettrico del segnale di riferimento $u(t)$ dalla sua generazione all'uscita dell'amplificatore ad ampiezza d'uscita costante 32 al nodo dei due miscelatori 34', 34". Nel caso di segnali a microonde, questi due percorsi (intesi come tempo di propagazione) devono essere identici. Eventuali differenze, peraltro inevitabili, sono compensabili attraverso una regolazione fine della posizione fisica di uno dei due ricevitori 24', 24" in fase di taratura del sistema.

Una forma di realizzazione ulteriormente perfezionata del sistema secondo l'invenzione verrà ora descritta con riferimento alla figura 3, nella quale sono stati utilizzati gli stessi riferimenti numerici della figura 2 per le parti comuni.

La precisione di misura del sistema secondo l'invenzione è tanto migliore quanto più è costante la velocità di propagazione del segnale.

SECRET

SECRET

[illegible]

tensione/frequenza 56 ed un moltiplicatore di frequenza ad aggancio di fase 58 che pilota l'oscillatore 16. Se la differenza di fase fra i segnali $s'_{(t)}$ ed $s''_{(t)}$ rimane costante, l'uscita del filtro 48 si ottiene un segnale costante e continuo. Ci saranno aumenti di livello del segnale per effetto doppler quando il corpo mobile si allontana e diminuzioni quando esso si avvicina.

Con il corpo mobile stazionario, ci saranno delle variazioni dell'ampiezza del segnale uscente dal filtro 48 se varia la permeabilità del mezzo di propagazione del segnale nell'area dove sono collocati i ricevitori 24' e 24". Questa variazione viene rilevata dall'amplificatore 50 il quale attraverso l'apertura del circuito sample-hold da parte del circuito rilevatore 54 pilota il convertitore tensione-frequenza 56.

Infatti, per effetto di una diminuzione della permeabilità del mezzo, la velocità di propagazione c del segnale diminuisce cioè si ottiene lo stesso effetto di un aumento di frequenza. Dal momento che la distanza δd è fissa, sul miscelatore 44 vengono confrontate due sinusoidi con una differenza di fase non più di λ/q (ad esempio $\lambda/4$) ma proporzionalmente maggiore. Aumentando lo sfasamento fra i due segnali $s'_{(t)}$ ed $s''_{(t)}$ rispetto a quello che si aveva, ad

esempio, con uno sfasamento relativo di $\lambda/4$ si ottiene un valore di picco proporzionalmente minore.

La diminuzione del valore del segnale sul comparatore 50 equivale a provocare una diminuzione del segnale di ingresso del convertitore tensione-frequenza 56. Il convertitore tensione-frequenza 56 ad una diminuzione della tensione di ingresso produce una diminuzione della frequenza in uscita. Questa diminuzione di frequenza in uscita viene moltiplicata dal moltiplicatore 58 che apporta una diminuzione proporzionale della frequenza dell'oscillatore 16 quindi della frequenza principale f . Questa diminuzione di f porterà ad un aumento di λ che tenderà ad eliminare l'errore. Il circuito sample-hold 52 serve a mantenere costante l'ultimo valore di segnale all'ingresso del convertitore tensione/frequenza 56 durante il movimento del corpo mobile 12 ed il circuito rilevatore di movimento 54 serve ad abilitare il circuito di sample-hold quando il corpo 12 è fermo e non vi è dinamica sui segnali di uscita A e B.

RIVENDICAZIONI

1. Procedimento per la misura della distanza di un corpo mobile (12) da una parte fissa (10) caratterizzato dal fatto che comprende le fasi di:

- generare un primo segnale alternato ($r_{(t)}$) con una frequenza compresa nel campo delle onde radio o delle onde elastiche,

- emettere il primo segnale dalla parte fissa verso il corpo mobile (12),

- ricevere il primo segnale ($r_{(t)}$) sul corpo mobile (12) e generare sul corpo mobile (12) un secondo segnale ($s_{(t)}$) con una frequenza (nf) pari alla frequenza del primo segnale ($r_{(t)}$) moltiplicata per un fattore costante (n), il secondo segnale ($s_{(t)}$) avendo una fase iniziale (ϕ_1) pari alla fase ($2\pi ft_1 + \phi_0$) nell'istante (t_1) in cui esso viene ricevuta dal corpo mobile (12),

- generare sulla parte fissa (10) un terzo segnale ($u_{(t)}$) con una frequenza (nf) uguale alla frequenza del secondo segnale ($s_{(t)}$) ed una fase iniziale (ϕ_0) uguale alla fase iniziale del primo segnale ($r_{(t)}$), ed

- determinare la variazione di distanza del corpo mobile (12) in un intervallo di tempo prestabilito funzione della variazione dell'ampiezza di un segnale alternato ottenuto dalla somma del

secondo e del terzo segnale ($s_{(t)}$, $u_{(t)}$) dello stesso intervallo di tempo.

2. Procedimento secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che comprende la fase di ricevere il segnale ($s_{(t)}$) e trasmesso dal corpo mobile (12) con due ricevitori ($24'$, $24''$) distanziati fra loro di una distanza (δd) e determinare la direzione di movimento del corpo mobile (12) da un confronto dei segnali ($s'_{(t)}$, $s''_{(t)}$).

3. Procedimento secondo la rivendicazione 2, caratterizzato dal fatto che comprende una fase di compensazione degli effetti dovuti ad una variazione della permeabilità del mezzo di propagazione del segnale, nella quale con il corpo mobile (12) in posizione stazionaria viene variata la frequenza (f) del primo segnale ($r_{(t)}$) in funzione della differenza rispetto ad un valore di riempimento prestabilito dello sfasamento fra detti segnali ($s'_{(t)}$, $s''_{(t)}$) ricevuti da detti ricevitori ($24'$, $24''$) fra loro distanziati.

4. Procedimento secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 1 a 3, caratterizzato dal fatto che la frequenza del suddetto primo segnale ($r_{(t)}$) è compresa fra 300 KHz e 300 GHz.

5. Procedimento secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 1 a 3, caratterizzato dal fatto che la frequenza del suddetto primo segnale ($r_{(t)}$) è compresa fra 40 KHz e 10 MHz.

6. Sistema per la misura della distanza di un corpo mobile (12) da una parte fissa (10), caratterizzato dal fatto che comprende:

- un generatore (16) di un segnale con una frequenza compresa nel campo delle onde radio o delle onde elastiche,

- un trasmettitore (14) per emettere un primo segnale ($r_{(t)}$) verso un corpo mobile (12),

- mezzi disposti sul corpo mobile (12) atti a moltiplicare la frequenza del segnale ricevuto ed a emettere un secondo segnale ($s_{(t)}$) verso la parte fissa (10),

- mezzi ricevitori (24, 24', 24'') per ricevere il secondo segnale ($s_{(t)}$),

- mezzi atti a fornire un segnale elettrico con un'ampiezza correlata alla differenza correlata allo sfasamento fra il primo segnale ($r_{(t)}$) ed il secondo segnale ($s_{(t)}$).

Ing. Mauro MARCHETTI
N. 18442 ALBO 507
(in proprio e per gli altri)

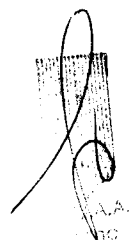
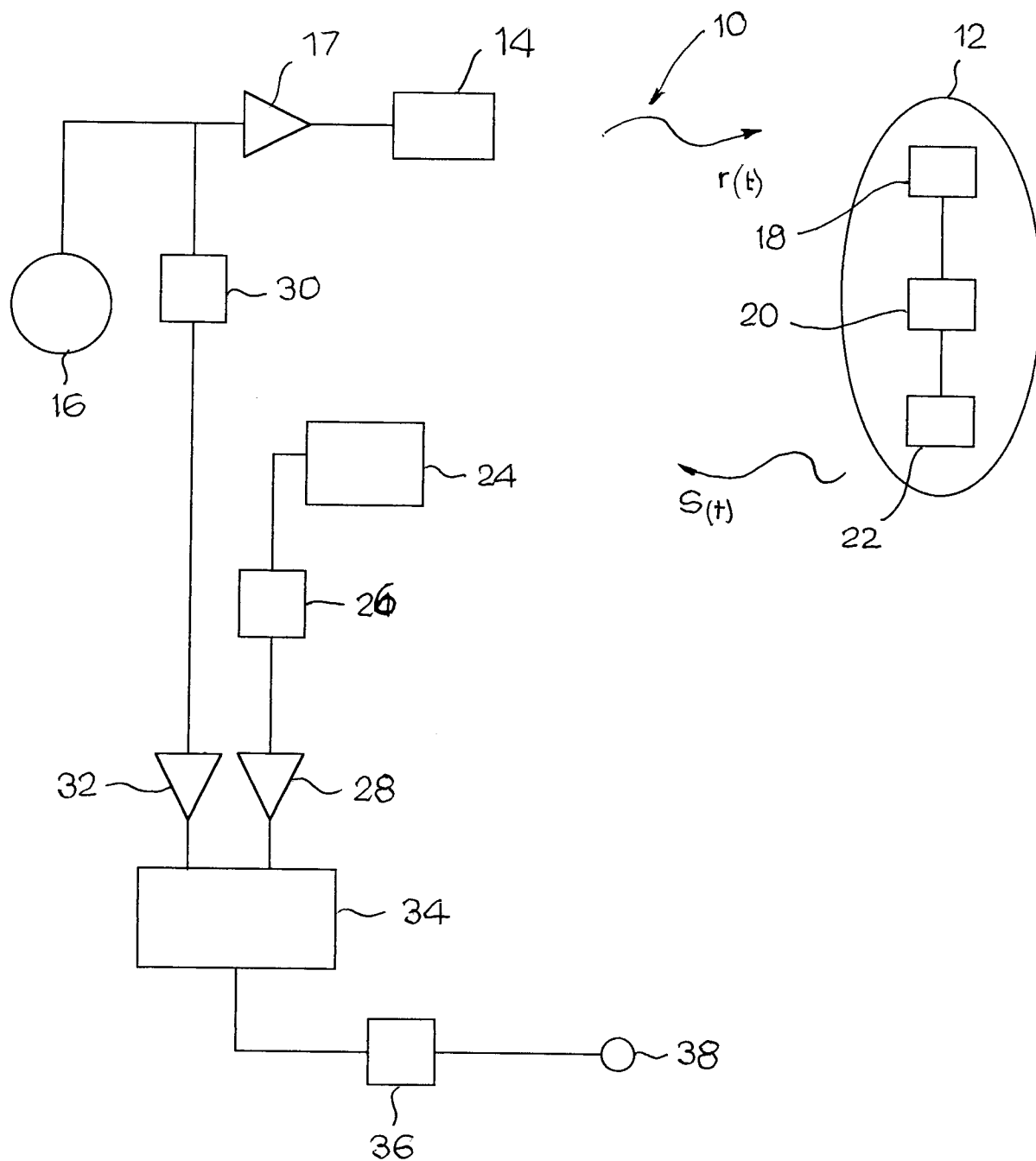
A handwritten signature in dark ink is written over a rectangular stamp. The stamp contains some illegible text and a small circular emblem.

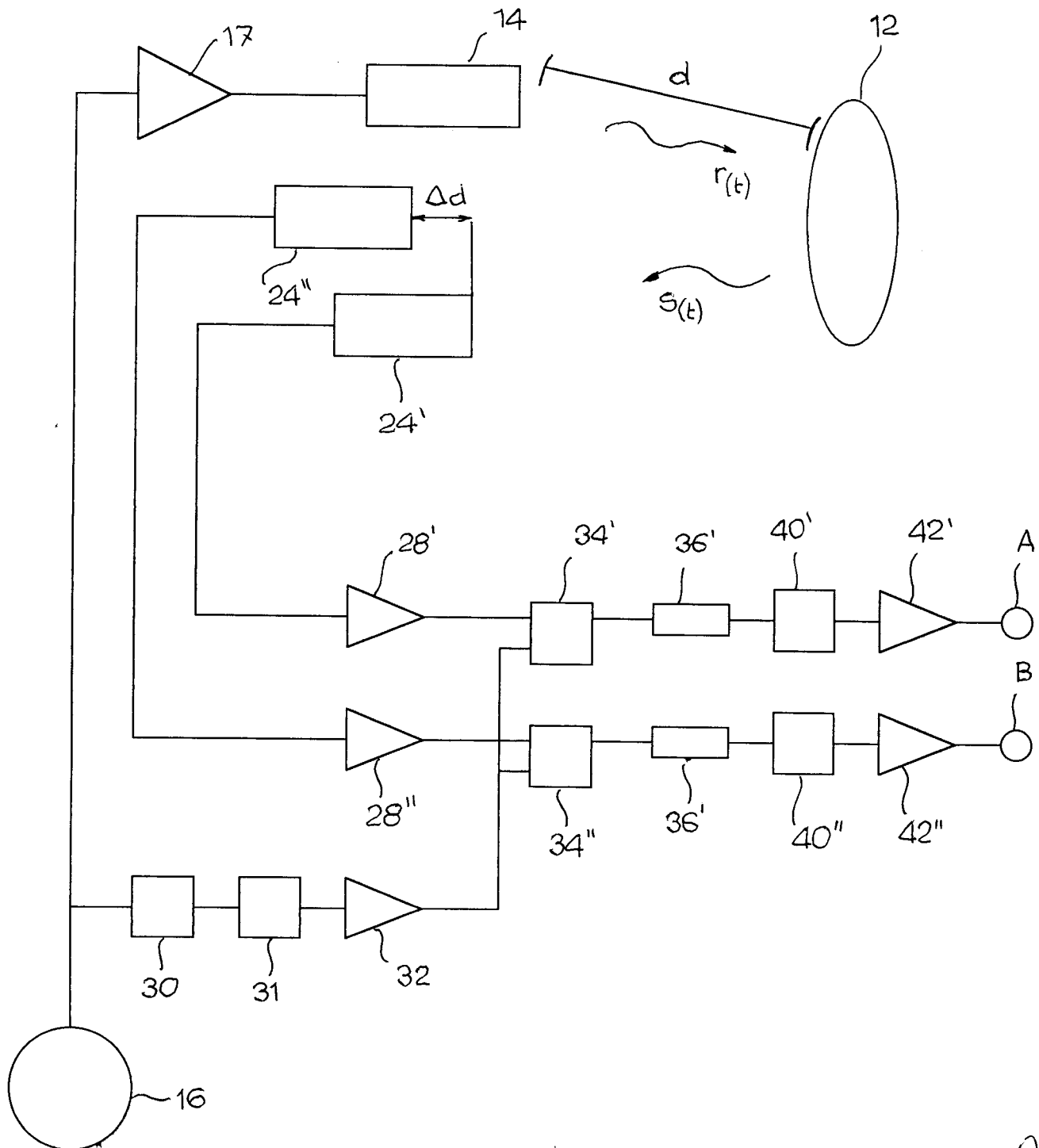
FIG. 1



C.C. A.
Forino

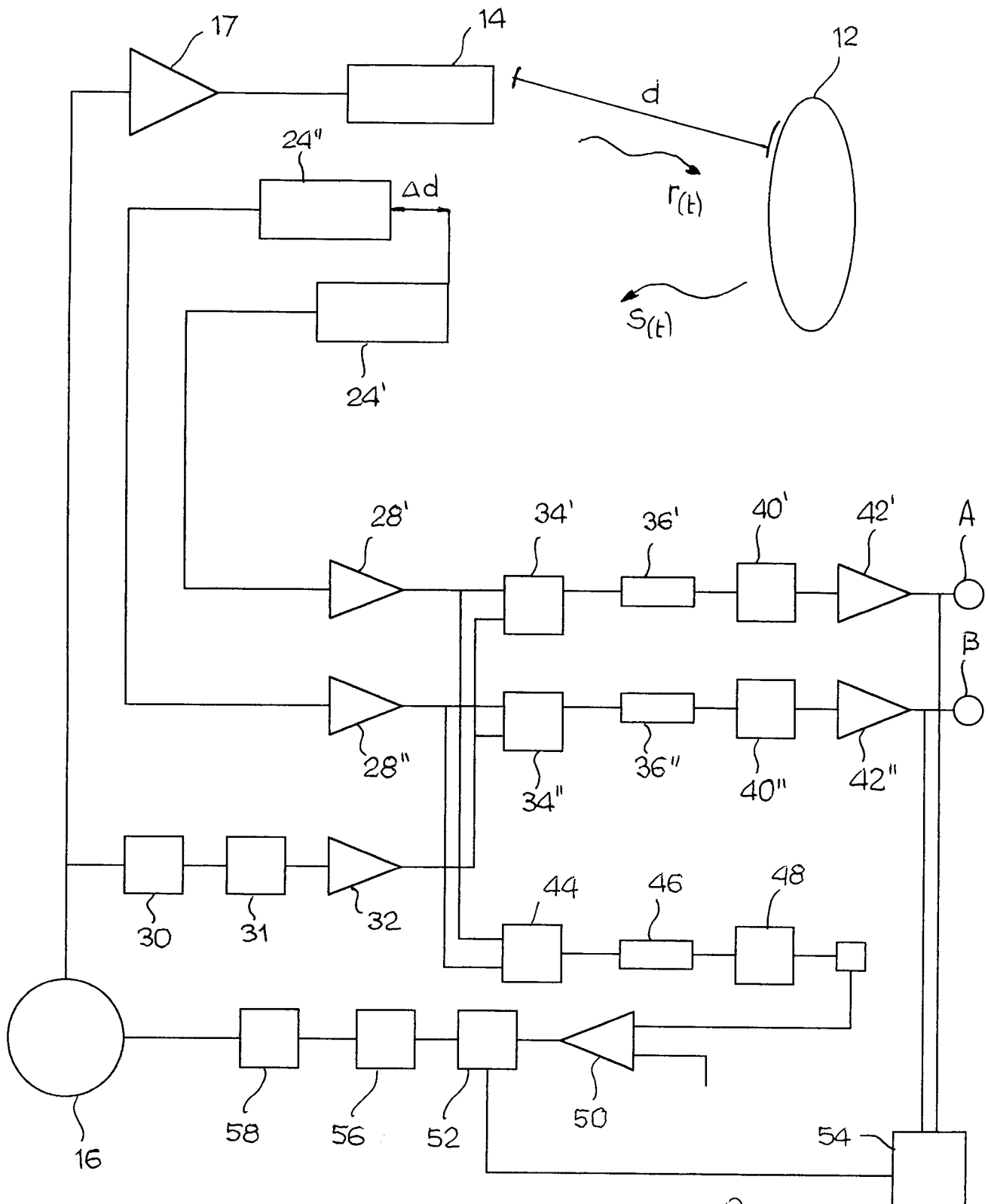
Ing. Mauro MARZOTTO
N. iscriz. ALBO 507
(In proprio e per gli altri)

FIG. 2



C.C.I.A.A.
Brescia

FIG. 3



Ing. Mauro MARCATELLI
R. iscriz. ALBO 507
(In proprio e per gli altri)

FIG. 4

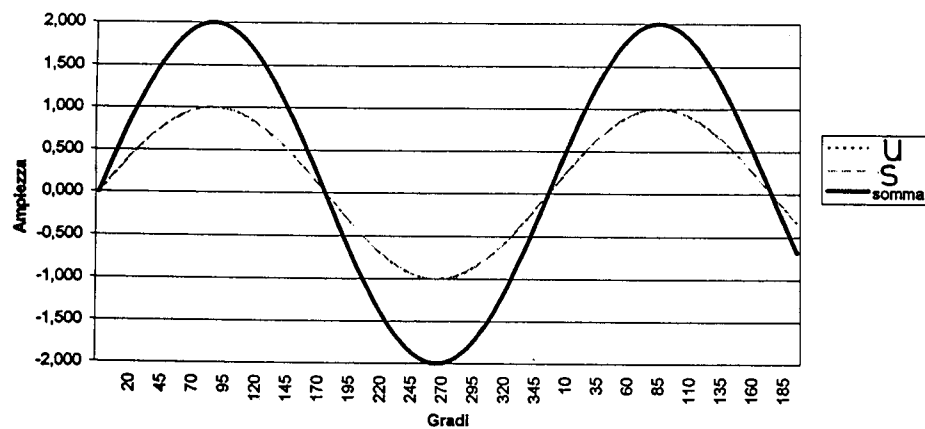


FIG. 6

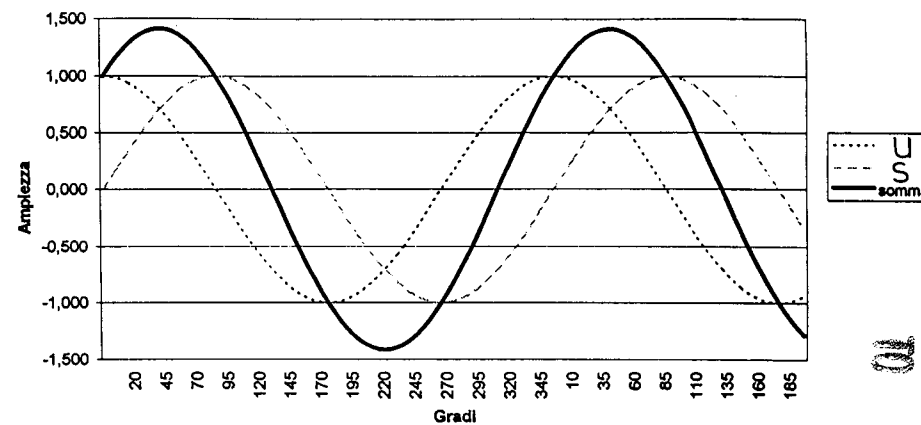


FIG. 5

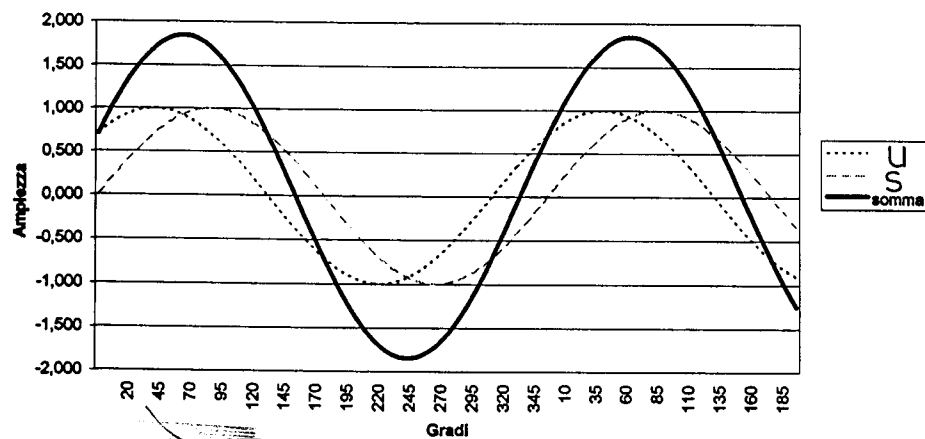
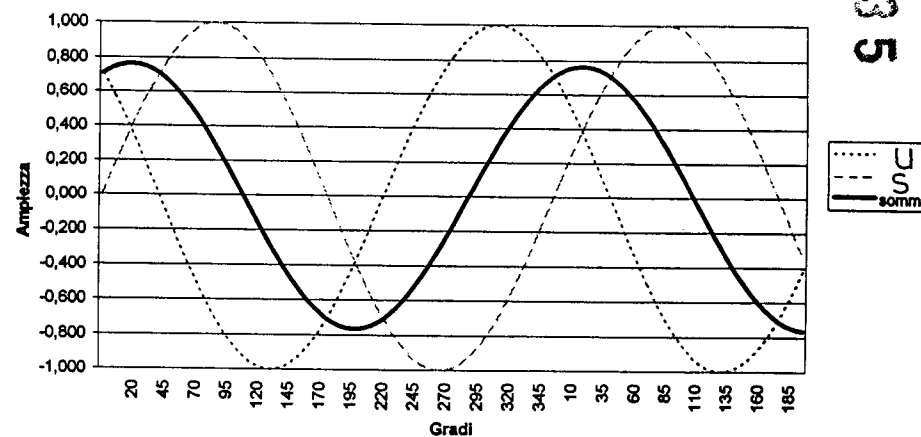


FIG. 7



2000A000035