



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

DOMANDA NUMERO	101998900723793
Data Deposito	11/12/1998
Data Pubblicazione	11/06/2000

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
H	03	K		

Titolo

CIRCUITO AD AGGANCIO DI FASE.

DESCRIZIONE dell'invenzione industriale dal titolo:

"Circuito ad aggancio di fase"

di: CSELT - Centro Studi e Laboratori Telecomun-
cazioni S.p.A., nazionalità italiana, Via Reiss Ro-
moli, 274 - Torino

Inventori designati: Emanuele BALISTRERI, Marco
BURZIO

Depositata il: 11 dicembre 1998

110 98A 001035

* * *

TESTO DELLA DESCRIZIONE

La presente invenzione si riferisce ai circui-
ti ad aggancio di fase, circuiti correntemente de-
nominati PLL (acronimo delle parole Phase Locked
Loop).

In modo più specifico, l'invenzione riguarda
un perfezionamento della soluzione descritta nella
domanda di brevetto italiano TO97A000970, assegnata
in titolarità alla stessa titolare della presente
domanda. Tale precedente domanda, presa come model-
lo per il preambolo della rivendicazione 1, è com-
presa nello stato della tecnica ai sensi dell'Art.
14, terzo comma l.i..

Il circuito ad aggancio di fase oggetto della
domanda citata comprende un comparatore suscettibi-
le di generare, a partire da un segnale di ingresso

MACBARDI & PERANI S.p.A.

e da un segnale di retroazione; un segnale di scostamento nonché un filtro di anello alimentato con tale segnale di scostamento. E' poi prevista la presenza di un oscillatore per generare, a partire da almeno un segnale di pilotaggio desunto dal segnale di scostamento filtrato dal filtro di anello, un segnale di uscita in condizione di aggancio con il segnale di ingresso. L'oscillatore è suscettibile di funzionare secondo una pluralità di caratteristiche che correlano il segnale di pilotaggio al segnale di uscita. Sono previsti mezzi di controllo interni al circuito per dare origine a detta pluralità di caratteristiche e comandare automaticamente e selettivamente il funzionamento dell'oscillatore secondo una caratteristica selettivamente determinata a partire dalla suddetta pluralità di caratteristiche.

La presente invenzione è nata nell'intento principale di migliorare le caratteristiche di flessibilità ed affidabilità di funzionamento di un tale circuito, in particolare per quanto riguarda la possibilità di far funzionare l'oscillatore, e dunque il circuito di aggancio di fase nel suo complesso, non solo ad una frequenza predeterminata, ma in un campo di frequenze sufficientemente ampio.

Per fissare le idee ci si può riferire, a titolo di esempio, ad un campo compreso fra 100 MHz e 2 GHz: è comunque evidente che il riferimento a tali valori numerici non è in alcun modo limitativo della portata dell'invenzione.

Nell'intento di soddisfare questa esigenza è però necessario tener conto di diversi fattori.

In primo luogo, l'oscillatore, di solito un VCO (voltage controlled oscillator), è un dispositivo con una grande dinamica di uscita (frequenza di oscillazione) associata ad una piccola dinamica di ingresso (tensione di controllo).

L'avere un grande campo di sintonizzabilità, mentre è un vantaggio per la flessibilità d'uso e per le maggiori possibilità d'impiego, risulta un fattore critico (destabilizzante) se si considera la piccola dinamica di ingresso.

La tensione di controllo, infatti, non può avere una escursione maggiore della tensione di alimentazione del dispositivo (ad es. 2V), il che, nel caso di un oscillatore in grado di coprire ad es. il campo di frequenze in precedenza indicato, comporta una sensibilità maggiore di 1 GHz/V. Una tale sensibilità rende estremamente critica la realizzazione del dispositivo poiché ogni disturbo,

seppur piccolo, provoca una notevole perturbazione nella frequenza di uscita. E' da notare inoltre che in condizioni normali di funzionamento il sistema si aggancia sulla frequenza di interesse ed utilizza la tensione di controllo per mantenere l'aggancio. L'entità delle relative correzioni è di solito senz'altro piccola rispetto alla tensione che fissa la frequenza nominale: si corre quindi il rischio di trovarsi con un dispositivo che sfrutta buona parte della sua dinamica di ingresso per la determinazione della frequenza nominale, utilizzando invece una parte minima di tale dinamica per la normale funzione di inseguimento.

L'esigenza di operare selettivamente a frequenze comprese in un'ampia gamma di possibile variazione rende poi il circuito intrinsecamente più sensibile alle variazioni delle caratteristiche di funzionamento dell'oscillatore, soprattutto per quanto riguarda le variazioni legate al processo di fabbricazione del circuito, realizzato tipicamente secondo la tecnologia dei circuiti integrati.

Nel contempo si vuole fare in modo che la sensibilità o guadagno dell'oscillatore rimanga contenuta così da poter corrispondentemente ridurre la frequenza di taglio della funzione di trasferimento

della fase del PLL (con conseguente contenimento degli effetti di rumore), non essendo possibile - per ben noti fenomeni legati al processo di integrazione del circuito - raggiungere valori molto elevati per la capacità corrispondente al comportamento del filtro di anello.

Infine, nel cercare di contemperare le varie esigenze sopra esposte incrementando il numero delle possibili caratteristiche di funzionamento dell'oscillatore è necessario tenere conto del fatto che:

- il processo di convergenza dell'oscillatore (e dunque del circuito ad aggancio di fase) verso il punto di funzionamento ottimale deve essere sufficientemente rapido e, nel contempo,

- il circuito deve presentare una certa refrattarietà nei confronti dei fenomeni suscettibili di indurre lo spostamento del circuito rispetto al punto di funzionamento raggiunto con il processo di convergenza iniziale.

Secondo la presente invenzione, tale scopo viene raggiunto grazie ad un circuito avente le caratteristiche richiamate nelle rivendicazioni che seguono.

Naturalmente, anche se la parte introduttiva

della presente descrizione e la successiva descrizione particolareggiata di un esempio di attuazione dell'invenzione si riferiscono a un PLL destinato ad essere realizzato sotto forma di circuito integrato, la portata dell'invenzione non deve essere considerata in alcun modo limitata a tale specifico contesto. In pratica, l'invenzione trova applicazione in tutte le situazioni in cui si determinano, singolarmente o in combinazione, i problemi enunciati in precedenza. Ciò vale in particolare per quanto riguarda la realizzazione dell'oscillatore.

L'invenzione verrà ora descritta, a puro titolo di esempio non limitativo, con riferimento ai disegni annessi, nei quali:

- la figura 1 illustra, sotto forma di un generale schema a blocchi, la struttura di un circuito realizzato secondo l'invenzione,

- la figura 2 illustra una possibile struttura di un primo elemento del circuito della figura 1,

- le figure 3 e 4 illustrano, a successivi livelli di approfondimento, le caratteristiche di alcuni degli elementi illustrati nella figura 1,

- la figura 5 è un diagramma che rappresenta possibili caratteristiche di funzionamento dell'elemento illustrato nella figura 2, e

- la figura 6, comprendente quattro cronogrammi sovrapposti, indicati con 6a-6d, illustra in dettaglio il funzionamento delle parti di circuito a cui si riferiscono le figure 3 e 4.

Nello schema a blocchi della figura 1, il riferimento 1 indica nel complesso un circuito PLL che, secondo una configurazione di per sé nota, comprende i seguenti elementi o moduli:

- un comparatore di fase/frequenza 2 avente associato, come circuito di uscita, un circuito 3 del tipo correntemente denominato "pompa di corrente",

- un filtro di anello 4 che riceve il segnale di uscita della pompa di corrente 3,

- un oscillatore 5, configurato come VCO (oscillatore controllato in tensione) e pilotato dal segnale di uscita del filtro di anello 4,

- un divisore di frequenza 7 eventualmente inserito nell'anello di retroazione del circuito per la funzione di sintesi (se richiesta), e

- un modulo generale di controllo 8 destinato a permettere la riconfigurazione del circuito secondo le modalità meglio illustrate nel seguito.

Quanto al divisore 7, va ancora ricordato il fatto che lo stesso può operare sia con un fattore

di divisione superiore all'unità, sia - in alcune applicazioni - con un fattore di divisione inferiore all'unità, operando quindi in pratica come un moltiplicatore.

I riferimenti 20, 21 e 22 indicano nel complesso le linee attraverso le quali il modulo di controllo 8 interagisce, secondo le modalità meglio descritte nel seguito, con l'oscillatore 5, il filtro 4 ed il circuito 3.

Il segnale nei confronti del quale deve essere svolta la funzione di aggancio di fase e/o aggancio e moltiplicazione di frequenza secondo l'esempio di realizzazione descritto è stato denominato CLKIN.

Nella descrizione che segue si è supposto che il segnale CLKIN sia essenzialmente un segnale di orologio con una frequenza data. La soluzione secondo l'invenzione si presta però ad essere applicato anche in situazioni in cui il segnale di ingresso al blocco 2 è costituito da un segnale dati nei confronti del quale si desidera svolgere una funzione di recupero del segnale di orologio ("clock recovery"). In questo caso la "frequenza data" di cui si parla nelle rivendicazioni annesse è evidentemente la frequenza di cifra del suddetto segnale dati. In tal caso sulla linea 11 sarà co-

munque presente un segnale di orologio quale CLKIN.

Il segnale CLKIN viene portato su una linea 10 all'ingresso del comparatore 2 e, su una linea 11, ad uno degli ingressi del modulo di controllo 8. Quest'ultimo riceve anche, tramite la linea 21, un segnale corrispondente all'uscita del comparatore 2, in particolare il segnale di uscita dal filtro di anello 4. Questa scelta non deve comunque ritenersi vincolante: una funzione sostanzialmente simile potrebbe essere pilotata, ad esempio, in funzione dell'uscita della pompa di corrente 3. In ogni caso, il pilotaggio in funzione dell'uscita del filtro di anello 4 si dimostra vantaggioso perché trae beneficio dall'azione filtrante attuata dal filtro 4 stesso.

Il segnale di uscita dell'oscillatore 5, denominato CLKOUT, costituisce il segnale di uscita del circuito, presente su una linea 14.

Anche se questa soluzione non è stata qui rappresentata per semplicità, lo stesso segnale può essere anche inviato ad un divisore che deriva dallo stesso un segnale di uscita diviso in frequenza.

Un segnale di retroazione, denominato FBCLK, presente su una linea 17, viene rinviato verso il comparatore 2 attraverso il divisore 7 e una linea

19.

Così come comprensibile per il tecnico esperto del settore, l'accessibilità della linea 17 dall'esterno del circuito 1 è destinata a consentire una maggiore flessibilità nella realizzazione della chiusura dell'anello di retroazione.

L'azione di retroazione verso il comparatore 2 può quindi essere realizzata tanto a partire dal segnale di uscita CLKOUT presente sulla linea 14 quanto a partire da un qualsiasi altro elemento disposto a valle della linea 14, ad esempio a partire dal segnale di uscita diviso in frequenza.

Nel seguito della presente descrizione, si potrà comunque immaginare che la linea di retroazione 17 sia semplicemente chiusa sulla linea di uscita 14 così come schematicamente indicato nella figura 1 con linea a tratti.

Una caratteristica preferenziale del circuito 1 (non riprodotta per semplicità nello schema generale della figura 1, ma comunque desumibile, ad esempio, dalle figure 2 e 3, relative ai singoli elementi) è data dal ricorso, almeno per la pompa di corrente 3, il filtro di anello 4 e l'oscillatore 5, ad una struttura differenziale. Con struttura differenziale (o bilanciata) si intende qui indica-

[illegible]

۱۰۸

[illegible]

più a monte.

Il riferimento numerico 26 indica un circuito tampone (buffer) di uscita che interviene sui segnali di uscita dell'elemento 23 più a valle così da renderlo compatibile per l'invio sulla linea 14.

Il riferimento 27 indica un circuito di controllo che riceve in ingresso (di preferenza in configurazione complementare, su due linee indicate rispettivamente con 41 e 42) il segnale di uscita del filtro di anello 4. Il circuito 27 riceve anche, quali segnali di controllo della configurazione, i segnali provenienti sulla linea 20.

Lo schema di oscillatore illustrato nella figura 2 prevede che il controllo di frequenza venga effettuato variando l'impedenza di uscita del singolo stadio (o elemento) 23, mirando altresì a conseguire un'escursione di tensione costante all'uscita del singolo stadio.

Il modulo di controllo 8 agisce sul modulo 27 in modo che il VCO operi secondo una fra più caratteristiche frequenza/tensione così come schematicamente illustrato nel diagramma della figura 5.

Tale figura illustra i possibili andamenti della caratteristica frequenza/tensione dell'oscillatore 5.

In particolare, in una forma di attuazione sperimentata in modo del tutto soddisfacente erano presenti 256 caratteristiche (ossia 2^n con $n=8$, ma il numero delle caratteristiche può essere idealmente qualsiasi, dunque anche diverso da una potenza di due). Ciascuna caratteristica corrisponde ad una diversa configurazione di pilotaggio dell'oscillatore 5 da parte del circuito 27, ossia ad un certo numero di comportamenti differenziati dell'andamento della frequenza di uscita in funzione dei segnali di comando ricevuti a partire dal modulo 8. La disponibilità di una fascia di caratteristiche così nutrita consente di coprire una gamma molto ampia di possibile variazione della frequenza di funzionamento dell'oscillatore mantenendo basso il guadagno dell'oscillatore. Quest'ultimo parametro determina infatti l'escursione in frequenza della singola caratteristica. La copertura di un'ampia gamma di frequenza di funzionamento viene invece conseguita proprio grazie all'elevato numero di caratteristiche disponibili.

Per chiarezza, va detto che nella figura 5 è stata rappresentata solo una parte delle suddette caratteristiche: la densità della relativa tessitura è infatti così elevata da impedirne la completa

riproduzione nella scala della figura 5.

L'andamento delle caratteristiche rappresentate non è costante ma può essere influenzato da numerosi fattori quali, ad esempio, la temperatura ambientale, possibili variazioni della tensione di alimentazione ovvero diversi risultati del processo tecnologico di fabbricazione del circuito quale circuito integrato. Ad esempio gli esperti del settore distinguono frequentemente fra parametri di processo "veloci" e parametri di processo "lenti" in quanto la variabilità dei risultati del processo tecnologico si traduce in pratica in una maggiore o minore velocità di funzionamento del componente.

I suddetti fattori di variabilità interagiscono con l'esigenza di fare in modo che il circuito secondo l'invenzione possa funzionare nell'ambito di un'ampia gamma di possibile variazione (si veda, ad esempio, il campo di valori numerici citato - a puro titolo di esempio - nella parte introduttiva della presente descrizione).

La previsione di un oscillatore 5 suscettibile di funzionare secondo una caratteristica frequenza/tensione identificata selettivamente in una fascia molto fitta di caratteristiche disponibili (in numero di 256 nell'esempio di attuazione qui illu-

strato) consente di ottimizzare il funzionamento del circuito adattando il comportamento dell'oscillatore 5 alle specifiche condizioni di funzionamento. In particolare, il fatto che le caratteristiche della fascia illustrata nella figura 5 presentino nel loro tratto intermedio un coefficiente angolare crescente mano a mano che si sale nella fascia consente di attuare una funzione di adattamento il cui effetto pratico è quello di mantenere limitata e sostanzialmente costante la sensibilità dell'oscillatore 5 (in termini di rapporto fra guadagno e frequenza nominale di funzionamento) al variare dei parametri, in particolare con un'azione di regolazione che ha le caratteristiche di una funzione di adattamento automatico.

La precedente domanda TO97A000970, già citata nella parte introduttiva della descrizione, descrive la possibile realizzazione di una funzione di inseguimento automatico della caratteristica ottimale seguita da una funzione di permanenza su tale caratteristica configurata in modo tale da impedire o quanto meno rendere molto improbabili (se non a fronte di un cambiamento radicale delle condizioni di funzionamento del dispositivo) ulteriori cambi di caratteristica. L'esempio di attuazione descrit-

to nella domanda precedente prevede che l'inseguimento della caratteristica ottimale venga attuato partendo da un punto iniziale (di solito corrispondente all'attivazione del circuito) localizzato al disotto del diagramma delle caratteristiche (al riguardo si può far riferimento al diagramma della figura 5 di questa descrizione) per poi procedere al raggiungimento del punto di lavoro ottimale attraverso successivi passi o salti fra caratteristiche adiacenti.

Questa soluzione risulta senz'altro soddisfacente fino a quando il numero delle caratteristiche potenzialmente destinate ad essere esplorate è contenuto (ad esempio in numero di otto). Quando il numero delle caratteristiche aumenta (ad esempio raggiungendo il valore di 256, come nell'esempio qui illustrato) la ricerca del punto di lavoro ottimale attraverso successivi salti fra caratteristiche adiacenti può risultare penalizzante in termini di rapidità di raggiungimento delle condizioni ottimali di funzionamento del dispositivo.

Per questo motivo, nella soluzione secondo l'invenzione è previsto che il raggiungimento della condizione ottimale di funzionamento possa avvenire in due stadi o fasi successivi.

La prima fase può essere vista essenzialmente come un'identificazione grossolana (coarse) del punto di lavoro, attuata facendo convergere il dispositivo verso una delle due caratteristiche più vicine rispetto al punto di lavoro ottimale. Si apprezzerà peraltro che la connotazione di "grossolana" attribuita a questa fase non è del tutto propria in quanto tale fase è suscettibile di concludersi con il raggiungimento rapido della condizione di funzionamento ottimale. Anche qualora ciò non avvenga, il carattere non-ottimo della condizione di convergenza conseguita è comunque marginale, dal momento che il conseguimento della condizione ottimale richiede in pratica solo lo svolgimento di un passo corrispondente al passaggio ad una caratteristica adiacente, molto vicina (proprio per la tessitura molto densa della fascia delle caratteristiche di funzionamento ammissibili: si veda in proposito la figura 5).

Passando ad esaminare la struttura del modulo 8 così come rappresentata in figura 3, i riferimenti 30 e 40 rappresentano due moduli di controllo che, cooperando con un ulteriore modulo di prepolarizzazione 50, consentono di realizzare l'adattamento delle caratteristiche di funzionamento del

circuito attuando in successione le due fasi di regolazione grossolana (modulo 30) e fine (modulo 40) descritte in precedenza.

Il modulo 30 è essenzialmente configurato come un contatore che riceve in ingresso il segnale CLKIN (dalla linea 11) nonché il segnale di uscita dell'oscillatore 5 o del divisore 7 - se presente (linea 190 della figura 1). Il modulo 30 si trova quindi ad operare sulla frequenza data dal segnale di ingresso CLKIN e su una seconda frequenza - comunque correlata alla frequenza di uscita dell'oscillatore 5 - in quanto costituita dalla frequenza di uscita dell'oscillatore 5 in forma diretta ovvero sotto forma di un sottomultiplo/multiplo di divisione (qualora sia presente il divisore 7). Il contatore 30 presenta, oltre ad un ingresso di ripristino (RESET, vedere il cronogramma della figura 6a), un'ulteriore linea di ingresso 31 sul quale è presente, proveniente dal modulo 50, il segnale PREPOL il cui andamento è rappresentato nel cronogramma d della figura 6 e che costituisce in sostanza un segnale di abilitazione per il modulo 30.

Il contatore 30 presenta poi due linee di uscita, indicate con 301 e 302, che trasferiscono

verso il modulo 50 due segnali denominati rispettivamente FHIGH e STROBECOARSE. Il primo di questi identifica, come meglio si vedrà nel seguito, il verso di movimento nella esplorazione per bande della fascia di caratteristiche della figura 5. Il secondo segnale è essenzialmente un segnale di validazione del primo.

Il modulo 40 (in una certa misura assimilabile nella sua funzione al complesso dei moduli denominati 80 e 81 nella descrizione della domanda TO97A000970) riceve in ingresso, su due linee 210 e 211 (corrispondenti alla linea 21 della figura 1, rappresentata nella figura 3 con la sua struttura bilanciata) il segnale di uscita del filtro 4. Il modulo 40 riceve inoltre in ingresso, oltre al segnale CLKIN disponibile sulla linea 11 ed al segnale di ripristino RESET, il segnale PREPOL presente sulla linea 31.

L'uscita del modulo 40 è costituita da altre due linee 401 e 402 dirette verso il modulo 50 su cui sono presenti rispettivi segnali denominati UP/DOWN e STROBEFINE. Il primo segnale fornisce l'indicazione relativa al possibile spostamento verso la caratteristica immediatamente superiore (UP) o immediatamente inferiore (DOWN). Anche in

questo caso il secondo segnale costituisce il segnale di validazione del primo.

Il modulo 50 riceve in ingresso i segnali provenienti sulle linee 301, 302, 401, 402, nonché il segnale di ripristino RESET generando in uscita:

- sulla linea 20, il segnale di comando diretto verso l'oscillatore 5,

- sulla linea 22, un segnale denominato LOCK-FILTER, diretto verso il circuito 3 e destinato ad inibire l'azione di controllo del filtro di anello 4 sulla frequenza dell'oscillatore 5 durante la fase di esplorazione per bande della fascia di caratteristiche della figura 5, e

- sulla linea 31, il segnale PREPOL.

Lo schema della figura 4 illustra in ancora maggior dettaglio la generazione dei segnali FHIGH e STROBECOARSE presenti sulla linea 301 e 302 nell'ambito del modulo 30. In particolare, nello schema della figura 4 il riferimento 310 indica un circuito che realizza una base tempi in funzione della frequenza del segnale CLKIN proveniente sulla linea 11.

Il riferimento 311 indica un contatore quale, ad esempio, un contatore binario in grado di contare fino ad un valore (ad esempio pari a 256) dipen-

dente dalla precisione con cui si vuole effettuare il confronto fra la frequenza in ingresso sulle linee 11 e 190. Il contatore 311 riceve in ingresso il segnale presente sulla linea 190 (in pratica la frequenza dell'oscillatore 5 eventualmente divisa per il fattore di divisione del divisore 7, se presente). Il collegamento fra la base tempi 310 e il contatore 311 è costituito da due linee 3101 e 3102. La linea 3101 porta un segnale di abilitazione periodica al conteggio la cui durata è determinata dalla precisione con cui si vuole effettuare il confronto fra le due frequenze in ingresso sul modulo 30. Ad esempio tale durata può essere scelta pari a 256 volte il periodo del segnale CLKIN presente sulla linea 11. La linea 3102 porta un segnale che ripristina periodicamente il contatore 311 al termine della finestra di abilitazione corrispondente al segnale presente sulla linea 3101.

Il segnale presente sulla linea 3102 corrisponde praticamente al segnale STROBECOARSE.

Il segnale FHIGH corrisponde invece all'uscita di overflow del contatore 311 fatta passare attraverso un circuito tampone 312 costituito di solito da un flip-flop.

Con riferimento alla figura 6, i quattro cro-

nogrammi indicati dalle lettere a, b, c e d corrispondono essenzialmente all'andamento dei segnali RESET, STROBECOARSE, LOCKFILTER e PREPOL illustrati rispettivamente:

- nella fase iniziale di identificazione "grossolana" della caratteristica di funzionamento (fase di prepolarizzazione, indicata con il riferimento A), e

- alla successiva fase di funzionamento normale, con abilitazione della funzione di regolazione fine, nei termini meglio descritti nel seguito (fase B).

In termini essenziali, all'avviamento del circuito il sistema mira a scegliere la caratteristica migliore (quella la cui posizione di riposo sia la più vicina alla frequenza nominale - quella determinata in pratica dalla frequenza del segnale CLKIN) tramite un meccanismo dicotomico.

In pratica, il relativo meccanismo di scelta della caratteristica migliore viene condotto esplorando la fascia delle caratteristiche rappresentate nella figura 5 per bande di ampiezza progressivamente sempre più ristretta. Ciò avviene in particolare in base ai seguenti criteri, descritti con riferimento alla possibile presenza di 256 caratteri-

stiche.

Di preferenza, all'avviamento della fase A, il modulo 50 interviene sul filtro 4 attraverso il segnale LOCKFILTER in modo da inibire la funzione di controllo della frequenza dell'oscillatore 5 da parte del filtro 4 stesso.

Il modulo 50 seleziona la caratteristica mediana nella fascia delle caratteristiche possibili: nel presente caso, la 128ma caratteristica.

Si procede quindi a confrontare la frequenza di riferimento CLKIN con quella presente sulla linea 190 e, a seconda dell'esito di tale confronto, dunque in funzione del segno della differenza fra le frequenze presenti sulle linee 11 e 190, si passa alla frequenza mediana di una delle due bande in cui la fascia delle caratteristiche di funzionamento rappresentata nella figura 5 risulta suddivisa dalla caratteristica al momento selezionata (la 128ma, nell'esempio considerato).

In pratica, se la frequenza dell'oscillatore 5 (eventualmente divisa dal divisore 7) risulta maggiore di quella di riferimento (differenza di segno positivo), allora si passa alla caratteristica mediana della banda inferiore, posizionandosi sulla (128-64)ma caratteristica.

Se, al contrario, la frequenza dell'oscillatore 5 è riscontrata essere minore di quella di riferimento (differenza di segno negativo), allora si passa alla caratteristica mediana della banda superiore, ossia alla $(128+64)$ ma caratteristica.

A questo punto l'operazione si ripete nell'ambito della banda (inferiore o superiore) scelta in precedenza. La rispettiva caratteristica mediana - la $(128+64)$ ma ovvero la $(128-64)$ ma - suddivide infatti la rispettiva banda in due sottobande di ampiezza pari all'unità di quella considerata nel passo di selezione precedente. La - nuova - frequenza dell'oscillatore 5 viene allora confrontata con quella di riferimento passando, a seconda dell'esito del confronto, alla caratteristica corrispondente alla precedente -32 oppure alla caratteristica precedente +32.

Il suddetto procedimento viene ripetuto per n passi (nel presente caso, otto) sino a quando il sistema si è assestato sulla caratteristica la cui frequenza di riposo è la più vicina alla frequenza di riferimento.

Si apprezzerà che il suddetto procedimento di ricerca della caratteristica di funzionamento presenta una rapida convergenza, dal momento che il

numero dei passi è legato al logaritmo in base 2 del numero delle caratteristiche.

Un esempio di pratica attuazione del procedimento descritto sulla base della struttura circuitale delle figure 3 e 4 può essere illustrato con riferimento ai cronogrammi della figura 6.

All'accensione o al ripristino del circuito (segnale di RESET applicato ai moduli 30, 40 e 50) i segnali LOCKFILTER e PREPOL (figure 6c e 6d) diventano alti.

Il comparatore di frequenza (blocchi 310 e 311) è attivo, e la caratteristica selezionata dal prepolarizzatore 50 è quella mediana (la 128ma, nell'esempio di attuazione illustrato). Il segnale di controllo proveniente dal filtro 4 viene reso nullo (segnale LOCKFILTER sulla linea 22) in modo tale da considerare il centro delle caratteristiche.

Il comparatore di frequenza inizia il confronto fra la frequenza esterna di riferimento CLKIN, presente sulla linea 11, e la frequenza dell'oscillatore 5 (eventualmente divisa del divisore 7), rilevata sulla linea 190.

In pratica, al termine dell'intervallo di abilitazione generato sulla linea 3101 del blocco 310,

si verifica se il contatore 311 ha raggiunto o meno la condizione di overflow, evento indicativo del fatto che la frequenza presente sulla linea 190 è superiore alla frequenza CLKIN presente sulle linee 11. Tale evento è memorizzato dal flip-flop 312 che genera il segnale FHIGH. Tale segnale è quindi alto se l'oscillatore ha la frequenza maggiore rispetto alla frequenza di riferimento CLKIN ovvero basso se l'oscillatore ha frequenza minore del riferimento. Questa informazione viene inviata al prepolarizzatore 50 tramite un impulso del segnale STROBECOARSE. Il modulo 50 prende atto dell'esito del confronto attuato nel modulo 30 ed avvia la successiva fase di confronto facendo sì che sulla linea 190 arrivi la - nuova - frequenza corrispondente alla successiva caratteristica da prendere in considerazione seguendo lo schema dicotomico o di bisezione visto in precedenza.

La suddetta operazione di confronto/modifica della caratteristica usata per il confronto viene condotta attuando gli n passi descritti in precedenza.

Raggiunta la convergenza sulla caratteristica la cui frequenza di riposo dista meno (in frequenza) dal riferimento, il prepolarizzatore 50 ricono-

sce il termine della fase di scelta grossolana della caratteristica (fase A della figura 6) segnalando al filtro 4, attraverso il segnale LOCKFILTER (figura 6c) sulla linea 22, che è ora possibile sbloccare la tensione di controllo lasciando il dispositivo libero di evolvere nella funzione di aggancio di fase così da conseguire la condizione di aggancio di fase al riferimento esterno.

Di preferenza il prepolarizzatore 50 comanda inoltre al comparatore di frequenza 30 (con il segnale PREPOL) di disattivarsi per minimizzare il consumo.

A questo punto, il modulo 30 diventa praticamente inattivo, mentre il modulo 50 funziona sotto il controllo del modulo 40, in particolare in funzione dei segnali UP/DOWN e STROBEFINE da questo emessi sulle linee 401 e 402.

In pratica, il modulo 50 opera, sotto il controllo del segnale STROBEFINE, in funzione del valore del segnale UP/DOWN: il verso di salita (UP) e di discesa (DOWN) è qui inteso come corrispondente all'ordine con cui si presentano le caratteristiche nel diagramma della figura 5. Il valore di salita (UP) determina nel modulo 50 un intervento tale da portare l'oscillatore 5 a operare su una caratteri-

stica più in alto rispetto a quella su cui lo stesso attualmente si trova. Il valore di discesa (DOWN) determina un intervento in verso opposto.

Il segnale UP/DOWN è prodotto dal modulo 40 che, da questo punto di vista, è sostanzialmente assimilabile ad un doppio comparatore con isteresi che, riscontrata l'esigenza di effettuare un cambio di caratteristica, emette, oltre al segnale UP/DOWN anche il relativo segnale di validazione STROBEFINE. Il modulo 50 opera in questa fase come una macchina a stati che interviene sull'oscillatore 5, modificando la caratteristica nel verso indicato del segnale UP/DOWN quando validato da STROBEFINE.

Ad esempio (per una più completa illustrazione di queste modalità di funzionamento, di per sé non significativa ai fini della comprensione della presente invenzione, si può far riferimento alla descrizione della domanda TO97A000970) si supponga che il punto di funzionamento raggiunto al termine della fase di convergenza grossolana sia tale da far sì che l'oscillatore 5 operi ad una frequenza inferiore rispetto a quella desiderata.

La generale funzione di retroazione del circuito porta allora ad un aumento della tensione all'ingresso dell'oscillatore 5. Il modulo 40 emette

il segnale STROBEFINE con il segnale UP/DOWN al valore alto ed il modulo 50 passa a selezionare la caratteristica immediatamente superiore. In tali condizioni la frequenza di funzionamento dell'oscillatore 5 si porta al valore corrispondente alla caratteristica superiore.

Il circuito comincia quindi ad inseguire la frequenza desiderata scendendo a ritroso lungo la nuova caratteristica raggiunta rientrando a questo punto all'interno della fascia del comparatore con isteresi (cioè con la tensione di controllo all'interno dei limiti prestabiliti) e stabilizzandosi alla frequenza di lavoro finale desiderata.

Lo stesso meccanismo di regolazione fine è in grado di intervenire durante il funzionamento per tenere conto di possibili variazioni delle condizioni operative. Ad esempio, supponendo di aver raggiunto in fase iniziale la caratteristica migliore, si può ipotizzare che a regime il dispositivo si scaldi e che il riscaldamento provochi uno slittamento verso il basso di tutte le caratteristiche di funzionamento dell'oscillatore. In questo caso il circuito si accorge di ciò (avendo in ingresso la tensione di controllo si accorge quando questa si avvicina al limite della dinamica) e co-

manda la commutazione (in alto, in questo caso) di una caratteristica. Dopo aver atteso che il circuito vada nuovamente a regime, si controlla se la commutazione è stata sufficiente per riportare il sistema in condizioni di corretto funzionamento, altrimenti ordina una nuova commutazione. Ciò avviene fino a che il punto di lavoro del dispositivo non sia ritornato molto vicino al centro della caratteristica.

Naturalmente, quando il cambiamento delle condizioni di funzionamento sia molto marcato, ad esempio perché dettato dall'esigenza di far funzionare il circuito su una nuova frequenza, appare preferibile resettare il circuito ed attivare nuovamente il processo di convergenza verso la condizione di funzionamento desiderata attraverso la fase di convergenza "grossolana" illustrata in precedenza.

Naturalmente, fermo restando il principio dell'invenzione, i particolari di realizzazione e le forme di attuazione potranno essere ampiamente variati rispetto a quanto descritto ed illustrato, senza per questo uscire dall'ambito della presente invenzione così come definita dalle rivendicazioni annesse.

RIVENDICAZIONI

1. Circuito ad aggancio di fase (1), comprendente:

- un comparatore (2) suscettibile di generare, a partire da un segnale di ingresso (CLKIN) di frequenza data e da un segnale di retroazione (FBCLK), un segnale di scostamento,

- un oscillatore (5) suscettibile di generare, a partire da almeno un segnale di pilotaggio desunto da detto segnale di scostamento, un segnale di uscita (CLKOUT) di rispettiva frequenza data in condizioni di aggancio con detto segnale di ingresso (CLKIN); detto oscillatore (5) essendo suscettibile di funzionare secondo una pluralità di caratteristiche comprese in una fascia che correlano detto segnale di pilotaggio a detto segnale di uscita, e

- mezzi di controllo (8) per dare origine a detta fascia di caratteristiche e comandare automaticamente il funzionamento di detto oscillatore (5) secondo una caratteristica selettivamente determinata a partire dalle caratteristiche di detta fascia,

caratterizzato dal fatto che detti mezzi di controllo (8) comprendono mezzi (30, 50) per ricer-

care per passi successivi detta caratteristica esplorando detta fascia per bande di ampiezza progressivamente ristretta.

2. Circuito secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che detti mezzi di ricerca (30, 50) sono sensibili al segno della differenza fra detta frequenza data (CLKIN) ed una seconda frequenza correlata a detta rispettiva frequenza data (CLKOUT) e dal fatto che detti passi di esplorazione successivi comprendono almeno un passo in cui la successiva banda di esplorazione viene selezionata da detti mezzi di ricerca in funzione del segno di detta differenza.

3. Circuito secondo la rivendicazione 1 o la rivendicazione 2, caratterizzato dal fatto che dette bande di ampiezza progressivamente ristretta sono rispettive sottobande delle precedenti.

4. Circuito secondo la rivendicazione 2 e la rivendicazione 3, caratterizzato dal fatto che detti mezzi di ricerca (30, 50) sono configurati per attuare detto almeno un passo di ricerca con detto oscillatore (5) che opera su una caratteristica di riferimento collocata in posizione genericamente intermedia nell'ambito delle caratteristiche esplorate così da definire rispettive successive bande

di esplorazione localizzate rispettivamente al di sopra ed al di sotto di detta caratteristica di riferimento.

5. Circuito secondo la rivendicazione 4, caratterizzato dal fatto che detti mezzi di ricerca (30, 50) sono configurati per definire, quale successiva banda di esplorazione, rispettivamente, la banda collocata superiormente a detta caratteristica di riferimento quando detta differenza ha segno negativo e la banda collocata inferiormente a detta caratteristica di riferimento quando detta differenza ha segno positivo.

6. Circuito secondo una qualsiasi delle precedenti rivendicazioni, caratterizzato dal fatto che detti mezzi di ricerca (30, 50) definiscono, in detto almeno un passo, la successiva banda di esplorazione come partizione della banda di esplorazione precedente secondo un generale procedimento dicotomico.

7. Circuito secondo la rivendicazione 6, caratterizzato dal fatto che detta partizione è scelta corrispondente alla metà, per cui detti mezzi di ricerca (30, 50) compiono successivi passi di ricerca in numero dipendente dal logaritmo in base 2 del numero di caratteristiche comprese in detta fa-

scia.

8. Circuito secondo una qualsiasi delle precedenti rivendicazioni, caratterizzato dal fatto che detti mezzi di ricerca (30, 50) comprendono mezzi comparatori di frequenza (30) per confrontare detta frequenza data e detta seconda frequenza; detti mezzi comparatori di frequenza comprendendo sostanzialmente due contatori (310, 311) pilotati rispettivamente dall'una e dall'altra delle frequenze confrontate.

9. Circuito secondo una qualsiasi delle precedenti rivendicazioni, caratterizzato dal fatto che detti mezzi di controllo (8) comprendono, in aggiunta a detti mezzi di ricerca (30, 50), ulteriori mezzi di ricerca fine (40, 50) della caratteristica di funzionamento di detto oscillatore (5); detti ulteriori mezzi di ricerca fine (40, 50) essendo attivabili successivamente a detta ricerca per passi condotta da detti mezzi di ricerca (30, 50) per comandare selettivamente il passaggio dell'oscillatore (5) da una delle caratteristiche di detta fascia ad almeno una caratteristica adiacente.

10. Circuito secondo una qualsiasi delle precedenti rivendicazioni, caratterizzato dal fatto che detti mezzi di ricerca (30, 50) comprendono mezzi

(50, 22) per inibire selettivamente l'azione di detto segnale di scostamento su detto oscillatore (5), per cui la suddetta ricerca per passi viene condotta con detta seconda frequenza mantenuta sostanzialmente esente dall'influenza di detto segnale di scostamento.

11. Circuito secondo la rivendicazione 10, caratterizzato dal fatto che comprende un filtro di anello (4) alimentato con detto segnale di scostamento e dal fatto che l'oscillatore (5) genera detto segnale di uscita (CLKOUT) a partire da almeno un segnale di pilotaggio desunto da detto segnale di scostamento filtrato da detto filtro di anello (4) e dal fatto che detti mezzi di ricerca (30, 50) agiscono su detto filtro di anello (4), inibendone il funzionamento, durante detta esplorazione per bande di detta fascia di caratteristiche.

12. Circuito secondo una qualsiasi delle precedenti rivendicazioni, caratterizzato dal fatto che detto oscillatore (5) è un oscillatore controllato in tensione (VCO) e dal fatto che detta pluralità di caratteristiche è costituita da caratteristiche che correlano la frequenza di detto segnale di uscita (CLKOUT) al valore di detto almeno un segnale di pilotaggio.

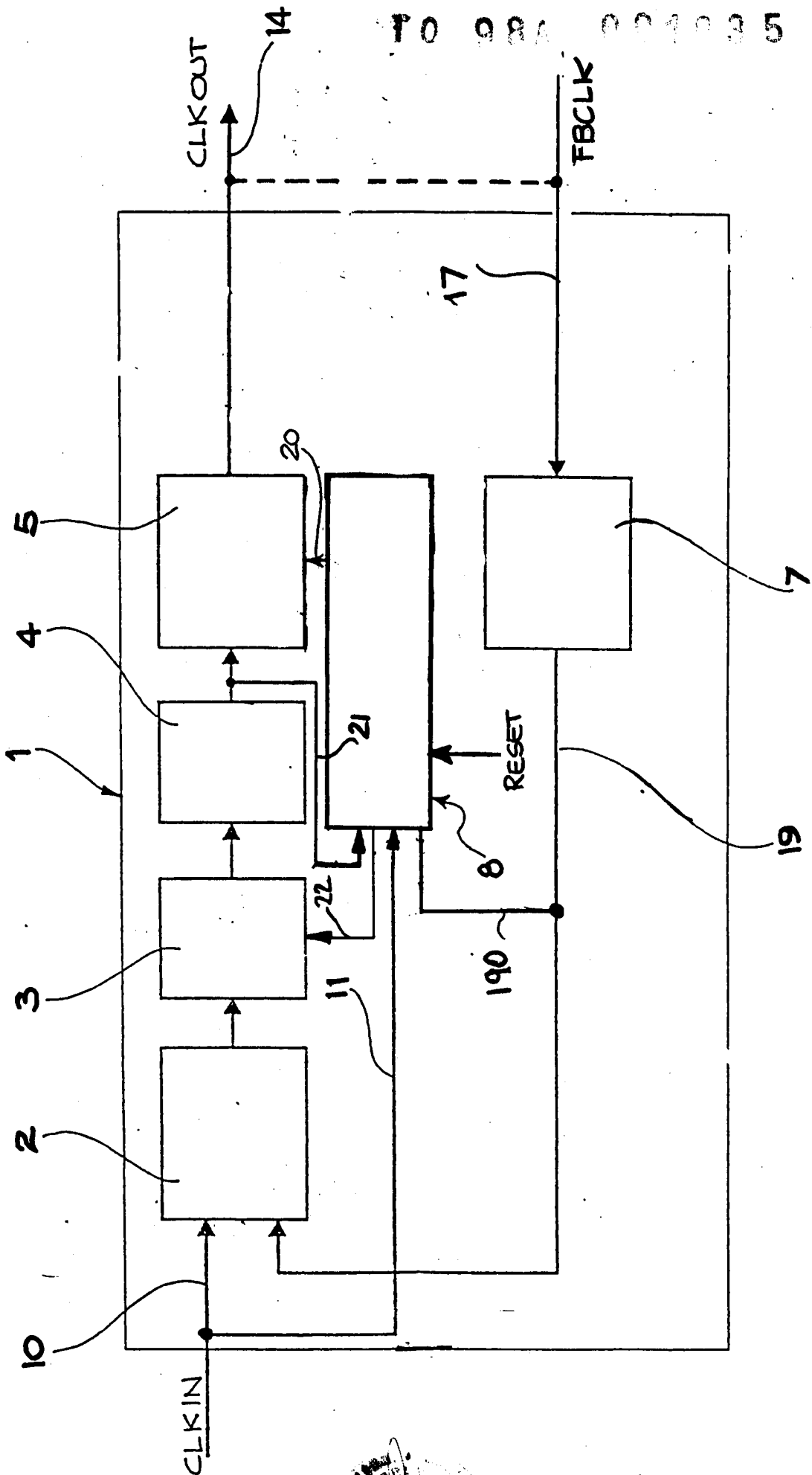
ACUBAICA & PERANI S.p.A.



PER INCARICO

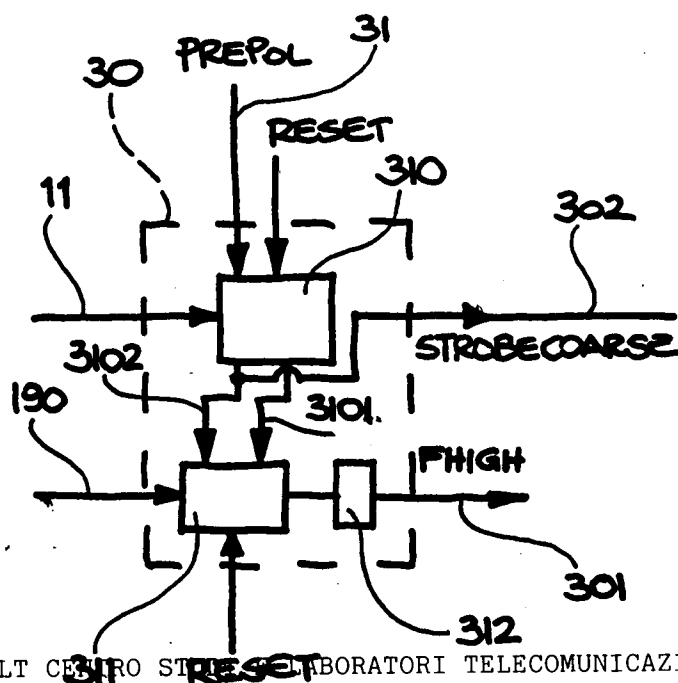
Ing. Angelo PERBIA
N. Iscritt. ALBO 488
(in proprio e per gli altri)

fig. 1



10 BIP

Ing. A. B. STINGO
N. 10
in proprio



per incarico di: CSELT CENTRO STUDI E LABORATORI TELECOMUNICAZIONI S.p.A.

fig. 5

T0 93A 004025

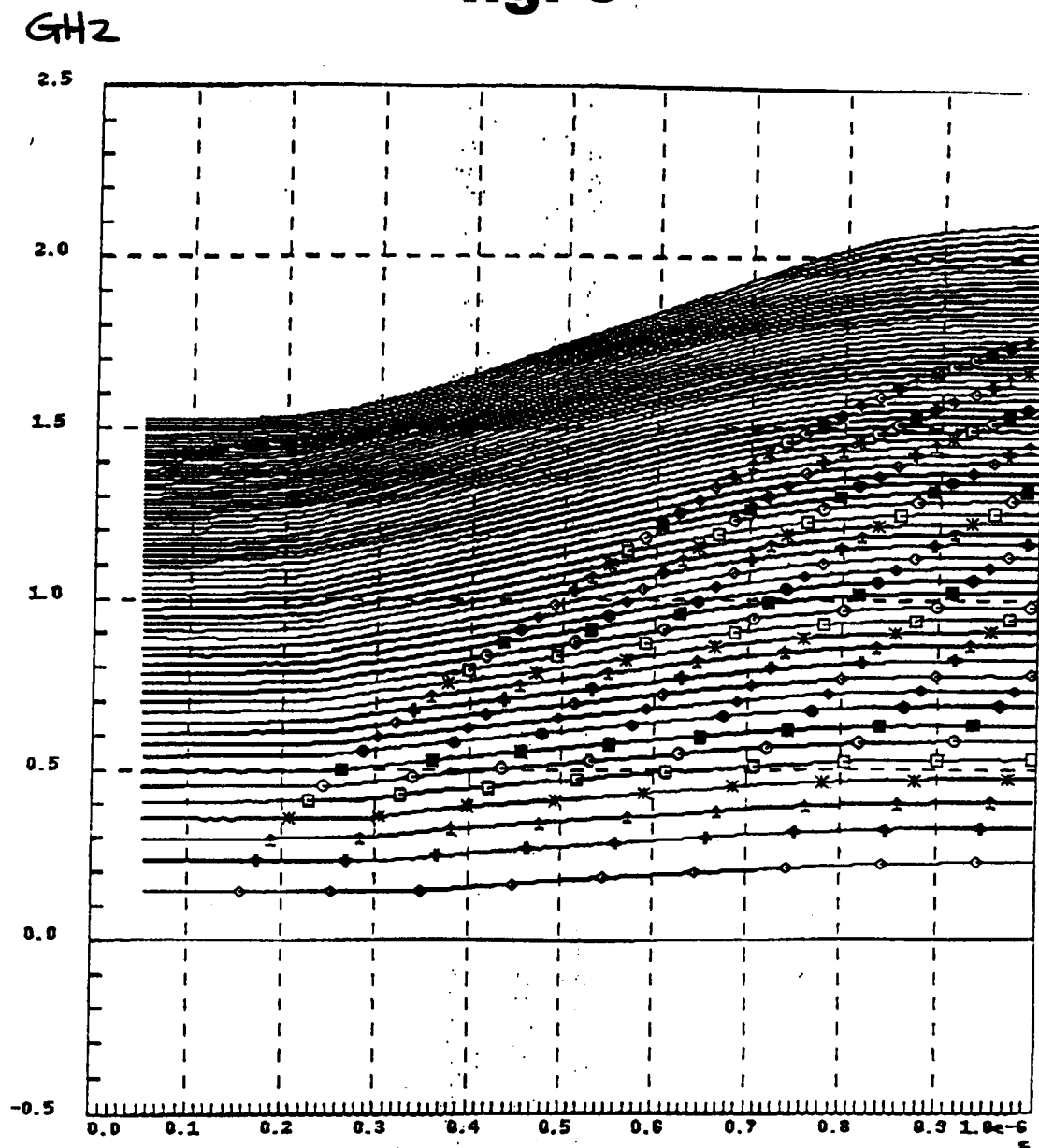
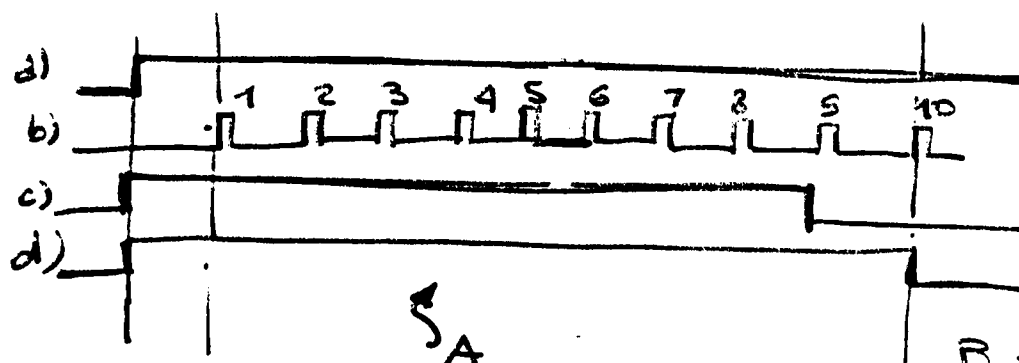


fig. 6



1000
10 PRE

Inq. A. C. GRINO
fin pie. A. (in gli altri)