



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

UIBM

DOMANDA NUMERO	101995900477893
Data Deposito	14/11/1995
Data Pubblicazione	14/05/1997

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
G	02	F		

Titolo

METODO E DISPOSITIVO PER RECUPERARE IN VIA OTTICA IL SINCRONISMO DI UN
SEGNALE OTTICO DIGITALE

Titolare: Pirelli Cavi S.p.A.

Titolo: Metodo e dispositivo per recuperare in via
ottica il sincronismo di un segnale ottico digitale

* * * * *

5

DESCRIZIONE

La presente invenzione si riferisce ad un metodo
ed un dispositivo per recuperare in via ottica il
sincronismo di un segnale ottico digitale mediante
costruzione di un segnale ottico di sincronismo
10 comprendente una sequenza di impulsi con la medesima
frequenza di ripetizione.

In un sistema di trasmissioni in forma digitale,
ad esempio binaria, la corretta lettura delle
informazioni in arrivo presuppone la conoscenza della
15 frequenza di ripetizione degli impulsi (0 od 1) che
costituiscono il segnale di linea; infatti, l'impulso 0 è
in realtà una assenza di impulso e può essere distinto
dallo spazio che separa due impulsi solo sapendo con
esattezza il momento in cui nel segnale di linea ci deve
20 essere un impulso 0 od 1. La conoscenza della frequenza
di ripetizione degli impulsi nel segnale di linea
permette di leggere il segnale di linea stesso solo in
corrispondenza degli impulsi, evitando così che vi possa
essere confusione tra l'assenza di impulso tra due
25 impulsi successivi ed un impulso 0. Si noti in generale

MI 95 A 2332

10 4 NOV. 1985

che in un segnale digitale un errore di lettura della sequenza di impulsi può determinare un errore di valutazione dell'informazione di entità imprevedibile: ad esempio, se la sequenza binaria 010011 venisse letta come
5 000011 (quindi con un errore di lettura sul secondo impulso), si otterrebbe il valore decimale errato 3 invece che 17. La situazione è evidentemente del tutto analoga nel caso di codifica non binaria del segnale digitale; in tale caso invece di segnali 0 e 1 vi sono
10 segnali 0 e non-0 (1, 2, 3, eccetera, a seconda della codifica) Nel seguito, per semplicità, si farà talvolta riferimento solo a segnali digitali binari, intendendo comunque riferire quanto detto a segnali digitali aventi una qualsiasi codifica, binaria o non binaria.

15 Le operazioni che permettono di ricostruire con esattezza la frequenza di ripetizione degli impulsi del segnale di linea sono normalmente indicate con il termine di recupero del sincronismo [clock recovery].

Il recupero del sincronismo di un segnale di
20 linea digitale viene normalmente effettuato in via elettronica. Tuttavia, nelle telecomunicazioni in fibra ottica, l'elaborazione elettronica per il recupero del sincronismo determina un limite alla velocità di trasmissione [bit rate]. Infatti, mentre la trasmissione
25 del segnale in forma ottica con le attuali tecnologie è

in grado di raggiungere velocità pari a centinaia di Gbit/s e sono aspettabili ulteriori miglioramenti in futuro, il recupero del sincronismo per via elettronica (o più propriamente optoelettronica) limita la velocità
5 di trasmissione a valori massimi dell'ordine di 10-20 Gbit/s a causa della intrinseca maggiore lentezza delle elaborazioni in via elettronica.

Risulta quindi della massima importanza poter effettuare il recupero del sincronismo in via ottica,
10 così da poter evitare i colli di bottiglia dovuti all'elaborazione elettronica.

Sono stati proposti in letteratura vari sistemi per il recupero ottico del sincronismo, ma essi presentano inconvenienti che ne rendono difficile se non
15 del tutto impossibile l'applicazione pratica in sistemi reali.

Alcuni dei sistemi proposti (K. Smith and J.K. Lucek, "All-optical clock recovery using a mode-locked laser", El. Lett., 28, pagine 1814-1816, 1992; A.D.
20 Ellis, K. Smith and D.M. Patrick, "All optical clock recovery at bit rates up to 40 Gbit/s", El. Lett., 29, pagine 1323-1324, 1993; D.M. Patrick and R.J. Manning, "20 Gbit/s all-optical clock recovery using semiconductor nonlinearity", El. Lett., 30, pagine 151-152, 1994; WO
25 93/22855) necessitano di un segnale di linea in ingresso

di potenza molto elevata, superiore alla potenza normalmente disponibile nei sistemi di telecomunicazione; inoltre, l'efficacia del recupero di sincronismo risulta fortemente dipendente dalla potenza del segnale di linea.

5 Per questo motivo, l'impiego pratico di tali sistemi appare molto problematico.

Altri sistemi riportati in letteratura (P.E. Barnsley, H.J. Wickes, G.E. Wickens and D.M. Spirit, "All-optical clock recovery from 5 Gbit/s RZ data using a
10 self-pulsating 1.56 μm laser diode", IEEE Photon. Technol. Lett., 3, pagine 942-945, 1994; S. Kawanishi, H. Takara, M. Saruwatari and T. Kitoh, "Ultralight-speed phaselocked-loop-type clock recovery circuit using a travelling-wave laser diode amplifier as a 50 GHz phase
15 detector", E. Lett., 29, pagine 1714-1716, 1993; O. Kamatami, S. Kawanishi and M. Saruwatari, "Prescaled 6.3 Gbit/s TDM optical signal with 50 GHz PLL using four-wave mixing in a travelling wave laser diode optical amplifier", El. Lett., 30, pagine 807-809, 1994; P.E.
20 Barnsley and H.J. Wickes, "All-optical clock recovery from 2.5 Gbit/s NRZ data using selfpulsating 1.58 μm laser diode", El. Lett., 28, pagine 4-6, 1992) richiedono l'utilizzo di una sorgente di energia luminosa ad impulsi. Tali sistemi appaiono poco pratici, per la
25 difficoltà di avere una tale sorgente ad impulsi.

Esiste quindi il problema di recuperare in via ottica il sincronismo in un segnale di linea digitale in modo che sia praticamente applicabile in un sistema di telecomunicazioni in fibra ottica reale.

- 5 Di conseguenza, in un suo primo aspetto la presente invenzione si riferisce ad un metodo per recuperare in via ottica il sincronismo di un segnale di linea ottico digitale comprendente una sequenza di impulsi digitali che percorrono una linea a fibra ottica
- 10 con una prefissata frequenza di ripetizione degli impulsi mediante costruzione di un segnale ottico di sincronismo comprendente una sequenza di impulsi con la medesima frequenza di ripetizione, comprendente le fasi di:
- prelevare una frazione prefissata di segnale di
 - 15 linea,
 - immettere la frazione di segnale di linea in una cavità risonante comprendente una guida d'onda non lineare,
 - accoppiare la frazione di segnale di linea prelevata
 - 20 con una radiazione continua di pompaggio avente una prefissata potenza ed una prefissata lunghezza d'onda di pompaggio, la lunghezza d'onda di pompaggio essendo di valore correlato alla lunghezza d'onda degli impulsi del segnale di linea per la generazione con essi di un
 - 25 effetto di interazione a quattro fotoni (FWM) nella guida

d'onda non lineare,

- far percorrere alla frazione di segnale di linea prelevata ed alla radiazione di pompaggio la guida d'onda non lineare causando la generazione per effetto FWM di un
5 segnale clone riprodotto la sequenza di impulsi del segnale di linea ad una lunghezza d'onda di clone,
- filtrare l'insieme della frazione di segnale di linea, della radiazione di pompaggio e del segnale clone in modo da lasciar passare solo quest'ultimo,
- 10 - far circolare il segnale clone nella cavità risonante,
- regolare la lunghezza della cavità risonante in modo che nell'immettere il segnale di linea nella cavità risonante ogni impulso del segnale di linea arrivi
15 esattamente in corrispondenza di un impulso del segnale clone che sta circolando nella cavità stessa,
- prelevare dalla cavità risonante una frazione del segnale clone, la sequenza di impulsi del segnale clone rappresentando il desiderato segnale di sincronismo.

20 Il fenomeno noto come interazione a quattro fotoni o FWM (four wave mixing) è un tipo di interazione non lineare che si verifica in una guida d'onda realizzata con un materiale ad alto coefficiente non lineare (ad esempio una opportuna fibra ottica oppure
25 cristalli semiconduttori, polimeri ottici od altro)

quando all'interno di essa si propagano segnali a lunghezze d'onda diverse. Tale fenomeno consiste nel fatto che la presenza nella guida d'onda di tre segnali ottici genera un quarto segnale che si propaga
5 collinearmente agli altri; in generale, questo quarto segnale risulta indesiderato ed ha le caratteristiche di un rumore, in quanto disturba la normale trasmissione. Nel seguito, si farà normalmente riferimento ad una fibra ottica, restando inteso che al posto della fibra ottica
10 potrebbe esserci una diversa guida d'onda, dotata delle necessarie caratteristiche di non linearità.

Tale fenomeno è, ad esempio, descritto in JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, VOL. 8, No. 9, SETTEMBRE 1990, pagg. 1402,1408; l'effetto è dovuto a fenomeni non
15 lineari del terzo ordine che possono diventare assai forti a causa dell'elevata intensità del campo nel nucleo della guida d'onda ed alle grandi lunghezze di interazione tra i segnali.

Più in particolare la stessa pubblicazione
20 riporta che, per una particolare fibra ottica, la massima efficienza di generazione della quarta onda (cioè l'effetto di rumore del sistema) si riduce incrementando le differenze tra le frequenze dei segnali, la dispersione cromatica, o la lunghezza di trasmissione, a
25 causa dell'accresciuto sfasamento tra i segnali.

Si è osservato che se tra le tre onde è verificata una particolare condizione di fasamento detta phase matching, si verifica il fenomeno FWM e si genera la quarta onda; le frequenze delle quattro onde risultano
5 legate dalla relazione

$$(1) \quad \omega_1 + \omega_2 = \omega_3 + \omega_4$$

L'efficienza di generazione della quarta onda può essere massimizzata facendo in modo di soddisfare il più possibile alla condizione di phase matching, la quale
10 condizione dipende dalla posizione relativa delle lunghezze d'onda dei segnali rispetto alla lunghezza d'onda del punto di azzeramento della dispersione della fibra ottica in cui avviene il fenomeno.

Si ricorda che nelle fibre ottiche avviene un
15 fenomeno di dispersione cromatica dovuto al fatto che le differenti componenti cromatiche di ciascun impulso - ciascuna caratterizzata dalla propria lunghezza d'onda - viaggiano nella fibra con velocità differenti, determinando un allargamento della durata degli impulsi
20 stessi. A seguito di tale allargamento, impulsi temporalmente successivi e distinti al momento dell'emissione possono arrivare al momento della ricezione a sovrapporsi parzialmente, fino a non essere più distinguibili come entità separate. Esistono fibre
25 cosiddette a salto d'indice o fibre SI (step index) che

hanno caratteristiche ottiche tali per cui la dispersione cromatica si annulla in corrispondenza di un valore di lunghezza d'onda di circa 1300 nm. Poichè però le telecomunicazioni a fibra ottica avvengono con lunghezze
5 d'onda tra 1500 e 1600 nm, sono state sviluppate fibre ottiche cosiddette con punto di azzeramento della dispersione cromatica spostato o fibre DS (dispersion shifted), in cui il punto di azzeramento della dispersione cromatica è appunto spostato nella regione
10 tra 1500 e 1600 nm. Un analogo risultato potrà essere ottenuto con un opportuno progetto della struttura di guida d'onda all'interno di un materiale ad alto coefficiente non lineare.

Il caso di FWM che interessa per la presente
15 invenzione è quello detto FWM degenerare, nel quale si ha la coincidenza delle frequenze ω_1 ed ω_2 . In questo caso la relazione (1) può essere scritta

$$(2) \quad 2\omega_p = \omega_s + \omega_c$$

dove con ω_p è indicata una frequenza di
20 pompaggio, con ω_s una frequenza di segnale di linea e con ω_c una frequenza di segnale clone. In altri termini, se nella fibra sono presenti una radiazione di pompaggio alla frequenza ω_p ed un segnale di linea alla frequenza ω_s , a causa del fenomeno FWM si ottiene la generazione di
25 un segnale clone alla frequenza ω_c . La potenza del

segnale clone dipende dalla non linearità del fenomeno,
dalla lunghezza del tratto di fibra utilizzato, dalla
potenza della radiazione di pompaggio e del segnale di
linea, e da quanto si riesce a soddisfare alla condizione
5 di phase matching.

Se il suddetto fenomeno avviene in una cavità
risonante è possibile che si sviluppi una azione laser
alla frequenza del segnale clone se il guadagno di FWM
che si ottiene in un percorso completo nella cavità è
10 tale da superare le perdite dell'anello stesso. Se con
le potenze usuali nelle linee di trasmissione questa
condizione non è ottenibile, il segnale clone può essere
amplificato (sempre in forma ottica, mediante un
amplificatore ottico); prima dell'amplificazione, il
15 segnale clone viene isolato dal segnale di linea e dalla
radiazione di pompaggio mediante filtraggio, evitando
così che il segnale di linea e la radiazione di pompaggio
portino l'amplificatore in saturazione.

Preferibilmente, il metodo comprende la fase di
20 amplificare il segnale clone, regolandone
l'amplificazione in modo che il guadagno per il segnale
clone sia inferiore all'attenuazione complessiva nel
percorso ad anello di un valore prefissato.

Regolando il guadagno dell'amplificazione in modo
25 che il suddetto valore sia prossimo a zero, si otterrà

che in assenza di FWM la cavità non sviluppa azione laser mentre non appena il guadagno sul singolo giro viene incrementato dal contributo di FWM l'anello è in grado di sviluppare azione laser alla lunghezza d'onda del clone.

5 Preferibilmente la fase di accoppiare la frazione di segnale di linea prelevata con la radiazione continua di pompaggio precede la fase di immettere la frazione di segnale di linea nella cavità risonante.

La cavità risonante può comprendere un percorso
10 ottico ad anello, la guida d'onda non lineare essendo inclusa nel percorso ad anello. In alternativa, la cavità risonante può comprendere una cavità lineare, avente agli estremi mezzi di retroazione ottica di almeno una porzione dei segnali ottici propaganti in essa, la
15 guida d'onda non lineare essendo inclusa nella cavità lineare.

La guida d'onda non lineare può essere di diverso tipo, preferibilmente comprende una fibra ottica con punto di azzeramento della dispersione ottica spostato.

20 In un secondo aspetto, la presente invenzione si riferisce ad un dispositivo per recuperare in via ottica il sincronismo di un segnale di linea ottico digitale comprendente una sequenza di impulsi digitali che percorrono una linea a fibra ottica con una prefissata
25 frequenza di ripetizione degli impulsi mediante

costruzione di un segnale ottico di sincronismo comprendente una sequenza di impulsi con la medesima frequenza di ripetizione, comprendente:

- un primo accoppiatore direzionale sulla linea per
5 prelevare da essa una frazione del segnale di linea,
- un generatore di una radiazione continua di pompaggio avente una prefissata potenza ed una prefissata lunghezza d'onda di pompaggio, la lunghezza d'onda di pompaggio essendo di valore correlato alla lunghezza d'onda degli
10 impulsi del segnale di linea per la generazione con essi di un effetto di interazione a quattro fotoni (FWM),
- un secondo accoppiatore direzionale per accoppiare la frazione di segnale di linea prelevata con la radiazione di pompaggio,
- 15 - una cavità risonante,
- un terzo accoppiatore direzionale per immettere la frazione di segnale di linea prelevata e la radiazione di pompaggio nella cavità risonante,
- nella cavità risonante, una guida d'onda non lineare
20 di lunghezza sufficiente affinché in essa sia generato per effetto FWM un segnale clone riproducente la sequenza di impulsi del segnale di linea ad una lunghezza d'onda di clone,
- mezzi filtranti ottici nella cavità risonante per
25 consentire la circolazione nella cavità risonante del

segnale clone soltanto,

- mezzi per regolare la lunghezza della cavità risonante,

- un quarto accoppiatore direzionale sulla cavità
5 risonante, per prelevare dalla cavità risonante una frazione del segnale clone che percorre la cavità risonante stessa, la sequenza di impulsi del segnale clone rappresentando il desiderato segnale di sincronismo.

10 Preferibilmente, la cavità risonante comprende mezzi amplificatori ottici per il segnale clone.

La cavità risonante può comprendere un percorso ottico ad anello, la guida d'onda non lineare essendo inclusa nel percorso ad anello. Alternativamente, la
15 cavità risonante può comprendere una cavità lineare, avente agli estremi mezzi di retroazione ottica di almeno una porzione dei segnali ottici propaganti in essa, la guida d'onda non lineare essendo inclusa nella cavità lineare.

20 La guida d'onda non lineare può essere di diverso tipo; preferibilmente la guida d'onda comprende una fibra ottica con punto di azzeramento della dispersione ottica spostato ad un valore prefissato, prossimo alla lunghezza d'onda del segnale ottico di linea.

25 Ulteriori caratteristiche e vantaggi

dell'invenzione risulteranno meglio dalla seguente descrizione dettagliata di due forme di esecuzione preferite di un dispositivo secondo l'invenzione, fatta con riferimento ai disegni allegati, in cui:

- 5 - la figura 1 è uno schema circuitale di un dispositivo secondo l'invenzione;
- le figure da 2 a 5 si riferiscono ad un esempio, in particolare:
 - la figura 2 rappresenta una porzione del segnale
 - 10 di linea utilizzato nell'esempio,
 - la figura 3 rappresenta lo spettro del segnale di linea della figura 2,
 - la figura 4 rappresenta il segnale di sincronismo creato in accordo con l'invenzione,
 - 15 - la figura 5 rappresenta lo spettro del segnale di sincronismo della figura 4;
 - la figura 6 è uno schema circuitale di una variante del dispositivo di figura 1;
 - la figura 7 è uno schema più dettagliato
 - 20 dell'amplificatore compreso nello schema circuitale di figura 6.

Nelle figure, con 10 è genericamente indicata una fibra ottica di una linea di trasmissione ottica, ad esempio per telecomunicazioni, percorsa da un segnale di

25 linea ottico digitale, ad esempio in forma binaria; il

segnale di linea è quindi costituito da una sequenza di impulsi 0 ed 1. Gli impulsi 1 sono caratterizzati da una lunghezza d'onda di segnale di linea e corrispondentemente da una frequenza di segnale di linea
5 (ω_s), mentre gli impulsi 0 sono sostanzialmente assenze di impulso. Gli impulsi (0 ed 1) si susseguono sulla linea 10 distanziati tra loro di una prefissata distanza ossia con una prefissata frequenza di ripetizione.

Con 11 è poi complessivamente indicato un
10 dispositivo per recuperare in via ottica il sincronismo del segnale di linea sulla linea 10. Il dispositivo 11 comprende un primo accoppiatore direzionale [splitter] 12 con un ingresso 13 inserito sulla linea 10 e due uscite: una uscita primaria 14 che reimmette sulla linea 10 il
15 segnale di linea, ed una uscita secondaria 15 che preleva una prestabilita frazione della potenza del segnale di linea, ad esempio dell'ordine del 5%, e la dirotta su una fibra ottica 16. Per maggior precisione, un accoppiatore direzionale (quale quello appena indicato con 12 e quelli
20 che saranno indicati in seguito) è normalmente munito di quattro connessioni, due ingressi e due uscite; una delle connessioni non viene utilizzata ed è quindi lasciata cieca; tale connessione non è evidenziata nei disegni.

Il dispositivo 11 comprende una sorgente laser di
25 pompaggio 17 in grado di generare una radiazione di

pompaggio avente prefissata lunghezza d'onda, tale da soddisfare alle condizioni di phase matching con il segnale di linea. La radiazione di pompaggio fuoriesce da un'uscita 18 del laser di pompaggio ed è inviata su
5 una fibra ottica 19. .

Il dispositivo 11 comprende anche un secondo accoppiatore direzionale 20, dotato di due ingressi 21 e 22, nei quali confluiscono rispettivamente le fibre ottiche 16 e 19, e di un'uscita 23 a cui è collegata una
10 fibra ottica 24. Il secondo accoppiatore direzionale 20 è del tipo cosiddetto 50/50, ossia dall'uscita 23 escono semplicemente sovrapposti i segnali entrati ai due ingressi 21 e 22, attenuati di 3 db.

Ancora, il dispositivo 11 comprende una cavità
15 risonante formata da un percorso ottico ad anello 25 collegato alla fibra ottica 24 tramite un terzo accoppiatore direzionale 26. Più precisamente, l'accoppiatore direzionale 26 ha due ingressi 27 e 28 ed un'uscita 29: all'ingresso 27 confluisce la fibra ottica
20 24, mentre il percorso ottico ad anello 25 è chiuso tra l'uscita 29 e l'ingresso 28. Anche il terzo accoppiatore direzionale 26, così come il secondo 20, è del tipo cosiddetto 50/50, ossia dall'uscita 29 escono semplicemente sovrapposti i segnali entrati ai due
25 ingressi 27 e 28, attenuati di 3 db.

Il percorso ad anello 25 comprende i seguenti elementi in serie l'uno all'altro, nell'ordine dall'uscita 29 all'ingresso 28 del terzo accoppiatore direzionale 26: una guida d'onda formata da un tratto di
5 fibra ottica 30 avente lunghezza sufficiente perché si verifichi il fenomeno di FWM, un'unità di filtraggio 31 ed un amplificatore ottico 32. Inoltre, tra l'amplificatore ottico 32 e l'ingresso 28 del terzo accoppiatore direzionale 26, è previsto un quarto
10 accoppiatore direzionale 33, avente un ingresso 34 inserito sul percorso ad anello 25 e due uscite: una uscita primaria 35 collegata sul percorso ad anello 25, ed una uscita secondaria 36 che preleva una prestabilita frazione della potenza del segnale che percorre il
15 percorso ad anello 25, ad esempio dell'ordine del 50%, e la dirotta su una fibra ottica 37 di uscita.

Il percorso ad anello 25 comprende inoltre mezzi per regolare la lunghezza del percorso stesso. Tali mezzi comprendono un elemento 38 ad effetto Peltier
20 attivo su un tratto di fibra del percorso ad anello 25 così da variarne la lunghezza per mezzo di variazioni di temperatura. L'elemento 38 è pilotato da un'unità elettronica di controllo 39, comandata in retroazione da una frazione del segnale che esce dal percorso ad anello
25 25 sulla fibra ottica di uscita 37. A tal fine, sulla

fibra 37 è inserito un quinto accoppiatore direzionale 40, avente un'ingresso 41 ed un'uscita principale 42 collegati in serie sulla fibra di uscita 37, ed un'uscita secondaria 43 che preleva una prestabilita frazione della
5 potenza del segnale che percorre la fibra di uscita 37, ad esempio dell'ordine dell'1%, e la dirotta su una fibra ottica 44, verso l'unità di controllo 39.

Il dispositivo 11 comprende inoltre due elementi controllori di polarizzazione, un primo elemento 45 sulla
10 fibra ottica 19 per la radiazione di pompaggio ed un secondo elemento 46 sul percorso ad anello 25, tra il quarto accoppiatore direzionale 33 ed il terzo accoppiatore direzionale 26, e due ulteriori amplificatori ottici, un secondo amplificatore ottico 47
15 sulla fibra ottica 19 a valle del primo elemento controllore di polarizzazione 45 ed un terzo amplificatore ottico 48 sulla fibra ottica 24.

L'unità di filtraggio 31 comprende un filtro centrato sulla lunghezza d'onda di clone, con
20 trasmissività inferiore a 20 dB sulle altre lunghezze d'onda. L'unità 31 serve a separare il segnale clone generato attraverso il processo di FWM dal segnale di linea e dal segnale di pompaggio, e può essere realizzata utilizzando tecnologie diverse, di per sè note, in modo
25 del tutto equivalente ai fini della presente invenzione.

Ad esempio, può essere utilizzato un filtro a reticolo fotocromico (in associazione con un circolatore); tali filtri sono noti in letteratura e commercialmente disponibili, e particolarmente adatti per questa
5 applicazione in virtù della loro perfetta compatibilità con i circuiti in fibra ottica.

Detti filtri sono costituiti da una porzione di una guida d'onda ottica, ad esempio fibra ottica, lungo la quale l'indice di rifrazione presenta una variazione
10 periodica, ed in corrispondenza a detta variazione di indice si ha una parziale riflessione di segnale: se le porzioni di segnale riflesse in corrispondenza di ogni cambio d'indice risultano in fase tra loro si ha interferenza costruttiva e il segnale incidente viene
15 riflesso.

La condizione di interferenza costruttiva, corrispondente al massimo della riflessione, è espressa dalla relazione $2l = \lambda_s/n$, dove l indica il passo del reticolo formato dalle variazioni di indice di
20 rifrazione, λ_s la lunghezza d'onda della radiazione incidente ed n l'indice di rifrazione del nucleo della guida d'onda ottica. Il fenomeno descritto è indicato in letteratura come riflessione distribuita di Bragg.

La variazione periodica di indice di rifrazione
25 può essere ottenuta con tecniche note, per esempio

esponendo una porzione di fibra ottica, privata del rivestimento polimerico protettivo, alle frange di interferenza formate da un intenso fascio UV (come ad esempio quello generato da un laser a eccimeri, un laser
5 ad Argon duplicato in frequenza o un laser a Nd:YAG quadruplicato in frequenza) fatto interferire con sè stesso mediante un adeguato sistema interferometrico, ad esempio mediante una maschera di fase in silicio, come descritto nel brevetto US 5.351.321.

10 La fibra, ed in particolare il nucleo della fibra, vengono così esposti a radiazione UV di intensità che varia periodicamente lungo l'asse ottico. Nelle parti del nucleo raggiunte dalla radiazione UV di massima intensità si verifica una rottura parziale dei legami Ge-
15 O, che provoca una modifica permanente dell'indice di rifrazione.

Scegliendo il passo del reticolo in modo da verificare la relazione di interferenza costruttiva si può determinare a piacere la lunghezza d'onda centrale
20 della banda riflessa, secondo criteri noti.

Con questa tecnica è possibile, ad esempio, ottenere filtri con una banda di lunghezze d'onda riflessa a -3 dB tipicamente di 0,2 - 0,3 nm, riflettività al centro della banda fino al 99%, lunghezza
25 d'onda centrale della banda riflessa determinabile in

fase di realizzazione entro circa $\pm 0,1$ nm e variazione della lunghezza d'onda centrale della banda con la temperatura non superiore a $0,02\text{nm}/^{\circ}\text{C}$.

Tale valore è ottenibile mediante reticoli a
5 passo fisso.

Nel caso in cui le lunghezze d'onda da filtrare abbiano un intervallo di tolleranza più ampio, è possibile realizzare filtri in fibra ottica a riflessione di Bragg distribuita con ampiezza della banda in
10 riflessione sufficientemente ampia imponendo un passo variabile al reticolo, realizzando un cosiddetto "reticolo chirpato" (traduzione di "chirped grating").

A tale scopo si possono impiegare tecniche note, per esempio, dall'articolo di P.C. Hill ed al. pubblicato
15 su Electronics Letters, vol. 30, n. 14, 07/07/94, pag. 1172-1174.

Reticoli del tipo indicato sono, ad esempio, messi in commercio da PHOTONETICS Inc., Wakefield, MA (USA), per le lunghezze d'onda di riflessione desiderate.

20 Il funzionamento del dispositivo 11 avviene nel modo seguente.

La linea 10 è percorsa da un segnale di linea di tipo digitale, ad esempio binario, costituito da una sequenza di impulsi 0 ed 1 distanziati tra loro in base
25 ad una certa frequenza di ripetizione. Con il

dispositivo 11, si desidera costruire un segnale di sincronismo costituito da una sequenza di impulsi 1 con la medesima sequenza di ripetizione del segnale di linea.

Attraverso il primo accoppiatore direzionale 12
5 una frazione del segnale di linea viene prelevata e deviata verso il dispositivo 11. La potenza del segnale di linea risulta alterata (ridotta) solo in misura minima, in quanto come si è detto l'accoppiatore direzionale 12 sottrae una frazione minima (pari a circa
10 il 5%) della potenza del segnale di linea. La frazione prelevata, immessa sulla fibra ottica 16, ha tutte le caratteristiche del segnale di linea, ad eccezione della potenza inferiore; in particolare, gli impulsi si susseguono con la medesima sequenza e con la medesima
15 frequenza di ripetizione.

La frazione di segnale di linea prelevata viene sovrapposta alla radiazione di pompaggio (prodotta dal laser 17 ed amplificata dall'amplificatore ottico 47) nel secondo accoppiatore direzionale 20. Il segnale
20 risultante è immesso nella fibra ottica 24, viene eventualmente amplificato dall'amplificatore ottico 48, ed è quindi immesso nel percorso ottico ad anello 25 tramite il terzo accoppiatore direzionale 26.

Poiché tra le lunghezze d'onda del segnale di
25 linea e della radiazione di pompaggio sono soddisfatte le

condizioni di phase matching, nella prima parte del percorso ottico ad anello 25, costituita dal tratto di fibra ottica 30, la compresenza della frazione del segnale di linea e della radiazione di pompaggio dà
5 origine per il fenomeno di FWM ad un segnale clone. Poiché la radiazione di pompaggio è continua, nel segnale clone si riproduce una sequenza di impulsi uguale a quella del segnale di linea, con la medesima frequenza di ripetizione; naturalmente, gli impulsi del segnale clone
10 avranno la lunghezza d'onda propria del segnale clone stesso.

Successivamente, nell'unità di filtraggio 31 vengono eliminati sia la frazione del segnale di linea sia la radiazione di pompaggio, permettendo il passaggio
15 del solo segnale clone. Quest'ultimo, viene poi amplificato dall'amplificatore ottico 32 e ripartito dal quarto accoppiatore direzionale 33 fra il percorso ad anello 25 e la fibra ottica di uscita 37.

Il segnale clone che resta nel percorso ad anello
20 25 raggiunge il terzo accoppiatore direzionale 26 dove viene accoppiato con il segnale in arrivo dalla fibra ottica 24. Regolando opportunamente la lunghezza del percorso ad anello 25, si fa in modo che gli impulsi del segnale clone si presentino contemporaneamente agli
25 impulsi del segnale di linea. La regolazione della

lunghezza del percorso ad anello 25, che deve essere particolarmente accurata, viene ottenuta per riscaldamento o raffreddamento di una porzione di fibra ottica, tramite l'elemento ad effetto Peltier 38
5 controllato dall'unità 39.

Se si incontrano un impulso 0 del segnale clone con un impulso 1 del segnale di linea, al giro successivo nel percorso ad anello 25 l'impulso 0 del segnale clone diventerà un impulso 1, per effetto FWM a causa della
10 compresenza dell'impulso 1 del segnale di linea.

Se sia nel segnale di linea in ingresso sia nel segnale clone c'è un impulso 0, l'impulso del segnale clone resterà 0 anche per il giro successivo.

Se sia nel segnale di linea in ingresso sia nel
15 segnale clone circolante nel percorso ad anello c'è un impulso 1, questo impulso del segnale clone nel giro seguente viene amplificato per FWM, cioè l'impulso 1 del segnale di linea genera un impulso 1 alla lunghezza d'onda del clone, che si somma all'impulso 1 già
20 esistente.

Se invece si incontrano un impulso 1 del segnale clone con un impulso 0 del segnale di linea, l'impulso del segnale clone dovrà percorrere un altro giro senza essere amplificato per effetto FWM; se tale impulso 1 del
25 segnale clone continua ad effettuare giri del percorso ad

anello 25 incontrando sempre impulsi 0 del segnale di
linea, l'impulso 1 del segnale clone perderà
progressivamente potenza. Il numero di giri che riesce a
percorrere senza annullarsi - ossia diventare un impulso
5 0 - dipende sia dal guadagno di FWM (che determina la
potenza iniziale dell'impulso e che può essere aumentato
a parità di potenza del segnale di linea mediante un
aumento della potenza della radiazione di pompaggio), sia
dalle perdite nette nel percorso ad anello 25. Queste
10 perdite nette, che sono pari alla differenza tra le
perdite in assenza dell'amplificatore 32 ed il guadagno
dell'amplificatore 32 stesso, possono essere ridotte a
piacere scegliendo opportunamente il guadagno per
l'amplificatore 32, facendo cioè in modo che tale
15 guadagno compensi il più possibile le perdite nel
percorso ad anello 25.

Ne consegue, che in breve tempo nel percorso ad
anello 25 si trova a viaggiare un segnale costituito da
una sequenza di tutti impulsi 1, avente esattamente la
20 medesima frequenza di ripetizione del segnale di linea.
Questo segnale è quindi il desiderato segnale di
sincronismo, che può essere prelevato dal percorso ad
anello 25 tramite la fibra ottica di uscita 37.

Il numero di giri che un impulso 1 del segnale
25 clone è in grado di percorrere sul percorso ad anello 25

continuando ad incontrare all'ingresso impulsi 0 del segnale di linea definisce la cosiddetta robustezza del dispositivo di recupero del sincronismo, ossia la capacità di sopportare lunghe sequenze di impulsi 0
5 continuando ad emettere impulsi 1. Nel dispositivo 11 la robustezza può essere elevata a piacere, senza variare la potenza sottratta al segnale di linea ma semplicemente variando il guadagno dell'amplificatore 32, oppure la potenza della radiazione di pompaggio, oppure ancora il
10 guadagno degli amplificatori 47 o 48 (un aumento del guadagno dell'amplificatore 47 equivale ad un aumento della potenza di pompaggio, mentre un aumento del guadagno dell'amplificatore 48 equivale ad un aumento simultaneo della potenza della radiazione di pompaggio e
15 del segnale di linea).

Al variare della frequenza di ripetizione del segnale di linea, è sufficiente mantenere il percorso ad anello 25 sincronizzato (mediante l'unità di controllo 39 e l'elemento 38) in modo che gli impulsi 1 del segnale
20 clone arrivino ad ogni giro nel terzo accoppiatore direzionale 26 in un istante corrispondente all'arrivo di un impulso (0 od 1) del segnale di linea.

Per il corretto funzionamento del dispositivo 11 è preferibile che vi sia un controllo dello stato di
25 polarizzazione della luce che circola nel percorso ad

anello 25. Tale scopo è raggiunto mediante i controllori di polarizzazione 45 e 46; in alternativa, è possibile prevedere l'utilizzo di fibre a mantenimento di polarizzazione o di configurazioni che rendano il fenomeno di FWM indipendente dallo stato di polarizzazione del segnale di linea entrante nel percorso ad anello 25. Si potrà ad esempio ricorrere a laser di pompaggio in continua depolarizzati mediante depolarizzatori o in virtù del loro intrinseco principio di funzionamento, quali i laser in fibra a cavità lunga.

L'invenzione permette quindi di ricostruire un segnale di sincronismo in forma esclusivamente ottica, evitando quindi i colli di bottiglia di una elaborazione in forma elettronica.

Inoltre, il recupero del sincronismo avviene senza sottrarre in modo rilevante potenza al segnale sulla linea. Risulta quindi possibile effettuare l'operazione di recupero del sincronismo in qualsiasi punto della linea senza interferire con il resto del sistema di trasmissione.

Un altro vantaggio dell'invenzione è dato dal fatto che il recupero del sincronismo risulta possibile con qualsiasi livello di potenza del segnale di linea, anche molto basso. Infatti, la potenza al segnale di sincronismo viene fornita come si è visto dalla

radiazione di pompaggio.

Ancora, è degno di particolare nota il vantaggio di poter avere un sistema con robustezza elevata quanto si vuole, indipendentemente dal segnale di linea, purché
5 si fornisca una radiazione di pompaggio di adeguata potenza.

Infine, si noti che la potenza di pompaggio è fornita in modo continuo e non pulsante, ed è quindi ottenibile e controllabile molto più facilmente.

10 Una variante di esecuzione dell'invenzione è rappresentata dal dispositivo 111 mostrato nella figura 6. In tale variante, la cavità risonante comprende, al posto del percorso ad anello 25, una cavità lineare 125; gli elementi esterni alla cavità risonante sono gli
15 stessi del dispositivo 11 secondo la prima variante, e sono quindi indicati con gli stessi numeri di riferimento. In particolare, la cavità 125 è collegata alla fibra ottica 24 tramite un accoppiatore direzionale 26.

20 Considerando come riferimento la direzione di ingresso dei segnali dalla fibra 24 attraverso l'accoppiatore direzionale 26, la cavità lineare 125 comprende una sezione 125a a valle dell'accoppiatore direzionale 26 ed una sezione 125b a monte di esso.

25 La sezione 125a della cavità lineare 125

comprende una fibra ottica 126 sulla quale è serialmente inserita una guida d'onda formata da un tratto di fibra ottica 30 avente caratteristiche del tutto corrispondenti a quelle della guida d'onda 30 del dispositivo 11, in
5 modo da consentire che in essa si verifichi il fenomeno di FWM. All'estremità a valle, la cavità lineare 125 termina in un filtro 131 nel quale confluisce la fibra ottica 126. Il filtro 131 riflette indietro sulla stessa fibra ottica 126 i segnali di lunghezza d'onda pari alla
10 lunghezza d'onda di clone, mentre lascia passare gli altri. Come filtro 131 può essere vantaggiosamente utilizzato un filtro a reticolo fotocromico, del tipo indicato in precedenza con riferimento al filtro 31.

La sezione 125b della cavità lineare 125
15 comprende una fibra ottica 127 sulla quale è serialmente inserito un amplificatore ottico bidirezionale 132, ossia un amplificatore privo di isolatori in ingresso ed in uscita, di modo che possa essere attivo per segnali che lo attraversino in entrambe le direzioni.
20 L'amplificatore 132 comprende in particolare (vedere figura 7) un tratto di fibra attiva 150, un laser di pompaggio 151, una fibra di collegamento 152 ed un accoppiatore dicroico 153.

All'estremità a monte la cavità lineare 125
25 termina con un accoppiatore direzionale 133, il quale è

provvisto di quattro connessioni 134, 135, 136a e 136b tutte operative e collegate nel seguente modo: la connessione 134 è collegata alla fibra ottica 126 della cavità lineare 125, le connessioni 136a e 136b sono
5 collegate tra loro così da formare un anello di ritorno, la connessione 135 è collegata ad una fibra ottica 137 di uscita dalla cavità lineare 125.

Il dispositivo 11 comprende poi mezzi per regolare la lunghezza della cavità lineare 125, in
10 particolare un elemento 38 ad effetto Peltier, del tutto simile all'elemento 38 del dispositivo 11. L'elemento 38 è inserito serialmente su una delle fibre ottiche 126 o 127 (la fibra 127 in figura 6) ed è comandato da un'unità elettronica di controllo 39 del tutto simile all'unità 39
15 del dispositivo 11. Analogamente al dispositivo 11, l'unità elettronica di controllo 39 è comandata in retroazione da una frazione del segnale che esce dalla cavità lineare 125 lungo la fibra ottica 137, tale frazione essendo prelevata tramite un accoppiatore
20 direzionale 140.

Il funzionamento del dispositivo 111 è analogo a quello del dispositivo 11, con la differenza che nella cavità risonante i segnali (ed in particolare il segnale clone) non circolano su un percorso chiuso ad anello
25 bensì percorrono avanti e indietro il percorso lineare

tra il filtro 131 e l'accoppiatore 133.

In entrambe le varianti, sia nel dispositivo 11 sia nel dispositivo 111, la sovrapposizione del segnale di linea con la radiazione di pompaggio avviene al di fuori della cavità risonante, e pertanto nella cavità risonante è previsto un unico accoppiatore direzionale 26 per l'ingresso del segnale di linea e della radiazione di pompaggio. In alternativa, in una variante di esecuzione dell'invenzione non rappresentata nelle figure, la sovrapposizione del segnale di linea e della radiazione di pompaggio potrebbe avvenire nella cavità risonante. In tale caso, dovrebbero essere previsti due accoppiatori direzionali separati nella cavità risonante, uno per il segnale di linea l'altro per la radiazione di pompaggio. In questa variante, a causa della maggiore attenuazione introdotta nel percorso della cavità risonante a causa dell'accoppiatore direzionale in più, sarà evidentemente necessario avere una amplificazione corrispondentemente più elevata.

20

ESEMPIO

L'invenzione è stata verificata in pratica con le seguenti condizioni, utilizzando una configurazione corrispondente a quella rappresentata nella figura 1.

È stato utilizzato un segnale di linea generato da un laser in fibra a mode-locking attivo, con frequenza

25

di ripetizione degli impulsi pari a 500 MHz, potenza di uscita variabile tra 100 μ W ed 1 mW e lunghezza d'onda di emissione variabile tra 1525 e 1570 nm, fissata a 1533 nm.

5 Per la radiazione di pompaggio è stato impiegato un laser DFB con lunghezza d'onda di emissione di 1536 nm, amplificato da un amplificatore ottico 47 modello TPA 12 della Pirelli in modo da ottenere un livello di potenza di 10 mW.

10 Il segnale clone è quindi risultato generato con lunghezza d'onda di 1539 nm.

 Come amplificatore 48 è stato impiegato un amplificatore ottico modello TPA 17 della Pirelli, aumentando così il livello della potenza del segnale di
15 linea e della radiazione di pompaggio fino a 50 mW. Nell'amplificazione, il rapporto tra le potenze del segnale di linea e della radiazione di pompaggio (con quest'ultima molto superiore) viene mantenuto.

 Per il tratto di fibra ottica 30 del percorso ad
20 anello 25 è stata usata una bobina di fibra DS con lo zero di dispersione a 1536 nm, lunga 10 km.

 L'unità di filtraggio 31 utilizzata nell'esempio è stata realizzata in due stadi, al fine di ottenere le desiderate caratteristiche di filtraggio facendo uso di
25 componenti disponibili; per il primo stadio è stato

impiegato un filtro interferometrico con banda di 2,3 nm centrata sulla lunghezza d'onda di 1539 nm; per il secondo stadio è stato impiegato un filtro fabry-perot con banda di 0,6 nm, pure centrata sulla lunghezza d'onda
5 di 1539 nm.

Come amplificatore 32 è stato impiegato un amplificatore ottico modello Ampliphos F10 della Pirelli, il cui guadagno viene regolato in modo da compensare quasi completamente le perdite del percorso ad anello 25,
10 valutate in circa 20 dB.

Con questo dispositivo, è risultato possibile fornire un corretto segnale di sincronismo per un segnale di linea con frequenza di ripetizione di 2500 MHz, avente una sequenza di impulsi contenente l'80% di impulsi 0; un
15 simile segnale è stato ottenuto semplicemente con un segnale originario a 500 MHz costituito da una sequenza di impulsi 1 ed interpretato come se fosse a 2500 MHz. In particolare, nella figura 2 è mostrata una porzione del treno di impulsi del segnale di linea, in cui si
20 notano due impulsi 1 separati da numerosi impulsi 0; nella figura 3 è rappresentato lo spettro del suddetto segnale di linea, dove risulta evidente la riga in corrispondenza della frequenza dominante a 500 MHz.

All'uscita del dispositivo 11 si ottenuto il
25 segnale mostrato in figura 4, il cui spettro è mostrato

in figura 5. In quest'ultimo, appare evidente la riga a 2500 MHz.

Si noti che la frequenza di funzionamento del sistema ossia la frequenza di ripetizione degli impulsi non è ricavabile tramite il recupero di sincronismo, ma deve essere nota in fase di progetto. In particolare, tramite l'unità elettronica di controllo 39 è necessario regolare la lunghezza della cavità in modo da portarsi nella zona di funzionamento a 2500 MHz e non in quelle dei multipli.

RIVENDICAZIONI

1. Metodo per recuperare in via ottica il sincronismo di un segnale di linea ottico digitale comprendente una sequenza di impulsi digitali che
- 5 percorrono una linea a fibra ottica con una prefissata frequenza di ripetizione degli impulsi mediante costruzione di un segnale ottico di sincronismo comprendente una sequenza di impulsi con la medesima frequenza di ripetizione, comprendente le fasi di:
- 10 - prelevare una frazione prefissata di segnale di linea,
- immettere la frazione di segnale di linea in una cavità risonante comprendente una guida d'onda non lineare,
- 15 - accoppiare la frazione di segnale di linea prelevata con una radiazione continua di pompaggio avente una prefissata potenza ed una prefissata lunghezza d'onda di pompaggio, la lunghezza d'onda di pompaggio essendo di valore correlato alla lunghezza d'onda degli impulsi del
- 20 segnale di linea per la generazione con essi di un effetto di interazione a quattro fotoni (FWM) nella guida d'onda non lineare,
- far percorrere alla frazione di segnale di linea prelevata ed alla radiazione di pompaggio la guida d'onda
- 25 non lineare causando la generazione per effetto FWM di un

segnale clone riprodotto la sequenza di impulsi del
segnale di linea ad una lunghezza d'onda di clone,
- filtrare l'insieme della frazione di segnale di
linea, della radiazione di pompaggio e del segnale clone
5 in modo da lasciar passare solo quest'ultimo,
- far circolare il segnale clone nella cavità
risonante,
- regolare la lunghezza della cavità risonante in modo
che nell'immettere il segnale di linea nella cavità
10 risonante ogni impulso del segnale di linea arrivi
esattamente in corrispondenza di un impulso del segnale
clone che sta circolando nella cavità stessa,
- prelevare dalla cavità risonante una frazione del
segnale clone, la sequenza di impulsi del segnale clone
15 rappresentando il desiderato segnale di sincronismo.

2. Metodo secondo la rivendicazione 1,
comprendente la fase di:
- amplificare il segnale clone, regolandone
l'amplificazione in modo che il guadagno per il segnale
20 clone sia inferiore all'attenuazione complessiva nel
percorso ad anello di un valore prefissato.

3. Metodo secondo la rivendicazione 1, in cui la
fase di accoppiare la frazione di segnale di linea
prelevata con la radiazione continua di pompaggio precede
25 la fase di immettere la frazione di segnale di linea

nella cavità risonante.

4. Metodo secondo la rivendicazione 1, in cui la cavità risonante comprende un percorso ottico ad anello, la guida d'onda non lineare essendo inclusa nel percorso
5 ad anello.

5. Metodo secondo la rivendicazione 1, in cui la cavità risonante comprende una cavità lineare, avente agli estremi mezzi di retroazione ottica di almeno una porzione dei segnali ottici propaganti in essa, la guida
10 d'onda non lineare essendo inclusa nella cavità lineare.

6. Metodo secondo la rivendicazione 1, in cui la guida d'onda non lineare comprende una fibra ottica con punto di azzeramento della dispersione ottica spostato.

7. Metodo secondo la rivendicazione 1, in cui la
15 frazione di segnale di linea prelevata dalla linea ha potenza pari a circa il 5% della potenza complessiva del segnale di linea.

8. Dispositivo per recuperare in via ottica il sincronismo di un segnale di linea ottico digitale
20 comprendente una sequenza di impulsi digitali che percorrono una linea a fibra ottica con una prefissata frequenza di ripetizione degli impulsi mediante costruzione di un segnale ottico di sincronismo comprendente una sequenza di impulsi con la medesima
25 frequenza di ripetizione, comprendente:

- un primo accoppiatore direzionale sulla linea per prelevare da essa una frazione del segnale di linea,
- un generatore di una radiazione continua di pompaggio avente una prefissata potenza ed una prefissata lunghezza d'onda di pompaggio, la lunghezza d'onda di pompaggio essendo di valore correlato alla lunghezza d'onda degli impulsi del segnale di linea per la generazione con essi di un effetto di interazione a quattro fotoni (FWM),
- un secondo accoppiatore direzionale per accoppiare la frazione di segnale di linea prelevata con la radiazione di pompaggio,
- una cavità risonante,
- un terzo accoppiatore direzionale per immettere la frazione di segnale di linea prelevata e la radiazione di pompaggio nella cavità risonante,
- nella cavità risonante, una guida d'onda non lineare di lunghezza sufficiente affinché in essa sia generato per effetto FWM un segnale clone riprodotto la sequenza di impulsi del segnale di linea ad una lunghezza d'onda di clone,
- mezzi filtranti ottici nella cavità risonante per consentire la circolazione nella cavità risonante del segnale clone soltanto,
- mezzi per regolare la lunghezza della cavità risonante,

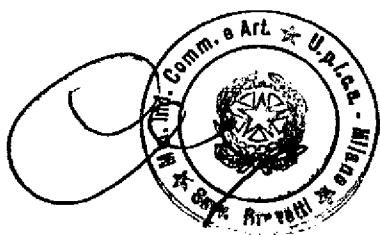
- un quarto accoppiatore direzionale sulla cavità risonante, per prelevare dalla cavità risonante una frazione del segnale clone che percorre la cavità risonante stessa, la sequenza di impulsi del segnale clone rappresentando il desiderato segnale di sincronismo.

9. Dispositivo secondo la rivendicazione 8, in cui la cavità risonante comprende mezzi amplificatori ottici per il segnale clone.

10 10. Dispositivo secondo la rivendicazione 1, in cui la cavità risonante comprende un percorso ottico ad anello, la guida d'onda non lineare essendo inclusa nel percorso ad anello.

11. Dispositivo secondo la rivendicazione 1, in cui la cavità risonante comprende una cavità lineare, avente agli estremi mezzi di retroazione ottica di almeno una porzione dei segnali ottici propaganti in essa, la guida d'onda non lineare essendo inclusa nella cavità lineare.

20 12. Dispositivo secondo la rivendicazione 1, in cui la guida d'onda non lineare comprende una fibra ottica con punto di azzeramento della dispersione ottica spostato ad un valore prossimo alla lunghezza d'onda del segnale ottico di linea.



Ing. Giorgio CHECCACCI
N. Iscriz. ALBO 442

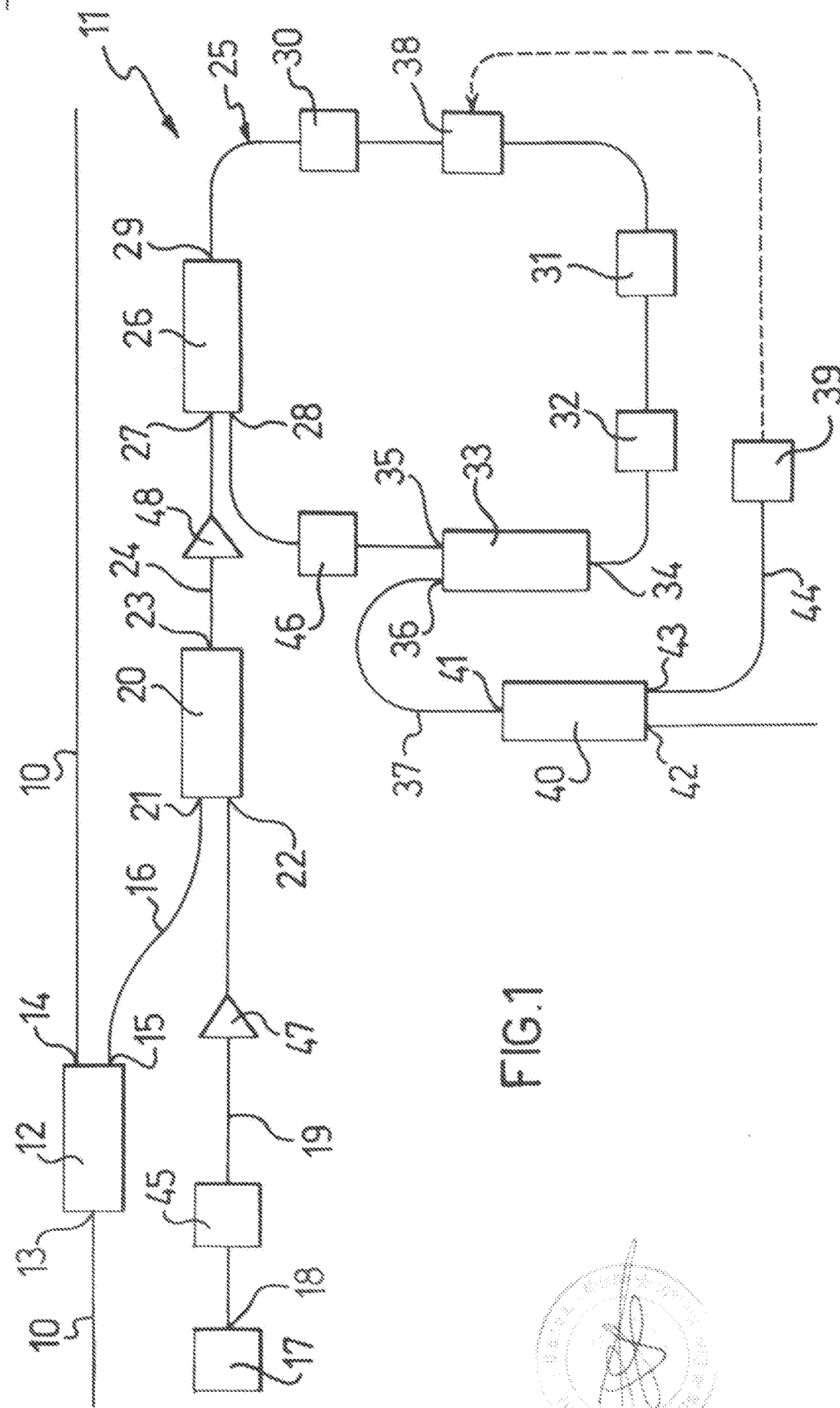
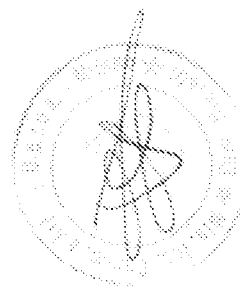


FIG.1



Giorgio Checacci
 Ing. Giorgio CHECCACCI
 N. iscriz. ALBO 442

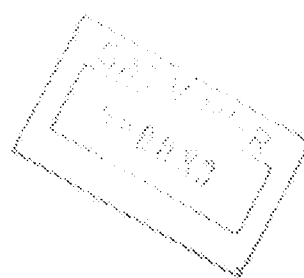
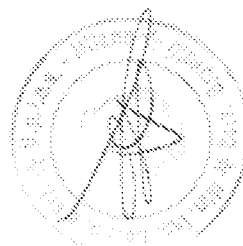
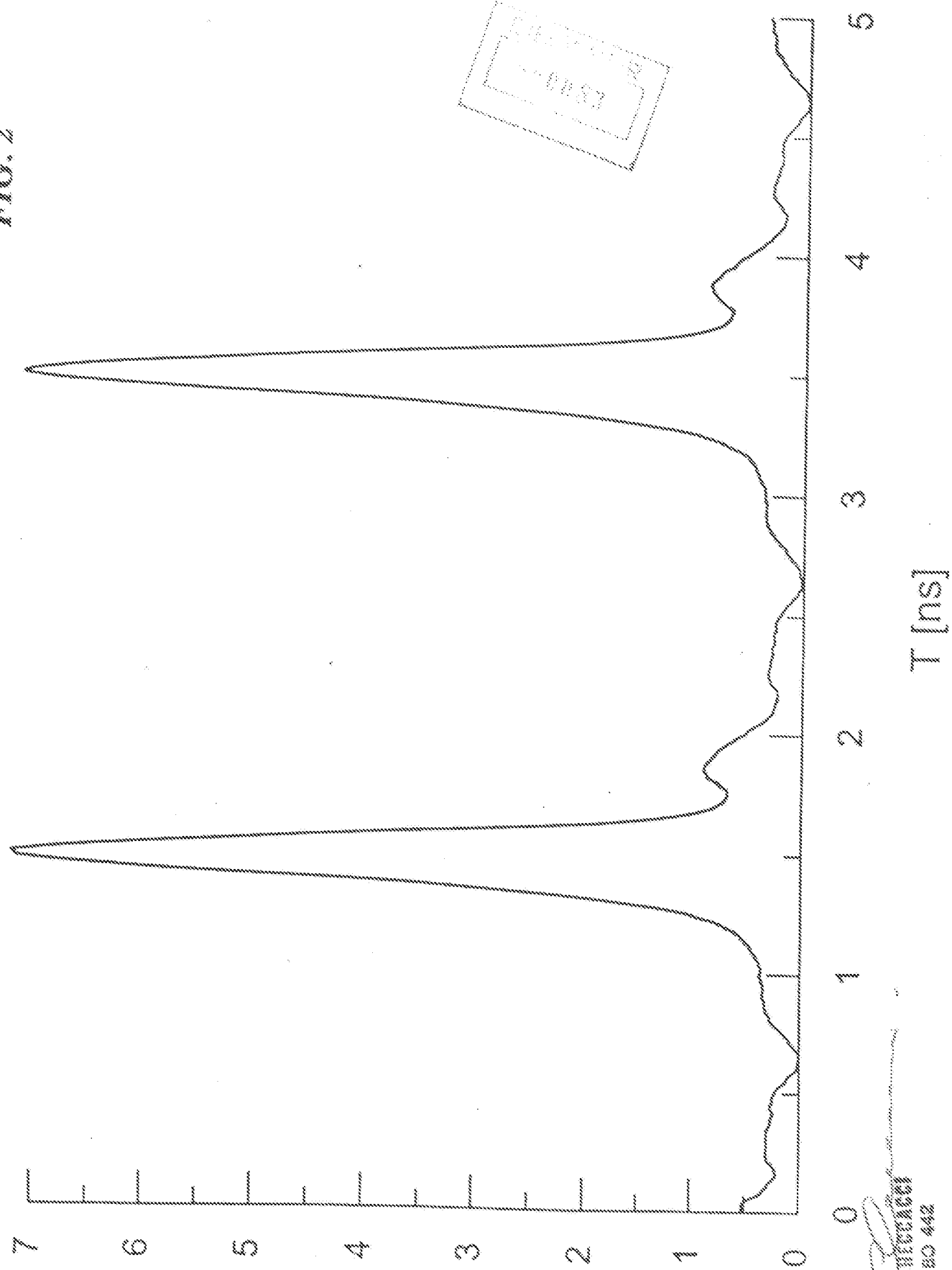
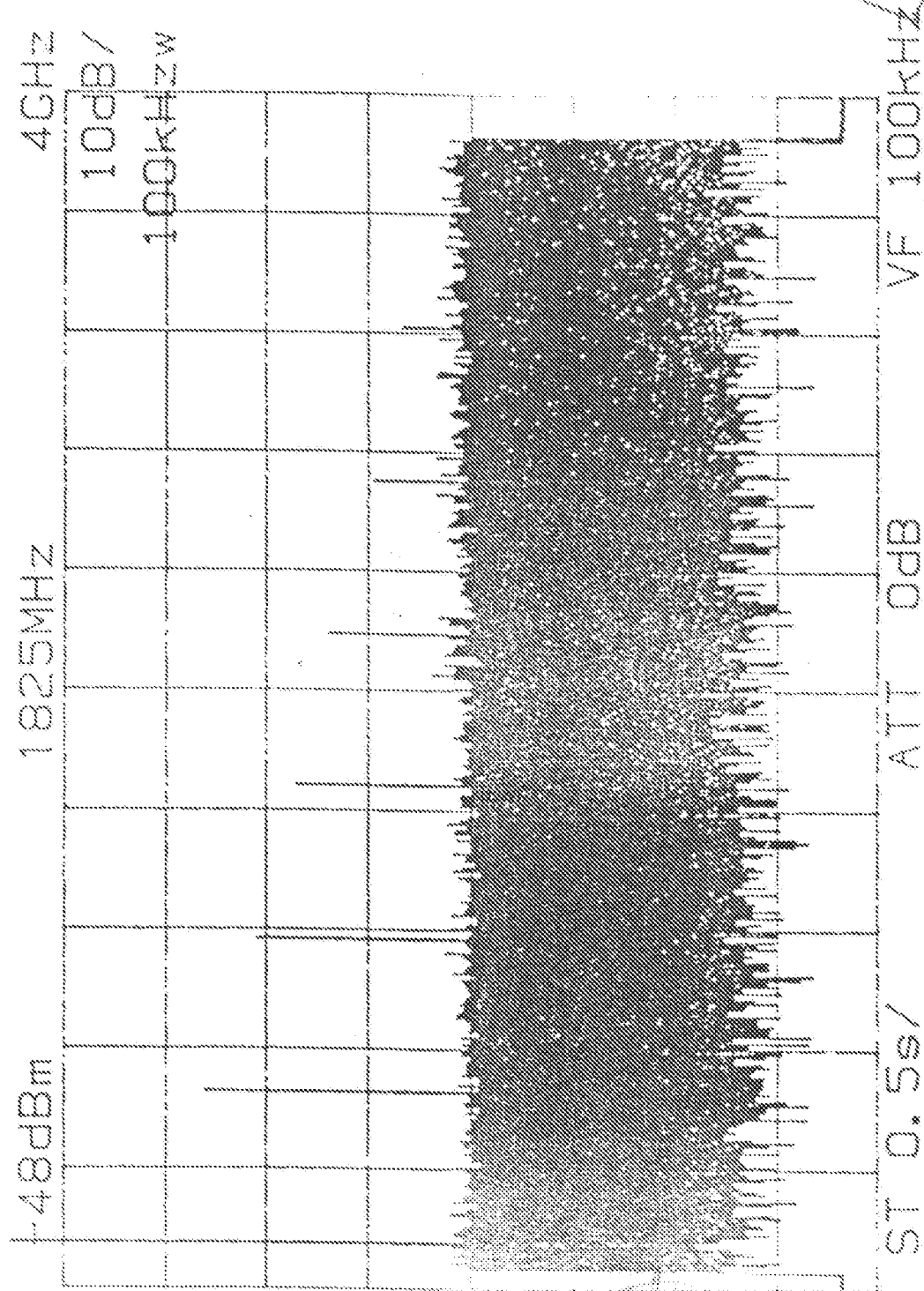


FIG. 2

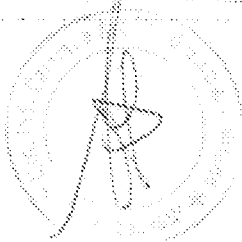


George CHITTENDEN
N. 12012, ALBO 442

FIG. 3



RECEIVED
1-10-83



Enrico Chiodi
Ing. Giorgio CHIODI
N. 14012, ALBO 442

FIG. 4

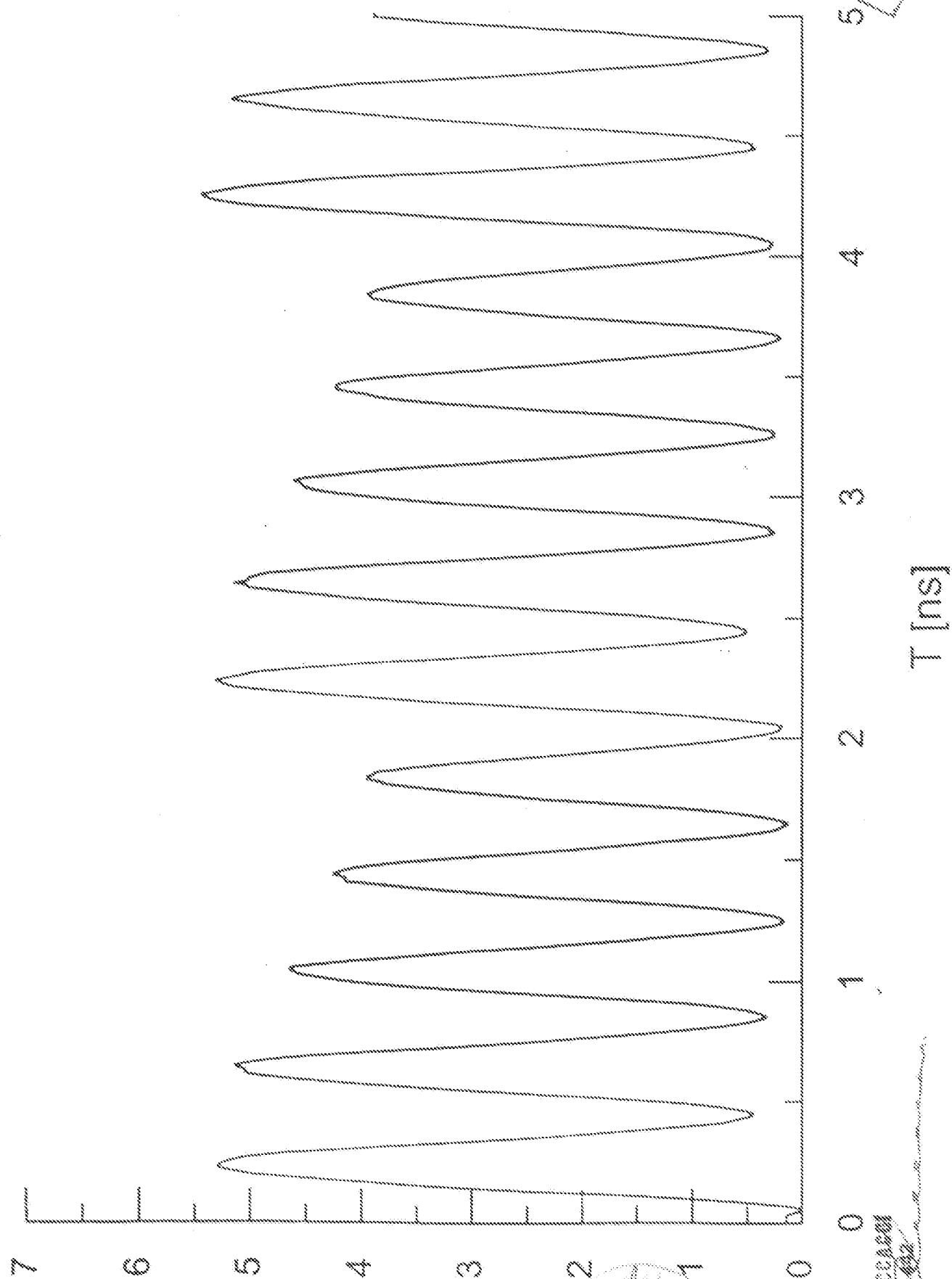
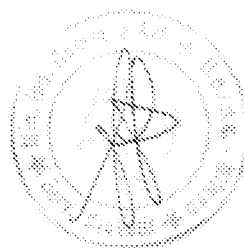
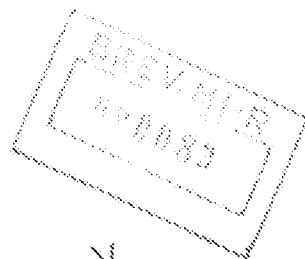
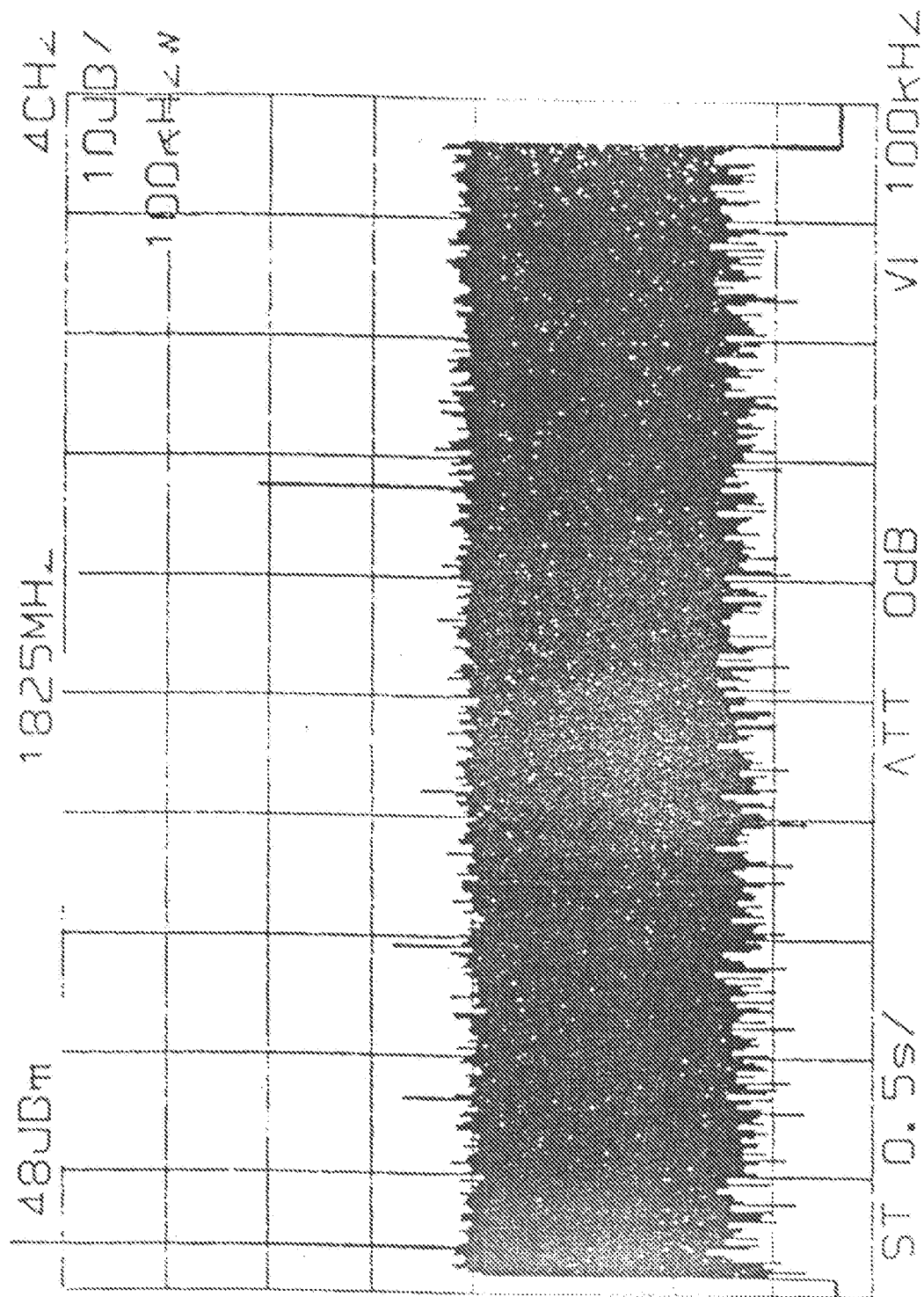


FIG. 5



Ing. Giorgio CHICCACCI
M. Isotta

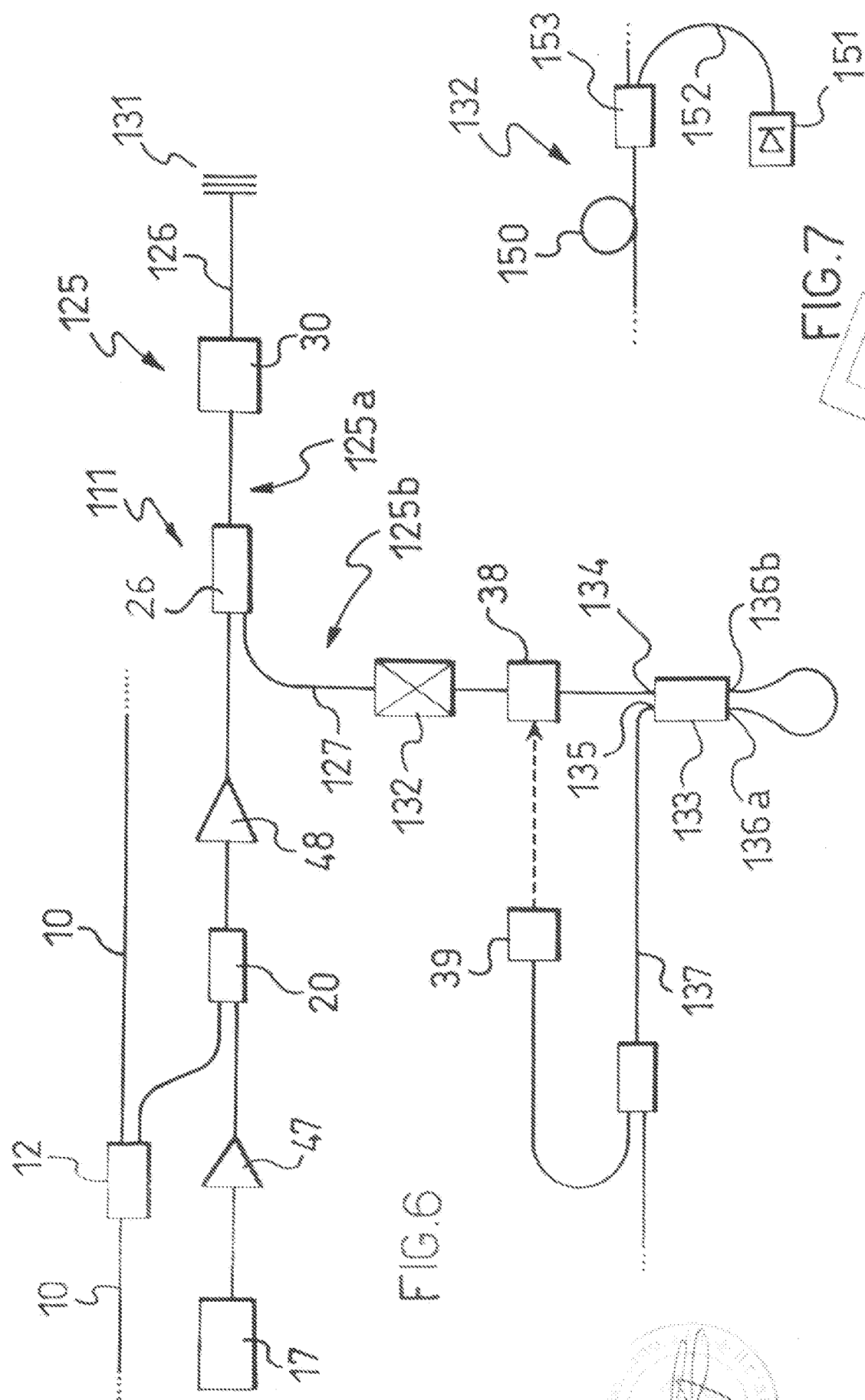
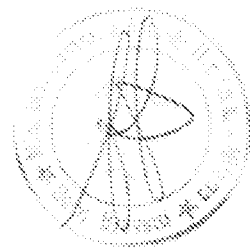


FIG. 6

FIG. 7



Mr. Giorgi Chikhradze

Hydroinformatics