



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

DOMANDA NUMERO	102001900980794
Data Deposito	21/12/2001
Data Pubblicazione	21/06/2003

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
H	04	H		

Titolo

PROCEDIMENTO E APPARATO DI RICEZIONE DI SEGNALI RADIO, PARTICOLARMENTE DI TIPO NUMERICO MULTI-PORTANTE.

Vedi istanza del 25/11/02

DESCRIZIONE dell'Invenzione Industriale dal titolo:

"Procedimento e apparato di ricezione di segnali radio, particolarmente di tipo numerico multi-portante"

a nome: **RAI Radiotelevisione Italiana S.p.A.**, di nazionalità italiana, con sede in viale Mazzini, 14, 00195 Roma.

Inventori designati: ing. Bruno SACCO, residente in via Cravero 14, 10154 Torino; ing. Andrea BERTELLA, residente in via Volpiano 19, 10071 Borgaro (TO); ing. Paolo Benvenuto FORNI, residente in via Montemaggiore 12, 13881 Cavaglià (TO); tutti di nazionalità italiana.

Depositato il 21 DIC. 2001 al No. TO 2001/...

L'invenzione riguarda un nuovo procedimento e apparato per la ricezione di segnali radio affetti da deterioramento dovuto alla trasmissione in presenza di echi o cammini multipli. L'invenzione è destinata ad essere applicata soprattutto, benché non esclusivamente, alla ricezione di segnali numerici trasmessi con modulazione in multiplex codificato a divisione di frequenza, ovvero multi-portante, noto come C-OFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex), e in particolare a quelli audio e video numerici trasmessi secondo lo standard europeo ETSI ETS 300 744, *"Digital broadcasting system for television, sound and data services; Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television"* (in seguito indicato per semplicità con la sigla DVB-T, Digital Video Broadcasting - Terrestrial).

Come noto, il segnale ricevuto da un'antenna è, in generale, la sovrapposizione di una molteplicità di contributi costituiti dalle onde propa-

dr. ing. C. Spandonari

gantisi dall'antenna trasmittente all'antenna ricevente, attraverso differenti cammini, dovuti alla disomogeneità dell'ambiente trasmissivo, che causa riflessioni, diffrazioni e curvatura dei raggi. Per semplicità, qui di seguito verranno tutti chiamati echi o raggi, intendendo comunque tutte le possibilità. Tali contributi si sommano sull'antenna ricevente in modo vettoriale, cioè ciascuno con il proprio modulo e la propria fase. La sovrapposizione fra due contributi al segnale può quindi dar luogo a un incremento d'ampiezza del segnale ricevuto in caso di sostanziale accordo di fase fra di essi, ma può invece deteriorare il segnale in caso di sfasamento, fino ad annullarlo qualora i due contributi in opposizione di fase abbiano uguale ampiezza. Inoltre, per una data collocazione del ricevitore rispetto all'ambiente trasmissivo, il deterioramento del segnale è evidentemente funzione della frequenza, dalla quale, a parità di circostanze esterne (quali posizioni del trasmettitore e del ricevitore, posizioni e natura degli ostacoli sul canale di trasmissione, direzionalità dell'antenna, ecc.), dipende l'entità dello sfasamento e in minor misura anche l'attenuazione del modulo.

Nel caso particolare del C-OFDM, come usato per esempio nella cosiddetta televisione digitale terrestre, in cui l'informazione da trasmettere è suddivisa su un grande numero di frequenze portanti, il segnale ricevuto dal ricevitore potrà presentare buchi di ricezione (notches) variamente collocati sullo spettro delle frequenze portanti, con tassi d'errore che in certi casi possono essere troppo grandi per essere corretti dalla correzione d'errore che pure è incorporata nel sistema. Come apparirà evidente all'esperto nel ramo, la posizione sullo spettro e l'entità

dr. ing. C. Spandonari

di tali buchi di ricezione dipende fortemente dalla posizione del ricevitore rispetto al canale trasmissivo, con possibilità di variazioni anche drastiche nella qualità della ricezione anche per spostamenti molto piccoli del ricevitore, per esempio spostamenti di soli 10 o 20 cm nel caso di un ricevitore televisivo digitale terrestre, considerando che le lunghezze d'onda delle portanti sono inferiori a 1 m.

Per proteggersi dal degradamento del segnale dovuto alle suddette cause, il sistema C-OFDM è dotato di un potente meccanismo di correzione d'errore, che tuttavia risulta poco efficace nei confronti di segnali secondari dovuti a echi corti. Infatti, da indagini di laboratorio e simulazioni condotte presso il Centro Ricerche e Innovazione Tecnologica della RAI a Torino si è constatato che per valori molto piccoli di τ si ha un degradamento delle prestazioni. Questo è dovuto al fatto che un eco corto causa un buco nella risposta in frequenza $H(\omega)$ del canale, il quale buco ha una larghezza superiore alla somma di quelli causati da un eco lungo. La fase dell'eco, e quindi la posizione in frequenza del buco, giocano un ruolo importante per valori piccoli di τ , mentre così non è per valori grandi di τ . In un ambiente in cui sia presente uno o più echi corti, quindi, la ricezione potrà risultare più o meno degradata, a seconda delle fasi degli echi. La probabilità di corretta ricezione su un singolo canale radio può dunque crollare in presenza di echi corti, e la probabilità di corretta ricezione di un numero $N > 1$ di diversi canali, essendo il prodotto delle singole probabilità, crolla in modo esponenziale.

Coll'espressione "eco corto" s'intenderà in tutta la descrizione e nelle rivendicazioni un eco il cui ritardo è dell'ordine di grandezza del reci-

dr. ing. C. Spandonari

proco della banda del segnale ricevuto.

L'invenzione ha quindi lo scopo principale di realizzare un procedimento e un apparato di ricezione di segnali radio, particolarmente di tipo numerico multi-portante quali segnali C-OFDM, che sia in grado di rimediare al degradamento della ricezione dovuto alla sovrapposizione sfavorevole di segnali propagati lungo cammini diversi.

Un altro scopo è di realizzare il suddetto apparato di ricezione, in versione autonoma, che possa funzionare collegato ad un ricevitore convenzionale ma indipendentemente da esso, in modo da poter essere aggiunto come accessorio ad un tale ricevitore.

L'invenzione raggiunge i suddetti e altri scopi e vantaggi con un procedimento di ricezione di segnali radio, particolarmente di tipo numerico multi-portante, avente le caratteristiche esposte nella rivendicazione 1.

L'invenzione prevede anche un apparato attuante il suddetto procedimento e avente le caratteristiche esposte nella rivendicazione 2.

Le altre rivendicazioni subordinate allegate definiscono altre caratteristiche vantaggiose dell'invenzione.

In sostanza, nel sistema in oggetto si usa un sistema d'antenne che, mediante la commutazione di fascio in un numero discreto di direzioni differenti, può discriminare parte degli echi che producono il degrado, incrementando il contributo di quelli favorevoli. Accentuando tale azione mediante lo spostamento contemporaneo del centro di fase del sistema radiante incrementa l'efficacia del sistema.

Le caratteristiche, le finalità ed i vantaggi dell'invenzione risulteranno più chiaramente dalla descrizione dettagliata di alcune sue realizzazioni

dr. ing. C. Spandonari

preferite, e riferentisi ai disegni allegati, dati a titolo di esempio non limitativo, nei quali:

la Fig. 1 è un diagramma della risposta all'impulso del canale in presenza di due raggi di propagazione del segnale;

la Fig. 2 è un diagramma che illustra la somma vettoriale dei contributi dei due raggi della Fig. 1;

la Fig. 3 è un grafico della risposta in frequenza di canale in presenza di due raggi di propagazione del segnale;

la Fig. 4 è un diagramma simile alla Fig. 1, in presenza di una molteplicità di raggi di propagazione del segnale;

la Fig. 5 è un grafico della risposta in frequenza di canale in presenza di una molteplicità di raggi di propagazione del segnale;

la Fig. 6 è uno schema a blocchi di un apparato di ricezione incorporante gli insegnamenti dell'invenzione;

la Fig. 7 è una vista in prospettiva di una schiera d'antenne utilizzabile coll'apparato di ricezione dell'invenzione;

la Fig. 8 è una vista in pianta della schiera d'antenne della Fig. 7;

la Fig. 9 è una vista in prospettiva di un'antenna girevole utilizzabile coll'apparato di ricezione dell'invenzione;

la Fig. 10 è uno schema a blocchi di una realizzazione preferita di analizzatore facente parte dell'invenzione;

la Fig. 11 è un grafico per illustrare il funzionamento dell'invenzione;

la Fig. 12 è un grafico per illustrare il funzionamento dell'invenzione;

la Fig. 13 è un grafico per illustrare il funzionamento dell'invenzione;

la Fig. 14 è una tabella di possibili configurazioni di livelli del segnale

dr. ing. C. Spantonari

ricevuto in un analizzatore secondo la Fig. 10;

la Fig. 15 è uno schema a blocchi di un apparato autonomo di ricezione da impiegare insieme a un radioricevitore convenzionale; e

la Fig. 16 è uno schema a blocchi di un radioricevitore incorporante gli insegnamenti dell'invenzione.

Come già osservato sopra, il segnale ricevuto da un'antenna è, in generale, la sovrapposizione di una molteplicità di contributi costituiti dalle onde propagantisi dall'antenna trasmittente all'antenna ricevente, attraverso differenti cammini, dovuti alla disomogeneità dell'ambiente trasmissivo, che causa riflessioni, diffrazioni e curvatura dei raggi. Per semplicità, qui di seguito, verranno tutti chiamati echi o raggi, intendendo comunque tutte le possibilità. Tali contributi si sommano sull'antenna ricevente in modo vettoriale, cioè ciascuno con il proprio modulo e la propria fase. Come illustrato in Fig. 1, nel caso elementare di due soli raggi, a_1 e a_2 con ritardo τ , la risposta all'impulso del canale sarà:

$$h(t) = a_1 \delta(t) + a_2 \delta(t - \tau)$$

dove $\delta(t)$ è la funzione Delta di Dirac, e a_1 e a_2 sono valori complessi. In Fig. 2 è rappresentata la somma dei due vettori, considerando zero la fase di a_1 e φ_r la fase di a_2 . Tale fase è introdotta essenzialmente dalla riflessione o diffrazione che ha cagionato l'eco, nonché dall'antenna ricevente, se questa non è isotropica nel piano dei raggi. La risposta in frequenza, ottenuta dalla $h(t)$ mediante trasformata di Fourier, risulta:

$$H(\omega) = a_1 + a_2 e^{-j(\omega\tau + \varphi_2)}$$

Il modulo di $H(\omega)$ avrà l'aspetto mostrato in Fig. 3, con frequenze alle quali il segnale risulta attenuato per interferenza distruttiva, e dove

dt. Ing. C. Spandonar.

l'ondulazione è tanto più pronunciata quanto più $|a_1| \neq |a_2|$. Nella Figura è indicato con C il canale radio del segnale, per evidenziare il confronto coll'ondulazione.

All'aumentare del ritardo τ dell'eco, l'argomento dell'esponenziale varia più rapidamente con ω , quindi l'ondulazione è più fitta. Nella banda del canale radio utilizzato vi saranno dunque più "buchi" (*notch*), ma sempre più stretti. La posizione assoluta del "pettine" di buchi dipende dalla fase φ_2 del raggio a_2 (rispetto alla fase di a_1).

Più in generale, nel caso di una molteplicità di cammini di propagazione del segnale, con contributi $a_i = |a_i| \cdot e^{j\varphi_i}$, il grafico vettoriale assume l'aspetto illustrato nella Fig. 4. La risposta all'impulso risulta:

$$h(t) = \sum_i a_i \delta(t - \tau_i)$$

e la corrispondente risposta in frequenza avrà in generale un andamento molto irregolare, come esemplificato in Fig. 5, dove di nuovo è raffigurato anche il canale radio utilizzato C.

Il segnale ricevuto è quindi affetto dalla risposta del canale secondo la seguente equazione:

$$Y(\omega) = X(\omega) \cdot H(\omega)$$

dove $X(\omega)$ e $Y(\omega)$ sono le trasformate di Fourier del segnale trasmesso e del segnale ricevuto, rispettivamente. L'azione di pesatura, frequenza per frequenza, da parte della $H(\omega)$ sul segnale trasmesso ha diversi effetti sulla ricezione, a seconda del tipo di modulazione usata. I ricevitori per modulazioni analogiche presentano solitamente distorsioni sul segnale demodulato; quelli per modulazioni digitali presentano un aumento del tasso d'errore, e riduzione del margine operativo sul collegamento radio.

dr. Ing. G. Spandonari

Nel caso particolare del C-OFDM, i buchi presenti nella $H(\omega)$ attenuano le rispettive frequenze del segnale, fin oltre il valore di soglia del rapporto segnale/rumore (C/N) al di sotto del quale la singola sottoportante cede, con conseguente tasso d'errore elevatissimo (≈ 0.5) di quella sottoportante. Globalmente, il ricevitore C-OFDM, che incorpora un potente correttore di errore, riesce a operare in presenza di un certo numero di sottoportanti sotto soglia, ma oltre tale condizione cede l'intero ricevitore.

Le prestazioni di un tipico ricevitore C-OFDM, dunque, sono tali che il funzionamento, o comunque il limitato degradamento delle prestazioni, è descritto da una curva nel piano τ -NML, dove τ è il ritardo del raggio e NML (noise margin loss) è l'incremento del rapporto C/N richiesto per compensare il degradamento; tale curva è essenzialmente piatta fino a valori di τ prossimi alla durata dell'intervallo di guardia, poi diverge.

Con riferimento alla Fig. 6, nel sistema secondo una prima realizzazione preferita dell'invenzione più antenne fisse $R_1, R_2, \dots, R_N$ sono disposte in rispettive posizioni per ricevere segnali provenienti da diversi punti dello spazio. Chiamando $H_i(\omega)$ la risposta in frequenza del canale definito tra l'antenna trasmittente e la i -esima antenna ricevente, i punti dello spazio devono essere distanziati in modo tale da ottenere l'indipendenza statistica tra le $H_i(\omega)$.

Le uscite delle antenne $R_1, R_2, \dots, R_N$ sono collegate a rispettivi ingressi di un selettore S , indicato schematicamente, il quale eroga uno dei segnali d'antenna su un'uscita U , che fa capo all'ingresso di un radio-ricevitore convenzionale R . Il segnale sull'uscita U è applicato anche a un

Dr. Ing. C. Spandonari

analizzatore A, descritto nel seguito, il quale esegue una stima del segnale ricevuto, in termini di distribuzione spettrale e/o di tasso di errore e/o di abilità di un ricevitore di ricevere adeguatamente il segnale, e, nel caso che la qualità del segnale corrente venga stimata inferiore a una soglia prefissata, comanda la commutazione del selettore S sull'uscita di un'antenna successiva.

Nelle Figg. 7 e 8 è illustrata una schiera esemplificativa di quattro antenne consistenti in rispettivi radiatori R1, R2, R3, R4, direzionali o a bassa direzionalità, disposti nello spazio secondo quattro settori equispaziati concorrenti a 360° . Nel caso di impiego di elementi moderatamente direttivi le coperture dei singoli elementi devono risultare parzialmente sovrapposte e fra loro complementari, ma non necessariamente direzionate come in Fig. 8 rispetto agli elementi. I singoli radiatori sono disposti su una circonferenza di diametro tipico variabile tra 0.3 e 0.4 volte la lunghezza d'onda alla frequenza centrale della banda di funzionamento.

Dei quattro radiatori presenti, uno solo è attivo, mentre gli altri operano come elementi parassiti e contribuiscono alla determinazione di un diagramma d'irradiazione anisotropico. Il selettore S consente la scelta dell'elemento attivo attuata mediante connessione alla linea di discesa. In Fig. 8 è indicato con D il diagramma d'irradiazione per la schiera costituita di un elemento attivo e tre elementi passivi, mentre è indicato con F il luogo dei centri di fase al variare dell'elemento attivo. Per una descrizione più particolareggiata di una schiera di radiatori di questo tipo si veda Stephanie L. Preston et al., "Base-Station Tracking in Mobile

dr. Ing. C. Sydonari

Communications Using a Switched Parasitic Antenna Array", su *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 46, No. 6, giugno 1998.

Come si vede nella Fig. 8, la combinazione dei contributi ricevuti dal radiatore attivo e dai tre radiatori passivi produce un effetto di direzionalità in un settore angolare di orientazione variabile con la scelta del radiatore attivo. L'apertura del diagramma di irradiazione risultante è maggiore alla frequenza minima di funzionamento ed inferiore alla frequenza massima di funzionamento, mentre l'orientamento non è prefissato, ma cambia al variare della selezione dell'elemento attivo. Una realizzazione ad n elementi radianti è caratterizzata da n possibilità di orientazione. Contemporaneamente alla commutazione dell'elemento ed a quella del fascio si ha la rotazione del centro di fase del sistema radiante complessivo, in un intorno del centro geometrico del sistema radiante. La funzionalità dell'antenna è tale da evidenziare comunque una direzionalità e da variare comunque la posizione del centro di fase corrispondentemente alla variazione del radiatore scelto.

La schiera può incorporare radiatori in entrambe le polarizzazioni, ma in questo caso dovrà essere previsto, come parte del selettore, anche un dispositivo di selezione della polarizzazione. Si possono prevedere uno o più piani di massa disposti parallelamente assialmente lungo la verticale passante per il centro geometrico delle posizioni dei radiatori, usati come riflettori per migliorare la direttività verticale del fascio; analogamente può essere presente una rete di adattamento di impedenza. E' anche prevedibile, per versioni a banda estesa, che possano coesistere nell'apparato più realizzazioni su sottobande complementari alla copertura della banda

complessiva.

Più in generale, il selettore può consistere in un combinatore atto a eseguire una combinazione lineare dei vari contributi di segnale dalle antenne:

$$y(t) = a_1 \cdot y_1(t) + a_2 \cdot y_2(t) + a_3 \cdot y_3(t) + \dots$$

dove y_i sono i segnali provenienti dalle antenne, e a_i sono coefficienti complessi, che oltre ai valori 0 o 1 possono quindi assumere altri valori per dar luogo a ulteriori, diversi diagrammi d'irradiazione equivalenti.

In luogo di una schiera di radiatori fissi selezionabili mediante selettore, come descritto e illustrato con riferimento alle Figg. 7 e 8, secondo l'invenzione si può adottare un sistema d'antenna costituito da un unico radiatore a bassa direzionalità oppure da una schiera di elementi radianti del tipo descritto sopra, con elemento radiante attivo preselezionato, il quale sistema d'antenna sia in grado di ruotare con continuità nel piano orizzontale sotto comando di un attuatore pilotato dall'analizzatore. Questo sistema d'antenna è equivalente al sistema delle Figg. 7 e 8, in quanto può mutare la direzione del fascio d'irradiazione, col vantaggio che, oltre alle quattro direzioni ortogonali del sistema delle Figg. 7 e 8, questo può assumere anche posizioni intermedie. Questo sistema apparirà ovvio all'esperto nel ramo, e quindi non viene ulteriormente descritto.

In alternativa, anche con un'antenna onnidirezionale si può ottenere un cambiamento significativo delle caratteristiche di ricezione del segnale spostando l'antenna nel piano, per spostare così il suo centro di fase e quindi le fasi reciproche degli echi. Coll'espressione "direzionalità d'antenna" si intende, nella presente descrizione, riferirsi anche a quest'ultimo

un. ing. G. Spadonari

tipo di modifica delle condizioni di ricezione.

A titolo d'esempio, nella Fig. 9 è illustrato un radiatore RO, onnidirezionale o a bassa direzionalità, portato da un piatto P montato a sbalzo su un braccio B che è condotto in rotazione da un motore M. L'avanzamento del motore M sotto controllo dell'analizzatore fa mutare il centro di fase del radiatore RO ed eventualmente la direzione del suo diagramma di radiazione.

Per la valutazione del segnale d'antenna nell'analizzatore A, l'invenzione prevede una prima fase di analisi della distribuzione spettrale di energia del segnale, cioè alla suddivisione della banda del canale in più sottobande, direttamente alla frequenza del canale radio o, equivalentemente, dopo conversione di frequenza tipica di un ricevitore supereterodina.

Quest'analisi è preferibilmente eseguita mediante un filtro sintonizzabile, la cui frequenza viene spostata a comando sulla banda del segnale di interesse, benché si possa impiegare anche un banco di filtri sulla banda del segnale di interesse, o ancora un ricevitore selettivo o analizzatore di spettro.

In una seconda fase del procedimento dell'invenzione, la distribuzione spettrale di energia così ottenuta viene elaborata per estrarre la posizione ed entità dei buchi della $H(\omega)$ causati dagli echi corti, e, in base ai risultati, viene stimata la qualità del segnale.

Infine, in una terza fase, l'invenzione prevede che, se la suddetta condizione monitorata esce da una soglia prestabilita, vengano automaticamente ripetute le suddette due fasi di analisi del segnale per

dr. Ing. C. Spadovani

ciascuna delle condizioni di direzionalità (o meglio di diversity) del sistema d'antenna e venga poi scelta come condizione di funzionamento stabile quella che fornisce la stima migliore.

Le suddette fasi di analisi e stima del segnale per le diverse condizioni d'antenna possono essere eseguite automaticamente a intervalli di tempo periodici, ma, nell'implementazione ritenuta attualmente più vantaggiosa, il segnale viene valutato per ognuna delle condizioni d'antenna al momento dell'accensione dell'apparato e preferibilmente di nuovo a ogni cambio di canale, ma soprattutto, le suddette fasi dovranno essere eseguite ogni volta che la qualità del segnale crolla al disotto del tasso d'errore minimo per una ricostruzione utile del segnale nel ricevitore.

Lo schema a blocchi della Fig. 10 si riferisce a una realizzazione preferita di analizzatore A (v. Fig. 6), atto a stimare gli echi corti con sostanziale reiezione degli echi lunghi: il segnale ricevuto, $y(t)$, viene filtrato da un filtro passa-banda sintonizzabile PB con risposta in frequenza $F(\omega-\alpha)$, dove $F(\omega)$ è il filtro base passa-basso e α è la frequenza centrale.

L'uscita del filtro PB è collegata a un circuito quadratore CQ che fornisce il quadrato del suo segnale d'ingresso, e la sua uscita è a sua volta collegata a un integratore I per fornire un segnale d'uscita $u(\alpha)$ che costituisce perciò una stima della potenza nel filtro PB. Il filtro PB viene spostato in frequenza sulla banda del segnale ricevuto, variando α .

Perché la stima $u(\alpha)$ sia sensibile all'effetto degli echi corti ed abbia invece una buona reiezione dell'effetto degli echi lunghi, il filtro passa banda dovrà avere una larghezza di banda opportuna: si può verificare, osservando i grafici delle Figg. 10 e 11, che al variare di α l'uscita $u(\alpha)$

Dr. Ing. C. Spandonari

non ricopia l'increspatura di $|H(\omega)|^2$ se l'increspatura stessa è tale da presentare molti cicli all'interno della banda del filtro (Fig. 12).

Questo effetto permette di attenuare il contributo degli echi lunghi, che non è gestibile efficacemente dal sistema d'antenna, e, nel caso del segnale C-OFDM, non degrada la ricezione.

Il sistema descritto in Fig. 10 non è lineare, ma si può dimostrare che due segnali identici in ingresso, sfalsati nel tempo di un ritardo T_1 , danno una risposta in uscita che decresce all'aumentare di T_1 .

Infatti, sia $y(t) = \delta(t) + \delta(t - T_1)$. Allora l'uscita del sistema sarà:

$$\begin{aligned} u(\alpha) &= \\ &= \int_{t=-\infty}^{\infty} [\delta(t) + \delta(t - T_1)] * [f(t) \cdot e^{j\alpha t}]^2 dt = \\ &= \int_{t=-\infty}^{\infty} |f(t) \cdot e^{j\alpha t} + f(t - T_1) \cdot e^{j\alpha(t-T_1)}|^2 dt = \\ &= \int_{t=-\infty}^{\infty} |f(t)|^2 \cdot e^{j[\phi\{f(t)\} + \alpha t]} + |f(t - T_1)|^2 \cdot e^{j[\phi\{f(t-T)\} + \alpha(t-T)]} + 2|f(t)| \cdot |f(t - T_1)| \cdot \cos(\phi\{f(t)\} - \phi\{f(t - T)\} + \alpha \cdot T_1) dt = \end{aligned}$$

e utilizzando la formula di Carnot:

$$\begin{aligned} &= \int_{t=-\infty}^{\infty} |f(t)|^2 + |f(t - T_1)|^2 + 2|f(t)| \cdot |f(t - T_1)| \cdot \cos(\phi\{f(t)\} - \phi\{f(t - T)\} + \alpha \cdot T_1) dt = \\ &= \int_{t=-\infty}^{\infty} |f(t)|^2 + \int_{t=-\infty}^{\infty} |f(t - T_1)|^2 + 2 \int_{t=-\infty}^{\infty} |f(t)| \cdot |f(t - T_1)| \cdot \cos(\phi\{f(t)\} - \phi\{f(t - T)\} + \alpha \cdot T_1) dt \end{aligned}$$

I primi due termini sono costanti; il terzo termine è condizionato dal prodotto $|f(t)| \cdot |f(t - T_1)|$, che è non nullo se T_1 è piccolo rispetto alla durata di $f(t)$, diversamente tende a zero, come esemplificato in Fig. 13, assumendo filtro con $f(t)$ a campana.

Sulla base di quanto esposto sopra, si è constatato che per la stima dei buchi dovuti ai soli echi corti, che tendono a creare distribuzioni spettrali del tipo illustrato nella Fig. 11, è sufficiente suddividere la banda del

dr. ing. C. Spandonari

segnale in tre sottobande. Pertanto, in una realizzazione particolarmente vantaggiosa dell'invenzione, nell'analizzatore della Fig. 10 si fanno assumere ad α tre valori di frequenza distribuiti regolarmente sulla banda del segnale. Si misurano allora, a valle del filtro di analisi, i valori a_1 , a_2 e a_3 per il livello del segnale. Nella Fig. 14 sono riportate le configurazioni spettrali ottenibili al variare della fase dell'eco, a seconda dei valori relativi assunti dai valori a_1 , a_2 e a_3 :

- a) dosso sinistro
- b) dosso centrale
- c) dosso destro
- d) tilt decrescente
- e) allineamento dei livelli
- f) tilt crescente
- g) notch sinistro
- h) notch centrale
- i) notch destro

si usano i seguenti indicatori:

$dp_1 = a_2 - a_1$ (stima della derivata prima, sinistra)

$dp_2 = a_3 - a_2$ (stima della derivata prima, destra)

$2dp = a_3 - a_1$ (stima della derivata prima, media)

In base a prove di laboratorio si sono potuti individuare degli intervalli di valori degli indicatori suddetti in grado di discriminare differenti condizioni di criticità del segnale ricevuto.

A titolo di esempio, in esperimenti di ricezione eseguiti in presenza di diverse combinazioni di valori di dp_1 , dp_2 e $2dp$, adottando un misuratore

dr. ing. C. Spandonari

logaritmico del livello e un filtro PB da 2,5 MHz, si è ricavata la seguente tabella empirica dei criteri di scelta della direzionalità dell'antenna:

TABELLA I

Parametri misurati	Criticità dello spettro
$dp1 > 30$	molto critico
$dp2 < -30$	molto critico
$dp1 > 20$ and $10 < dp2 < -10$	molto critico
$10 < dp1 < -10$ and $dp2 < -20$	molto critico
$-9 < 2dp < 9$	buono
$15 < dp1 < 22$ and $-3 < dp2 < 3$	buono
$-22 < dp2 < -15$ and $-3 < dp1 < 3$	buono
$-4 < dp1 < 4$ and $12 < dp2 < -12$	buono
in tutti gli altri casi	critico

In base alla tabella sopra riportata, l'analizzatore comanda le posizioni o direzionalità della antenna o schiera d'antenne.

L'apparato secondo l'invenzione può essere realizzato sia come dispositivo separato, immediatamente applicabile a qualsiasi ricevitore disponibile sul mercato, oppure esso, naturalmente, può essere integrato nel ricevitore stesso. In entrambi i casi il sistema d'antenna direzionabile rimane identico, mentre l'analizzatore può assumere implementazioni diverse.

Nella Fig. 15 è rappresentato lo schema a blocchi di un apparato autonomo secondo l'invenzione, associabile a un ricevitore televisivo digitale secondo il protocollo DVB-T. Esso comprende un sintonizzatore televisivo T, il quale riceve dall'uscita U di un sistema d'antenna SA, del tipo

Dr. Ing. C. Grandonari

illustrato nelle Figg. 7 e 8, lo stesso segnale che va all'ingresso d'antenna di un ricevitore televisivo convenzionale (non illustrato) e, dopo averlo convertito a una frequenza intermedia, lo applica, attraverso un filtro di canale FC, a un amplificatore AMP. Il segnale d'uscita dell'amplificatore AMP è applicato a un filtro passa-banda di analisi (vedi Fig. 10), di larghezza 2,5 MHz a frequenza controllabile (ad esempio controllata da una tensione, tramite un diodo varicap o varactor o altro componente), il cui segnale d'uscita è valutato da un misuratore di livello ML, per esempio come descritto sopra con riferimento alla Fig. 10.

Il dispositivo comprende infine un circuito di controllo CC che attua il ciclo operativo secondo il procedimento dell'invenzione: il sintonizzatore T viene sintonizzato sul canale selezionato; il suo segnale d'uscita, ripulito tramite il filtro di canale FC dai segnali provenienti dai canali adiacenti, viene analizzato spostando il filtro di analisi PB a passi discreti e misurando ad ogni passo il livello del segnale nel blocco ML. Come già discusso sopra, con una corretta scelta della banda del filtro di analisi (2,5 MHz è un valore adeguato), la stima in uscita presenta un'elevata reiezione dei contributi dovuti agli echi lunghi. Il segnale di uscita, campionato su (almeno) tre punti in frequenza con passo di campionamento in frequenza opportuno (2,5 MHz è un valore adeguato, benché possa variare tra 10 kHz e 10 MHz), viene elaborato estraendo la derivata prima (Fig. 14). Con la tabella I si mappano i valori di dp_1 , dp_2 e $2dp$ ad un coefficiente di stima. Il sistema d'antenna viene pilotato per posizionare l'antenna nel punto che fornisce il coefficiente di stima più favorevole. Il circuito di controllo CC è di immediata realizzazione mediante tecniche

dr. Ing. C. Spandonari

digitali sulla base delle specifiche operative indicate sopra, e pertanto, per semplicità, se ne omette qui la descrizione.

L'apparato dell'invenzione, anziché essere realizzato come accessorio autonomo funzionante parallelamente al ricevitore televisivo digitale, può essere integrato in quest'ultimo, con notevole vantaggio per la semplicità e conseguente riduzione di costo, in quanto possono essere utilizzati dati e funzioni già disponibili come parte del ricevitore convenzionale, senza doverle replicare. Infatti, l'informazione sulla qualità del segnale ricevuto è solitamente già disponibile direttamente dal demodulatore, in una o più delle seguenti forme:

tasso d'errore di bit (Bit Error Rate, BER);

errore di modulazione (Modulation Error Ratio, MER);

condizione di corretta sincronizzazione (CCS),

le quali sono tutte riconducibili a una misura del tasso d'errore nel segnale.

Se disponibile, il BER oppure il MER vengono direttamente utilizzati come coefficiente di stima da associare a ciascuna posizione d'antenna; la CCS può anche essere convenientemente utilizzata, grazie alla rapidità con cui viene rivelata dal ricevitore.

Un esempio di tale realizzazione è illustrato in Fig. 16, che è lo schema a blocchi di un ricevitore televisivo digitale perfezionato secondo la presente invenzione. La parte convenzionale del ricevitore, racchiusa nel riquadro tratteggiato, comprende un sintonizzatore T, un filtro selettore di canale FC, un amplificatore AMP, e un demodulatore DEM, il quale

dr. Ing. C. Spandonart

pilota stadi successivi di decodifica e visualizzazione dei segnali indicati genericamente con DIS.

Come detto sopra, il demodulatore DEM genera, come parte delle sue funzioni, anche segnali quali il BER, il MER, o il CCS. Uno o più di tali segnali vengono utilizzati in un circuito di controllo CC, analogamente al circuito CC della Fig. 15, per pilotare il sistema d'antenna posizionandolo nel punto che fornisce l'errore minimo.

Il circuito di controllo CC delle Figg. 15 e 16 può vantaggiosamente gestire anche funzioni aggiuntive oltre a quanto descritto. Ad esempio, per l'applicazione alla ricezione televisiva digitale terrestre, questo circuito può ricevere l'informazione di cambio-canale dal telecomando del televisore e predisporre l'analizzatore ad operare sul canale prescelto, il combinatore ad utilizzare parametri di combinazione adeguati, e il sistema d'antenna ad operare sulla banda prescelta. Queste funzioni non indispensabili, in parte convenzionali, risulteranno ovvie per l'esperto nel ramo senza necessità di descriverle dettagliatamente.

dr. Ing. C. Spandonati

RIVENDICAZIONI

1. Procedimento di ricezione di segnali radio digitali multi-portante affetti da deterioramento dovuto alla presenza di echi o cammini multipli, particolarmente segnali C-OFDM, caratterizzato dal fatto che comprende le fasi seguenti:

captare il segnale attraverso un sistema d'antenne a direzionalità regolabile;

stimare la qualità del segnale captato per più stati di direzionalità del sistema d'antenne;

modificare automaticamente la direzionalità del sistema d'antenne scegliendo lo stato di direzionalità che fornisce la stima più favorevole.

2. Procedimento secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che per stimare la qualità del segnale captato si eseguono le fasi seguenti:

analizzare la distribuzione spettrale di energia del segnale su almeno tre sottobande nella banda di frequenze del segnale;

determinare una stima della qualità del segnale basata sulla presenza, posizione ed entità di buchi di energia nello spettro di segnale causati da echi corti.

3. Procedimento secondo la rivendicazione 1, in cui i segnali radio digitali comprendono codici di rivelazione d'errore, caratterizzato dal fatto che per stimare la qualità del segnale captato si eseguono le fasi seguenti:

- demodulare il segnale captato;
- misurare un tasso d'errore nel segnale demodulato .

dr. ing. C. Spandonari

4. Apparato per l'attuazione del procedimento della rivendicazione 1 o 2, caratterizzato dal fatto di comprendere:

- un sistema d'antenne (R1, R2, ..., RN, S) a direzionalità regolabile;
- un analizzatore (A) alimentato dal segnale d'uscita del sistema d'antenne e atto a determinare la presenza, posizione ed entità di buchi di energia nello spettro di segnale causati da echi corti, e a fornire un segnale d'uscita applicato al sistema d'antenne per modificarne la direzionalità ogniqualvolta la posizione ed entità dei buchi di energia si discosta da parametri prefissati.

5. Apparato secondo la rivendicazione 4, caratterizzato dal fatto che il sistema d'antenne è costituito da una schiera di più radiatori fissi (R1, R2, ..., RN) e da un selettore (S) per il prelievo di detto segnale d'uscita da uno qualunque dei radiatori, e dal fatto che l'analizzatore (A) comanda il selettore (S) per mutare il radiatore da cui viene prelevato il segnale d'uscita ogniqualvolta la posizione ed entità dei buchi di energia si discosta da parametri prefissati.

6. Apparato secondo la rivendicazione 5, caratterizzato dal fatto che la schiera di radiatori fissi è costituita di quattro radiatori disposti in quadrato.

7. Apparato secondo la rivendicazione 4, caratterizzato dal fatto che il sistema d'antenne è costituito da un radiatore direzionale ruotabile sotto comando di mezzi motori e dal fatto che l'analizzatore (A) comanda l'avanzamento dei mezzi motori di un incremento prefissato ogniqualvolta la posizione ed entità dei buchi di energia si discosta da parametri prefissati.

dr. ing. G. Spandner

8. Apparato secondo una delle rivendicazioni 4-7, caratterizzato dal fatto che l'analizzatore (A) comprende:

- mezzi filtranti (PB) che ricevono i segnali compresi in un canale desiderato e li suddividono in almeno tre sottobande;
- mezzi misuratori di livello (ML) collegati per ricevere detti segnali suddivisi in sottobande e per fornire rispettive stime della qualità del segnale in ciascuna sottobanda; e
- mezzi di controllo che ricevono dette stime e comandano la variazione della direzionalità del sistema d'antenna in modo da massimizzare la qualità del segnale.

9. Apparato secondo la rivendicazione 8, caratterizzato dal fatto che detti mezzi filtranti (PB) sono costituiti da un filtro passa-banda a frequenza centrale regolabile.

10. Apparato secondo la rivendicazione 8, caratterizzato dal fatto che detti mezzi filtranti (PB) sono costituiti da un un banco di filtri passa-banda.

11. Apparato secondo una delle rivendicazioni 8-10, caratterizzato dal fatto che dette sottobande sono in numero di tre.

12. Apparato secondo la rivendicazione 11, caratterizzato dal fatto che la larghezza di ciascuna di dette sottobande è compresa fra 10 kHz e 10 MHz.

13. Apparato secondo la rivendicazione 12, caratterizzato dal fatto che la larghezza di ciascuna di dette sottobande è 2,5 MHz.

14. Apparato per l'attuazione del procedimento della rivendicazione 3, caratterizzato dal fatto di comprendere:

Dr. Ing. C. Spandonaro

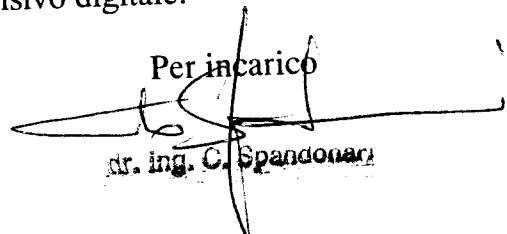
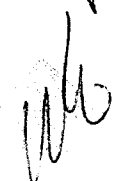
- un sistema d'antenne ($R_1, R_2, \dots, R_N, S$) a direzionalità regolabile;
- mezzi circuitali (T, FC, AMP, DEM) di elaborazione del segnale d'uscita del sistema d'antenne e comprendenti un demodulatore (DEM) atto a fornire una misura d'errore nel segnale; e
- circuiti di controllo atti a regolare la direzionalità del sistema d'antenne in più stati, ricevere e confrontare i tassi d'errore del segnale per i diversi stati di direzionalità del sistema d'antenne e posizionare il sistema d'antenne sullo stato di direzionalità che dà luogo al minor tasso d'errore.

15. Apparato secondo la rivendicazione 14, caratterizzato dal fatto che detto tasso d'errore è il tasso d'errore di bit (bit error rate, BER).

16. Apparato secondo la rivendicazione 14, caratterizzato dal fatto che detto tasso d'errore è il rapporto d'errore di modulazione (modulation error ratio, MER).

17. Apparato secondo la rivendicazione 14, caratterizzato dal fatto che detto tasso d'errore è la condizione di corretta sincronizzazione (CCS) del segnale.

18. Apparato secondo una delle rivendicazioni 14-17, caratterizzato dal fatto che è incorporato in un ricevitore televisivo digitale.

Per incarico

dr. ing. C. Spandonaro


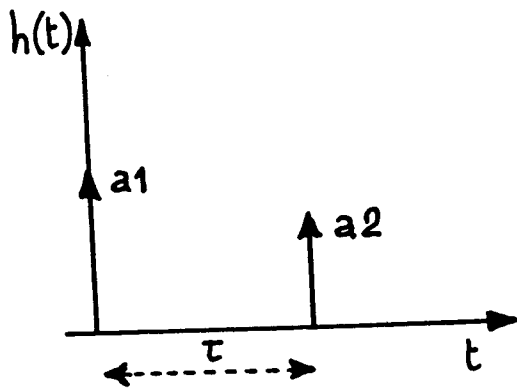


Fig. 1

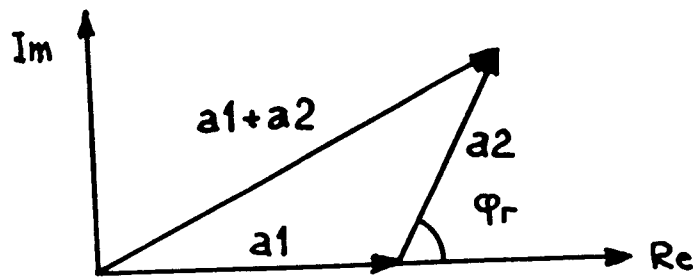


Fig. 2

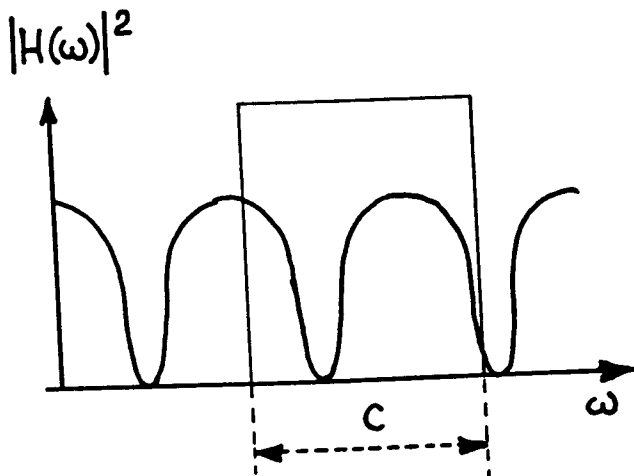


Fig. 3

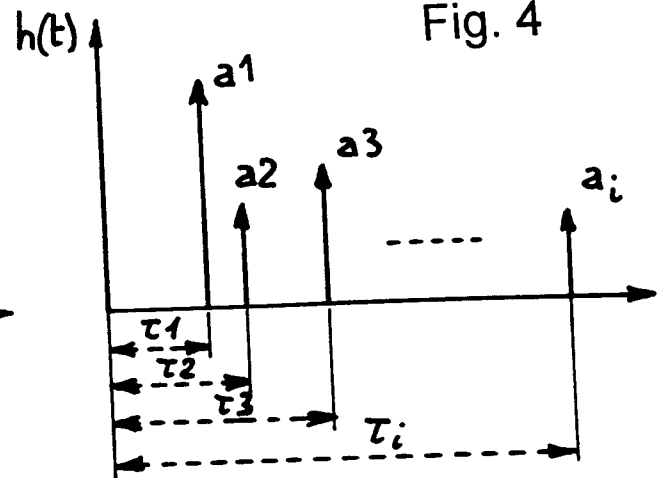


Fig. 4

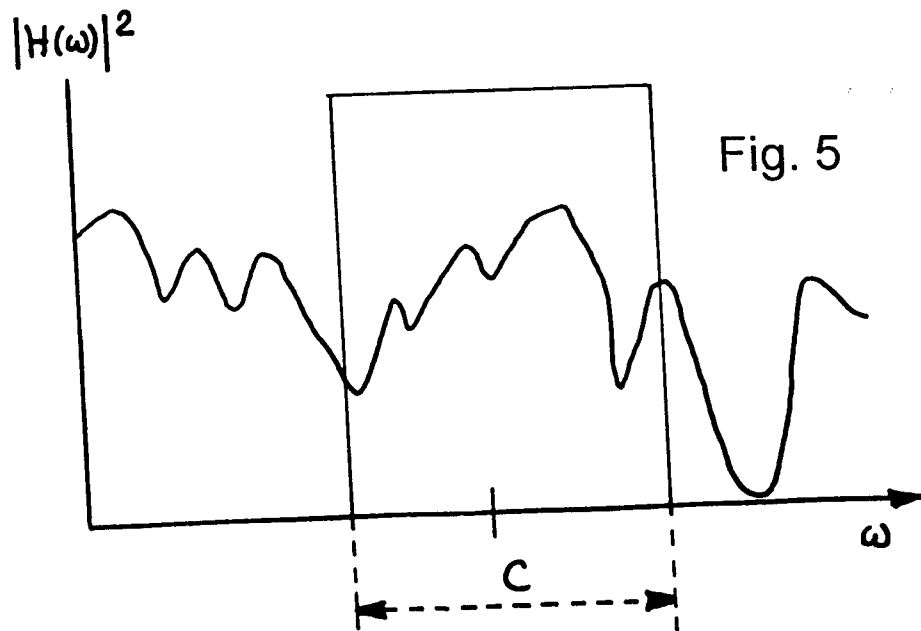


Fig. 5

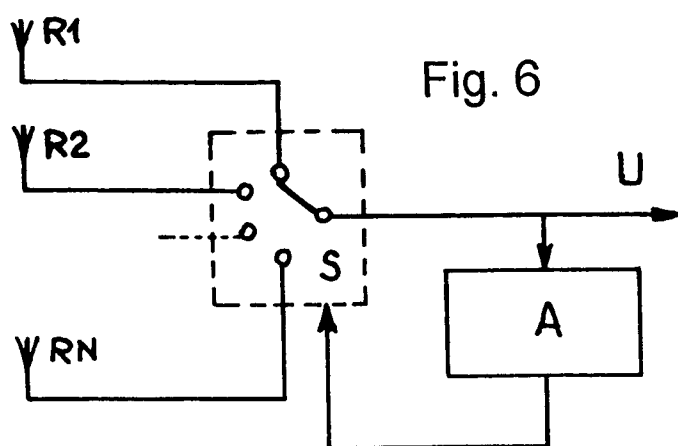


Fig. 6

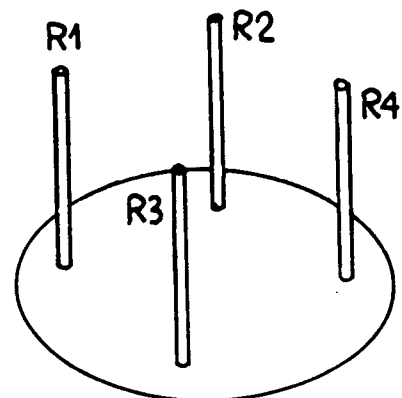


Fig. 7

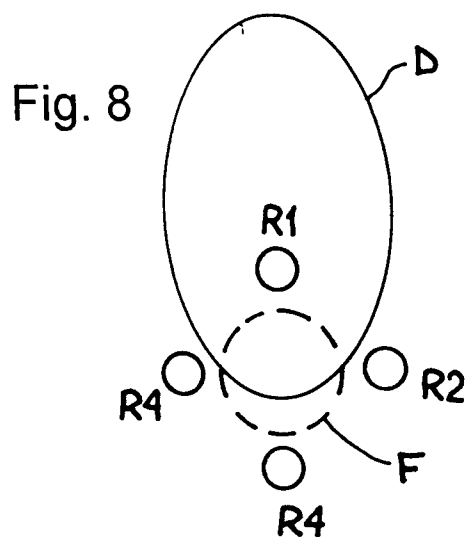


Fig. 8

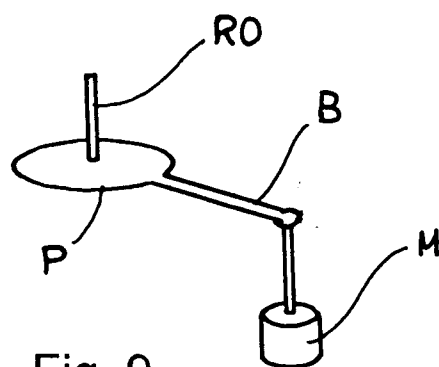


Fig. 9

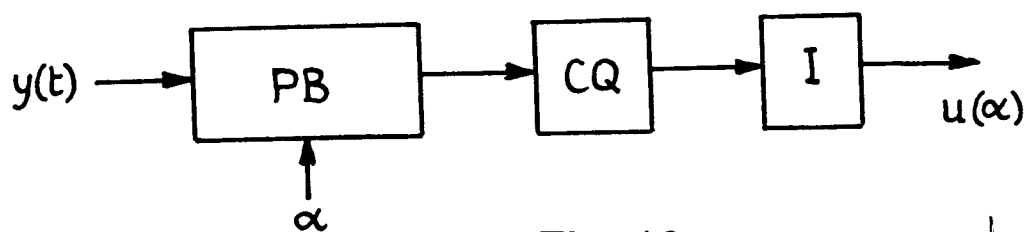


Fig. 10

[Handwritten signature]

[Handwritten signature]
 dr. ing. C. Spandonari

Fig. 11

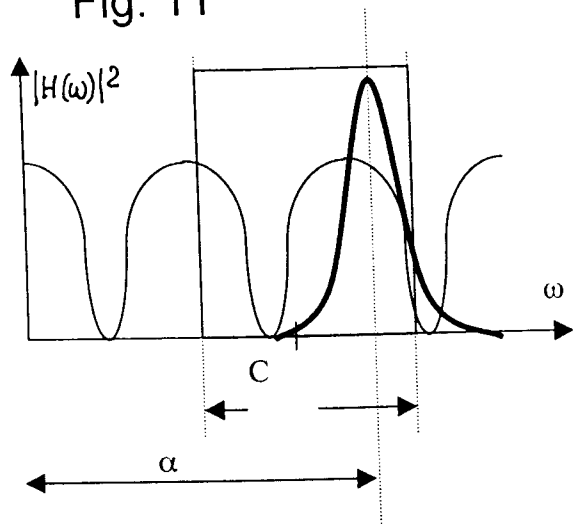


Fig. 12

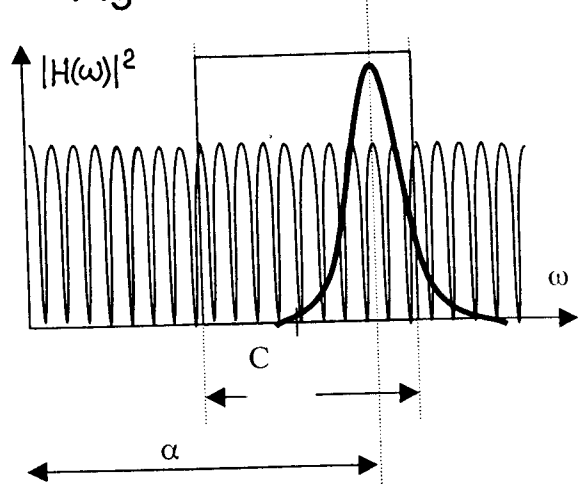


Fig. 13

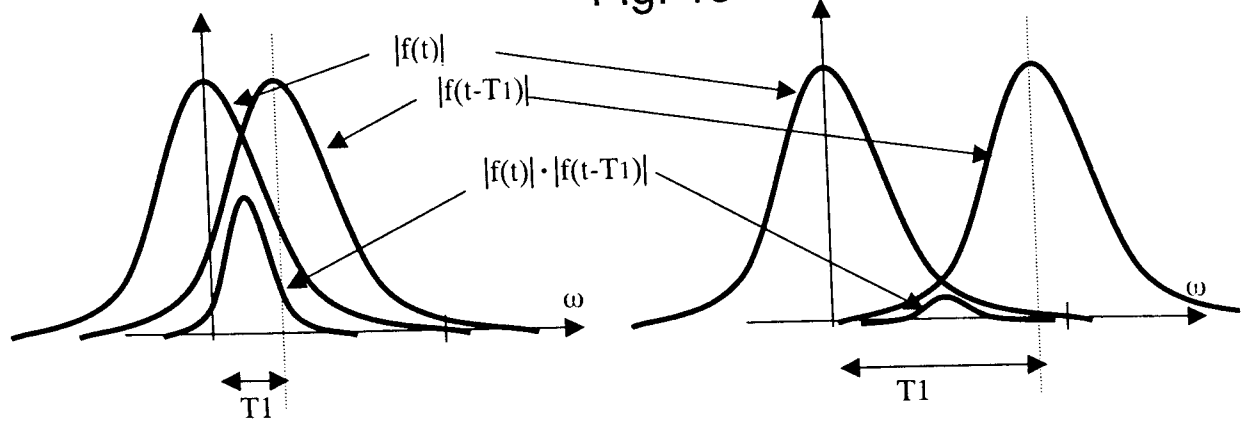
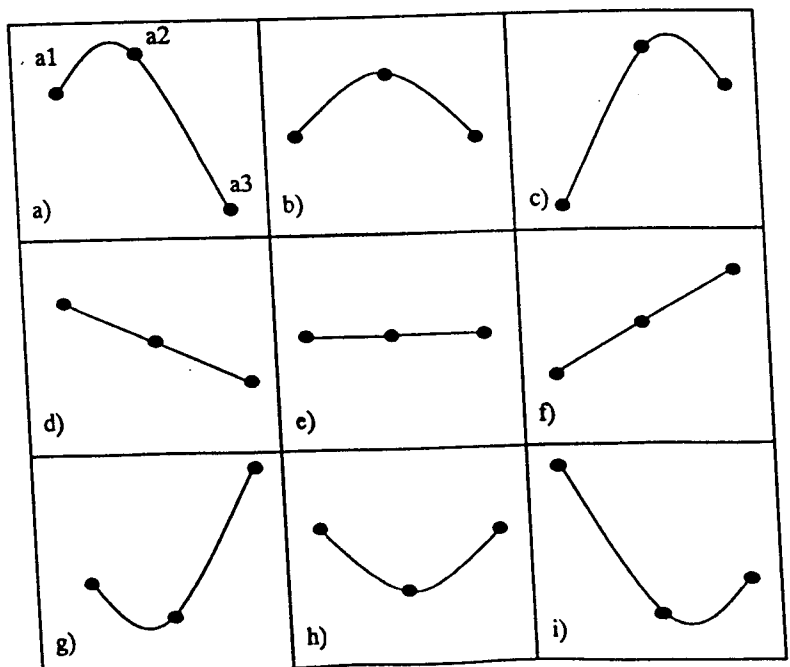


Fig. 14



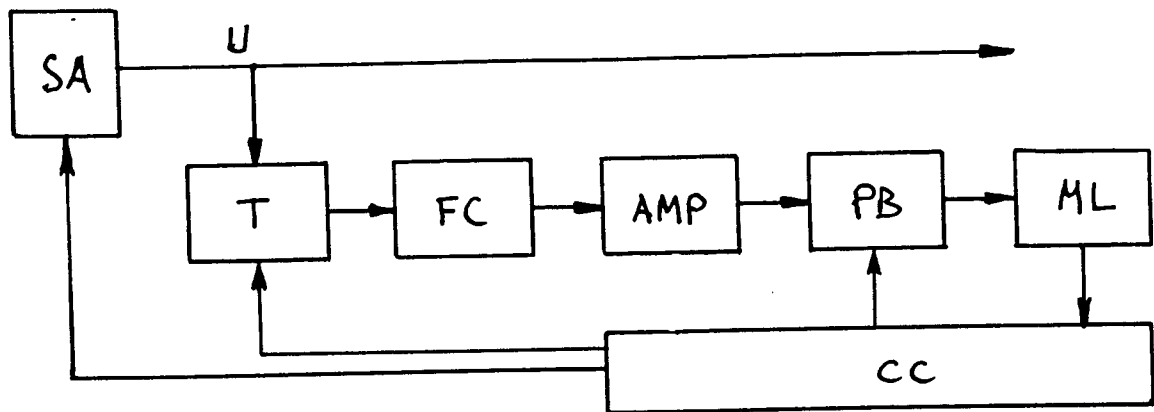


Fig. 15

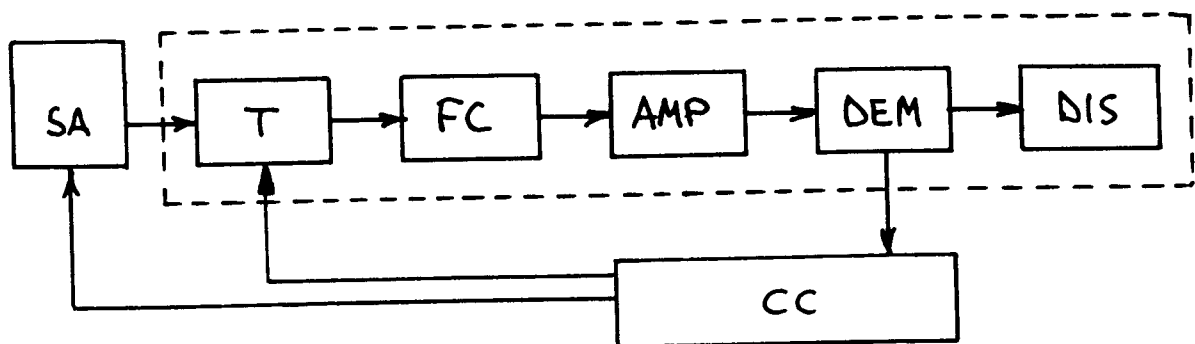


Fig. 16

dr. Ing. C. Spandoneri