

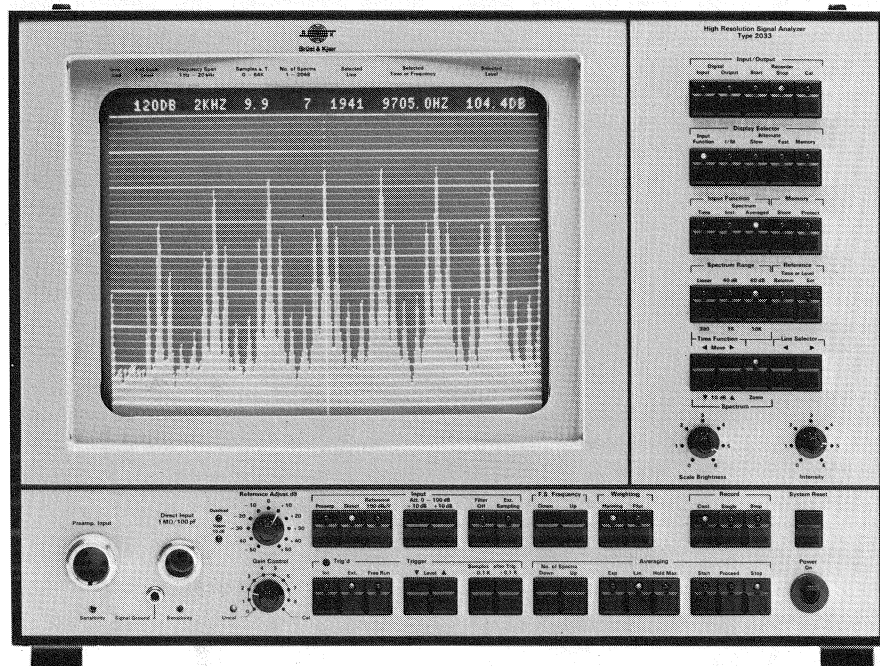
Analizzatore di segnali ad alta risoluzione

APPLICAZIONI:

- Analisi ad alta risoluzione di segnali acustici e di vibrazione
- Analisi di segnali non stazionari come parole, avviamenti e fermate di macchinari
- Misura ed analisi di segnali da urti e transitori
- Analisi delle vibrazioni da macchine rotanti e cicliche
- Spettro con misure su 4000 linee
- Analisi d'ordine armonico

CARATTERISTICHE:

- Analisi in frequenza a banda di larghezza costante su 400 linee
- Ampia selezione di intervalli di frequenza da 0 - 10 Hz a 0 - 20 kHz
- Memoria d'ingresso da 10 K campioni con trigger interno, esterno o libero e regolazione del ritardo di acquisizione dati, per un'eccezionale flessibilità per l'analisi dei transitori
- La finestra su 1 K campioni può essere mossa continuamente su tutti i 10 K disponibili della funzione tempo, permettendo un'analisi al "rallentatore"
- Zoom non distruttivo incorporato per misure sullo spettro con altissima risoluzione, con intervallo di frequenza selezionabile dal cursore
- Rappresentazione dello



- spettro con dinamica di 80 o 40 dB o scala lineare, con guadagno variabile dello schermo
- Memoria di riferimento dei dati per comparazioni successive
- Letture alfa-numeriche dirette sullo schermo, con il cursore mobile
- Rappresentazione sullo schermo della regolazione dei comandi essenziali
- Uscita analogica dei dati
- Collegamento a bus d'interfaccia secondo IEC 625-1/IEEE 488
- Ingresso/uscita digitali dei dati dal pannello frontale, controllate dall'interfaccia IEC
- Rappresentazione del segnale nel tempo e dello

- spettro istantaneo, medio e rapporto tra due spettri, su schermo da 11"
- Gamma dinamica maggiore di 70 dB
- Filtri antialiasing incorporati
- Processo di sovrapposizione quando permesso dal tempo di calcolo
- Medie esponenziali e lineari su un numero di campioni da 1 a 2048, con dispositivo di memorizzazione del massimo
- Analisi in scansione per l'analisi su 10 k di segnali di transienti
- Ponderazione Lineare o Hanning prima o dopo l'acquisizione dei dati
- Scala di ampiezza in unità relative o lineari

Introduzione

L'analizzatore ad alta risoluzione tipo 2033 rappresenta una significativa innovazione nel mondo degli analizzatori in tempo reale che adottano la tecnica di analisi FFT. Una memoria di ingresso considerevolmente più larga, in rapporto a quella di analizzatori FFT convenzionali, consente di estendere notevolmente le possibilità di analisi di segnali transitori e non stazionari. Inoltre uno zoom con una caratteristica unica che non distrugge il segnale nel tempo, e permette di ottenere uno spettro su 4000 linee da una sola registrazione temporale. Questa è la differenza sostanziale con gli zoom tradizionali che richiedono una nuova registrazione del segnale nel tempo ogni volta che si desidera cambiare l'intervallo in frequenza su cui si vuole lo zoom.

Il 2033 è in definitiva una combinazione tra un registratore di transitori e un analizzatore di Fourier. La registrazione impiega una memoria di 10 K campioni, (1 K = 1024) ed è provvista di un flessibilissimo sistema di trigger che permette al 2033 di analizzare sia segnali transitori che continui. Ecco dunque che un solo strumento, il 2033, può operare in due modi differenti.

Nel modo **base** il 2033 opera come un analizzatore FFT a 400 linee, campionando il segnale in ingresso e trasformandone 1 K campioni alla volta, nel dominio della frequenza. Lo spettro risultante da ogni trasformazione è a larghezza di banda costante e consta di 400 intervalli, ugualmente divisi, in funzione dell'intervallo in frequenza selezionato (tra 0/10 Hz e 0/20 kHz in sequenza 1, 2, 5). Questo intervallo di frequenza selezionato viene assunto come **banda-base** del 2033 e gli spettri da esso ricavati in modo base sono detti spettri di base. La frequenza di campionamento impiegata nel 2033 è la stessa sia nel modo base che in alta risoluzione, ed è 2,56 volte l'intervallo di frequenza selezionato.

Nel modo **alta-risoluzione**, il 2033 sfrutta tutti i 10 K campioni del segnale in ingresso, cioè una funzione temporale 10 volte più lunga, per produrre uno zoom (x 10), che consiste in un'espansione di un fattore 10 della risoluzione dello spettro in banda-base. In pratica si ottiene un'immagine su 400 linee di un intervallo di frequenza che corrisponde alla

decima parte di quello in banda-base. Lo zoom può essere fatto in qualsiasi parte nella gamma di frequenza base, posizionando il cursore su una qualsiasi delle 400 linee dello spettro base. Gli spettri così ottenuti con la funzione zoom sono detti ad **alta-risoluzione**.

C'è però anche un altro metodo di analisi nel 2033, l'analisi per scansione (**Scan-analysis**). Qui il 2033 registra e memorizza i 10 K campioni del segnale nel tempo nella memoria d'ingresso. Una finestra temporale di 1 K campioni può essere mossa a piacimento su tutta la memoria di 10 K campioni, sia automaticamente che manualmente, e si può avere la trasformazione nel dominio della frequenza in qualsiasi posizione. L'intervallo di frequenza degli spettri così ottenuti e la risoluzione, saranno gli stessi dello spettro di base. Questo metodo di analisi è particolarmente utile per muoversi lungo la memoria di 10 K campioni ed ottenere un effetto al rallentatore dell'evoluzione dello spettro nel tempo di registrazione.

Gli spettri prodotti dal 2033 sia in banda-base che ad alta risoluzione possono essere mediati linearmente od esponenzialmente oppure ne può essere memorizzato il valore massimo. Sia gli spettri così ottenuti che quello istantaneo vengono rappresentati su uno schermo calibrato da 11" e i valori possono essere letti in forma numerica con il cursore mobile. Il 2033 incorpora anche una seconda memoria di deposito dove possono essere immagazzinati spettri da richiamare successivamente, per esempio per la comparazione tra i valori dello spettro base e quello ottenuto con la funzione zoom. Si può anche ottenere il rapporto tra lo spettro nella memoria d'ingresso e quello nella memoria di riferimento.

I dati ottenuti possono poi essere inviati ad un registratore di livello o X-Y. Il 2033 è anche fornito di una sofisticata interfaccia IEC 625-1 compatibile IEEE 488.

I modi di analisi e le altre caratteristiche menzionate, consentono di utilizzare il 2033 per una vasta gamma di applicazioni per l'analisi di segnali stazionari e non-stazionari. Il modo di utilizzo delle differenti possibilità è descritto nella sezione "Caratteristiche e applicazioni".

Analisi di Fourier

La base matematica di tutte le procedure di analisi in frequenza è la cosiddetta *Trasformata di Fourier*. Nella sua forma più generale è espressa dalla seguente coppia di integrali di Fourier:

$$F(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \exp(-j\omega t) dt \quad (1)$$

$$f(t) = \int_{-\infty}^{\infty} F(\omega) \exp(j\omega t) d\omega \quad (2)$$

L'equazione 1 trasforma la funzione tempo $f(t)$ nelle componenti complesse in frequenza $F(\omega)$ per ciascuna frequenza (angolare) ω in rad/s, ($\omega = 2\pi f$, dove f è la frequenza in Hz). L'equazione 2 inversamente mostra come si possa completamente sintetizzare il segnale nel tempo $f(t)$ dalle sue componenti in frequenza originali.

È possibile scrivere le equazioni discrete equivalenti delle equazioni 1 e 2 come:

$$F(k) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} f(n) \exp\left(-j \frac{2\pi nk}{N}\right) \quad (3)$$

$$f(n) = \sum_{k=0}^{N-1} F(k) \exp\left(j \frac{2\pi nk}{N}\right) \quad (4)$$

Queste due equazioni sono conosciute come Trasformata di Fourier discreta o DFT, e le funzioni continue in $F(\omega)$ e $f(t)$ tra $+\infty$ e $-\infty$ sono sostituite da un numero finito N di campioni, per dare rispettivamente $F(k)$ e $f(n)$. Se Δf è l'incremento finito in frequenza tra due campioni, e Δt il tempo trascorso tra gli stessi, allora $k\Delta f$ è la frequenza corrispondente a $F(k)$ e $n\Delta t$ è il tempo corrispondente a $f(n)$. Gli integrali infiniti sono sostituiti da somme finite ma molte delle proprietà di una DFT sono parallele a quelle della trasformata generale. L'equazione 3 è la trasformata diretta mentre la 4 è la trasformata inversa.

Anche se la natura discreta di una DFT la rende adatta al calcolo numerico, il processo diretto di computo è estremamente lungo e poco efficiente in quanto prevede N^2 moltiplicazioni complesse per N punti da trasformare. La FFT (Fast Fourier Transform) è un algoritmo che fornisce un mezzo più efficace di valutazione riducendo il numero di moltiplicazioni richieste approssimativamente a $N \log_2 N$.

Nella trasformazione diretta generalizzata, N punti complessi nel dominio del tempo vengono trasformati in N punti complessi nel dominio della frequenza, dove N viene comunemente scelto come potenza di 2. Gli N punti nel dominio della frequenza sono uniformemente distribuiti da DC al valore della frequenza di campionamento. Inoltre lo spettro diventa periodico, di periodo uguale alla frequenza di campionamento, il che significa che gli N punti complessi si ripetono sull'asse delle frequenze nei due sensi, con periodo uguale alla frequenza di campionamento. Prendendo in considerazione questa periodicità e riferendosi alla fig.1, risulta evidente che i punti che vanno a cadere tra il valore della frequenza di Nyquist (la metà della frequenza di campionamento) e la frequenza di campionamento, rappresentano le componenti in frequenza negative, mentre quelli che cadono tra DC e la frequenza di campionamento rappresentano le componenti positive.

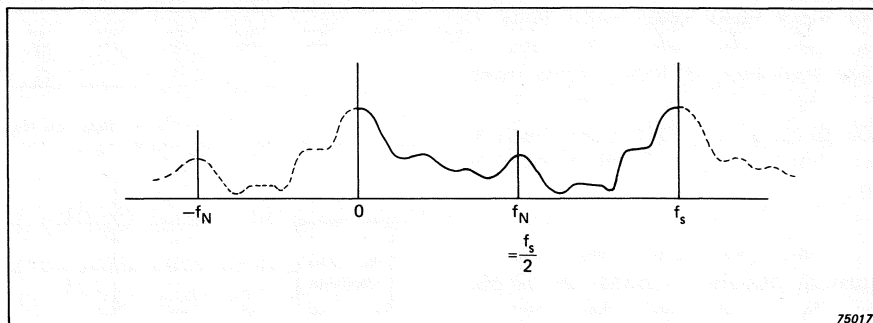


Fig.1. Trasformata di Fourier discreta di uno spettro nel tempo complesso. Notare la periodicità dello spettro

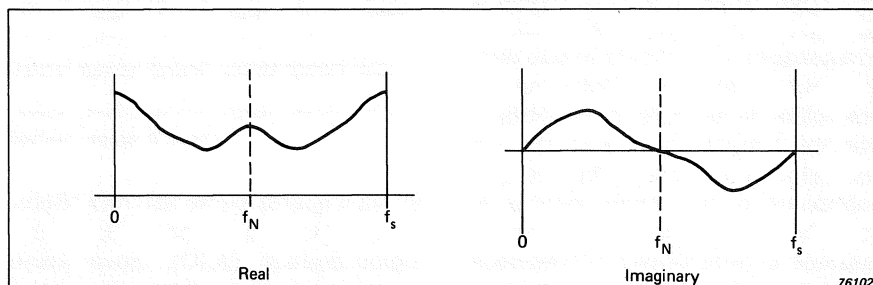


Fig.2. Trasformata di Fourier discreta di una funzione nel tempo a valori reali. Notare la simmetria della parte reale e l'antisimmetria di quella immaginaria

Un'importante semplificazione per rendere più efficiente il sistema trae origine dal considerare che i punti nel dominio nel tempo possono essere solo dei valori reali (come è il caso abituale). Lo spettro sarà allora coniugato pari, il che significa che le componenti in frequenza positive possono essere generate dalle negative e viceversa, e quindi solo le componenti positive o quelle negative, saranno necessarie per generare lo spettro. Con questa caratteristica si possono trasformare N punti reali nel dominio del tempo come se fossero $N/2$ punti complessi, una semplice trasformazione deve allora essere fatta sui risultati per ottenere lo spettro della funzione tempo originale, da DC alla frequenza di Nyquist.

Ogni punto generato con il processo qui descritto, avrà la forma $F(i) = a_i + jb_i$. Per ogni componente positiva $F(i)$ ci sarà anche una componente $F(-i) = a_i - jb_i$ negativa, la potenza a questa frequenza sarà una somma del tipo $2(a_i^2 + b_i^2)$ delle potenze delle componenti positive e negative. Questo valore viene poi mediato su molti spettri per formare il valore quadratico medio, la cui radice quadrata darà il valore RMS. Una descrizione più completa della tecnica FFT è presentata sulla "Technical Review" No.1 1979 della Brüel & Kjær

Funzionamento

Nel modo **base** il 2033 funziona come il precedente modello B & K tipo 2031. La fig.3 illustra il diagramma a blocchi funzionale di base, che può essere diviso in quattro sezioni: ingresso dei dati, sezione di calcolo, sezione di controllo schermo, interfaccia IEC.

Ingresso dei dati

L'ingresso del 2033 è stato progettato per garantire l'integrità dei dati. Un amplificatore di misura B & K tipo 2031. La fig.3 illustra il diagramma a blocchi funzionale di base, che può essere diviso in quattro sezioni: ingresso dei dati, sezione di calcolo, sezione di controllo schermo, interfaccia IEC.

Il diagramma a blocchi della sezione d'ingresso è illustrato dalla fig.4. L'amplificatore d'ingresso prevede una presa B & K a 7-pin per i preamplificatori microfonic della Brüel & Kjær, ai quali fornisce anche la necessaria tensione di polarizzazione del microfono, e uno diretto. Ciascuno con la propria regolazione della sensibilità, in modo che possano essere collegati trasduttori con diversa sensibilità.

La calibrazione sia della sezione d'ingresso che dell'analizzatore completo, può essere ottenuta sfruttando la tensione di riferimento interna, la cui frequenza è controllata da un oscillatore interno. Il se-

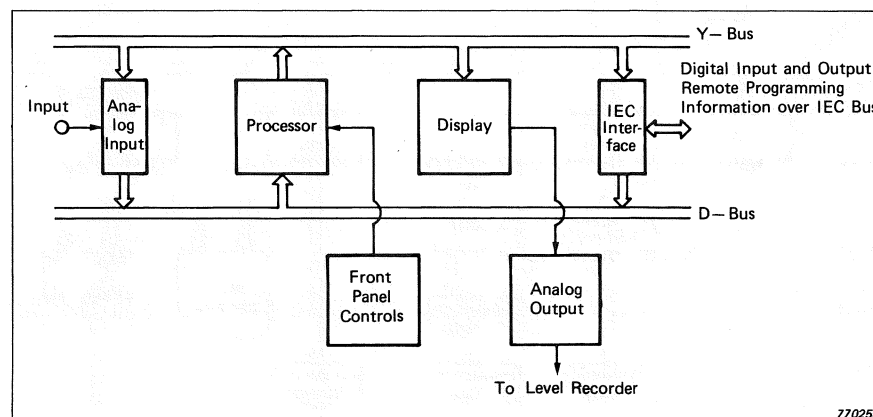


Fig.3. Diagramma a blocchi semplificato del 2033

gnale di calibrazione appare sulla linea 256 e la frequenza è pari al 64% della frequenza di fondo scala base impostata. La sua ampiezza è di 100 dB rif. a 1 μ V RMS e può variare in un intervallo di \pm 50 dB in passi di 10 dB.

L'attenuazione d'ingresso può variare di 100 dB in passi di 10 dB, agendo sui comandi del pannello frontale. Quando l'attenuazione è di 0 dB, il fondo scala è di 1 mV e il livello minimo misurabile è di 1 μ V, per cui l'intervallo totale operativo risulta di 160 dB. La rivelazione di situazioni di sovraccarico è verificata in due punti: prima del filtro di antialiasing per controllare la saturazione dell'amplificatore d'ingresso e a livello del convertitore analogico/digitale per controllare di non avere perdite di campioni. La rivelazione di una situazione di saturazione corrisponde al rifiuto delle informazioni durante un processo di media.

Dall'attenuatore d'ingresso, il segnale entra nel filtro di antialiasing che è di tipo passa-basso a 7-poli con discesa di 113 dB/ottava, automaticamente selezionato in funzione della frequenza di fondo scala nel modo base, in modo da tagliare qualsiasi componente con frequenza superiore ad essa. Esso può essere disinserito se necessario e impiegato anche con frequenza di campionamento esterna, in questo caso la frequenza di taglio del filtro collegato corrisponderà all'intervallo di frequenza in cui opera l'analizzatore.

Il segnale filtrato in passa-basso

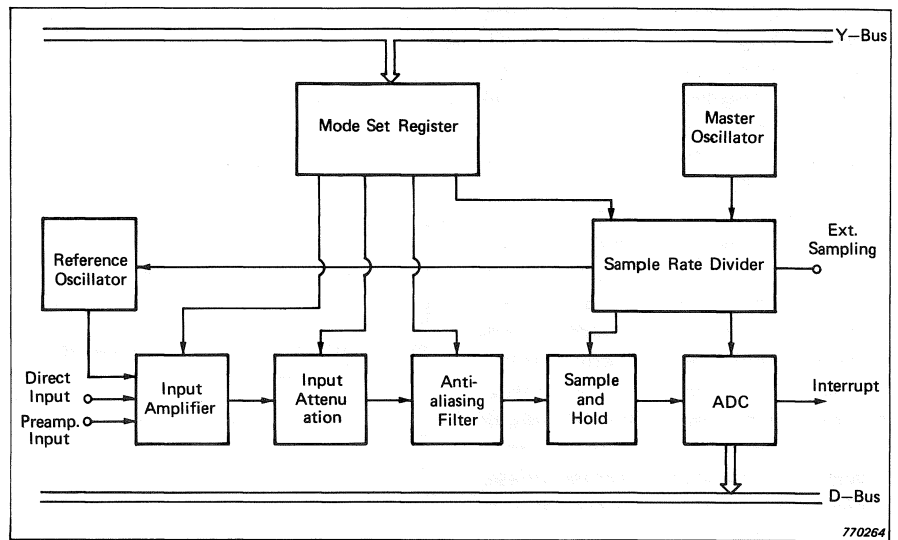


Fig.4. Sezione analogica d'ingresso dati del 2033

arriva a questo punto alla rete "Sample and Hold" e al convertitore analogico/digitale (ADC), dove viene campionato ad una frequenza pari a 2,56 volte la frequenza di fondo scala nel modo base. La frequenza di campionamento è controllata dall'oscillatore principale a cristallo. Utilizzando una frequenza di campionamento esterna, la frequenza di fondo scala nel modo base diventerà pari a tale frequenza divisa per 2,56. Il convertitore ADC converte il segnale analogico in parole di 12-bit completamenti al 2.

Sezione di calcolo

Il diagramma a blocchi è illustrato in fig.5. La funzione di questa sezione è di controllare l'ingresso dei dati, il processo degli stessi, mediare gli spettri prodotti, controllare

la rappresentazione dei dati e l'assetto dei comandi del pannello frontale.

Tutti i calcoli vengono svolti da un unità ALU (Arithmetic Logic Unit) secondo il programma contenuto nella "Program Memory" (memoria di programma). L'unità ALU impiega la notazione in virgola mobile ed è dotata di 16 registri di accumulo e registri di estensione. Il flusso del programma è controllato dal "Program Counter" (contatore di programma) e viene impiegato uno Stack a 16 livelli per i sottoprogrammi (subroutine). Il "Constants Register" (Registro costanti) contiene le costanti necessarie al programma sottoforma di parti dello stesso, da trasferire all'ALU in ogni singolo ciclo istruzioni.

Le istruzioni di programma vengo-

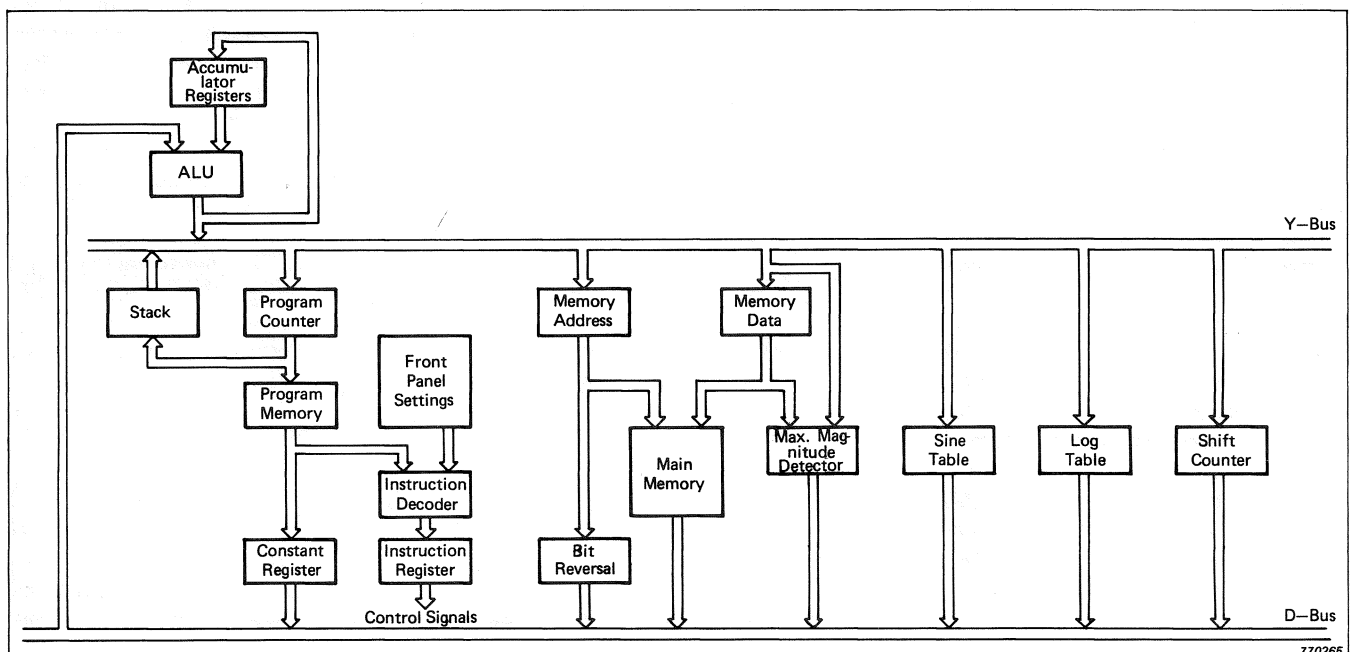


Fig.5. Sezione di processo del 2033

no decodificate dal "Instruction Decoder" che tiene in considerazione le istruzioni dettate dall'assetto dei comandi frontali, scegliendo le subroutine relative e decodificandole. Le istruzioni decodificate e i comandi vengono convertiti in segnali di controllo nel registro istruzioni e controllano tutte le funzioni di processo.

Tutti i dati vengono immagazzinati nella "Main Memory" (memoria principale) che ha una capacità di 16 K-parole di 16-bit, e sono poi inviati attraverso il registro "Memory Data", che li indirizza nei vari posizionamenti, al registro della "Memory Adresse". L'inversione dei bit permette agli indirizzi di memoria di essere letti, prima di passare alla sezione di trattamento; l'ordine inverso consente una maggiore efficacia nel riordinamento delle componenti in frequenza dopo l'esecuzione della funzione di trasformazione di Fourier. Un ulteriore aumento di efficienza è ottenuto con l'impiego di una "Table sinus" che può anche essere utilizzata per generare la ponderazione tipo Hanning della funzione temporale.

Il processo per la trasformata di Fourier usa la notazione in virgola

mobile nel blocco di base, viene usato lo stesso esponente per tutto il blocco. Il "Maximum Magnitude Detector" viene impiegato per ottimizzare questo esponente. Il calcolo della potenza e la routine per la media usano la notazione in virgola mobile vera.

La conversione tra lo spettro in scala lineare calcolato a quello in scala logaritmica è facilitato dalla "Log Table" e dal registro "Shift Counter", questo viene impiegato anche per i calcoli in virgola mobile.

Sezione di controllo schermo

La fig.6 illustra il diagramma a blocchi della sezione di controllo schermo del 2033, i dati rappresentati sono memorizzati nella "Display Memory". I comandi del pannello frontale determinano il tipo di dati rappresentati in funzione temporale o come spettro in frequenza. Lo schermo rappresenta sempre 400 linee aggiornate ogni 20 ms circa. La rappresentazione su 400 canali di uno spettro può essere fatta in scala di 80 o 40 dB e lineare.

Simultaneamente alle diverse funzioni rappresentate, viene aggiornata la fascia di lettura alfa-numerica posta nella parte alta dello schermo.

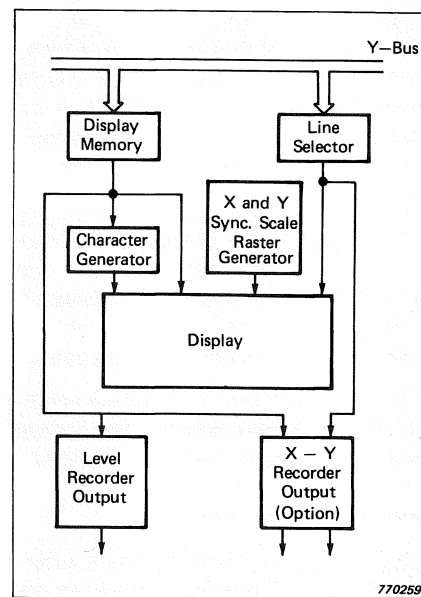


Fig.6. Sezione di uscita e controllo schermo del 2033

Interfaccia

L'interfaccia IEC 625-1 compatibile con IEEE 488 Std. permette il collegamento del 2033 ad un calcolatore per realizzare un sistema estremamente flessibile con possibilità molto estese. Essa consente di avere accesso con un calcolatore esterno a tutte le funzioni interne e ai comandi del pannello frontale.

Programmazione interna

Il programma impiegato per il controllo delle operazioni del 2033 può essere diviso in tre parti: "Main Programme", "Analog Input Interrupt Routine" e "Output to Display Interrupt Routine". Il programma principale (Main Programme) opera in continuo posizionando sempre nuovi campioni nella memoria "Main Memory", mentre gli altri due programmi presiedono al trasferimento dei dati da questa alla memoria "Display Memory".

Il tempo necessario al programma principale per controllare i processi di media, trasformazione e calcolo dello spettro di potenza, è di 200 ms, comprendenti il tempo necessario alle interruzioni. Siccome la registrazione e la trasformazione dei dati nel 2033 vengono fatte in parallelo con l'ausilio di memorie tampone (buffer), si ha un'operatività in tempo reale fino ad un intervallo di frequenza compreso tra 0 e 2 kHz.

I sottoprogrammi di media usano tre algoritmi diversi. Per la media lineare l'algoritmo è il seguente:

$$Y_n = \frac{(n-1)Y_{n-1} + X_n}{n}, \quad 1 \leq n \leq N$$

dove Y_n è il valore medio corrente, Y_{n-1} quello precedente, X_n il valore istantaneo corrente ed N il numero di spettri da mediare. Questo algoritmo genera la rappresentazione del valore medio aritmetico vero da X_1 a X_n , senza riguardo al valore di n . Y_n converge su Y_N quando n approssima N , e quando $n = N$ la media si arresta e il risultato viene memorizzato. La media può essere quindi riazzerata per iniziarne una nuova oppure la successiva può aggiungersi alla precedente Y_N . In quelle misure in cui la media è fatta sulla base dell'energia, possono aggiungersi diverse medie, il risultato finale di ampiezza RMS sarà sempre corretto per il numero di spettri mediati.

L'algoritmo impiegato per la media esponenziale è lo stesso della media lineare con la differenza che n è sostituito da $N/2$, cioè:

$$Y_n = \frac{(N/2 - 1)Y_{n-1} + X_n}{N/2}$$

Esso produce una media ponderata esponenzialmente in cui i dati più recenti hanno un'importanza rilevante rispetto a quelli più vecchi che vengono gradualmente dimenticati. La media continua per $n \geq N/2$. Sia la media lineare che quella esponenziale possono essere interrotte temporaneamente durante il loro processo, per esempio per cambiare la sorgente sonora.

Il valore di N è selezionato con i comandi del pannello frontale e per uno stesso valore di N , le medie esponenziale e lineare producono valori con precisione statistica simile ma con valori numerici che non sono necessariamente gli stessi. In media

esponenziale il primo spettro creato è uguale al primo spettro istantaneo dopo di che il processo di media prosegue secondo l'algoritmo di cui sopra. Nel caso di segnali determinati questo ingenera una convergenza più rapida.

Nella fig.7 sono comparate le medie lineari ed esponenziali per $N = 8$. Per $n = 8$ la media lineare si ferma e il valore rimane costante, mentre quella esponenziale procede.

Il terzo algoritmo di media è relativo alla memorizzazione del valore massimo in ogni canale e fornisce uno spettro che è l'involuppo dei massimi in ogni canale.

Il programma "Analog Input Interrupt Routine" controlla l'ingresso dei dati, l'assetto del trigger e del ritardo di registrazione dal trigger in funzione dei comandi del pannello frontale.

Le registrazioni possono essere trasformate con ponderazione Hanning o lineare (finestra rettangolare), e la risoluzione β è definita come $1/400$ dell'intervallo di analisi. La larghezza di banda a 3 dB con ponderazione lineare da una risoluzione di $0,88 \beta$ mentre la ponderazione Hanning da $1,44 \beta$. L'apparizione di lobi laterali significa normalmente che la ponderazione lineare offre la selettività peggiore tra le due, ed è per questo che la finestra Hanning è abitualmente utilizzata per l'analisi di segnali continui. Nell'analisi di transitori invece la ponderazione Hanning rischia di modificare i risultati ed è dunque più indicato l'uso di quella lineare. Sulla fig.8 sono illustrate le due caratteristiche in funzione della frequenza.

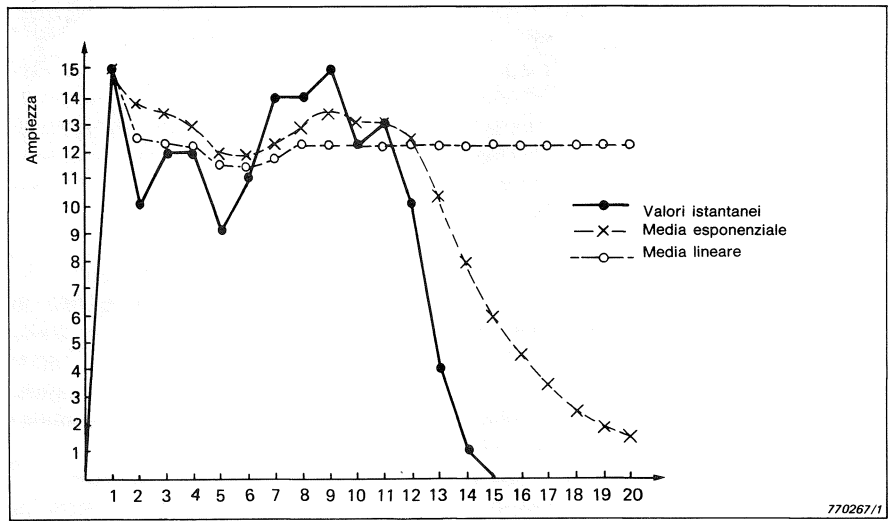


Fig.7. Comparazione tra medie lineari ed esponenziale

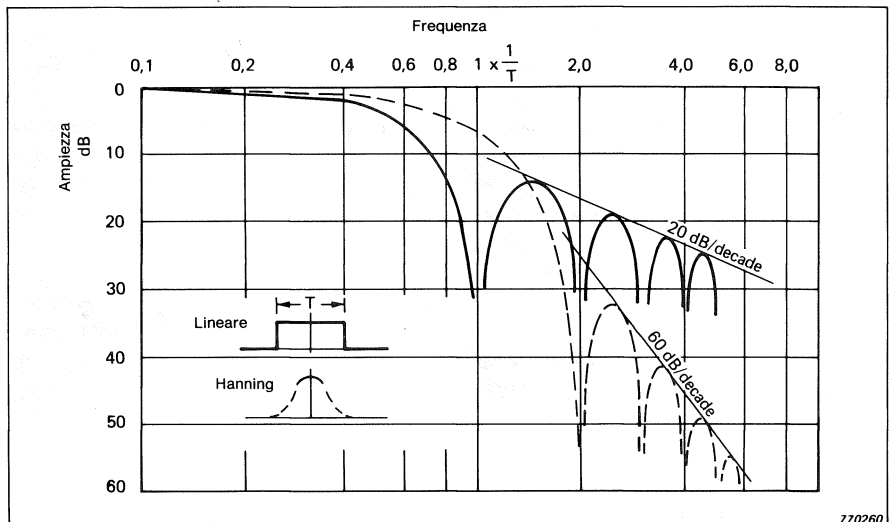


Fig.8. Comparazione tra le ponderazioni con finestra Hanning e lineare

Anche se nominalmente l'analisi comincia a 0 Hz, il centro frequenza del primo canale di analisi è di fatto

β Hz e l'intervallo si estende fino a 400β Hz che è il centro frequenza del canale numero 400.

Caratteristiche ed applicazioni

L'uso dello zoom per l'analisi delle vibrazioni

Una delle applicazioni più importanti di un analizzatore in tempo reale a banda stretta è lo studio delle vibrazioni di macchinari rotanti. Questo tipo di analisi è un importante strumento per la ricerca dei difetti immediatamente al loro manifestarsi, rendendo possibili le riparazioni prima che provochino rotture catastrofiche. Per molte misure, come le vibrazioni di alberi rotanti, lo spettro in banda base ha una risoluzione sufficiente per identificare rapidamente le componenti essenziali dello spettro di vibrazione, in altri casi, per esempio per l'analisi delle

bande laterali degli spettri di vibrazione di variatori di velocità, una migliore risoluzione diventa molto importante.

È in questo caso appunto che il modo alta risoluzione del 2033 diventa essenziale. Basta premere il pulsante della funzione zoom (ved. fig.9) e la parte di spettro attorno alla linea su cui è posizionato il cursore, verrà espansa di un fattore 10, fornendo così una risoluzione 10 volte migliore. Il concetto è espresso dalla fig.10 dove sono comparati gli spettri in banda base e in alta risoluzione della vibrazione di un variatore di velocità. Lo spettro base di 400

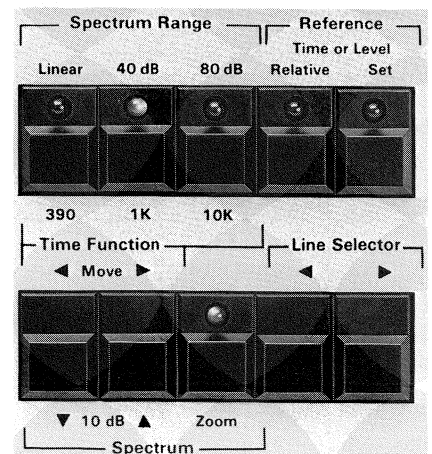


Fig.9. Pulsanti di controllo del 2033 nel modo alta risoluzione

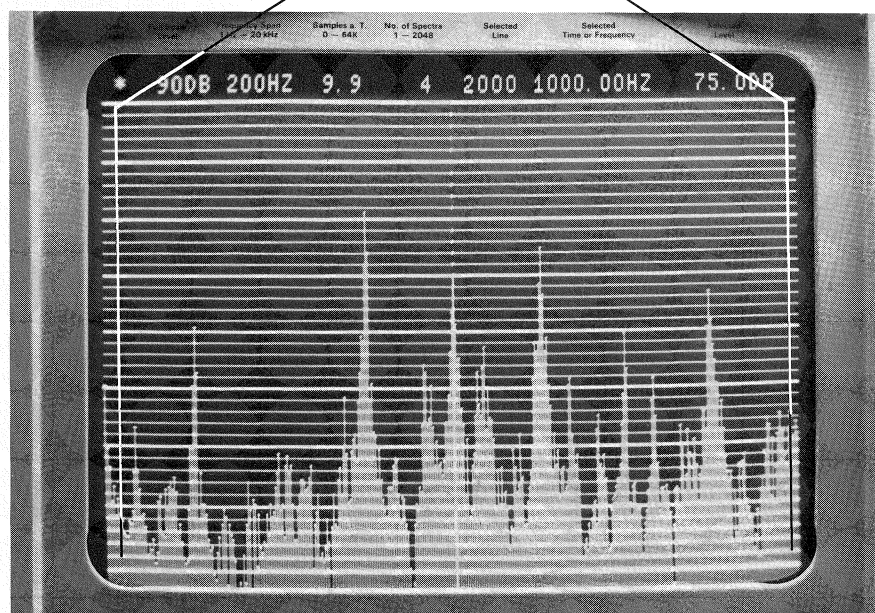
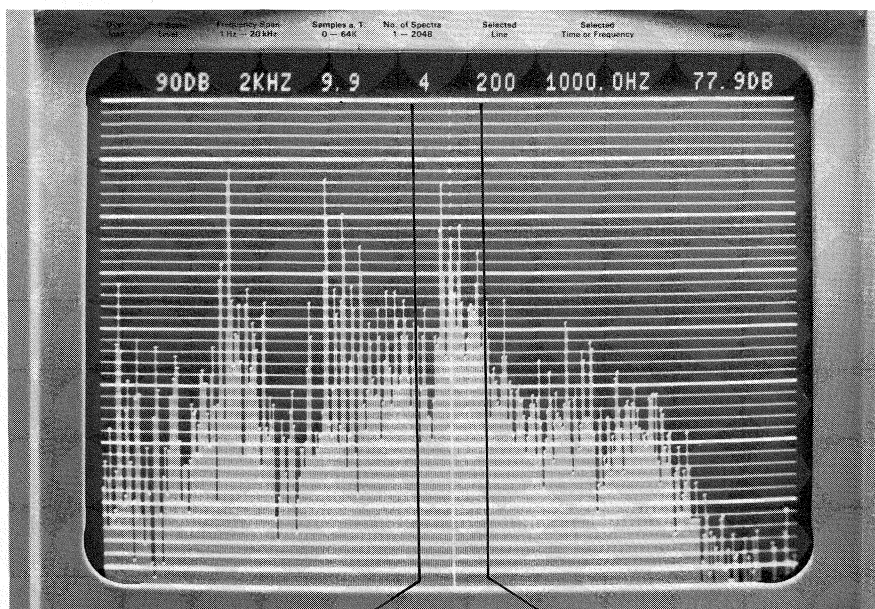


Fig.10. Esempio di uso dello zoom per espandere i dati di uno spettro. Lo spettro superiore è quello in banda base. Nella parte inferiore è stato espanso il campo di frequenza da 900 a 1100 Hz

linee sull'intervallo in frequenza da 0 a 2 kHz, si trasforma in uno spettro ad alta risoluzione su 4000 linee, delle quali ne sono rappresentate quelle 400 poste attorno alla 3a. armonica della frequenza d'ingranamento, sulla quale era centrato il cursore. L'intervallo in frequenza di questo nuovo spettro diventa di 200 Hz compresi tra 900 e 1100 Hz. Nello spettro da alta risoluzione si può notare come l'insieme delle bande laterali intorno alla 3a. armonica siano abbastanza apparenti e indichino la presenza di un difetto d'ingranamento.

È interessante notare come la scelta di un fattore 10 di zoom sia

oltremodo appropriata in questo caso, in quanto fornisce le informazioni necessarie, mentre un fattore di zoom più elevato, potrebbe causare l'apparizione di picchi dovuti a piccole variazioni della velocità della macchina.

Misura di spettri a 4000 linee

Una caratteristica del 2033 consiste nel poter effettuare tutte le trasformazioni in spettri ad alta risoluzione che si desiderano, sulla stessa serie di 10 K campioni registrata. Ogni operazione di trasformazione richiede circa 1 s. Per esempio si può realizzare una serie di 10 spettri contigui a 400 linee di un segnale

temporale, che riuniti formano uno spettro a 4000 linee del segnale di 10K campioni registrato, e copre tutto l'intervallo di frequenza dello spettro base.

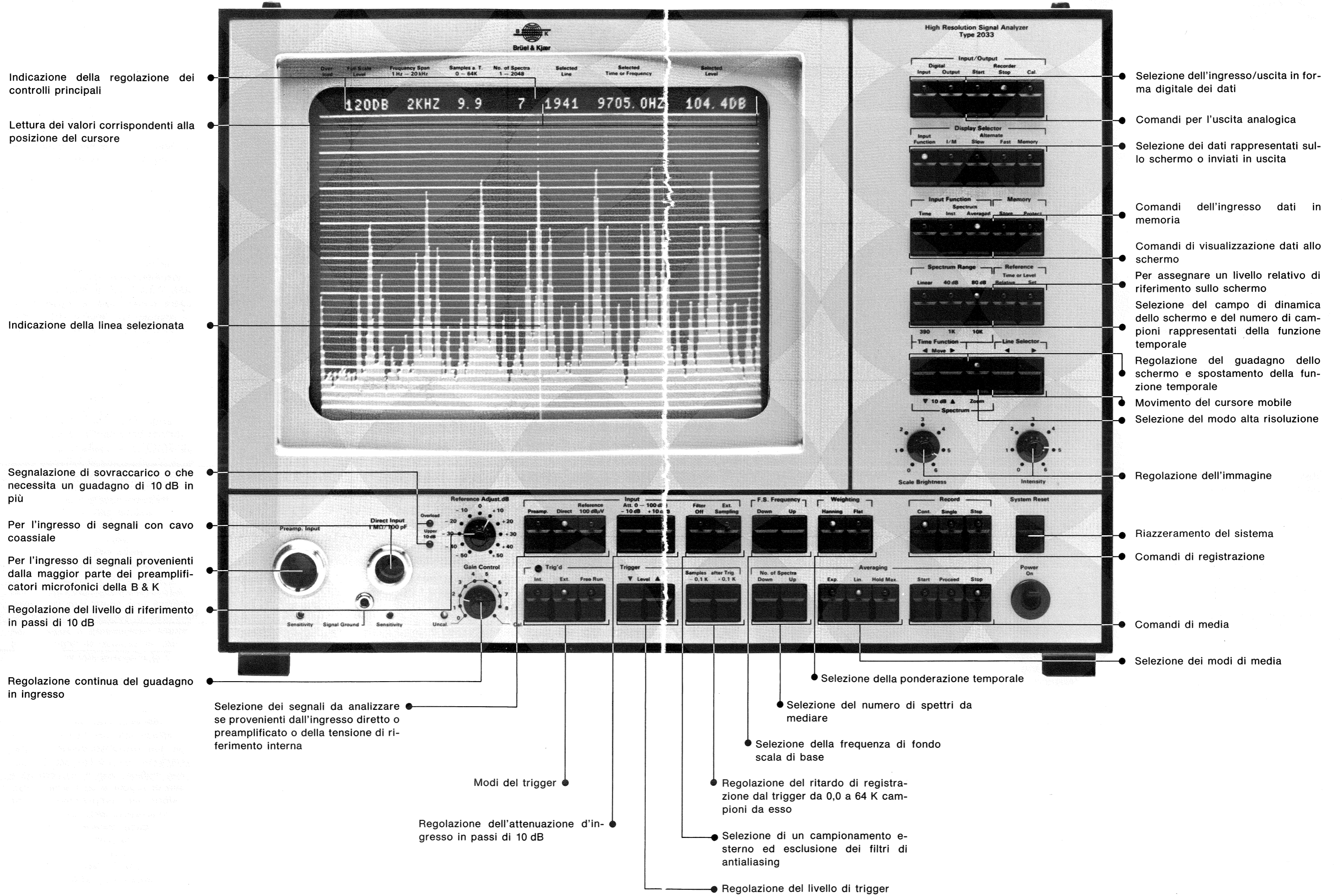
Zoom ad alta velocità

La caratteristica appena descritta che il 2033 può effettuare multiple trasformazioni dello stesso segnale temporale, rende questo strumento considerevolmente più rapido delle tecniche di zoom convenzionali, per ottenere spettri ad alta risoluzione. Nel modo convenzionale bisogna selezionare l'intervallo di frequenza prima della registrazione del segnale nel tempo e la stessa deve essere registrata nuovamente ogni volta si desideri uno zoom in un nuovo intervallo di frequenza. Tutto questo non è assolutamente necessario con il 2033, l'intervallo di frequenza può essere scelto **dopo** la registrazione del segnale nel tempo e si possono richiedere tutti gli zoom che si vogliono di uno stesso segnale registrato.

Si può avere un'idea delle differenze di tempo necessario con le due tecniche, comparando due trasformazioni zoom in un intervallo di frequenza base da 0 a 10 Hz. Le due registrazioni necessitano di un tempo di registrazione di 400 s (per uno spettro ad alta risoluzione di 400 linee). Dopo la registrazione il 2033 può effettuare tutte le trasformazioni che si vogliono con qualsiasi intervallo di frequenza, dello stesso segnale nel tempo, la cui registrazione aveva richiesto 400 s, nel tempo di 1 s per ciascuna. Una trasformazione con zoom convenzionale richiede invece 400 s ogni volta che si desidera uno zoom con un nuovo intervallo di frequenza, dovendo registrare nuovamente il segnale nel tempo. In pratica si diminuisce il tempo di analisi di 400 volte.

Impiego dell'analisi in scansione nell'analisi di segnali non stazionari

L'analisi di questo tipo è di un'utilità eccezionale per l'analisi di segnali non stazionari come la voce, avviamenti rapidi o fermate di macchine, musica, ecc. Il suo effetto è quello di produrre un'analisi al rallentatore per comprendere meglio rapide variazioni dello spettro, direttamente dallo schermo, come per esempio per la pronuncia di una sillaba. Permette di vedere tutte quelle variazioni che in tempo reale non sono percettibili all'occhio dell'osservatore.



Indicazione della regolazione dei controlli principali

Lettura dei valori corrispondenti alla posizione del cursore

Indicazione della linea selezionata

Segnalazione di sovraccarico o che necessita un guadagno di 10 dB in più

Per l'ingresso di segnali con cavo coassiale

Per l'ingresso di segnali provenienti dalla maggior parte dei preamplificatori microfonici della B & K

Regolazione del livello di riferimento in passi di 10 dB

Regolazione continua del guadagno in ingresso

Selezione dei segnali da analizzare se provenienti dall'ingresso diretto o preamplificato o della tensione di riferimento interna

Modi del trigger

Regolazione dell'attenuazione d'ingresso in passi di 10 dB

Selezione della ponderazione temporale

Selezione del numero di spettri da mediare

Selezione della frequenza di fondo scala di base

Regolazione del ritardo di registrazione dal trigger da 0,0 a 64 K campioni da esso

Selezione di un campionamento esterno ed esclusione dei filtri di antialiasing

Regolazione del livello di trigger

Selezione dell'ingresso/uscita in forma digitale dei dati

Comandi per l'uscita analogica

Selezione dei dati rappresentati sullo schermo o inviati in uscita

Comandi dell'ingresso dati in memoria

Comandi di visualizzazione dati allo schermo

Per assegnare un livello relativo di riferimento sullo schermo

Selezione del campo di dinamica dello schermo e del numero di campioni rappresentati della funzione temporale

Regolazione del guadagno dello schermo e spostamento della funzione temporale

Movimento del cursore mobile

Selezione del modo alta risoluzione

Regolazione dell'immagine

Riazzerramento del sistema

Comandi di registrazione

Comandi di media

Selezione dei modi di media

Operando in scan-analysis, 10 240 campioni del segnale nel tempo, vengono registrati e memorizzati nella memoria d'ingresso del 2033. La funzione scan consente poi di spostare con continuità una finestra di 1 000 campioni lungo tutti i 10 000 della registrazione, producendo uno spettro a 400 linee per ogni posizione. La finestra può avere sia una ponderazione di tipo rettangolare (lineare) sia di tipo Hanning. La fig.11 illustra il principio di funzionamento del processo. La funzione scan è di tipo non distruttivo e si può quindi ripetere il processo scan più volte sulla stessa serie di campioni, cambiando per esempio la ponderazione.

Il processo può essere effettuato manualmente o automaticamente. In **scansione automatica**, la finestra si sposta in passi successivi su tutta la memoria, producendo un nuovo spettro ad ogni passo successivo. Il numero di passi può essere selezionato tra una serie di 8 diversi valori scelti tra 10 e 1153; la permanenza dell'immagine spettrale su ogni passo è di circa 110 ms. Si produce così un effetto di movimento dello spettro, che mostra l'evoluzione della funzione tempo, durante la registrazione dei 10 240 campioni nella memoria d'ingresso. In funzione del numero di passi la durata di un'analisi scan può variare da 1 s a circa 2 min.

In **scansione manuale** la finestra temporale di 1 K campioni può essere posizionata in qualsiasi punto arbitrariamente scelto sulla memoria totale, lo spettro potrà essere ottenuto di volta in volta premendo il pulsante per lo spettro istantaneo. (Ved. esempio sulla fig.12). In scansione manuale l'avanzamento della finestra è in ragione di 30 campioni per volta.

Con questa procedura possono essere analizzati dei segnali con durata compresa tra 200 ms e 400 s, in funzione dell'intervallo di frequenza base selezionato. Per esempio con un intervallo di frequenza di 5 kHz, i 10 K campioni corrispondono a 800 ms di durata della funzione tempo e la lunghezza minima del passo di una finestra sarà di circa 1 ms in scansione automatica e 2,5 ms in scansione manuale. La finestra tempo avrà una durata propria di 80 ms con ponderazione lineare e 40 ms con ponderazione Hanning in quanto quest'ultima permette di ridurre del 50% la finestra tempo effettiva.

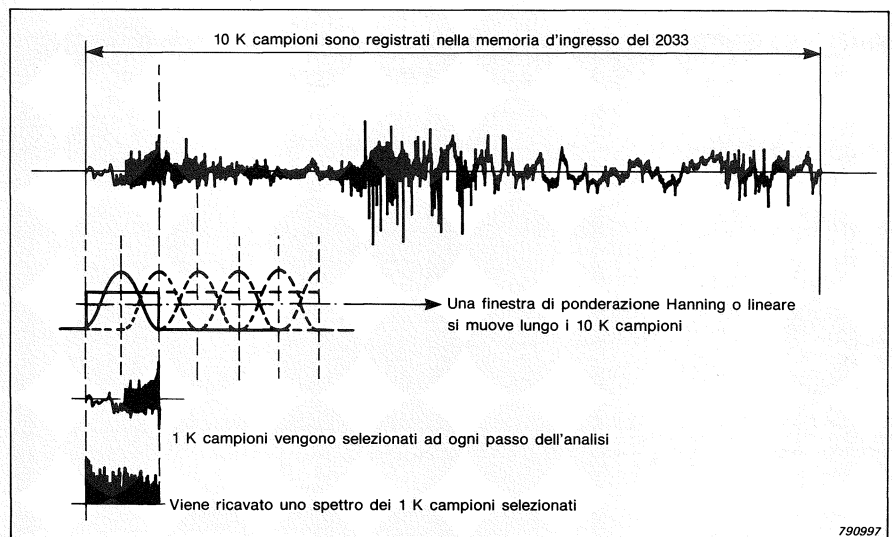


Fig.11. Esempio di analisi in scansione dove una finestra di 1 K campioni si sposta lungo tutta la registrazione di 10 K campioni per dare l'effetto di un'analisi al rallentatore.

Trigger

Il 2033 incorpora un sofisticato sistema di trigger che gli conferisce un'eccezionale flessibilità. Nel modo **free running** (libero) i dati vengono analizzati con una velocità che è limitata soltanto dal tempo di calcolo. Nelle bande-base più basse (tra 0 e 2 kHz e inferiori) si ha un effetto di sovrapposizione per cui vengono analizzate sovrapposizioni di segnali nel tempo, per aggiornare lo spettro istantaneo 5 volte al secondo, il che rende più facile seguire l'evoluzione spettrale delle diverse componenti. L'uso del trigger in free-running è principalmente destinato all'analisi di segnali continui.

Operando con il **trigger interno** possono invece essere analizzati segnali transitori. Il segnale d'ingresso stesso viene qui impiegato per comandare l'inizio dell'analisi, il livello di trigger può essere regolato in 200 passi sull'escursione massima della tensione in ingresso. La regolazione del livello di trigger è visualizzata sulla sinistra dello schermo con il 2033 che rappresenta la funzione temporale. Con il **trigger esterno** invece viene utilizzato un impulso esterno per dare inizio all'analisi, la sua maggiore applicazione consiste nel sincronizzare l'analisi con processi di tipo ripetitivo.

Ritardo dal trigger

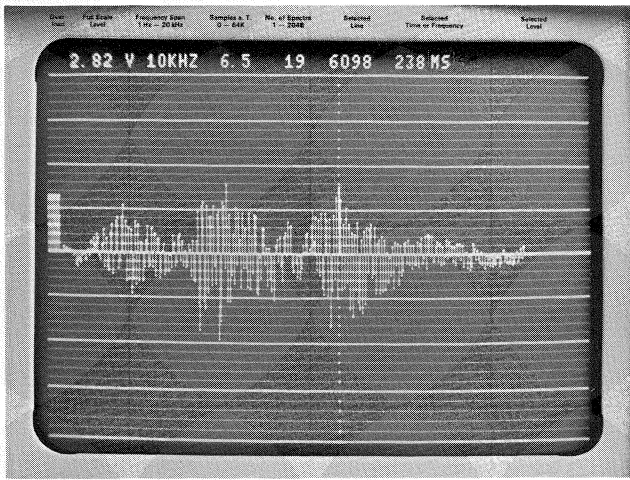
Oltre alla possibilità di avere un trigger interno o esterno, c'è un sistema di ritardo regolabile denominato **after trigger recording**. Esso viene utilizzato per analizzare solo la parte di effettivo interesse del se-

gnale nel tempo, che viene presa dopo che è trascorso il tempo impostato come ritardo, dal momento del trigger. L'operazione consiste nel permettere al 2033 di continuare la registrazione di un certo numero di nuovi campioni, secondo il dato di ritardo impostato, dopo aver ricevuto il comando di trigger. Dopo di che il processo di registrazione si ferma e il 2033 opera sulla funzione tempo presente in memoria in quel momento. Il sistema di after trigger del 2033 consente l'analisi di campioni prima e dopo il punto di trigger. Un esempio viene dato nella sezione relativa all'"Analisi dei cicli macchina".

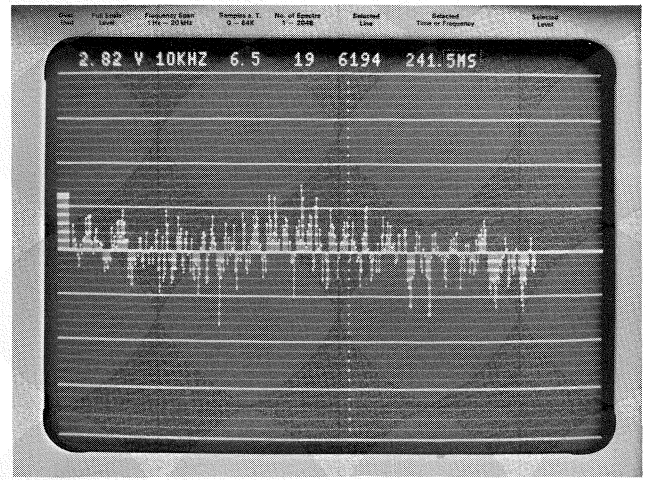
Possono essere registrati fino a 64 K campioni in passi di 0,1 K, dopo il punto di trigger. Questo permette al 2033 di analizzare eventi che accadono da un tempo relativo di 10 K campioni prima del trigger (impostato in questo caso come 0,0 K) e fino a 64 K dopo di esso (impostato come 64 K). Se per esempio si lavora con una banda base di 10 kHz, l'intervallo di tempo è compreso tra 0,4 s prima del trigger e 2,56 s dopo di esso. (La frequenza di campionamento è 2,56 volte l'intervallo di frequenza selezionato). In un intervallo base tra 0 e 2 kHz i valori diventano rispettivamente 2 s e 12,8 s.

Analisi di transitori

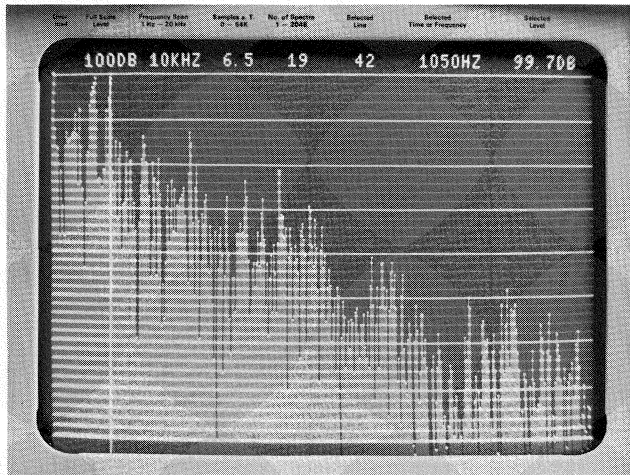
Le caratteristiche di trigger e di ritardo di registrazione dal trigger sopra descritte, rendono estremamente flessibile il 2033 per l'analisi di segnali transitori. Il campo di regolazione del segnale di trigger interno riduce le possibilità di incorrere in falsi trigger, mentre è pure



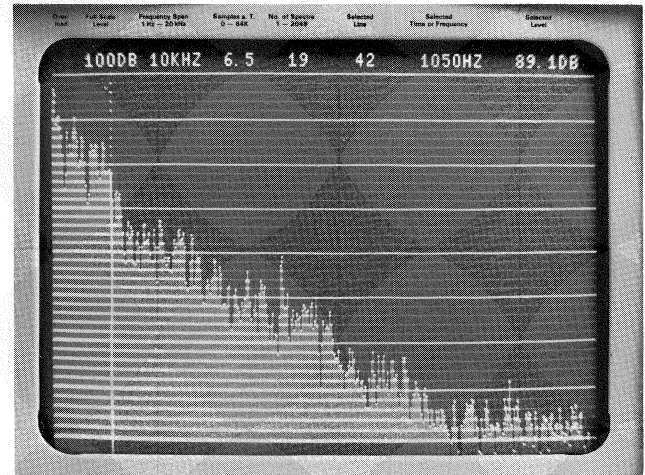
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig.12. Le possibilità di analisi di fenomeni transitori con il 2033: a) funzione temporale di 10 K campioni, b) 1 K campioni selezionati con scansione manuale, c) spettro corrispondente ai 1 K campioni, d) media della scansione su 10 K campioni

disponibile la possibilità di trigger dall'esterno se è disponibile un segnale opportuno. Sfruttando la possibilità di regolazione del ritardo di registrazione dal trigger, possono essere analizzati i dati sia prima che dopo il trigger. Si possono analizzare segnali di breve durata di tipo impulsivo come colpi d'arma da fuoco o di lunga durata e a bassa frequenza di origine sismica.

La fig.12 illustra le possibilità di analisi dei segnali transitori. Essa rappresenta l'analisi in un campo di frequenza base da 0 a 10 KHz della rumorosità di una pressa. La prima immagine (a) riguarda il segnale nel tempo di 10 K campioni della durata di 400 ms, sufficiente a descrivere completamente il ciclo macchina. La successiva (b) è il segnale nel tempo di 1 K campioni selezionati con l'analisi in scansione manuale, posizionando il cursore (ved. a) nella zona di massima ampiezza del segnale nel tempo precedente. Si vede poi la rappresentazione (c) dell'analisi in frequenza base di questi 1 K cam-

pioni e (d) infine la media della scansione (ved. "Media della scansione") su tutta la durata del fenomeno. Un'ulteriore possibilità, non illustrata, è l'analisi dello spettro del segnale con caratteristica transitoria su 4000 linee.

Integrazione

La media dello spettro è utilizzata nell'analisi dei segnali per ridurre gli effetti variabili degli stessi e produrre dei risultati statisticamente stabili. il 2033 può fare la media in tre modi differenti, i primi due sono chiamati **exponential averaging** (media esponenziale) e **linear averaging** (media lineare) e forniscono livelli medi RMS veri. Possono essere mediati da 1 a 2048 spettri base o ad alta risoluzione (400 linee) sia per segnali stazionari o con caratteristiche transitorie. Il terzo modo di media è il **maximum hold** (ritenuta del massimo) che memorizza il livello massimo di ogni linea dello spettro, essa opera con un numero qualsiasi di spettri.

Quando il 2033 opera in banda base utilizzando una ponderazione di tipo Hanning, la finestra temporale è ridotta del 50%. Il 2033 sfrutta questa riduzione per fornire più rapidamente un risultato statisticamente stabile, integrando gli spettri le cui registrazioni si sovrappongono per il 50%. Il tempo necessario per esempio per integrare linearmente 64 spettri con una frequenza a fondo scala di 1 KHz, si riduce da 25,6 a 12,8 s ma con un errore relativo di $\pm 0,5$ dB. La media con finestra rettangolare in banda base e la media con finestra rettangolare o Hanning in alta risoluzione, vengono effettuate senza sovrapposizione.

Media della scansione

Quando il 2033 esegue un'analisi in scansione automatica di 10 K campioni della funzione tempo, esegue contemporaneamente una media della scansione. Essa è una media lineare degli spettri ottenuti per scansione e lo spettro risultante può essere richiamato premendo il pulsante "averaging spectrum".

La media della scansione viene impiegata per ottenere uno spettro mediato della funzione tempo a 10 K campioni, in 400 linee. L'utilizzo è esteso sia a segnali stazionari che non-stazionari come per transitori o continui.

Analisi dei cicli macchina

L'applicazione del 2033 all'analisi dei cicli macchina, precedentemente menzionata, può essere estesa mediante un appropriato uso del trigger, del ritardo di registrazione dal trigger e delle caratteristiche di media. La fig.13 illustra un risultato tipico consistente in un grafico tridimensionale di vibrazioni, misurate durante un ciclo completo, sulla testata di uno dei cilindri di un motore diesel a 4 cilindri e a 4 tempi, alla velocità di 1500 rpm, con iniezione ritardata. Ogni spettro del grafico rappresenta 4 ms dell'intero ciclo, con durata di 80 ms (8 ms di registrazione con ponderazione Hanning) ed è media di 64 cicli. La sincronizzazione della finestra temporale del 2033 e il motore è stata ottenuta con un segnale di trigger prelevato da questo, utilizzando un impulso tachimetrico una volta per ogni ciclo, la finestra viene avanzata di 1,6 ms durante il ciclo del motore incrementando il ritardo di registrazione dal trigger. I vari eventi del ciclo possono essere visti molto chiaramente.

Analisi d'ordine

Il campo di frequenza del 2033 può anche essere controllato, sia in banda base che in alta risoluzione, da una frequenza di campionamento esterna. Questa può essere funzione della velocità di rotazione di una macchina, in modo che il 2033 possa fare un'analisi armonica inseguendo la velocità della macchina. In questo tipo di analisi il campo di frequenza rappresentato varia in funzione della velocità di rotazione della macchina e le componenti dello spettro restano in posizione fissa sullo schermo del 2033. Un'appropriata catena di strumentazione adatta a questo tipo di analisi, impiega il moltiplicatore e inseguitore di frequenza tipo 1901 ed è illustrata dalla fig.14.

Quando il 2033 è utilizzato per l'inseguimento in banda base e se il suo tempo di calcolo lo permette, il processo di sovrapposizione facilita l'inseguimento di una componente da uno spettro a quello successivo, (lo spettro istantaneo verrà aggiornato almeno 5 volte al secondo). Nel

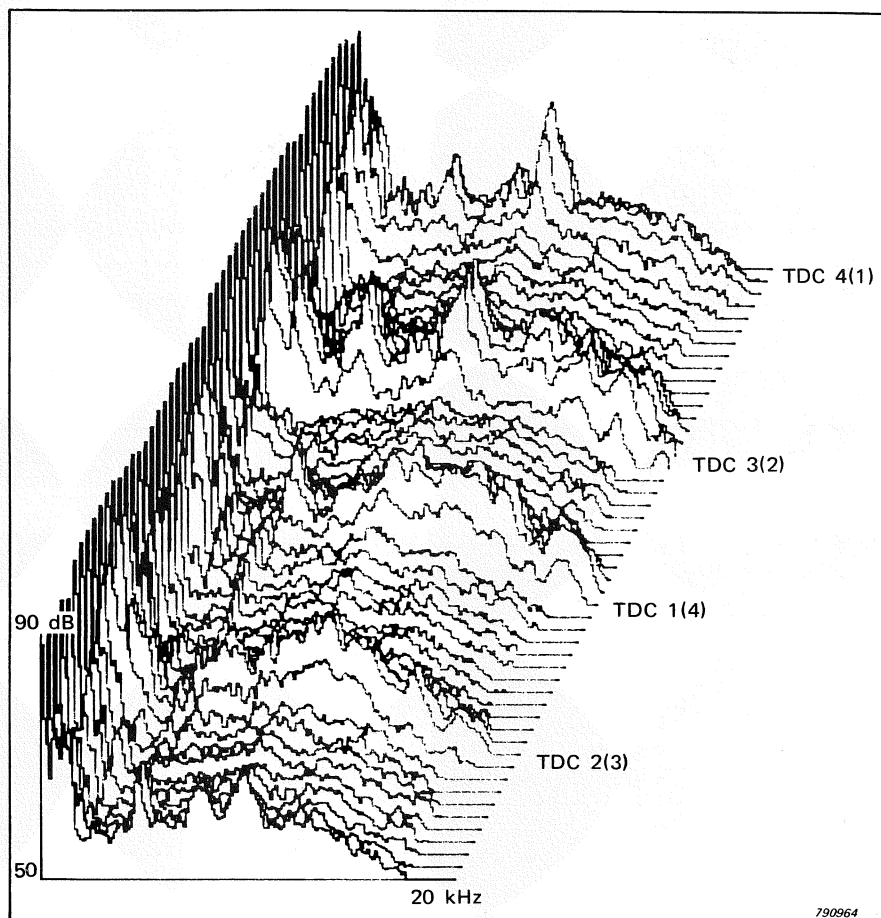


Fig.13. Analisi di un ciclo di motore diesel a 4 cilindri

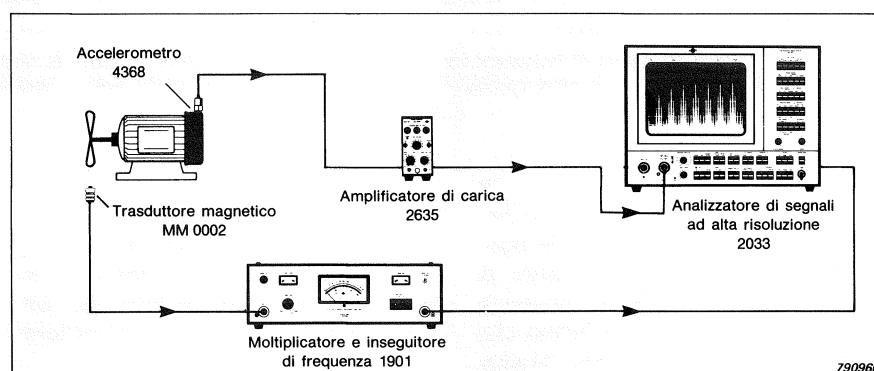


Fig.14. Impiego del moltiplicatore e inseguitore di frequenza tipo 1901 con il 2033

modo alta risoluzione, una caratteristica molto importante è che il processo di zoom da al 2033 un filtro d'inseguimento antialiasing molto efficace. Questo permette l'inseguimento su una gamma di velocità comprese tra 15:1, senza pericoli di distorsioni di aliasing. In questo caso non sarà però più possibile il processo di sovrapposizione.

Rappresentazione dei dati

Il 2033 utilizza uno schermo di rappresentazione da 11" con scala generata elettronicamente, che permette di identificare rapidamente e con precisione assoluta, tutti i dettagli importanti. Può essere rappre-

sentata la funzione tempo come gli spettri in frequenza.

La rappresentazione della funzione tempo serve anche per comandare manualmente un'analisi in scansione di una funzione temporale registrata su 10 K campioni. I 1 K campioni necessari all'analisi sono quelli rappresentati in quel momento sullo schermo e la pressione del pulsante "Inst. Spectrum" farà comparire lo spettro degli stessi.

La rappresentazione di uno spettro istantaneo o mediato può essere ottenuta sia in scala logaritmica che in scala lineare (la scala logaritmica

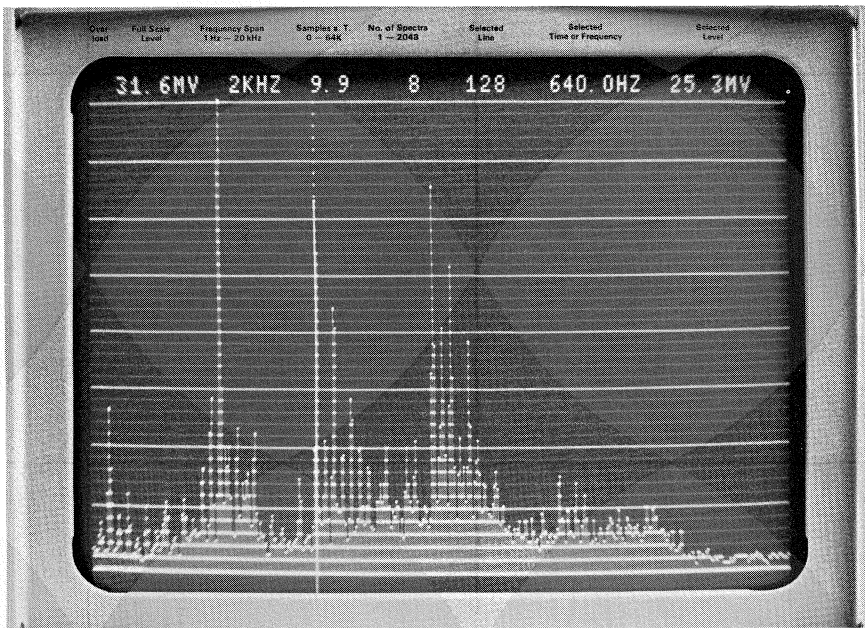


Fig. 15. Rappresentazione di uno spettro in scala lineare. L'ampiezza della linea selezionata con il cursore può essere letta in forma alfanumerica in V, unità ingegneristiche o lineari, riferite a qualsiasi altra linea dello spettro

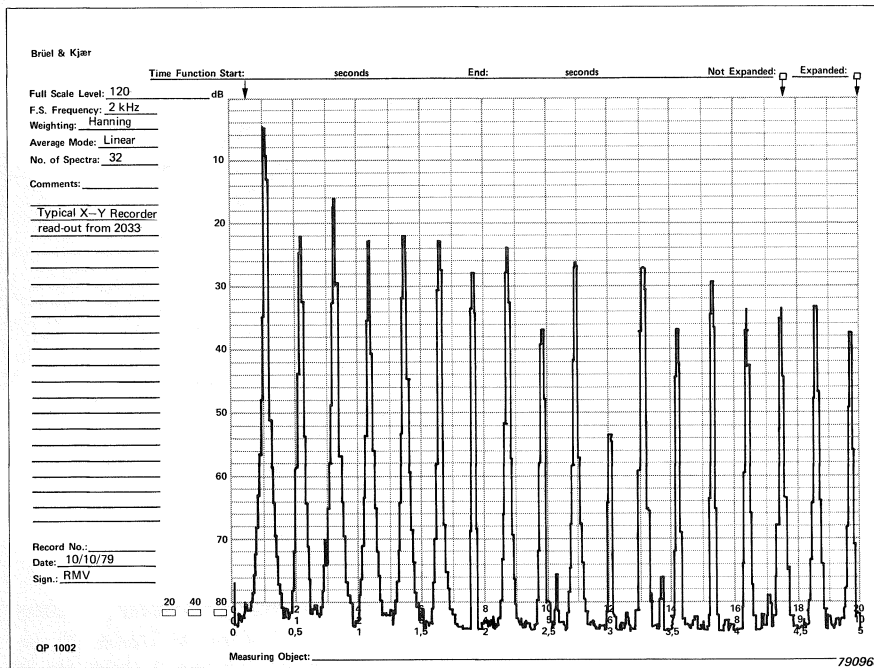


Fig. 16. Esempio di registrazione grafica di uno spettro del 2033 con il registratore X-Y tipo 2308

può essere di 40 o 80 dB) con un guadagno variabile. La scala delle frequenze è lineare. Il cursore mobile può poi essere utilizzato per leggere la frequenza in Hz e l'ampiezza in dB o in V di ogni singola linea. Ad ogni linea può essere assegnato il valore di zero relativo o di unità (come a qualsiasi campione della funzione temporale il tempo di 0 s). Il cursore serve poi a scegliere l'intervallo di frequenza in cui si vuole il processo di zoom nel modo alta risoluzione. La fig. 15 illustra un esempio di rappresentazione lineare di uno spettro.

La calibrazione in unità ingegneristiche del 2033 è effettuata con una tensione di riferimento interna di 100 mV e agendo sui potenziometri "Reference Adjust dB" e "Gain Control". Il livello di calibrazione è regolabile su una gamma compresa tra 100 μ V/unità e 30 V/unità approssimativamente.

Il 2033 possiede una memoria associata allo schermo dove possono essere memorizzati spettri da richiamare successivamente per permettere per esempio la comparazione

tra spettri di base e ad alta risoluzione. Si può rappresentare il rapporto di ampiezza tra lo spettro in ingresso e quello contenuto in memoria per stimare la risposta in frequenza di un sistema.

Uscita dei dati

Il 2033 è fornito di un'uscita analogica per il registratore di livello B & K tipo 2307 o per il registratore X-Y B & K tipo 2308 (specificare il modello all'ordine). Tutte le funzioni rappresentate possono essere trasferite ai registratori che operano su carta calibrata in frequenza e in ampiezza. La fig. 16 rappresenta uno spettro registrato sul registratore X-Y 2308.

Interfaccia IEC

Un'altra importante caratteristica del 2033 consiste nell'essere dotato di una sofisticata interfaccia IEC che permette l'accessibilità totale a tutti i comandi e alla memoria dati. L'interfaccia IEC 625-1 compatibile con IEEE 488 Std. permette il collegamento del 2033 ad un calcolatore per realizzare un sistema estremamente flessibile con possibilità molto estese. La connessione permette al calcolatore di avere accesso a:

- Tutti i comandi del pannello frontale e del cursore
- Alla funzione tempo
- Allo spettro complesso
- Allo spettro di potenza istantaneo
- Allo spettro di potenza mediato
- Allo spettro memorizzato
- Alla parte alfa-numerica dello schermo

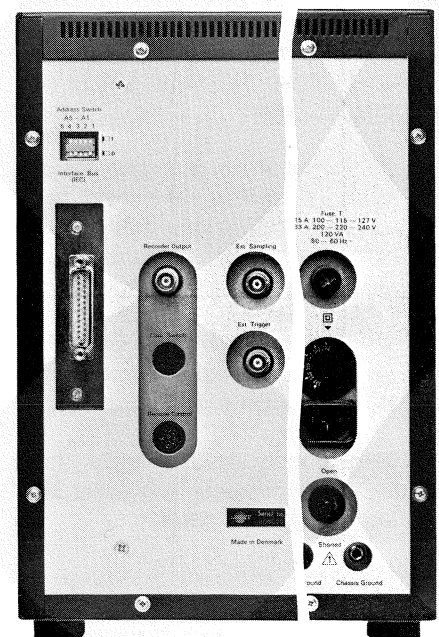


Fig. 17. Pannello posteriore del 2033

Come esempio di calcoli ulteriori che possono venire effettuati possiamo citare:

- Comparazione automatica di spettri
- Trasformata di Fourier inversa
- Cepstrum
- Trasformata di Hilbert

Una combinazione interessante si può ottenere collegando al 2033 il registratore digitale B & K tipo 7400 mostrato dalla fig.18. Il 7400 collegato direttamente al 2033 permette di

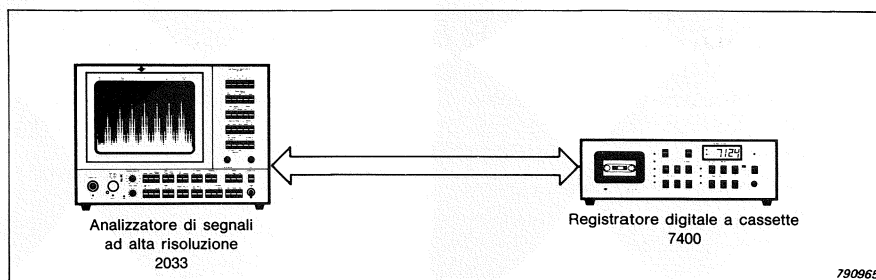


Fig.18. Uso del registratore digitale a cassette tipo 7400

memorizzare sia spettri che segnali nel tempo (a 1 K o 10 K campioni). Tutti i dati costruiti a partire dalla

funzione tempo registrata potranno poi essere completamente ricostruiti reintroducendola nel 2033.

Tecnica di zoom

Una trasformazione zoom di tipo convenzionale dipende da una moltiplicazione iniziale del segnale nel tempo per un vettore rotante che sposta in basso in frequenza la gamma di frequenza dello zoom, in modo da centrarlo attorno alla frequenza zero. Avviene poi un filtraggio passa-basso digitale con scarto dei campioni ridondanti, per ottenere un nuovo segnale nel tempo che è quello che viene poi trasformato in realtà. Il vantaggio di questo metodo consiste nel poter ottenere alti fattori di zoom mentre l'inconveniente è che siccome la gamma dello zoom è parzialmente determinata dalla frequenza del vettore di moltiplicazione, si è obbligati a dover registrare un nuovo segnale nel tempo per ciascuna nuova gamma di zoom richiesta, un processo eccessivamente lungo in molti casi.

Nel 2033 viene impiegato un processo di zoom differente per le due ragioni seguenti:

- 1) Dei fattori di zoom molto elevati, sono raramente necessari nelle misure di vibrazione di macchine rotanti e talvolta rappresentano uno svantaggio, in quanto un'accreciuta sensibilità ha tendenza a far cadere i picchi di uno spettro, a causa delle piccole variazioni di velocità del macchinario.
- 2) La conservazione della funzione tempo diventa possibile con un'altra tecnica di zoom.

Si può descrivere il processo di zoom del 2033 descrivendo la fig.19. Essa rappresenta una funzione FFT che trasforma 10 240 campioni di

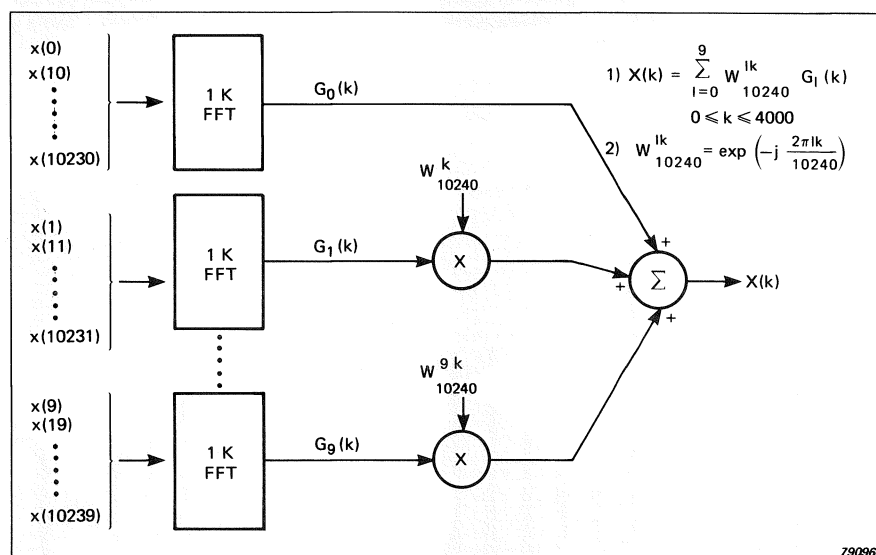


Fig.19. Diagramma a blocchi del sistema di processo dello zoom nel 2033

valore reale in 5120 linee spettrali complesse. Il principio utilizzato scompone una funzione FFT di 10 K campioni in 10 funzioni FFT di 1 K, la scomposizione decimale è stata realizzata sulla funzione tempo di 10 K per produrre 10 funzioni temporali da 1 K. La procedura di trasformazione FFT di base viene allora applicata per ottenere gli spettri di 10 funzioni temporali di 1 K, spettri che vengono poi manipolati per ottenere 5120 punti nel dominio della frequenza, associati alla funzione tempo originale di 10 K campioni. Solo i primi 4000 punti dei 5120 sono valori utili (a causa della forma del filtro di antialiasing del 2033) per formare lo spettro a 4000 linee.

Il 2033 esegue il processo di zoom secondo la procedura descritta ma

limitando la manipolazione per ottenere 512 linee spettrali (facendo variare k nell'equazione 1 della fig.19 su 512 valori consecutivi) il che consente una notevole economia di tempo. La gamma di frequenza delle linee è selezionata dalla posizione del cursore mobile. Una volta che i 10 K campioni sono registrati, il processo richiede solo 1 s.

In questo processo i valori dei campioni utilizzati nelle funzioni temporali di 1 K, non vengono mai modificati in rapporto alla funzione temporale di 10 K. L'informazione originale è dunque conservata e si possono ottenere allora differenti zoom sugli stessi dati, senza registrare nuovamente la funzione temporale originale.

Altre pubblicazioni B & K sullo stesso argomento

Maggiori informazioni in relazione alle applicazioni del 2033 e al suo impiego con altri strumenti, potranno essere trovate sulle seguenti pubblicazioni Brüel & Kjær: (alcune disponibili anche in italiano)

Prospetti a colori

Informazioni più dettagliate con gli analizzatori a banda stretta della Brüel & Kjær 206-80

The Digital Cassette Recorder 7400 19-003

Product Data

2031 - 2131 - 7400

Application Note

Condition Monitoring of Industrial Machinery 19-242

Order Analysis by the Use of Zoom 012-81

Cepstrum Analysis and Gearbox Fault Diagnosis, Edition 2 233-80

Controllo dell'efficienza del macchinario con l'impiego di un analizzatore FFT e di un calcolatore da tavolo 069-81

Bearing Monitoring Equipment for Gear Driven Paper Machines 219-80

Audible Effects of Mechanical Resonances in Turntables 17-233

Thyristors in Railway Traction 18-060

Application of a Long Memory FFT Analyzer in Speech Analysis 066-81

Computer Interfacing

BZ Programs

Programming Examples - Use of 2033 with a Desktop Calculator 089-81

BZ 0013 Program Description 059-80

BZ 0014 Program Description 169-80

Interfacing B & K Instruments 053-0457

Technical Review

Digital Signal Analysis (Collezione di Technical Review)

dati tecnici 2033

Caratteristiche d'ingresso:

Ingresso: sia diretto "Direct Input" che per preamplificatori microfonici B & K "Preamplifier Input"

Impedenza d'ingresso: "Direct Input" 1 M Ω //100 pF

Tensione massima in ingresso: Il 2033 è uno strumento in classe II (IEC 348). Per operare sempre in condizioni di sicurezza secondo la IEC 348, la tensione del segnale o il segnale di terra relativo non deve essere superiore a 42 V RMS (seno). Per assicurare le condizioni di sicurezza secondo la IEC ad alte tensioni, gli utilizzatori devono limitare tutte le correnti in ingresso a 0,7 mA di picco

Sensibilità: 11 intervalli di sensibilità a fondo scala (limite di sovraccarico del ADC), in passi di 10 dB da 66 a 166 dB RMS rif. a 1 μ V (seno)

Attenuatore d'ingresso: da 0 a 100 dB in passi di 10. Precisione \pm 0,1 dB

Controllo del guadagno: da 0 a 10 dB

Regolazione della sensibilità: (Direct) da + 4,7 dB a - 10 dB

Regolazione della sensibilità: (Preamp.) da + 4,7 dB a - 10 dB

Tensione di riferimento: 100 dB rif. a 1 μ V. Frequenza pari al 64% della frequenza base di fondo scala selezionata

Filtri antialiasing: 11 filtri selezionati automaticamente con la frequenza base impostata. Ronzio mass. di 0,2 dB in passabanda, discesa di 113 dB/ott. Forniscono un'attenuazione di almeno 70 dB di ogni componente del segnale d'ingresso con frequenza superiore di 1,56 volte la frequenza base di fondo scala. I filtri possono essere esclusi se necessario

Campionamento: frequenza pari a 2,56 volte la frequenza base di fondo scala, automaticamente selezionata in funzione

di essa per il campionamento interno. Un campionamento esterno imposta la frequenza di fondo scala ad un valore pari a 1/2,56 della frequenza di campionamento esterna

Conversione analogico/digitale: 12-bit complementati al 2, errore mass. di quantizzazione pari a \pm 1/2 LSB

Segnalazione di sovraccarico: indica il sovraccarico sia nell'amplificatore d'ingresso che nel convertitore ADC

Segnalazione "Upper 10 dB": segnala che l'amplificatore d'ingresso o il convertitore ADC operano nei 10 dB superiori del proprio intervallo di dinamica

Caratteristiche di analisi:

Modo in banda base:

Frequenza di fondo scala: da 10 Hz a 20 kHz selezionabile in sequenza 1 - 2 - 5

Intervallo di frequenza in tempo reale: > 2 kHz

Numero dei filtri sintetizzati: 400, generati da 1024 campioni

Distanza tra i filtri β : reciproco della durata della funzione temporale in ingresso o frequenza base di fondo scala divisa per 4000

Banda base e alta risoluzione:

Ponderazione: lineare (rettangolare) o Hanning selezionabile prima o dopo la registrazione della funzione temporale

Larghezza di banda a 3 dB: 0,88 β per la finestra lineare e 1,44 β per la finestra Hanning

Larghezza di banda del rumore: β per ponderazione lineare e 1,5 β per ponderazione Hanning

Linearità d'ampiezza: (su una media di 32 spettri) \pm 0,1 dB o 0,01% del fondo scala a sovraccarico secondo il più grande dei due valori

Risposta in frequenza del sistema:

\pm 0,2 dB con filtri di antialiasing disinsertiti o \pm 0,3 dB viceversa, da 2 Hz a 20 kHz

Livello del rumore: (su una media di 32 spettri) inferiore a 0 dB rif. a 1 μ V o 76 dB dal sovraccarico, secondo il più grande dei due valori

Analisi dei transitori:

Modi del trigger: interno, esterno o libero

Livello di trigger: regolabile in 200 passi sull'intervallo della tensione in ingresso. Il livello è rappresentato sullo schermo. Può essere positivo o negativo

Ritardo di registrazione dal trigger: regolabile in passi di 0,1 K campioni da 0,0 a 64 K campioni

Tempo di memorizzazione: corrispondente in secondi alla frequenza base di fondo scala in Hz divisa per 4000

Controllo della registrazione: cattura manuale del transitorio o automatica sul trigger successivo

Media di transitori: automatica per una sequenza di transitori o con controllo manuale dopo verifica dei dati

Analisi in scansione:

Automatica: una finestra di 1 K campioni si sposta lungo tutta la memoria dei 10 K campioni della funzione temporale, producendo una nuova analisi ad ogni passo. Il numero di passi è selezionabile in sequenza di 8 da 10 a 1153.

Manuale: una finestra di 1 K campioni viene spostata manualmente con passi multipli di 30 campioni

Media:

Lineare: media lineare di un numero di spettri preselezionato per produrre una

reale media di potenza. La media vera è sempre rappresentata e il numero di spettri mediati è indicato nella zona alta dello schermo

Esponenziale: Il numero di spettri indicato sullo schermo da il tempo di media effettivo

Numero di spettri: da 1 a 2048 in 12 gamme binarie

Memorizzazione del massimo: viene memorizzato il valore massimo in ogni linea

Sovrapposizione: del 50%, selezionando la ponderazione Hanning se il tempo di calcolo lo consente. Nessuna sovrapposizione con finestra lineare o in alta risoluzione

Controlli: Start, Proceed e Stop

Protezione sovraccarichi: ogni informazione con sovraccarico viene automaticamente esclusa dalla media

Media della scansione: media lineare di un'analisi in scansione automatica

Memoria:

"Store": memorizza lo spettro istantaneo o mediato e i dati alfanumerici dello schermo

"Protect": evita aggiornamenti accidentali della memoria

Schermo:

Può rappresentare la funzione in ingresso (funzione temporale, spettro istantaneo o mediato), il contenuto della memoria, il rapporto di ampiezza tra la funzione in ingresso e il contenuto della memoria o gli stessi in alternanza, con frequenza lenta o veloce

Dimensioni: 11"

Area di rappresentazione: 150 x 210 mm

Linee di scala: 41 linee orizzontali generate elettricamente per evitare errori di parallasse

Dinamica in ampiezza: lineare, 40 dB o 80 dB

Guadagno dello spettro: in passi di 10 su una dinamica di 80 dB

Letture alfa-numeriche: livello di fondo scala, gamma di frequenza, numero di campioni dal trigger, numero degli spettri in media, linea di frequenza selezionata o

numero del campione, frequenza o tempo selezionati, livello selezionato

Cursore mobile: a destra e sinistra in continuità o per singole linee

Letture del livello con il cursore: in V o dB rif. a $1\mu V \pm 50$ dB, dB rif. al livello RMS in ogni canale dello spettro, o in unità lineari rif. a ogni canale dello spettro

Letture del tempo con il cursore: riferito al campione iniziale o ad ognuno di quelli della registrazione

Rappresentazione della funzione tempo: involuppo di 10 K, 1 K o 390 campioni contigui

Uscita per il registratore di livello:

Impedenza d'uscita: 1 k Ω

Massima tensione d'uscita: + 15 V (nominale 12 V)

Ingresso/uscita digitali:

Interfaccia: IEC 625-1 compatibile con IEEE 488 Std.

Funzioni: SH1, AH1, T5, L3, SR1, RL \emptyset , PP \emptyset , DC2 e DT \emptyset

Dati: funzioni selezionate dal selettore del display o, con computer esterno, di ogni blocco della memoria principale

Codici: ISO 7-bit (ASCII senza bit di parità) o binario, selezionati dal computer esterno

Controllo a distanza: l'assetto dei comandi del pannello frontale può essere comandato in input/output dall'interfaccia digitale

Varie:

Alimentazione: 100, 115, 125, 200, 220, 240 V AC, $\pm 10\%$, da 50 a 60 Hz. Consumo appr. 120 VA. Secondo condizioni di sicurezza della IEC 348 classe II

Ambiente: intervallo di temperatura per operazioni secondo specifiche: da + 5° a + 40°C

Temperatura d'immagazzinamento: da - 25° a + 75°C

Contenitore: fornito come modello A (in metallo leggero) o C (come A ma con flange per rack da 19")

Peso e dimensioni: (modello A con piedi)

Altezza: 310,4 mm

Larghezza: 430 mm

Profondità: 500 mm

Peso: 22 Kg

Accessori inclusi:

Cavo di alimentazione AN 0020
1 presa B & K JP 0101
1 presa BNC JP 0035
Disco a camme per 2307 OD 0253
Cavo di controllo a distanza per 2307 AQ 0034
Cavo segnale per 2307 AO 0064
Cavo segnale per 2308 AO 0087
Fusibili da 0,63 A VF 0032
Fusibili da 1,25 A VF 0027

Uscita per registratore X-Y ZN 0204:

(opzionale — sostituisce l'uscita per registratore di livello)

Deflessione asse X:

Tempo di lettura: commutatore per selezione di 45, 118, o 263 s

Tensione di uscita: da 0 a + 10 V con 400 passi (linearità migliore di 0,1%), deviazione a fondo scala nel modo "Cal"

Impedenza di uscita: 100 Ω

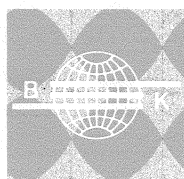
Deflessione asse Y:

Tensione di uscita: da 0 a + 10 V con 256 passi (precisione migliore di ± 10 mV), deviazione a fondo scala nel modo "Cal"

Impedenza di uscita: 100 Ω

Accessori disponibili:

Cavo di connessione per interfaccia IEC 625-1 (2 m) AO 0194
Cavo di connessione (maschio con blocco) a IEC 625-1 (2 m) AO 0184
Adattatore per convertire strumenti IEEE alla IEC 625-1 AO 0195
Carta prestampata per registratore di livello QP 1103
Carta prestampata per registratore X-Y QP 1002
Programma di documentazione con l'uso del calcolatore HP 9825 BZ 0013
Programma di manutenzione preventiva con l'uso del calcolatore HP 9825 BZ 0014



BRÜEL & KJÆR ITALIANA S.r.l.

20139 Milano - Via Ripamonti, 89 Tel: 02-56 93 041/2/3 - Telex: 333442 bruka i

Ufficio di Roma: Via Laurentina, 3/S. 00142 Roma. Tel: 06 - 54 07 310

Ufficio di Torino: C.so Laghi 81/95 I0090 Buttigliera Alta. Tel: 011 - 93 24 596

Ufficio di Bologna: Via Jacopo Barozzi 2, 40126 Bologna. Tel: 051 - 35 29 46