

Stages Invernali
29 Gennaio - 11 Maggio 2007

Caratterizzazione di dispositivi diagnostici per acceleratori di particelle

M.Panattoni - M.Di Rocco (I.T.I.S. Giovanni XXIII, Roma)
D.Bellizia – A.Polce (I.T.I.S. S. Cannizzaro, Colleferro)
D.Scascitelli – A.Stirpe (I.T.I.S. E. Fermi, Roma)

Divisione Acceleratori – Servizio SELCED
Tutori: A. Stella – O. Coiro – D. Pellegrini

Caratterizzazione di dispositivi diagnostici per acceleratori di particelle

Prefazione

Lo stage e' rivolto a studenti del IV anno della Scuola Media Superiore e si propone di illustrare alcune applicazioni degli strumenti e delle tecniche di misura utilizzate nel progetto e nella gestione dei sistemi elettronici di diagnostica impiegati nell'acceleratore di particelle DAFNE, installato nei Laboratori Nazionali di Frascati dell'INFN.

Obiettivo finale e' la caratterizzazione di un monitor di posizione e di corrente del fascio di particelle attraverso l'utilizzo degli strumenti di misura normalmente impiegati per le attività svolte nel laboratorio di elettronica SELCED della Divisione Acceleratori.

Il programma prevede lezioni teoriche ed esercitazioni pratiche, sono descritti i vari principi di funzionamento di oscilloscopi analogici e digitali, generatori di segnali, spectrum analyzer e network analyzer con l'integrazione di esercitazioni appropriate svolte dagli stessi studenti per lo studio delle grandezze di interesse e delle tecniche di misura utilizzate per caratterizzare i dispositivi impiegati nella diagnostica degli acceleratori.

Vengono analizzate le metodiche sull'acquisizione dei dati, descritte le tecnologie sul principio di funzionamento di alcuni dispositivi utilizzati nell'acceleratore DAFNE con particolare riguardo alllo studio dei materiali e della strumentazione utilizzata.

I Tutori

Nel corso di questo stage, svolto nei laboratori di elettronica dell'INFN, abbiamo avuto l'occasione di approfondire l'uso di strumentazione elettronica come oscilloscopi digitali, generatori di funzioni, analizzatori di spettro e riflettometri.

Di ogni strumento abbiamo studiato il principio di funzionamento, il corretto utilizzo e sperimentato praticamente l'uso con varie esercitazioni in laboratorio.

Ringraziamo l'INFN per averci dato questa opportunità e in particolare i nostri tutor che ci hanno seguito e guidato in questo stage.

Un ringraziamento speciale alle nostre scuole e ai nostri professori per la notevole disponibilità.



Caratterizzazione di dispositivi diagnostici per acceleratori di particelle

Calendario lezioni

1° incontro	29 gennaio lunedì
2° incontro	8 febbraio giovedì
3° incontro	26 febbraio lunedì
4° incontro	16 marzo venerdì
5° incontro	22 marzo giovedì
6° incontro	29 marzo giovedì
7° incontro	16 aprile lunedì
8° incontro	9 maggio mercoledì
9° incontro	11 maggio venerdì

Stumentazione utilizzata in laboratorio



Agilent Infiniium – Oscilloscopio digitale

- 4 canali di ingresso
- impedenza di ingresso di 50 Ohm oppure alta impedenza
- larghezza di banda 600 MHz
- sampling rate 4 GSa/s



HP 54602B – Oscilloscopio digitale

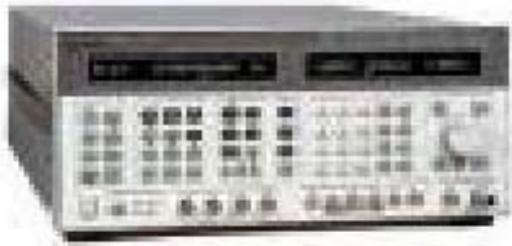
- 4 canali di ingresso
- alta impedenza di ingresso
- larghezza di banda 150 MHz
- sampling rate 20 MSa/s



Stanford DG535 – Generatore d'impulsi

- 4 canali di uscita
- impedenza di uscita di 50 Ohm oppure alta impedenza
- segnali erogabili: TTL, ECL, NIM, variabili (-3V ÷ 4V)
- rise time 3 ns

Caratterizzazione di dispositivi diagnostici per acceleratori di particelle



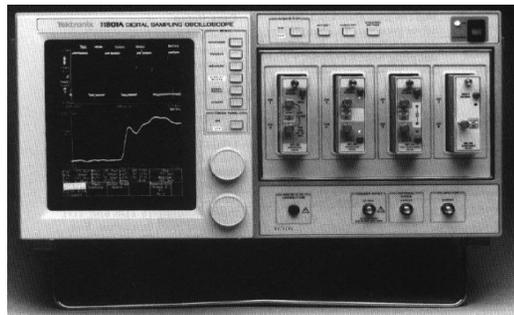
HP 8664A – Generatore di segnali

- range di frequenza 0,1 ÷ 3 GHz
- modulazione AM, FM, PM, FASE
- output level +13 to -139.9 dBm



HP 8656B – Generatore di segnali

- range di frequenza 0,1 ÷ 990 MHz
- modulazione AM, FM
- output level -127 to +17 dBm



Tektronix 118001 A Oscilloscopio Digitale (Riflettometro)

- 4 canali
- impedenza 50 ± 0.5 Ohm
- larghezza di banda 20 GHz
- rise time 17.5 ps
- massimo segnale d'ingresso ± 3 V



HP 8562B - Analizzatore di spettro

- range di frequenza da 1KHz a 22 GHz
- risoluzione di banda (-3 dB): da 100 Hz a 1 MHz selezionabili in sequenze da 1, 3, 10
- massima potenza d'ingresso +30 dBm (1 W)



HP 8116A - Generatore di impulsi

- 2 canali di ingresso
- larghezza di banda 50MHz
- forme d'onda: triangolare, quadra, sinusoidale, a gradino
- ampiezza da 10 mVp-p a 16 Vp-p
- larghezza d'impulso: da 10 ns a 999 ms

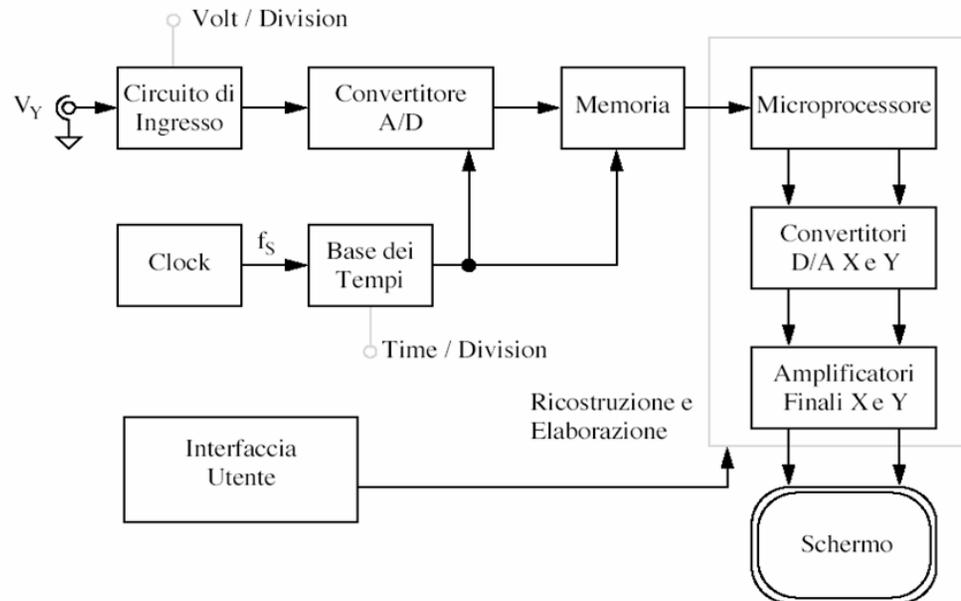


Agilent 33220A – Generatore di impulsi

- larghezza di banda 20MHz
- forme d'onda: triangolare, quadra, sinusoidale, a gradino, rampa, noise e arbitraria
- ampiezza da 10 mVp-p a 10 Vp-p
- modulazione AM, FM, PM, FSK, and PWM
- larghezza d'impulso: minimo 20 ns

L'Oscilloscopio digitale

L'oscilloscopio è lo strumento utilizzato per l'analisi di segnali variabili nel tempo. In genere il segnale misurato è una tensione, anche se introducendo convertitori o trasduttori è possibile analizzare ogni genere di grandezza. Gli oscilloscopi sono di diversi tipi a seconda della misura da eseguire, della frequenza e dell'ampiezza del segnale da misurare. Un segnale variabile nel tempo può essere analizzato in tempo reale (*oscilloscopio tradizionale*) o memorizzato per essere ripreso successivamente (*oscilloscopio a memoria*).



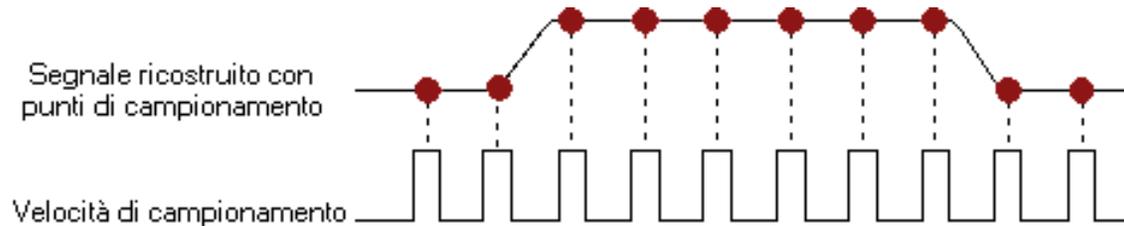
Lo schema a blocchi semplificato di un oscilloscopio tradizionale è illustrato in figura.

Il segnale da analizzare, viene modificato dal circuito di ingresso (che si occupa dell'adattamento d'impedenza, dell'attenuazione del livello di ingresso, e comprende un filtro anti-alias) e trasferito al convertitore analogico-digitale. Una volta trasformato in digitale, il segnale viene salvato nella memoria dell'oscilloscopio ed elaborato dal processore per la visualizzazione. Il tempo d'acquisizione è regolato da un clock interno allo strumento.

Caratterizzazione di dispositivi diagnostici per acceleratori di particelle

L'ADC

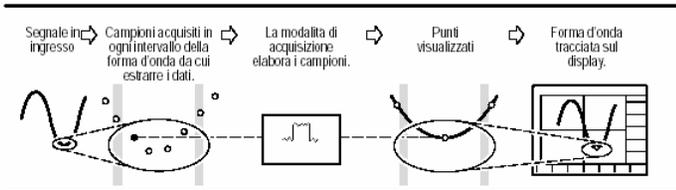
Il **convertitore analogico-digitale** del sistema di acquisizione dati campiona il segnale a intervalli di tempo determinati e converte il segnale in tensione continua in una serie di valori digitali chiamati punti di campionamento. Nella sezione orizzontale un segnale di clock determina quando il convertitore A/D prende un campione. La velocità di questo clock viene chiamata velocità di campionamento e viene indicata in campioni al secondo.



I valori digitali campionati vengono immagazzinati in una memoria come punti del segnale. L'insieme del numero di punti del segnale costituirà un "pacchetto" che verrà utilizzato per ricostruire il segnale sullo schermo. La sezione di trigger determina l'inizio e la fine del "pacchetto" di punti utilizzati per rappresentare il segnale. La sezione di visualizzazione riceve il "pacchetto" di punti, una traccia immagazzinata nella memoria, per rappresentare il segnale nello schermo dello strumento.

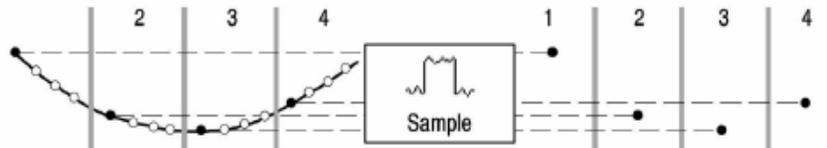
A seconda delle capacità dell'oscilloscopio è possibile sviluppare processi addizionali sui punti campionati. Ad esempio molti oscilloscopi digitali dell'ultima generazione dispongono della funzione di pre-trigger per osservare cosa avviene prima della partenza del sincronismo.

Modalità di Acquisizione

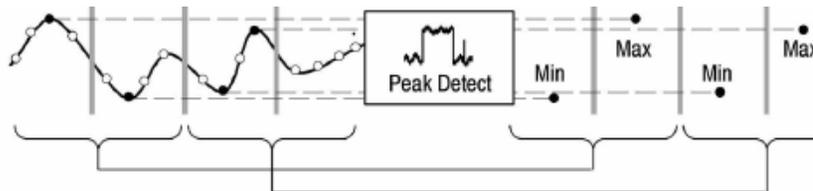


$$\text{intervallo di acquisizione} = \frac{\text{durata di registrazione}}{\text{numero di punti in registrazione}}$$

La modalità **Sample** (Campione) trattiene un punto campionato da ogni intervallo di acquisizione.



La modalità **Peak Detect** (Individuazione picco) utilizza il campione più alto e quello più basso contenuti in due intervalli di acquisizione consecutivi.

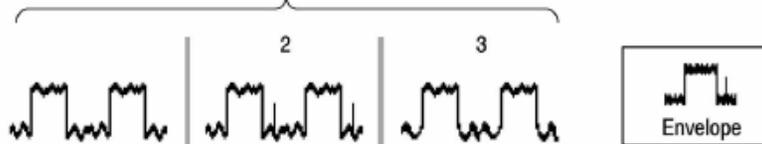


La modalità **Hi Res** (Alta risoluzione) calcola la media di tutti i campioni per ogni intervallo di acquisizione.



Tre acquisizioni da una sorgente

La modalità **Envelope** (Involuppo) individua il punto di registrazione più alto e quello più basso nel corso di molte acquisizioni. La modalità Envelope utilizza la modalità Peak Detect per ogni singola acquisizione.



La modalità **Average** (Media) calcola il valore medio per ogni punto di registrazione nel corso di molte acquisizioni. La modalità Average utilizza la modalità Sample per ogni singola acquisizione.



Acquisizione di forma d'onda singola



Acquisizioni di più forme d'onda

Ref: Tektronix, TDS500 User Manual

Real Time Sampling

Campionamento in tempo reale con Interpolazione

Il metodo standard di campionamento in un oscilloscopio digitale è il campionamento in tempo reale: l'oscilloscopio cattura e riunisce un sufficiente numero di punti per ricostruire il segnale. Questo tipo di campionamento è l'unico utilizzabile per analizzare segnali transitori o non ripetitivi.

Gli oscilloscopi utilizzano la interpolazione per poter visualizzare segnali che sono troppo veloci rispetto alla velocità di campionamento.

Esistono due tipi di interpolazione:

Lineare: I punti di campionamento vengono uniti con una linea retta.

Sinusoidale: Connette i punti di campionamento con una curva secondo un processo matematico. Di questa forma i punti intermedi si calcolano per riempire gli spazi tra i punti reali di campionamento. Usando questo sistema è possibile visualizzare segnali con grande accuratezza anche disponendo di un limitato numero di punti di campionamento.

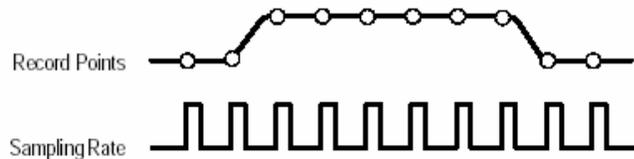
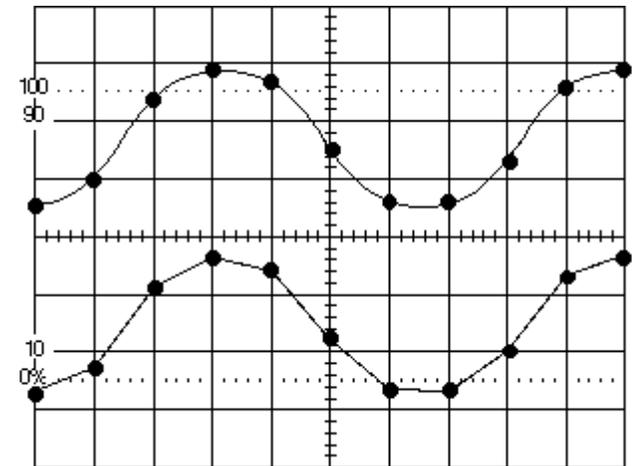


Figure 3-13: Real-Time Sampling

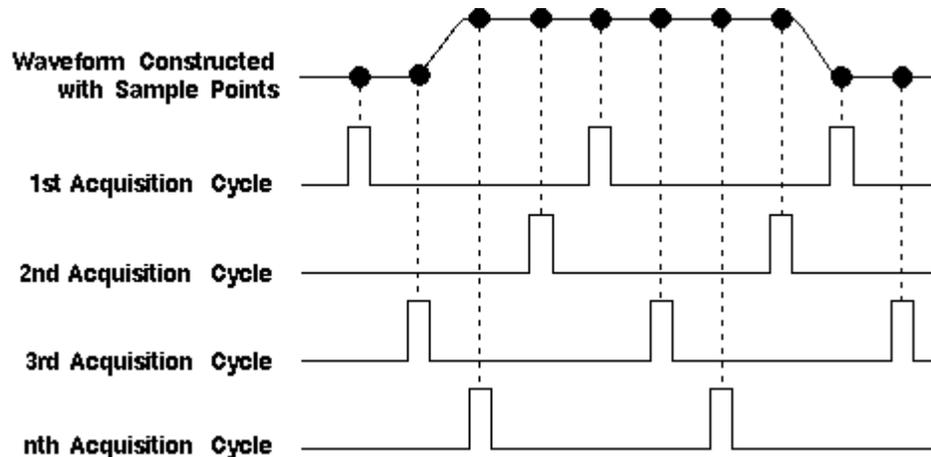
Sine Wave Reproduced
using Sine Interpolation



Sine Wave Reproduced
using Linear Interpolation

Equivalent Time Sampling

Alcuni oscilloscopi digitali utilizzano questo tipo di campionamento. Vengono impiegati per lo studio e la visualizzazione di segnali aventi frequenze molto elevate a condizione che presentino forme costanti nel tempo. Si tratta di ricostruire un segnale ripetitivo catturando una piccola parte del segnale in ogni periodo. Questi strumenti provvedono a campionare tratti di segnale da analizzare, presi in periodi successivi, in modo da poter ricostruire fedelmente il segnale ad una frequenza inferiore di quella reale e quindi poterlo visualizzare mediante un normale sistema a CRT.



Glossario oscilloscopio digitale

Analog Bandwidth

La specifica di larghezza di banda ci dice quale gamma di frequenze l'oscilloscopio misura esattamente. Per convenzione, la larghezza di banda indica la frequenza a cui il segnale visualizzato si riduce al 70.7% del segnale applicato per un'onda sinusoidale. (questo 70.7% equivale a "- 3 dB" su una scala logaritmica.)

Risetime

E' il tempo che l'impulso impiega per salire dal 10% al 90 % del valore massimo in tensione di salita. Un oscilloscopio non può visualizzare esattamente gli impulsi con i tempi di salita più rapidi del risetime specificato dell'oscilloscopio.

Sensibilità Verticale

La sensibilità verticale indica quanto l'amplificatore verticale può amplificare un segnale debole. La sensibilità verticale è data solitamente in millivolt per divisione. La più piccola tensione che un oscilloscopio può rilevare è in genere circa 2 mv per divisione verticale dello schermo.

Gain Accuracy

Indica quanto il sistema verticale attenua esattamente o amplifica un segnale. Ciò è elencata solitamente come errore di percentuale.

Timebase

Indica la scala orizzontale con cui si visualizza esattamente la sincronizzazione di un segnale.

Sample Rate

Sugli oscilloscopi digitali, il sample rate indica quanti campioni al secondo l'ADC (e quindi l'oscilloscopio) possono acquisire. I sample rate sono dati solitamente in megasamples al secondo (MS/s) Tipicamente, il sample rate cambia con i cambiamenti fatti al controllo di sec/div per effettuare un numero costante di punti di forma d'onda.

Risoluzione dell'ADC (o Risoluzione Verticale)

La risoluzione dell'ADC (e quindi dell'oscilloscopio digitale) indica quanto può trasformare precisamente nelle tensioni in ingresso i valori digitali. Le tecniche di calcolo possono migliorare la risoluzione efficace.

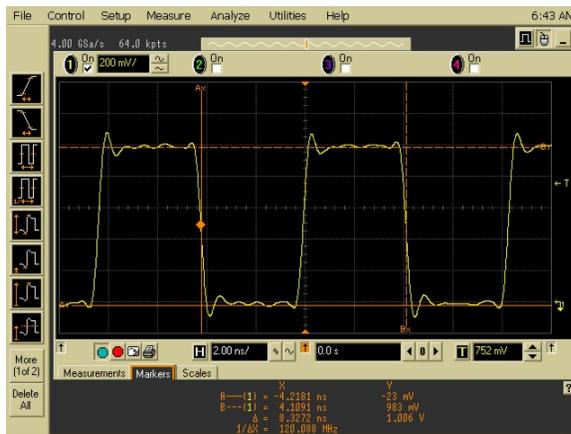
Record Length

La lunghezza record di un oscilloscopio digitale indica quanti punti di forma d'onda l'oscilloscopio può acquistare per una forma d'onda. La lunghezza record massima dipende dalla quantità di memoria in vostro oscilloscopio. Poiché l'oscilloscopio può immagazzinare soltanto un numero limitato di punti di forma d'onda, c'è un'alternanza fra il particolare record e la lunghezza record. Potete acquistare un'immagine dettagliata di un segnale per un periodo di tempo corto un'immagine meno dettagliata per un periodo di tempo più lungo.

Caratterizzazione di dispositivi diagnostici per acceleratori di particelle

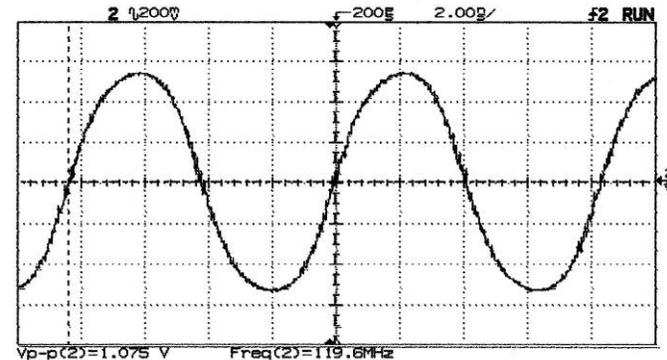
Es. 01 - Visualizzazione di un'onda quadra

In questa esperienza abbiamo confrontato due oscilloscopi aventi banda passante differente, applicando a entrambi un'onda quadra periodica avente frequenza 120 MHz e ampiezza 1 V. Si nota che nell'oscilloscopio avente banda passante pari a 1 GHz (Agilent Infiniium) è visualizzata un'onda quadra che presenta delle imperfezioni (overshoot); nell'altro oscilloscopio (HP54602B), avente banda passante 150 MHz, la forma d'onda visualizzata è simile ad una sinusoide, questo perchè la banda passante è di poco superiore alla frequenza del segnale in ingresso, e quindi le armoniche a frequenza più alta non vengono visualizzate dallo strumento, poichè filtrate dai componenti passivi interni ad esso.



Agilent Infiniium
Banda passante 1 GHz
Sampling rate 4GSa/s

10:45:51 Mon Feb 26, 2007



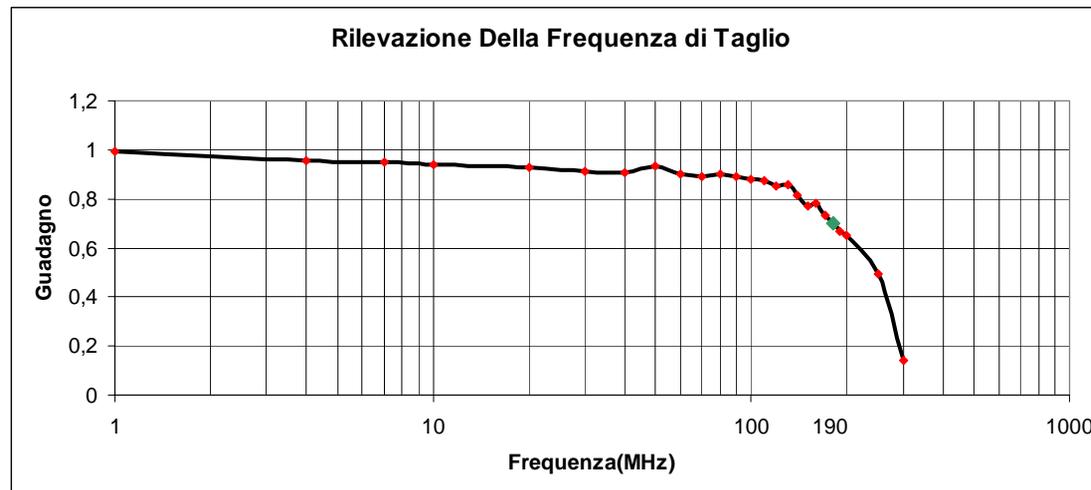
HP 54602B
Banda passante 150 MHz
Sampling rate 20 MSa/s

Es. 02 - Rilevazione della banda passante analogica

La banda passante analogica è definita come l'intervallo di frequenze all'interno del quale l'ampiezza del segnale visualizzato si riduce al 70.7% del segnale applicato per un onda sinusoidale (- 3 dB su scala logaritmica), in pratica ci dice quale gamma di frequenze l'oscilloscopio misura esattamente senza arrecare distorsioni.

Mediante un generatore di segnale (HP 8656B) abbiamo applicato all'ingresso di un oscilloscopio digitale (HP 54602B) un segnale sinusoidale di ampiezza costante e frequenza 1 MHz per verificare sperimentalmente quale fosse la sua banda passante. All'aumentare della frequenza si nota che l'ampiezza del segnale visualizzato resta costante fino a un determinato valore di frequenza (frequenza di taglio: frequenza in corrispondenza della quale il segnale visualizzato risulterà il 70% in ampiezza di quello in ingresso). Superato questo valore, l'ampiezza del segnale ha un andamento decrescente tendente a 0. La frequenza di taglio dell'oscilloscopio preso in esame risulta, da queste misure, essere 180 MHz.

F (MHz)	Vpp(V)	G=Vpp/Vin
1	2,8	0,993
4	2,7	0,957
7	2,68	0,950
10	2,65	0,940
20	2,62	0,929
30	2,57	0,911
40	2,56	0,908
50	2,64	0,936
60	2,54	0,901
70	2,51	0,890
80	2,54	0,901
90	2,51	0,890
100	2,48	0,879
110	2,46	0,872
120	2,4	0,851
130	2,42	0,858
140	2,29	0,812
150	2,17	0,770
160	2,2	0,780
170	2,07	0,734
180	1,98	0,702
190	1,89	0,670
200	1,84	0,652
250	1,4	0,496
300	0,4	0,142

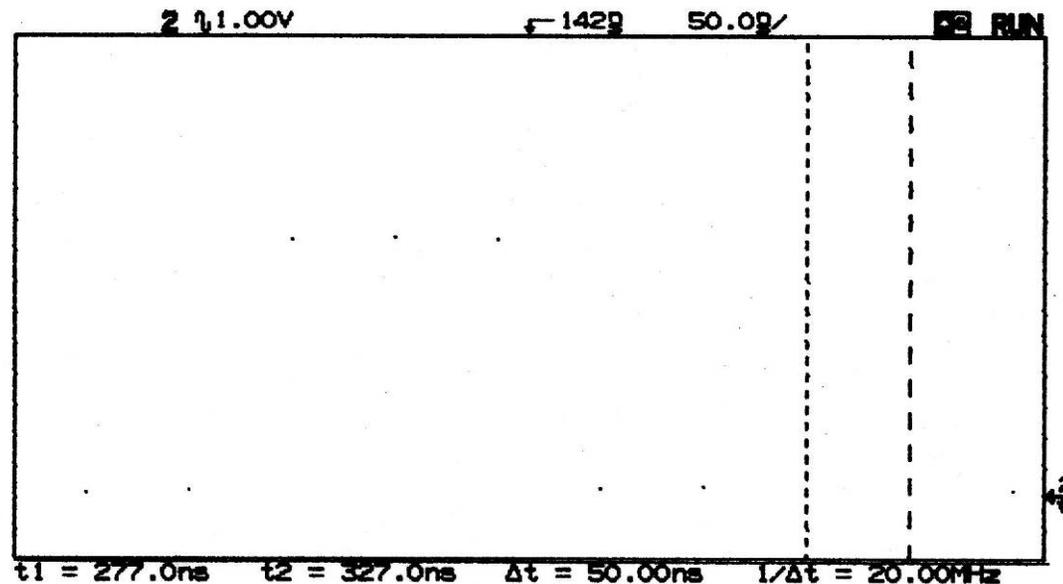


Il grafico rappresenta l'attenuazione che subisce il segnale visualizzato al variare della frequenza.

Es. 03 - Real Time e Equivalent Time

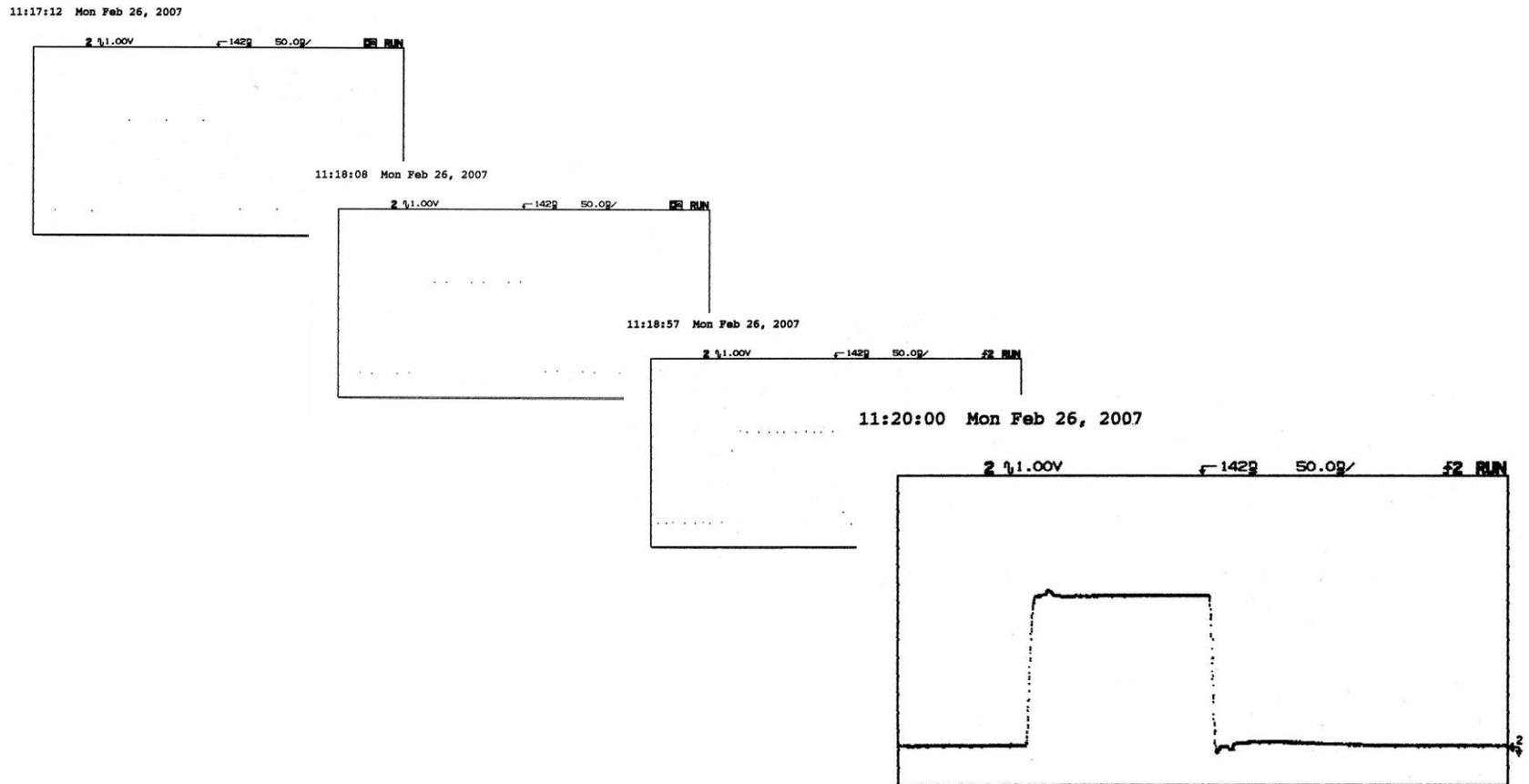
In questa esperienza abbiamo confrontato tecniche diverse nell'acquisizione dati dell'oscilloscopio. Abbiamo applicato all'oscilloscopio HP54602B un impulso singolo mediante il generatore di segnali DG535: in modalita' "real time" lo strumento acquisisce tutti i punti necessari per rappresentare la forma d'onda in un'unica acquisizione, ne consegue che nel grafico si vedono solo dieci punti equidistanti tra loro 50ns che corrispondono alla frequenza di campionamento di 20MSa/s, come da specifica dello strumento.

11:15:08 Mon Feb 26, 2007



Caratterizzazione di dispositivi diagnostici per acceleratori di particelle

Successivamente abbiamo continuato ad inviare altri impulsi: l'oscilloscopio ha sovrascritto di volta in volta l'ultimo campionamento effettuato a quelli precedentemente memorizzati ricostruendo così la forma d'onda originaria sempre con maggiore definizione. Questo modo di operare è quello che effettivamente l'oscilloscopio esegue in modalità "equivalent time": questa funzione è utilizzata per forme d'onda ripetitive, con questo metodo l'oscilloscopio acquisisce ad ogni ripetizione i punti necessari per rappresentare perfettamente la forma d'onda applicata.



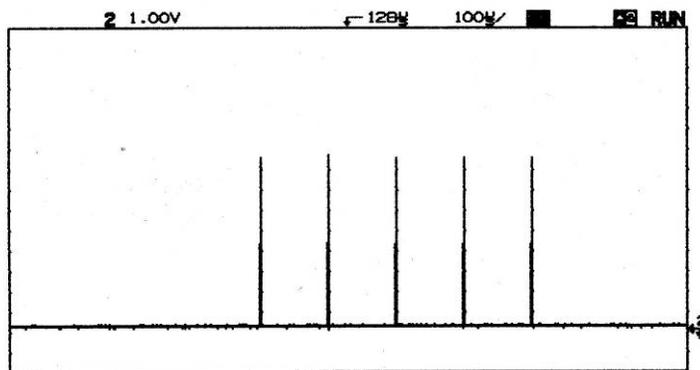
Es. O4 - Differenza tra metodi d'acquisizione

In questa esperienza si vuole mettere a confronto due diversi metodi d'acquisizione: il **sample** o **normal** ed il **peak detect**.

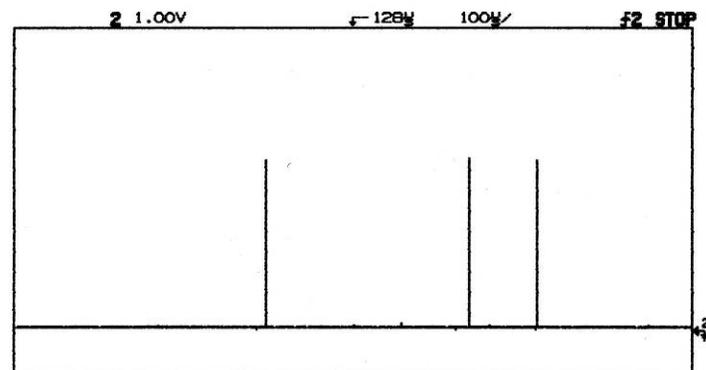
Si vuole visualizzare sull'oscilloscopio HP54602B un **burst** (treno d'impulsi) di cinque impulsi rettangolari della larghezza di 200ns prodotto dal generatore di segnali Stanford Research System - model DG535.

S nota che nel primo metodo "sample" o "normal", i picchi degli impulsi variano ad ogni successiva visualizzazione e l'oscilloscopio non riesce a definire ogni picco del "burst". Il perchè sta nel fatto che l'oscilloscopio ha degli intervalli di acquisizione e per ogni intervallo sceglie il primo punto di quelli campionati. Per ovviare a questo problema si ricorre al secondo metodo d'acquisizione, il "peak detect", nel quale ogni picco del treno d'impulsi è ben definito. La differenza sta nella scelta dei punti visualizzati per ogni intervallo d'acquisizione: infatti a differenza del precedente, nel "peak detect" l'oscilloscopio per ogni intervallo d'acquisizione sceglie i punti con il valore massimo e minimo d'ampiezza.

12:09:03 Mon Feb 26, 2007



12:07:53 Mon Feb 26, 2007



Es. 05 - Acquisizione di segnali dell'acceleratore DAFNE

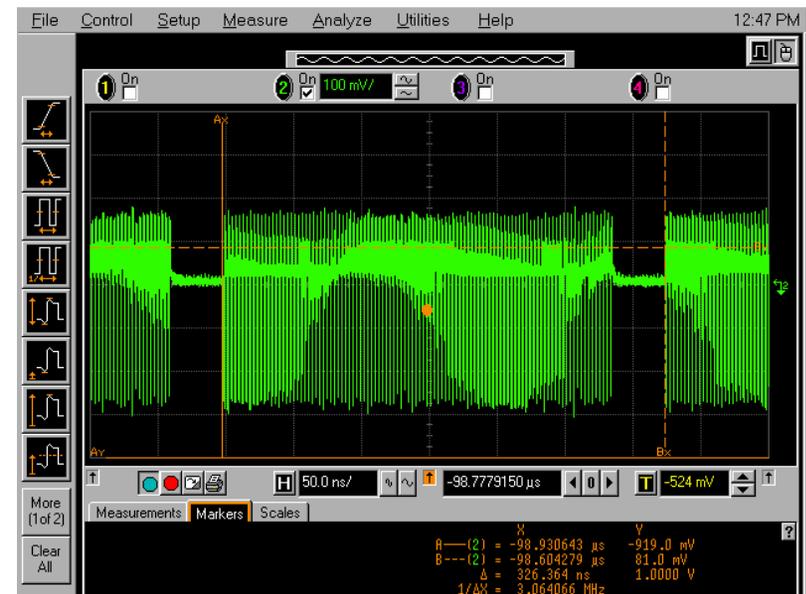
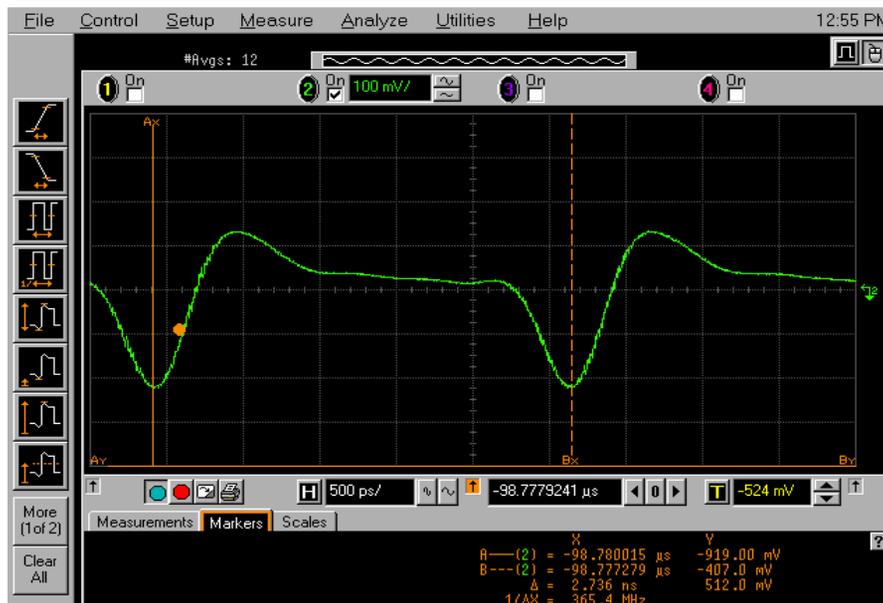
In questa esperienza abbiamo utilizzato un'oscilloscopio AGILENT INFINIUM 600Mhz 4 Gsa/s per acquisire i segnali elettrici generati dal fascio di particelle dell'acceleratore **DAFNE** in un elettrodo precedentemente installato nella camera da vuoto.

L'oscilloscopio è stato triggerato da un segnale di riferimento a onda quadra, con ampiezza 0.8V e frequenza 1Khz, sincrono con il fascio di particelle.

Abbiamo verificato che ogni pacchetto di particelle genera un impulso bipolare con tempo di salita ~150 psec (al termine del cavo coassiale) e ampiezza proporzionale al numero di particelle. In DAFNE si possono immagazzinare al massimo 120 pacchetti, al momento della misura ne erano immagazzinati 106. Abbiamo misurato la **distanza tra 2 pacchetti** successivi che è risultata essere ~2,7 nsec.

E' stato possibile misurare il **tempo di rivoluzione** di ogni singolo pacchetto di particelle attraverso la misura dell'intervallo di tempo tra i 2 treni successivi (~326.3ns).

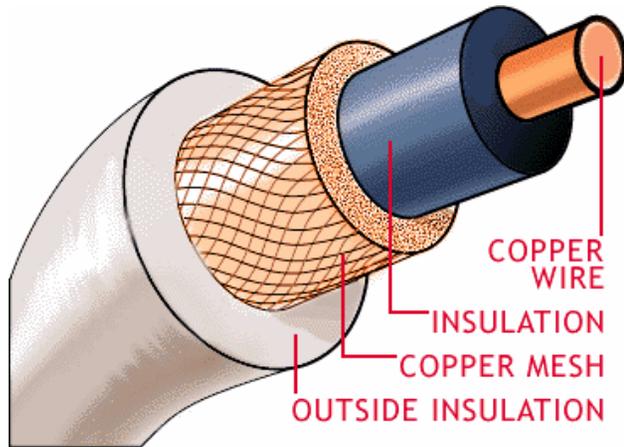
Tutti i valori misurati sono in accordo con quelli forniti dal sistema di controllo dell'acceleratore.



Caratterizzazione di dispositivi diagnostici per acceleratori di particelle

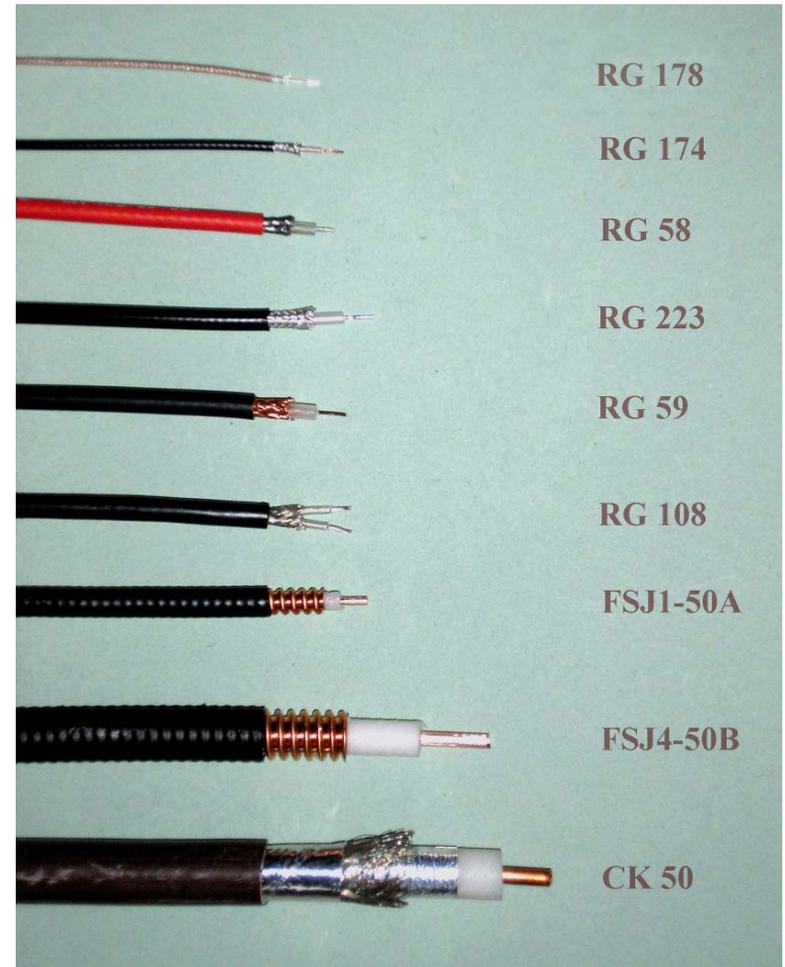
Il trasporto del segnale

Per la trasmissione da breve distanza di impulsi elettrici si usano cavi coassiali.



Un cavo coassiale è una struttura cilindrica flessibile, il cui diametro è dell'ordine del centimetro o meno, formata da un filo interno conduttore, di solito di rame, coassiale con un cilindro tubolare esterno anch'esso metallico, costituito di solito da una calza di sottili fili di rame, essendo lo spazio fra i due conduttori riempito di un dielettrico omogeneo flessibile, usualmente realizzato con materiale plastico.

I cavi utilizzati in RF hanno una impedenza caratteristica di 50 Ohm e dovrebbero essere caratterizzati da un'attenuazione ridotta e da un notevole grado di schermatura.



Caratterizzazione di dispositivi diagnostici per acceleratori di particelle

Es. O6 – Verifica del ritardo, distorsione e attenuazione introdotti dal cavo coassiale sull'impulso rettangolare

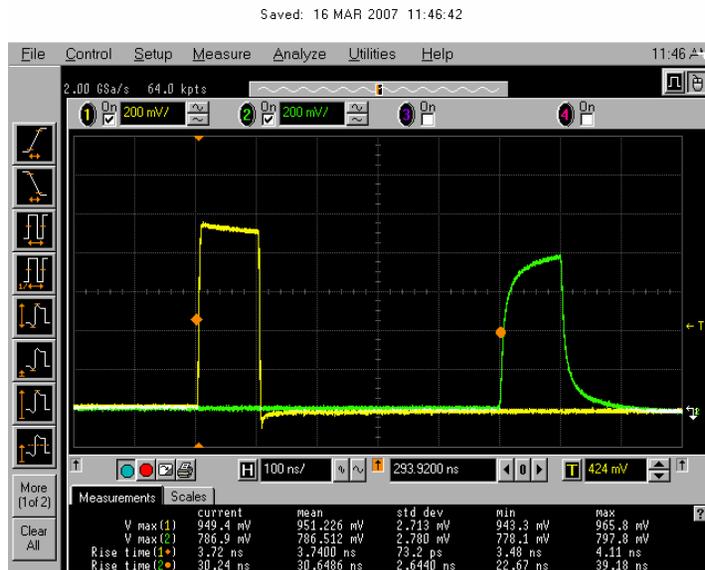
Abbiamo osservato l'effetto introdotto su un segnale a gradino, collegando il generatore di impulsi all'oscilloscopio attraverso due cavi RG223 di differente lunghezza (1 m e 100 m).

-RITARDO

In accordo con le caratteristiche del costruttore abbiamo verificato che il cavo introduce un ritardo di 5.03 nsec/m (nel nostro caso circa 500 nsec).

- DISTORSIONE

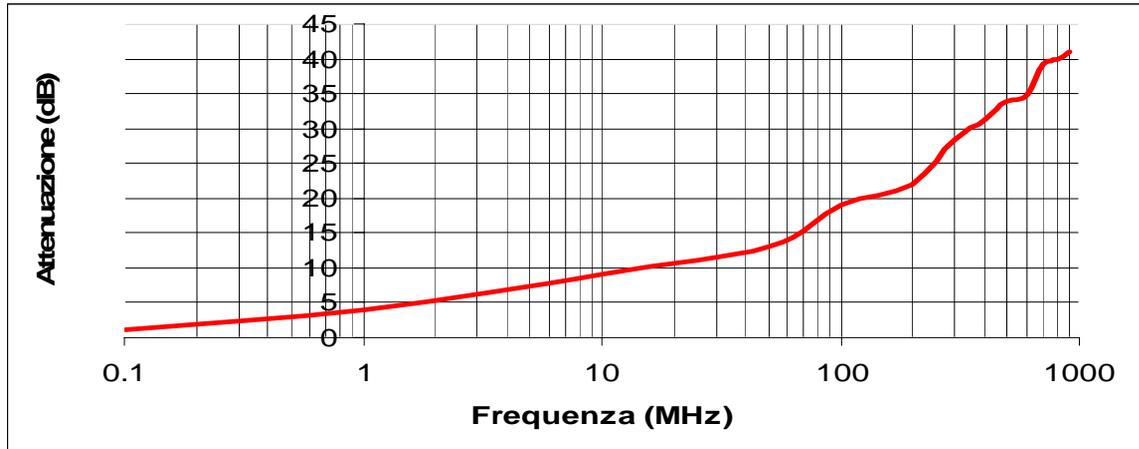
Abbiamo misurato i due differenti fronti di salita (il tempo impiegato dal segnale per passare da 10% al 90% del valore massimo) e abbiamo notato che il fronte di salita del segnale fornito dal cavo più lungo era aumentato di circa 10 volte rispetto a quello corto creando una distorsione del segnale.



- ATTENUAZIONE

Mediante il generatore di impulsi sinusoidali abbiamo misurato l'attenuazione introdotta dal cavo al variare della frequenza.

Dalla tabella si conclude che l'attenuazione aumenta con la frequenza.



f (MHz)	Vpp1 (mV)	Vpp2 (mV)	Attenuazione	Attenuazione IdB
0,1	251	226	0,900398406	0,911305647
1	291	257	0,883161512	1,079197313
10	295	188	0,637288136	3,913283334
50	285	100	0,350877193	9,0968972
100	280	62	0,221428571	13,09532684
200	289	32,5	0,112456747	18,98028964
300	287	23	0,080139373	21,92308121
400	285	11	0,038596491	28,2690435
500	278	7,6	0,027338129	31,26462407
600	278	5,6	0,020143885	33,91713538
700	278	5	0,017985612	34,90149583
800	276	3	0,010869565	39,27575655
900	274	2,8	0,010218978	39,81185063
990	272	2,4	0,008823529	41,08715325

Es. O7 - Misura della costante di propagazione di un cavo

Abbiamo confrontato il tempo di propagazione caratteristico all'interno di due differenti cavi coassiali.

Il primo cavo è di tipo RG223/U mentre il secondo è di tipo ANDREW FSJ1-50A con connettori, rispettivamente di tipo BNC e N. Abbiamo inviato lo stesso impulso di durata 1 ns e ampiezza 1 V ai due cavi di lunghezza uguale e abbiamo misurato i rispettivi tempi di propagazione.

Se α_1 e α_2 sono le costanti di propagazione dei 2 cavi, i ritardi misurati sulle forme d'onda sono ricavati dalle seguenti formule:

$$\Delta t_1 = \frac{l}{\alpha_1 \cdot c} = 13,05 \text{ ns}$$

$$\Delta t_2 = \frac{l}{\alpha_2 \cdot c} = 11,38 \text{ ns}$$

Dove "l" è la lunghezza dei cavi, "c" è la velocità della luce nel vuoto e $\alpha_1 = 0,66$ come indicato nel data sheet del cavo (66%).

Abbiamo ricavato il valore di α_2 del cavo ANDREW FSJ1-50A dal rapporto tra

$$\frac{t_1}{t_2} = \frac{l}{\alpha_1 \cdot c} \cdot \frac{\alpha_2 \cdot c}{l}$$

che risulta avere il valore di 0,78.



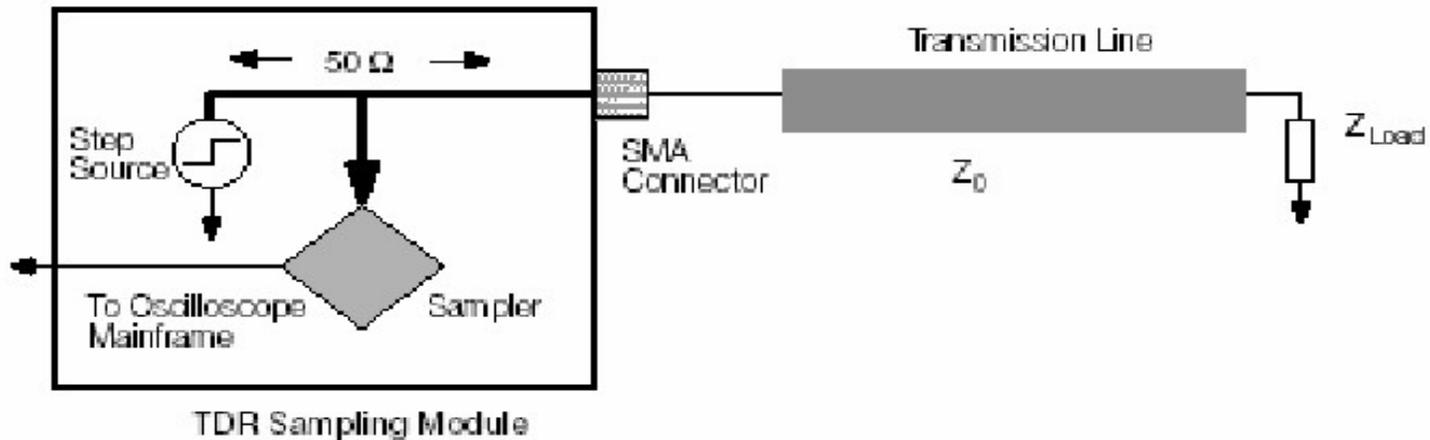
Time Domain Reflectometry

La riflettometria nel dominio del tempo (TDR) è una tecnica di misura, utilizzata nell'analisi delle reti elettriche, basata sullo studio dei segnali riflessi da un carico elettrico generico.

Un gradino di tensione generato da un impulsatore con impedenza interna di 50 ohm, viene inviato, attraverso un cavo coassiale, al carico da analizzare. Uno strumento con funzione di oscilloscopio digitale ci permette di visualizzare la tensione riflessa dal carico sovrapposta al segnale inviato.

Da questa misura possiamo dedurre la lunghezza della linea o localizzare con precisione ogni sua discontinuità, individuandone anche la natura (resistiva, induttiva o capacitiva).

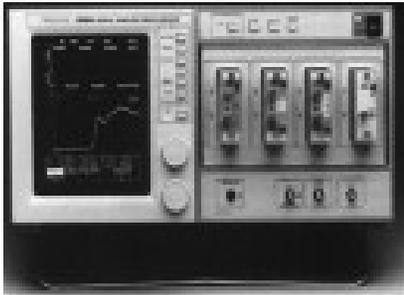
Lo **schema a blocchi** dello strumento utilizzato è il seguente:



Block diagram of TDR circuit

Lo strumento che abbiamo a disposizione come TDR è il Tektronik 118001A

Strumenti Utilizzati



Tektronix 118001 A

Oscilloscopio digitale usato come Riflettometro.

Specifiche:

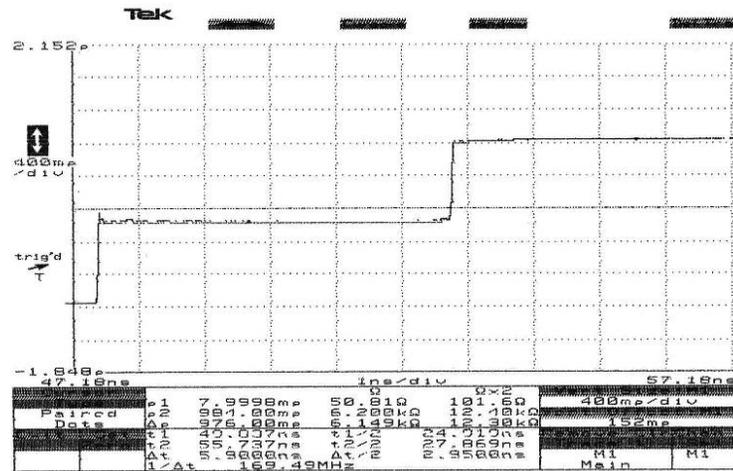
- 4 canali;
- impedenza 50 ± 0.5 Ohm;
- larghezza di banda 20 GHz;
- rise time 17.5 ps;
- massimo segnale d'ingresso ± 3 V;
- ampiezza massima d'uscita ± 250 mV;
- frequenza massima di ripetizione 100 KHz.

$$\rho = \frac{E_r}{E_i} = \frac{Z_l - Z_0}{Z_l + Z_0}$$

Il TDR misura il coefficiente di riflessione, definito come rapporto tra tensione riflessa e tensione incidente, lungo la linea di impedenza caratteristica Z_0 , e chiusa su un carico Z_L .

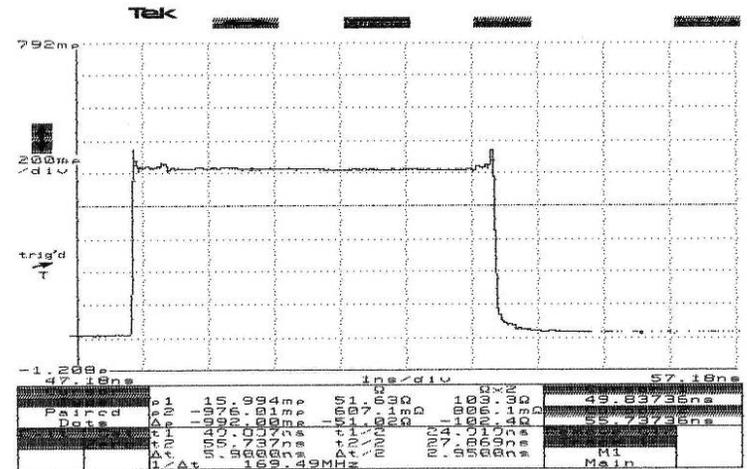
Caratterizzazione di dispositivi diagnostici per acceleratori di particelle

11801A DIGITAL SAMPLING OSCILLOSCOPE
date: 29-MAR-07 time: 9:56:20



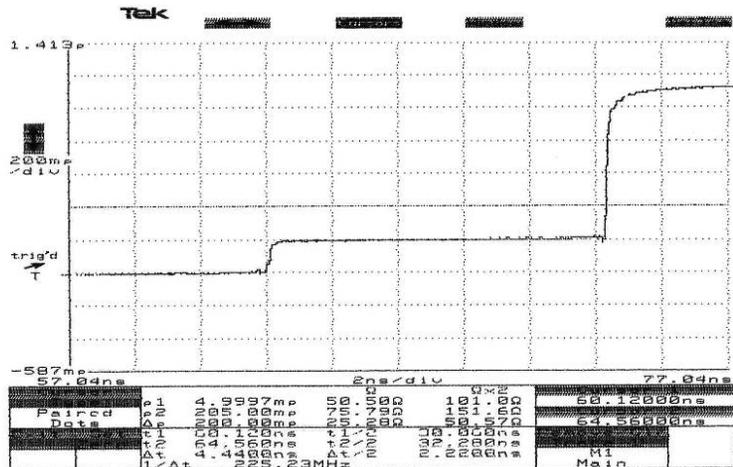
Circuito aperto

11801A DIGITAL SAMPLING OSCILLOSCOPE
date: 29-MAR-07 time: 9:55:02



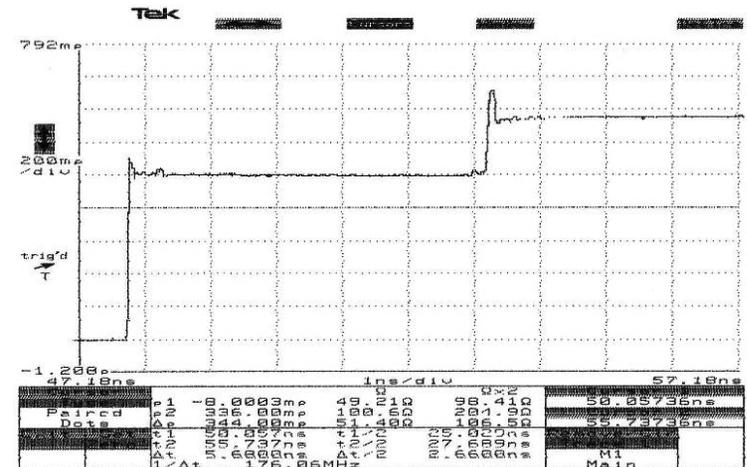
Cortocircuito

11801A DIGITAL SAMPLING OSCILLOSCOPE
date: 29-MAR-07 time: 11:37:43



Cavo RG59 (impedenza 75 ohm)

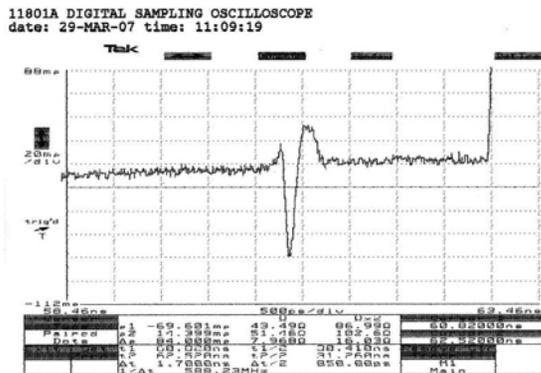
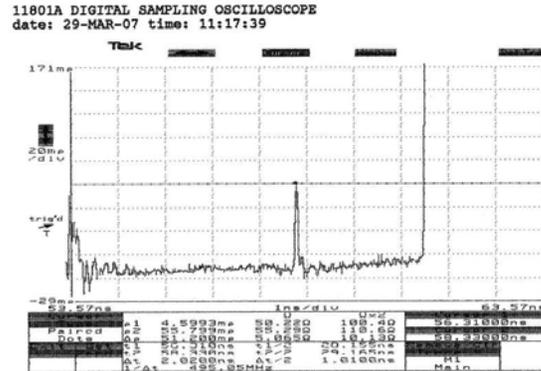
11801A DIGITAL SAMPLING OSCILLOSCOPE
date: 29-MAR-07 time: 9:51:54



Carico da 100 ohm

Caratterizzazione di dispositivi diagnostici per acceleratori di particelle

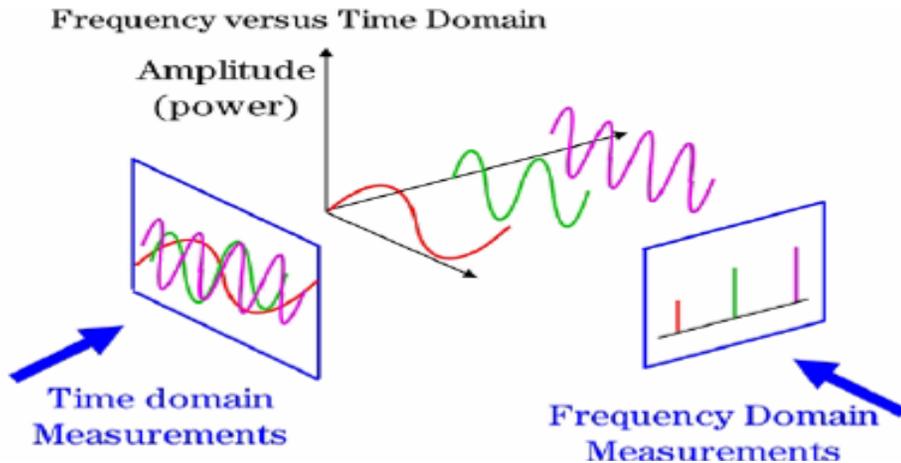
Es. TDR2 - Identificazione dei danni prodotti a un cavo coassiale



Attraverso il TDR si possono identificare con precisione eventuali danni presenti lungo una linea coassiale. Nella figure abbiamo identificato con misure di riflettometria la distanza esatta in cui un cavo presenta i danni dovuti all'interruzione del conduttore esterno (effetto induttivo, figg. in alto) o a schiacciamento (effetto capacitivo, figg. in basso).

Caratterizzazione di dispositivi diagnostici per acceleratori di particelle

L'Analizzatore di spettro



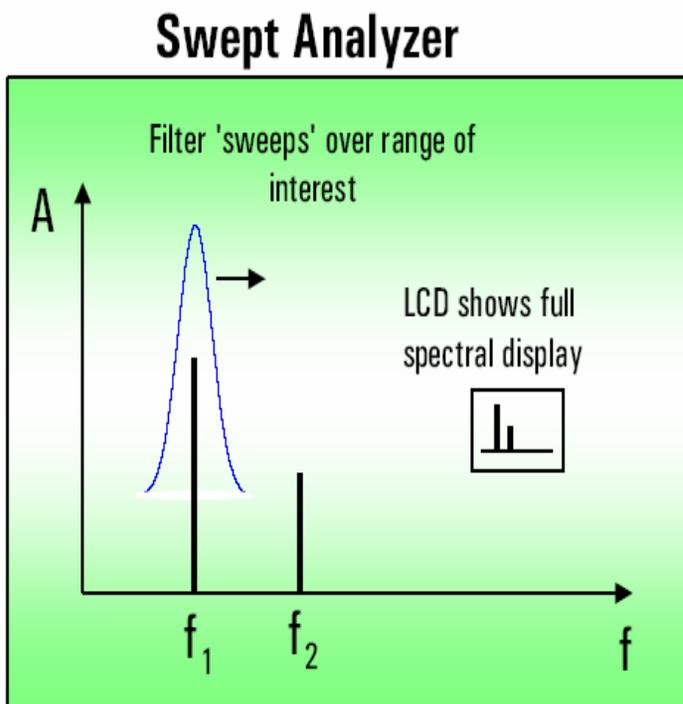
HP 8562B - Analizzatore di spettro

Jean Baptiste Joseph **Fourier** (1768-1830) dimostrò come una funzione periodica, non sinusoidale, di frequenza f , è scomponibile nella somma di un termine costante, che è il valor medio, di una funzione sinusoidale avente frequenza f , detta fondamentale, e di infinite funzioni sinusoidali aventi frequenza multipla di f , dette armoniche.

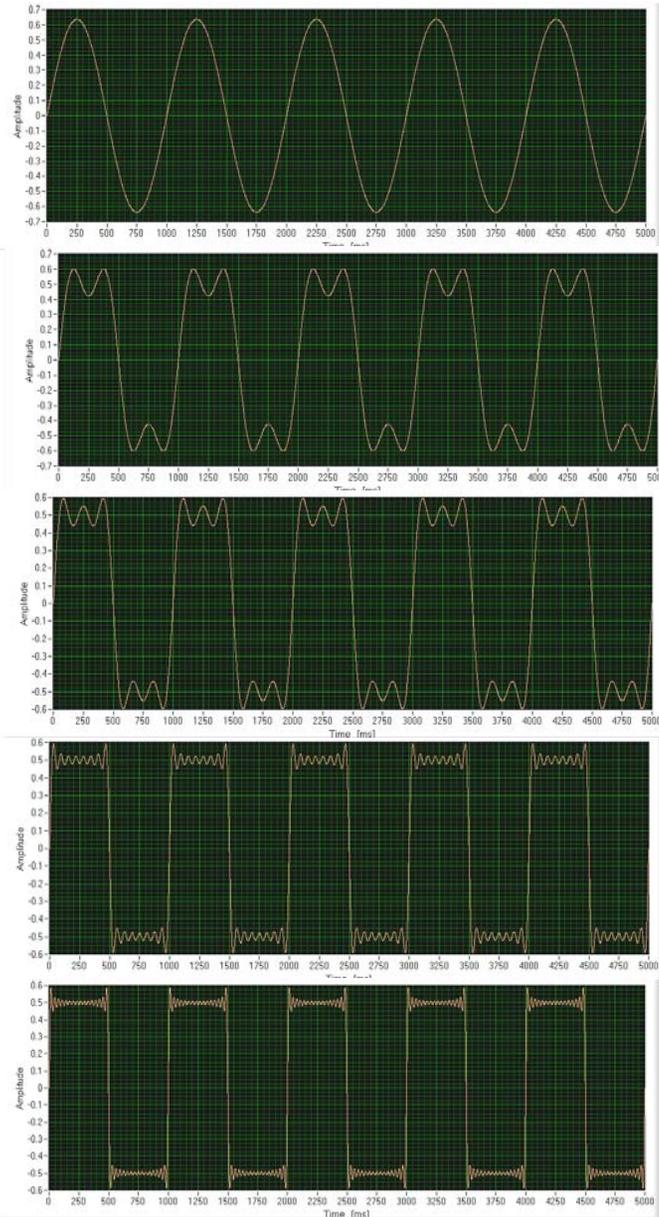
L'Analizzatore di Spettro funziona nel dominio della frequenza separando le componenti sinusoidali di un segnale e fornendocene l'ampiezza in un diagramma ampiezza-frequenza.

Caratterizzazione di dispositivi diagnostici per acceleratori di particelle

Un' analizzatore di spettro funziona un po' come una radio AM: ruotando la manopola della sintonia abbiamo in altoparlante un segnale la cui ampiezza è proporzionale a quella della frequenza d'ingresso prescelta (demodulazione d'ampiezza).



La differenza è che al posto dell'altoparlante abbiamo uno schermo che visualizza un diagramma ampiezza-frequenza.



Si è verificato il teorema di Fourier, per una forma d'onda quadra.

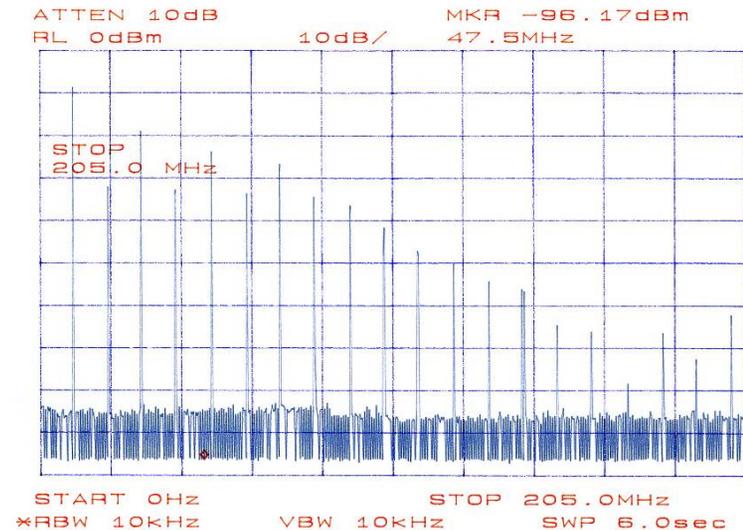
Dalle immagini si può vedere come, a partire da una sinusoide fondamentale, sommando funzioni sinusoidali si possa arrivare ad approssimare una forma d'onda quadra aumentando il numero delle armoniche.

Le forme d'onda periodiche, secondo Fourier si possono esprimere con la formula:

$$V(t) = a_0 + \sum_{K=1}^{\infty} (a_k \text{sen} K \omega t + b_k \text{cos } k \omega t)$$

Es. AS1 – Analisi dello spettro di un onda quadra

Attraverso un generatore di funzioni Agilent 33220A, abbiamo prodotto un segnale a **onda quadra** avente ampiezza 200 mV e periodo 0,1 μ s ($f=10$ MHz). Questo segnale e' stato inviato ad un analizzatore di spettro HP 8562B per studiare la sua composizione armonica. Abbiamo potuto constatare che la prima frequenza visualizzata con ampiezza maggiore risulta essere quella effettiva dell'onda stessa, ed e' definita come **frequenza fondamentale**; a seguire sono stati visualizzati altri picchi con ampiezza decrescente e frequenza multipla di quella fondamentale che rappresentano i segnali sinusoidali che compongono l'onda quadra.

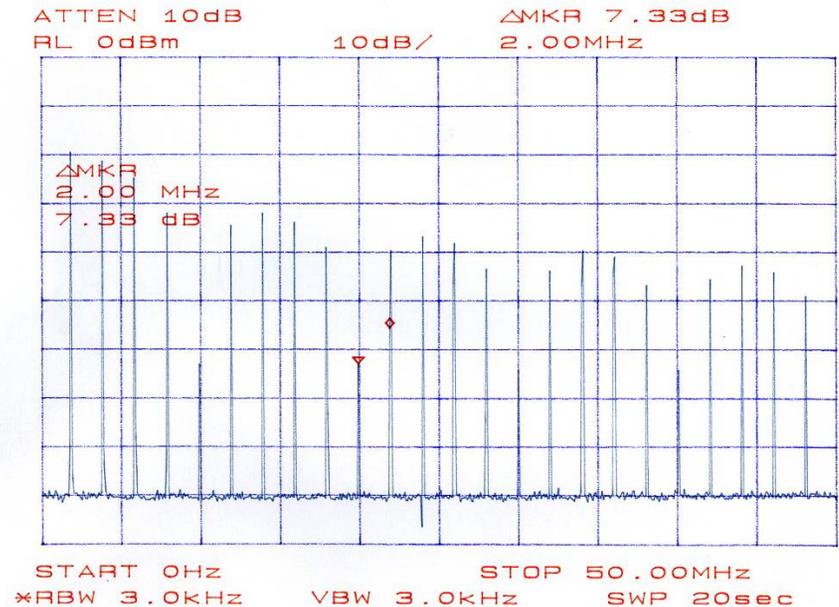
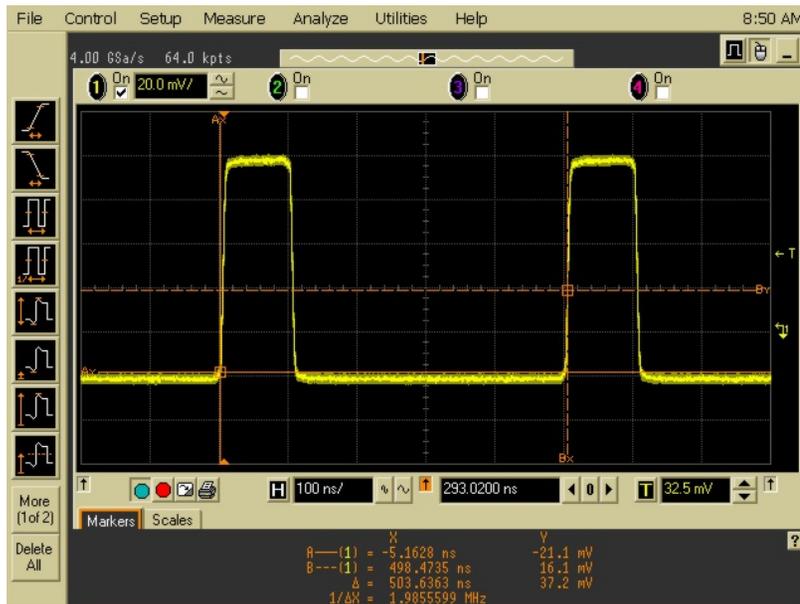


Caratterizzazione di dispositivi diagnostici per acceleratori di particelle

Es. AS2 – Analisi dello spettro di un treno d'impulsi

Abbiamo generato un treno d'impulsi, con duty cycle del 20%, di periodo $T=500\text{ns}$ ($f=2\text{MHz}$) e ampiezza 100mV , che è stato applicato ad un analizzatore di spettro.

L'intervallo tra due picchi consecutivi visualizzati nello spettro risulta essere la frequenza del treno d'impulsi; mentre l'intervallo tra due picchi minimi consecutivi corrisponde alla frequenza del periodo attivo del treno d'impulsi ($T_h=100\text{ns}$; $f_h=10\text{MHz}$).

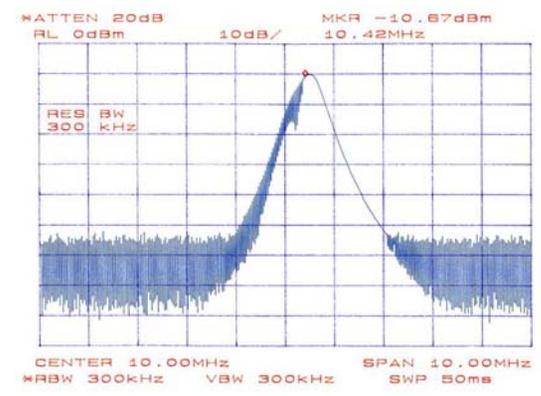
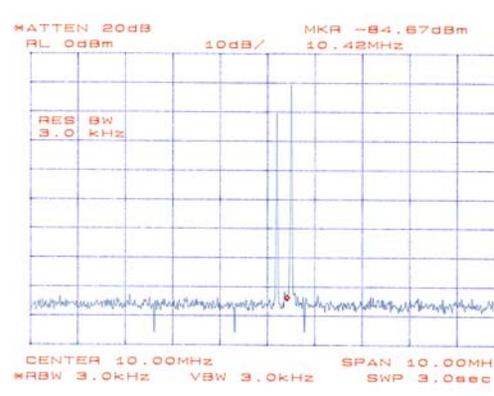
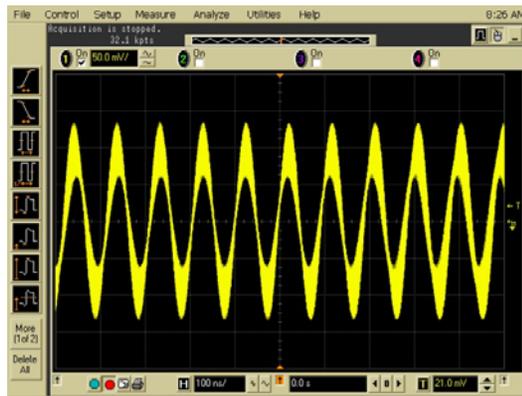


Caratterizzazione di dispositivi diagnostici per acceleratori di particelle

Es. AS3 – Visualizzazione di un segnale composto

In questa esperienza e' stato analizzato un segnale composto da due segnali provenienti da due generatori diversi a 10.2 MHz e 10.5 MHz, e abbiamo confrontato le differenze nella misurazione con l'oscilloscopio digitale e con l'analizzatore di spettro. Mentre nell'oscilloscopio (fig. di sinistra) la frequenza del segnale risulta confusa, con l'analizzatore di spettro, lavorando nel dominio della frequenza, e' stato possibile rilevare i due diversi segnali in maniera corretta.

Le due componenti armoniche del segnale somma sono distinguibili con l'utilizzo dell'analizzatore di spettro, ma solo dopo aver impostato una banda di risoluzione (RBW) inferiore alla differenza tra le due sinusoidi (figura al centro).



Nella slide di sinistra, lo stesso segnale e' acquisito con una risoluzione di banda diversa, 300 KHz anziche' 3 KHz, abbiamo aumentato la risoluzione della misura ma diminuito la velocità di scansione (Sweep Time)

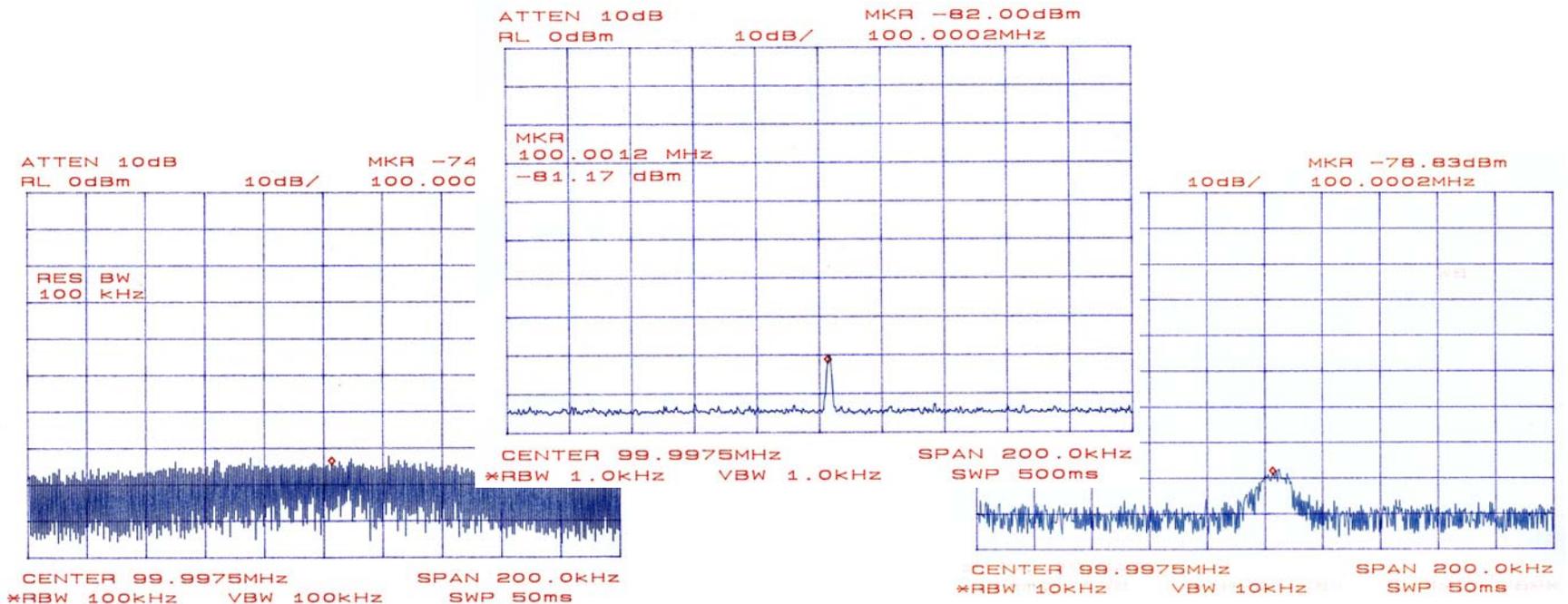
N.B. - Maggiore e' la risoluzione utilizzata e piu' e' difficile visualizzare distintamente i segnali, Nell'ultimo esempio poiche' la RBW e' uguale alla differenza in frequenza dei due segnali (300 KHz) i due picchi non si riescono a visualizzare distintamente.

Es. AS4 – Visualizzazione di un segnale di piccola ampiezza

L'analizzatore di spettro è in grado di visualizzare segnali di ampiezza ridotta.

Nel nostro esempio siamo riusciti a visualizzare correttamente un segnale sinusoidale di potenza -81 dBm.

Impostando correttamente la banda di risoluzione (RBW) il rumore viene fortemente attenuato: da 100 KHz (fig. di sinistra) dove nessuna forma d'onda è visibile, fino a 1 KHz (fig. centrale) dove il picco è perfettamente riconoscibile.



Caratterizzazione di dispositivi diagnostici per acceleratori di particelle