

Stages Invernali 2005

Caratterizzazione di dispositivi diagnostici per acceleratori di particelle

Divisione Acceleratori – Servizio SELCED

Tutori: A.Stella - O.Coiro - D.Pellegrini

**Studenti: S. De Carolis, J. Fabrizio, D. Passi, M. Zaratti - ITIS "E. Fermi" Frascati (RM)
F. Lo Jacono, A. Ronci - ITIS "E. Fermi" Roma**

Indice

Prefazione	3
1. Introduzione	4
2. L'Oscilloscopio Digitale	5
2. 1 Oscilloscopio Digitale	6
2. 2 Circuito d'ingresso e Analog Bandwith	7
2. 3 Esercitazione 1	8
2. 4 ADC	10
2. 5 Modalita' di Acquisizione	11
2. 6 Real Time Sampling	12
2. 7 Esercitazione 2	13
2. 8 Equivalent Time sampling	14
2. 9 Esercitazione 3	15
2.10 Esercitazione 4	16
2.11 Glossario Oscilloscopio Digitale	17
3. Connettori e cavi coassiali	18
3. 1 Il trasporto del segnale	18
3. 2 Relazione di Laboratorio	22
4. Il Riflettometro - TDR (Time domain reflectometer)	25
4. 1 Esercitazione 1	26
4. 2 Esercitazione 2	28
4. 3 Esercitazione 3	29
4. 4 Esercitazione 4	30
4. 5 Esercitazione 5	30
5. L'Analizzatore di Spettro	31
5. 1 Introduzione	32
5. 2 Swept Analyzer	33
5. 3 Mixer	34
5. 4 Esercitazione 1	35
5. 5 Esercitazione 2	37
5. 6 Esercitazione 3	40

Prefazione

Lo stage e' rivolto a studenti del IV e/o V 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 allo studio dei materiali e della strumentazione utilizzata.

I Tutori

1. Introduzione

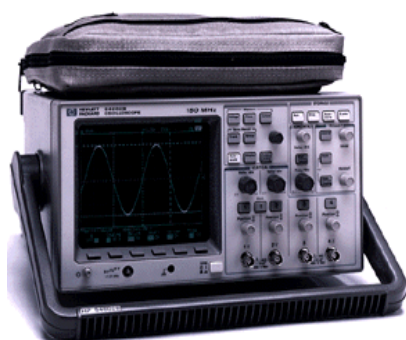
Durante la permanenza in questi laboratori per lo stage invernale abbiamo studiato il funzionamento della strumentazione utilizzata in un tipico laboratorio di elettronica. Ad ogni incontro abbiamo imparato ad usare strumenti diversi come l'oscilloscopio digitale, il generatore di impulsi e di segnali, il riflettometro e l'analizzatore di spettro.

Le esercitazioni e le misure eseguite rappresentano alcune problematiche che si potrebbero trovare nell' acquisizione dei segnali dalla diagnostica per acceleratori di particelle. Le nostre attività si sono svolte nel laboratorio di elettronica SELCED della Divisione Acceleratori.

Abbiamo appreso l'utilizzo e l'importanza di ogni strumento e per l'analisi e la presentazione dei dati abbiamo utilizzato vari software per PC in ambiente Windows come KaleidaGraph, Power Point, Excel e Word .



L'Oscilloscopio Digitale



HP54602B *Oscilloscopio digitale*

- _ 4 canali;
- _ high impedance;
- _ larghezza di banda 150 MHz;
- _ 20 MSa/s sampling rate.



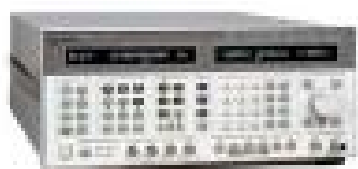
Stanford DG535 *Generatore d'impulsi*

- _ 4 canali;
- _ 50 Ohm e alta impedenza;
- _ rise time TT 3 ns;
- _ segnali erogabili: TTL, ECL, NIM, variabili (-3V÷4V).



Agilent Infiniium *Oscilloscopio digitale*

- _ 4 canali;
- _ larghezza di banda 600 MHz;
- _ 4 GSa/s sampling rate.



HP8664A *Generatore di segnali sintetizzati*

- _ range di frequenza 0.1÷3 GHz;
- _ output level +13 to -139.9 dBm;
- _ modulazione AM, FM, PM, FASE.

Oscilloscopio Digitale

La conversione analogico/digitale del segnale da analizzare è la caratteristica peculiare di un oscilloscopio digitale. La precisione (risoluzione) e la velocità (frequenza di campionamento) del *Convertitore A/D*, infatti, determinano le prestazioni dell'intero oscilloscopio. La digitalizzazione di un segnale analogico tempo-continuo coinvolge due processi di discretizzazione: un processo di discretizzazione nel dominio del tempo (campionamento) e un processo di discretizzazione in ampiezza (quantizzazione).

In base al teorema di Shannon, il processo di campionamento non comporta perdita di informazione purché la frequenza di campionamento f_s sia almeno il doppio della banda del segnale da convertire (frequenza di Nyquist), come mostrato in Figura 13.21. In pratica, per non avere perdita di informazione le "immagini" del segnale introdotte dal campionamento intorno ai multipli interi di f_s non si devono sovrapporre. La banda passante B di un oscilloscopio digitale risulta, quindi, limitata dal massimo valore di f_s ($B = f_s / 2$).

Il processo di discretizzazione in ampiezza o quantizzazione, invece, introduce inevitabilmente un errore, detto errore di quantizzazione. Il segnale digitale in uscita da un *Convertitore A/D*, infatti, è per definizione costituito da un numero finito di bit (N) che identificano $2^N - 1$ intervalli di quantizzazione, ciascuno di ampiezza $\Delta / (2^N - 1)$, dove Δ denota l'ampiezza massima del segnale (Figura 13.22). Pertanto, tutti i livelli analogici compresi in un particolare intervallo di quantizzazione dopo la conversione A/D risultano indistinguibili, provocando una perdita di

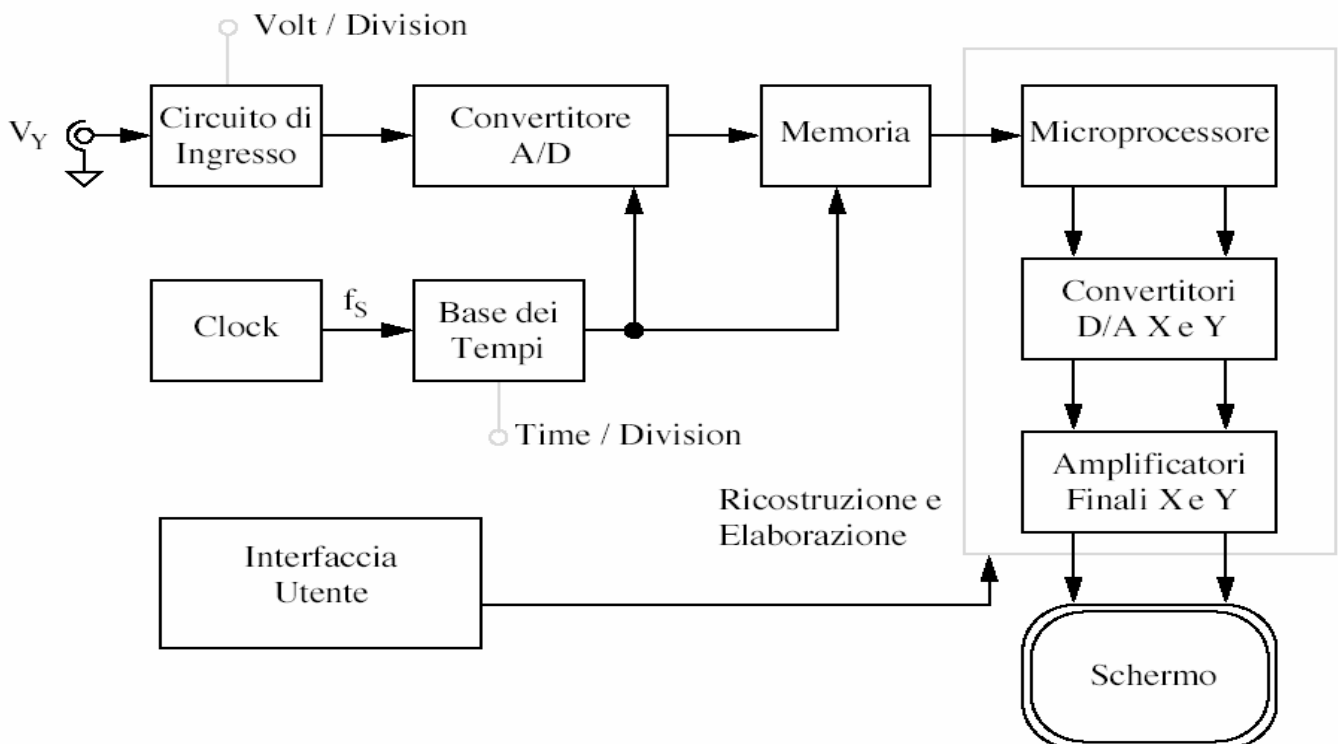


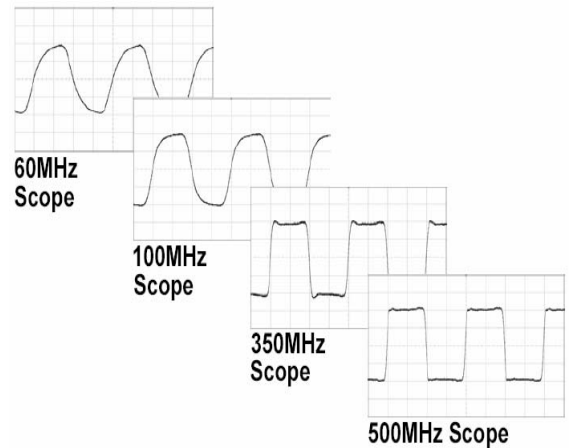
Fig. 13.20 Schema a blocchi semplificato di un oscilloscopio digitale

Circuito d'Ingresso e Analog Bandwidth

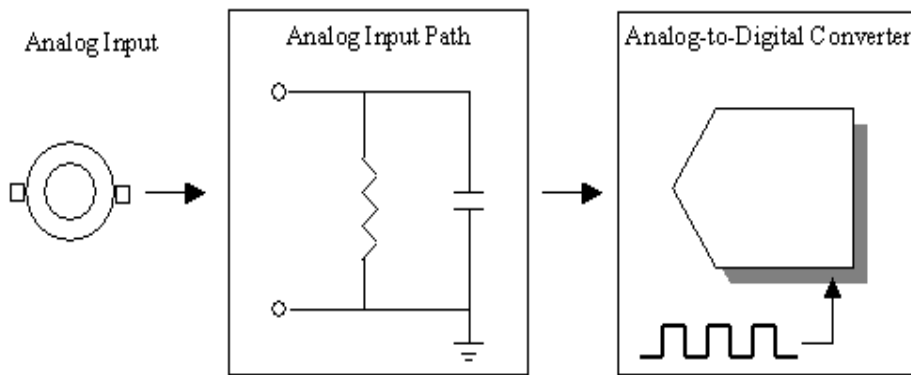
Il passo iniziale, nella scelta di un oscilloscopio, è determinare la Larghezza di Banda richiesta per una particolare applicazione.

Vediamo, ad esempio, cosa succede quando guardiamo un segnale ad onda quadra a 50MHz con oscilloscopi aventi diversa banda passante...

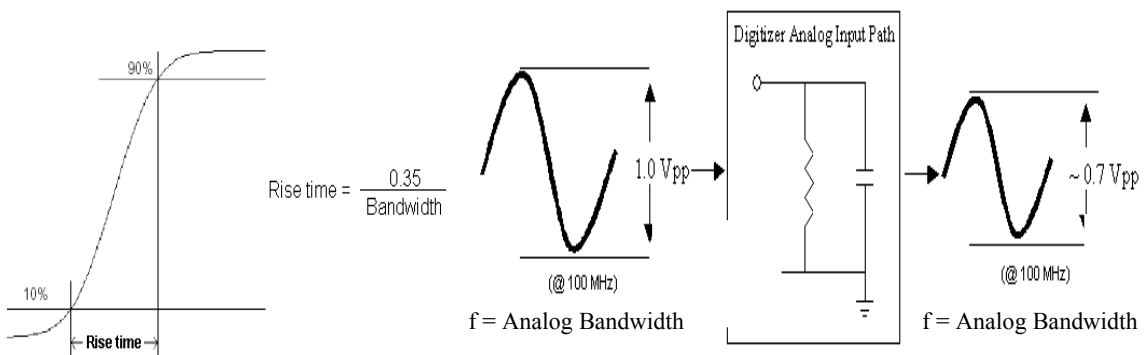
....bisogna tenere in considerazione che un segnale ad onda quadra contiene componenti a frequenza ben più alta di quella che normalmente consideriamo.



La prima cosa che un segnale incontra, quando entra in un oscilloscopio, è il **circuito d'ingresso**. Esso adatta il livello del segnale d'ingresso a quello di lavoro dell'ADC in modo da ottimizzarne la conversione. Inoltre consente di avere un'alta impedenza d'ingresso compatibile con quella delle sonde passive o eventualmente di 50Ω tipica delle sonde attive e delle linee di trasmissione coassiali di uso più comune.



Tuttavia la larghezza di banda del circuito d'ingresso, più comunemente indicata come **Analog Bandwidth** dell'oscilloscopio, può rallentare il tempo di salita e/o ridurre l'ampiezza nella visualizzazione di un segnale.

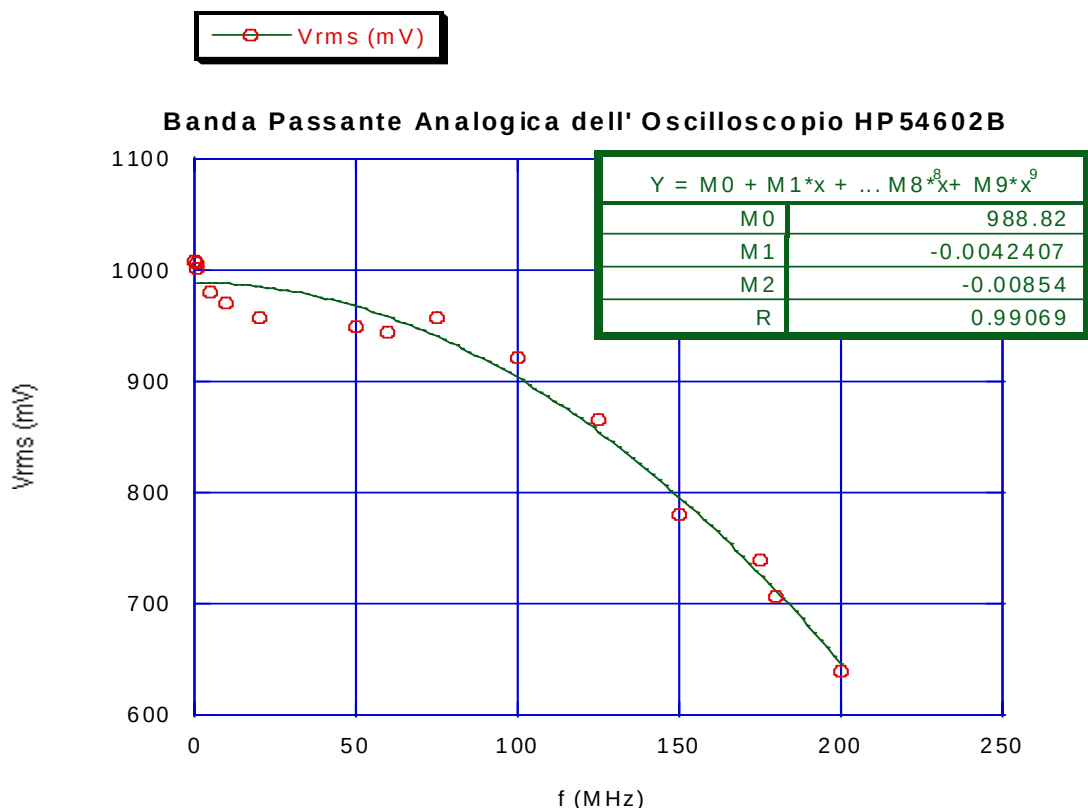


Esercitazione 1

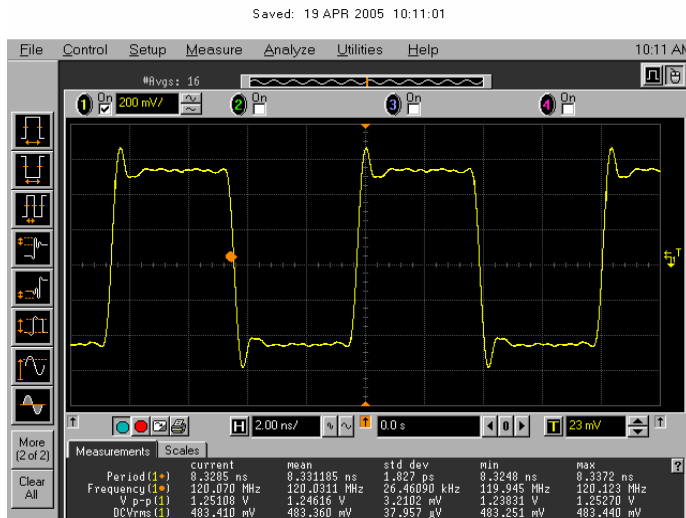
- Misurare la **Banda Passante Analogica** per l'Oscilloscopio HP54602B determinando la frequenza alla quale l'ampiezza di un segnale sinusoidale, applicato in ingresso, appare ridotta del 30%.
- Visualizzare un segnale ad onda quadra, 120 MHz con entrambi gli oscilloscopi HP54602B 150MHz e Agilent Infinium 600 MHz e descriverne le differenze.

Facendo riferimento al grafico seguente si nota come all'aumentare della frequenza, l'ampiezza del segnale decresce.

A 180 MHz, l'ampiezza si riduce a 0.707 volte del valore originario cioè 707mV; il segnale di partenza era di 1V.

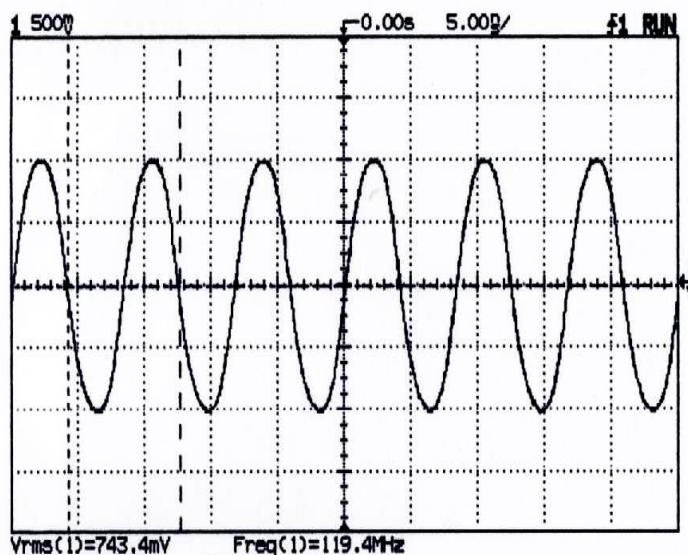


Dalle misure effettuate si può vedere che:l'oscilloscopio Agilent Infiniium 600 MHz riesce a visualizzare l'onda quadra a 120 MHz con un leggero overshoot, l'oscilloscopio HP54602B 150 MHz visualizza un' onda sinusoidale, in quanto le componenti con frequenze maggiori di 180 MHz non vengono rilevate.



Agilent Infiniium

11:16:25 Tue Apr 19, 2005

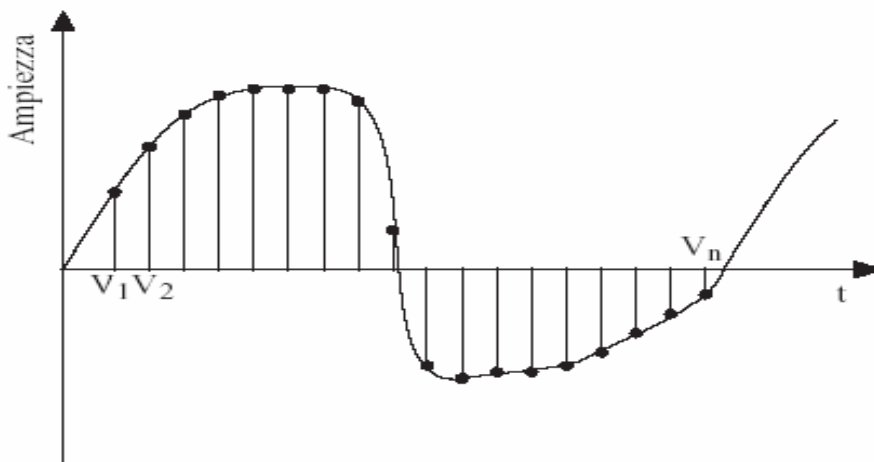


HP 54602B

ADC

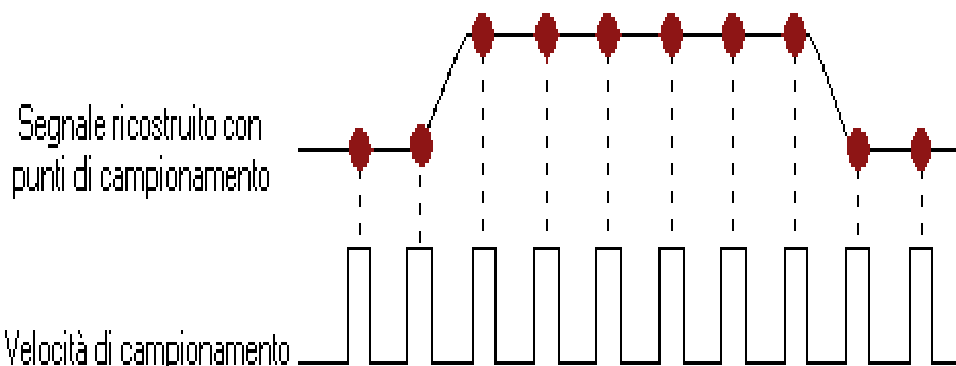
Il convertitore analogico-digitale del sistema di acquisizione dati campiona il segnale a intervalli di tempo determinati e converte il segnale in tensione continua in una serie di valori digitali chiamati punti di campionamento. Nella sezione orizzontale un segnale di clock determina quando il convertitore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

Con il *convertitore A/D* si effettua il *campionamento* della forma d'onda di *tensione* a determinati intervalli di tempo ottenendo un certo numero di *valori istantanei* $V_1, V_2, \dots, V_n$, nell'ambito di un *periodo*

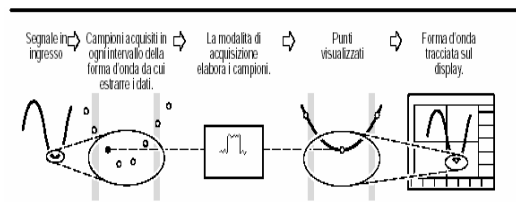


I valori digitali campionati vengono immagazzinati in una memoria come punti del segnale. L'insieme del numero di punti del segnale costituirà un "pacchetto" che verrà utilizzato per ricostruire il segnale sullo schermo. La sezione di trigger determina l'inizio e la fine del "pacchetto" di punti utilizzati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

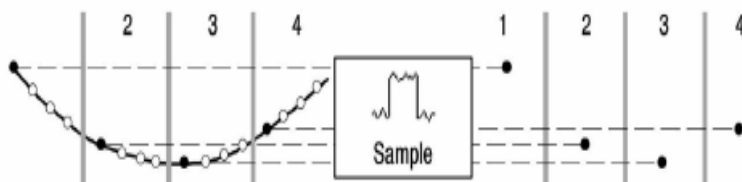


Modalità di Acquisizione



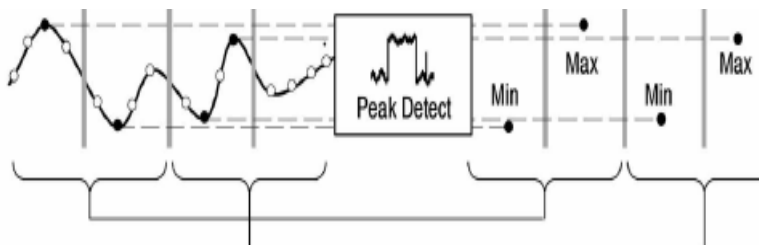
$$\text{intervallo di acquisizione} = \frac{\text{durata di registrazione}}{\text{numero di punti in registrazione}}$$

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

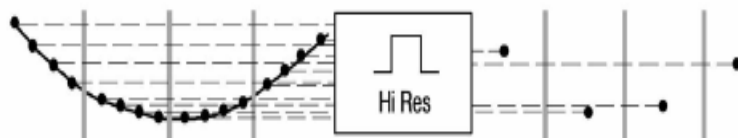


Acquisizione di forma d'onda singola

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

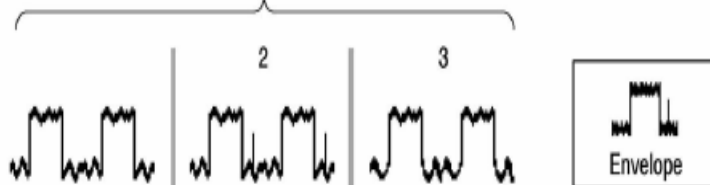


La modalità **Hi Res** (Alta risoluzione) calcola la media di tutti i campioni per ogni intervallo di acquisizione.



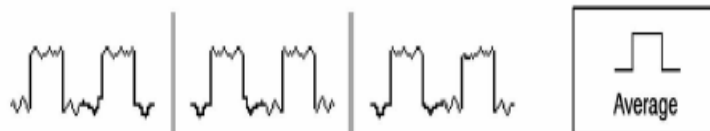
Tre acquisizioni da una sorgente

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.



Acquisizioni di più forme d'onda

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.



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.

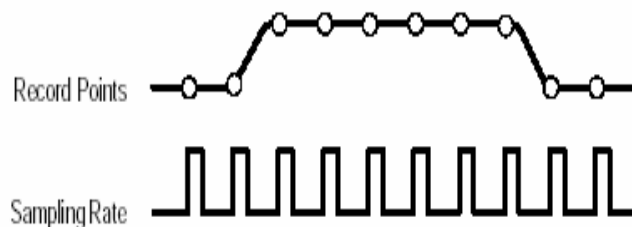
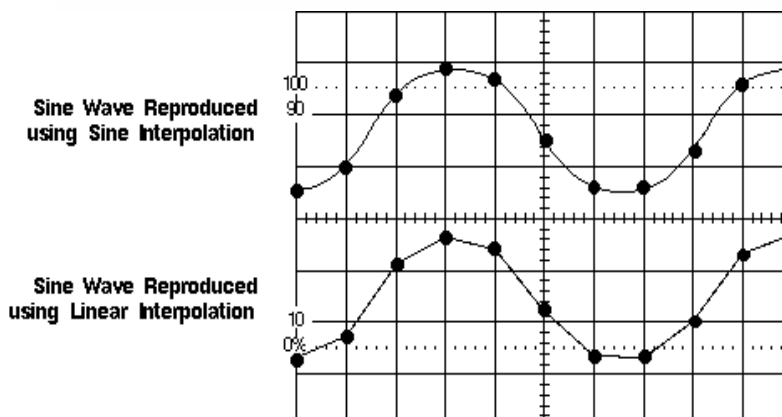


Figure 3-13: Real-Time Sampling



Esercitazione 2

Determinare la frequenza di campionamento per l'Oscilloscopio HP54602B in modalità Real Time Sampling.

Si setta il DG535 per avere un impulso singolo di durata 150 ns:

TRIG SINGLE SHOT

DELAY B = A + 150ns

OUTPUT AB TTL 50Ω

TO TTL 50Ω

Si setta l'Oscilloscopio come segue:

ORIZZ SCALE 50ns/div

VERT SCALE 1V/div

TRIG SOURCE CH4

LEVEL 0.5V

Si effettuano i seguenti collegamenti:

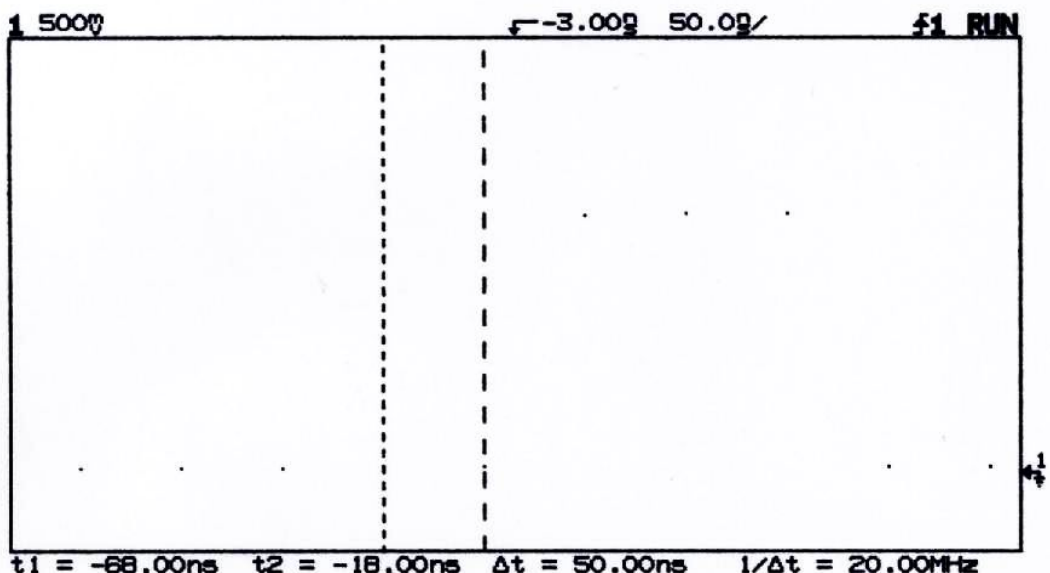
DG535 SCOPE

OUTPUT AB → *CH1*

TO → *CH4*

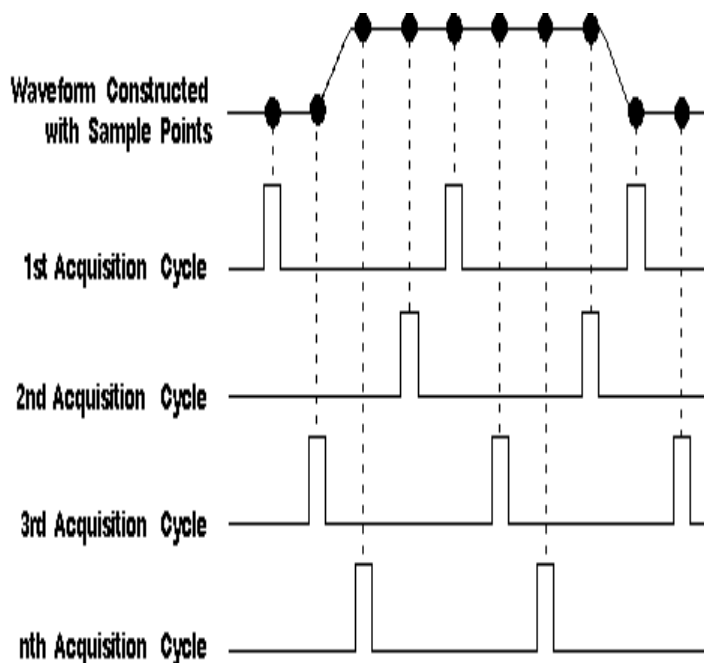
Dopo aver effettuato l'esercitazione si è verificato che l'oscilloscopio ha una frequenza di campionamento pari a 20MSa/s. Nel grafico si vedono dieci punti equidistanti tra loro a 50ns.

12:02:21 Tue Apr 19, 2005



Equivalent Time Sampling

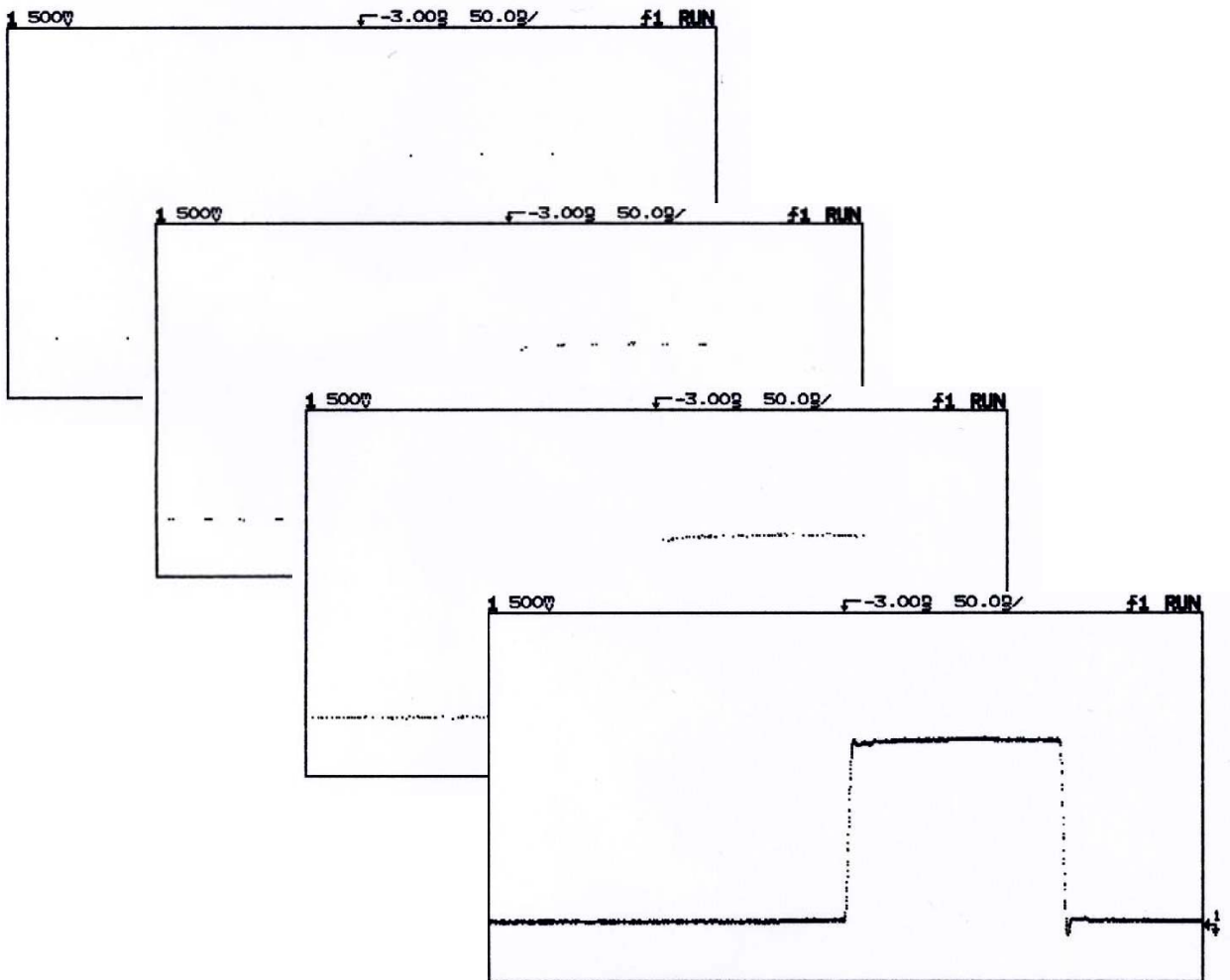
Alcuni oscilloscopi digitali utilizzano questo tipo di campionamento. Vengono impiegati per lo studio e la visualizzazione di segnali aventi frequenze molto elevate a condizione che presentino forme costanti nel tempo. Si tratta di ricostruire un segnale ripetitivo catturando una piccola parte del segnale 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.



Esercitazione 3

- Mostrare come l'Oscilloscopio HP54602B ricostruisce la forma d'onda in modalità Equivalent Time.

Si dispongono DG535 e Oscilloscopio come per l'esercitazione 2.



In modalità Equivalent Time l'oscilloscopio aggiunge di volta in volta l'ultimo campionamento effettuato a quelli precedentemente memorizzati.

In modalità Single shot vengono visualizzati sullo schermo soltanto 10 punti a 50 ns di distanza l'uno dall'altro che corrispondono ad una frequenza di campionamento di 20 MSa/s come da specifiche dell'oscilloscopio. Continuando ad inviare singoli impulsi vengono aggiunti nuovi punti alla traccia fino a quando il segnale diventa ben riconoscibile.

Esercitazione 4

Verificare, con l'Oscilloscopio HP54602B, la differenza tra le modalità di acquisizione Sample e Peak Detect per un burst di 5 impulsi larghi 200ns e distanti 200μs.

SetDG535:

TRIG BUR RATE 5KHz

PULSE/BURST 5

PERIOD/BURST 2500

DELAY B = A + 200ns

OUTPUT AB TTL 50Ω

TO TTL 50Ω

Set Oscilloscopio:

ORIZZ SCALE 200μs/div

VERT SCALE 1V/div

TRIG SOURCE CH4

LEVEL 0.5V

Collegamenti:

DG535

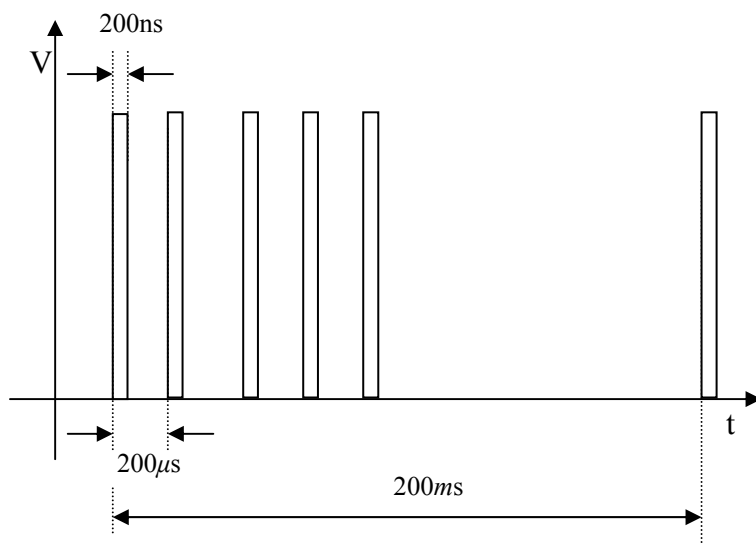
SCOPE

OUTPUT AB →

CH1

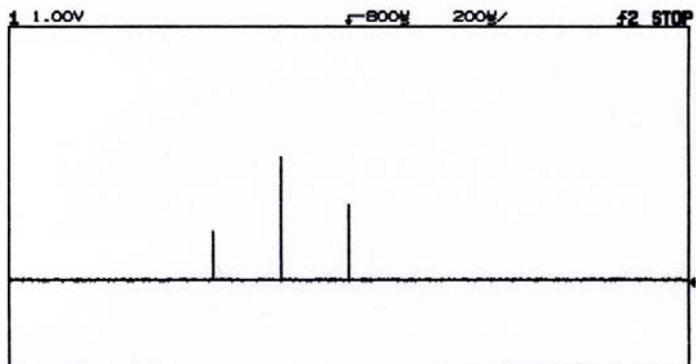
TO →

CH4



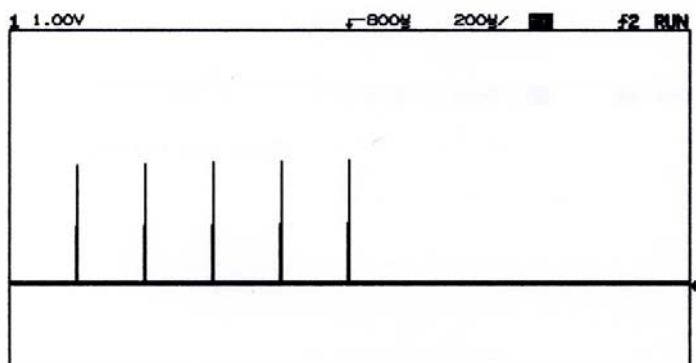
14:08:50 Tue Apr 19, 2005

SAMPLE



14:07:41 Tue Apr 19, 2005

PEAK DETECT



In modalità Sample l'oscilloscopio pone i punti in modo arbitrario non riuscendo in questo modo a definire con precisione la forma d'onda analizzata.

Utilizzando il Peak Detect lo strumento visualizza sullo schermo i picchi di tensione.

Glossario oscilloscopio digitale

Larghezza di Banda

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 elencato solitamente come errore di percentuale.

Timebase

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

Sample Rate

Sugli oscilloscopii 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.

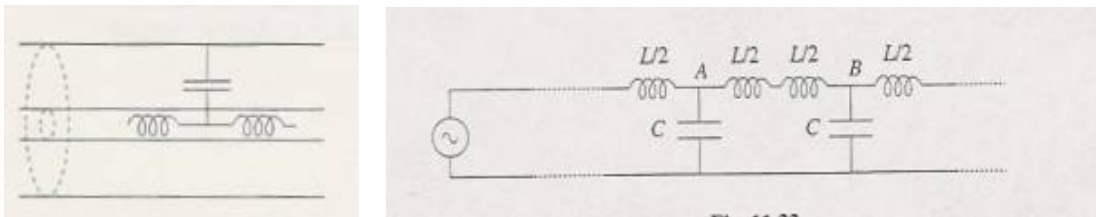
Lunghezza Record

La lunghezza record di un oscilloscopio digitale indica quanti punti di forma d'onda l'oscilloscopio può acquisire 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 acquisire un'immagine dettagliata di un segnale per un periodo di tempo corto un'immagine meno dettagliata per un periodo di tempo più lungo.

3 Connettori e cavi coassiali

Il trasporto del segnale

Per la trasmissione da breve distanza di impulsi elettrici, caratterizzati da tempi di salita molto brevi dell'ordine del nanosecondo, si usano cavi coassiali. Il cavo coassiale è formato da un dielettrico omogeneo delimitato da due cilindri conduttori coassiali che si comporta come una linea di trasmissione in quanto il segnale applicato all'ingresso viene propagato lungo la rete viaggiando con velocità uguale a c se il dielettrico è il vuoto ed inferiore a c se il dielettrico ha costante dielettrica k .



La velocità di propagazione non dipende dalla frequenza. Nella pratica i cavi coassiali sono usati fino a frequenze dell'ordine di 10^9 Hz.

Per ogni elemento dx del cavo coassiale è possibile definire una capacità C ed una induttanza L per unità di lunghezza :

$$C/dx = 2\pi \epsilon_0 / \ln b/a \text{ F/m (condensatore cilindrico)}$$

$$L/dx = (\mu_0 \ln b/a) / 2\pi \text{ H/m}$$

Sia la tensione che la corrente in un cavo coassiale obbediscono all'equazione di propagazione di un'onda piana.

La velocità di propagazione è:

$$v = 1/\sqrt{LC} \text{ e sostituendo i valori di L e C risulta:}$$

$$v = 1/\sqrt{\epsilon_0 \mu_0} = c$$

cioè uguale alla velocità di propagazione delle o.e.m. nel vuoto.

Se lo spazio tra i due conduttori è riempito di un dielettrico di costante dielettrica ϵ_r ($\mu_r \approx 1$) la velocità di propagazione sarà $v = c/n$ dove $n = \sqrt{\epsilon_r}$ indice di rifrazione del mezzo.

Nel caso reale di un cavo coassiale con resistenza non nulla si ha attenuazione del segnale. Un cavo coassiale di lunghezza infinita può essere considerato come un insieme infinito di capacità e induttanze.

Se il cavo coassiale ha lunghezza finita si ha un fenomeno di propagazione più complesso in quanto vi sarà in generale un segnale riflesso che si sovrappone al segnale progressivo.

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.

La forma dell'onda che si propaga nel cavo, fissate le caratteristiche del generatore di segnali elettromagnetici, applicato al suo primo estremo, dipende dalle caratteristiche del carico applicato al suo secondo estremo. Arrivato in fondo al cavo, il segnale può venire parzialmente riflesso, e dunque il segnale progressivo si somma con il segnale regressivo, oppure può essere totalmente riflesso o totalmente trasmesso. La completa trasmissione si ha quando l'impedenza del cavo è pari all'impedenza del carico mentre si ha completa riflessione quando l'impedenza del carico è molto maggiore dell'impedenza del cavo. In un cavo coassiale il campo elettromagnetico nel dielettrico viaggia in fase con la sua sorgente, che procede lungo il conduttore centrale; il conduttore esterno non pone all'onda alcuna condizione al contorno e quindi nel cavo coassiale possono viaggiare onde di qualunque frequenza.

I cavi utilizzati in RF hanno una impedenza caratteristica di 50 Ohm (75 nei segnali video) e dovrebbero essere caratterizzati da un'attenuazione ridotta e da un notevole grado di schermatura.

Le connettorizzazioni di questi cavi si presentano in una vasta varietà di stili e configurazioni per essere adatti quasi a qualsiasi tipo di requisito progettuale. Nelle successive tabelle vengono raffigurate le varie tipologie di cavi e connettori in rapporto alla frequenza, tensione e potenza utilizzate.

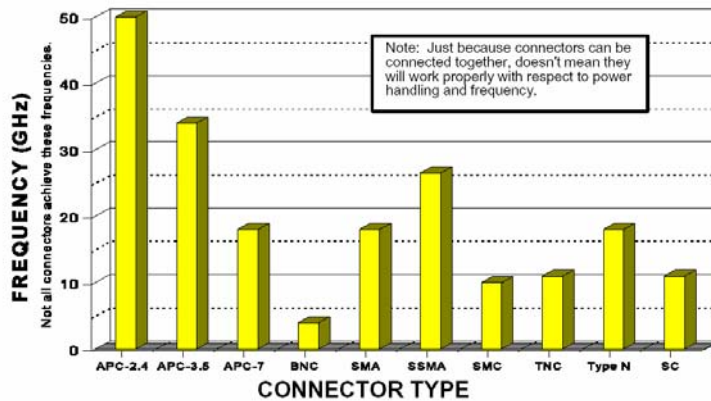
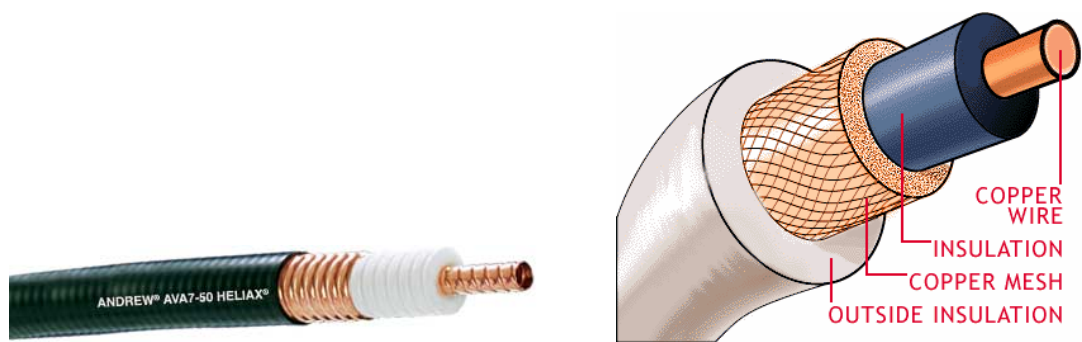
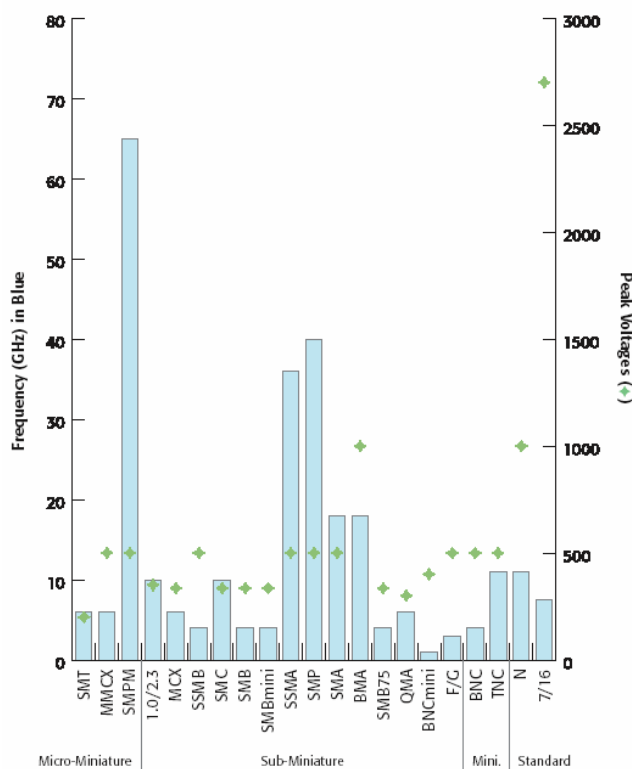


Figure 1. Frequency Range of Microwave Connectors

RF Connector Frequency & Voltage



RF connector

BNC (Bayonet Neill Concelman): Coaxial connector with bayonet coupling mechanism. Available in 50 Ohm and 75 Ohm versions. Frequency range DC-4 GHz (50 Ohm) and DC-1 GHz (75 Ohm), respectively. Named after Amphenol Engineer Carl Concelman, and Bell Labs Engineer Paul Neill.

FSJ4-50B

Description	Type No.
Cable Ordering Information	
Standard Superflexible Cable	
1/2" Standard Cable, Standard Jacket	FSJ4-50B
Fire Retardant Cables	
1/2" Fire Retardant Jacket (CATV)	FSJ4R-50B
1/2" Fire Retardant Jacket (CATV)	FSJ4R-50B
Low VSWR and Specialized Cables	
1/2" Low VSWR, specially operating band	FSJ4P-50A(4")
Phase Stabilized and Phase Measured Cable	See page 590
Jumpers Cable Assemblies - See page 584	
** Insert suffix number from "Low VSWR Specifications" table, page 487	
Characteristics	
Electrical	
Impedance, ohms	50 ± 1
Maximum Frequency, GHz	10.2
Velocity, percent	91
Peak Power Rating, kW	15.6
d.c. Resistance, ohms/1000 ft (1000 m)	
Inner	0.02 (2.68)
Outer	1.00 (3.28)
d.c. Breakdown, volts	2500
Jacket Spark, volts RMS	5000
Capacitance, pF/ft (m)	25.2 (82.7)
Inductance, µH/ft (m)	0.0625 (0.205)
Mechanical	
Outer Conductor	Copper
Inner Conductor	Copper-Clad Aluminum
Diameter over Jacket, standard jacket, in (mm)	0.52 (13.2)
Diameter over Jacket, fire-retardant jacket, in (mm)	0.53 (13.5)
Diameter over Copper Outer Conductor, in (mm)	0.46 (11.7)
Diameter Inner Conductor, in (mm)	0.142 (3.6)
Minimum Bending Radius, in (mm)	1.25 (32)
Number of Bends, minimum (typical)	20 (50)
Bending Moment, lb-ft (Nm)	2.0 (2.7)
Cable Weight, lb/ft (kg/m)	0.14 (0.21)
Tensile Strength, lb (kg)	175 (80)
Flat Plate Crush Strength, lb/in (kg/mm)	170 (7.8)

Attenuation and Average Power Ratings

Frequency MHz	Attenuation dB/100 ft	Attenuation dB/100 m	Average Power, kW
0.5	0.070	0.231	15.6
1	0.100	0.327	15.6
1.5	0.122	0.401	15.6
2	0.141	0.463	15.6
10	0.719	2.341	10.1
20	0.863	2.687	7.07
30	0.957	2.973	5.75
50	0.724	2.38	4.42
88	0.971	3.19	3.30
100	1.04	3.41	3.08
108	1.08	3.55	2.96
150	1.28	4.21	2.49
174	1.39	4.56	2.30
200	1.50	4.91	2.14
300	1.86	6.08	1.72
400	2.17	7.12	1.48
450	2.31	7.59	1.39
500	2.45	8.04	1.31
512	2.48	8.15	1.29
600	2.71	8.89	1.19
700	2.86	9.60	1.08
800	3.19	10.4	1.01
824	3.23	10.6	0.991
884	3.38	11.1	0.947
900	3.52	11.6	0.909
1080	3.60	11.8	0.889
1250	4.09	13.4	0.793
1500	4.54	14.9	0.706
1700	4.69	15.0	0.656
1800	5.05	16.0	0.634
2000	5.37	17.6	0.597
2100	5.53	18.1	0.580
2200	5.68	18.6	0.564
2300	5.83	19.1	0.549
3000	6.84	22.4	0.469
3400	7.38	24.2	0.435
4000	8.15	26.7	0.394
5000	9.35	30.7	0.343
6000	10.5	34.4	0.306
8000	12.6	41.4	0.254
10000	14.6	47.9	0.220
10200	14.8	48.5	0.217

Standard Conditions:
For Attenuation: VSWR 1.0, ambient temperature 20°C (68°F).
For Average Power: VSWR 1.0, ambient temperature 40°C (104°F), inner conductor temperature 100°C (212°F), no solar.

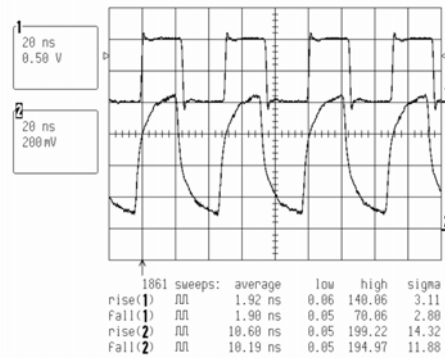


Fig 1: 20 MHz square wave after 60m of RG58 coaxial cable. The trace 1 is the input signal and the trace 2 is the signal seen after the line.

	AWG	Dielectric	D (mm)	d (mm)	ϵ_r	Nom. Imp. (ohms)
RG-8	11	Polyethylene	7.239	2.497	2.3	50
RG-58	20	Polyethylene	2.946	0.861	2.3	53.5
RG-59	22	Polyethylene	3.708	0.686	2.3	75
RG-122	22	Polyethylene	2.438	0.686	2.3	50
RG-174	26	Polyethylene	1.524	0.439	2.3	50
RG-213	13	Polyethylene	7.239	1.903	2.3	50
RG-214	13	Polyethylene	7.239	1.903	2.3	50
RG-223	19	Polyethylene	2.946	0.912	2.3	50
RG-316	26	TEFLON	1.524	0.439	2.1	50

Table 3: Summary Information for Some Common Cables

Distorsione del Segnale

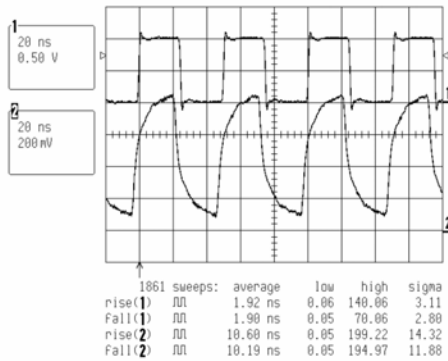
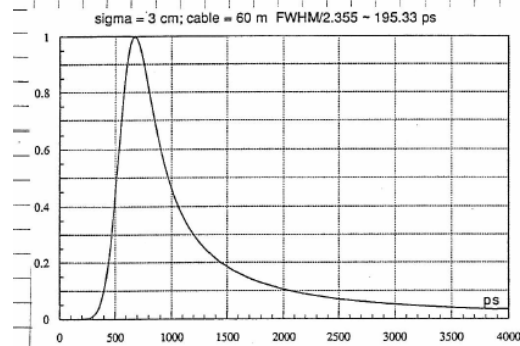
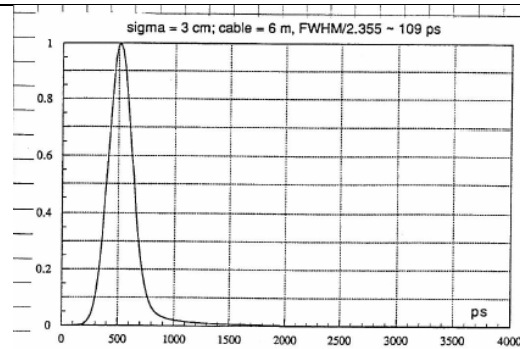


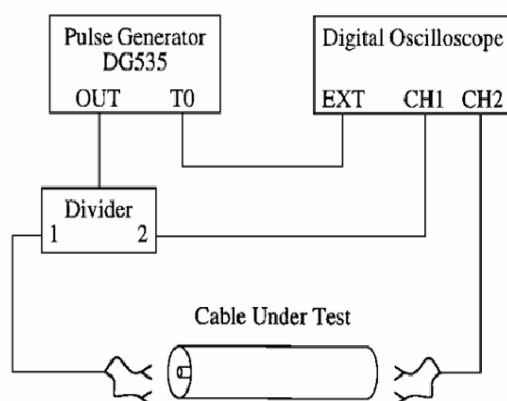
Fig 1: 20 MHz square wave after 60m of RG58 coaxial cable. The trace 1 is the input signal and the trace 2 is the signal seen after the line.



3. 2 Relazione di Laboratorio

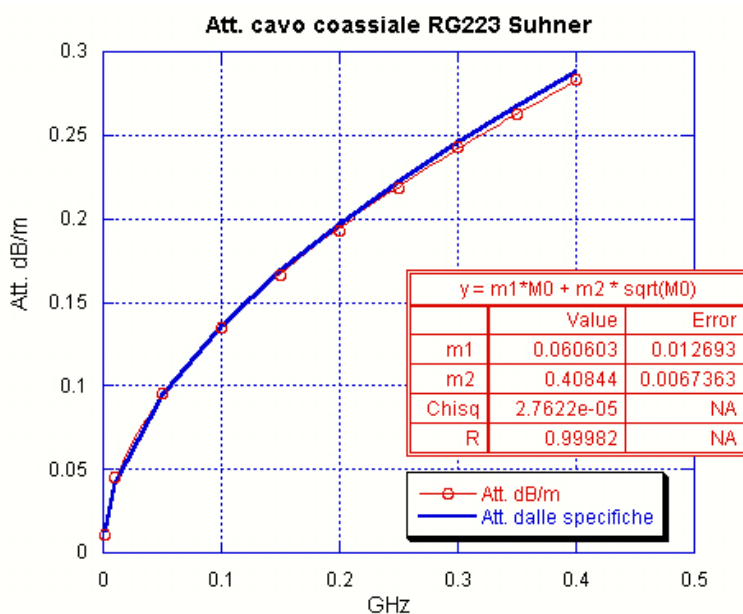
Dati a disposizione	Specifiche del cavo coassiale (RG_223_U Huber+Suhner) <table><tr><th colspan="2">Electrical data</th><th colspan="2">Jump to Top</th></tr><tr><td colspan="2">Operating Frequency</td><td colspan="2">≤ 6 GHz</td></tr><tr><td>Norm. attenuation</td><td>Values and graph see below</td><td>Coefficient a</td><td>0.4056</td></tr><tr><td></td><td></td><td>Coefficient b</td><td>0.0789</td></tr><tr><td>CW Power</td><td>Values and graph see below</td><td colspan="2"></td></tr><tr><td>Impedance</td><td colspan="3">50 ± 2 Ω</td></tr><tr><td>Capacitance</td><td colspan="3">100.7 pF/m</td></tr><tr><td>Propagation Velocity</td><td colspan="3">66 % of c</td></tr><tr><td>Signal Delay</td><td colspan="3">5.03 ns/m</td></tr><tr><td>Insulation Resist</td><td colspan="3">>100000000 Mm</td></tr><tr><td>Test Voltage</td><td colspan="3">5 kV/rms</td></tr><tr><td>Operating Voltage</td><td>at sea level</td><td colspan="2">2.5 kV/rms</td></tr><tr><td>Inner Cond Res DC</td><td>typical</td><td colspan="2">27.7 /km</td></tr><tr><td>Outer Cond R. DC</td><td>typical</td><td colspan="2">6.7 /km</td></tr></table>	Electrical data		Jump to Top		Operating Frequency		≤ 6 GHz		Norm. attenuation	Values and graph see below	Coefficient a	0.4056			Coefficient b	0.0789	CW Power	Values and graph see below			Impedance	50 ± 2 Ω			Capacitance	100.7 pF/m			Propagation Velocity	66 % of c			Signal Delay	5.03 ns/m			Insulation Resist	>100000000 Mm			Test Voltage	5 kV/rms			Operating Voltage	at sea level	2.5 kV/rms		Inner Cond Res DC	typical	27.7 /km		Outer Cond R. DC	typical	6.7 /km	
Electrical data		Jump to Top																																																							
Operating Frequency		≤ 6 GHz																																																							
Norm. attenuation	Values and graph see below	Coefficient a	0.4056																																																						
		Coefficient b	0.0789																																																						
CW Power	Values and graph see below																																																								
Impedance	50 ± 2 Ω																																																								
Capacitance	100.7 pF/m																																																								
Propagation Velocity	66 % of c																																																								
Signal Delay	5.03 ns/m																																																								
Insulation Resist	>100000000 Mm																																																								
Test Voltage	5 kV/rms																																																								
Operating Voltage	at sea level	2.5 kV/rms																																																							
Inner Cond Res DC	typical	27.7 /km																																																							
Outer Cond R. DC	typical	6.7 /km																																																							
Obiettivi	- Misura dell’attenuazione di un cavo coassiale al variare di f; - Misura del tempo di ritardo introdotto dal cavo; - Valutazione della distorsione introdotta da 100 m di cavo coassiale su impulsi con tempo di salita nell’ordine dei ns.																																																								
Strumenti Utilizzati	Oscilloscopio digitale (Agilent Infiniium 600 MHz, 4 GSa/s);  Viene utilizzato come generatore di tensione sinusoidale il Network Analyzer Agilent E8358A; 100 m di cavo coassiale (RG_223_U Huber+Suhner); Generatore di impulsi (Hewlett Packard 8015 A)																																																								

Misure attenuazione

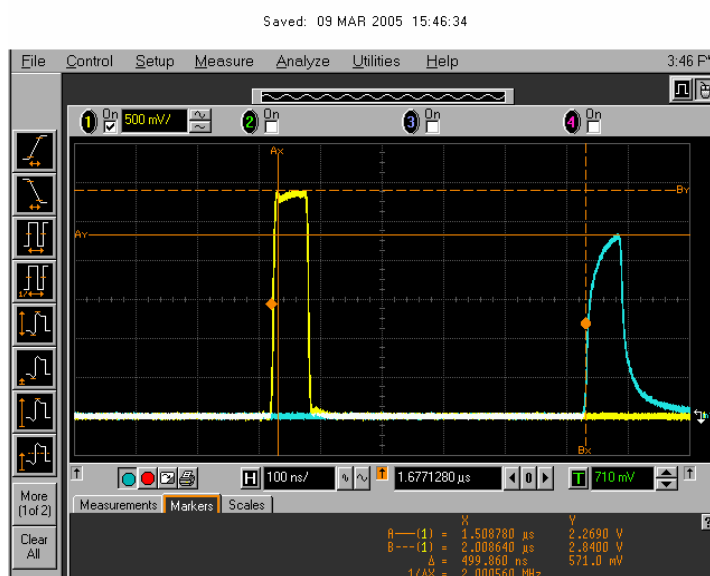
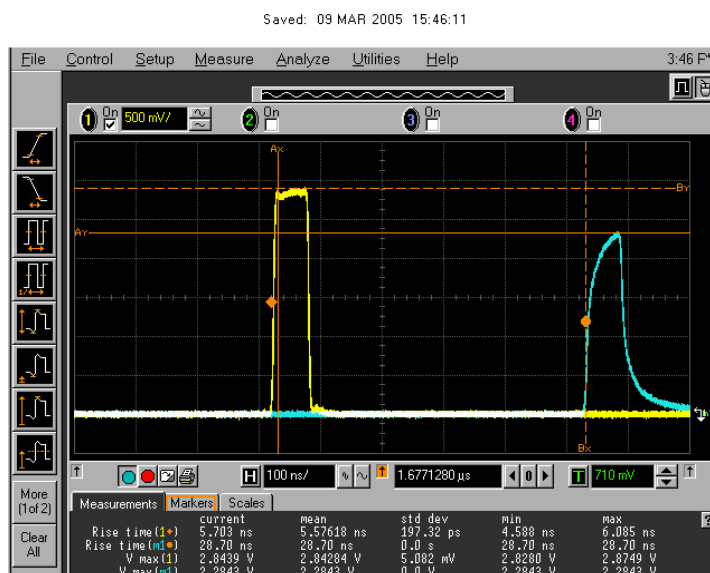


Al variare della frequenza f del segnale sinusoidale si misura con l'oscilloscopio l'attenuazione introdotta da 100 m di cavo.

Frequenza (GHz)	V Max (mV)	Att. dB 100m	Att. dB 1m	Att. di specific
0.0010000	291.38	1.0811	0.011	0.012905
0.0100000	195.96	4.5269	0.045	0.041349
0.0500000	110.15	9.5306	0.095	0.094640
0.1000000	69.720	13.503	0.14	0.13615
0.1500000	48.560	16.645	0.17	0.16892
0.2000000	35.810	19.290	0.19	0.19717
0.2500000	26.710	21.837	0.22	0.22253
0.3000000	20.050	24.328	0.24	0.24583
0.3500000	15.960	26.310	0.26	0.26757
0.4000000	12.690	28.301	0.28	0.28808
0.5000000	8.8200	31.461	0.31	0.32625



Misure ritardo e distorsione



Osservazioni

Nel grafico sovra illustrato è riportato il confronto tra l'attenuazione in funzione della frequenza fornita dalle specifiche del costruttore e quella misurata in laboratorio.

La formula teorica prevista per l'attenuazione:

$$A = m2 \cdot \sqrt{f} + m1 \cdot f$$

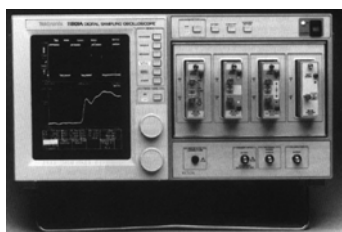
e' verificata con i seguenti valori sperimentali, che sono in accordo con quelli forniti dal costruttore:

$$m1 = 0.060603 \quad m2 = 0.40844$$

Come si vede nelle due acquisizioni da oscilloscopio, un impulso (traccia gialla) di ampiezza di 3 V, larghezza di 50 ns e rise time di 5.5 ns subisce una distorsione dopo il passaggio attraverso il cavo coassiale (traccia azzurra).

3. Il Riflettometro TDR (Time-Domain Reflectometer)

Strumenti Utilizzati

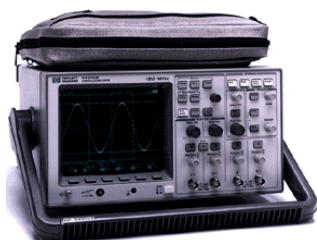


Tektronix 118001 A

Oscilloscopio digitale usato come Riflettometro.

Specifiche:

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



HP 54602B

Oscilloscopio digitale.

Specifiche:

- 4 canali;
- high impedance;
- larghezza di banda 150 Mhz;
- risoluzione verticale 8 bit;
- modalità di acquisizione: peak detection, average, involuppo;
- 20 Msa/s sampling rate;



Stanford DG535

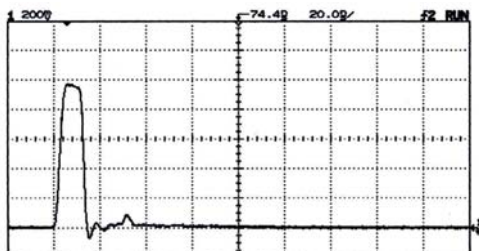
Generatore di impulsi.

Specifiche:

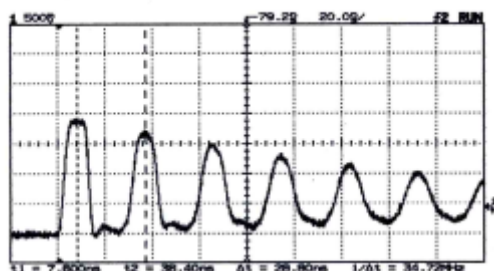
- 4 canali;
- impedenza 50 Ohm e alta impedenza;
- rise time TTL 3 ns;
- l'impulsore eroga segnali di tipo: TTL, ECL, NIM, variabili ($-3\text{V} \div 4\text{V}$);
- modalità generazione impulsi nel tempo: single shot, ripetitivo 1 mHz $\div$ 1 MHz;
- ritardi programmabili tra le uscite: 0 $\div$ 1000 s con risoluzione 5 ps.

Le riflessioni possono a volte modificare un segnale elettrico a tal punto da renderlo irriconoscibile; vediamo a proposito il seguente esempio.

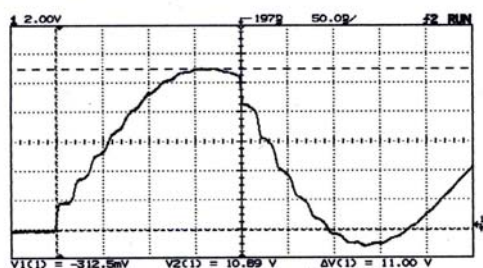
Esercitazione 1



Per mezzo del generatore di impulsi abbiamo formato un segnale di ampiezza $\cong 1$ V e durata $\cong 15$ ns. Abbiamo visualizzato il segnale sull'oscilloscopio adattando l'impedenza di ingresso dello strumento con quella del cavo (50 Ohm).



Disadattando l'impedenza d'ingresso dell'oscilloscopio il segnale subisce delle riflessioni multiple con ampiezza che va attenuandosi al passare del tempo; il periodo tra due impulsi è uguale al tempo impiegato per percorrere il doppio della lunghezza del cavo.



Aumentando la durata dell'impulso il segnale riflesso viene sovrapposto al segnale originale rendendolo irriconoscibile.

Le riflessioni elettriche possono essere vantaggiosamente adoperate nell'analisi di una linea elettrica per la quale ci danno una visione immediata e precisa dell'impedenza di ogni suo tratto. Da questa misura possiamo dedurre la lunghezza della linea o localizzare con precisione ogni sua discontinuità, individuandone anche la natura (resistiva, induttiva o capacitiva).

Il principio è analogo a quello adoperato nel radar di un aereo per localizzare un oggetto identificandone distanza, direzione velocità e verso, o nel sonar di un sommergibile tramite il quale esso può avere una visione dettagliata del fondale marino.

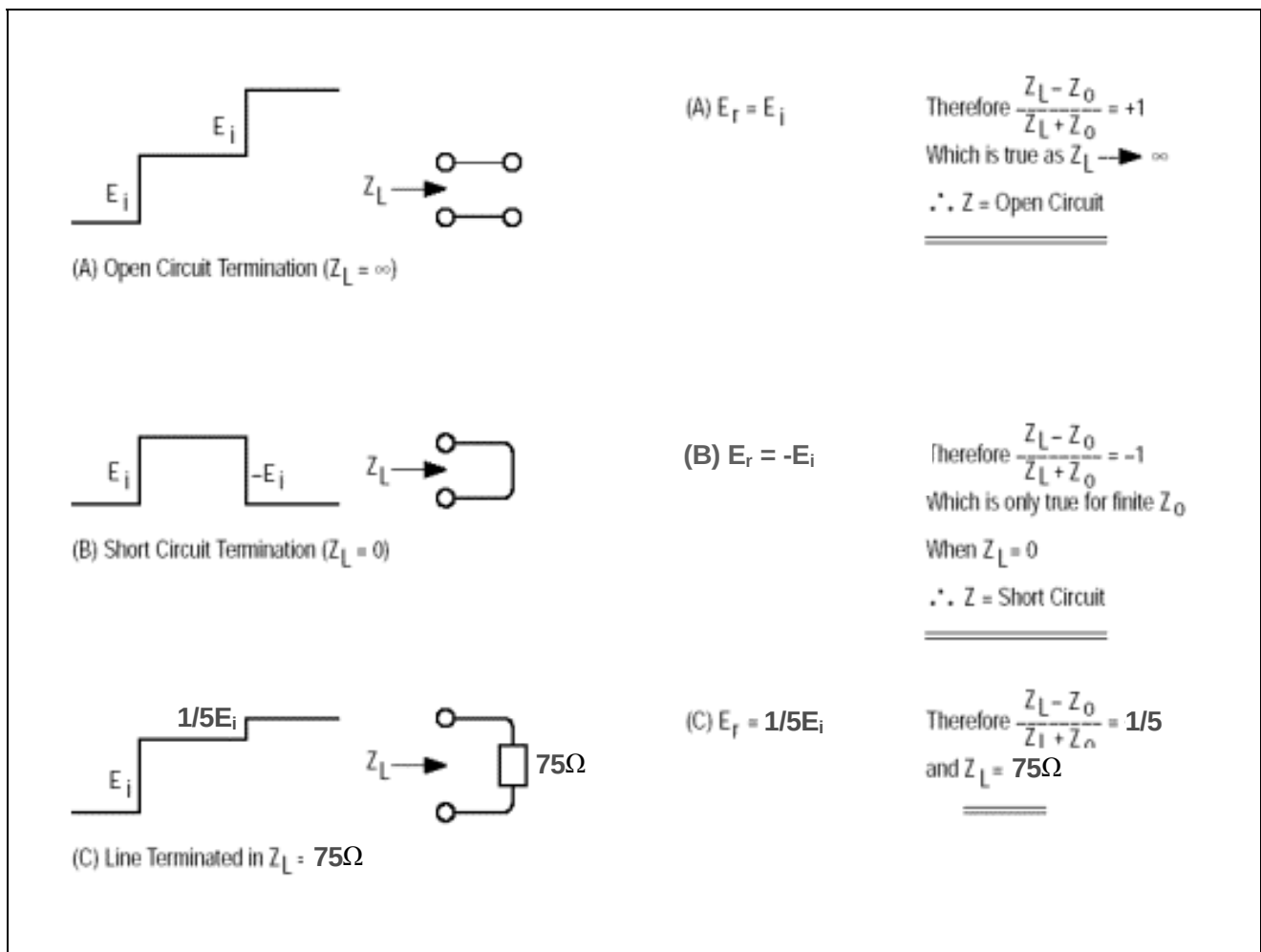
Nella TDR (time Domain Reflectometry) lo strumento invia attraverso la linea un gradino di tensione e, tramite una sezione simile a quella di un oscilloscopio, visualizza il segnale che, tornando indietro, si sovrappone a quello di partenza.

L'ampiezza del segnale riflesso è data dalla formula:

$$E_r = E_i \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0}$$

dove E_i ed E_r sono rispettivamente segnale incidente e riflesso, mentre Z_0 e Z_L sono impedenza della linea e del carico.

Conoscendo Z_0 ed E_i e misurando E_r lo strumento ci fornisce il valore di Z_L .



Esercitazione 2

Si verifichi la tabella di cui sopra adoperando per la linea un cavo RG223 (50Ω) e terminandolo con circuito aperto, cortocircuito, tappo a 50Ω o prolungandolo con un cavo RG59 a 75Ω .

A_ il segnale inviato dal riflettometro viene riflesso quindi la linea è aperta: $Z_L = \infty$;

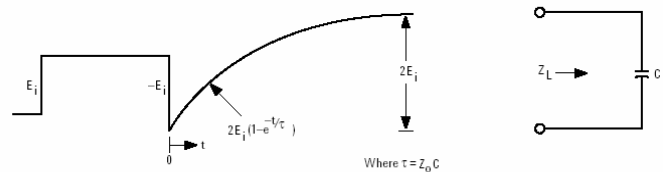
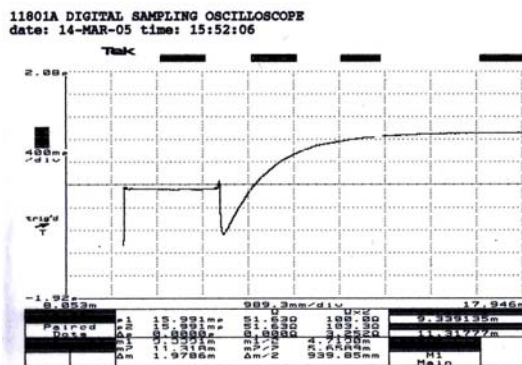
B_ il segnale inviato viene riflesso e il coefficiente di riflessione è negativo e pari a -1 di conseguenza la linea è corto cortocircuitata: $Z_L = 0$;

C_ il segnale viene riflesso con un coefficiente pari a $V_r/V_i = 1/5$ da cui segue che $Z_L = 75\Omega$.

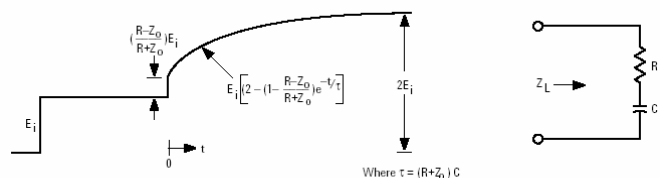
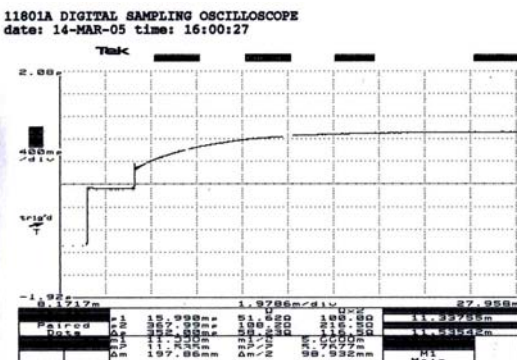
Non è presente tra i grafici il caso in cui $Z_L = Z_0 = 50\Omega$ dove il coefficiente di riflessione è uguale a zero.

Esercitazione 3

L'impedenza per i cavi commerciali di buona qualità è approssimativamente reale ma è interessante considerare anche i casi ad impedenza complessa.

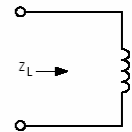
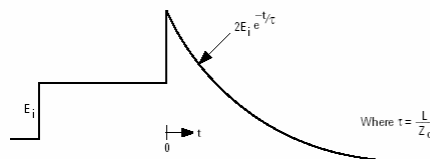
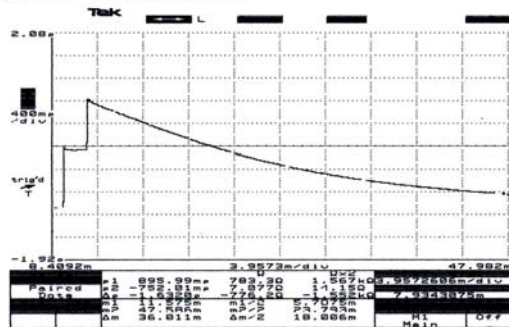


Comportamento del segnale in caso di carico puramente capacitivo ($C=100\text{ pF}$): inizialmente il condensatore è scarico quindi $X_C = 0$ ed è un corto circuito, in seguito il componente si carica fino a comportarsi come un circuito aperto $X_C \Rightarrow \infty$.



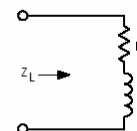
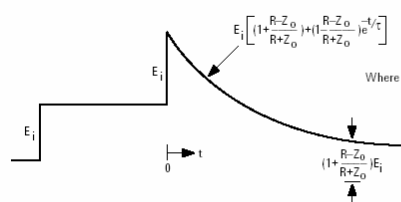
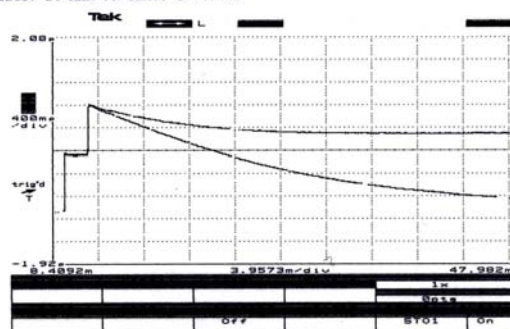
Usando un carico ohmico-capacitivo il circuito si comporta inizialmente come se ci fosse soltanto R perché $X_C = 0$ quindi il condensatore si carica e $X_C \Rightarrow \infty$ e si comporta come un carico puramente capacitivo. $R = 100\Omega$ e $C = 100\text{ pF}$.

11801A DIGITAL SAMPLING OSCILLOSCOPE
date: 14-MAR-05 time: 15:55:41



Utilizzando un carico puramente induttivo di $6.2 \mu\text{H}$ il circuito inizialmente si comporta come un circuito aperto $X_L \Rightarrow \infty$, con il passare del tempo $X_L \Rightarrow 0$ quindi si comporta come un corto circuito.

11801A DIGITAL SAMPLING OSCILLOSCOPE
date: 14-MAR-05 time: 16:03:42

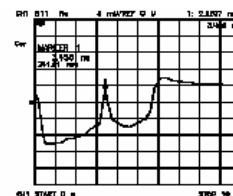
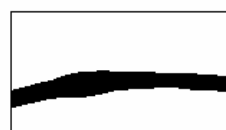
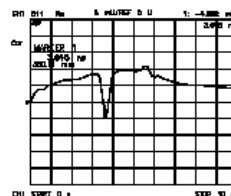
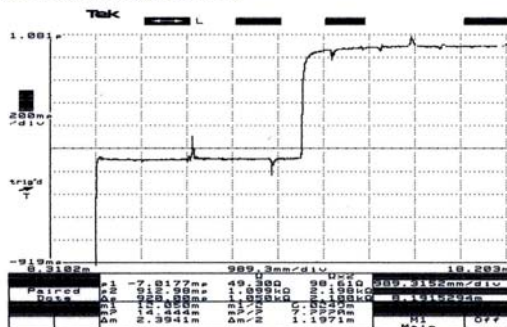


Un carico ohmico-induttivo si comporta inizialmente come nel caso puramente induttivo e poi a causa della resistenza segue la caratteristica del caso precedente ma non arriva allo 0.

Esercitazione 4

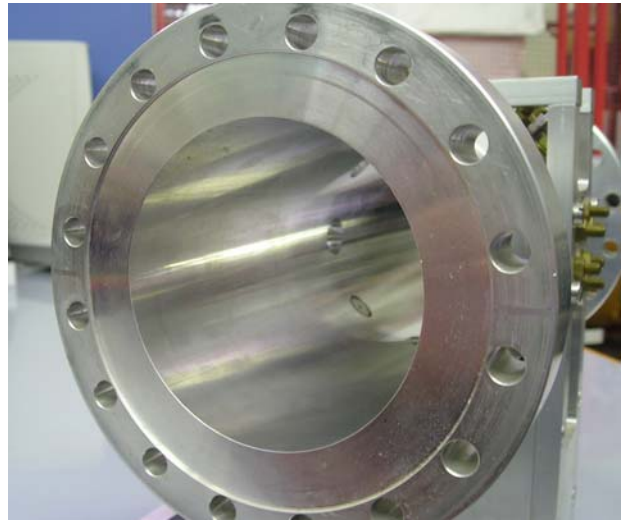
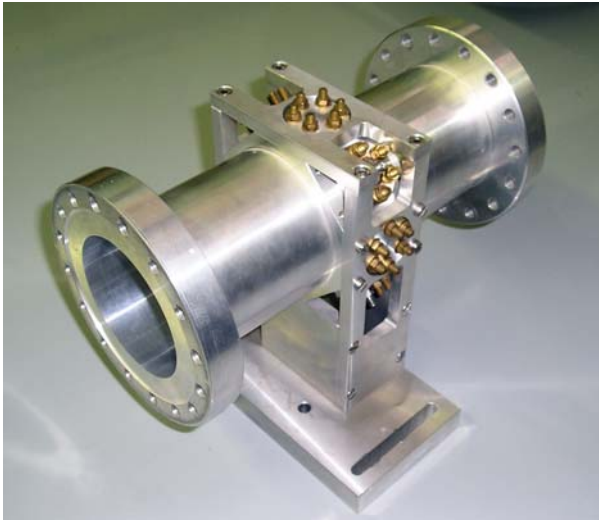
Danneggiando volontariamente un cavo coassiale abbiamo verificato le conseguenze sul segnale:
-assecondando dei violenti colpi sul cavo abbiamo verificato come il cavo assuma un comportamento capacitivo in corrispondenza del punto danneggiato;
-spellando il cavo si verifica il comportamento induttivo in corrispondenza del danno.
La tecnica di misura è utile per diagnosticare l'interruzione o la lesione del cavo.

11801A DIGITAL SAMPLING OSCILLOSCOPE
date: 14-MAR-05 time: 16:13:37



Esercitazione 5

Descrivere il monitor in figura e, tramite riflettometro, individuarne il circuito equivalente.



Il tratto di camera da vuoto in figura, è munito di un dispositivo ad elettrodi per il monitoraggio e la misura della posizione e dell'intensità del fascio. Gli elettrodi capacitivi sono posizionati in modo simmetrico e devono essere uguali tra loro. Il fascio induce un segnale di tensione su ognuno degli elettrodi la cui intensità viene misurata per stabilire la posizione del fascio all'interno della camera. Per definire il circuito equivalente dell'elettrodo abbiamo usato la tecnica della riflettometria.

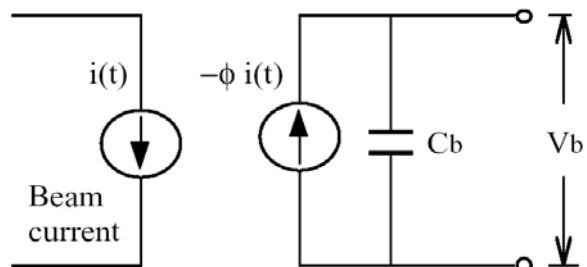
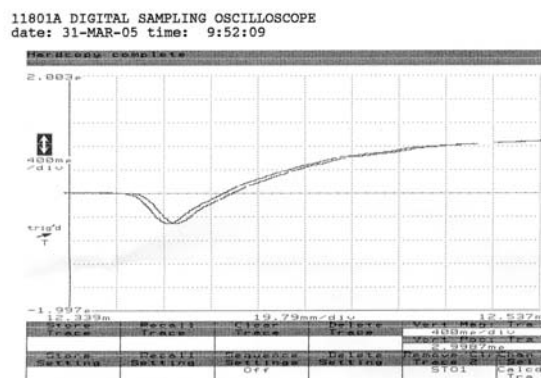


Fig. A.1 - Button equivalent circuit representation.

Confrontando con le misure precedenti si verifica che l'elettrodo si comporta come un circuito capacitivo.

Relazione di Laboratorio

L'Analizzatore di Spettro

Strumenti utilizzati



HP54602B *Oscilloscopio digitale*

- _ 4 canali;
- _ high impedance;
- _ larghezza di banda 150 MHz;
- _ 20 MSa/s sampling rate.



HP8116A *Generatore di impulsi*

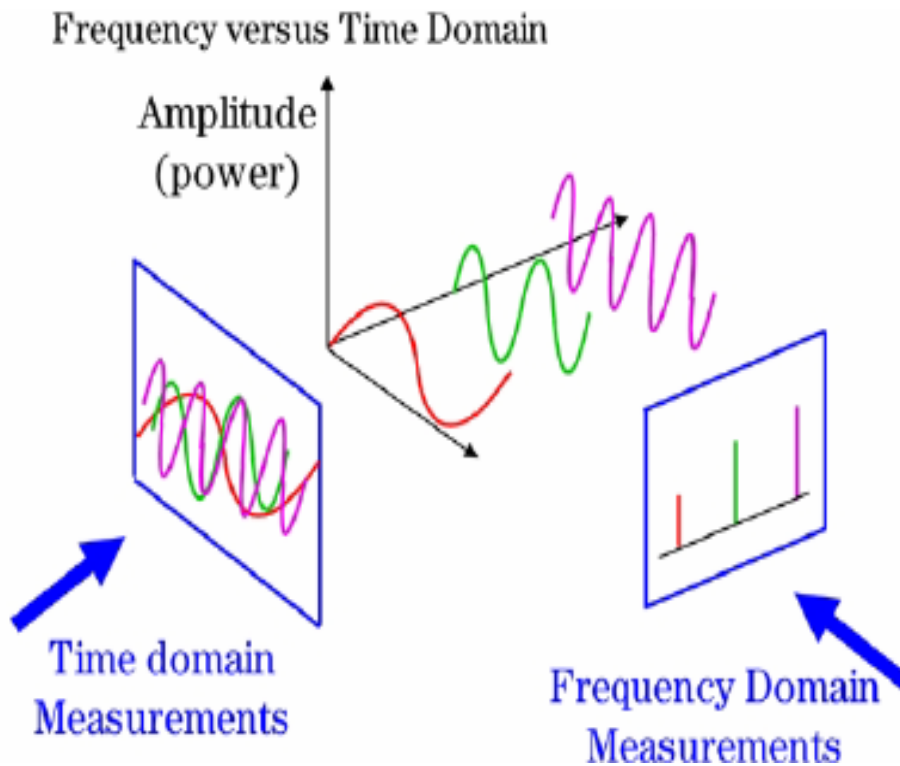
- _ 2 canali;
- _ Larghezza di banda 50 MHz;
- _ Forme d'onda: triangolare, quadra, sinusoidale, a gradino;
- _ Ampiezza da 10 mVp-p a 16 Vp-p;
- _ Larghezza d'impulso: da 10 ns a 999 ms.



HP8562B *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).

Introduzione



Com'è noto un' Oscilloscopio permette di guardare come un segnale varia nel tempo. Esso quindi ci fornisce, nel dominio del tempo, la somma di tutte le componenti del segnale.

Ma per comprendere più a fondo la natura del segnale è necessario guardarlo anche nel dominio della frequenza.

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.

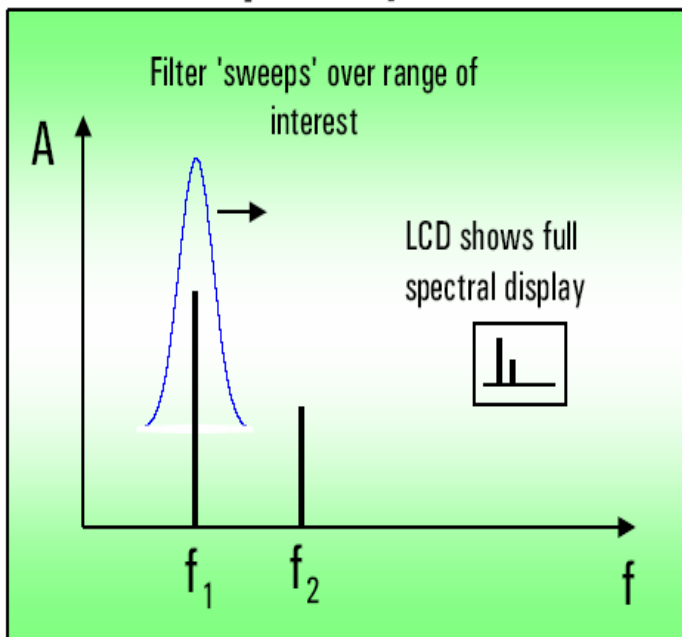
L'Analizzatore di Spettro funziona nel dominio della frequenza separando le componenti sinusoidali di un segnale e fornendocene l'ampiezza in un diagramma ampiezza-frequenza.

Swept Analyzer

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).



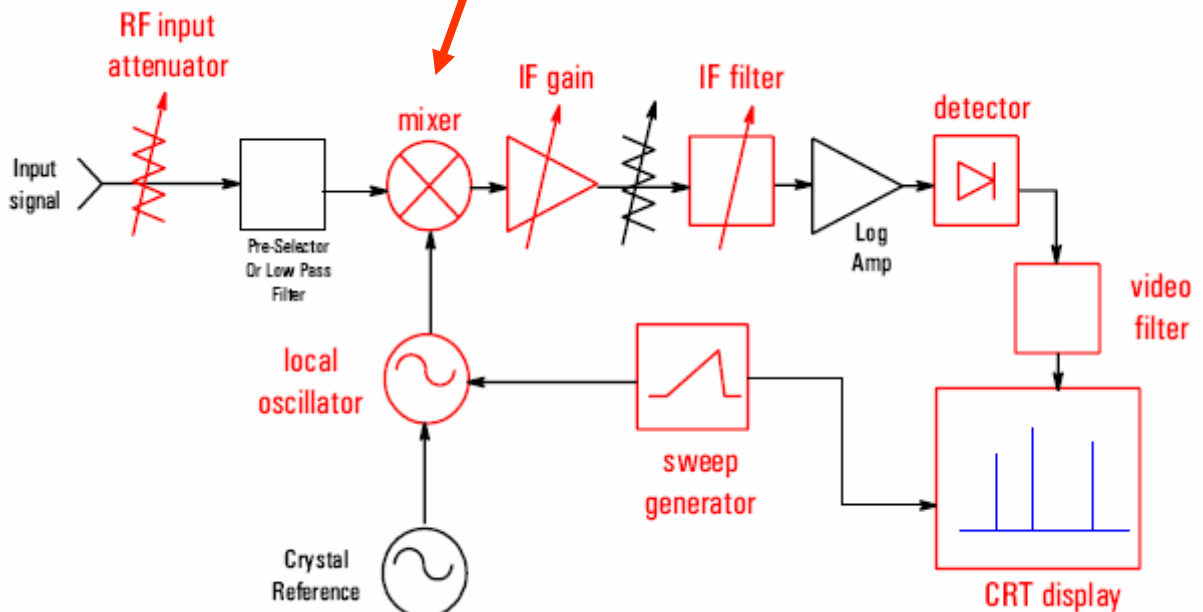
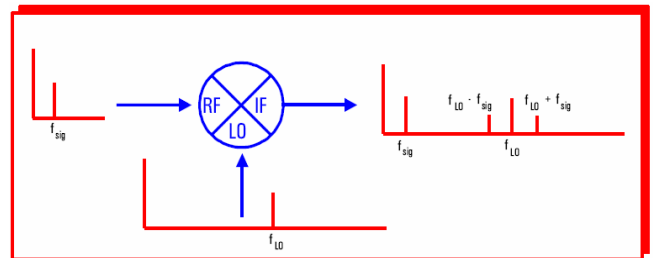
Swept Analyzer



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

Mixer

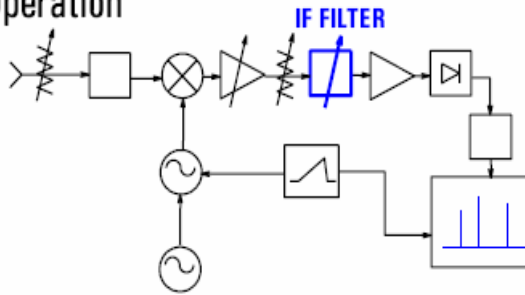
Essendo difficile e costoso costruire filtri variabili su una vasta scala di frequenze si preferisce usare la tecnica della supereterodina (il termine deriva dall'inglese superheterodyne e vuol dire miscelare assieme super-audio frequenze). L'IF-filter viene così mantenuto fisso alla frequenza intermedia IF alla quale vengono via via convertite tutte le frequenze da analizzare del segnale d'ingresso .



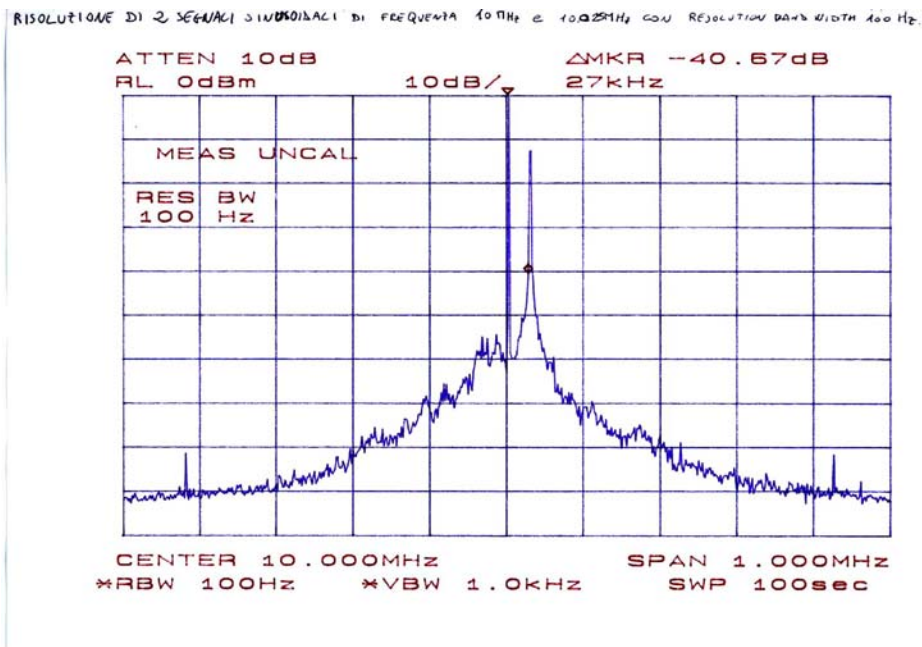
Esercitazione 1

Theory of Operation

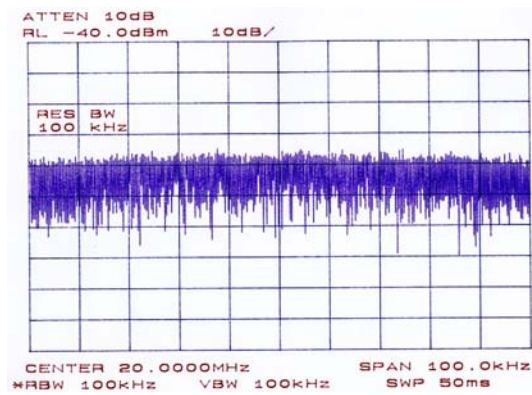
IF Filter



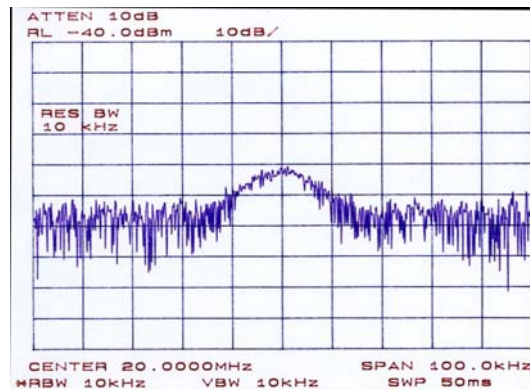
Risoluzione di 2 segnali sinusoidali di frequenza 10 MHz e 10.025 MHz con resolution bandwidth 100 Hz.



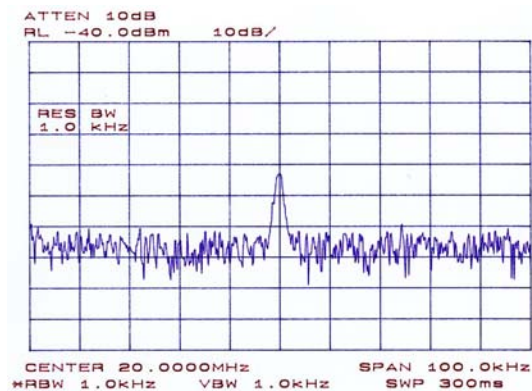
Quando abbiamo due segnali con frequenze vicine tra loro, se la resolution bandwidth è maggiore della loro differenza in frequenza non si riescono a visualizzare distintamente, mentre con la resolution bandwidth adeguata i segnali si distinguono perfettamente. Si nota che al diminuire della RSBW diminuisce proporzionalmente anche il livello del rumore.



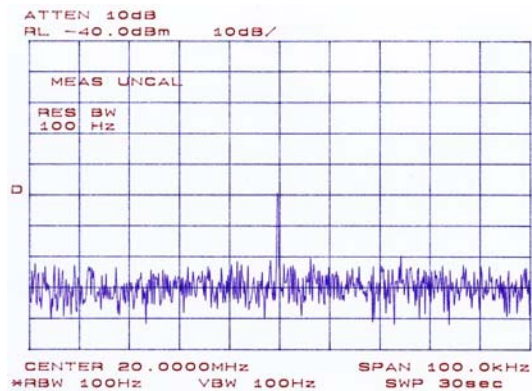
segnale 20MHz -83dBm RBW 100KHz



segnale 20MHz -83dBm RBW 10KHz



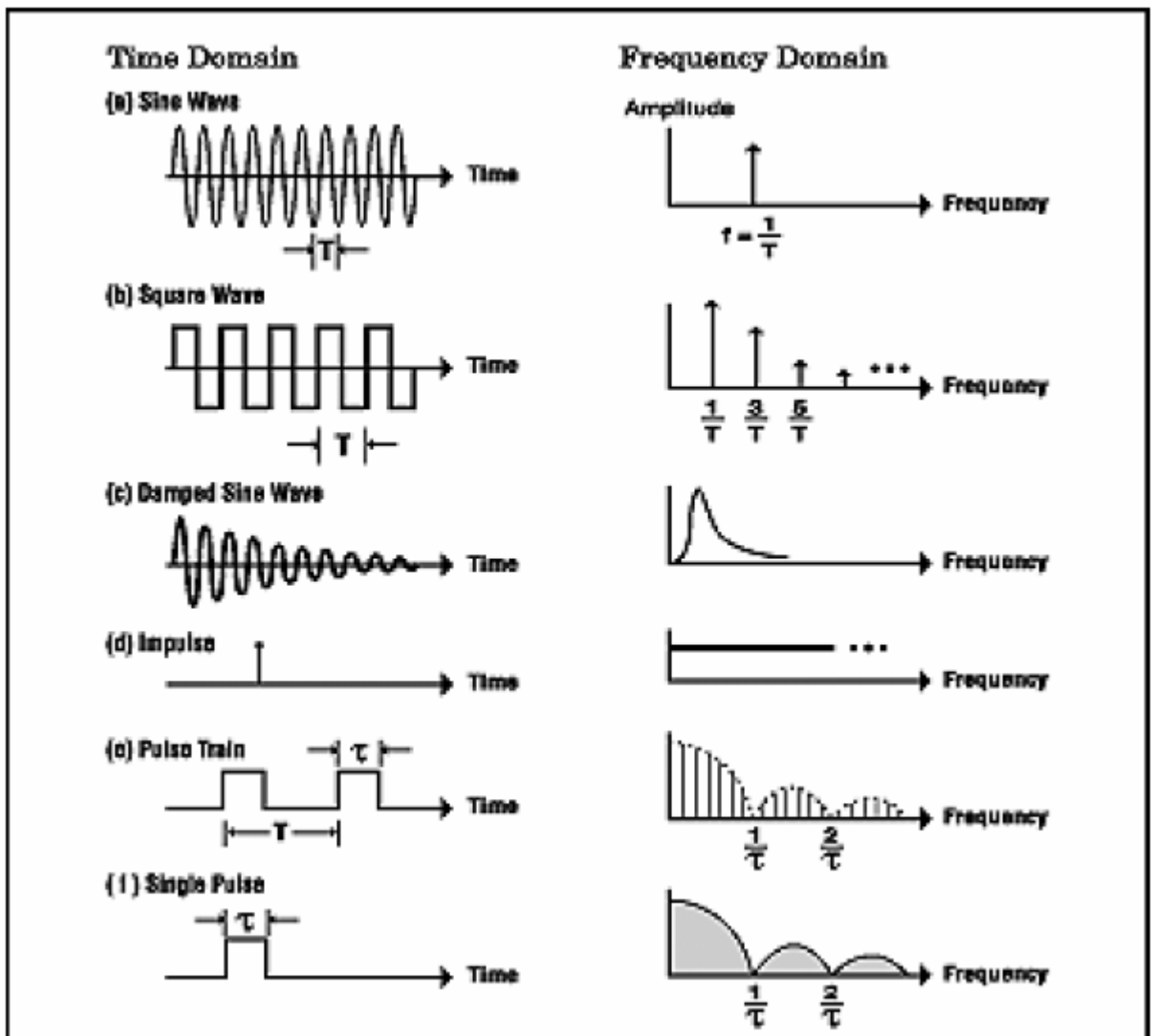
segnale 20MHz -83dBm RBW 1KHz



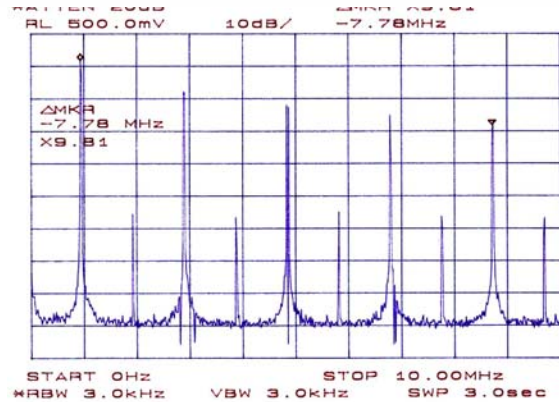
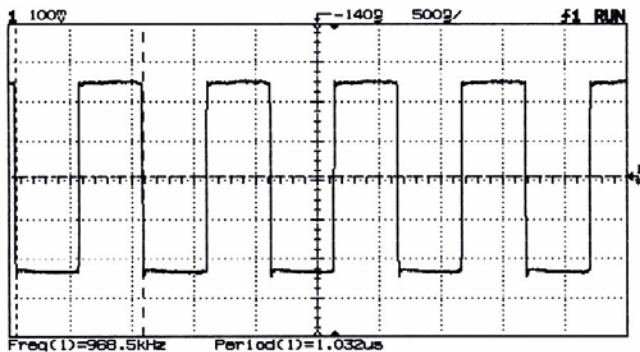
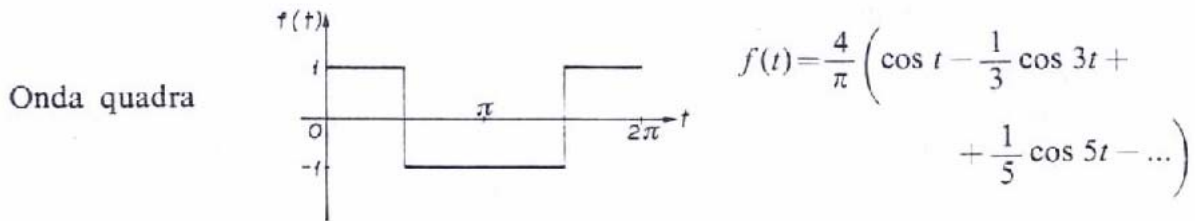
segnale 20MHz -83dBm RBW 100Hz

Esercitazione 2

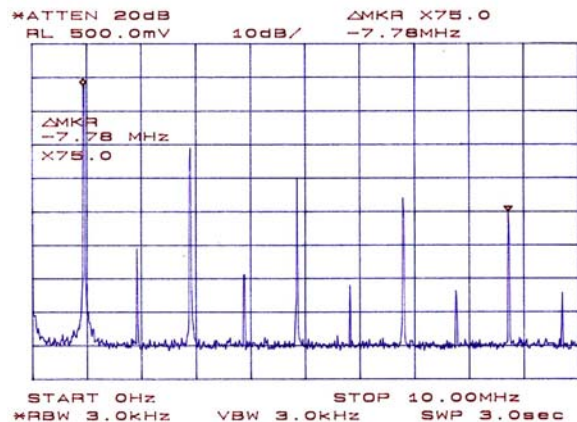
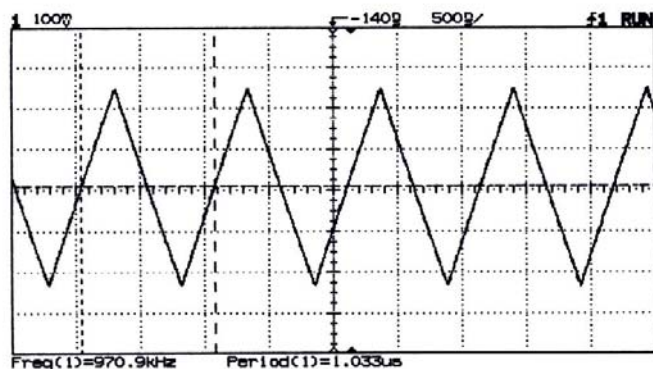
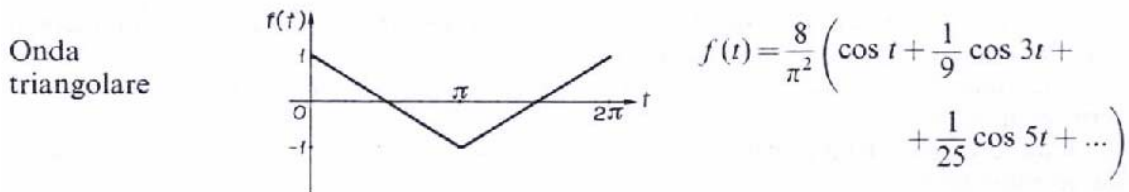
Nel grafico seguente si nota come la rappresentazione nel dominio della frequenza mostra quanto dell'energia del segnale è presente ad ogni frequenza. Per un segnale semplice quale un'onda sinusoidale, la rappresentazione solitamente non fornisce informazioni supplementari a quelle di un oscilloscopio, mentre le informazioni sono maggiori nel caso di segnali più complessi.



Misura in laboratorio dello spettro di ampiezza di segnali tipici ottenuti con il generatore di impulsi



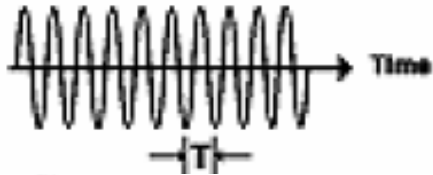
Spettro di un'onda quadra di frequenza 1MHz e ampiezza 500mV



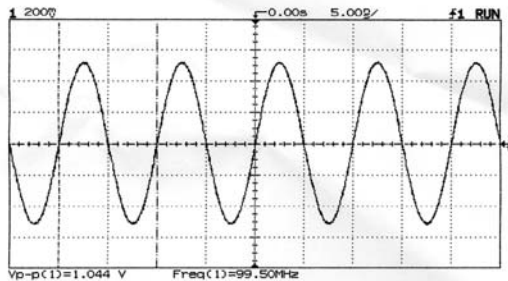
Spettro di un'onda triangolare di frequenza 1MHz e ampiezza 500mV

Time Domain

(a) Sine Wave

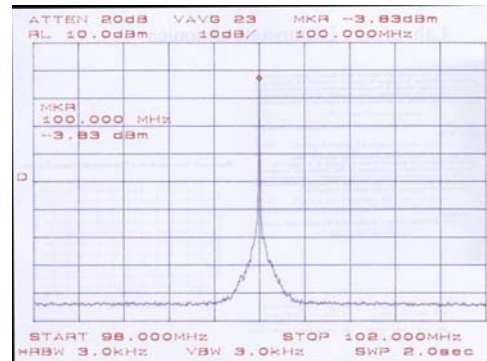
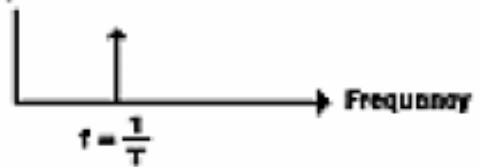


14:51:46 Thu May 5, 2005



Frequency Domain

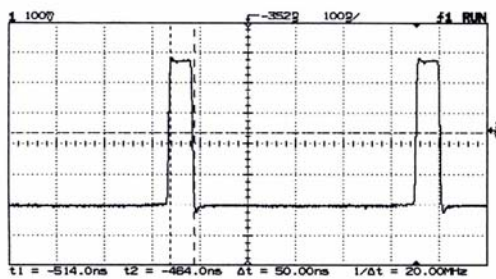
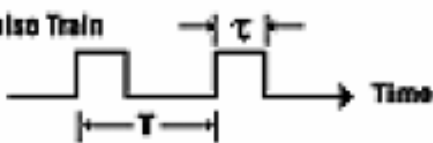
Amplitude



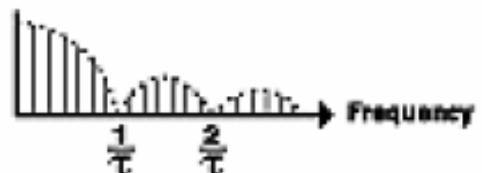
Spettro di un'onda sinusoidale di frequenza 100 MHz e ampiezza 1V

Time Domain

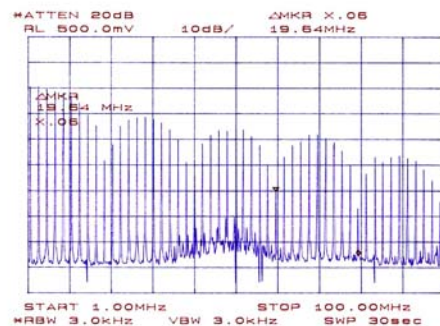
(a) Pulse Train



Frequency Domain



ATTN 20dB VAW 23 MKR 100.000 MHz -3.83 dBm RL 10.0dBm 10dB/100.000MHz START 98.000MHz STOP 102.000MHz RBW 3.0kHz VBW 3.0kHz SWP 2.0sec



Spettro di un treno d'impulsi di frequenza 1MHz e durata 50ns.

Esercitazione 3

L'amplificatore ANZAC AM123 ha una larghezza di banda $5 \div 500\text{MHz}$,

con un guadagno in tensione $G_v = 10\text{dB}$, tensione massima di ingresso pari a $\pm 3.1\text{V}$.

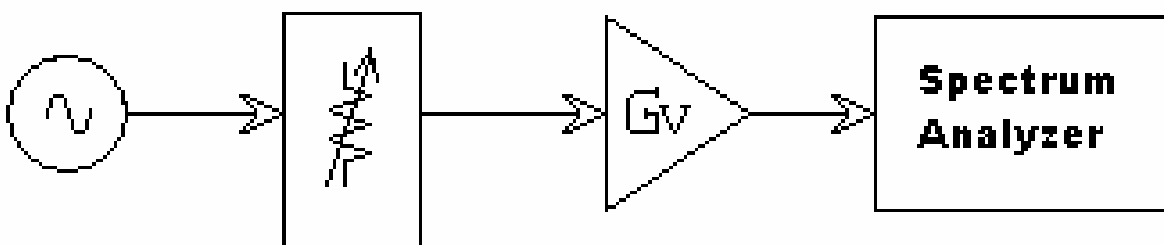
Si vuole misurare la distorsione causata dalla non linearità della relazione fra il segnale di uscita ed il segnale di ingresso dell'amplificatore: se il segnale d'ingresso è sinusoidale e di frequenza F , il segnale di uscita contiene, non solo, la frequenza fondamentale F , ma anche componenti a frequenza multipla dette armoniche.

Si definisce coefficiente di distorsione di seconda armonica D_2 il rapporto fra l'ampiezza V_2 della seconda armonica e l'ampiezza V_1 della fondamentale, analogamente il coefficiente di distorsione D_3 è il rapporto fra l'ampiezza D_3 della terza armonica e l'ampiezza della fondamentale, e così per i coefficienti di distorsione relativi alle armoniche di ordine superiore.

Attraverso l'utilizzo dello spectrum analyzer HP8562B abbiamo misurato l'ampiezza delle seconde e terze armoniche in funzione della potenza di uscita in corrispondenza della frequenza fondamentale.

Si riporta di seguito lo schema a blocchi della configurazione sperimentale utilizzata in laboratorio, composto da:

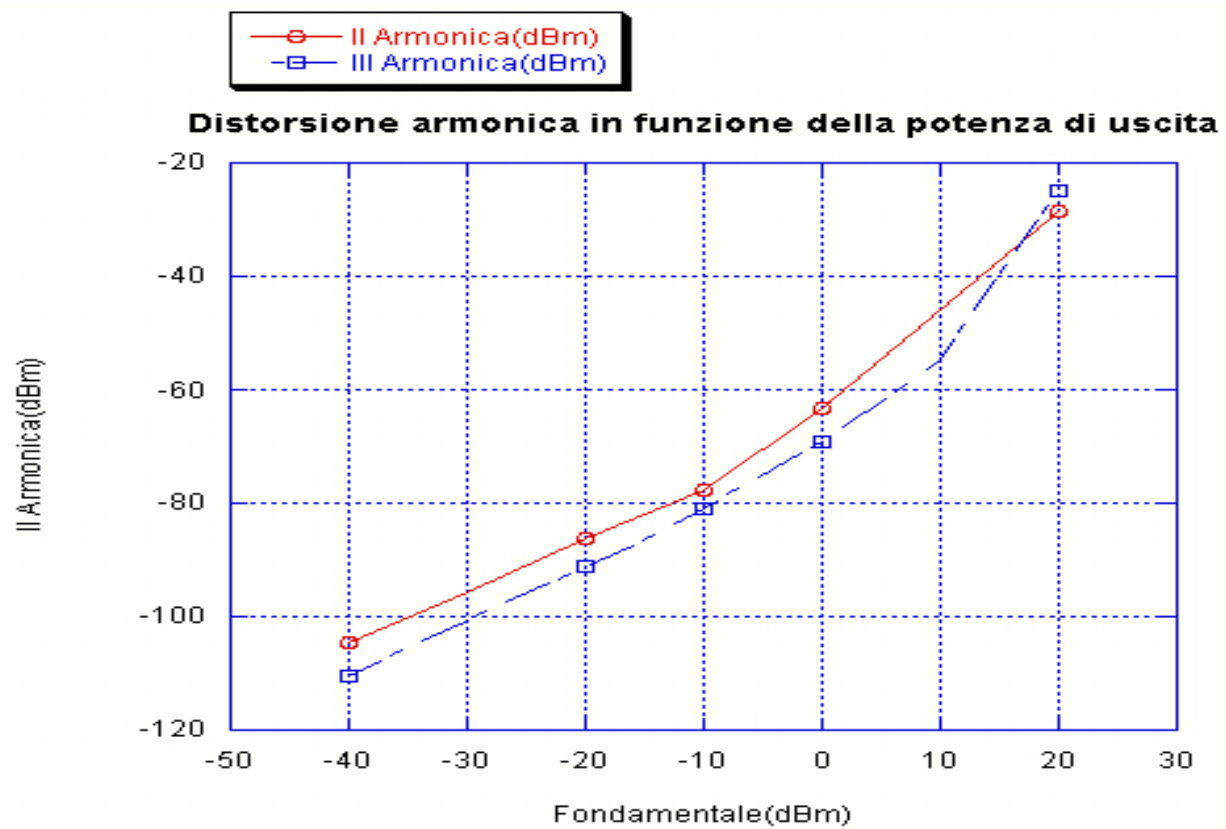
- HP E8358A generatore di segnali
- HP 355D attenuatore variabile
- ANZAC AM123 amplificatore di segnale
- HP 8562B analizzatore di spettro



Nella tabella sono riportati i dati ottenuti dalle misure

P Out (dBm)	II Armonica (dBm)	III Armonica (dBm)
20.0	-28.50	-25.00
10.0	-45.80	-54.67
0.0	-63.17	-69.08
-10.0	-77.70	-81.08
-20.0	-86.22	-91.25
-30.0	-95.70	-100.5
-40.0	-104.60	-110.5

Nel grafico è illustrata la distorsione di seconda e terza armonica dell'amplificatore in funzione della potenza di uscita della fondamentale



Si nota che l'andamento della distorsione non è lineare con P_{out} .