

Manuale del Laboratorio di Elettronica Digitale 1

Sicurezza nel Laboratorio

Le tensioni e correnti utilizzate nei vostri esperimenti NON sono pericolose. Comunque, gli apparecchi utilizzatori sono collegati alla tensione alternata di 220V – 50Hz. Il contatto con questa tensione può essere letale in alcune condizioni. È veramente importante che voi osserviate tutte le procedure di sicurezza in ogni istante e che leggete attentamente le istruzioni disponibili nel laboratorio.

- Immediatamente fornire indicazione agli insegnanti o al personale addetto al laboratorio di tutte le condizioni pericolose che si presentano all'interno del laboratorio stesso (esempio: cavi di collegamento alla 220V che siano sfilacciati o con guaina non integra; scintille manifestate all'interno di apparecchiature elettroniche; leggere scosse o sensazione di scossa elettrica toccando contenitori o apparecchiature metalliche; ...). Riferire ogni condizione anche sospetta di pericolo.
- Immediatamente in presenza di fiamme, forte odore di bruciato, sospetto contatto con parti ad elevato potenziale da parte del corpo umano, avvertire l'insegnante o il personale addetto al laboratorio che provvederà a fornire le prime cure o adotterà la necessaria procedura per eliminare il problema.
- Nessun studente può entrare nel laboratorio in qualsiasi momento. Gli studenti sono sempre accompagnati almeno da un insegnante all'interno del laboratorio.
- Se un'apparecchiatura o un dispositivo all'interno del laboratorio non funziona in modo corretto, per favore avvertire immediatamente l'insegnante o il tecnico di laboratorio senza aprire il contenitore o smontare il dispositivo.
- Ogni studente che per scherzo o per incoscienza arreca un danno ad un'attrezzatura o ad un dispositivo del laboratorio è tenuto a ripagare in solido le eventuali riparazioni sostenute per ripristinare le iniziali condizioni di funzionamento. In ogni caso seguirà un provvedimento disciplinare che verrà assegnato dal dirigente scolastico dell'istituto in base alla normativa vigente.
- Ogni studente deve indossare obbligatoriamente all'interno del laboratorio il camice per motivi di sicurezza. A tale norma non esistono scuse di nessun genere (temperatura elevata, camice in lavanderia, ...). In caso di dimenticanza l'allievo entrerà in Laboratorio solo dopo il consenso scritto da parte della Presidenza che se ne assumerà tutte le responsabilità.
- Ricordatevi: Sicurezza, Sicurezza, Sicurezza!! In caso di dubbi, chiedere sempre prima all'insegnante e non toccare nulla.

Collaborazione tra allievi

Siete incoraggiati a lavorare in gruppo ristretto di compagni / amici nel laboratorio. Comunque, non potete copiare le relazioni da nessuno, dovete sforzarvi a lavorare senza il contributo di nessun compagno perché le relazioni sono da redigere singolarmente per ogni allievo. Potete essere aiutati dai vostri colleghi di lavoro solo nella forma di discussione del lavoro stesso, nella

spiegazione del problema con la sua risoluzione in dettaglio, ma solo verbalmente e non in forma scritta.

Percentuale di punteggio acquisito con le esercitazioni:

Laboratorio	20%
Quiz N° 1	20%
Quiz N° 2	20%
Esame finale e/o interrogazione	30%
Relazioni eseguite dopo il Laboratorio	10%

Percentuale di punteggio acquisito con la singola relazione:

Dati calcolati e/o schemi progettati prima del Laboratorio (effettuati a casa)	15%
Dati rilevati in Laboratorio	35%
Relazione eseguita dopo il Laboratorio	50%

REGOLA IMPORTANTE

Ogni studente che non è presente ad una lezione di Laboratorio con una giustificata e motivata scusa determina una riduzione di un ¼ di punto per ogni assenza sul voto finale presente in pagella. Si noti che tale regola viene anche utilizzata nel caso di ingresso ritardato nel Laboratorio oltre i 5 minuti dal suono della campanella.

Procedura del lavoro in Laboratorio

Questo manuale del laboratorio fornisce sei esperimenti/esercizi costruiti per introdurvi al mondo dell'elettronica digitale e ai segnali elettrici tipici degli integrati digitali. È preferibile avere un approccio per quanto possibile curioso alla materia del tipo "Che cosa succede se ...".

Gli esperimenti sono stati ideati per essere eseguiti durante le due ore del laboratorio. Durante queste ore si dovrà terminare un solo esperimento, ricordandosi di registrare i dati salienti delle misure richieste. Nel caso di esercitazione più complessa si utilizzerà un numero di lezioni stabilite dall'insegnante. È importante ricordare che per ottenere il completo svolgimento dell'esercitazione occorre prepararsi tutto il materiale, schema, documentazione, data book, etc. necessario con largo anticipo rispetto alla data stabilita per il laboratorio. Occorre quindi leggere attentamente la richiesta contenuta nell'esercitazione e rispondere alle domande contenute nel foglio da consegnare il giorno di inizio esercitazione in laboratorio. Queste domande sono conteggiate con un 25% del totale complessivo sul voto finale.

In laboratorio si richiedono i seguenti punti:

1. Il vostro quaderno d'elettronica (con pagine numerate e senza possibilità di staccare o aggiungere altri fogli).
2. Una biro o penna con inchiostro di colore nero e rosso (altri colori non sono necessari).

3. Una calcolatrice con le funzioni trigonometriche / logaritmiche del tipo: \sin , \cos , \log , e^X .
4. Un computer con Windows e programma Word e Excel (presente nel laboratorio della scuola)

Ogni tecnico nel mondo del lavoro possiede delle competenze e un'esperienza che gli permette di eseguire un determinato lavoro richiesto, nel vostro caso si richiede la massima concentrazione nella stesura delle relazioni tecniche che seguiranno alle varie esercitazioni. Dunque, è molto importante per voi capire e iniziare una corretta fase di apprendistato per trattare e gestire in modo esatto le informazioni e i dati ricevuti. Se scrivete un errore e vi accorgete dello stesso, semplicemente sbarratelo e continuate in modo corretto.

Le seguenti linee guida vi permetteranno di eseguire un'ottima relazione finale dell'esperimento eseguito in laboratorio:

1. Indicare sempre le unità di misura (V, A, Hz, ...).
2. Fornire sempre l'indicazione delle etichette sugli assi cartesiani dei grafici fornendo anche le rispettive unità di misura.
3. Quando si utilizza una equazione, scriverla prima in forma analitica (Esempio.: $R_p = R_1 R_2 / (R_1 + R_2)$) e in seguito sostituire i valori nella stessa $R_p = 4700 * 4700 / (4700 + 4700) = 2350 \Omega$ che sarà utilizzato il valore commerciale più vicino di 2200Ω .
4. Disegnare lo schema in modo ordinato e definire per ogni componente la sua sigla univoca e il suo valore. Ogni valore di un nuovo componente deve essere giustificato da una formula.
5. Disegnare uno schema a blocchi dell'esperimento o dello schema elettrico indicando l'elenco completo dell'attrezzatura utilizzata (modello e marca).
6. Commentare i risultati misurati con i valori calcolati, fornendo indicazione se la differenza rientra tra i normali errori dovuti alle tolleranze degli strumenti e/o componenti.

Una nota importante: Alcune volte il risultato delle misure è corretto, ma la differenza tra i due valori misurati è estremamente piccola. (Esempio.: $2.772V - 2.771V = 1 \text{ mV}$). La differenza di lettura di 1 mV è dovuta alla risoluzione nonché limitazione degli strumenti utilizzati, si tenga presente che 1 mV è la millesima parte di 1 V).

La relazione personale completa degli allegati è stata scritta con un word processor (programma di video scrittura preferibilmente Microsoft Word) e sarà consegnata la settimana seguente appena si entra in laboratorio. La relazione non deve essere per forza lunga 10 o 20 pagine, ne bastano 4 pagine scritte al computer con un corpo 12 (altezza del carattere) mentre i titoli saranno scritti corpo 18-20. Gli eventuali grafici e schemi saranno allegati alla relazione come documenti stampati su fogli di carta A4. Si ricorda che su tutti gli allegati bisogna scrivere il proprio cognome, nome, classe e numero dell'allegato cui si fanno riferimento nella relazione.

Per favore scrivete anche le difficoltà speciali che avete incontrato nell'esercitazione ed eventualmente suggerite i miglioramenti applicabili per ottenere lo stesso risultato con un minor sforzo (saranno molto apprezzati e considerati).

Esercitazioni di Laboratorio

La procedura di laboratorio è la seguente:

1. Pre-Laboratorio: all'inizio di ogni esercitazione sarà fornita una spiegazione nel laboratorio oppure in classe. Ogni studente scrive sul proprio quaderno gli appunti che ritiene necessari.
2. Esercitazione: gli studenti lavorano con i compagni del gruppo e rilevano le misure necessarie predisponendo i collegamenti e le apparecchiature sul bancone di lavoro. Ogni studente scrive sul proprio quaderno degli appunti le misure e le note importanti da utilizzare nella stesura della relazione. Al termine dell'esercitazione l'insegnante "vista firmando" il quaderno di tutti gli allievi, quindi gli studenti rimettono a posto nei rispettivi armadi le attrezzature e/o apparecchiature utilizzate in precedenza.
3. Post-Laboratorio: la relazione sull'esercitazione è richiesta la settimana successiva alla prova pratica di misura nel laboratorio.

Per scrivere una corretta relazione, bisogna partire dal titolo dell'esercitazione effettuata, descivendo in sintesi di cosa si tratta. Successivamente, illustrare tutti i passaggi effettuati, i risultati ottenuti e le deduzioni scaturite dalla prova.

Non si accetteranno relazioni consegnate dopo il termine stabilito.

Le relazioni effettuate in gruppo, se non richiesto, o copiate, vedranno ridotto il voto del 50%.

Chi non indossa il camice in laboratorio durante l'esercitazione, vedrà decurtato il voto del 50%

Bread-board

La *bread-board* o *basetta sperimentale* rappresenta un mezzo affidabile e soprattutto molto comodo per realizzare montaggi, senza saldature, di circuiti anche complessi. In fig. S1 è mostrata una tipica breadboard. La basetta è provvista di una scanalatura mediana e di una serie di fori disposti secondo righe e colonne e distanziati del passo standard di 2,54 mm (0,1 pollice = 100 mils), tipico dei contenitori dei circuiti integrati.

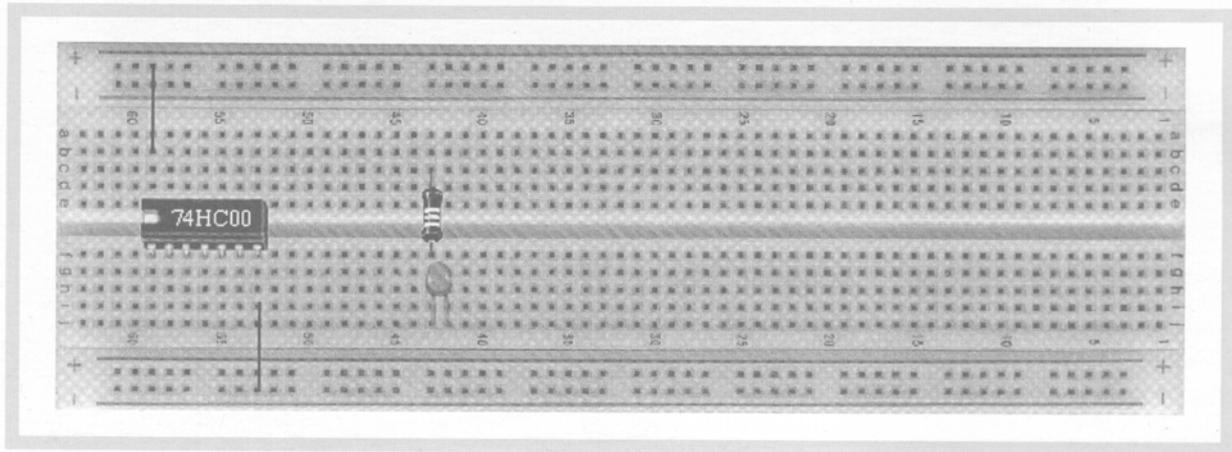


Fig. S1

I cinque fori di ogni colonna sono internamente collegati fra di loro mediante una barretta metallica a molla, ma sono isolati dai fori delle colonne adiacenti e da quelli della colonna simmetrica rispetto alla scanalatura. È così possibile inserire i circuiti integrati a cavallo della scanalatura mantenendo i terminali isolati fra di loro; per ogni terminale rimangono disponibili ben quattro fori per i collegamenti con gli altri componenti del circuito.

Lungo il lato superiore e quello inferiore della basetta corrono due file di fori, raggruppati cinque a cinque. I fori di ciascuna fila sono collegati fra di loro, ma non con i fori dell'altra. Di solito la prima fila superiore costituisce la *barra dell'alimentazione positiva*, mentre l'ultima inferiore costituisce la *barra di massa*. In alcuni tipi di bread-board le file sono interrotte a metà.

Le dimensioni dei fori sono adatte per l'inserimento dei reofori dei componenti più comuni; le molle sottostanti provvedono al fissaggio meccanico e al collegamento elettrico dei terminali. I collegamenti fra i fori vanno effettuati con filo rigido di circa 0,5 mm di diametro.

Con la bread-board è possibile realizzare circuiti anche complessi purché si rispettino alcune semplici regole:

- i componenti devono essere disposti secondo uno schema ordinato (tutti gli integrati saranno disposti nello stesso ordine) e in modo da poter essere facilmente estratti e sostituiti senza dover disfare i collegamenti del circuito;
- non si deve forzare l'inserimento nei fori di reofori o fili troppo grossi;
- i fili di collegamento devono essere tenuti aderenti alla basetta e fatti passare attorno e non sopra i componenti.

Multimetro



fig. S2), che devono essere alimentati con la tensione di rete.

I multimetri consentono di eseguire essenzialmente misure di tensione (voltmetro), di corrente (milliamperometro) e di resistenza (ohmetro). Di solito offrono anche la possibilità di misurare altre grandezze come la frequenza e la capacità e di verificare l'integrità di componenti quali diodi e transistori. Essi possono essere di tipo analogico e di tipo digitale. I primi, comunemente chiamati tester, forniscono l'indicazione della misura mediante lo spostamento di un indice su di una scala graduata. Il loro impiego si è ridotto a favore degli strumenti di tipo digitale o numerico (MMD), che forniscono la misura direttamente su un visualizzatore a LED o a cristalli liquidi. Fra i multimetri digitali si distinguono quelli portatili o palmari, alimentati a batteria e molto maneggevoli (vedi fig. S2), e quelli da banco (vedi

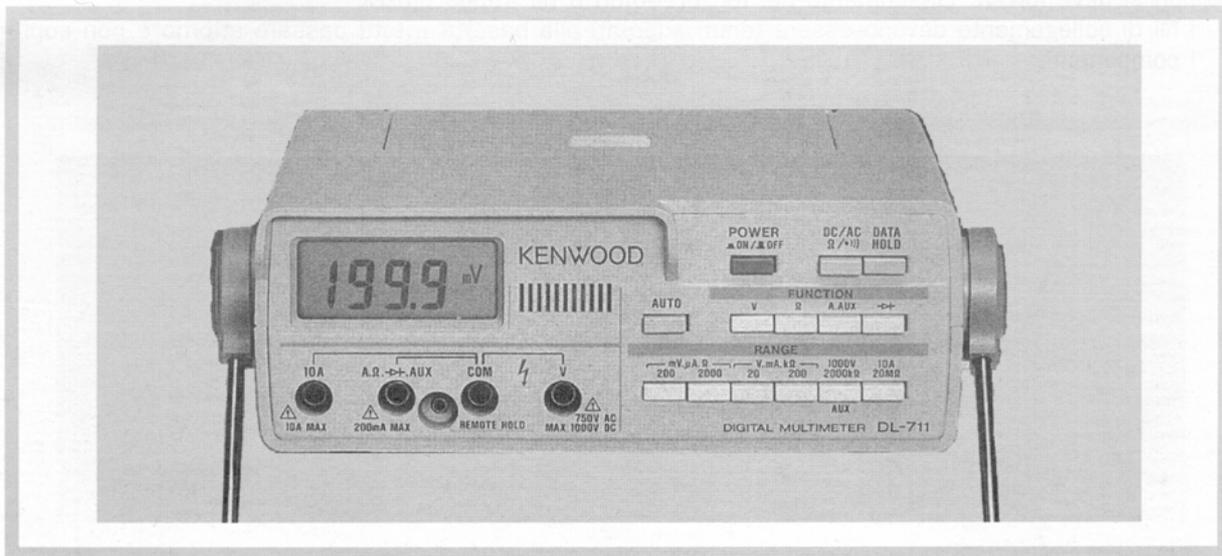


Fig. S3 Multimetro digitale da banco.

Funzioni e portata

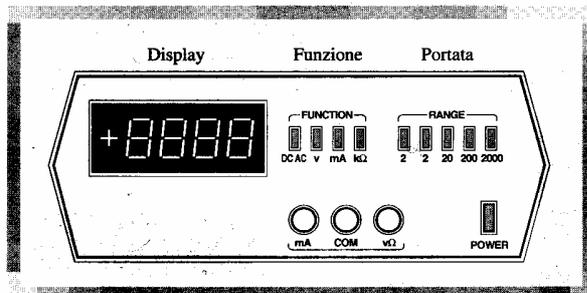


Fig. S4 Pannello frontale di un multimetro digitale.

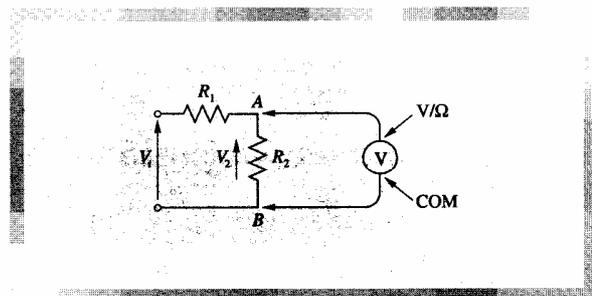


Fig. S5 Schema di misura dell'MMD come V-metro.

In fig. S4 è illustrato il pannello frontale di un MMD da banco. Si nota una serie di tasti che consentono di selezionare il funzionamento come V-metro, mA-metro, e Ω -metro e di predisporre il MMD per lavorare con segnali continui (DC) e alternati (AC). Una seconda serie di tasti consente di scegliere la portata (*range*). Anche i multimetri portatili presentano selettori a tasti o rotativi, per la scelta della funzione e della portata.

I terminali di ingresso sono costituiti da boccole previste per alloggiare le due sonde in dotazione (normalmente una rossa e una nera) necessarie per le misure. Normalmente il terminale nero sarà collegato al meno dell'alimentazione o massa (punto di riferimento con tensione più bassa dell'apparecchiatura o circuito da misurare), mentre il terminale rosso sarà collegato nei punti in cui si desidera determinare la tensione.

I terminali o boccole principali sono tre:

- il riferimento comune (COM), usato per tutte le misure, a cui generalmente si collega la sonda nera;
- il terminale V/ Ω , usato per misure di tensione e di resistenza (sonda rossa);
- il terminale mA, usato per misure di corrente (sonda rossa).

Voltmetro. Lo schema di inserzione per la misura della tensione V_{AB} fra i punti A e B di un circuito è illustrato in fig. S5. In questo tipo di funzionamento lo strumento può misurare tensioni continue o alternate, a seconda della selezione.

Esso presenta un'elevata impedenza interna in modo che il suo inserimento nel circuito non modifichi sensibilmente la distribuzione dei potenziali effettivi del circuito e che pertanto l'errore di consumo si mantenga basso. In alternata la maggior parte dei multimetri fornisce il valore efficace del segnale, anche per forme d'onda non sinusoidali (multimetri a vero valore efficace: true *RSM*). La misura però è attendibile solo se la frequenza del segnale si mantiene all'interno di una banda specificata, di solito da pochi Hz a qualche decina di kHz. Anche se meno diffusi esistono strumenti che rilevano il valore medio o il valore di picco del segnale, ma forniscono il risultato della misura in valore efficace sfruttando opportuni fattori di conversione.

Milliamperometro. Lo strumento va inserito in serie nel circuito in modo che la corrente da misurare, continua o alternata, lo attraversi, come è indicato in fig. S6

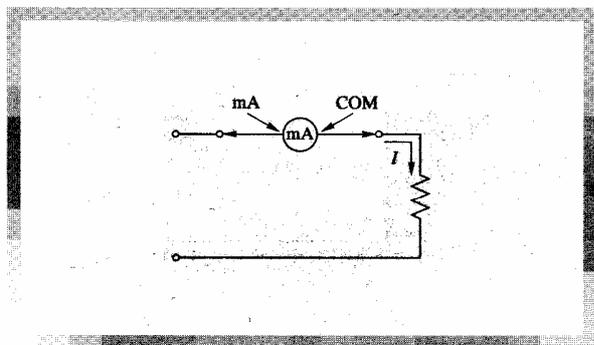


Fig. S6 Inserzione dell'MMD come mA-metro.

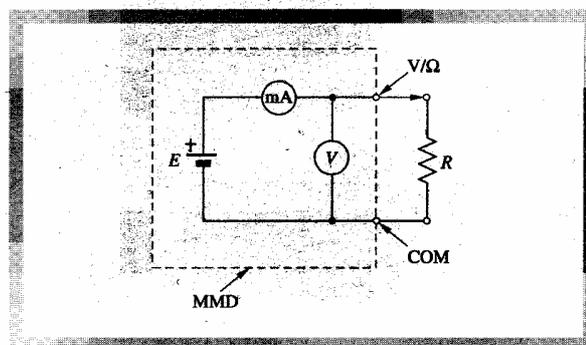


Fig. S7 Schema equivalente dell'MMD come Ω -metro.

In questo tipo di funzionamento la resistenza interna dello strumento è molto bassa e varia da qualche decimo di ohm per le portate più alte alla centinaia di ohm per le più basse.

Ohmetro. In questo modo di funzionamento le sonde devono essere collegate come indica la fig. S7. Lo strumento impone nella resistenza R incognita una corrente I (con verso dal terminale V/Ω al terminale COM nei MMD) di valore prefissato e dipendente dalla portata. Misurando la tensione ai capi della resistenza, il multimetro fornisce direttamente il valore di R .

Si ricordi che per misurare il valore di un resistore inserito in un circuito, occorre disconnetterlo dal circuito stesso almeno per un terminale, dopo aver tolto l'alimentazione.

Alimentatore stabilizzato

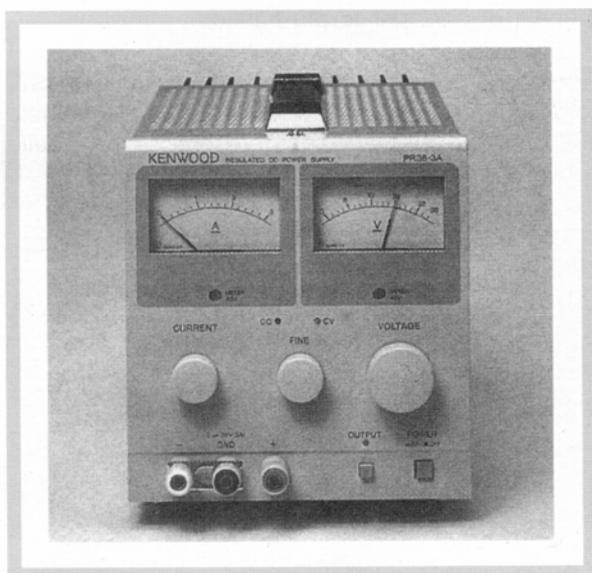


Fig. S8 Alimentatore stabilizzato da laboratorio.

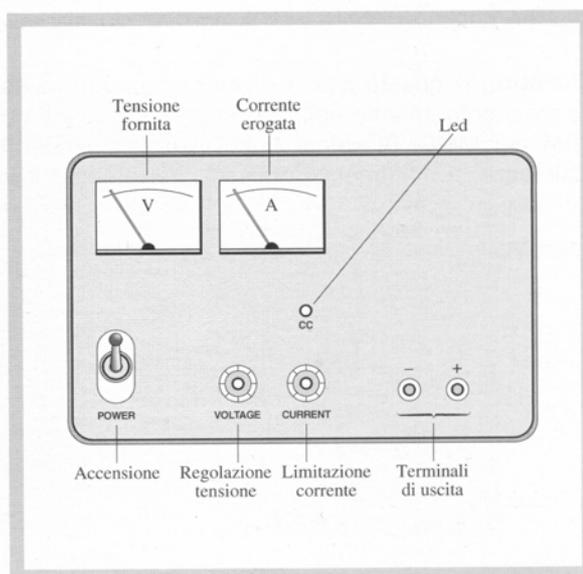


Fig. S9 Pannello frontale di un alimentatore stabilizzato.

L'alimentatore stabilizzato (vedi fig. S8) fornisce la tensione continua necessaria per l'alimentazione dei circuiti elettronici. Esso converte la tensione di rete (un segnale sinusoidale alternato di frequenza 50 Hz e valore efficace 220 V) in una tensione continua, di valore compreso tra 0 V e qualche decina di volt, costante e stabile indipendentemente dalle variazioni della tensione di rete, del carico e della temperatura, fornendo al carico stesso una corrente massima limitata a valori compresi tra qualche decina di mA e qualche ampere.



Pannello frontale

In fig. S9 è illustrato il pannello frontale di un alimentatore stabilizzato. Si notano due terminali di uscita a boccia il polo positivo (+) e quello negativo (-), isolati sia dalla rete sia dal contenitore. In genere è presente un terzo terminale (contrassegnato con il simbolo di terra o con GND come in fig. S8) collegato al contenitore e quindi, attraverso il cavo di alimentazione, alla terra dell'impianto di distribuzione. Si tenga presente che tale boccia non fornisce nessun potenziale e serve solo ai fini della sicurezza (legge 626) per garantire che le parti metalliche o contenitori di più apparecchi collegati alla linea di alimentazione siano allo stesso potenziale elettrico di zero Volt cioè collegati a terra (nessun potenziale pericoloso per la persona che li tocca o utilizza).

L'alimentatore è provvisto di due manopole. La prima (*VOLTAGE*) consente di variare la tensione presente sui terminali di uscita. La seconda (*CURRENT*) Consente di regolare il valore massimo della corrente che può essere erogata dall'alimentatore al carico. Se la richiesta di corrente supera il limite impostato, interviene un circuito limitatore interno e la tensione si abbassa automaticamente. Generalmente un LED (indicato con cc in fig. S9) si accende segnalando l'intervento della limitazione, il cui scopo è di evitare, in caso di cortocircuito o di eccesso di corrente, danneggiamenti allo strumento e al circuito alimentato.

I valori della tensione e della corrente fornite sono costantemente segnalati mediante indicatori digitali o, più spesso, analogici.

Tensioni fornite

Nella maggior parte dei casi gli alimentatori da laboratorio presentano uscite multiple; tipico è il caso di tre uscite, due delle quali forniscono ad esempio tensioni da 0 a 30 V con corrente massima 1 A e la terza una tensione da 0 a 7 V con 3 A di corrente massima. Talvolta è anche disponibile un'uscita con tensione fissa di 5 V adatta ad alimentare i circuiti TTL.

In alcuni alimentatori a più uscite è previsto il funzionamento *tracking*, grazie al quale le tensioni di una coppia di uscite assumono lo stesso valore e possono essere regolate tramite un'unica manopola, consentendo la facile realizzazione di tensioni duali utilizzate per alimentazione degli integrati operazionali (ad esempio +12V e -12V).

Collegamenti

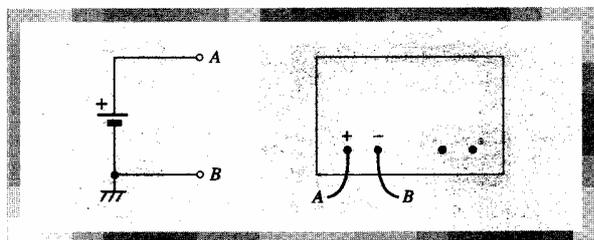


Fig. S10

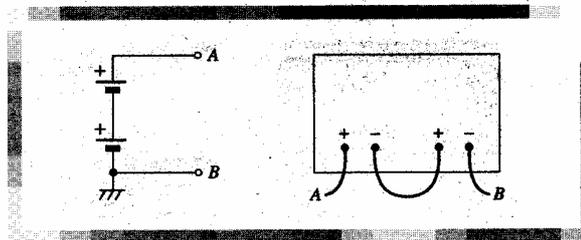


Fig. S11

Alimentazione singola. In fig. S10 sono illustrati i collegamenti da effettuare per applicare ad un dato circuito una singola alimentazione. Il terminale B, che costituisce la massa di riferimento del

circuito, viene connesso al terminale - dell'alimentatore mentre al terminale + viene collegato il morsetto A del circuito.

Collegamento serie. In alcuni casi può essere necessario collegare in serie due alimentatori, per raggiungere ad esempio tensioni più elevate. In fig. S11 è illustrato il collegamento realizzato facendo uso di un alimentatore doppio.

Alimentazione duale. Per ottenere tensioni duali (ad esempio $\pm 12V$) disponendo di due alimentazioni indipendenti, anche fornite dallo stesso alimentatore, occorre effettuare i collegamenti illustrati in fig. S12. Il morsetto C risulta essere il riferimento comune o massa per il circuito.

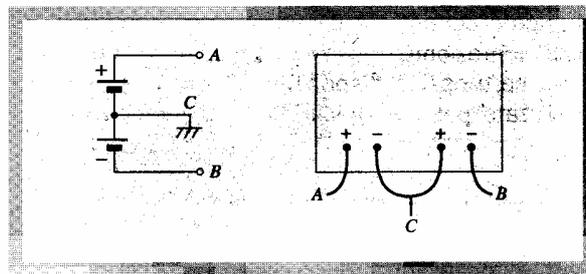


Fig. S12

Generatore di segnale

I generatori di segnale di bassa frequenza, detti anche *generatori di funzioni* (vedi fig. S13), forniscono segnali in tensione con varie forme d'onda, essenzialmente sinusoidale, quadra, triangolare, in una gamma di frequenze compresa fra frazioni di Hz e una decina di MHz.



Pannello frontale

In fig. S14 è illustrato il pannello frontale di un generatore di funzioni tipico. Il disegno pone in evidenza gli elementi principali che consentono di variare il tipo e le caratteristiche della forma d'onda desiderata.

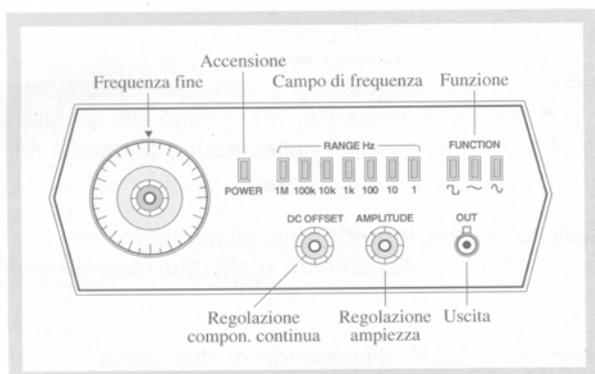


Fig. S14 Pannello frontale di un generatore di funzioni.

Funzioni. Un selettore, a tasti o rotativo, consente di selezionare la forma d'onda, come si è detto, sinusoidale, quadra o triangolare.

Frequenza. La selezione della frequenza del segnale viene effettuata per mezzo di due selettori, uno a scatti per la scelta del campo di frequenza, uno rotativo per la regolazione fine. Il valore selezionato è rilevabile direttamente sulle manopole e sui tasti di selezione. In molti

strumenti è anche presente un visualizzatore numerico posto sul pannello frontale.

Ampiezza. Anche l'ampiezza dei segnali è controllata mediante due selettori. Una manopola consente di variare con continuità l'ampiezza mentre un selettore a scatti provvede ad attenuare il segnale (attenuazione di -10 dB, -20 dB, ecc.). I valori di tensione disponibili sono in genere compresi fra qualche mV e 20 V_{pp} a vuoto.

L'impedenza d'uscita (l'equivalente della resistenza interna) è tipicamente 50Ω (oppure 600Ω).

Componente continua. I segnali forniti sono periodici alternati. È tuttavia possibile inserire una componente continua (DC OFFSET) d'entità regolabile, in modo da ottenere segnali non simmetrici rispetto allo zero di riferimento.

Uscita. Il segnale di uscita è in genere disponibile su *connettore BNC*; si noti che il conduttore esterno di questo connettore è collegato al telaio dello strumento e, attraverso questo, al filo di terra del cavo di alimentazione.

In certi casi è disponibile un'uscita supplementare che fornisce segnali con forme e ampiezze standardizzate per usi specifici, ad esempio l'onda quadra da 0 a 5 V per pilotare circuiti TTL.

Funzioni speciali

I generatori di funzione, anche di media qualità, consentono di elaborare le forme d'onda fondamentali in modo da fornire segnali particolari.

Controllo di simmetria. Permette di regolare la simmetria dei segnali generati. Così ad esempio, variando il duty cycle (rapporto tra la semionda positiva e quella negativa) dell'onda quadra si

ottiene un'onda rettangolare o impulsiva, mentre dall'onda triangolare si ricava un segnale che presenta rampe di salita e discesa con inclinazione e durata differenti.

Modulazione di ampiezza. Molti tipi di generatori forniscono segnali modulati in ampiezza con profondità di modulazione regolabile.

Sweep e modulazione di frequenza. Alcuni strumenti forniscono forme d'onda con frequenza variabile, in una gamma di qualche decade, in modo automatico e lineare.

Trigger Gate, Burst. In questi modi di funzionamento l'oscillazione non è continua ma avviene solamente su comando.

Nel modo *trigger* si ottiene un solo periodo dell'onda in sincronismo con un segnale di comando.

Nel modo *burst* è possibile selezionare il numero di periodi. Così vengono generati, ad intervalli regolari, «pacchetti» di una determinata forma d'onda.

Nel funzionamento *gate* infine viene generato un segnale che ha inizio con il fronte di salita del segnale di comando, detto appunto *gate*, e termina con il suo fronte di discesa.

Oscilloscopio

L'oscilloscopio consente di visualizzare sullo schermo di un tubo a raggi catodici (CRT: *Cathode-Ray Tube*) la forma d'onda di un segnale in tensione prelevato mediante una sonda (*probe*). In questa scheda si farà preciso riferimento all'oscilloscopio classico, ossia a quello *analogico* (vedi fig. S15), strumento validissimo e utilizzato in un'infinità di occasioni, che presenta tuttavia un limite: è in grado di visualizzare solamente segnali continui o periodici. Per visualizzare i segnali non periodici, ad esempio i transitori, occorre prima renderli ripetitivi, il che non è sempre possibile. Per questo motivo si vanno diffondendo oscilloscopi di tipo *digitale* dotati di memoria (*digital storage oscilloscope*), in grado di catturare, memorizzare e restituire immagini di forme d'onda anche non periodiche.

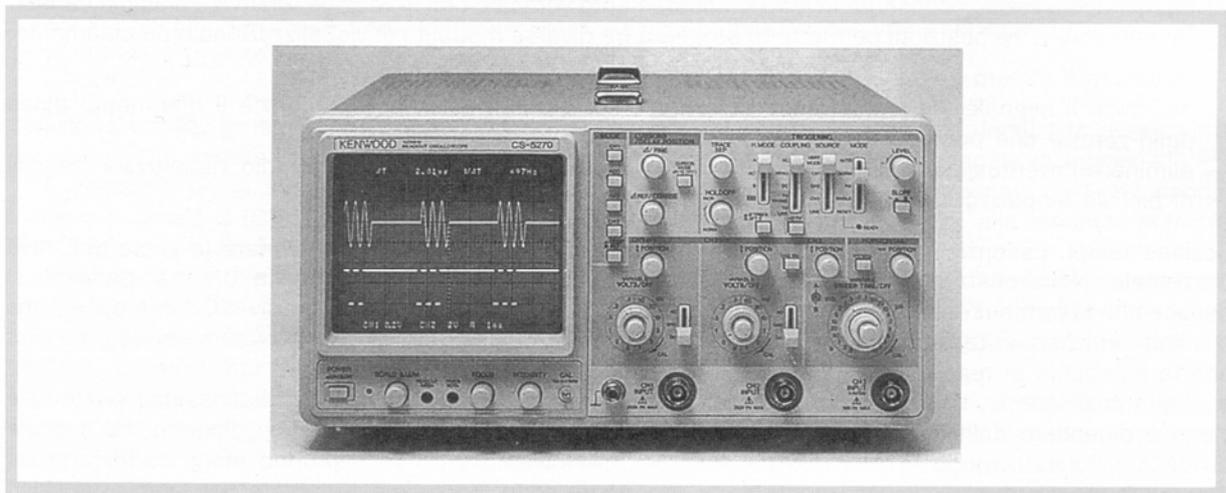


Fig. S15 Oscilloscopio.

Pannello frontale

In fig. S16 è riportato il disegno del pannello frontale di un oscilloscopio tipico, in cui sono posti in evidenza i comandi e le regolazioni principali.

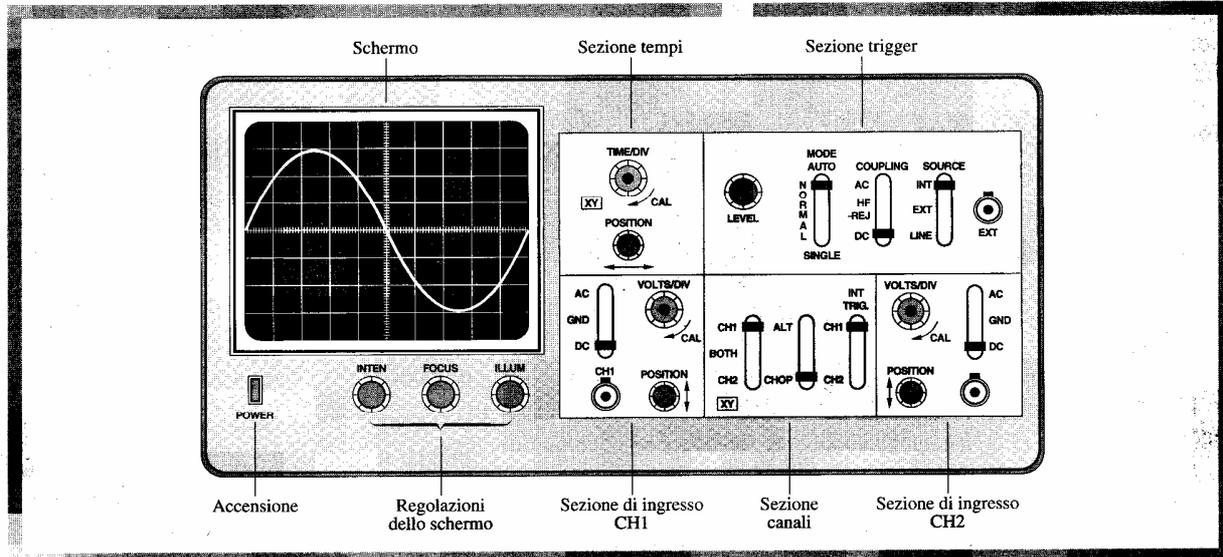


Fig. S16 Pannello frontale di un oscilloscopio.

Schermo. Si deve considerare lo schermo come un piano cartesiano in cui l'asse orizzontale è l'asse dei tempi e quello verticale l'asse delle tensioni. Esso è suddiviso da un reticolo di linee orizzontali e verticali, dette *divisioni*. I due assi centrali portano ulteriori tacche per facilitare la lettura. Sotto lo schermo sono poste le manopole per la regolazione dell'intensità luminosa (INTEN), per la messa a fuoco della traccia (FOCUS) e per l'illuminazione dello schermo (ILLUM).

Sezione di ingresso. In un oscilloscopio a *doppia traccia* (o a due canali: *channel*) che costituisce il tipo più comune, questa sezione è costituita da due parti analoghe, CH1 e CH2, relative ai due segnali che possono essere visualizzati contemporaneamente. Gli ingressi del tipo a connettore BNC, presentano resistenza elevata, solitamente 1 MΩ. La manopola VOLTS/DIV consente di ingrandire o ridurre l'immagine sullo schermo: nel disegno, ad esempio, la forma d'onda presenta un'ampiezza picco-picco di 6 divisioni; se la manopola è impostata su 2 V/div, significa che il segnale ha un'ampiezza picco-picco di $2 \times 6 = 12$ V.

Una manopola coassiale con la precedente consente la regolazione fine: per una lettura corretta dell'ampiezza occorre che questa si trovi nella posizione di *calibratura* (CAL).

La manopola POSITION consente invece lo spostamento verticale dell'immagine relativa a ciascun canale.

Un selettore a tre posizioni permette di scegliere fra diversi modi di visualizzazione e precisamente:

- (**DC**) visualizzare l'intero segnale compresa l'eventuale tensione continua presente
- (**GND**) visualizzare il segnale di massa mostrando solo la traccia orizzontale che costituisce il riferimento (linea dello zero) e che può essere spostata a piacere con la manopola POSITION;

- (**AC**) per visualizzare segnali di piccola ampiezza sovrapposti a tensioni continue elevate, in pratica elimina l'eventuale componente continua.

Sezione tempi. Essenzialmente è costituita da una manopola che consente di variare la scala dell'asse orizzontale. Nella posizione 0,1 ms/div, ad esempio, una divisione corrisponde a 0,1 ms; pertanto si deduce che la forma d'onda del disegno di fig. S16 presenta un periodo pari a $10 \text{ div} \times 0,1 \text{ ms/div} = 1 \text{ rns}$ e quindi una frequenza di 1 kHz. Anche per la scala dei tempi per ottenere una misura corretta occorre che la manopola di regolazione fine sia in posizione CAL.

Nella posizione XY, il segnale base dei tempi viene escluso; in questo caso la deflessione orizzontale viene a dipendere dalla tensione applicata al canale CH1 mentre quella verticale dipende dal segnale su CH2. In questo modo lo schermo dell'oscilloscopio diventa un vero e proprio piano cartesiano sul quale il fascio elettronico disegna punti le cui coordinate sono proporzionali, istante per istante, ai valori dei due segnali di ingresso.

Sezione di trigger. La funzione del trigger è fondamentale per la corretta visualizzazione dei segnali. Nel CTR, infatti il fascio di elettroni che produce il punto luminoso risulta contemporaneamente soggetto ad una deflessione orizzontale e ad una verticale. La deflessione orizzontale trasla il fascio elettronico periodicamente e linearmente dal lato sinistro dello schermo a quello destro. La deflessione verticale, prodotta dal segnale da visualizzare, fa compiere al fascio una traslazione verticale proporzionale al segnale stesso. La composizione dei due movimenti fa sì che il fascio elettronico disegni sullo schermo una traccia, che riproduce il segnale da visualizzare e persiste per un breve tempo.

Come si è detto, la deflessione orizzontale è periodica: quando il punto luminoso è arrivato all'estremità destra dello schermo, il fascio elettronico viene interrotto e riportato rapidamente al lato di partenza, dove rimane in attesa di iniziare una nuova deflessione. Ciascuna di queste deflessioni prende il nome di esplorazione o spazzolata (*sweep*) ed è attivata da un segnale di comando detto appunto segnale di trigger. Per avere una corretta visualizzazione, occorre che la traccia prodotta sullo schermo si sovrapponga esattamente alla traccia generata nella spazzolata precedente. In altri termini, occorre che il segnale di trigger intervenga quando il segnale di ingresso è giunto esattamente allo stesso livello in corrispondenza del quale era partita la spazzolata precedente. Se infatti le esplorazioni iniziano in corrispondenza di livelli del segnale di ingresso differenti, sullo schermo appaiono tante tracce che danno l'impressione di scorrere in modo confuso; comunemente si dice che l'immagine «scappa perché non è triggerata». I principali comandi di questa sezione sono i seguenti.

- Il selettore **SOURCE**, che seleziona il segnale di trigger. Nella posizione INT la più usata, funge da trigger il segnale presente su uno dei due canali, CH1 o CH2 la scelta del canale è determinata dal selettore INT TRIG compreso nella sezione Selezione Canali. Nelle posizioni EXT e LINE invece il segnale di trigger è rispettivamente quello applicato all'apposito ingresso EXT oppure un segnale derivato dalla tensione di rete.

- La manopola **LEVEL** stabilisce il livello del segnale di trigger in corrispondenza del quale deve iniziare la spazzolata. Se il livello impostato supera l'ampiezza del segnale di trigger, la spazzolata parte automaticamente senza rispettare alcun sincronismo con il segnale e l'immagine scorre in modo confuso sullo schermo.
- La regolazione **HOLD OFF**, non indicata nel disegno di fig. S16, consente di variare l'intervallo fra una spazzolata e la successiva; essa è usata per stabilizzare l'immagine di segnali particolari quali ad esempio alcuni segnali digitali.
- Il selettore **COUPLING** consente di effettuare alcune elaborazioni sul segnale di trigger. Nella posizione AC il segnale di trigger viene privato della sua componente continua; nella posizione HF-REJ viene ripulito dalle componenti ad alta frequenza; nella posizione DC infine viene lasciato inalterato.
- Il selettore **MODE** determina il modo con cui è attivata la spazzolata. In AUTO (automatico) questa si muove anche in assenza del segnale di ingresso; in questo caso sullo schermo appare una traccia orizzontale. Nella posizione NORMAL, invece, in assenza del segnale di ingresso non si ha alcuna visualizzazione. Il funzionamento SINGLE infine predispone per una sola spazzolata alla volta, comandata tramite un pulsante.

Selezione canali. In fig. S16 si notano, fra le due sezioni di ingresso, alcuni comandi per la selezione dei canali. Del selettore INT TRIG si è già detto in precedenza a proposito del segnale di trigger.

Il selettore più a sinistra consente di visualizzare il segnale presente sul canale 1 (CH1) oppure quello sul canale 2 (CH2) oppure entrambi (BOTH). Un'ultima posizione si riferisce alla modalità di visualizzazione XY, già descritta a proposito della Sezione tempi.

Il selettore centrale, se portato nella posizione **ALT** (*alternate*), fa sì che i due segnali vengano visualizzati alternativamente, uno per spazzolata. Nel modo **CHOP** (*chopper*) i due segnali sono visualizzati praticamente in contemporanea; più esattamente per un breve intervallo di tempo viene visualizzato un tratto del primo segnale, poi un tratto del secondo, e così via fino alla fine della spazzolata.

La commutazione da un segnale all'altro avviene con frequenza dell'ordine dei centinaia di kHz e la forma d'onda, benché a tratti, appare continua grazie alla persistenza dell'immagine. In linea di massima sotto i 500 Hz occorre lavorare in modo CHOP, Sopra i 30 kHz è necessario scegliere il modo ALT, per le frequenze, intermedie i due modi operativi sono sostanzialmente equivalenti per quanto riguarda la bontà dell'immagine.

Sonda

I segnali da visualizzare, specie se di bassa frequenza, possono essere applicati mediante normali cavetti usando un adattatore BNC. però di solito preferibile utilizzare un'apposita sonda (*probe*). Essa è costituita da un primo terminale, il puntale, sovente provvisto di un gancio per facilitare l'inserimento nel circuito, e da un secondo terminale, munito di pinza a coccodrillo, da collegare alla massa del circuito sotto esame. I terminali si collegano tramite cavo coassiale al connettore di ingresso dell'oscilloscopio. Si vengono così a formare le connessioni illustrate in fig. S17; la pinza

risulta collegata al telaio dello strumento e da questo, tramite il cavo di alimentazione, alla terra dell'impianto.

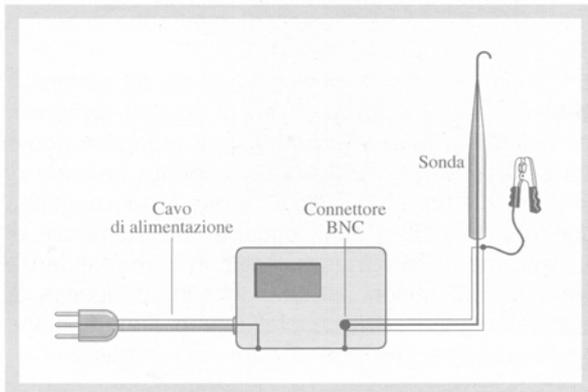


Fig. S17 Connessione tra la pinza di massa della sonda ed il filo di terra.

Normalmente la sonda è provvista di un selettore a due posizioni; nella prima (x 1) lascia inalterato il segnale, nella seconda (x 10) lo attenua di dieci volte e contemporaneamente eleva l'impedenza di ingresso del canale a 10 M Ω .

ESEMPIO

Considerando la forma d'onda illustrata in fig. S18, si può valutare l'ampiezza e il periodo delle due forme d'onda e lo sfasamento relativo.

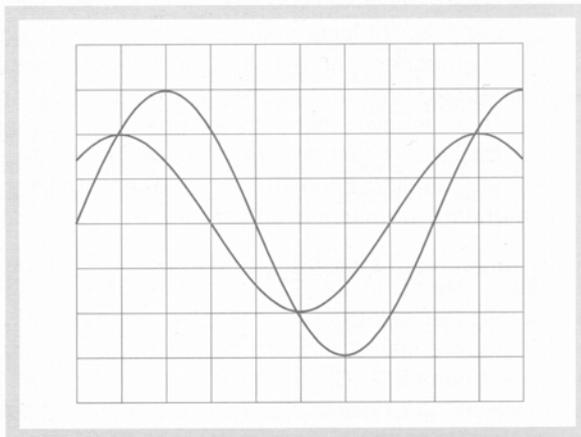


Fig. S18 Due segnali all'oscilloscopio.

Si supponga che i selettori VOLTS/DIV di entrambi i canali siano regolati a 5 V/div, che sia stato scelto il modo DC e che il selettore TIME/DIV sia impostato a 0,1 ms/div. Inoltre i livelli di riferimento di entrambi i canali siano coincidenti e posti al centro dello schermo. Infine che come segnale di trigger sia stato scelto il canale CH1 a cui è applicato il segnale maggiore.

- L'ampiezza picco-picco dei segnale maggiore è pari a 6 div x 5 V/div = 30 V e il segnale varia fra - 15 V e + 15 V. Viceversa l'ampiezza picco-picco del secondo segnale risulta pari a 20 V.

- Il periodo dei due segnali, calcolato considerando i punti di intersezione della traccia con il livello di riferimento, risulta pari a 8 div x 0,1 ms/div = 800 μ s La frequenza risulta pari a 1,25 KHz.

- I due segnali sono sfasati di 100 μ s e quindi di $360 \cdot 100 \mu\text{s} / 800 \mu\text{s} = 45^\circ$; precisamente il segnale più ampio è in ritardo di 45°.