

Appunti di Misure Elettriche

Appendice 5 - Generatori di segnali

Introduzione	1
Modello circuitale	2
Uscita floating o grounded.....	2
Problemi costruttivi	3
<i>Stabilità in frequenza</i>	3
<i>Accuratezza in ampiezza</i>	4
<i>Distorsione</i>	4
<i>Risposte spurie</i>	4
<i>Modulazione residua (rumore di fase)</i>	5
Generatori di forme d'onda sinusoidali.....	5
Generatore di funzioni	6
Generatori di impulsi	6
Generatori di segnali	7
Generatori Sweep	8
Generatore arbitrario di forme d'onda	9
Sintetizzatori	10
Domande	11
ALIMENTATORI	12
Introduzione	12
Specifiche costruttive	12
Modello circuitale	13

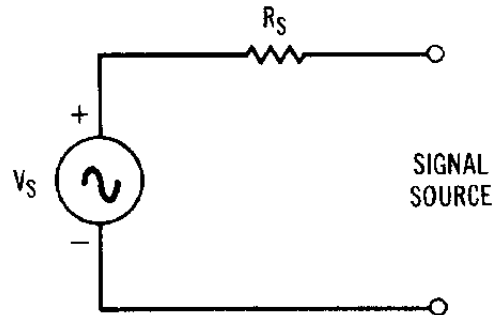
INTRODUZIONE

Useremo questo termine per indicare uno strumento che fornisce un segnale noto, di solito una forma d'onda in tensione, che dovrà essere in qualche modo misurato.

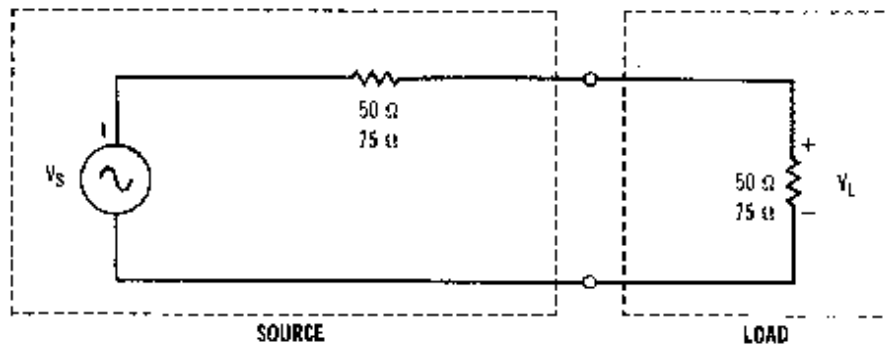
E' possibile ottenere sinusoidi monofrequenziali ma anche onde triangolari, quadre, impulsi a qualsiasi frequenza, rampe (*sweep*) e sarà anche possibile una modulazione del segnale.

MODELLO CIRCUITALE

Schematicamente, è possibile rappresentare un generatore di segnale tramite il semplice circuito seguente:



dove V_s è la **tensione a circuito aperto** e R_s la **resistenza di ingresso**. Quest'ultima ha valori tipici di **50 Ω** , **75 Ω** o **600 Ω** , a seconda del carico cui è connessa (in modo da garantire il massimo trasferimento di potenza al carico stesso):

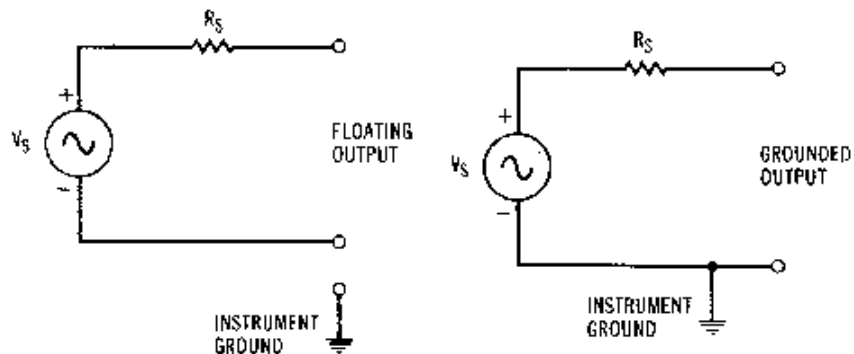


Molte specifiche assumono infatti che lo strumento sia connesso ad un'impedenza pari a questi ultimi valori.

USCITA FLOATING O GROUNDED

In base al modello circuitale proposto poco fa, notiamo la presenza di due terminali di uscita:

- parliamo di **floating output** (*uscita fluttuante*) quando nessuno dei due terminali di uscita è connesso al telaio dello strumento (che è posto al potenziale di terra);
- parliamo invece di **grounded output** (*uscita aterrata*) quando uno dei due terminali (quello di riferimento di massa) è a terra.



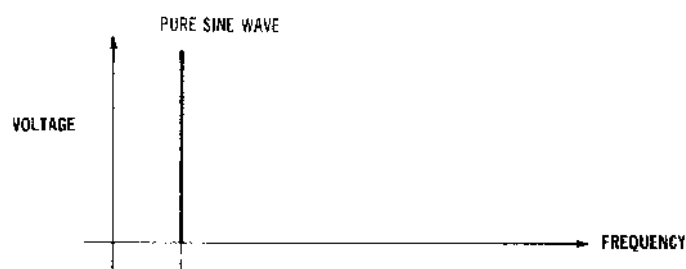
Le uscite floating sono più versatili ma anche più difficili da progettare e riparare, specialmente ad alte frequenze.

Molti strumenti possiedono comunque ambedue le caratteristiche, ma bisogna porre attenzione, in fase di misura, ai punti del circuito a cui occorre fornire la forma d'onda in tensione.

PROBLEMI COSTRUTTIVI

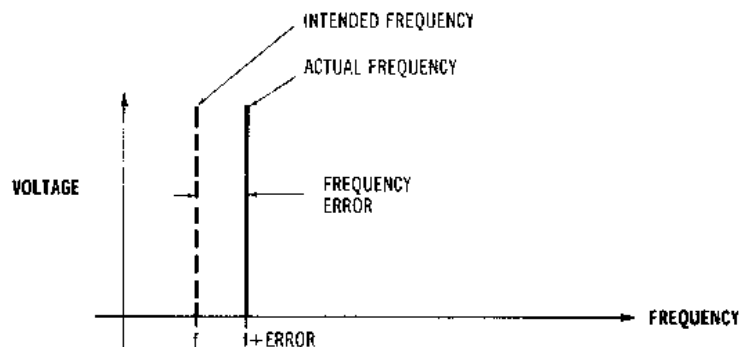
In generale, saranno sempre presenti alcune imperfezioni, di rilevanza più o meno grande a seconda del pregio dello strumento.

Per capire di cosa parliamo, mettiamoci nel dominio della frequenza cominciamo col ricordare che lo spettro di un segnale puramente sinusoidale (**pure sine wave**) è costituito semplicemente da una riga in corrispondenza della frequenza del suddetto segnale:



Stabilità in frequenza

Il primo problema che si può presentare è l'**errore di accuratezza in frequenza** (instabilità), in base al quale la frequenza del segnale realmente generato è diversa da quella nominale desiderata:



Un'instabilità in frequenza porta ad una modulazione indesiderata. Variazioni in frequenza minori di 1 Hz possono essere classificate come instabilità mentre quelle superiori come **modulazione di frequenza residua** e possono essere specificate entrambe in ppm.

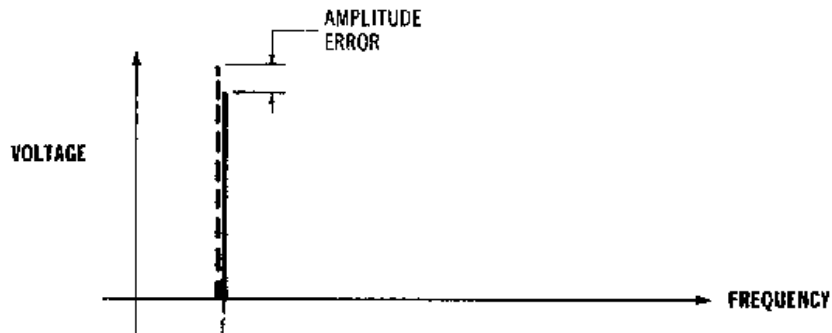
Occorre un **warm-up time** prima di utilizzare strumenti sofisticati.

Un generatore di forme d'onda può avere una buona stabilità ma scarsa accuratezza mentre in generale non è vero il viceversa.

E' possibile tarare la frequenza di questi strumenti con un **contatore di pregio**.

Accuratezza in ampiezza

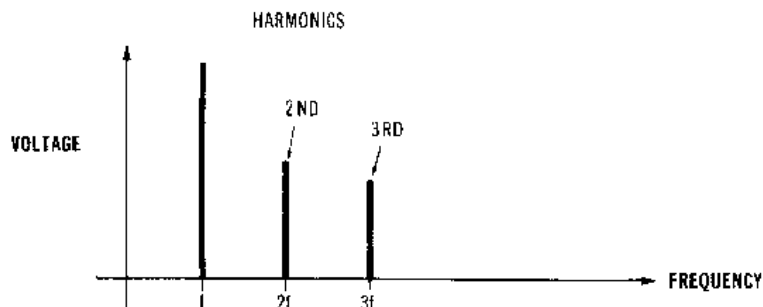
Pur ottenendo un segnale alla frequenza desiderata, è possibile che la sua ampiezza non sia quella nominale, ovvero ci sia un **errore di accuratezza in ampiezza**:



Nelle specifiche è indicata la **accuracy flatness**, intendendo con questo termine come varia l'ampiezza della forma d'onda in uscita al variare della sua frequenza.

Distorsione

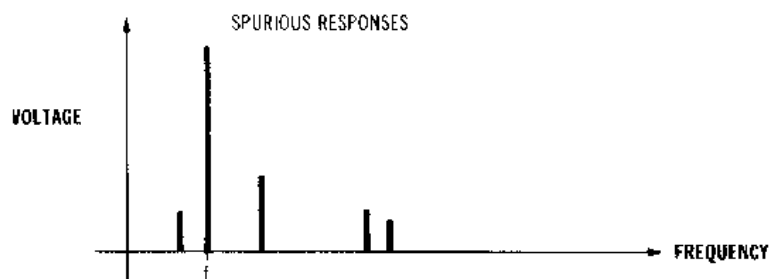
Pur avendo zero errori in frequenza e in ampiezza, una forma d'onda può essere distorta e il risultato è la generazione di un certo numero di armoniche spurie indesiderate multiple della fondamentale:



Si esprime in THD (%), cioè in distorsione armonica totale.

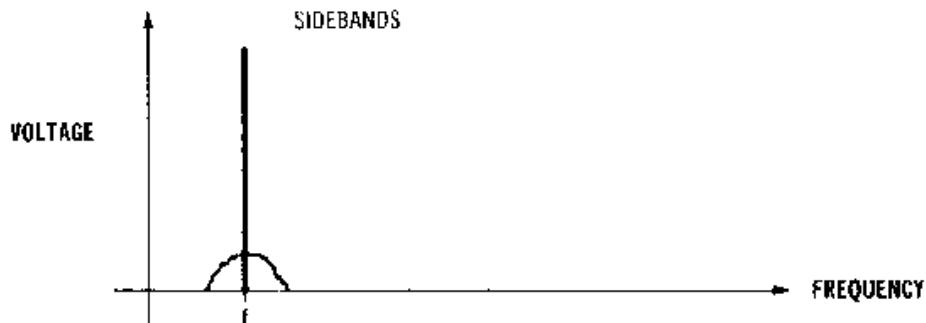
Risposte spurie

Spesso, le risposte spurie sono il risultato della particolare tecnica che lo strumento adotta per generare i segnali oppure possono anche essere dovute alla rete di alimentazione:



Modulazione residua (rumore di fase)

Queste bande laterali appaiono in prossimità della fondamentale:



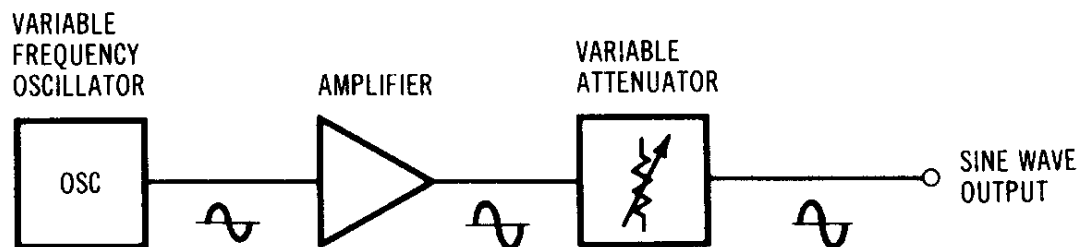
Si esprimono come modulazioni AM o FM residue.

GENERATORI DI FORME D'ONDA SINUSOIDALI

Sono strumenti abbastanza economici, che generano esclusivamente forme d'onda sinusoidali con frequenze variabili da alcuni Hz a circa 1 MHz.

Per ottenere valori di distorsione piuttosto bassi, è necessario operare frequenti test in audiofrequenza (che presuppongono una resistenza di ingresso $R_s=600\ \Omega$).

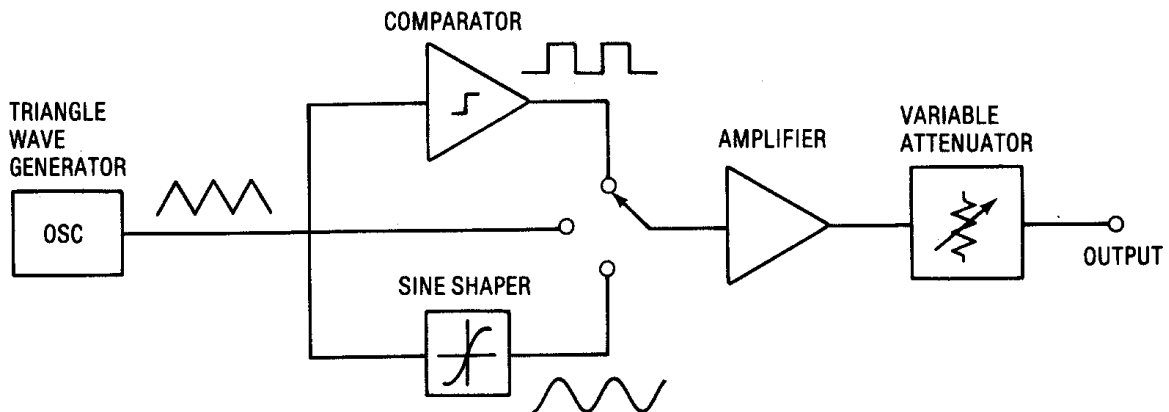
In figura seguente è riportato uno schema a blocchi semplificato.



L'oscillatore a frequenza variabile genera una sinusoide alla frequenza desiderata; tramite un sistema di amplificatori e attenuatori, viene regolata l'ampiezza della sinusoide fornita in uscita.

GENERATORE DI FUNZIONI

Questi dispositivi sostituiscono, allo stato attuale, i generatori di sinusoidi perché più flessibili e altrettanto accurati. Uno schema a blocchi semplificato è mostrato in figura seguente:



L'oscillatore genera inizialmente un'onda triangolare; questa può essere portata direttamente in uscita oppure, attraversando alcuni blocchi, può essere trasformata in un'onda quadra (tramite un classico comparatore) o in una forma d'onda sinusoidale. L'uscita come onda quadra può essere impiegata come clock in circuiti digitali. L'uscita come onda triangolare può invece essere sfruttata come generatore di rampa.

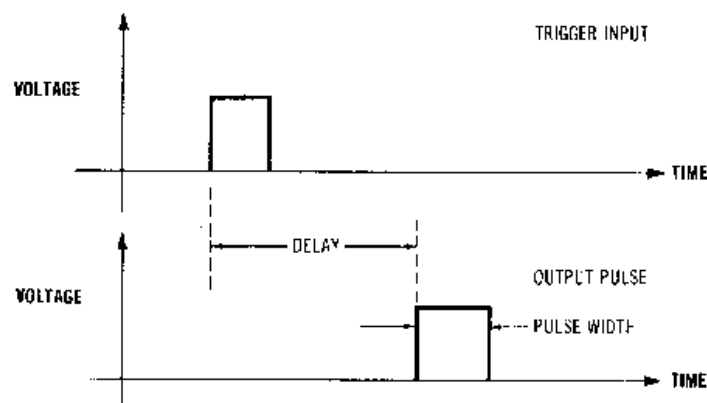
In genere, esiste un comando di **DC offset** che permette di aggiungere un livello di continua all'uscita del dispositivo.

GENERATORI DI IMPULSI

Questi strumenti sono progettati specificatamente per ottenere onde quadre e treni di impulsi di alta qualità. Sono generatori di forme d'onda che operano in un range di frequenza da 1 Hz a 1 GHz, ma sopra i 50 MHz devono essere appositamente progettati affinché l'impulso sia sufficientemente pulito (privo di armoniche spurie).

Dal pannello frontale si può impostare ampiezza, periodo e duty cycle dell'impulso oltre alla possibilità di avere impulsi positivi negativi o simmetrici.

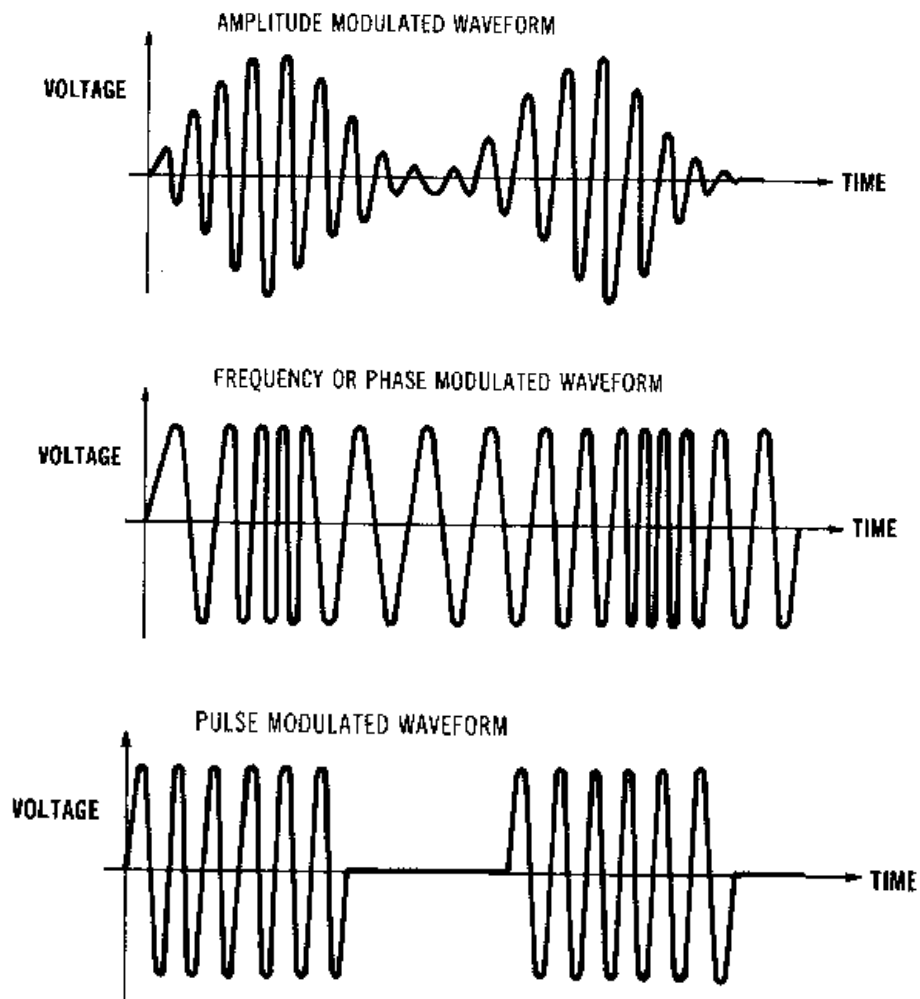
Alcuni strumenti hanno un **circuito di trigger** che permette l'invio di più impulsi ritardati a piacere, come indicato nella figura seguente:



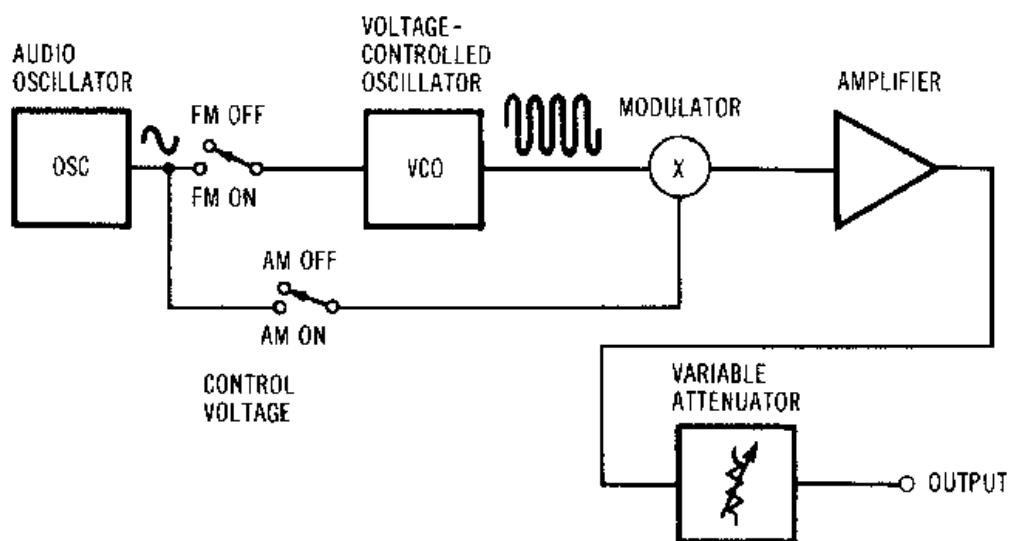
Questa caratteristica può servire in circuiti logici sequenziali. Sono possibili anche **burst** di impulsi in numero e durata impostabili da pannello frontale, utili per il test di microprocessori e linee di controllo.

GENERATORI DI SEGNALI

Questi strumenti possono essere usati nei test a radiofrequenza e possono generare segnali modulati in AM, FM e talvolta anche in fase e in impulso:



Uno schema a blocchi semplificato di un generatore di segnali è il seguente:



Un **oscillatore audio** interno allo strumento genera la forma d'onda che verrà modulata.

Il cuore dello strumento è un VCO (**Voltage Controlled Oscillator**) la cui frequenza è determinata da un valore di tensione variabile presente in ingresso. Al crescere (decrescere) di questo valore cresce (decresce) la frequenza del VCO.

In FM, il segnale audio è modulato in frequenza dal VCO, mentre in AM un circuito modulatore varia l'ampiezza del VCO senza modificare la sua frequenza.

Si comprende come l'accuratezza e la stabilità in frequenza di questi strumenti siano delle caratteristiche produttive molto importanti.

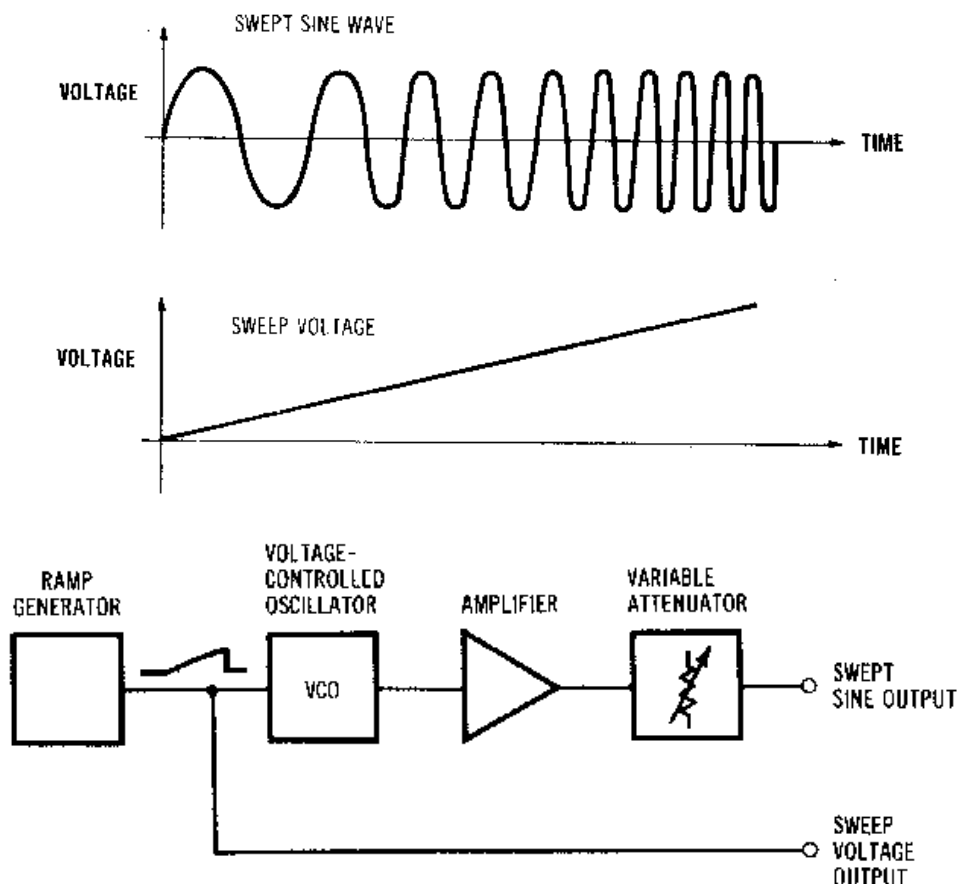
GENERATORI SWEEP

Sono essenzialmente generatori di forme d'onda sinusoidali, con la caratteristica di poter variare la loro frequenza in modo controllato.

Spesso questo strumento è costruito all'interno di generatori di funzioni particolarmente pregiati che sono anche in grado di generare impulsi e di modulare in AM e FM.

In genere si assiste ad una spazzolata in frequenza generata in modo lineare ma è possibile anche una variazione logaritmica.

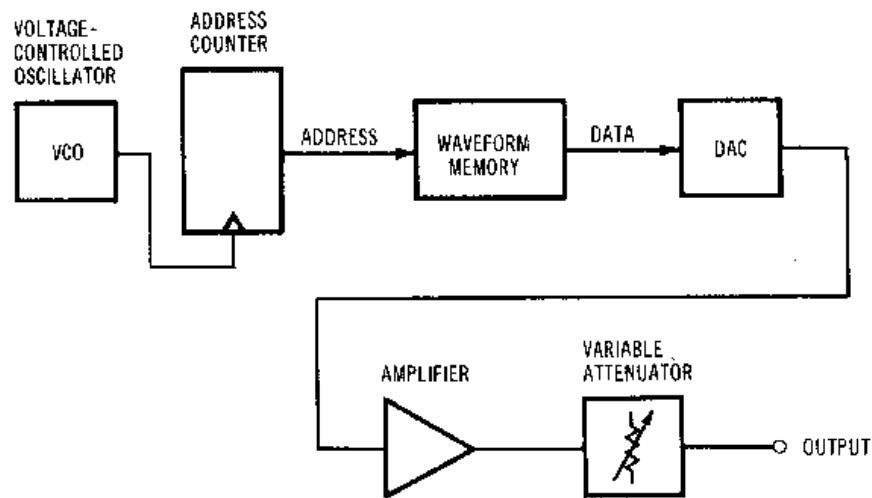
L'uscita di questi strumenti e lo schema a blocchi semplificato sono mostrati in figura seguente:



Questa uscita può essere usata per pilotare altri strumenti (ad esempio l'asse dei tempi di un oscilloscopio analogico).

GENERATORE ARBITRARIO DI FORME D'ONDA

Negli ultimi anni sono nati alcuni generatori di segnali con la peculiarità di generare forme d'onda arbitrarie. In figura seguente è mostrato il semplificato schema a blocchi:



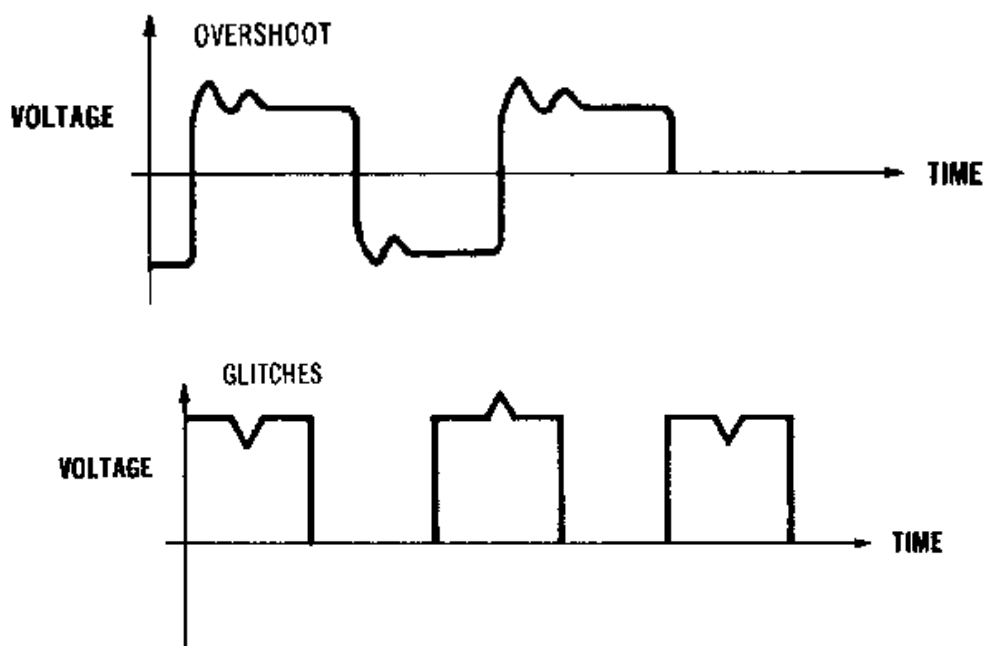
I dati che rappresentano la forma d'onda digitalizzata sono memorizzati nel blocco denominato *waveform memory*.

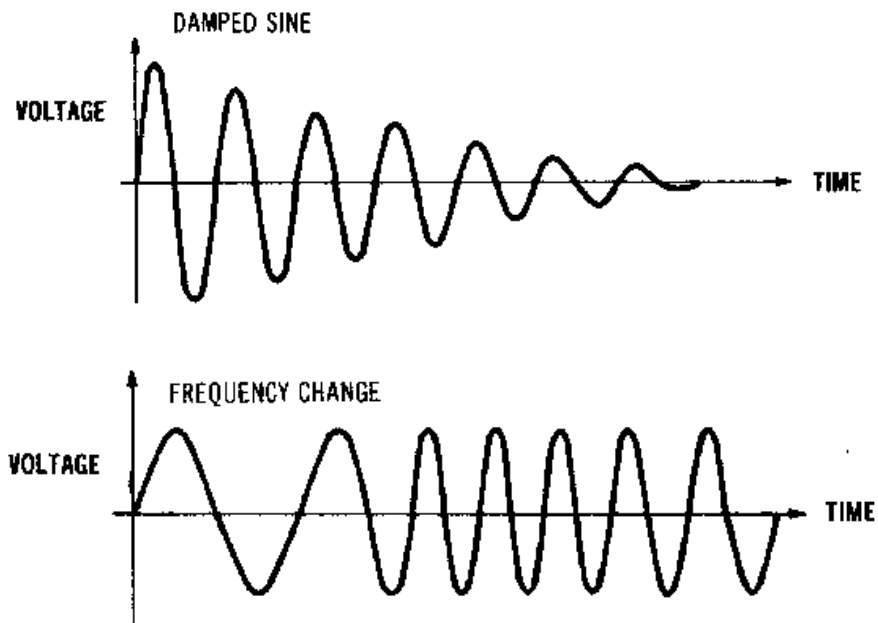
Il contatore degli indirizzi in memoria (**address counter**), pilotato dal VCO, permette una presentazione dei dati al DAC in modo da comporre una forma d'onda con periodo variabile.

Più è alta la frequenza del VCO e maggiore sarà la velocità di indirizzamento dei dati al DAC, con conseguente aumento della forme d'onda analogica in uscita allo strumento.

Il pregio di questo dispositivo consiste nella simulazione di segnali complessi altrimenti non realizzabili.

In figura seguente sono mostrate alcune potenzialità:



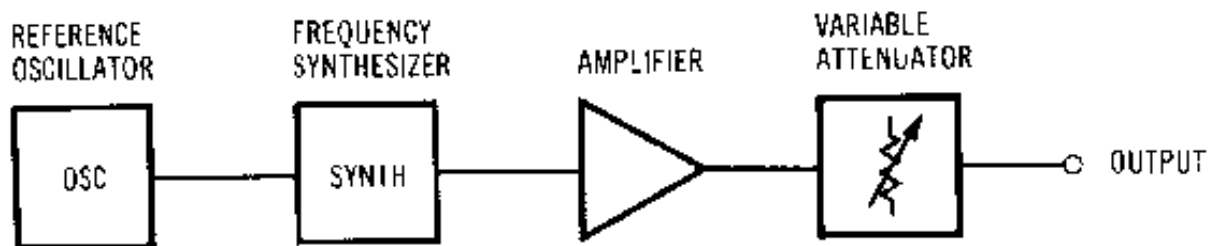


Imperfezioni in qualsiasi tipo di segnale possono essere simulate per osservare il comportamento di un circuito a fronte di questi problemi

Spesso questo strumento fa parte di un ATE controllato e interfacciato da calcolatore.

SINTETIZZATORI

Un qualsiasi generatore di segnali è composto da uno o più oscillatori a frequenza regolabile mediante la variazione del valore di un loro componente quale una R o un C o un L. Un **sintetizzatore** invece è composto da alcuni oscillatori controllati al quarzo che operano ad una prefissata frequenza, che in genere è accurata (ppm per mese o anno) e soprattutto stabile.



L'oscillatore di riferimento, generalmente un quarzo, produce una sinusoide a frequenza fissa (1, 5, 10 MHz) che è adottata dal sintetizzatore per generare segnali a frequenza variabile ma molto stabile.

Recentemente, con questi strumenti è stato possibile generare molti tipi di forme d'onda con un'accuratezza in frequenza e stabilità migliorate di anno in anno.

Nella tabella seguente sono riassunte le principali caratteristiche dei generatori di segnali:

TABLE 3-1 TABLE OF SIGNAL GENERATOR CHARACTERISTICS. THIS TABLE REFLECTS THE SPECIFICATIONS OF A TYPICAL INSTRUMENT IN EACH CATEGORY. ACTUAL SPECIFICATIONS AND CAPABILITY WILL VARY FROM INSTRUMENT TO INSTRUMENT.

Generator	Freq. Range	Freq. Accuracy	Harmonic Distortion	Sweep	Modulation	Sine	Square/Pulse
Sine wave	1 Hz–1 MHz	5%	0.1%	No	No	Yes	No
Function generator	1 Hz–10 MHz	5%	1%	Some models	Some models	Yes	Yes
Pulse generator	1 Hz–1 GHz	5%	Not applicable	No	No	No	Yes
Signal generators	100 kHz–1 GHz	0.005%	2%	No	Yes	Yes	No
Sweep generators	10 Hz–30 MHz	5%	1%	Yes	No	Yes	Some models

DOMANDE

Che strumento adottare per generare questi tipi di segnali?

1. *Clock digitale di frequenza 1 MHz*

Qualsiasi strumento capace di generare un'onda quadra con offset in continua disponibile: un generatore di funzioni o di impulsi fa al caso nostro.

2. *Una forma d'onda sinusoidale a freq. 2 kHz, per test audio*

Vanno tutti bene tranne il generatore di impulsi e i generatori di segnali che non possono scendere molto in frequenza.

3. *Un'onda sinusoidale, freq. 29.6 MHz, modulata in frequenza per test su un radioricevitore*

Sebbene è possibile ottenere la modulazione anche da altri strumenti, solo il generatore di segnali può salire così in alto in frequenza.

ALIMENTATORI

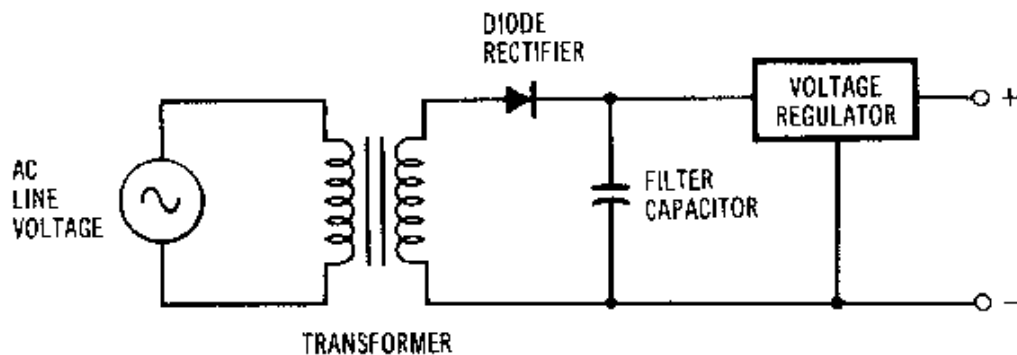
INTRODUZIONE

Gli **alimentatori** non misurano parametri circuitali come V e I , ma forniscono tensioni e correnti DC al circuito.

Per applicazioni portatili una buona soluzione è una batteria, ma nel progetto o nel test di un circuito l'alimentatore resta la soluzione più conveniente.

In genere è possibile fornire un'alimentazione che può variare da 0V a 20V in modo continuo o in modo discreto (cioè solo per determinati valori).

Un semplicissimo schema circuitale è il seguente:



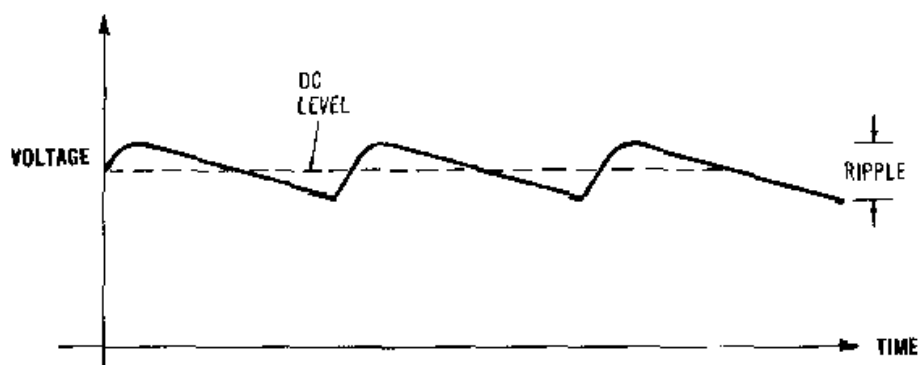
La linea di rete è connessa ad un **trasformatore** che porta il valore di tensione ad uno più vicino al valore finale.

Il diodo rettifica la forma d'onda sinusoidale ed il C la approssima ad una tensione continua.

Il **circuito di regolazione** finale serve a controllare in modo più accurato la tensione di uscita.

SPECIFICHE COSTRUTTIVE

Imperfezioni saranno presenti nella tensione continua: infatti un **ripple residuo** rimane sempre presente. Nella figura seguente è mostrata l'uscita con *ripple*:



La frequenza del ripple è in genere quella di rete con le armoniche ad essa associate e, in strumenti di pregio, è di ampiezza trascurabile ($\approx \text{mV}$).

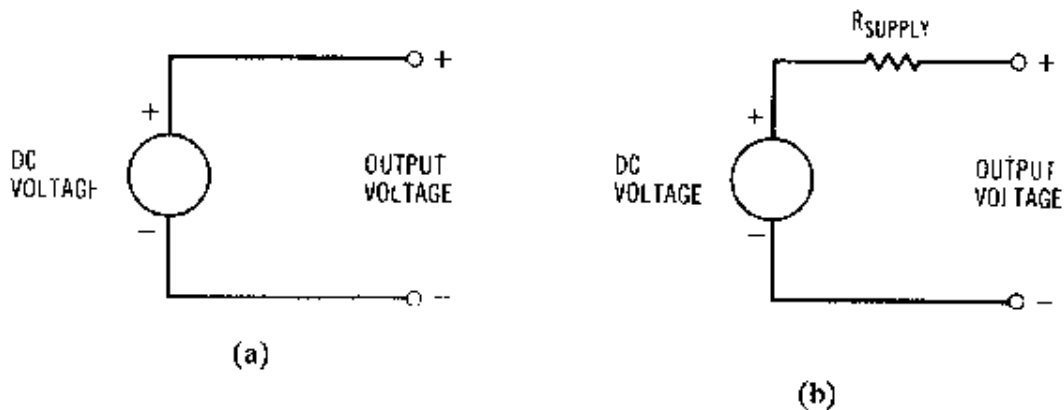
Esiste un **effetto di carico** (*load regulation*) pari alla differenza tra la tensione in uscita a vuoto e quella a pieno carico (%).

Esiste anche un **effetto sorgente** (*line regulation*) pari alle variazioni di alimentazione di rete (%).

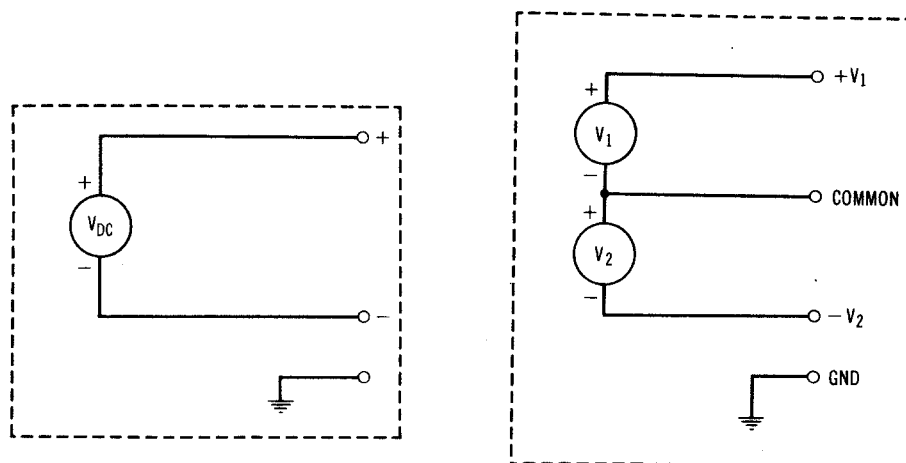
Un buon alimentatore è sempre provvisto di un **limitatore di corrente** e di protezioni da corto circuito (**fusibili**) dei suoi terminali.

MODELLO CIRCUITALE

In figura seguente sono rappresentati due modelli teorici, uno più semplice e l'altro più realistico, di un alimentatore



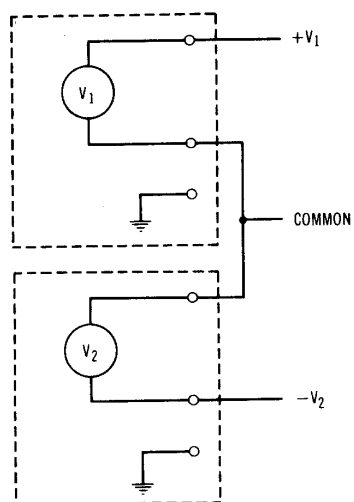
Gli alimentatori sono in genere provvisti di tre terminali, contrassegnati dai simboli “+”, “-“ e “**gnd**” (questi ultimi possono essere coincidenti), ma è comune la presenza di un quarto terminale “**common**”:



E' possibile connettere i terminali “-“ e “**gnd**” per rendere l'alimentazione riferita a terra.

Il terminale “**common**” si rende necessario qualora alcuni circuiti elettronici (ad esempio amplificatori operazionali) richiedano alimentazioni positive e negative (**bipolar supply**).

Due alimentatori a tre morsetti possono realizzare questa connessione:



SPECIFICATIONS OF A TYPICAL SINGLE-OUTPUT
DC BENCH POWER SUPPLY.

Output Voltage: 0 to 15 volts, variable
Maximum Current: 3 amps
Load Regulation: 0.01% + 2 mV
Line Regulation: 0.01% + 2 mV
Ripple and Noise (10 Hz 2 10 MHz): 200 mV RMS 2mV p-p
AC Input: 115VAC $\pm$ 10% 47-63 Hz

Autore: **SANDRO PETRIZZELLI**
e-mail: sandry@iol.it
sito personale: <http://users.iol.it/sandry>
succursale: <http://digilander.iol.it/sandry1>