

Sintesi Analogica

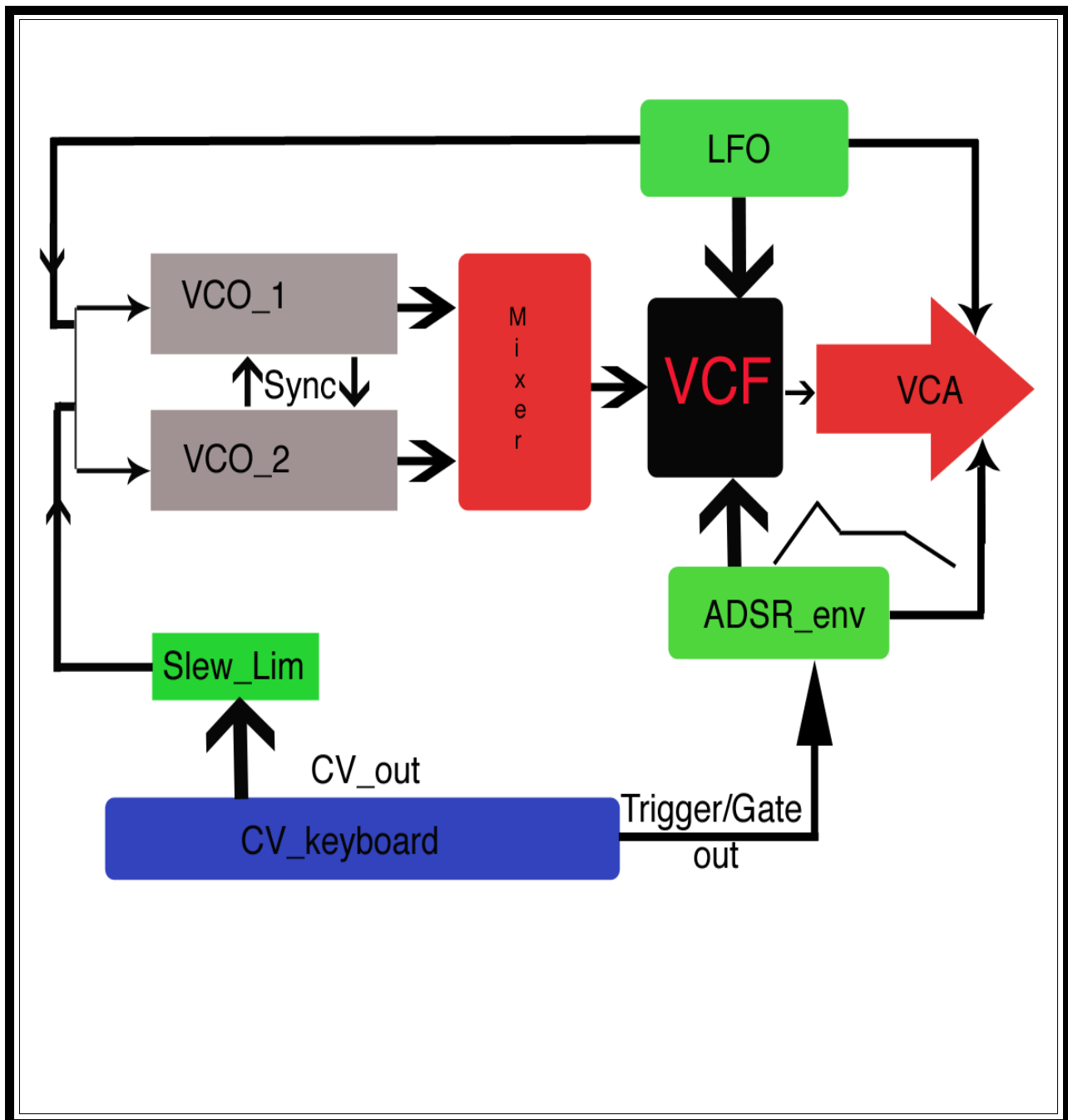


Figura 1: Schema a blocchi di un generico sintetizzatore analogico precablato.

I Moduli Generatori

I moduli generatori sono circuiti elettronici che generano le forme d'onda elementari, ossia il materiale di partenza del processo di sintesi. Il modulo generatore più importante è il **VCO** (Voltage Controlled Oscillator), o semplicemente l'oscillatore. L'oscillatore genera delle forme d'onda periodiche ad una determinata frequenza. Come è noto la frequenza è strettamente correlata (ma non è la stessa cosa...) all'altezza percepita di un suono, quello che è chiamato **pitch**. In pratica la frequenza è una grandezza fisica, misurabile univocamente dalle macchine, il pitch è una grandezza psicoacustica, variabile soggettivamente e misurabile solo in termini statistici, ossia è quello che si dice *grandezza percepita*. In pratica l'oscillatore è per il sintetizzatore quello che una corda è per la

chitarra, e la canna è per un organo: il generatore del suono, che verrà poi successivamente modificato.

La frequenza prodotta da un oscillatore è funzione della velocità con cui la tensione di uscita varia fra gli stati di massima e minima ampiezza (massima ampiezza negativa: tutte le forme d'onda generate da un VCO sono simmetriche). Si noti, per curiosità, che i circuiti oscillatori non sono dotati di ingresso, ma solo di uscita. In pratica all'accensione dell'alimentazione essi iniziano ad *auto-oscillare*, ad una determinata frequenza, eventualmente selezionabile.

Il VCO

Il compito del VCO è quello di generare forme d'onda ad una determinata frequenza, pertanto i controlli presenti sul pannello di controllo di un oscillatore saranno dedicati alla scelta della *forma d'onda* e del *pitch*.

Controllo del Pitch

Il controllo di pitch permette l'accordatura (o come vedremo, molto spesso la scordatura, per ottenere interessanti effetti timbrici) dell'oscillatore. Esistono due tipi di controllo del pitch:

- *Controllo continuo del pitch*: detto anche **tune**, è costituito da un potenziometro o da uno slider che permette di variare il pitch per incrementi continui in un range abbastanza elevato. Un oscillatore in banda audio può avere frequenze variabili da 0Hz a 4-5KHz.
- *Controllo quantizzato del pitch*: detto **octave switch** (anche **scale** o **range**) consente di variare il pitch dell'oscillatore per intervalli discreti, generalmente di un'ottava. L'indicazione che si trova più frequentemente su questi controlli è ripresa dall'assegnazione dei registri relativa agli organi, ed è:

32'	16'	8'	4'	2'
Oppure				
-2	-1	0	+1	+2

L'ottava centrale è indicata da 8' o 0.

La forma d'onda

Il VCO è di solito in grado di generare 3 o 4 forme d'onda differenti, anche se questo raramente significa che all'interno del VCO sono presenti 3 o 4 circuiti elettronici auto-oscillanti differenti. Generalmente, infatti, forme d'onda diverse si ottengono a partire da una di base, attraverso circuiti di *trigger*, *integratori*, *derivatori* etc.

Ad ogni modo le forme d'onda classiche e più comuni sono:

- **Sinusoide**
- **Onda triangolare**
- **Onda a dente di sega (sawtooth)**
- **Onda quadra (square)**

Ognuna delle forme d'onda menzionate ha un diverso **contenuto armonico**, e pertanto, un **timbro** differente dalle altre. Questo permette di avere un palette di timbri, che possono essere eventualmente combinati ed elaborati. Si noti che tutte le forme d'onda elencate sono **strettamente periodiche**, e sottostanno al *Teorema delle Serie di Fourier*. Il teorema afferma che :

' Una forma d'onda strettamente periodica è sviluppabile in una serie infinita di sinusoidi e cosinusoidi, con determinata ampiezza e fase, e di frequenza armonica pari ai multipli interi della frequenza fondamentale, ottenuta come inverso del periodo della forma d'onda. '

Fourier determinò anche le equazioni in base alle quali era possibile calcolare lo spettro delle forme d'onda periodiche. Tale equazione è detta *Serie di Fourier*, e porta ai risultati che riporto di seguito.

La sinusoide

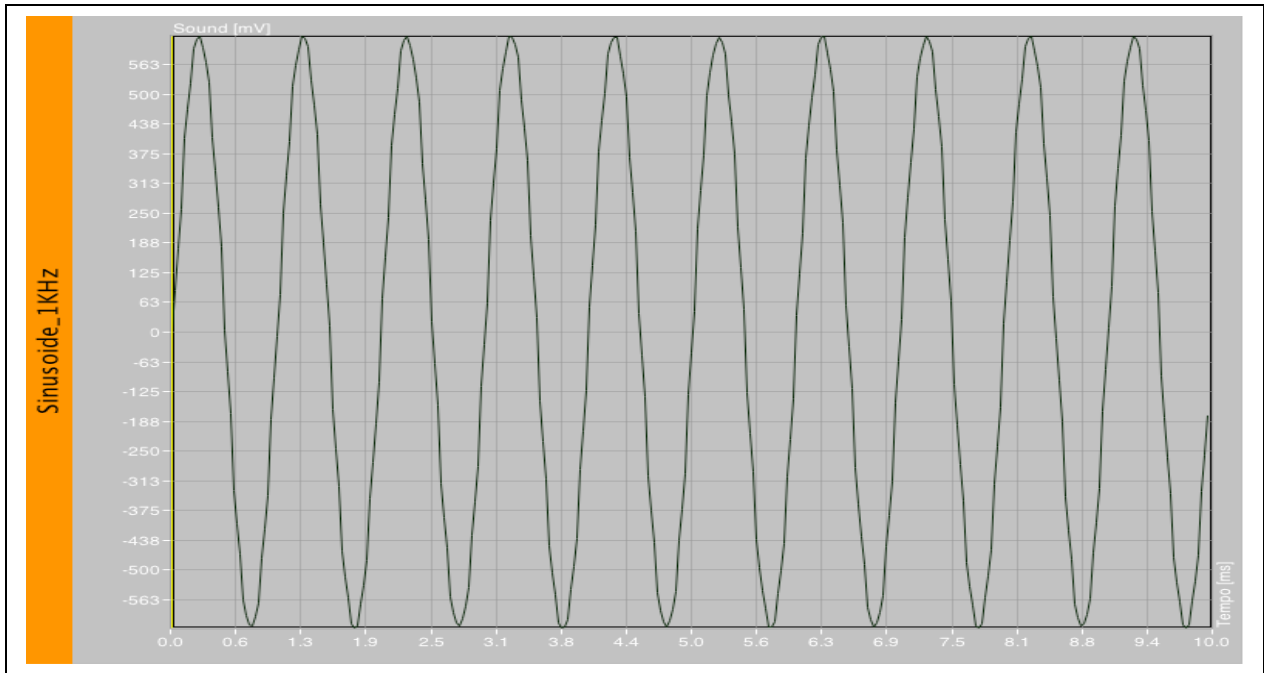


Figura 2: onda sinusoidale (1KHz).

La sinusoide è la forma d'onda periodica più semplice, il suo spettro consiste di un'unica *armonica*, la fondamentale, la cui frequenza è pari all'inverso del periodo. Questo significa che tutta l'energia della sinusoide è concentrata nella fondamentale. Si tenga presente, e questo sarà vero anche per le altre forme d'onda, che la sinusoide non esiste in natura, e per altro è difficile da generare in maniera pura, ossia priva di distorsioni, per via analogica. La precisione offerta dagli algoritmi digitali è enormemente maggiore.

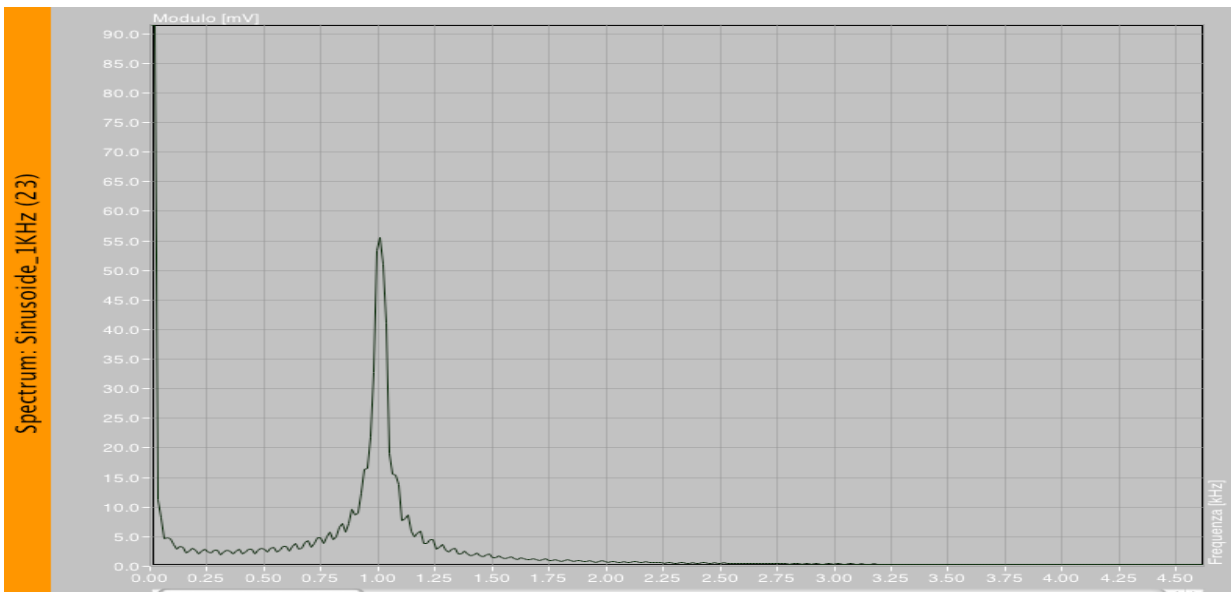


Figura 3: Spettro di una sinusoide. Si noti l'energia concentrata tutta ad 1KHz.

Nota sui grafici: nei grafici di queste pagine si noteranno delle anomalie. Ad esempio si veda ad esempio il grafico dello spettro della sinusoide: esso non consiste di una sbarretta perfettamente centrata attorno a 1000Hz, ma l'energia sembra sconfinare leggermente attorno a 1000Hz. Questa

anomalia è dovuta allo strumento di analisi con cui i grafici sono stati realizzati, la FFT. Si noti anche che il difetto è intrinseco allo strumento e non è eliminabile.

L'onda Triangolare

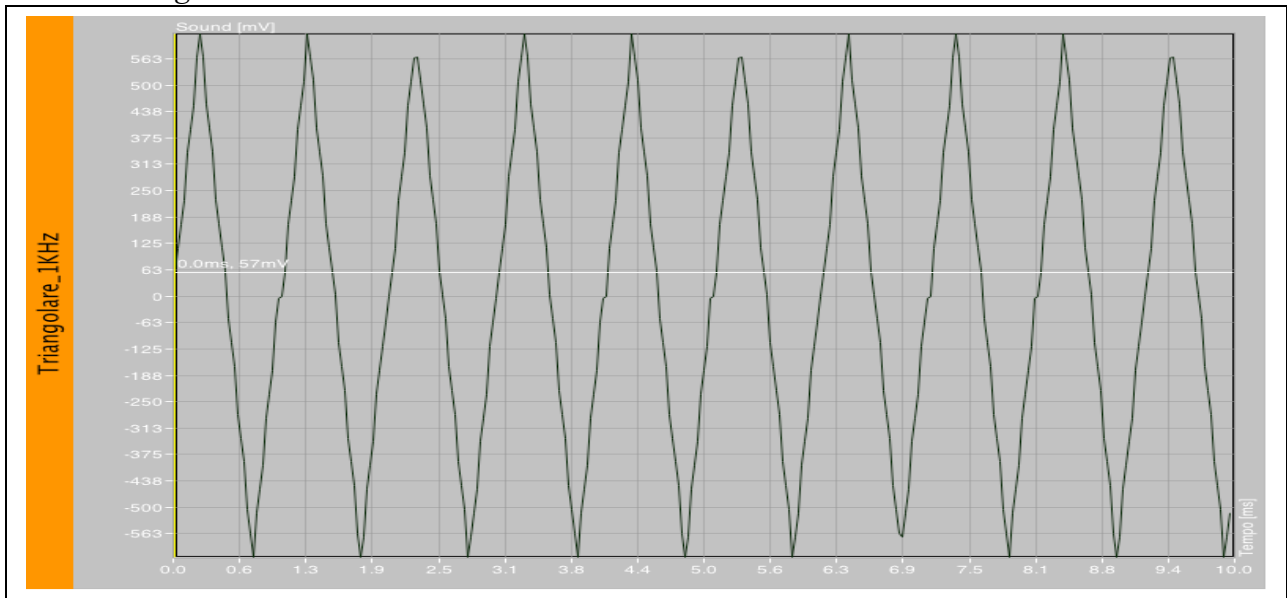


Figura 4: onda triangolare con fondamentale di 1KHz.

L'energia è quasi tutta concentrata nella fondamentale, ma sono presenti anche le armoniche dispari, che hanno un'ampiezza che decresce *esponenzialmente*, come l'inverso del quadrato dell'ordine (la 3° armonica ha un'ampiezza pari a 1/9 della fondamentale, la 5° pari a 1/25, e così via).

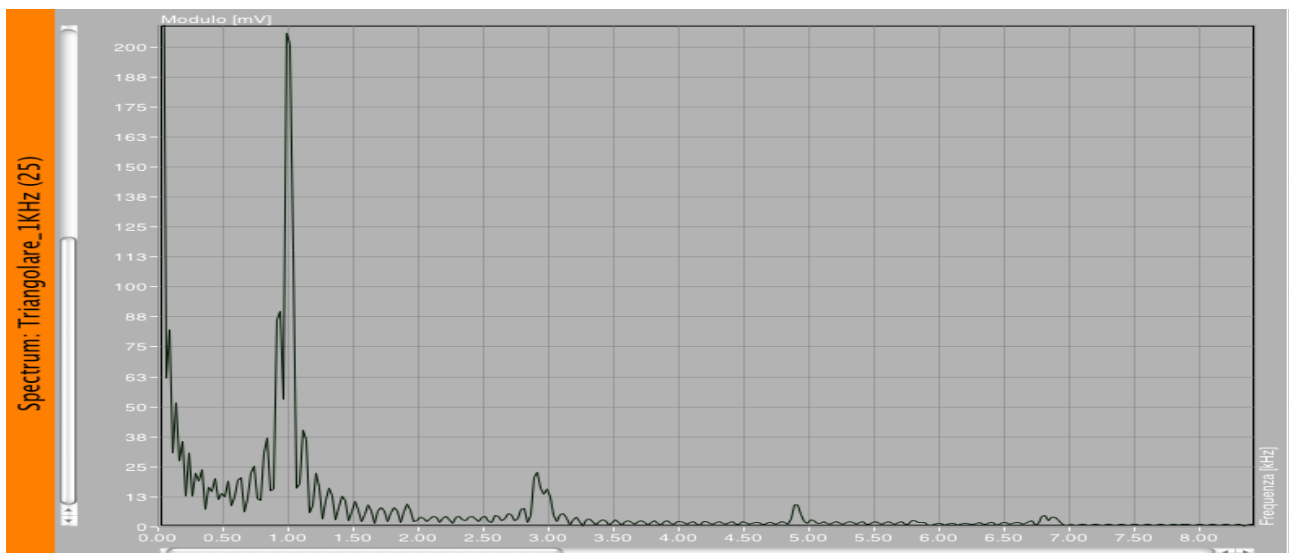


Figura 5: Spettro di un onda triangolare.

L'onda a Dente di Sega

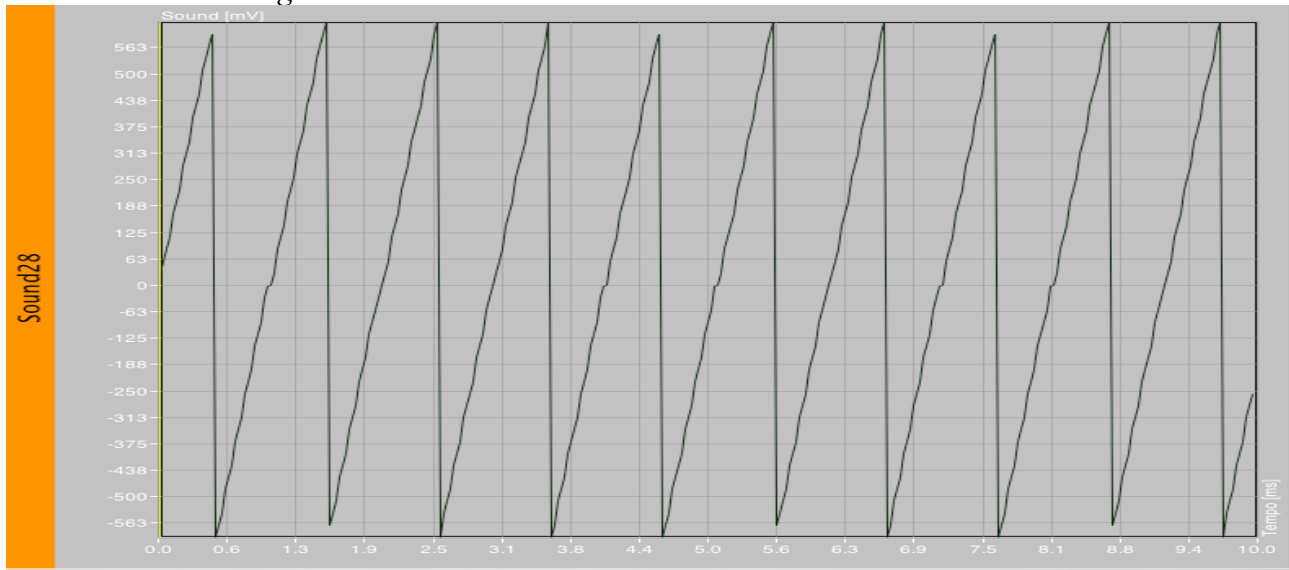


Figura 6: Onda a Dente di Sega, con fondamentale a 1KHz.

Nell'onda a Dente di Sega sono presenti tutte le armoniche della fondamentale, e la loro ampiezza varia *linearmente* con l'ordine dell'armonica (la 2° armonica ha ampiezza pari a 1/2 della fondamentale, la 3° pari a 1/3, la 4° pari a 1/4 e così via).

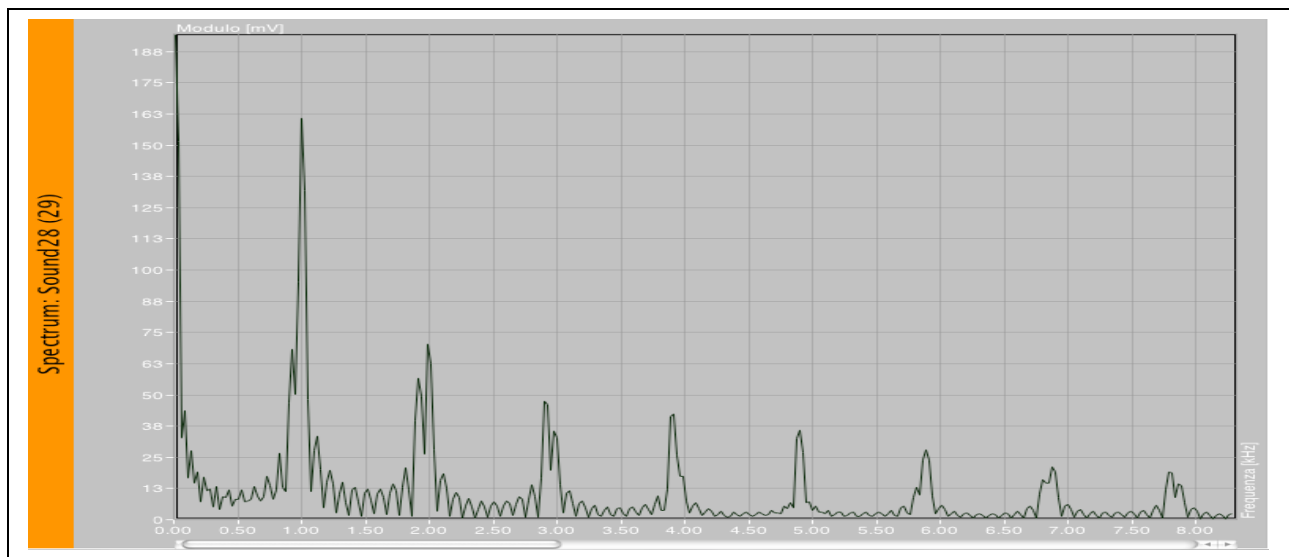


Figura 7: Spettro di un'onda a Dente di Sega.

L'onda Quadra

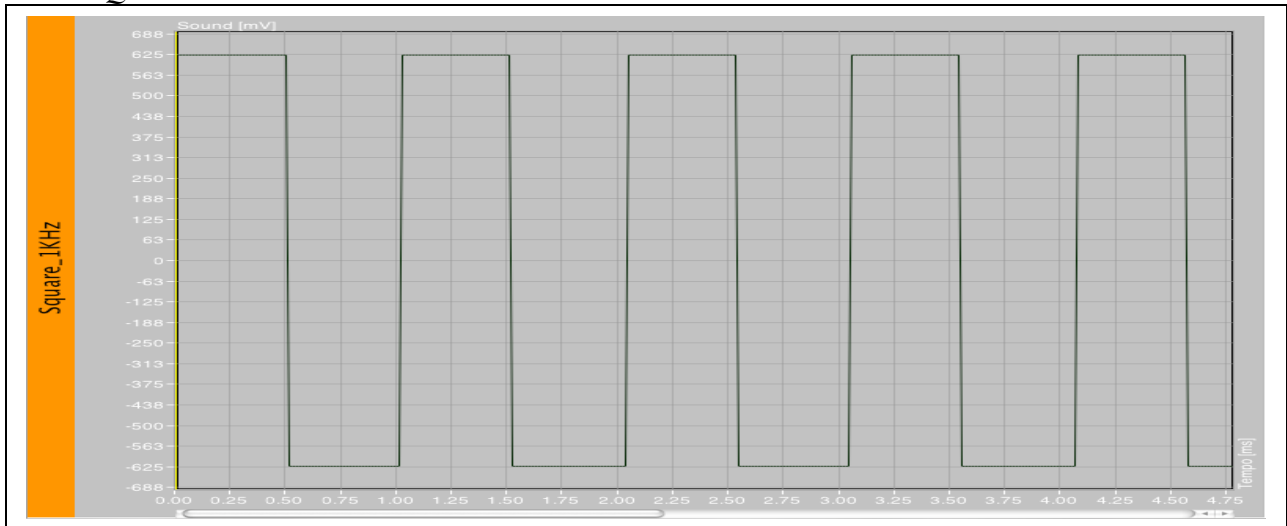


Figura 8: Onda Quadra con fondamentale a 1KHz.

L'onda quadra ha solo armoniche dispari, e la loro ampiezza decresce *linearmente* con l'ordine dell'armonica. Si definisce onda quadra quell'onda che ha una **larghezza d'impulso** o **duty-cycle** del **50%**(rapporto fra il tempo per il quale l'onda assume valore positivo e quello in cui assume valore negativo, misurato in percentuale del periodo).

Nel caso l'onda abbia un duty-cycle diverso, allora si definisce onda **Pulse**, ed il suo spettro inizia ad assumere un aspetto più complesso: appaiono le armoniche pari e l'andamento dell'ampiezza delle armoniche non è più monotono decrescente. Questo crea delle sonorità caratteristiche, tanto che è classico l'uso della **modulazione della larghezza d'impulso** (**PWM : Pulse Width Modulation**) nella sintesi analogica.

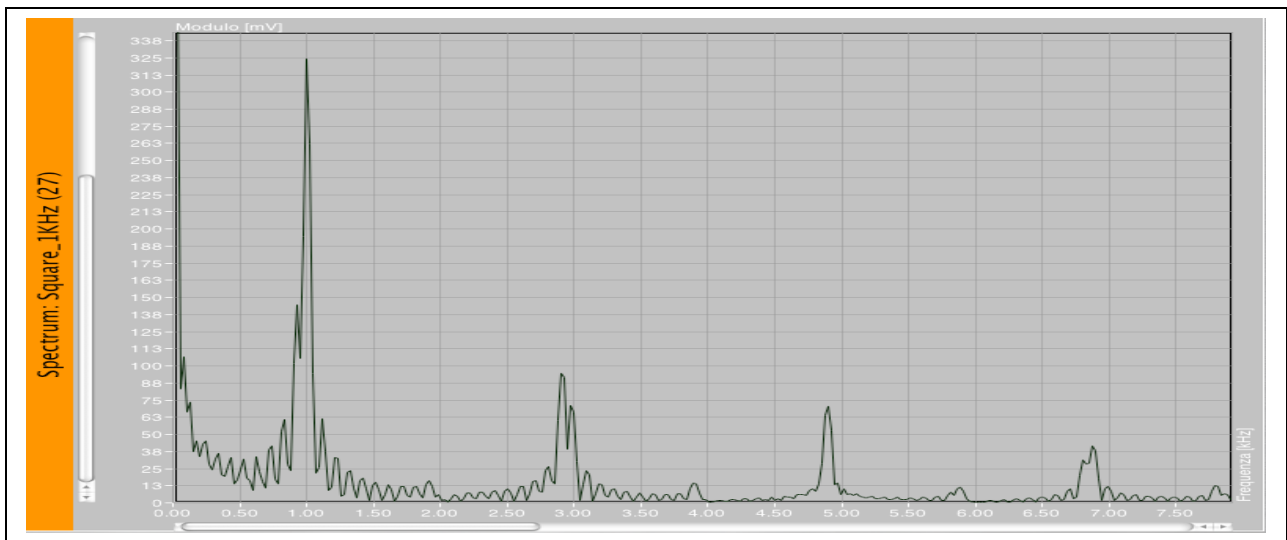


Figura 9: Spettro di un'onda Quadra (PW=50%).

Il SYNC degli Oscillatori

Generalmente un sintetizzatore dispone di almeno due moduli VCO. Questo permette, se la funzionalità è implementata, la *sincronizzazione* della frequenza degli oscillatori. I VCO devono essere provvisti di circuito di sincronizzazione, attivabile per mezzo di uno switch, chiamato **sync**,

appunto. Nella modalità sync un VCO sarà **master**, l'altro **slave**. Naturalmente sarà l'oscillatore master ad imporre la sincronizzazione della frequenza.

La sincronizzazione degli oscillatori prevede due casi:

- La frequenza del master è maggiore della frequenza dello slave:

$f_m > f_s$

La forma d'onda del VCO slave inizia nuovamente un ciclo ogni volta che il VCO master lo impone. Infatti, dal punto di vista del tempo, il periodo dell'oscillatore master è più piccolo di quello dell'oscillatore slave. Si dice che il pitch è perfettamente sincronizzato, e che il VCO slave *traccia* perfettamente il pitch del VCO slave.

- La frequenza del master è minore della frequenza dello slave:

$f_m < f_s$

Il VCO master impone ancora il reset del VCO slave, ma questa volta, avendo periodo più piccolo dello slave, genera distorsioni della forma d'onda del VCO slave, creando armoniche spurie. Questa è divenuta una tecnica per generare nuovi timbri e sonorità.

Il Generatore di Rumore

Il Generatore di Rumore (**noise generator**) è un modulo generatore, il secondo in ordine di importanza. Nei synth precablati è generalmente associato al pannello dei VCO. La caratteristica principale del generatore di rumore è quella di produrre un suono il cui spettro non ha componenti in relazione armonica le une con le altre. Questo conferisce al suono generato dal rumore l'assenza di un pitch definibile e specifico.

Il generatore di rumore è fondamentale per la sintesi di quella parte di suono degli strumenti che non ha caratteristiche armoniche. Si pensi al soffio del flauto, al rumore dei martelletti del piano, al rullante (tutti gli strumenti percussivi hanno uno spettro non armonico) e così via. Ad esempio i suoni di rullante di batterie elettroniche a generazione analogica, quali la TR808 e la TR909 della Roland, sono ottenuti da sinusoidi e rumore bianco, opportunamente filtrati e involuppati.

Esistono, come accennato, diversi tipi di rumore, secondo la composizione spettrale (in realtà il rumore è il risultato di un processo statistico, detto anche *stocastico*, perciò si parla *densità spettrale di potenza*, e non di spettro. Ad ogni modo continuerò ad usare la parola spettro, per non confondere le idee con particolari, per noi, insignificanti).

Avremo perciò:

- **White Noise**
- **Pink Noise**
- **Blu Noise**
- **Red Noise**
- **Brown Noise**

La nomenclatura richiama la composizione spettrale della luce. Si ricordi che la luce bianca contiene tutte le frequenze del visibile, la luce rossa quelle più basse, la luce blu e viola quelle più alte.

In base a ciò il **rumore bianco (white noise)** ha uno spettro la cui energia è identica a tutte le frequenze; in questo modo il contenuto energetico di una banda di 50Hz centrata su 1000Hz, è identico a quello della stessa banda centrata attorno a 10KHz.

Il **rumore rosa (pink noise)** è ottenuto filtrando il rumore bianco, e presenta un'energia costante per percentuale di larghezza di banda (di ottava, decade etc.). Ad esempio, l'ottava fra 20Hz e 40Hz conterrà la stessa energia di quella fra 20KHz e 40KHz.

I rumore blu, rosso, marrone sono ottenuti da filtraggio del rumore bianco. Il rumore blu è ottenuto filtrando il rumore bianco con un passa-alto. Il rosso e il marrone sono ottenuti con filtri passa-basso di ordine differente.

L'External Input

L'External Input è l'ultima sorgente sonora che un sintetizzatore mette a disposizione. Essa consente di elaborare all'interno del sintetizzatore il suono di una qualsiasi sorgente esterna, sia essa uno strumento o un altro sintetizzatore, sommandola agli oscillatori interni.

Il primo stadio dell'External Input è un preamplificatore, che porta il segnale al livello operativo (di linea) del sintetizzatore. Spesso è anche presente un controllo per il boost o l'attenuazione del segnale.

I Moduli Modificatori

I moduli modificatori sono dedicati all'elaborazione vera e propria del suono generato dai VCO. Possiamo dividerli in due categorie:

- Moduli Operazionali: permettono l'elaborazione del timbro mediante operazioni matematiche. I più comuni sono *mixer*, *ring-modulator*, *frequency divider*.
- Filtri o VCF (Voltage Controlled Filter): i filtri sono i circuiti che si occupano di ottenere forme d'onda differenti, da quelle elementari fornite dagli oscillatori, eliminandone selettivamente parti dello spettro. Questa è la così detta *Sintesi Sottrattiva*: si parte da forme d'onda complesse, e se ne generano altre, per sottrazione di armoniche.

Il Mixer

Il mixer è il modulo più semplice e più comune. Nel caso in cui il sintetizzatore dispone di più di un oscillatore, la sua presenza è obbligata. In pratica, serve a sommare le uscite dei vari oscillatori. È dotato di un certo numero di ingressi, e di un uscita. Ad ogni ingresso è collegato un potenziometro, che regola l'ampiezza del segnale.

In passato il mixer era molto sfruttato per implementare una tecnica nota come *Sintesi Additiva*, che consisteva nell'applicazione diretta del Teorema di Fourier. Erano sommate un certo numero di sinusoidi, con ampiezza, frequenza e fase opportuna, per creare delle forme d'onda complesse. Era l'opposto della tecnica sottrattiva.

Ad esempio, sommando tre sinusoidi, rispettivamente con frequenza:

- **F1=500Hz**
- **F2=1000Hz**
- **F3=4000Hz**

Si ottiene una forma d'onda, ancora periodica, ma non più sinusoidale, e con uno spettro complesso.

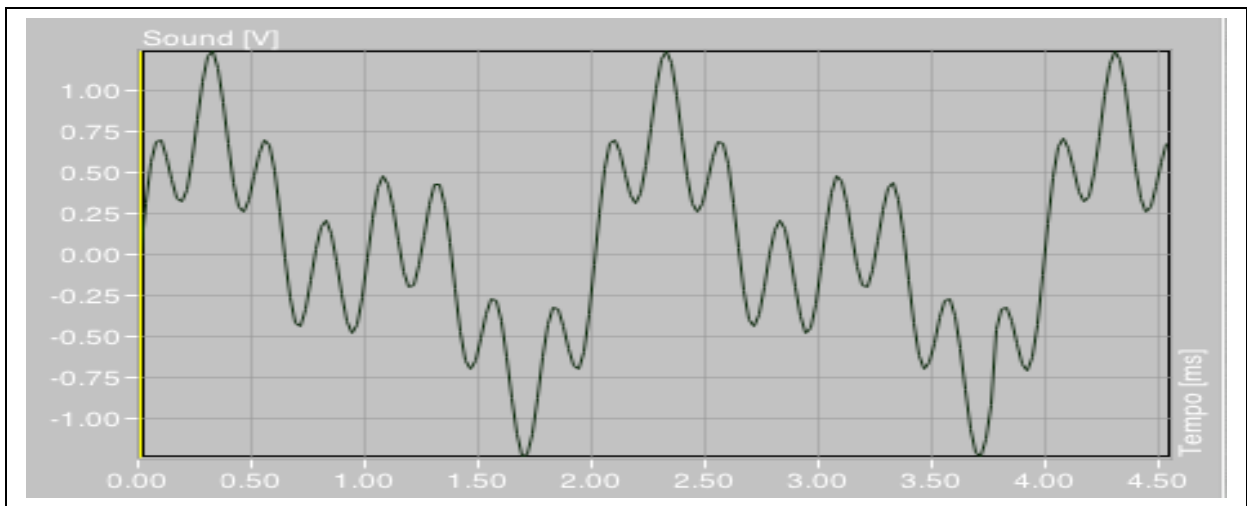


Figura 10: Somma di tre sinusoidi a frequenza diversa.

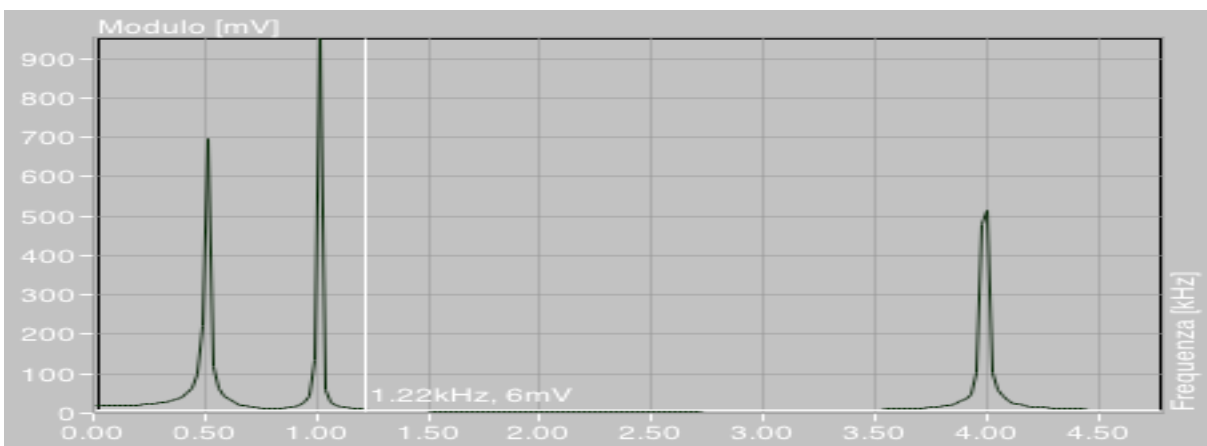


Figura 11: Spettro della somma di tre sinusoidi.

Come si nota lo spettro conterrà la somma di tutte le armoniche degli spettri originali.

Per eseguire la differenza fra due forme d'onda è necessario, prima di entrare nel mixer, invertire la fase di una delle due, attraverso un *voltage inverter*, detto anche *invertitore di fase*.

Il Ring Modulator (modulatore ad anello)

Il ring modulator esegue la moltiplicazione, nel dominio del tempo, fra due forme d'onda.

Nell'ipotesi che le due forme d'onda siano delle semplici sinusoidi, il ring modulator genera un'onda prodotta, il cui spettro è costituito dalla somma e dalla differenza delle frequenze fondamentali di partenza. In pratica, se una sinusoide ha frequenza $f_1=1000\text{Hz}$ e l'altra $f_2=1100\text{Hz}$, la modulazione ad anello delle due sarà una forma d'onda con spettro formato da due righe, una a $f_2-f_1=100\text{Hz}$ e l'altra a $f_2+f_1=2200\text{Hz}$. La modulazione ad anello è stata molto usata agli albori della musica elettronica, negli anni '50 ed ancora oggi è un ottimo modo per creare sonorità dissonanti e metalliche.

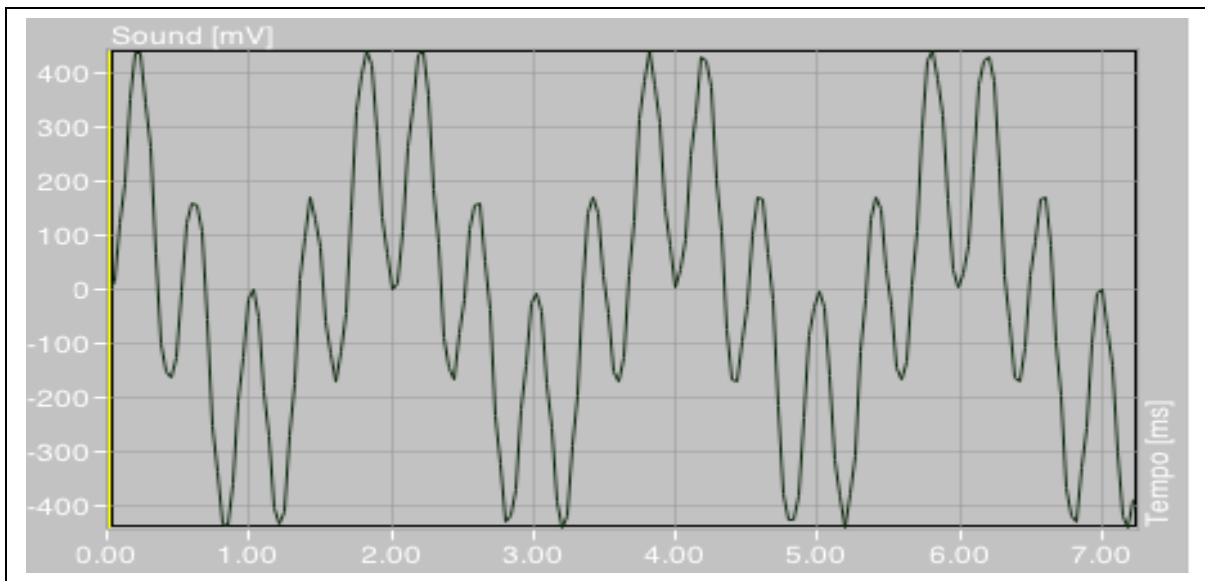


Figura 12: Modulazione ad Anello di due sinusoidi, con frequenze 1KHz e 1.5KHz.

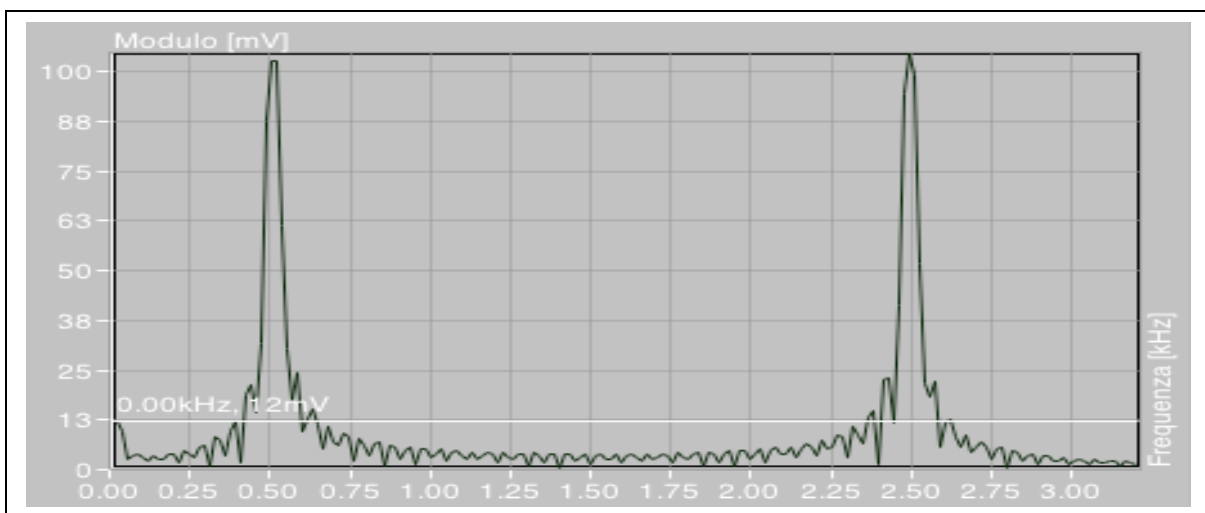


Figura 13: Spettro della forma d'onda di figura 11.

Il Frequency Divider

Il Frequency Divider è un modulo che analizza il segnale in ingresso, ne determina la frequenza, e genera, per ognuna delle uscite a disposizione, un'onda quadra con frequenza pari a metà dello stadio precedente. Perciò l'uscita indicata con $f/2$ avrà una frequenza pari a metà di quella del segnale d'ingresso, l'uscita $f/4$ avrà frequenza pari a un quarto, metà dello stadio di divisione precedente, e così via. Con quattro stadi si può arrivare a dividere la frequenza del segnale di ingresso per 16. Si tenga presente che la forma d'onda generata in uscita è, normalmente, un'onda quadra, ed ogni uscita ha un controllo di ampiezza indipendente.

I Filtri (VCF: Voltage Controlled Filter)

Come già accennato, la **sintesi sottrattiva** si basa sulla generazione di forme d'onda differenti, attraverso la sottrazione di armoniche dallo spettro di forme d'onda complesse. Il dispositivo utilizzato a questo scopo è il **filtro**, o **VCF**.

I filtri possono essere di vario tipo, come è noto:

- **Passa Basso (Low Pass, LP):** attenuano le frequenze al di sopra di una frequenza, detta **frequenza di taglio** o di **cut-off**.
- **Passa Alto (High Pass, HP):** attenuano le frequenze al di sotto di una frequenza di taglio.
- **Passa Banda (Band Pass, BP):** lasciano passare inalterate solo le frequenze del segnale di ingresso all'interno della **banda passante**, centrata attorno ad una **frequenza centrale**.
- **Elimina banda (Band Reject, BR):** l'esatto contrario del BP.
- **Notch:** filtro elimina-banda o passa-banda molto stretto.

I filtri, di qualunque tipo essi siano, sono caratterizzati da tre grandezze: **banda passante**, **null_band**, **roll_off**.

La **banda passante** è l'intervallo di frequenze il filtro lascia inalterato (o dovrebbe lasciare inalterato...), la **null_band** o **stop_band** o banda eliminata è l'intervallo che il filtro dovrebbe eliminare, ma in realtà attenua solamente, il **roll_off** o **pendenza del filtro**, è la misura della velocità con cui il filtro attenua le frequenze superata sopra o sotto la frequenza di taglio (o fuori dalla banda passante, nel caso di filtro passa-banda). Nel grafico della risposta in frequenza del filtro, il roll-off è la pendenza della curva nella null-band. Questo, come detto significa che non esistono filtri **brickwall**, ossia a gradino, che eliminano completamente tutte le componenti armoniche fuori dalla banda passante. Il motivo e la spiegazione del perché ciò accada, esula dagli scopi di questo corso, ma è dovuto a proprietà fisiche dei sistemi reali, quale ad esempio la causalità.

Il **roll-off** del filtro è specificato, nel 99% dei casi, come *numero di dB di attenuazione per ottava*, in multipli interi di **6dB/oct**. Alcune volte può essere specificato il **numero dei poli** del filtro. Senza entrare nel merito di cosa siano e da cosa dipendano i poli di un sistema fisico, si tenga presente che ogni polo contribuisce alla pendenza con 6dB/oct, e che i contributi di più poli si sommano. Ad esempio dire pendenza di 24dB/oct o filtro a 4 poli è la stessa cosa. Il numero dei poli è spesso specificato come ordine del filtro: filtro di 4° ordine è un altro modo per dire che la pendenza è di 24dB/oct.

Esistono progetti di filtri di vario tipo, pertanto due filtri passa-basso dello stesso tipo e dello stesso ordine, non agiranno sul segnale allo stesso modo, ossia, come si dice in gergo, “suoneranno diversamente. Non a caso si usa dire che il suono di un sintetizzatore è fatto dai filtri. La diversità nel progetto dei filtri, nuovamente senza addentrarci nei particolari (anzi senza addentrarci affatto!), sta nei seguenti fattori:

- **Ripple nella banda passante:** la risposta di un filtro nella banda passante può presentare delle ondulazioni, il che vuol dire che alcune frequenze saranno inalterate, altre attenuate o amplificate, anche se di poco.
- **Distorsioni di fase, anche in banda passante:** l'azione più nascosta e meno evidente di un filtro è quella che esso compie sullo spettro di fase del segnale. Tale azione caratterizza più di ogni altra cosa il timbro che il filtro conferisce al segnale filtrato.
- **Risposta del filtro nella zona di roll_off e nella stop_band:** l'importanza di questo fattore deriva dal fatto che le frequenze del segnale in tali zone non sono eliminate del tutto, e contribuiscono alla risposta del filtro in misura tanto più grande quanto più si è vicini alla frequenza di taglio.

Detto questo è chiaro che un filtro non suonerà mai come uno di una marca diversa, tanto è vero che sono diventati dei classici filtri come il **Transistor Ladder** della MOOG, il filtro **WASP**, o i filtri a doppia pendenza della **Oberheim**.

Un'ulteriore importantissima caratteristica dei filtri presenti sui sintetizzatori, che li differenzia dai filtri degli equalizzatori, è la possibilità di creare un **picco risonante** attorno alla frequenza di taglio del filtro (o sulla frequenza centrale nel caso di un filtro BP). In pratica il circuito è dotato di

feedback positivo, ossia rimanda in ingresso al filtro la parte di segnale d'uscita il cui spettro sta attorno alla frequenza di taglio. L'effetto che si ottiene è quello di un'enfasi delle armoniche del segnale che stanno nella zona attorno alla frequenza di taglio. Nel caso in cui il feedback è pari a tutto il segnale in uscita si genera l'*auto-oscillazione* del filtro, detta *self oscillation*. In pratica in uscita al filtro si ottiene una sinusoide pura di frequenza pari alla frequenza di taglio del filtro, anche in assenza di segnale in ingresso al filtro. Questo, in passato, era anche un metodo per ottenere una sorgente sonora alternativa. Non tutti i filtri sono auto-oscillanti: un esempio è il filtro WASP.

Per quanto detto i controlli più comuni presenti sul pannello di controllo di un filtro sono:

- **Frequenza di taglio (frequenza centrale, in un BP o Notch).**
- **Risonanza (chiamata anche: reso, resonance, feedback, q, emphasis, regeneration).**

I Moduli di controllo

Negli strumenti elettronici, prima del 1963, l'unico modo di poter variare in maniera dinamica il timbro dello strumento e la curva della loudness del suono (quello che chiameremo più propriamente involuppo del suono), consisteva nel variare manualmente i parametri dello strumento, quali frequenza di taglio del filtro, pitch dell'oscillatore, parametri relativi al volume, per mezzo di potenziometri, switch o slider posti sul pannello dello strumento. Perciò il performer era limitato a pochi movimenti e variazioni timbriche (tenendo conto che abbiamo due mani e i sintetizzatori erano grandi come una stanza...).

La risposta alle esigenze del musicista venne dall'introduzione, da parte del solito Bob Moog "il padre dei sintetizzatori", dei dispositivi **Voltage Controlled**, che potevano essere controllati attraverso una tensione, e dei **Moduli di Controllo**, che invece erano preposti alla generazione delle tensioni di controllo di cui sopra, ossia le **C.V. (Control Voltage)**. Questo significa che furono creati dei moduli oscillatori, filtri, amplificatori i cui parametri principali (ed in realtà qualsiasi parametro per cui il controllo in tensione fosse reso possibile dalla tecnologia) fossero controllabili non più solo manualmente, ma anche attraverso delle tensioni imposte dall'esterno.

Ad esempio un **VCO**, ossia un Voltage Controlled Oscillator, è un circuito elettronico che genera oscillazioni periodiche, la frequenza delle quali è impostabile attraverso una determinata tensione di controllo, perciò il modulo avrà un ingresso C.V. di controllo, preposto alla selezione e **Modulazione** del Pitch. Allo stesso modo il **VCF**, Voltage Controlled Filter, è un filtro la cui frequenza di taglio è impostabile attraverso una tensione di controllo. La stessa cosa può dirsi per il **VCA**, il Voltage Controlled Amplifier: rendendo possibile il controllo del guadagno di un amplificatore attraverso una tensione di controllo esterna, ha dato la possibilità di variare dinamicamente la loudness di un suono, e perciò di creare gli **Inviluppi di Ampiezza** (vedi moduli ADSR più avanti).

Quando si controlla un parametro di un modulo attraverso una tensione di controllo, si dice che si **modula** tale parametro. Il modulo che genera la C.V. è definito **sorgente di modulazione**, mentre il modulo che è controllato dalla C.V. è definito **destinazione della modulazione**.

Esistono diversi tipi di C.V., a seconda del tipo di segnale elettrico che esse rappresentano:

1. **Tensioni CV continue.** Tali CV sono generate dai seguenti dispositivi di controllo:
 - tastiere
 - pitch bend wheel
 - sequencers analogici
 - pedali volume
2. **Tensioni CV unipolari ma variabili nel tempo.** Tipiche dei *generatori di involuppo*.
3. **Tensioni CV bipolari e/o alternate.** Tipiche degli **LFO (Low Frequency Oscillator)**.

I segnali CV continui:

La Tastiera

Il dispositivo più semplice che genera tali tipi di CV è la **tastiera**. Prima dell'avvento del MIDI (1984) la comunicazione fra dispositivi musicali elettronici era affidata ai messaggi CV. Questo costituì un problema, per altro mai risolto, poiché mancava uno standard unanimemente accettato. Sintetizzatori e drum-machine adottavano messaggi CV con polarità e voltaggi differenti, rendendo difficile l'utilizzo di una tastiera con un synth di marche differenti.

L'unico standard che si era imposto era quello del controllo del pitch degli oscillatori, detto **1Volt/ottava**. In pratica affinché l'oscillatore riconoscesse quale nota (pitch) suonare, la tastiera gli inviava, dalla sua uscita detta CV, una tensione continua e positiva. A tale valore di tensione corrispondeva una nota ben precisa. Le tensioni avevano un range che andava da 0V a 5V, che corrispondeva dunque a 5 ottave. Secondo la regola 1Volt/ottava, ad un semitono era associato 1/12Volt. Questa forma di controllo in tensione rendeva possibile accordare le tastiere sui microtoni (frazioni di un semitono), come è evidente, agendo sulla semplice associazione intervallo/tensione. Si può associare tale messaggio CV, al messaggio MIDI note number.

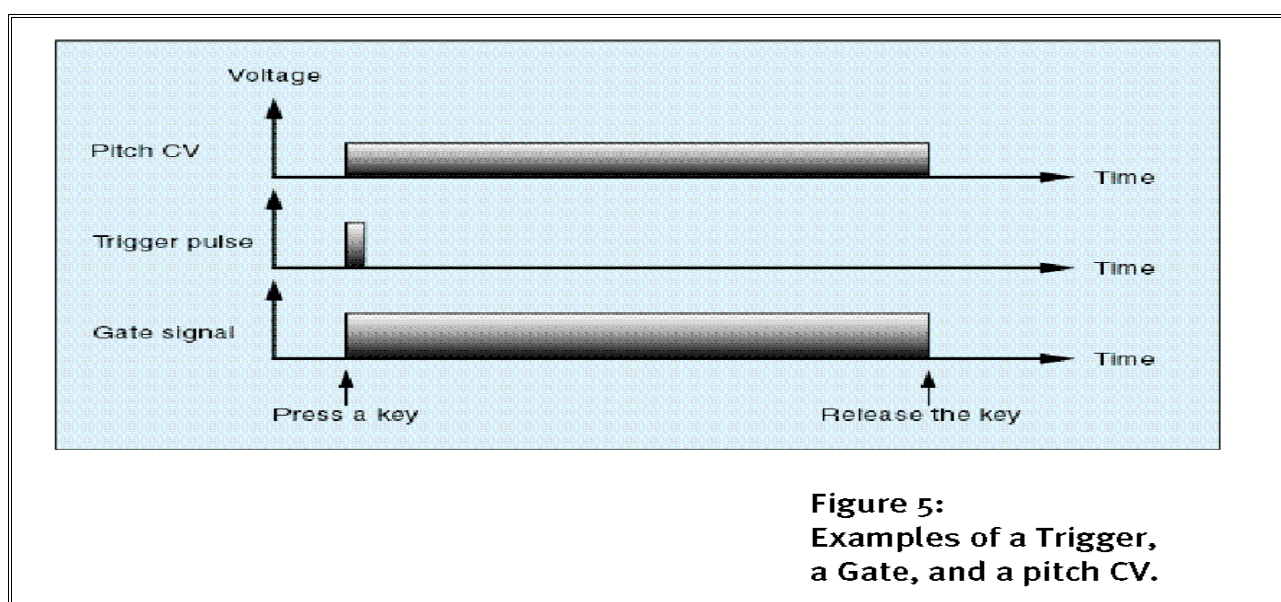


Figura 14: Esempio di un Gate, un Trigger, pitch CV.

Ma tale controllo avrebbe permesso l'esecuzione di un brano musicale, senza l'aggiunta di un ulteriore messaggio da parte della tastiera. Si tenga presente che gli oscillatori sono dei circuiti che oscillano, e generano dunque suono, da quando sono alimentati fino allo spegnimento. Se connettiamo un oscillatore direttamente al mixer audio, esso suonerà sempre. Possiamo variarne il pitch, ma il suono sarà continuo. Ecco il principale utilizzo del VCA: esso serve da sbarramento al suono, fino a quando non è **triggerato** da un determinato messaggio in tensione, detto **TRIGGER**, appunto, o **GATE** (si noti che trigger e gate non sono la stessa cosa, ma in alcuni sintetizzatori il trigger è sostituito dal fronte in salita del gate).

Il GATE è un impulso di tensione rettangolare che varia dal valore 0Volt ad un valore di xVolt (dipende dalla casa che costruisce il synth) alla pressione di un tasto sulla tastiera, e ritorna a zero quando il tasto è rilasciato. Pertanto il guadagno del VCA arriva da zero al massimo e ritorna a zero, secondo un **inviluppo rettangolare**, del tipo on /off, per intenderci. Questo inviluppo è di poca utilità, essendo simile solo a quello dell'organo, mentre altri strumenti reali hanno inviluppi d'ampiezza ben più complessi.

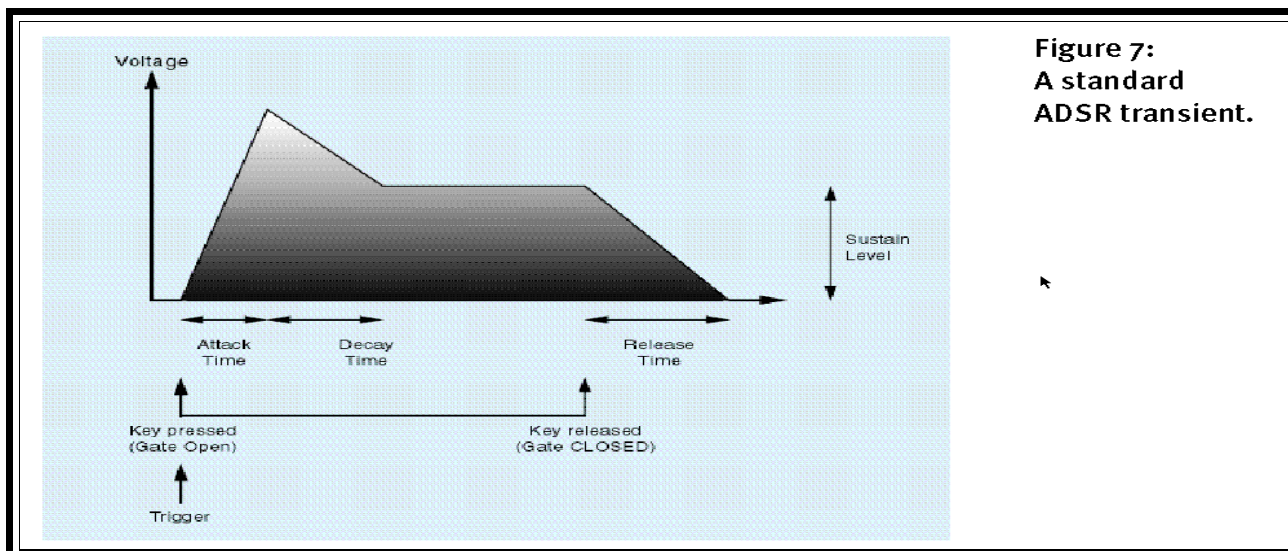


Figure 7:
A standard
ADSR transient.

Figura 15: Un inviluppo ADSR standard.

L'Envelope Generator (ADSR)

Per creare inviluppi più complessi, secondo una curva a quattro stadi generalmente (ma ne esistono di più semplici o complessi), si usa il modulo **EG** o **Envelope Generator** (spesso è detto **ADSR**, prendendo il nome dai 4 stadi che normalmente ne costituiscono la curva).

L'envlope generator è un generatore di transienti (spesso lineari, dette rampe, altre volte esponenziali o logaritmici) non periodici, sotto forma di tensioni di controllo, che possono essere inviate agli ingressi CV di qualunque tipo in un sistema modulare, mentre sono normalmente patchati con CV del VCA, VCF, VCO in un pre-cablato. A seconda dei sistemi i nomidell'EG possono variare. I più frequenti sono: **EG, Contour Generator, ENV, Deg, ADSR...**

Il modulo EG riceve il Trigger e il Gate dalla tastiera, e, come detto, genera una tensione di controllo come in figura. Alcune volte il fronte in salita del GATE è interpretato come trigger, ma questo genera delle diversità nel modo in cui lo strumento re-triggera gli inviluppi e dunque influisce sulla "suonabilità".

Il nome ADSR deriva dai 4 stadi dell'EG, che sono anche i parametri impostabili sul modulo, e permettono di creare curve di inviluppo anche molto complesse. Essi sono:

- **Attack:** tempo necessario a passare dal valore minimo al valore massimo della curva di inviluppo.
- **Decay:** tempo necessario a passare dal valore massimo a quello impostato dal parametro di **sustain**,
- **Sustain:** valore di ampiezza al quale l'inviluppo si stabilizza dopo la fase di decay, corrispondente alla fase di sostegno della nota. Il sustain dura per il tempo in cui si mantiene premuto il tasto della tastiera, ossia durante l'apertura del GATE.
- **Release:** tempo necessario alla curva d'inviluppo a raggiungere il valore minimo, da quando il GATE si chiude, ossi da quando si rilascia il tasto sulla tastiera.

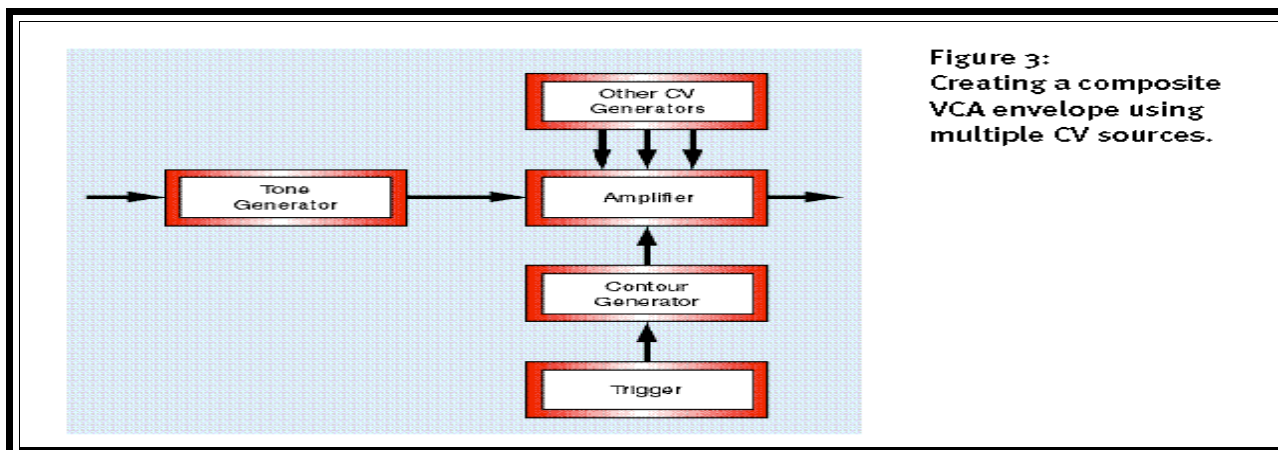


Figura 16: Creazione un VCA envelope complesso, sommando più sorgenti CV.

La tensione di controllo generata dall'EG si va a sommare ad altre eventuali tensioni imposte da altri moduli di controllo o dai potenziometri presenti sul pannello dei vari moduli. Ad esempio nella modulazione del VCA, l'ADSR si sommerà al valore impostato dal potenziometro **Gain (initial offset)**. Nella modulazione del filtro, VCF, si sommerà al valore impostato dal potenziometro che controlla la frequenza di taglio, e così via.

Quando si comprese che l'EG poteva essere utilizzato per controllare altri moduli oltre che il VCA, come il filtro, ad esempio, si implementò anche la modulazione negativa, ossia lo sviluppo della curva dell'ADSR era unipolare, ma per tensioni negative.

Lo Slew Limiter

Lo **Slew Limiter** è un generatore di inviluppo (definito anche **AR, Attack-Release**) che ha un utilizzo ben preciso. Quando è posto fra l'uscita CV della tastiera e l'ingresso CV dell'oscillatore, fa in modo che premendo due note consecutive, il passaggio fra le due non sia a gradino, ossia immediato, ma l'oscillatore impiega un certo tempo nel passaggio, eseguendo un glissando continuo fra le due note, in un tempo definito dallo slew-limiter. Tale effetto è chiamato **glide, portamento o glissando**, ed è tipico degli strumenti ad arco.

Il Pitch Bend

È un controllo che genera tensioni sia positive sia negative, in un range che va da -5Volt a $+5\text{Volt}$. È ormai uno standard sui sintetizzatori, implementato come controllo a joystick o rotella, posto sulla sinistra della tastiera, con posizione centrale di riposo (alla quale ritorna attraverso una molla). Normalmente è connesso al pitch degli oscillatori, generando un effetto "bending" tipico di chitarre elettriche o strumenti a corda.

Il pedale Volume

È un pedale per il controllo dell'apertura del VCA, e perciò per il controllo del volume, attraverso la generazione di un segnale CV continuo (ma variabile con la pressione rilascio del pedale) e positivo.

I segnali CV alternati:

LFO

Il **Low Frequency Oscillator** è un oscillatore utilizzato come sorgente di modulazioni periodiche di parametri controllati in tensione, e risulta identico ad un comune VCO, se non per le seguenti differenze:

- Non è generalmente utilizzabile come sorgente audio, in quanto ottimizzato per la generazione di segnali in banda sub-audio.
- Normalmente la banda di un LFO arriva fino a 500Hz (alcune volte fino a 1000Hz).

- L'unico controllo per il pitch è spesso chiamato **frequency**, e copre l'intero range di frequenze dell'oscillatore.

Come un comune VCO è dotato di switch per selezionare le forme d'onda. Dispone anche di forme d'onda non presenti sui VCO, come onde triangolari e quadre monopolari (ossia variabili da 0Volt a 10Volt, ad esempio, invece che da -5Volt a +5Volt), per ottenere modulazioni particolari.

La ragione per la quale è necessario che un LFO abbia frequenze di oscillazioni sub-audio, al di sotto dei 20Hz, sarà chiara a breve. Per ora si consideri che questa è una necessità dettata dalle tipologie di modulazione stesse. Normalmente l'LFO è usato come sorgente di modulazione per le seguenti destinazioni:

1. **VCO:** per frequenze inferiori ai 20 Hz si parla di **effetto vibrato** (vedi violini, theremin etc.). per frequenze superiori ai 20Hz si entra nel dominio della **F.M. (Frequency Modulation)**, una vera e propria tecnica di sintesi, alternativa alla sottrattiva o additiva.
2. **VCA:** per frequenze inferiori ai 20Hz si parla di **effetto tremolo** (vedi chitarre surf o garage) per frequenze superiori ai 20 Hz si entra nel dominio della tecnica **A.M. (Amplitude Modulation)**.
3. **VCF:** modulazione della frequenza di taglio del filtro, per generare effetti come l'**auto-wha**.

Il Low Frequency Oscillator modula il VCA: tremolo o AM. Quando la destinazione della modulazione periodica di un LFO è il guadagno del VCA si parla di effetto **tremolo**. In figura si può osservare l'effetto di un LFO sull'ampiezza di un'onda triangolare, classico effetto tremolo. Si noti come l'involuppo del suono diviene periodico, ed assume la stessa forma e frequenza della forma d'onda dell'LFO. Nel caso in cui la frequenza dell'LFO supera i 20Hz, ed entra in banda audio l'effetto tremolo non è più percepito come tale, ma vengono generate delle frequenze spurie nel segnale, dette **sidebands**. Tale fenomeno viene definito **Amplitude Modulation (AM)**, e costituisce una vera e propria tecnica di sintesi a se stante. La modulazione di ampiezza è molto simile, come risultati, alla modulazione ad anello, ma con la differenza che nello spettro del segnale risultante appare il segnale definito **carrier**. Nel caso di **carrier (portante)** e **modulator (modulante)** entrambi sinusoidali, lo spettro del segnale risultante è quello mostrato in figura 17.

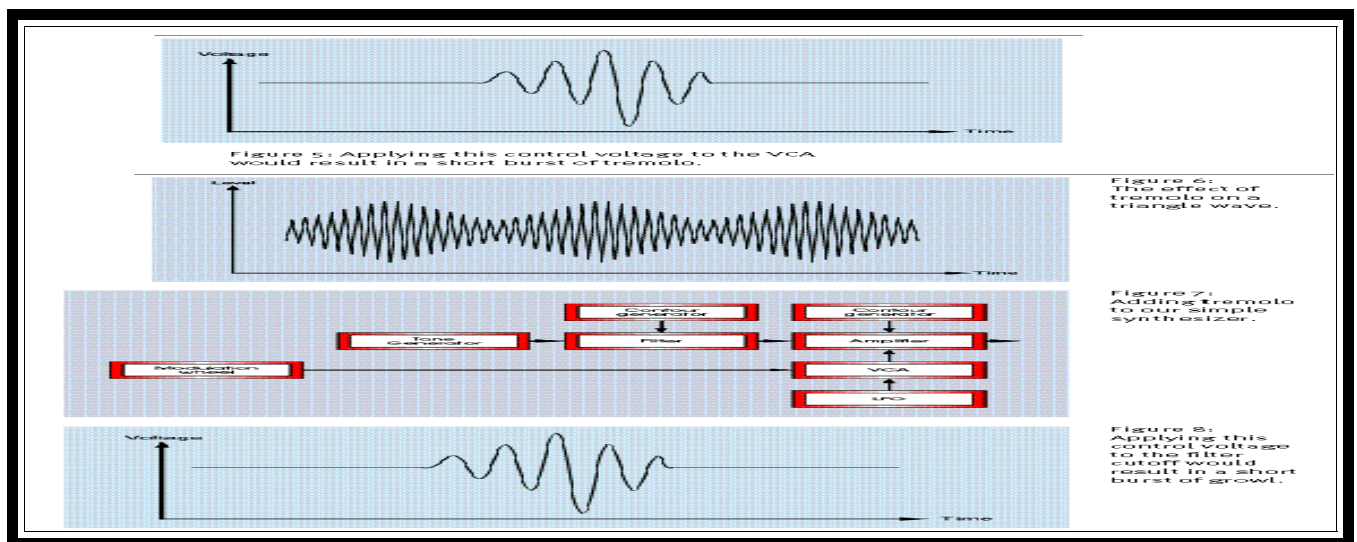


Figura 17: Effetto Tremolo su un'onda Triangolare

In questo caso, il più semplice e descrittivo, lo spettro sarà composto dalla frequenza **fc** della sinusoide portante, e da due **sidebands**, a frequenze somma e differenza, ossia **fc+fm** e **fc-fm**. La modulazione di ampiezza non deve limitarsi al caso preso in esame, in quanto è possibile modulare in ampiezza una qualsiasi forma d'onda con qualsiasi forma d'onda. I risultati saranno imprevedibili, inusuali, e soprattutto musicalmente molto interessanti.

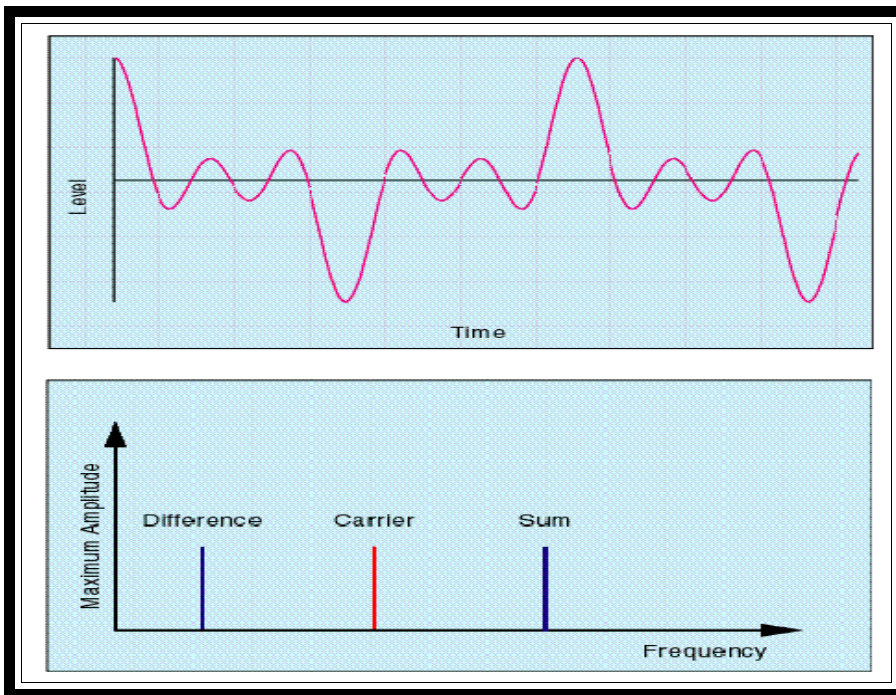


Figura 18: Modulazione d'Amplitude (AM) fra due sinusoidi.

Il Low Frequency Oscillator modula il VCO: vibrato o FM.

Quando la destinazione della modulazione periodica da parte di un LFO è il pitch (frequenza di oscillazione) di un VCO, si parla di effetto **vibrato**. Il vibrato è classico di strumenti quali chitarra o violino, ed è rappresentato in figura 18.

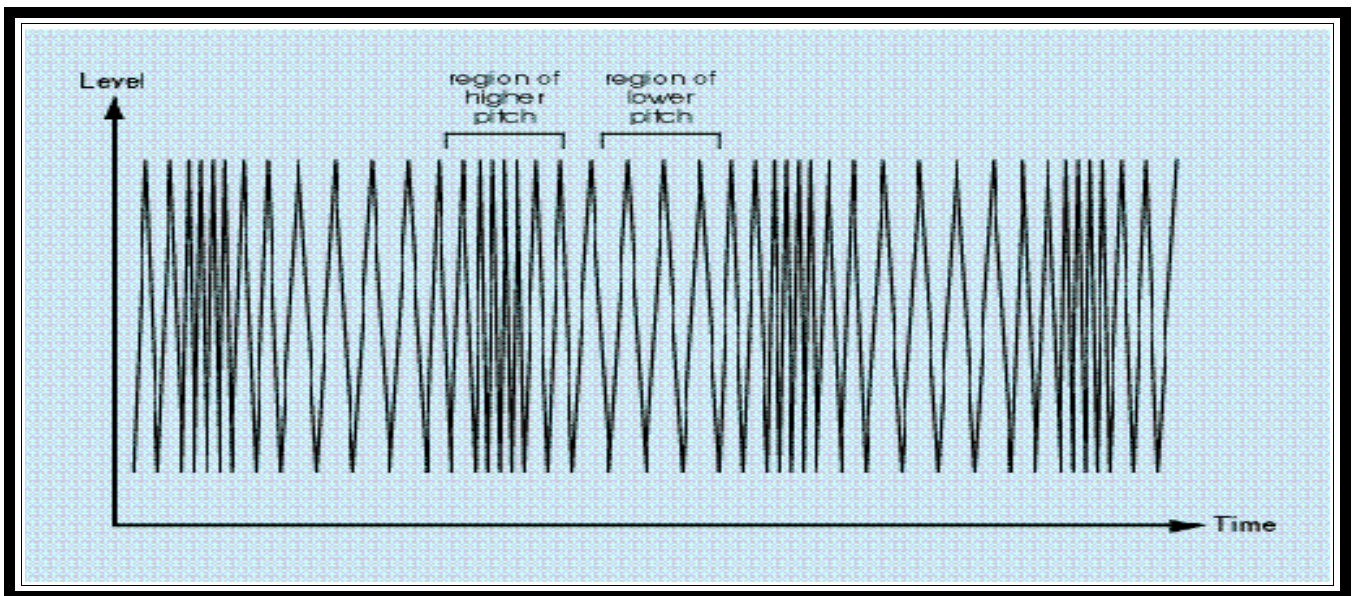


Figura 19: Effetto vibrato su di un'onda triangolare.

Quando la frequenza dell'LFO supera i 20 Hz, entrando in banda audio, l'effetto tremolo non si percepisce più in quanto tale, nascendo delle frequenze spurie non appartenenti al segnale modulato di partenza. La modulazione della frequenza di un VCO da parte di un altro VCO con frequenze in banda audio, prende il nome di Frequency Modulation (FM). Le frequenze spurie vengono dette sidebands, e la loro frequenza e ampiezza dipende dalla frequenza e dall'ampiezza dell'oscillatore modulante. Le sidebands in questo caso sono infinite, e la loro determinazione necessita di nozioni di matematica superiore (funzioni di Bessel del primo ordine) che esulano dagli scopi di questo

corso. Una trattazione più approfondita e abbordabile della sintesi FM si può trovare all'interno della serie di articoli Synth Secrets della rivista Sound on Sound (Synth Secrets 10, 11, 12) oppure nella serie EazySynthesis della rivista Cubase Magazine. Naturalmente la rete è una riserva infinita di informazioni in merito a questo e virtualmente qualsiasi argomento.

Il Low Frequency Oscillator modula il VCF.

Per ottenere un effetto wha-wha automatico, è possibile patchare l'LFO alla frequenza di taglio di un filtro LP o, meglio, BP. Questo implica che la frequenza di taglio oscillerà attorno al valore imposto dal controllo a potenziometro frequency, con escursioni date dall'ampiezza massima (modulation depth) dell'LFO. In

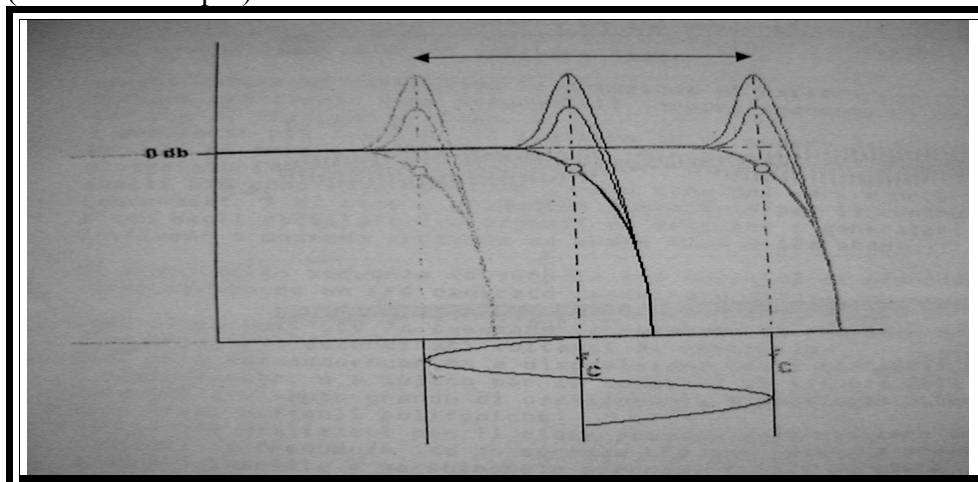


Figura 20: Effetto della modulazione del filtro da parte di un LFO sinusoidale.

Altri Moduli

Gli Analog Sequencer

I sequencer analogici sono gli antenati degli odierni software midi come Logic, Cubase SX, Digital Performer. Erano già utilizzati nella musica elettronica di ricerca negli anni '50, ma ebbero un enorme successo nel pop elettronico più avanzato, con gruppi come i Kraftwerk.

I sequencer analogici, detti anche step-sequencer, permettono la creazione di sequenze ritmiche e melodiche, dunque sequenze di segnali di trigger/gate e CV per il controllo del pitch, che si ripetono in loop, secondo un tempo metronomico scandito da un LFO, definito appunto **clock**.

I sequencer più semplici si limitano ad un numero massimo di 8 step, e sono detti **arpeggiatori**. Quelli più complessi sono dotati anche di 128 step, e per ogni step hanno un tasto on/off per la generazione o meno di un trigger (utilizzato per l'apertura di un inviluppo) e uno o più potenziometri per impostare messaggi CV, per il controllo del pitch degli oscillatori, dando la possibilità di creare sequenze complesse di note.

Il clock è un onda quadra, ed ogni ciclo dell'onda (fronte in salita) fa aumentare di uno step la sequenza. Utilizzando in parallelo più oscillatori, è possibile ottenere una sorta di polifonia a più voci, e dunque accordi. Molto interessante è la modulazione della frequenza dell'LFO di clock, attraverso altri LFO, per ottenere sequenze inusuali, o più semplicemente sincronizzare più macchine ad un clock esterno.

L'Envelope Follower

L'**Envelope Follower** è spesso associato all'external input, in quanto rende possibile ricavare l'**inviluppo** di un qualunque segnale in ingresso (chitarra, basso, voce, altro synth, nastro magnetico...), infatti è detto **inseguitore di inviluppo**, e dall'inviluppo può ricavare, previa impostazione di una **threshold**, dei segnali di **trigger/gate**. L'inviluppo e i gate così ricavati

possono essere applicati ai suoni generati all'interno del sintetizzatore, allargando enormemente le possibilità di modulazione della macchina.

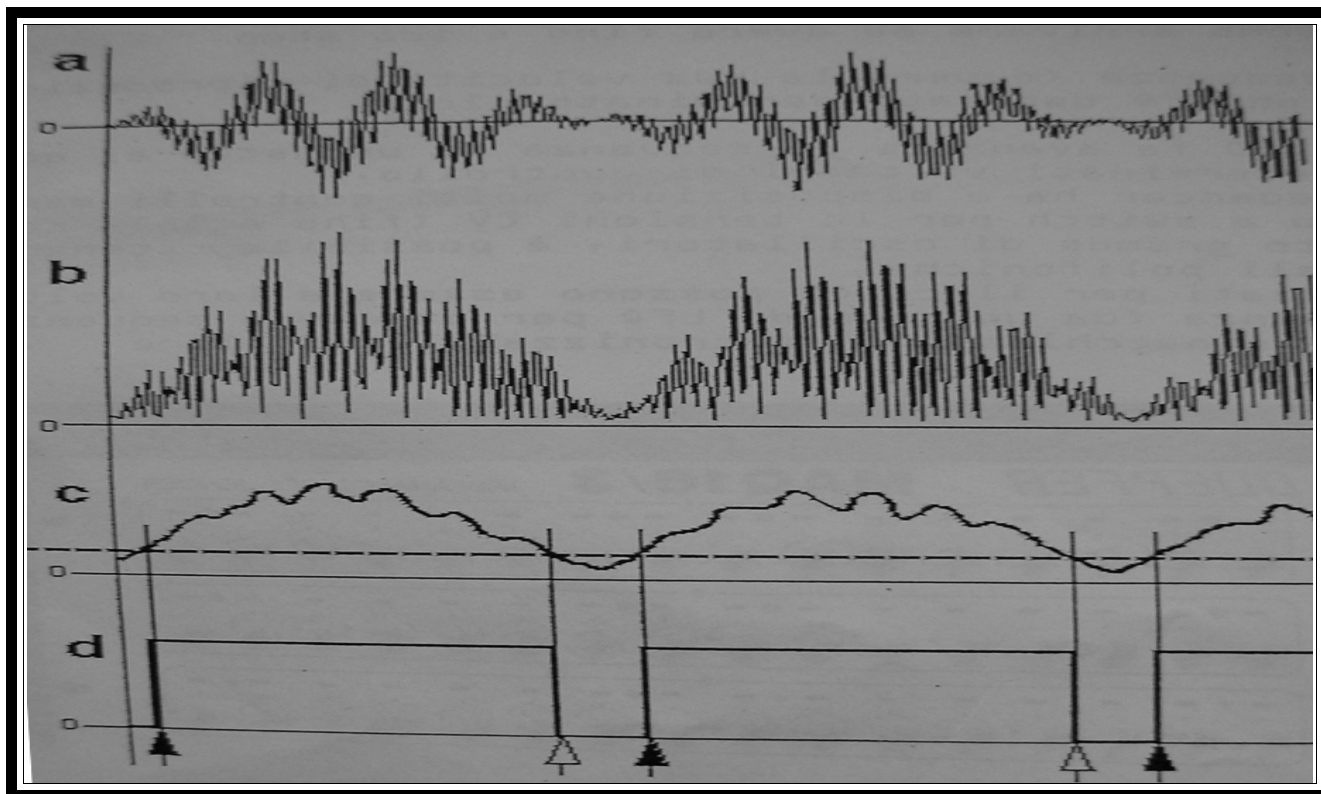


Figura 21: Operazioni eseguite sul segnale in ingresso da un Envelope Follower.

In figura sono rappresentate schematicamente le operazioni che il modulo deve compiere per ottenere un inviluppo, dapprima, e i segnali di gate/trigger, successivamente all'impostazione della soglia:

1. Il segnale originale è portato a livello di linea dal preamplificatore dell'external input.
2. Il segnale originale è **rettificato a doppia semionda** (vedi ponte di diodi), in modo da ottenere un segnale con valore medio non nullo.
3. L'**inviluppo** (che coincide con il valore medio del segnale) è ottenuto filtrando passa-basso il segnale raddrizzato, con una frequenza di taglio pari all'incirca a 50Hz (si ricordi che il valore medio di un segnale è la sua armonica a frequenza nulla...)
4. L'inviluppo ottenuto, congiuntamente all'impostazione di una **threshold**, rende possibile la generazione di segnali di **trigger/gate**: quando la soglia è superata dall'inviluppo si genera un segnale di gate, e dunque di trigger come fronte in salita del gate, quando si scende sotto la soglia, si genera la chiusura del gate. Si tenga presente che una soglia troppo bassa genera un gate sempre aperto, al contrario, una soglia troppo alta non rendere possibile l'apertura del gate.

Il Vocoder (Voice Coder)

Il **Vocoder** fu inventato negli Usa negli anni '40, per applicazioni radiofoniche e telefoniche in ambito militare. Fu successivamente sfruttato, e lo è ancora ampiamente, in maniera più o meno opportuna, e con esiti diversi, in tutta la musica pop, electro-pop e dance elettronica.

Il Vocoder è uno strumento che implementa una particolare tecnica di sintesi, che sfrutta gli inviluppi di ampiezza di un certo numero di bande del segnale modulante (**modulator**), per modulare in ampiezza le medesime bande di frequenza di un segnale esterno (**carrier**).

Normalmente il segnale modulante è la voce, quello esterno è un sintetizzatore. Classico è l'utilizzo

che ne hanno fatto i Kraftwerk, che hanno anche partecipato attivamente agli sviluppi della macchina, con le loro voci robotiche.

Il dispositivo può essere suddiviso in due parti complementari:

- **Sezione di Analisi:** il segnale in ingresso a questa sezione è separato in bande da un banco di filtri (un LP, 13 BP, un HP, generalmente). L'uscita di ogni filtro entra in un Envelope Follower, generando così l'informazione di inviluppo per quella particolare banda del segnale. L'ingresso della sezione di analisi è detto **speech-in** (normalmente e storicamente in ingresso si manda la voce), **modulator-in**, **signal-in**. Le uscite della sezione d'analisi sono 13 inviluppi, più un'uscita audio, detta **HighPass-Out**, della quale vedremo più avanti gli utilizzi.
- **Sezione di Sintesi:** nella sezione di sintesi è implementato lo stesso banco di filtri della sezione d'analisi, che riceve in ingresso un segnale, detto **carrier** o **instrument**, e lo divide nelle stesse bande in cui era stato diviso il segnale in analisi. L'uscita di ogni filtro entra in un VCA (ne avremo perciò altrettanti, 13 nel nostro caso), pilotato dall'inviluppo ottenuto nella sezione d'analisi per la stessa banda del corrispondente filtro.
- **Output:** le uscite dei 13 VCA sono sommate, ottenendo l'output del dispositivo. Per compensare la perdita di chiarezza e definizione dovuta ad una sensibile attenuazione delle 'z' e delle 's', all'out dei 13 VCA si somma l'uscita HighPass non processata.

Si ottiene pertanto il pitch del carrier (un synth, ad esempio) modulato in ampiezza, in maniera spettrale, in altre parole con inviluppi diversi in relazione alle diverse bande in cui è scomposto il segnale, secondo informazioni derivate da un segnale modulante, classicamente la voce.

Maggiore è il numero delle bande in cui è scomposto il segnale in fase di analisi, migliore è la qualità dell'effetto. Le bande possono essere configurate come segue:

- **LP** **100Hz**
- **BP1** **120Hz**
- **BP2** **160Hz**
- **BP3** **230Hz**
- **BP4** **330Hz**
- **BP5** **500Hz**
- **BP6** **750**
- **BP7** **1.1KHz**
- **BP8** **1.3KHz**
- **BP9** **1.6KHz**
- **BP10** **2.3KHz**
- **BP11** **3.3KHz**
- **BP12** **5KHz**
- **BP13** **7.5KHz**
- **HP** **10KHz**

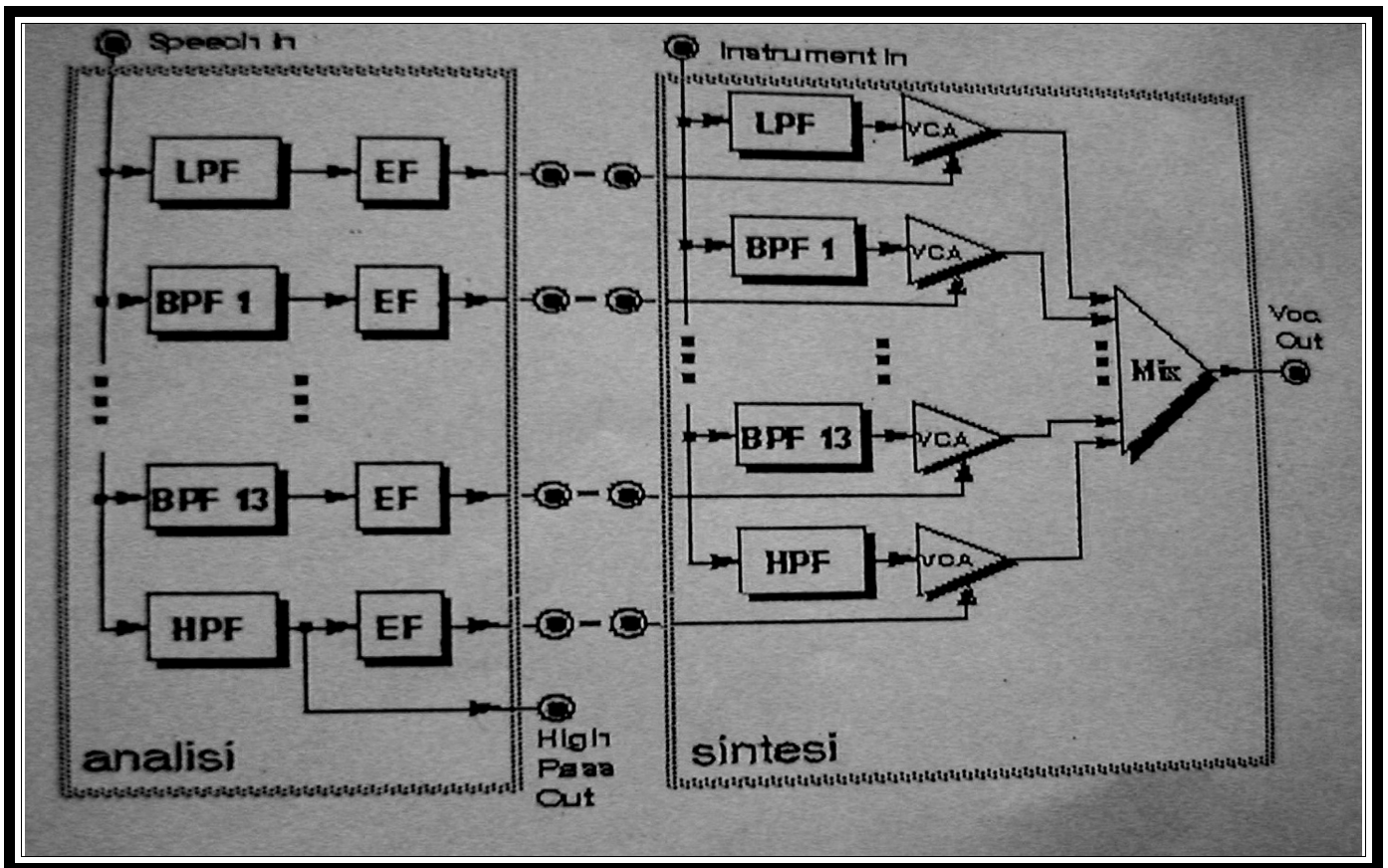


Figura 22: Schema a Blocchi di un Vocoder.