

SYNTEZA SUBTRAKTYWNA



Synteza subtraktywna

- Synteza **subtraktywna** – od łac. *subtractio* – odejmowanie (nie: „substraktywna”).
- Polega na generowaniu „surowych” sygnałów harmonicznyc*h* i na ich „obrabianiu” poprzez kształtowanie brzmienia.
- **Pierwsza** komercyjnie wykorzystana metoda syntezy dźwięku.
- **Podstawowa** metoda stosowana w **analogowych** syntezatorach.
- Stosowana też w **cyfrowych** syntezatorach (programowych i sprzętowych), ale analogowa implementacja daje przyjemne, „ciepłe” brzmienie, kojarzone z tą metodą syntezy.

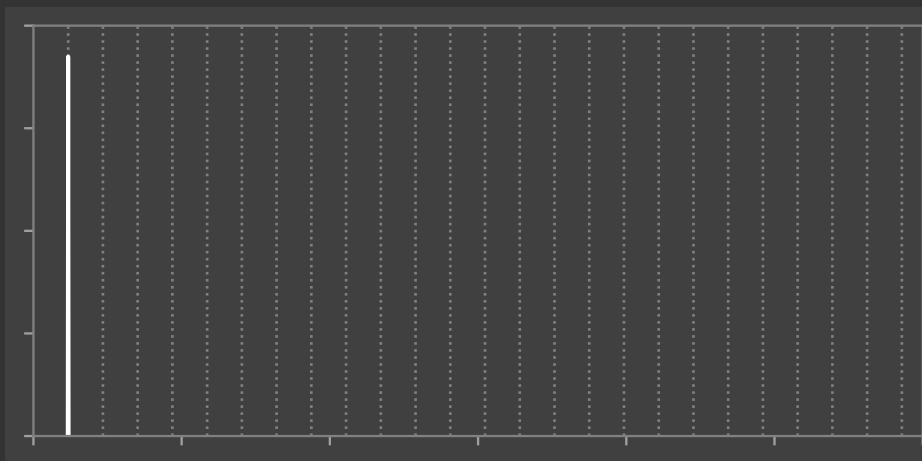
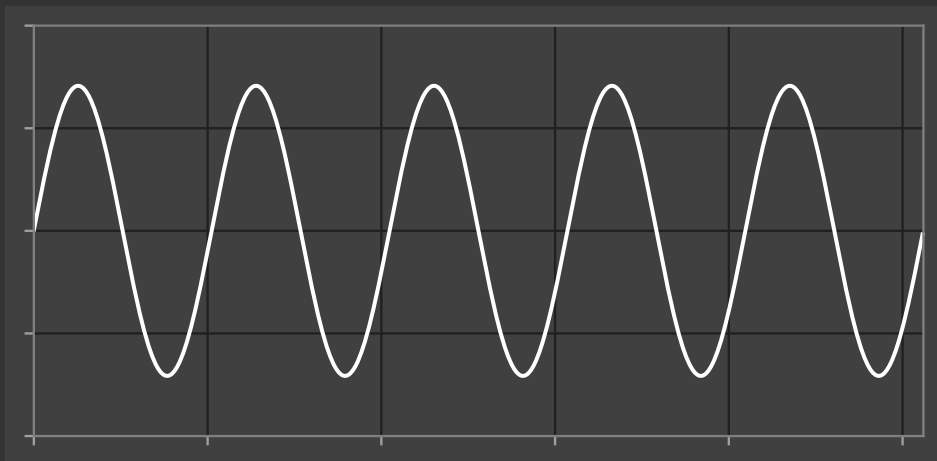
Modularna synteza subtraktywna

- Synteza subtraktywna jest metodą **modularną**.
- Układ syntezy jest złożony z **modułów**. Każdy z nich pełni ściśle określoną funkcję: oscylator, filtr, modulator, itd.
- Moduły mogą być połączone na stałe, mogą być łączone przewodami przez użytkownika, stosuje się też podejście mieszane.
- **Tor sygnałowy** – tworzy dźwięk: generatory, filtry, wzmacniacz.
- **Modulacja** – modyfikacja parametrów modułów w torze sygnałowym w trakcie tworzenia dźwięku, nadaje dźwiękowi „życie” i charakter.



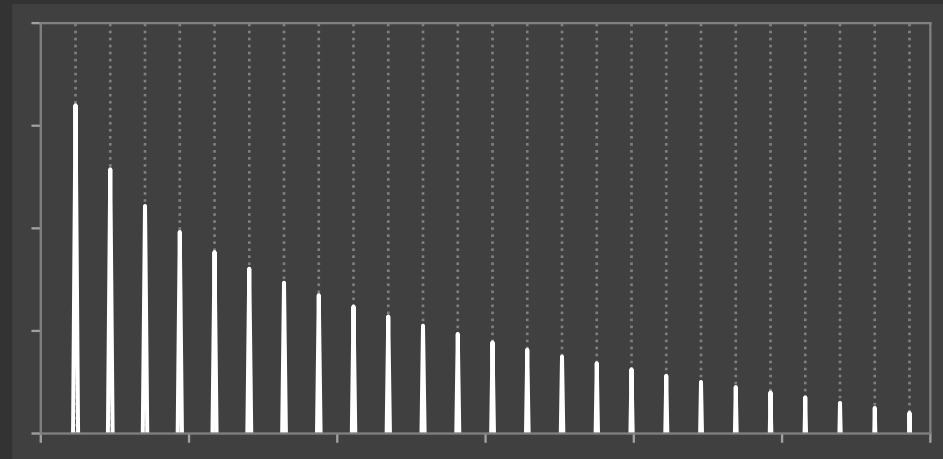
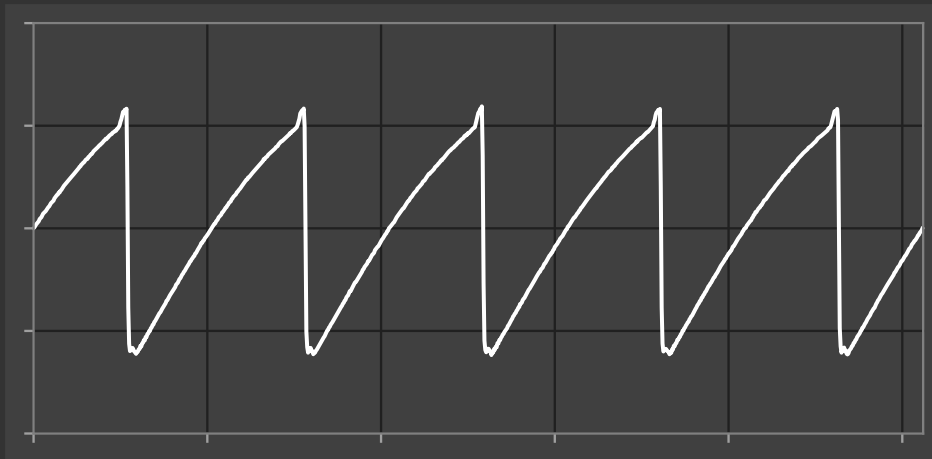
Oscylatory (VCO)

- Melodyczne dźwięki instrumentów muzycznych mają strukturę **harmoniczną**.
- **Oscylator** (*oscillator*) – generator wytwarzający **okresowe** sygnały, nazywane **falami** (*wave*), o strukturze harmonicznej.
- Są to „zgrubne”, nieobrobione sygnały, które są dalej kształtowane przez inne moduły syntezy.
- Sygnał **sinusoidalny** (*sine wave*) jest przykładem fali. Ma tylko jedną (podstawową) składową harmoniczną, więc nie jest zbyt użyteczny w syntezie.



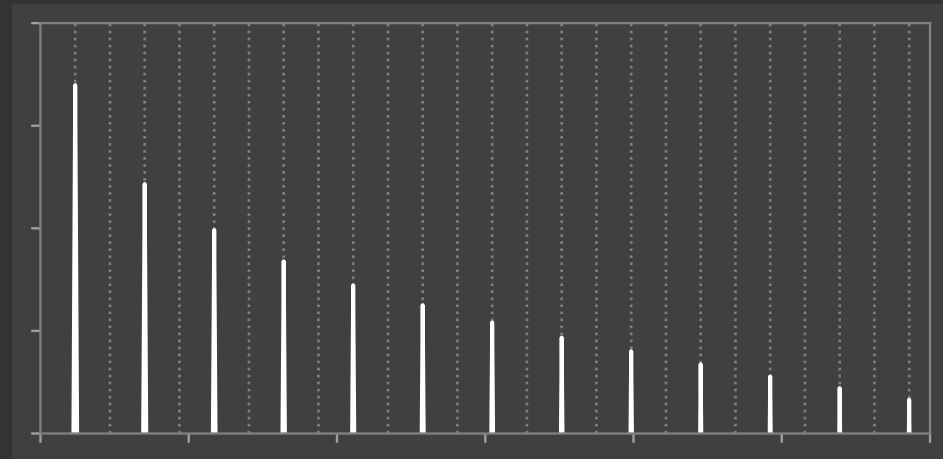
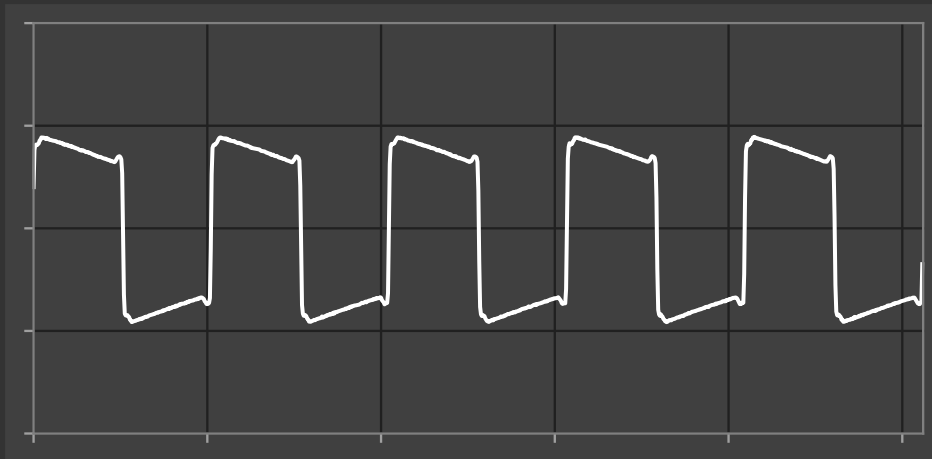
Fala piłokształtna (*sawtooth wave*)

- Narasta (lub opada) liniowo, resetuje się co okres.
- Zawiera wszystkie składowe harmoniczne, o amplitudzie ok. $A_N = A_1 / N$.
- Bardzo ostre, jasne brzmienie.
- Nadaje się do syntezy np. dźwięków instrumentów strunowych oraz dętych blaszanych.
- Podstawowa fala w syntezatorze subtraktywnym (jest co „obrabiać”).



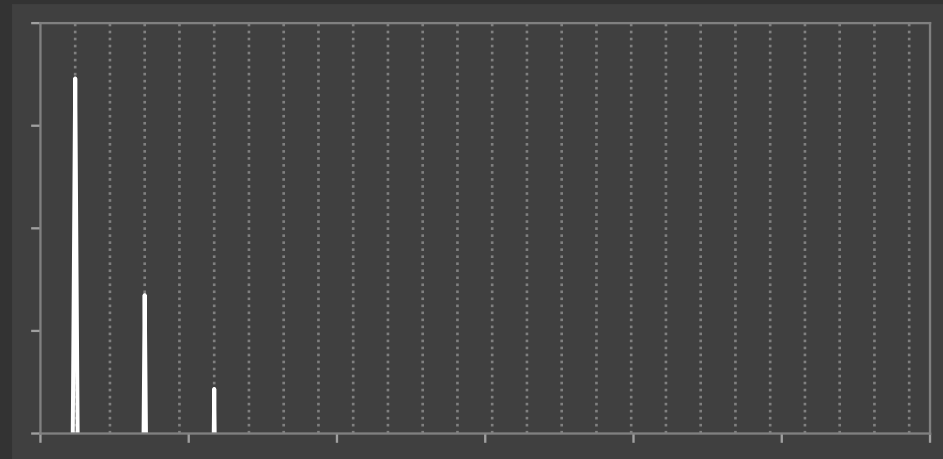
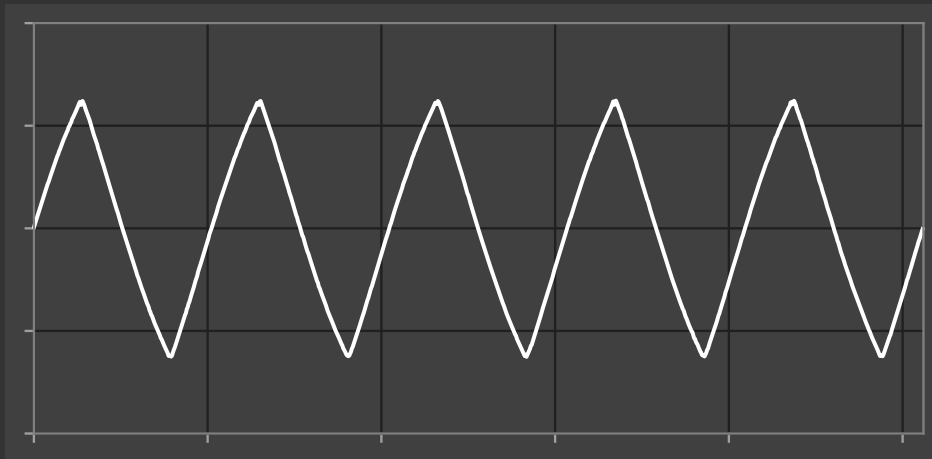
Fala prostokątna („kwadratowa”, *square wave*)

- Sygnał dwustanowy (wysoki/niski), proporcje 50:50.
- Zawiera tylko nieparzyste składowe (1, 3, 5, ...), o amplitudzie ok. $A_N = A_1 / N$.
- Bardziej stłumione, „nosowe” brzmienie.
- Nadaje się do syntezy np. dźwięków niektórych instrumentów dętych drewnianych (np. klarnetu).
- Druga podstawowa fala w synteźatorze subtraktywnym.



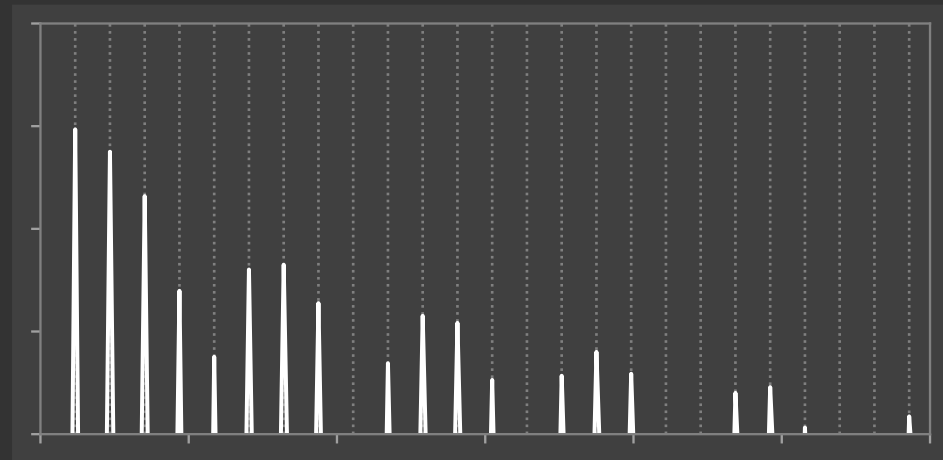
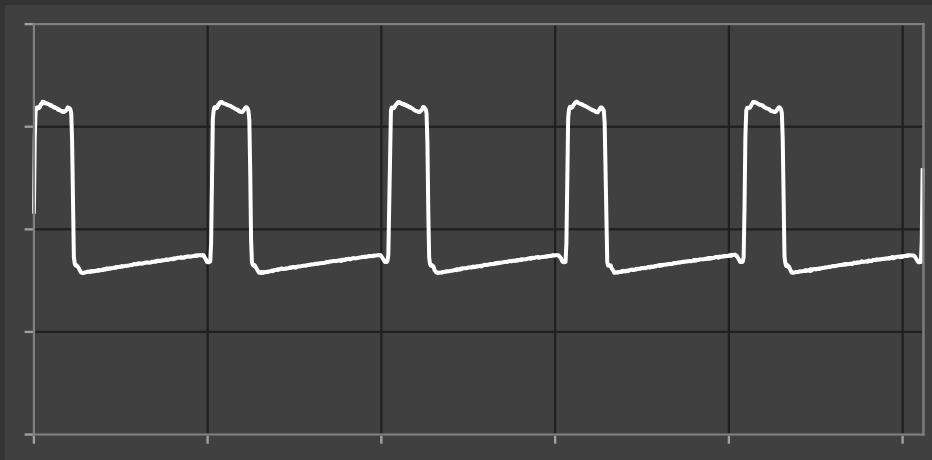
Fala trójkątna (*triangle wave*)

- Sygnał naprzemiennie narasta i opada.
- Zawiera tylko nieparzyste składowe (1, 3, 5, ...), o amplitudzie ok. $A_N = A_1 / N^2$.
- Delikatne, stłumione brzmienie.
- Nadaje się do syntezy np. dźwięku fletu.
- Nie w każdym synteźatorze subtraktywnym jest dostępna.



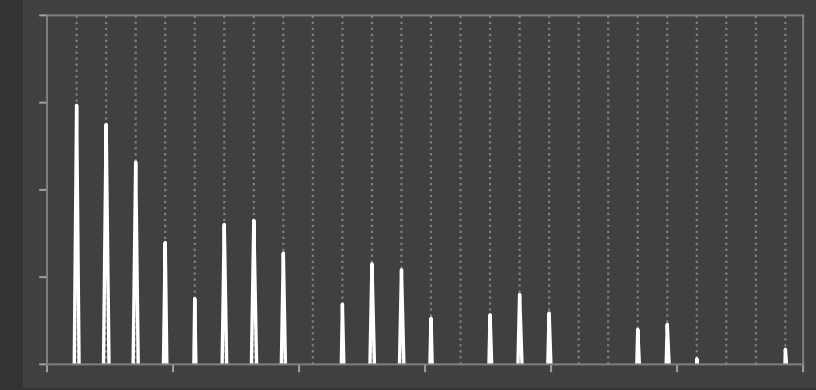
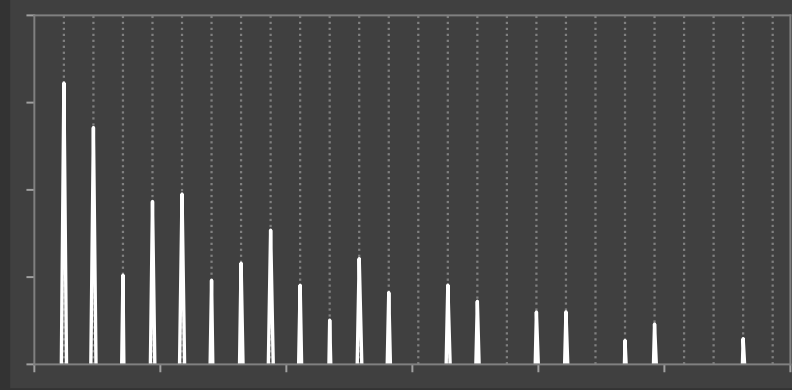
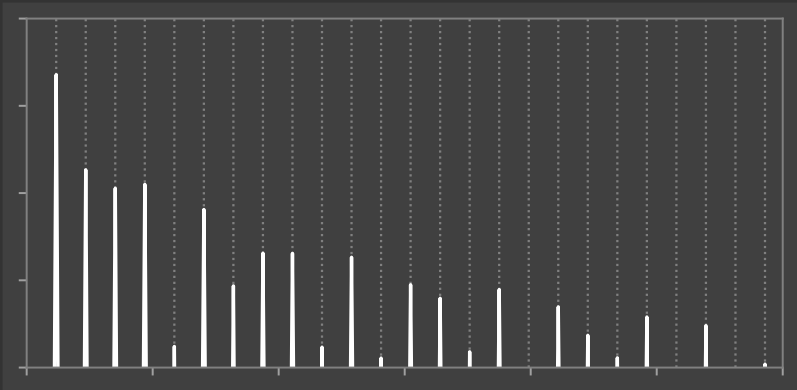
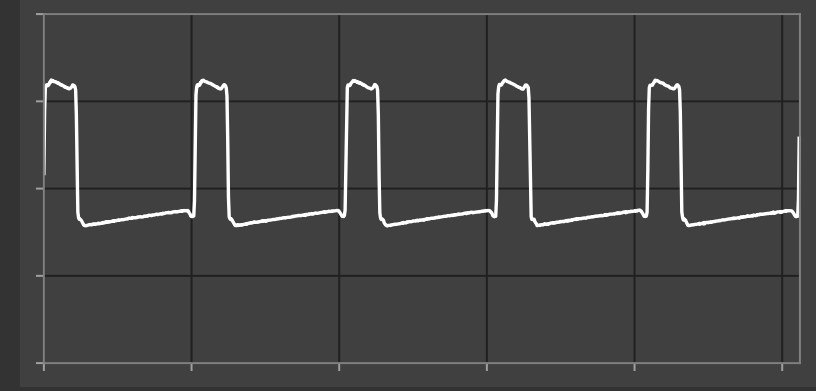
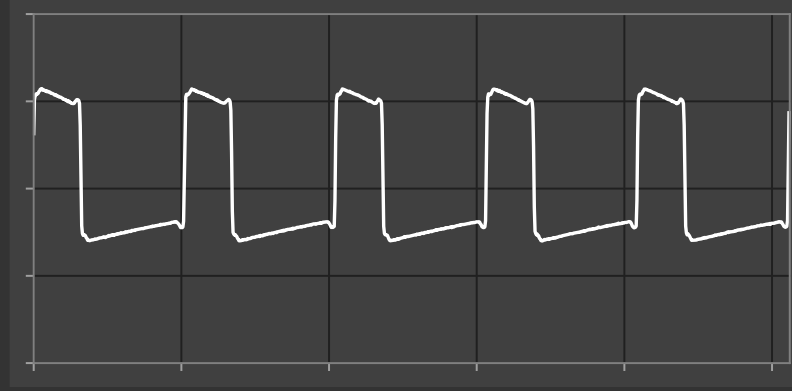
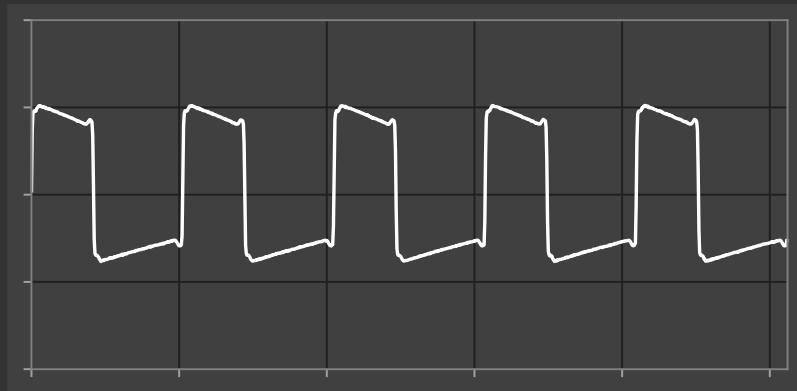
Fala impulsowa (*pulse wave*)

- Tak jak fala prostokątna, ale podział na część „wysoką” i „niską” jest nierówny.
- **Szerokość impulsu** (*pulse width*) – określenie proporcji (współczynnik kształtu).
- Od szerokości impulsu zależy kształt widma (amplitudy harmoniczných), a co za tym idzie, również **brzmienie** dźwięku.
- Fala dostępna w niemal wszystkich syntezatorach, z możliwością modulacji szerokości impulsu.



Fala impulsowa (*pulse wave*)

Porównanie kształtu fali i widma dla różnej szerokości impulsu.



Mikser

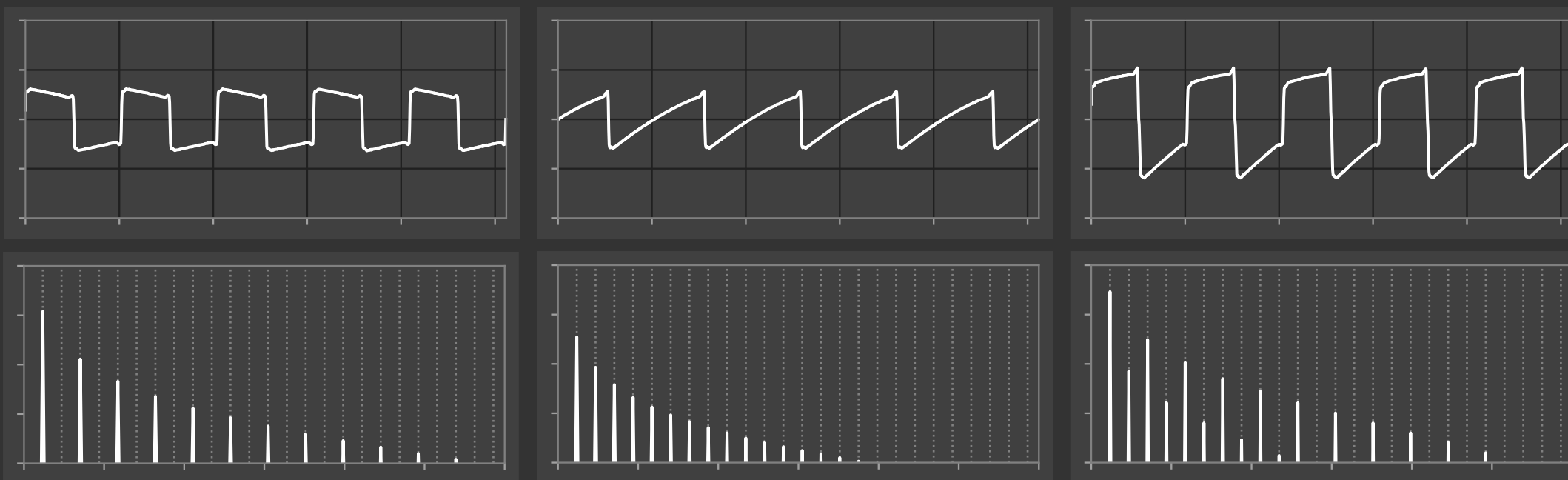
- Istnieją syntezatory z pojedynczym oscylatorem, ale znacznie większe możliwości uzyskamy stosując **kilka oscylatorów** (typowo 2-3).
- **Mikser** (*mixer*) sumuje sygnały z kilku niezależnych źródeł.
- **Amplituda** każdego sygnału może być niezależnie regulowana (proporcje źródeł w miksie).
- Możemy tworzyć nowe kształty fali.
- Oprócz oscylatorów, często stosuje się też **generator szumu** (*noise*), zwykle różowego lub białego – do dźwięków perkusyjnych, efektów dźwiękowych (FX) oraz do wzbogacania brzmienia (gł. dźwięki instrumentów dętych).
- Niektóre monofoniczne syntezatory pozwalają też wprowadzić zewnętrzny sygnał do miksera, poprzez gniazdo.



Sumowanie fal (przykład 1)

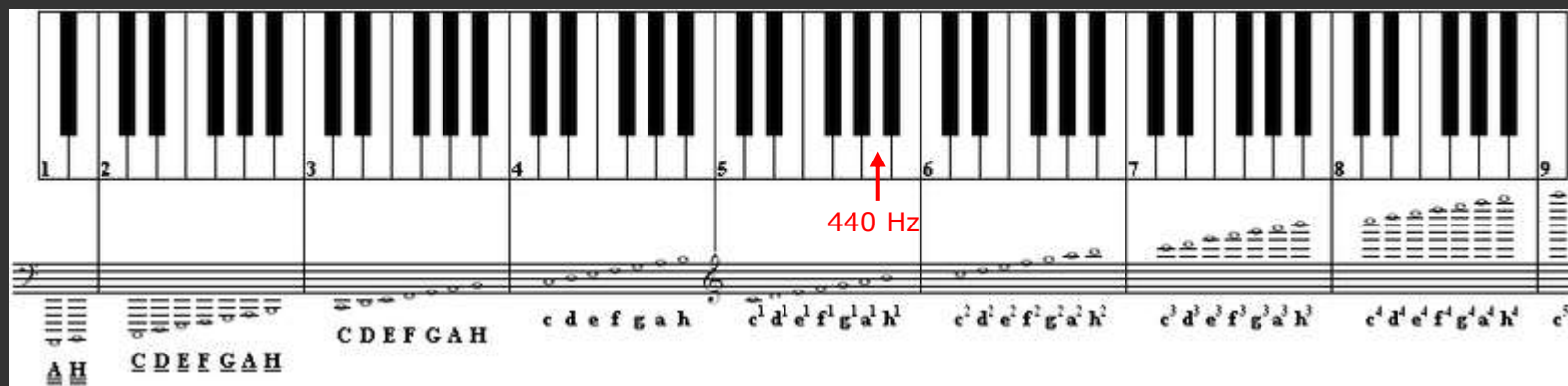
Przykład: suma fali prostokątnej i piłokształtnej, proporcje 60:40.

- Składowe nieparzyste (1, 3, 5, ...): suma składowych obu fal.
- Składowe parzyste (2, 4, 6...) – tylko od fali piłokształtnej, wypełniają „puste miejsca” fali prostokątnej.
- Regulując proporcje sumowania, kształtujemy brzmienie dźwięku.



Wysokość dźwięku a częstotliwość

- **Częstotliwość** fali (*frequency*): odwrotność okresu fali, wyrażana w Hz.
- **Wysokość** dźwięku (*pitch*): położenie dźwięku na skali muzycznej.
- **Strój muzyczny** (*tuning*) – powiązanie wysokości z częstotliwością.
- W syntezatorach standardowo stosowany jest **strój równomiernie temperowany**, w którym dźwiękowi a^1 odpowiada 440 Hz.
- Stosunek częstotliwości dźwięków tej samej klasy wysokości (np. a) w dwóch sąsiednich **oktawach** (np. $a^2 : a^1$) wynosi zawsze 2.



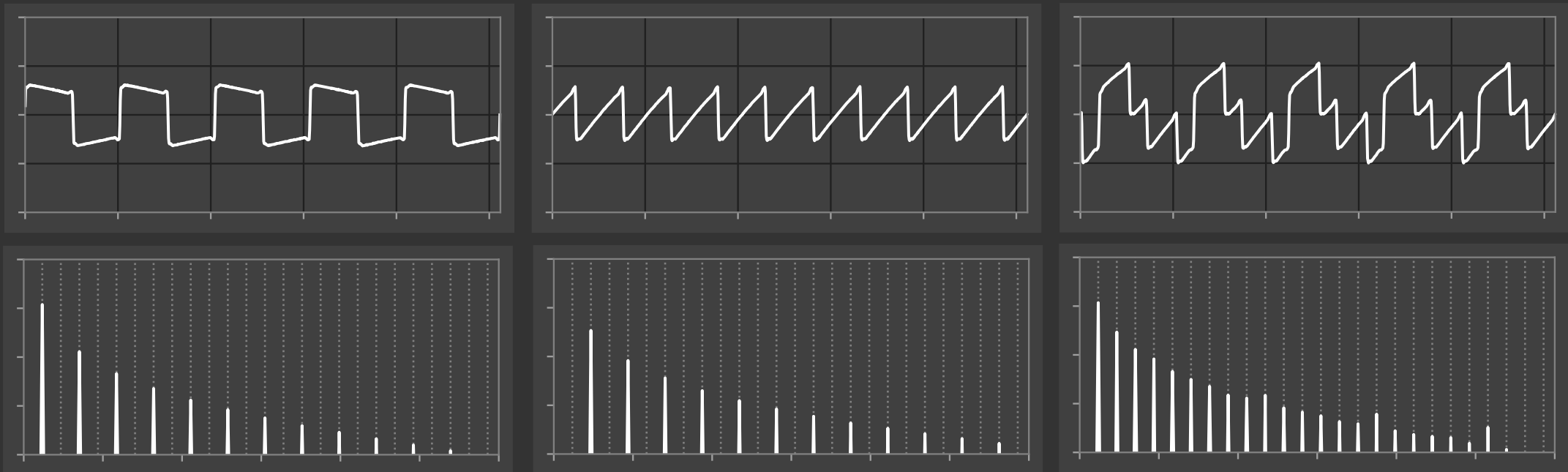
Odstrojenie o oktawy

- **Nominalna** częstotliwość generowanej fali zależy od żądanej wysokości.
- Standardowo: dźwięk *a* w środkowej oktawie klawiatury (lub na prawo od środka) ma nominalną częstotliwość 440 Hz.
- **Odstrojenie** (*detuning*) – zmiana częstotliwości względem nominalnej.
- Syntezatory zwykle pozwalają odstraiać częstotliwość o pełne oktawy (*range*).
- Często stosuje się określenia oktaw zaczerpnięte z piszczałek organowych.
- Długość piszczałki w stopach określa jej wysokość dźwięku (długość fali).
- **8'** = **nominalna** częstotliwość dźwięku.
- **4'** = **podwyższenie** o oktawę (2× większa cz.).
- **16'** = **obniżenie** o oktawę (2× mniejsza cz.).
- Tak samo: 32' (4× mniejsza), 2' (4× większa), itd.



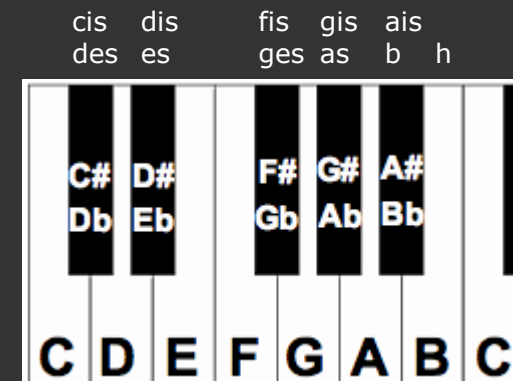
Sumowanie fal (przykład 2)

- Suma fali prostokątnej i piłokształtnej (60:40), ale fala piłokształtna odstrojona o oktawę w górę („4' ”, 2× większa częstotliwość).
- Częstotliwości składowych „piły” wzrastają dwukrotnie (2, 4, 6...).
- Wszystkie składowe „piły” wchodzą na puste miejsca sygnału prostokątnego (składowe obu fal „przenikają się”).



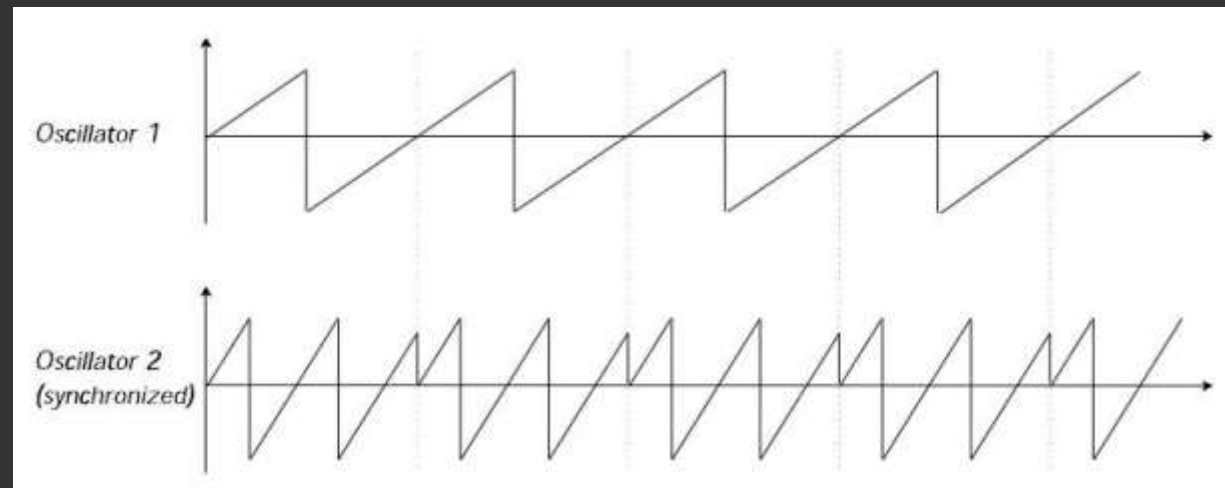
Odstrojenie oscylatorów

- Oktawa dzieli się na 12 **półtonów** (*semitone, half tone*).
- Stosunek częstotliwości dwóch sąsiednich półtonów (np. *cis:c, f:e*) wynosi $\sqrt[12]{2} \approx 1,05946$.
- Półton dzieli się na 100 **centów** (c). 1 cent = stosunek częstotliwości $\sqrt[1200]{2}$.
- Syntezatory pozwalają często odstraiać oscylatory o centy, czasami o półtony.
- Lekkie odstojenie dwóch oscylatorów (< 20 c) daje efekt **zdudnienia** dźwięku, wzbogaca brzmienie (wrażenie zwielokrotnienia dźwięku).
- Stosuje się też odstojenie o **interwały** muzyczne, np. kwartę (5 półtonów, 500 c) lub kwintę (7 półtonów, 700 c).



Synchronizacja oscylatorów

- Sygnały z dwóch oscylatorów nie są zwykle zgodne w fazie, co powoduje modulację amplitudy (nie zawsze pożądaną).
- Opcja **synchronizacji** (*sync*) zapewnia **zgodność fazy** obu oscylatorów.
- Gdy OSC1 zaczyna nowy okres, faza OSC2 jest zerowana.
- Często wykorzystuje się ten efekt zwiększając częstotliwość OSC2 względem OSC1 – resetowanie fazy powoduje powstanie nowego kształtu fali, a więc modyfikację brzmienia. Częstotliwości pozostają zgodne.



Modulacja oscylatorów

Inne sposoby wykorzystania dwóch oscylatorów:

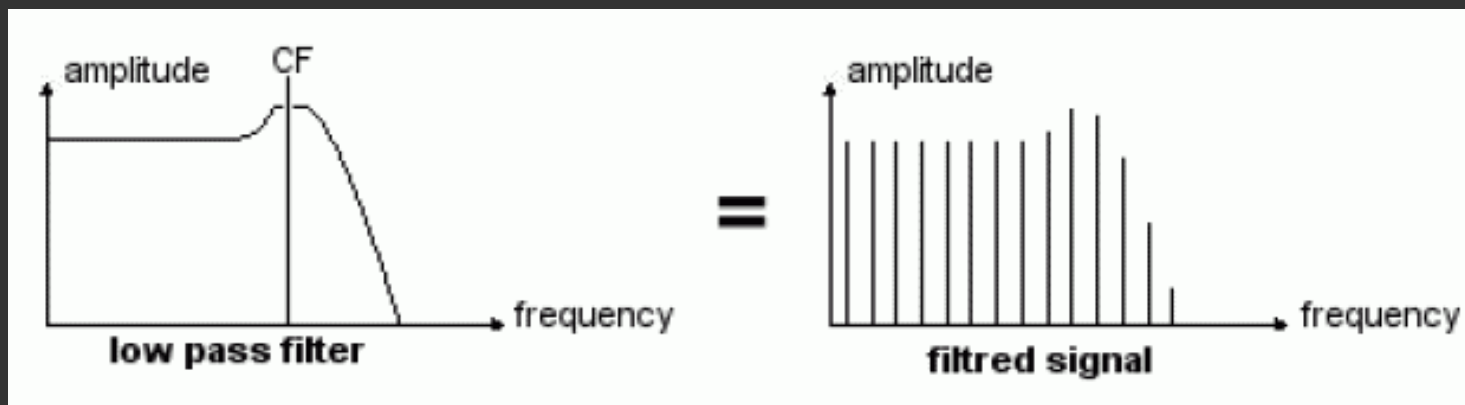
- **modulacja kołowa** (*ring modulation*)
 - mnożenie sygnałów z dwóch oscylatorów (czasem oscylatora przez sinus),
 - tworzy sygnały o nieharmonicznym widmie,
 - zastosowanie: dźwięki dzwonów, efekty dźwiękowe;
- **modulacja skrośna** (*cross modulation*)
 - chwilowa częstotliwość OSC2 jest zmieniana (modulowana) przez sygnał z OSC1 (modulacja częstotliwości),
 - tworzy sygnały o bogatym, zazwyczaj nieharmonicznym widmie,
 - zastosowanie: podobnie do modulacji kołowej (dzwony, efekty).

Oscylator podharmonicznej (*subharmonic oscillator*)

- Zazwyczaj dodatkowy oscylator, obok podstawowych.
- Dodaje **podharmoniczną** składową na częstotliwości o oktawę lub dwie oktawy poniżej częstotliwości podstawowej.
- Stosowany, aby dodać „basu” do dźwięku.
- Nie wpływa na wysokość generowanego dźwięku (obniżony dźwięk jest dodawany do podstawowego, harmonicznego dźwięku).
- Może też wzmocnić składową podstawową (ta sama wysokość dźwięku).
- Często uproszczony oscylator - tylko sinus, czasem też fala prostokątna.

Filtr (VCF)

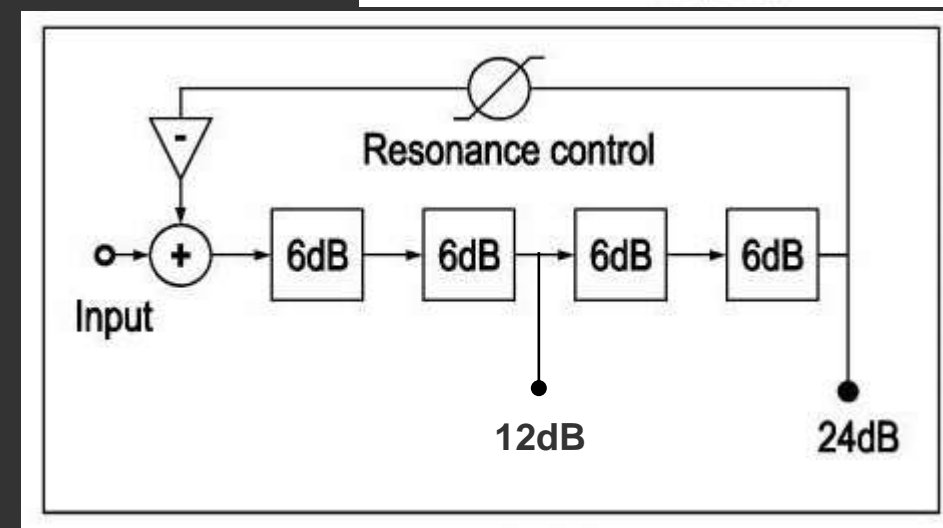
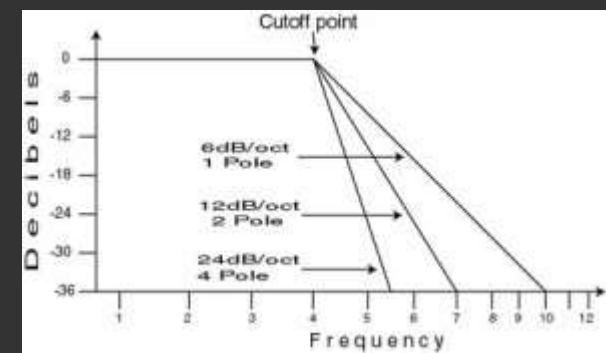
- Sygnał uzyskany z miksera jest zwykle zbyt ostry, ma za dużo składowych.
- Zadaniem **filtru** (*filter*) jest kształtowanie widma sygnału (brzmienia dźwięku).
- Filtr odpowiada za „subtrakcję”, zgodnie z nazwą metody.
- Najczęściej stosowany jest filtr **dolnoprzepustowy** (*lowpass filter*):
 - przepuszcza składowe widmowe poniżej częstotliwości granicznej (*cutoff frequency*),
 - **tłumi** (nie usuwa!) składowe powyżej częstotliwości granicznej.



Filtr „**otwarty**” (*open*)
- przepuszcza większość widma.
Filtr „**zamknięty**” (*closed*)
- tłumi większość widma.

Filtry w syntezatorach

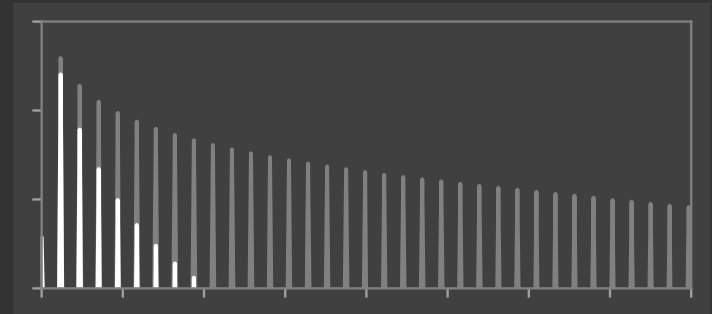
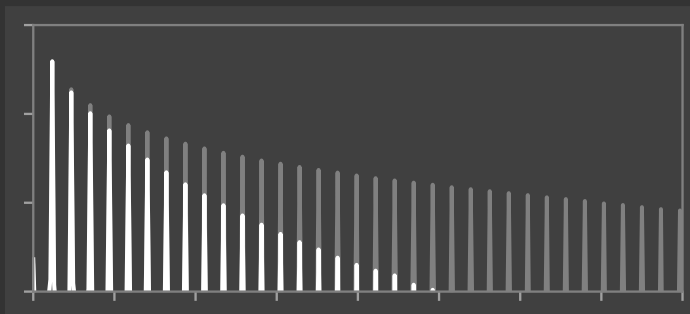
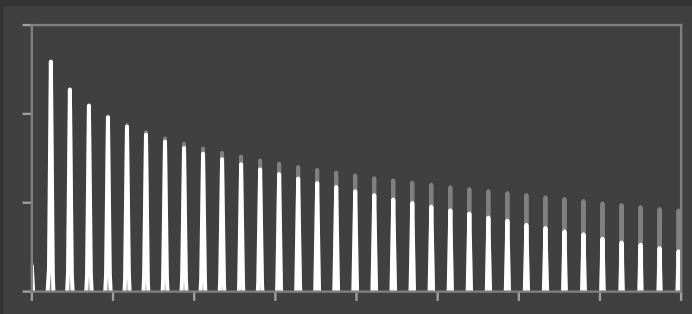
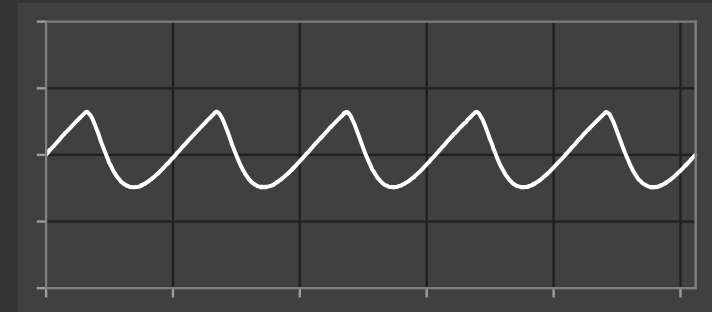
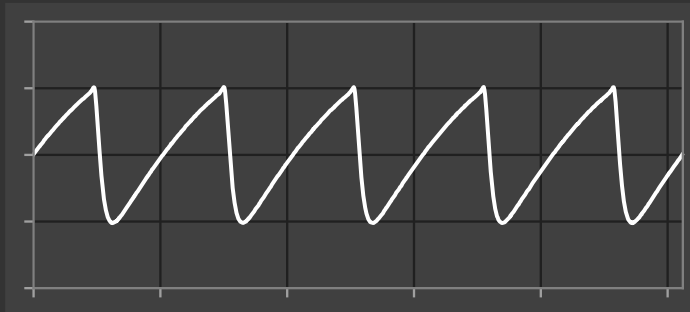
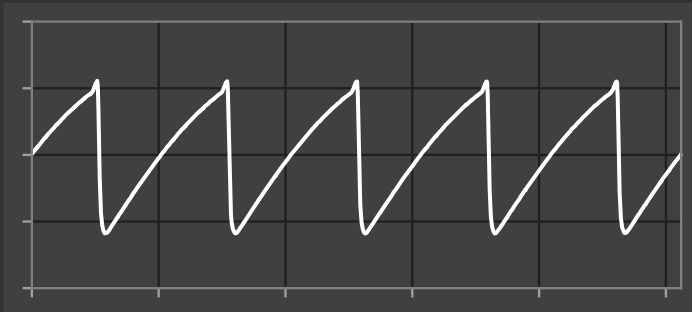
- Powyżej częstotliwości granicznej, składowe są stopniowo tłumione.
- Klasyczne filtry dolnoprzepustowe stosowane w syntezatorach są szeregowym połączeniem kilku identycznych sekcji filtracji dolnoprzepustowej.
- Jedna sekcja daje **tłumienie** (*slope*) 6 dB na oktawę (na podwojenie częstotliwości), np.:
1 kHz : -3 dB 2 kHz: -9 dB 4 kHz: -15 dB.
- Najczęściej stosowane filtry:
 - **dwie** sekcje (*two-pole*): **12 dB**/oktawę,
 - **cztery** sekcje (*four-pole*): **24 dB**/oktawę.
- Albo syntezator ma jeden z tych filtrów, albo oba do wyboru (jeden aktywny).



Przykład filtracji

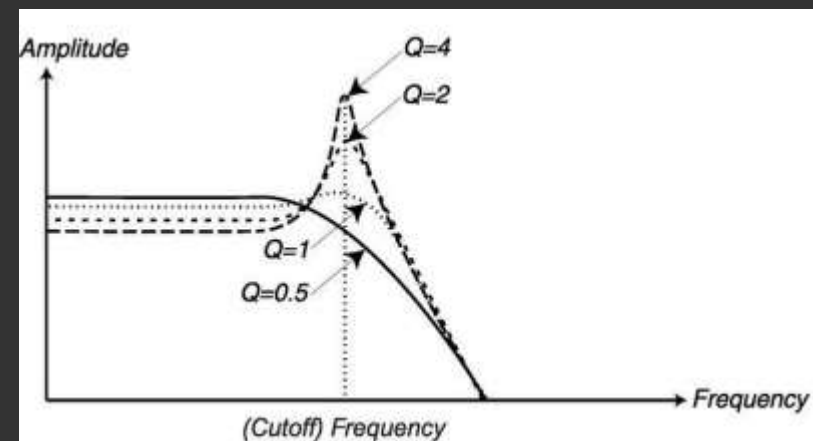
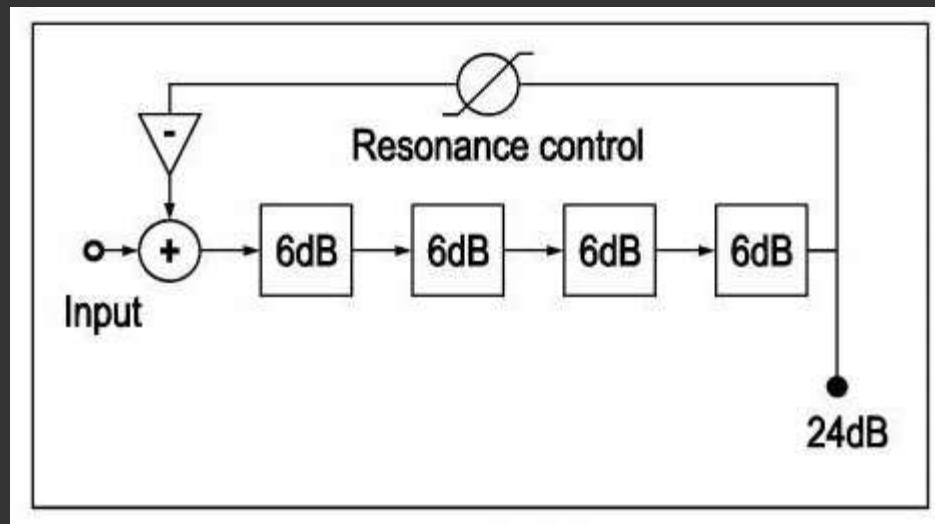
Filtracja sygnału piłokształtnego – zmienna częstotliwość graniczna.

W miarę zmniejszania częstotliwości granicznej, fala traci energię na wyższych częstotliwościach, co powoduje „zaokrąglanie” jej kształtu (gwałtowne zmiany wartości fali = wysokie częstotliwości).



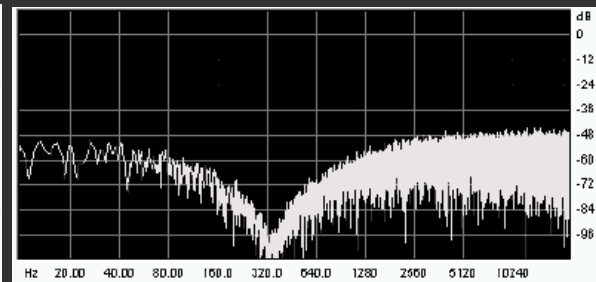
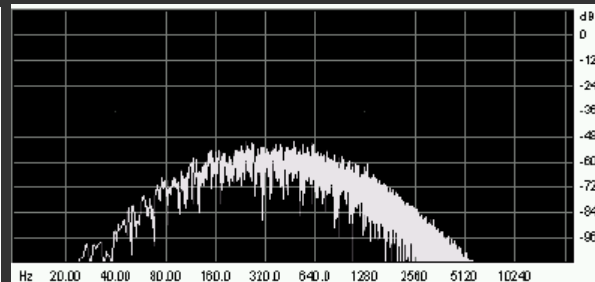
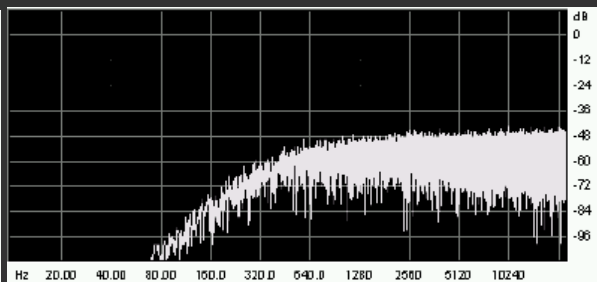
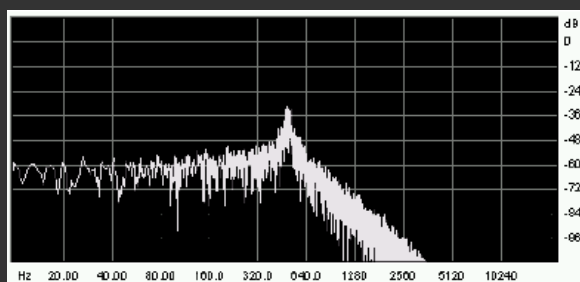
Rezonans filtru

- W filtrach syntezy stosuje się regulowaną pętlę sprzężenia zwrotnego.
- Wprowadza ona **rezonans** (*resonance*, Q) – podbicie składowych widma w okolicach częstotliwości granicznej, stosowane jako celowy efekt.
- Przy bardzo dużym rezonansie, filtr wzbudza się (*self oscillation*), produkując głośny ton – ten efekt również jest wywoływany celowo.
- Ubocznym efektem rezonansu jest utrata energii w paśmie przepustowym filtru (czasami jest to kompensowane).



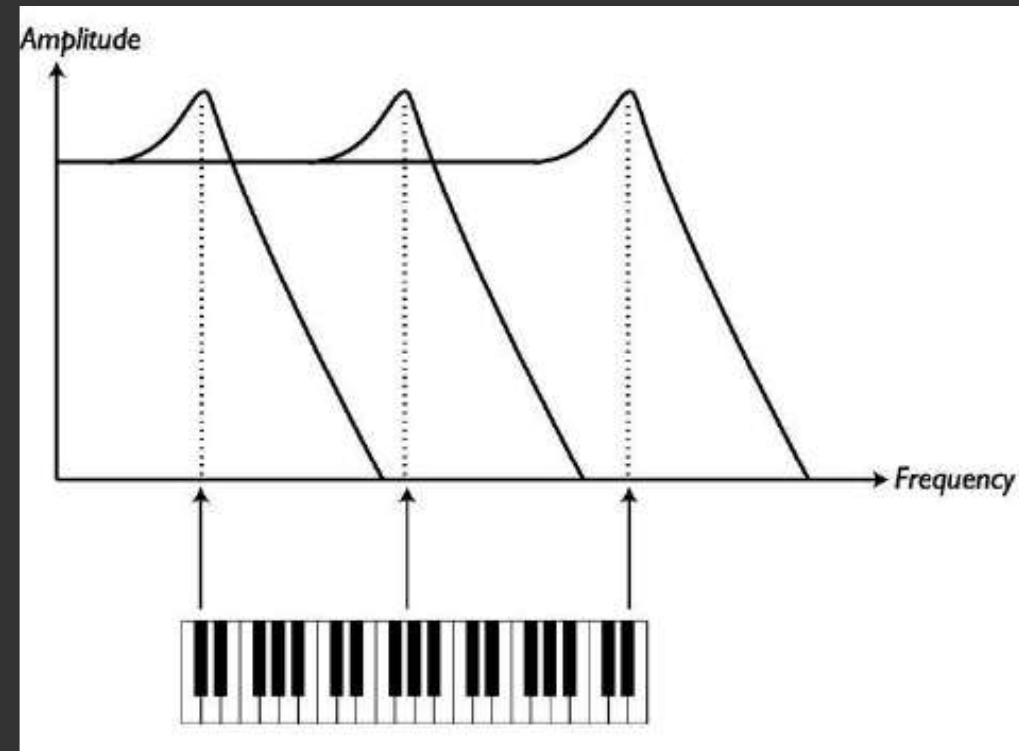
Filtr SVF

- Czasami w syntezatorach stosuje się też inne typy filtrów:
 - górnoprzepustowy (*high pass*),
 - pasmowo-przepustowy (*band pass*),
 - pasmowo-zaporowy (*notch*).
- **SVF** (*state variable filter*) to filtr, który dostarcza jednocześnie cztery charakterystyki filtru (w tym dolnoprzepustowy) na osobnych wyjściach.
- Rezonans jest dostępny.



Śledzenie klawiatury (key tracking)

- Jeżeli ustawimy stałą częstotliwość graniczną filtru, efekt filtracji (wpływ na brzmienie) będzie zależał od częstotliwości (wysokości) dźwięku.
- Funkcja **śledzenia klawiatury** (*keyboard tracking, key follow*) zmienia częstotliwość graniczną filtru zależnie od wysokości dźwięku (od klawisza).
- Dzięki temu, można utrzymać stabilną barwę przefiltrowanego dźwięku, niezależnie od wysokości.
- Stopień podążania za klawiaturą może być regulowany. Można np. ustawić mocniejszą filtrację dla wyższych dźwięków.



Modulacja w synteźatorze subtraktywnym

- Możemy sobie ustawić parametry oscylatorów, miksera i filtru jak chcemy, ale powstały dźwięk będzie zawsze brzmiał jak „elektroniczne organy”.
- Dźwięk będzie statyczny, nudny, bez życia – nic się nie będzie w nim zmieniać.
- Moduły synteźatora mają swoje parametry, np. oscylator – częstotliwość fali, filtr – częstotliwość graniczną, itd.
- Jeżeli będziemy zmieniać wartość parametru w trakcie odgrywania dźwięku (np. kręcąc „gałką”), brzmienie dźwięku będzie ulegało zmianie.
- **Modulacja** w synteźie subtraktywnej jest to zmiana wartości parametrów modułu w trakcie generowania dźwięku – ręcznie (przez muzyka), lub automatycznie (przez inne moduły).
- **Modulacja nadaje dźwiękom synteźatora „życie” i charakter.**

Sterowanie napięciowe

- W syntezatorach analogowych stosowane jest sterowanie napięciowe.
- Wartość parametru modułu (np. częstotliwość oscylatora) jest kontrolowana przez **napięcie sterujące** (*control voltage, CV*), np. -5..5 V, 0..10 V.
- Napięcie sterujące może pochodzić z:
 - klawiatury (styki klawiszy, czujniki *velocity* i *aftertouch*),
 - manipulatorów (pokrętko modulacji, sterowniki nożne),
 - potencjometrów i suwaków na panelu czołowym syntezatora,
 - modułów sterujących (stałe połączenie między modułami),
 - wejść sterujących, do których można doprowadzić napięcie sterujące.



Sterowanie napięciowe

Moduły syntezy subtrakcyjnego **sterowane** napięciowo:

- **VCO** – oscylator sterowany napięciowo (*voltage controlled oscillator*),
- **VCF** – filtr sterowany napięciowo (*voltage controlled filter*),
- **VCA** – wzmacniacz sterowany napięciowo (*voltage controlled amplifier*).

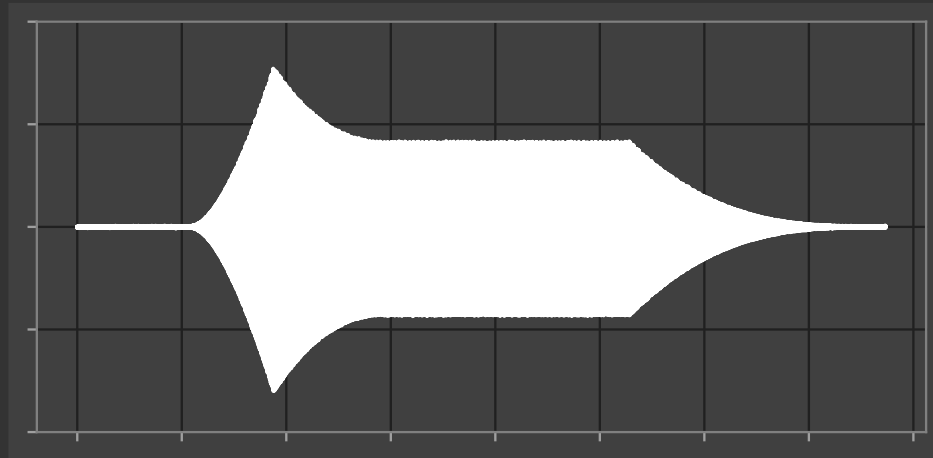
Moduły – modulatory, służące **do sterowania** napięciowego:

- **EG** – generator obwiedni (*envelope generator*),
- **LFO** – generator niskich częstotliwości (*low frequency oscillator*).

We współczesnych analogowych syntezatorach subtrakcyjnych, tor VCO + VCF + VCA jest analogowy, ale EG i LFO są najczęściej cyfrowe (cyfrowy sygnał sterujący jest zamieniany na CV przez przetworniki C/A).

Wzmacniacz (VCA) + generator obwiedni (EG)

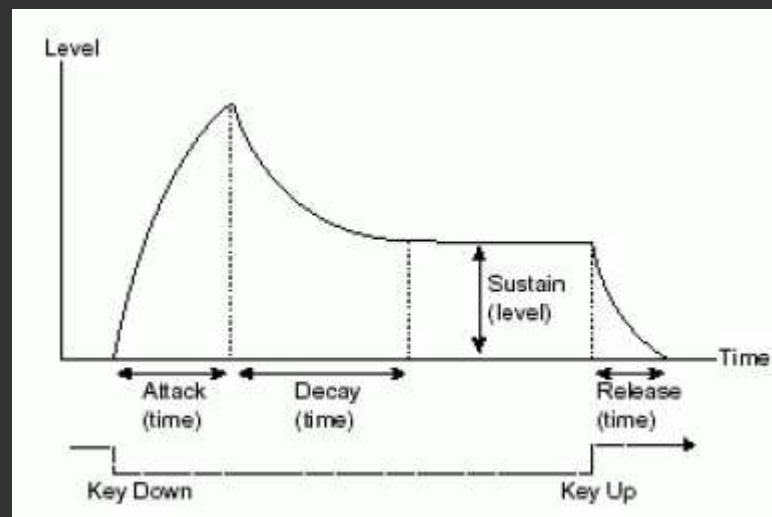
- Wzmacniacz jest ostatnim (wyjściowym) modułem syntezy.
- Praktycznie zawsze jest połączony z **generatorem obwiedni** (*envelope generator*), aby możliwe było kształtowanie **obwiedni czasowej** sygnału.
- EG wewnętrznie steruje napięciowo wzmocnieniem VCO, zgodnie z zadaną funkcją „wzmocnienie vs. czas”.



Parametry VCA + EG

- Wzmocnienie wyjściowe VCO (*master gain*), może być modulowane.
- **A**: czas trwania fazy narastania, ataku (*attack*).
- **D**: czas trwania fazy opadania (*decay*).
- **S**: poziom stanu podtrzymania (*sustain*).
- **R**: czas trwania fazy wybrzmiewania, zwolnienia (*release*).

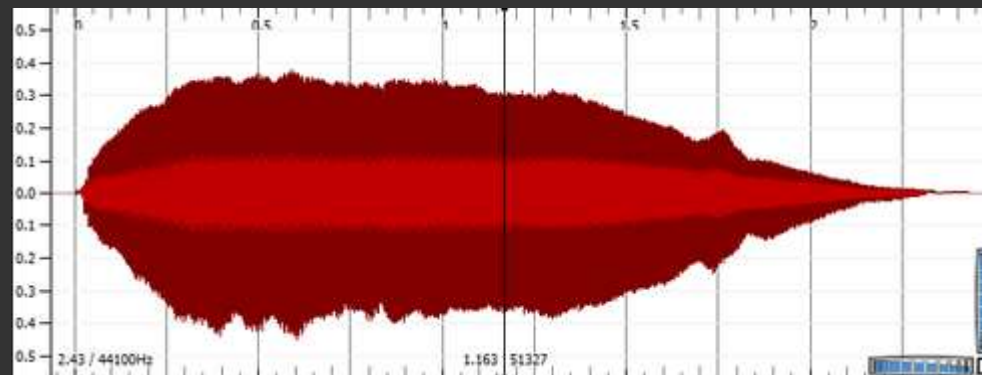
Odcinki obwiedni mogą być:
liniowe, wykładnicze,
logarytmiczne, mieszane.



Praktyczne przykłady obwiedni

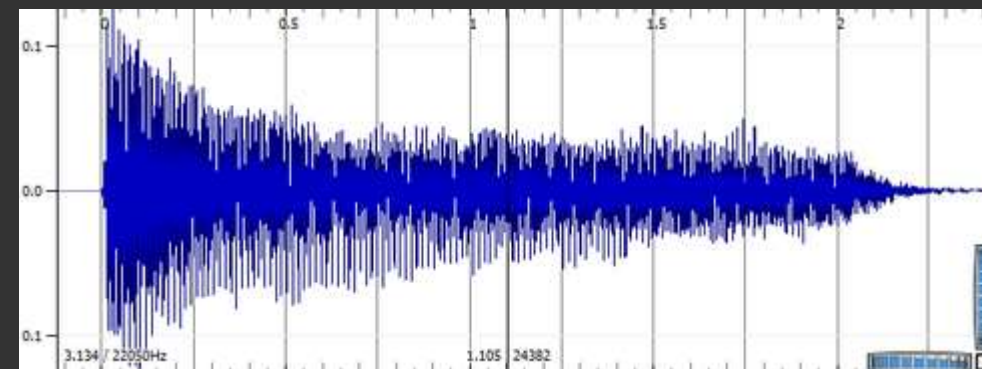
Dźwięk trąbki:

- czasy A, R – wyraźnie zaznaczone,
- czas D – występuje, dość krótki,
- poziom S – poniżej maksymalnego.



Dźwięk pianina:

- czas A – bardzo krótki lub zerowy,
- czas D – bardzo długi,
- poziom S – zerowy lub niski,
- czas R – krótki.



Obwiednia filtru

- W dźwiękach rzeczywistych instrumentów, faza ataku (początkowy transjent) ma decydujący wpływ na brzmienie i charakter instrumentu.
- **Generator obwiedni EG** jest stosowany do modulacji, aby ukształtować brzmienie (widmo) dźwięku **w fazie narastania i zaniku** (A-D).
- Możemy wykorzystać EG do zmiany częstotliwości odcięcia filtru - **obwiednia filtru** (*filter envelope*).
- Wartość obwiedni jest mnożona przez amplitudę (*amount*) i **dodawana** do stałej, ustalonej częstotliwości filtru.
- Może też być **odejmowana** – odwrócona obwiednia.
- Uwaga: w fazie podtrzymania, wartość S obwiedni sumuje się ze stałą częstotliwością odcięcia filtru (którą trzeba zwykle zmniejszyć).

Obwiednia filtru - przykłady

Przykład 1: zaakcentowanie fazy ataku poprzez większe „otwarcie” filtru:

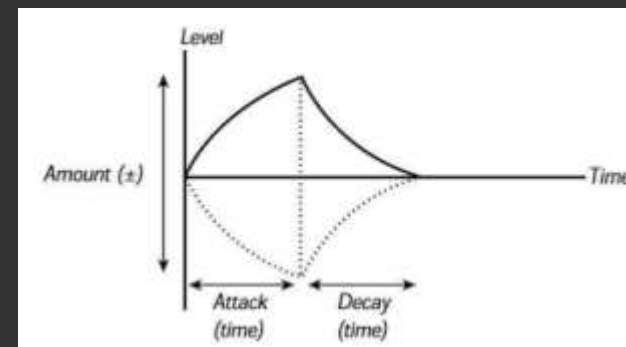
- zaznaczone fazy A, D, zależnie od czasu trwania transjentu,
- dodatni wpływ obwiedni – wielkość zależna od siły akcentu,
- ustalone S i R – zależnie odżądanego brzmienia w fazie zwolnienia,
- częstotliwość graniczna filtru – zmniejszona o wartość S.

Przykład 2: powolne budowanie barwy dźwięku (rozjaśnianie):

- długa faza D, dłuższa niż w EG wzmacniacza, zależnie odżądanego efektu,
- zerowe A, S, R,
- ujemna amplituda obwiedni – ustala punkt startowy narastania,
- częstotliwość filtru powoli narasta, od zera do wartości granicznej filtru.

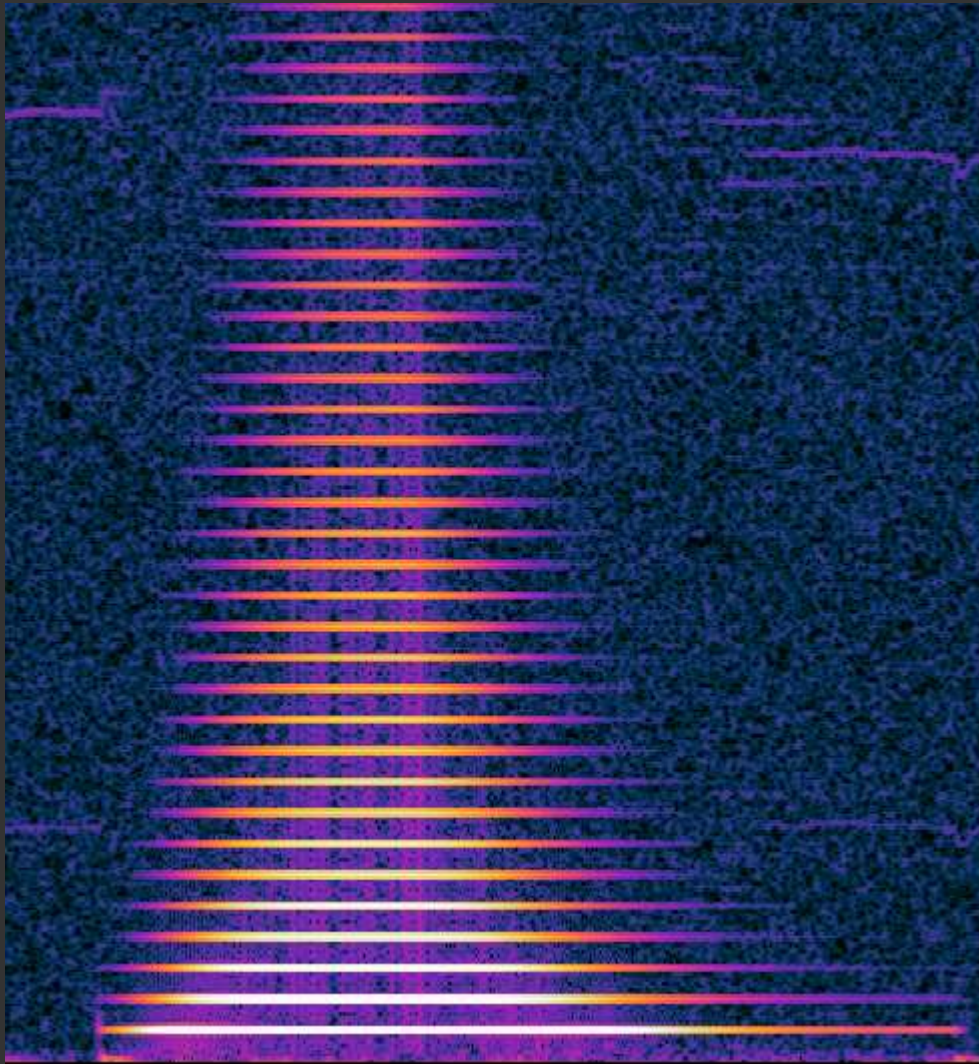
Obwiednia AD

- Czasami stosuje się dwuodcinkową obwiednię AD – *attack / decay*.
- Zwykle jest ona stosowana do sterowania częstotliwością oscylatorów VCO - **obwiednia generatora** (*oscillator envelope*). Nie chcemy zmieniać wysokości dźwięku w fazie podtrzymania – tylko podczas transjentu.
- Wpływ obwiedni (*amount*) jest regulowany – dodatni lub ujemny.
- Wartość obwiedni dodaje się (ze znakiem) do ustalonej częstotliwości VCO.
- Przykładowe efekty:
 - stopniowe narastanie wysokości w fazie ataku,
 - „przedęcie” – podbicie wysokości w fazie ataku, powrót do domyślnej wartości w fazie S.

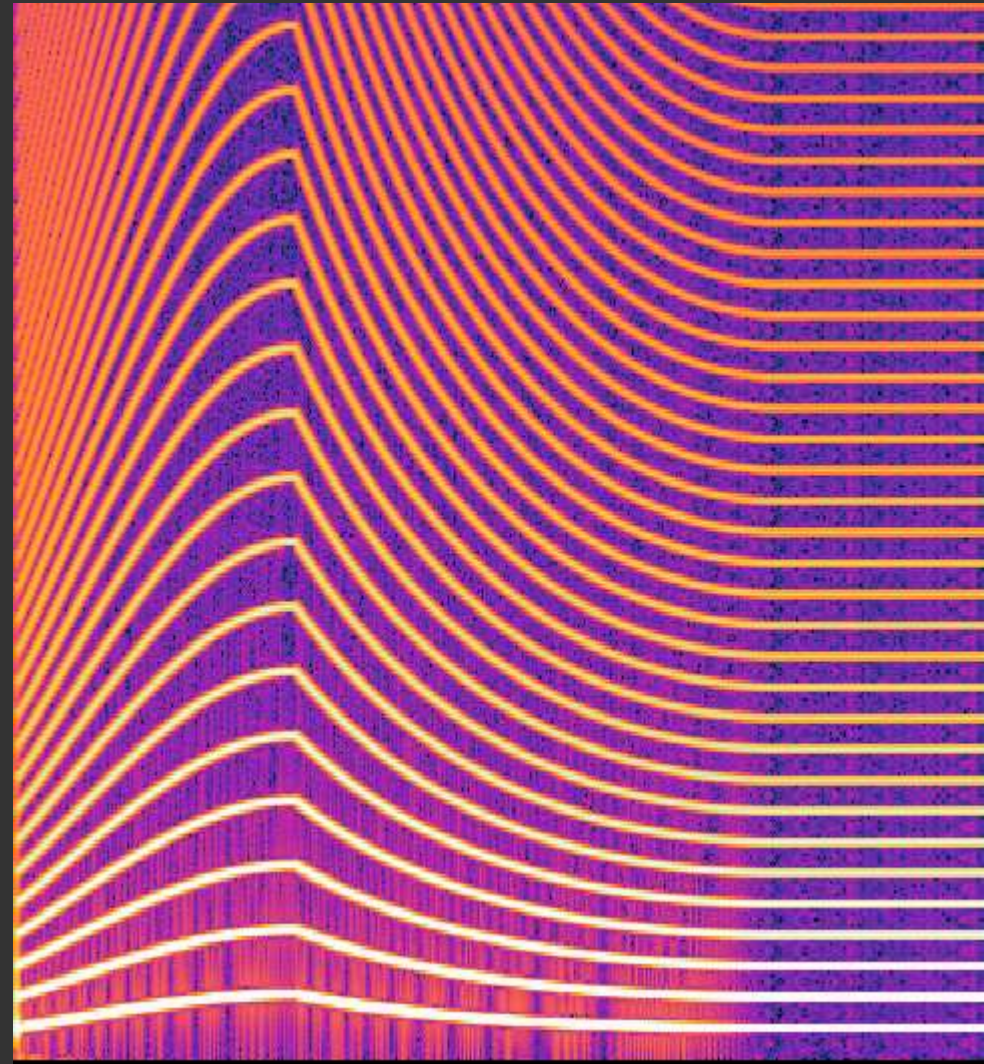


Przykłady zastosowania obwiedni

Filtr (częstotliwość graniczna)



Oscylator (częstotliwość fali)



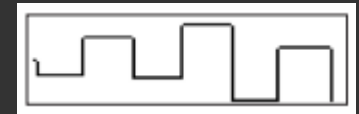
LFO - generator niskich częstotliwości

- EG może modyfikować barwę dźwięku w fazie ataku i zaniku, ale w fazie **podtrzymania** brzmienie nadal pozostaje niezmiennie.
- **LFO – generator niskich częstotliwości** (*low frequency oscillator*), nazywany również generatorem wolnozmiennym.
- Wytwarza **cykliczne sygnały sterujące**, które modulują parametry syntezy.
- Jest oscylatorem podobnym do VCO, ale generuje niskie częstotliwości – zwykle **poniżej 20 Hz**, nie są to dźwięki.
- Niektóre LFO pozwalają zwiększać częstotliwość aż do pasma akustycznego (*audio rate modulation*).
- Czasami możliwe jest ustawienie opóźnienia zadziałania LFO (*delay*), tak aby pominąć fazę AD.

Kształty sygnałów w LFO

Typowe kształty sygnałów LFO i uzyskiwane efekty:

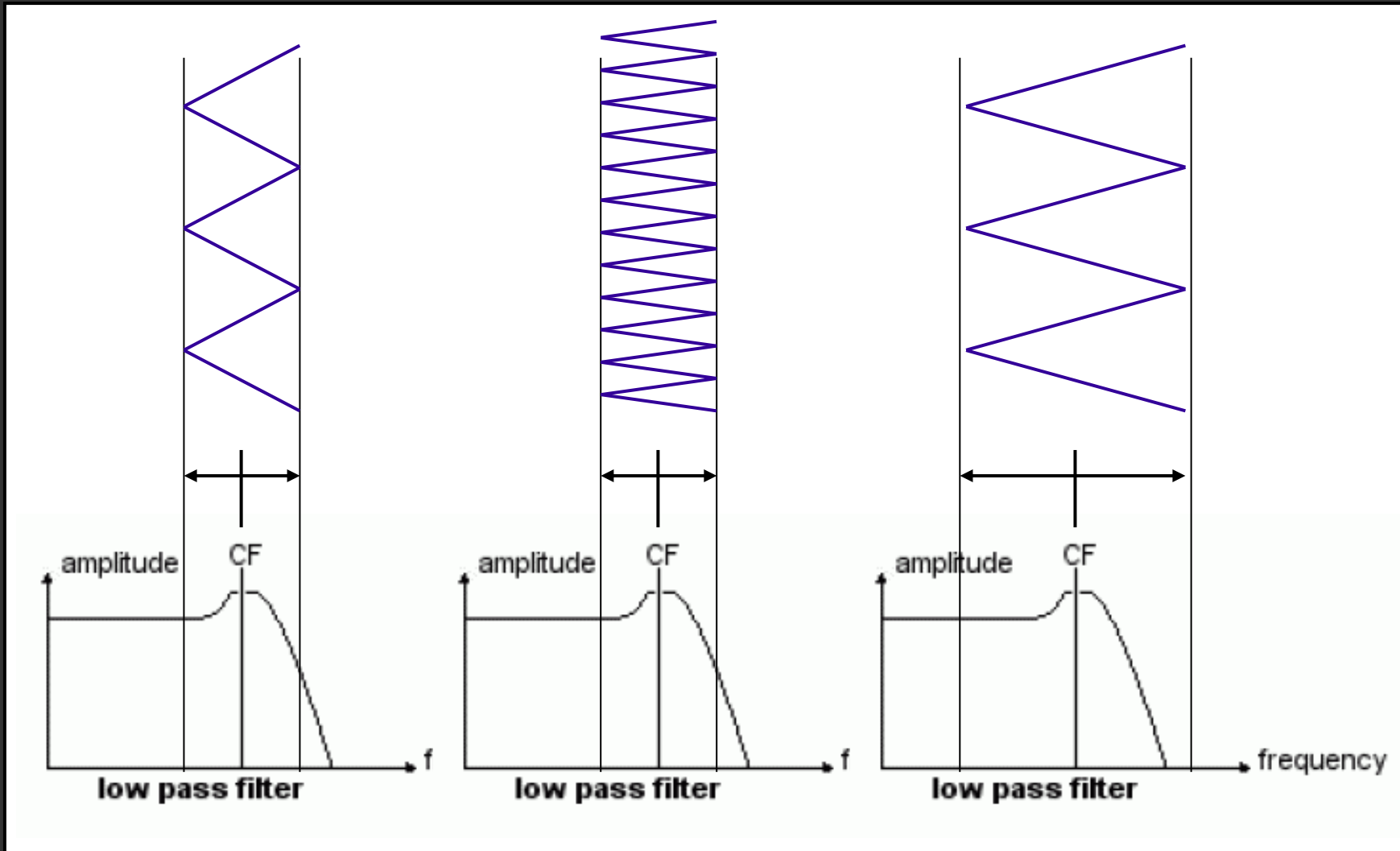
- **trójkątny** – liniowe zmiany w dwie strony (najczęściej stosowany),
- **sinus** – nieliniowe zmiany w dwie strony, przyspieszanie i hamowanie,
- **piłokształtny** (narastający lub opadający) – liniowe zmiany w jedną stronę,
- **prostokątny** – skokowe zmiany między dwoma wartościami,
- **sample and hold** (S&H) – skokowe zmiany między losowymi wartościami co okres sygnału,
- **sample and glide** (S&G) – liniowe zmiany między wartościami losowo wybranymi co okres sygnału.



Modulacja filtru przez LFO

- Przykład: **sygnał trójkątny z LFO** moduluje **częstotliwość filtru VCF**.
- Wartości sygnału LFO są **dodawane** (ze znakiem) do ustalonej częstotliwości granicznej VCF – płynne oscylacje wokół stałej częstotliwości.
- Uzyskujemy płynne zmiany barwy dźwięku, tzw. ***filter sweep***.
- **Głębokość modulacji** (*modulation depth*):
 - **amplituda** sygnału modulującego,
 - **zakres** zmian parametru wokół stałej wartości.
- **Częstotliwość modulacji** (*modulation rate*):
 - **częstotliwość** sygnału modulującego,
 - **szybkość** zachodzących zmian.

Modulacja filtru przez LFO

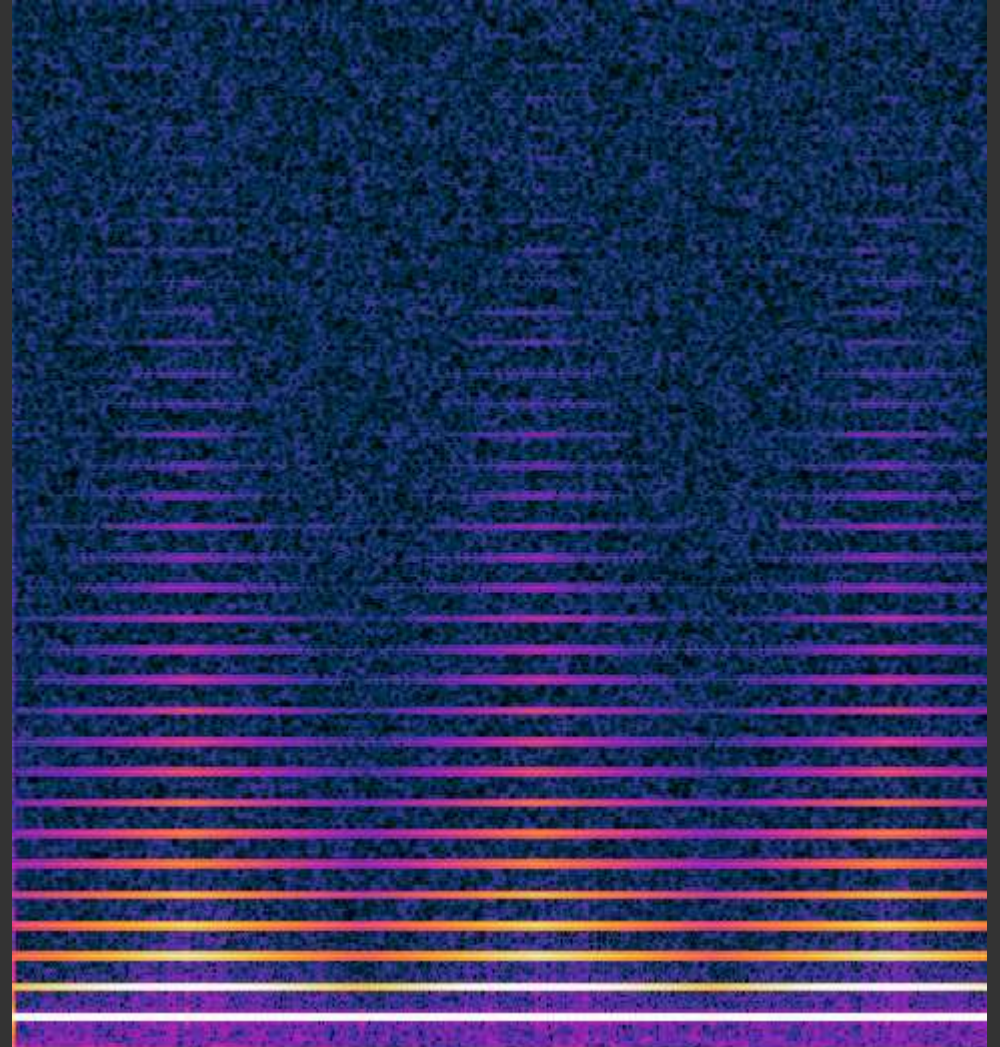


Większa częstotliwość
LFO

Większa amplituda
LFO

Modulacja filtru przez LFO

Spektrogram pokazujący efekt modulacji częstotliwości granicznej filtru przez LFO.

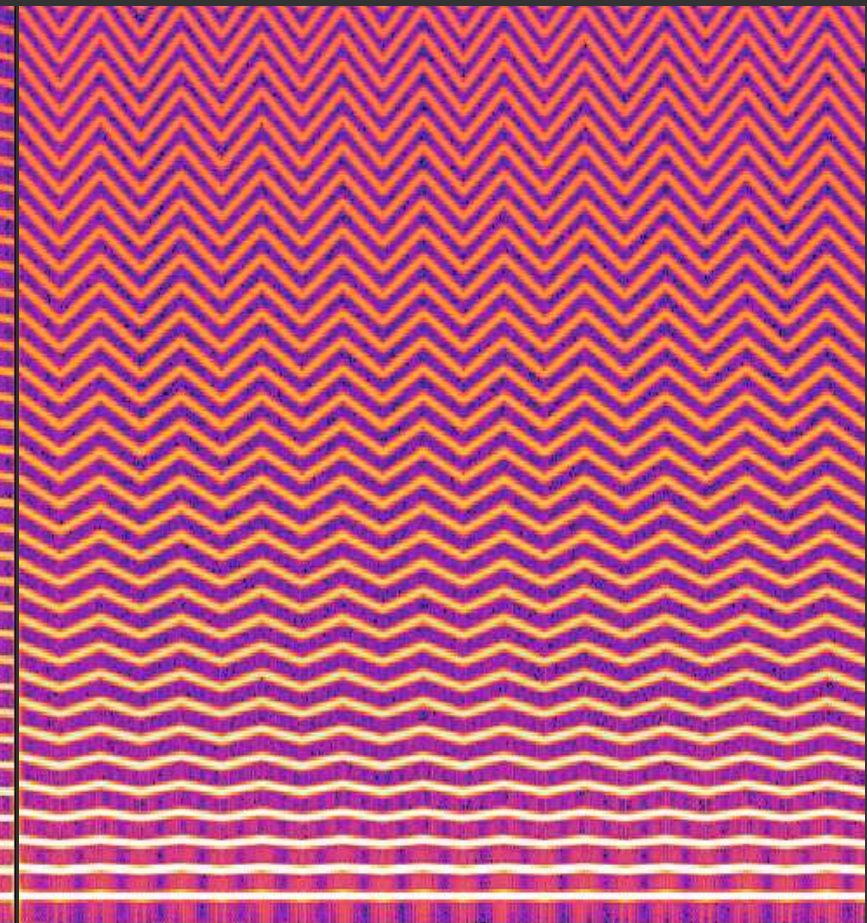
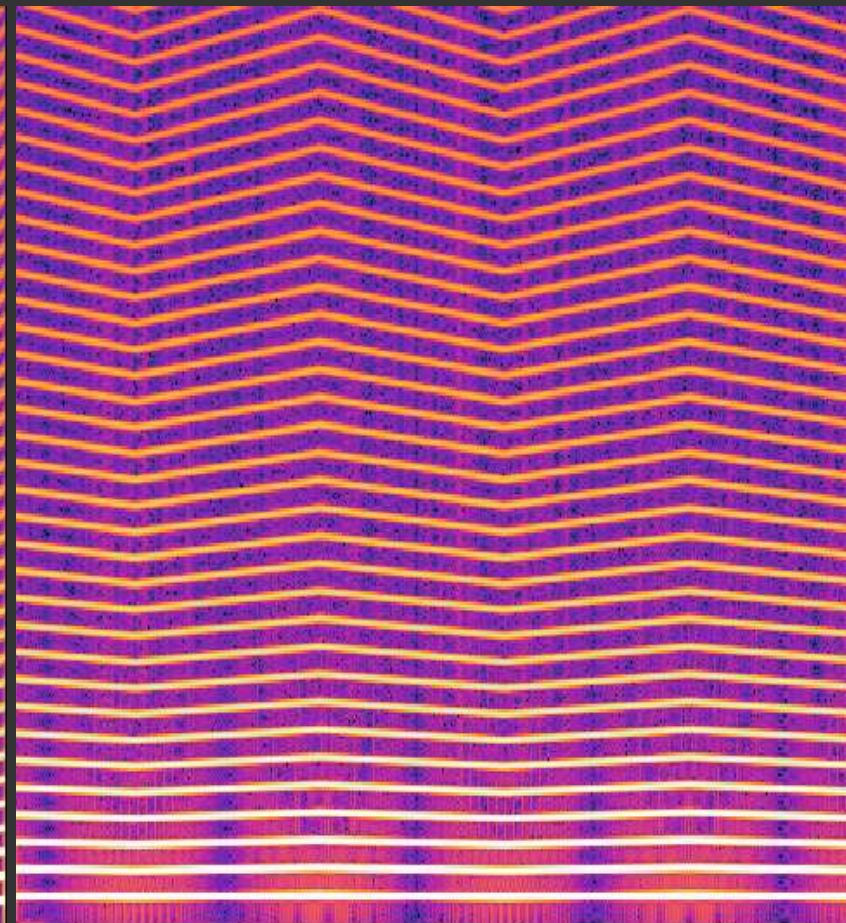


Modulacja częstotliwości oscylatora przez LFO

Większa amplituda LFO
- większa głębokość modulacji



Większa częstotliwość LFO
- większa częstotl. modulacji



Przykłady modulacji

Co można modulować w typowym synteźatorze i co uzyskujemy:

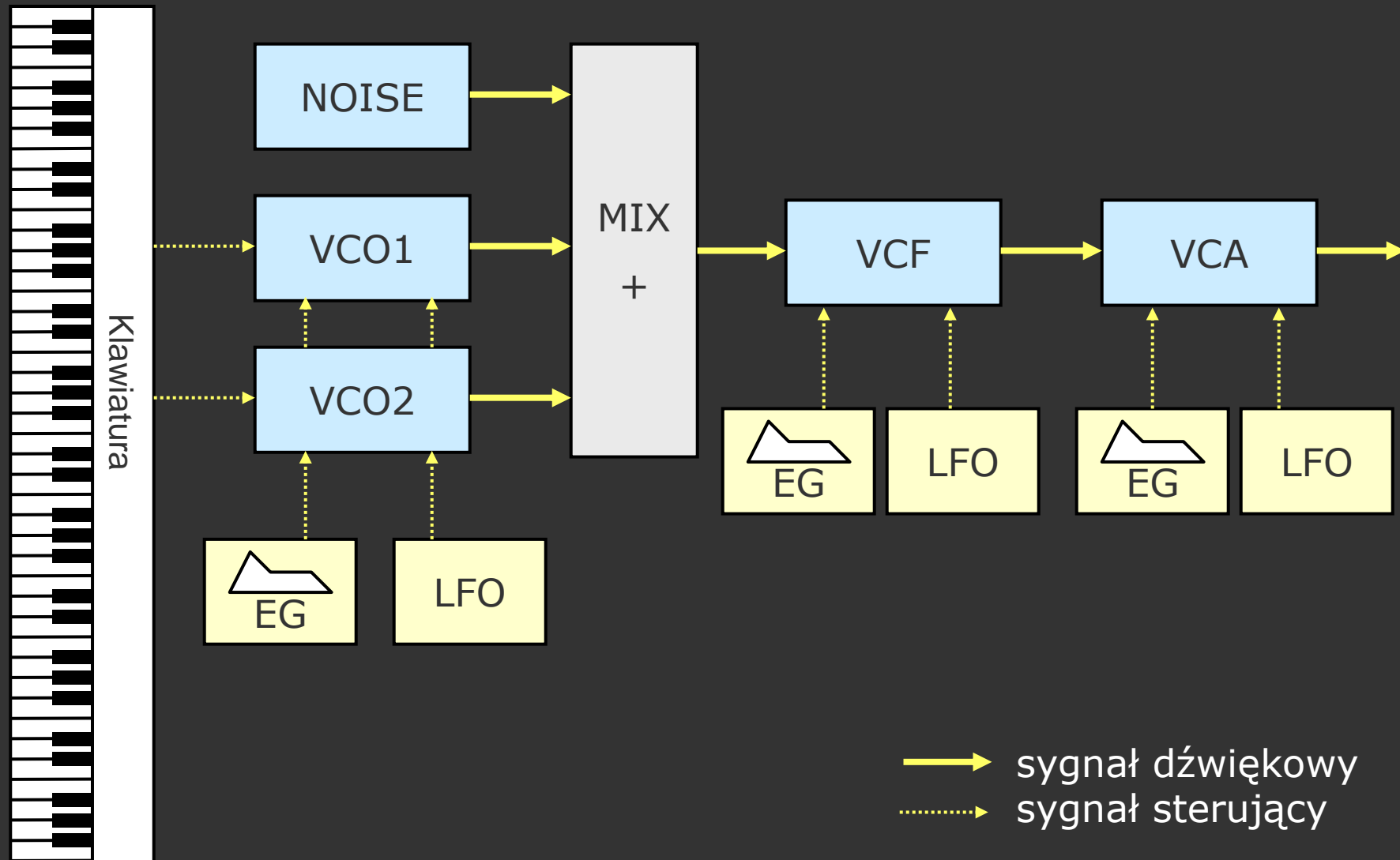
- częstotliwość VCO – zmiany wysokości dźwięku (LFO: wibrato),
- szerokość impulsu fali impulsowej w VCO (zmiany brzmienia dźwięku),
- częstotliwość graniczna filtru VCF (zmiany brzmienia; LFO: *filter sweep*),
- poziom wzmacnienia VCA – zmiany głośności (LFO: tremolo),
- panorama sygnału stereofonicznego (jeżeli wyjście jest stereofoniczne),
- przy stosowaniu synchronizacji oscylatorów: częstotliwość oscylatora synchronizowanego (tylko) – daje zmiany brzmienia dźwięku (nie wysokości!).

Macierz modulacji

- **Macierz modulacji** (*modulation matrix*) jest stosowana w niektórych współczesnych instrumentach, sprzętowych i (głównie) programowych.
- **Źródło** modulacji (*source*) – wytwarza sygnały kontrolne, np. EG, LFO, klawiatura.
- **Cel** modulacji (*target*) – parametr, który może być modulowany, np. częstotliwość graniczna filtru.
- W macierzy modulacji można połączyć dowolne źródło z dowolnym celem oraz ustawić głębokość modulacji.
- Daje to bardzo duże możliwości wpływania na brzmienie dźwięku.



Podstawowy schemat syntezy subtrakcyjnej



Przykład panelu syntezy subtrakcyjnej

Behringer PRO-800 („klon” Prophet 600)



Sterowanie układem subtraktywnym

- **Klawiatura muzyczna** – sterowanie częstotliwością VCO (typowo 1V/oktawę lub 1 Hz / 1 V), wyzwalanie obwiedni (*trigger, gate*).
- Pokrętko **Pitch bend** – płynna zmiana wysokości dźwięku w ustalonym zakresie (np. ± 2 półtony); posiada sprężynę – powraca do zerowego położenia.
- Pokrętko **Modulation** – płynna zmiana wybranego parametru; standardowo: częstotliwość LFO.
- Włącznik nożny **Sustain**
 - dwustanowy, podtrzymanie dźwięku.
- Sterownik nożny **Expression**
 - potencjometr sterowany stopą, modyfikacja wybranego parametru.



Velocity i aftertouch

- Klawiatura dynamiczna posiada czujnik **prędkości** („siły”) wciśnięcia klawisza - parametr *velocity* jako sygnał kontrolny.
- Wartość *velocity* można wykorzystać do modulacji, np.:
 - wzmocnienie VCO – większa głośność przy dużej prędkości (standard),
 - częstotliwość VCF – zwiększenie przy dużej prędkości, itd.
- Niektóre klawiatury posiadają czujnik siły docisku już wciśniętego klawisza - *aftertouch*. Można to wykorzystać do modulacji, np. do zwiększenia amplitudy LFO po dociśnięciu klawisza, lub zwiększenia częstotliwości filtru.
- Oba parametry pozwalają wprowadzić **ekspresję** przy grze na syntezatorze.

Cyfrowa synteza subtraktywna

- Syntezę subtraktywna można łatwo zrealizować w formie cyfrowej, jako instrument sprzętowy albo programowy (VST).
- Niestety, technika cyfrowa jest zbyt dokładna. Traci się cechy, które sprawiały, że analogowo syntetyzowane dźwięki brzmiały ciekawie.
- Główne problemy:
 - aliasing – nie ma go w technice analogowej,
 - cyfrowo generowane sygnały są „idealne” i powtarzalne, przez co dają „zimne” i nieciekawe brzmienie,
 - klasyczne filtry cyfrowe (IIR) nie dają dobrze brzmiącego wyniku, konieczne jest cyfrowe emulowanie analogowych filtrów (kłopotliwe).
- Konieczne jest cyfrowe naśladowanie analogowego charakteru układów.

Emulacja cyfrowa metody subtraktywnej

Emulacja programowa: *Synth1*



Ewolucja instrumentów subtraktywnych

- Lata 50.: pierwsze próby, urządzenia lampowe (RCA Mark), koncepcja syntezy.
- Lata 60.: pierwsze komercyjne instrumenty - *Moog Modular*; zbudowane z elementów dyskretnych (m.in. tranzystorów).
- Lata 70.: polifonia (moduły głosowe), wprowadzenie analogowych układów scalonych – ogólnych i dedykowanych (*Curtis chip* – np. VCF jako jeden „scalak”), pamięć dla programów.

Na zdjęciu: Robert Moog i jego „dzieci”.



Ewolucja instrumentów subtraktywnych

- I połowa lat 80.: cyfrowe strojenie oscylatorów; cyfrowo sterowane oscylatory DCO (Roland *Juno*); wprowadzenie MIDI.
- Powstaje synteza tablicowa (*wavetable*) jako odmiana subtraktywnej.
- II połowa lat 80.: instrumenty subtraktywne zostały wyparte przez „bardziej nowoczesne” syntezaory cyfrowe (np. Yamaha *DX7*) i samplery.
- Stacje robocze – łączą sampling, syntezę subtraktywną, FM, itp.
- Lata 90.: powrót w formie instrumentów cyfrowych (*virtual analog*).
- Instrumenty programowe (wtyczki VST, AU) – cyfrowa emulacja.
- *Eurorack* – powrót syntezy modularnej, instrument budowany z modułów.
- Renesans analogowych instrumentów subtraktywnych, w tym modularnych i półmodularnych – powrót „analogowych klawiszy” na rynek.

Synteza subtraktywna - podsumowanie

Zalety syntezy subtraktywnej

- Umożliwia tworzenie ciekawych syntetycznych brzmień.
- W czasach gdy powstała, brzmienie było nowatorskie i interesujące.
- Żadna inna metoda nie tworzy tak specyficznych dźwięków.
- Dużo możliwości kształtowania brzmienia przez parametry modułów.
- Prosta koncepcyjnie metoda.
- Znakomita dla osób, które lubią eksperymentować.

Najlepszym podsumowaniem zalet syntezy subtraktywnej jest fakt, że po okresie dominacji cyfrowych instrumentów, powróciła jako główna metoda syntezy.

Synteza subtraktywna - podsumowanie

Wady syntezy subtraktywnej

- Podatność analogowych oscylatorów na rozstrajanie (współcześnie problem jest praktycznie rozwiązany).
- Wysoki koszt konstrukcji analogowego instrumentu.
- Awaryjność analogowych układów syntezy.
- Skomplikowany proces kształtowania brzmienia (ale stosowanie gotowych programów rozwiązuje ten problem).
- Cyfrowo nie brzmi tak dobrze jak w analogowym instrumencie, konieczność stosowania skomplikowanej emulacji.
- Nie można wiernie naśladować brzmień rzeczywistych instrumentów - ale czy to na pewno jest wada?

Literatura

- [Wikipedia \(EN\)](#)
- [moogarchives.com](#)
Moog Archive - baza danych o analogowych syntezatorach Roberta Mooga
- <https://daichilab.sakura.ne.jp/softsynth/>
darmowy instrument programowy Synth1
- <https://multimed.org/student/eim/doc/Synth1.pdf>
dokumentacja do Synth1
-

Materiały wyłącznie do użytku wewnętrznego dla studentów przedmiotu *Elektroniczne instrumenty muzyczne*, prowadzonego przez Katedrę Systemów Multimedialnych Politechniki Gdańskiej. Wykorzystywanie do innych celów oraz publikowanie i rozpowszechnianie zabronione.

This presentation is intended for internal use only, for students of Multimedia Systems Department, Gdansk University of Technology, attending the „Electronic musical instruments” course. Other uses, including publication and distribution, are strictly prohibited.