

EFEKTY BRZMIENIOWE

w elektronicznych instrumentach muzycznych



Efekty brzmieniowe

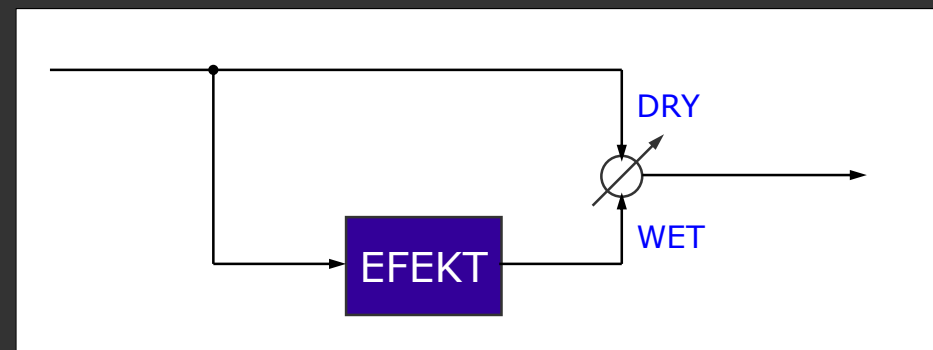
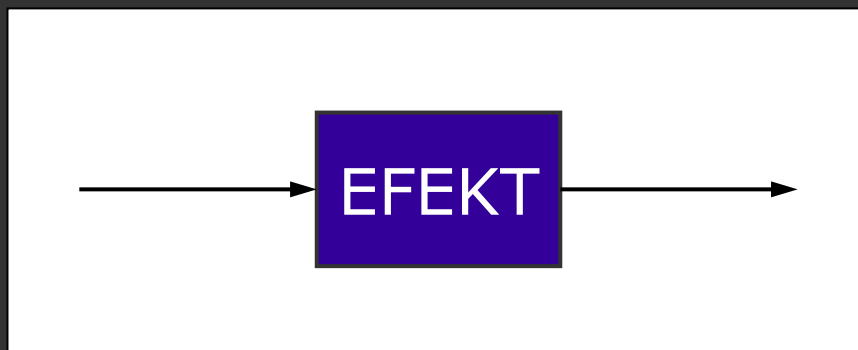
- Moduły efektów brzmieniowych są stosowane do wzbogacania wyjściowego sygnału z instrumentu. Nie są one częścią procesu syntezy dźwięku.
- Dźwięk wytwarzany przez syntezator często wydaje się „suchy”. Odpowiednio dobrane efekty pozwalają wzmocnić brzmienie dźwięku i uczynić je ciekawszym.
- Nadmiar efektów powoduje zniekształcenie dźwięku („utopiony w efektach”).
- W klasycznych, analogowych syntezatorach nie stosowano zazwyczaj modułów efektów. Muzycy dołączali do instrumentu zewnętrzne procesory efektów. (Czasami były wbudowane, np. syntezatory Roland *Juno*, efekt *chorus*.)
- Obecnie często dodaje się cyfrowe efekty do instrumentów, programowych i sprzętowych (również analogowych).



Efekty brzmieniowe

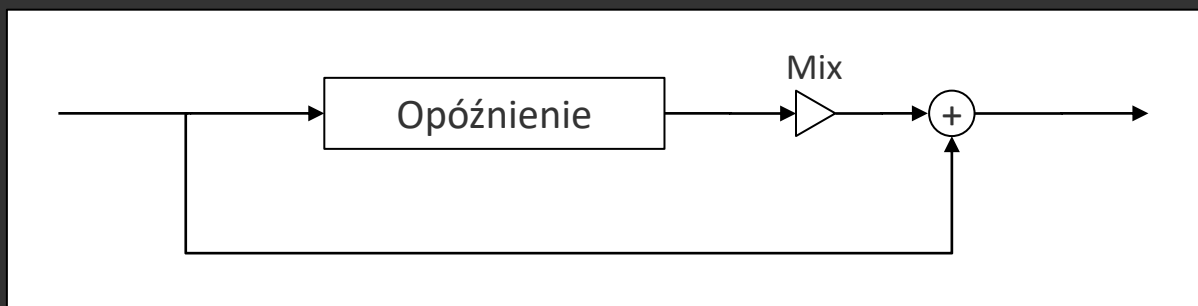
Zależnie od sposobu działania, efekty brzmieniowe stosuje się w trybie:

- *insert* – dźwięk przechodzi przez efekt, dalej używa się tylko dźwięku przetworzonego,
 - regulowana „siła” efektu (wpływ na dźwięk),
- *send* – dźwięk przechodzi przez efekt, po czym jest miksowany (sumowany) z dźwiękiem nieprzetworzonym, w regulowanych proporcjach:
 - *dry*: dźwięk „suchy”, nieprzetworzony (oryginalny),
 - *wet*: dźwięk „mokry”, przetworzony.



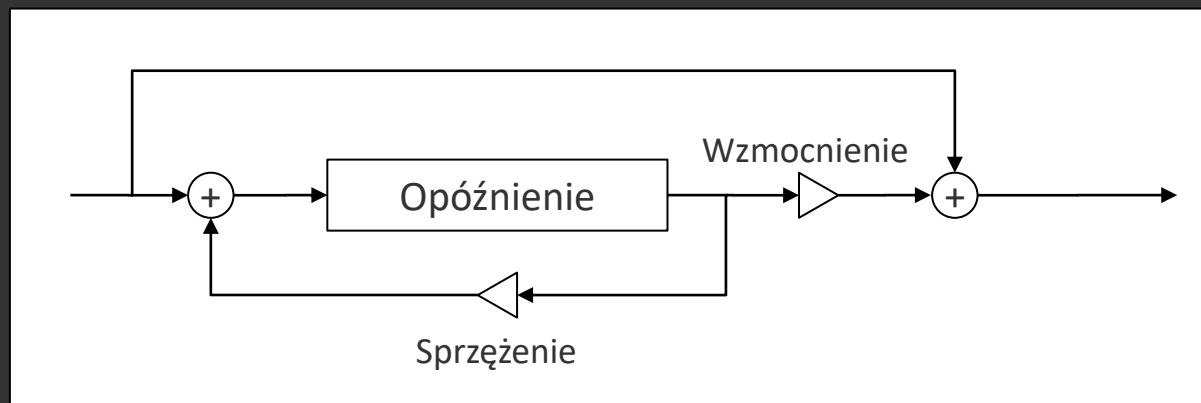
Opóźnienie (*delay*), jednokrotne echo

- Sygnał jest przepuszczany przez **linię opóźniającą** (*delay line*).
- Opóźniony sygnał jest skalowany i sumowany z oryginalnym (nie opóźnionym).
- Jeżeli wielkość opóźnienia jest dość duża (> 50 ms), słyszymy oryginalny sygnał, po czym jego **echo** (*slapback echo*).
- Przy małych opóźnieniach, oba dźwięki zlewają się ze sobą.
- Przykład analogowej implementacji: *tape echo*, taśma magnetofonowa z dwoma głowicami.



Wielokrotne echo

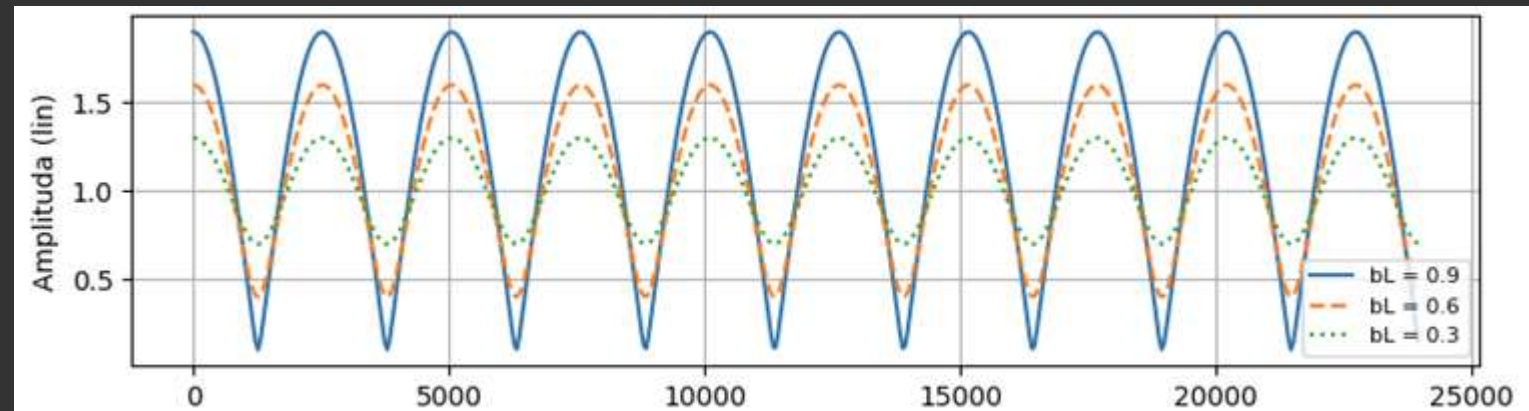
- Jeżeli do układu echa zostanie dodane sprzężenie zwrotne, uzyskamy **wielokrotne echo**.
- **Stopień sprzężenia** (*feedback*) decyduje o liczbie odbić (czasie echa).
- **Wzmocnienie** (*gain*) decyduje o sile odbić, pośrednio o czasie echa.
- Czas między kolejnymi odbiciami jest stały (długość linii opóźniającej).
- Często stosuje się filtr dolnoprzepustowy w pętli sprzężenia.
- Efekt jest wykorzystywany do zwielokrotnienia dźwięku i wypełnienia przerw pomiędzy dźwiękami. Nie jest to pogłos.



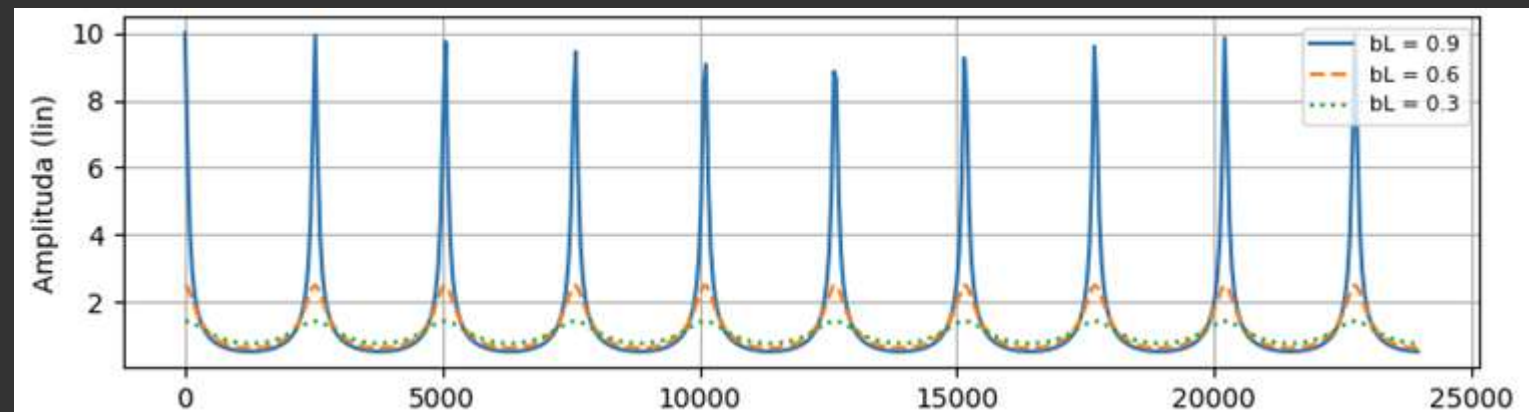
Charakterystyki układów echa

Oba układy – pojedyncze i wielokrotne echo – mają charakterystykę **filtru grzebieniowego**. Oprócz wprowadzania echa, **zniekształcają** one widmo, a więc i **brzmienie** dźwięku.

Pojedyncze echo:



Wielokrotne echo:



Stosowanie *AUX Send/Return*

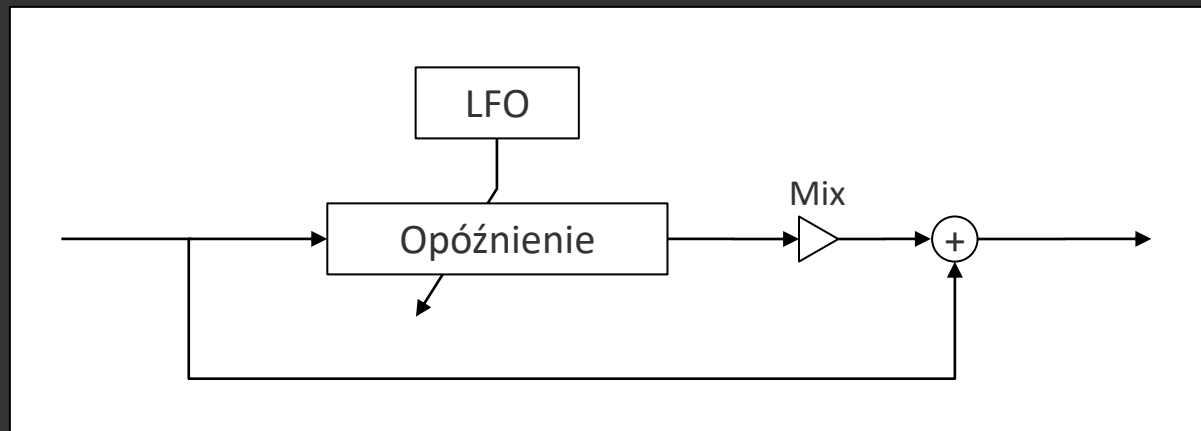
- Bardzo często stosuje się następujące połączenie urządzeń:
 - wyjście *AUX Send* z konsoly mikerskiej jest kierowane na **wejście procesora** efektów,
 - **wyjście procesora** efektów jest łączone z wejściem *AUX Return* konsoly.
- Dzięki temu, łatwo jest dobierać stopień miksu efektów.
- Jeżeli z procesora wraca sygnał będący sumą oryginalnego i przetworzonego, to na wyjściu konsoly mamy sygnał:
oryginalny + opóźniony oryginalny (z efektu) + przetworzony.
- Suma sygnału oryginalnego z opóźnionym oryginalnym daje efekt filtru grzebieniowego, a więc **zniekształca** widmo i brzmienie dźwięku.
- Wniosek: w takim układzie, sygnał wracający na *AUX Return* musi zawierać **wyłącznie** przetworzony sygnał (100% *wet*)!

Odmiany układów opóźniających

- *Multi-tap delay*: sygnał wyjściowy jest pobierany z kilku miejsc linii opóźniającej i sumowany z różnymi współczynnikami.
Efekt: suma kilku kopii echa ze zmiennym opóźnieniem.
- *Ping-pong delay*: efekt dla sygnału stereofonicznego, sygnał z wyjścia jednego kanału jest kierowany przez sprzężenie zwrotne na wejście drugiego kanału.
Efekt: wielokrotne odbijanie się dźwięku pomiędzy kanałami.
- *Allpass delay*: zamiast linii opóźniającej stosuje się układ filtru wszechprzepustowego, który generuje echo bez zniekształceń występujących dla filtru grzebieniowego.
- Spotyka się cyfrowe emulacje analogowych konstrukcji układów opóźniających.

Chorus

- Jeżeli weźmiemy samą linię opóźniającą i będziemy **modulowali wielkość opóźnienia** za pomocą LFO (np. trójkątnego), uzyskamy wibrato.
- Zsumowanie tego sygnału (przeskalowanego) z oryginalnym daje efekt **chorus**.
- Efekt brzmieniowy: wrażenie **zwielokrotnienia dźwięku** („kilka instrumentów”).
- Stosuje się dość duże wartości opóźnienia (>15 ms).
- Efekt zależy od częstotliwości i amplitudy LFO (*modulation rate / depth*), wielkości opóźnienia (*delay*) oraz wzmocnienia (*mix*).

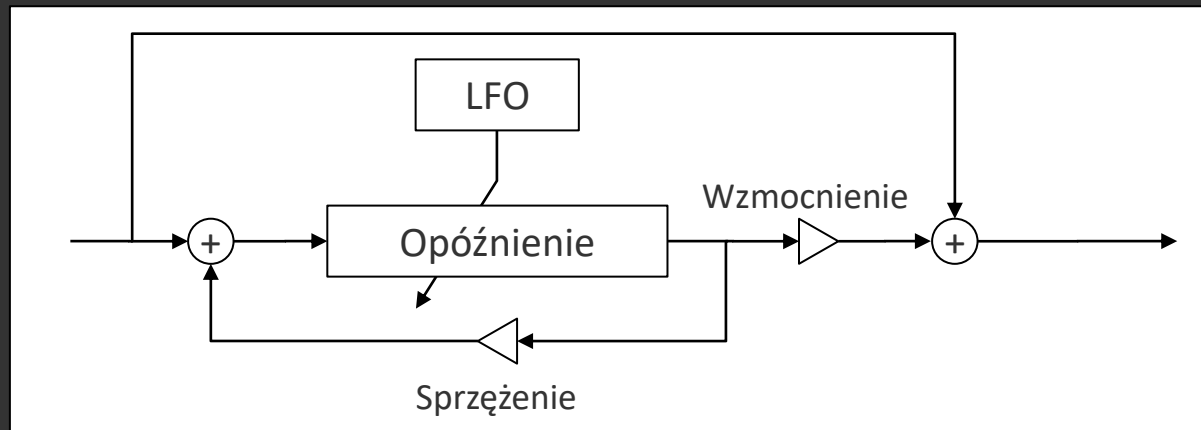


Odmiany efektu *chorus*

- ***Chorus wieloetapowy*** (*multi-stage chorus*) – szeregowe połączenie kilku układów *chorus* z różnymi ustawieniami opóźnienia i LFO (zwielokrotnienie efektu brzmieniowego).
- ***Ensemble*** (zespół muzyczny):
 - suma kilku układów *chorus*, połączonych równoległe,
 - różniących się wartościami parametrów, najczęściej częstotliwością LFO,
 - stosuje się też przesunięcie fazowe sygnału LFO (np. 0, 120 i 240 stopni),
 - daje dobre wrażenie zwielokrotnienia dźwięku.
- ***Chorus stereofoniczny*** (*stereo chorus*): monofoniczny sygnał kierowany na dwa układy *chorus*, różniące się np. częstotliwością LFO, wynik daje kanały L/R. Prosty sposób na „zrobienie stereo z mono”.

Flanger

- Efekt *flanger* jest podobny do *chorusa*, ale z dwoma różnicami:
 - stosowane są mniejsze wartości opóźnienia (<15 ms) – brak wibrato,
 - dodana jest pętla sprzężenia zwrotnego.
- Efekt: **zniekształcenia fazowe**, „rozpływanie się” dźwięku. Siła efektu zależy od częstotliwości i amplitudy LFO.
- Wykonanie analogowe: magnetofon ze zmienną siłą przyciskania taśmy do rolek.

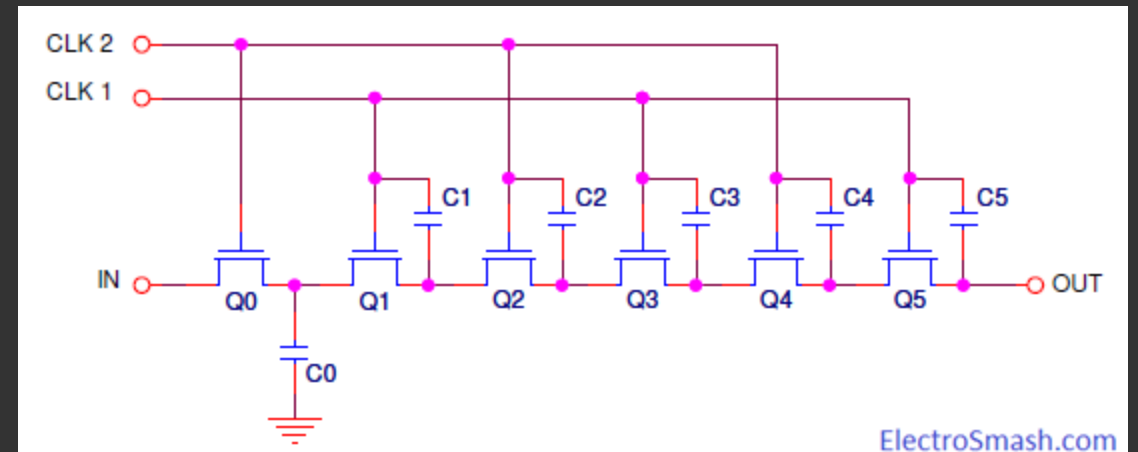


Efekty oparte na opóźnieniu

- **Stała wartość opóźnienia** (bez modulacji):
 - echo (bez sprzężenia zwrotnego), wielokrotne echo (ze sprzężeniem),
 - filtr grzebieniowy ze stałym położeniem „zębów”,
 - zastosowanie zwłaszcza do krótkich dźwięków (pianino, gitara).
- **Modulowana wielkość opóźnienia:**
 - *chorus* – większe opóźnienie, efekt zmiany wysokości, zwielokrotnienie,
 - *flanger* – mniejsze opóźnienie, efekt wahań fazy,
 - położenie „zębów” filtru grzebieniowego zmienia się cyklicznie (przemiatanie skali częstotliwości – minima i maksima przesuwają się),
 - zastosowanie szczególnie do dłuższych dźwięków (np. smyczki).

Analogowe efekty opóźnieniowe

- W technice analogowej, główną metodą uzyskiwania efektów opartych na opóźnieniu (np. *chorus*) jest układ **BBD – Bucket Brigade Device**.
- BBD składa się z wielu stopni, opartych na kondensatorze.
- Stopień zatrzymuje napięcie. Po wyzwoleniu sygnałem zegarowym (prostokątnym), przekazuje napięcie do kolejnego stopnia.
- Ciekawy przypadek układu analogowego z dyskretną osią czasu. Próbkowanie sygnału analogowego, ale bez kwantyzacji.
- Układ wprowadza charakterystyczne zniekształcenia do dźwięku.

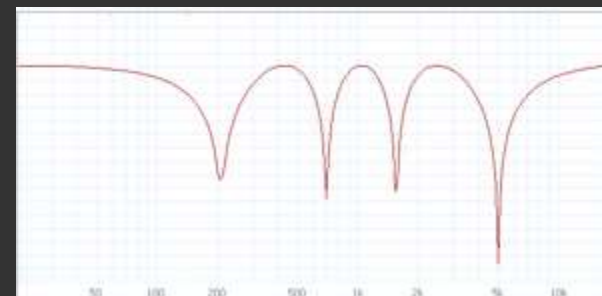
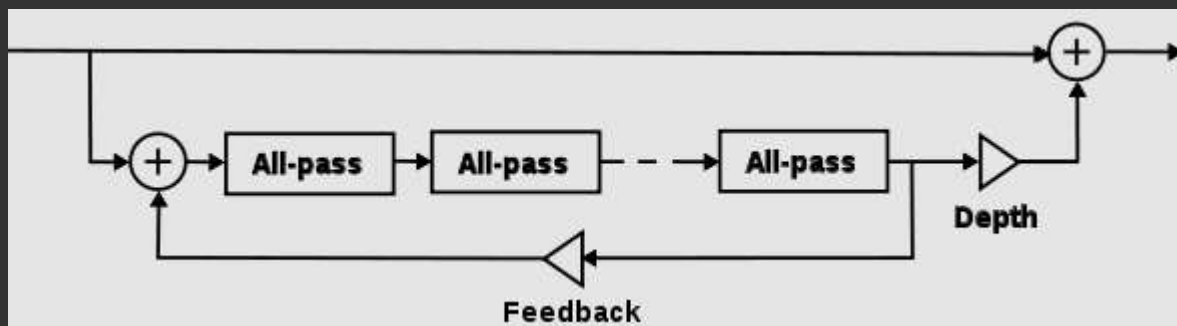


Synchronizacja efektów opóźnieniowych

- W efektach opartych na opóźnieniu, wielkość opóźnienia jest regulowana.
- Można ją ustawiać bezwzględnie, w milisekundach.
- Często chcemy, aby wielkość opóźnienia była **zsynchronizowana z tempem** utworu – *tempo sync*.
- Dlatego większość procesorów efektów pozwala ustawić wielkość opóźnienia w odniesieniu do tempa podanego w uderzeniach na minutę (BPM).
- Zwykle wielkość opóźnienia równa $1/4$ oznacza, że opóźnienie wynosi 1 uderzenie (np. przy tempie 120 BPM: 500 ms).
- Można ustawić opóźnienie np. $1/16$, $1/8$, $1/8T$ (*triplet*), itd.

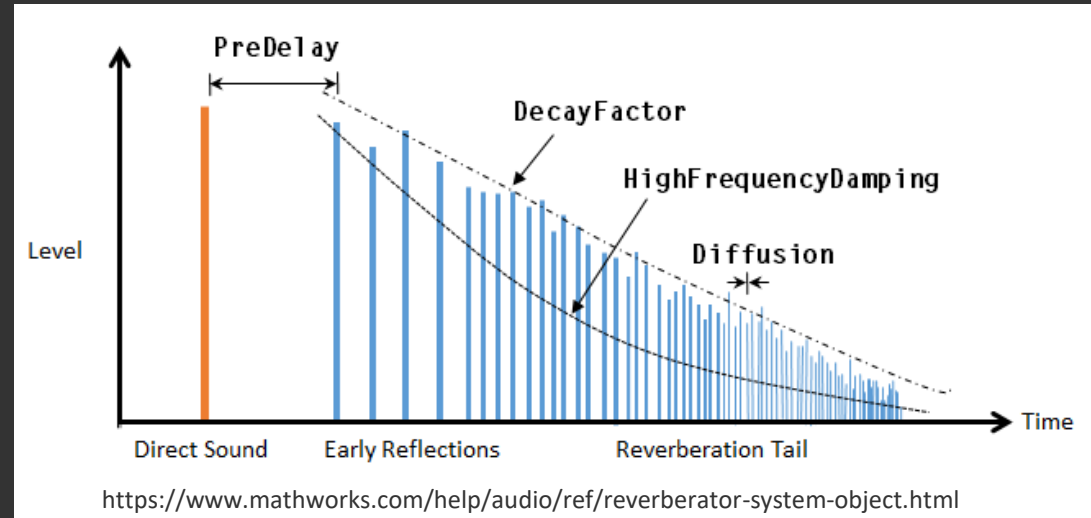
Phaser

- Efekt *phaser* również wprowadza kontrolowane **zniekształcenia fazowe**.
- W odróżnieniu od efektu *flanger*, nie jest oparty na linii opóźniającej.
- Charakterystyka widmowa efektu posiada **wcięcia (*notch*)**, które są rozmieszczone **nieregularnie** (w odróżnieniu od filtra grzebieniowego).
- Modulacja przesuwa te wcięcia na osi częstotliwości, wprowadzając wahania fazy i przez to modyfikując brzmienie (łagodniej niż *flanger*).
- Zbudowany jest zwykle z kilku filtrów wszechprzepustowych (*all-pass*), modulowanych LFO, czasem z pętlą sprzężenia zwrotnego.



Pogłos

- **Pogłos** (*reverb*) symuluje rozkład fal akustycznych w pomieszczeniu.
- Etapy powstawania pogłosu:
 - **pierwsze odbicie** (*pre-delay*): czas do nadejścia pierwszej fali odbitej,
 - **wczesne odbicia** (*early reflections*): kolejne fale odbite, wyraźnie oddzielone od siebie na osi czasu („echa”),
 - właściwy **pogłos** (*reverberation*), zanik (*decay*): duża liczba odbitych fal, które zlewają się ze sobą, amplituda stopniowo maleje.
- **Czas pogłosu** (*decay time*) zależy od wielkości i od chłonności akustycznej pomieszczenia.



Pogłos

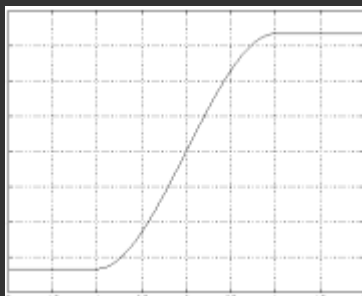
- Przykłady **analogowych** układów pogłosowych:
 - płyta pogłosowa (*plate reverb*) – duże, studyjne urządzenie,
 - sprężyna pogłosowa (*spring reverb*) – przenośny efekt.
- **Cyfrowe** implementacje układów pogłosowych (DSP):
 - układy filtrów grzebieniowych i wszechprzepustowych (sieć Schroedera),
 - sieci opóźnieniowe (FDN, *feedback delay network*),
 - splot sygnału z odpowiedzią impulsową pomieszczenia,
 - modelowanie fizyczne pomieszczenia,
 - cyfrowa symulacja układów analogowych.

Pogłos w praktyce

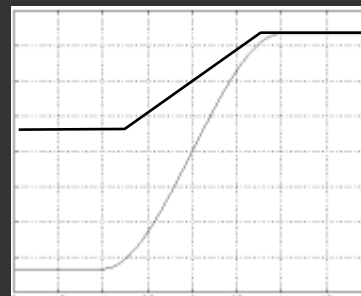
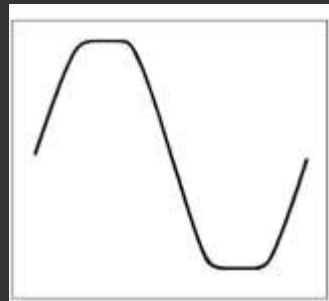
- Efekty pogłosowe często symulują konkretne pomieszczenie, np. *Room, Hall, Arena, Church, Cave*, itp.
- Pogłos jest zwykle stosowany w trybie *send*, mieszany z oryginalnym sygnałem.
- Pogłos jest niemal zawsze stosowany jako ostatni (wyjściowy) efekt w układzie.
- Pogłos jest efektem, który w największym stopniu obciąża procesor sygnałowy.
- Wyjście pogłosu jest niemal zawsze stereofoniczne. Nawet jeżeli nie potrzebujemy wprowadzać pogłosu, efekt zastosowany z niewielką intensywnością wprowadza „przestrzenność”, zamienia monofoniczny dźwięk syntezatora na dźwięk stereofoniczny.

Przesterowanie (*distortion*)

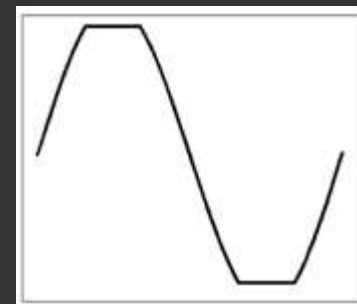
- Efekt *distortion* wprowadza przesterowanie do sygnału, przepuszczając go przez układ o nieliniowej charakterystyce (nasycenie, *saturation*, *clipping*).
- Powoduje to wprowadzenie dodatkowych harmonicznych do sygnału.
- **Digital distortion** obcina wszystkie wartości powyżej progu (*hard clipping*) – bardzo ostry efekt, rzadko pożądany (zbyt duże zniekształcenia).
- **Analog distortion** wprowadza *soft clipping* – łagodne „przycięcie” sygnału, kontrolowane zniekształcenia. Może być realizowane analogowo (np. gitarowy *fuzz*) lub cyfrowo (na DSP).



Analog distortion



Digital distortion



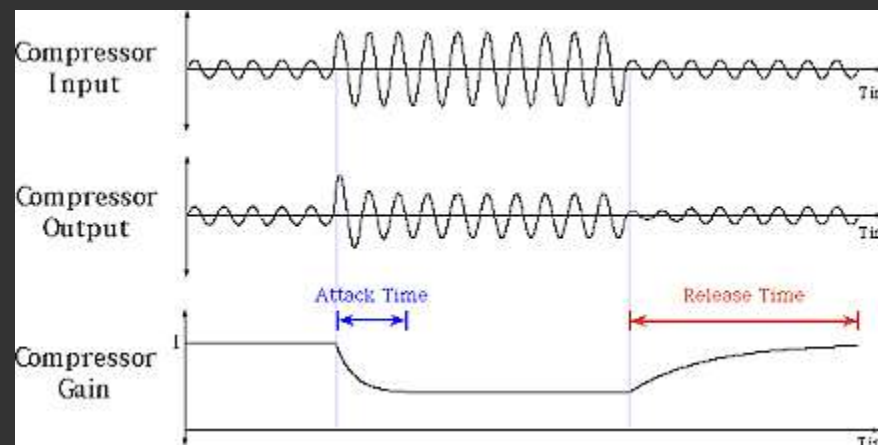
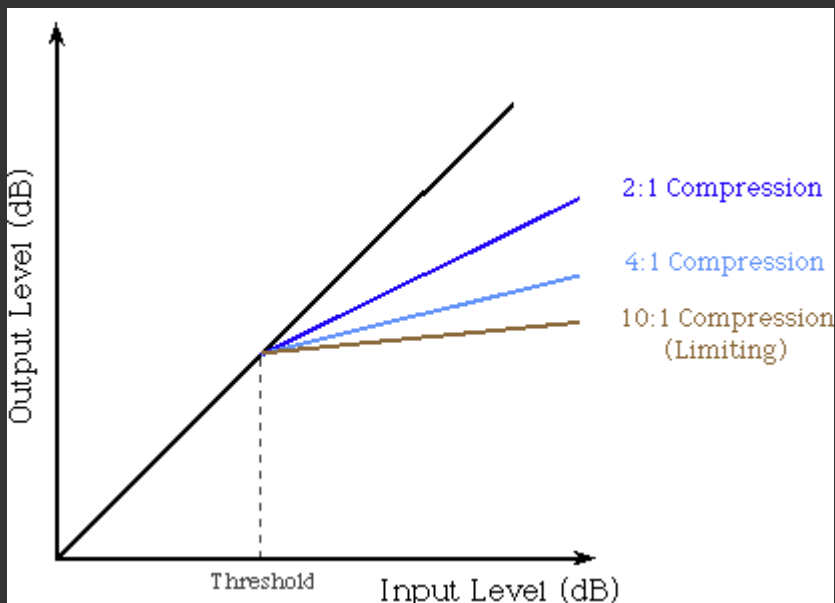
Modulator kołowy i decymator

- **Modulator kołowy** (*Ring modulator*) wprowadza efekt nieharmoniczności sygnału, poprzez wymnożenie go przez sinus o regulowanej częstotliwości.
- **Decymator** (*Decimator, Bit Crusher*):
 - zmniejsza rozdzielczość bitową („obcina” najmniej znaczące bity),
 - zmniejsza częstotliwość próbkowania, często wprowadzając aliasing,
 - stosowany jako efekt *Lo-Fi*, daje zniekształcone cyfrowe brzmienie, symulujące np. ośmiobitowe komputery z lat 80.

Kompresor

Kompresor (*compressor*) powoduje **zmniejszenie dynamiki** sygnału - różnicy najgłośniejszych i najcichszych fragmentów sygnału.

- Dla poziomów poniżej **proggu** (*threshold*) – układ **liniowy**, nie zmienia sygnału.
- Powyżej proggu: **kompresja**, zmniejszenie poziomu ze współczynnikiem **ratio**.

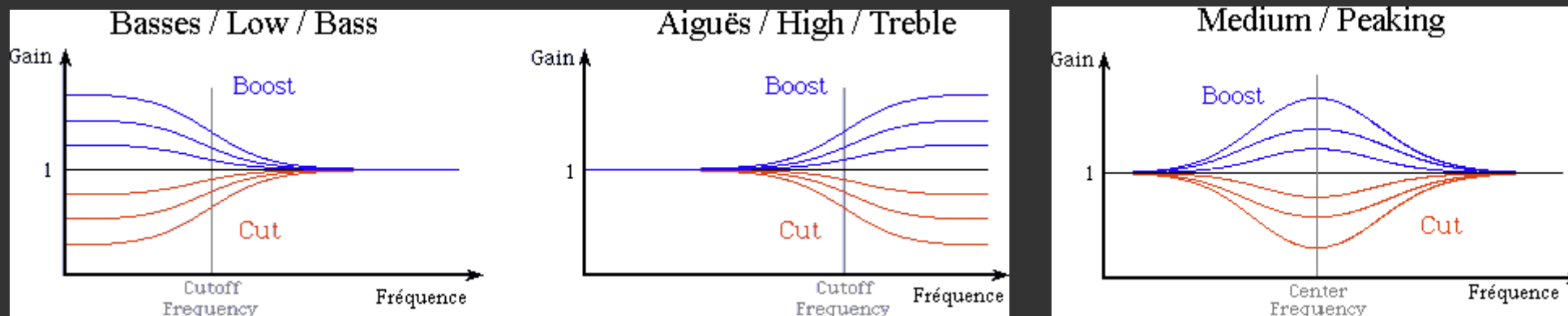


Panorama i korektor

Panorama (*panning*) – ustawia proporcje kanałów w sygnale stereofonicznym. Może być modulowana, np. przez LFO.

Korektor (*equalizer*) – układ korekcji barwy dźwięku.

- Filtry półkowe (dolny i górny – basy i sopran) i filtr szczytowy (środek).
- Parametry: częstotliwość środkowa lub graniczna filtru, szerokość pasma filtru szczytowego, wielkość podbicia lub stłumienia poziomu (*boost / cut*) w filtrach półkowych.

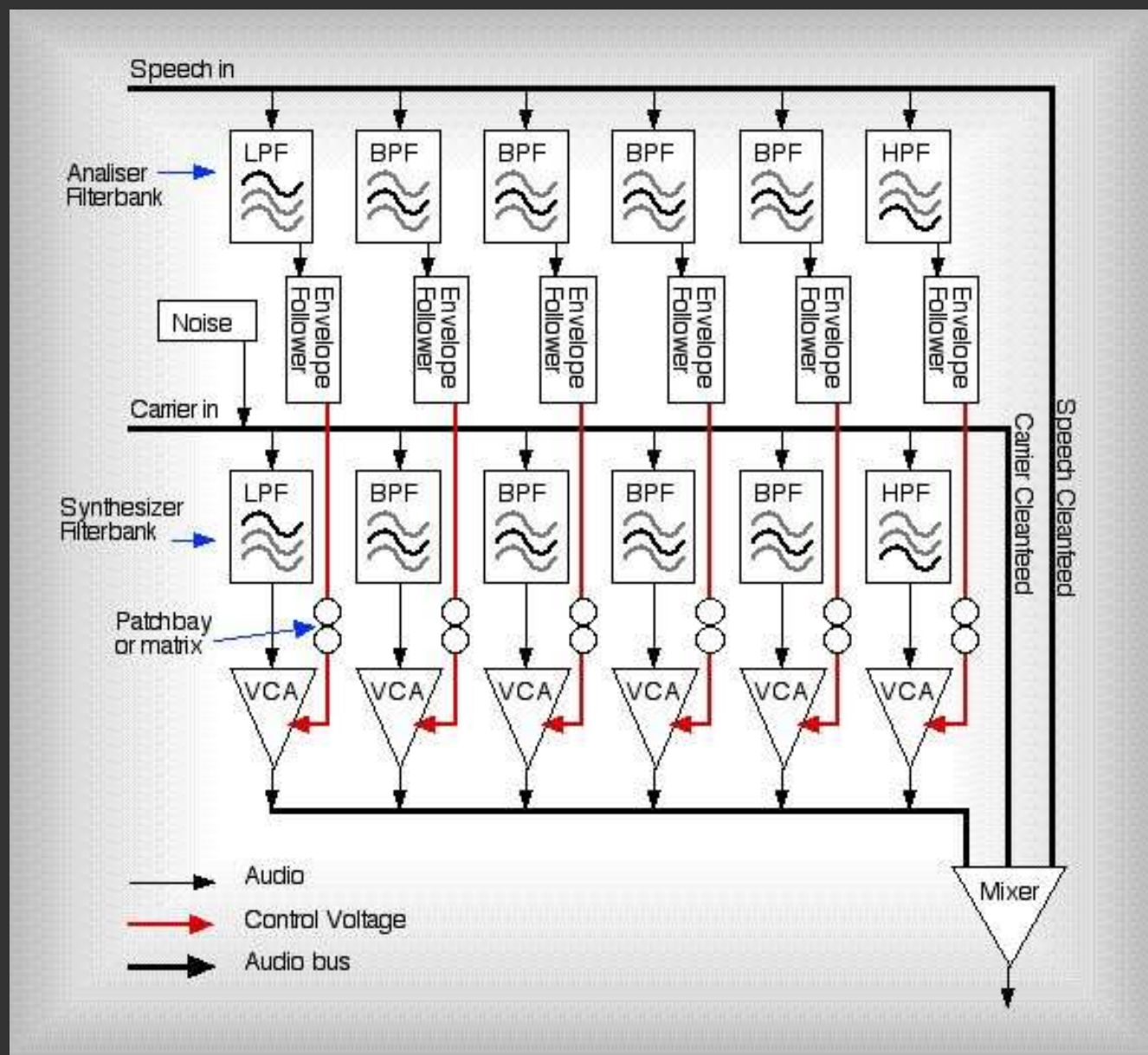


Wokoder (*vocoder*)

Wokoder (*vocoder*) jest używany jako efekt studyjny, ale może również być stosowany do przetwarzania dźwięku z synteźatora.

- Sygnał **modulujący**, np. śpiew wokalisty:
 - analiza w wąskich pasmach częstotliwości (filtry lub FFT),
 - detekcja obwiedni – zmian głośności w każdym paśmie.
- Sygnał **nośny**, np. dźwięk z synteźatora:
 - podział na takie same pasma częstotliwości,
 - modulacja głośności w każdym paśmie, na podstawie wyników analizy,
 - wysokość dźwięku pozostaje taka, jak w oryginalnym sygnale nośnym.
- Typowe efekty: głos robota, „śpiewający synteźator”, itp.

Schemat wokodera



Procesory efektów do syntezatorów

- Wiele współczesnych syntezatorów ma wbudowany prosty cyfrowy procesor efektów – podstawowe efekty (*delay, chorus, flanger, reverb*).
- Istnieją cyfrowe procesory efektów, do których można podłączyć syntezator. Duża liczba dostępnych efektów, często wysoka cena.
- Duża liczba efektów przeznaczonych dla gitarzystów dobrze współpracuje z syntezatorami (efekty analogowe oraz cyfrowe, pojedyncze efekty oraz „multiefekty”).



Literatura

- Z. Nikolic: *Synth 1 – Unofficial User Manual*. <https://sound.eti.pg.gda.pl/student/eim/doc/Synth1.pdf>
- J. Reiss: *Flanging and Phasing. Digital Audio Effects Tutorial*. <https://www.eecs.qmul.ac.uk/~josh/documents/DAFXTutorial.pdf>
- J.O. Smith: *Physical Audio Signal Processing for Virtual Musical Instruments and Audio Effects*. <https://ccrma.stanford.edu/~jos/pasp/>
- Producer Hiver: *Chorus vs Flanger vs Phaser*. <https://producerhive.com/ask-the-hive/chorus-vs-flanger-vs-phaser/>
- *Zoom MS-CDR70 Effect List*. https://zoomcorp.com/media/documents/E_MS-70CDR_FX-list_v2.pdf

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.