

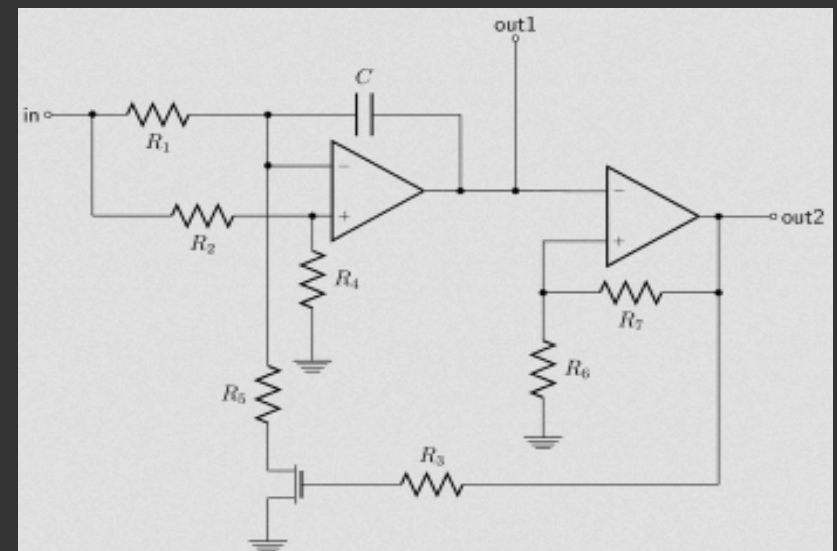
Elektroniczne instrumenty muzyczne

SYNTEZA TABLICOWA

Cyfrowe generatory

Analogowe generatory VCO

- Niedoskonałości analogowych układów w synteźatorach subtraktywnych przyczyniały się do ciekawego, „ciepłego” ich brzmienia.
- Główny problem : niestabilność częstotliwości, a więc i wysokości dźwięku – instrument fałszuje!
- Typową przyczyną było nagrzewanie się układów.
- Problem szczególnie wyraźny w instrumentach polifonicznych (wielogłosowych).



Analogowe generatory VCO

Jak działa typowy generator analogowy VCO?

- Kondensator jest ładowany prądem.
- Komparator rozładowuje kondensator gdy ładunek osiągnie wartość maksymalną.
- W ten sposób powstaje fala piłokształtna. Z niej można łatwo uzyskać inne kształty.



- Ponieważ komparator bada napięcie, zmiany szybkości ładowania kondensatora (np. wpływ ciepła) powodują zmianę okresu i częstotliwości.

Generatory sterowane cyfrowo

- DCO – *Digitally Controlled Oscillator*
- Komparator został zastąpiony przez element cyfrowy:
 - generator wytwarza ciągi impulsów o wysokiej cz.
 - licznik impulsów mierzy czas jednego okresu.



- Reszta generatora jest nadal analogowa, czyli pozostają niedoskonałości kształtu fali (i dobrze!).

Syntezaory wykorzystujące DCO

DCO były stosowane w większości analogowych syntezatorów w latach 80 (Roland, Korg, Akai, itp.).

Korg Poly-61 (1982)



Roland Juno-106 (1984)



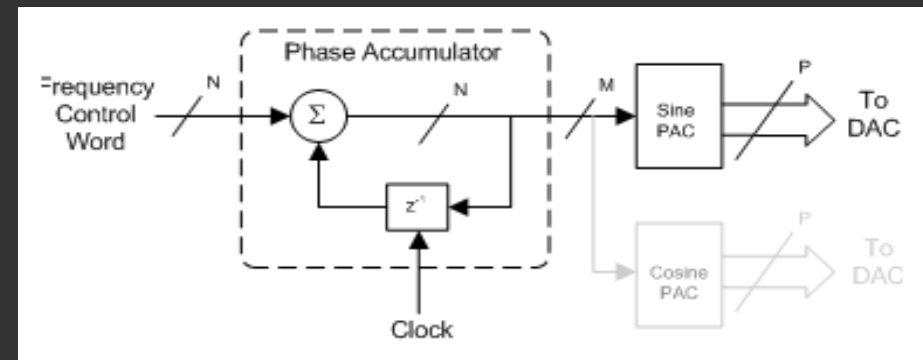
Cyfrowe generatory

W pełni cyfrowe generatory sygnałów
(*direct digital synthesizer*):

- generator i licznik impulsów – wyznacza częstotliwość,
- akumulator fazowy – „tworzy” falę piłokształtną,
- kształtowanie sygnału – inne fale niż „piła”,
- konwerter cyfrowo-analogowy.

Zalety: stabilność.

Wada: tracimy analogowe „niedoskonałości”,
dźwięk staje się bardziej „zimny”.

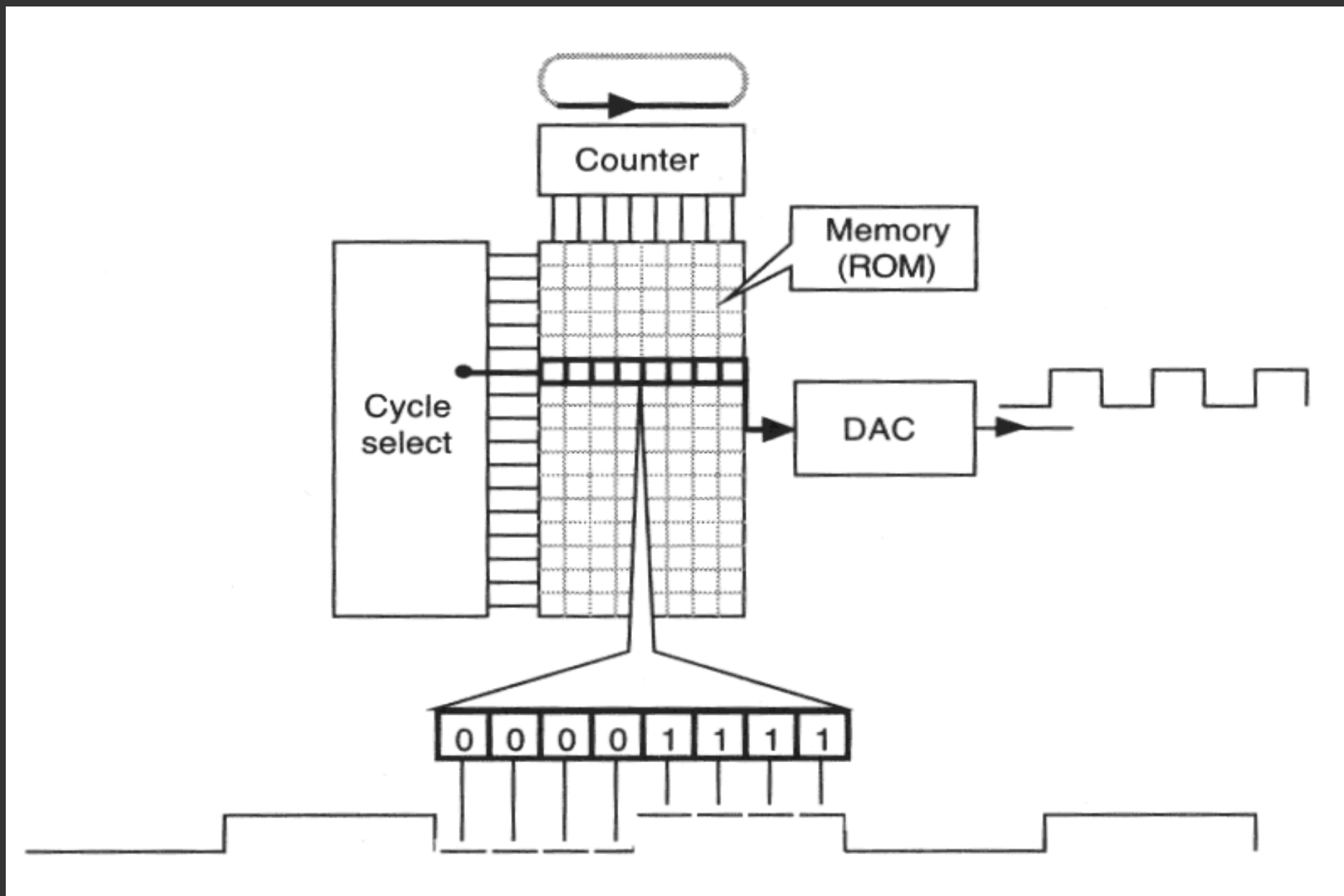


Pamięć RAM jako generator cyfrowy

Zupełnie nowe podejście.

- Sygnały zapisane w pamięci (RAM lub ROM).
- „Generowanie”: odczyt i zapętlanie.
- Możliwość zapisywania dowolnych kształtów fali, nie tylko 4 podstawowe (więcej możliwości).
- Można łączyć różne sygnały w jeden okres fali.
- Można mieszać (sumować) różne sygnały.
- Wady: stałe brzmienie, trudna zmiana wysokości, problem aliasingu.

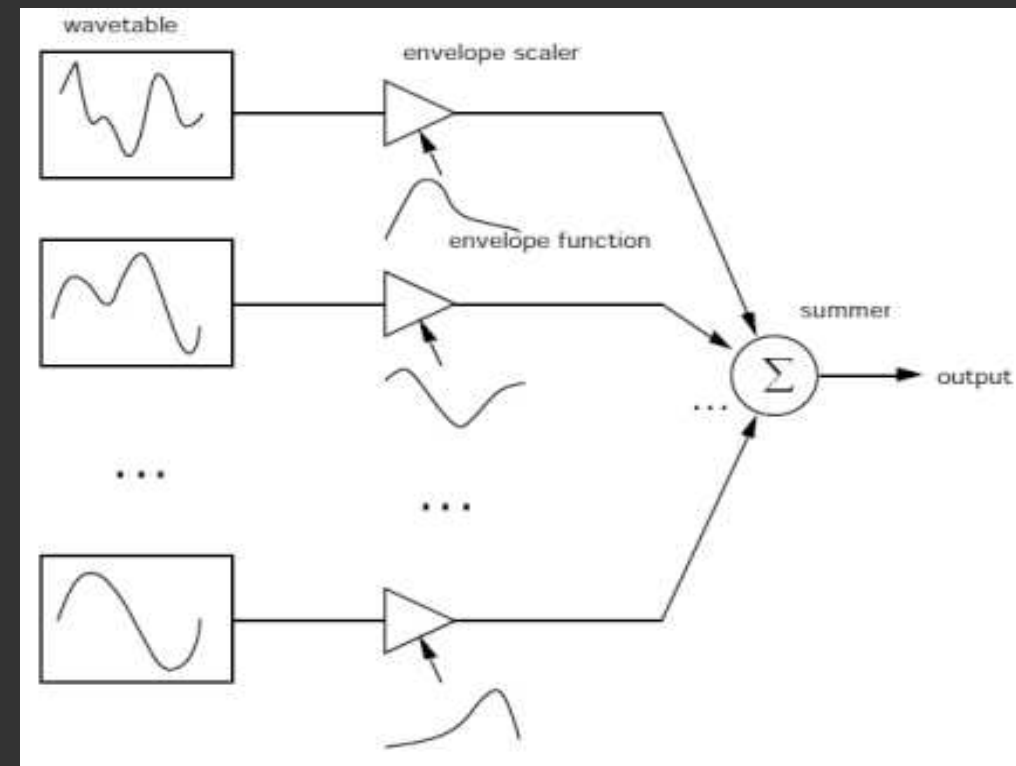
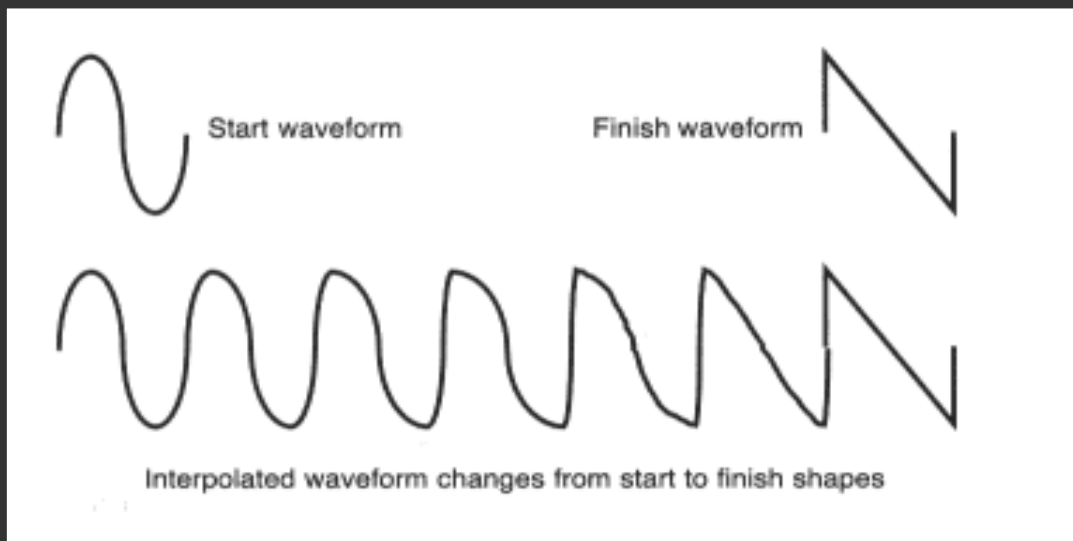
Pamięć RAM jako generator cyfrowy



Mieszanie wielu kształtów fali

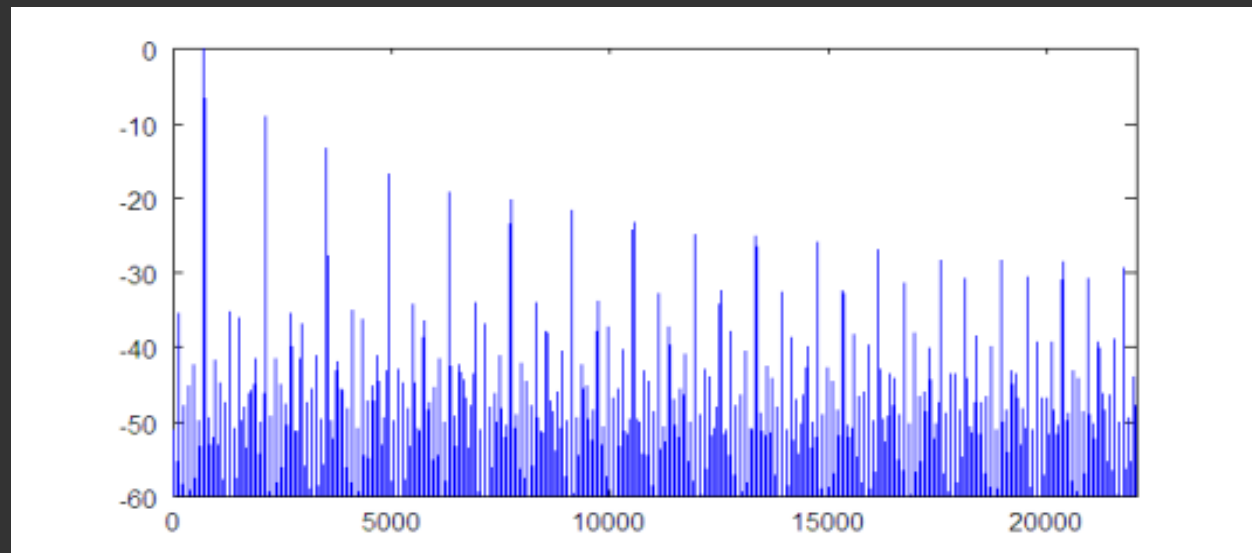
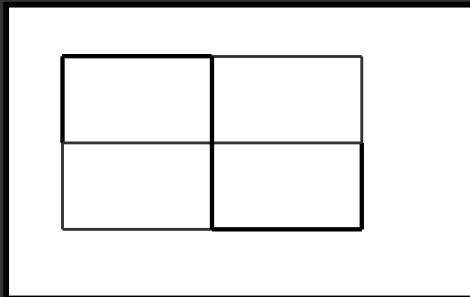
Przykład wykorzystania wielu sygnałów.

- Odczytywanych jest równocześnie kilka sygnałów z pamięci.
- Sygnały te są sumowane, proporcje są ustawiane np. za pomocą generatorów obwiedni.
- W ten sposób uzyskuje się zmienność barwy dźwięku.



Problem aliasingu

- Sygnały zapisane w pamięci mogą mieć szerokie widmo.
- Jeżeli składowe widmowe przekroczą częstotliwość Nyquista ($F_s/2$), nastąpi **aliasing** – nałożenie kopii widma.
- Efektem jest zniekształcenie barwy dźwięku, wprowadzenie nieharmoniczności.
- Nie da się zrobić fali prostokątnej tak:



Problem aliasingu

Aby uniknąć aliasingu należy zapisywać w tablicy sygnały o ograniczonym widmie (*bandlimited signals*).

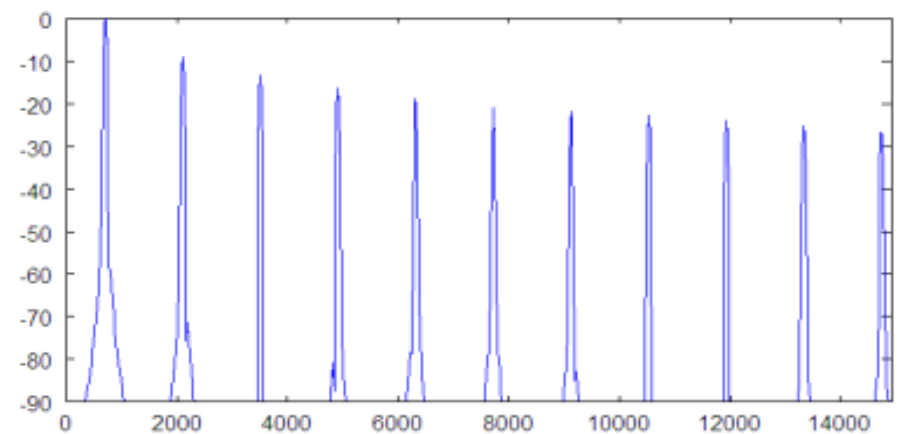
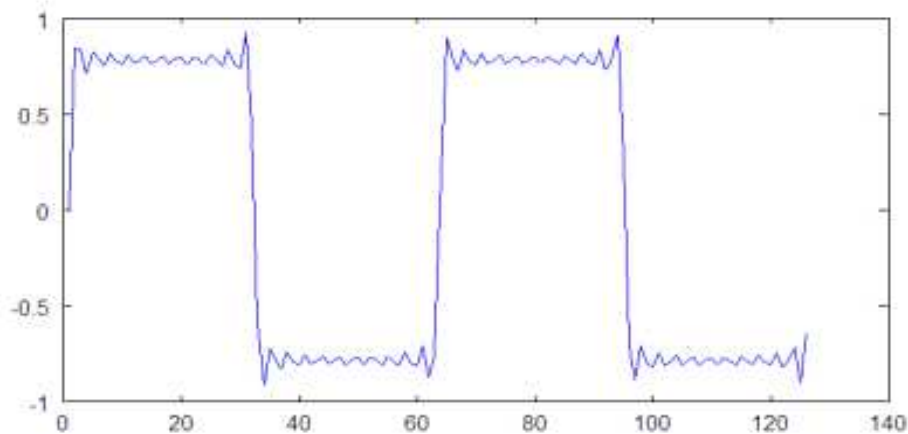
Wybrane metody:

- sumowanie składowych sinusoidalnych (szereg Fouriera) do $F_s/2$,
- filtracja dolnoprzepustowa sygnału,
- specjalne algorytmy, np. BLIT (*band limited impulse train*): ciąg impulsów przemnożony przez $\sin(x)/x$ i spróbkowany, po jego przetworzeniu (całkowanie, filtracja) uzyskujemy użyteczne kształty fali.

Problem aliasingu

Sygnaly o ograniczonym paśmie mają przebieg czasowy odbiegający od „idealnego”. Wynika to z braku składowych o wysokich częstotliwościach.

Np. fala prostokątna uzyskana metodą sumowania składowych sinusoidalnych do $21 \cdot f_0$ wygląda tak:



Problem zmiany wysokości dźwięku

- Odczytując próbki z tablicy ze stałą częstotliwością uzyskamy tylko jedną wysokość dźwięku.
- Mamy zapisane N próbek okresu sygnału. Jeżeli odczytamy kolejno każdą próbkę, uzyskamy sygnał o częstotliwości:
 $f = f_s / N$,
np. $f_s = 44\,100$ Hz, $N = 1024$: $f = 43,07$ Hz
- Potrzebujemy innej wysokości dla każdego klawisza.
- Nie jest praktyczne zapisywanie w pamięci sygnału o każdej potrzebnej wysokości.
- Jak dokonać **transpozycji**?

Problem zmiany wysokości dźwięku

Metoda nr 1: przez zmianę **szybkości odczytu** próbek (szybszy odczyt – większa częstotliwość).

- Metoda stosowana w synteźatorach z analogowym przetwarzaniem (zmiana szybkości przetwarzania C/A).
- Przykład: $N = 1024$, chcemy $f = 440$ Hz $\rightarrow f_s = 450,56$ kHz
- Problemem jest to, że przetwornik C/A musi działać bardzo szybko, szczególnie dla wysokich częstotliwości dźwięku.

Problem zmiany wysokości dźwięku

Metoda nr 2: przez zmianę **kroku indeksu** próbek odczytywanych z tablicy :większy krok to wyższa częstotliwość.

- Metoda stosowana w cyfrowych układach syntezy.
- Aby uzyskać dowolną częstotliwość f , należy przesunąć wskaźnik odczytu o wartość:

$$s = f \cdot N / F_s$$

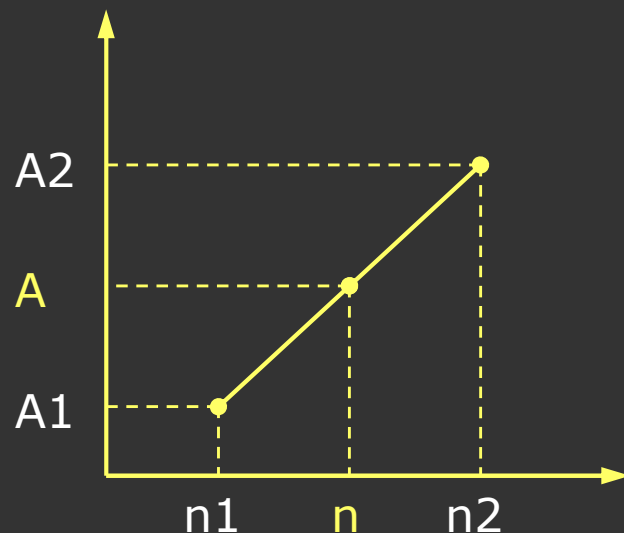
$$\text{np. } f = 440 \text{ Hz, } N = 1024 \rightarrow s = 10,2168$$

$$f = 2 \text{ kHz, } N = 1024 \rightarrow s = 46,4399$$

- W ogólnym przypadku, krok s jest liczbą niecałkowitą.
- Musimy stosować **interpolację** (liniową, wielomianową, itp.)
- Interpolacja powoduje zniekształcenia sygnału. Im więcej zapisanych próbek na okres, tym lepiej.

Interpolacja liniowa

- indeks próbki n leży między $n1$ i $n2$
($n2 - n1 = 1$)
- wartości odczytane z tablicy:
($n1, A1$) i ($n2, A2$)
- szukamy (n, A) metodą interpolacji liniowej:
$$A = A1 + (n - n1)(A2 - A1)$$



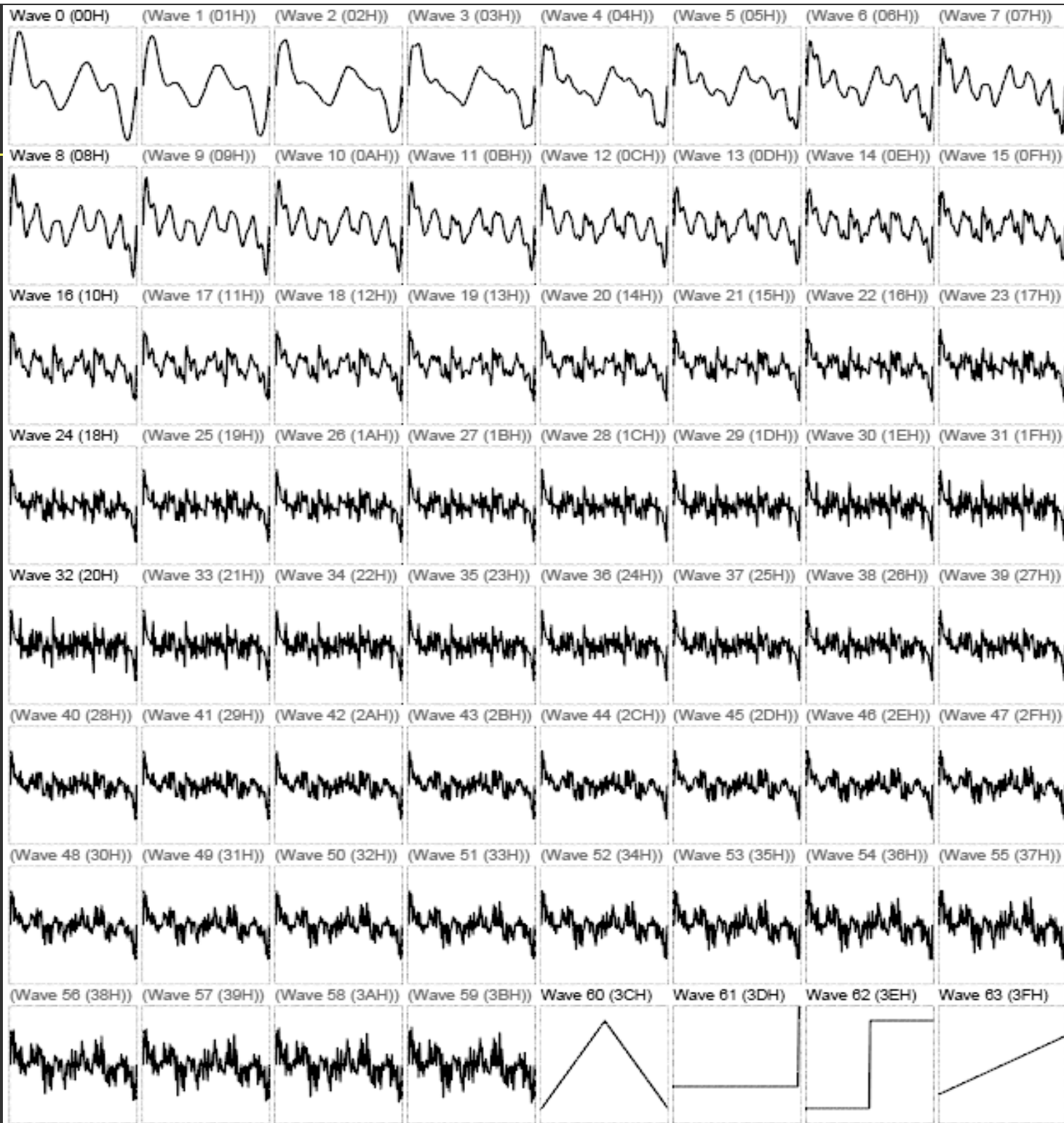
Synteza tablicowa (wavetable)

Zasada działania synteźatora tablicowego:

- kształty fal (*wave*) zapisane w pamięci,
- tablica fal (*wavetable*) zawiera wiele (np. 60) fal,
- przejście między kolejnymi falami jest płynne, od najprostszego (#0) do najbardziej złożonego (#59),
- do wyboru jest wiele tablic,
- konwersja cyfrowego sygnału na analogowy,
- dalsze przetwarzanie przez filtry VCF i modulatory LFO i EG, tak samo jak w syntezie subtraktywnej.

Wavetable

Przykład
tablicy fal



Odczyt fal z tablicy

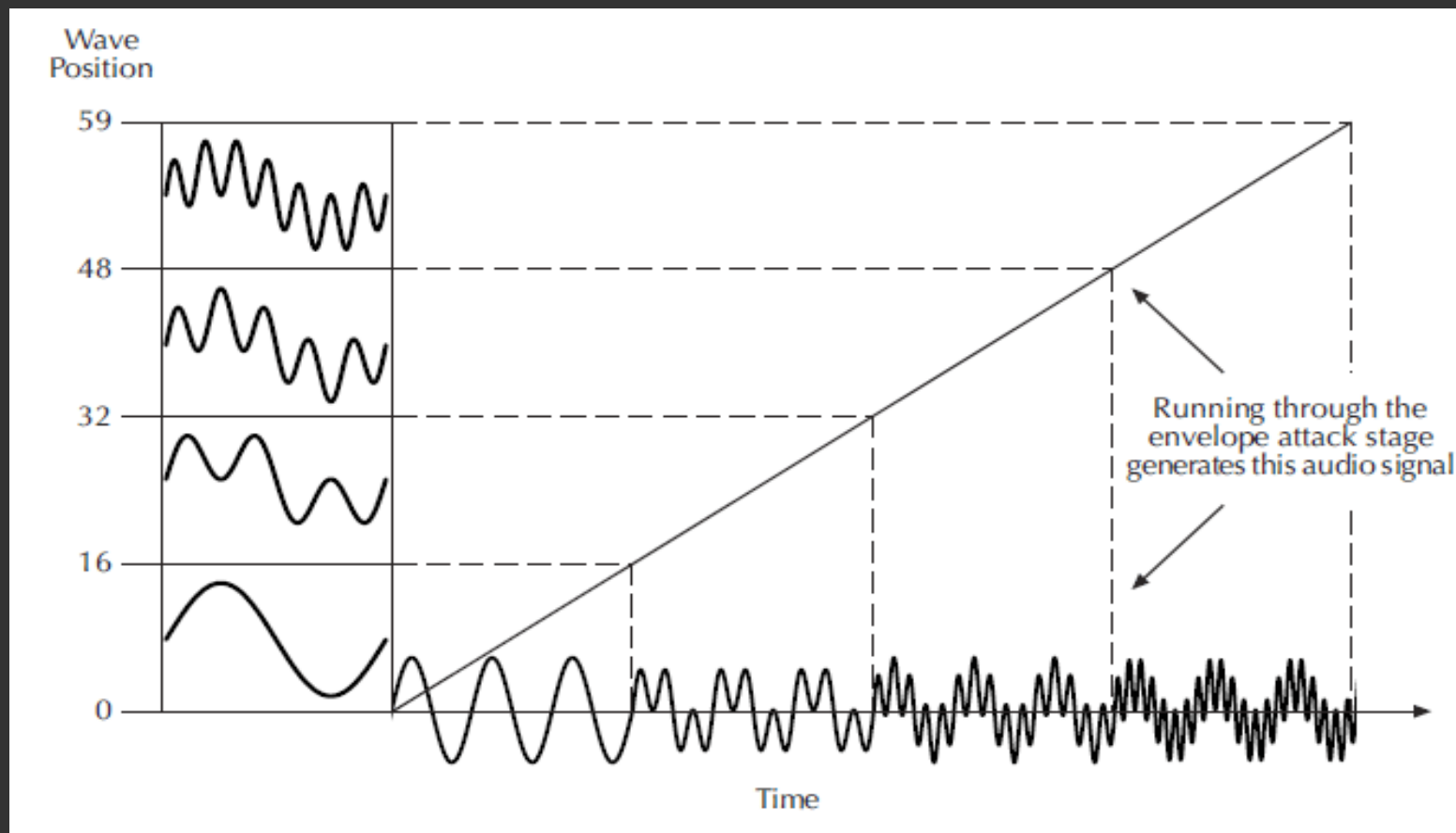
Możliwości odczytu fal z tablicy:

- jedna wybrana fala przez cały czas,
- inna fala dla każdego klawisza,
- płynne przejścia między falami, sterowane przez:
 - generator obwiedni – najczęściej stosowane, pozwala m.in. uwydatnić brzmienie w fazie ataku,
 - LFO – płynna zmiana barwy w fazie podtrzymania,
 - sterowniki, np. pokrętło *modulation*.

W porównaniu z metodą subtraktywną, tutaj sam generator pozwala na dużą manipulację barwą dźwięku.

Odczyt fal z tablicy

Modulacja indeksu fali za pomocą obwiedni



Instrumenty PPG

Syntezę tablicową zastosowano w instrumentach PPG (Wolfgang Palm).

- *Wavecomputer 360* (1980) - pierwsza cyfrowa implementacja *wavetable*.
- *Wave 2* (1981-87) - 30 tablic, 64 fale w każdej tablicy, w sumie 1920 kształtów fali dla każdego z 8 generatorów (głosów), analogowe VCF i VCO.
- *Wave 2.2* i *Wave 2.3* - usprawnienia (więcej fal i głosów, MIDI, cyfrowe przetwarzanie, próbki instrumentów).

Instrumenty PPG

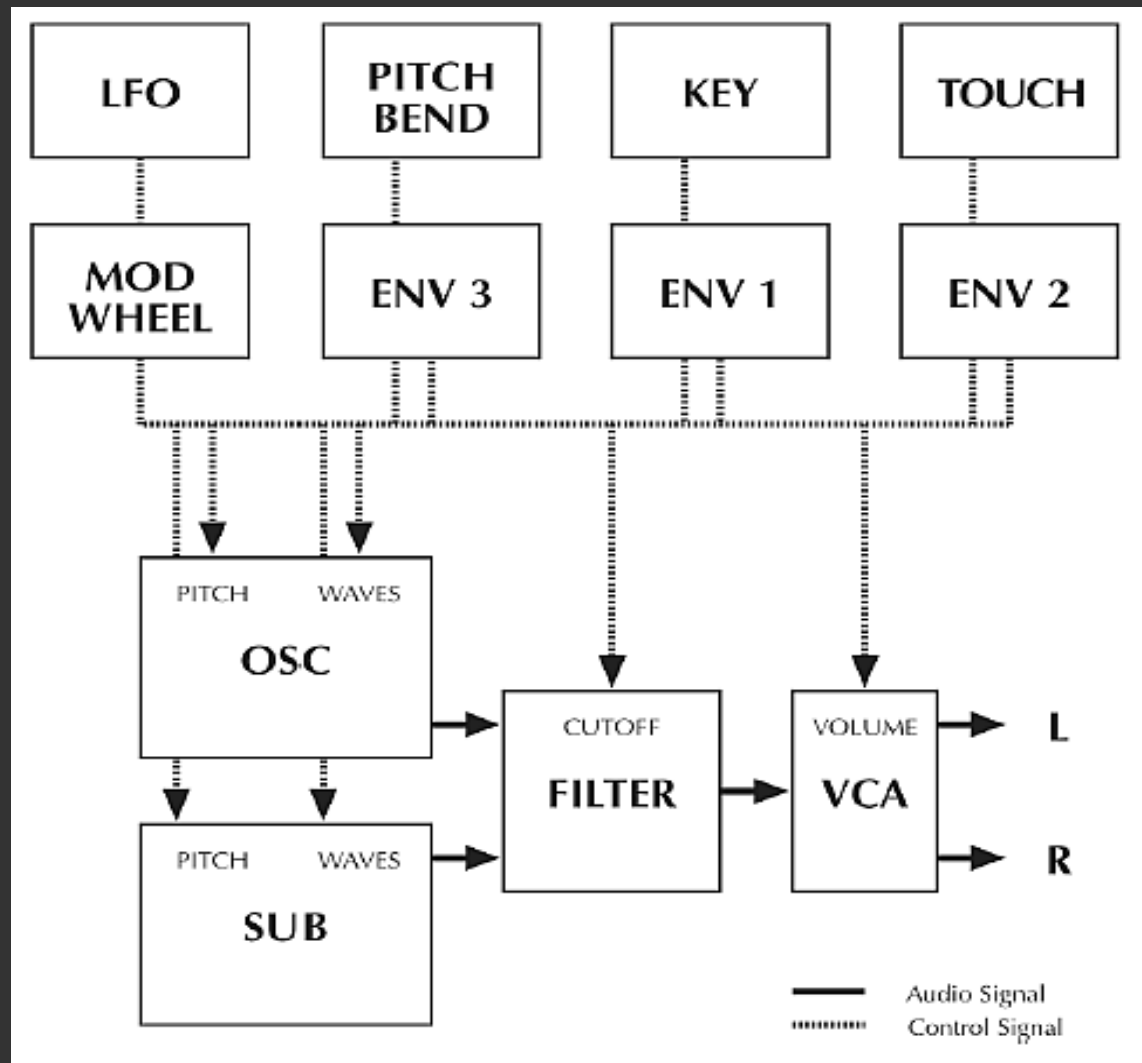
Wave 2.0



Waveterm:
komputer do
projektowania
własnych fal

Instrumenty PPG

Schemat instrumentu PPG Wave



PPG - generatory wavetable

W danej chwili mamy do dyspozycji:

- tablicę *wavetable* – jedną z 29 tablic, zawierającą 60 fal (płynna zmiana ze wzrostem indeksu) oraz 4 fale podstawowe (trójkąt, impuls, prostokąt, piła)
- dodatkową tablicę (*upper wavetable*)
 - zawsze w pamięci, zbiór 64 typowych fal

Można było projektować własne fale. Możliwe było też tworzenie ich na podstawie wgranych próbek nazywanych transjentami (*transients*) – uproszczony sampling.

Dynamiczny sposób odczytu fal stanowi o charakterystycznym brzmieniu tych instrumentów.

Instrumenty firmy Waldorf

Waldorf - sukcesor firmy PPG, producent cyfrowych instrumentów *wavetable*:

Microwave I (1989), *WAVE* (1993),
Microwave II (1997), *PPG 2.V*, *3.V* (VSTi)



Synteza tablicowa - wady i zalety

Zalety w stosunku do metody subtraktywnej:

- większa różnorodność sygnałów dostępnych w generatorze cyfrowym,
- możliwość dynamicznej zmiany barwy w generatorze,
- stabilność wysokości dźwięku.

Wady:

- ograniczenia pamięci – tylko krótkie sygnały,
- konieczność dokonywania przekształceń w celu zmiany wysokości dźwięku,
- bardziej stabilne, „zimne” brzmienie.

Literatura

- Martin Russ: *Sound Synthesis and Sampling*. Focal Press, Oxford 1996.
- Robert Bristow-Johnson: *Wavetable Synthesis. A Fundamental Perspective*. 101st AES Conv,. 1996.
- Dokumentacja syntezy PPG Wave:
<http://www.hermannseib.com/english/synths/ppg/docs.htm>
- Dokumentacja instrumentu Waldorf Wave 3.V (VST)
<http://www.waldorf-music.info/en/downloadsppg3/documentation/865-ppg-wave-3-v-manual.html>
<http://tiny.pl/qgjlq>
- Wikipedia (wersja angielska)
- Program PPG Wave Simulator (VST):
<http://www.hermannseib.com/english/synths/ppg/wavesim.htm>