

ELEKTRONICZNE INSTRUMENTY MUZYCZNE

Przegląd historyczny i pojęcia podstawowe



Opracowanie: Grzegorz Szwoch, Politechnika Gdańska, Katedra Systemów Multimedialnych

Tradycyjne instrumenty muzyczne

- Instrumenty: **strunowe, dęte, perkusyjne**.
- Drgania struny/powietrza/powierzchni powodują wytworzenie fali akustycznej na częstotliwościach słyszalnych przez człowieka.
- Przyjemny charakter dźwięku sprawia, że dźwięki tworzą interesującą muzykę.
- Człowiek ma wpływ na brzmienie dźwięku poprzez konstrukcję instrumentu oraz poprzez sposób gry na instrumencie.
- Dźwięk powstaje w sposób **naturalny** (prawa fizyki).



Instrumenty elektryczne (elektrofony)

- Gitary elektryczne, organy Hammonda i podobne.
- Zaburzenia pola elektromagnetycznego w przetworniku powodują powstanie sygnału elektrycznego.
- Po elektrycznym wzmocnieniu, na wyjściu głośnika powstaje dźwięk.
- Nadal proces powstawania dźwięku jest oparty na prawach fizyki.
- Te instrumenty nie należą do tematu przedmiotu.



Elektroniczne instrumenty muzyczne (EIM)

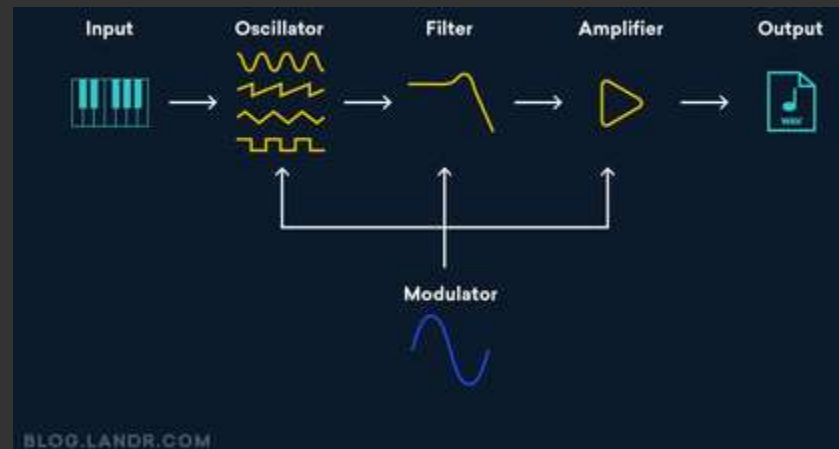
To co nas interesuje na tym przedmiocie.

- Dźwięk powstaje w sposób sztuczny, w procesie zaprojektowanym przez człowieka i pozostającym pod jego kontrolą.
- Dwie główne metody:
 - **synteza dźwięku**: budowanie dźwięku od podstaw,
 - **sampling**: nagrywanie, przetwarzanie, odtwarzanie próbek dźwięku.
- Różne formy EIM:
 - **sprzętowe**: analogowe, cyfrowe, hybrydowe;
 - **programowe** (wirtualne): programy komputerowe.



Synteza dźwięku

- Synteza – z greckiego *syntithenai* – „złożyć z części”.
- Budujemy złożony dźwięk muzyczny z pewnego surowca (np. łączymy „surowe” dźwięki i je „obrabiamy”).
- **Metoda syntezy** – sposób tworzenia syntetycznego dźwięku muzycznego. Powstało kilka metod syntezy.
- **Synteзатор** (ang. *synthesizer*) – EIM wytwarzający dźwięki muzyczne w procesie syntezy dźwięku.

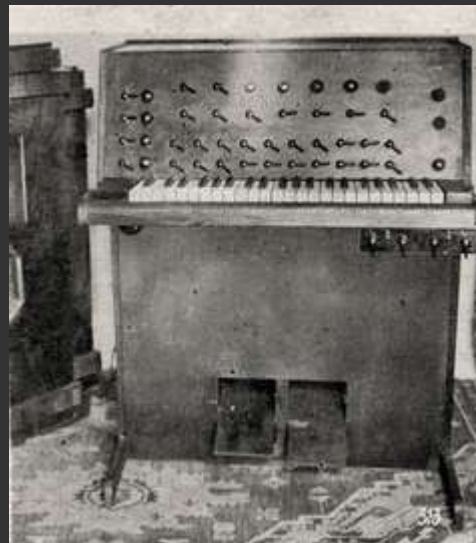


Przodkowie EIM

Theremin (1919)



Bode Warbo (1937)



Hammond Novachord (1939)



W przeciwieństwie do np. elektronicznych organów, powyższe instrumenty umożliwiały muzykowi wpływ na kształt powstającego dźwięku, przez modulację, obwiednie, itp.

Musique concrète – trend muzyczny polegający na tworzeniu muzyki z nagranych dźwięków. Wykorzystywano m.in. oscylatory, filtry i modulatory – wczesna synteza dźwięku.

RCA Mark - pierwszy syntezator

RCA Mark I (1952), RCA Mark II (1957).

- Urządzenie do tworzenia dźwięków muzycznych.
- Zbudowane w technologii lampowej.
- Po raz pierwszy pojawia się termin „syntezator”.
- Programowanie melodii za pomocą perforowanej papierowej taśmy – sekwencer.
- Prekursor późniejszych analogowych syntezatorów.



Moog Modular (1964)

- Analogowy syntezator zbudowany przez **Roberta Mooga**.
- Punkt zwrotny w historii EIM - instrument wyposażony w klawiaturę muzyczną.
- Synteza **modularna** – moduły pełniące określone funkcje, łączone przewodami.
- **Synteza subtraktywna** – wykorzystywana w większości późniejszych analogowych syntezatorów.



Moog Modular (1964)

- 1968 – ukazuje się album „*Switched On Bach*”, wykonawca: Wendy (Walter) Carlos, zawierający utwory Jana Sebastiana Bacha wykonane za pomocą syntezatora Moog Modular.
- Duży sukces komercyjny oraz kontrowersje.
- Paradoks: najlepiej sprzedający się album z muzyką poważną w historii.
- Album ten znacząco przyczynił się do popularyzacji syntezatorów wśród muzyków, jak i wśród słuchaczy.



Popularyzacja syntezatorów

- Syntezatory, takie jak *Moog Modular*, były początkowo przeznaczone do eksperymentowania i do tworzenia muzyki filmowej. Spodziewano się, że powstanie nowy nurt muzyki elektronicznej. Tak też się stało.
- Ale nowe brzmienia zainteresowały też „klasycznych” muzyków, zwłaszcza z nurtu rocka symfonicznego (progresywnego).
- *Moog Modular* był jednak zbyt drogi, aby mógł być szeroko dostępny i zbyt nieporęczny, aby używać go na scenie podczas koncertów (choć, dla chcącego nic trudnego →).



Minimoog Model D (1971)

- *Minimoog* był zmniejszoną i uproszczoną wersją syntezatora.
- Brak przewodów – stałe połączenia modułów. 3 generatory, filtr, wzmacniacz oraz modulatory.
- Mimo pozornego ograniczenia funkcjonalności, instrument stał się niezwykle popularny.
- Spodziewano się sprzedać około 100 sztuk – wyprodukowano ok. 12 000.
- Cena w 1974 r.: 1595\$.



Instrumenty ARP

ARP 2600P (1971)

instrument półmodularny



ARP Odyssey (1972)

dufoniczny syntezator



Modularność syntezatorów

- Syntezator **modularny** (*modular*) – wszystkie moduły muszą być połączone za pomocą przewodów, aby powstał dźwięk. Przykład: *Moog Modular*.
- Syntezator „niemodularny” – połączenia pomiędzy modułami są wykonane na stałe (czasami można je modyfikować przełącznikami), np. *Minimoog*.
- Syntezator **półmodularny** (*semi-modular*):
 - istnieją domyślne połączenia między modułami, tworzące dźwięk,
 - można rozłączyć te połączenia i utworzyć własne, za pomocą przewodów,
 - przykład: *ARP 2600P*, *Moog Matriarch* (2019).



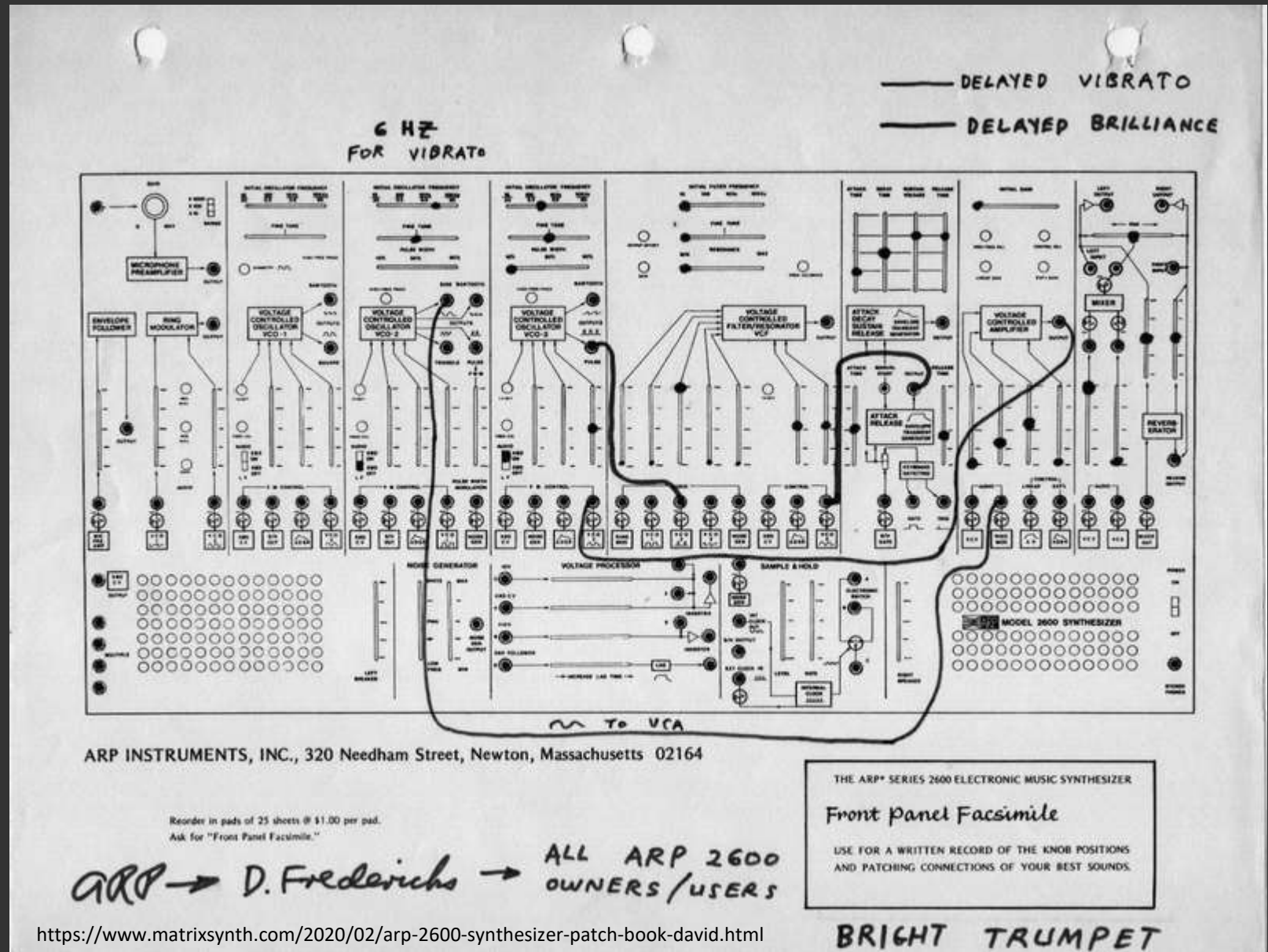
Patch

- *Patch cord* oznacza przewód stosowany do łączenia modułów.
- Aby zachować konfigurację modularnego syntezatora, należało zapisać:
 - połączenia między modułami za pomocą przewodów,
 - ustawienia modułów (pokręta, przełączniki).
- Słowem *patch* określano całą ww. konfigurację umożliwiającą uzyskanie danego brzmienia.
- Do dzisiaj używa się słowa *patch* (także: *preset*, *program*) jako określenia wszystkich ustawień syntezatora, które dają dane brzmienie.
- *Patch memory* – pamięć ustawień, możliwość zapisania i odtworzenia nastaw instrumentu w pamięci urządzenia.
- *Patch bay* – wydzielona część instrumentu zawierająca złącza wejścia/wyjścia modułów.



Patch

Przykład ręcznie zapisanego patcha (ARP 2600)



Głos i monofoniczność

- **Głos** (*voice*) – niezależny tor syntezy, obejmujący generowanie dźwięku i kształtowanie jego brzmienia (artykulację).
- Syntezator **monofoniczny** (*monophonic, monosynth*) – jednogłosowy. Tylko jeden dźwięk w danej chwili. Wczesne analogowe syntezatory (np. *Minimoog*) były monofoniczne. Obecnie również się ich używa (np. do linii basowych).
- Syntezator **duofoniczny** (*duophonic*) – dwugłosowy (np. *ARP Odyssey*).
- Syntezator **parafoniczny** (*paraphonic*): więcej niż jeden generator, a więc kilka dźwięków o różnej wysokości (akordy!). Ale: wspólny układ kształtowania dźwięku (filtry, modulatory), więc jednakowe brzmienie wszystkich dźwięków (jednakowa artykulacja – głosy nie są niezależne).

Monofoniczny syntezytor


Co się stanie, jeżeli w monofonicznym syntezytorze trzymamy wciśnięty klawisz, a jednocześnie wciśniemy drugi?

- Nadal słyszymy tylko jeden dźwięk (mamy jeden głos).
- **Priorytet** decyduje o tym, który dźwięk jest odgrywany, np.: ostatnio wciśnięty klawisz (*last note*), niższy klawisz (*lowest note*), wyższy (*highest note*).
- W normalnym trybie: nowy dźwięk jest odtwarzany od początku, od fazy ataku (pełne wyzwolenie obwiedni).
- W trybie **legato**: następuje tylko zmiana wysokości dźwięku, obwiednia nie jest ponownie wyzwalana.
- **Portamento**: płynna zmiana wysokości w trybie *legato*, czas przejścia jest regulowany.

Polifonia

- Polifonia = wielogłosowość.
- Syntezator **polifoniczny** (*polyphonic, polysynth*): wiele głosów, każdy głos ma niezależnie kontrolowaną wysokość oraz barwę (brzmienie dźwięku).
- Liczba głosów definiuje, ile różnych dźwięków można wygenerować jednocześnie. Np. syntezator sześciogłosowy: 6 dźwięków.
- Każdy głos jest w praktyce samodzielnym syntezatorem (*voice module*).
- Polifonia umożliwia grę na instrumencie w sposób zbliżony do fortepianu czy organów, a więc m.in. grę akordami.
- We wczesnych analogowych syntezatorach polifonia była trudna do uzyskania, zwiększała koszt instrumentu i wprowadzała problemy ze strojem.

Polifoniczny syntezytor, unison

- W normalnym trybie polifonicznego syntezytora, do każdego nowego dźwięku jest przydzielany **jeden głos**: kolejny z puli głosów (jeżeli kolejny jest zajęty – następny wolny).
The image shows a control panel labeled "VOICES" with 12 numbered slots (1-12). Each slot has a small indicator light. Slots 1, 2, 3, 4, 7, 8, 9, 10, 11, and 12 have their lights on, while slots 5 and 6 have their lights off.
- Jeżeli wszystkie głosy są zajęte, przejmowany jest najstarszy głos (*voice stealing*).
- Jeżeli jest włączony tryb **unison**, więcej niż jeden głos jest przydzielany dla jednego dźwięku. Głosy grają **unisono**. Zwykle wprowadza się różnice pomiędzy głosami, np. odstrojenie, ustawienie w panoramie stereo, itp.
- Tryb *unison* daje „pełniejsze” brzmienie dźwięku, ale zmniejsza liczbę głosów dostępną dla polifonii.
- Polifoniczny syntezytor można zwykle przełączyć w tryb monofoniczny (zwykły lub *legato*).

Wielobrzmieniowość

- Instrument **jednobrzmieniowy** (*monotimbral*)
 - jest w stanie wytwarzać tylko jedno brzmienie (jeden instrument) w danej chwili,
 - większość syntezatorów jest jednobrzmieniowa.
- Instrument **wielobrzmieniowy** (*multitimbral*)
 - może wytwarzać więcej niż jedno brzmienie jednocześnie,
 - instrumenty mogą być **uwarstwione** (*layering*)
 - jeden klawisz odgrywa więcej niż jedno brzmienie,
 - **podział klawiatury** (*split*) – różne zakresy klawiszy generują różne brzmienia.

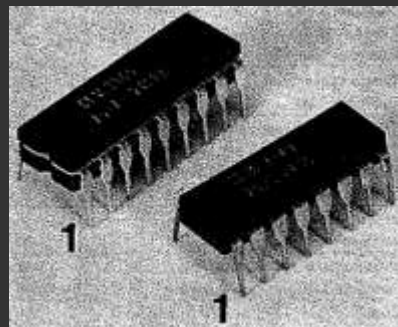
String machines

- W latach 70. popularne stały się „syntezatory smyczkowe” (*string machine*).
- Były to uproszczone analogowe syntezatory polifoniczne. Polifonię uzyskiwano metodą dzielników częstotliwości (*divide down*).
- Ich rola polegała na generowaniu dźwięków przypominających instrumenty smyczkowe. Wzbogacone były o efekty brzmieniowe, zwykle chorus.
- Tylko gotowe *presety* – nie można samodzielnie kształtować brzmienia.
- Najbardziej popularny przykład: ARP *Solina String Ensemble* (1974).
- *Polymoog* (1975) był pierwszym 100% polifonicznym syntezatorem, ale z licznymi ograniczeniami.

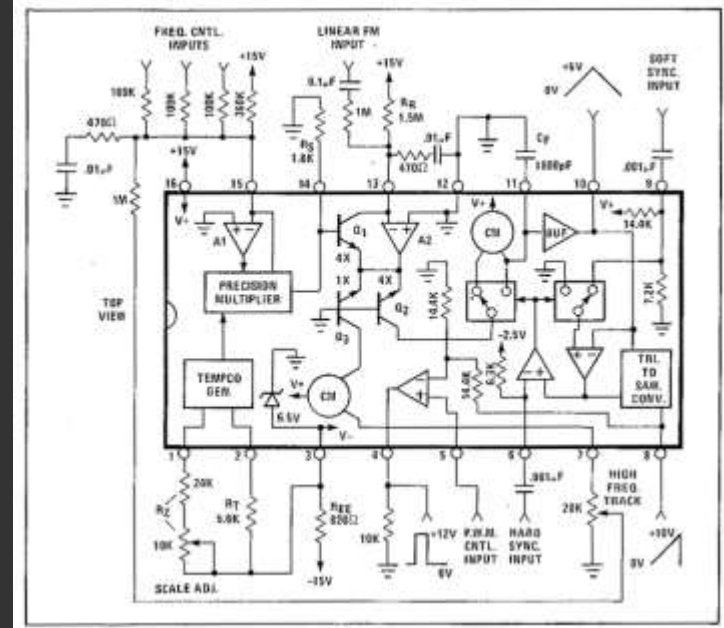


Układy scalone w syntezatorach

- Wczesne syntezatory były budowane w oparciu o elementy dyskretne - samodzielne tranzystory, kondensatory, rezystory, itp.
- Bardzo duża podatność na zmiany temperatury (rozstrojenie!), wysoka awaryjność wysoki koszt.
- Elementy dyskretne zostały zastąpione przez analogowe **układy scalone**.
- Jeden *chip* zawiera np. cały oscylator lub cały filtr.
- Zmniejszenie awaryjności, kosztów i podatności na zmiany temperatury.
- Stosowane układy:
 - **SSM** (*Solid State Music*),
 - **CEM** (*Curtis Electro Music*).



CEM 3340 Circuit Block and Connection Diagram



Sequential Circuits *Prophet-5*

- *Prophet-5* (1978) firmy *Sequential Circuits* (autor: Dave Smith).
- Kamień milowy w historii syntezatorów.
- Polifoniczny, **pięciogłosowy** syntezator.
- Zastosowanie procesora Z80 do skanowania klawiatury i przydzielania głosów.
- Procesor został wykorzystany również do **zapisywania programów** w pamięci i łatwego ich przywoływania. Dla muzyka – rewolucja!
- Najbardziej popularny syntezator przełomu lat 70/80, mimo wysokiej ceny (4595\$ w 1980 r.).



Syntezaory analogowe lat 70/80

Yamaha CS80 (1977)

8 głosów, dwubrzmienny
bez pamięci programów
używany m.in. przez Vangelisa



Oberheim OB-X (1979) i OB-Xa (1980)

4/6/8 głosów (*voice cards*)
dwubrzmienny
pamięć ustawień
m.in. *Jump* Van Halen (OB-Xa)



Syntezaory analogowe lat 70/80

Roland *Jupiter 8* (1981)

8 głosów, dwubrzmienny



Roland *Juno 106* (1984)

6 głosów,

cyfrowo sterowane generatory DCO

niższa cena, większa dostępność

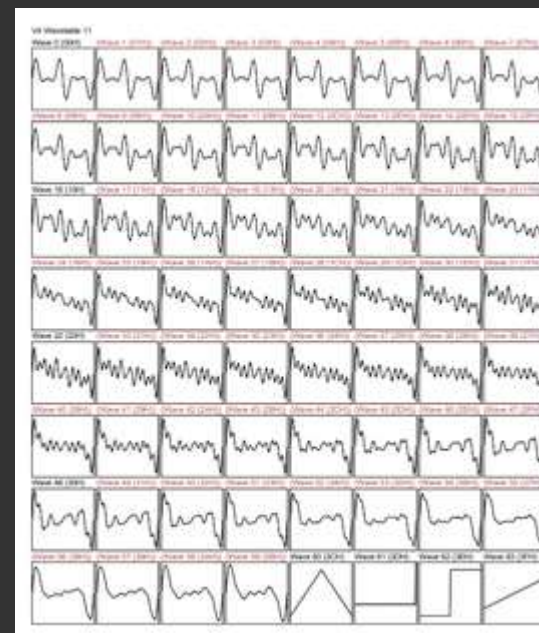
Podobny: *Korg Polysix* (1981)



Synteza tablicowy PPG

PPG Wave 2.2 (1982)

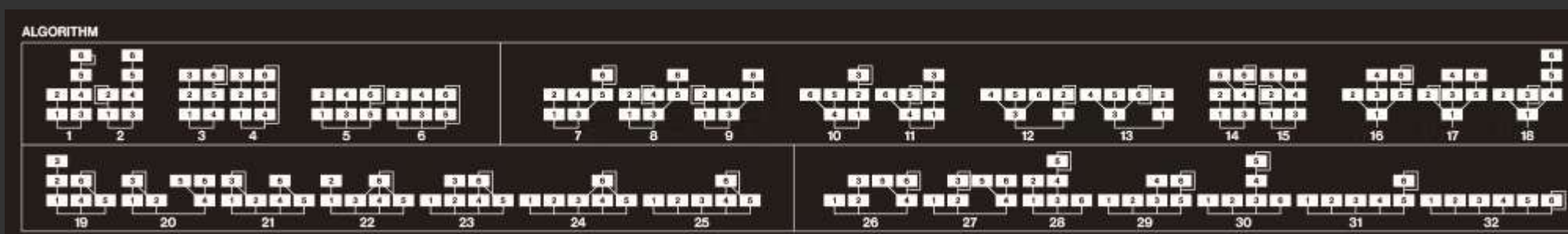
- synteza **tablicowa** (*wavetable*),
- zamiast analogowych oscylatorów: pojedyncze okresy fal odczytywane z pamięci ROM i zapętlane,
- analogowe filtry i modulatory,
- dużo większe możliwości brzmieniowe niż w analogowych syntezatorach subtrakcyjnych,
- problemy wczesnej techniki cyfrowej (aliasing, zniekształcenia).



Cyfrowy syntezator Yamaha

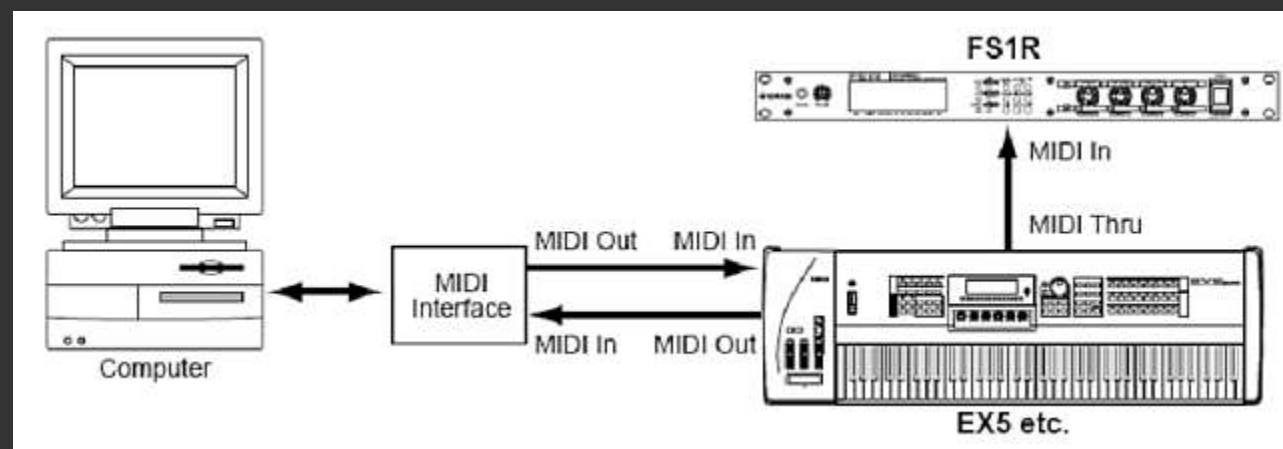
Yamaha *DX7* (1983)

- W pełni cyfrowy instrument.
- Synteza metodą **FM** (modulacji częstotliwości).
- 16-głosowa polifonia.
- Zupełnie inne brzmienie niż w analogowych syntezatorach subtraktywnych.
- Prosta obsługa i stosunkowo niski koszt w porównaniu do analogowych syntezatorów (*DX7*: 1995\$, *Prophet-5*: 4995\$).
- Najbardziej popularny syntezator połowy lat 80.



MIDI

- MIDI (*Musical Instrument Digital Interface*) jest standardem wymiany danych między cyfrowymi urządzeniami muzycznymi.
- Służy do sterowania urządzeniami dźwiękowymi.
- Zapewnia kompatybilność między urządzeniami różnych producentów.
- Rozdziela funkcje tradycyjnych EIM:
 - sterownik (klawiatura, komputer, itp.)
 - moduł dźwiękowy (syntezator, sampler, itp.).
- Komputer może pełnić rolę **sekwencera** – automatyczne generowanie dźwięków (zastępuje muzyka).



Sampling

Sampling to zupełnie odmienne podejście do tematu EIM niż w syntezie.

- Nagrywamy i przetwarzamy istniejące dźwięki – próbki (**sample**).
- Z nagranych dźwięków budujemy instrumenty.
- Dźwięki są „rozkładane” na klawiaturę (zmiana wysokości), mogą być zapętlane, mogą być dodawane efekty brzmieniowe.
- **Sampler** odtwarza te dźwięki podczas gry.
- Zupełnie nowe możliwości brzmieniowe dla muzyków w tamtych czasach.
- Początkowo bardzo wysoki koszt (pamięć, mikroprocesor)
- mała dostępność.

Pierwsze cyfrowe EIM z samplowaniem

Fairlight *CMI* (1979) *Computer Music Instrument*

Pierwszy cyfrowy komputer - sampler.

Bardzo wysoki koszt (od 15 000\$),
ale rewolucja w EIM.



New England Digital *Synclavier II* (1980)

Cyfrowy syntezator – synteza FM i addytywna.

1982 – dodano sampling jako rozszerzenie.

Wysoki koszt (od 25 000\$ do 200 000\$).



Samplery

E-mu *Emulator II* (1984)

Bardziej przystępny cenowo (7995\$)
– popularyzacja samplingu wśród muzyków.
8 głosów, sampling 8 bit, pamięć do 1 MB.



AKAI *S1000* (1988)

Moduł sterowany przez MIDI.
Sampling 44 kHz, 16 bit.
2 MB RAM, rozszerzenie do max. 32 MB.



Nie tylko „klawisze”

Moog *Taurus* (1975)
syntezator basowy



Roland *G-707* (1984)
syntezator gitarowy



Simmons *SDSV* (1982)
syntezator perkusyjny



Keytar



AKAI EWI3020 Wind Controller



Automaty perkusyjne

Automat perkusyjny (*drum machine*) – EIM wytwarzający dźwięki perkusyjne, sterowany wbudowanym sekwencerem.

Roland TR-808 (1980)

synteza analogowa



LinnDrum (1982)

sample instrumentów



Syntezaory basowe

Syntezaory wyspecjalizowane w generowaniu niskich dźwięków – linii basowych.

Roland TB-303 (1981) – popularność zyskał dopiero w latach 90. (muzyka techno).

Dźwięki generowane automatycznie przez sekwencer.



Cyfrowe instrumenty oparte na próbkach dźwięku

EIM zaczęły ewoluować w stronę urządzeń opartych na gotowych próbkach brzmień instrumentów, dodając proste przetwarzanie („syntezę”) i efekty.

Roland *D50* (1987)

- Połączenie próbek (transjent) z syntezą (stan ustalony).



Korg *M1* (1988)

- Brzmienia oparte na 144 próbkach instrumentów; 16 głosów
- Najlepiej sprzedający się EIM w historii.



Modelowanie fizyczne

Próba zupełnie nowego podejścia do EIM:

- modelujemy instrument, a nie jego dźwięk,
- można sterować komputerowym modelem tak jak prawdziwym instrumentem,
- lepsza wierność brzmienia niż w samplerach – zróżnicowanie dźwięków,
- bardzo trudno jest opracować dobrze brzmiący model instrumentu.

Yamaha VL-1 (1994) – falowodowa synteza dźwięku (*waveguide synthesis*)



Wirtualna synteza analogowa

- *Virtual analog synthesis* – emulacja analogowej (subtraktywnej) syntezy dźwięku za pomocą w pełni cyfrowego instrumentu.
- Rozbudowanie o nowe możliwości (np. łączenie różnych metod i samplingu).
- Emulacja analogowych „niedoskonałości” jest skomplikowana.
- Trend w połowie lat 90.

Clavia Nord Lead 2X (1997)



Synteza programowa (*software synthesis*)

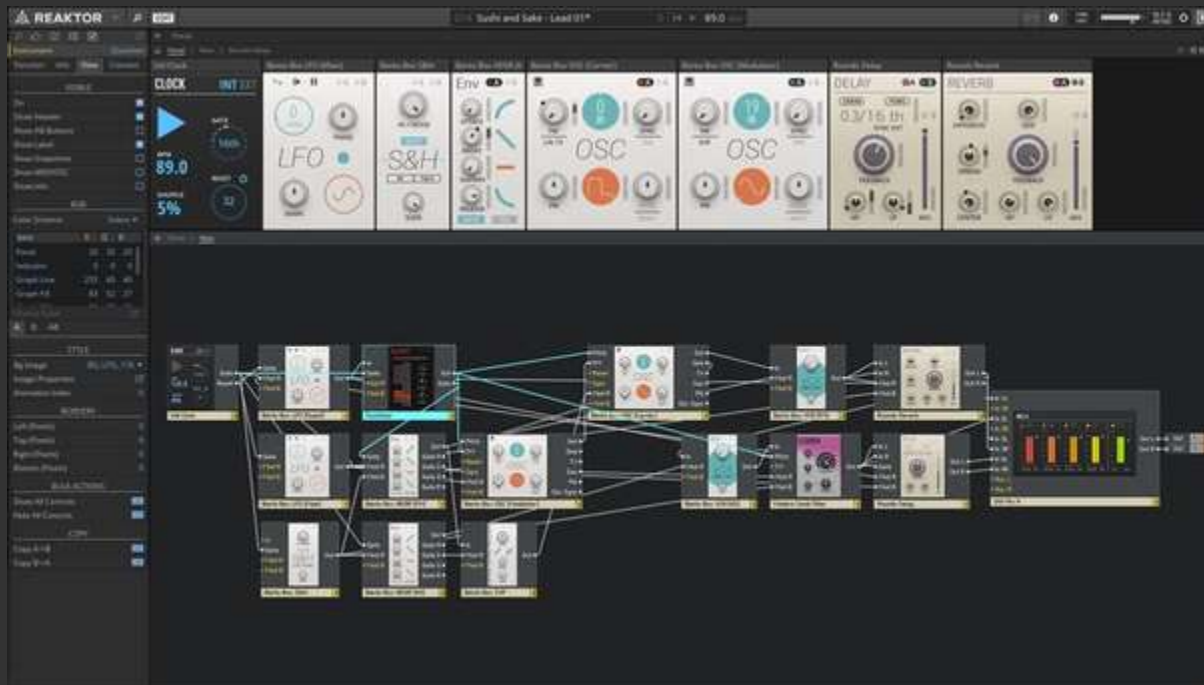
- Moc komputerów stała się na tyle duża, że programy komputerowe mogą realizować syntezę dźwięku (i sampling).
- Oprogramowanie w formie wtyczek – standardy: VST, AU.
- Uruchamiane wewnątrz programu *host* – DAW (*Digital Audio Workstation*).
- Programy komercyjne i darmowe.
- Emulacja sprzętowych instrumentów.
- Oryginalne instrumenty – każda metoda syntezy jest możliwa.
- Możliwość domowego tworzenia muzyki niskim kosztem.



Komputerowe narzędzia muzyczne

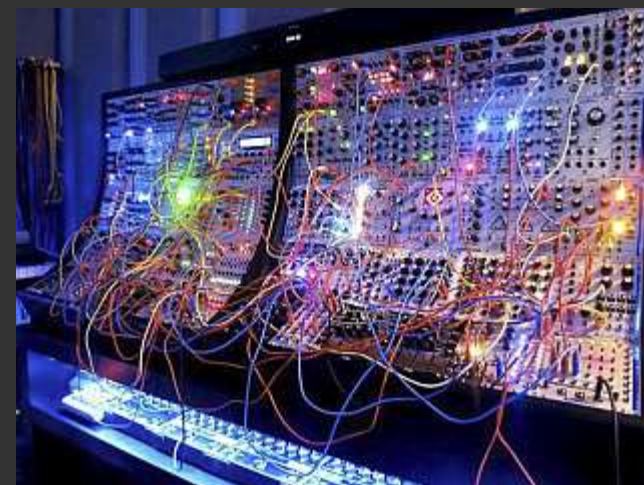
Narzędzia do tworzenia muzyki za pomocą komputera – nie samodzielne instrumenty, ale wirtualne studio umożliwiające tworzenie własnych układów syntezy.

NI Reaktor



Eurorack - powrót analogowej syntezy modularnej

- *Eurorack* – standard **analogowych** modułów (generatorów, filtrów, wzmacniaczy, itp.).
- Kompatybilne moduły od różnych producentów – duży i aktywny rynek.
- Moduły montowane w znormalizowanych szafkach (*rack*).
- Łączenie przewodami, tak jak w oryginalnych syntezatorach modularnych.
- Powrót do analogowych brzmień.



Renesans analogowych syntezyatorów

- Od pewnego czasu na rynku zaczęły się znów pojawiać analogowe syntezyatory subtraktywne. Często są one łączone z cyfrowymi układami (LFO, EG).
- Instrumenty:
 - nowe, oryginalne konstrukcje, np. *Moog Matriarch*, *Korg Minilogue xd*
 - unowocześnione wznowienia dawnych instrumentów, np. *Minimoog*, *Prophet-5*,
 - nieautoryzowane klony dawnych instrumentów (patenty wygasły), np. instrumenty firmy Behringer.
- Współczesna technika pozwala uniknąć problemów, które były obecne w dawnych analogowych instrumentach (np. ich rozstrajanie się).
- Podobny koszt, a lepsze brzmienie niż czysto cyfrowe instrumenty.

Przykłady współczesnych EIM

Moog *Matriarch*
analogowy, półmodularny



Moog *Grandmother*
analogowy, półmodularny



ASM *Hydrasynth*
cyfrowy, virtual analog



Arturia *MiniBrute*
analogowy



Moog *One*
analogowy, polifoniczny



Korg *Prologue*
analogowy, polifoniczny



Konstrukcja EIM

Sprzętowe EIM są produkowane w następujących formatach.

- *Keyboard* – samodzielny instrument z klawiaturą.
- *Desktop* – instrument w obudowie, bez klawiatury. Sterowany przez MIDI.
- *Rack module* – instrument bez obudowy, moduł przeznaczony do montażu w stojaku (*rack*).



Więcej na temat EIM

- **Wikipedia** (głównie w języku angielskim)
https://en.wikipedia.org/wiki/Category:Electric_and_electronic_keyboard_instruments
- **Vintage Synth Explorer**: <https://www.vintagesynth.com/>
- **Synthmuseum**: <https://www.synthmuseum.com/>
- **120 years of electronic music**: <https://120years.net/>
- **Moog Archives**: <http://www.moogarchives.com/>
- **Synth Zone**: <http://www.synthzone.com/>

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.