

# Digitální elektronické nástroje

---

**Z**vyšování počtu součástek v integrovaných obvodech, jejich hromadná výroba a snižování ceny umožnilo postupnou digitalizaci všech funkčních bloků elektronických hudebních nástrojů a vedlo ke konstrukci nástrojů plně digitálních. Na počátku 70. let vyvinula firma Allen ve spolupráci se společností Rockwell první plně digitální nástroj – varhany. Experimentální digitální systémy se začaly objevovat na universitách a v polovině 70. let již byly vyvinuty první plně digitální komerční syntetizéry a samplery. Vzhledem k vysoké ceně paměti byla cena prvních samplerů tak vysoká, že si tyto nástroje mohlo pořídit jen nemnoho hudebníků a studií. Většina digitálních syntetizérů používala zpočátku generátory, které měly v paměti uložené pouze tvary vln nebo velmi krátké zvukové vzorky. Jejich cena proto mohla být výrazně nižší, a digitální syntetizéry řízené mikroprocesory rychle ovládly trh s elektronickými nástroji. Syntéza využívající tabulek s uloženými digitalizovanými tvary vln se obvykle označuje jako wavetable. Hranice mezi samplery a syntetizéry s wavetable syntézou není ostrá, u mnoha novějších nástrojů se metody syntézy a zpracování signálů kombinují. Nástroje, které mají zvukové vzorky pevně uložené v paměti ROM, se někdy nazývají romplery.

V 70. letech popsals skladatel John Chowning na Stanford University způsob, jak pomocí frekvenční modulace několika sinusových oscilátorů vytvářet signály se složitými spektry. Na syntézu založenou na frekvenční modulaci a velice vhodnou pro digitální realizaci získal patent a licenci poskytl japonské firmě Yamaha. Ta s využitím modifikované verze syntézy vyvinula na počátku 80. let první nástroje. Plně digitální syntetizér *DX7* s přijatelnou cenou a v té době neobvyklými zvukovými možnostmi se stal nástrojem, který na mnoho let ovlivnil zvuk populární hudby. Yamaha po čase začala vyrábět integrované obvody OPL s jednoduchou formou FM syntézy, které se začaly používat ve zvukových generátorech osobních počítačů.

V polovině 80. let byly uvedeny na trh cenově dostupné plně digitální samplery, během několika let se přehrávání zaznamenaných zvukových vzorků stalo základní metodou generování zvuku ve většině nástrojů.

V 90. letech výkon dostupných digitálních signálových procesorů dosáhl úrovně dovolující matematické modelování akustických fyzikálních systémů v reálném čase. Prvním komerčním nástrojem generujícím zvuk pomocí matematických modelů tradičních hudebních nástrojů byl syntetizér *Yamaha VLI*, určený především k napodobení nástrojů dechových. Pro efektivní řešení matematického modelu používá metodu *Digital Waveguide Synthesis*, kterou se svými spolupracovníky vyvinul Julius Smith ve středisku CCRMA na Stanford University. V 90. letech se objevilo také mnoho nástrojů, které digitálně modelují chování úspěšných nástrojů elektromechanických a elektronických.

Podobně jako v případě hybridních nástrojů s digitálními zvukovými generátory, jsou i nástroje označované jako polyfonní syntetizéry většinou jen multifonní, počet současně znějících hlasů je omezen a závisí na výkonu obvodů zvukového generátoru.

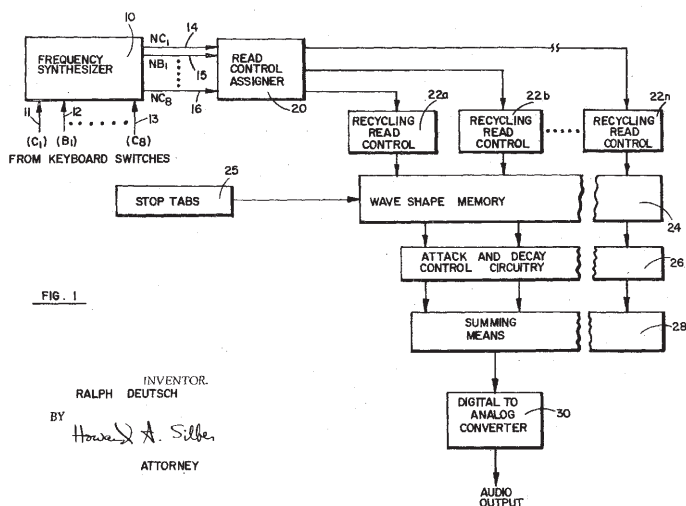
Se všeobecným zavedením standardního komunikačního rozhraní MIDI v 80. letech se u elektronických nástrojů znovu objevila modularita. Jednou klaviaturou lze řídit velké množství vzájemně propojených nástrojů a hudebník si snadno může sestavit systém podle vlastních požadavků.

Se vzrůstem výpočetního výkonu, zvětšováním paměťové kapacity a zavedením šestnáctibitových převodníků začalo být již na konci 80. let možné využívat pro generování, záznam, zpracování a reprodukci zvuku v reálném čase osobní počítače. Během deseti let bylo již použití osobních počítačů ve funkci zvukových záznamových zařízení a editorů zcela běžné a v mnoha aplikacích začaly počítače nahrazovat i elektronické hudební nástroje a efektové procesory. Objevilo se mnoho softwarových syntetizérů, které využívají standardní hardware běžných osobních počítačů. Programy jsou mnohem levnější a často je jejich použití výhodnější než použití tradičních elektronických nástrojů. Na počátku 21. století již softwarové nástroje prakticky vytlačily z trhu zvukové moduly.

## **Allen Computer Organ (1971)**

---

V 60. letech dospěl Jerome Markowitz (1917–1991) z firmy Allen Organ k názoru, že další zvyšování kvality elektronicky vytvářeného varhanního zvuku není možné bez zásadní změny principu jeho generování. V téže době nabídl Markowitzovi spolupráci Ralph Deutsch z kalifornské společnosti North American Rockwell Corporation, která vyvinula novou technologii výroby polovodičových součástek MOS (Metal-Oxide Semiconductor), vhodnou pro výrobu složitých integrovaných obvodů LSI (Large-Scale Integration), a která hledala její komerční využití. Firmy Allen a Rockwell uzavřely smlouvu o spolupráci a v roce 1971 dokončily vývoj digitálních varhan, které v témže roce



Princip digitálních  
varhan z patentu  
3,763,364

firma Allen uvedla na trh pod označením *Allen Computer Organ*. O patent Deutsch požádal 16. srpna 1967 a pod číslem 3,763,364 jej získal 2. června 1970.

Generátory varhan mohly vytvářet prakticky libovolný tvar signálu, jejich základem byly krátké vzorky uložené v paměti. Digitální varhany *Allen* jsou tak zřejmě prvním nástrojem využívajícím wavetable syntézu. Varhany byly vybaveny snímačem pro čtení děrných štítků standardu IBM. Pomocí štítků bylo možné vložit do paměti další vzorky a rozšířit tak rejstříkovou dispozici varhan. Firma Allen dodávala na štítcích postupně několik set nových zvuků.

Prototyp digitálních varhan *Allen* je uložen ve Smithsonian institutu. První nástroj objednala církev St. Mark's Evangelical Lutheran Church v Eastonu v Pensylvánii.



Digitální varhany Allen

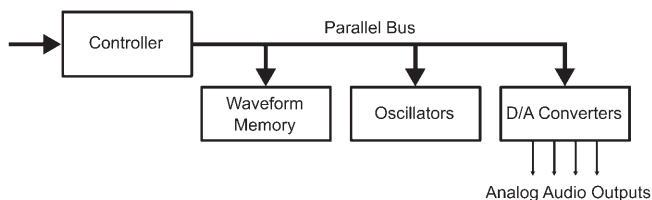
## DDS (1972)

V roce 1972 požádal ředitel Bregmanova studia na Dartmouth College v americkém New Hampshire, skladatel John Appleton, kolegu Sydneyho

Alonsa ze School of Engineering o doplnění modulárního syntetizéru *Moog* počítačovým řídicím systémem. Na Alonsovo doporučení namísto toho společně vytvořili digitální syntetizér, nazvaný *Dartmouth Digital Synthesizer (DDS)*. Software pro něj napsal student Cameron Jones. Alonso s Jonesem pak založili společnost New England Digital Corporation (NED) a s Appletonovou pomocí začali s vývojem *Synclavieru*.

## Structure Sound Synthesis Project (1976)

V roce 1976 zahájil William Buxton na Torontské universitě projekt *Structure Sound Synthesis Project (SSSP)* a vyvinul interaktivní digitální systém pro generování zvuku v reálném čase. Zvukové obvody byly dvanáctibitové. Zdrojem zvuku bylo šestnáct digitálních oscilátorů, vytvářejících zvuk pomocí aditivní syntézy, frekvenční modulace nebo metod waveshaping, wavetable a VOSIM. Výstupní signál z každého oscilátoru bylo možné vést do jednoho ze čtyř výstupních kanálů. Řízení systému v reálném čase zabezpečoval mikropočítač DEC LSI-11, pro komfortní editaci v grafickém režimu bylo možné připojit minipočítač PDP-11/45. Systém byl vybaven grafickým monitorem a k jeho programování sloužila alfanumerická klávesnice s trackballem. Funkci systému bylo možné řídit pohybem rukou v prostoru. Jejich poloha se snímala mechanicky pomocí plastových táhel. Systém byl v provozu do poloviny 80. let.



Blokové schéma  
zvukových obvodů  
systému Structure Sound  
Synthesis Project

## Synclavier (1977)

Poté co Sydney Alonso a Cameron Jones sestrojili *Dartmouth Digital Synthesizer*, založili v roce 1975 společnost New England Digital Corporation (NED) a s pomocí skladatele Johna Appletona začali vyvíjet nový digitální nástroj. V roce 1976 podporovala vývoj i společnost Norlin, na počátku následujícího roku však smlouvu o spolupráci na vývoji vypověděla.

Po prvních prototypech se nástroj objevil na trhu v roce 1977 pod názvem *Synclavier* a vyráběl se postupně v několika verzích a mnoha konfiguracích.

První nástroje byly monofonní osmihlasé osmibitové digitální syntetizéry s aditivní syntézou a frekvenční modulací. Později byly dodávány desky s dalšími generátory, kterými bylo možné systém rozšířit až na 32 hlasů a dosáhnout stereofonního režimu. V roce 1982 byl doplněn sampling. Šestnáctibitový modul Sample-To-Memory sloužil pro monofonní nebo stereofonní záznam do paměti a následnou reprodukci. Modul Sample-To-Disk dovoloval přímý záznam monofonních šestnáctibitových zvukových dat na pevný disk i jejich přímé přehrávání z disku se vzorkovací frekvencí až 50 kHz. Novější modul Direct-To-Disk umožňuje současnou práci s šestnácti stopami při vzorkovací frekvenci 100 kHz, jeho další verze dovolují zpracování 24-bitových dat. Pro omezení kvantizačního šumu při nízkých amplitudách generovaných signálů slouží k řízení amplitudy číslicově řízné zesilovače zařazené na výstup šestnáctibitových D/A převodníků. Součástí nástrojů je sekvencer, celý systém lze synchronizovat časovým kódem SMPTE.



Synclavier

Původní klaviatura, označovaná jako ORK (Original Release Keyboard), nemá rychlostní citlivost, novější klaviatura VPK, kterou vyvinula firma Sequential Circuits pro svůj syntetizér *Prophet T8*, je již vybavena rychlostní i polyfonní tlakovou citlivostí, k dispozici je kromě běžných modulačních koleček i páskový ovladač. Hlasitost a další parametry lze řídit pomocí pedálů. K ovládání nástroje slouží velké množství spínačů, umístěných na předním panelu, které umožňují rychlý přístup k hlavním funkcím. K nástroji lze připojit počítačový terminál VT100, umožňující sledovat vnitřní parametry systému. Hlavní funkce zabezpečuje specializovaný šestnáctibitový minipočítač ABLE. Jeho výkon při zpracování dat v reálném čase byl ve své době neobvykle vysoký, modifikovanou verzi počítače použila pro zpracování signálu ve svých družicích americká NASA. Počítač, jeho dokumentace a jím osazené přístroje, tedy i *Synclavier*, se proto dostaly na seznam CoCom (Coordinating Committee for Multilateral Export Controls), podléhaly utajení a nesměly být exportovány do zemí tehdejšího východního bloku.

*Synclavier* je možné použít nejen k živé hře a programování hudby, ale také jako digitální zvukový nahrávací a editační systém. Díky možnosti synchronizace systému pomocí časového kódu SMPTE je nástroj vhodný i pro zpracování zvukového doprovodu k filmům apod. Pro postprodukcii se dodávaly i specializované verze bez klaviatury. Cena nástrojů v obvyklé konfiguraci se na počátku 80. let pohybovala kolem 200 000 \$, cena plně vybavené verze s DTD dosahovala 500 000 \$. *Synclavier* používali např. Laurie Anderson, Frank Zappa nebo Pat Metheny.