

studijní podpora předmětu

## **ELEKTROFONY**

**(8)**

osmý tematický okruh

**ELEKTRONICKÉ NÁSTROJE - DIGITÁLNĚ ŘÍZENÉ ANALOGOVÉ A HYBRIDNÍ NÁSTROJE, první  
mikroprocesory a analogový signál**

## témata osmého tematického okruhu

- pojem „digitální“ a pojmy „digitálně řízený“ a „hybridní“ nástroj
- binární digit (bit) a zvuk
- pojmy „digital (to) analog converter“ a „digital signal processing/processor“
- komunikační standard MIDI a pojem „zvukový modul“
- MIDI a System Exclusive
- fenomén sampler a elektronické bicí (pady)
- parametr polyfonie (polyphony)
- digitálně řízené analogové elektronické nástroje, hybridní elektronické nástroje a automatické hybridní elektronické nástroje
- digitální řízení a analogový zvuk
- nové hudební myšlení
- modularita, spojení všeho se vším

## 1. pojem „digitální“ a pojmy „digitálně řízený“ a „hybridní“ nástroj

- pojem „digitální“ tj. „číslicový“ tj. reprezentován a vyjádřen čísly obecně, v užším smyslu jsou čísla míněna čísla z dvojkové (binární) soustavy (binary digits)
- binární digit, zkráceně „bit“, tj. čísla 1 a 0
- digitální věc je (jen) binárně notována a ve skutečnosti neexistuje (představuje jen sled 1 a 0), digitální věc „nemá tělo“ ( ~ Jan Patočka)
- pojem „digitální“ se primárně vztahuje k digitálním (číslicovým) počítačům (rozvoj od 50. let 20. stol.) a odtud pak k zařízením, jenž používají mikroprocesory

## 1.1. pojem „digitálně řízené“

- pojem „digitálně řízený“ poukazuje na přítomnost digitálních/číslíkových obvodů (mikroprocesory aj.), jenž slouží k řízení vybraných procesů, oscilátor zůstává analogový
- digitální řízení je přesné a rychlé, v případě elektrofonů typicky určeno pro řízení činnosti oscilátorů, řízení běžně realizováno na základě
  - v paměti uložených (digitálně notovaných) nastavení funkcí a procesů (filtry, parametry signálu etc.) pro možnost jejich rychlého vyvolání bez ohledu na jejich komplexnost (dříve nutnost ručního tj. zdlouhavého nastavení)
  - vyhodnocování stavu klaviatury/manuálu (dynamika, typ úhozu a tomu odpovídající povaha z nástroje vystupujícího signálu)
- pro digitálně řízené oscilátory se používá pojem DCO (digitally controlled oscillator)

## 1.2. pojem „hybridní“ nástroj, binary digit (bit) a zvuk

- pojem „hybridní“ poukazuje na kombinování digitálních a analogových bloků/obvodů v průběhu generování a zpracování zvukového signálu, digitální obvody se tedy neuplatňují jen v procesu řízení generátorů, ale vstupují „dovnitř“ do tvorby zvuku (nezůstávají „venku“ jen jako řídicí jednotky)
- typickým procesem je **digitálně vytvořený signál**, jeho převedení na analogový signál (pomocí D/A převodníku) a **následné upravení analogovými filtry**

### 1.2.1. binari digit a zvuk

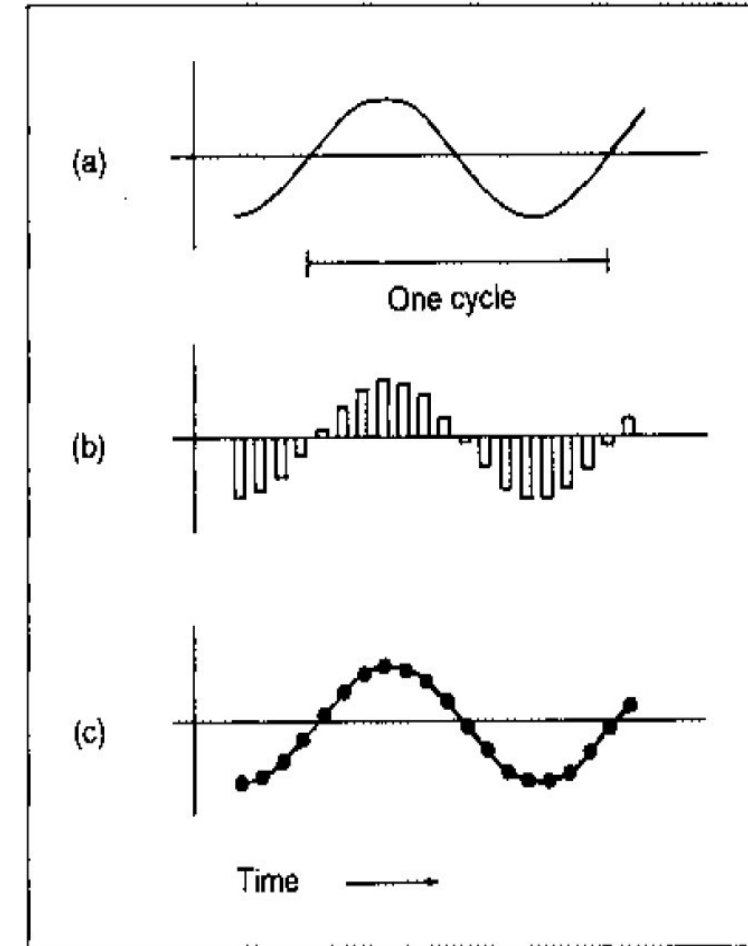
- digitální oscilátory a generátory jsou jen notovány / vyjádřeny - zastoupeny symboly, skutečný zvuk jako fyzikální veličinu nevytvářejí, představují jen data „o ní“, tj. data o zvuku, nikoliv zvuk samotný (pure data)
- digitální oscilátor není kmitající těleso ale notace takového kmitání (zápis toho, jak má vypadat), skutečně kmitá – vykazuje frekvenci až elektrické napětí v zařízení/obvodech, které jsou určeny pro převod digitálního signálu na signál analogový (D/A převodník)

### 1.2.1.1. pojmy „digital < - > analog converter“ (D/A - DAC, A/D převodník) a „digital signal processing/processor“ (DSP)

- pojem „digital (to) analog converter“ (D/A, také DAC) označuje zařízení/obvody, které slouží k převedení digitálně notovaného signálu/digitálního signálu na signál analogový (na reálný zvuk)
- obrácený proces, kdy je analogový zvuk digitalizován se označuje analog (to) digital converter (A/D převodník)
- pojem „digital signal processing“ (DSP) označuje obecně proces digitálně generovaného nebo upravovaného/zpracovávaného/procesovaného zvuku
- běžný také pojem „digital signal processor“ (rovněž DSP) označující hardwarové jádro procesu tj. procesor určený k vytváření procesu, na jehož konci je digitálně notovaný zvuk

### 1.2.2. apendix: analogový a digitální signál, samplovací rychlost

- podle druhu zpracovávaného signálu lze elektronická zařízení (nástroje) rozdělit na
  - analogové, pracující s analogovým signálem
  - digitální, pracující s digitálním signálem
  - hybridní, pracující (kombinující) oba signály
- **analogový signál** je signál „spojitě“ (nebo po částech spojitě) proměnlivý, např. **plynulá** sinusoida, na obr. křivka (a), je výsledkem působení fyzikální veličiny (obrazně: je „skutečný“)
- **digitální signál**, je skupina binárních čísel (digits), křivka (c), pro využití v hudbě je obvykle nutné převést na signál analogový
- **sample/sampling – vzorek/vzorkování, samplovací rychlost**
  - každý bod (bod v čase) analogového signálu je popsán skupinou čísel, křivka (b), čísla schematicky zobrazena ve sloupci – jejich hodnota vytváří – „opisuje“ sinusoidu
  - každý bod je jeden „sample“ – vzorek vznikajícího signálu
  - samples jsou binární čísla (1 nebo 0) tj. binary digit (zkráceně „bit“)
  - zvuk je popsán čísly, čím detailnější popis (čím více čísel), tím vyšší kvalita, signál vznikne pospojováním bodů (c)
  - sampling frequency – hodnota vyjadřována počtem samp. za jednu vteřinu (často také jako „sampling rate“, Hz), např. CD má standard 44,1 KHz



obr. převod analogového signálu (a) na digitální (c), zdroj: Roads 1996, 25

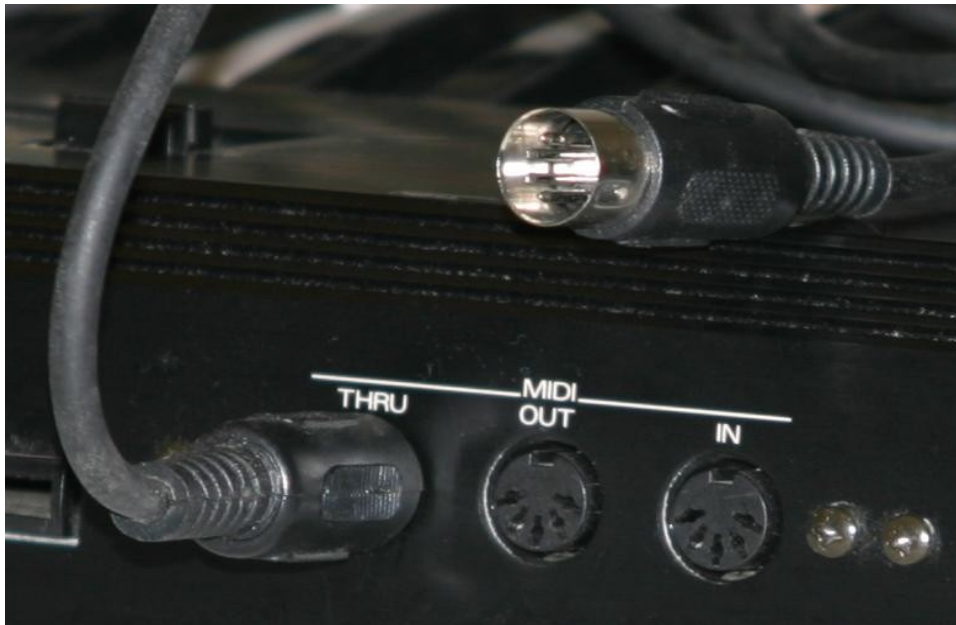


### 1.3. komunikační standard MIDI, system Exclusive (SysEx), MIDI sekvencér a pojem „zvukový modul“

- MIDI tj. Musical Instrument Digital Interface
- od r. 1983 (MIDI specifikace 1.0) komunikační standard usnadnil komunikaci mezi digitálními zařízeními, jeden z hlavních mezníků technologického vývoje, stává se průmyslovým standardem
- MIDI je soubor alfanumerických symbolů, které si mezi sebou zařízení (el. nástroje) vyměňují a přiřazují jim konkrétní jevy (např. parametry tónů), nepřenáší se zvuk ale symboly, symbolům může být přiřazen jakýkoliv jev a to nejen akustický (např. ztlumení světel při koncertu), rozhoduje koncové zařízení párující v zásadě abstraktní „midi zprávu“ s konkrétní věcí; schematicky: je-li příjemce zprávy „X Y“ např. hudební nástroj, ozve se např. ton požadované výšky a délky, neboť v nástroji byly vytvořeny vazby:  $x$  = daná výška,  $y$  = daná délka tónu, je-li příjemce ovladač světel, dojde např. ke ztlumení osvětlení jeviště na poloviční hodnotu, protože v ovladači se vytvoří vazby:  $x$  = světlo nad jeviště,  $y$  = poloviční intenzita osvětlení etc.
- MIDI je zároveň formát souborů pro hudební software (notátory, kompoziční a jiné programy, nazevsouboru.midi), výstupy z jednoho software lze snadno přenášet do druhého

### 1.3.1. Systém Exclusive (SysEx)

- System Exclusive je funkce, kterou byly vybaveny první zařízení disponující MIDI, funkce umožňovala ukládat a přenášet najednou větší množství upřesňujících dat o nastavení nástroje nebo jakéhokoliv jiného připojeného zařízení (např. sekvencéru), přenos pomocí MIDI kabelu nebo diskety



obr. MIDI konektory specifikace 1.0, konektory: IN, OUT a THRU tj. vstup pro data - přijímání, výstup dat – vysílání dat a konektor/cesta pro procházení MIDI dat nástrojem pro možnost sériového připojení dalšího nástroje – dalšího v řadě,  
zdroj: [https://en.wikipedia.org/wiki/MIDI#/media/File:Midi\\_ports\\_and\\_cable.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/MIDI#/media/File:Midi_ports_and_cable.jpg)

### 1.3.2. MIDI sekvencér

- MIDI sekvencér je sekvencér, jenž nese MIDI data (obvykle data o hudebních parametrech)
- obvykle obsahuje více stop (analogie vícestopého magnetofonu, místo MG záznamu jsou zde MIDI data)
- sekvencer je součástí hudebních nástrojů anebo je samostatným hardwarovým zařízením



obr, populární MIDI sekvencér Kawai Q80 připojený (řídící) digitální syntetizátor Kawai K II, data (skladba v MIDI datech) je ukládána na 3,5 palcovou disketu, zdroj: <https://www.youtube.com/watch?v=6bc1jG80p4>

### 1.3.3. pojem „zvukový modul“

- pojem „zvukový modul“ je cca od konce 70 let ustálené označení pro zařízení obsahující oscilátory (generátory, zdroje zvuku) a vybrané ovládací prvky, nikoliv však takové, které umožňují hru v konvenčním slova smyslu tj. zejména práce s výškou tónu docilovaná stiskáváním kláves piano manuálu, ovládací prvky – typicky klávesnice nebo také „pady“ aj. jsou k takovému „modulu“ připojovány jako externí zařízení
- zvukový modul je analogie banky zvuků (a také tak někdy bývají označovány), v 70 a 80 letech se používalo také označení „desk top“ instrument aj.
- v budoucnu se ujme označení „rack“ tj., forma těla nástroje bez hracích ovládacích prvků (nástroje pro uložené do „rackové skříně“)



obr., hybridní zvukový modul Roland Super JX – MKS 70 vybavený MIDI,  
zdroj: <https://www.matrixsynth.com/2018/12/roland-mks-70-synth-module-of-super-jx.html>

### 1.4.1. fenomén sampler

- sampler je elektronický nástroj, jenž je schopen zpracovávat digitalizované reálné zvuky a v různých režimech je reprodukovat
- sampler zpracovává „vzorky“ (samples) reálných zvuků uložených v paměti nástroje (nebo na externím nosiči – disk, disketa etc), vzorky jsou ovládány primárně pomocí klávesnice/piano manuálu (vlastní nebo externí)
- sampl se stává analogií barvy/nástroje, které umí sampler imitovat-nabízet jako svůj výstup/výstup z nástroje, sampl je přehráván primárně v závislosti na stisknuté klávese, čímž se mění výška/frekvenční skladba vzorku (lze ale transponování vypnout a klávesnici mít jen v režimu spínače ON/OFF)
- obvykle je možné vybrané samplů přiřazovat vybraným částem/úsekům klávesnice
- sampler je analogií magnetofonu s možností docílovat transponování záznamu v korespondenci s temperovaným laděním
- první dostupné samplery od začátku 80. let jako nástroje hybridní
- běžně vybaveny sekvencerem
- obvykle samplery používány jako věrné imitátory zvuků akustických nástrojů, již méně pro práci s konkrétními nehudbními zvuky
- jeden z prvních komerčně vyráběných samplerů sampler *Fairlight CMI* (1979), CMI tj. Computer Music Instrument, nástroj cenou převyšoval hranici 10 000 USD, v roce 1981 se prosadil sampler *Emulator* firmy *E-mu System*



obr. Fairlight CMI, propagační materiál, zdroj: <https://mixdownmag.com.au/features/columns/the-fairlight-cmi-how-two-australians-took-sampling-from-their-shed-to-the-world-stage/>

## 1.4.2. fenomén elektronické bicí (pady)

- elektronické bicí (pady), fenomén 80. let, navazují na analogové nástroje s omezenými možnostmi
- ke zvukovému modulu (banka zvuků s možností editace) jsou připojeny spínače (pady), jenž umožňují aktivovat (přehrát) vybraný zvuk (basový buben, činel nebo jakýkoliv jiný zvuk atd), spínače obvykle charakteristický tvar plástve
- snímače umožňují nastavení citlivosti a rozložení uderu (dynamika, hra na okraj etc), nastavení musí korespondovat s možnostmi připojeného zvukového modulu
- zvukovým modulem (banka zvuku) může teoreticky cokoliv, co je vybaveno potřebným komunikačním rozhraním (později např. samplery atd.), běžně ale modul společně s pady jako jedna souprava, limitující je počet připojitelných padů



obr., bicí sada se zvukovým modulem, 80. léta, f.Simmons,  
zdroj: [https://en.wikipedia.org/wiki/Simmons\\_SDS-V#/media/File:Simmons\\_SDS5\\_Electric\\_Drum.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Simmons_SDS-V#/media/File:Simmons_SDS5_Electric_Drum.jpg)

## 1.5. parametr polyphony

- počet zaznívajících hlasů je jedním z parametrů nástroje, zle rozdělovat, viz Elektrofony č.2:
  - jednohlasé (monofonní), jenž umožňují hrát v daném okamžiku pouze jeden tón (flétna, opomíjena je přitom nyní možnost tzv. multifoniků), u elektrofonů tzn. jen jeden oscilátor-generátor
  - vícehlasé (multifonní), jenž umožňují vícehlasou hru s omezeným počtem současně hraných tónů/zvuků (housle), u elektrofonů více než jeden oscilátor-generátor
  - polyfonní, jenž v rámci rozsahu nástroje umožňují neomezený počet současně hraných tónů (piano), u elektrofonů to obvykle znamená pro každý tón jeden oscilátor-generátor
- pojem „polyphony“ se objevil s příchodem digitálně řízených analog. nástrojů a v rámci diskursu označuje maximální počet současně zaznívajících tónů (např. polyphony 6)
- parametr se stal jedním z klíčových parametrů (více tónů se v daném okamžiku ozvat nemůže a neozývá)

## 2. digitálně řízené nástroje, reprezentanti, specifika hry a ovládání, vývoj

- vývoj od 70 let s příchodem prvních komerčně vyráběných mikroprocesorů (Intel)
- na přelomu 70/80 let řízení z počátku pro snímání klaviatury (data o způsobu hry)
- 80. léta, boom digit. řízených nástrojů
- přelom 80/90 let upadání zájmu o ně a nástup nástrojů plně digitálních
- běžnou součástí nástrojů jsou sekvencéry
- v současnosti předmětem retro tendencí (stále nové nástroje se „starými dobrými“ zvuky)



## 2.1. reprezentanti

- **Buchla 300, Buchla 500 (1971)**
  - první významné a úspěšné pokusy s digitálním řízením, autor slavný konstruktér D. Buchla
  - Buchla 500, modulární, digitálně řízený analogový syntezátor, oscilátory řízeny mikro počítačem, ikonický nástroj, jen ve dvou exemplářích, následoval Buchla 300
  - Buchla 300, modulární hybridní syntezátor, základní modul (komponent) je počítač řídící oscilátory, data ukládána na MG kazety (externí magnetofon) nebo na disketovou jednotku v dalším modulu, počítač ovládán speciálním jazykem (Patch IV)
  - oscilátory je možné řídit počítačem (číslicově) nebo potenciometry
  - pro připojení klávesnice speciální modul
  - polyfonní



obr, Buchla 300, zdroj: <https://www.matrixsynth.com/2018/03/buchla-300-patch-iv-loading-and-overview.html>



obr. Buchla 500, zdroj: <https://www.soundonsound.com/reviews/buchla-200e-part-1>

- **Roland Jupiter – 4 (1978)**

- Jupiter, populární digit. řízený analog. syntetizér
- 10 přednastavených zvuků + 8 dalších volně programovatelných
- oblíben pro možnost vytvoření velmi hutného zvuku díky práci v monofonním režimu, jenž umožňoval mírné rozladění oscilátorů
- čtyřhlasý (polyphony: 4)

- **Roland Juno (1982)**

- řada populárních digit. řízených analog. syntetizérů
- Model Juno 6 (1982), šestihlasý, již vybaven MIDI, paměť pro 56 nástrojů (barev), data ukládána na MG kazetu, možnost připojit k externímu sekvenceru (rozhraní Digital Control Bus)
- Model Juno 106 (1984), šestihlasý, již vybaven MIDI System Exclusive, paměť již pro 128 nástrojů

[ukázka: Roland Juno 106, programování barev \(zvuků\)](#)

- **Korg Poly 800 (1983)**

- jeden z nejúspěšnějších digit. řízených analog. 80. let, popularnost daná také cenou pod 1000 USD
- možnost napájet baterií s výdrží několika hodin (snadná manipulace)
- vybaven sekvencerem a MIDI
- verze z roku 1984 vyráběna jako modul/rack tj. bez klávesnice s možností připojení klávesnice externí
- 8 hlasů s možností snížit počet na 4 hlasy a získat tak možnost sloučit dva oscilátory pro jeden hlas (bohatý, atraktivní zvuk)

ukázka: [Korg Poly 800, současná prezentace nástroje](#)

- **BassStation (1993)**

- populární syntetizér určený k vytváření basových linek, typicky pro taneční hudbu
- nástroj s charakteristickým „analogovým“ zvukem, jenž imituje automat. bicí Roland TB 303
- ovládání pomocí krátké klaviatury a potenciometrů
- ikonický nástroj 90. let
- monofonní



obr, BassStation, zdroj: <https://www.matrixsynth.com/2016/10/1983-original-novation-bass-station.html>

- **současné retro tendence a obdiv k analogovému zvuku**
- MOOG Voyager a Little Phatty (2002), nástroje vycházející ze slavného nástroje MINI MOOG, vybaveny MIDI
- Perspephone (2002), monofonní syntetizátor s hmatníkem na místo piano manuálu

ukázka: [MOOG Voyager, prezentace](#)

### 3. hybridní nástroje, reprezentanti, specifika hry a ovládání, vývoj

- počátek rozvoje na přelomu 70/80. let, motivací k hybridizaci vysoké náklady na výrobu plně digitálních nákladů
- hybridizace byla procesem postupné digitalizace analogového nástroje, jako první byly digitalizovány oscilátory
- běžné označení „polyfonní“ je u dobových popisů těchto nástrojů zavádějící, nástroje jsou obvykle multifonní
- běžným standardem bylo **vyprodukování digitálního signálu, jeho převedení na analogový a následná úprava analogového signálu analogovými filtry (obvody)**

### 3.1. reprezentanti

- **RMI Keybord Computer (1974)**
  - jeden z prvních hybridních nástrojů vůbec
  - přenosný syntetizátor, programovatelný průběh syntézy (data o úpravě zvuku)
  - generátory jsou digitální, uprava signálu už probíhá v analogových obvodech
  - základní výbava 29 barev, další čtyři možné použít po jejich načtení z paměťového média (děrný štítek)
  - výstup z generátorů u prvního modelu ve třech kanálech (2 x čistá barva, 1 x šum), jejichž hlasitost bylo možné ovládat nožním pedálem
  - nožní pedály slouží také k ovládání vibrato, glissando (pitch bend) aj fce
  - 12-ti hlasý



obr, RMI Keybord Computer SN 561, zdroj:  
<https://www.matrixsynth.com/2013/03/1974-rmi-keyboard-computer-sn-561.html>

- **Emulator (1981)**

- první cenově dostupný (tj. do 10 000 USD) a současně ikonický sampler, konkurent drahého sampleru *Fairlight CMI*, jenž se neprosadil
- nástroj se snažil primárně nabídnout věrné zvuky akustických nástrojů, nikoliv práci s nehudebními zvuky (konkrétní hudba), pro práci v duchu konkrétní hudby i nedostatečný výkon (délka samplu max. cca 2 s)
- nástroj je 8 bitový, vzorkovací frekvence 27, 8kHz (CD má standard 44,1 KHz), RAM 128 kB
- zvuky se ukládají na disketu (5 ¼) s kapacitou 128 kB (obsah RAM), dodávané disky obsahovaly obvykle dva sampl s max. délkou 2s
- z počátku neměl VCA (voltage controllet Amplifier), nebylo možné pracovat s obálkou, sampl bylo možné jen zapnout nebo vypnout (stisk nebo puštění klávesy)
- současně přehrává jen dva různé sampl, později až 12 (rozložení po klávesnici)
- komerční úspěch, uplatnění v pop music , 1984 již druhý model Emulator II
- později doplněn sekvencerem
- první verze prvního typu (Emulátor I) byly 2hlasé, postupně 4 a 8hlasé,

**[ukázka: Emulator I, samplování, prezentace ze současnosti](#)**

- **Buchla 400 (1982)**

- semimodulární (ne zcela modulární) syntetizátor s pevně danou základní strukturou vycházející z modelů 100 a 200
- digitální signál je zpracováván v analogových obvodech
- data ukládána na disketu
- na místo tradičního manuálu tlakově citlivou klávesnici, piano manuál až model 406

- **Casio DG-1**

- „digitální kytara“, struny nylonové, hmatník snímá okamžik drnknutí, nikoliv frekvenci chvění (drnknutí je zprávou typu: ON)
- výšku tónu udávají pozice prstů na hmatníku, většinu hráčských technik nástroj ignoruje (napínání strun)
- v nabídce několik barev (akustická kytara, rocková etc)
- nástroj vybaven jednoduchým přehrávačem rytmů

ukázka: [Casio DG-1](#)



obr, Buchla 400, mixážní pult položený na nástroji není součástí nástroje, zdroj: <http://synth-db.com/synths/Buchla/400%20Series/400%20Series.php>



- **Simmons SDS-7 (1984)**

- elektronické bicí úspěšné řady SDS firmy Simmons
- model SDS 7 již obsahoval digitální 8 bitové samplý, které bylo možné kombinovat s analogově generovanými zvuky
- nástroj se skládal ze zvukového modulu a plastových spínačů (padů)
- díky analogovým obvodům možné nástroj použít jako syntetizátor a tvořit vlastní zvuky, pro prodloužení doby znění sloužila fce decay
- nástroj přesahoval možnosti bicího nástroje, pady mohly mít fci klávesy piana/syntetizátoru)
- počet nástrojů v bicí sadě bylo závislé na velikosti rozšiřitelné paměti, kapacita výrazně přesahovala počet nástrojů běžné bicí soupravy
- novější modely již vybaveny MIDI a pady obvykle 3 zóny uderu pro možnost uplatňovat hráčskou techniku

[ukázka: Simmons SDS-7, prezentace zvukového modulu](#)

- **současné retro tendence a obdiv k analogovému zvuku**

- **Evolver, Evolver Keyboard (2002)**, monofonní syntezátor se čtyřmi oscilátory, dva digitální a dva analogové, model ve srovnatelném provedení modulu nebo s klávesnicí (Evolver Keyboard), vybaven MIDI
- **Syntrack (1998)**, monofonní syntetizér kombinující digitální generátory a analogové filtry, vybaven MIDI

#### 4. nové hudební myšlení a modularita

- hybridní a digitálně řízené nástroje umožňují realizovat stejné typy hudebního myšlení jako nástroje již plně digitální, **klíčovým pojmem je „modularita“**, klíčovou technologickou **vymožeností je MIDI**.
- hybridní a digitálně řízené nástroje umožňují používat ovládací prvky jako prvky universální a nezávislé na výchozím paradigmatu ovládání/hry
- zásadní je vliv komunikace prostřednictvím MIDI

#### 4.1. modularita, neortodoxní hráčské techniky, kompetence

- ovládací prvky elektronických bicích (pady) se nemusí omezovat (a neomezují se) na ovládání zvuků bicích nástrojů (spouští tónové zvuky, melodie, samplý atd.)
- piano manuál (syntetizéru, sampleru) se neomezuje/ neaktivuje zvuky, které vychází z repertoáru klávesových nástrojů, manuál může spouštět cokoli, co je na nástroji syntézou modelovatelné nebo co je samplovatelné, ke klávesnici lze připojit libovolný zvukový modul
- jakýkoliv manuál může být díky MIDI spojen s jakýkoliv jiným MIDI vybaveným hardware, či software
- tradiční hráčské techniky nejsou nezbytné, na trubku je možné hrát pomocí klávesnice, **na bicí jako např. na flétnu**
- hybridní a digitálně řízené se z hlediska hudebního myšlení jeví jako (jen relativně bezvýznamný) mezistupeň k nástrojům plně digitálním a potvrzuje tendence vývoj zjevné už u meziválečných analogových nástrojů
- srovnej např. Trautonium a jeho neobvyklé barvy, perkusní zvuky etc.

## **citovaná literatura**

*The computer music tutorial.* Curtis Roads (ed.). MIT press 1996.