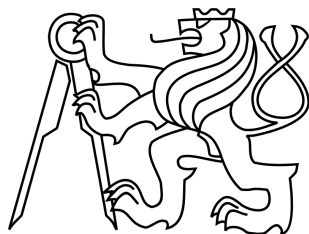


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ



SYNTH CHALLENGE 2017

syntéza zvuků a hudebních nástrojů
v programovém prostředí MATLAB

B2M31SYN – syntéza audio signálů
semestrální práce

Obsah

1	Zadané úlohy	3
2	Syntéza zvuků a nástrojů v prostředí Matlab	4
2.1	Syntéza hudebních nástrojů	4
2.1.1	Vibrafon - č.12	4
2.1.2	Kostelní varhany - č.20	4
2.1.3	Akustická kytara s nylonovými strunami - č.25	4
2.1.4	Akustická kytara s kovovými strunami - č.26	4
2.1.5	Baskytara / Accoustic bass guitar - č.33	4
2.1.6	Trumpeta / Trumpet - č.57	4
2.1.7	Trombón / Trombone - č.58	4
2.1.8	Tuba - č.59	4
2.1.9	Příčná flétna / Flute - č.74	5
2.1.10	Dudy / Bagpipes - č.110	5
2.1.11	Příboj / Seashore - č.123	5
2.2	Syntéza perkusí	6
2.2.1	Paličky / Sticks - č.31	6
2.2.2	Basový buben / Bass drum 2 - č.35	7
2.2.3	Hrana bubnu / Side Stick - 37	7
2.2.4	Rytmický buben / Snare Drum 1 - 38	7
2.2.5	Rytmický buben / Snare Drum 2 - č.40	7
2.2.6	Kotel / Low Tom 2 - č.41	7
2.2.7	Uzavřená Hi-hat / Closed Hi-hat - č.42	8
2.2.8	Přechod 3 / Low Tom 1 - č.43	8
2.2.9	Přechod 2 / Low Tom 2 - č.45	8
2.2.10	Otevřená Hi-hat / Open Hi-hat - č.46	8
2.2.11	Přechod 1 / Mid Tom 1 - č.47	8
2.2.12	Crash / Crash Cymbal 1 - č.49	8
2.2.13	Tamburina / Tambourine - č.54	8
2.2.14	Crash / Crash Cymbal 2 - č.57	8
3	Syntetizované skladby	9
3.1	Paul McCartney, John Lennon - Yellow Submarine	9
3.2	Durová stupnice	10
3.3	Vlastní realizace audio syntézy	10
4	Závěr	10
A	SEZNAMY OBRÁZKŮ A TABULEK	11
B	MIDI TABULKY NÁSTROJŮ	12
B.1	Standardní tabulka nástrojů	12
B.2	Tabulka perkusních nástrojů – kanál 10	13
C	PARAMETRY FREKVENČNÍ MODULACE	14

1 Zadané úlohy

V kategorii pro magisterskou etapu studia byly zadány následující úkoly:

1. Syntéza nástrojů a nehudbních zvuků ve skladbě: Paul McCartney a John Lennon "Yellow Submarine" s využitím MIDI souboru Submarine.mid. V příloženém MIDI souboru je použito celkem 23 typů hudebních nástrojů a zvuků, viz tabulka 1 na straně 3:

Tab. 1: Seznam hudebních nástrojů a zvuků

vibrafon	akustické kytary s ocelovými strunami
pizzicato na kontrabas	tuba
pozoun	trumpeta
příčná flétna	13 různých doprovodných bicích nástrojů
sbor zpívající samohlásku /a/	mořský příboj

Celkový charakter skladby musí zůstat zachován – je požadována syntéza kytar, perkusí, žesťů, hlasu a příboje. Hlavní melodický nástroj – vibrafon, lze nahradit jiným nástrojem. Ostatní nástroje lze obměňovat a redukovat.

2. Tři oktávy durové hudební stupnice, ve které se vystřídají vytvořené hudební nástroje následované použitými nehudbními zvuky.
3. Libovolná vlastní realizace audio syntézy v MATLABu (možnost i nehudbních zvuků). Ve volné skladbě lze vytvářet libovolné zvuky, včetně syntézy čistě syntetických nástrojů (např. Theremin, Hammondovy varhany, zvuky FM syntezátorů, ...) a každodenní zvuky. Ke zvýraznění skladeb lze použít různé efekty jako reverb, echo, chorus, stereo, a další.

2 Syntéza zvuků a nástrojů v prostředí Matlab

Pro potřeby semestrální práce byla využita školní licence programu Matlab od firmy MathWorks ve verzi R2015b.

2.1 Syntéza hudebních nástrojů

2.1.1 Vibrafon - č.12

Aditivní syntéza.

2.1.2 Kostelní varhany - č.20

Aditivní syntéza reálného zvuku. Ostrá ADSR obálka

2.1.3 Akustická kytara s nylonovými strunami - č.25

Pro modelování strunných nástrojů a bicích souprav se používá Karplus-Strongův algoritmus.

Tuhost struny je modelována změnou vzorkovací frekvence, pro modelování nylonových strun akustické kytary byla použita $f_s = 64$ kHz. Hodnota tlumení $g = 0.48$.

2.1.4 Akustická kytara s kovovými strunami - č.26

K modelování standardních kovových strun skript pracoval s výchozí vzorkovací frekvencí $F_s = 48$ kHz. Hodnota tlumení $g = 0.48$.

2.1.5 Baskytara / Accoustic bass guitar - č.33

Vzorkovací frekvence pro basskytaru použita $f_s = 64$ kHz. Útlum kobylky byl roven 0.99 a z něj plynoucí hodnota tlumení $g = 0.495$.

Výsledný signál je přenásoben ADSR obálkou o interpolovatelných koeficientech $X = [0 \ .015*\text{dur} \ .03*\text{dur} \ .3*\text{dur} \ .95*\text{dur} \ \text{dur}]$ a $Y = [0 \ .1 \ .2 \ 1 \ .37 \ 0]$, kde "dur" označuje dobu trvání tónu.

2.1.6 Trumpeta / Trumpet - č.57

Použita frekvenční modulace. Žesťový nástroj s příslušnými obálkami amplitudy a modulačního indexu. Parametry $H = 1.05$, $I_{max} = 5$, $I_{min} = 0$.

2.1.7 Trombón / Trombone - č.58

Použita frekvenční modulace. Žesťový nástroj s příslušnými obálkami amplitudy a modulačního indexu. Parametry $H = 0.5$, $I_{max} = 3$, $I_{min} = 0$.

2.1.8 Tuba - č.59

Použita frekvenční modulace. Jedná se opět o žesťový nástroj s příslušnými obálkami amplitudy a modulačního indexu. Parametry $H = 1$, $I_{max} = 0.6$, $I_{min} = 0$.

2.1.9 Příčná flétna / Flute - č.74

Frekvenční modulace.

2.1.10 Dudy / Bagpipes - č.110

Použita aditivní syntéza harmonických složek, kombinovaná s frekvenční modulací pro dosažení efektu vibráta, neboť u originálního signálu dochází k drobnému kolísání frekvence.

Signál buzen pomocí pilového signálu, kde modulační signál má posunuté maximum svého průběhu do počátku jedné periody a je klesající.

Celý signál je přenásobený ostrou ADSR obálkou po vzoru kostelních varhan.

2.1.11 Příboj / Seashore - č.123

Frekvenční modulace bílého šumu, upravený návod ze cvičení předmětu SYN.

2.2 Syntéza perkusí

Detailní přehled čísel jednotlivých perkusních nástrojů je uveden v tabulce 6 v příloze B.2 na straně 13.

České názvosloví je mírně upravené a vychází ze zkušeností autora.

2.2.1 Paličky / Sticks - č.31

Midi číslo nástroje mají 31. Vhodnou syntézou je frekvenční modulace s konstantním indexem modulace a exponenciální obálkou.

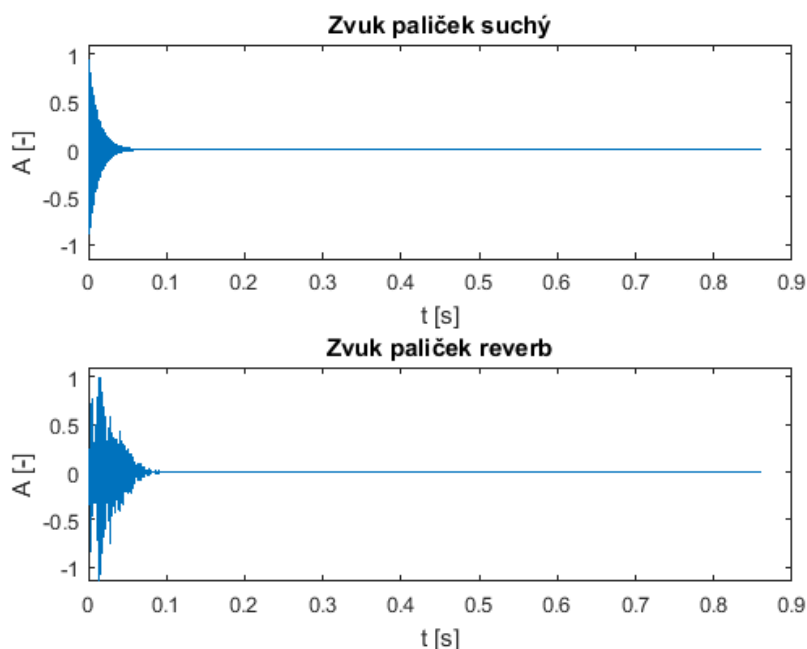
Parametry pro generování syntetizovaného zvuku paličky jsou uvedeny v tabulce 7 v příloze C na straně 14.

Pro dané parametry se zvuk nejvíce blíží originálnímu úderu paliček o sebe. Zvyšováním hodnoty "tau" na hodnotu přibližně 1/8 výsledný zvuk připomíná úder paličky o víko starého hrnce a lze jej použít při skládání netradiční sestavy.

Ke zvuku paliček byl přidán krátký reverb. Testováno bylo několik možností, rozhodovalo se mezi dvěma algoritmy, a to Schroederovým se čtyřmi paralelně zapojenými hřebenovými filtry a dvěma sériově zapojenými all-pass filtry, viz [1] a konvolučním reverbem, kde je použita reálná impulzní odezva koupelny.

Schroederův algoritmus však neposkytoval uspokojivé výsledky ani pro dle návodu doporučené minimální doby časového zpoždění 5 a 1,7 ms, výsledný zvuk připomíná zatloukání dřevěného kolíku ve velké hale do země. Zvolen byl proto konvoluční reverb.

Pro paličky byla samotná odezva upravena přenásobením exponenciální obálkou tak, aby výsledná doba dozvuku byla výrazně kratší. Toho je docíleno hodnotou $\tau = \frac{1}{40}$.



Obr. 1: Paličky syntetizovaný zvuk

2.2.2 Basový buben / Bass drum 2 - č.35

Skrývá se pod číslem nástroje 35. Samotnou syntézu lze nazvat aditivně subtrakční a sestává ze dvou částí.

V první části je syntetizována samotná blána aditivní syntézou dvou hlubokých harmonických o frekvencích přibližně 41 a 58 Hz. Signál je přenásoben velmi zatlumenou exponenciální obálkou, kde $\tau = 0.05$.

Ve druhé části syntetizováno typické "mlasknutí" basového bubnu přidáním filtrovaného bílého šumu s normálním rozdělením. Ten je filtrovaný pásmovou propustí o dolním mezním kmitočtu $f_{min} = 300$ Hz a horním $f_{max} = 5500$ Hz. Filtr je použit Butterworthův. Průběh šumu je zatlumen exponenciální obálkou o parametru $\tau = \frac{1}{0.46}$ a zeslaben pomocí multiplikační konstanty $k = 0.0006$.

Výsledný signál je normován a po normalizaci násoben konstantou $n = \sqrt{\pi}$ pro docílení hutnějších basů.

2.2.3 Hrana bubnu / Side Stick - 37

Řešen frekvenční modulací několika

2.2.4 Rytmický buben / Snare Drum 1 - 38

Rytmický buben byl syntetizován aditivní subtrakcí s více pásmovými propustmi.

První část opět aditivně skládá kmitání blány, kde je použito 10 harmonických složek. Buben je přenásoben exponenciální obálkou o hodnotě $\tau = 0.03$.

Ve druhé části jsou generována různá pásma bílého šumu v závislosti na spektrogramu originálního zvuku. Celkem jsou použity čtyři filtry s horními mezními kmitočty 5,8,10 a 12 kHz. Použité filtry jsou typu Butterworth. Jednotlivá pásma jsou přenásobena exponenciálním průběhem s lišícími se konstantami útlumu $\tau = 0.55, 0.6, 0.7$ a 0.7 .

Signál byl upraven přidáním konvolučního reverbu, kde impulzová odezva koupelny byla přenásobena exponenciální obálkou s konstantou útlumu $\tau = 1/30$.

2.2.5 Rytmický buben / Snare Drum 2 - č.40

Viz rytmický buben 38.

2.2.6 Kotel / Low Tom 2 - č.41

Syntéza obdobná rytmičkému bubnu, opět simulace kmitání blány aditivní syntézou dvou harmonických o frekvencích $f_1 = 71.5$ Hz a $f_2 = 76$ Hz, přenásobených exponenciálním průběhem o hodnotě útlumu $\tau = 0.1$.

K signálu je přidán třemi pásmovými propustmi filtrovaný bílý šum, kde horní mezní kmitočty jsou 3.88 5 a 8 kHz. Šum je tlumen exponenciální obálkou o hodnotě $\tau = 0.045$.

Nakonec je signál filtrován horní propustí pro potlačení subkmitočtů, díky nimž může zvuk kotle připomínat basový buben. Mezní kmitočet $f_{-3dB} = 120$ Hz.

Všechny filtry pro syntézu kotle jsou s Butterworthovým průběhem.

2.2.7 Uzavřená Hi-hat / Closed Hi-hat - č.42

K získání zvuku uzavřené Hi-hat byla použita tvarovací syntéza šumu, kde vygenerovaný bílý normální šum byl přenásoben velmi zatlumenou exponenciální obálkou s hodnotou $\tau = 0.035 \cdot \text{doba trvání noty}$.

2.2.8 Přejchod 3 / Low Tom 1 - č.43

Syntéza ze dvou částí. K signálu o jedné harmonické o exponenciálním útlumu je přičten šum, filtrovaný třemi pásmovými propustmi na 3877, 5000 a 8000 Hz. Použit opět Butterworthův filtr 6. řádu a exponenciální útlum šumu.

Výsledný signál je filtrován horní propustí s mezním kmitočtem $f_m = 110$ Hz pro potlačení hlubokých tónů.

2.2.9 Přejchod 2 / Low Tom 2 - č.45

Použita aditivní syntéza pěti harmonických, přenásobeno exponenciální obálkou, obdobně jako low tom č. 43 použity tři filtry "pásmová propust" pro přidání aditivního šumu.

Celý signál je opět filtrován horní propustí s mezní frekvencí $f_m = 150$ Hz.

2.2.10 Otevřená Hi-hat / Open Hi-hat - č.46

Syntéza je prakticky totožná s uzavřenou Hi-hat, liší se v tlumící konstantě $\tau = 0.22$.

2.2.11 Přejchod 1 / Mid Tom 1 - č.47

Použit shodný model jako pro Low Tom 2 č. 45.

2.2.12 Crash / Crash Cymbal 1 - č.49

Frekvenční modulace, filtry buzeny bílým šumem, čtyři rezonanční kmitočty. Každý ze získaných průběhů přenásobený exponenciální obálkou o různé hodnotě τ .

2.2.13 Tamburina / Tambourine - č.54

Zvuk získán filtrováním bílého šumu horní propustí, následně přenásobený exponenciální obálkou. Použita nižší vzorkovací frekvence $F_s = 16$ kHz.

2.2.14 Crash / Crash Cymbal 2 - č.57

Viz crash 49

Ostatní nástroje jako bongu, rolničky nesyntetizovány.

3 Syntetizované skladby

Zpracovány byly celkem tři úkoly, a to skladba **Yellow Submarine** od dvojice Paula McCartney a Johna Lennona, dále hudební stupnice a nakonec vlastní skladba. Detailní popis jednotlivých realizací je uveden níže.

3.1 Paul McCartney, John Lennon - Yellow Submarine

Skladba sestává ze 23 hudebních stop, z toho osm nástrojů, 13 perkusí a dva zvuky. Detailní rozpis v originálním názvosloví je uveden v tabulkách 2 a 3 na stranách na straně 9 a 9.

Tab. 2: Seznam standardních nástrojů a zvuků - Yellow Submarine

Kanál	MIDI číslo	Hudební nástroj
01	26	Acoustic Steel Guitar
02	33	Acoustic Bass
03	25	Acoustic Nylon Guitar
04	12	Vibraphone
05	53	Choir Aah
06	59	Tuba
07	58	Trombone
08	57	Trumpet
09	74	Flute
11	123	Seashore

Tab. 3: Seznam perkusí - Yellow Submarine

Channel 10:	Nástroj
35	Bass drum 2
40	Snare drum 2
42	Closed Hi-hat
46	Open Hi-hat
47	Mid Tom 1
49	Crash Cymbal 1
54	Tambourine
57	Crash Cymbal 2
60	High Bongo
67	High Agogo
83	Jingle Bell
84	Belltree
87	Open Surdo

Syntetizovány všechny nástroje kromě bong, rolniček, belltree a open surdo.

3.2 Durová stupnice

Zvolena harmonická fis dur.

3.3 Vlastní realizace audio syntézy

Vlastní skladba byla zvolena z archivu autora s původním názvem 101 - Celebrate Marty's return.

Složena 21. října 2015 a jak název napovídá na počest návštěvy Martyho McFlye se svým vozem DeLorean.

Obsahuje akustickou čistou kytaru, jednoduché perkuse, kostelní varhany a doplněna o dudy.

4 Závěr

Podářilo se syntetizovat požadované skladby, některé nástroje jsou rozšířeny o reverb.

Záměr o stereofonii však bohužel nedopadl, původní některé původní skladby počítají s "rozhozením" nástrojů do prostoru. Vhodné jako budoucí inovace.

Seznam použité literatury

- [1] ČMEJLA Roman, Doc. Ing. CSc., SOVKA Pavel, Prof. Ing. CSc. *Úvod do číslicového zpracování signálů*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005. 108s. ISBN 80-01-03158-6.
- [2] DILL Stephen. *Percussion Synthesis*[online]. Poslední změna 1998, [cit. 12.12.2017]. Dostupné z: <https://ccrma.stanford.edu/šdill/220A-project/drums.html#ks>
- [3] ČMEJLA, Roman Prof. Ing., CSc. *Syntéza audio signálů* [online materiály předmětu B2M31SYN]. Poslední změna 29. 9. 2017, [cit. 30.12.2017]. Dostupné z: <http://sami.fel.cvut.cz/syn/>
- [4] SCHUTTE, Ken. [online]. Poslední změna nedohledána. [cit. 30.12.2017]. Dostupné z: <http://kenschutte.com/midi>

A SEZNAMY OBRÁZKŮ A TABULEK

Seznam tabulek

1	Seznam hudebních nástrojů a zvuků	3
2	Seznam standardních nástrojů a zvuků - Yellow Submarine	9
3	Seznam perkusí - Yellow Submarine	9
4	MIDI - Tabulka standardních nástrojů	12
5	MIDI - Tabulka standardních nástrojů 2	13
6	MIDI - Tabulka perkusních nástrojů kanál 10	13
7	Parametry frekvenční modulace jednotlivých nástrojů	14

B MIDI TABULKY NÁSTROJŮ

B.1 Standardní tabulka nástrojů

Tab. 4: MIDI - Tabulka standardních nástrojů

Piano Timbres:		Chromatic Percussion:		Organ Timbres:	
1	Acoustic Grand Piano	9	Celesta	17	Hammond Organ
2	Bright Acoustic Piano	10	Glockenspiel	18	Percussive Organ
3	Electric Grand Piano	11	Music Box	19	Rock Organ
4	Honky-tonk Piano	12	Vibraphone	20	Church Organ
5	Rhodes Piano	13	Marimba	21	Reed Organ
6	Chorused Piano	14	Xylophone	22	Accordion
7	Harpsichord	15	Tubular Bells	23	Harmonica
8	Clavinet	16	Dulcimer	24	Tango Accordion
Guitar Timbres:		Bass Timbres:		String Timbres:	
25	Acoustic Nylon Guitar	33	Acoustic Bass	41	Violin
26	Acoustic Steel Guitar	34	Fingered Electric Bass	42	Viola
27	Electric Jazz Guitar	35	Plucked Electric Bass	43	Cello
28	Electric Clean Guitar	36	Fretless Bass	44	Contrabass
29	Electric Muted Guitar	37	Slap Bass 1	45	Tremolo Strings
30	Overdriven Guitar	38	Slap Bass 2	46	Pizzicato Strings
31	Distortion Guitar	39	Synth Bass 1	47	Orchestral Harp
32	Guitar Harmonics	40	Synth Bass 2	48	Timpani
Ensemble Timbres:		Brass Timbres:		Reed Timbres:	
49	String Ensemble 1	57	Trumpet	65	Soprano Sax
50	String Ensemble 2	58	Trombone	66	Alto Sax
51	Synth Strings 1	59	Tuba	67	Tenor Sax
52	Synth Strings 2	60	Muted Trumpet	68	Baritone Sax
53	Choir Aah	61	French Horn	69	Oboe
54	Choir Ooh	62	Brass Section	70	English Horn
55	Synth Voice	63	Synth Brass 1	71	Bassoon
56	Orchestral Hit	64	Synth Brass 2	72	Clarinet
Pipe Timbres:		Synth Lead:		Synth Pad:	
73	Piccolo	81	Square Wave Lead	89	New Age Pad
74	Flute	82	Sawtooth Wave Lead	90	Warm Pad
75	Recorder	83	Calliope Lead	91	Polysynth Pad
76	Pan Flute	84	Chiff Lead	92	Choir Pad
77	Bottle Blow	85	Charang Lead	93	Bowed Pad
78	Shakuhachi	86	Voice Lead	94	Metallic Pad
79	Whistle	87	Fifths Lead	95	Halo Pad
80	Ocarina	88	Bass Lead	96	Sweep Pad

Tab. 5: MIDI - Tabulka standardních nástrojů 2

Synth Effects:	Ethnic Timbres:	Sound Effects:
97 Rain Effect	105 Sitar	113 Tinkle Bell
98 Soundtrack Effect	106 Banjo	114 Agogo
99 Crystal Effect	107 Shamisen	115 Steel Drums
100 Atmosphere Effect	108 Koto	116 Woodblock
101 Brightness Effect	109 Kalimba	117 Taiko Drum
102 Goblins Effect	110 Bagpipe	118 Melodic Tom
103 Echoes Effect	111 Fiddle	119 Synth Drum
104 Sci-Fi Effect	112 Shanai	120 Reverse Cymbal
Sound Effects:		
121 Guitar Fret Noise	124 Bird Tweet	127 Applause
122 Breath Noise	125 Telephone Ring	128 Gun Shot
123 Seashore	126 Helicopter	

B.2 Tabulka perkusních nástrojů – kanál 10

Tab. 6: MIDI - Tabulka perkusních nástrojů kanál 10

27 High Q (GM2)	48 High Tom 2	68 Low Agogo
28 Slap (GM2)	49 Crash Cymbal 1	69 Cabasa
29 Scratch Push (GM2)	50 High Tom 1	70 Maracas
30 Scratch Pull (GM2)	51 Ride Cymbal 1	71 Short Whistle
31 Sticks (GM2)	52 Chinese Cymbal	72 Long Whistle
32 Square Click (GM2)	53 Ride Bell	73 Short Guiro
33 Metronome Click (GM2)	54 Tambourine	74 Long Guiro
34 Metronome Bell (GM2)	55 Splash Cymbal	75 Claves
35 Bass Drum 2	56 Cowbell	76 High Wood Block
36 Bass Drum 1	57 Crash Cymbal 2	77 Low Wood Block
37 Side Stick	58 Vibra Slap	78 Mute Cuica
38 Snare Drum 1	59 Ride Cymbal 2	79 Open Cuica
39 Hand Clap	60 High Bongo	80 Mute Triangle
40 Snare Drum 2	61 Low Bongo	81 Open Triangle
41 Low Tom 2	62 Mute High Conga	82 Shaker (GM2)
42 Closed Hi-hat	63 Open High Conga	83 Jingle Bell (GM2)
43 Low Tom 1	64 Low Conga	84 Belltree (GM2)
44 Pedal Hi-hat	65 High Timbale	85 Castanets (GM2)
45 Mid Tom 2	66 Low Timbale	86 Mute Surdo (GM2)
46 Open Hi-hat	67 High Agogo	87 Open Surdo (GM2)
47 Mid Tom 1		

C PARAMETRY FREKVENČNÍ MODULACE

Tab. 7: Parametry frekvenční modulace jednotlivých nástrojů

Nástroj	Doba [s]	fc [Hz]	Fm [Hz]	Io [-]	tau[-]
31	0.5	1800	1000	0.3	1/26