

Szakdolgozat

Ritter Tamás

**Debrecen
2010**

*Debreceni Egyetem
Informatika Kar*

Elektronikus hangszintézis és moduláció szemléltetése LabView segítségével

Témavezető:
Dr. Tornai Róbert
egyetemi adjunktus

Készítette:
Ritter Tamás
programtervező informatikus

Tartalomjegyzék

1 : Bevezetés	1
2 : Hangtan	3
2.1 : Amplitúdó.....	3
2.2 : Hangszín	4
2.3 : Periodikusság	4
2.4 : Modulációk	4
2.4 : Analízis és Szintézis.....	6
2 : Analóg szintézis.....	7
2.1 : Történeti áttekintés	7
2.2 : Felépítés	8
2.2.1 : Jelforrások.....	9
2.2.2 : Jelmódosítók	11
2.2.3 : Vezérlőegységek	12
2.3 : LabView szemléltetés	12
2.4 : AnalogSynth.vi	13
3 : MIDI	15
3.1 : MIDI üzenetek.....	16
3.1.1 : Note-on üzenet	17
3.1.2 : Note-off üzenet.....	17
3.1.3 : Program change	17
3.1.4 : Control Change	17
3.1.5 : Pitch Wheel Change.....	18
3.1.6 : SMF (Standard MIDI File).....	18
3.1.7 : SMF Felépítése	18
3.2 : MIDI_JamSession.vi	19
4 : Modulációk.....	20
4.1 : Tremolo	20
4.2 : TREMOLO.vi	21
4.3 : Vibrato.....	22
4.4 : VIBRATO.vi	23
5 : Frekvencia Modulációs (FM) szintézis.....	24
5.1 : Matematikai alapok.....	25
5.2 : Harmonikus arány (Harmonicity Ratio)	26
5.3 : FM.vi	26
5.4 : Chowning hangszerek	28
5.5 : Chowning.vi.....	28
6 : Additív Szintézis	29
6.1 : Pillanatnyi frekvencia és amplitúdó.....	30
7 : Szubtraktív szintézis.....	31
7.1 : Jelforrások.....	31
7.2 : Időben változó digitális szűrők.....	32
7.3 Lineáris Jóslás és Cross szintézis.....	33

8 : Összefoglalás	35
Irodalomjegyzék	36
Szószedet	38
Plágium - Nyilatkozat	41

1 : Bevezetés

A dolgozatom célja hangszintetizálási és hangmodulációs technikák ismertetése és szemléltetése. Ezen technikák tárgyalásához elengedhetetlen bizonyos hangtani alapfogalmak definiálása. Az elméleti alapozáshoz a LabView grafikus programozási nyelv segítségével elkészített bemutató programokat is társítok.

A hétköznapokban egy zeneszám vagy egy koncert meghallgatása során nem fordítunk különösebb figyelmet annak elemzésére, hogy milyen eszközök segítségével jött létre az általunk észlelt végeredmény. Legyen szó a hangszerek hangjának erősítéséről, rögzítéséről, modulálásáról vagy utólagos javításáról a feladat komoly szaktudást és kreativitást igényel.

Az elektronika, majd később a számítógépek alkalmazása a zenészek szolgálatában hatalmas előrelépést és végtelen lehetőségeket jelentett. A lehetőségek kiaknázásához azonban elengedhetetlen bizonyos előismeretek megléte és ezek céltudatos alkalmazása. Az elektronikus szintetizátorok megjelenése forradalmi lépést jelentett a zenetörténetben. Az addig ismert hagyományos hangszerekkel szemben korlátlan lehetőségeket nyújtott az újfajta zenei hangzások kialakításában. A szintetizátorok nagy előnye a hangterjedelmük mellett a tökéletes programozhatóságukban rejlett. Nem csak létező hangszerek hangjának, hanem újfajta, addig csak a zeneszerzők fejében létező hangzások előállítására voltak képesek.

Napjainkban a számítógépek segítségével már nem csak zenében alkalmazható hangok szintetizálására vagyunk képesek. A lehetőségek még tágabbak lettek, akár az emberi beszéd teljesen digitális előállítására is képesek vagyunk. A zenei alkalmazásban azonban reneszánszukat élik az analóg szintetizátorok és effektek. Újra felértékelődtek az eredeti darabok és a gyártók is követve a tendenciát, az analóg eszközök felépítéséhez nagyban hasonlító, digitális berendezéseket gyártanak. Ezeket nevezzük „*virtuális analóg*” és „*szoftverszintetizátoroknak*”. A kereskedelmi forgalomban kapható zeneszerkesztő programok részeként VSTi (*virtual studio technology instruments*) pluginek ezrei szerezhetők be. Ezek túlnyomó többsége valamely már létező eszköz hangját és kinézetét szimulálja, a grafikus felületen beállított paraméterek segítségével formálhatjuk a hallható végeredményt.

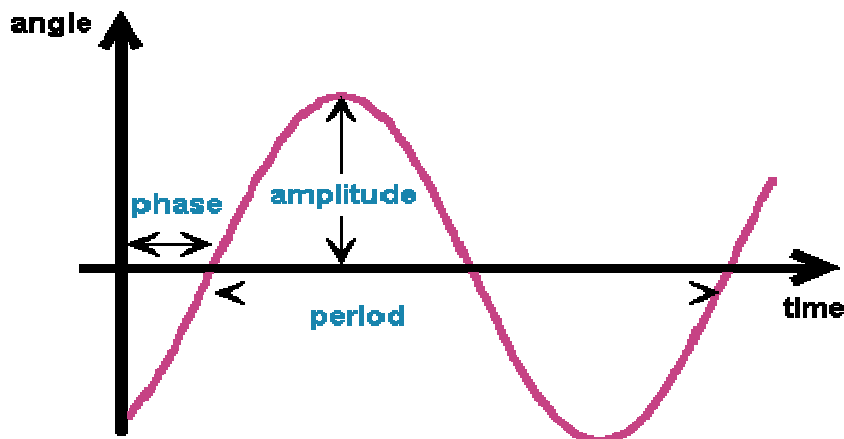
Dolgozatomban én is hangszintetizálásra és modulációra alkalmas programokat készítek az alapvető hangszintetizálási eljárások szemléltetésére és kipróbálására, de a VSTi hangszerekkel szemben ezek sokkal mélyebb betekintést engednek magának a hang előállításának és manipulációjának folyamatába. A VSTi pluginek előre meghatározott paramétereivel és azok fix szélsőértékeivel szemben programjaimban sokkal szabadabban kísérletezhetünk egy-egy hangzás előállítása során. Aktív zenészként azt tapasztalom, hogy az internetes zenelejátszók és MP3 letöltések korában nehéz újat alkotni és az érvényesüléshez mindenképpen szükséges egy saját és jól felismerhető hangzásvilág kialakítása. Ennek az egyedi megszólalásnak a kifejlesztésében is sokat segít a hanggenerálási folyamatok behatóbb megismerése. A másik indok, amiért ezt a témát választottam, hogy szabadidőmben hobby szinten foglalkozom analóg gitáreffektek építésével. A LabView segítségével elkészített modellek nagyon jó tesztelési lehetőségeket biztosítanak és anyagi ráfordítást sem igényelnek. Az elkészült

programokkal ki tudom próbálni a szabályzók különböző beállításait és az egyéb paramétereket, így csak azok az elképzelések kerülnek fizikai megvalósításra, amik tényleg az általam megálmodott hangzást produkálják. Több a zeneiskolai oktatásban dolgozó billentyűs szaktanár véleménye szerint is a feldolgozott téma és a bemutató programok segítik az oktatást, valamint minden hangszeres és hangmérnök hasznára válnak a folyamatok megértésében, és ez nagyban elősegíti a kívánt hangzás elérését.

Az első részben a zenei hanggal kapcsolatos alapfogalmakat vezetem be, mert ezek ismerete elengedhetetlen a további eljárások megértéséhez. A taglalt témákhoz képi illusztrációkat is csatolok, ezek nagyrészt a saját programjaimból származnak. Idegen forrásból származó képeket is felhasználtam, ezeket az ábrák alatt a forrás megnevezésével jelzem.

2 : Hangtan

Fizikai értelemben hangnak egy rezgő test által létrehozott és rugalmas közegben hullámként tovaterjedt rezgést nevezünk. Zenei értelemben a hang egy a fülünk által érzékelt inger, amelyet négy fő tulajdonságával tudunk jellemezni. Ez a négy jellemző a **rezgésszám**, az **amplitúdó**, a **hangszínezet** (spektrum) és a **ciklikusság** (periodikusság), amit az 1. ábra szemléltet.



1. ábra Szinuszjel

Forrás: <http://www.elmer.unibas.ch/pendulum/sinus.gif>

A rezgésszám vagy más néven frekvencia a másodpercenkénti rezgésszámot jelöli. Mértékegysége a hertz (HZ) és a hang magasságát határozza meg. Az emberi fül számára érzékelhető frekvenciasáv a 20Hz és 20kHz közötti tartományban van („de ez az érték egyénenként és az életkortól függően változhat). A 20Hz-nél alacsonyabb frekvenciájú rezgéseket *infrahangok*nak, a 20kHz-nél magasabb frekvenciájú hangokat *ultrahangok*nak nevezzük. Az infrahangokra jellemző, hogy úgy érzékeljük őket, mintha ismétlődő, de különálló rezgések lennének. Az emberi fül észleli őket, de nem keltenek hangérzetet, nincs hangmagasságuk. Ilyen rezgés például a szívdobogás, ami percenként hatvanas pulzusszámnál pontosan 1Hz-nek felel meg. Tegyük fel, hogy a szívünk elméletben képes akár 26 400-at verni percenként, ebben az esetben ($26\,400 / 60 = 440$) a normál zenei 'A' hangot adná, amit pontosan 440Hz-es frekvenciával határoztak meg. Ennél a rezgésszámnál nem különálló szívdobbanásokat hallanánk, hanem egy folyamatos és állandó hangmagasságú hangot.

2.1 : Amplitúdó

Az amplitúdó határozza meg a hangerőt, és a hangrezgést leíró görbe csúcsainak egymástól való távolságát, azaz a kilengések nagyságát jelöli. Az amplitúdó feszültség-idő grafikonon való ábrázolásakor pozitív és negatív csúcsokat láthatunk. A hangerő mértékegysége a decibel (dB) („de nem csak a hangerő mérésére szolgál). Egy arányt jelöl, jellemzően valamilyen referenciaértékhez képest [2. ábra]. Használata azért célszerű, mert a decibel logaritmikus skálája felel meg leginkább az emberi halló- és látószerv működésének. Az akusztikus decibel érték, a hangerő nagyságának tízes alapú logaritmusának hússzorosával arányban lévő szám. A hallásküszöbnek a 0 decibel felel

meg, a fájdalomküszöb értéke 120 decibel. A hallásküszöb és a fájdalomküszöb hangnyomásának értéke frekvenciafüggő (Fletcher görbék).

$$X_{\text{dB}} = 10 \log_{10} \left(\frac{X}{X_0} \right)$$

2. ábra Decibel

Forrás: <http://upload.wikimedia.org/math/2/9/a/29ae3fbb527325246a747dbd04be7c58.png>

2.2 : Hangszín

A hangszínezet a hangot leíró görbe alakját jelenti. Ez minden hangforrás típus esetében jól elkülöníthető jellegzetességeket mutat. A hullámalak segít megkülönböztetni két hangszer hangját még akkor is, ha azok azonos frekvencián és azonos amplitúdóval szólalnak meg. A hangrezgéseket leíró görbe alakja a fuvola esetében például egy majdnem tiszta szinusz hullám, míg a klarinétra a négyszögrezgésű hang jellemző.

2.3 : Periodikusság

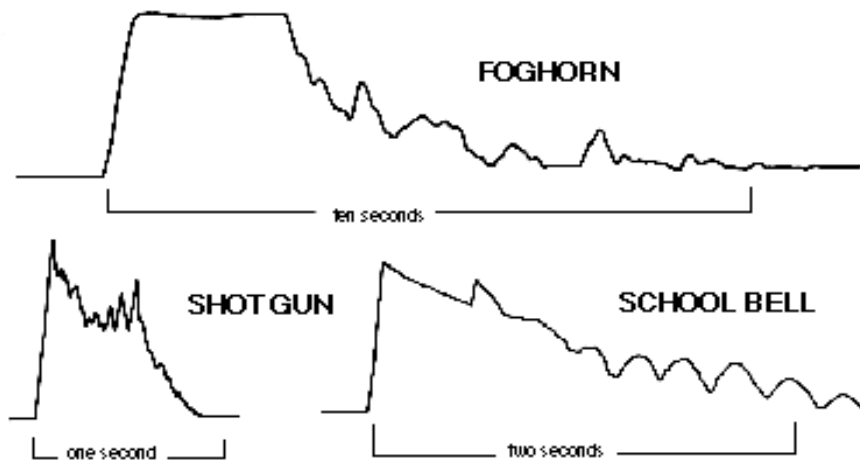
A ciklikusság meghatározó jellemző abból a szempontból, hogy el tudjuk választani a zenei hang és a zaj fogalmát. A hangok görbéje periodikus és struktúrájuk rendezett. Bármilyen bonyolult is legyen a hullámalakjuk, mindig előfordulnak ismétlődő szakaszok. A struktúrák az alaphangok frekvenciáinak bizonyos számú többszöröseiből épülnek fel. A zajok esetében aperiodikus és rendezetlen struktúrájú rezgésről beszélünk. Ennek az az egyik következménye, hogy nincs meghatározott hangmagasságuk.

2.4 : Modulációk

A zenei hangokra jellemző, hogy megszólalásuk nem konstans, bizonyos változások, modulációk kísérik a hangzási folyamatot. Ezeket a modulációkat általánosan három fő csoportra osztjuk: *amplitúdó-, frekvencia- és spektrummodulációk*.

Az egyik legegyszerűbb példa az amplitúdó modulációra, amikor a hangszeres hangosabban vagy halkabban szólaltatja meg ugyanazt a hangot. A gitáron egy hangot megpengetve a rezgésbe jövő húr először a teljes amplitúdóval rezeg, majd ez fokozatosan csökken. A grafikonon ábrázolt amplitúdó változások csúcsait összekötve kapunk egy függvénygörbét, amit burkológörbének nevezünk. A burkológörbe igen jellegzetes minden hangszer esetében. A 3. ábrán a ködkürt, a vadászpuska és egy iskolacsengő burkológörbéje látható.

Szintén húros hangszereknél figyelhető meg könnyedén az úgynevezett „nyújtás”, melynek következménye egy frekvencia moduláció, azaz hangmagasság változás. A hangrezgések spektrumában is változások mennek végbe, amikor megszólal egy hang.

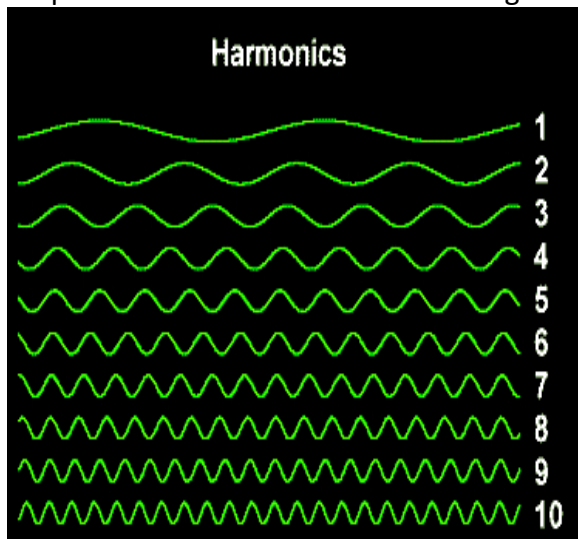


3. ábra Burkológörbék

Forrás: <http://www.sfu.ca/sonic-studio/handbook/Graphics/Envelope2.gif>

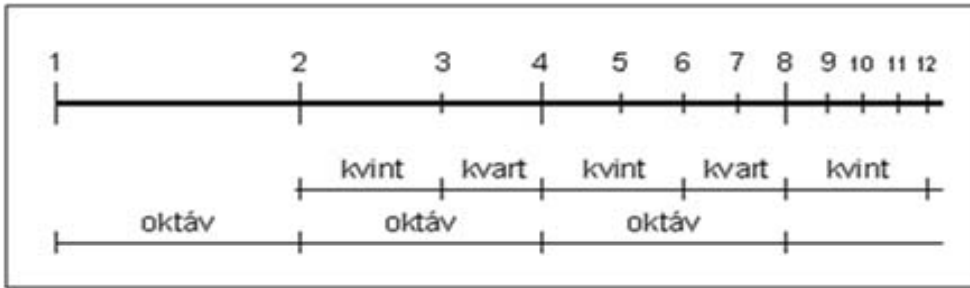
A megszólaltatás pillanatában rendelkeznek a legszélesebb frekvencia spektrummal a hangszerek és általánosan elmondható, hogy a magasabb összetevők hamarabb csillapodnak. A zongorán egy billentyűt megütve megfigyelhetjük, hogy a hang az idő haladásával folyamatosan tompul, elmélyül.

Minden hangszernek van egy jellemző hangszíne. Ennek oka, hogy a hullámalakokhoz különböző spektrum tartozik. Zenei értelemben ez annyit jelent, hogy más-más *felhang* csoportok lesznek dominánsak. A hangszer keltette hangban az általunk érzékelt konkrét



hangon kívül más összetevők is jelen vannak. Az alaprezgésnél, *alaphang*nál kisebb amplitúdóval szólalnak ugyan, de szerves részét képezik a megszólalásnak. A domináns az alaphang, ennek a hangmagasságát érzékeljük, de jelen vannak az alaprezgés egész számú vagy egyes esetekben (pl: ütős hangszerek) nem egész számú többszörösei is. Vegyünk például egy 110Hz-es 'A' hangot, ami egyszerűen leírható lenne egy szinuszrezgéssel, de a természetben nem fordul elő tiszta szinuszos hang. A 110Hz-es 'A' felhangjai sorban nézve: $2x=220\text{Hz}$ -es

'A' (pontosan egy oktávval magasabb az eredetnél), $3x=330\text{Hz}$ -es 'E', $4x=440\text{Hz}$ -es normál 'A' hang (két oktávval magasabb az eredetnél), $5x=550\text{Hz}$ -es 'Cisz' és így tovább. Ezek a felhangok különböző, de az alaphangnál mindig kisebb amplitúdóval vannak jelen és összességük hozza létre a hangzás jellegzetes spektrumát. Emiatt képes az emberi fül két különböző hangszereken, de azonos frekvencián keltett hang között különbséget tenni. Ezt úgy is szemléletesen tehetjük, hogy egyetlen hangra úgy tekintünk, mint egy (harmóniak megszólaltatására képes) hangszereken játszott *akkordra*, összhangzatra. Ebben az esetben is az alaphangon kívül más (az alaphanggal harmonikus kapcsolatban lévő) hangok is részt vesznek a hangzat kialakításában. A hangközöket a 4.ábra mutatja be.



4. ábra Hangközök

Forrás: http://zenergia.hu/e107_images/custom/zongi8.jpg

2.4 : Analízis és Szintézis

Ha egy fizikai hangszer hangját szeretnénk szimulálni első teendőnk annak megvizsgálása, hogy milyen burkológörbével rendelkezik a megszólaltatott hang amplitúdója. A másik nagyon fontos szempont, hogy mely felharmonikusok vannak jelen a megszólaltatott hangban és milyen intenzitással. A választott szintetizálási eljárástól függően kell döntenünk a jelforrásról, azaz a hullámalakról.

Az ismert hang-előállítási eljárások időrendi sorrendben:

- additív szintézis: harmonikus kapcsolatban lévő hangok összegzésével állít elő egy hullámformát. Egy korai analóg példa a Hammond orgona.
- szubtraktív szintézis: Alapja a harmonikusokban gazdag hullámformákból, szűrőkkel történő hangelőállítás. Egyszerűsége miatt a kezdeti szintetizátorokban már megtalálható (pl.: Moog).
- frekvencia moduláció (FM) szintézis: Legalább két jelgenerátor segítségével állít elő hangot. Az egyik jelgenerátor képi az alaphangot a másik, modulálja ennek frekvenciáját.
- hullámtábla (Wavetable) szintézis: A szintetikus hangokat hullámtáblázatban tárolt hangmintákból készítik el. A hangminták valódi hangszerekből származó hangok digitális mintái (gyakran ezt PCM szintézisnek nevezik). A hullámtáblázatot használó eszközöknél (pl.: hangkártyák) a szintetikus hangok minősége függ a hangminták minőségétől, a mintavételezési frekvenciától és a kvantálási hosszától, valamint az egy hangszerhez tartozó minták számától, és azok tömörítésétől.
- formánsszintézis: A formánsszintézis volt az első olyan technológia, mellyel szöveget automatikusan, érthető emberi beszéddé lehetett alakítani. A rendszer az emberi beszédhangok jellegzetes hangszínét adó, rezonanciás úton felerősített felhangtartományainak (formáns) modellezésével próbálja létrehozni a beszédhangot.
- spektrális szintézis:
- granuláris szintézis: Az alapja, hogy ez zenei hangnál rövidebb (1-50ms) mintákat használ, ezek a szemcsék. Több ilyen szemcsét helyez el rétegesen egymás tetején. A végeredmény nem egy konkrét hang, hanem egy „hangtér”, ami a manipuláció tárgya lesz. Az elmélet Gábor Dénes nevéhez fűződik.
- fizikai modellezés: A mintavételes szintézis problémáira nyújt megoldást. A modell egyes blokkjai a hangszer főbb részeinek felelnek meg (húros hangszerek esetében ezek: gerjesztő, húr, hangszertest). A modell paraméterei fizikailag

értelmezhetőek (pl.: vonó sebessége), így a zenész játéka könnyen figyelembe vehető, a virtuális hangszer vezérlése egyszerű.

2 : Analóg szintézis

Miután megismertük a zenei hangforrások és az általuk létrehozott hangok legfontosabb tulajdonságait és összetevőit, meg kell próbálnunk tapasztalatainkat átültetni a gyakorlatba is. Az analóg szintetizálási eljárások, és az analóg szintetizátorok működése nagyon jól szemlélteti a hangelőállítás folyamatát. Minden rezgéshez tartozó hullámalak megfelelő összetevői, előállíthatók elektronikus berendezésekkel. Ezek megfelelő összegzésével a kívánt hullámalak is előállítható. Az összegzési eljárást nevezzük szintetizálásnak és az erre alkalmas berendezést, pedig szintetizátornak. Ez a moduláris felépítés jól megfigyelhető az analóg szintetizátorokon. A fejezet kidolgozása [1] Kruza Richárd és Banay Gábor „A szintetizátor a zenei gyakorlatban” című könyvét veszi alapul.

2.1 : Történeti áttekintés

A hangsintézis története az 1940-es években kezdődött, de az első közérthető tudományos publikáció csak 1958-ban jelent meg és Daphne Oram nevéhez fűződik. A nagy tömegek számára is elérhető szintetizátorok kifejlesztésének úttörője Robert Moog (1934-2005) volt [6.ábra]. Moog 1963 telén fektette le egy új hangkeltésre alkalmas áramkör terveit és nem sokkal később belekezdett a szintetizátorok gyártásába [6.ábra]. Az átütő sikert Wendy Carlos - „Switched on Bach” [5.ábra] című elektronikus zenei lemeze hozta meg, melyen Bach szerzeményeinek elektronikus feldolgozásai voltak hallhatóak.

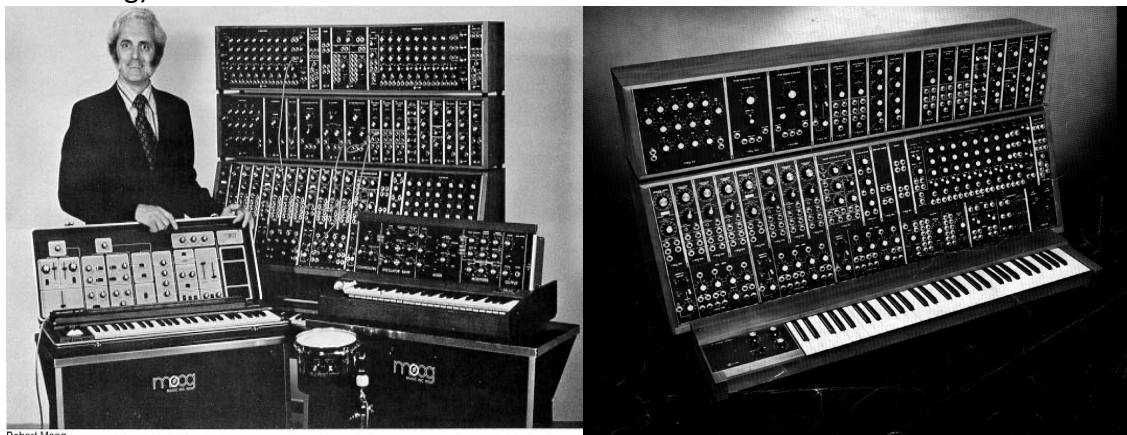


5. ábra Wendy Carlos lemeze és stúdiója

Forrás: <http://www.uh.edu/engines/switchedonbach.jpg> ; <http://www.jsbach.net/images/wendycarlos-stud68.jpg>

Robert Moog eredeti elképzelése egy olyan hangszer volt, ami az elektronikus zene céljaira minden tekintetben alkalmas. Többek között: „képes legyen a hagyományos 12-fokú temperált hangrendszerből való kilépésre is”. Az általa vezetett tervezőcsoport 1966-ban alkotta meg az első igazi feszültségvezérelt szintetizátort. Az 1970-es évektől azonban

egyre inkább a hordozhatóság lett szempont, így a szintetizátorokban az előre definiált beállítások, és csak a temperált hangrendszerben való megszólalás vált jellemzővé (pl: miniMoog).



Robert Moog

6. ábra Robert 'Bob' Moog és szintetizátorai

Forrás: <http://i2.photobucket.com/albums/y14/GriffLeRiff/BobMoog.jpg> ;

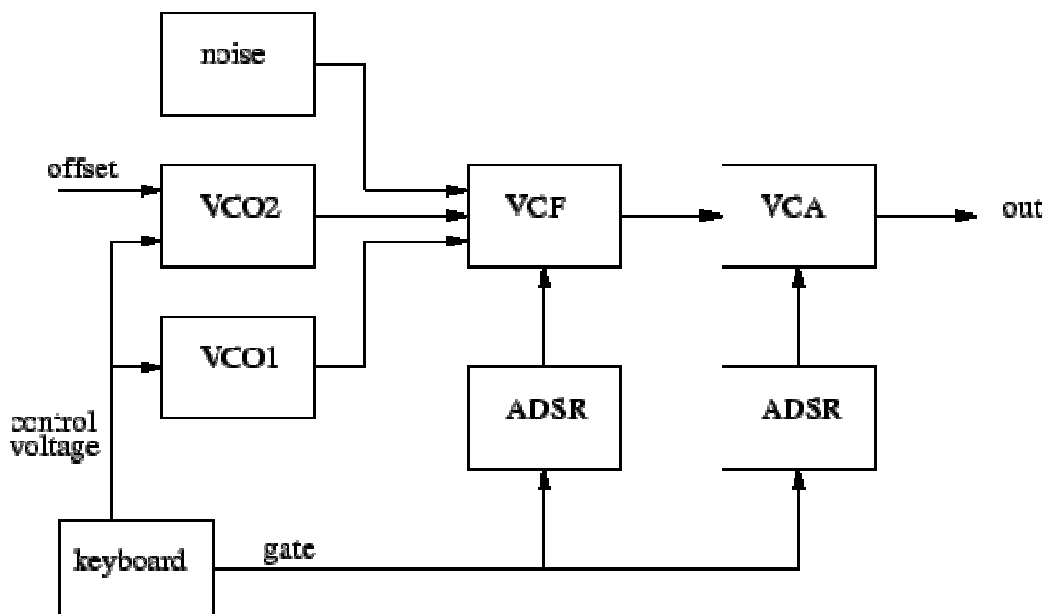
http://www.thebookoffreak.com/wp-content/uploads/2009/06/moog_55.jpg

2.2 : Felépítés

Mivel a szintetizátoroknak a hangzás különböző összetevőit kell előállítaniuk, különböző jellegű alapegységekből, úgynevezett modulokból épülnek fel.

A hangmagasságokat, azaz a frekvenciákat elektronikus oszcillátorokkal lehet előállítani. Az oszcillátorok frekvenciáját legegyszerűbb úton egy zongorabilentyűzettel lehet vezérelni. Az oszcillátorok képesek az alapvető hullámalakok előállítására, mint a szinusz, fűrészes, négyszög és háromszög alakú jelek. A hangerőváltozásokat, azaz a jelek amplitúdóváltozásait egy változtatható erősítésű erősítővel tudjuk létrehozni. A harmadik fontos tényező a hangszínezet, tehát a hangzás spektruma is befolyásolható elektronikus úton, mégpedig szűrők segítségével. Szükségünk lehet még zajok (aperiodikus jelek) előállítására is. Önmagukban is érdekesek lehetnek, de egy fontosabb szempont, hogy egyes hangszerek (pl.: fúvósok) megszólaltatását zajjelenségek is kísérik. A zajok előállításáért felelős az úgynevezett zajgenerátor (Noise Generator).

A modulok megfelelő együttműködésért külön vezérlőegységek felelősek, amelyek a feszültségvezérlés (Moog szabadalma) elvén működnek. A CV (Control Voltage) határozza meg a részegységek működését [7.ábra]. Így a különböző modulok a VCO (Voltage Controlled Oscillator), VCA (Voltage Controlled Amplifier) és a VCF (Voltage Controlled Filter) elnevezéseket kapták. A vezérlőegységekre a paraméterek jól összehangolt és tervezhető időbeli változtatásainak, zenei értelemben a hangok modulációinak programozható előállítása miatt van szükség.



7. ábra Szintetizátor modulok kapcsolása

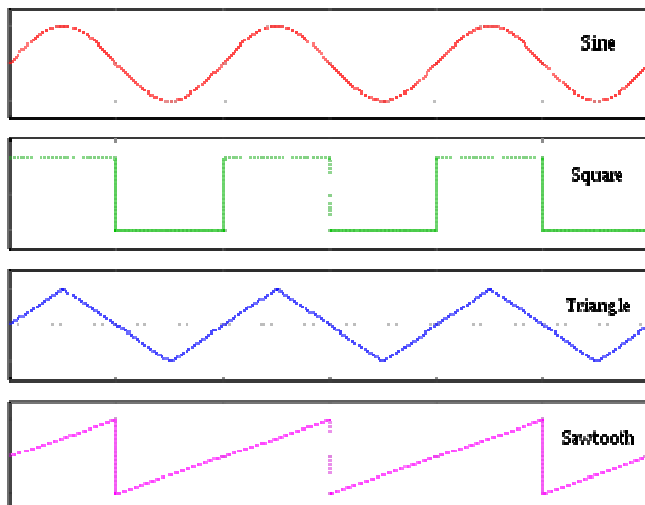
Forrás: <http://web.mit.edu/klund/www/weblatex/img30.gif>

Alapvetően két fő részre oszthatjuk az analóg szintetizátorok egységeit: vezérlő és vezérelt egységekre. A csoportosítás egy másik szempontja a modulok szerepe. Megkülönböztetünk jelforrásokat, jelmódosítókat és vezérlőegységeket. Jelforrás a VCO és a zajgenerátor és mivel ezek vezérelt egységek képesek a jelek frekvenciájának és spektrumának változtatására. A jelmódosítók csoportjába soroljuk az amplitúdót változtató VCA, a spektrumváltozásokért felelős VCF és a különleges „fémese” hatást keltő, speciális felharmonikusokat létrehozó *Ringmodulátor*. Vezérlőegységek (modulációs generátorok) az Envelope Generator ami, a vezérlő jelfeszültséget adja, ezzel tulajdonképpen a hang burkológörbét írja le és az LFO (Low Frequency Oscillator) ami egy alacsonyfrekvenciás oszcillátor.

2.2.1 : Jelforrások

A VCO, azaz a feszültségvezérelt oszcillátor többféle jelalak [8.ábra] előállítására alkalmas. A *szinuszos* jel csak a felhangok nélküli alaphangot tartalmazza. A *négyszögjel* (Square Wave) az alaphangból és annak páratlan számú többszörös frekvenciájú felhangjaiból épül fel, benne a magas és mély összetevők relatív aránya 50-50%. Telt hangzást ad, ami a nyelvsípkra jellemző (pl.: klarinét). A *háromszögjel* (Triangle Wave) a szinuszjelhez nagyon közelálló jelalak. Kevés felharmonikusot tartalmaz, ezért lágy hangzást ad. Fuvola és vibrafon hangjának szintetizálására a legalkalmasabb. A *fűrészjel* (Sawtooth Wave) tartalmaz páros és páratlan számú felharmonikusokat is. Vonós és rézfúvós hangszerek hangjára jellemző és ez az egyik leggyakrabban használt jelalak. A *négyszögimpulzust* (Pulse Wave) a magas rezgésszámú felhangok erőssége jellemzi ezért, hangszíne nazális hatást kelt. A kettős nyelvsípkok (pl.: oboa) és a pengetős húros hangszerek (pl.: gitár, csembaló) hangjára jellemző. A négyszögimpulzushoz és a fűrészrezgéshez ugyanúgy az alaphangon kívül hozzá tartoznak az egész számú többszörösök is, a különbség csak a felhangok amplitúdójában van. A négyszögimpulzus magas frekvenciáinak amplitúdója nagyobb, mint a fűrészrezgésnek ezért hangja „fényesebb” érzetet ad. A *fehér zaj* (White Noise) minden hangfrekvenciát egyenlő arányban tartalmaz. A különböző zajeffektusok

(pl.: szélzaj) előállításához, szűrők segítségével elnyomhatók vagy akár kiemelhetők egyes frekvenciasávok, így további effektusok is létrehozhatók vele.

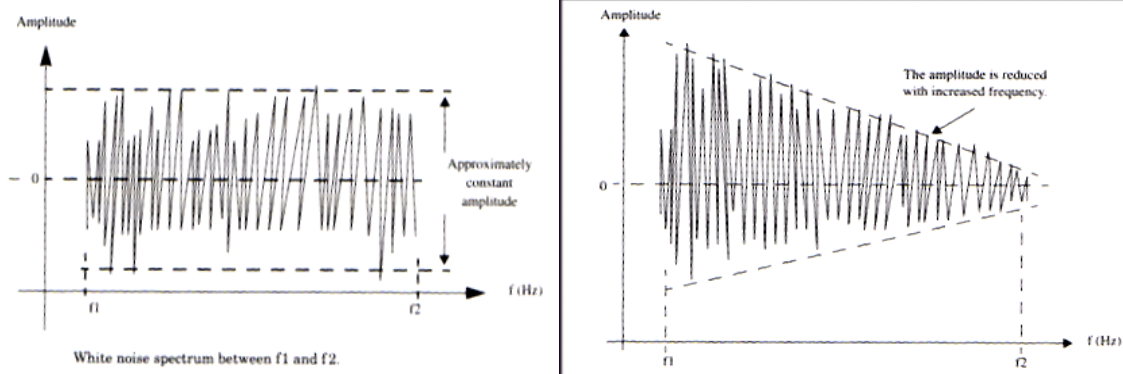


8. ábra Jelalakok

Forrás: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/7/77/Waveforms.svg/350px-Waveforms.svg.png>

Az összes hullámalak a szinuszjelre vezethető vissza. A különböző frekvenciájú szinuszos jelek összegzésével (felharmonikusok hozzáadásával) az összes jelalak létrehozható (*additív szintézis*). Minden jelalaktól szűrők segítségével eltávolítva az összes felhangot (*szubtraktív szintézis*) végül tiszta szinuszos jelet kapunk.

A zajgenerátor állítja elő az aperiodikus rezgéseket. Mivel a zajok nem keltenek határozott hangmagasság érzetet, az analóg szintetizátorokban a zajgenerátornak nincs vezérlő bemenete, tehát nem vezérelhető egység. A kimenetén állandó értékű hangfrekvenciás jelet ad. A zajgenerátor a fehér zajon kívül általában még *rózsaszín zaj* (Pink Noise) előállítására képes [9.ábra]. Az emberi fül nem lineáris működése miatt a fehér zajban erősebbnek észleljük a magas frekvenciákat, így hangzását élesnek, sziszegőnek találjuk. A fehér zajból bizonyos magas frekvenciák kiszűrésével kapjuk az úgynevezett színes zajokat. A rózsaszín zajban a kiszűrt magas frekvenciákon alul ugyanúgy megtalálható minden hallható frekvencia, azonban az egyes frekvenciasávok aránya eltérő.

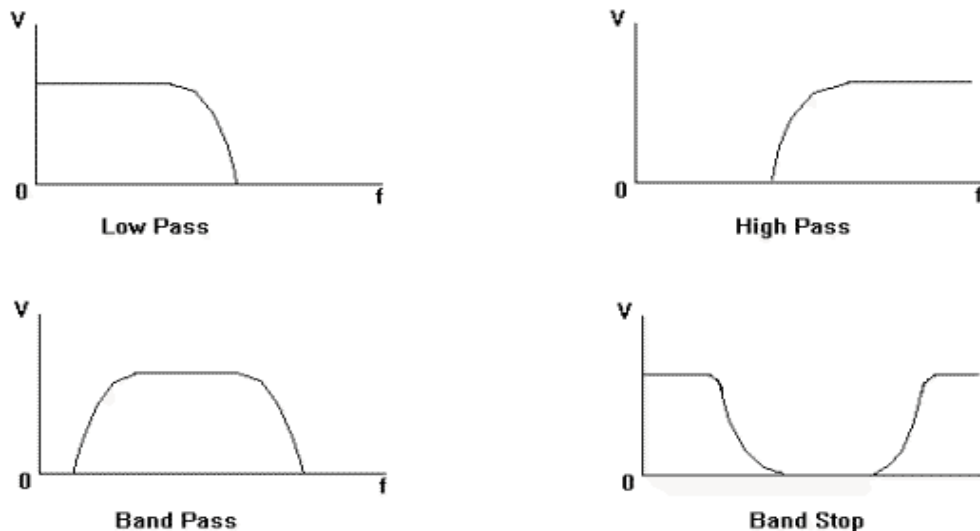


9. ábra Zajok

Forrás: <http://www.pipr.org/whitenoise.gif> ; <http://www.pipr.org/pinknoise.gif>

2.2.2 : Jelmódosítók

A VCF, azaz a feszültségvezérelt szűrők alkalmasak a hangzások spektrumváltoztatására. A szűrőket négy csoportra oszthatjuk aszerint, hogy milyen frekvenciasávokat módosítanak. Ezek a *mélyáteresztő* (Low Pass), *magasáteresztő* (High Pass), *sáváteresztő* (Band Pass), *sávviszatarató* (Band Reject) szűrők [10.ábra]. Ideális esetben a mélyáteresztő szűrő egy bizonyos frekvenciapont az úgynevezett *töréspont* (Cutoff Point) alatt lévő frekvenciákat változatlanul átengedi, viszont a töréspontnál magasabb frekvenciákat nem engedi át. A magasáteresztő szűrő fordított elven működik, tehát a töréspont feletti frekvenciákat engedi át és az alatta lévőket szűri ki. A sáváteresztő szűrő egy behatárolt sávot enged át és az alatta és felette lévő frekvenciákat elnémítja. A sávviszatarató vagy más néven lyukszűrő az előző inverze, azaz csak a behatárolt frekvenciasáv alatt és felett enged át. A gyakorlatban alkalmazott szűrők működése nem ilyen ideális. A töréspont közelében még átengednek, de fokozatosan gyengülő intenzitással. Egy másik jellemző tulajdonságuk a *rezonancia*. Ez azt jelenti, hogy a töréspont közelében erős kiemelés található. A kiemelés nagysága a szűrő úgynevezett jósági tényezőjétől (Q) függ. Az analóg szintetizátorokon ez szabályozható ('Resonance' vagy 'Peak' gomb).



10. ábra Szűrők

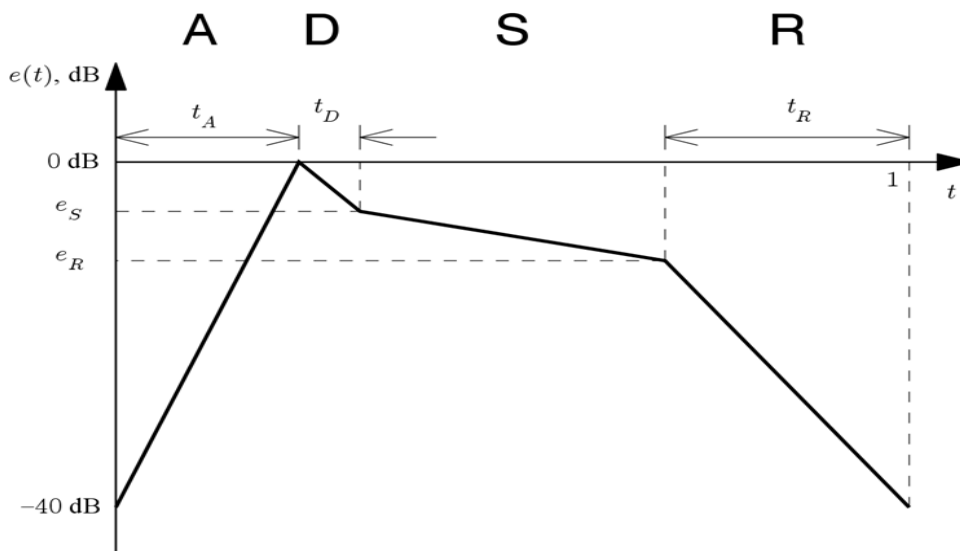
Forrás: http://www.hobbyprojects.com/general_theory/images/filter3.gif

A VCA, azaz a feszültségvezérelt erősítő felelős a hangerőváltozásokért. Ez az utolsó jelmódosító, ami a többi szintetizátoregységből érkező jel amplitúdóját határozza meg, a vezérlőfeszültség által meghatározott burkológörbe alapján.

A Ringmodulátor két oszcillátor jeléből hoz létre egy eredő jelformát. A két eredeti jel frekvenciájának összegét és különbségét továbbítja. Abban az esetben, ha a két rezgés felharmonikusokban gazdag, a felhangok összegei és különbségei is megjelennek a kimeneten. Ha a két alapjel frekvenciája nem egész számú többszöröse egymásnak, a ringmodulátor kimenetén nagyon komplex felhangokból álló struktúra jelenik meg, amelyben olyan magas frekvenciák is szerepelnek, amelyek nem felhangjai egyik eredeti frekvenciának sem.

2.2.3 : Vezérlőegységek

Az Envelope Generator, azaz burkológörbe-generátor valósítja meg a hangzási folyamatok időbeli változásainak elektronikus vezérlését. Az általános burkológörbe négy fő szakaszra osztható (ADSR). Első a *beregzés* (Attack) ami a hangzás kezdetét jelöli. Minden hangszerre jellemző a berezgési fázisa. Ilyenkor a hang amplitúdója nulláról egy bizonyos idő alatt valamilyen pozitív értékre növekszik. Például a zongoránál igen gyors a berezgés folyamata, de a hegedűnél időbe telik ameddig a vonó rezgésbe hozza a húrt. A második fázis a *csillapodás* (Decay), ami a berezgést követő amplitúdó csökkenést, a hang gyengülését jelöli. A zongoránál ez a fázis azonnal kezdődik, de az orgonánál teljesen kimarad. A hang állandósul amplitúdóját jelöli a *tartás* (Sustain) fázis. Ez a hangerő igen különböző lehet. Az utolsó fázis a *lecsengés* (Release), a hang végső lecsengése. A gitárnál ez viszonylag hosszú idő, az orgonánál pedig nincs ilyen folyamat, a hang azonnal megszűnik.



11. ábra ADSR burkológörbe

Forrás: http://cnx.org/content/m15443/latest/asyn_MP-compose-adsr-spec.png

Az LFO vagyis az alacsony frekvenciás oszcillátor 0-20Hz-es rezgéseket állít elő. Ezek nem esnek a hallható tartományba, csak más szintetizátor modulok vezérlésére szolgálnak. Az LFO segítségével előállított szinusz- vagy háromszögjel feszültségével a VCO frekvenciáját egy alapfrekvenciához képest periodikusan tudjuk növelni és csökkenteni. Ez a jelenség egy *vibrato* elnevezésű effektust hoz létre. A vibrato megfigyelhető a legtöbb hangszeres játék közben és az énekeseknél. A hang kitartása közben nem állandó a frekvencia amin megszólal. Ezen kívül erősebb modulációval egy nagyon jellegzetes effekt jön létre, amit megtalálhatunk a gitárerősítőkbe építve vagy akár különálló egységként is.

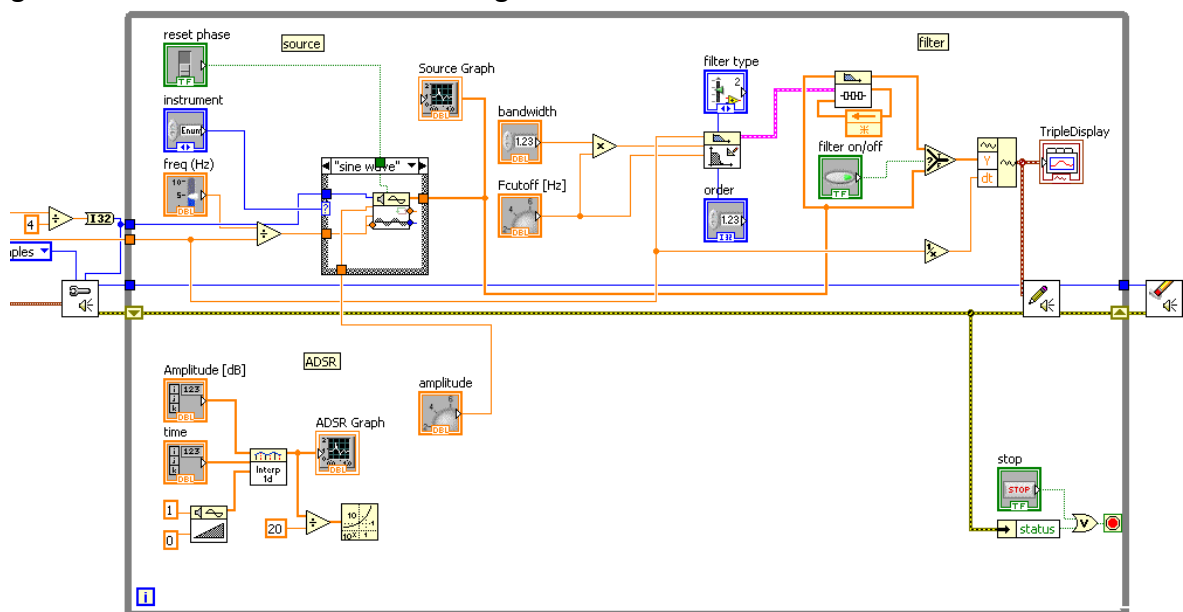
2.3 : LabView szemléltetés

A National Instruments cég élenjáró a virtuális műszer koncepcióban. Felismerve, hogy a PC tulajdonképpen egy univerzális műszer, ahol a készülékfejlesztés lényege, hogy olyan alkalmazói szoftvert hozzunk létre, ami emulálja a fizikai műszer működését és viselkedését fejlesztenek eszközöket [3]. A moduláris és univerzális hardverelemekhez (pl.: asztali PC) szintén moduláris és sokoldalú programozási környezet és nyelv szükséges, ezért született meg a Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench, azaz a

LabView. A LabView egy magasszintű, grafikus programozási nyelv, amelynek felépítésében az adatfolyam programozás elvei érvényesülnek. A programozás más módon történik, mint azt a szöveg alapú forráskódot igénylő nyelveknél megszokhattuk, ugyanis itt a kódot egy *blokk diagram* jelenti. Mivel a nyelv alapvető célja virtuális műszerek megvalósítása, minden eleme ezek minél egyszerűbb megvalósíthatóságának van alárendelve. Grafikusan szerkeszthetjük meg programunkat a rendelkezésünkre álló elemekből, ez lesz maga blokk diagram. A műszerekre jellemző az adatbeolvasás -> feldolgozás -> kijelzés tipikus feladatsor. Az ilyen, és ehhez hasonló adatfolyamok megvalósításában minden egyes vezérlőtől (bemenetektől) a huzalok vagy vonalak mentén egy-egy adatút alakul ki a megjelenítőig (kimenetekig). A huzalok csomópontokban találkoznak, amik csak akkor lesznek végrehajtva, ha az összes bemenetükön rendelkezésre állnak az adatok (általában vannak alapértelmezett (default) értékek), majd az összes kimenetre kiadják a megfelelő értékeket. A blokkdiagram (,azaz a program) végrehajtását ez az adatfolyam határozza meg, és szorosan kapcsolódik hozzá a *front panel* vagy más néven az *előlap*. A front panel határozza meg az elkészített műszer kinézetét, itt láthatjuk a kezelőszerveket. Ilyenek a beépített kontrol és indikátor gombok. A LabView-ban a bevett procedurális és OO programozási elvek és sémák csak áttételesen vagy egyáltalán nem alkalmazhatóak. Az általam készített programok működtetéséhez szükség van a LabView (9.0 vagy későbbi verziójú) program telepítésére. A szoftver ingyenes próba verziója a gyártó honlapjáról tölthető le: <http://www.ni.com/trylabview/>.

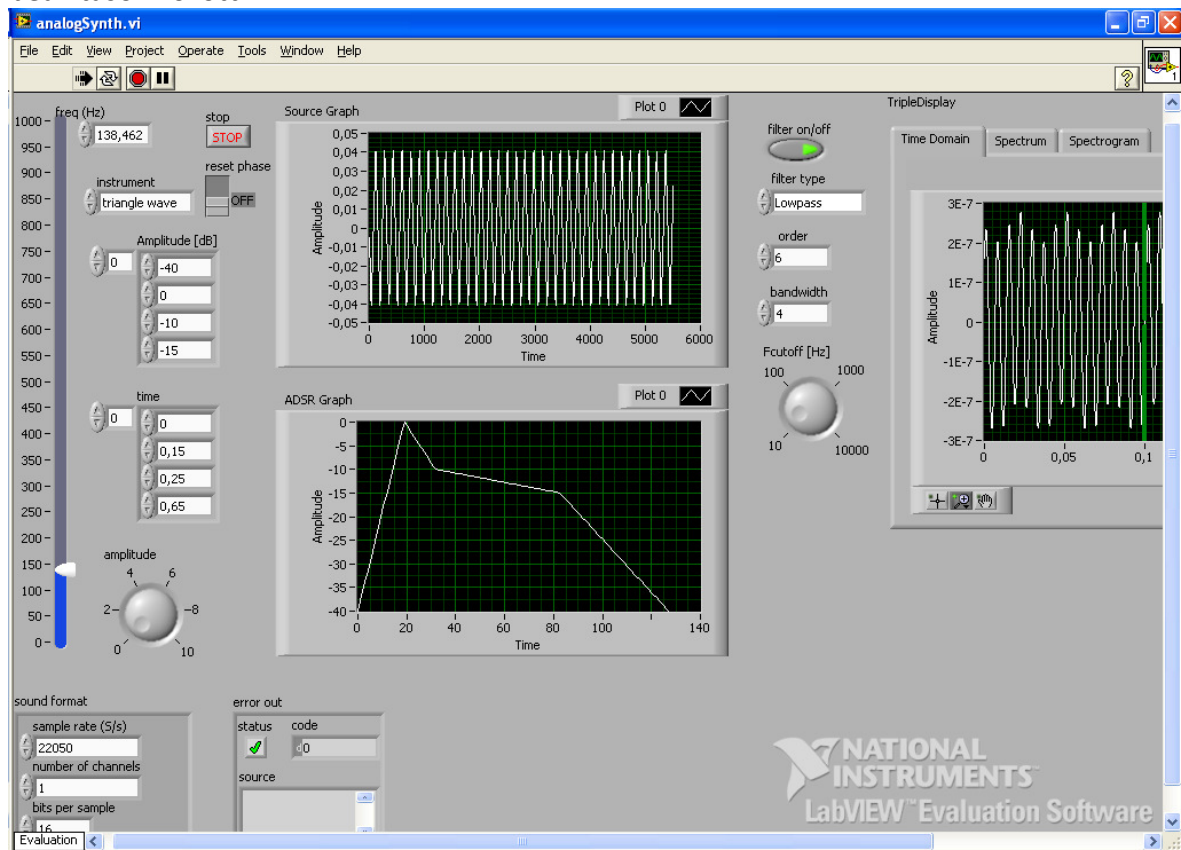
2.4 : AnalogSynth.vi

A LabView-ban a programokat *virtuális műszernek* ('virtual instrument') vagy röviden VI-nak nevezik. Dolgozatomat én is ilyen VI-ok segítségével szeretném szemléletessé tenni. Az első ilyen elkészített program az AnalogSynth.vi ami az analóg szintetizálási módszer egységeit mutatja be. A VI kialakításánál a hullámalakok, szűrők és a burkológörbe generátor bemutatása volt az elsődleges cél.



12. ábra AnalogSynth.vi - Blokk diagram

Ennek megfelelően a blokk diagram [12.ábra] kialakításánál létrehoztam egy case struktúrát (case structure) amiben a különböző jelforrások találhatóak meg. A jelforrások között egy felsorolás típusú kontrol (enumerated type control) segítségével választhatunk, amit 'instrument' néven találunk meg. Lehetséges opcióink a 'sine wave' – szinuszjel, 'sawtooth' – fűrészfog jel, 'triangle wave' – háromszögjel, 'square wave' – négyzetjel és 'noise' – zajforrás. A hangmagasságot, azaz a hang frekvenciáját egy 'freq (Hz)' elnevezésű slide segítségével állíthatjuk be. Mivel a jelforrások normalizált frekvenciát igényelnek, a freq slide és a mintavételezési frekvencia hányadosa lesz a bemeneti értékük. A mintavételezési frekvenciát a sound format adja meg nekünk, az adott hangkártya függvényében. A hangerőt, azaz a jel amplitúdóját az 'amplitude' gomb segítségével állíthatjuk be, ami a jelforrások megfelelő bemenetére van kapcsolva. A jelalakokat egy grafikon is szemlélteti az előlapon [13.ábra], ez a 'Source Graph'. Rendkívül jól szemléltethető ezen a grafikonon az eltérés a különböző jelforrások és beállítások között.



13. ábra AnalogSynth.vi - előlap

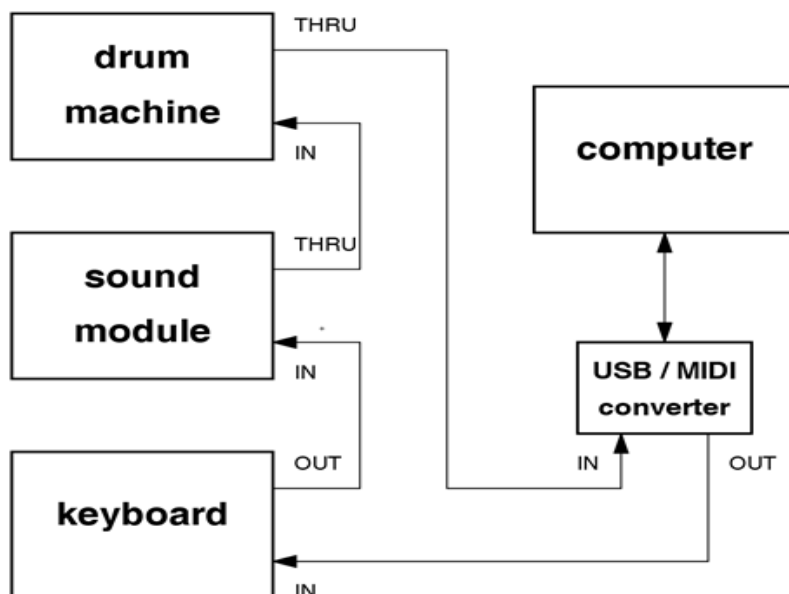
Következő részegység a burkológörbe generátor, amit 'ADSR' néven találunk meg. Ennek bemenete két darab egydimenziós tömb. Az első 'Amplitude [dB]' adja meg a burkológörbe töréspontjait decibelben. A második 'time' a töréspontokhoz tartozó idők megadására szolgál. Ahhoz, hogy egy folytonos görbét kapjunk interpolációt kell végeznünk a pontok között, erre a beépített Interpolate1D.vi-t használtam. A létrejött burkológörbe alakját szintén egy grafikonon, az 'ADSR graph' teszi láthatóvá. A harmadik részegység a szűrő, amit 'filter' néven találunk meg. A szűrő kialakításához a beépített ButterworthCoefficients.vi-t használtam fel, amiben többféle IIR szűrő van implementálva (ez a 7. Szubtraktív szintézis fejezetben részletesen is bemutatásra kerül). Ehhez két

kontrol tartozik. Az első a 'filter type', ennek segítségével adhatjuk meg a szűrő típusát, ez lehet mélyáteresztő – 'Lowpass', magasáteresztő - 'Highpass', sáváteresztő - 'Bandpass' és sávviszatarató - 'Bandstop'. A másik szabályzó az 'order', ennek segítségével adhatjuk meg a szűrő rendjét. A beállított szabályzók alapján a ButterworthCoefficients.vi kiszámolja a szűrőegyütthatókat, és ezeket átadja az IIRCascadeFilterI.C..vi számára, ami a tényleges szűrést végzi. Az 'Fcutoff' forgatógombbal állíthatjuk be a szűrők töréspontját. A bandpass és bandstop szűrőkhöz tartozik egy 'bandwidth' – sáv szélesség kontrol is, ez egy szorzószám, amivel a töréspont frekvenciáját szorzom. A 'filter on/off' kapcsolóval kapcsolhatjuk ki és be a szűrőt. A kapcsoló kimenetén igaz vagy hamis értéket szolgáltat (true/false) amit egy select utasításhoz kapcsoltam. Így a 'TripleDisplay' kijelzőn vizsgálhatjuk az eredeti és a szűrt jelet is. A TripleDisplay kijelző eredetileg nem beépített része a LabView programnak, de ingyenesen letölthető és telepíthető. Segítségével nem csak az idő függvényében alakuló amplitúdót, de a hang spektrumát is vizsgálhatjuk. Érdeemes kipróbálni például, hogy hogyan változik a jel spektruma egy aluláteresztő szűrő bekapcsolása után. Ahhoz, hogy ez a kijelző megfelelően működjön és hallható is legyen az előállított hang, a beépített BuildWaveform egységre van szükségünk. A SoundOutputConfigure.vi felkészíti a hangkártyát az adatok fogadására, a SoundOutputWrite.vi írja az adatokat a hangkártyára és a SoundOutputClear.vi üríti ki a buffereket és állítja vissza az alapértelmezett helyzetbe. Ahhoz, hogy folytonos és valós időben szabályozható hangot kapjunk, egy while ciklust kell alkalmaznunk (while loop). Az iteráció addig megy ameddig meg nem nyomjuk a 'stop' gombot vagy valami hiba (error) nem következik be. A bekövetkezett hibáról a front panelen szereplő 'error out' tájékoztat minket. Kiírja a hiba kódját és a forrását. A 'reset phase' kapcsoló szolgál arra, hogy megszüntethessük a ciklus által okozott pattogó hangot.

3 : MIDI

„A MIDI egy nemzetközi szabvány, amely megvalósítja az elektronikus hangszerek közötti információcserét, digitális jelek formájában.” (www.midi.org.)

A Musical Instruments Digital Interface egy szabvány ami 1983-ban a nagy hangszergyártók közös megállapodásával született [9]. Célja, a különböző szintetizátorok és egyéb stúdióeszközök összekapcsolása. Aszinkron soros vonali kommunikációt valósít meg. Megszületését az egyre növekvő teljesítmény és felhasználói igények indokolták. A nyomásérzékeny billentyűzetek és polifónikus szintetizátorok megjelenésével, nagyságrendekkel megnőtt az adatok száma amiket két hangszer összekapcsolásakor [14.ábra] át kell adni. A moduláris felépítésű szintetizátorok kezelése bonyolult feladat és a kívánt hangszín előállítása sok időt vesz igénybe, ezért az előre elmenthető beállítások előtérbe kerültek. A zenészek gyakran szeretnék távvezérelni eszközeiket vagy akár egy előre megalkotott kíséretre kívánnak játszani. A MIDI megoldást nyújt ezekre a problémákra is.



14. ábra MIDI lánc

http://cnx.org/content/m15049/latest/daisy_chain.png

A MIDI rendszerben minden egységnek saját mikroprocesszoravan, amely elvégzi a hangszínbeállítási feladatokat. Az eredeti összeköttetést úgy tervezték, hogy kompatibilis legyen a szabványos audio kábellel ami DIN-5 csatlakozóval van ellátva. Egy kábelen 16 csatornát definiáltak. A MIDI kompatibilis eszközökön általában három csatlakozási



lehetőséget találunk azért, hogy minden információ minden egységhez eljusson. A „MIDI IN” csatlakozó fogadja a bemenő jelet és a „MIDI OUT” továbbítja azt egy másik eszköz felé. Számos különböző eszközt fűzhetünk láncba és ezek közül nem mindegyik termel MIDI üzeneteket (pl.: dob gép, hang modul), ezért a „MIDI THRU” csatlakozón keresztül továbbíthatjuk változatlanul a bemeneten kapott jelet. A szabvány 31,25 kbit/sec átviteli sebességet határoz meg, ami már elegendő a késések elkerülésére. Napjainkban már USB porton keresztül is tudunk MIDI üzeneteket közvetíteni. A fejlődés elérte még a gitárosokat is (holott köztudott, hogy talán ők ragaszkodnak leginkább a hagyományos megoldásokhoz) és már nem csak a gitárerősítőket és effekteket vezérelhetjük MIDI segítségével, hanem léteznek a hangszerre szerelhető MIDI átalakítók, amikkel közvetlenül tudunk MIDI jeleket generálni (pl.: Roland gk-3).

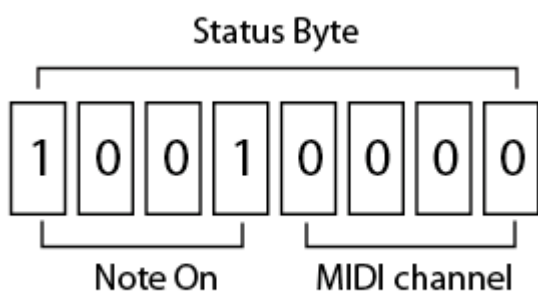
3.1 : MIDI üzenetek

A készülékek MIDI üzenetek segítségével kommunikálnak. Egy ilyen üzenet többféle jelentést is hordozhat, a hang megszólalásától a kívánt hangzásig. Az üzenetek jellemzően három bájt hosszúságúak. Az első egy *állapot bájt* (status byte) ami jelzi, hogy hogyan kell értelmezni a következő két *adatbájtot* (data byte). Ezeket az MSB (most-significant bit) értéke különbözteti meg ('1'=status; '0'=data). Alapvetően kétféle üzenet létezik csatorna-üzenet és rendszer-üzenet. Dolgozatomban részletesen csak a csatorna-

üzeneteket elemzem, mivel a legtöbb MIDI parancs ebbe a csoportba tartozik, és ezek vonatkoznak leginkább a kívánt hangzás kialakítására.

3.1.1 : Note-on üzenet

A *note-on* parancs jelzi a rendszer számára, hogy egy hang megszólaltatása elkezdődött (pl.: leütöttünk egy billentyűt). Ebben az esetben az állapot bájt 1001nnnn értékű [15.ábra], ahol nnnn jelöli a csatorna számát (összesen 16 lehet). Az első adatbájt jelöli a hangmagasságot (note number) azaz, hogy melyik billentyűt ütöttük le. A második adatbájt (velocity) pedig a leütés gyorsaságát (lehet 0 is). Általában hexadecimális jelölést alkalmaznak, így a 93 42 5C jelöli, hogy a 4-es csatornán a 92-es billentyűt ütöttük le 66-os gyorsasággal.



15. ábra Note-on üzenet

http://itp.nyu.edu/physcomp/uploads/midi/midi_screen7.png

3.1.2 : Note-off üzenet

A *note-off* üzenet jelzi a hang befejezését, a billentyű felengedését. A nulla sebességgel kiadott note-on parancs egyenlő a note-off üzenettel. Alakja is nagyon hasonló, az állapot bájt 1000nnnn alakú, az első adatbájt változatlan a második pedig a felengedés sebességét jelöli (release velocity).

3.1.3 : Program change

A program change, azaz *parancs váltás* üzenet segítségével tudunk a hangzások között váltani. Az állapot bájt 1100nnnn értékű és az adatbájt segítségével választhatunk a 128 alapvető hangzás között. Jellemzően ezek hangszer csoportokat jelölnek. A 10-es csatorna mindig az ütős hangszereknek van kiosztva.

3.1.4 : Control Change

A control change üzenetre van szükségünk a hangzásokat tároló bankok közötti navigálásra és különböző vezérlők kezelésére. A hangszerváltás három vagy több üzenetből áll, amiben az első kettő control change a harmadik pedig program change üzenet lesz. A control change parancs állapot bájtja 1011nnnn alakú. Az első adat bájt jelzi a vezérlő számát (control number), a második pedig a vezérlő értékét (control value). A vezérlő száma jelöli, hogy a következő bájt MSB (most significant byte) vagy LSB (least significant byte), így egy 14 bites bankválasztási lehetőséget kapunk, így a lehetséges hangzások száma 2 097 152 lesz. Mivel egy zenésznek többre van szüksége, mint egyszerűen a hang bekapcsolására és kikapcsolására, ezért a szintetizátorokon többféle gombot és tárcsát találhatunk. Ezeknek az eszközöknek a megváltozott állapotát is a

control change üzenet jelzi. Tipikus kontrollerek a modulációs kerék (01), fő hangerő (07), sustain pedál (40).

3.1.5 : Pitch Wheel Change

A hanghajlítás (pitch-bend) parancs népszerűsége miatt saját, két bájtos utasítást kapott. Az állapot bájt 1110nnnn, az első adatbájt a kisebb, a második a nagyobb helyiértékű. Ez a hajlítások finom, 14 bites felbontását teszi lehetővé.

3.1.6 : SMF (Standard MIDI File)

A teljes zenei előadást lehet rögzíteni egy szekvenszer program (sequencing software) segítségével, ami rögzíti a MIDI utasításokat és a közöttük eltelt időket. A nevét az analóg szintetizátorokhoz használt szekvenszerről kapta, ami egy előre beprogramozott dallamot játszott újra és újra (loop). Mióta a MIDI rendszert támogató eszközöket össze lehet kapcsolni a személyi számítógépekkel, azóta léteznek a szekvenszerek működését emuláló programok. A létrejött nagyszámú MIDI szoftver közötti adatátvitel igénye miatt szükség volt egy szabványos, hordozható formátumra. Kis méretű, a hangkártyák által azonnal lejátszható formátum: *.mid. Az elmúlt években szekvenszer program összeolvadt a hangfelvételre alkalmas programokkal, ez a *digitális audió munkaállomás*, vagyis *DAW (digital audio workstation)*. Standard MIDI fájlokat számos nem szekvenszer alkalmazás is képes lejátszani, mint a Winamp és a Windows Media Player. Szintetizátor hiányában ezek az alkalmazások a MIDI üzeneteket közvetlenül a számítógép hangkártyájára továbbítják, amiben megtalálható egy beépített MIDI szintetizátor. Megfelelően magas minőségű hangkártyákkal lehet úgynevezett szoftverszintetizátor alkalmazásokat is használni. A hagyományos szintetizátor hardver helyett elegendő egy USB portra csatlakoztatható MIDI billentyűzetet alkalmaznunk.

Apple MIDI Keyboard



3.1.7 : SMF Felépítése

A standard MIDI fájl két magas szintű információ típust tartalmaz, amit *darab*nak (chunk) nevezünk. Az első egy úgynevezett *fejléc* darab (header chunk) amit egy vagy több *sáv* darab (track chunk) követ. A fejléc darab határozza meg, hogy a három lehetséges fájltypusból (single track, szinkronos multi track és nem szinkronos multi track) melyik van hatályban, a sáv darabok számát a fájlban, illetve ezekkel kapcsolatos időzítési információkat. A pálya darab *delta idő* (delta time) és *esemény* (event) párokat tartalmaz, a delta idő jelzi az eltelt időt például két note-on üzenet között. Egy darab a *darab típusú*, négy bájtos sztringgel kezdődik, amelynek értéke vagy MThd (fejléc darab esetén) vagy MTrk (sáv darab esetén). A darab hossza 32-bites előjel nélküli egész *big-endian* formátumban, azaz a legnagyobb helyiértékű bájt következik először.

.....

3.2 : MIDI_JamSession.vi

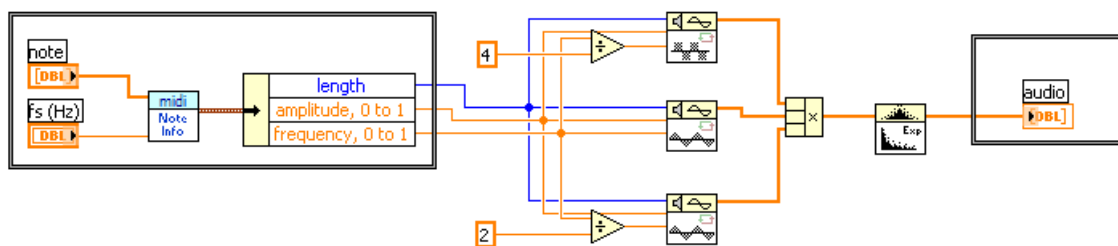
A MIDI eszközök bemutatására a MIDI_JamSession.vi-t használtam fel. Ez nem saját készítésű program csak egy MIDI hangszert hoztam benne létre. Ingyenesen letölthető a <http://cnx.org/content/m15053/latest/> oldalról. A programba MIDI fájlokat lehet behívni és a sávokra különböző hangszereket tudunk kiválasztani [16.ábra]. A sávokat el tudjuk némítani és ki tudjuk tolni csak a bal vagy a jobb hangszóróra.



16. ábra MIDI_JamSession.vi - előlap

Forrás: <http://cnx.org/content/m15053/latest/>

A letöltött MIDI_JamSession.zip kicsomagolása után találunk egy vmi_Prototype.vi fájlt. Ez a fájl egy keretet biztosít a saját MIDI hangszerünk létrehozására. A megnyitása után láthatunk pár instrukciót, amiket be kell tartanunk, hogy helyesen működjön az általunk kreált hangszer. A program interfészként történő felhasználásához tartalmaz pár olyan elemet, amit nem szabad módosítanunk, de ezeken kívül teljesen szabadon dönthetünk a kialakításról. Az általam létrehozott fantasyInstrument.vi egy egyszerű elgondolást használ fel, de egészen különleges hangot produkál. A hangszer hangját három jelgenerátor hangjának összegzéséből képeztem. A dolog érdekessége az, hogy két háromszögjelhez kevertem egy négyszögjelet is [17.ábra]. Az alaphangnál van egy egy és egy két oktávval mélyebben lévő hang is. Ezt a frekvenciák kettővel és négyvel való osztásával értem el. A burkológörbe egy exponenciálisan csökkenő görbe lett. Az így létrehozott hang, a négyszög- és háromszögjelben megjelenő különböző felhangok miatt, kicsit zörgős érzetet ad. Olyan, mint amikor egy fűz effektet alkalmazunk. A létrejött hangzás jól alkalmazható speciális effektként, például számok bevezető szakaszánál (intro).



17. ábra fantasyInstrument.vi – Blokk diagram

4 : Modulációk

Korábban már esett szó a modulációkról, nézzük meg őket kicsit részletesebben is. A bemutatott modulációk a fizikai hangkeltésnél a játék részét képezik, de megjelenhetnek speciálisan arra a célra alkalmazva is, hogy egy új hangzás elérésének eszközei legyenek.

4.1 : Tremolo

A tremolo egyfajta alacsony frekvenciájú amplitúdó moduláció. A vibrafon egy ütős hangszer ami ezt az effektet előállítja [18.ábra]. Bizonyos esetekben (főleg gitáros alkalmazáskor) a tremolo a teljes hangerővel kapcsolatos effekt, többszöri és szabályos hangerőváltozást jelent, először csökken a hangerő, akár egy pillanatra zérus is lehet, majd fokozatosan nő az eredeti hangerősségig. Ez az effekt a korai gitárerősítőkben jelent meg először (pl.: Fender Tremolux) [18.ábra].



18. ábra Vibrafon és Fender Tremolux erősítő

Forrás: <http://www.vvve.hu/files/zenetar/Vibrafon.jpg> ;

<http://www.cranesmusicstore.com/images/trem-blk.jpg>

A tremoló effekthez szükséges matematikai egyenlet: $y(t) = e(t) * \sin(2 \pi * F_0 * t)$, ahol $e(t)$ jelöli a burkológörbét (envelope) és F_0 az alap frekvenciát. Ez az effekt általában két szabályzót követel meg: a *mérték* (RATE) határozza meg az amplitúdó változásának gyorsaságát és a *mélység* (DEPTH) adja meg az ingás nagyságát. Ebből következően a képletben:



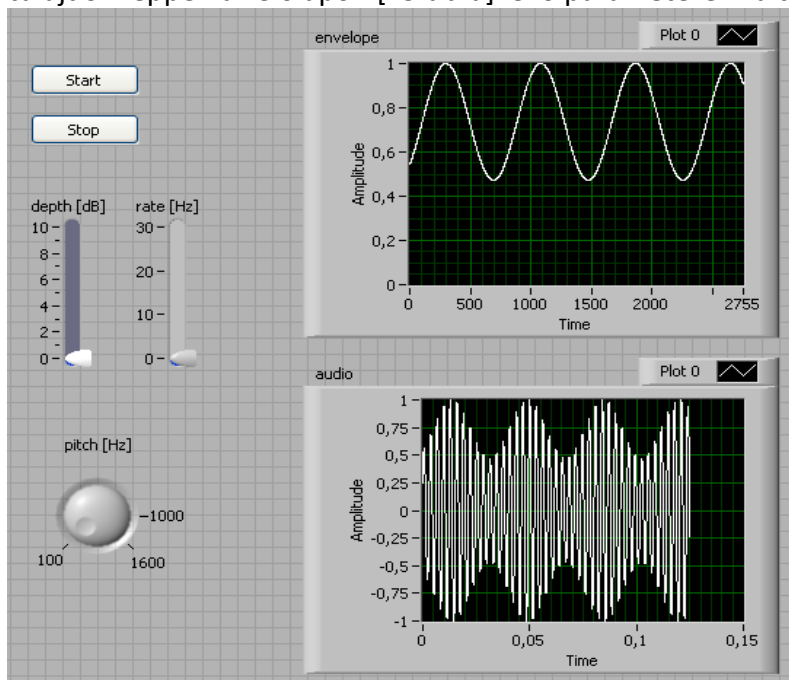
$e(t) = 1 + D \cdot \sin(2 \pi \cdot F_R \cdot t)$, ahol D adja meg az ingadozás mélységét és F_R pedig a mértékét. Azért, hogy elkerüljük az esetleges *túlvezérléseket*, csökkentjük a képletet D értékével:

$$e(t) = 1 - D + D \cdot \sin(2 \pi \cdot F_R \cdot t)$$

Érzékelési szempontból a mélység szabályzó határozza meg a legnagyobb és a legkisebb hangerő arányát. Ez egyszerűen kifejezve $MAX/MIN = [1+D] / [1-D]$, de mint már korábban is említésre került az emberi érzékelés nem lineáris, így ez az arány decibelben kifejezve $D_{dB} = 20 \log_{10}([1+D] / [1-D])$. A tipikus értékek a RATE (F_R) esetén körülbelül 3Hz-től egészen 10Hz-ig terjednek. A DEPTH (D_{dB}) esetén pedig mindenképpen 1dB-nél nagyobb értéket kell választanunk (különben nem érzékelhető a hatás), de a legjellemzőbb a 4-8dB-es érték.

4.2 : TREMOLO.vi

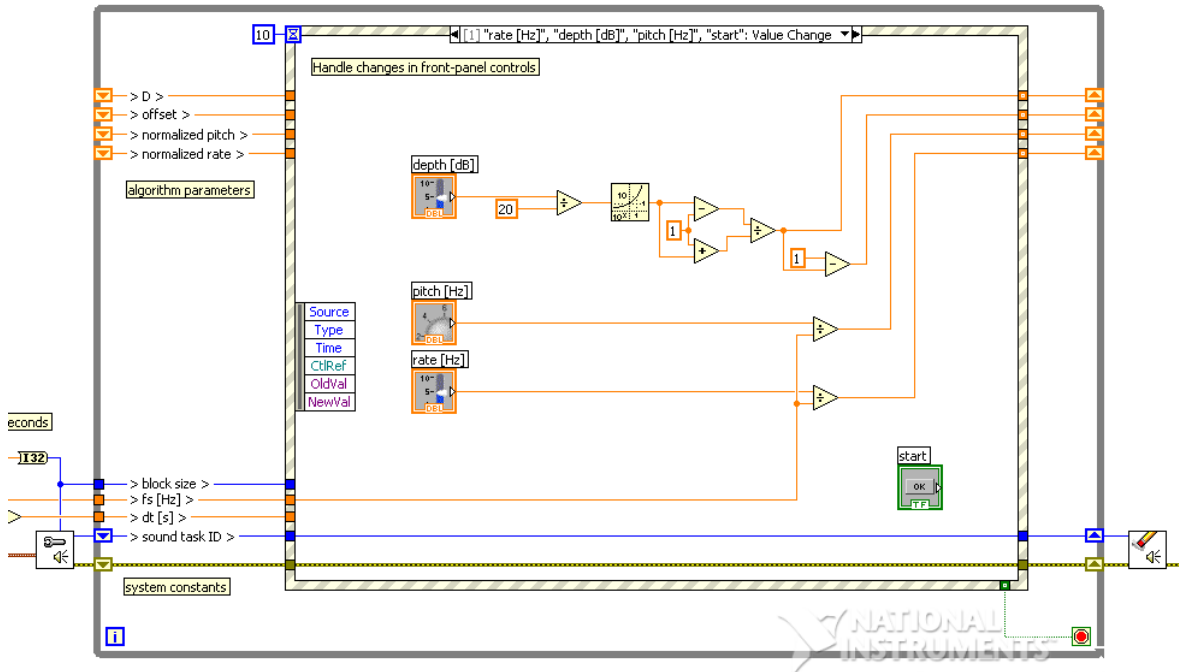
A TREMOLO.vi program mutatja be a tremoló effekt működését a gyakorlatban. Létrehozásához szükségem volt egy eset struktúrára (event structure), ami tulajdonképpen az előlapon [19.ábra] lévő paraméterek változásait kezeli.



19. ábra TREMOLO.vi - előlap

Két szinuszos jelforrásra van szükségünk, az egyik a jelet generálja a másik pedig a modulációhoz kell. A 'start' gombbal indíthatjuk el a programot és a 'stop' segítségével állíthatjuk le a működést. A 'pitch' potméter adja meg az alaphang magasságát. A 'depth' szabályzóval a mélységet a 'rate' szabályzóval pedig a mértéket adhatjuk meg. A depth szabályzó által megadott érték decibelben van, ezt át kell alakítanunk amplitúdóvá, hogy fel tudjuk használni. A felső 'envelope' grafikon szemlélteti a burkológörbét, az alsó 'audio' pedig a létrejött audio jelet. A blokk diagram kialakítása nagyban hasonlít az analogSynth.vi bemutatásánál taglaltakhoz. A különbség csak az eseménykezelő struktúra

miatti kialakításban van. A while struktúra *shift regisztereiben* tároljuk az algoritmus paramétereit és a rendszer paramétereiket [20.ábra].



20. ábra TREMOLO.vi – Blokk diagram

4.3 : Vibrato

A vibrató egyfajta alacsony frekvenciájú frekvencia moduláció. A fizikai vibrátót énekesek és hangszeresek előszeretettel alkalmazzák, főleg a hosszan kitartott hangoknál. Megfigyelések szerint a vibratóval kitartott hang jobban felkelti a hallgatóság figyelmét, sokkal érdekesebb, mint egy állandó frekvencián megszólaló hang. Ezenfelül helyes használatával jóval egyszerűbb elkerülni, hogy a hang hamissá váljon (fúvósok és énekesek esetében). A vibrató és tremoló kifejezéseket gyakran keverik a gyakorlatban. Például egyes gitárokon található egy kar amivel a hang magasságát lehet változtatni, ennek (helytelen) elnevezése *tremoló kar* [21.ábra] amit valójában vibrató karnak kéne hívunk. Az állandó frekvencia moduláció, mint speciális effektet nagyon közkedvelt a zenészek körében (pl: Jimi Hendrix és az általa híressé vált UniVibe gitáreffekt [21.ábra]) és sok híres zeneszámban hallhatjuk.



21. ábra Brian May (Queen) gitárja és az Uni-Vibe

<http://www.brianmayworld.com/TremoloArm.jpg> ;

<http://www.gibson.com/Files/aaFeaturesImages2008/univox%20univibe.jpg>

A matematikai egyenletet úgy kapjuk meg, hogy vesszük a szinuszos hang képletét:

$y(t) = A * \sin(\varphi(t))$, ahol A jelöli az amplitúdót és $\varphi(t)$ a fázis függvényt.

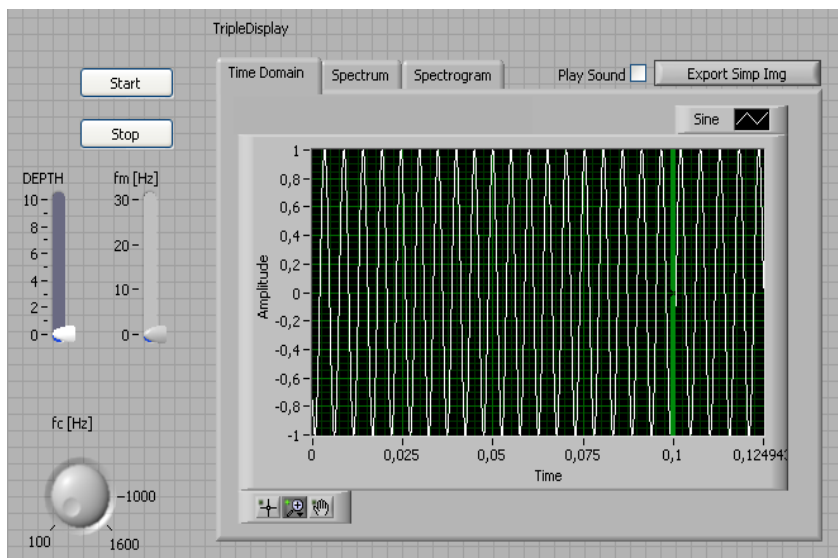
Általában (hasonlóan a tremoló effektekhez) a vibrato effekt is két szabályzót követel meg: a *mérték* (RATE) határozza meg a frekvencia változásának gyorsaságát és a *mélység* (DEPTH) adja meg az ingás nagyságát. Ebből adódóan:

$\varphi(t) = 2 \pi * F_0 * t + F_d * \sin(2 \pi * F_R * t)$, ahol F_0 az alap frekvencia, F_d jelöli a mélységet és F_R adja meg a mértéket (Hz-ben). Ezt visszahelyettesítve az eredeti képletbe $y(t) = A * \sin(2 \pi * F_0 * t + F_d * \sin(2 \pi * F_R * t))$, egyenletet kapjuk.

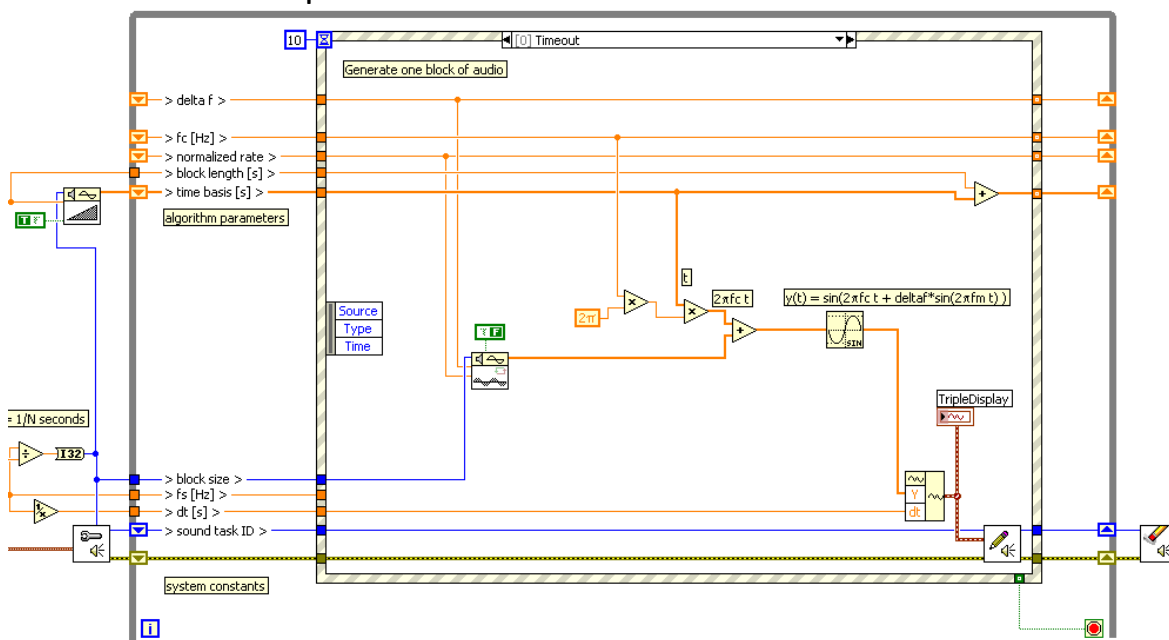
Élő előadásoknál jól megfigyelhető, hogy a vibrató mértéke és mélysége a hang kitartásával egyre gyorsabban növekszik és az effektus érzékelt intenzitása (loudness) is kezdetben alacsony, majd egyre inkább nő. A kitartott hang idővel felhangokban egyre gazdagabb lesz (brightness), az intenzitással egyenesen arányosan.

4.4 : VIBRATO.vi

A VIBRATO.vi szemlélteti a vibrató effekt működését. A megvalósítása nagyban hasonlít a tremolo.vi-nál leírtakra. A programot ugyanúgy a 'start' gombbal indíthatjuk el és a 'stop' gombbal állíthatunk meg. A blokk diagramban [22.ábra], a while ciklusba szintén egy eset struktúra van. Az eltérést csak akkor látjuk ha a '[0]Timeout' esetre váltunk. Itt található a matematikai képlet implementációja [23.ábra]. Ahhoz, hogy a képlet megfelelően működjön szükségünk van az idő tényezőre is, erre a RampPattern.vi-t használtam fel, amit egy kacsolóval úgy állítottam be, hogy ne érjen véget a ciklus befejezése előtt. Az előlapon szintén három állítási lehetőségünk van. A 'DEPTH' slide szabályozza a mélységet, az 'fm' pedig a modulációs frekvenciát. Az 'fc' pontméterrel állíthatjuk be az alaphang frekvenciáját. A 'TripleDisplay' segítségével grafikonon is láthatjuk a végeredményt. A 'Spectrum' fülre kattintva érdemes megfigyelni, hogy milyen változások mennek végbe a hang spektrumában, bizonyos beállítások mellett.



22. ábra VIBRATO.vi - előlap



23. ábra VIBRATO.vi Blokk diagram

5 : Frekvencia Modulációs (FM) szintézis

A frekvencia moduláció (FM) segítségével az audio frekvencia tartományban lehet létrehozni a hangok igen gazdag spektrumát és ehhez csupán két szinuszos oszcillátorra van szükségünk és a spektrumokat is könnyen idővel változóvá tudjuk tenni [URL1]. Komolyabb megvalósítások esetén akár 4-6 oszcillátor is részt vehet a kívánt hangzás kialakításában. A szintézis során először egy meghatározott frekvenciájú tiszta szinuszos hangrezgést (vivőfrekvencia) állítanak elő, majd ezt egy második hullámformával modulálják, így létrejön egy összetett hanghullámforma. A *vivőfrekvencia* és a *modulációs frekvencia* megfelelő beállításával különböző hangszínek, szintetikus hangszer hangok állíthatók elő. Ez a leggyakrabban alkalmazott eljárás a kommunikációs rendszerekben,

például megtalálható mindenféle zenei állomáson az FM rádió sávban. Az ötletet John Chowning a Stanfordi Egyetem tudósa dolgozta ki és 1975-ben szabadalmaztatta is. A szabadalmat 1977-ben vásárolta meg a Yamaha Corporation. Hat évvel később jelent meg a forradalmi újdonságnak számító YAMAHA DX7-es szintetizátor (23.ábra), amely az első kereskedelmileg is sikeres FM szintézisen alapuló hangszer volt. A DX7 mérföldkőnek számított két másik technológia bevezetésében is, ezek a digitális szintézis és a MIDI. Ez az „FM hang” meghatározó volt a 80as évek popzenei stílusában.



24. ábra YAMAHA DX7

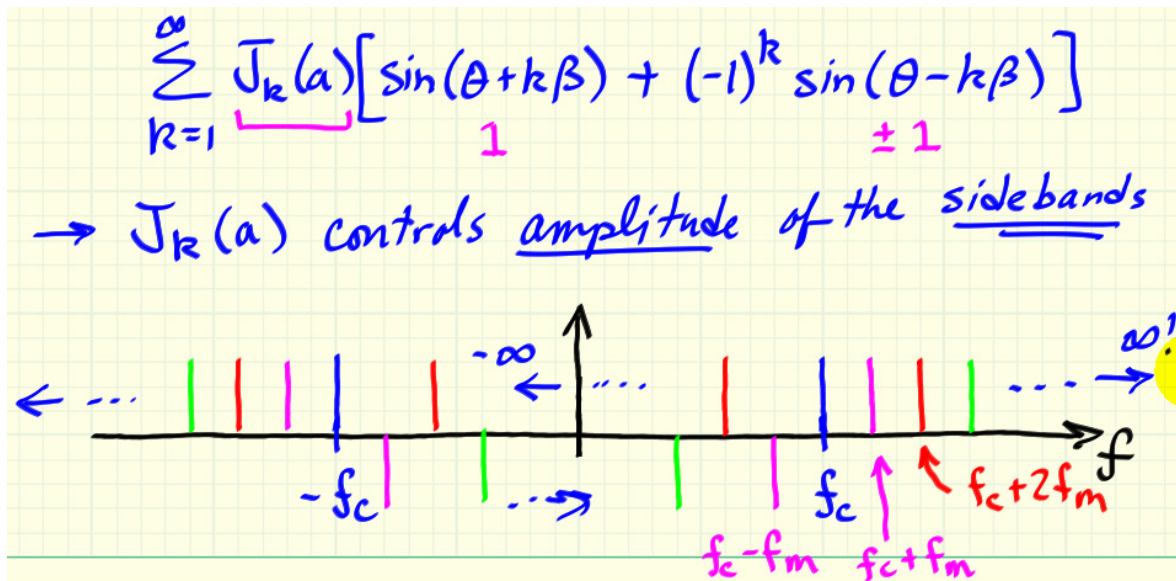
Forrás: <http://voices.washingtonpost.com/postrock/yamaha-dx-7.jpg>

5.1 : Matematikai alapok

Az alapvető FM matematikai egyenlet a következő [URL1]:

$y(t) = A \sin(2\pi * f_c * t + i * \sin(2\pi * f_m * t))$, ahol A az amplitúdó, f_c a vivőfrekvencia (Hz-ben), f_m a modulációs frekvencia (Hz-ben) és i a modulációs index. A képletben a külső zárójelben található számítás jelöli a $\varphi(t)$ -t, azaz a fázis függvényt. A modulációs index segítségével adhatjuk meg a *sáv szélességet* (bandwidth) és a modulációs frekvenciával szabályozhatjuk a kialakult új spektrális elemek, azaz az *oldalsávok* elhelyezkedését (sideband spacing). A vivőfrekvencia változtatásával állíthatjuk be a kialakult oldalsávok csoportjának középpontját. A következő trigonometriai azonosság segít, hogy jobban átlássuk a spektrális összetevők mennyiségét:

$\sin(\vartheta + a \sin \beta) = J_0(a) * \sin \vartheta + \sum_{k=1}^{\infty} J_k(a) [\sin(\vartheta + k \beta) + (-1)^k * \sin(\vartheta - k \beta)]$, ahol $J_k(a)$ az első fajú, k -ad rendű Bessel-függvény a -ra nézve. Az egyenlőség bal oldala hasonló formában van megadva, mint az eredeti FM egyenlet, így láthatjuk, hogy ϑ a vivőfrekvenciával (f_c), β a modulációs frekvenciával (f_m) áll kapcsolatban és a egyenlő i -vel, azaz a modulációs indexszel. A $J_k(a)$ függvény szabályozza az oldalsávok amplitúdóját. Ahogyan a 25.ábra is mutatja, pozitív és negatív amplitúdójú oldalsávok jönnek létre. Az egyenlet végtelen számú oldalsávot termel (mivel egytől végtelenig tart az összeszámlálás), de minden oldalsáv amplitúdóját a Bessel-függvény szabályozza és a nem nulla amplitúdójú oldalsávok a vivőfrekvencia körüli csoportban jelennek meg.



25. ábra FM oldalsávok

Forrás: <http://cnx.org/content/m15482/latest/>

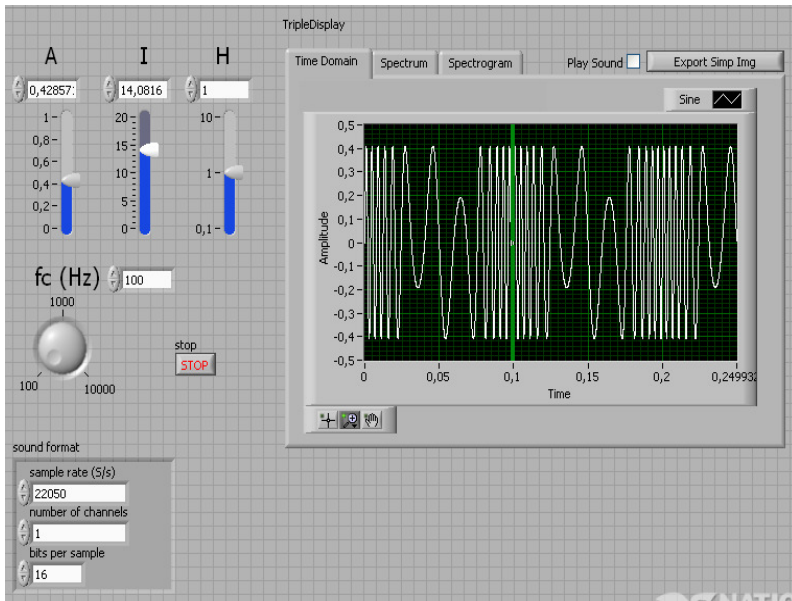
5.2 : Harmonikus arány (Harmonicity Ratio)

Már korábban is említést tettem arról, hogy egyetlen hangszer által alkotott hangot több *spektrális komponens* alkot, ezeket hívjuk felhangoknak. Ezeknek a felharmonikusoknak egész számú többszöröseinek kell lenniük az alappfrekvenciának, különben nem egyetlen meghatározott hangmagasságú hangot hallunk. A harmonikus arány kényelmes megoldást nyújt a modulációs frekvencia megválasztására úgy, hogy harmonikus vagy éppen nem harmonikus felhangokat kapjunk.

Kiszámítása: $H = f_m / f_c$, ahol H jelöli a harmonikus arányt. Ha a H egy egész szám például $H = N$, vagy $H = 1/N$ (ahol $N \geq 1$), akkor harmonikus kapcsolatban lévő hangokat kapunk. Ha H értéke nem egész szám (pl: egy irracionális szám), akkor egészen érdekes nem harmonikus kapcsolatban lévő, azaz *disszonáns* hangzatokat kapunk.

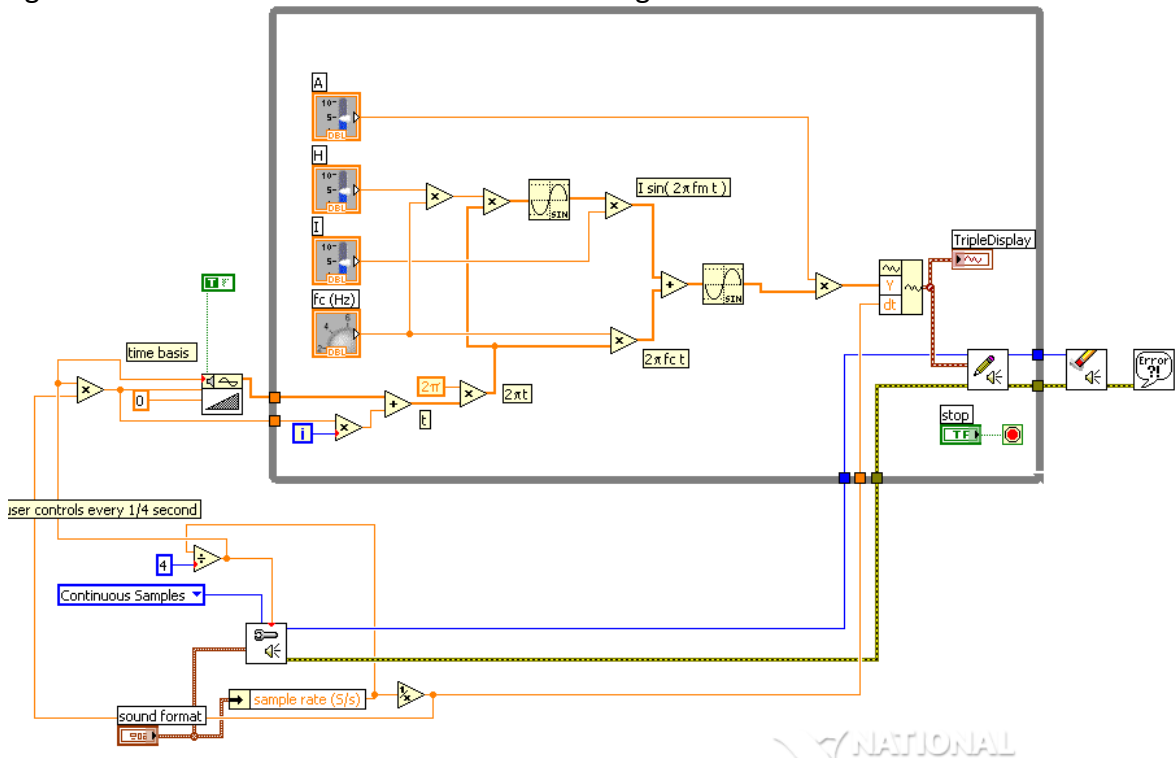
5.3 : FM.vi

Az FM.vi segítségével jól szemléltethető a frekvencia modulációs szintézis működése. Az előlapon [26.ábra] négy fontos szabályzót találunk. A 'H' jelöli a harmonikus arányt amivel a modulációs és a vivőfrekvencia arányát állíthatjuk. Az 'I' jelöli a modulációs indexet, 'A' pedig az amplitúdót. Az 'fc' potméter segítségével állíthatjuk a vivőfrekvenciát vagy akár egy konkrét frekvenciát is beírhatunk. A 'stop' gomb segítségével állíthatjuk le a program futását.



26. ábra FM.vi előlap

A blokk diagramban [27.ábra] implementáltam a matematikai képletet. A while struktúra úgy van kialakítva, hogy minden negyed másodpercben érzékelje a front panel szabályzóinak változásait. Itt is szükségünk lesz, egy az időt biztosító tényezőre. Ennek megvalósítása a vibrato.vi-nál ismertetett megoldással történt. A 'TripleDisplay' szemlélteti a hallottakat. Érdekes megnéznünk a hang spektrumát és megfigyelni az oldalsávok alakulását. A 'H' beállításait is érdemes próbálgatni. Megfigyelhetjük az egész és irracionális beállítások közötti különbséget.



27. ábra FM.vi Blokk diagram

5.4 : Chowning hangszerek

John Chowning az FM szintézis úttörőjeként bebizonyította, hogy a 70es évek technikai eszközeivel is lehetséges valódi hangszerek hangját szimulálni. Ezek előállításához az alapvető egyenletben a modulációs indexet idővel változóvá kellett tenni. A fizikai hangszerek hangjának spektruma az idő függvényében változik. Egy hangszer hangjának meghatározó része a hang indításának rövid ám igen dinamikus része (pl: fúvósok, ütősök). Természetesen a hang szerves részét képezi az analóg szintézis részben már tárgyalt ADSR (attack - decay - release - sustain) burkológörbe, de még fontosabb a magas frekvenciájú felhangok intenzitásának időbeli változása. A hangszer hangjának érzékelésében fontos szerepet játszik a hang spektrumának dinamikai változása. Általában a magas frekvenciájú felharmonikusok hamarabb csillapodnak.

Az alap FM egyenlet időben változó amplitúdó- és modulációs indexszel kiegészített matematikai képlete:

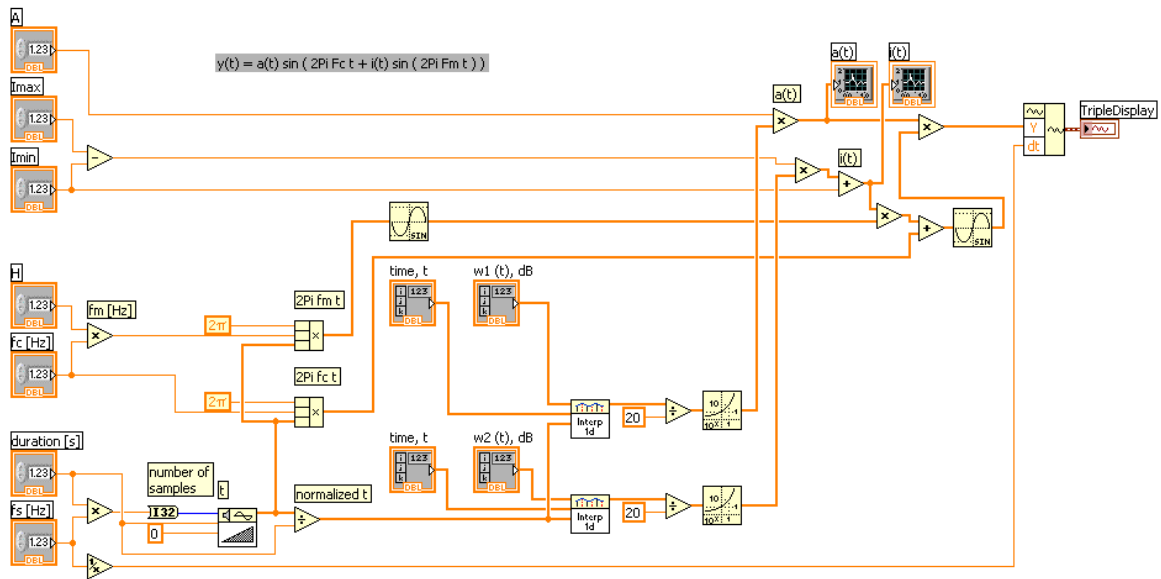
$y(t) = a(t) * \sin(2\pi * f_c * t + i(t) * \sin(2\pi * f_m * t))$, ahol $i(t)$ és $a(t)$ az idő függvényében változó modulációs index és amplitúdó. Így könnyedén modellezhető a hangszerek fizikai viselkedése, hiszen a modulációs index $i(t)$ nyomon követi az időben változó amplitúdó $a(t)$ viselkedését. Ily módon a megszólalás hangosabb részén nagyobb lesz az oldalsávok száma, mivel a modulációs index hatékonyan szabályozza a sáv szélességét az FM spektrumoknak. Chowning 1973-ban megjelent publikációja a „The Synthesis of Complex Audio Spectra by Means of Frequency Modulation” az alábbi paraméterekkel adja meg az elgondolást:

- A - csúcsmplitúdó
- I_{max} – maximális modulációs index $i(t)$ érték
- I_{min} - minimális modulációs index $i(t)$ érték
- f_c [Hz] - vivőfrekvencia
- H - harmonikus arány (f_m / f_c)
- $duration$ [s] - időtartama keletkezett audió
- $w_1(t)$ - prototípus hullámforma az időben változó amplitúdó számára
- $w_2(t)$ - prototípus hullámforma az időben változó modulációs index számára

A prototípus hullámformák normalizáltak, ez azt jelenti, hogy értelmezési tartományuk 0 és 1 közé esik. A $w_1(t)$ az $a(t) = A * w_1(t)$ képlet alapján számítható ki. A $w_2(t)$ -t pedig $i(t) = (I_{max} - I_{min}) * w_2(t) + I_{min}$ formában kapjuk meg.

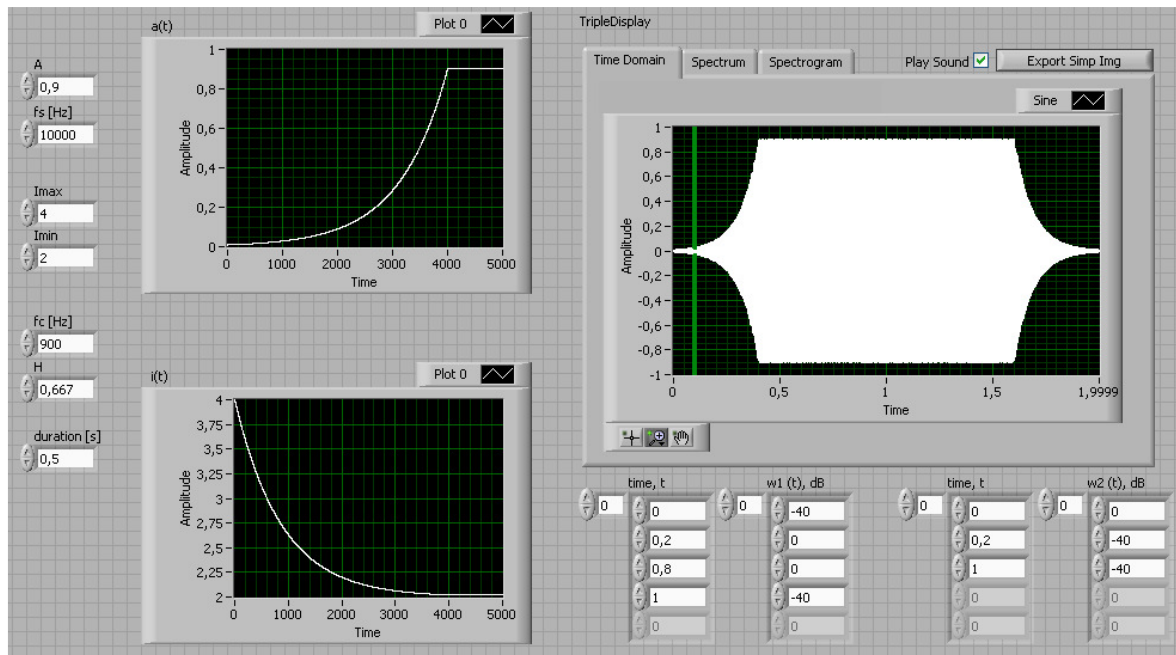
5.5 : Chowning.vi

A Chowning.vi valósítja meg John Chowning '73-ban publikált elképzeléseit. A program különböző beállításait a Chowning.pdf melléklet tartalmazza. A 28.ábrán látható a blokk diagram, ami a leírt matematikai képlet implementációja. A burkológörbékét kétszer két darab egydimenziós tömbbel adhadjuk meg. Az előlapon található kontrol eszközök [29.ábra] elnevezése és funkciója is megegyezik Chowning elgondolásaival. A hangot, ennél a programnál a 'TripleDisplay' beépített 'Play Sound' funkciójával állítottam elő. A jelölőnégyzetben a kipipálás megszüntetésével elnémítható a program.



28. ábra Chowning.vi Blokk diagram

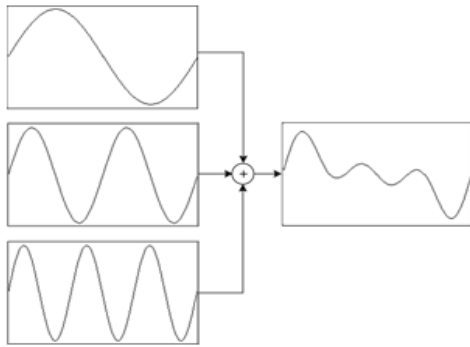
Érdekes a 'spectrum' fülre kattintani és megfigyelni az egyes hangszereknél a felharmonikusokat. Nem csak a mellékletben leírt hangszerek hangja próbálható ki, hanem próbálkozhatunk saját, esetleg csak a képzeletünkben létező hangzások előállításával is.



29. ábra Chowning.vi előlap

6 : Additív Szintézis

Az additív szintézis alapötlete abból a tényből származtatható, hogy egy zenei hangot az alaphang és bizonyos *felhangok* (partials) összessége alkot. Ezen felhangok amplitúdója az idő múlásával változhat [URL1]. Az additív szintézis során úgy állítunk elő egy hangot, hogy az alaphanghoz hozzáadjuk a felhangokat különálló szinuszos hullámok formájában.



A módszer lehetővé teszi számunkra, hogy befolyásoljuk minden egyes felhang frekvenciáját és amplitúdóját. Még élethűbb hangot kapunk, ha minden egyes felhangot saját burkológörbével látunk el. Az additív szintézis koncepciójának háttérben álló matematikai összefüggések túlnyomó többségét Joseph Fourier (1768-1830) francia matematikusnak köszönhetjük. Fourier fedezte fel, hogy a periodikus függvények végtelen sorok összegzéséből állnak, ezeket nevezzük

Fourier-soroknak. Ezt követően azt állapították meg, hogy minden periodikus jelet, amikor matematikai függvényként van kifejezve, elő lehet állítani különböző frekvenciájú szinuszos függvények ($\sin(x)$, $\cos(x)$) összegeként. W. R. Wade amerikai professzor egy magyar nyelven megjelent nyilatkozatában a következőt mondta a Fourier-analízissel kapcsolatban: *”A klasszikus harmonikus analízis, a Fourier-analízis gyökerei mélyre nyúlnak. Mondhatnám, Isten volt az első, aki Fourier-analízist művelt, amikor fülünkbe beépített egy Fourier-analízátort. Ugyanis már a gyermek is képes arra, hogy különbséget tegyen például a hegedű és a harsona hangja között. Annak ellenére, hogy a hangjegyek, amelyekkel a dallamot leírjuk, ugyanazok. Mi akkor a különbség a két hang között? Az, hogy amikor megszólaltatunk egy hangot, az sosem csupán tiszta hang, hanem több felhangból álló együttes. Kissé általánosabban fogalmazva: minden függvényben, ami egy hangzásnak megfelel, sok rejtett információ van, amit észlelni kell, s fülünk észlelni is tudja.”* (Hit, zene, matematika. Interjú W. R. Wade professzorral. Természet Világa 11(114), 1986).

A Fourier képlet általánosítása:

$$F(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} [a_n * \cos(2\pi * n * f_0 * t) + b_n * \sin(2\pi * n * f_0 * t)]$$
, ahol f_0 az alaphfrekvenciát jelöli. Ez a képlet zenei szempontból túl rideg, mert a szinuszos jeleknek fixálva van az amplitúdója és az n sorszámmal való szorzás miatt, a felhangoknak egész számú többszöröseinek kell lenniük az alaphangnak. Ezért a felhangok definíciója a következő: szinuszos jelek amik időtől függő frekvenciával és amplitúdóval rendelkeznek. Az idő függvényében változó amplitúdó és frekvencia egy-egy burkológörbét alkot. A hangszín modellezésének fontos szempontjai ugyanazok, mint a Chowning hangszereknél ismertetett tényezők. Az additív szintézis során szükségünk van a modellezni kívánt hangszerünk hangjáról készült spektrális analízisre. Az analízis során rövid idejű darabokat vizsgálunk, és ezeknek készítjük a Fourier-transzformáltjait majd ezekhez közelítünk egyenes szakaszok segítségével.

6.1 : Pillanatnyi frekvencia és amplitúdó

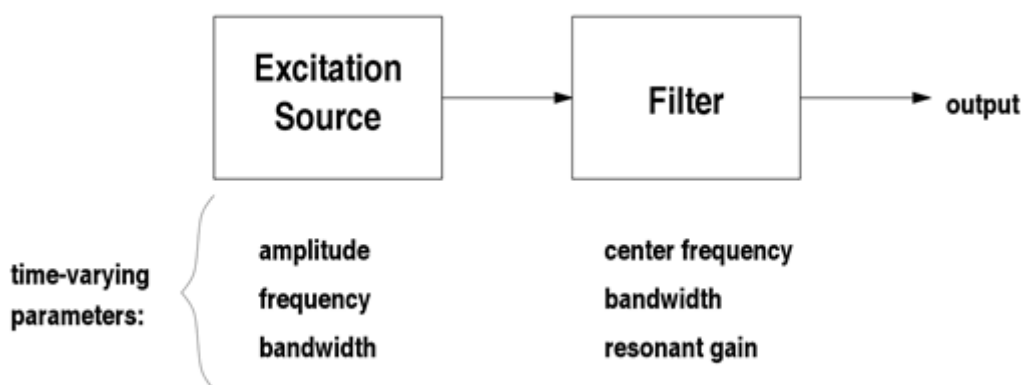
A pillanatnyi frekvenciához az $y(t) = \sin(\Theta(t))$ összefüggésre van szükségünk, ahol $\Theta(t)$ határozza meg az időtől függő fázist. Az idő függvényében megadott $f(t)$ frekvencia és $\Theta(t)$ fázis egymásból a következő összefüggés alapján kapható meg:

$\omega(t) = \int [d^* \Theta(t) / d t] = \int 2\pi f(t)$, ahol $\omega(t)$ frekvenciát (radians / sec) az $f(t)$ és a $\Theta(t)$ integráltjával is kifejeztük. Ebből következően: $\Theta(t) = 2\pi \int_0^t f(x) dx$, ahol $f(x)$ adja meg a frekvencia pályáját (trajectory).

A pillanatnyi amplitúdó kiszámítása egy egyszerűbb képletet igényel: $y(t) = a(t) * \sin(\Theta(t))$, ahol $a(t)$ adja meg az amplitúdó pályáját decibelben.

7 : Szubtraktív szintézis

A szubtraktív szintézis, mint azt a neve is jól mutatja az előző építkező eljárás tökéletes ellentéte, melynek során úgy kreálunk egy hangot, hogy jelforrásból érkező jelből, jellemzően szűrők alkalmazásával eltávolítunk bizonyos frekvenciákat és így nyerünk egy új audio jelet. A módszert igen széles körben alkalmazzák, de az általános felépítés az, hogy egy szélessávú jelforrás (pl: fehér zaj) vagy más néven *gerjesztő* (excitation source) által adott jelet valamilyen szűrő alkalmazásával a kívánt spektrumú jelre szűkítenek. A módszer a természetben is sok helyen megtalálható, például az emberi hangképzés is hasonló elven működik. A tüdőnkől kiáramló levegő rezgésbe hozza a hangszálainkat és a hang útjába kerülő akadályok (pl: fogak, szájpadrás) formálják meg véglegesen a hang spektrumát.



30. ábra Szubtraktív szintézis modell

Forrás: http://cnx.org/content/m15456/latest/sub_concept-model.png

Az 30.ábra szemlélteti az általános szubtraktív szintézis modellt. A forrás paraméterei lehetnek az amplitúdó, sávszélesség, és a frekvencia és minden paraméter változhat külön-külön, az idő függvényében. A szűrő paraméterei is változhatnak idővel, és ezek tartalmazzák a középfrekvenciát, a sávszélességet és a rezonáns erősítést.

7.1 : Jelforrások

A fehér zaj egy idealizált jelforrás, amiben minden frekvencia azonos intenzitással van jelen. A praktikus jelforrásoknak nem végtelen a sávszélessége, de jellemző rájuk, hogy egységes spektrális energiát bocsátanak ki több tartományban is. Például a LabView "Signal Processing" paletta a következő zajforrásokat tartalmazza: egységes, Gauss,

véletlenszerű-, gamma-, Poisson, binomiális, és a Bernoulli. Sok esetben forrásként egy impulzus sorozatot alkalmaznak aminek következménye egy érzékelhető hangmagasság, így bizonyos értelemben már a szűrő alkalmazása előtt egy előre alakított ("pre-shaped") spektrumot kapunk. Sokféle hangszer működik hasonló elgondolás alapján. Általában véve ezek a fúvós hangszerek, mint a rézfúvós (pl.: trombita, harsona, tuba) és a fafúvós hangszerek (pl.: klarinét, szaxofon, oboa, fagott). Vegyük példaként a trombitát, aminek megszólaltatásához szükség van egy fúvókára [30.ábra].



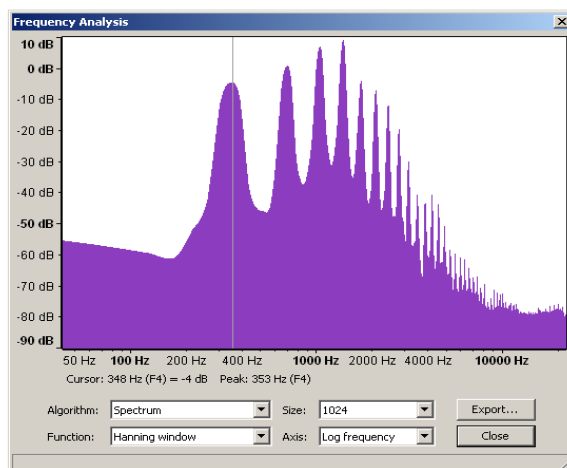
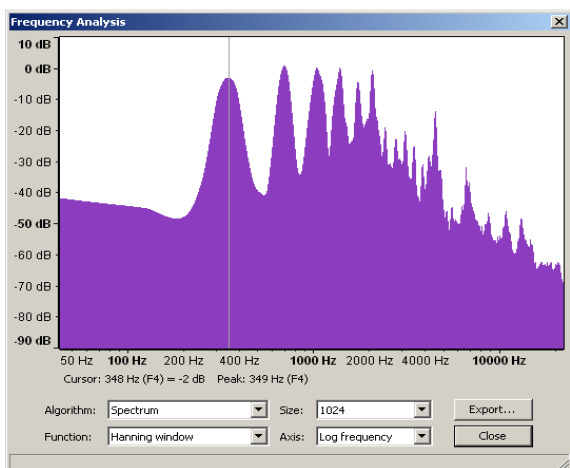
31. ábra Trombita: fúvókák és a hangszer

Forrás: <http://www.gregblackmouthpieces.com/images/trpt-1pc.jpg> ;
<http://blogs.sbschools.org/fossamusic/files/2009/01/trumpet.jpg>

A fúvóka hangja önmagában zizegős és csak halványan emlékeztet a jól megszokott trombitahangra. Az alábbi 32.ábrán ugyanazon a hangon megszólaltatott különálló fúvóka és fúvóka plusz trombita frekvenciamenete látható. A felharmonikusok egyezők, de a fúvóka hangja nagyobb spektrális energiát mutat a magasabb frekvenciákon.

mouthpiece alone

mouthpiece and trumpet



*Spectrum plots created by Audacity sound editor
 (audacity.sourceforge.net)*

32. ábra Fúvóka és a trombita hangjának spektrumképe

Forrás: http://cnx.org/content/m15456/latest/sub_concept-trumpet-spectrum.png

7.2 : Időben változó digitális szűrők

Az időben változó digitális szűrők általában úgy vannak implementálva, hogy blokkok feldolgozására legyenek képesek. A bemeneti jelet rövid darabokra osztják ezek a blokkok vagy más néven keretek (frame) és ezeken végzik el a szűrést. Minden keretet egy állandó együtthatójú szűrő dolgoz fel, de a konstans együtthatók keretről keretre változnak, ezzel

megteremtve az időben változó szűrőt. A keret hosszának kiválasztása kompromisszumot követel annak arányában, hogy mely együtthatókat kell változtatni és meddig tart a szűrő átmeneti reagálása. A magasabb rendű szűrők több időt igényelnek, hogy elérjék az egyensúlyi állapotukat, és a keret hossza nem lehet rövidebb, mint a szűrő impulzusválasza. A digitális szűrők két típusra oszthatók: véges impulzusválaszú **FIR** (Finite Impulse Response) és végtelen impulzusválaszú **IIR** (Infinite Impulse Response) szűrőkre. A két típus kimenőjelét meghatározó konvolúciós összeg az alábbi képletekkel adható meg [Url7]:

- $FIR : y(n) = \sum_{k=0}^{N-1} w_k * x_{n-k};$
- $IIR : y(n) = \sum_{k=0}^{\infty} w_k * x_{n-k},$ de a szűrő ezen formulája gyakorlati számításokra alkalmatlan, ezért fejezzük ki rekurzív alakban is: $y(n) = \sum_{k=0}^{\infty} c_k * x_{n-k} = \sum_{k=0}^N a_k * x_{n-k} - \sum_{k=1}^M b_k * y_{n-k}.$

A w_k , c_k , a_k és b_k együtthatók minden esetben az impulzusválasz megfelelő sorszámú elemét jelentik, amivel a konvolúciós összeg kiszámítása során a bemeneti illetve kimeneti mintasorozat megfelelő sorszámú elemét szorozni kell. A digitális szűrők általánosan elfogadott terminológiájában ezeket nevezzük *szűrőegyütthatóknak*. Alkalmazásuk előtt a következő szempontokat érdemes figyelembe venni. Az FIR szűrők lineáris fázismenettel rendelkeznek. Az IIR szűrők fázismenete nemlineáris, különösen a sávhatárok környezetében ezért, ahol a fázistorzítás nem megengedett, csak FIR szűrőket használhatunk. Az FIR szűrők nemrekurzív kialakításuk miatt mindig stabilak, az IIR szűrők esetében ez nem mindig garantálható. A kvantálási hibák és a kerekítési zaj, amit az ábrázolás véges szóhossza okoz, FIR szűrők esetén kisebb problémát jelent, mint az IIR szűrők esetében. Meredek levágású, azonos amplitúdómenetet megvalósító szűrők esetén az IIR jóval kevesebb együtthatót igényel, mint az FIR így természetesen kevesebb számítási idő és kisebb memóriakapacitás is elégséges. A hagyományos analóg szűrőformulák (Butterworth, Csebisev, inverz Csebisev, elliptikus szűrők) egyszerűen transzformálhatók IIR szűrők specifikációjává. Az FIR digitális szűrőknek nincs analóg megfelelőjük, ezért megadásuk zárt formula helyett a frekvenciamenet pontonkénti megadásával lehetséges. A digitális szűrő együtthatók általában függetlenül számíthatók ki minden egyes képkockánál. Ez azt jelenti, hogy nem lehet csak két szűrő együtthatót kiszámolni majd interpolációt alkalmazni. Off-line vagy kötegelt típusú feldolgozásnál a szűrő együtthatókat ki lehet számítani minden egyes képkockánál. A valós idejű végrehajtás során, a szűrő együtthatókat előre kell számítani, és tárolni egy keresési táblázatban a gyors visszakereshetőség érdekében.

7.3 Lineáris Jóslás és Cross szintézis

A lineáris jóslás (Linear Prediction) egy hatékony módszert biztosít az időben változó szűrők együtthatóinak becslésére, elemezve a már meglévő beszédet vagy zenét [Url1]. A lineáris jósláson alapuló kódolás (Linear predictive coding , LPC) fő alkalmazási területe a beszéd-tömörítés. Az LPC módszer meghatározza a szűrő együtthatókat, minimálisra csökkentve a jóslási hibát a szűrő által kibocsátott és az eredeti jel között. A jelentős tömörítés azzal érhető el, hogy csak a szűrőegyütthatók és az újítások sorozatának (innovations sequence) tárolása jóval kevesebb helyet igényel, mint az eredeti jel. A Cross

szintézis ennek a módszernek a zenei adaptációját jelöli. Az LPC kódolás segítségével létrehozható egy vocoder (voice – coder) effekt, amit előszeretettel alkalmaznak napjaink popzenéjében. Itt az eredeti jel egy énekhang, ennek alapján számítják ki a szűrőegyütthetőkát és egy másik hangszer (pl.: elektromos gitár) jelére alkalmazzák ezeket a szűrőket.

8 : Összefoglalás

A dolgozat a hangtani alapfogalmak feltárásával kezdődött. Ezt nagyon fontosnak találok, mert ezen ismeretek nélkül a további fejezetek megértése nehézkes lenne. A bemutatott szintetizálási és modulációs módszerekhez elkészített programok hallhatóvá és vizuálissá teszik az elméletben lefektetett tényeket.

A hang előállítási eljárások részletes ismertetése mellett időrendileg is el vannak helyezve az egyes fejezetek. Igyekeztem olyan példákon keresztül felvázolni az eljárásokat, amik a laikus olvasó számára is egyértelművé teszik az alapelveket. A bemutató programok elkészítését részletesen taglaltam, így a LabView-ban való programozásba is betekintést nyerhetnek a téma iránt fogékonyak, valamint a bemutatott megoldások segítségével saját célokra is készíthetnek alkalmazásokat. Az egyes elemek elkészítésénél, azonos célra többféle megoldást is alkalmaztam, így szélesítve az ismertetett programozási megoldások skáláját. A grafikus felhasználói felületek minden eleme bemutatásra került és a kijelző paneleken látható ábrák által mutatott képek elemzése is fel van jegyezve. A dolgozat segítséget nyújt abban, hogy milyen szempontok szerint érdemes kipróbálni a programokat és feldolgozni az eredményeket. A szöszedetben megtalálható minden olyan, nem hétköznapi kifejezés, ami megnehezítheti a tartalom megértését.

A bemutatott hangszintetizálási és hangmodulációs eljárások a legelterjedtebb és leginkább ismert módszereket mutatják be. Emellett az alapelvek egy része a tudományok más területein is megjelenik (pl.: színkeverés), így még hasznosabb a megismerésük.

Az iparilag védett új fejlesztések és a dolgozat véges terjedelme miatt sajnos nem sikerült minden, napjainkban használatos eljárást részletesen ismertetnem, de ezekre az eljárásokra is sort keríték egy későbbi dolgozatban. A rendelkezésemre álló anyagi és hardver eszközökhöz mérten igyekeztem maximálisan eleget tenni a célkitűzéseimnek. A jövőre nézve van egy konkrét elképzelésem, ami a MIDI fejezetben tárgyaltakhoz kapcsolódik. Egy olyan rendszert fejleszték, amiben saját, bármely MIDI-vel kompatibilis program által használható hangszereket készítheték. Továbbá a bemutatott vibrató és tremoló effekteket olyan módon módosítom, hogy azok a hangkártya bemenetére csatlakoztatott hangszerek hangját valós időben tudják modulálni.

Remélem sikerült azok érdeklődését is felkeltenem, akik eddig nem rendelkeztek behatóbb ismeretekkel a feldolgozott témában. Úgy érzem sikerült átfogó és érthető képet adnom az adott zenei téma informatikai vonatkozásáról.

Irodalomjegyzék

- [1] : Kruza Richárd – Banay Gábor (1985): A szintetizátor a zenei gyakorlatban, Zeneműkiadó
- [2] : Matthias Carstens (1996): Zenei elektronika, Cser kiadó
- [3] : Krébesz Tamás (2007): LabView Tutorial, BME-MIRT
- [4] : Nagy István (2008): LabView segédlet, DOKSI
- [5] : Nagyváradi Anett (2005): LabView használata, PTE PMMK MIT előadás
- [6] : John G. Webster (2004) : Electrical Measurement, Signal Processing and Displays, CRC Press LLC
- [7] : Kihong Shin, Joseph K. Hammond (2008): Fundamental of Signal Processing for Sound and Vibration Engineers, John Wiley & Sons, Ltd
- [8] : Sík Z - Gerényi G (1992): MIDI alapozás, MIDI protokoll, Pixel Graphics Kft.
- [9] : Tornai Róbert (2008-2009): Multimédia tárgy, Hangtechnika gyakorlati anyagok

Szakdolgozatok:

Arató László, Keller Ágnes és Zemen János konzulensek (Budapest): A számítógép használata a zeneiskolai oktatásban

Katona Gergő - Tornai Róbert konzulens (2009, Debrecen): Moduláris hangrendszer fejlesztése

Gambár Péter István, Dr Papp Zoltán konzulens (2009, Debrecen): Zajok és eltávolításuk

Webhelyek:

Url1: <http://cnx.org/content/m15510/latest/>

Url2: [http://en.wikipedia.org/wiki/Fourier transform](http://en.wikipedia.org/wiki/Fourier_transform)

Url3: <http://hu.wikipedia.org/wiki/Szintetiz%C3%A1tor>

Url4: [http://midi.blog.hu/2007/01/09/gyakorlati tudnivalok#more27330](http://midi.blog.hu/2007/01/09/gyakorlati_tudnivalok#more27330)

Url5: <http://theremin.music.uiowa.edu/MIS.html>

Url6: <http://www.rose-hulman.edu/dspfirst/visible3/contents/index.htm>

Url7: <http://eki.sze.hu/ejegyzet/ejegyzet/gyimesi/7.htm>

Szószedet

- **VST(Virtual Studio Technology):** A VST, avagy Virtual Studio Technology egy olyan, már-már szabvánnyá vált technológia, melyet a Steinberg nevű, zenei szoftverekkel foglalkozó cég fejlesztett ki, és virtuális hangszerek, effektek létrehozására használható.
- **VSTI:** A VSTI egy úgynevezett VST instrument (eszköz), mely akár egy virtuális hangszer (pl.: dob gép, vagy szintetizátor) emulálását teszi lehetővé.
- **Plugin:** Egy adott szoftverbe vagy hardverbe opcionálisan beépíthető, annak képességeit bővítő vagy módosító modul.
- **Oktáv:** Az oktáv a legfontosabb, legalapvetőbb hangköze a zenének, minden nyugati hangsor az oktávnak kisebb hangközökre való felosztásán alapul. Az alaphang frekvenciájának pontosan a duplája. Az oktávhangot ugyanazzal a hangnévvel jelölik, mint az alaphangot.
- **Amplifier:** Magyarul erősítő. A szintetizátor amplifier-je, vagyis erősítője a szintézis azon komponense, ami a hang erejét képes befolyásolni egy vezérlő jel szerint.
- **Aperiodikus hullámforma:** Egy olyan hullámforma, ami sosem ismétli alakját.
- **Hullámforma:** A jel időtartományban megjelenített alakját nevezzük így.
- **Mintavételi frekvencia:** Mintavételkor (sampling) az egyes mintavételi időpillanatok közt eltelt idő reciproka. Minél nagyobb, annál élethűbb a hangzás.

- **Oscillátor:** Rezgéskeltő. Az adott eszköz működéséhez szükséges rezgéseket előállító szerkezeti egység.
- **Túlvezérlés:** Akkor következik be, mikor a jel amplitúdója meghaladja az áramkör dinamikatartományát. Következménye a jel torzulása.

Melléklet

Plágium - Nyilatkozat

Szakedolgozat készítésére vonatkozó szabályok betartásáról nyilatkozat

Alulírott (Neptunkód:) jelen nyilatkozat aláírásával kijelentem, hogy a

.....

című szakdolgozat/diplomamunka

(a továbbiakban: dolgozat) önálló munkám, a dolgozat készítése során betartottam a szerzői jogról szóló 1999. évi LXXVI. tv. szabályait, valamint az egyetem által előírt, a dolgozat készítésére vonatkozó szabályokat, különösen a hivatkozások és idézések tekintetében.

Kijelentem továbbá, hogy a dolgozat készítése során az önálló munka kitétel tekintetében a konzulenszt, illetve a feladatot kiadó oktatót nem tévesztettem meg.

Jelen nyilatkozat aláírásával tudomásul veszem, hogy amennyiben bizonyítható, hogy a dolgozatot nem magam készítettem vagy a dolgozattal kapcsolatban szerzői jogsértés ténye merül fel, a Debreceni Egyetem megtagadja a dolgozat befogadását és ellenem fegyelmi eljárást indíthat.

A dolgozat befogadásának megtagadása és a fegyelmi eljárás indítása nem érinti a szerzői jogsértés miatti egyéb (polgári jogi, szabálysértési jogi, büntetőjogi) jogkövetkezményeket.

hallgató

Debrecen,