

## V subaudio carrier, 0Hz carrier/waveshaping en audiosignalen als carrier en modulator

Een carrierfrequentie ingesteld op 0Hz lijkt in eerste instantie nogal vreemd. Een oscillator op 0Hz oscilleert niet, er komt dus niets uit. Dat klopt inderdaad, tenminste als er geen signaal op de modulatie-ingang staat. Maar met wél een signaal op de modulatie-input wordt het anders.

In de Yamaha FM-implementatie wordt *fasemodulatie* toegepast. Dat wil zeggen dat als de waarde op de modulatie-ingang *verandert*, de op 0Hz ingestelde carrieroscillator gaat oscilleren. Loopt de waarde aan de ingang positief omhoog dan wordt de frequentie omhoog gemoduleerd. Daalt de waarde dan wordt de frequentie omlaag gemoduleerd.

Als het modulator output level 0 wordt oscilleert de carrier niet meer. Loopt evenwel het modulatorsignaal verder negatief omlaag dan wordt de carrierfrequentie met tegengestelde fase omhoog gemoduleerd ('through zero FM'). De modulatie diepte wordt dus bepaald door de *snelheid* waarmee het modulatiesignaal verandert.

Bij *echte* lineaire *frequentiemodulatie*, zoals bij de Clavia Nord Modular en NMG2-oscillatoren met FM-lin input, ontstaat een vergelijkbare frequentiemodulatie met dit verschil, dat niet de snelheid waarmee het modulatiesignaal verandert de modulatie diepte bepaalt, maar de *actuele positieve of negatieve waarde* van het modulatiesignaal.

Een constante waarde aangesloten op de fasemodulatie-ingang leidt tot niets, de carrier blijft op 0H staan. Echter een constante waarde op een echte lineaire FM-input levert wel degelijk resultaat op: de frequentie houdt lineair verband met de waarde aan de FM-input.

Bij subaudio carrierfrequenties horen we in het outputsignaal cyclische veranderingen. Deze veranderingen spelen zich dus af in het tijddomein. Carrierfrequenties hoger dan 20Hz veroorzaken veranderingen, modulaties, die zo snel zijn dat ze zich manifesteren in het toonhoogtedomein. Er treden zo klankkleurveranderingen op die direct zijn gerelateerd aan de modulatie diepte. Hier volgen enkele uitgewerkte voorbeelden van subaudio en carrier 0Hz FM.

### ***sub audio carrier***

c : m = 0.1 Hz : Ratio 1

| c ± nm |

bovenzijbanden: 1.1, 2.1, 3.1, 4.1, 5.1, 6.1  
 onderzijbanden: 0.9, -1.9, 2.9, -3.9, 4.9, -5.9

Er worden in dit voorbeeld twee spectra gevormd, één bovenzijband-spectrum en één onderzijbandspectrum. Er ontstaat nu een zweving tussen deze boven- en onderzijbanden met een snelheid van 0,2 Hz. De gehoorsensaties doen, afhankelijk van de zwevingssnelheid, denken aan phasing- en Leslie-effecten.

(N.B. De laagst instelbare frequentie op de DX7 is 1 Hz)

### ***0 Hz carrier***

$c : m = 0 \text{ Hz} : \text{Ratio } 1$

|  $c \pm nm$  | voor  $c = \text{cosinus}$

bovenzijbanden: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, ...  
 onderzijbanden: 1, -2, 3, -4, 5, -6, 7, -8, 9, ...

|  $c \pm nm$  | voor  $c = \text{sinus}$

bovenzijbanden: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, -9, ...  
 onderzijbanden: -1, 2, -3, 4, -5, 6, -7, 8, -9, ...

In dit voorbeeld zien we dat we een uitgangssignaal verkrijgen met alleen oneven harmonischen, omdat in de onderzijbanden de even harmonischen in tegenfase zijn met de even harmonischen in de bovenzijbanden; ze heffen elkaar dus op. Hoeveel van zulke oneven harmonischen er worden gevormd hangt uiteraard weer af van de modulatie diepte.

### ***waveshaping-synthese***

Bij een carrierinstelling op 0Hz kunnen we de carriergolfvorm ook beschouwen als een waveshapefunctie, een vervormingscurve. In de Yamaha-implementatie van FM is de carrier oscillator in feite een cosinus oscillator. De waveshapefunctie is nu overeenkomstig ook een cosinusfunctie geworden. In de Yamaha FM-synthesizers SY77/TG77/SY99 is het mogelijk waveshapingsynthese toe te passen, doordat de carrierfrequentie op 0Hz kan worden ingesteld. Maar, ook de fase waarmee de oscillator start kan worden ingesteld, in 127 stappen, tussen sinus en cosinus.

In het geval dat de carrier een sinus is moeten inplaats van de oneven

onderzijbanden de even zijbanden met  $-1$  vermenigvuldigen.. Alle oneven harmonischen worden nu uitgedoofd omdat ze in de onderzijbanden 180 graden in fase zijn gedraaid.

We houden dan alleen de even harmonischen over: 2, 4, 6, 8, 10, ... Voor onze waarneming is de '2' de laagste frequentie. Deze fungeert zodoende als fundamenteel, of grondtoon; een '1' dus voor de perceptie. Alles nog eens delen door 2 en daar verschijnt de aaneengesloten harmonische reeks: 1, 2, 3, 4, 5, ...

Merk op dat deze reeks één octaaf hoger ligt dan de oneven serie harmonischen in het geval dat de carrier, waveshapefunctie, een cosinus is.

Met de fase-instelling van de carrier (als waveshapefunctie op 0Hz ingesteld) kan zo elke gewenste balans worden gerealiseerd tussen de oneven harmonischen (1, 3, 5, ...) en de even harmonischen (2, 4, 6, ...)

Doordat voor elke oscillator ook nog extra 15 complexe golfvormen aanwezig zijn zijn de FM/Waveshapingsynthesemogelijkheden schier onbeperkt. Te meer nog daar met een software editor eigen algorime-configuraties kunnen worden gekozen, met voor elke configuratie 3 vrij te kiezen feedbacklussen.

### ***FM FX, audiosignalen als modulator en/of carrier***

Tot nu toe zijn alleen interne operatoren aan bod gekomen als carrier- en modulatorsignaal. Echter is het ook mogelijk een externe audiobron in te zetten als carrier en of modulator. Het wezen van FM-synthese is namelijk dat er zijbanden worden gevormd.

Zijbandvorming kan, behalve via Yamaha's fasemodulatie, echter ook op verschillende andere manieren worden gerealiseerd, bijvoorbeeld: lineaire frequentiemodulatie (Clavia, Reaktor), filter cutoff modulatie en tijdsvertragsmodulatie met een delay line.

Een filter en een vertragslijn kunnen beide worden toegepast om het externe audiosignaal in frequentie te moduleren. In het filter gebeurt dit door de cutoff frequentie te variëren. In de delay line ontstaat zijbandmodulatie door de vertragingstijd te moduleren. Als de modulatie audiofrequent is dan ontstaan er zijbanden in het toonhoogtedomein.

Omdat de externe audio zowel omhoog als omlaag moet worden gemoduleerd, moeten we bij modulatie met een delay line uitgaan van een zekere latency, de initiële time delay instelling. In de voorbeeldpatch *Mod-to-ExtCar* wordt uitgegaan van een vertragingstijd van 2,68 milliseconde. Door het modulatiesignaal wordt de tijdsvertraging gemoduleerd: verkleind (de frequentie neemt

toe) en vergroot (de frequentie neemt af).

### **de voorbeeldpatches**

*ExtMod-Car* is gebaseerd op een audiosignaal dat fungeert als modulator voor een carrier die wordt gevormd door een OscPM, een Yamaha-stijl carrier met fasemodulatie-input. De audio-input kan worden bewerkt in een high en low pass filter die in serie zijn geschakeld. Zo kan de input nog wat worden aangepast alvorens dienst te doen als modulatiesignaal. Behalve naar deze filters wordt hetingangssignaal ook naar een envelope follower gestuurd. De output van deze EF kan aanvullend worden gebruikt voor *pitch* modulatie van de OscPM (dat is dus *exponentiële frequentiemodulatie*).

Ook kan de EF output worden benut om de amplitude van de carrier te moduleren. Dan volgt de carrier de amplitude van het audiosignaal. In een crossfademodule kan een balans worden ingesteld tussen maximaal volgen van het volume van de audio input en het andere uiterste, altijd maximale carrieramplitude. Tenslotte kan in een tweede crossfademodule een balans worden gekozen tussen input- en FX-signaal.

*Mod-to-ExtCar* behelzen patchvariaties die zijn gebaseerd op externe audio fungerend als carriersignaal. Het object waarin de modulatie plaatsvindt wordt gevormd door een *delay line*, een *filter* of een *OscString*, afhankelijk van één van de acht patchvariaties. De acht patchvarianten bieden je de mogelijkheid de diverse modulatievormen te vergelijken. Met een Switch 1-4 kun je kiezen tussen time delay-, cutoff frequency- en pitch modulatie, respectievelijk in een *DlySingleB*, *FltLP* en *OscString*.

### **Let op!**

*ExtMod-Car* en *Mod-to-ExtCar* zijn alléén in te laden in de Clavia G2 hardware.

Alle andere patches zijn ook te openen met de Clavia NMG2Demo software.

### **literatuur**

Synthworkshops in Interface 100 tot en met 103

### **internet**

<http://www.cs.sfu.ca/~tamaras/waveshapeSynth/waveshapeSynth.html>

<http://crca.ucsd.edu/~msp/techniques/v0.08/book-html/node74.html>

[www.cim.mcgill.ca/~clark/nordmodularbook/nm\\_oscillator.html#wave-shaping](http://www.cim.mcgill.ca/~clark/nordmodularbook/nm_oscillator.html#wave-shaping)

[www.clavia.se/nordmodular/Modularzone/FMsynthesis.html](http://www.clavia.se/nordmodular/Modularzone/FMsynthesis.html)  
<http://www.xs4all.nl/~rhordijk/G2Pages/index.htm>