

# Van ringmodulator tot multiplier

## ringmodulator

Ooit ontwikkeld voor de telefonie. Dat was heel lang geleden toen elk vast telefoontoestel nog was verbonden met een eigen vaste verbinding met een centrale. Maar met het steeds populairder worden van de telefoon zou het wel erg druk geworden zijn in de grond met steeds maar meer kabelverbindingen. Was het niet mogelijk om meerdere gesprekken over één kabel te versturen zonder storing van de ene op de andere verbinding?

## moduleren

Oorspronkelijk is de ringmodulator opgebouwd uit twee transformatoren en vier dioden (zie bijlage). De dioden zijn allen kopstaart met elkaar verbonden: één met twee, twee met drie, drie met vier en vier weer met één. Een rondloper dus, ofwel een ring. Zonder nu te verdwalen in de elektronica komt het er op neer dat als we aan de twee ingangen wisselspanningen aansluiten er aan de uitgang van de ringmodulator iets nieuws ontstaat: de som- en verschilfrequenties van de twee ingangssignalen.

## som- en verschilfrequenties

Bijvoorbeeld een sinus van 440Hz aan de ene ingang en nog eentje van 12550Hz aan de andere. Dat levert aan de output twee nieuwe frequenties op van:  $125500 + 440 = 125944$  en  $125500 - 440 = 125110$ Hz. Van de twee originele inputfrequenties valt niets meer te bespeuren, ze zijn getransformeerd naar twee nieuwe sinussen, twee hoge frequenties: ééntje van 125944 en één van 125110Hz. Het hoge carriersignaal van 12550Hz is door de modulator, het 440Hz-sinussignaal omgevormd naar die twee hoge nieuwe frequenties.

Deze stap staat bekend als het modulatiegedeelte. Stel je nu eens voor dat het modulatorsignaal wordt gevormd door het signaal dat je in de telefoonmicrofoon insprekt. En stel je ook voor dat de carrierfrequentie nu 1MHz zou zijn. Dan zou aan de output van de ringmodulator een signaal ontstaan gevormd door som- en verschilfrequenties van de carrier en alle aanwezige frequenties in het spraaksignaal.

Die som- en verschilfrequenties worden ook wel boven- en onderzijbanden genoemd. Het oorspronkelijke signaal is nu als het ware gigantisch omhoog 'getransponeerd' en ook volledig 'verbouwd' als je naar de onderlinge frequentieverhoudingen kijkt. Het originele spraaksignaal, (grotendeels) een harmonische spectrum, is volledig disharmonisch geworden.

## **demoduleren**

Kun je uit dit nieuw gevormde modulatieproduct het origineel, de modulator, weer tevoorschijn halen? Ja dat kan. We beschouwen nu dit nieuw gevormde modulatiesignaal als nieuwe modulator voor nogmaals ringmodulatie. Als we dat doen met een zelfde carrierfrequentie dan komt het oorspronkelijke ingangssignaal als onderzijband weer tevoorschijn.

In de patch Mod-Demod wordt dit gedemonstreerd zij het dan met een veel lagere carrierfrequentie van 12.55kHz, dat is de hoogst mogelijke frequentie in de G2. Echter het principe kun je er goed mee duidelijk maken. Net zoals in de zendtechniek wordt een ultrasone carrierfrequentie gemoduleerd door een audiosignaal, de modulator, het over te zenden geluid. En precies hetzelfde als ook in de zendtechniek kun je door gebruik te maken van verschillende zend(carrier)frequenties meerdere zenders door één medium sturen. Dat kan de 'ether' zijn, maar uiteraard ook slechts één kabel. De ontvanger kan nu met z'n carrieroscillator afstemmen op de zendfrequentie, de ringmodulator demoduleert dit signaal en tovert het oorspronkelijk modulatiesignaal weer tevoorschijn.

## **het succes in de elektronische muziek**

Dit succes laat een opvallende parallel zien met wat veel later zou gebeuren met een andere –van oorsprong– zendtechniek: FM. Aan de principiële techniek wordt in wezen niets veranderd. Alleen de ultrasone carrierfrequentie wordt vervangen door een audiofrequentsignaal. Net als bij FM ontstaan er dan interessante muzikale mogelijkheden, die principieel berusten op het gegeven dat er som- en verschilfrequenties worden gevormd. Je kunt op deze manier bijvoorbeeld een zaagtand die is opgebouwd uit alle even en oneven harmonischen compleet verbouwen tot een resultaatklank met slechts alleen disharmonische deelfrequenties.

Dat was een prachtige uitbreiding op het destijds gebruikte instrumentarium, dat voornamelijk uit oscillatoren, filters en tape recorders bestond. Met deze bestaande apparatuur, allemaal lineaire systemen, zonder vervorming dus, was het alleen mogelijk om disharmonische klanken te genereren door middel van additieve synthese, het bij elkaar mengen van sinustonen.

Som- en verschilfrequenties opwekken is niet per se voorbehouden aan ringmodulatie. Dat kan op vele andere (goedkopere) manieren. In de latere synthesizers werd deze budgetmethode dan ook wel toegepast. Vooral in voorgeprogrammeerde instrumenten. De ringmodulator in mijn Arp Odyssey was in feite gewoon een simpele elektronische poortschakeling.

Open de Zijbandmodulaties-patch en zie en hoor hoe het ook anders kan. Tegenwoordig is de ringmodulator in een modulaire hard-of

softwareomgeving vrijwel altijd een multiplier, ofwel een vermenigvuldiger. In hardware als bijvoorbeeld het Analog Devices AD633 IC, of in software als een vermenigvuldigalgoritme.

### **de multiplier**

Wat doet zo'n multiplier? Nou precies wat z'n naam al doet vermoeden: het vermenigvuldigen van de twee aan de ingangen amplitudewaarden. Dus gewoon,  $\text{output} = \text{ingangswaarde}_1 \times \text{ingangswaarde}_2$ . Is dat identiek aan wat een ringmodulator doet? Nee, niet exact. Maar, sluit er twee audiosignalen op aan en de uitgang levert je heel precies alle som- en verschilfrequenties van de aan beide ingangen aanwezige signalen.

De reden dat tegenwoordig vermenigvuldiging wordt gebruikt voor ringmodulatie ligt simpelweg in het gegeven dat vermenigvuldigen een heel veel voorkomende bewerking is in allerlei processen. Vermenigvuldigers zijn dan ook in soorten verkrijgbaar als geïntegreerde schakeling (IC). Zo'n multiplier is echt een allemansvriend in elektronicaland. In een trio: zelf met twee aangesloten ingangen is 'ie nog niet happy. Nee minstens als hart in een kwartet komt 'ie tot z'n recht, het resultaat, de vermenigvuldigingsuitkomst moet ook nog ergens worden heen gestuurd.

Je kunt je afvragen hoe dat nou kan: door vermenigvuldigen van inputwaarden als uitkomst som- en verschilfrequenties verkrijgen. Dat kun je op verschillende manieren uitleggen. De korte wijze:  $\sin a \times \sin b = 0.5(\cos(a-b) - \cos(a+b))$ . Zo komt het heel geleerd over en is het ook afdoende verklaard.

Ook al heb je niet zo goed opgelet in de wiskundeles, geen nood, er is wel degelijk nog hoop. Nu nog een uitleg dan, op de 'gezonde-boerenverstand-methode'. Stel je voor dat je aan beide ingangen hetzelfde sinusvormige signaal aansluit. Zo'n sinussignaal bestaat uit een positief deel, het 'golfbergje' en een negatief deel, het 'golfdal'. Wat je beslist nog wel hebt onthouden is dat positief met positief vermenigvuldigen gewoon positief oplevert. En dat negatief maal negatief weer positief oplevert. Aan de uitgang van de multiplier verschijnt dus voor het golfbergdeel exact hetzelfde.

Nu echter het vervolg, het golfdal. Dat wordt als het ware naar positief gespiegeld. Je hebt nu weer een sinussignaal, maar met slechts de helft van het uitwijkingsverschil tussen golftop en golfdal. Het uitgangssignaal is dus helemaal positief geworden. Het golfdal heeft nu als laagste waarde 0 en de golfpiek waarde 1. Maar, het opvallendste verschil: in het uitgangssignaal zitten in dezelfde tijdsduur twee maal zoveel golfbergjes en golfdalletjes. De frequentie is zodoende verdubbeld. Dat komt dus neer op de som- en verschilfrequentie. Ga maar na, de ingangsfrequentie stellen we op 1.

Volgens optellen en aftrekken geeft dat:  $1+1=2$  en  $1-1=0$ .

### **FreqDoubler**

Laad FreqDoubler patch en zie en hoor het het werkt. Als je de dubbele uitgangsfrequentie in een versterker met 6 dB versterkt, dat is de amplitude met twee vermenigvuldigen, en hierbij een offsetwaarde van  $-1$  optelt, verkrijg je een uitgangssignaal met dezelfde amplitude als de input die ook weer netjes van  $-1$  naar  $+1$  loopt.

### **RingModulator**

In deze patch zie je het standaardgebruik van de ringmodulator. De eerste vier variations zijn voorgeprogrammeerd: 1.SeqSawtooth & LFOSine Mod, 2.SeqSine & Audio Sine Mod. 3.Crossing Sidebands two Sinewaves, 4.Crossing SB Sawtooth & Sine. In het eerste voorbeeld hoor je wat er gebeurt als één van de ingangssignalen subaudio is, bijvoorbeeld een Lfo. Je hoort dan amplitudemodulatie ofwel tremolo. De tweede variatie heeft als ingangssignaal enerzijds een sequence van tonen met een sinusgolfvorm en de twee ingang is een audiosinustoon met vaste frequentie. Wat er gebeurt als je de sequence vervangt door een langzaam glissando hoor je in voorbeeld 3. In de vierde variatie is het sinusglissando vervangen door een zaagtandsignaal.

### **Sala-Delay**

Deze patch is een voorbeeld van een onorthodox gebruik van een ringmodulator. Dit werd veelvuldig toegepast door Oskar Sala, de Meester van het Mixtuur-Trautonium. De ringmodulator is nu geplaatst in de feedback loop van een delay. Bij elke herhaling in de delay wordt het signaal keer op keer weer gemoduleerd. Bij elke herhaling hoor je zo de timbres veranderen en steeds gruisiger worden. Naast deze drie patches vind je nog meer patches die de veelzijdigheid van een multiplier laten zien. Behalve de gebruikelijke internetlinks ook enkele specifieke sites waar je pdf's kunt downloaden met betrekking tot zelfbouwschema's.

Ernst Bonis

Dit artikel werd eerder gepubliceerd in Interface 109 juni 2007.

bijlage  
Ringmodulator.pdf

internetlinks Ringmodulator voor zelfbouw met AD633:  
<http://m.bareille.free.fr/modular1/warp633/warp633.htm>

Data en applicatie sheet van de analoge multiplier AD633 van Analog Devices :  
[www.analog.com/UploadedFiles/Data\\_Sheets/AD633.pdf](http://www.analog.com/UploadedFiles/Data_Sheets/AD633.pdf)

Ringmodulator, historie, werking en theorie:  
<http://logosfoundation.org/kursus/4006.html>  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Analog\\_computer](http://en.wikipedia.org/wiki/Analog_computer) Multiplying and analog computation:

[www.du.edu/~etuttle/electron/elect28.htm](http://www.du.edu/~etuttle/electron/elect28.htm)