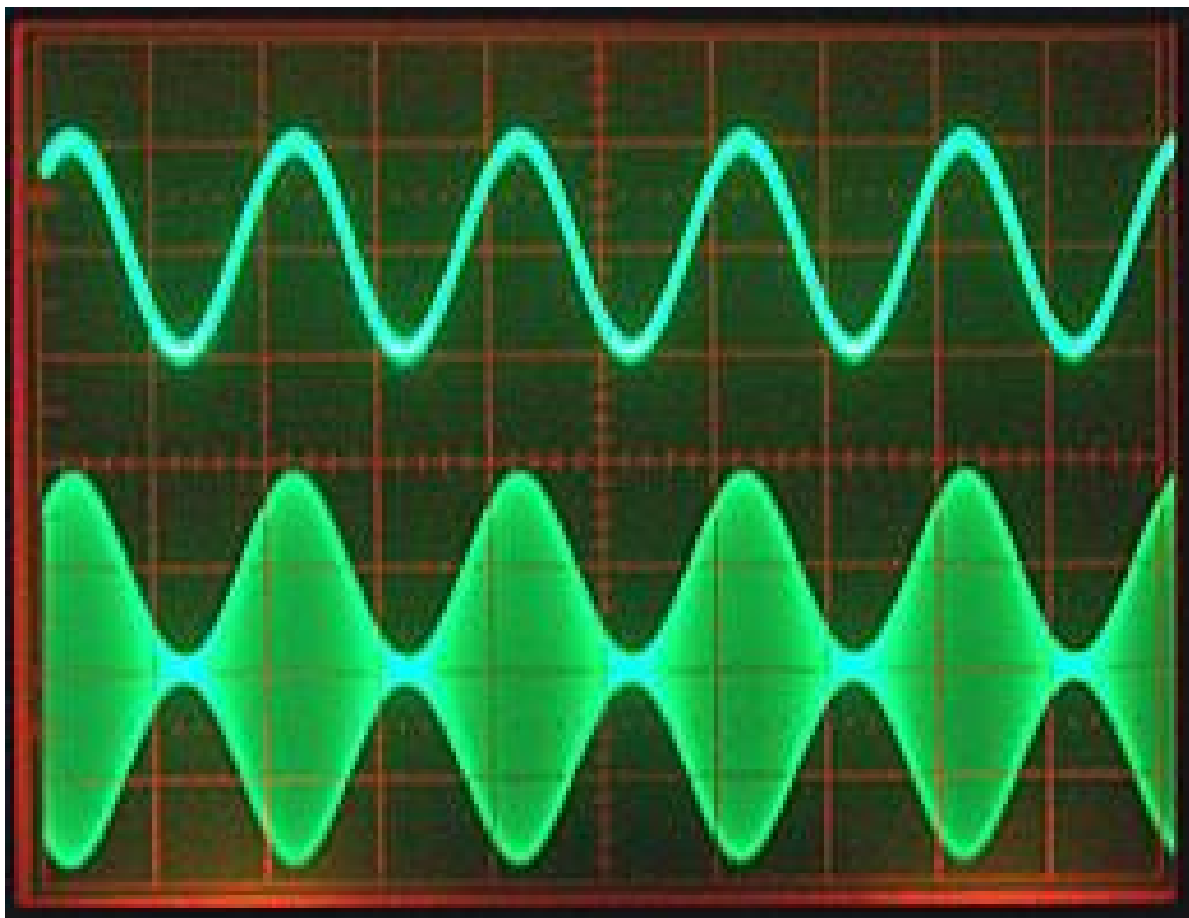
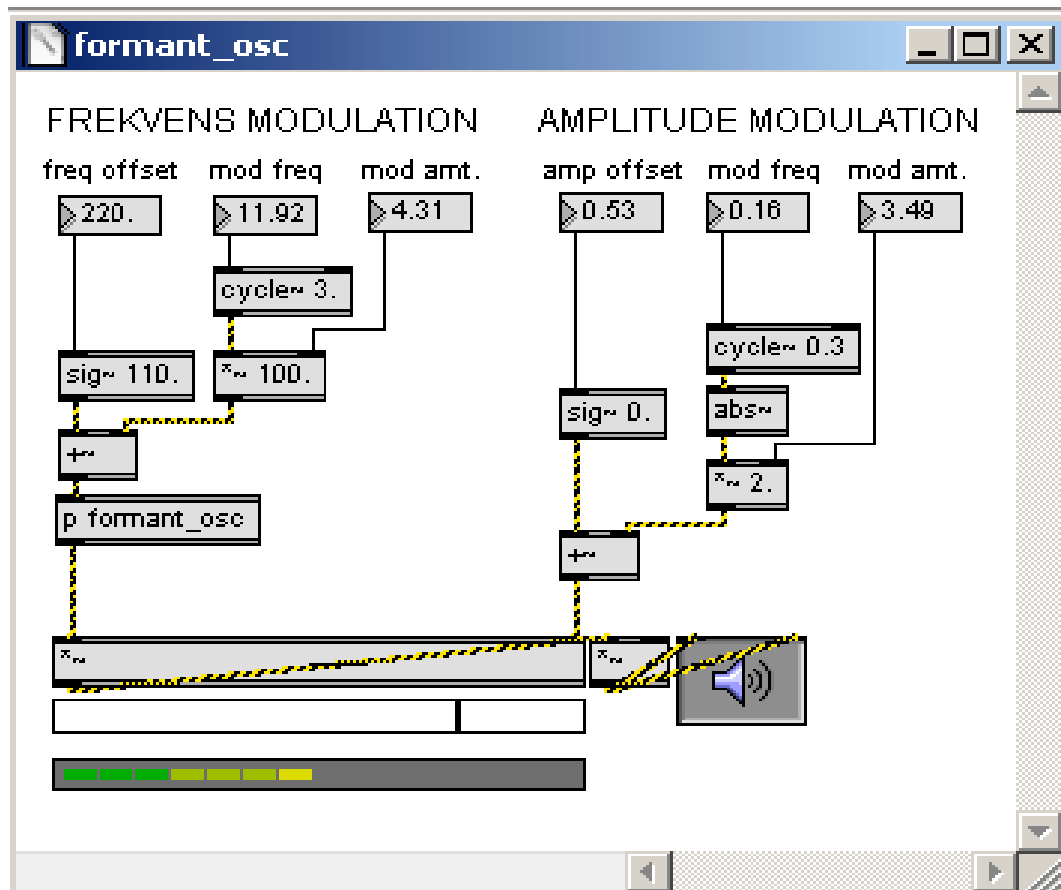


MODULATION

af Daniel Christensen



**24-timers eksamensopgave
DIEM BA3 SGN2**



(Screenshot af vedlagte max-patch 'formant_osc.pat')

Begrebet modulation dækker over flere fænomener, indenfor musikken og akustikkens verden, som alle kan forklares ud fra relativt simple principper.

Modulation kan beskrives som et signal hvis ”karakter” ændres ud fra et andet signal. De mest almindelige modulationsformer er AM, FM og RM – Amplitude Modulation, Frekvens Modulation og Ring-Modulation.

Amplitude Modulation er når et signals amplitude, eller volume, moduleres af et eksternt signal. Hvis du skruer op og ned for volumen på dit anlæg, laver du faktisk amplitude modulation. I stedet for kan vi sætte et *modulator-signal* med en frekvens under det hørbare område til at styre volumen på vores *carrier-signal*.

Frekvens Modulation er når et signals frekvens, eller pitch, moduleres af et andet signal. På en synthesizer sker dette egentlig hver gang man skruer på oscillatorernes frekvens-parametre men ligeledes kan denne styres af et eksternt signal.

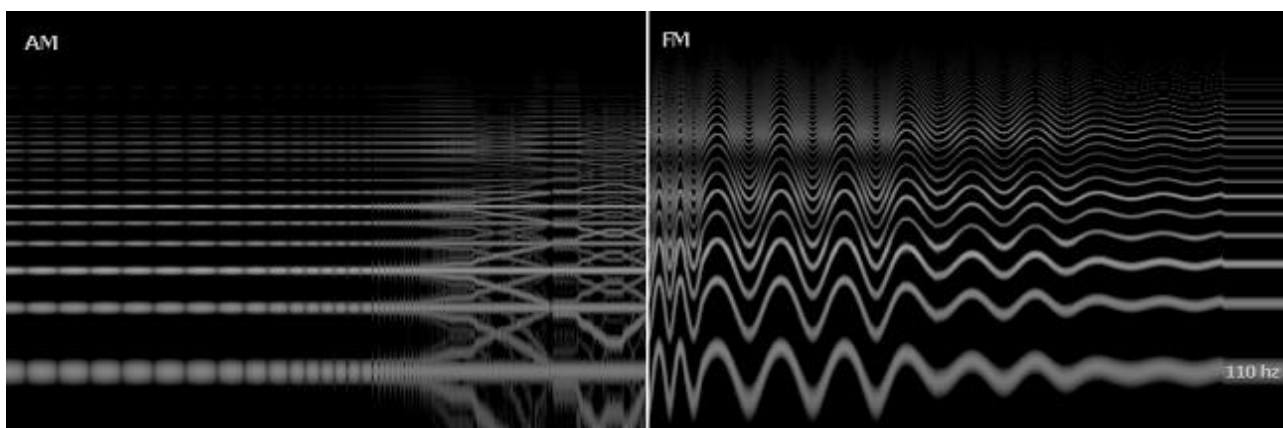
Ring-modulation er ”krydsningen” af to signaler. Denne metode adskiller sig en smule fra de to førnævnte da lydsignaler som regel er bipolære (de går fra negativ polaritet til positiv polaritet) hvilket resulterer i et antal følgevirkninger men dette vil vi komme omkring senere. [1]

Disse fænomener optræder indenfor både akustisk og elektronisk musik og indenfor fysikkens verden i forb. med f.eks. radioteknik, beskrevet med forskellige termer. Men også i naturen optræder de som akustiske modulationer i et utal af sammenhænge. [2]

F.eks. kan den varierende intensitet (amplitude) af havets bølger ses som en slags modulator for den støj som havets partikler ved maksimal amplitude producerer når de støder mod havbredden.

Dette er på ingen måde unikt for havet, man kunne vælge mange andre eksempler i naturen f.eks. vindens susen i trækroneerne, regndråber som drypper fra taget eller insekternes pulserende kald.

Mange naturligt forekommende signaler består af både FM og AM som i eksempelvis dyrekald der stiger eller falder i pitch samtidig med at lydstyrken varieres ud fra en slags *envelope*-kurve som kan variere i *attack/decay/sustain/release* alt efter arten og kaldet. [3]

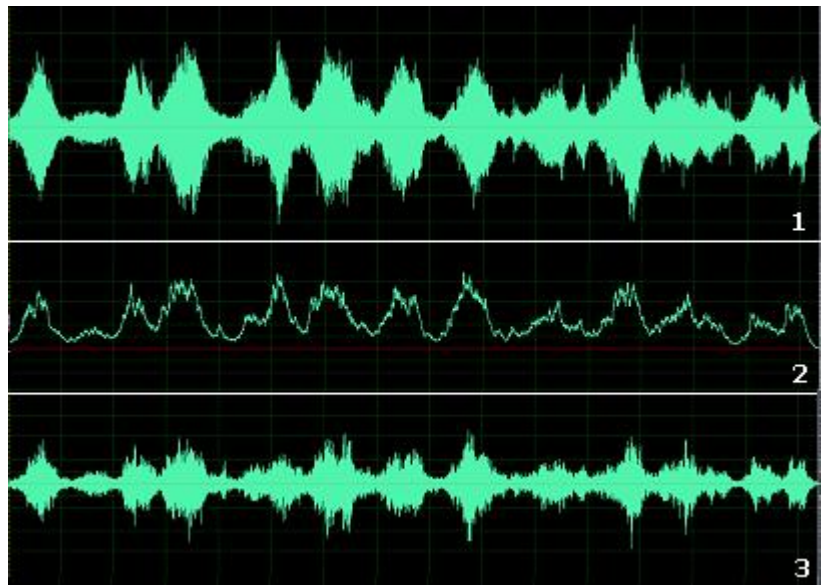


(spektrogram af AM og FM-syntese fra vedlagte max-patch 'formant_osc.pat' og lydfilen 'fm-am_max-demo.wav')

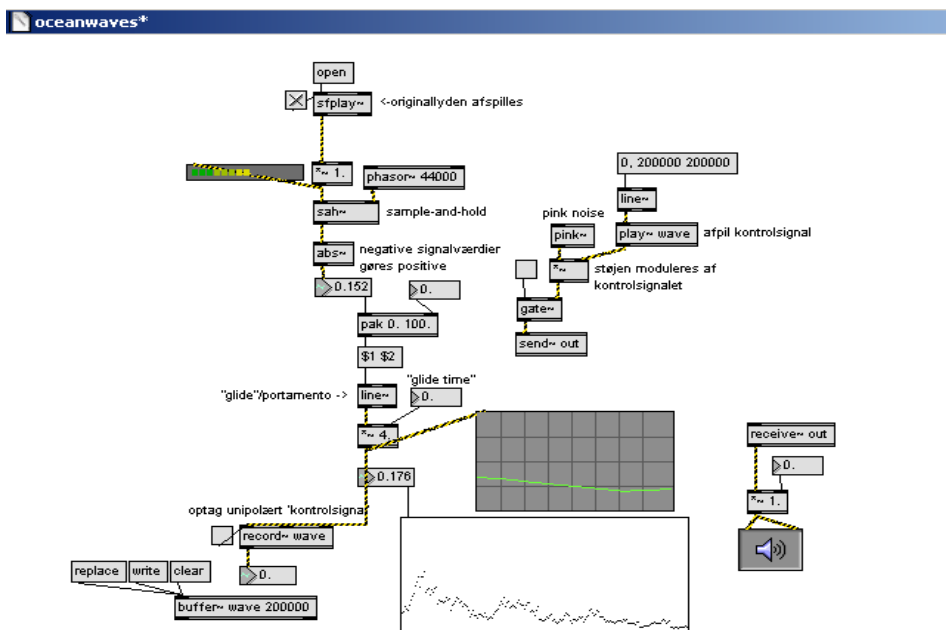
Jeg besluttede mig for at oversætte amplituden fra en optagelse af havbølger og konvertere dem til et unipolært signal til at amplitude-modulere et støj-signal. Signalet som vi skal bruge til AM skal være unipolært da vi vil ekstrapolere en værdi mellem 0 (intet signal / -inf. dB) og 1 (100% volume) I digital signalbehandling kan værdierne 0 og 1 oversættes/mappes om til en hvilken som helst 'range' til den ønskede parameter vi vil modulere. I dette tilfælde har jeg brugt Max/MSP hvor 0. og 1. er brugt som multiplikator til et [*~]-objekt som ganske enkelt ganger carrier-signalet med den volume-kurve vi har fået fra havbølge-lydfilen. [4]

I den vedlagte *max-patch* ('oceanwaves.pat') har jeg omdannet den originale lydfile(1) til et unipolært signal og ved hjælp af sample-and-hold og en form for *portamento* mellem værdierne med 500 ms "glide time" har jeg stabiliseret signalet for at skabe en glattere kurve. Dette kontrolsignal(2) bliver

brugt til at styre amplituden på et lyserød støjgenerator vha. [pink~]-objektet. Resultatet(3), af støjsignalet som moduleres af kontrolkurven, er noget der minder om havets brusen og langsomme stigning og fald i amplitude. Kontrolsignalet er udvundet af de rå faseværdier (og tilmed vendt i polaritet) så der skelnes ikke mellem de spektrale forskelle som man tydeligt oplever i originalen: højfrekvent brusen erstattes af dybe buldrende slag.



(1= original; 2= unipolært modulator signal; 3= lyserød støj x modulator)



I den genskabte version lukkes alle frekvenser i gennem konstant, blot med svingende lydstyrke. På trods af dette minder denne syntetisering ikke om noget der er langt fra lyden af havbølger.

Lyt selv:

Original: '1-oceanwaves_original_mono.wav'

Kontrolsignal ("DC"): '2-oceanwaves_controlsignal_mono.wav'

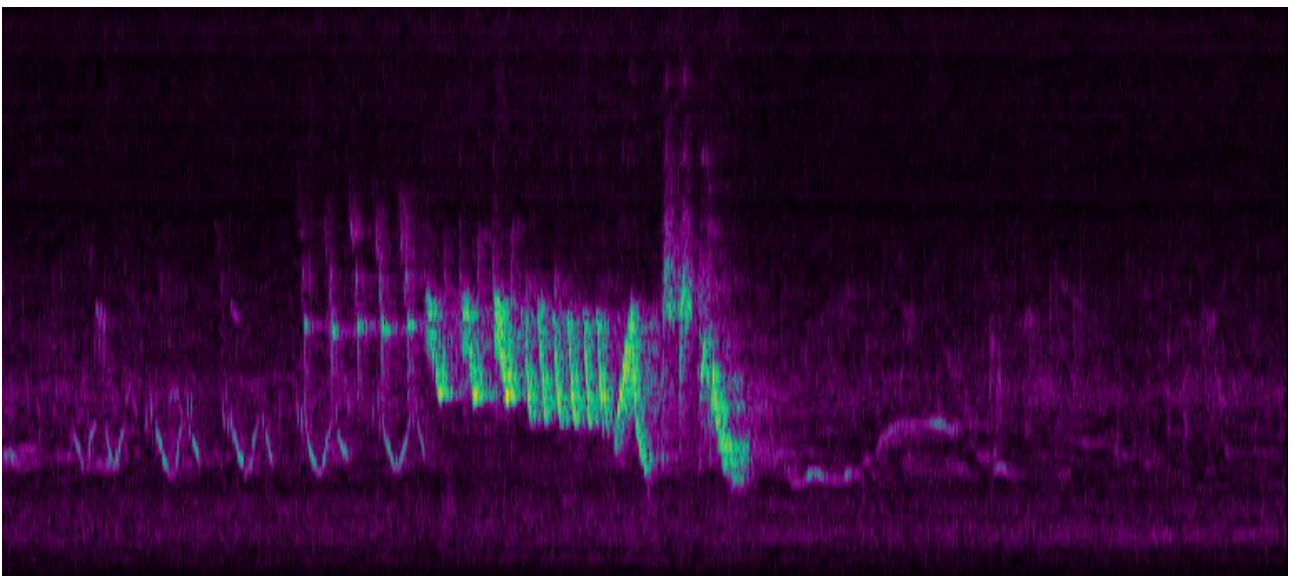
Moduleret støjsignal: '3-oceanwaves_modulatednoise_mono.wav'

Frekvensmodulation optræder også i naturen – det klassiske eksempel er fuglesang.

Frekvensmodulation er som sagt når en grundtone varieres med en faktor $x \cdot f$ (*grundtone*), oftest svingende ved en frekvens under det hørbare område (~ 20 Hz). [5]

Fugle gør også brug af vibrato, dog i en meget højere frekvens end i det område menneskestemmen typisk anvender vibrato. [6]

Jeg optog fuglekvidder i skoven jeg bor op til og analyserede optagelsen i et spektrogram ved forskellige afspilningshastigheder og her er det tydeligt at se at fugle benytter artikuleringer der minder om FM og AM. Lydfil: '**birds_multiple_speeds.wav**'

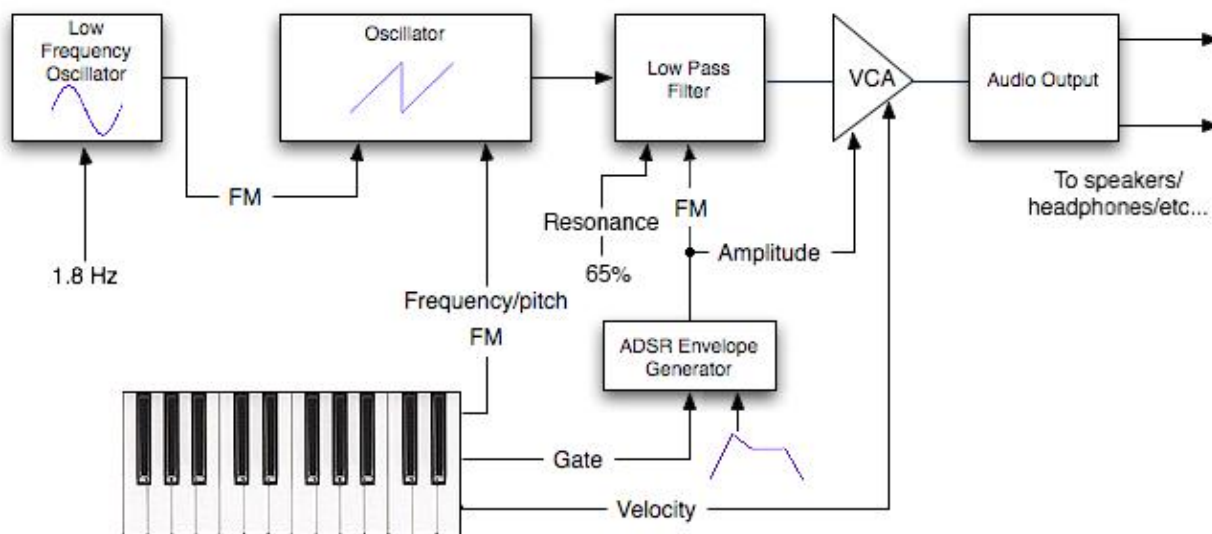


Især ved de langsomme afspilningshastigheder er det tydeligt at høre de glissandi-lignende triller fuglen danner. Også amplitude-modulering er til stede, særligt ved anslagene som varierer mellem hurtige hårde anslag til langsomme bløde anslag.

I musikens verden varierer udtrykkene for disse modulationsformer.

I den klassiske musik optræder begreber som *glissandi* ("glidende" overgang fra note til note) og *vibrato* (svingende variation af grundtonens *pitch*) for effekter tilhørende frekvens-modulation. Amplitude-modulation beskrives med termer som *tremolo* (langsomt svingning i amplitude), *decrescendo* (langsomt fald i amplitude) m.fl. [7]

Da de elektroniske synthesizere opstod i midten af 1900-tallet blev fokus på lydens mindste bestanddele større og termer som *envelope*, *subtraktiv syntese* og *ringmodulation* opstod.



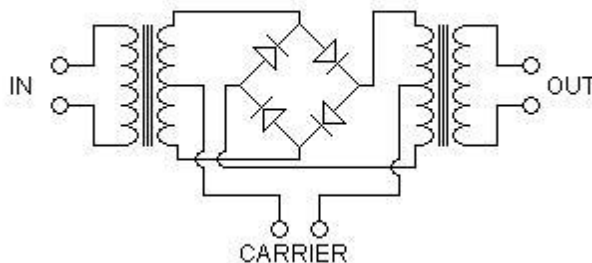
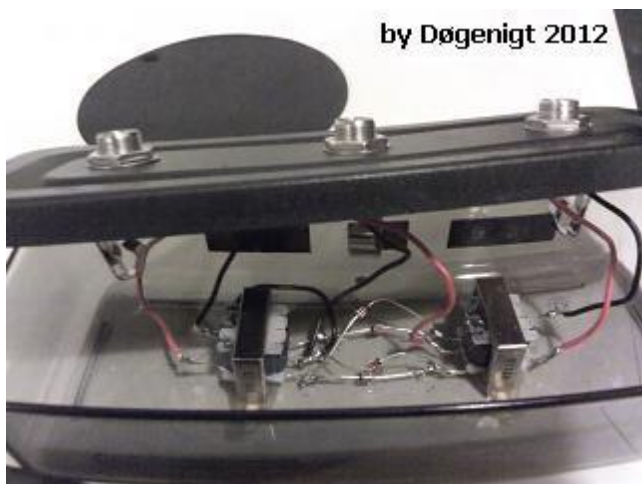
(Diagram over nogle af modulerne i en analog synthesizer – lyd eksempel på denne opsætning: 'flow5.mp3')

Fokus var især på at genskabe klangfarver og envelopes fra akustiske/traditionelle instrumenter. Spændingskontrol (eng.: *voltage control* eller *CV*) dannede basis for modulationen af de enkelte moduler – så som VCA'en (Voltage Controlled Amplifier) som er en spændingsstyret forstærker som kan styres af en LFO (Low Frequency Oscillator) som under det hørbare område vil skabe tremolo eller AM. [8]

En såkaldt *envelope generator* kan også sluttes til VCA'en og blev oprindeligt brugt til at forme tiden på anslaget (attack) og ud klingningen (release).

Senere blev flere parametre (som *decay* og *sustain*) tilføjet som funktioner og var med til at øge mulighederne for kompleksiteten af lydens temporale karakter. En violin har f.eks. et længere anslag end en guitar men envelope er ikke det eneste der bestemmer karakteren på instrumentet; lydens klangfarve, eller timbre, har meget at sige. Timbren er afgjort af overtonesierne og amplituden på og forholdet mellem disse. [9]

I starten fandtes primært sinus- og firkant-tonegeneratorer hvor sinusbølgen ingen overtoner har og firkantbølgen nærmest har et uendeligt antal, men dog i et ”uharmonisk” forhold til hinanden. Hvis man ville modellere klangfarven vha. overtoneindholdet måtte man derfor enten have et enormt antal sinusgeneratorer som hver kan skabe én enkelt tone eller tilsvarende antal filtre til at fjerne de uønskede frekvenser i et støjsignal. Dette var både en enormt pladskrævende og dyr løsning så man opdagede at ringmodulation, en teknik hvor to signaler multipliceres vha. en ”diode ring” (deraf navnet 'ringmodulation'), havde visse bieffekter som viste sig at være brugbare til lydsyntese. [10]



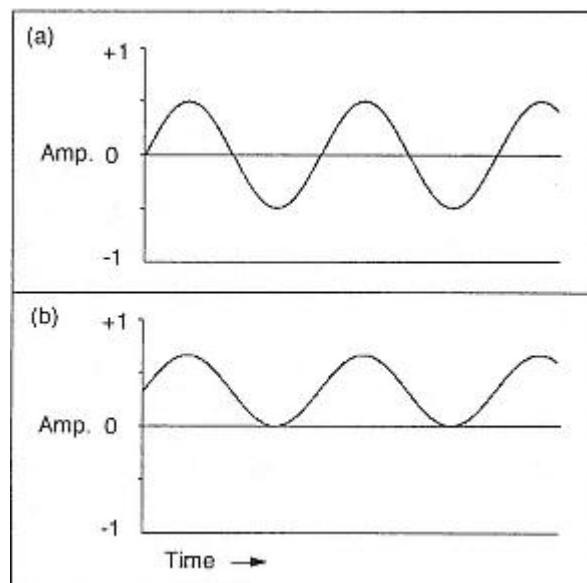
(Passiv ringmodulator med diagram – se video-demonstration: [ringmod-demo.mp4](#))

En ringmodulator multiplicerer to bipolære signaler (som [*~]-objektet i Max) i modsætning til AM hvor et bipolært (carrier) og et unipolært (modulator) signal multipliceres. [11]

Når modulator-signalet i ringmodulatorens er under det hørbare frekvensområde, fungerer den som en AM og laver en tremolo-effekt i takt med modulatorens svingning. Når frekvensen når op i det hørbare område opstår ringmodulation som, når en sinus som carrier (C) og en sinus som modulator (M) bruges, producerer to nye toner, eller såkaldte sidebånd, som er lig med summen af de to frekvenser og differencen mellem de to. [12]

Mixer man ring-modulatorens output-signal med de to inputs har man dermed 4 frekvenser til prisen af 2. Hvis de to inputs, C og M, går op i hinanden (eks. 100 hz og 800 hz) vil sidebåndene fra ring-modulatorens være harmoniske (i dette tilfælde 900 hz, summen, og 700 hz, forskellen),

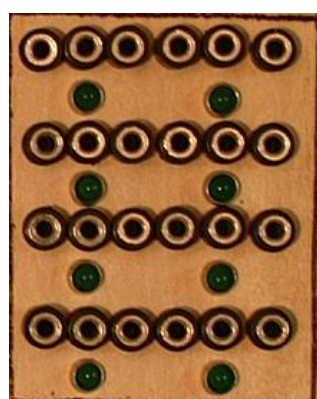
ellers er de uharmoniske. Se max-patchen '[ringmod.pat](#)' og lydfilen '[ringmod.wav](#)' for demo. [13]



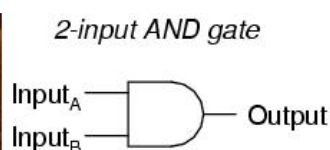
(Bipolære(a) vs. unipolære(b) signaler)

Det kan være svært at høre forskel på digitale og analoge lydeffekter og foretrækningen af den ene frem for den anden er et emne til vedvarende stor diskussion i dag. Men særligt hvad angår ringmodulatorer er der stor forskel på lyden mellem hver enkelt kredsløb. Dioder er kendt for at ”klippe” lyden grundet ensretter-effekten, en form for distortion, hvilket giver en firkantet bølgeform og en mere skrap lyd og ulige harmoniske overtonerækker. Digitale ringmodulatorer lyder i princippet altid ens. [14]

Udover den ovennævnte diode-ringmodulator jeg har bygget har jeg i min seneste synthesizer bygget en række modulatorer bestående af CMOS-chippen 4081 som er en såkaldt logisk AND-gate.



(AND-gate modulator-modul og truth table for 4081)



A	B	Output
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Modulet har 8 modulatorer, som hver består af 2 inputs og et output. Sandhedstabellen (truth table) på billedet til venstre beskriver hvordan 4081-chippen opfører sig: hvis blot et eller begge indgange er sluttet til 0V (LOW) er outputtet også 0V. Outputtet går først til HIGH (9V) når begge indgange også er 9V (HIGH). [15]

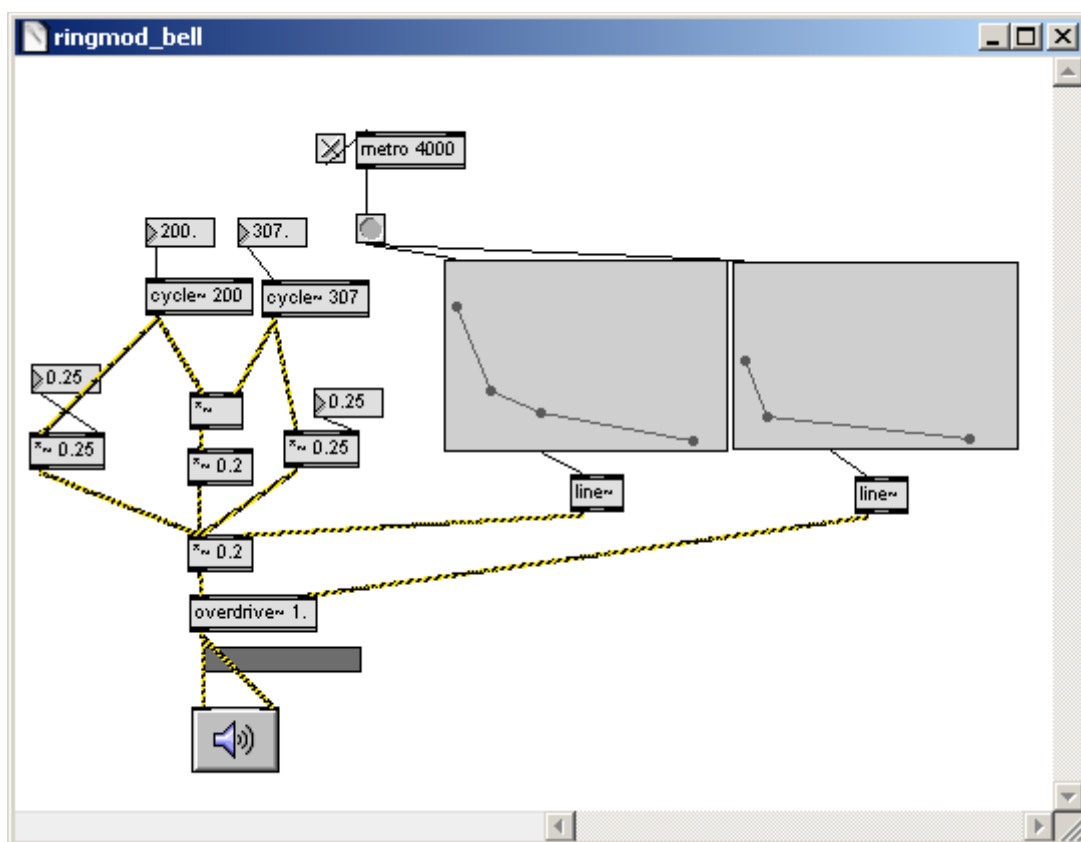
Med dette system kan en meget simpel AM-modulator laves hvis indgangene sluttet til en oscillator (som laver firkantbølge mellem 0V/9V)

På videoen '[ANDgates.mp4](#)' vises hvordan modulet betjenes. Slutter man en oscillator som producerer en tone i det hørbare område i Input_A og en oscillator i LFO-området (<hørbare område) til Input_B vil den hørbare tone kun blive lukket igennem når LFO'en er HIGH hvilket genererer ”beep-lyde” med fast interval. Skrues begge oscillatorer op i det hørbare område vil tydelige AM-effekter opstå. Hvis oscillatorerne ligger meget tæt i frekvens opstår såkaldte beatings hvor *differencen* mellem de to frekvenser bliver hørbare. (eks.: 200 hz og 201 hz vil høres som 200 hz amplitude-moduleret af en 1 hz svingning). Når begge oscillatorer sættes i ultralydsområdet vil karakteristiske ”radiolyde” opstå når frekvens-erne rammer tæt på hinanden og differensen høres som en svingning i det hørbare niveau. Dette er også demonstreret i videoen. [16]

Derudover gør jeg brug af optokoblere med LED → LDR opsætning til at modulere modstande typisk som stedfortrædere til potentiometre hvilket kan være en nem måde at kople to moduler sammen som ikke kører på samme forsyningsspænding. Eksempelvis har jeg koplet en LFO til langsomt at fade op/ned for en LED som styrer motor-farten på en båndoptager. På den måde kan man indspille lange monotone flader som vha. motorhastigheden pitches op og ned. I fremtiden tænker jeg at slutte en sequencer til at styre lysstyrken på LED'en så der skabes tonale melodier når båndhastigheden varieres. [17]

En klokkelyd (som Mor plejede at lave den) bestilt og hermed kreeret:

Lyd: 'ringmod_bell.wav'



(Max-patch: klokkelyd skabt af 2 ringmodulerede sinustoner og envelopekurver)

Når C og M ændres til ikke at være i en heltalsfaktor (integer ratio) af den laveste værdi vil overtonerækken blive uharmonisk og klokkelign. Lyde opstår, særligt når signalet kombineres med envelopes med kort attack-tid og lang udklingning (decay/release).

Ring Modulation er kendt for at få en klokkeagtig lyd da overtoneserien let bliver uharmonisk grundet den unikke effekt af sum/differens. [18]

I patchen har jeg (udover ringmodulatoren) brugt funktionskurver til at styre [line~]-objekter som lader ringmodulationssignalet klinge ud med kort anslagstid og lang udklingningstid. En funktionskurve styre mængden af overstyring ([overdrive~]-objektet) som ved attacket er med til at give en mere autentisk klokkelyd.

Kilder:

- 1: The Computer Music Tutorial (1995); Roads, Curtis (p. 215)
- 2: http://en.wikibooks.org/wiki/Sound_Synthesis_Theory/Modulation_Synthesis
- 3: <http://sites.sinauer.com/animalcommunication2e/chapter02.04.01.html>
- 4: The Computer Music Tutorial (1995); Roads, Curtis (p. 221)
- 5: The Computer Music Tutorial (1995); Roads, Curtis (p. 228)
- 6: <http://www.jneurosci.org/content/33/27/11136.full>
- 7: http://en.wikipedia.org/wiki/Glossary_of_musical_terminology
- 8: <http://en.wikipedia.org/wiki/Synthesizer>
- 9: http://en.wikipedia.org/wiki/Synthesizer#ADSR_envelope
- 10: The Computer Music Tutorial (1995); Roads, Curtis (p. 220)
- 11: The Computer Music Tutorial (1995); Roads, Curtis (p. 216)
- 12: The Computer Music Tutorial (1995); Roads, Curtis (p. 219)
- 13: http://en.wikipedia.org/wiki/Ring_modulation#Use_in_music
- 14: The Computer Music Tutorial (1995); Roads, Curtis (p. 220)
- 15: http://en.wikipedia.org/wiki/Logic_gate#Electronic_gates
- 16: http://en.wikipedia.org/wiki/Beat_%28acoustics%29#Mathematics_and_physics_of_beat_tones
- 17: http://en.wikipedia.org/wiki/Resistive_opto-isolator
- 18: The Computer Music Tutorial (1995); Roads, Curtis (p. 217)