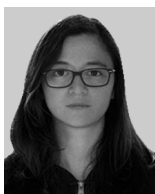

Síntesi de so

PID_00269053

Lina Bautista

Temps mínim de dedicació recomanat: 3 hores



**Lina Bautista**

Lina Bautista va estudiar composició musical a Bogotà, Colòmbia. Des del 2010 viu i treballa a Barcelona, on va acabar els seus estudis de composició i noves tecnologies, Disseny de Sistemes Musicals Interactius i Art Sonor. Amb el seu projecte musical Linalab, ha produït tres treballs discogràfics i ha actuat en molts escenaris d'Europa, l'Amèrica del Sud i Japó.

L'encàrrec i la creació d'aquest recurs d'aprenentatge UOC han estat coordinats per la professora: Irma Vilà Òdena (2020)

Primera edició: febrer de 2020

Autoria: Lina Bautista

Llicència CC BY-NC-ND d'aquesta edició, FUOC, 2020

Av. Tibidabo, 39-43, 08035 Barcelona

Realització editorial: FUOC



Els textos i imatges publicats en aquesta obra estan subjectes –llevat que s'indiqui el contrari– a una llicència de Reconeixement-NoComercial-SenseObraDerivada (BY-NC-ND) v.3.0 Espanya de Creative Commons. Podeu copiar-los, distribuir-los i transmetre'ls públicament sempre que en citeu l'autor i la font (FUOC. Fundació per a la Universitat Oberta de Catalunya), no en feu un ús comercial i no en feu obra derivada. La llicència completa es pot consultar a <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es/legalcode.ca>

Índex

Introducció	5
1. Història	7
2. Conceptes fonamentals	11
2.1. Generadors de so	11
2.1.1. Oscil·ladors	11
2.1.2. Soroll	13
2.2. Filtres	16
2.3. Fonts de modulació	18
2.3.1. Generadors d'envolupant	19
2.3.2. Oscil·ladors de baixa freqüència (LFO)	19
2.3.3. Fonts aleatòries	19
2.3.4. Controladors	19
3. Tècniques de síntesi	21
3.1. Síntesi additiva	21
3.2. Síntesi substractiva	21
3.3. Taula d'ones (<i>wavetable</i>)	22
3.4. Síntesi FM	22
3.5. Síntesi granular	23
Bibliografia	25

Introducció

La síntesi de so és una tècnica per a generar sons amb mitjans electrònics o computacionals. Els sons que es generen en un sintetitzador no existeixen prèviament (excepte en algunes excepcions), es creen al moment a partir d'instruccions donades, sia per funcions algorítmiques o voltatges.

Per mitjà de la síntesi podem «esculpir» sons generant timbres impossibles d'aconseguir amb instruments tradicionals, i també reproduir i imitar sonoritats existents¹.

⁽¹⁾Tots els enllaços d'aquest mòdul van ser consultats el 15/10/2019.

1. Història

«En cent trenta anys d'evolució de la síntesi de so s'han utilitzat diversos mitjans que van des de recursos “durs”, sòlids, i mecànics fins a l'“evaporació abstracta” de l'àmbit digital passant per la “invisibilitat” del fluid elèctric i la “levitat” de l'electrònica.» (Bejarano, 2006)

La història de la síntesi està lligada, almenys a l'inici, als avenços tecnològics i les seves eines. Encara que el primer esment de l'electricitat va ser al voltant de l'any 1600, **a partir del segle XIX és quan comença el desenvolupament de molts instruments electrònics** (instruments que generen sons des d'una font purament electrònica).

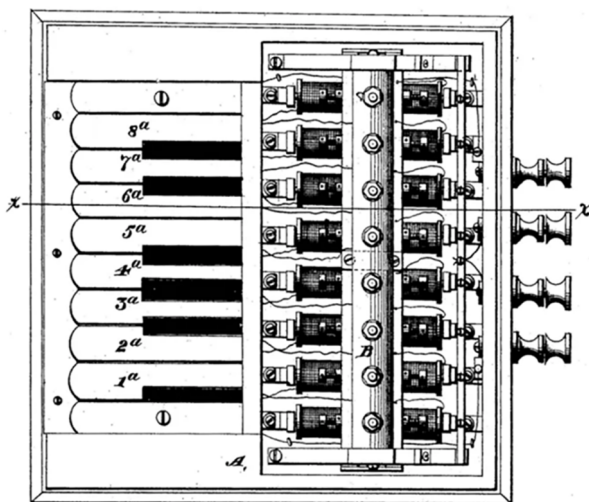
Un dels primers instruments generadors de so en la història va ser el telègraf musical, creat per Elisha Gray en 1876.

Era una conjunt de circuits electromagnètics que vibraven en diferents freqüències i que es controlaven amb una espècie de teclat. El corrent autooscil·lant resultant podia ser transmès per una línia telefònica com un to musical. Gray va construir un simple receptor i un altaveu anomenat *wash-basin receiver*, essencialment un gran altaveu semblat a un telèfon construït a partir d'un antic lavabo muntat prop dels pols d'un electroimant. En vibrar el lavabo de metall el receptor recreava i amplificava el so de l'instrument.

Telègraf musical

<https://es.wikipedia.org/wiki/Telègraf_musical>

Figura 1. Patent d'Elisha Gray del telègraf musical o harmònic de 1876.



Font: totes les imatges del mòdul són d'elaboració pròpia.

Durant les dècades següents es van desenvolupar una sèrie d'instruments que després de la Segona Guerra Mundial van desembocar en la creació de laboratoris i centres de recerca, un dels quals va ser Radio Colonia, on en 1950 va néixer la denominada **música electrònica** amb la iniciativa d'**Herbert Eimert** i els seus col·laboradors **Werner Meyer-Eppler** i **Robert Bayer**. En aquest centre es buscava experimentar amb sons generats electrònicament utilitzant oscil·ladors de laboratori, com el *monochord* i el *melochord*.

Monochord i melochord

<<https://en.wikipedia.org/wiki/monochord>>.

<<https://120years.net/the-melochordharald-bodegermany1947/>>.

En aquest estudi de creació van produir obres compositors com **Karlheinz Stockhausen**, **György Ligeti**, **Luciano Berio** i **John Cage**, entre d'altres.

Poème électronique és una peça de música electrònica del compositor Edgard Varèse, escrita per al **Philips Pavilion** de l'Exposició Universal de Brussel·les de 1958. La corporació Philips va encarregar a Le Corbusier el disseny del pavelló, que pretenia ser un aparador del seu progrés en enginyeria. Varèse va compondre la peça amb la intenció d'introduir un alliberament entre sons i, com a resultat d'això, utilitza sons que fins en aquest moment no eren considerats musicals.

La música electrònica, juntament amb la música concreta a França, va assentar les bases de la música electroacústica i posteriorment de la música acusmàtica.

Mentrestant, als Estats Units, en 1957 **Max Mathews** escrivia **MUSIC**, el **primer programa de síntesi sonora digital** desenvolupat a Bell Laboratories en un ordinador IBM 704. **MUSIC** va ser el primer programa d'ordinador per a generar formes d'ona d'àudio digital mitjançant síntesi.

La sèrie de programes **MUSIC** va tenir una enorme evolució, que va culminar amb el **MUSIC V** en 1968. En aquesta sèrie es va començar a desenvolupar la síntesi FM, que anys més tard donaria origen al **MUSIC 10**, dissenyat per **John Chowning** i utilitzat per al famós sintetitzador Yamaha DX7 en 1983.

East Coast, West Coast

Als Estats Units, a partir de la **meitat dels anys seixanta** i durant la **dècada dels setanta**, es va estendre la **producció de sintetitzadors comercials** amb dos corrents. Quant a sons sintetitzats, a la costa est (East Coast) aparegueren les primeres companyies de sintetitzadors de l'est dels Estats Units, com **MOOG** o **ARP**, que utilitzaven la tècnica de síntesi substractiva que veurem més endavant. D'altra banda, a la costa oest (West Coast), en companyies com **Buchla** o **Serge** la síntesi es produïa a partir de generadors més simples, creant harmònics addicionals.

A partir d'aquests corrents es van crear una sèrie de sintetitzadors clàssics com ARP 2600, EML 100, Buchla Music Easel, Yamaha DX-7, Korg MS-20 i MS-10, Roland System 100M, entre molts altres.

Figura 2. Yamaha DX7



Figura 3. Korg MS-20



Entre el 1979 i el 1993 moltes companyies de sintetitzadors discontinuaren la producció i durant molts anys els sintetitzadors es van considerar peces de col·lecció, mentre que l'auge del MIDI i dels ordinadors personals als anys noranta permetia desenvolupar noves tècniques de síntesis utilitzant algorismes per a generar i processar senyals.

A partir de la primera dècada dels anys 2000 els sintetitzadors modulars van aconseguir acordar un estàndard denominat Eurorack, adoptat dels sistemes Doepfer Musikelektronik, n'acceleraren la producció i permeteren als usuaris combinar mòduls de diversos fabricants. A la vegada van reaparèixer versions de sintetitzadors Buchla i Moog, i reedicions de sintetitzadors com el MS-20 o Moog modular. Aquesta vegada la nova perspectiva era combinar els mons analògic i digital aprofitant els avantatges del control per voltatge i de màqui-

nes especialitzades a fer so amb la precisió i la capacitat d'emmagatzematge de microcontroladors i processadors per combinar diverses tècniques de síntesi de so en cerca de noves sonoritats.

Analògica *versus* digital

Els sintetitzadors analògics han estat la base de la síntesi i continuen essent utilitzats fins avui. Els sintetitzadors clàssics tenen el desavantatge de no ser gaire precisos quant a alguns paràmetres com l'afinació o el temps. No obstant això, avui dia els sintetitzadors prenen elements dels mons analògic i digital aprofitant els avantatges de tots dos.

És important recalcar que els **mètodes digitals no són exclusius dels ordinadors**, sinó que també han estat aplicats en sintetitzadors i altres màquines especialitzades. Els sintetitzadors modulars, i molts altres sintetitzadors i eines, utilitzen el control per voltatge, que veurem detingudament més endavant. Aquest tipus de control ha inspirat al seu torn programes de síntesi virtual com Pure Data, MAX i VCV Rack, entre d'altres.

El so **digital** ens ha permès **descobrir noves maneres de crear i manipular sons**, pràctiques que s'han expandit gràcies a la popularització dels ordinadors a partir de connectors que es poden incloure, com VST, AU, etc.

La majoria dels DAW del mercat inclouen també sintetitzadors nadius en el seu sistema.

Una altra possibilitat de treballar amb síntesi digital és **amb llenguatges de programació que ens permeten crear les nostres pròpies eines** i configuracions, com MAX, Supercollider i Pura Data, entre d'altres.

Virtual Studio Technology

<https://en.wikipedia.org/wiki/Virtual_Studio_Technology>.

Digital Audio Workstation

<https://en.wikipedia.org/wiki/Digital_audio_workstation>.

2. Conceptes fonamentals

Un paràmetre indispensable per a comprendre la síntesi és el **timbre**.

En un sentit tradicional:

«el timbre és aquesta qualitat particular del so que fa que dos instruments no puguin ser confosos entre ells encara que produeixin un so de la mateixa altura i de la mateixa intensitat». (Danhauser, 1929)

Els **sintetitzadors** són instruments **capaços de configurar timbres a partir dels paràmetres que els componen**. El timbre depèn de la quantitat d'**harmònics** que té un so i de la **intensitat** de cadascun. Un so pot variar també el timbre amb el temps.

«Quan s'executa una nota en un instrument musical, es genera una ona de pressió d'aire. Aquesta ona sonora és acompanyada per una sèrie d'harmònics, que donen a l'instrument el timbre particular. Cada harmònic d'aquesta sèrie té una amplitud (volum o força del so) diferent.» (Wikipedia)

Vegeu també

<<https://es.wikipedia.org/wiki/Armónico#Aústica>>.

2.1. Generadors de so

Qualsevol tècnica de síntesi parteix d'un senyal, que en general és generada al moment. Aquests generadors poden ser analògics, digitals o partir d'un arxiu d'àudio, segons el mètode que utilitzem per a sintetitzar. Els generadors més comuns són els que s'indiquen a continuació.

2.1.1. Oscil·ladors

El generador de tons més comú en la síntesi clàssica és l'**oscil·lador**. Un oscil·lador sol produir voltatges que fluctuen entre valors positius i negatius a la velocitat del rang audible (20 a 20.000 cicles per segon). El so generat per un oscil·lador amb un altaveu fa que aquest es mogui cap a dins i cap a fora movent l'aire. Aquesta vibració és interpretada pel nostre com a so.

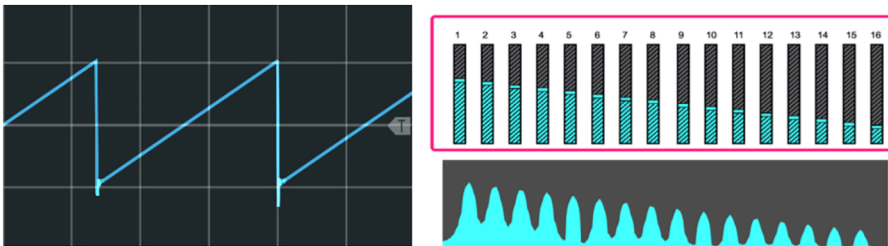
Les **formes d'ona** són els diferents patrons en les fluctuacions del voltatge, que produeixen diferents harmònics i que entenem com a «timbre» o «sonoritat» del so.

Normalment, els oscil·ladors produeixen diferents formes d'ona, i els sintetitzadors en solen tenir dos o més, de manera que és possible combinar formes d'ona per a crear timbres més complexos.

Els oscil·ladors dels primers sintetitzadors clàssics estaven basats en equips electrònics de testeig que produïen alguna d'aquestes formes d'ona simples i que continuem utilitzant com a base per a una infinitat de sons:

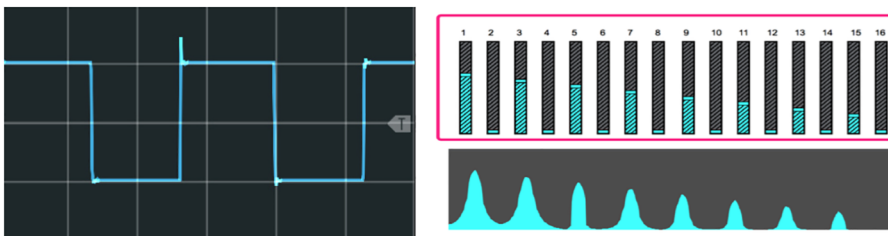
a) **Dent de serra** (*sawtooth*). Conté tots els harmònics, parells i imparells, la qual cosa la converteix en la forma d'ona més ressonant.

Figura 4. Ona de dent de serra



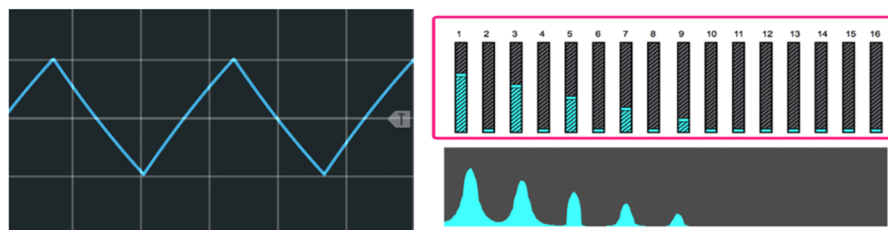
b) **Quadrada** (*square*). Solament conté harmònics imparells, la qual cosa li fa tenir una sonoritat «buida» en comparació de la de dent de serra. En aquesta forma d'ona normalment és possible modificar l'**amplada del pols** (*prime width modulation, PWM*). Això crea formes d'ona rectangulars, amb la qual cosa varia el timbre d'aquesta.

Figura 5. Onda quadrada



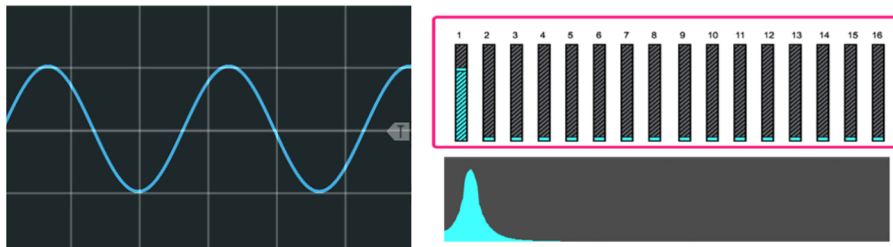
c) **Triangular** (*triangle*). Igual que la quadrada, conté solament harmònics imparells, però els seus harmònics tenen menor intensitat.

Figura 6. Onda triangular



d) Sinusoidal (*sine*). Aquesta forma d'ona solament conté el seu fonamental, sense harmònics, amb la qual cosa es genera un «to pur».

Figura 7. Ona sinusoidal



Els **oscil·ladors digitals** són capaços de processar formes d'ona a partir de funcions matemàtiques, i això ens permet no solament generar aquestes mateixes formes d'ona sinó formes més complexes a partir de noves combinacions d'harmònics.

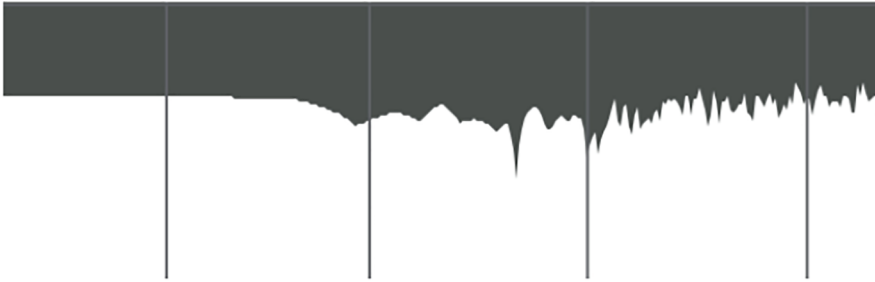
Avui dia la majoria dels oscil·ladors digitals tenen taules o bancs de formes d'ona que poden ser modificades i barrejades, com veurem més endavant.

2.1.2. Soroll

Un altre tipus de generadors són les **fonts de soroll**. En el context de la síntesi de so el soroll és un senyal que conté un ampli rang de freqüències que sonen aleatòriament a la mateixa intensitat, de manera que no és possible percebre un to específic. Aquest so és utilitzat generalment per a crear efectes de so que emulen el vent, el mar o la respiració, per exemple. Hi ha diferents tipus de soroll segons el rang de freqüències del seu espectre, i es representen amb colors:

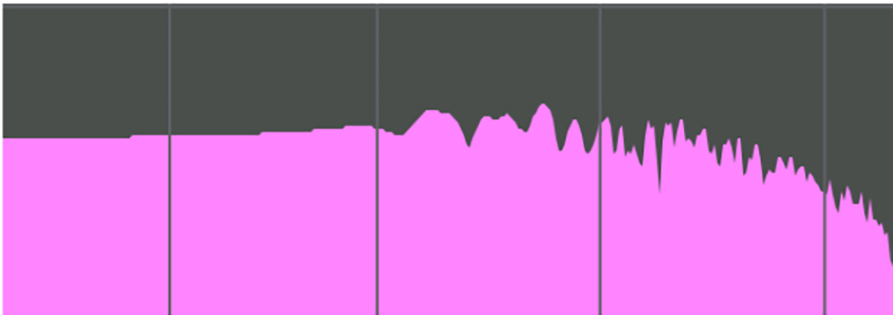
1) **Blanc.** Cobreix tot l'espectre audible de freqüències a la mateixa intensitat.

Figura 8. Soroll blanc



2) **Rosa.** És un soroll filtrat cap als aguts, és a dir, que les freqüències més agudes baixen logarítmicament d'intensitat (3 dB/oct).

Figura 9. Soroll rosa



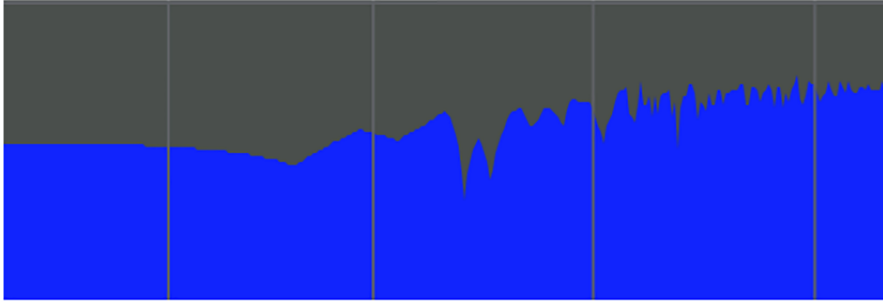
3) **Vermell.** És anomenat també marró i utilitza una corba més pronunciada en el filtratge de les freqüències agudes que el rosa (6 dB/oct).

Figura 10. Soroll vermell



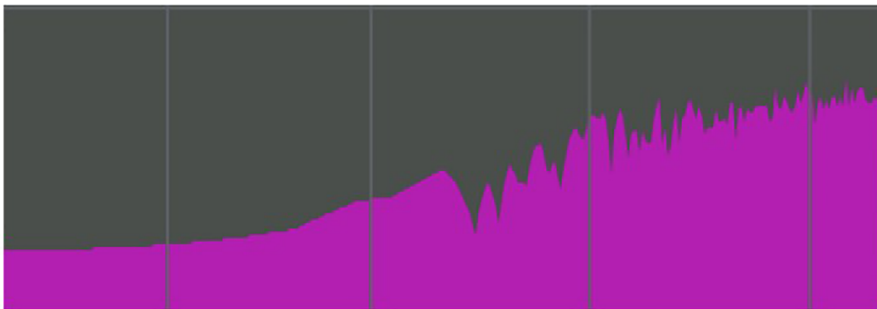
4) **Blau.** És l'oposat al rosa i incrementa la intensitat de les freqüències agudes (3 dB/oct).

Figura 11. Soroll blau



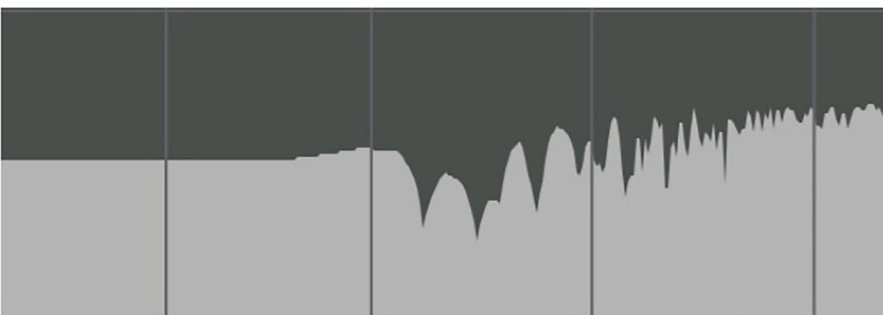
5) **Violeta.** Incrementa 6 dB/oct la intensitat de les freqüències agudes i filtra totalment les freqüències greus.

Figura 12. Soroll violeta



6) **Gris.** Està basat en el soroll blanc i és filtrat perquè l'oïda humana escolti totes les freqüències a la mateixa intensitat.

Figura 13. Soroll gris



Corba isofònica

https://es.wikipedia.org/wiki/Corba_isofónica.

A més d'aquests tipus de soroll, altres generadors digitals són capaços de produir altres textures complexes a partir de processos digitals.

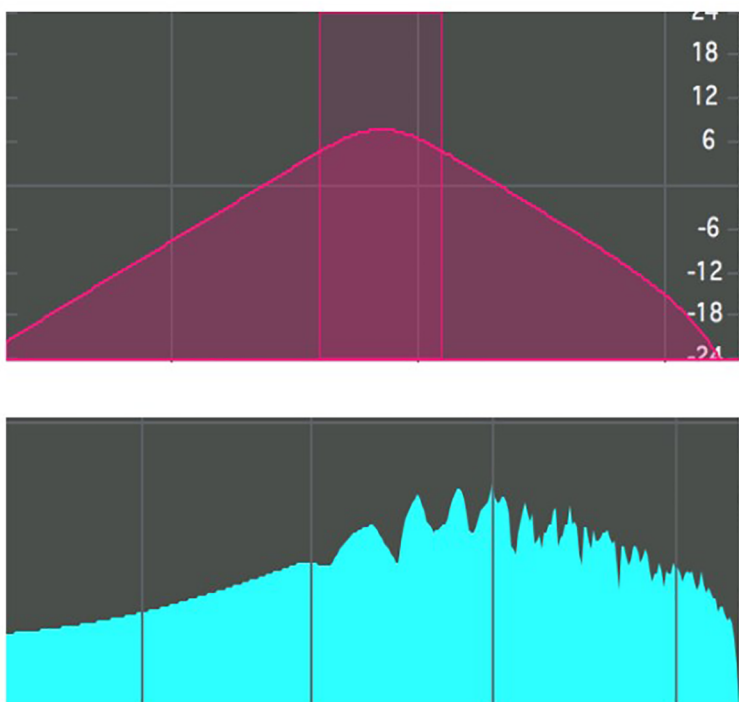
2.2. Filtres

Els filtres modifiquen o modulen el so atenuant o eliminant harmònics d'una font sonora i canvien així la seva forma espectral. Hi ha una infinitat de filtres. Alguns reben el nom segons el que fan i uns altres segons la tècnica que utilitzen. Quan parlem de filtres, solem utilitzar alguns dels termes següents:

Resposta de freqüència. És un gràfic del canvi d'amplitud mitjançant l'espectre d'àudio. En un sistema ideal el gràfic és una línia recta que indica una resposta de freqüència plana. Quan parlem de filtres, ens fixem en la resposta de freqüència.

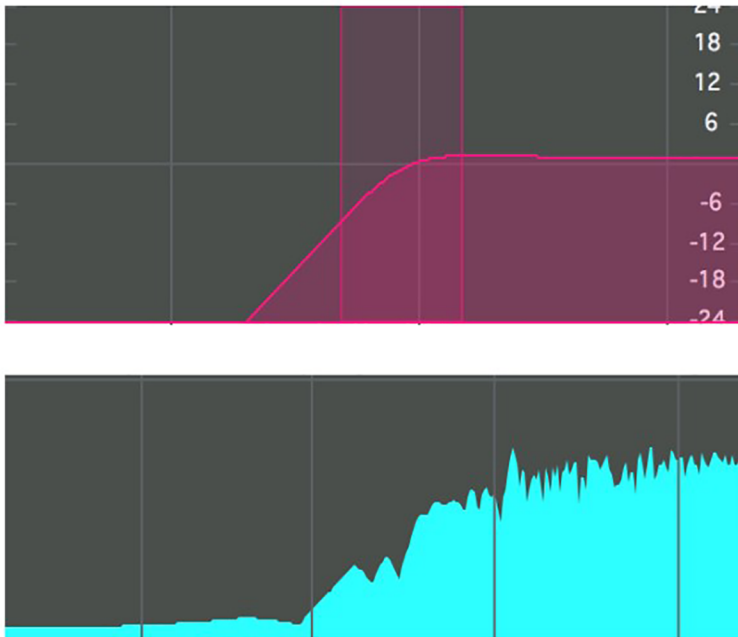
La regió de freqüència que no es veu afectada per un filtre és la **banda de pas** (*passband*).

Figura 14. Filtre passabanda



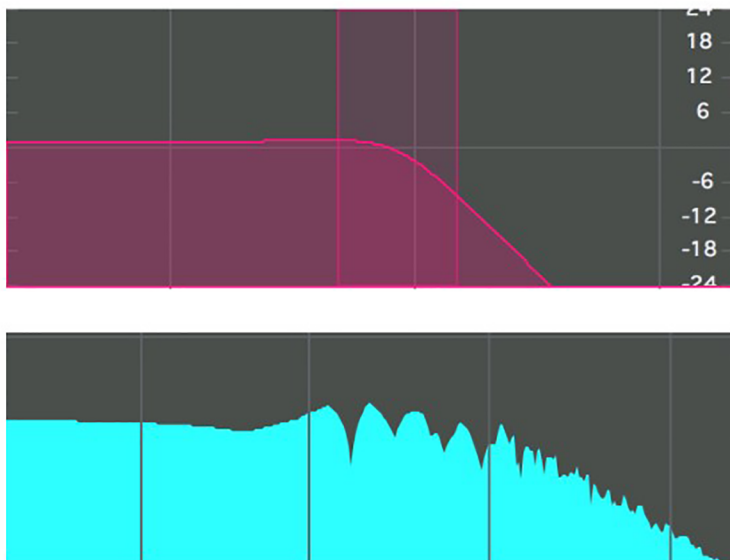
Un filtre **passaalts** (*highpass*) afecta senyals inferiors a una freqüència especificada.

Figura 15. Filtre passaalts



Un filtre **passabaixos** (*lowpass*) afecta senyals superiors a una freqüència especificada.

Figura 16. Filtre passabaixos



La majoria dels filtres tenen una transició gradual des de la banda de pas fins a la regió rebutjada. La forma d'aquesta transició es denomina **pendent** (*slope*), que s'especifica en decibels per octava.

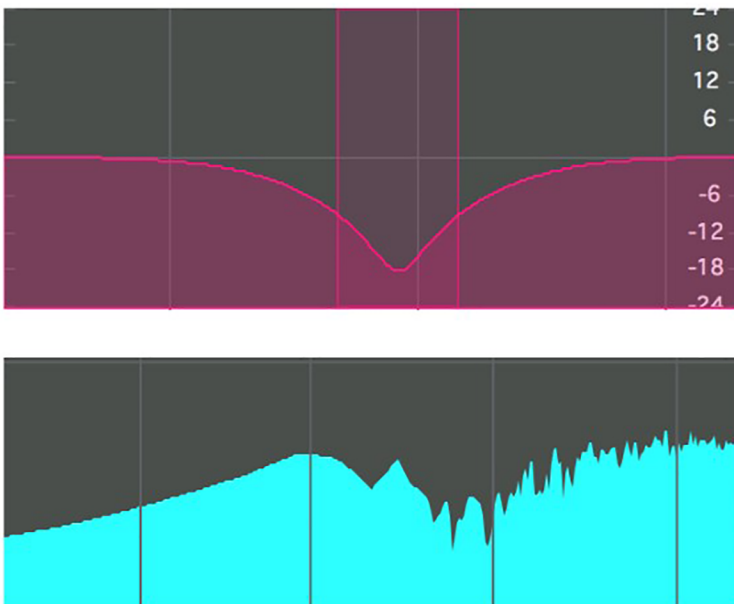
La freqüència en què el filtre comença a actuar es denomina **freqüència de tall** (*cutoff*). És la freqüència a la qual es redueix el senyal en 3 dB (una diferència de nivell amb prou feines perceptible).

Un filtre **passabanda** (*bandpass*) afecta els senyals per sobre i per sota d'una freqüència central especificada. Òbviament, un filtre passabanda té dues freqüències de tall. La diferència entre aquestes és l'**amplada de banda** (*bandwidth*).

La relació entre la freqüència central i l'amplada de banda d'un filtre passabanda es coneix com el **factor de qualitat (Q)** del filtre. Un filtre amb un Q alt tindrà una banda de pas estret. Un filtre amb un Q alt tendirà a ressonar depenent del disseny. Això ha portat a una associació del Q amb una característica anomenada **ressonància**, almenys en els cercles de síntesis.

L'oposat d'un filtre passabanda és un filtre **supsressor** (*notch*), que rebutja una banda al centre de l'espectre.

Figura 17. Filtre supressor de banda



A més de modificar l'amplitud de cada freqüència, **els filtres també modifiquen la fase**. Un gràfic de canvi de fase enfront de freqüència és la resposta de fase. Una resposta de fase ideal seria també una línia plana.

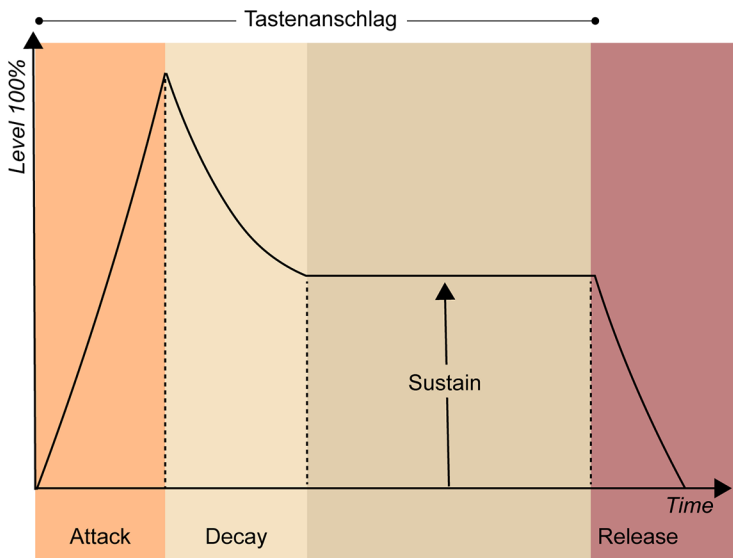
2.3. Fonts de modulació

El que fa la síntesi realment interessant és la **possibilitat de manipular, modificar o modular diferents paràmetres en el temps**. Un modulador pot fer canvis en la intensitat, en la freqüència o produir canvis en el timbre a partir de la modificació de qualsevol dels paràmetres vistos anteriorment.

2.3.1. Generadors d'envolupant

Una **envolupant dinàmica** defineix la durada d'un so en el temps. Es defineix a partir de quatre estats: atac, decaïment, sosteniment i extinció (*attack, decay, sustain, release*) (ADSR).

Figura 18. Envolupant dinàmica



2.3.2. Oscil·ladors de baixa freqüència (LFO)

Un **oscil·lador en una freqüència baixa** es pot utilitzar com una font de modulació i permet, per exemple, **atenuar** el volum d'un altre senyal (trèmolo) o **modifica el pitch** (*vibrato*), o, com veurem més endavant, en la síntesi FM.

2.3.3. Fonts aleatòries

Les fonts de modulació aleatòries ens permeten crear **variacions menys repetitives** en el nostre sistema; el soroll, per exemple, és també una font aleatòria de modulació.

2.3.4. Controladors

Segons l'eina que utilitzem per a sintetitzar, tindrem la possibilitat de controlar manualment certs paràmetres.

En el cas dels sintetitzadors, hi ha peres i botons per a controlar certs paràmetres, que fins i tot poden ser controlables amb sensors i una infinitat de fonts externes.

Reflexió

El teclat és un exemple de com controlar el canvi de freqüències.

Control per voltatge

Una eina amb la qual modifiquem els paràmetres en sintetitzadors és el control per voltatge. En els sintetitzadors modulars, per exemple, els mòduls es connecten entre ells amb cables de connexió, que envien voltatges d'un lloc a un altre. En altres sintetitzadors, el mateix procés passa internament.

El voltatge pot ser usat, per exemple, per a definir el to d'un oscil·lador, controlar la freqüència de tall d'un filtre, disparar i controlar una envoltant dinàmica, etc.

3. Tècniques de síntesi

Sintetitzar sons és un procés que es pot fer amb diferents mètodes o tècniques que utilitzen combinacions diferents de paràmetres i possibilitats. Avui dia combinem generalment diferents metodologies a l'hora de compondre o dissenyar una peça sonora.

3.1. Síntesi additiva

La síntesi additiva parteix de les idees expressades en el teorema de Fourier, a partir de les quals **qualsevol so periòdic pot descompondre's en una sèrie d'ones sinusoidals de diferents freqüències múltiples d'una freqüència fonamental**. Interpretant el principi al revés, en teoria resulta possible reconstruir qualsevol so periòdic mitjançant la combinació correcta de diferents sinusoidals. Per a aquest tipus de síntesi és **necessari un gran nombre d'oscil·ladors**, per la qual cosa és més viable digitalment.

L'*anàlisi i resíntesi* consisteix a **determinar l'evolució d'un so en el temps** per mitjà de l'anàlisi de Fourier, mesurant l'amplitud dels seus harmònics en diferents moments, per exemple, cent vegades per segon. A partir d'aquesta informació se sintetitza un nou so, que en teoria és idèntic a l'original.

3.2. Síntesi substractiva

La síntesi substractiva sorgeix de la idea oposada a la síntesi additiva. **Utilitza fonts sonores complexes**, com el soroll blanc, i modula el seu espectre harmònic per mitjà de filtres.

Un altre ús de la síntesi substractiva és el **vocoder**, que per mitjà del mètode d'*anàlisi i resíntesi*, analitza un so per determinar paràmetres de filtratge per aconseguir aquest so a partir de soroll blanc. Si en lloc de soroll blanc utilitzem un altre so per a ser filtrat, el so resultant tindrà les característiques del so analitzat.

Usos del vocoder

En 1962, un dels experiments desenvolupats a Bell Labs, el vocoder (creat per **John L. Kelly** i **Carol Lockbaum**), interpretà una versió de *Bicycle built for two*, que anys després va ser utilitzada per Stanley Kubrick a *2001: una odissea de l'espai*, on la computadora HAL9000 canta aquesta cançó mentre és desarmada per l'astronauta Dave Bowman.

Síntesi i resíntesi

Amb afany d'aconseguir recrear sons per mitjà de la síntesi, es van crear mètodes com l'*anàlisi i resíntesi*, que després han donat pas a noves formes possibles.

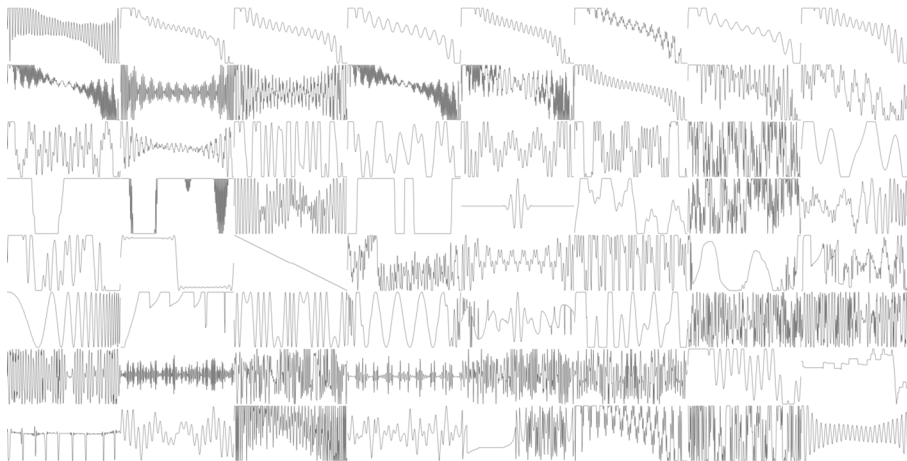
Vegeu també

<<https://www.youtube.com/watch?v=yiwhx3nqslg>>

3.3. Taula d'ones (*wavetable*)

Aquesta tècnica de síntesi **emmagatzema** imatges de formes d'ona en una **memòria digital** per ser reproduïdes combinant-les i variant-ne la velocitat. Aquestes formes d'ona s'emmagatzemen en taules que poden ser llegides en matrius de files i columnes d'ones, o fins i tot en taules de tres dimensions.

Figura 19. *Wave Edit* Editor de codi obert que permet dibuixar i manipular taules d'ona.



Vegeu també

[<https://waveeditonline.com/>](https://waveeditonline.com/).

3.4. Síntesi FM

La síntesi per modulació de freqüència (FM) és una tècnica de síntesi en què **la freqüència (portadora) d'un oscil·lador és modificada o modulada a velocitat audible** (més de 20 Hz per segon) **per mitjà d'un altre oscil·lador** (freqüència moduladora).

En la modulació de freqüència se sol tenir en compte un paràmetre denominat *harmonicitat*. Aquest paràmetre es determina per la relació entre les freqüències dels oscil·ladors: si la relació entre les dues freqüències és un nombre enter, és una relació harmònica, ja que són múltiples d'una freqüència fonamental. Un so inharmoni, per exemple, és el so acampanat clàssic de la síntesi FM.

John Chowning és el creador d'aquest tipus de síntesi, en la qual es van basar els sintetitzadors DX7 de Yamaha, que van popularitzar aquesta sonoritat. En les peces compostes per John Chowning —*Turenas*, 1972; *Stria*, 1977; o *Phoné*, 1980-1981— podem escoltar la sonoritat de la síntesi FM.

3.5. Síntesi granular

En 1947 el físic **Dennis Gabor** teoritzà sobre la possibilitat de reduir el so a *quàntums* o trossos petits i indivisibles, possibles de percebre. Cada «gra» individual té una durada entre 10 a 30 mil·lisegons i pot ser una forma d'ona simple, complexa o un so enregistrat, amb diferent durada, envolupant i altura.

Iannis Xenakis és considerat el primer compositor a emprar la síntesi granular en les peces *Analogique A* i *Analogique B* (1958-1959). Curtis Roads va escriure el primer programari de síntesi granular en 1978 i Barry Truax el primer programa de síntesi granular en «temps real» en 1986.

Els paràmetres de la síntesi granular són molt diversos i poden ser utilitzats de maneres diferents. Els més utilitzats són la velocitat de reproducció del gra, la longitud, el punt d'inici i final, l'aleatorietat i l'altura, entre d'altres.

Lectura recomanada del capítol:

Roads, C. (1996). *The computer music tutorial*. The MIT Press.

Part 2: Sound synthesis: Introduction to digital sound synthesis with John Strawn; sampling and additive synthesis; multiple wavetable, wave terrain, granular, and subtractive synthesis; modulation synthesis; physical modeling and formant synthesis; waveform segment, graphic, and stochastic synthesis.

Bibliografía

Bejarano Calvo, M. (2006). *A vuelo de murciélago. El sonido, nueva materialidad*. Bogotá : Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Artes.

Bjorn, K.; Meyer C. (2018). *Patch & Tweak. Exploring Modular Synthesis*. Bbooks.

Jenkins, M. (2007). *Analog Synthesizers. Understanding, performing, buying: from the legacy of Moog to software synthesis*. Elsevier.

Roads, C. (1996). *The Computer Music Tutorial*. The MIT Press.

Shaeffer, P. (1988). *Tratado de los objetos musicales*. Alianza Música.

Von Helmholtz, H. (1895). *Sensations of Tone: Psychological Basis of Theory of Music*. Londres / Nueva York: Longmans, Green, and Co.

Páginas web:

120 Years. <<https://120years.net/>>

Sound synthesis using Reaktor. <<https://www.kadenze.com/courses/sound-synthesis-using-reaktor-vi/info>>

Tipos de síntesis. <<https://musicalwars.blogspot.com/2007/09/tipos-de-sntesis.html>>

