

SUPERCRITICAL

S Y N T H E S I Z E R S

Digital brain, Analog heart.

Analogisen ja digitaalisen signaalinkäsittelyn rajamailla

Timo Alho, Supercritical Oy
"Sulautetut ja laiteläheinen
ohjelmointi", Seinäjoki
25.8.2022

Signaalinkäsittely

Analoginen

“Rajaton” kaista

Särö

Kohina

“Mihin komponenttibudjetti riittää”

Digitaalinen

Nyquist

Laskostuminen (aliasing)

Kvantisaatio

“Mitä vaan halutaan”

Syntetisaattorit

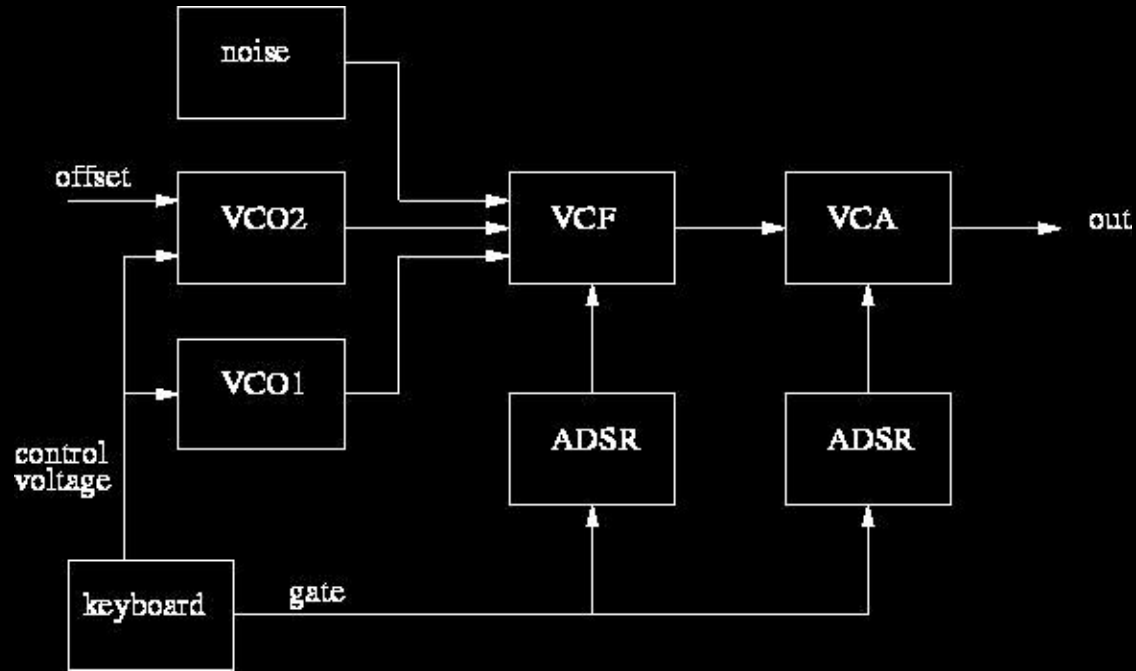
Analogisyntetisaattori:



Virtuaalianalogisyntetisaattori:



Tyypillinen lohkokaavio:



SUPERCritical

S Y N T H E S I Z E R S

Supercritical Oy, perustettu 2019

Syntetisaattoreita, tähän mennessä “Eurorack” -syntetisaattorimoduuleja

- Demon Core Oscillator -oskillaattori
- Neutron Flux Filter -stereofiltteri

Analogi vai digitaalinen? Molemmat!



Demon Core Oscillator

Speksit:

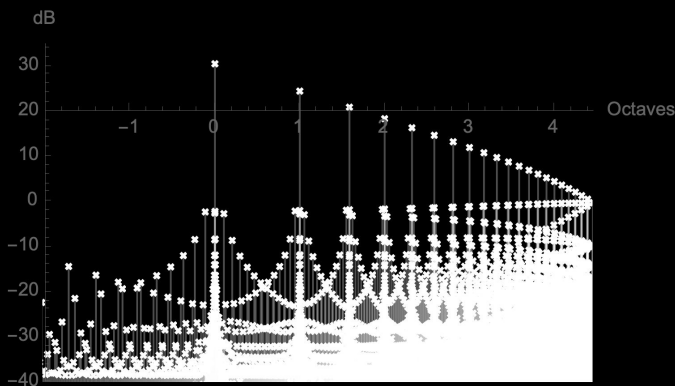
- 16 saha- tai pulssiaaltoa
- Ei aliasingia, ei epäharmonista säröä
- Kaistanleveys $\gg 20\text{kHz}$
- Kontrollinopeus $\geq 1\text{kHz}$
- Kullekin aallolle erikseen kontrolloitava taajuus, vaihe ja voimakkuus
- CV ja MIDI-ohjattava



Toteutusvaihtoehdot:

Digitaalinen:

- Laadukas DAC
- Laadukas anti-aliasing algoritmi saha- ja pulssiaalloille
- Ajetaan x16 $\Rightarrow$ merkittävä määrä prosessoritehoa
- Digi on ruma sana synaharrastajien keskuudessa



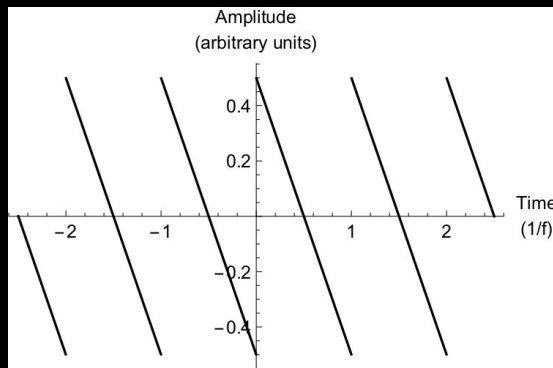
Analoginen:

- Saha- ja pulssioskillaattori, n. kolme transistoria, kaksi op-amp -sektiota ja komparaattori, yksi jänniteohjattu vahvistin, kolme analogista ohjausjännitettä sekä yksi kytkin per ääni
- x16 $\Rightarrow$ kallis, epäluotettava ja iso piirilevy
- Viritys: standardi vireohjaus hyvin herkkä lämpötilalle $\Rightarrow$ kompensoitava joko analogisesti tai ohjausjännitteessä

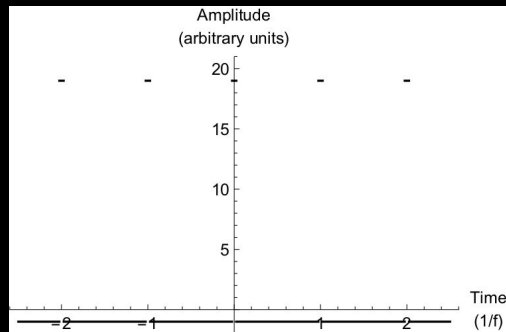
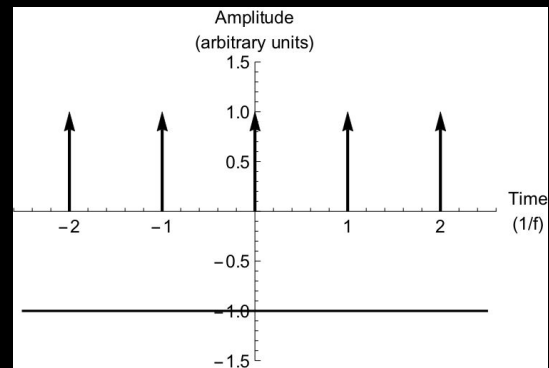


(audio from Wikimedia commons)

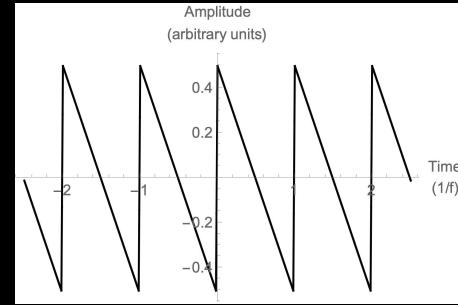
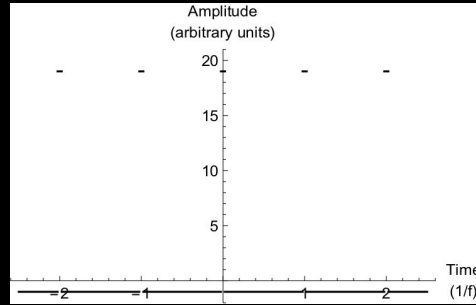
Yhdistelmä:



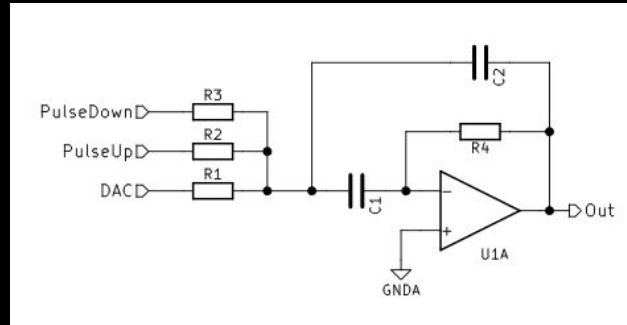
d/dt
 $\Rightarrow$



MDCO -teknologia

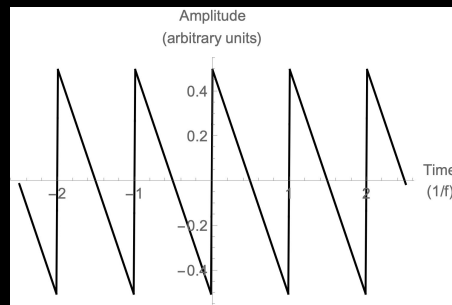
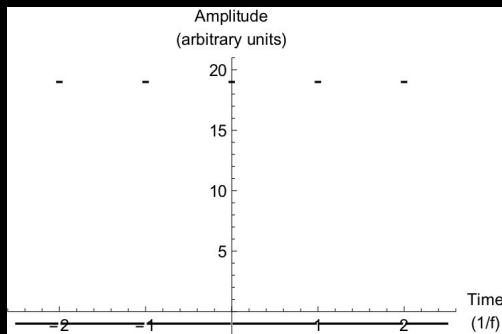


Pulssijono + offset $\Rightarrow$ Integraattori $\Rightarrow$ Saha



MDCO -teknologia

- Pulssin leveys säättää amplitudia
- DACin samplerate = ohjausrate
- Integraattorin on vuodettava saturaation välttämiseksi $\Rightarrow$ efektiivinen HPF
- Ei laskostumista
- Ei kvantisaatiosäröä tai muuta epäharmonista säröä
- Vire ja vaihe täydellisesti säädettävissä mikrokontrollerilta



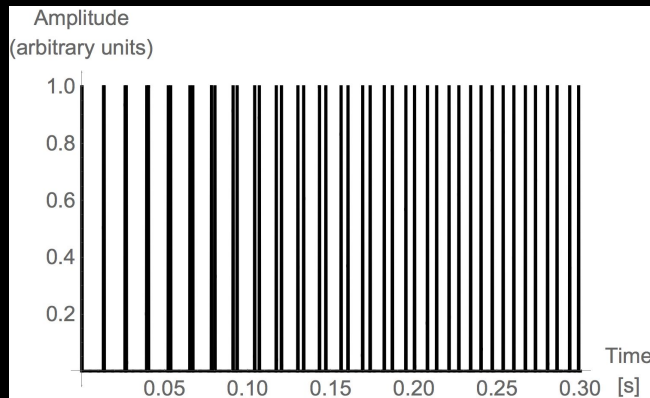
Useampi aalto

Integrointi on lineaarinen operaatio $\Rightarrow$ pulssijonot voidaan summata ja integraattorit yhdistää

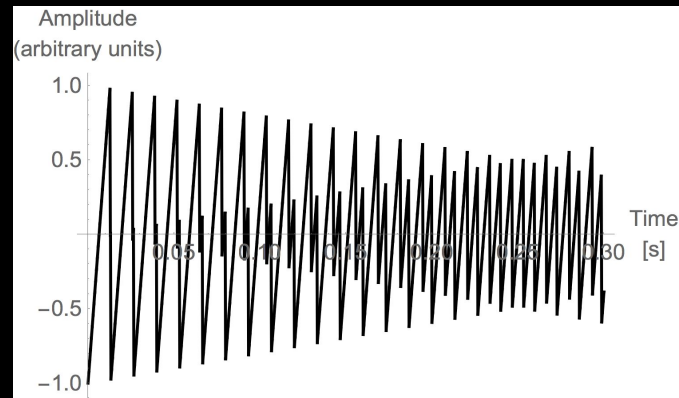
- Offsetit voidaan summata ennen DACia
- Kukin aaltomuoto vaatii yhden timer -ulostulon, jotka summataan
- Analogista ainoastaan pulssien summaus ja yksi integraattori

Useampi aalto

Pulssijonon summain summaa lähes aina 0:aa tai ykköstä $\Rightarrow$ voidaan lomitaa mikrokontrollerilla



$\int$
 $\Rightarrow$



Toteutus: lomitetaan pulssit firmwaressa, ajetaan DMA:lla STM32:n timereihin

Lopulliset sektiot:

Analogi:

- Minimissään yksi op-amp sektio, joka summaa DACin ja pulssit sekä toteuttaa vuotavan integroinnin
- Käytännössä kahdella sektiolla parempi SNR

Mikrokontrolleri:

- Yksi timer, kaksi PWM -kanavaa
- 12-bit DAC riittää
- DMA, vähän kaistanleveyttä mutta vaatii pienen latenssin $\Rightarrow$ korkea prioriteetti
- Hyvin maltillisesti laskentatehoa

Lopulliset sektiot:

Analogi:

- Minimissään yksi op-amp sektio, joka summaa DACin ja pulssit sekä toteuttaa vuotavan integroinnin
- Käytännössä kahdella sektiolla parempi SNR

Mikrokontrolleri:

- Yksi timer, kaksi PWM -kanavaa
- 12-bit DAC riittää
- DMA, vähän kaistanleveyttä mutta vaatii pienen latenssin $\Rightarrow$ korkea prioriteetti
- Hyvin maltillisesti laskentatehoa



$\Rightarrow$ 16x saha tai pulssi yhdellä - kahdella op-amp -sektiolla, alle kymmenellä passiivilla, mikrokontrollerin peripheraleilla + koodia

Neutron Flux Filter

Speksit:

- Neljä napaa ja neljä nollaa vapaasti konfiguroitavissa s-tasolla, stereona
- Cutoff -parametri siirtää taajuusvastetta muuttamatta sen muotoa
- Kaistanleveys $\gg 20\text{kHz}$
- Cutoff ja sitä moduloiva FM control-rate vähintään 10kHz
- Hyvänkuuloinen (subjektiivista) aliasing-vapaa särö haluttaessa



Toteutusvaihtoehdot:

Digitaalinen:

- Laadukas ADC ja DAC
- Itse filtti melko triviaali
- Ohjausyhtälöt hieman työläitä
- Cutoff-säätö vaatii hieman työtä muodon säilyttämiseksi
- Särö $\Rightarrow$ aliasing $\Rightarrow$ koko algoritmi ajettava supersamplattuna $\Rightarrow$ paljon laskentatehoa
- Digi on ruma sana synaharrastajien keskuudessa

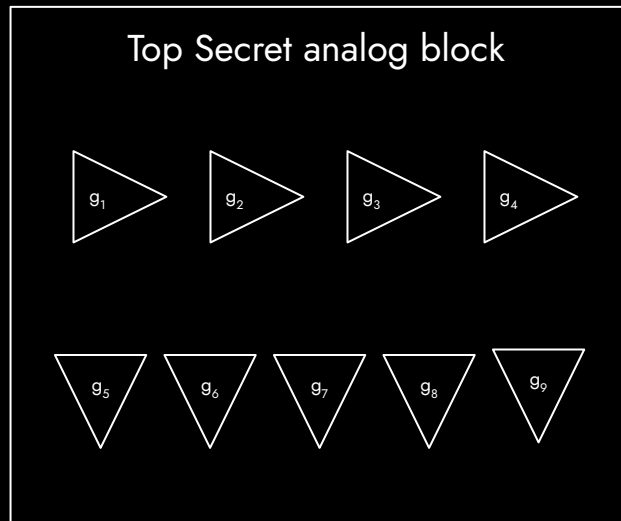
Analoginen:

- Ohjausyhtälöt: tekemätön paikka

Yhdistelmä:



9x ohjaussignaali



Tulos

- Analoginen signaalipolku $\Rightarrow$ kaistanleveys n. 100kHz (RC:llä rajoitettu)
- Control-rate cutoffille 20kHz (RC:llä rajoitettu)
- Muille parametreille (mikrokontrollerin kautta) 4kHz
- Vasteet täysin morffattavissa $\Rightarrow$ syntetisaattoreissa ennen näkemättömiä (kuulemattomia?) vasteita
- Vasteet päivitettävissä
- Laajalti kehuttu soundi, säröllä ja ilman (ei vaatinut erillistä suunnittelua!)

Lopulliset sektiot (stereosuotimelle):

Analogi:

- 9 tupla-OTAA
- 8 quad-opampia
- Lajä transistoreita ja passiiveja
- 3 x 4052-multiplexeriä

Mikrokontrolleri:

- SPI, timer ja DMA
- Ulkoinen 4-kanavainen DAC
- Kohtuullisesti laskentatehoa (STM32F4 @ 100MHz riittää ilman erityistä optimointia)

Lopulliset sektiot (stereosuotimelle):

Analogi:

- 9 tupla-OTAA
- 8 quad-opampia
- Lajä transistoreita ja passiiveja
- 3 x 4052-multiplexeriä

Mikrokontrolleri:

- SPI, timer ja DMA
- Ulkoinen 4-kanavainen DAC
- Kohtuullisesti laskentatehoa (STM32F4 @ 100MHz riittää ilman erityistä optimointia)

⇒ Mielivaltainen 4 napaa 4 nollaa vaste analogisella signaalipolulla, vain n. 2x komponenttimäärällä verrattuna kiinteään vasteeseen.

Erilaisia tapoja hybridoida

Signaalin muokkaus:

Etsitään signaali joka on helppo tuottaa digitaalisesti, muokataan se analogisesti lopulliseen muotoon

Demon Core

Signaalin ohjaus:

Puretaan ohjaus analogipiiristä ja siirretään se digitaaliseksi

Neutron Flux

Variable rate:

Synkronoidaan DAC signaalin muutoksiin (esim. signaalin jaksoon $\Rightarrow$ ei aliasingia)

Wanhat samplerit

Hybridi
Karplus-Strong?

Oma vaihtoehtosi?

This box is intentionally left blank

Esimerkki ei-audiosovelluksesta

Control loop (yleistetty PID), jossa järjestelmän kaistanleveys on iso, mutta parametrit vaihtelevat (hitaasti) => Neutron Flux Filteriä vastaava ohjattava analogiblokki, parametrien automaattinen viritys mikrokontrollerilta.

Kiitos!

Kysyttävää?

Yleisön ajatuksia, olisiko analogi - digitaali -hybridistä hyötyä?

SUPERCRITICAL

S Y N T H E S I Z E R S

