

TNM103 - LJUDTEKNIK

LJUDSYNTES

LJUDSYNTES

- Vilken ansats?
Matematisk? Fysisk? Elektronisk?
 - Baserat på en analogsynt...
- 

$$\tilde{\rho}(p, \omega) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-ipx} \rho(x, t) dx$$

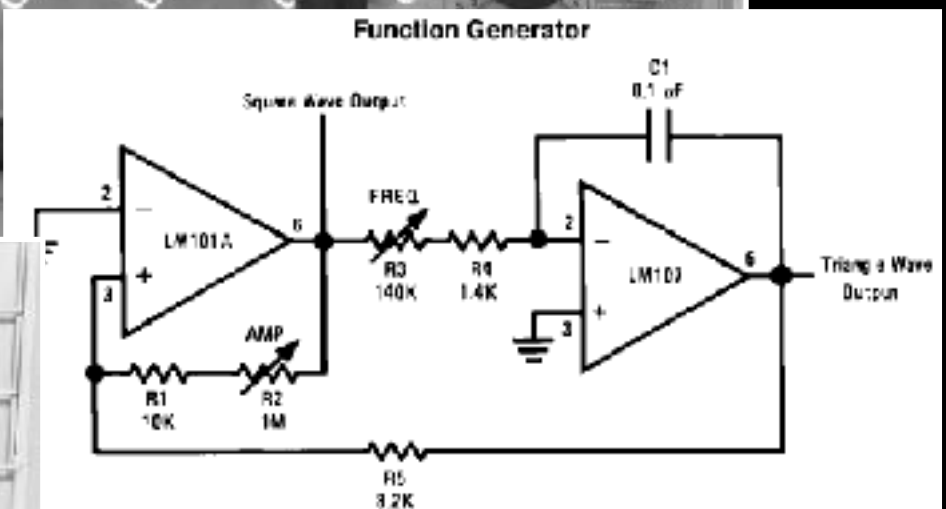
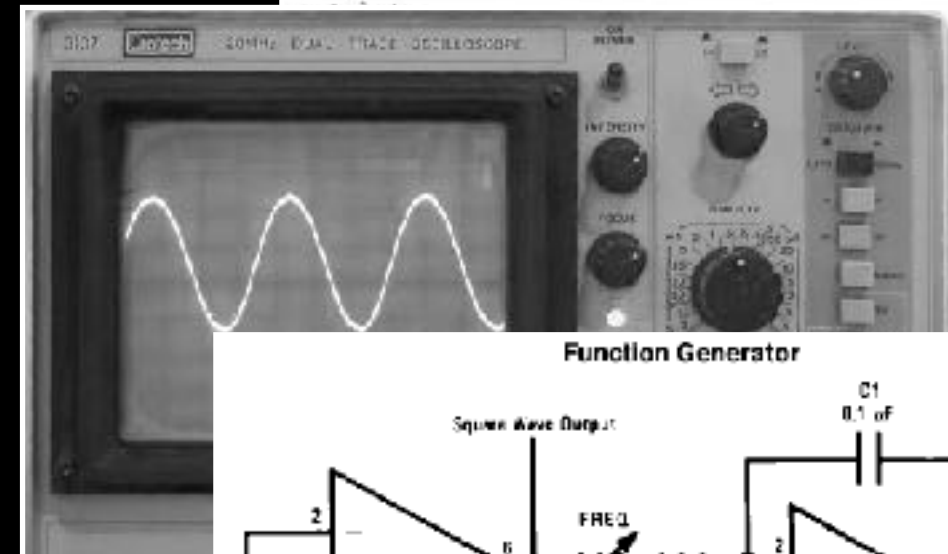
$$\tilde{\delta}(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-ipx} x dx$$

$$= \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \left[\frac{e^{-ipx}}{i p} \left(\frac{1}{p^2} - \frac{px}{i} \right) \right]_{-\infty}^{\infty}$$

Int by parts

$$x \int_{-\infty}^{\infty} e^{-ipx} dx = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{e^{-ipx}}{i p} dx$$

$$= -x \frac{e^{-ipx}}{i p} + \frac{e^{-ipx}}{p^2}$$



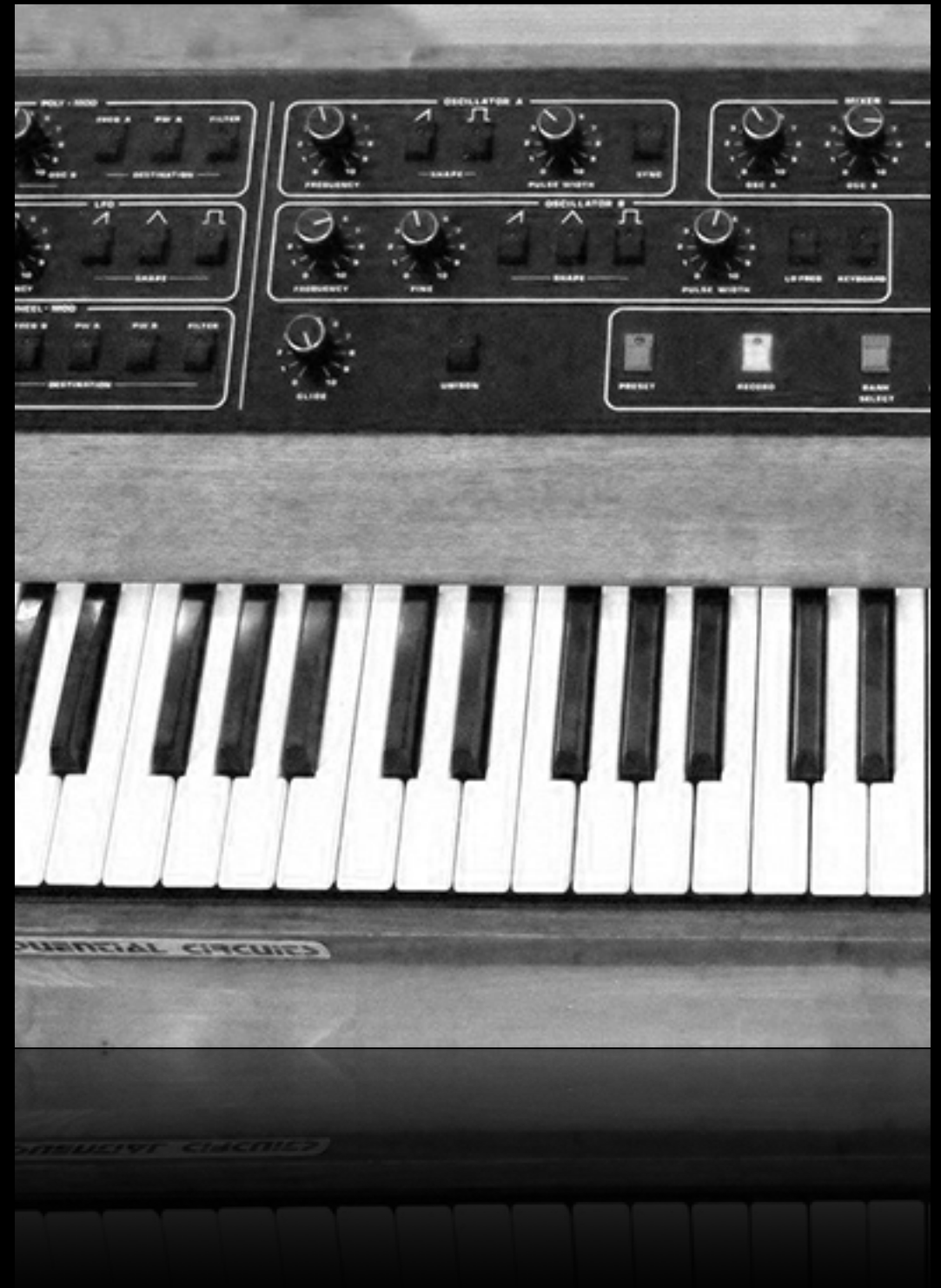
KORT HISTORIA

- 1870's - Elisha Gray
Music Telegraph
- • 1917 - Léon Theremin
- 1935 - Laurens
Hammond
- • 1939-40 - Homer Dudley
Vocoder and Voder
- 1942 - Harold Rhodes
- • 1950's - RCA Synthesiser



KORT HISTORIA

- 1963 - Moog Synthesizers
- 1963 - Buchla Syntesizers
- 1963 - The Synket
- 1970 - MiniMoog
- 1974 - Oberheim 4-voice
- 1977 - Sequential Circuits Prophet 5



KORT HISTORIA

- 1979 - Fairlight CMI
- 1982 - Roland TB-303
- 1983 - Yamaha DX7
- 1987 - Roland D-50
- 1988 - Korg M1
- VSTi
- Analogue revival
- ...



TNM103 - LJUDTEKNIK

SUBTRAKTIV LJUDSYNTES

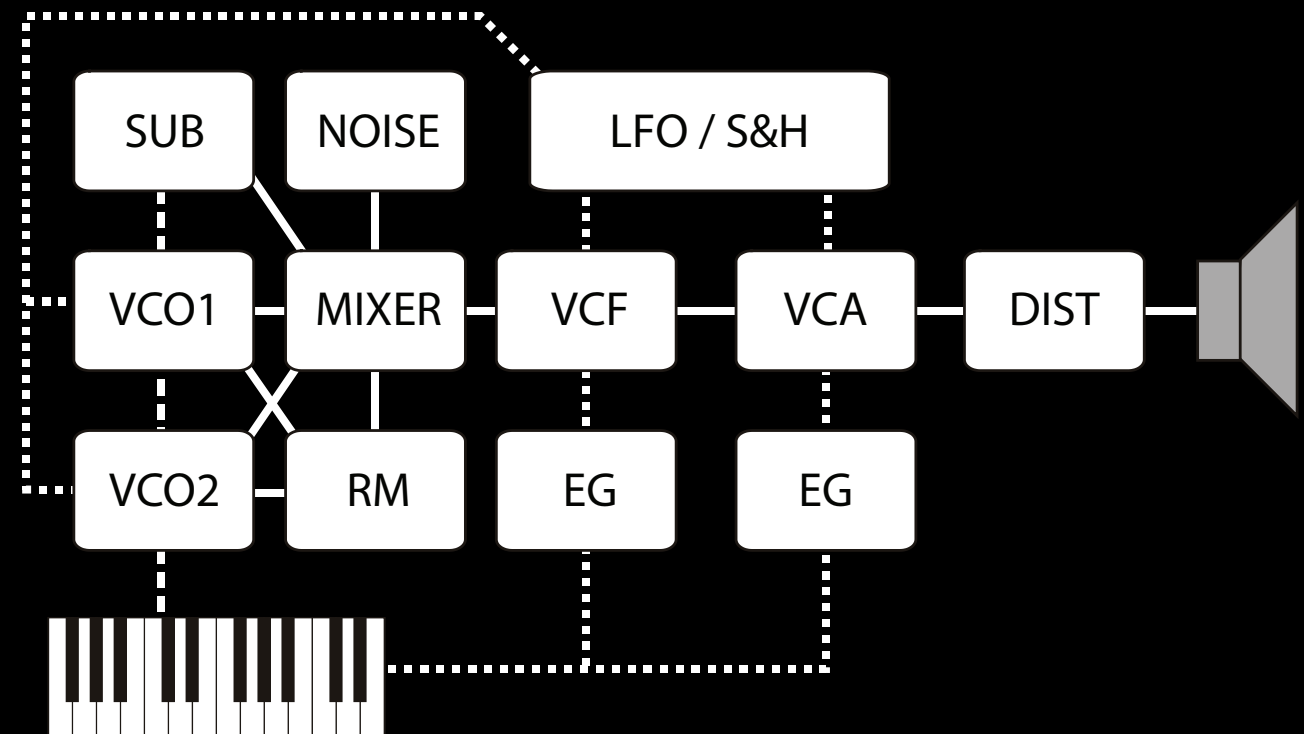
SUBTRAKTIV LJUDSYNTES

- Enklare att åstadkomma med analog elektronik jämfört mot additiv ljudsyntes.
- Grundtanken är att ta en tämligen komplex vågform och sedan ta bort harmonin till önskat ljud uppnås.



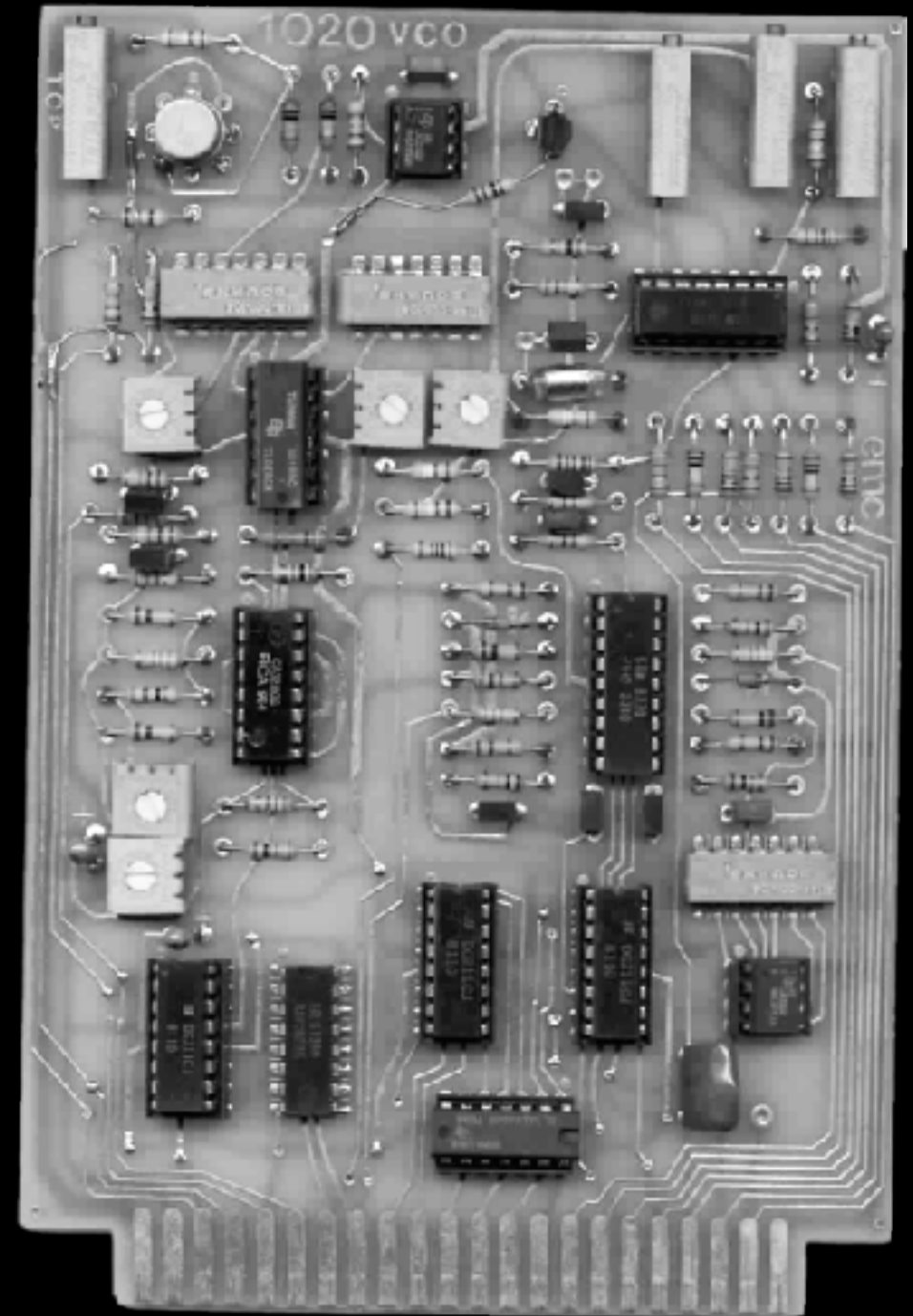
ANALOGSYNTEN

- Oscillatorer, spänningsstyrda (VCO)
- Filter, spänningsstyrda (VCF)
- Förstärkare/Attenuatorer, spänningsstyrda (VCA)
- Envelopegenerator (EG)
- Lågfrekvensoscillator (LFO)
- Mixer
- ...



OSCILLATORN, VCO

- Additiv/subtraktiv syntes
- Spänningsstyrd...
 - V/Oct (log)
 - V/Hz (lin)
 - MIDI
- Olika vågformer
- Grundfrekvens
- Övertoner, harmonik



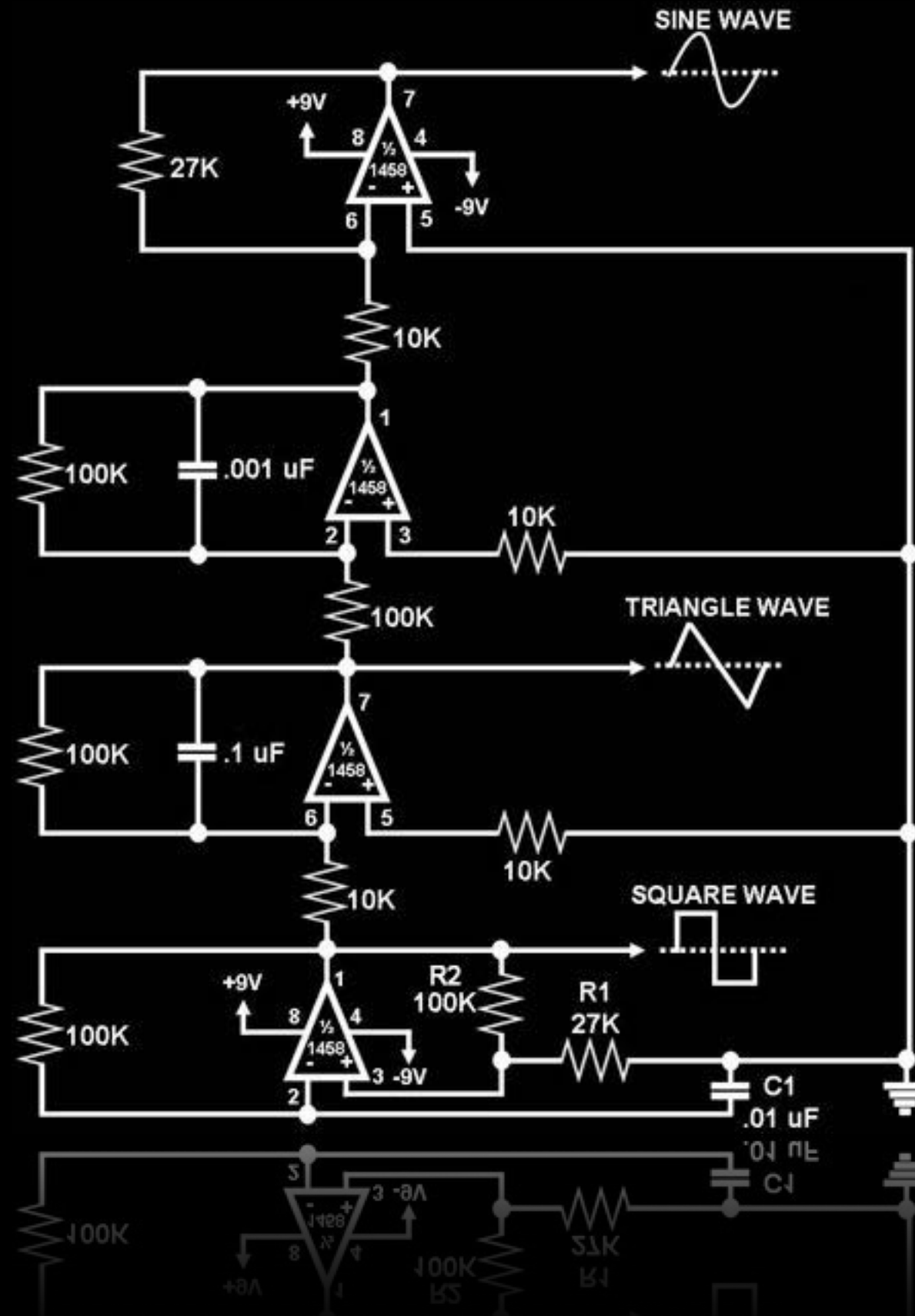
VÅGFORMER

Inverterare

Integrator

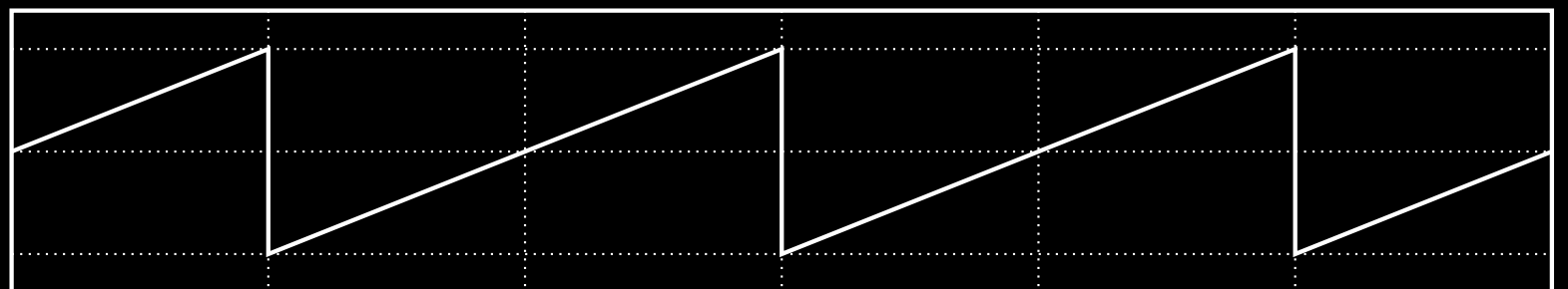
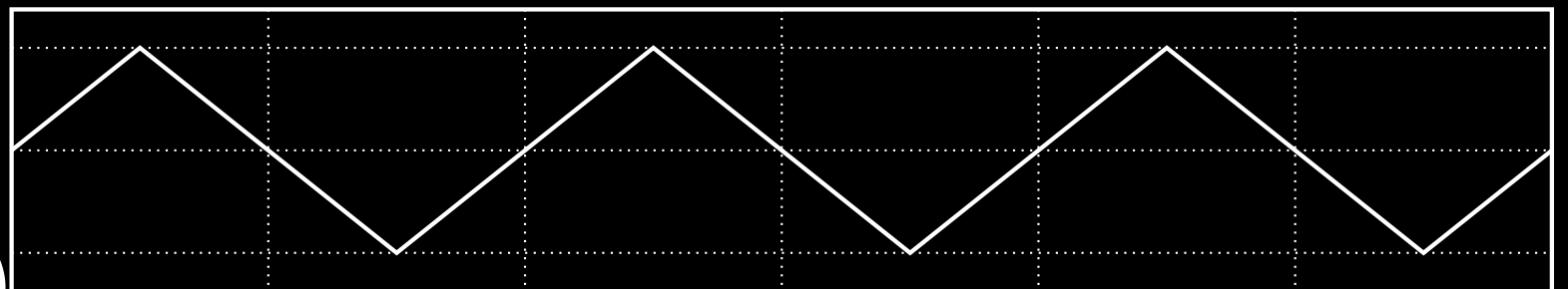
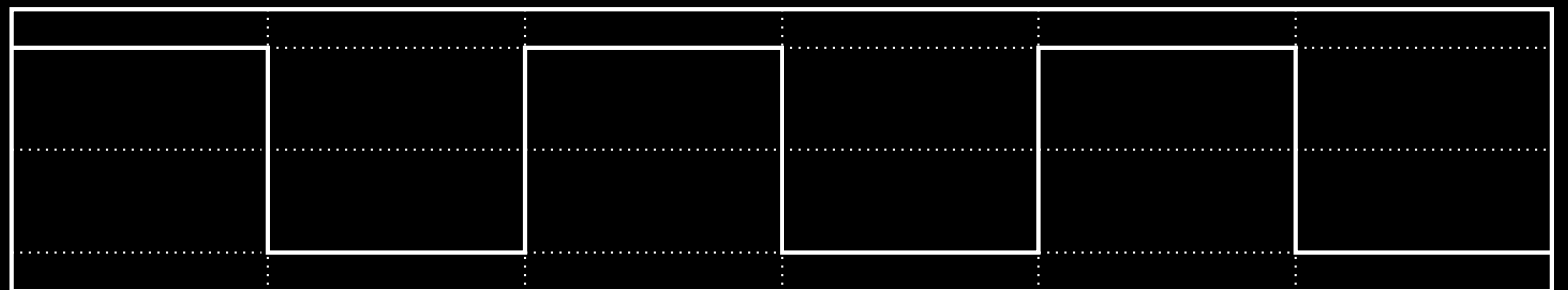
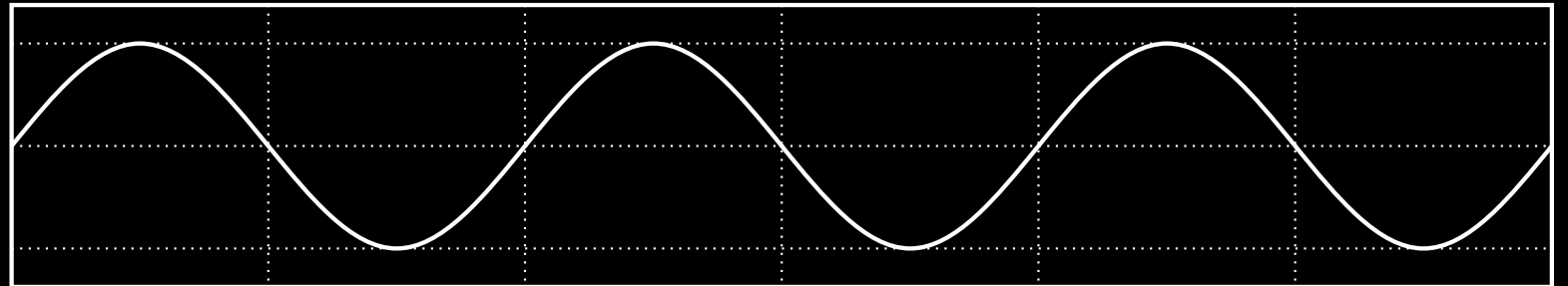
Integrator

Astabil multivibrator

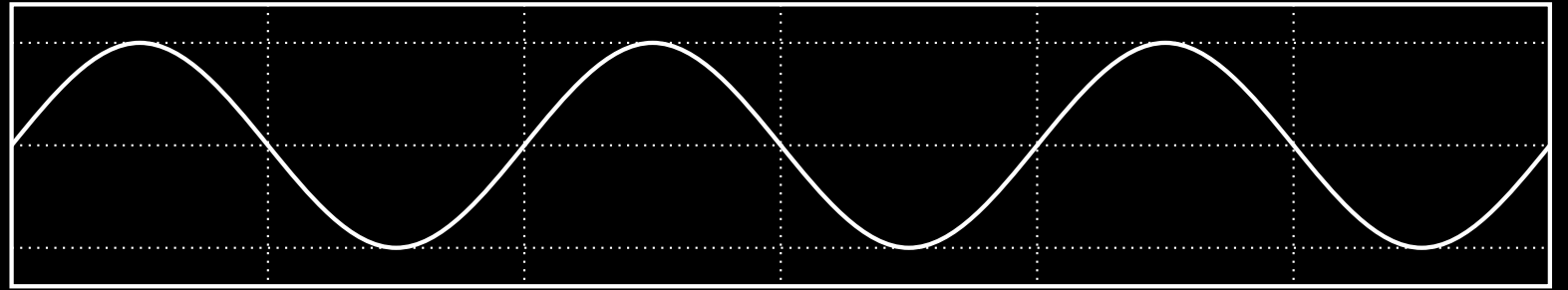


GRUNDVÅGFORMER

- Sinus
- Fyrkant (puls)
- Triangel
- Sågtand
(fallande/stigande)

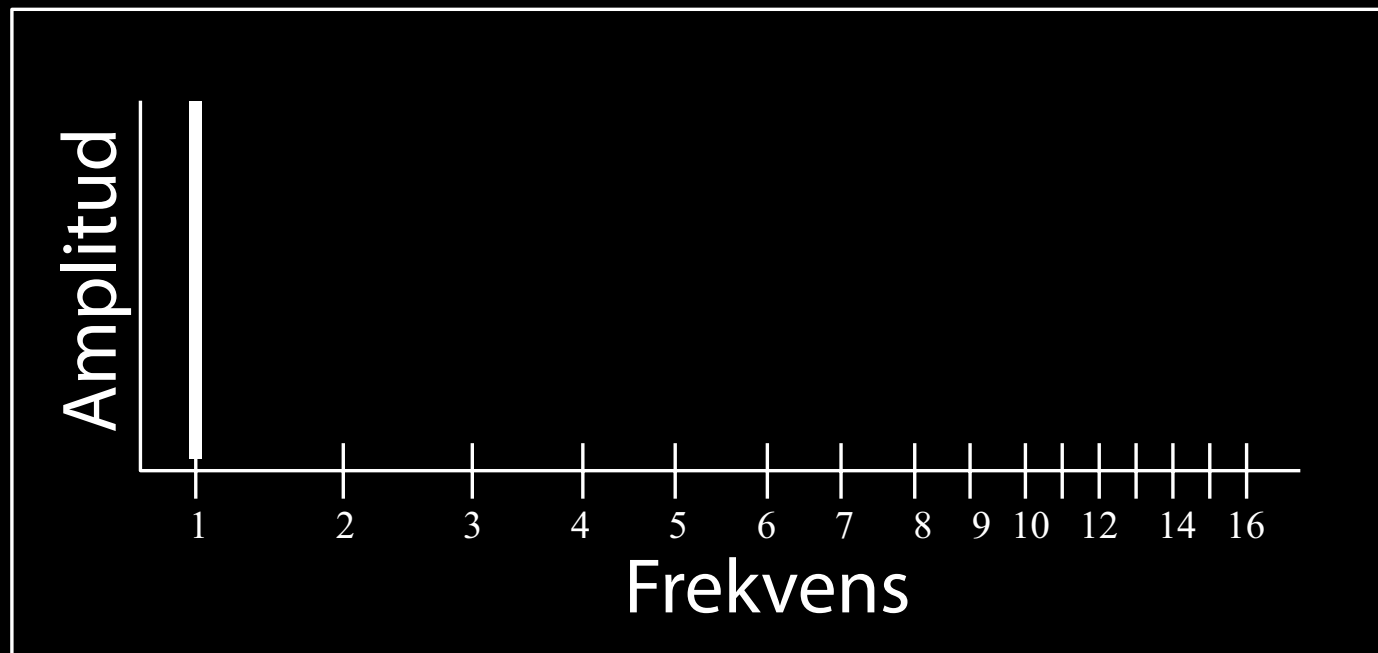


SINUS



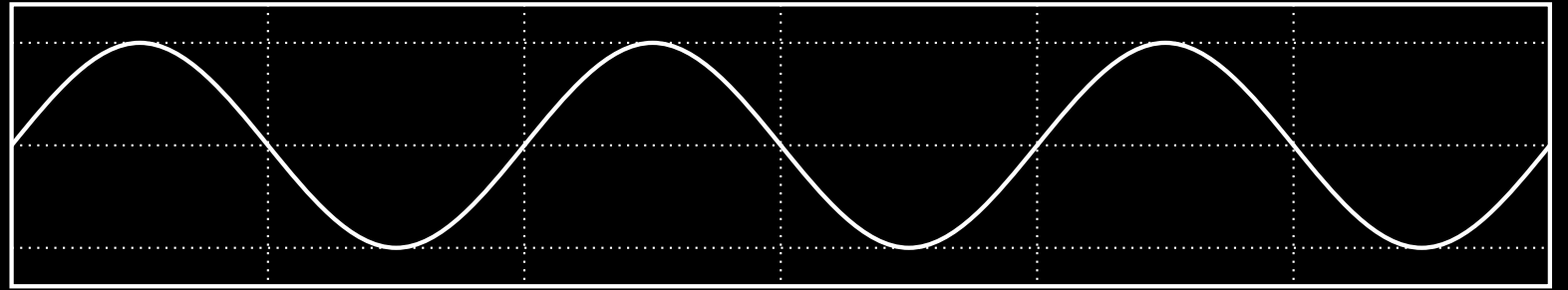
- Inga övertoner eller harmonik

$$y(t) = A \cdot \sin(\omega t + \phi)$$



- Okarina, trumljud, låga basljud, mjuka ljud

SINUS



- Användbar för kontrollspänningar
- Sinusvågen kan användas som byggblock... (additiv ljudsyntes, FM-syntes)
- Matlab:

```
Fs = 44100; % Samplingsfrekvensen
```

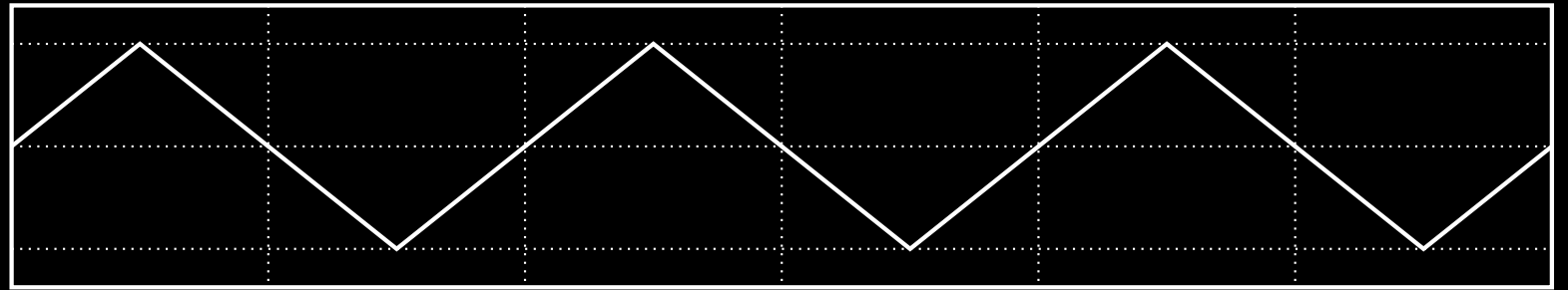
```
freq = 440; % Frekvensen på ljudet i Hz
```

```
soundLength = 2; % Längden på ljudet i sekunder
```

```
t = (0:(1/Fs):1/soundLength); % Tidsvektor
```

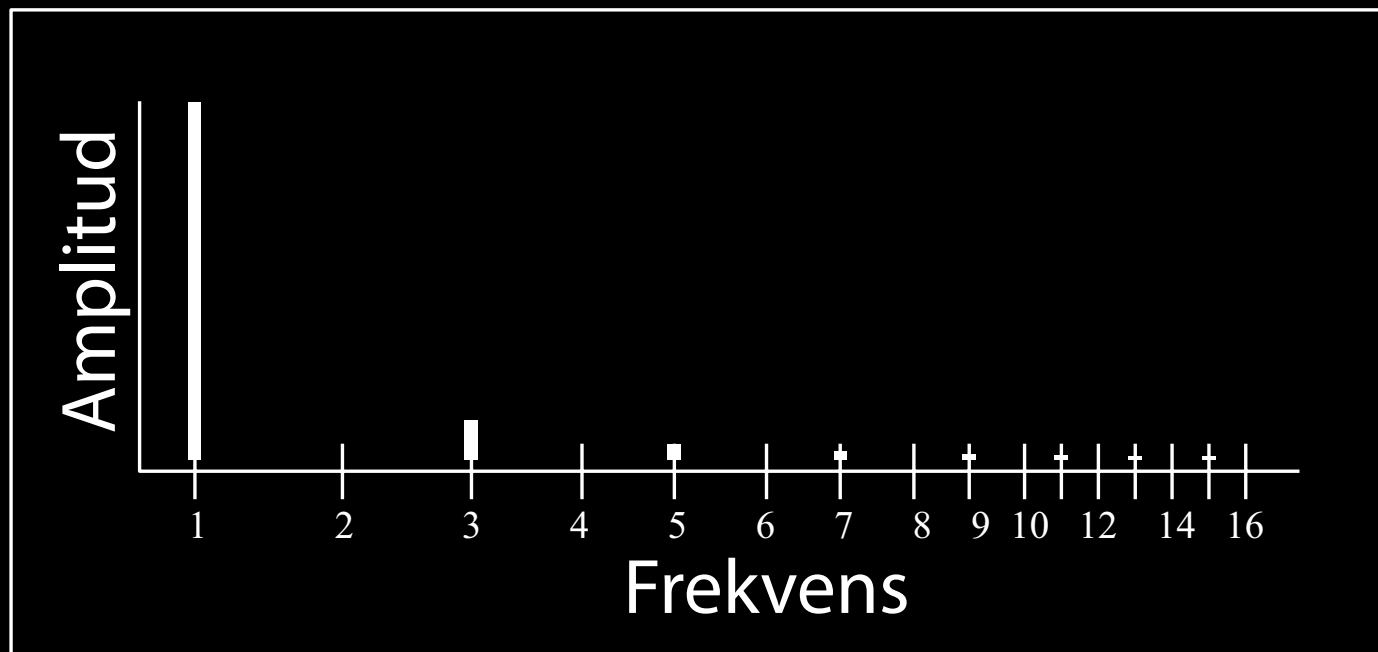
```
sineSound = sin(2*pi*freq.*t); % Skapa sinusvågen
```

TRIANGEL



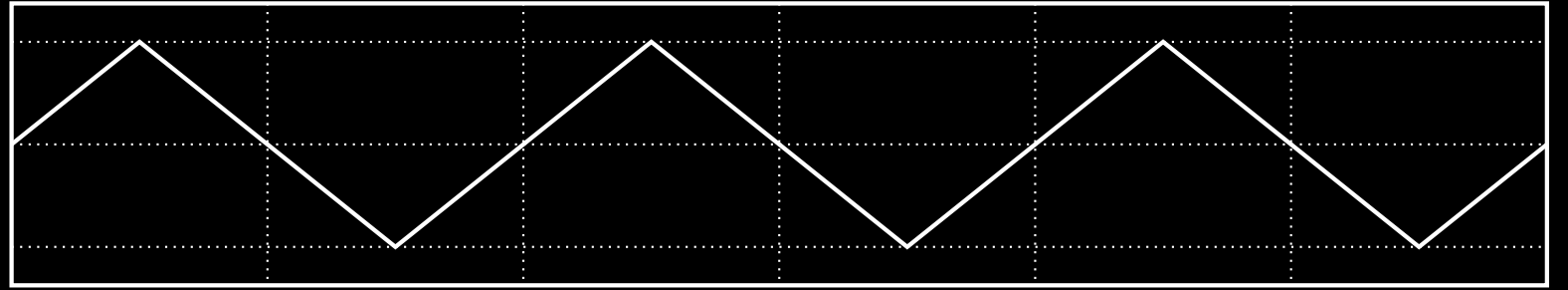
- Udda övertoner, snabb roll-off

$$X_{\text{triangle}}(t) = \frac{8}{\pi^2} \sum_{k=0}^{\infty} (-1)^k \frac{\sin((2k+1)\omega t)}{(2k+1)^2}$$



- Flöjt, låga basljud, tämligen mjuka ljud

TRIANGEL



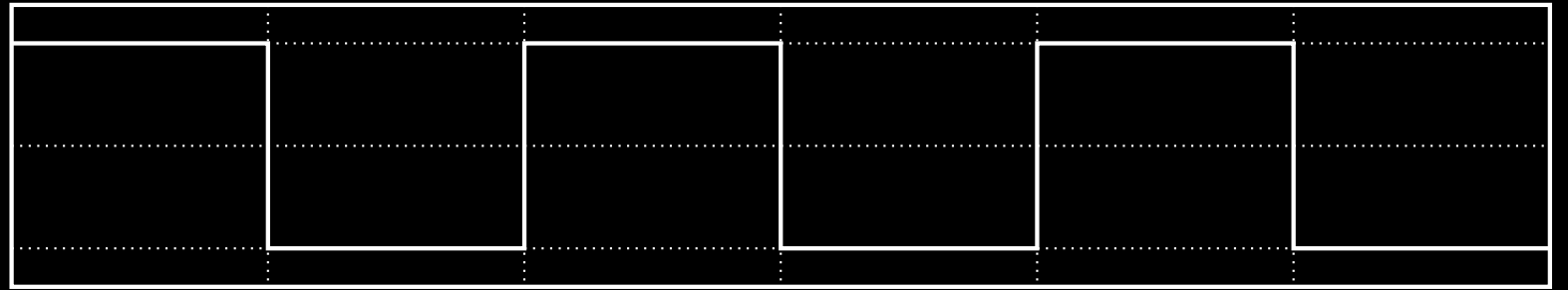
- Användbar som kontrollspänning
- Matlab:

```
dutyC = 0.5; % Sätt duty cycle till 50% för ren triangel
```

```
% Skapa triangelvågen
```

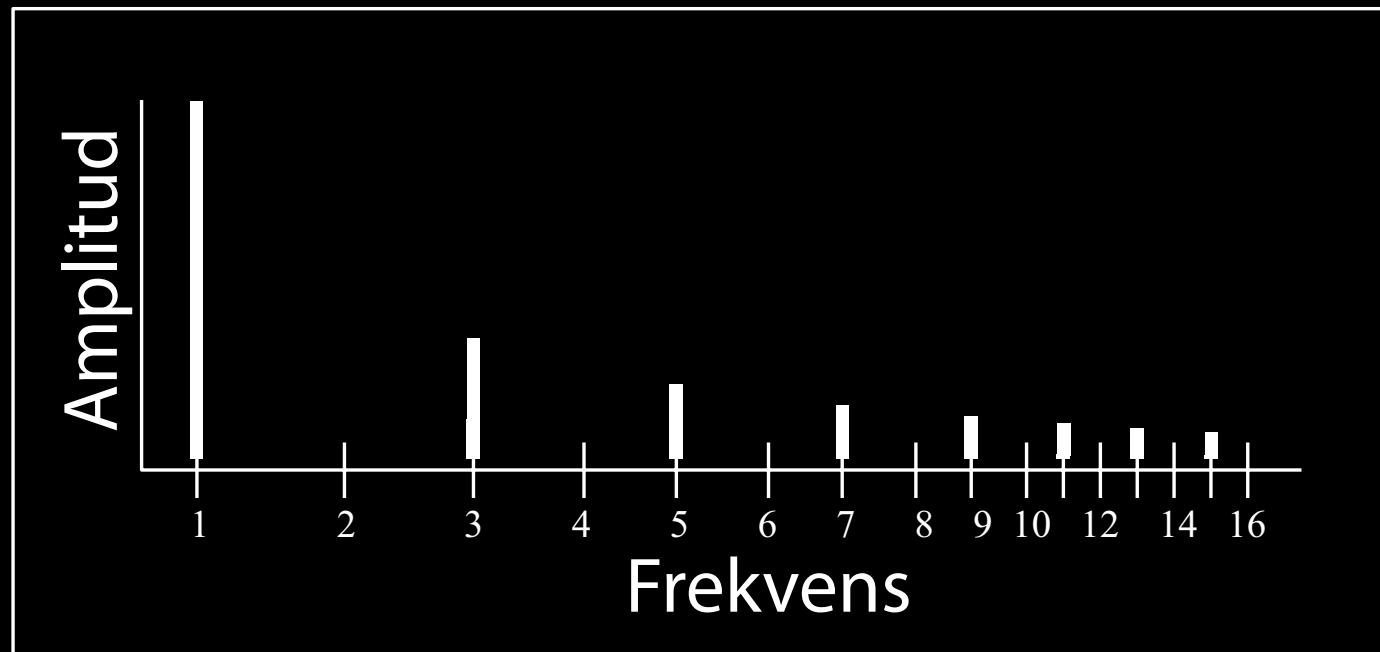
```
triSound = sawtooth(2*pi*freq.*t,dutyC);
```

FYRKANT



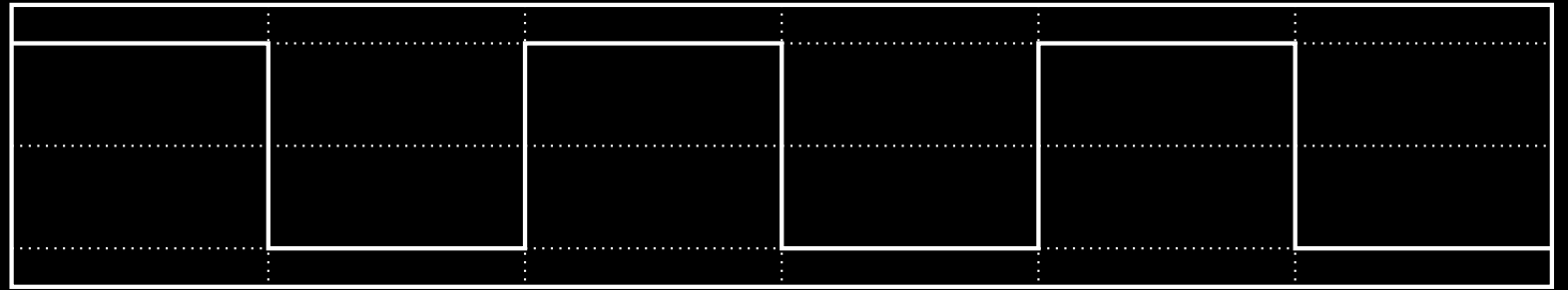
- Udda övertoner med mindre brant roll-off

$$x_{\text{square}}(t) = \frac{2}{\pi} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\sin(2\pi(2k-1)ft)}{(2k-1)}$$



- Träblås, basljud, syntljud, chiptune, vassare ljud

FYRKANT



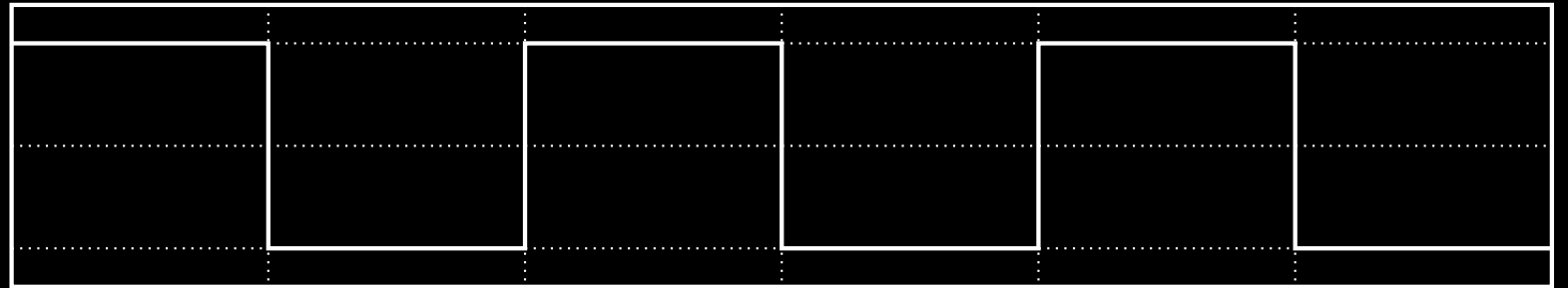
- Digitala signaler/klocksignaler
- Synka oscillatorer/resetta en annan oscillator...
- Variabel pulsbredd
- Matlab:

```
pulseW = 0.5; % Sätt pulsbredden till 50% för fyrkantsvåg
```

```
% Skapa fyrkantsvågen
```

```
sqrSound = square(2*pi*freq.*t,pulseW);
```

FYRKANT



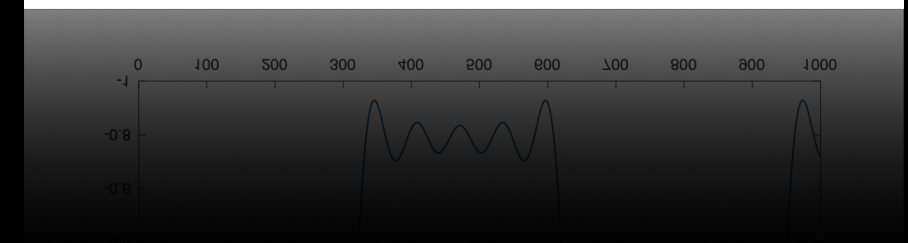
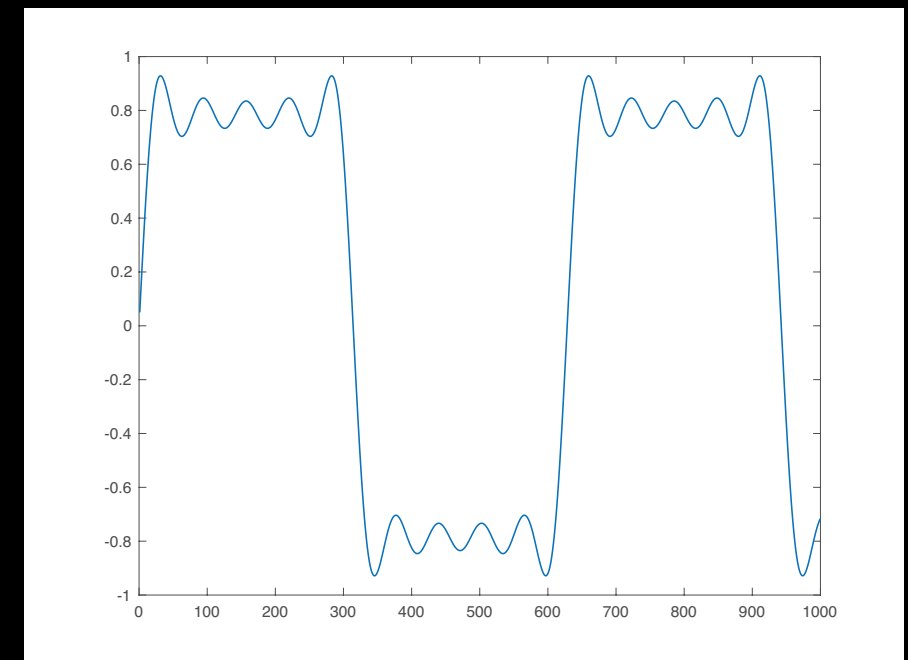
- Frekvenssyntes (Fourierserier)

```
n=5;
```

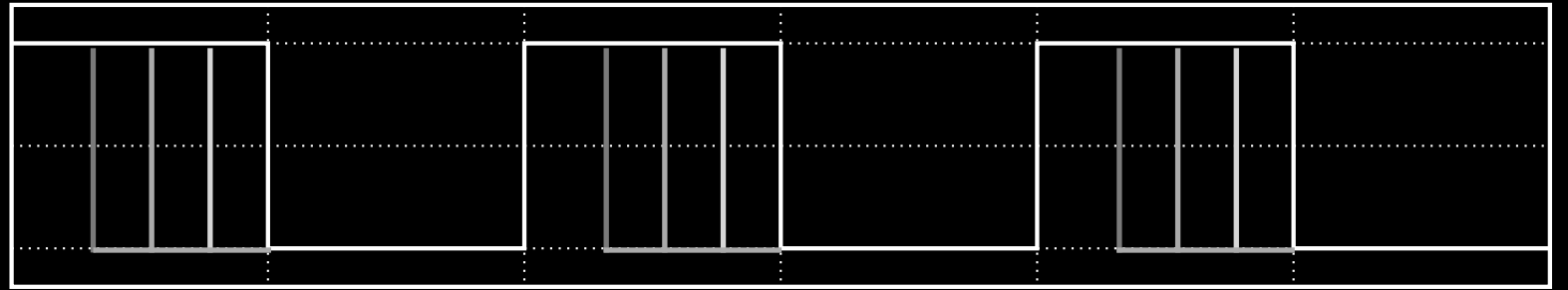
```
waveVector = zeros([1,1000]);
```

```
for i= 1:2:2*n  
    waveVector = waveVector + 1/  
i*sin(i*0.01*(1:1000));  
end
```

```
plot(waveVector);
```



PULS

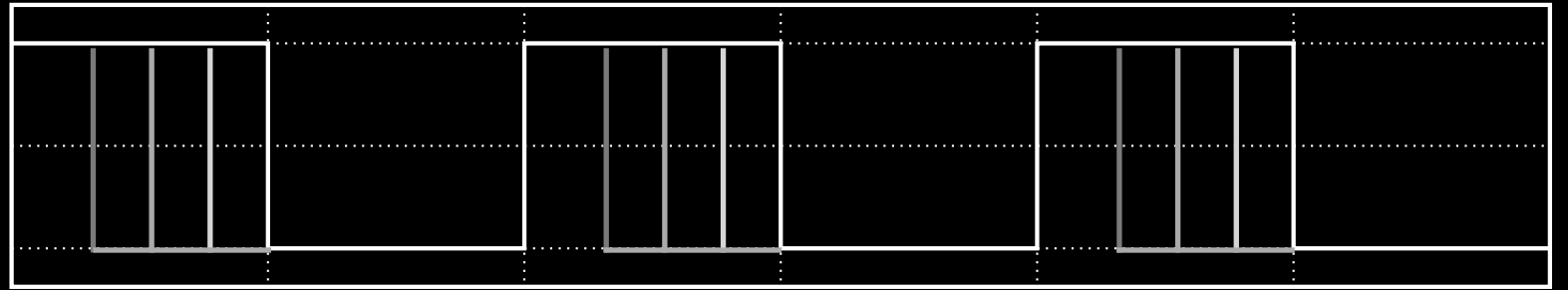


- Fyrkantsvåg med annan pulsbredd än 50%
- Pulsbredden ändrar övertonsserien
- Max och min ger inga ljud

$$f(t) = \frac{\tau}{T} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2}{n\pi} \sin\left(\frac{\pi n \tau}{T}\right) \cos\left(\frac{2\pi n}{T} t\right)$$

- Basljud, chiptune, vassare ljud än fyrkantsvåg

PULS



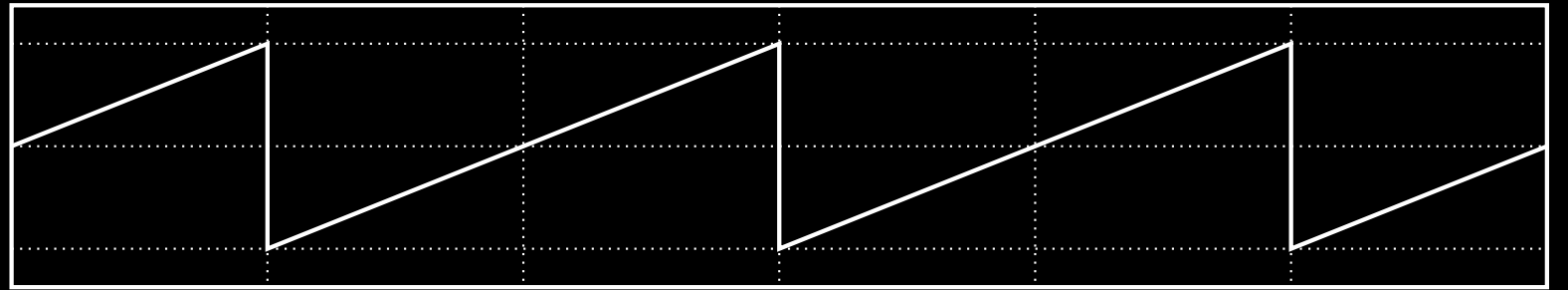
- Digitala signaler/klocksignaler...
- Matlab:

```
pulseW = 0.1; % Sätt pulsbredden
```

```
% Skapa fyrkantsvågen
```

```
sqrSound = square(2*pi*freq.*t,pulseW);
```

SÅGTAND



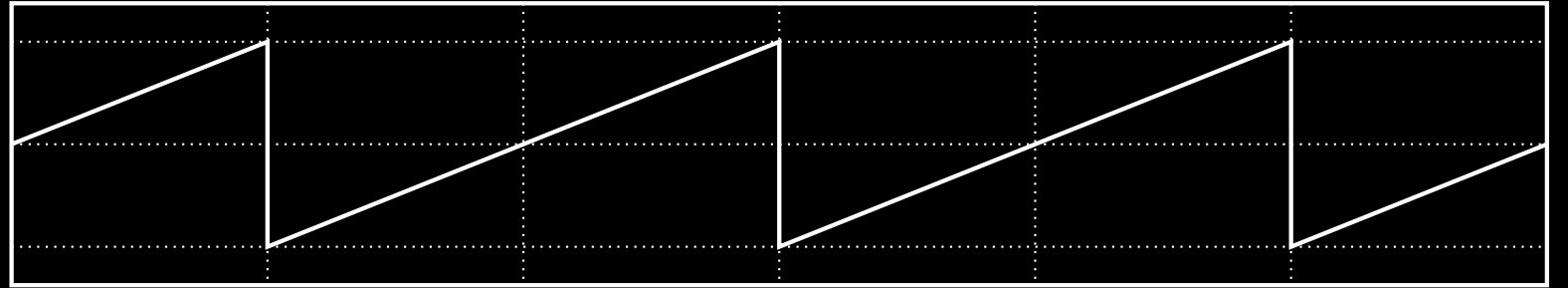
- Både jämna och udda övertoner

$$x_{\text{sawtooth}}(t) = \frac{2}{\pi} \sum_{k=1}^{\infty} (-1)^k \frac{\sin(2\pi k f t)}{k}$$



- Stråkljud, basljud, allt...

SÅGTAND



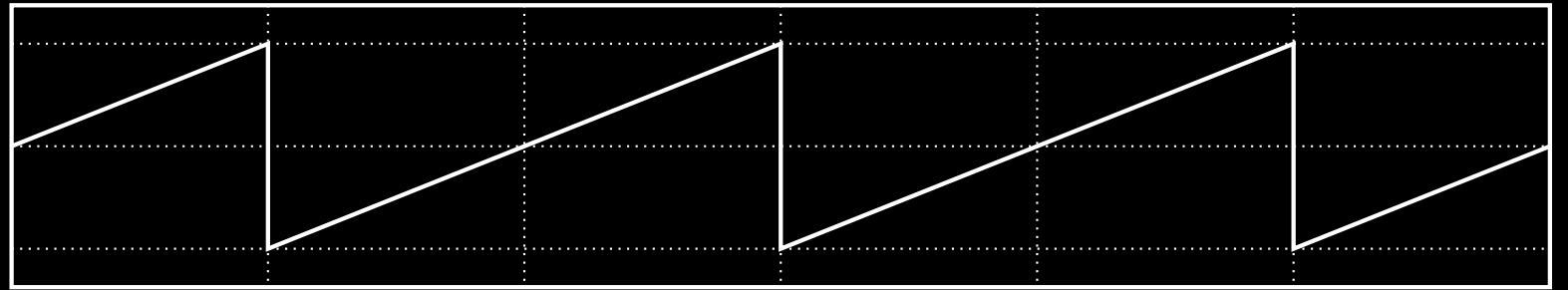
- Sågtanden kan vara stigande och fallande
- Ställbar stig-/falltid
- Eftersom den innehåller flest övertoner, kan den ses som den bästa byggstenen i subtraktiv ljudsyntes.
- Matlab:

```
dutyC = 0; % Sätt duty cycle/stig-/falltid
```

```
% Skapa triangelvågen
```

```
sawSound = sawtooth(2*pi*freq.*t,dutyC);
```

SÅGTAND



- Frekvenssyntes (Fourierserier)

```
n=5;
```

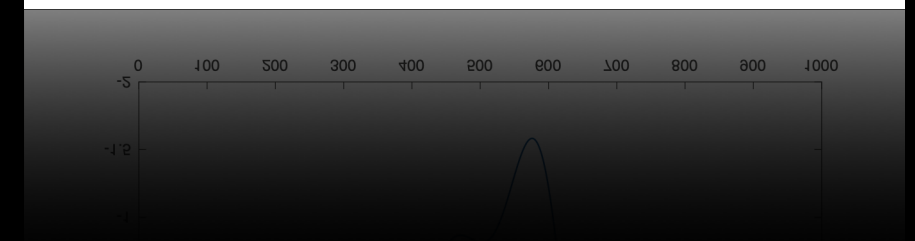
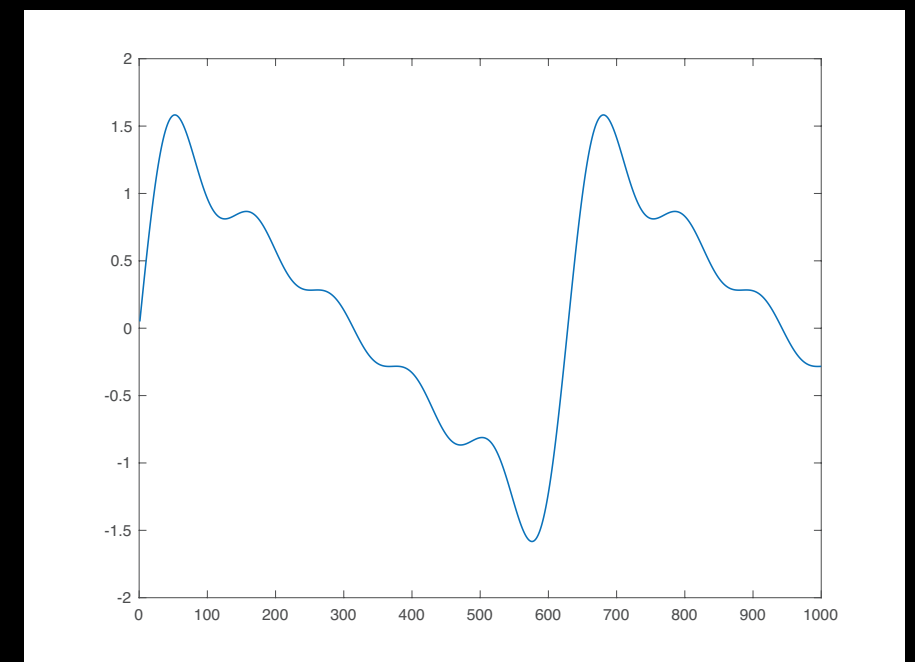
```
waveVector = zeros([1,1000]);
```

```
for i= 1:n
```

```
    waveVector = waveVector + 1/  
i*sin(i*0.01*(1:1000));
```

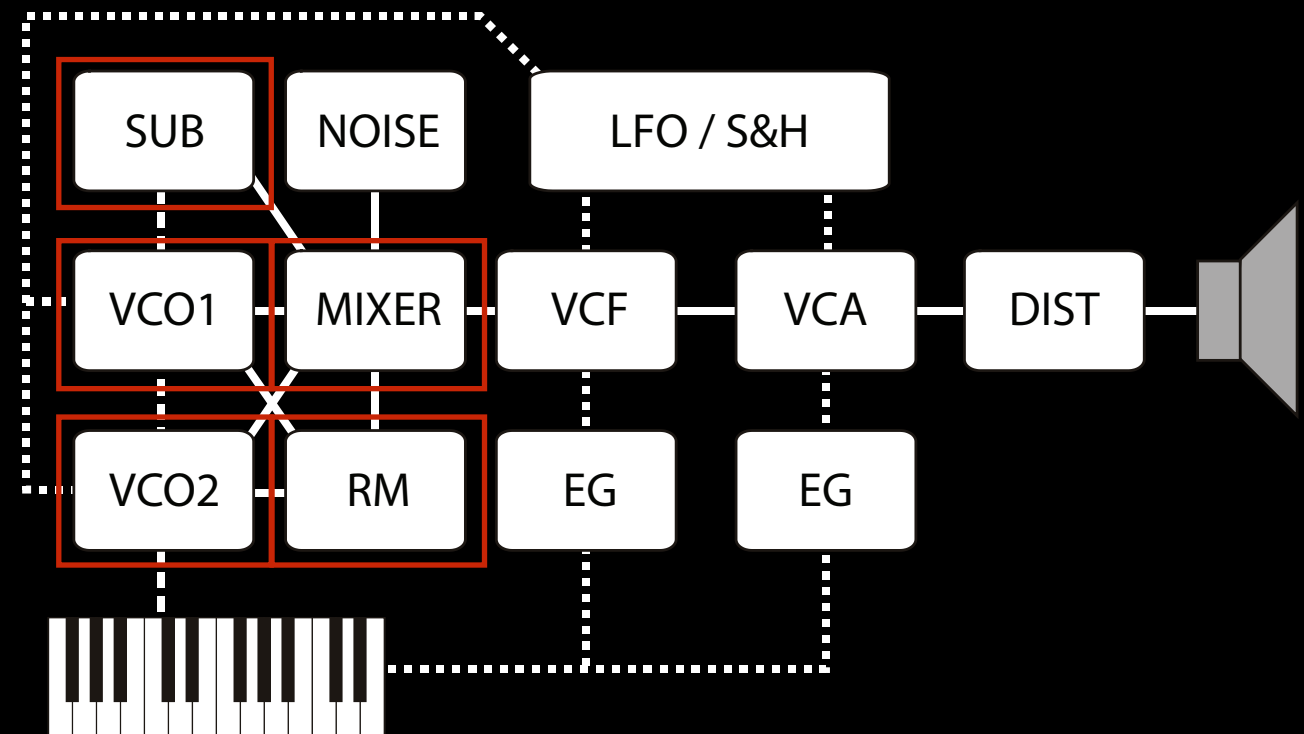
```
end
```

```
plot(waveVector);
```



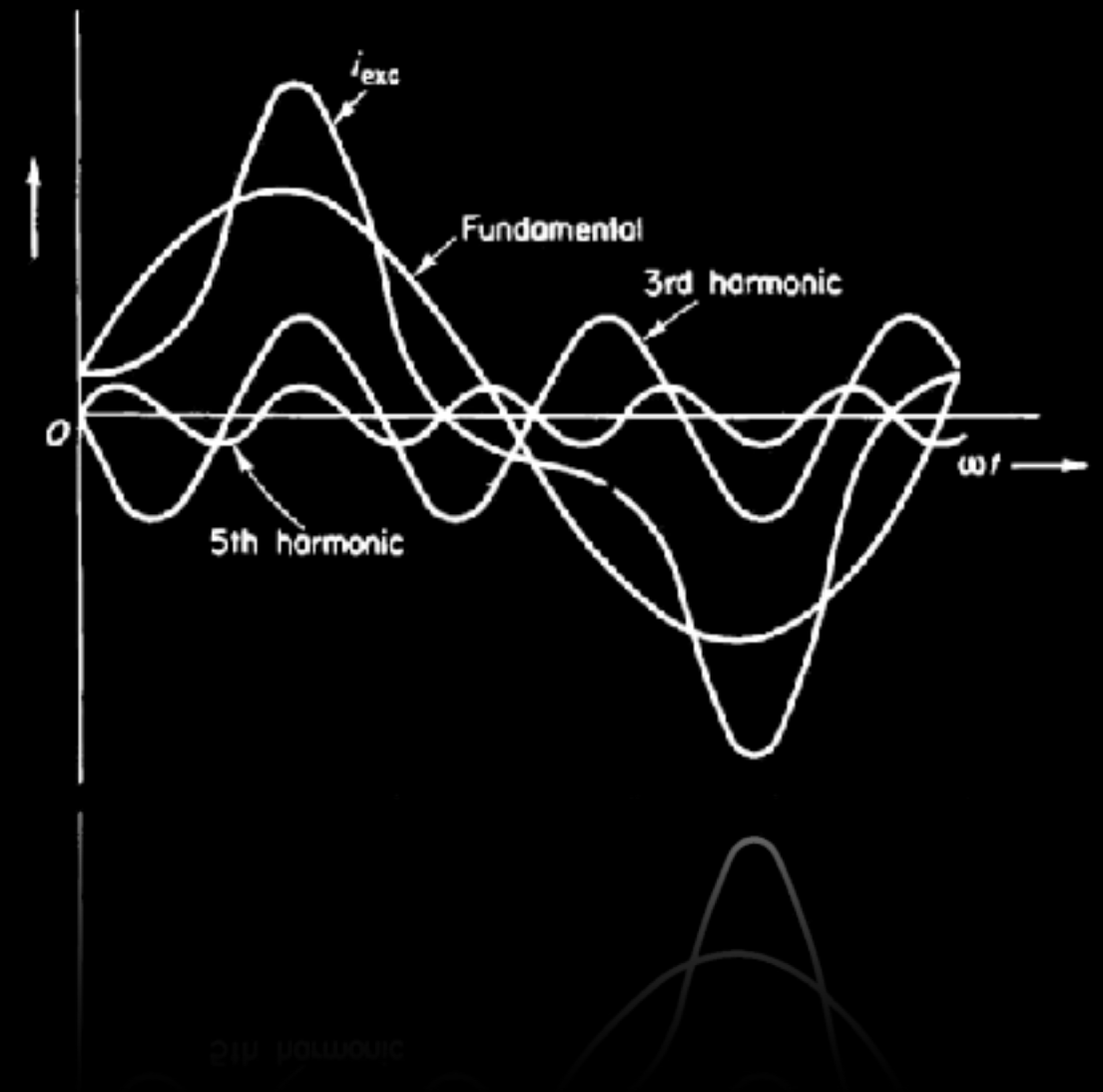
ANALOGSYNTEN

- Oscillatorer, spänningsstyrda (VCO)
- Filter, spänningsstyrda (VCF)
- Förstärkare/Attenuatorer, spänningsstyrda (VCA)
- Envelopegenerator (EG)
- Lågfrekvensoscillator (LFO)
- Mixer
- ...



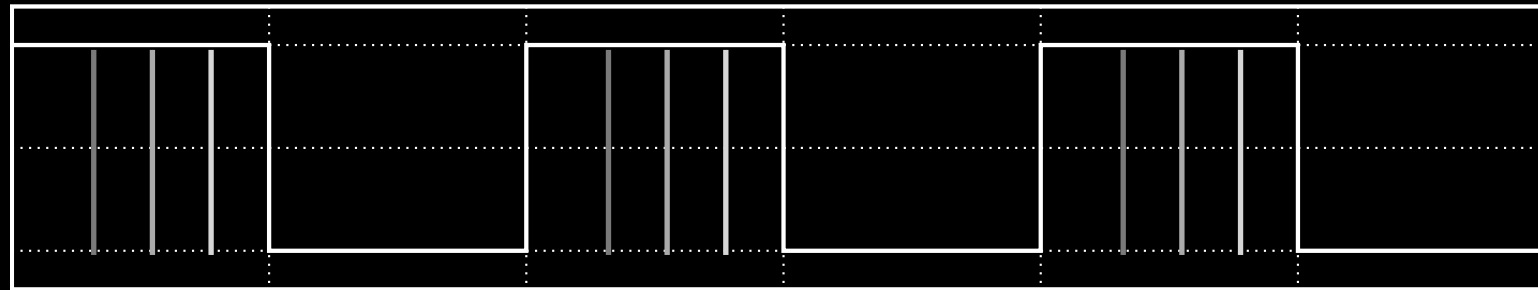
ATT PÅVERKA HARMONIKEN

- En oscillator
 - Pulsbreddsmodulation
 - Distortion
- Två oscillatorer
 - Summering/mix av två vågformer
 - Synk mellan två oscillatorer
 - Frekvensmodulation
 - Ringmodulation
- Filter



PULSBREDDSMODULATION

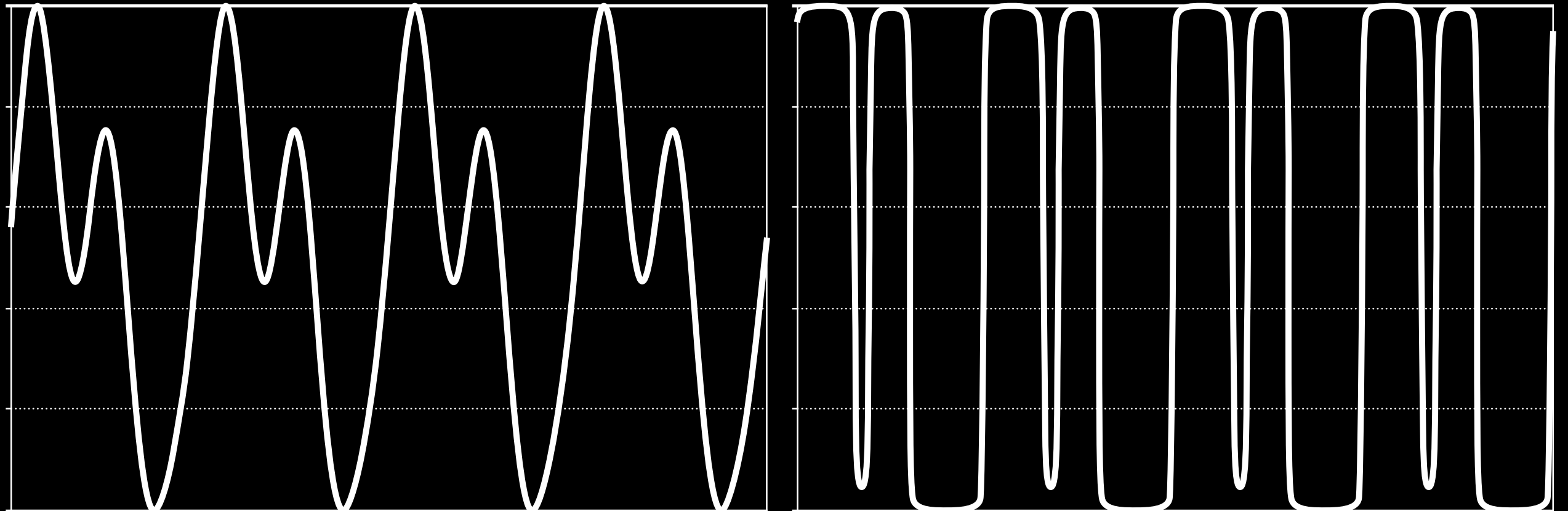
- Läger till och tar bort övertoner



- LFO (sinus/triangel?)
- Förändringen i frekvensspektra över tid, låter ungefär som när två instrument spelar unisont och nästan perfekt stämmer...

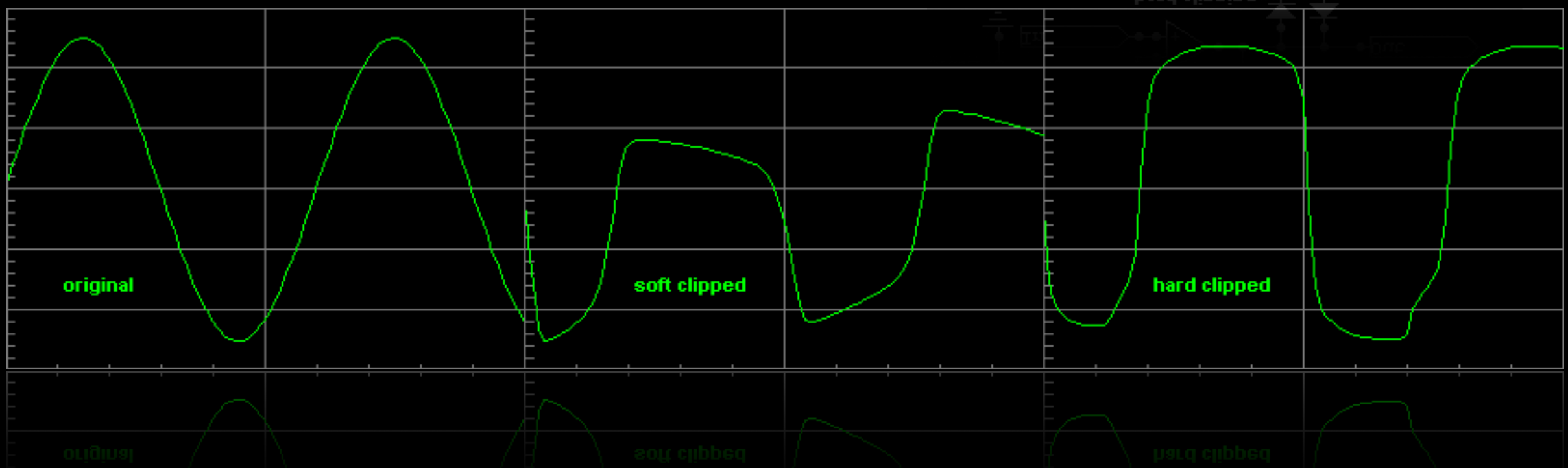
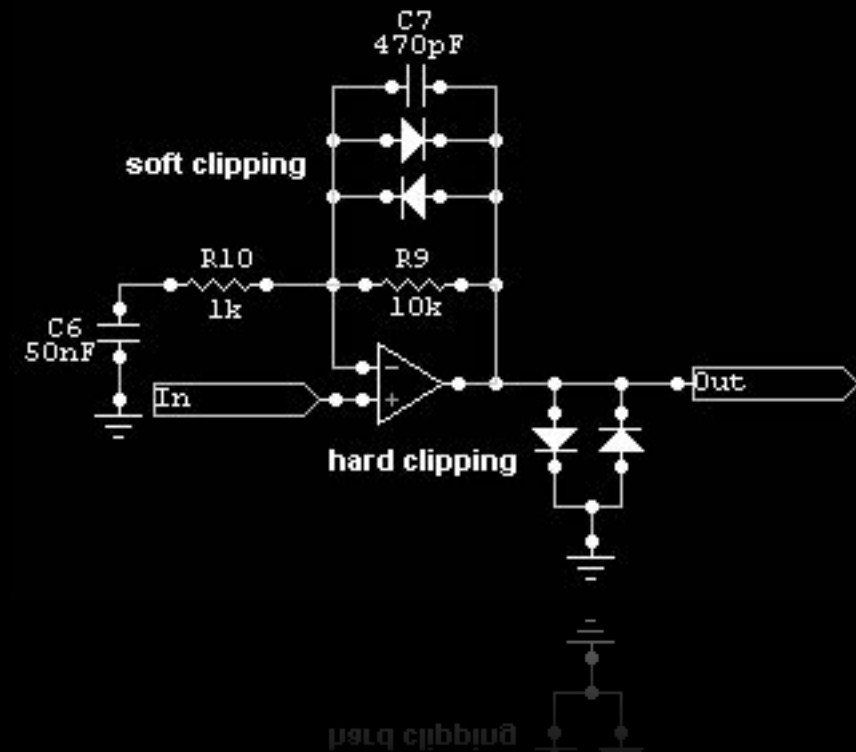
DISTORSION

- Deformerar en vågform mot fyrkantsvåg



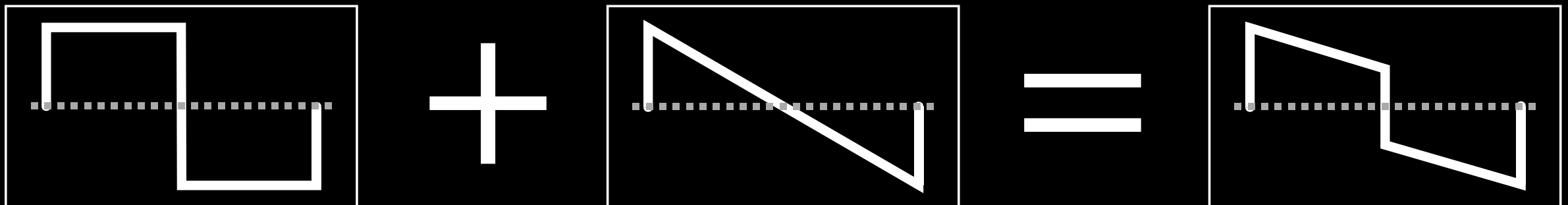
DISTORSION

- Deformerar en vågform mot fyrkantsvåg
- Genererar nya övertoner



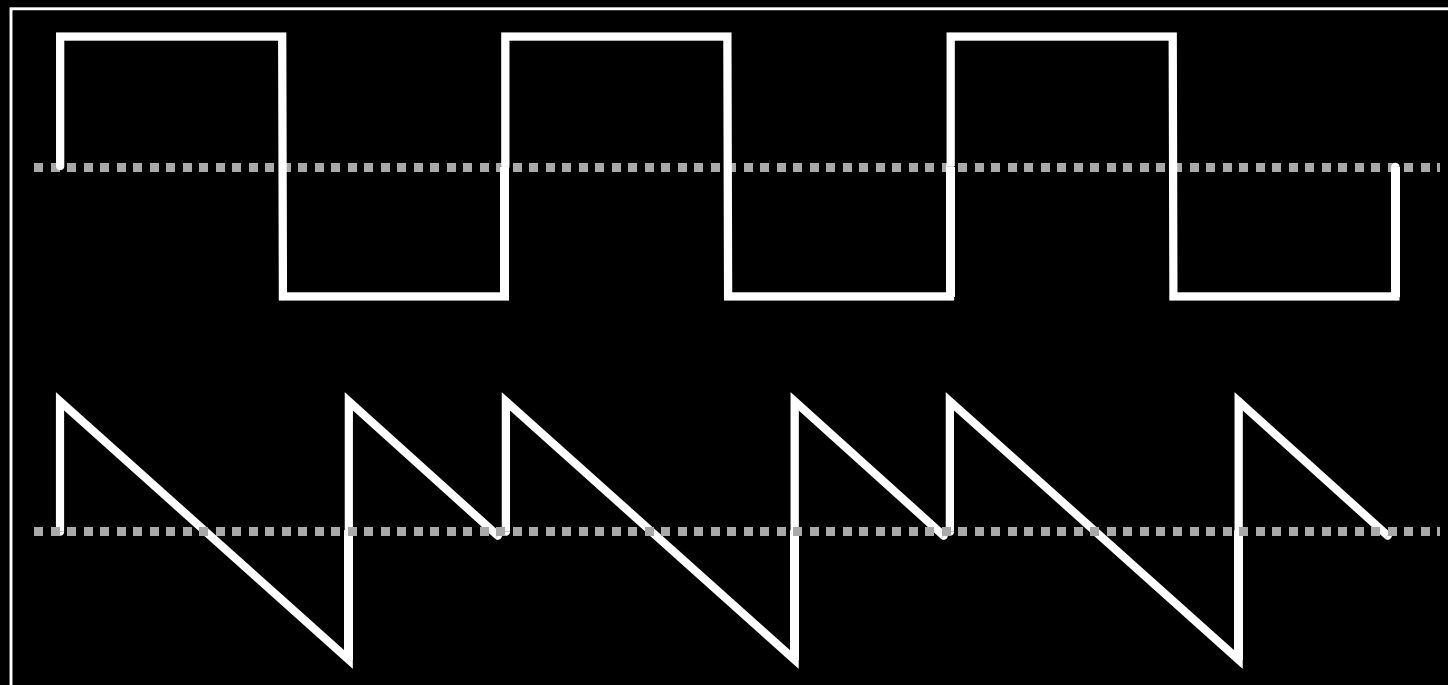
MIX AV VÅGFORMER

- Passiv / aktiv mixning
- Saturation / distorsion
- Fasutsläckning
- Förändrar harmoniken
- $\text{sumSound} = (\text{soundWave1} + \text{soundWave2})/2;$



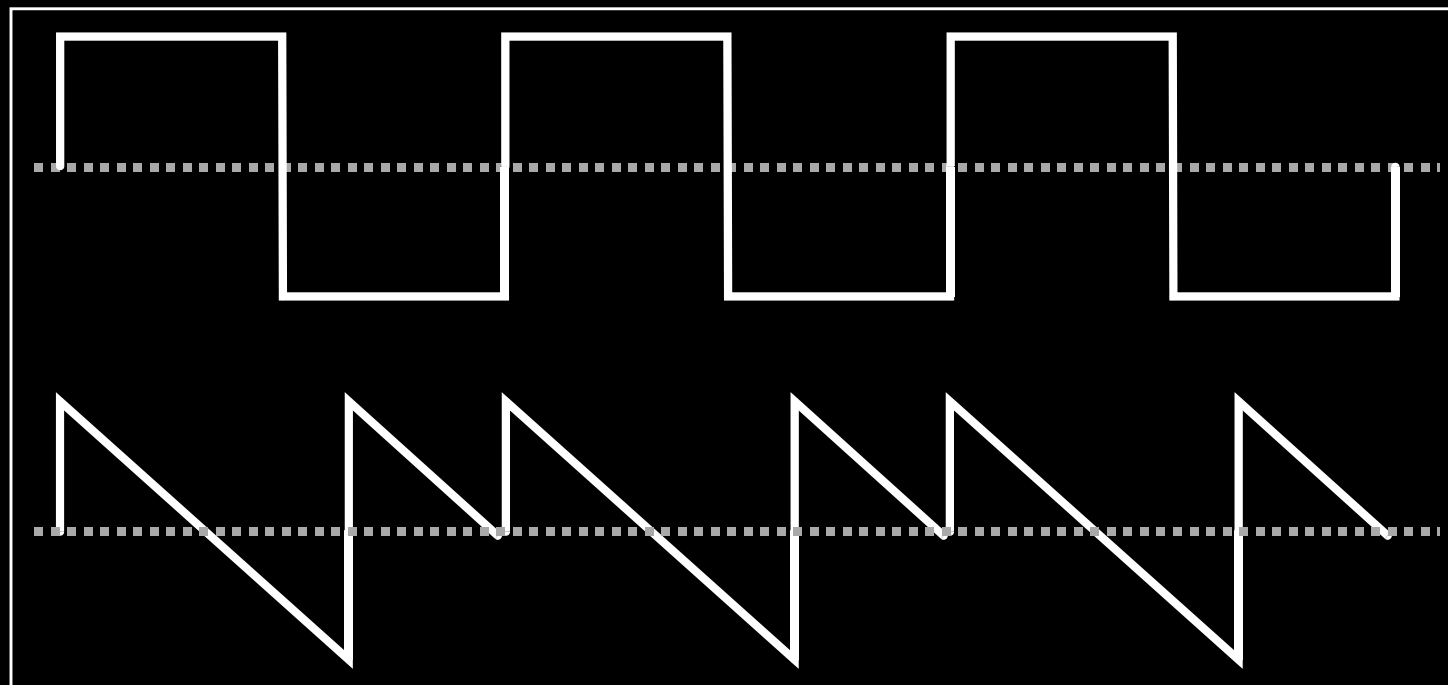
SYNK MELLAN TVÅ OSCILLATORER

- Hard sync
- Masteroscillatorn tvingar slavoscillatorn att starta om sin cykel.
- Frekvensen hos masteroscillatorn är frekvensen på vågformen.



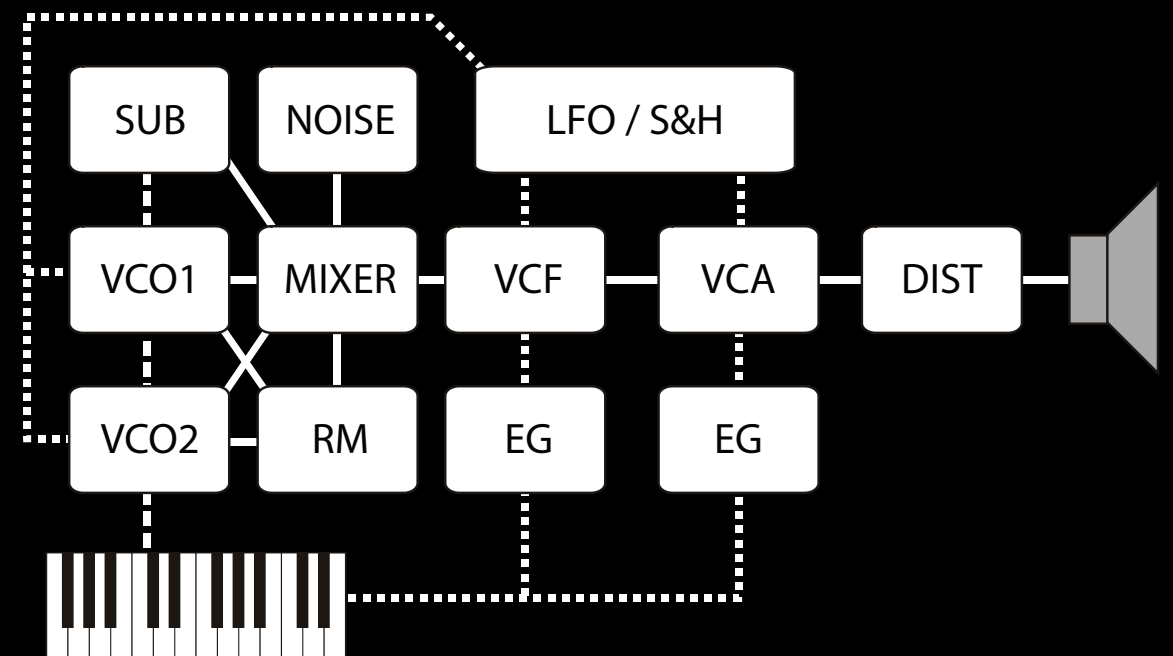
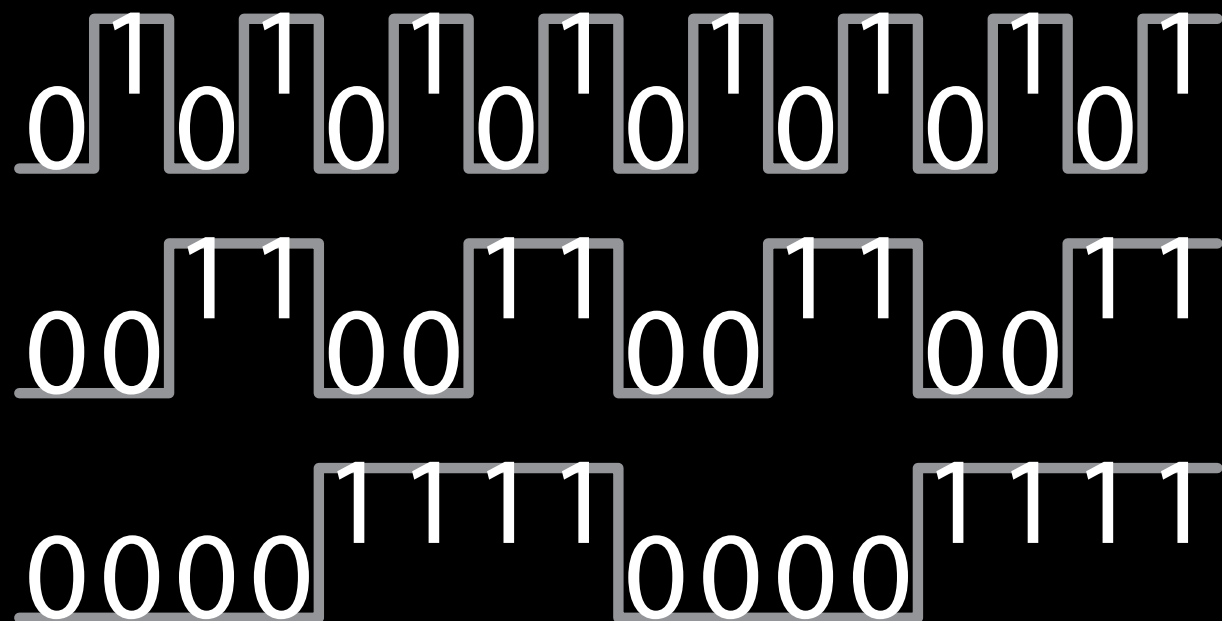
HARD OCH SOFT SYNC

- Soft sync gör detta mjukare, och slavoscillatorn låser mot mästeroscillatorns frekvens fast utan att skapa asymmetriska vågformer.
- Detta sker när de båda vågformerna har liknande fas.
- PLL (Phase-locked loop)



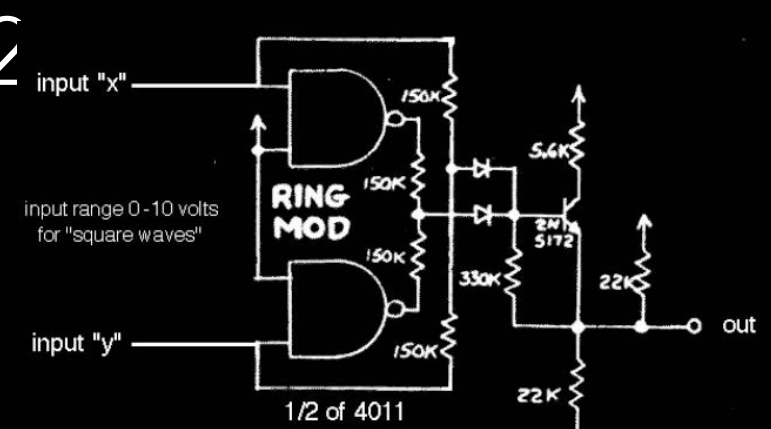
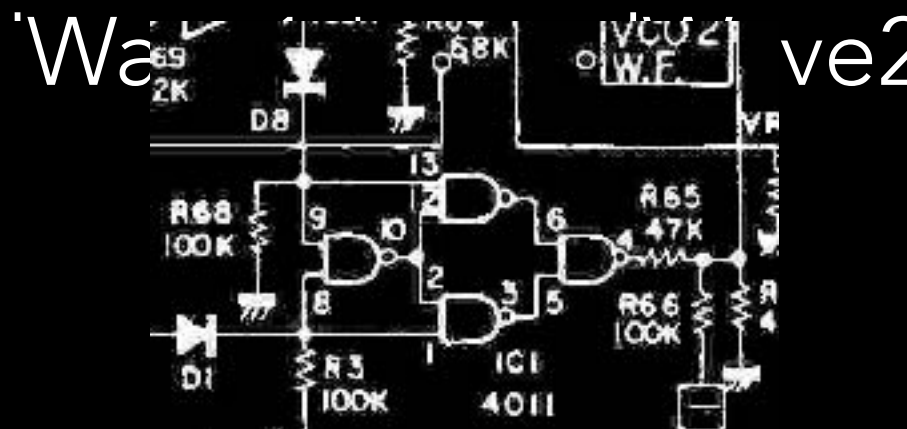
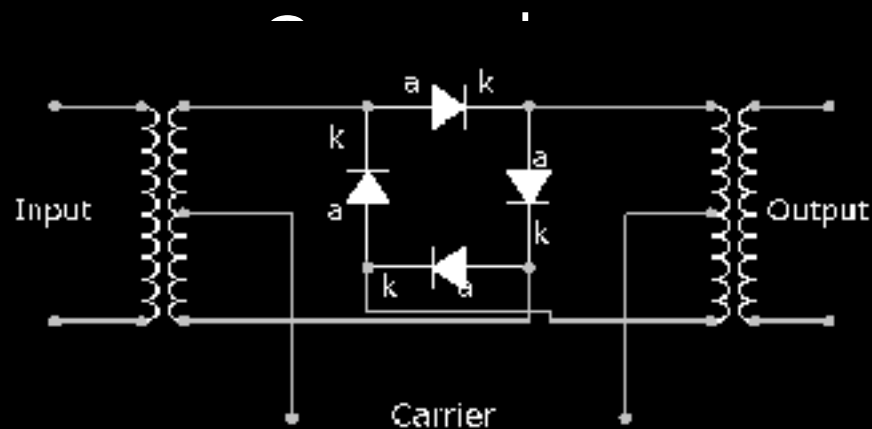
SUBOKTAVGENERATOR

- Suboktavgenerator
fyrkantsvåg + logikkrets...



RINGMODULATION

- Multiplikation av två frekvenser, $f_1 * f_2 = (f_1 + f_2) \& (f_2 - f_1)$
- Summan och skillnaden mellan två frekvenser
 $440 \text{ Hz} \& 660 \text{ Hz} = 1000 \text{ Hz} \& 220 \text{ Hz}$
- Analog, semianalog, eller digitalt



FREKVENSMODULATION

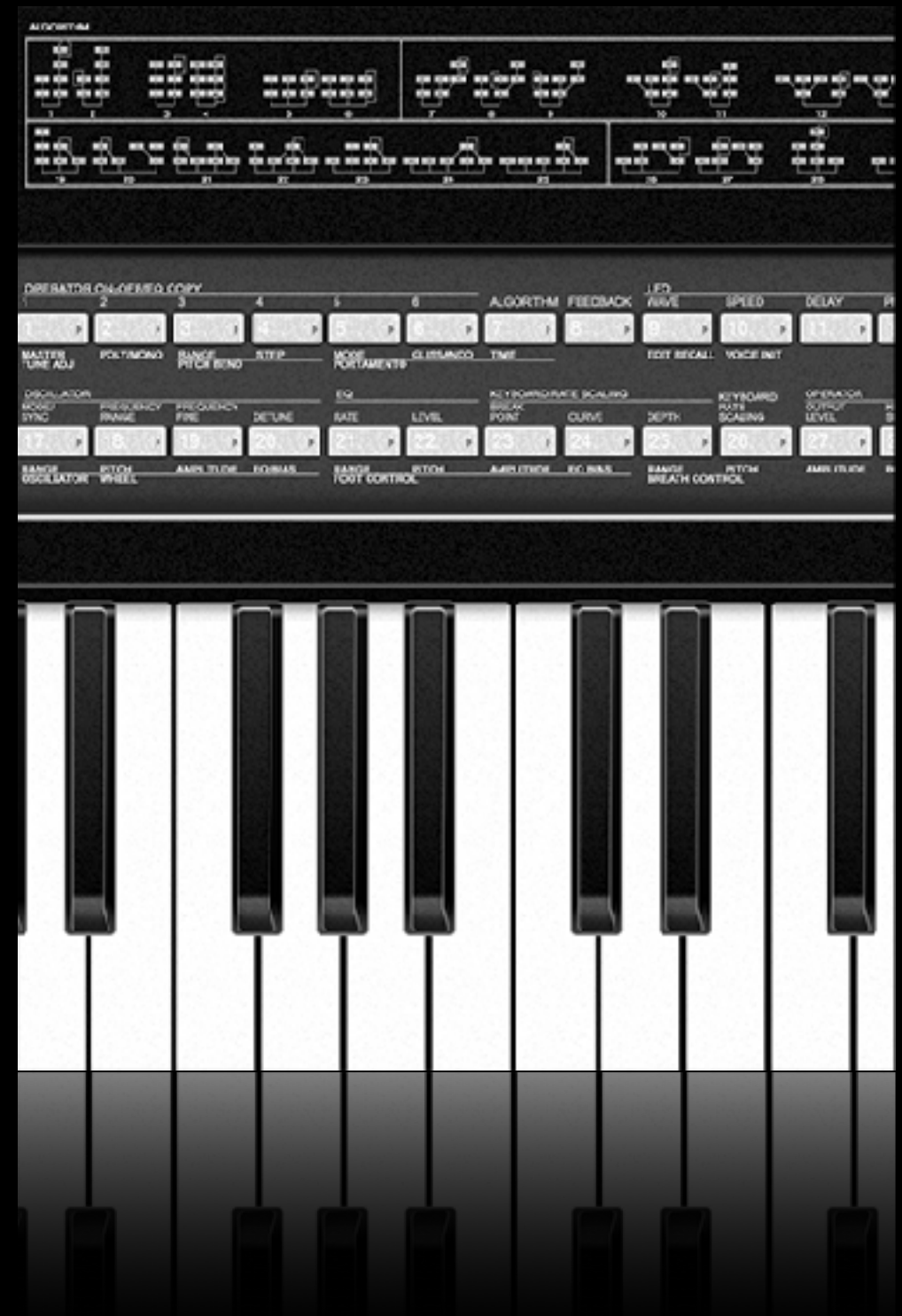
- Mix av två frekvenser
- Två typer av FM:
 - linjär, påverkar upplevelsen av grundtonens frekvens
 - exponentiell, bibehåller grundtonens frekvens

TNM103 - LJUDTEKNIK

ADDITIV LJUDSYNTES

ADDITIV LJUDSYNTES

- Additiv ljudsyntes skapar komplexa toner genom summering, eller addition, av enklare vågformer.
- Detta görs genom frekvensmix (inte vågforms-mix).
- Detta gick inte att göra (så bra) med analoga oscillatorer.



ADDITIV LJUDSYNTES

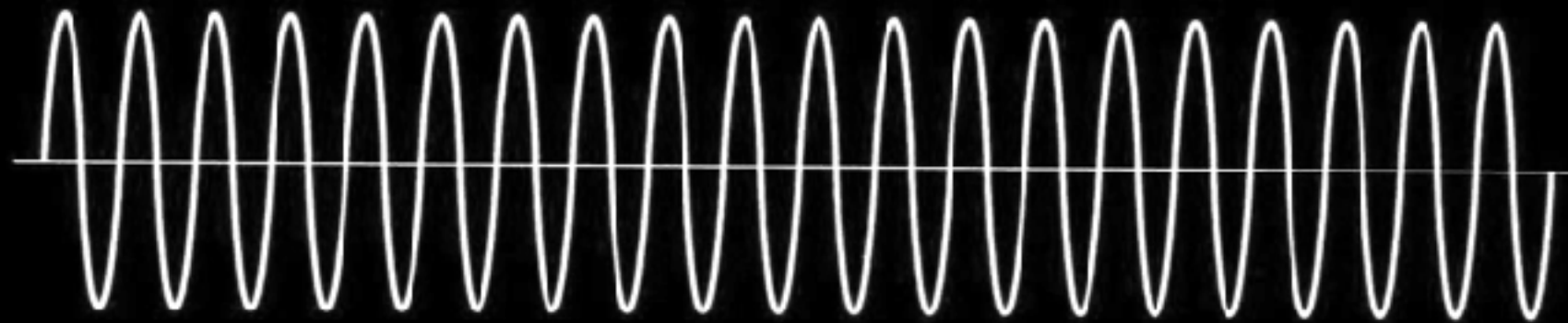
- Varje frekvenskomponent (partial) kan ha sin egen amplitudenvelop.
- Detta skapar på ett enkelt sätt föränderliga ljud med oberoende kontroll av ljudförändringar och övertonsserier.
- FM-syntes, PD-syntes
- John Chowning
Stanford University 1967-68.



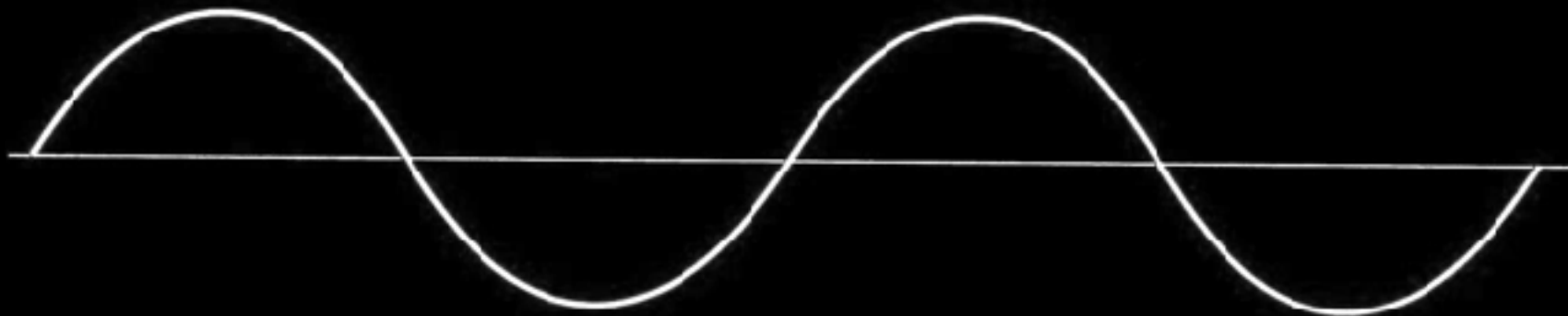
FM-SYNTHES

- FM-syntes skapar både harmoniska och oharmoniska ljud på ett bra sätt.
- För att göra harmoniska ljud, behöver modulationssignalen ha en harmonisk koppling till originalsignalen (carrier).
- Större modulationsdjup ger mer komplexa vågformer.
- Om modulatorerna inte är harmoniska, dvs heltalsmultiplar av carriers skapas dissonanta, icke harmoniska, klocklika och percussiva ljud.

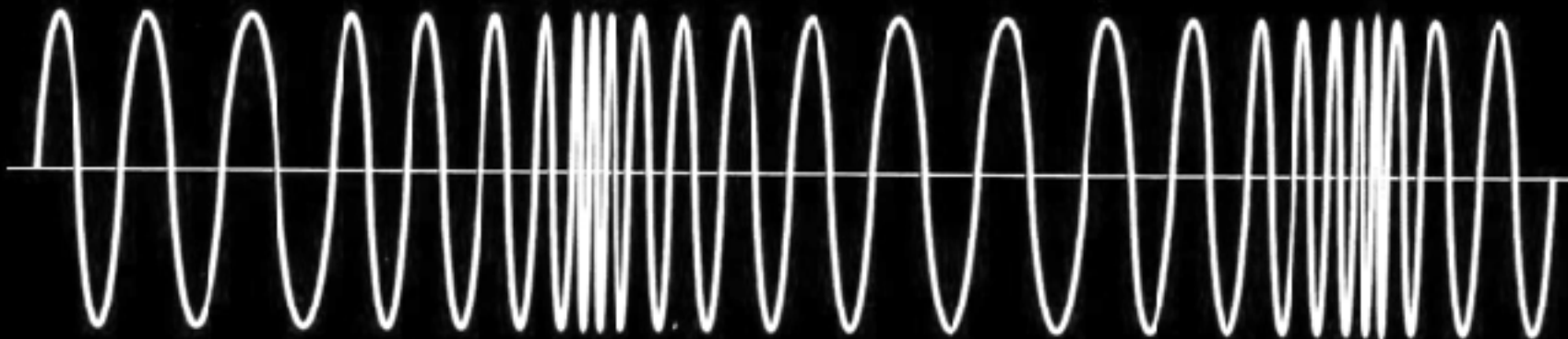
FREKVENSMODULATION



Carrier Signal



Modulating Sin Wave Signal



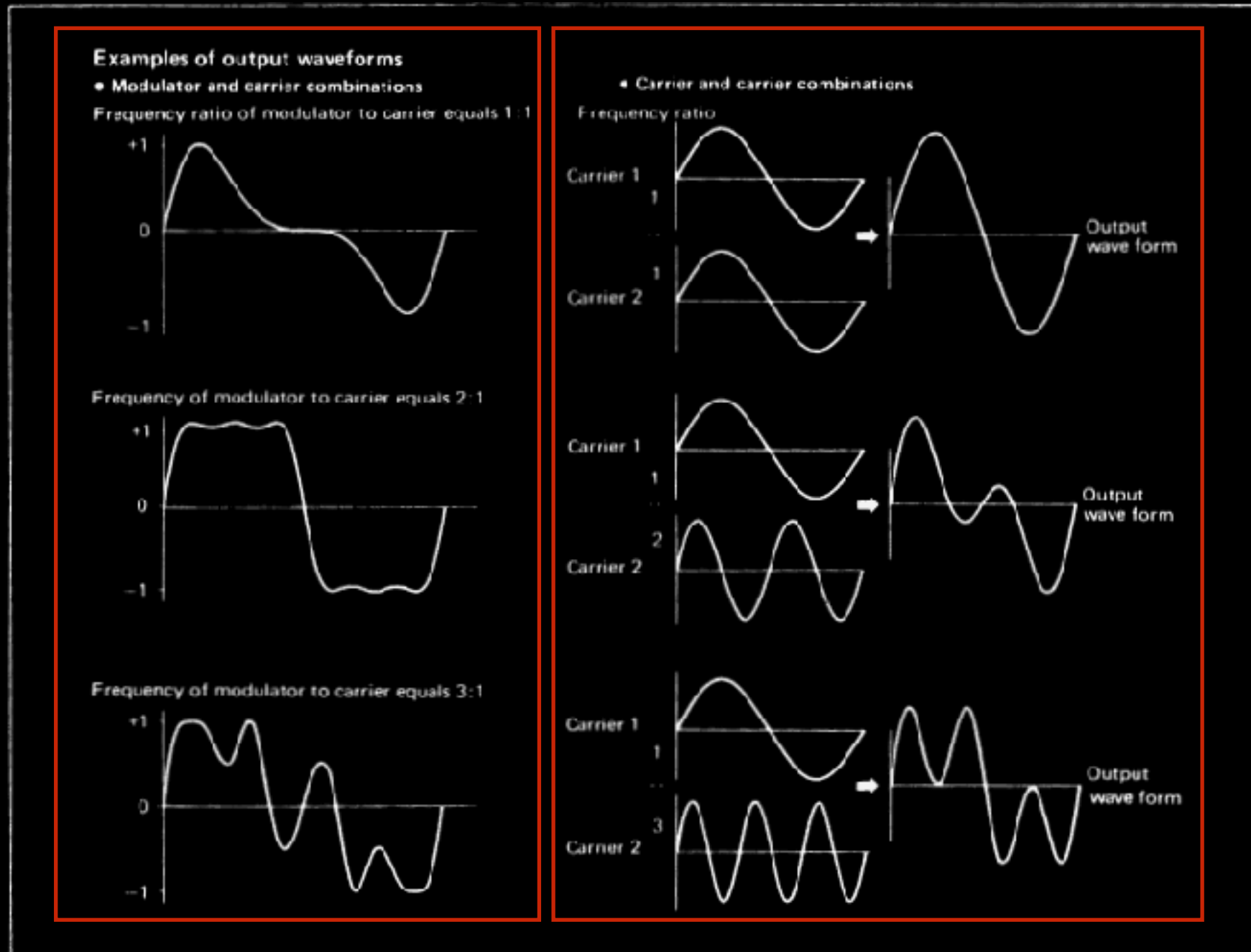
Frequency Modulated Signal

Frequency Modulated Signal

FREKVENSMODULATION

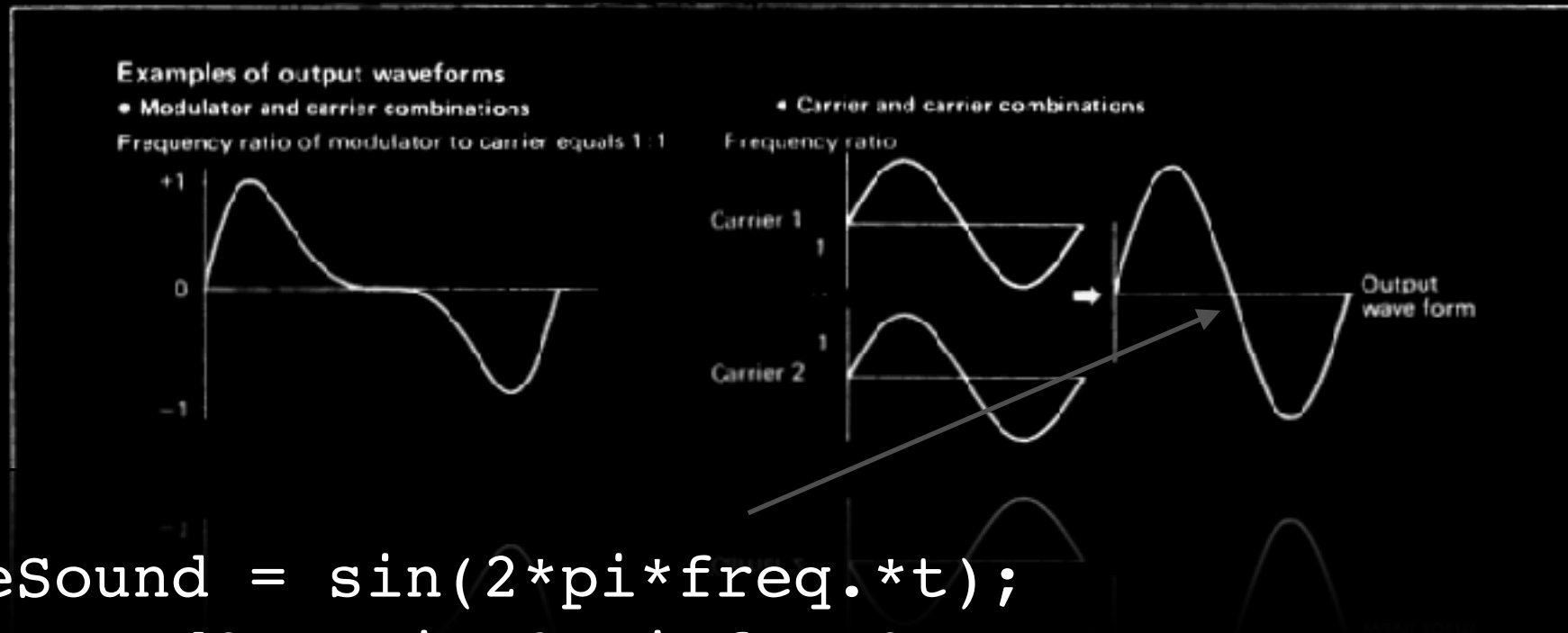
Frekvens-
mix

Vågforms-
mix



FREKVENSMODULATION

Frekvens-
mix



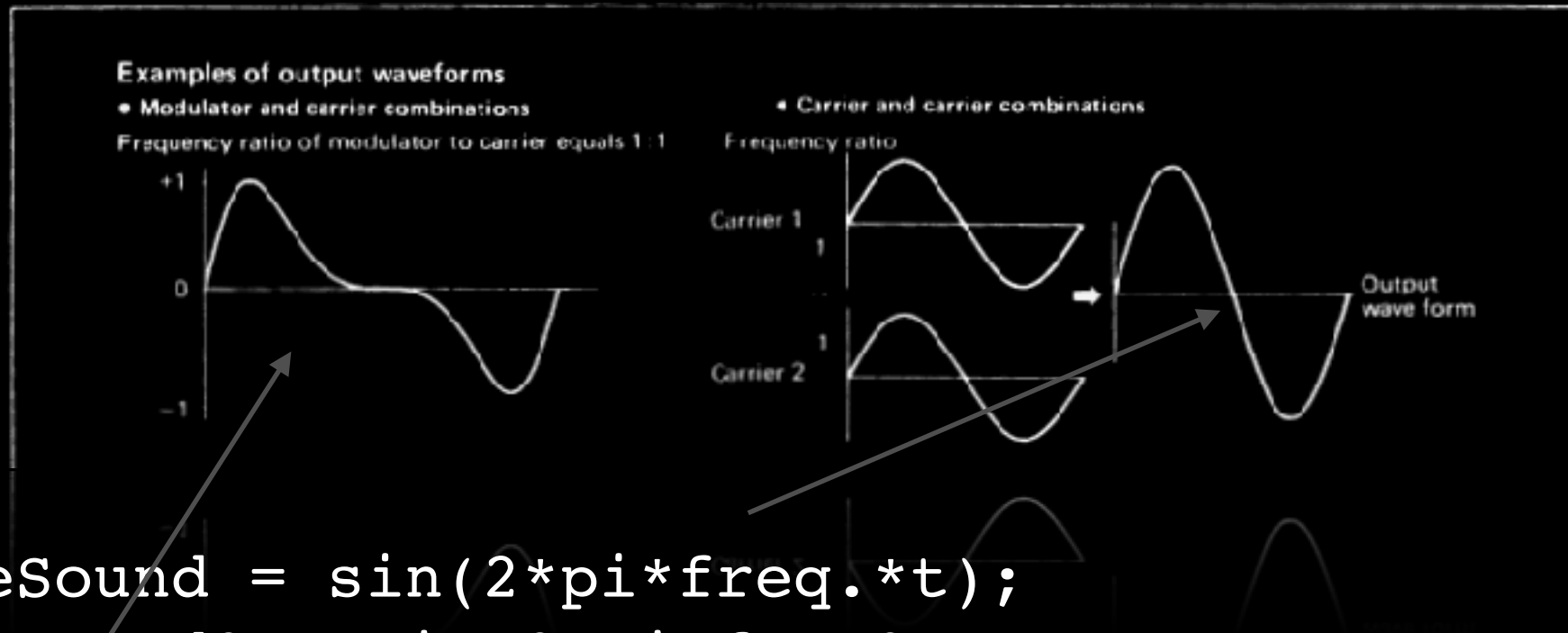
Vågforms-
mix

```
sineSound = sin(2*pi*freq.*t);  
sineSound2 = sin(2*pi*freq2.*t);  
outputSine = sineSound + sineSound2;
```

FREKVENSMODULATION

Frekvens-
mix

Vågforms-
mix



```
sineSound = sin(2*pi*freq.*t);  
sineSound2 = sin(2*pi*freq2.*t);  
outputSine = sineSound + sineSound2;
```

```
outputSine =  
    sin(2*pi*t.*freq+fmDepth*sin(2*pi*t.*freq));
```

FREKVENSMODULATION

- Ny harmonik skapas ovanför och under fundamental frekvensen

Source (fundamental) = 950Hz

Source + Modulator = 1050Hz

Source – Modulator = 850Hz

Source + 2Modulator = 1150Hz

Source – 2Modulator = 750Hz

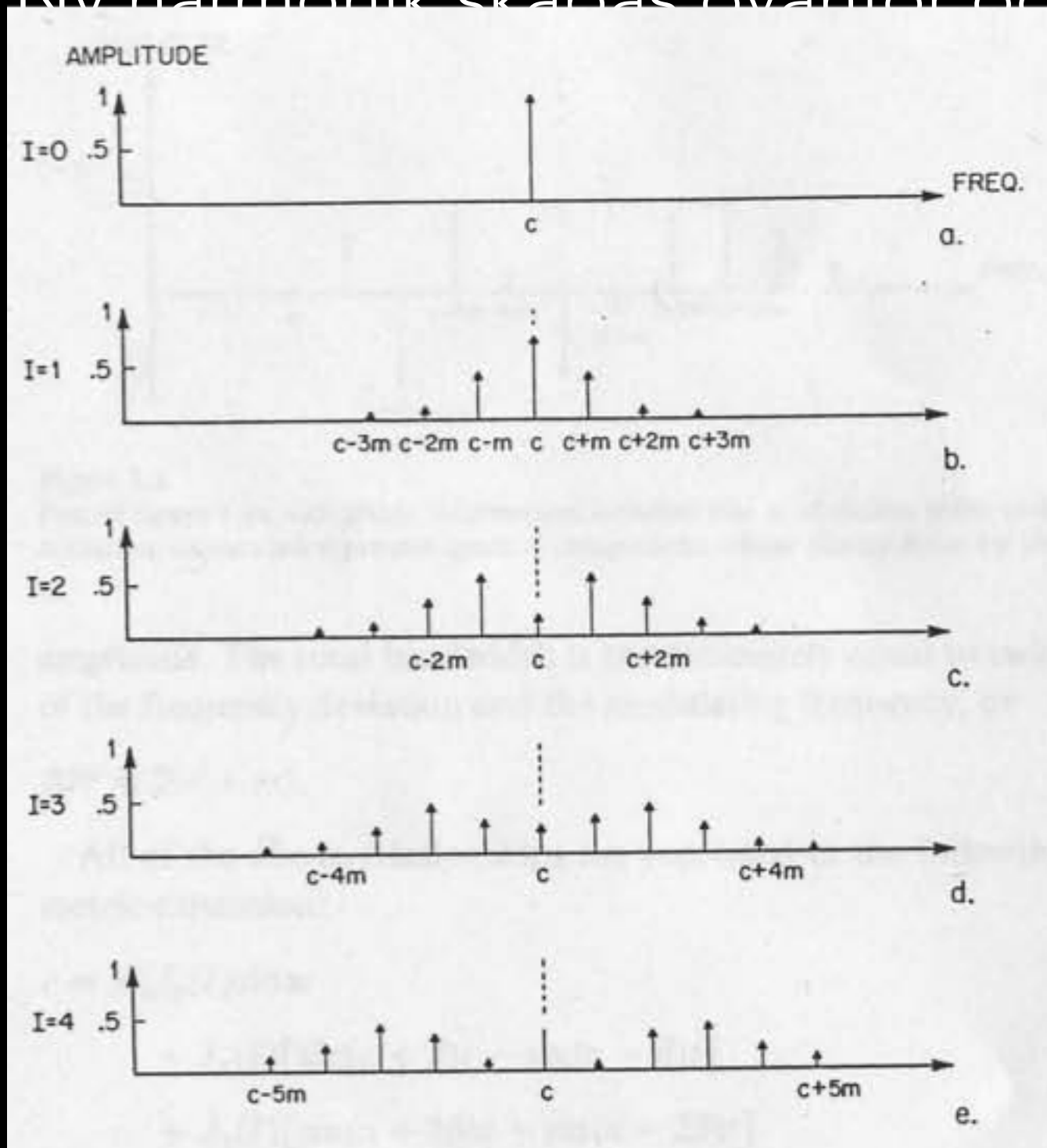
Source + 3Modulator = 1250Hz

Source – 3Modulator = 650Hz

...

FREKVENSMODULATION

- Nya harmonik skapas ovanför och under fundamental



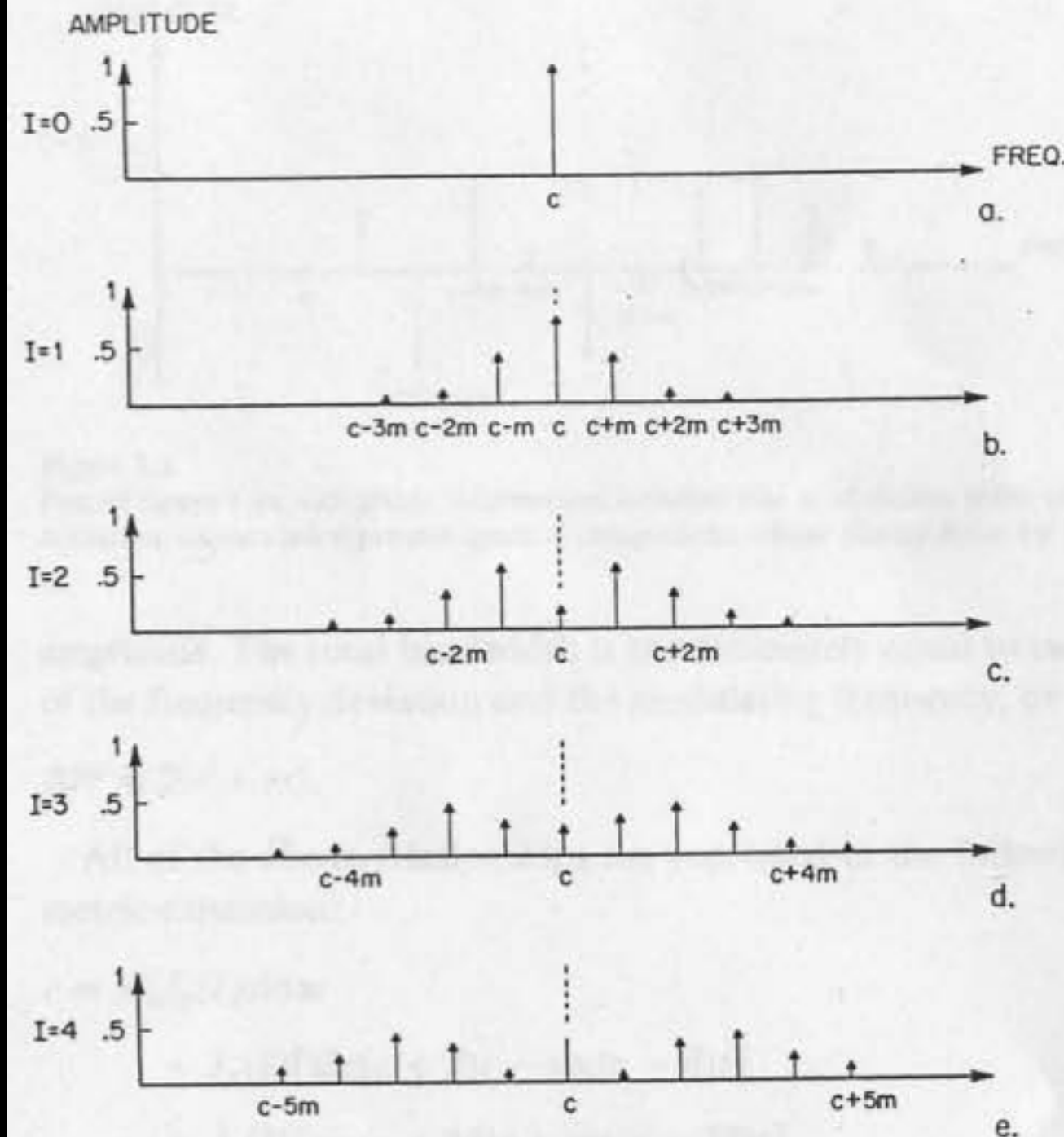
$$[\sin(\alpha + \beta)t - \sin(\alpha - \beta)t]$$

$$[\sin(\alpha + 2\beta)t - \sin(\alpha - 2\beta)t]$$

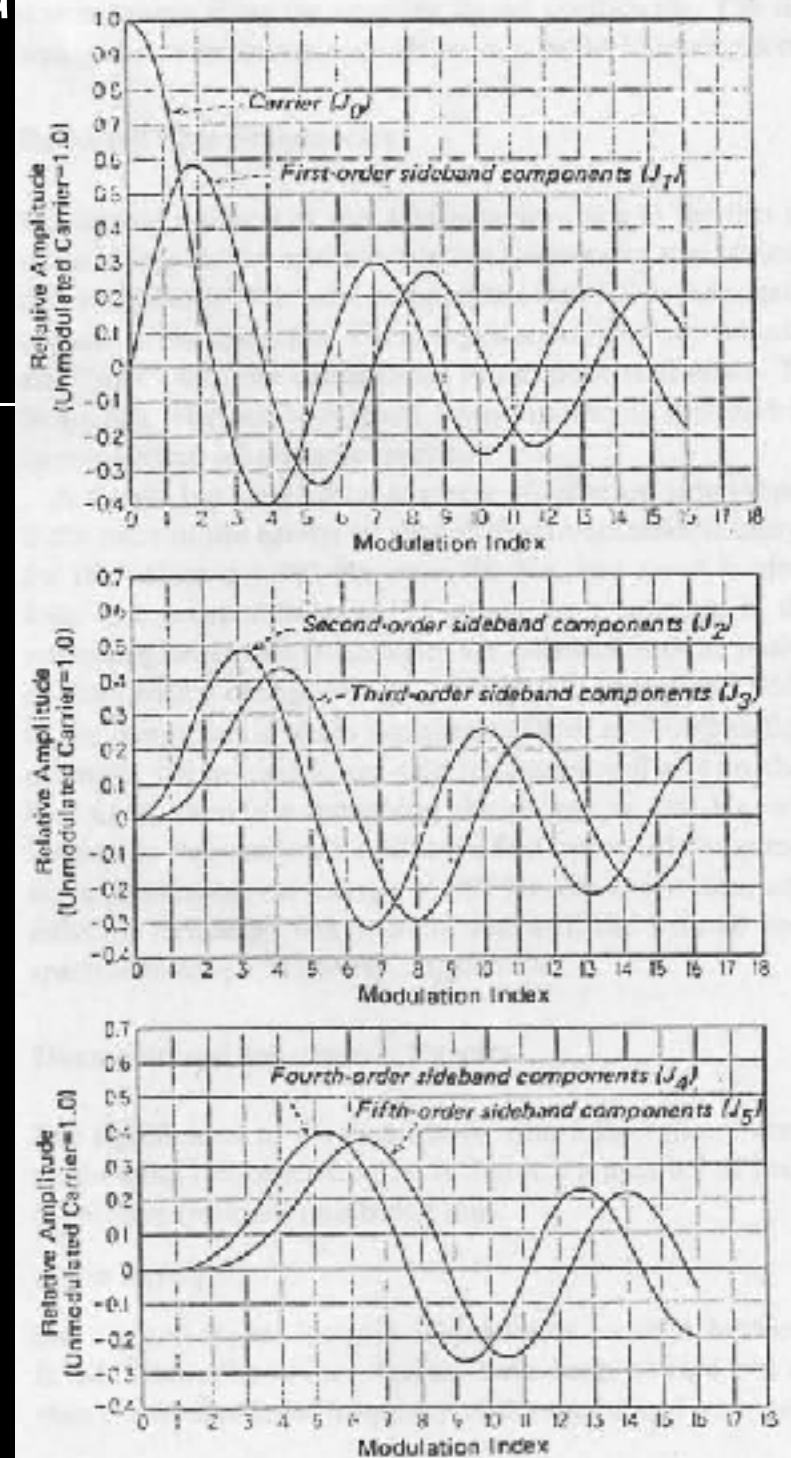
$$[\sin(\alpha + 3\beta)t - \sin(\alpha - 3\beta)t]$$

FREKVENSMODULATION

- Nya harmonik skapas ovanför och under fundamental

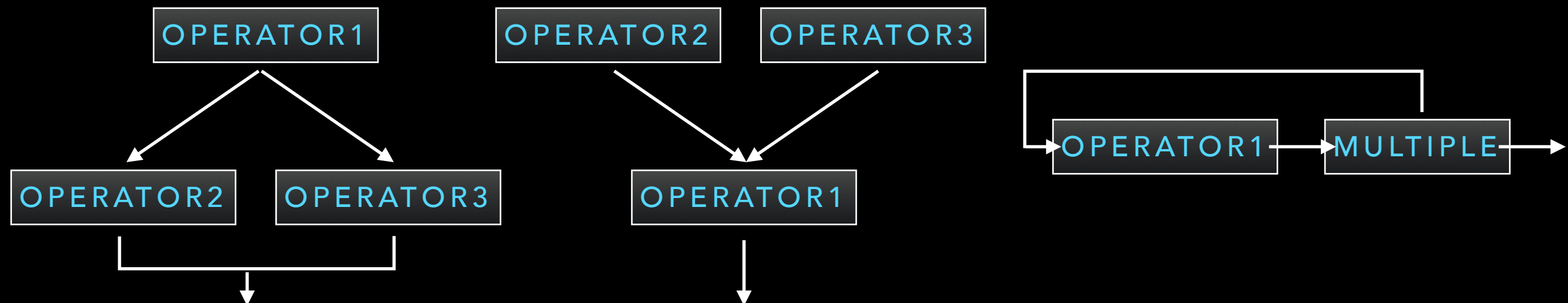


$\beta)t -$
 $2\beta)t -$
 $3\beta)t -$



FM-SYNTES

- Många carriers - En modulator som modulerar två eller flera carriers samtidigt.
- Många modulationer - Två eller flera oscillatorer som moduleras av en modulator samtidigt.
- Återkoppling - En oscillator som modulerar sig själv.



YAMAHA DX7, ALGORITMER

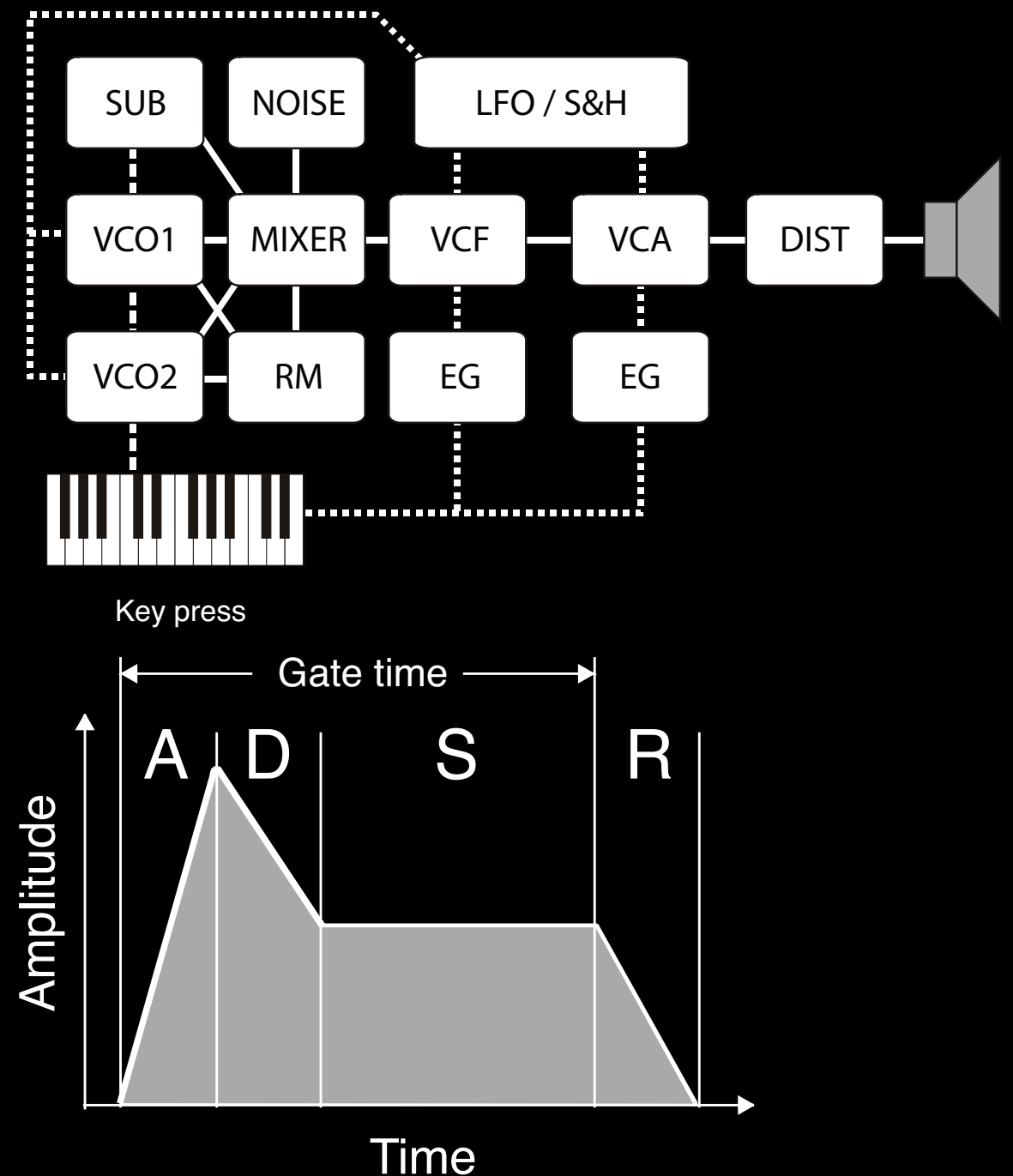


TNM103 - LJUDTEKNIK

SYNTEN, RESTEN...

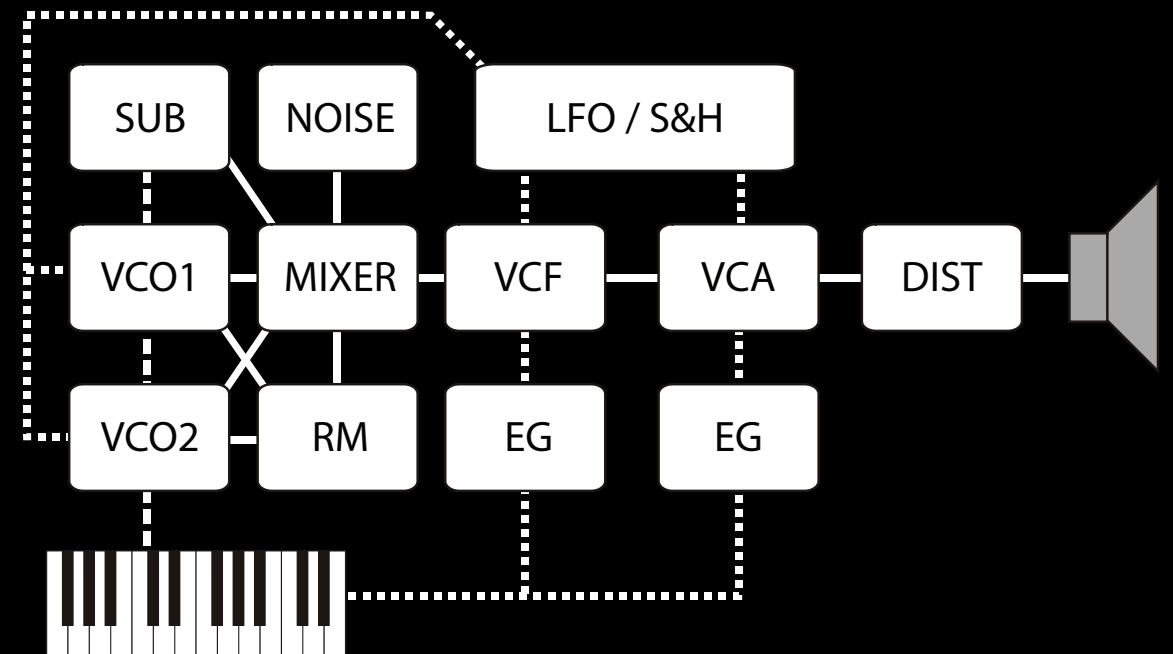
ENVELOPGENERATORN

- Statisk VCF och VCA är stelt och tråkigt
- Envelopegenerator (EG)
- Transientgenerator, konturgenerator
- Attack, Decay, Sustain, Release
- Tidsparametrar, RC
- Dynamikprocessorer



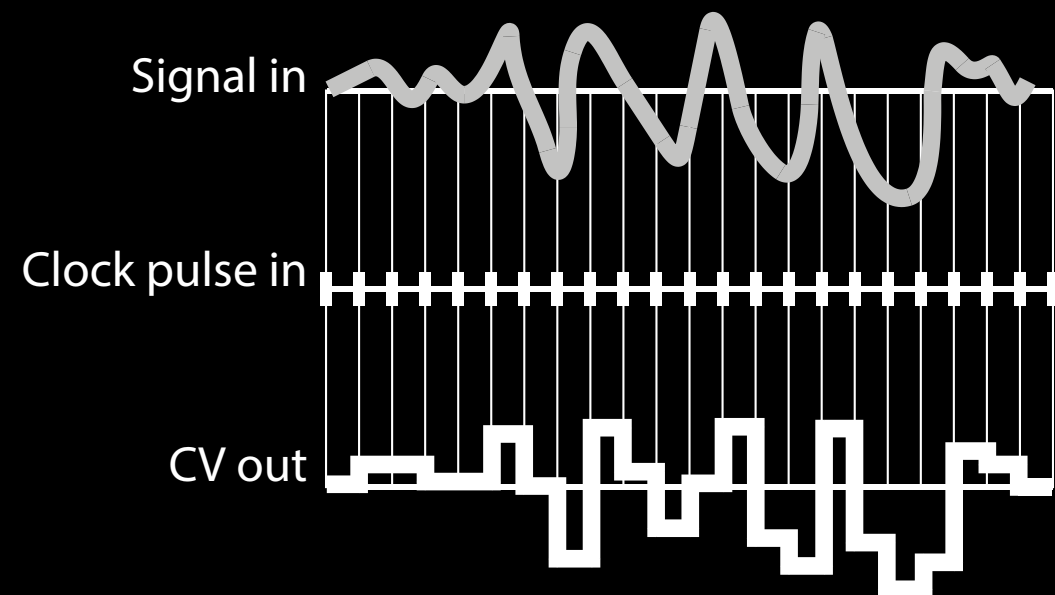
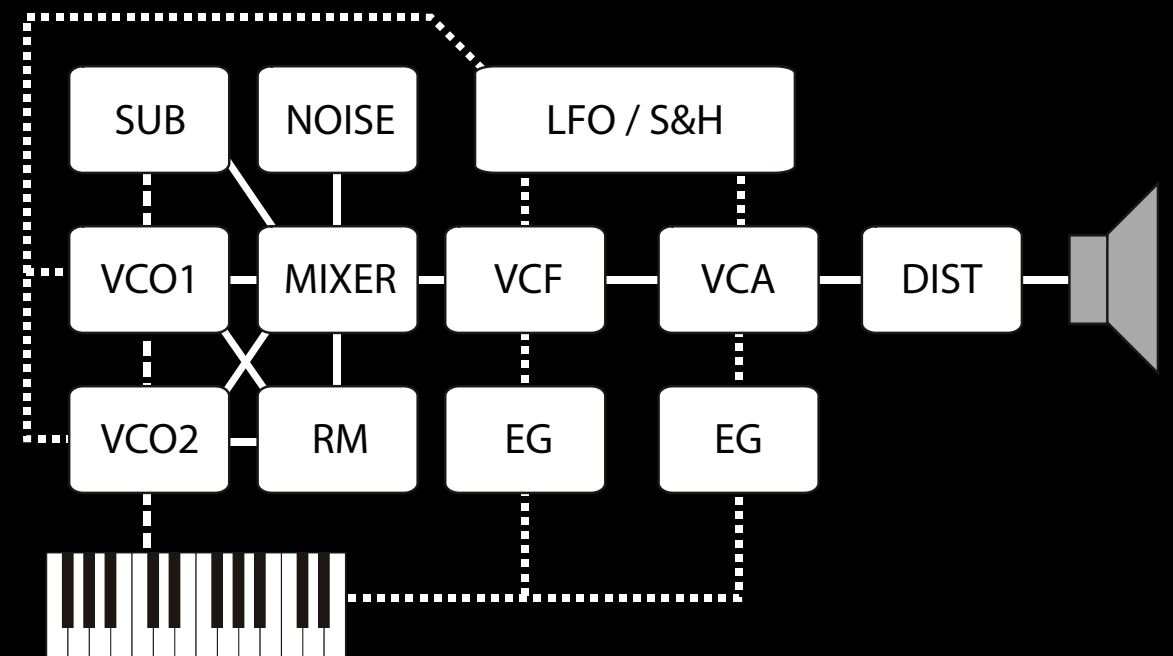
FÖRSTÄRKAREN, VCA

- VCA:n är en spänningsstyrd förstärkare
- eller dämpare...
- Kan överstyras för att ge andra övertonsserier



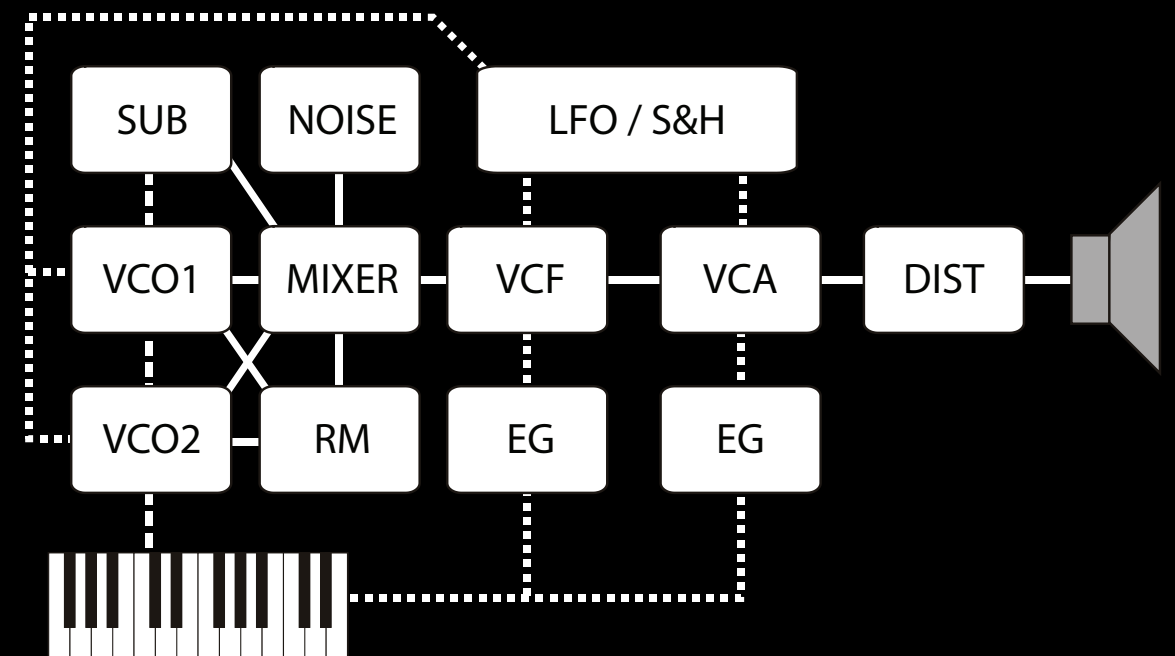
LÅGFREKVENSSOSCILLATOR

- Statisk VCO, VCF och VCA är tråkiga...
- Lågfrekvensoscillator (LFO)
 - sinus
 - triangel
 - puls
- Sample-and-hold (S/H)
 - brus-källa
 - klock-källa



BRUSGENERATOR

- Brusgenerator
 - diod / transistor
 - digitalt brus
- Vad använder vi brus till?
- Effekter
- Lägga till attack- eller transientljud
- Analoga trumljud
- Seeda om minnet i Matlab...



```
RandStream.setGlobalStream(RandStream('mt19937ar','seed',sum(100*clock)));
```

KEYBOARDS

- • Elorglar
Till exempel:
 - Vox Continental
 - Gibson (G-101 Kalamazoo)
 - Farfisa (Compact/Combo)
 - Hammond (B3...)
- • Elpianon
Till exempel:
 - Hohner Clavinet
 - Wurlitzer Electric Piano 200 A
 - Rhodes (Fender/Roland)



OUTBOARDS & FX

- Ofta används effekter av olika slag för att ytterligare förstärka och framhäva syntljud.
- Reverb eller delay kan få ett tämligen tråkigt synoljud att låta bra.
- Distortion kan också lyfta fram övertoner och skapa mer intressanta ljud.



INSPELNING AV EN SYNT

- Line cable
- VSTi och exportering av spår
- En gitarr- eller elbasförstärkare
- Att ta upp vanliga högtalare med mikrofon...

