



Kompendium / noter om signaler og A/D-D/A-konvertering:

Der er vist noget assemblerkode til nogle eksempler. Det stammer fra "Gamle Dage". Kan bruges som inspiration !!

/ Valle

Først ses her lidt på begrebet harmoniske signaler:

Harmoniske Signaler

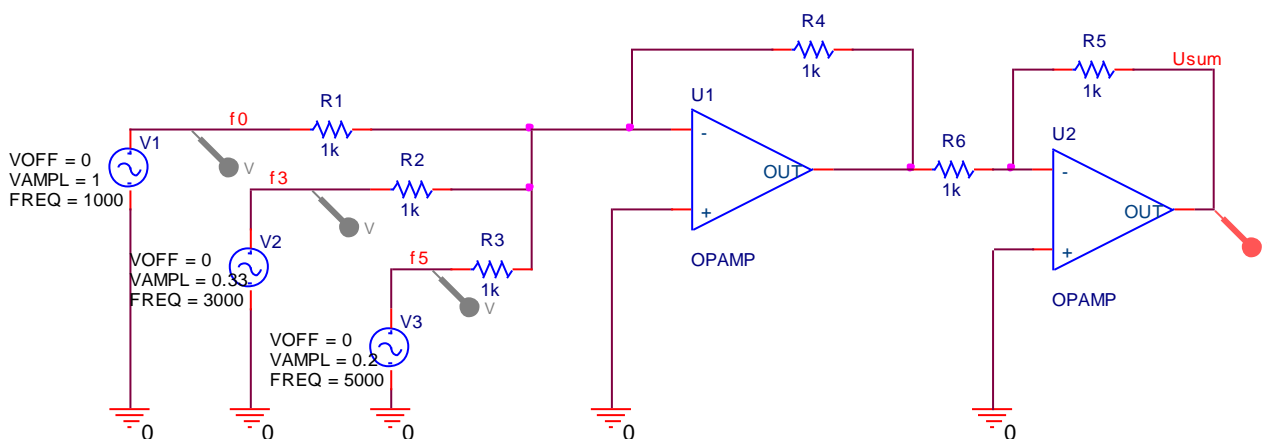
Alle periodiske svingninger kan opløses i en grundtone plus eller minus et antal højere harmoniske frekvenser, med aftagende amplitude.

Ethvert periodisk signal, dvs. et, der gentager sig selv, kan uanset kurveform opløses i en række sinustoner med forskellig frekvens, amplitude og fase.

Fænomenet blev opdaget af en fransk matematiker, Jean-Baptiste Joseph Fourier [Fur'je']. Det gav senere navn til Fourier-analyse og Fouriertransformation.

At overtonerne kan have forskellig fase betyder, at de kan være forskudt i tid.

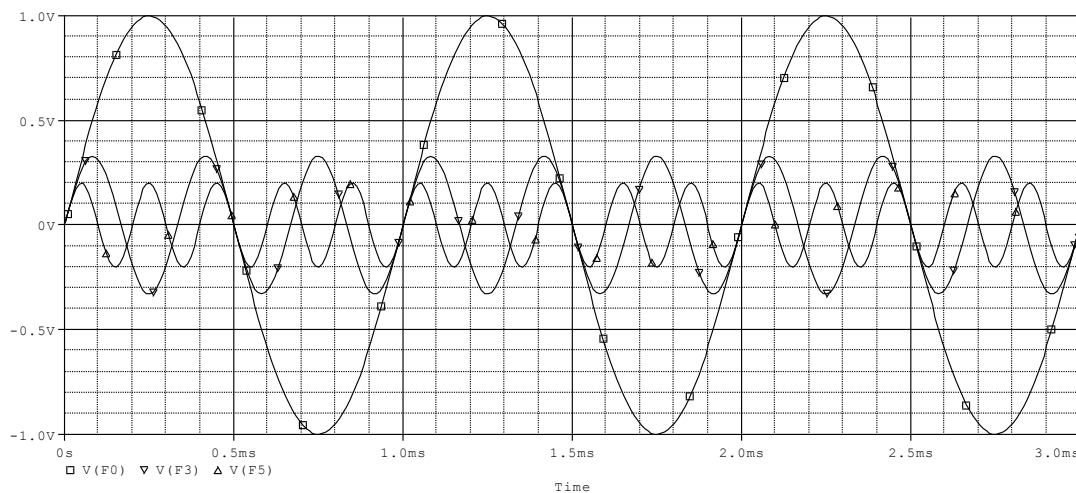
Givet følgende kredsløb:



Den første generators frekvens er 1000 Hz, og amplituden 1 Volt. Den anden generator har den 3-dobbelte frekvens, dvs. 3000 Hz med en amplitude på 1/3 Volt. Og den 3. har 5000 Hz og amplituden 1/5 Volt.



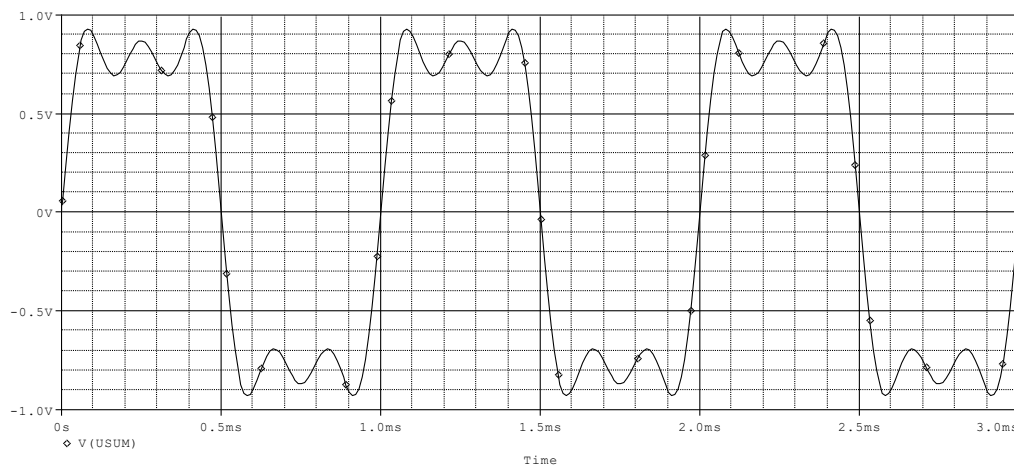
De 3 generatorer giver flg. signaler:



Den matematiske fremstilling er som flg.:

$$f(t) = \frac{4 \cdot A}{\pi} \cdot \left[\sin(\omega t) + \frac{1}{3} \sin(3\omega t) + \frac{1}{5} \sin(5\omega t) + \dots \right] \text{ hvor } A \text{ er signalets amplitude, og } \omega \text{ er lig } 2\pi f.$$

Adderes signalerne fra de 3 generatorer fås summen af dem. Det ser ud som flg.:

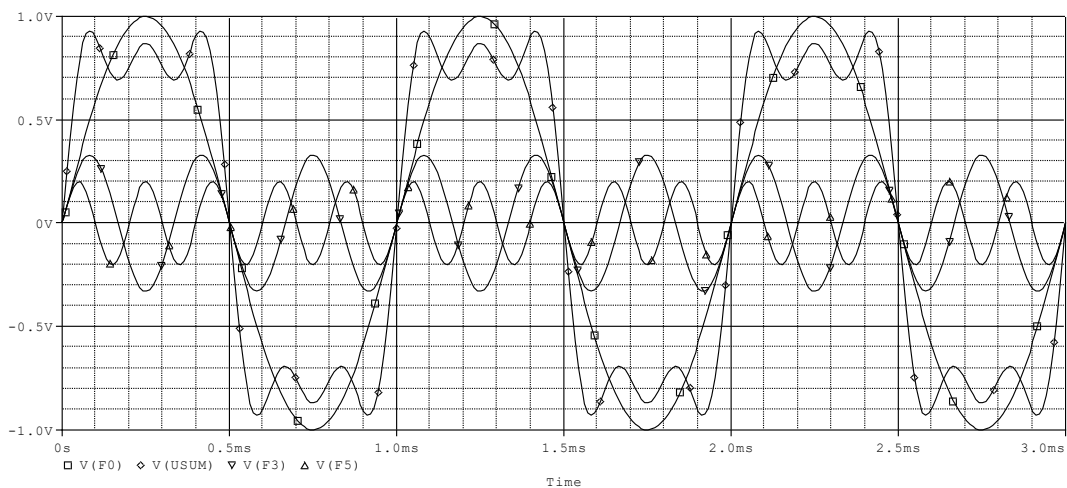


Her vises alle signaler sat sammen!

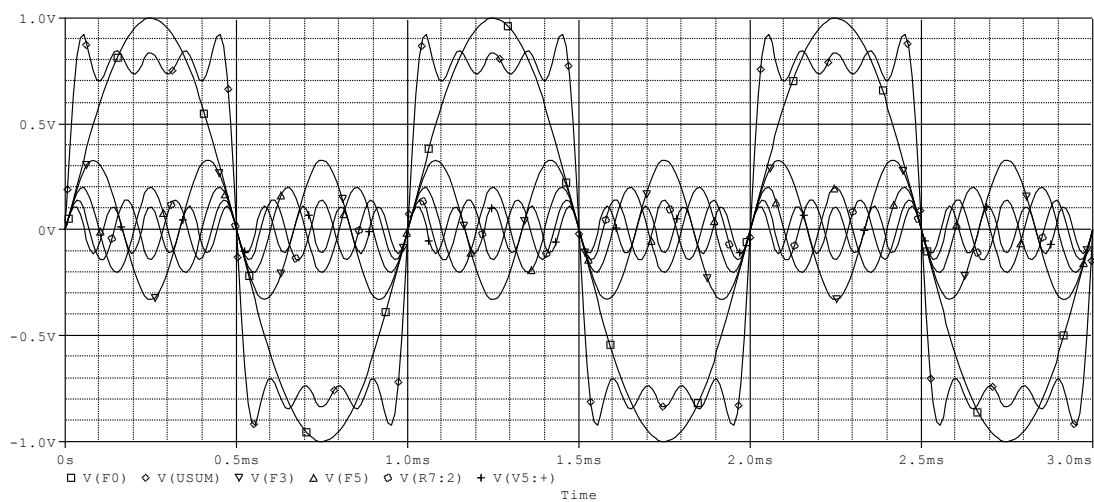


A/D - D/A KONVERTERE

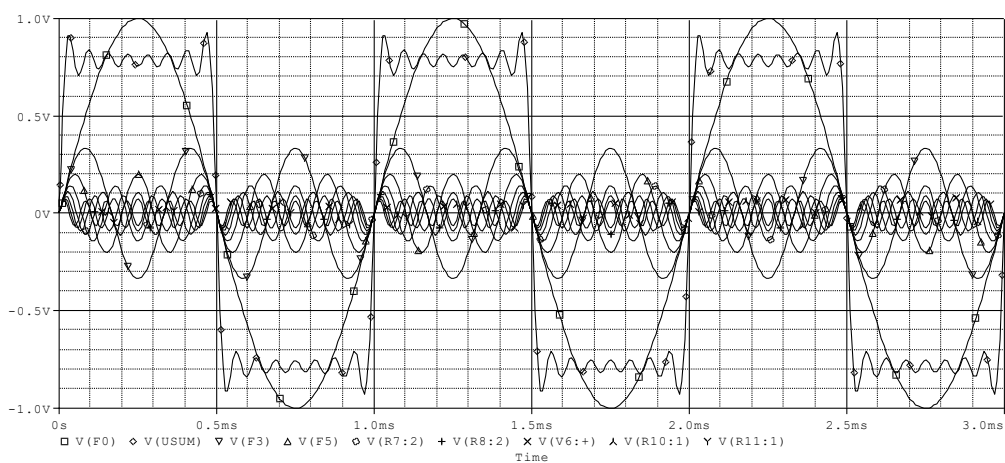
Redigeret
14-Jan-21



Og med 5 generatorer



Med 7 generatorer



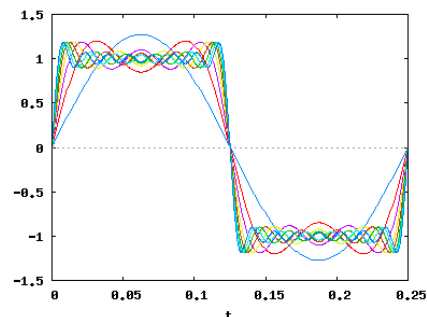


A/D - D/A KONVERTERE

Redigeret
14-Jan-21

Her en graf gaflet fra nettet:

https://arachnoid.com/maxima/fourier_analysis.html



Det ses, at jo flere harmoniske signaler, der adderes, jo tættere kommer man på en ren firkant.

Dvs. at ikke-Sinusformige signaler kan opløses i en grundsinus plus et antal harmoniske. Det betyder også, at skal et ikke-sinusformigt signal forstærkes i en forstærker, skal forstærkeren kunne håndtere både grundtonen, og de højere harmoniske.

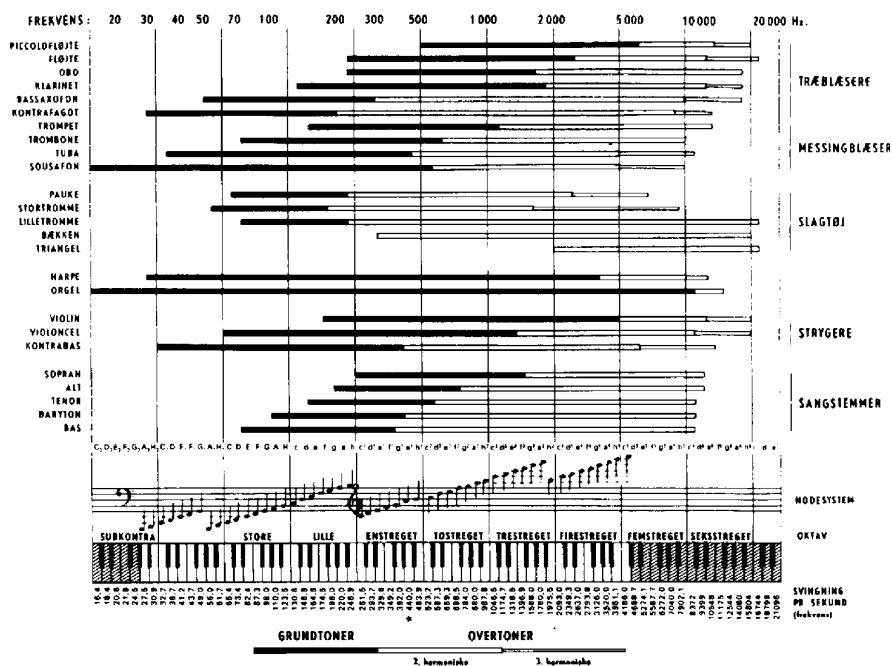
Musikinstrumenter

Baggrunden for at vi kan skelne forskellige musikinstrumenter og stemmer fra hinanden, ligger i den forskellige kombination af overtoner. Instrumenterne giver altså svingninger, der består af en grundfrekvens plus et antal harmoniske. Grundfrekvensen er jo den samme hvis instrumenterne spiller samme tone – eller node. Fx kammertonen, 440 Hz!! Forskellen i lyden ligger i overtonerne.

Skal en lyd fra et instrument med en given frekvens forstærkes i en forstærker, skal forstærkeren selvfølgelig kunne gengive grundtonen, men altså også den dobbelte frekvens, den 3-dobbelte, den 4-dobbelte osv.

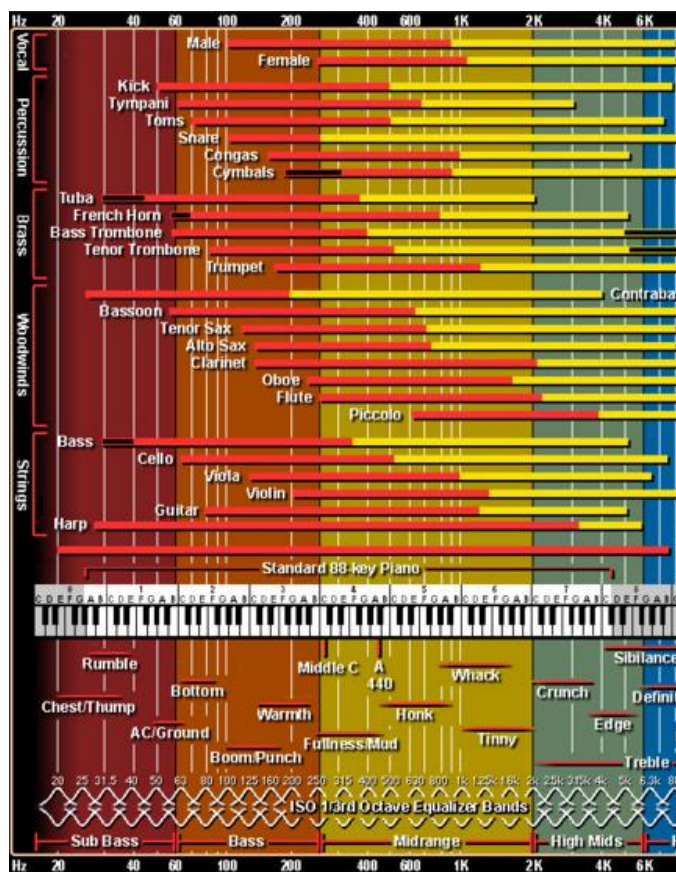
En god forstærker skal altså kunne håndtere betydelig højere frekvenser end 16 kHz for at kunne gengive høje frekvenser, der ikke er sinusformede.

Denne graf viser
forskellige instrumenter
og deres overtoner.:





Illustrationen viser frekvensområderne, eller toneomfanget, for forskellige musikinstrumenter og sangstemmer. Til venstre grundtoner, den 2. harmoniske (overtone) og den 3. harmoniske. Nederst er også medtaget flyglets klaviatur samt nodesystemet.



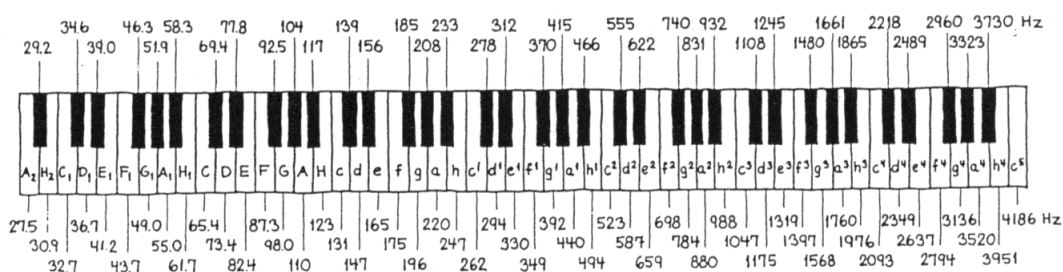
Og her en anden:

Se den på ”interaktiv” side:

http://www.independentrecording.net/irm/resources/freqchart/main_display.htm (Brudt link !!)

Se evt.: <https://www.arcaudio.com/node/155>

Her er vist frekvenserne (grundtoner) for et klavers forskellige tangenter:



Periodiske signalers rækkeudvikling:

Alle periodiske signaler, inkl. sinus-signaler, kan beskrives matematisk med ”rækkeudvikling”. Det skal forstås som nogle formler, der ” fortsætter mønstret ”

Her er nogle eksempler:



En savtak ser således ud : $f(t) = \frac{2 \cdot A}{\pi} \left[\sin(\omega t) - \frac{1}{2} \sin(2\omega t) + \frac{1}{3} \sin(3\omega t) - \frac{1}{4} \sin(4\omega t) + \dots \right]$

En trekant : $f(t) = \frac{8 \cdot A}{\pi} \left[\sin(\omega t) - \frac{1}{3^2} \sin(3\omega t) + \frac{1}{5^2} \sin(5\omega t) - \frac{1}{7^2} \sin(7\omega t) + \dots \right]$

Det skal forstås på den måde, at de periodiske signaler består af en grundtone, grundfrekvens, - plus et antal højere frekvenser, dobbelte, tredobbelte, - osv. - og med varierende, normalt aftagende - amplitude

Jo kortere en firkantpuls, der skal gengives, jo langsommere klinger de højere harmoniske af. Dvs. at der ved computerbrug, hvor der jo forekommer firkantpulser, frembringes et stort antal signaler med meget høje frekvenser.



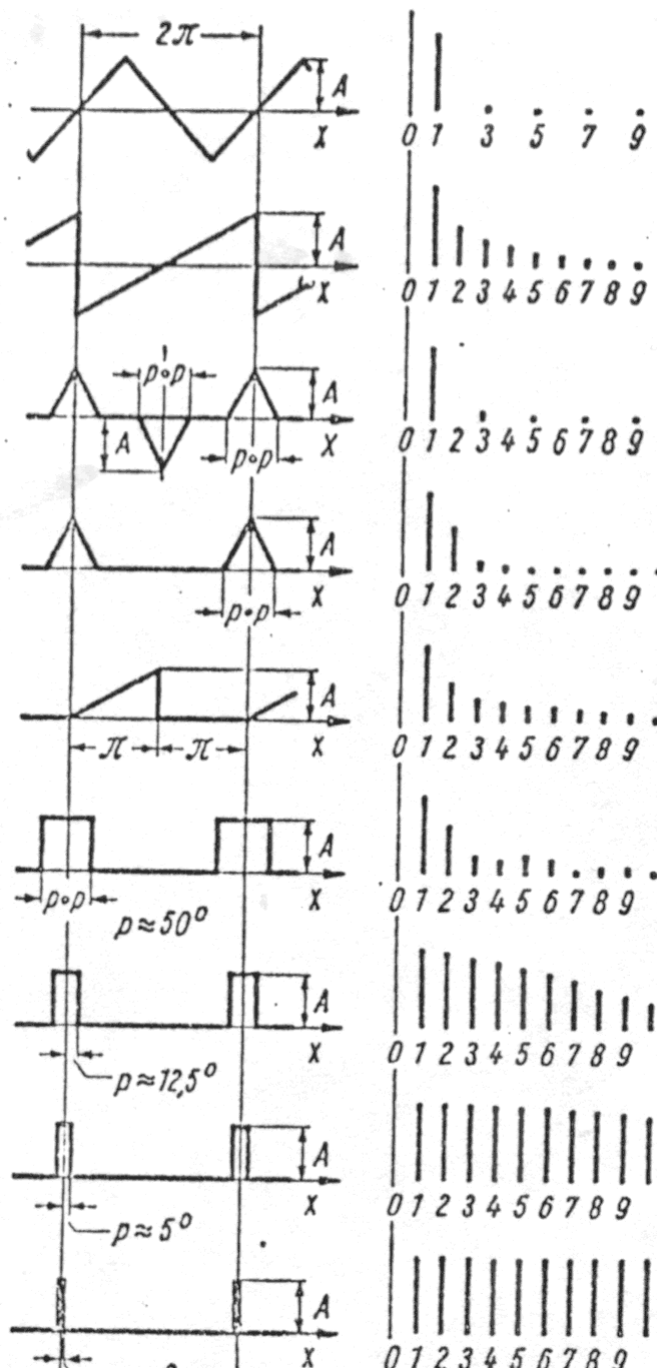
A/D - D/A KONVERTERE

Redigeret
14-Jan-21

Dette indikeres af denne scannede oversigt.

For de forskellige signaler vises indholdet af harmoniske!

Det ses, at frekvensspektret for firkantpulser, med lav duty cycle har næsten uendelig mange harmoniske, der næsten ikke klinger af i amplitude!!



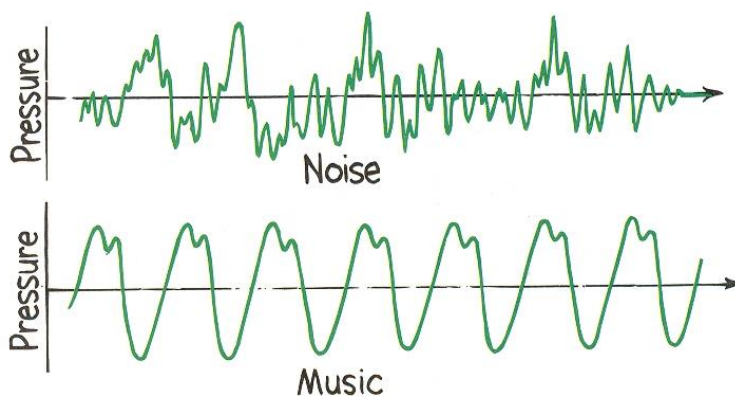


Her ses øverst uregelmæssige svingninger.

Det vil vi opfatte som støj.

Nederst en svingning, der gentager sig – regelmæssigt - i hvert fald inden for et lille stykke tid.

Vi kalder det lyd!

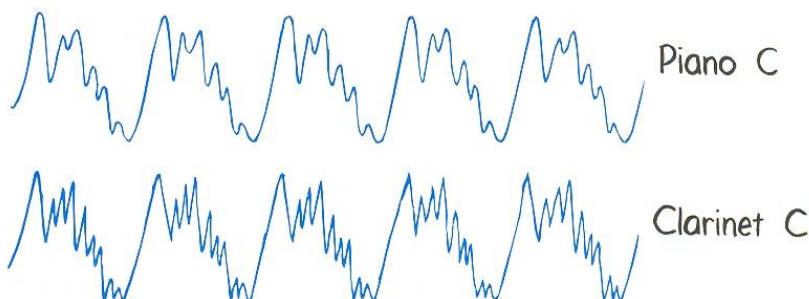


Hvorfor lyder instrumenter forskelligt??

Når man arbejder med instrumenter, kan man undres over, hvorfor to forskellige instrumenter kan spille den samme tone – dvs. den samme frekvens. Den samme grundtone.

Her ses et billede af lydtryk-svingningerne fra en Piano og en Clarinet.

Det er samme frekvens. Men det lyder forskelligt.

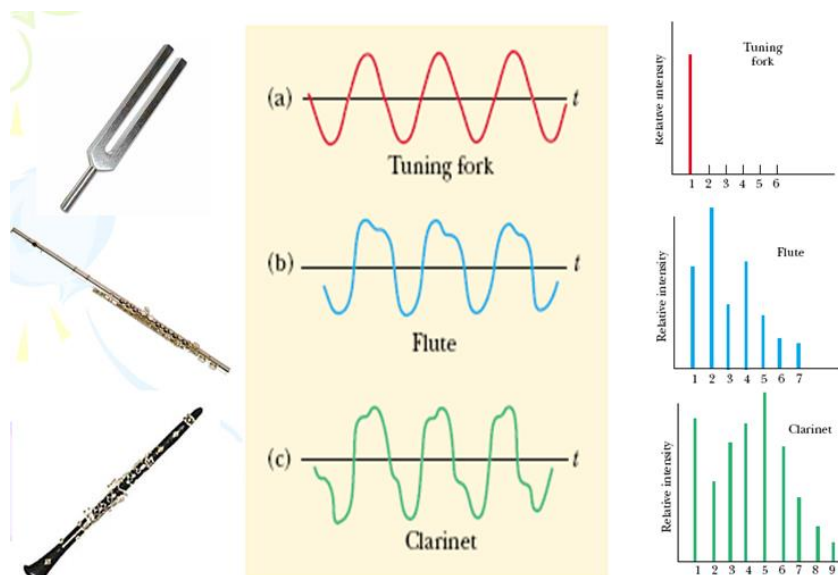


Grundtonen eller grundfrekvensen ses, og ”forvanskninger af den” giver den specifikke lyd.



A/D - D/A KONVERTERE

Redigeret
14-Jan-21



Her en illustration af først en stemmegaffel, der giver en perfekt sinus.

Dernæst to instrumenter, med angivelse af de højere harmoniske svingninger, angivet med frekvensen ud ad X-aksen.

Grafernes højde angiver amplituden på de harmoniske.

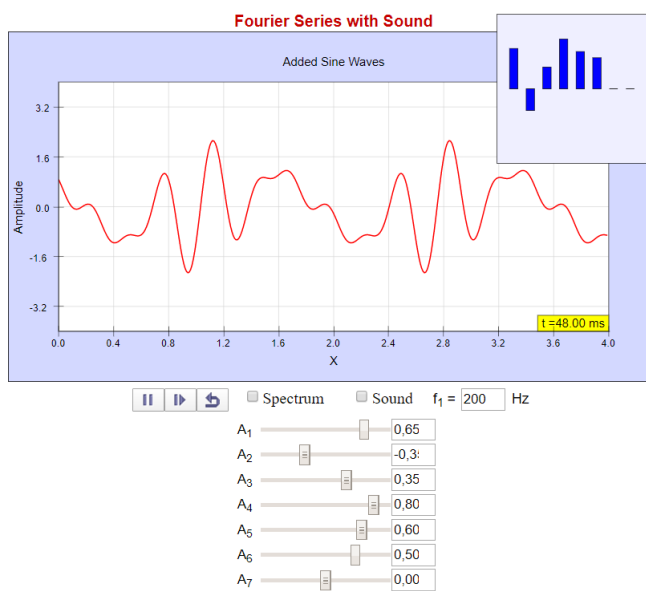
<http://chaos.nus.edu.sg/teaching/GEM2507/tutorials/tutorial%20%20GEM2507.ppt#265,22>, Timbre Profile of Tuning Fork, Flute and Clarinet

Mere info [her](#):

Her et skærmbillede fra et online program, hvor man kan lege med grundfrekvensen – og så forvanske – eller ”ødelægge” svingningen med højere harmoniske.

Man kan også høre den skabte svingning.

Test siden !!



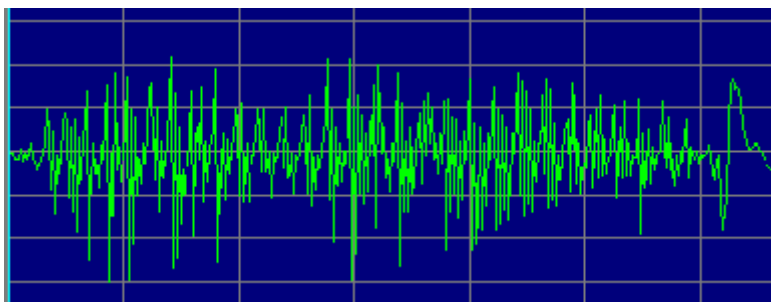
<https://www.compadre.org/osp/EJSS/4487/272.htm>



Analoge spændinger:

Her ses lidt på analoge spændinger:

Analoge spændinger kan antage uendeligt mange værdier. Fx imellem 0 og 12 Volt, eller over og under 0 Volt.



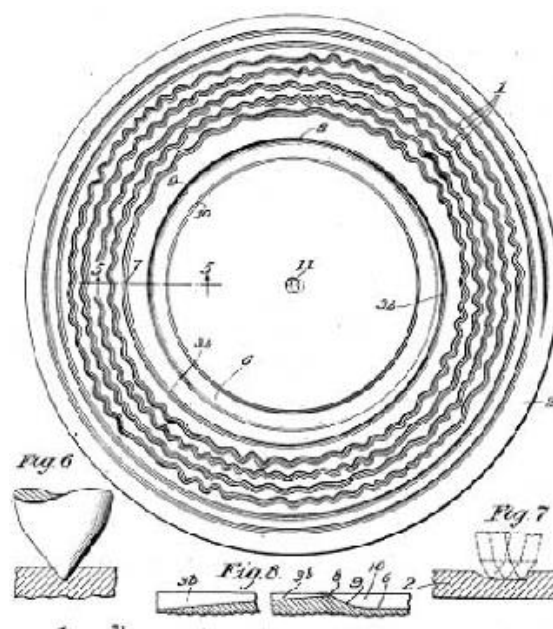
Analoge signaler på en Vinyl LP-plade:

Før der var noget, der hed digitale signaler, brugte man udelukkende analoge. Grammofonplader var – og er indspillet med analog lyd!

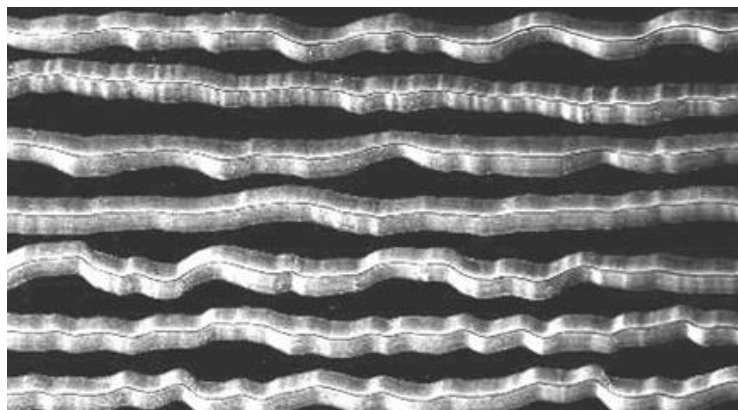
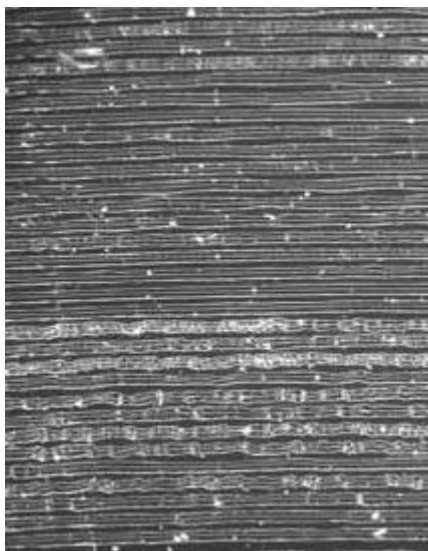
I grov udgave ser en analog vinyl grammofonplade sådan ud:

En nål har skåret en spiral-rille i vinylen. Imens pladen drejede, har nålen været påvirket af et (musik)-signal, så rillen svinger i takt med musikken.

De næste plader er derefter lavet som et aftryk af den første plade!



I de næste billeder er der zoomet ind på gramfonplade- rillerne:



Her to eksempler på ”nærbilleder af en LP-plade”

Når en grammofonplade skal afspilles, drejer pladen rundt, og en nål placeret i rillen vibrerer i samme takt, som da musiksignalet blev indspillet

Nålen påvirker en magnet og en spole – som derfor genererer et elektrisk signal svarende til musikken.

Dette signal forstærkes, og sendes ud i en højttaler.



Gengivelse af information fra LP-plader

De første grammofon-afspillere havde en nål, hvis vibrationer blev mekanisk overført til en tynd plade, som satte luften i svingninger. Altså skabte lyd. Lyden blev ført igennem et rør og ud af en tragt i retningen af lytteren.



<http://keithwright.ca/Thorens/radiophonomania/tranradiophono.html>

Pladen lå på en pladetallerken, der blev drejet rundt af en spiralfjeder med en rimelig konstant hastighed.

Fjederen kunne strammes op med et håndsving.



Billede af en moderne grammofon:

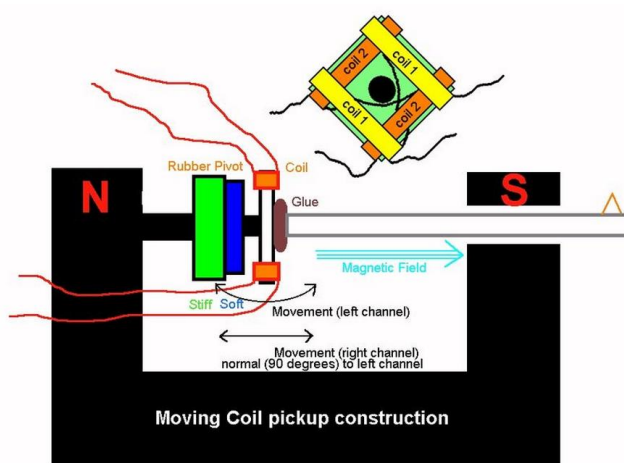
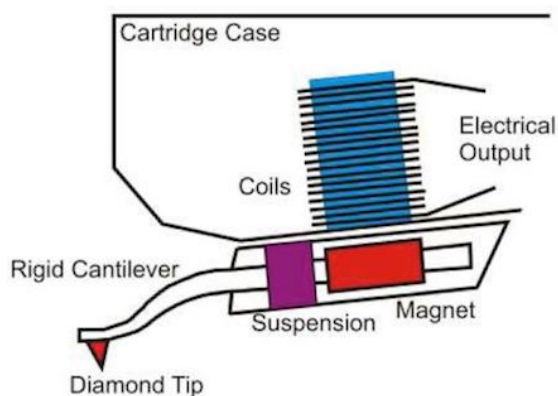
Pickup'naalen sidder på en drejelig arm, der kan følge med ind mod midten af pladen, efterhånden som numrene bliver færdig-spillet.

Her drejes pladetallerkenen af en motor.



Pickup'en genererer et lille elektrisk signal baseret på nålens svingninger. Dette signal skal så forstærkes og føres til en udgangsforstærker.

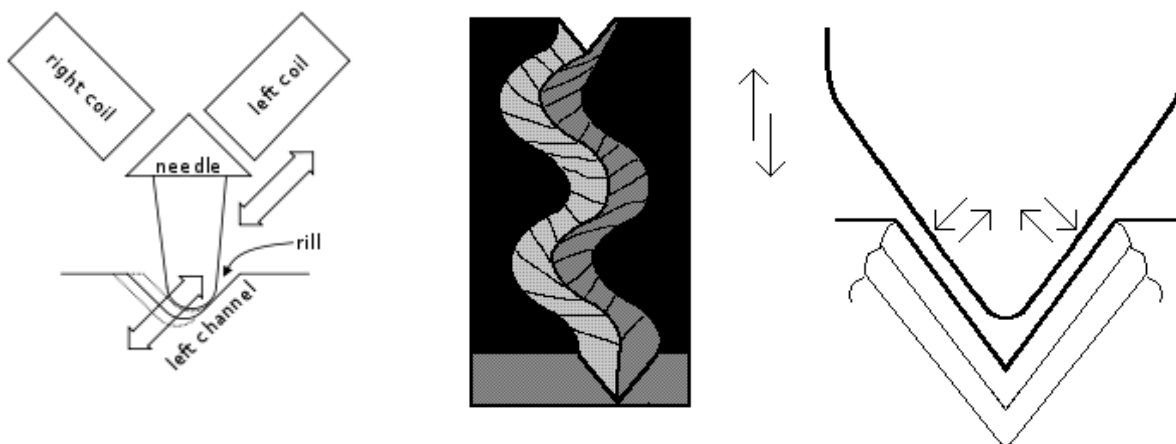
Principperne i "Moving Coil" og "Moving Magnet" pickups.





<http://electronicdesign.com/components/what-s-difference-between-moving-magnet-coil-and-iron-cartridges-turntables>
http://www.djworx.com/skratchworx/reviews/ortofon_manufacture.php
http://en.wikipedia.org/wiki/File:Moving_Coil_Cartridge.jpg

Der er to principper. I det ene bliver nålens svingninger overført til en lille magnet, som dernæst genererer spændinger i stationære spoler. I det andet er det modsat. Her er det spolerne, der vibrerer, og via et stationært magnetfelt skaber elektriske spændingssvingninger.



Herover et par billeder af princippet i informationen i rillerne i en vinylplade: Det ses, hvordan der er stereo-information i rillen.

Når pladen afspilles, kører en nål igennem rillen. Dens vibration vil være som det originale musiksignal. Vibrationen overføres fx via en spole og et magnetfelt til en spænding, der forstærkes, og sendes ud i højtalere.

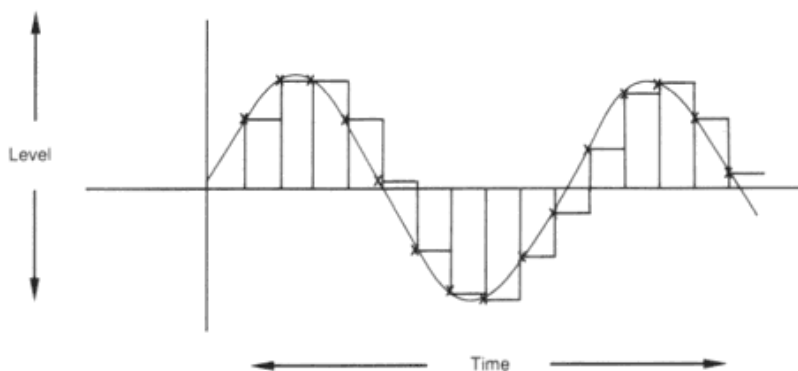
På skitsen til højre ses, at der kan være 2 retninger på vibrationen. Dvs. der kan være stereo-signal gemt i rillen.

Støv, fnug og ridser giver selvfølgelig anledning til støjsignaler oveni det ønskede musiksignal.

Digitale signaler.

I den digitale verden eksisterer der kun 0'ere og 1'ere. Fx gemt som prikker og streger på en CD-plade.

Prikkerne og stregerne angiver et antal bit, der igen angiver et tal, som omformes til en spænding, der skal forstærkes og sendes ud til en højttaler.





Dvs. at et signal gemmes på en CD-plade som en række tal, der som vist på grafen herover repræsenterer hvor langt man er oppe eller nede ad Y-aksen, svarende til en øjeblikkelig spænding.

Men som det ses her, er der en række problemer. Skal man kunne udtrykke et uendeligt antal spændinger, skal der et uendeligt antal talværdier til, – og dermed et uendeligt antal bit.

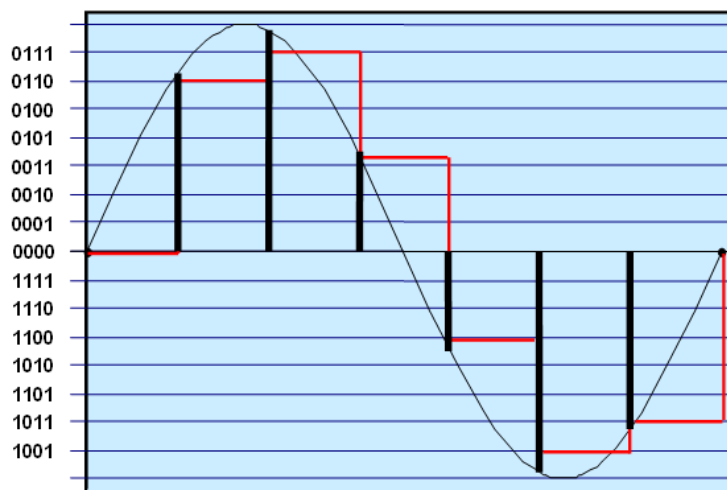
Yderligere må det være væsentligt, hvor ofte der udregnes en talværdi for musiksignalet. Altså hvor mange gange pr. sekund. Dette kaldes ” Sampling Rate ”.

Antal bit. Opløsning.

Opløsningen, dvs. nøjagtigheden af et signal beskrevet med et binært tal, afhænger af antallet af bit.

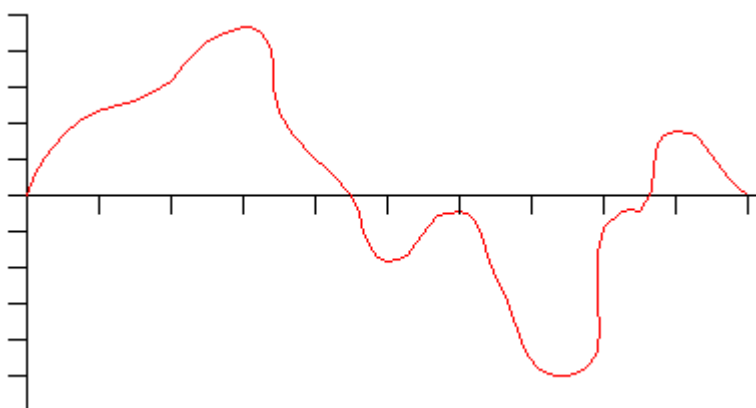
Her er der vist et eksempel med kun 4 bit.

Der er med 4 bit mulighed for at beskrive op til 16 forskellige spændinger.



De næste eksempler er fra: <http://communication.howstuffworks.com/analog-digital3.htm>

Et analogt signal kunne se således ud:

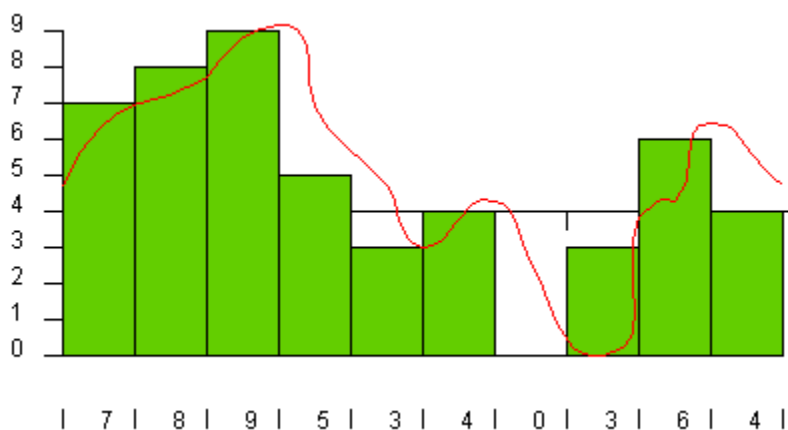




Sampling Rate.

Et analogt signal måles et bestemt antal gange pr sekund. Og den målte værdi udtrykkes som et binært tal.

Digitalisering betyder, at man omsætter et analogt signal til en repræsentation på digital form. Dvs. en spænding udtrykkes som et tal.

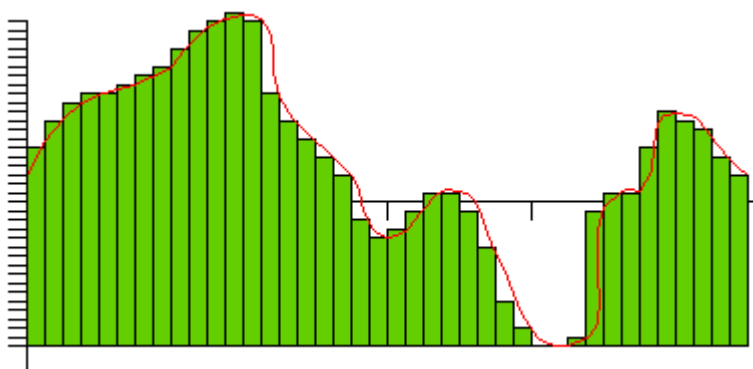


Hvis det oprindelige analoge signal skal beskrives helt nøjagtigt, skal man samle med meget kort interval, og med mange bits opløsning. Ovenfor ses et analogt signal, - det er den røde graf.

Og med de grønne søjler vises hvordan signalet vil se ud, når talværdierne senere skal gengives.

Når det gemte signal senere gengives, mistes alle de mellemliggende værdier mellem samplingerne.

En meget større opløsning – både i antallet af bit, og i samplingsrate medfører et meget bedre beskrivelse af det oprindelige signal.



Sampling er nødvendig med mindst den dobbelt frekvens.



Her ses på sample-ratens betydning:

Eksempel:

Sampleraten for viste signal er meget større end signalets frekvens.

Eller sagt på en anden måde: Tiden mellem samples er meget kortere end signalets periodetid, T .

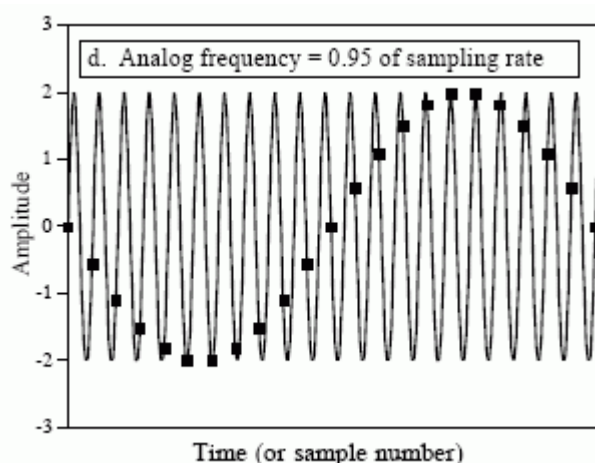
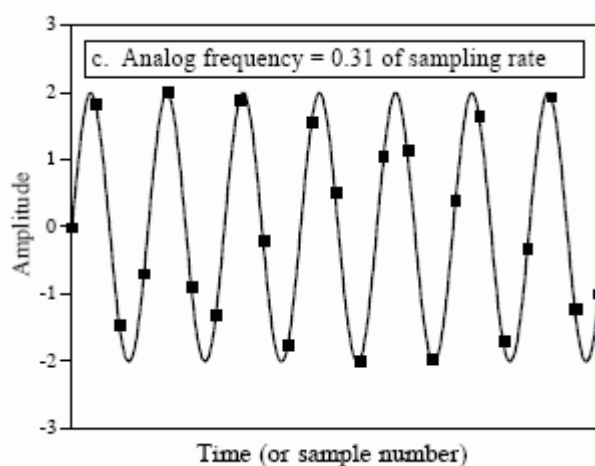
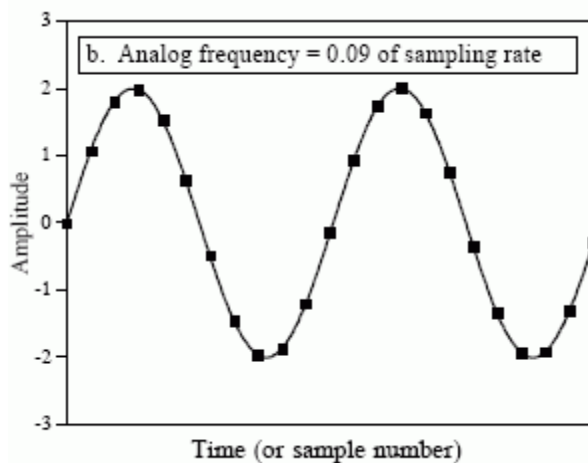
De sorte pletter viser, hvor der er taget samples.

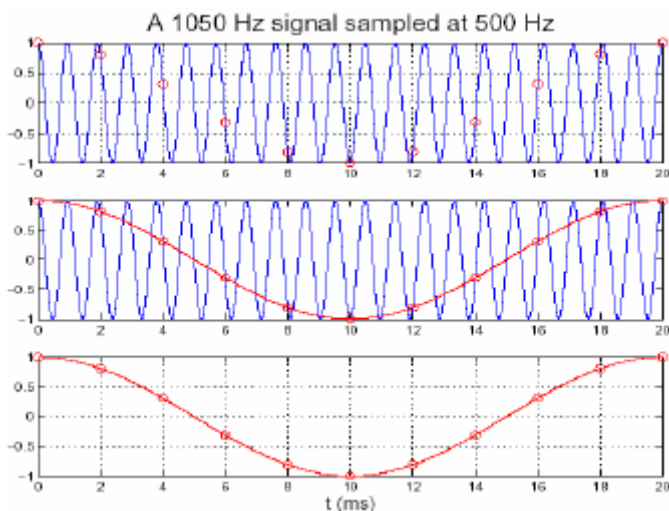
Her er der ikke så mange samples pr hel svingning.

Og her kun ca. 1 sample pr bølgelængde. (T)

Det, der skal bemærkes, er, at når signalet gengives, vil der fremkomme en meget lavere frekvens end det oprindelige signal.

Derfor er det vigtigt, at samplefrekvensen er større end signalets frekvens.





Her et andet eksempel på for lav
samplingsfrekvens:

Tommelfinger-regel:

Der skal bruges mindst den dobbelte
samplingsfrekvens, som signalets højeste
frekvens.

http://www.ee.nmt.edu/~rison/ee308_spr12/notes/Lecture_22.pdf

CD-skive.

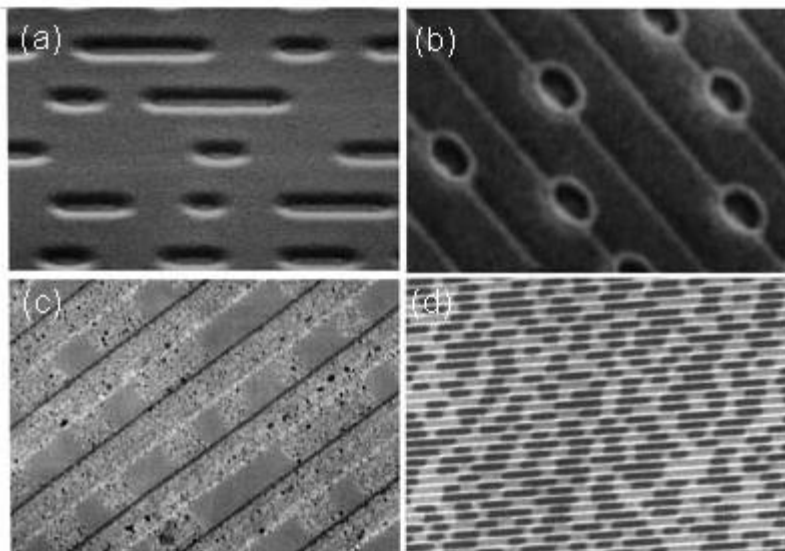
Hvis man optager noget musik, gemmes det i dag fx på en CD-skive. Det er 1'ere og 0'ere, der gemmes.

Her ses en grov beregning over
antallet af bytes, der er gemt på
en CD med musik i 74 minutter:

Der samples med 44,1 KHz.

$$44.100 \text{ samples}/(\text{channel} \cdot \text{second}) * 2 \\ \text{bytes/sample} * 2 \text{ channels} * 74 \\ \text{minutes} * 60 \text{ seconds/minute} = \\ 783,216,000 \text{ bytes}$$

Altså mindst 783 MByte skal
gemmes på en CD-skive.



44 kHz sampling svarer godt til at det er dobbelt så højt som de 20 kHz, vi maksimalt kan høre.

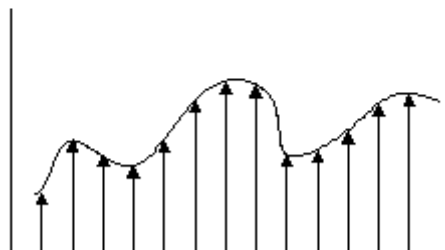
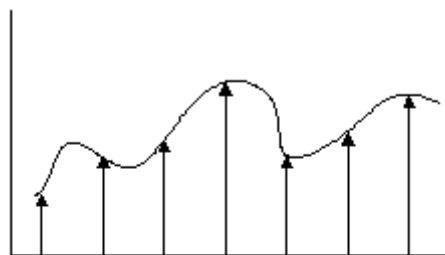


Oversampling:

Oversampling kan forbedre lyden fra en Cd-afspiller. Det foregår ved, at afspillerens computer beregner mellemliggende værdier imellem de samlede ved hjælp af Interpolation.

Dvs. at den 44,100 kHz firkant, der normalt overlejrer signalet fra CD-afspilleren, vil få en meget højere frekvens ved oversampling.

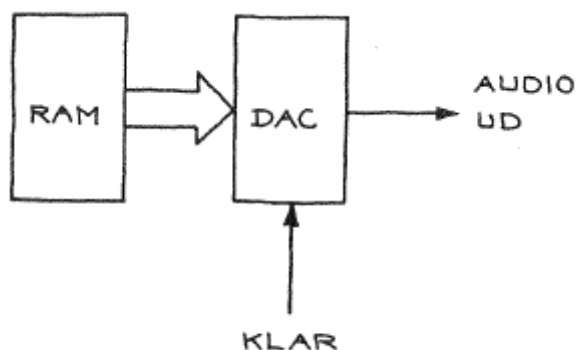
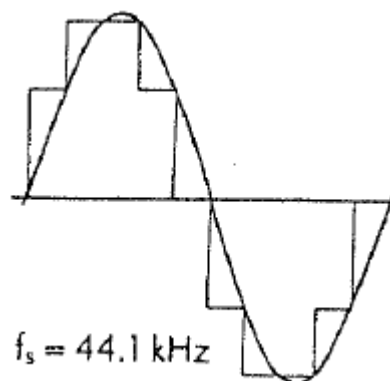
Det betyder, et simpelt RC-filter meget lettere kan fjerne samplingsstøjen, uden at påvirke selve signalet.



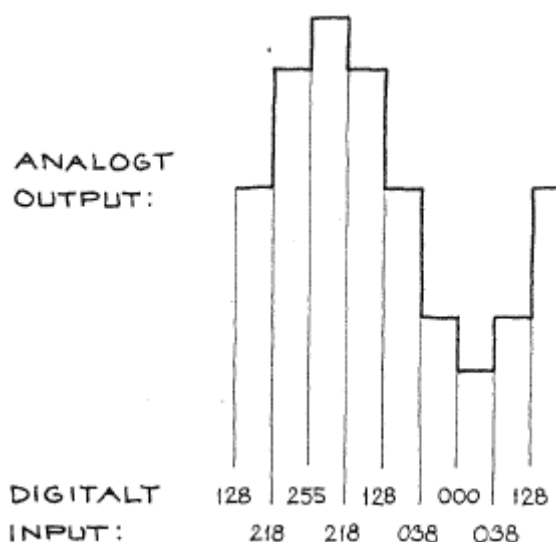
Eksempel:

Her er vist et eksempel på et signal fra en CD-afspiller.

Det var oprindeligt en sinus, men er efter digitaliseringen – med 44,1 kHz, - blevet hakket.



Et digitalt signal hentes fra en CD eller en RAM, - og konverteres til analog. Udgangssignalet ses til højre.

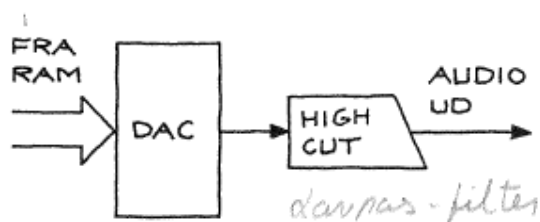




A/D - D/A KONVERTERE

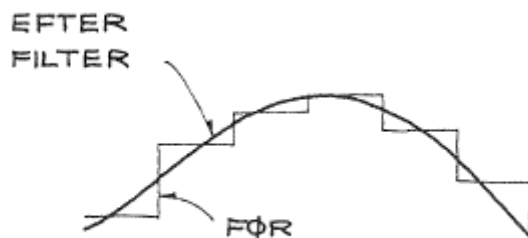
Redigeret
14-Jan-21

Efter Digital til Analog-konverteren kommer signalet igennem et lavpas-filter, der dæmper de høje frekvenser.



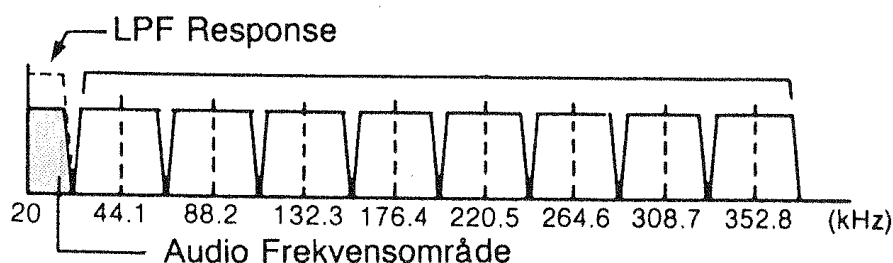
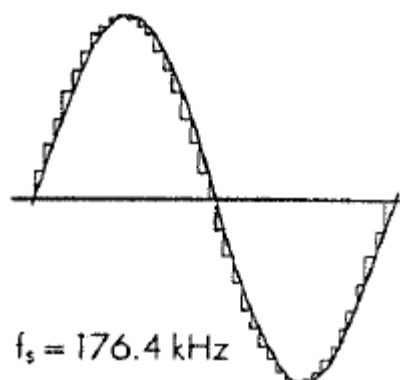
Det digitale signal vises her før og efter filtrering.

Det ”firkant hakkede” signal fra A/D-konverteren og signalet efter en filtrering i et RC-led, et lavpasfilter.



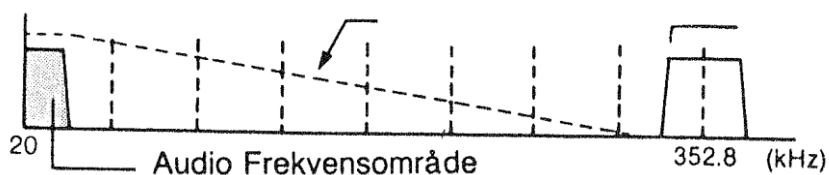
Med 4-dobbelt oversampling i afspilleren får samplings-firkanterne en meget højere frekvens.

Dermed bliver det meget lettere at filtrere de uønskede signaler væk med et simpelt RC-filter.!



8 gange oversampling.
Dvs. at man med et simpelt RC-filter kan fjerne den nu meget højere sampling-”støj – frekvens”. Dette ses herunder:

Den stiplede skrånende linje viser et Bodeplot for et RC-led. Bodeplottet har sit knæk ved 20 KHz.



Dette vil ganske vist medføre en fasedrejning på 45 grader i knækket!! Men samplestøjen, der ved oversampling fx ligger på 352,8 kHz fjernes meget lettere.



Samplerate for et telefonsignal:

I gamle dage med telefon via kobberkabler - overførtes frekvenser fra 100 Hz til 3 kHz. Derfor bør sampleringen være mindst på 6 - 8 kHz.

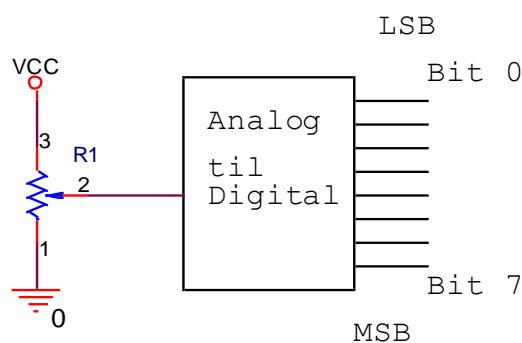


A/D-D/A konvertering

Digitale komponenter kan ikke håndtere analoge signaler, - bortset fra, at en komparering kan siges at være en form for digitalisering.

Det kan ske med en komparator, evt. bygget af en OPAMP, eller fx en NAND-gate med hysteres. Men dette giver kun en 1-bits opløsning.

Ønsker man fx en 8-bits opløsning må der mere sofistikerede løsninger til. Det kan illustreres med følgende skitse:

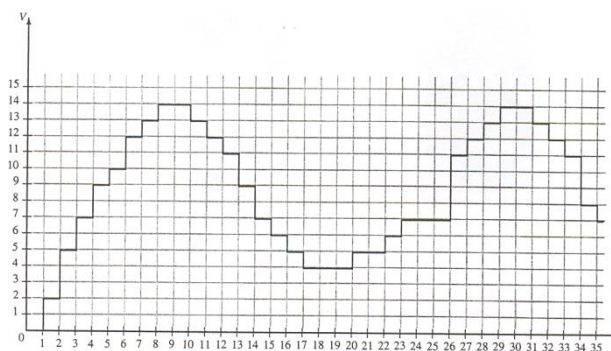
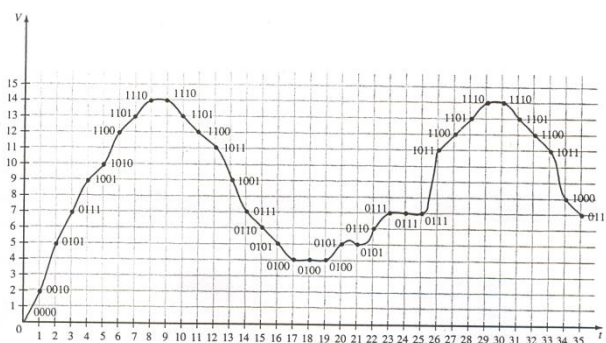


På omformerens udgang optræder et binært tal. I dette tilfælde et 8-bits tal. Dvs. værdier fra 0 til 255_D eller fra 00000000_B til 11111111_B .

Hvis indgangssignalet fx går fra 0 til 10 Volt, kan det følgelig indrettes således, at 8 nuller svarer til en indgangsspænding på 0 Volt, og 8 1'ere til 10 Volt. Altså, hvert tal på udgangen repræsenterer et spring på $\frac{10}{255} = 39,2 \text{ mVolt}$.

Hvis potentiometeret på indgangen langsomt skrues fra 0 til 10 Volt, vil udgangen bevæge sig fra 8 nuller og opad i det binære talsystem som en 8 bit tæller. Hver gang indgangsspændingen stiger ca. 39 mV vil tallet på udgangen stige med 1.

Et eksempel på en digitalisering.





Ovenfor ses et indscannet billede af et indgangssignal, der er digitaliseret til 4 bit. Når de 4 bit talværdier senere igen konverteres til analog spænding, (det højre billede) ses at de analoge spændinger antager en trappe-kurveform.

En opløsning med 8 bit ville gøre opløsningen meget bedre.

Opbygning af A/D konvertere.

Flash-konverter:

Dette eksempel viser et diagram, hvor der er brugt komparatorer, og en referencespænding.

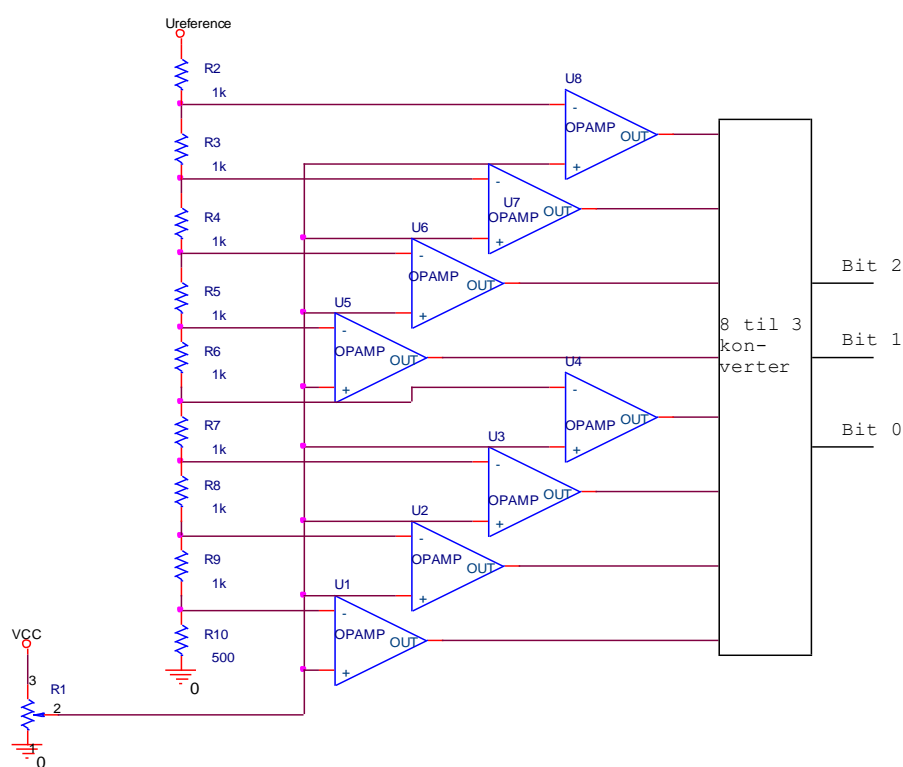
Til en konverter med bare 3-bit skal bruges 8 referencespændinger, og 8 komparatorer.

Som denne skitse indikerer, vil man ved større bit-opløsninger komme op på rigtig mange modstande og komparatorer i en konverter af denne type.

Dette princip er det hurtigste til at lave en konvertering!

Derfor navnet "Flash"

Men princippet bruger mange komponenter, og bruges kun ved lav opløsning, dvs. ≤ 8 bit.

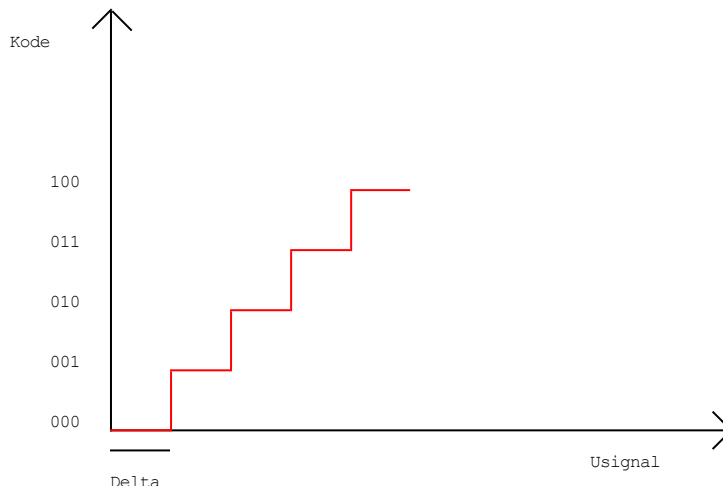




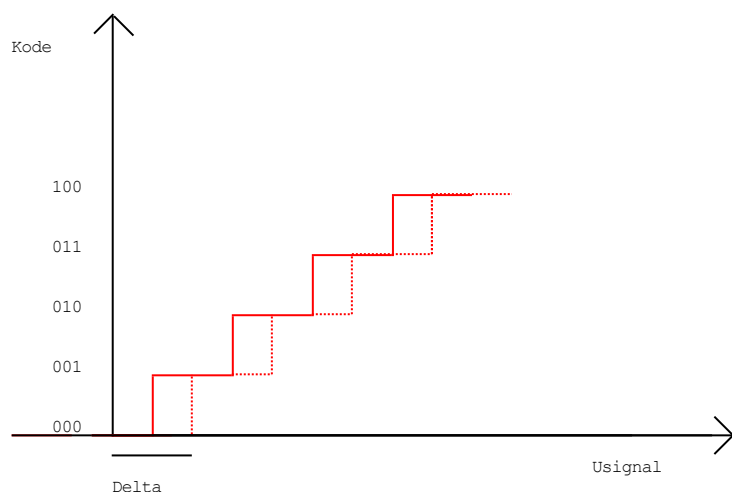
Modstandsnetværket ovenfor skaber $2^n - 1$ spændingsniveauer.

Opløsningen er:

$$\Delta = \frac{U_{ref}}{2^n - 1}$$



Det er meget vigtigt, at modstandene i modstandsnetværket er ret præcis, så de genererede referencespændinger er nøjagtige.



For at lave bedre overensstemmelse mellem faktisk værdi og konverteret værdi, bør første Delta værdi kun være den halve værdi:

Altså bør nederste modstand være 500 ohm som vist.

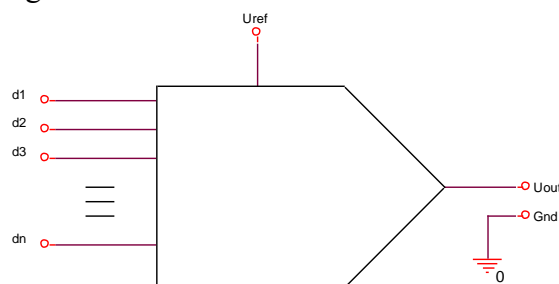
Den stiplede graf viser forløbet for alle modstande på 1K.

Digital til Analog konvertere

Her ses et ”diagram-symbol” for en Digital til Analog konverter: Fra venstre tilføres et antal bit:

Hvis bittene ind i en DAC kaldes d_1, d_2, \dots, d_n , hvor MSB er d_1 , fås, idet $U_{out} = D \cdot U_{ref}$:

(d_1, d_2 , osv. er enten 1 eller 0)



$$D = (d_1 \cdot 2^{-1} + d_2 \cdot 2^{-2} + d_3 \cdot 2^{-3} + \dots + d_n \cdot 2^{-n})$$

$$U_{out} = D \cdot U_{ref}$$



Hvis U_{ref} er 10 Volt, medfører det, at der fås $10 / 2^n$ amplitude – muligheder.

Eller måske en mere logisk måde at udregne udgangsspændingen på:

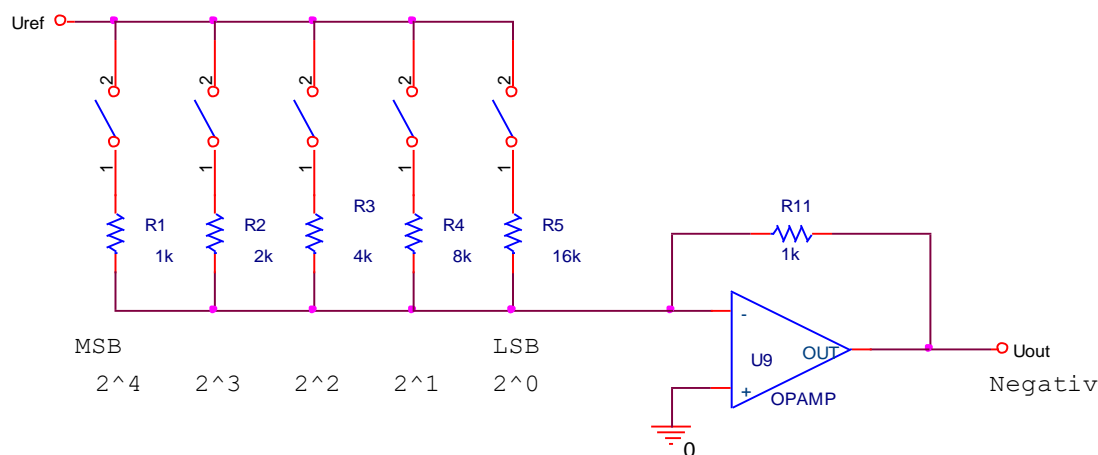
$$U_{out} = \left(\frac{D_7}{2} + \frac{D_6}{4} + \frac{D_5}{8} + \frac{D_4}{16} + \frac{D_3}{32} + \frac{D_2}{64} + \frac{D_1}{128} + \frac{D_0}{256} \right) * U_{Reference}$$

Her er D7 mest betydende databit !!

Graduerede modstande:

Ved store opløsninger er det nødvendigt med ret store modstandsspring, og ret nøjagtige modstandsstørrelser. Anvendes derimod et andet princip, kan man nøjes med kun 2 modstandsstørrelser:

Her er et eksempel på opbygning af en Digital til Analogkonverter, (D/A-konverter) hvor der er brugt forskellige størrelser af modstande.:



I kredsløbet indgår en række switche, og nogle graduerede modstande. Når en switch er "ON", løber der en strøm mod nul, dvs. virtuel stel. Strømmen må fortsætte op gennem R11, mod U_{out} , som må være negativ. Derfor følger, at jo flere switche der er ON, jo mere negativ vil U_{out} være!

I stedet for switchene kunne udgangene i fx en CMOS-tæller bruges.

Det ses, at med store opløsninger, dvs. større antal bit, skal der ret store modstande til for mindst betydende bit, LSB. 32k, - 64K, 128K, 256k, 512k osv.

R-2-R netværk



Dette problem er løst med følgende princip. Der er anvendt et såkaldt R2R-netværk, der kan opbygges af almindelige modstande.

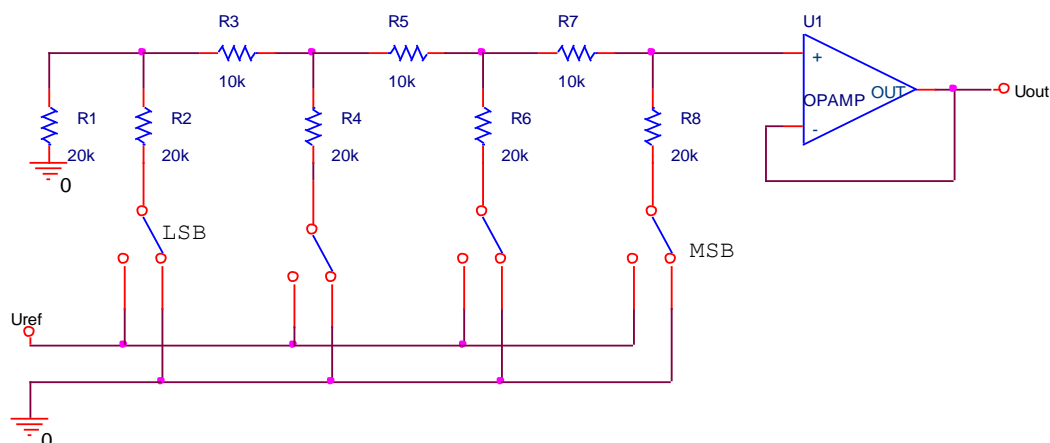


Men der fås færdige R2R-netværk i en SIL, (Single in Line-hus).

R2R-Modstandene er placeret i et SIL-hus (Single In Line)

Se fx: <http://www.bourns.com/pdfs/r2rap.pdf>

Et R2R-netværk består af 2 størrelser modstande. Fx med den ene værdi på 10K og den dobbelte værdi, 20K.



Konvertere på markedet har en opløsning på mindst 8 bit, men for overskuelighedens skyld er her vist en 4 bit udgave. Princippet er det samme.

Ved hjælp af en kombination af switchene kan der frembringes i alt 2^4 forskellige udgangsspændinger. Er alle switche på 0, dvs. mod højre, er udgangsspændingen = 0.

Switches MSB-switchen ON, vil der løbe en strøm i R8. Den løber gennem R7 og forgrener sig så.

Ses på modstandene fra venstre, ses, at R1 og R2 er parallelle. Altså = 10 K. I serie med R3 giver det 20 K. Og så fremdeles. Det betyder i alt, at strømmen gennem R8 = 20 K går videre ind i ialt 20 K. gennem R7 på 10 K og resten, der også udgør 10 K.

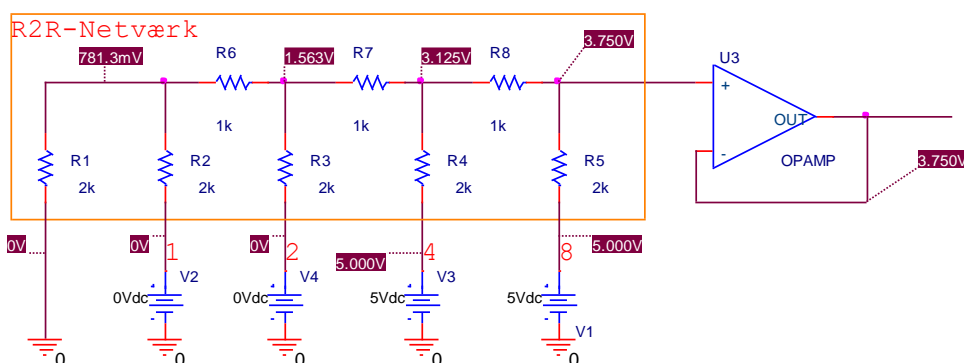
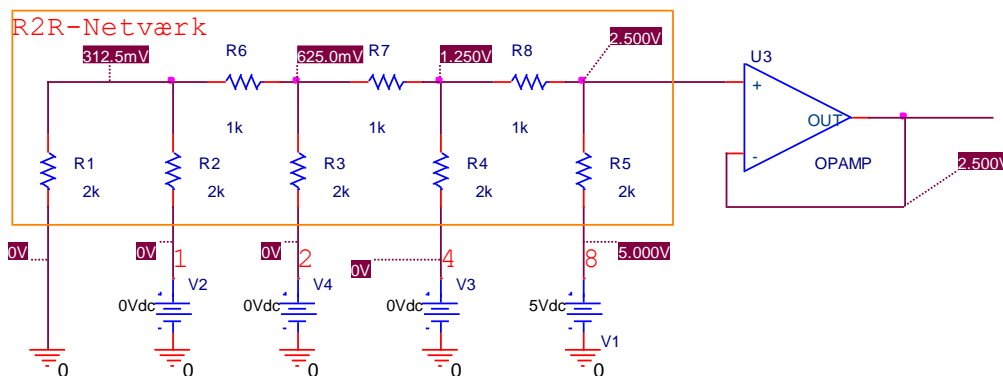
Alt i alt vil spændingsdelingen mellem R8 og R7 + resten give halv spænding til operationsforstærkeren, der blot er koblet som 1 gangs forstærker.

Vha. beregninger med superpositionsprincippet, Thevenin og Mayer Norton, eller ved brug af ORCAD Bias Voltage simuleringer, kan de forskellige kombinationer af switchene udregnes. Det giver i alt 16 forskellige spændinger på udgangen med 4 kontakter.



Her er vist en ORCAD-simulering hvor kontakterne er indikeret med påtrykte spændinger.

Med MSB = '1', må udgangsspændingen være det halve af den påtrykte spænding.



Gøres nu også den næst mest betydnede bit høj, stiger udgangsspændingen.

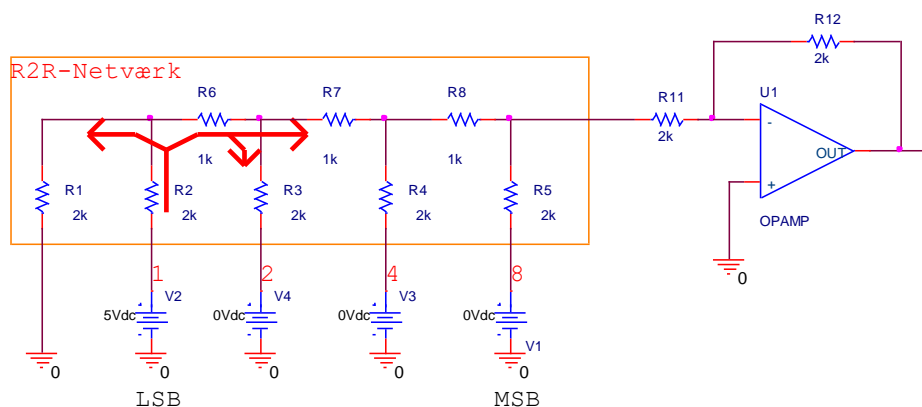
Opløsningen er 5 Volt, fordelt på 16 muligheder.
 $5/16 = 0,3125$ Volt. Altså vil et signal på 0001 binært give 0,3125 Volt.

Ovenstående signal er binært 1100, eller 12 decimalt. dvs:

Udgangsspændingen skal altså være $\frac{5}{16} \cdot 12 = 3,75$ Volt

Strømmen fra 5 Volts-kilden fordeles sig i to lige store grene, fordi, den "ser ind i" lige store modstande til begge sider efter R2.

Strømmen gennem R6 deler sig igen i to lige store dele.



Den ene gennem R7, den anden gennem R3.



Dvs. strømmen halveres for hvert led, og strømmen gennem R11 er meget lille i forhold til gennem R2.

Derfor giver LSB kun et meget lille bidrag til strømmen gennem R11 og dermed udgangsspændingen!

Opgave:

Opbyg ovenstående i ORCAD. Som Uref bruges fx VDC, der sættes på 5 volt.

Prøv forskellige bit-værdier, og regn efter.

Øvelse:

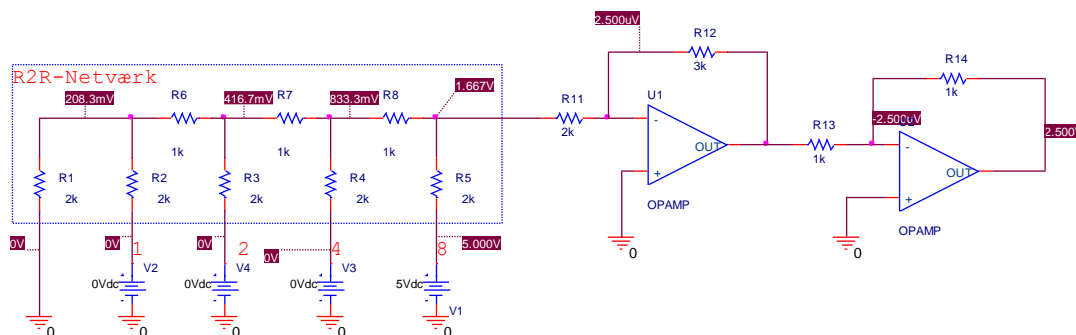
Opbyg en 8-bit CMOS-tæller. Brug fx en funktionsgenerator til at give pulser. (Tjek pulserne med scoopet, inden de tilsluttes tælleren.).

Monter et R2R-netværk på tælleren, og mål på netværkets udgang med et scoop.

R2R-netværk med inverterende OPAMP

Mange steder ser man i stedet for ovenstående kobling med noninverting OPAMP, altså en opstilling, hvor en inverting OPAMP er brugt. Det betyder, at man belaster netværket med modstanden før den inverterende indgang.

Det betyder også, at der trækkes en strøm ud af netværket.



Strømmen fra den mest betydende bit løber igennem R5, og deler sig i 2. En gren løber mod højre mod virtuel stel gennem R11, den anden mod venstre gennem R8.



A/D - D/A KONVERTERE

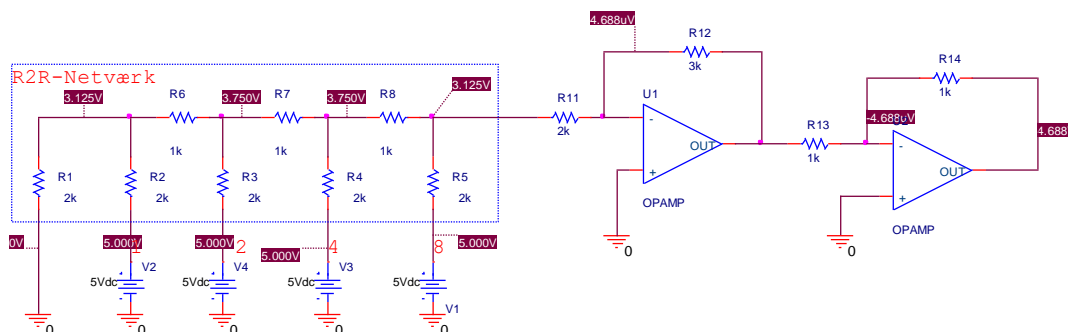
Redigeret
14-Jan-21

Regnes de næste modstande sammen til venstre for R8, fås værdien 1K. Dvs. strømmen mod venstre også "ser" ind i 2 K, og de to strømme er altså lige store.

Strømmen op gennem R5 skal altså videre gennem en modstand på 1 K (Summa R8 parallel med R11). Spændingen mellem R8 og R11 vil altså være $(5 / 3K) * 1 K = 1,667 V$.

Hvis udgangsspændingen skal være 2,5 Volt efter de to OPAMP's skal gain være 1,5 gange.

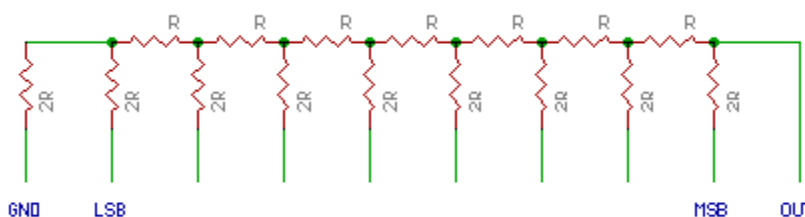
Her ses et eksempel, hvor alle 4 bit er høje.



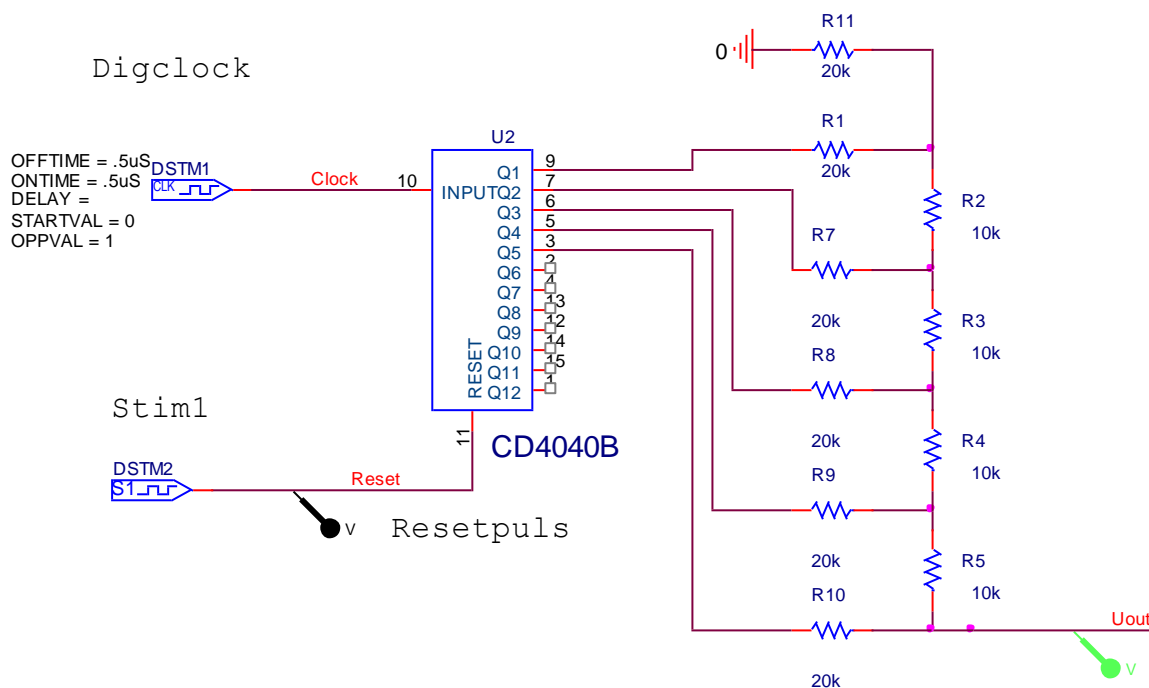
Udgangsspændingen skal altså være $\frac{5}{16} \cdot 15 = 4,6875 Volt$

8 bit R2R-netværk.

Her en skitse af et 8 bit R2R-netværk.



Øvelse: Opbyg følgende kredsløb i ORCAD.

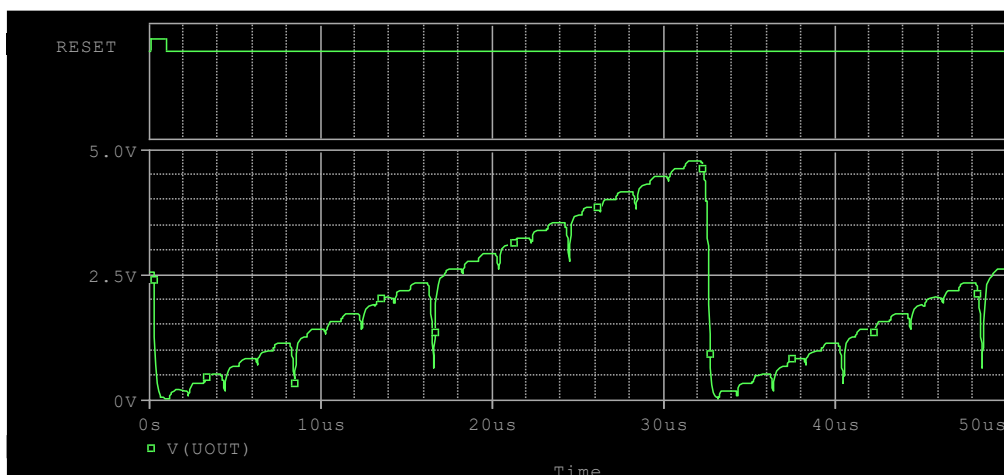


I light versioner af ORCAD vælges fx tælleren 74393.

Reset kan sættes til at give en kort puls, eller stilles, men så skal man ind i Simulation Settings -> Output ??? og tvinge alle flipflops til at starte på "0".

Grafen burde se nogenlunde sådan ud:
De små "glitches" stammer fra at tællerens udgange ikke skifter nøjagtig på samme tid.

De kan evt. fjernes med et RC-led.



Lyd eller signal fra en EPROM (Alarm, det brænder)



A/D - D/A KONVERTERE

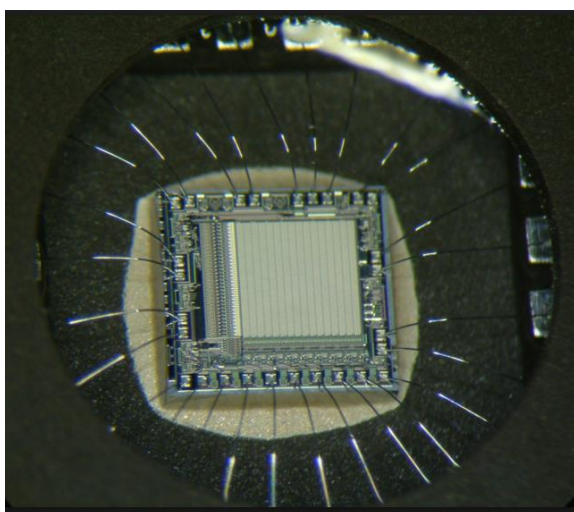
Redigeret
14-Jan-21

EPROM.

Erasable Programmable Read Only Rom.

En EPROM kan Slettes med intens UV-lys.

2764, betyder 64 KBit, dvs. 8 KByte.



Her ses gennem Kvarts-vinduet.

Se i mikroskop: fra ca. 1:44 til 4:13

<https://www.youtube.com/watch?v=cwl4P36r4Ls>

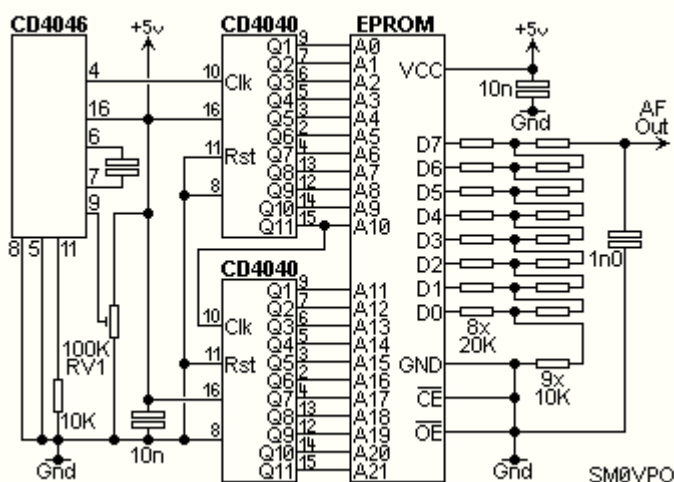
Her er vist en Hex-editor, der har loaded data fra en fil - eller en EPROM – og præsenterer dem på skærmen.

Øverst til venstre vises indholdet i ”hylde # 0”, til højre herfor hylde # 1, osv.

Til højre i billedet vises ascii-karaktererne for dataene.

0000015d	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	0a	0b	0c	0d	0e	0f	
00000000	4d	5a	90	00	03	00	00	00	04	00	00	00	ff	ff	00	00	MZh.....ЯЯ..
00000010	b8	00	00	00	00	00	00	00	40	00	00	00	00	00	00	00	ë.....@.....
00000020	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
00000030	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	20	01	00	00	00
00000040	0e	1f	ba	0e	00	b4	09	cd	21	b8	01	4c	cd	21	54	68	..e..r.H!ë.LH!Th
00000050	69	73	20	70	72	6f	67	72	61	6d	20	63	61	6e	6e	6f	is program canno
00000060	74	20	62	65	20	72	75	6e	20	69	6e	20	44	4f	53	20	t be run in DOS
00000070	6d	6f	64	65	2e	0d	0d	0a	24	00	00	00	00	00	00	00	mode...\$.....

Fra: <https://www.hhdsoftware.com/free-hex-editor>



Her er vist et eksempel på en oscillator og tæller, der tæller op og stepper sig gennem hylterne i en EPROM.

/OE, Output Enable er lav, så data på de hylde, der "peges på", sendes direkte ud til de 8 output.

Output konverteres så til en analog spænding af et R2R-netværk.

Hvor mange "Hylde" kan en tæller "pege på"??

Her er vist et eksempel på "Hylterne"

Hex koder
81
47
3A

Adress 0000h Reset start

Høre kittet: "Alarm – det brænder".

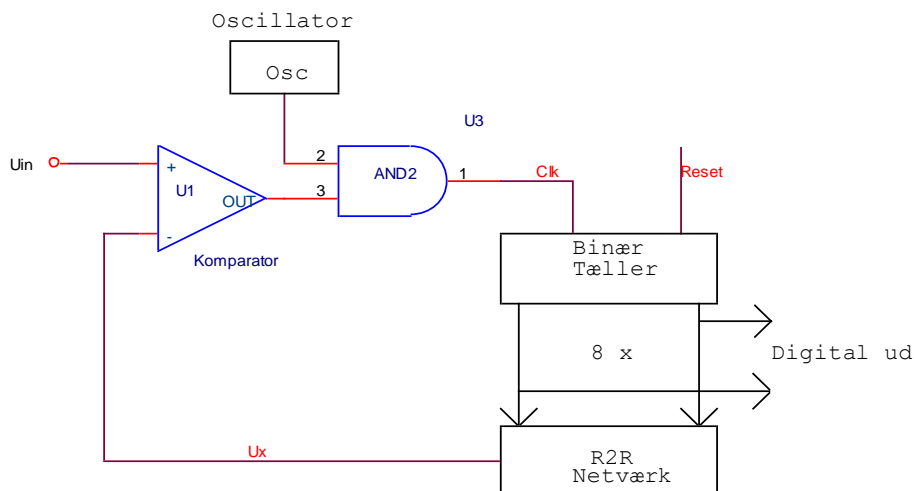
Forskellige A/D konverter-principper:

Det er noget mere besværligt at konvertere et analogt signal til et digitalt, end omvendt.

Der eksisterer flere principper, men ofte bruges en D/A-konverter bygget ind i en A/D-konverter-IC.

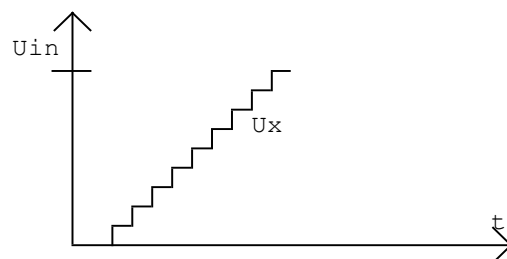
De vigtigste gennemgås her.:

Rampetæller AD Konverter:



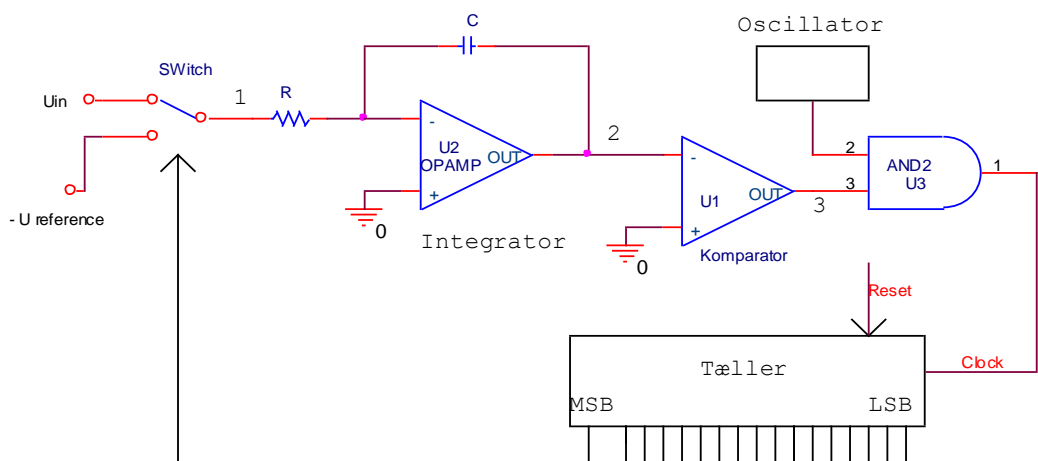
Efter reset vil tællerens udgang være 00000000. Dette betyder, at spændingen fra R2R-netværket mærket U_x er 0 Volt. U_x stiger eftersom tælleren tæller pulser fra oscillatoren.

Komparatoren sammenligner den påtrykte spænding, U_{in} , med spændingen fra R2R-netværket. Når U_x bliver højere end U_{in} lukker AND-gaten ikke flere klocksignaler gennem til tælleren. Tællerens værdi er nu et udtryk for U_{in} .



Dual Slope-konverter:

I en Dual Slope konverter udnyttes, at det tager tid at oplade en kondensator gennem en modstand.



På indgangen af den første OPAMP, U_2 , vil der være 0 volt. Strømmen, der kommer fra U_{in} vil gå gennem modstanden R , og op gennem kondensatoren C . Venstre side ophober ladninger. Og for ikke at spændingen skal stige på den inverterende indgang, må højre side af kondensatoren skulle have mere og mere negativ spænding.



Dette sker så længe tælleren er 0 på MSB. Bliver den høj, starter de øvrige bit jo fra 0, og switchen skifter ned til den negative reference-spænding. Det får strømmen til at gå modsat vej gennem modstanden R. Strømmen kommer oppe fra de ophobede ladninger i kondensatoren. Spændingen på kondensatorens højre side vil stige, og når den når over nul, vil komparatoren U1 stoppe klockpulserne til tælleren. Tællerens output er nu et udtryk for indgangsspændingen!!

Jo højere indgangsspændingen er, jo mere bliver kondensatoren opladet, og jo længere tid vil det tage at aflade den igen.

Altså, man lader kondensatoren i en kendt tid, og måler så tiden, det tager at aflade den igen.

Når kondensatoren lades, sker det med konstant strøm. Derfor gælder følgende formler:

$$Q = U \cdot C \quad \text{og} \quad Q = I \cdot t$$

Strømmen I er givet ved:

$$I = \frac{U_{\text{Signal}}}{R}$$

Herved fås:

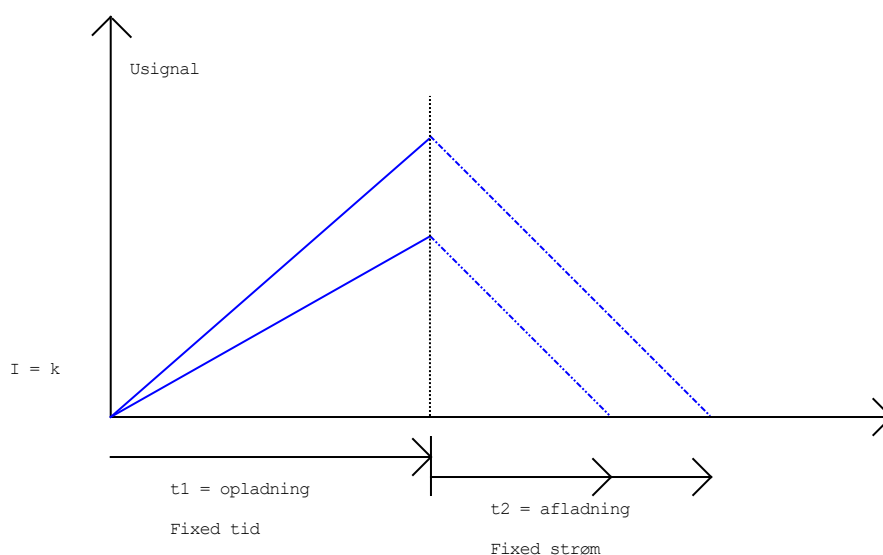
$$U \cdot C = \frac{U_{\text{Signal}} \cdot t}{R}$$

Og endelig kondensatorens opladning:

$$U_C = \frac{U_{\text{Signal}} \cdot t}{R \cdot C}$$

Bemærk, her er kondensatorens opladningspænding vist positiv.

Der lades en konstant tid, og så måles der hvor lang tid det tager at aflade den igen med en kendt strøm.



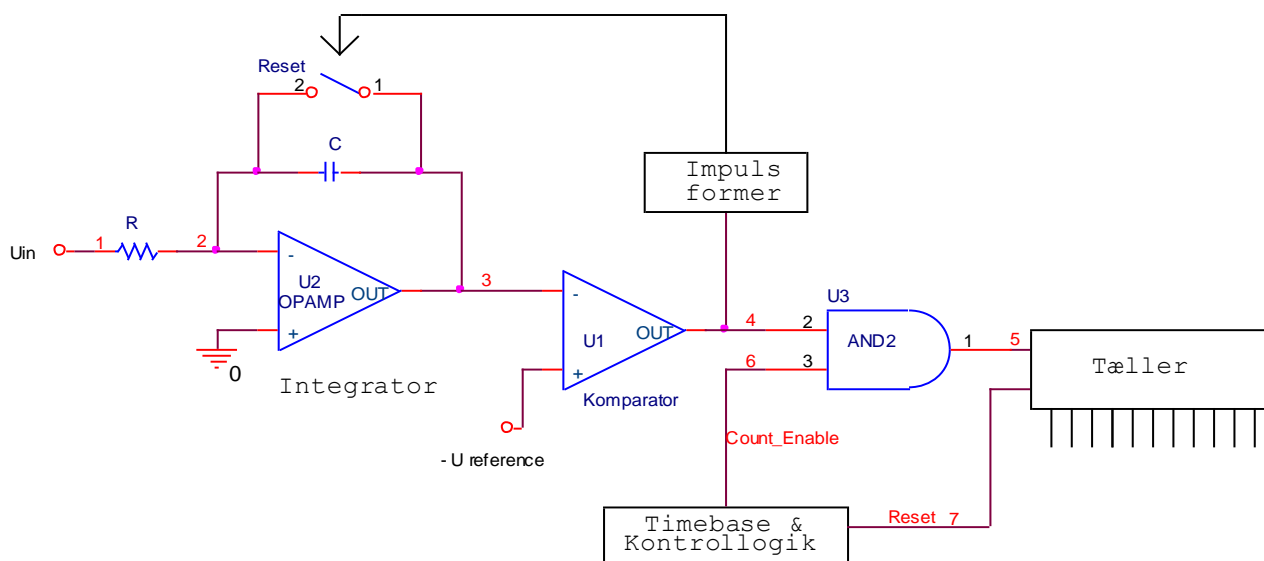
Spænding til frekvens-konverter.

En spænding til frekvens-A/D-konverter bygger på at jo højere indgangsspænding, der påtrykkes, jo flere gange kan man nå, at oplade en kondensator til en bestemt spænding inden for en given tid.



Når en bestemt oplade-spænding er nået, kortsluttes kondensatoren, og opladningen gentages.

Opladningen går hurtigere ved højere indgangsspænding. Herved vil antallet af opladninger i løbet af en bestemt tid sige noget om indgangsspændingen.



Spændingen på punkt 3 går retlinet nedad. Når den når den negative referencespænding, går komparatoren høj, og sender en puls til tælleren og til pulsformerer, der kortslutter kondensatoren! Herefter gentages forløbet.!

Antallet af pulser til tælleren i løbet af en bestemt tid, en timebase, er ligefrem proportional med indgangsspændingen!

Successiv approximationsprincippet

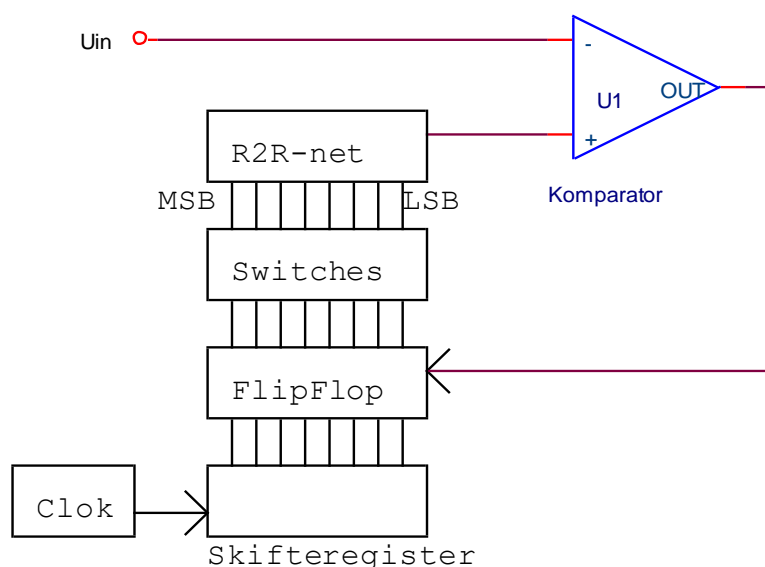
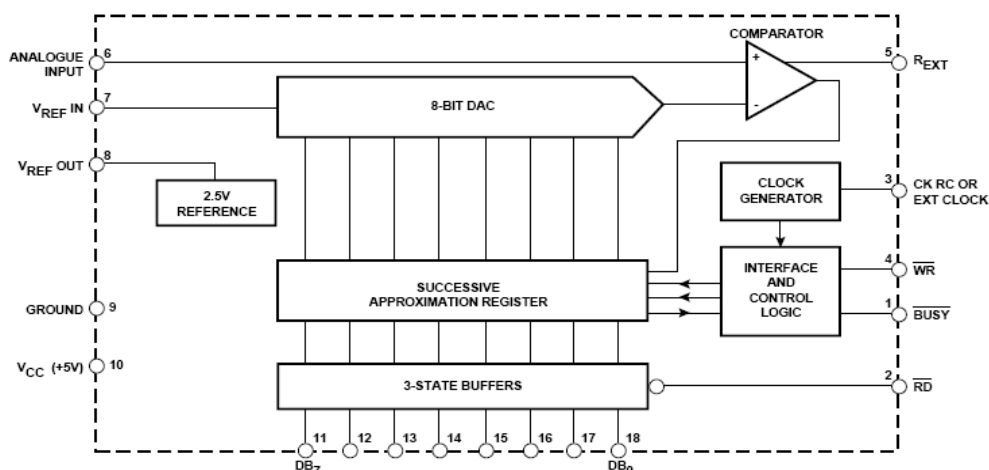
I en successive approximations konverter startes med at sætte MSB høj. En komparator sammenligner så den spænding, der kommer ud af R2R-D/A-konverteren. Er spændingen lavere end den spænding man vil måle, fortsætter MSB med at være høj, ellers resettes den til 0.

Herefter ”prøves” med næste bit. Så hver bit sættes høj eller lav, alt efter om den genererede spænding er højere eller lavere end inputspændingen.

Når alle bit er gennemløbet, vil det binære tal være et udtryk for inputspændingen.



Skitse over det indre i en ZN449 A/D konverter.



Princippet svarer til at man skal gætte et tal mellem 1 og 100.

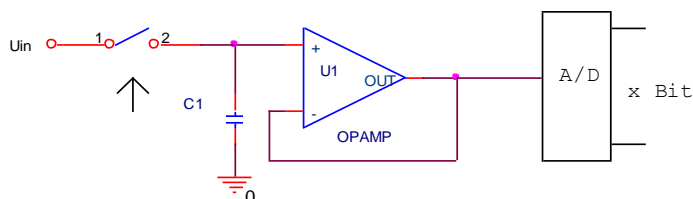
Først gætter man på 50, og får at vide, det er højere. Så gættes på 75, og man får at vide, det er lavere.

Derefter midt mellem 50 og 75, fx 62, osv.

Sample & Hold kredsløb.

Et konverteringsforløb tager jo lidt tid. Intet sker på 0 tid. For at undgå, at U_{in} ændres under et konverteringsforløb, anvendes et "Sample and hold" kredsløb.

Den viste kontakt slutes kortvarigt. Herved får kondensatoren samme spænding som U_{in} . Denne spænding holdes konstant af kondensatoren, når kontakten åbnes.

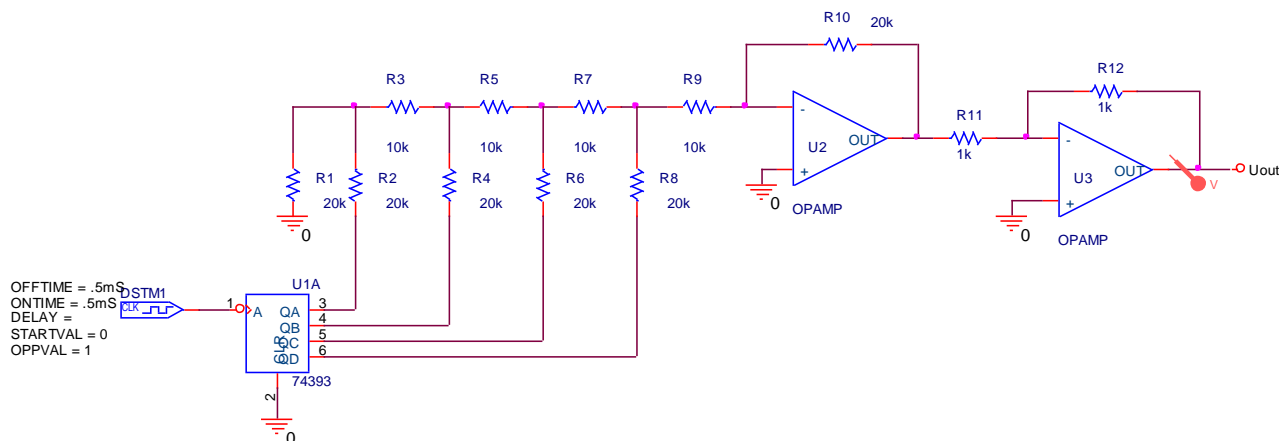


Hvis der anvendes en god kondensator med lille lækstrøm, og en god operationsforstærker med en stor R_i , kan spændingen opretholdes ganske længe. Meget længere tid, end der skal til for at foretage en A/D konvertering.



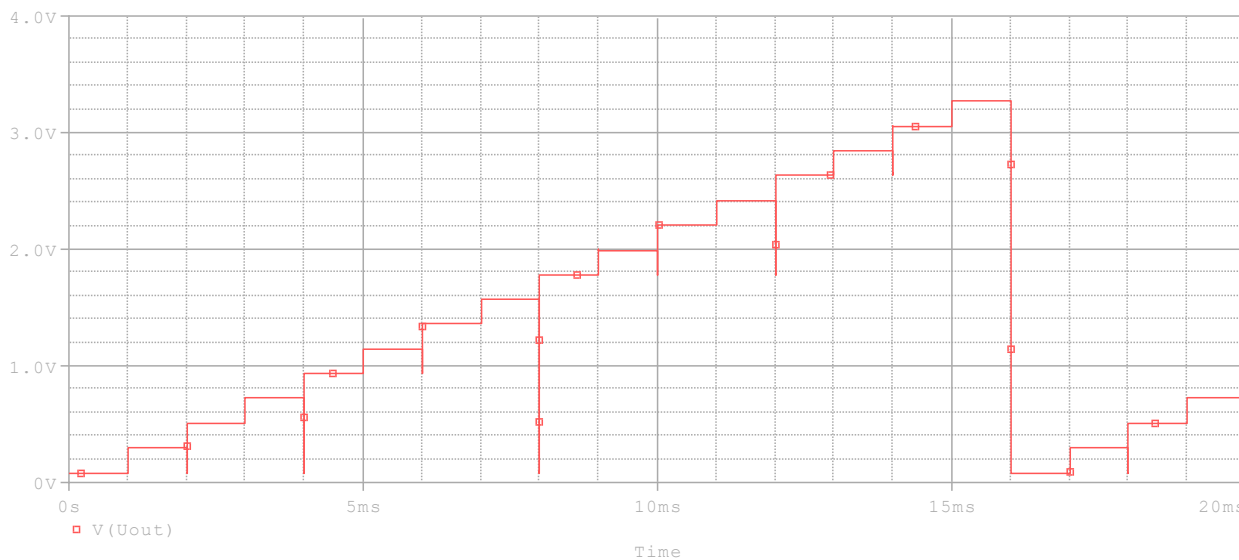
Orcad simulering af en D/A konverter.

Her er igen vist en ORCAD-simulering af en D/A-konverter. Der er her brugt en TTL-tæller, en 74393.



For at få ORCAD til at køre skal man ind i Simulating Settings, / Options / Gate Level Simulations, og tvinge alle tællerens FF's til at være 0 som startværdi.

Grafen ser således ud!!



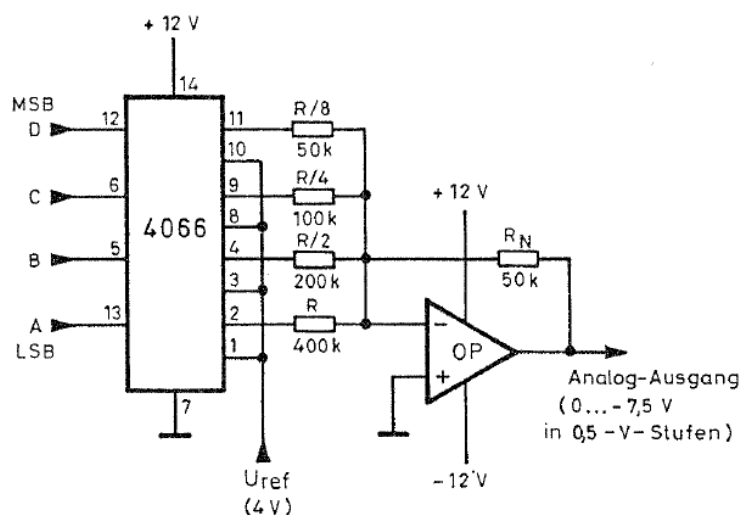
Digital styret analog udgangsspænding



Et eksempel på en digital styret analog udgang. Vha. switchene i 4066 forbindes en kombination af modstandene til en reference-spænding.

Der kan på denne måde genereres udgangsspændinger fra 0 til minus 7,5 Volt, med spring på 0,5 Volt.

Kredsløbet kan også bruges til at lave digital styret signalforstærkning.

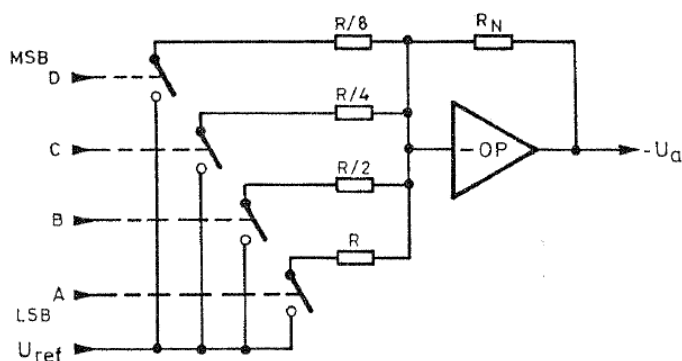


Kilde: Elrad 1990, Heft 6

Principdiagram for ovenstående kredsløb.

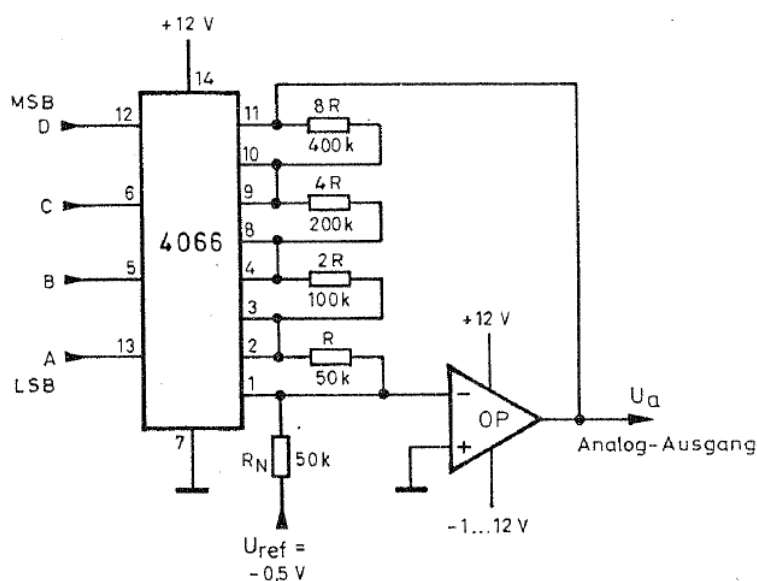
Opgave:

Undersøg kredsen 4066



Her et andet kredsløb.

Bemærk, at kontakterne er åbne ved lav på de digitale indgange!

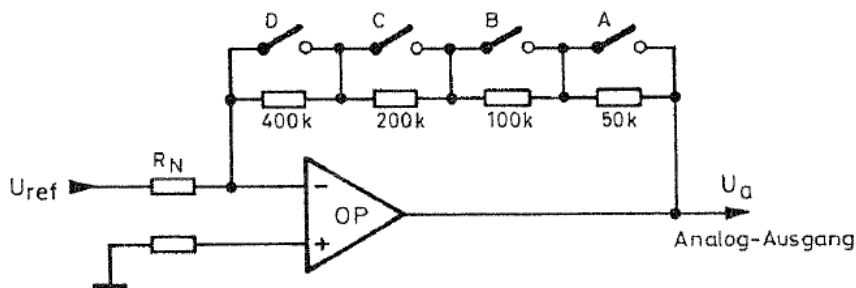


Kilde: Elrad 1990, Heft 6



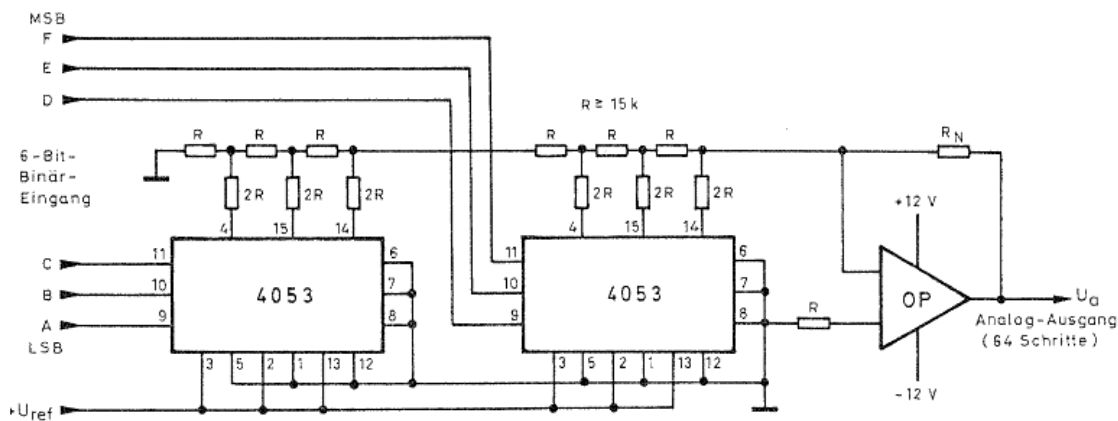
A/D - D/A KONVERTERE

Redigeret
14-Jan-21

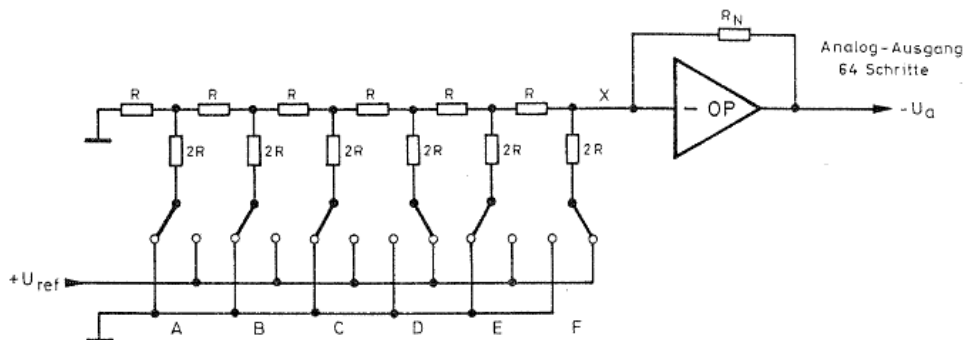


Her et principdiagram af
Ovenstående!

Et
eksempel
på en 6-
bit DA-
konverter



Princip-diagram
for ovenstående.





Serielle konvertere:

I vores Arduino chip, ATMEGA328P er der indbygget en 10 bit A/D-konverter. Og der er 6 kanaler, A0 til A5 !! Dvs. det læste tal skal gemmes i 2 byte.

Men der er ingen D/A. Det kan evt. laves med et R2R-netværk, men det vil jo optage mange pins.

Men der findes eksterne løsninger, dvs. ICér, der kan monteres sammen med UC-en.

For at spare på benforbruget i en uC, kan man vælge IC-er, der forbindes og overfører data til eller fra UC-en via en seriel busforbindelse.

Og det sker på en bestemt måde, beskrevet i en såkaldt protokol. Der findes flere typer protokoller!

Arduino

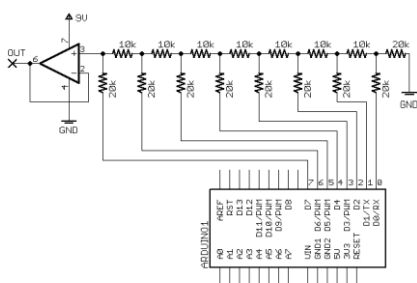
Arduino kan direkte læse en analog spænding, og konvertere den til 10 bit.

Dvs. opløsning fra 0 til 5 Volt til et tal fra 0 til 1023. Dvs. spændings-step på 5/1024 Volt.

Men Analog output kan ikke laves direkte. Arduinoens analoge output pins, der er mærket med ~ er PWM-output med en frekvens på ca. 400 Hz. Opløsningen er på 8 bit, dvs. fra 0 til 255!!

Skal der laves et rigtigt analogt output kan det gøres med et R2R-netværk.

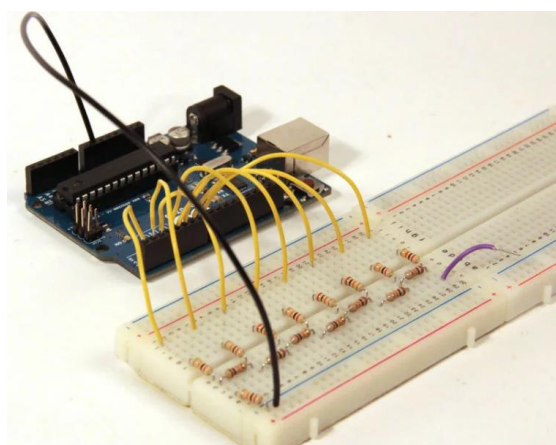
Her er vist et eksempel på et R2R-netværk opbygget af diskrete modstande på et fumlebrædt, - styret af en Arduino.



Og et diagram!

Kilde: <http://www.instructables.com/id/Arduino-Audio-Output/>

Et andet eksempel kan findes her:





A/D - D/A KONVERTERE

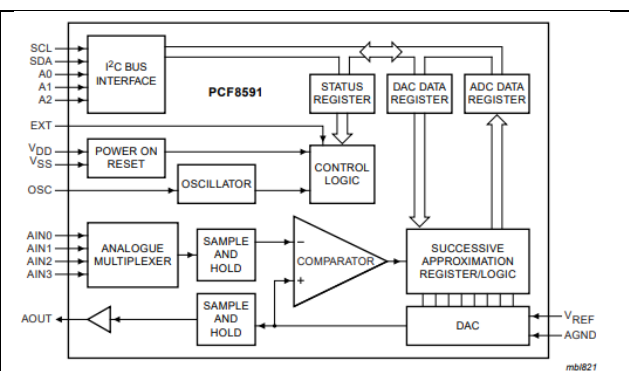
Redigeret
14-Jan-21

Se: <http://tronixstuff.com/2013/06/17/tutorial-arduino-and-pcf8591-adc-dac-ic/>

Her er der brugt en D/A – IC, en PCF8591.

Den har en D/C-konverter indbygget, men også 4 A/D-konvertere.

IC-en skal tilkobles via I2C-bussen, dvs. den kun skal bruge 2 signaler, Data og Clock, og selvfølgelig GND.



Blokdiagram fra: <https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/PCF8591.pdf>

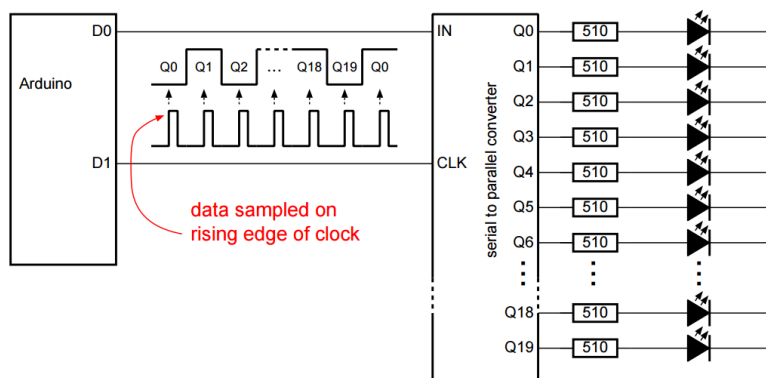
Eller der kan bruges en skifteregister 74HC595. den skal bruges til flere ting. Fx at skabe flere outputs til Arduinoen.

74HCT595 er en 8-bit serial-in / serial or parallel-out shift register with output latches

Her vist som extra outputs, til lysdioder.

Skifteregisteret kan kaskadekobles, dvs. sættes i serie med flere 74HC595, og derved hver gang lave 8 ekstra outputs.

<http://www.ritsumeai.ac.jp/~piumarta/topics4/arduino-09.pdf>



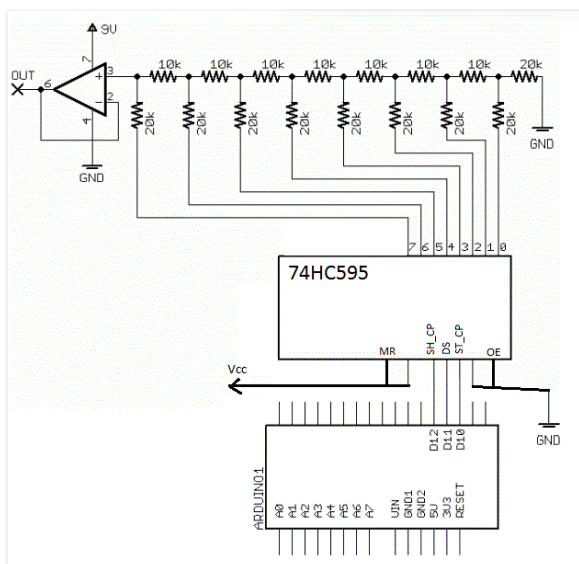
Om brug af 74HC595 til at skabe flere outputs til Arduinoen, se: <https://www.youtube.com/watch?v=bqfPZXEuuyuc>

Skal man bruge flere inputs, kan fx IC-en 74HC165 bruges. (Input shiftregister)



A/D - D/A KONVERTERE

Redigeret
14-Jan-21



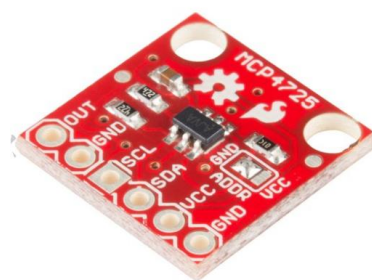
Analogt output med 595 og R2R-netværk

Her er vist hvordan man kan lave et analogt output !!

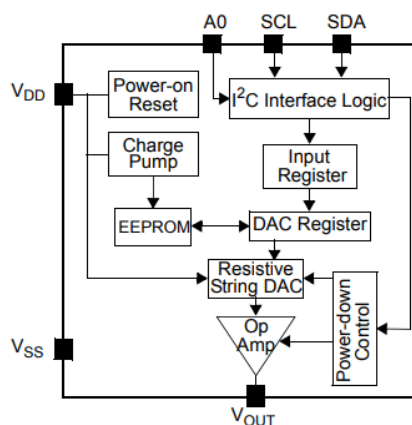
Der findes biblioteker til at skifte data ud til 74HC595-skifteregisteret.

Men der findes også mange andre DAC-løsninger. Fx som vist her et Breakout-board MCP4725.

Det skal tilsluttes Arduinoen via I2C-bussen.



Her er dets blokdiagram vist:



Se også: <https://www.arrow.com/en/research-and-events/articles/arduino-digital-to-analog-conversion-tutorial-using-r-2r-resistor-ladder>

Søg efter IC-er: Fx ” Arduino DAC ”