

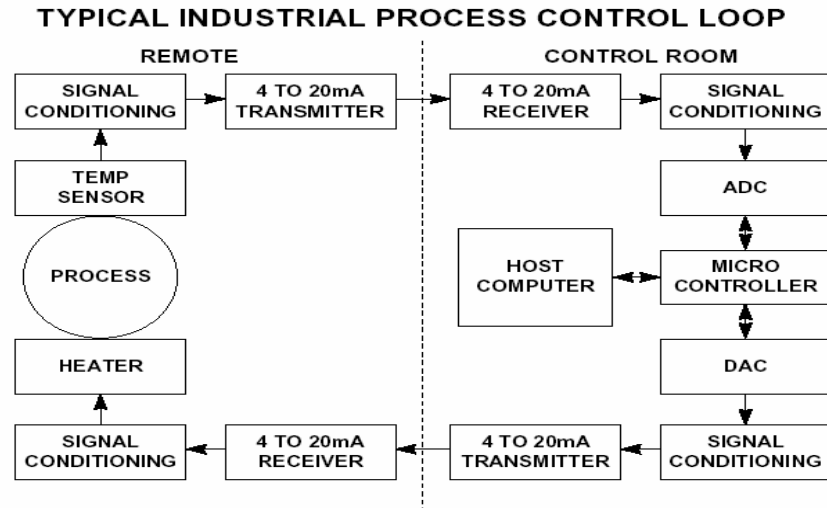
Signaalien datamuunnokset

- Datamuunnosten teoriaa
 - Muunnosten taustaa
 - Muunnosten teoriaa
 - Muunnosten rajoituksia ja ongelmia

Digitaalitekniikan edut

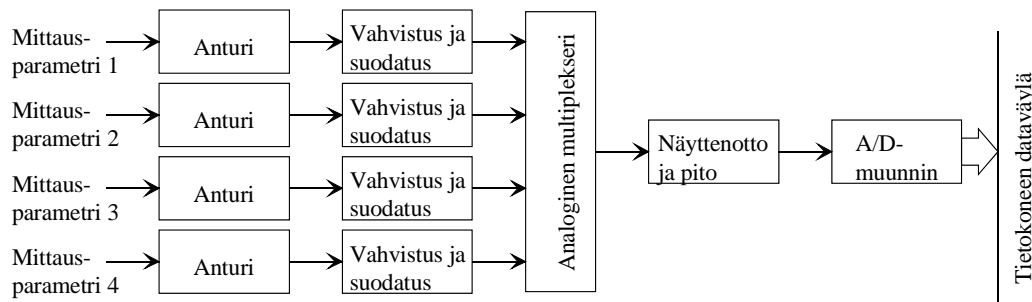
- Tarkoituksena muuttaa signaali sellaiseen muotoon että se voidaan lukea esim. tietokoneelle, prosessorille tai vastaavalle
- Etuja
 - Mahdollistaa monipuolisemman jatkokäsittelyn
 - Helpompi tallentaa
 - Häiriöttömyys
 - Tiedon siirto
 - Automatisointi
 - Kalibrointi

Automaattinen prosessinohjausjärjestelmä



- Mittaa jotain parametria ja säättää prosessia vastaavasti

Datan keruujärjestelmä

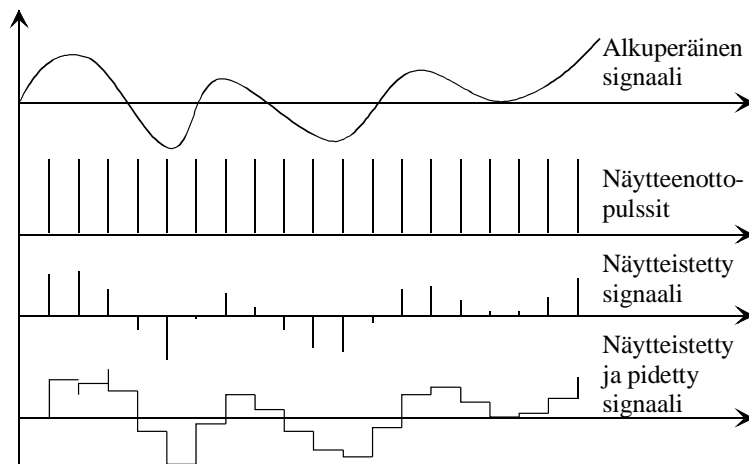


- Mittaa useita parametreja, jotka luetaan vuorotellen tietokoneelle

Signaalin muunnos

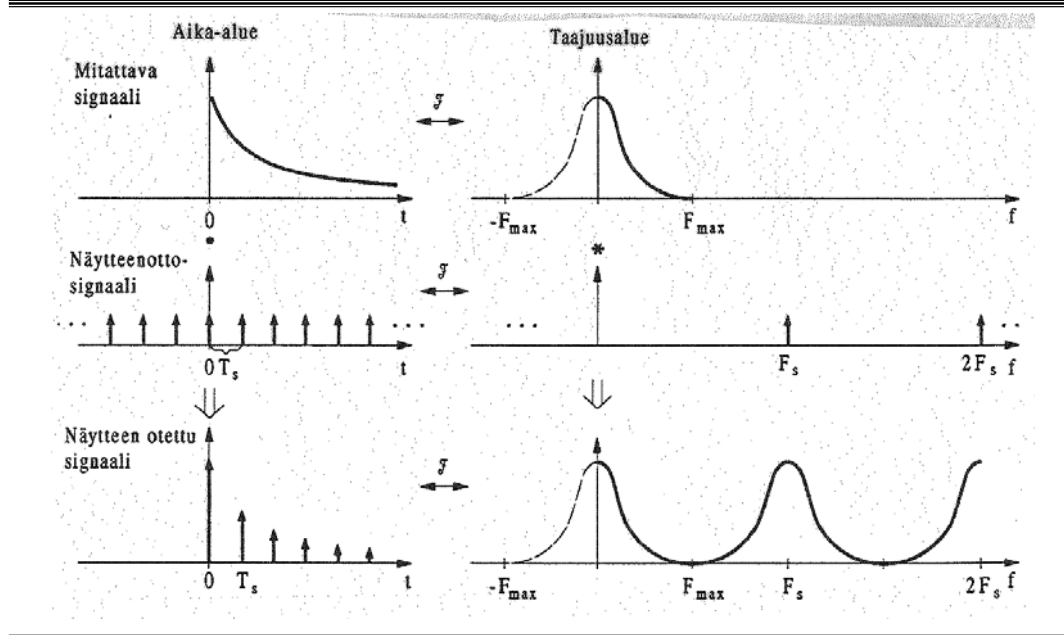
- Kolmivaiheinen prosessi
 - Näytteenotto
 - Kvantisointi
 - Koodaus
- Näytteenotossa jatkuva signaali muutetaan ajan suhteen diskreeteiksi tasoiksi
- Kvantisoinnissa jatkuva signaali muutetaan amplitudin suhteen diskreeteiksi tasoiksi
- Koodauksessa kullekin tasolle määrätään digitaalinen koodisana

Näytteenotto



- a) Alkuperäinen signaali b) Näytteenottopulssit c) Näytteistetty signaali d) Näytteistetty ja pidetty signaali

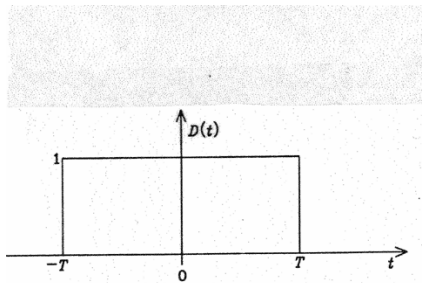
Näytteenotto aika- ja taajuusalueissa



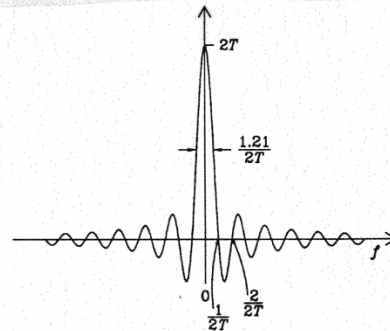
Näytteenoton epäideaalisuudet

- Apertuuriaika \rightarrow Apertuurivirhe
- Äärellinen näytteenottotaajuus \rightarrow Spektri on jaksollinen, jaksona $f=1/T_s$. (Ylimääräiset taajuudet suodatettava pois)
- Näytteenottofunktiio ei ole Dirac'n deltafunktio, vaan "laatikko". Aikatason konvoluutio vastaa taajuustasossa kertomista sinc-functiolla.
- Signaalin katkaisu ("laatikko") \rightarrow Taajuustasossa konvoluutio sinc-function kanssa

Signaalin katkaisun vaikutus spektriin



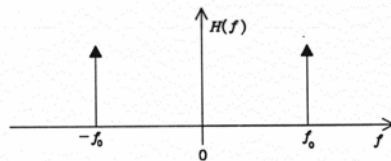
Kuva 1.6. Katkaisulaatikko $D(t)$.



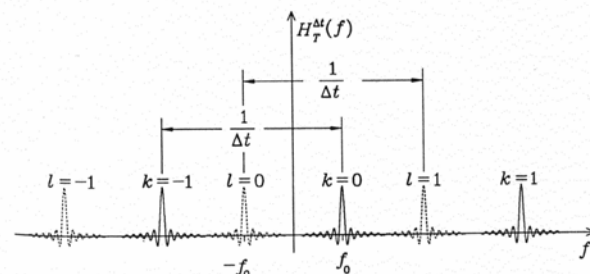
Kuva 1.7. Katkaisulaatikon $D(t)$ käänteinen Fourier-muunnos $\mathcal{F}^{-1}\{D(t)\} = 2T \operatorname{sinc}(2\pi fT)$.

Signaalinen kertominen katkaisulaatikolla aikatasossa aiheuttaa sinc-värähtelyä taajuustasossa -> Spektriviivat vääristyvät vastaavasti

Äärellisen näytteenottotaajuuden vaikutus spektriin



Kuva 1.10. Monokromaattinen spektri $\frac{1}{2}\delta(f + f_0) + \frac{1}{2}\delta(f - f_0) = H(f)$.



Kuva 1.11. Katkaistun, diskreetin kosiniaallon $\cos(2\pi f_0 t)$ spektri $H_T^M(f) = W_T^M(f) * \frac{1}{2}[\delta(f + f_0) + \delta(f - f_0)] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} T \operatorname{sinc}\left[2\pi\left(f - f_0 - \frac{k}{\Delta t}\right)T\right] + \sum_{k=-\infty}^{\infty} T \operatorname{sinc}\left[2\pi\left(f + f_0 - \frac{k}{\Delta t}\right)T\right]$.

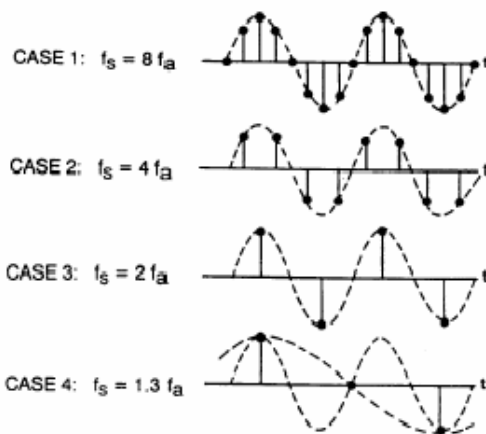
- Signaali kertautuu korkeammille taajuuksille jaksona $1/t$, missä t on näytteenottopulssien väli
- Kuvassa on lopputulos A/D-muunnetun sinisignaalin spektristä
- Poikkeamat alkuperäiseen:
 - Sinc-värähtely
 - Jaksollisuus

Signaalin laskostuminen

- Nyqvistin teoreeman mukaan näytteenottosignaalin taajuuden on oltava vähintään kaksinkertainen mitattavan signaalin korkeimpaan taajuuteen nähden, muutoin signaali laskostuu
- Laskostumista voi vähentää, mutta ei täysin eliminoida

Laskostuminen aika-alueessa

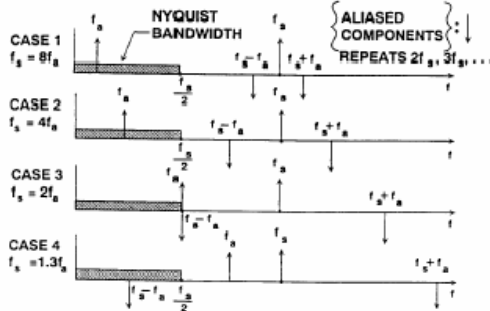
TIME DOMAIN EFFECTS OF ALIASING



- Liian matalilla näytteenottotaajuuksilla signaali vääristyy totaalisesti
- Voidaan välttää käyttämällä riittävän suurta näytteenottotaajuutta
- Minimi ns. Nyquistin taajuus (2 kertaa signaalissa esiintyvä korkein taajuuskomponentti)

Laskostuminen taajuusalueessa

FREQUENCY DOMAIN EFFECTS OF ALIASING



- Voidaan välttää myös alipäästösuodattamalla signaalia ennen muunnosta

- Kertautuneet signaalikomponentit laskostusvat signaali-kaistan päälle

FREQUENCY DOMAIN EFFECTS OF ALIASING ON DYNAMIC RANGE

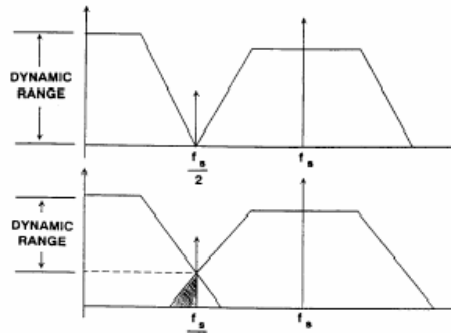


Figure 3.6

Apertuuriajan aiheuttama virhe

- Signaalin muunnosaika, jonka aikana tapahtunut signaalin muunnos näkyy virheenä

$$\Delta V = t_a \frac{dV(t)}{dt}$$

- Riippuu muunnettavan signaalin taajuudesta ja bittien lukumäärästä
- Muuttuvilla signaaleilla käytettävä riittävän nopeita muuntimia, tai pidettävä signaali muuttumattomana.

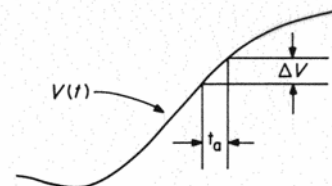
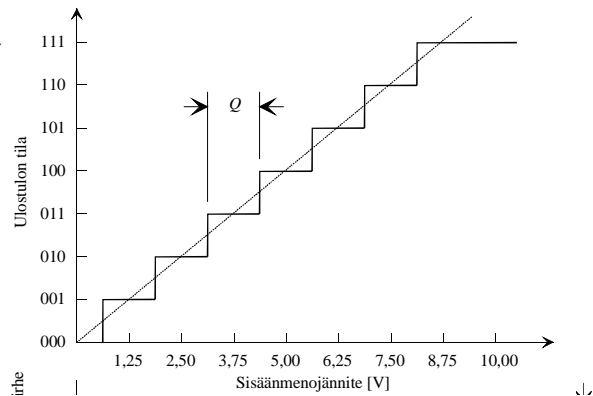


Figure 12.4 Aperture time and amplitude uncertainty

Kvantisointi

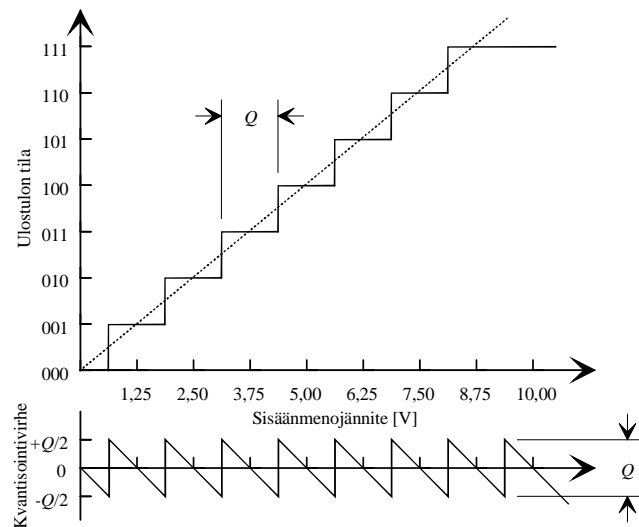
- Signaalin esitystavan muutos
- Tuloksena diskreetti signaali, jolla on rajallinen määrä tasoja
- Kvanti $Q = FSR/2^n$ kuvaa muuntimen resoluutiota



Kvantisointikohina

- Valkoista tasajakautunutta kohinaa
- Varianssi

$$e_Q^2 = \frac{1}{Q} \int_{-Q/2}^{Q/2} x^2 dx = \frac{Q^2}{12}$$



Kvantisoinnin bittien lukumäärä

N	Kvantisointitasot		Dynaamikka-alue [dB]	Resoluutio ³⁾	Kvantisointikohina ³⁾ (RMS)
	1-puolinen	2-puolinen			
1	2	1	6,0	0,50	0,14
2	4	2	12,0	0,25	7,2·10 ⁻²
3	8	4	18,1	0,13	3,6·10 ⁻²
4	16	8	24,1	6,3·10 ⁻²	1,8·10 ⁻²
5	32	16	30,1	3,1·10 ⁻²	9,0·10 ⁻³
6	64	32	36,1	1,6·10 ⁻²	4,5·10 ⁻³
7	128	64	42,1	7,8·10 ⁻³	2,3·10 ⁻³
8	256	128	48,2	3,9·10 ⁻³	1,1·10 ⁻³
9	512	256	54,2	2,0·10 ⁻³	5,6·10 ⁻⁴
10	1024	512	60,2	9,8·10 ⁻⁴	2,8·10 ⁻⁴
11	2048	1024	66,2	4,9·10 ⁻⁴	1,4·10 ⁻⁴
12	4096	2048	72,2	2,4·10 ⁻⁴	7,0·10 ⁻⁵
13	8192	4096	78,3	1,2·10 ⁻⁴	3,5·10 ⁻⁵
14	16384	8192	84,3	6,1·10 ⁻⁵	1,8·10 ⁻⁵
15	32768	16384	90,3	3,1·10 ⁻⁵	8,8·10 ⁻⁶
16	65536	32768	96,3	1,5·10 ⁻⁵	4,4·10 ⁻⁶
17	131072	65536	102,4	7,6·10 ⁻⁶	2,2·10 ⁻⁶
18	262144	131072	108,4	3,8·10 ⁻⁶	1,1·10 ⁻⁶
19	524288	262144	114,4	1,9·10 ⁻⁶	5,5·10 ⁻⁷
20	1048576	524288	120,4	9,5·10 ⁻⁷	2,8·10 ⁻⁷
21	2097152	1048576	126,4	4,8·10 ⁻⁷	1,4·10 ⁻⁷
22	4194304	2097152	132,5	2,4·10 ⁻⁷	6,9·10 ⁻⁸

Efektiivinen bittien lukumäärä

- Järjestelmä kokonaiskohana saattaa tehdä osan biteistä resoluution kannalta merkityksettömiksi

- Idealiselle kvantisoijalle $SNR = \frac{S}{e_Q} = k \sqrt{3} 2^n$

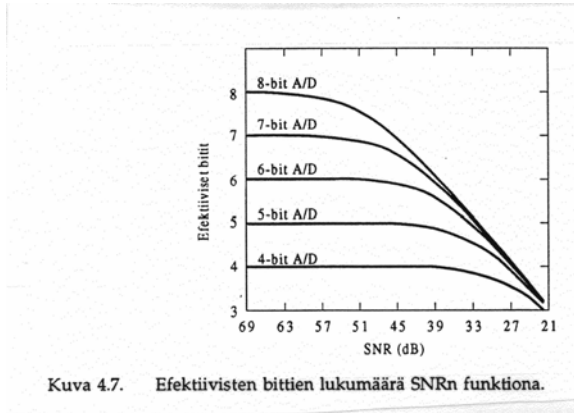
ja bittien lukumäärä $n = \log_2 \left(\frac{SNR}{k \sqrt{3}} \right)$

- Mikäli SNR kasvaa saadaan efektiiviseksi bittien lukumääräksi

$$n = \log_2 \left(\frac{SNR_{tot}}{k \sqrt{3}} \right)$$

- k muotokerroin (sinille $1/\sqrt{2}$ ja kanttiaallolle $1/\sqrt{3}$)

Efektiivinen bittien lukumäärä



- Bittien lisäämisestä ei ole mitään hyötyä, jos analoginen kohina dominoi
- Keskiarvoistaminen muuttaa tilannetta

Koodausmenetelmät

- Yleensä ilmaisevat tason suhteen referenssitason
- Tärkein luonnollinen binaarikoodi

$$N = a_1 2^{-1} + a_2 2^{-2} + a_3 2^{-3} + \dots + a_n 2^{-n} \in [0,1]$$

- Binary Coded Decimal, BCD-koodi. Kymmenkantaisesta desimaaliluvusta koodataan kukin numero erikseen
- Gray koodi

Unipolaarisia koodaustapoja

Taulukko 1. Yksipuoleisten jännitteiden esittäminen luonnollisella 8-bittisellä binaarikoodilla ja 12-bittisenä binaarikoodattuna desimaalina. Molemmat koodit voivat esiintyä myös komplementteina, jolloin ykköset ja nollat vaihtavat paikkaa.

Osuus FSR:stä	Jännite ^{a)} [V]	Luonnollinen binaari	BCD
+ FSR - 1LSB	+9,961	1111 1111	1001 1001 0110
+ ¾ FSR	+7,500	1100 0000	0111 0101 0000
+ ½ FSR	+5,000	1000 0000	0101 0000 0000
+ ¼ FSR	+2,500	0100 0000	0010 0101 0000
+ 1/8 FSR	+1,250	0010 0000	0001 0010 0101
+ 1LSB	+0,039	0000 0001	0000 0000 0100
0	0,000	0000 0000	0000 0000 0000

^{a)} FSR = 10 V

Bipolaarisia koodaustapoja

Taulukko 1. Kaksipuoleisten jännitteiden esittäminen siirrettynä binaarikoodina, 2:n komplementtina ja etumerkillisenä binaarikoodina. Kaikki koodit voivat esiintyä myös komplementteina, jolloin ykköset ja nollat vaihtavat paikkaa.

suus FSR:stä	Jännite ^{a)} [V]	Siirretty binaari	2:n komplementti	Etumerkillinen binaari
±SR - 1LSB	+4,9976	1111 1111	0111 1111	1111 1111
¾ FSR	+3,7500	1110 0000	0110 0000	1110 0000
½ FSR	+2,5000	1100 0000	0100 0000	1100 0000
¼ FSR	+1,2500	1010 0000	0010 0000	1010 0000
0	0,0000	1000 0000	0000 0000	1000 0000 / 0000 0000
¼ FSR	-1,2500	0110 0000	1110 0000	0010 0000
½ FSR	-2,5000	0100 0000	1100 0000	0100 0000
¾ FSR	-3,7500	0010 0000	1010 0000	0110 0000
±SR + 1LSB	-4,9976	0000 0001	1000 0001	0111 1111
±SR	-5,0000	0000 0000	1000 0000	-

^{a)} FSR = ±5 V