

# Laboratoriö 3: A/D ja D/A-muuntimet

Anton Saari, Furkan Yildirim, Rafin Jahan ja Timo Petäjäniemi

## Johdanto

Tämän laboratoriöön tavoitteena oli tutustua A/D- ja D/A-muunnosten periaatteisiin, ominaisuuksiin ja niihin liittyviin ongelmuihin. Työssä oli tarkoitus osoittaa käytännön mittauksilla, kuinka muuntimen resoluutio (bittimäärä) sekä näytteenottotapaajaus vaikuttavat käsiteltävän signaalin laatuun.

Lisäksi työssä havainnollistettiin laskostumisen Aliasing-ilmiötä ja tutkittiin, miten antialias-suodattimen ja pehmennys-suodattimen käyttö vaikuttaa signaaliin ja lopulliseen muunnokseen.

## Esiselostustehtävät

Rafin Jahan 100595952

$V_{FS}$  = ADC:n PP

Esiselvitystehtävät

$$1. P_{noise} = \frac{LSB^2}{12}$$

$$P_{signal} = \frac{V_{FS}^2}{8}$$

$$LSB = \frac{V_{FS}}{2^N}$$

$$\frac{P_{signal}}{P_{noise}} = \frac{V_{FS}^2 / 8}{(V_{FS}^2 / (12 \cdot 2^N))} = \frac{3}{2} \cdot 2^N$$

$$SNR_{dB} = 10 \log_{10} \left( \frac{3}{2} \cdot 2^N \right) = 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{3}{2} \right) + 20 N \log_{10} (2)$$
$$= 1,76 + 6,02 N$$

$$N = \frac{SNR - 1,76}{6,02} \Rightarrow \frac{70 - 1,76}{6,02} = 11,3355... \approx 11,3$$

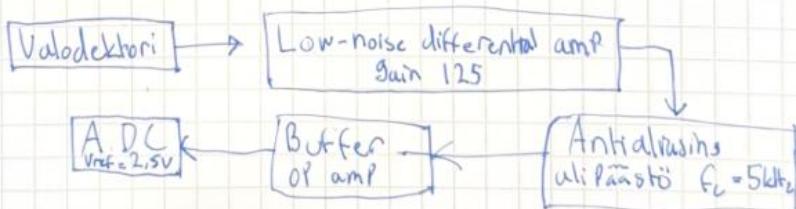
Tarvitaan 12 bittää

2. Teoreettinen

$$16 \text{ bittää } 6,02 \cdot 16 + 1,76 = 98,1 \text{ dB}$$

$$24 \text{ bittää } 6,02 \cdot 24 + 1,76 = 146,2 \text{ dB}$$

3.



4. Häiriön taso = 0 dB Muuntimen kohitustaso  $\approx$  -50 dB

Suodattimun vaimennus alkaa  $-3$  dB (20 kHz)

Lisävaimennes  $\rightarrow 50$  dB  $-3$  dB = 47 dB

$$30 \text{ dB/oktaavi} \quad k = \frac{\text{Tarvittava vaimennus}}{\text{jyrkkyys}}$$

$$k = \frac{47 \text{ dB}}{30 \text{ dB/oktaavi}} \approx 1,57 \text{ oktaavia}$$

$$f_{\text{stop}} = F_c \cdot 2^k \quad F_c = -3 \text{ dB taajuus}$$

$$f_{\text{stop}} = 20 \text{ kHz} \cdot 2^{1,57} \approx 59,4 \text{ kHz} \approx 60 \text{ kHz}$$

Tällöin suodatin on vaimentanut häriön  $-50$  dB

Matalin taajuus voi laskostua 2,0 kHz asti  $f_s - 20$  kHz

Eli pahin mahdollinen häiriötäajuus  $f_s - 20$  kHz on

sama kuin jönkin suodatin osaa vaimentava  $f_{\text{stop}} = 59,4$  kHz

$$f_s - 20 \text{ kHz} = 59,4 \text{ kHz}$$

$$f_s = 59,4 \text{ kHz} + 20 \text{ kHz}$$

$$f_s = 79,4 \text{ kHz} \quad \text{Eli minimi näytteenottoajus on } 79,4 \text{ kHz}$$

$$\text{Nyquist kaavalla } f_s = 2 \cdot 20 \text{ kHz} = 40 \text{ kHz}$$

Eli 20 kHz:n häriö vaimenisi vain  $-3$  dB ja laskostuisi

$$5. 10 \text{ dBV} = 10 \log_{10} (V^2 / 1) \Rightarrow V = 10^{10/20} = 3,16 \text{ V}$$

$$10 \text{ dBm} = 10 \log_{10} (P / 1 \text{ mW}) \Rightarrow 10^{10/10} \text{ mW} = 10 \text{ mW}$$

# Laboratoriomittaukset

## Resoluution vaikutus muunnokseen

1. Syötettiin siniaaltoa 1kHz:llä. Kun tiputettiin seitsemän bittiä, tuli selkeää muutos signaalissa. 9.2kHz:n taajuudella signaali aliasoituu. Kolmioaallolla oli selkeää aliasointia eri taajuksilla, ja muutokset näkyvät viiden bitin tiputtua. Bittien tiputtaminen ei myöskään neliöaallolla vaikuttanut. Oli myös selkeää laskostumista.
2. Kun kytkemme oskilloskoopin pehmennysfiltterin lähtöön, sinisignaali alkaa näyttämään erilaiselta, kun on 4 bittiä jäljellä. Pienen resoluution taajuuksia voi korjata pehmennyssuodattimella. Rajataajuudella suodatin ei enää toimi yhtä hyvin. Ennen muunnosta piikit näkyvät selkeästi pienellä kohinalla, kun taas pehmennyssuodattimelta saadulla signaalilla on enemmän kohinaa. Puhelimelta saatu äänisignaali on pehmennyssuodattimella täynnä kohinaa. Bittejä tiputtamalla kohina vahvistuu. Ennen muunnosta ääni kuulostaa hyvälaatuiseksi.
3. Bittimäärään vähentäminen huonontaa äänenlaatua hieman, mutta se on joka tapauksessa täynnä kohinaa. Viidellä bitillä musiikista saa parhaiten selvää. Valkoinen kohina kuulostaa monotooniselta suhinalta. Kvantisointikohina kuulostaa karkealta kohinalta.
4. Kvantisointikohinan taso 6 bitillä, kun taajuus on noin 100Hz on:

$$S_{dB} - N_{dB} = 15.4dB - (-44.5dB) = 60dB$$

5:llä bitillä:

$$15.4dB - (-42.5dB) = 58dB$$

4:llä bitillä:

$$15.4dB - (-38.1dB) = 53dB$$

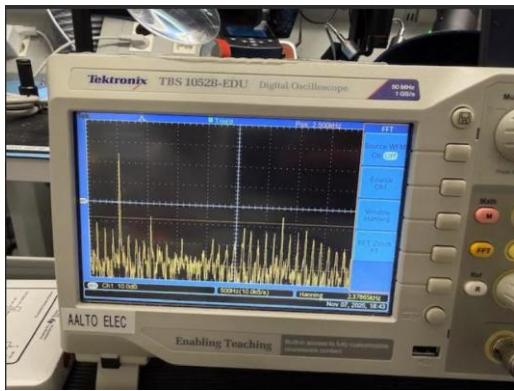
3:lla bitillä:

$$15.4dB - (-34.9dB) = 50dB$$

2:lla bitillä:

$$15.4dB - (-29.7dB) = 45dB$$

Suoritimme signaali/kohina suhteen laskemisen mittaan desibeliarvot cursor-toiminnon avulla.

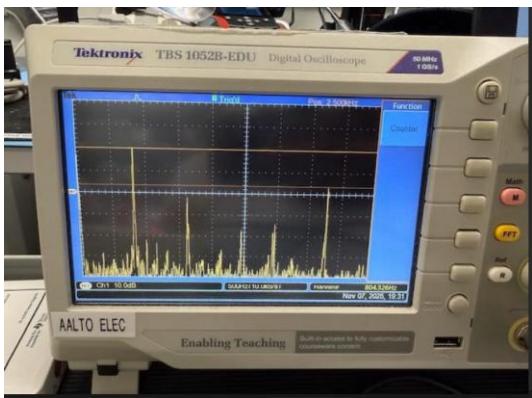


Kuva 1: Hyöty signaali

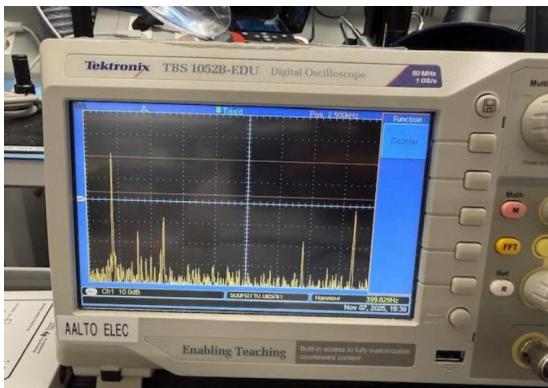
## Laskostuminen

5. Kun taajuuskaista on sellainen, että signaali laskostuu, ääni vaimenee ja kuulostaa huonolaatuiselta. Tilannetta ei oikein voi pelastaa ilman antialias-suodatinta.
6. Kun näytteenottotaajuus on 5,51kHz, 3.75kHz:n rajataajuudella saadaan signaalista häiriötä pois. Pehmennyssuodattimella ääni kuulostaa hieman paremmalta, koska se suodattaa korkeammat taajuudet pois. 11,025kHz:n näytteenottotaajuudella ääni kuulostaa paljon selkeämmältä, eikä kohinaa oikein kuulu.

7.



Kuva 2:Kuvaaja ulostulosta 6 mitatun muunnetun signaalin taajuudesta signaaligeneraattorin taajuuden funktiona. (Ei antialias-suodatusta)



Kuva 3:Antialias-suodattimella, kun sen rajataajuus on 1.875kHz.

8. Kanttiaalto laskostuu ilman antialias-suodatinta. Suodattimen kanssa laskostuminen pienentyy. Siniaallon tapauksessa antialias-suodatin ei muuttanut signaalia.

## Signaali-kohina-suhde

9. Perustaaajuuden SNR A/D-muuntimelle menevän signaalin V<sub>p-p</sub>-jännitteen funktiona on:

$$-1.39dB - (-64.5dB) = 63.2dB$$

Oletetaan, että kohina on jakautunut tasaisesti taajuskaistalle. Tällöin teho voidaan laskea seuraavanlaisesti

$$P_{kohina} = A^2 * (F_s/2)$$
$$P_{signaali} = \left(\frac{A}{\sqrt{2}}\right)^2$$

Muunnoksen jälkeinen SNR FFT toiminnolla ulostulosta ei saatu tarkkoja arvoja.

## Johtopäätökset

Laboratoriöön mittaukset osoittivat selkeästi, miten A/D- ja D/A-muunnoksen parametrit vaikuttavat signaalin laatuun.

Resoluution osalta huomattiin, että bittimäärän vähentäminen heikensi signaalin laataua ja lisäsi kvantisointikohinaa. Vaikka pehmennysluodatin pystyi jossain määrin korjaamaan matalan resoluution aiheuttamia väristymiä, äänenlaatu heikkeni selvästi, ja musiikista oli vaikeampi saada selvää bittimäärän laskiessa.

Laskostuminen ilmeni odotetusti, kun näytteenottotaajuus laskettiin liian matalaksi signaalin kaistanleveyteen nähdien. Tämä kuului äänessä vaimenemisen ja huonolaatuiseen. Havaintojen perusteella ilmiötä oli käytännössä mahdotonta korjata ilman asianmukaista antialias-suodattusta. Kun antialias-suodattimen rajataajuus asetettiin oikein eli alle puolet näytteenottotaajudesta niin, häiriöt saatiin poistettua signaalista. Myös pehmennysluodattimen huomattiin parantavan äänenlaatua, sillä se suodatti D/A-muunnoksen jälkeen signaalista pois korkeammat taajuudet, jotka eivät kuuluneet alkuperäiseen signaaliin.

Signaali-kohinasuhteen SNR osalta mittaukset osoittivat, että signaalin tasolla on suuri merkitys. Paras SNR saavutetaan, kun signaalin amplitudi on mahdollisimman suuri, mutta ei kuitenkaan niin suuri, että signaali leikkautuu.

Yhteenvedona työ osoitti, että laadukkaan digitaalisen signaalinkäsittelyn kannalta on olennaista valita riittävän korkea resoluutio ja näytteenottotaajuus sekä käyttää oikein mitoitettuja antialias- ja pehmennysluodattimia.