

Laboratoriotyö 3: A/D ja D/A-muuntimet

Anton Saari, Furkan Yildirim, Rafin Jahan ja Timo Petäjäniemi

Johdanto

Tämän laboratoriotyön tavoitteena oli tutustua A/D- ja D/A-muunnosten periaatteisiin, ominaisuuksiin ja niihin liittyviin ongelmiin. Työssä oli tarkoitus osoittaa käytännön mittauksilla, kuinka muuntimen resoluutio (bittimäärä) sekä näytteenottotaajuus 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 $V_{FS} = \text{ADC:n PP}$

Esiselostustehtävät

1. $P_{\text{noise}} = \frac{LSB^2}{12}$ $P_{\text{signal}} = \frac{V_{FS}^2}{8}$

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

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

$= 1,76 + 6,02N$

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

Tarvitaan 12 bittia

2. Teoreettinen

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

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

3.

```
graph LR
    A[Valodektori] --> B[Low-noise differential amp  
Gain 125]
    B --> C[Antialiasing  
ulipäästö  $f_c = 5 \text{ kHz}$ ]
    C --> D[Buffer  
op amp]
    D --> E[ADC  
 $V_{ref} = 2,5 \text{ V}$ ]
```

4. Häiriön taso = 0 dB Muuntimen kohinataso ≈ -50 dB

Suodattimen vaimennus alkaa -3 dB (20 kHz)

$$\text{Lisävoimennus} \rightarrow 50 \text{ dB} - 3 \text{ dB} = 47 \text{ dB}$$

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

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

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

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

Tällöin suodatin on vaimentanut häiriön -50 dB

Näytin taajuus voi laskostua 20 kHz asti $f_s - 20 \text{ kHz}$
Ei: Puhin mahdollinen häiritäajuus $f_s - 20 \text{ kHz}$ on
sama kuin jonka suodatin osaa vaimentaa $f_{\text{stop}} = 59,4 \text{ kHz}$

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

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

$$f_s = 79,4 \text{ kHz}$$

Ei: minimi näytteennottotaajuus on
79,4 kHz

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

Ei: 20 kHz:n häiriö vaimenisi vain -3 dB ja laskostuisi

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

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

Laboratoriomittaukset

Resoluution vaikutus muunnokseen

1. Syötettiin siniaaltoa 1kHz:llä. Kun tiputettiin seitsemän bittiä, tuli selkeä muutos signaalissa. 9.2kHz:n taajuudella signaali aliasoituu. Kolmioaallolla oli selkeää aliasointia eri taajuuksilla, 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 hyvälaatuiselta.
3. Bittimäärän 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:

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

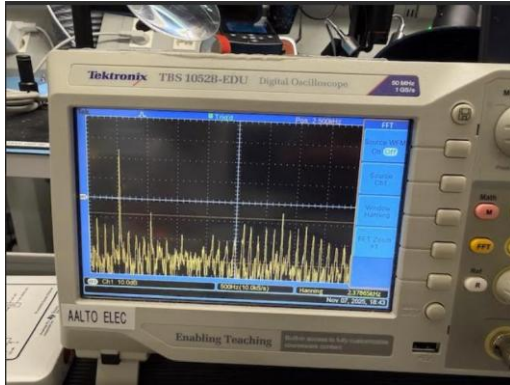
3:lla bitillä:

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

2:lla bitillä:

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

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

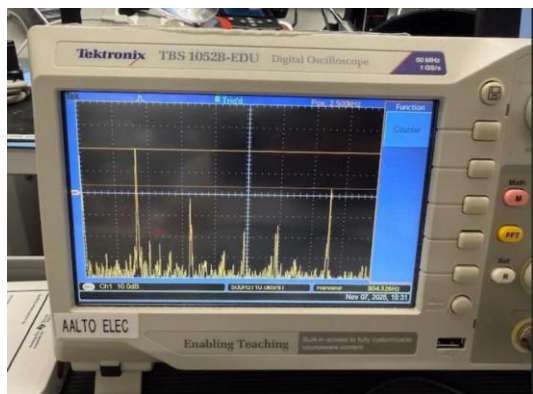


Kuva 1: Hyötysignaali

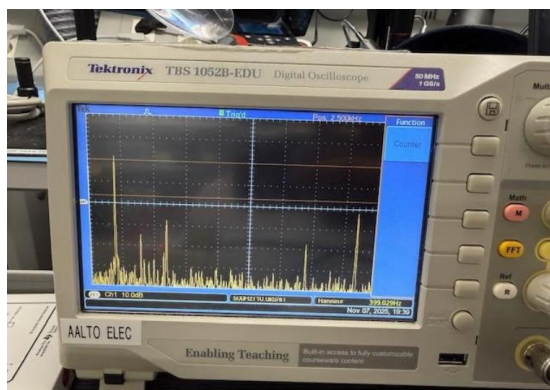
Laskostuminen

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 häiriöitä pois. Pehmennys-suodattimella 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. Perustaajuuden SNR A/D-muuntimelle menevän signaalin Vp-p-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

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

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

Laskostuminen ilmeni odotetusti, kun näytteenottotaajuus laskettiin liian matalaksi signaalin kaistanleveyteen nähden. Tämä kuului äänessä vaimenemisena ja huonolaatuisuutena. Havaintojen perusteella ilmiötä oli käytännössä mahdotonta korjata ilman asianmukaista antialias-suodatusta. Kun antialias-suodattimen rajataajuus asetettiin oikein eli alle puolet näytteenottotaajuudesta niin, häiriöt saatiin poistettua signaalista. Myös pehmennyssuodattimen 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.

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