

Elektronika alapjai 9. gyakorlat

A gyakorlaton megoldott feladatok

Számítások A/D ill. D/A átalakítók alaptulajdonságaival kapcsolatban. A számítások meglehetősen egyszerűek, aránypárok, vagy egyszerű képletek alkalmazását igénylik, amelyek megtalálhatók az előadásanyagban. Néhány konkrét példa:

1. Feladat

Egy unipoláris 16 bites A/D konverter referencia feszültsége 4,096V. (4096mV)

A. Határozzuk meg az LSB, FS értékét!

Unipoláris konverternél a 0 kódhoz 0 tartozik és a teljes tartományt $2^{16}=65536$ részre bontjuk fel, a legnagyobb kódhoz, 65535-höz pedig a referencia feszültség – 1LSB tartozik. Ez alapján az LSB feszültség (egy bit változásához tartozó feszültségváltozás)

$$V_{LSB} = \frac{4,096}{2^{16}} = 62,5\mu V$$

A full-scale pedig:

$$V_{FS} = 65535 \cdot V_{LSB} = 4,0959375V$$

(itt nem kerekítünk, hanem pontos értékekkel dolgozunk)

B. Milyen feszültség tartozik az 12345 kódhoz?

Egy egyszerű aránypár alapján:

$$\frac{V_X}{4,096} = \frac{12345}{65536}$$

Azaz

$$V_X = 12345 \cdot \frac{4,096}{65536} = 0,7715625V$$

C. Milyen kód tartozik 4V-hoz?

$$bit = 65536 \cdot \frac{4}{4,096} = 64000$$

$$bit=65536 \cdot 4/4,096=64000 \quad bit=65536 \cdot 4/4,096=64000$$

D. Mekkora kvantálás jel/zaj viszonya?

$$S/N = 1,76 + 6,02 \cdot 16 = 98dB$$

E. Az átalakítóra SINAD= 95dB -t adtak meg. Mekkora az effektív bitszám?

$$ENOB = \frac{95 - 1,76}{6,02} = 15,49$$

2. Feladat

Egy bipoláris 16 bites A/D konverter referencia feszültsége 4,096V. Határozzuk meg az LSB, FS értékét!

A bipoláris konverter a -VREF .. +VREF tartományt osztja fel 65536 részre.

$$V_{LSB} = \frac{4,096 - (-4,096)}{2^{16}} = 125\mu V$$

A full-scale pedig:

$$V_{FS} = 65535 \cdot V_{LSB} = 8,191875V$$

3. Feladat

Legalább mekkora frekvenciával és felbontással kell mintavételeznünk egy 30 - 18000 Hz jelet, hogy a kvantálás jel/zaj viszonya 56dB-nél nagyobb legyen? (ez egy kazettás deck-nek felel meg...)

A Shannon- Nyquist törvényből adódóan minimum a legnagyobb frekvencia kétszeresével, azaz 36kHz-el. A kvantálási jel/zaj viszonyból számíthatjuk ki a szükséges bitszámot:

$$1,76 + 6,02 \cdot n \geq 56dB$$

$$n \geq \frac{56 - 1,76}{6,02} = 9,01 \cong 10$$

(bitet sajnos felfelé kell kerekíteni)

4. Feladat

Egy 12 bites D/A átalakító referencia feszültsége 4,096V. Nagypontosságú voltmérővel a 0 kódra 0,3mV feszültséget, a 4095 kódra pedig 4,13625V feszültséget mérünk. Mekkora az offset és az erősítés(gain)?

Az offset megegyezik a 0 kódnál mért feszültséggel, azaz 0,3mV. Az erősítés - egy egyenessel közelítve a karakterisztikát: 4095 kódra 4,095V-ot kellene mérnünk, hiszen az LSB 1mV.

$$G = \frac{4,13625 - 0,003}{4,095 - 0} = 1,01$$

Felmerül a kérdés, hogy lehet-e nagyobb a kimenet, mint a referencia feszültség, hiszen az előadáson szereplő architektúrák esetén (kivéve a kapcsolt áramok esetét) ez nem lehetséges. Sajnos igen, mert általában a D/A-t egy erősítővel integrálják össze, amelynek tápfeszültsége nagyobb, mint a referencia feszültség, és az erősítő hibája is megjelenik a kimeneten.

5. Feladat

Egyenfeszültséget szeretnénk mérni, túlmintavételezéssel és átlagolással. A mintavételezési sebességünk 20kHz.

- A. Legalább hány mintát kell venni, hogy elnyomjuk a hálózati váltakozófeszültségből (50Hz) származó zavart?

Az 50Hz-es hálózati váltakozó feszültség egy periódusa:

$$T = \frac{1}{f} = 20ms$$

20kHz-es mintavételi sebesség esetén:

$$T_s = \frac{1}{f_s} = 50\mu s$$

Tehát 50 μ s-ként veszünk mintát, így a teljes 50Hz-es szinuszos jelből összesen

$$N = \frac{T}{T_s} = 400$$

Azaz 400 mintát veszünk. Mivel a teljes periódusra összegezve a szinuszos váltakozó jelet 0-t kapunk, így a túlmintavételezéssel és átlagolással kiejtettünk a leggyakrabban előforduló zavart.

- B. Mekkora ideig érdemes mintavételezni, hogy készülékünk világszerte ne legyen érzékeny a hálózati váltakozó feszültségből származó zavarra?

A váltakozó feszültség világszerte 50Hz vagy 60Hz frekvenciájú.

https://hu.wikipedia.org/wiki/Elektromos_h%C3%A1l%C3%B3zatok_%C3%A9s_csatlakoz%C3%B3k_list%C3%A1ja#/media/F%C3%A1jl:World_Map_of_Mains_Voltages_and_Frequencies,_Simplified.png

Tehát annyi mintát kell venni, amelybe az 50Hz és a 60Hz –es szinuszjel egész számú periódusa elfér. Tételezzük fel, hogy az 50Hz-en n , 60Hz-en pedig m periódust mintavételezünk. Ennek egyforma ideig kell tartania, azaz a

$$\frac{n}{50} = \frac{m}{60}$$

egyenlet megoldását keressük úgy, hogy n és m a legkisebb egész szám legyen. Átrendezve és egyszerűsítve

$$6n = 5m$$

Mivel 5 és 6 relatív prímek, ezért $n=5$, $m=6$. Tehát 100ms-ig kell mintavételezni, ekkor az 50Hz-es váltakozófeszültségből 5, a 60Hz-esből pedig 6 teljes periódust fogunk mintavételezni.

6. Feladat

Egy TMP35 hőmérsékletmérő szenzor tápfeszültsége 3V, kimeneti feszültsége 25°C-on 250mV, érzékenysége 10mV/°C. A szenzor kimenetét egy mikrokontroller 12 bites A/D átalakítójával mintavételezzük, amelynek referencia feszültsége a tápfeszültség, azaz 3V.

A. Hány fokot mérünk, ha az A/D átalakító regiszterében 733 (decimális érték) van?

A 12 bites A/D a 3V-ot $2^{12}=4096$ részre osztja, tehát a feszültség, amit mértünk:

$$V = \frac{733}{4096} 3 = 537mV$$

Mivel ismerjük a szenzor érzékenységét, és az adatokból látjuk, hogy a szenzor offsetje 0 (a 0°C-on mért feszültség elméletileg 0V, hiszen 25°C-on 250mV-ot mértünk, 10mV/°C érzékenységgel – ez a típus persze csak 10°C felett tekinthető lineárisnak) ezért

$$T = \frac{V}{S} = \frac{537}{10} = 53,7^\circ C$$

B. A szenzor katalógus szerinti nemlinearitása 0,5°C. Hány bites A/D konverter lenne elegendő, hogy a nemlinearitásból eredő hiba épphogy kisebb legyen, mint egy LSB?

A fél fokos nemlinearitáshoz 5mV feszültségváltozás tartozik. Az LSB-nek tehát ennél kell épphogy nagyobbak lennie, azaz:

$$\frac{3V}{2^n} \geq 5mV$$

egyenletet kell megoldani, azaz átrendezve:

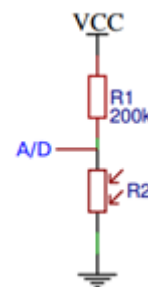
$$2^n \leq 600$$

$$n \leq \log_2 600 = 9,23$$

Tehát egy 9 bites A/D esetén már nem tudnánk észrevenni a nemlinearitási hibát. Ilyenkor 1 bit-hez 0,586°C hőmérsékletváltozás tartozik.

7. Feladat

Egy fényérzékeny ellenállás segítségével készítünk szenzort az ábrán látható módon. A fényérzékeny ellenállás értéke teljes sötétben $200\text{k}\Omega$, maximális tervezett megvilágításon pedig (a pontos érték feladat szempontjából lényegtelen) $5\text{k}\Omega$. A szenzor tápfeszültsége 5V , kimenetét egy mikrokontroller 12 bites A/D átalakítójával mintavételezzük, amelynek referencia feszültsége szintén a tápfeszültség, azaz 5V .



A. Milyen érték lesz az A/D átalakító regiszterében sötétben?

A fényérzékeny ellenállás és az R_1 ellenállás egy feszültségosztót alkot. A mért feszültség tehát:

$$V_{AD} = V_{CC} \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Behelyettesítve sötétben a tápfeszültség felét kapjuk, $2,5\text{V}$ -ot, így az A/D regiszterében is a fele érték, azaz 2048 lesz.

B. Hogyan lehet kiszámolni a fényérzékeny ellenállás értékét az A/D regiszterében található értékből? Adja meg a képletet!

Visszafelé kell alkalmazni a képleteket. Számoljuk ki az A/D feszültségéből az R_2 fényérzékeny ellenállást!

$$V_{AD}(R_1 + R_2) = V_{CC}R_2$$

$$R_2 = R_1 \frac{V_{AD}}{V_{CC} - V_{AD}}$$

Számoljuk ki a mért feszültséget, ha n bites az átalakító és b található a regiszterben.

$$V_{AD} = b \cdot V_{LSB} = b \cdot \frac{V_{CC}}{2^n}$$

Behelyettesítve:

$$R_2 = R_1 \frac{b \cdot \frac{V_{CC}}{2^n}}{V_{CC} - b \cdot \frac{V_{CC}}{2^n}} = R_1 \frac{b}{2^n - b} = 200 \cdot \frac{b}{4096 - b}$$

C. A fényérzékeny ellenállás pontossága $\pm 20\%$, a vele sorbakötött ellenállást pontosnak feltételezzük. Mi lesz a mért A/D bit értékek minimuma és maximuma a tervezett megvilágítás esetén?

A tervezett megvilágítás esetén a feladat szerint az R_1 ellenállás $4\text{k}\Omega$ és $6\text{k}\Omega$ között van.

$$b = \frac{V_{AD}}{V_{LSB}} = V_{CC} \frac{R_2}{R_1 + R_2} \frac{2^n}{V_{CC}} = 2^n \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 4096 \cdot \frac{R_2}{200 + R_2}$$

Azaz behelyettesítve 80 és 120 között lesz a regiszterben.

8. Feladat

Egy mikrokontroller 12 bites, unipoláris A/D konverterének referencia feszültsége 4096mV. Egy Pt100 szenzor ellenállása 0°C-on 100Ω, érzékenysége 0,385 Ω/°C. Az ellenálláson 10mA áramot bocsátunk keresztül és a mikrokontroller A/D átalakítójával mérjük.

A. Milyen érték található az A/D regiszterében szobahőmérsékleten? (25°C).

25°C-on a Pt100 ellenállás feszültsége:

$$V = IR = 10mA \cdot (100\Omega + 0,385\Omega/^{\circ}C \cdot 25^{\circ}C) = 1096,25mV$$

(mA-rel szoroztunk Ohmot ezért mV-ban kapjuk az eredményt!) Az LSB feszültség 1mV, mivel 12 bites az átalakító, ezért a regiszterben 1096 lesz.

(ezért kedveltek a mV-ban kettő hatványaként kifejezhető referencia feszültségek, 1,024V; 2,048V; 4,096V stb.)

B. Az A/D konverter elé egy erősítőt kapcsolunk. Mekkora legyen az erősítés, ha azt szeretnénk, hogy kb. 160°C-nál az A/D konverter maximális értéket mutasson?

160°C-on 1616mV feszültséget mérnénk erősítés nélkül, azaz 4095/1616=2,53 erősítés lenne szükséges. Állítsuk az erősítést 2,5×-re a biztonság kedvéért.

C. Mekkora ebben az esetben a hőmérsékleti felbontás, azaz egy bit megváltozáshoz tartozó hőmérsékletváltozás?

Képlet nélkül, egyszerűen végigvezetve:

Egy bit megváltozása 1LSB, azaz 1mV. Ez azonban 2,5× -re erősített feszültség, az ellenálláson lévő feszültségváltozás 1mV/2,5=0,4mV. 10mA mérőáram esetén ez 0,4mV/10mA=0,04Ω ellenállásváltozást jelent. Ezt elosztva az érzékenységgel megkapjuk az 1 bit változáshoz tartozó hőmérsékletváltozást, azaz $\frac{0,04\Omega}{0,385\Omega/^{\circ}C} = 0,104^{\circ}C$