

Plasticscanner review

18 Sep 2022

Source code

De ADS1256 wordt ingesteld op een samplerate van 30kHz, gain=1. Dingen die je in firmware kunt doen om de signal/noise ratio te verhogen:

- lagere sample rate kiezen (zie tabel 4 in de ADS1256 datasheet, noise bij $f=100\text{Hz}$ is meer dan 10x lager dan bij $f=30\text{kHz}$) **NB: let hierbij op de settling time, tabel 13.** Dit is de tijd die je minimaal moet wachten tussen twee opeenvolgende LED 'kleuren'. Dit zal dus in de praktijk een trade-off zijn tussen hoe snel je kunt scannen en hoe nauwkeurig je de resultaten wilt hebben.
- hogere PGA gain instellen (zie ook tabel 4). Je kunt zelfs 'auto ranging' in firmware implementeren: doe eerst een meting op gain=1 en als je gemeten signaal klein genoeg is herhaal je de meting met gain=2/4/etc waar mogelijk.
- Eventueel kun je meerdere metingen doen en deze bij elkaar optellen of andere analyse op loslaten voor extra resolutie (averaging) of robuustheid (outlier rejection).
- Als bovenstaande dingen niet nodig zijn kun je waarschijnlijk in de toekomst kiezen voor een simpelere=goedkopere ADC.
- Als je dingen aanpast, let er dan op dat je de `delay(5)` tussen het verzamelen van elke sample mogelijk opnieuw moet fine-tunen. De volgende factoren zijn daarbij het meest belangrijk:
 - de settling time van het analoge Opamp filter (zie berekening filter response)
 - settling time van de ADC (tabel 13 in de datasheet)
 - de reactiesnelheid van de photodiode / LEDs (vermoedelijk niet significant)

Hardware - schema ontwerp

Voeding filter

Als vuistregel heeft elke chip (microcontroller, opamp, etc) minimaal 1 condensator nodig voor elke voedings pin (bijvoorbeeld $AVDD / DVDD$ voor de ADC). Dit ontbreekt bij de ADC en opamp. Het ontbreken van deze zgn 'decoupling capacitors' zal zorgen voor meer ruis en kan er zelfs voor zorgen dat je circuit niet werkt of onbetrouwbaar is.

Welke waardes je moet gebruikt vind je vaak in de datasheet (zie bijv Figure 25, p28 van de ADS1256 datasheet). Als dit niet gespecificeerd wordt kun je 100nF als vuistregel hanteren.

ADC

Overweeg de ADS1255, deze is hetzelfde als de 1256, maar zonder de 8 channels (die je niet gebruikt). Kan kosten schelen (misl beschikbaar..).

5V vs 3.3V signalen

Klopt het dat je een Arduino Uno (of vergelijkbaar) met 5V I/O pinnen gebruikt? Hoewel de ADC digitale inputs 5V tolerant zijn, is het output signaal (MISO) 3.3V logic. Het is veiliger om (in ieder geval voor de MISO lijn) een level shifter te gebruiken. Door o.a. toleranties op onderdelen kan het zijn dat dit in serieproductie problemen geeft.

LED driver

5V vs 3.3V signalen

Klopt het dat je een Arduino Uno (of vergelijkbaar) met 5V I/O pinnen gebruikt? Dan kan het zijn dat de I2C interface niet altijd betrouwbaar werkt. Overweeg om de TLC59208 op 5V te voeden, dan heb je geen level shifter nodig om dit op te lossen.

Nauwkeurigheid LEDs

LEDs geven een hoeveelheid licht af die afhankelijk is van de stroom door de LED. In dit geval is dit:

$$(3.3V - V_f)/R$$

Let dus op dat de intensiteit van het licht dat je LEDs afgeven naast de LED tolerantie ook afhangt van:

- (tolerantie op de resistor is meestal verwaarloosbaar t.o.v. de LEDs)
- tolerantie afwijking van de 3.3V voeding (ten opzichte van de ADC referentie)
- tolerantie op de V_f (forward voltage) van de LED. Deze is vaak significant en temperatuurafhankelijk

Het is te overwegen om de LEDs vanaf een aparte voeding (losse LDO) te voeden en deze zelfde supply ook te gebruiken als referentie voor je ADC. Stel dat de 3.3V eigenlijk 3.2V is, dan schaal je ADC mee en is de fout minder groot.

Een stap verder zou zijn om de LEDs te voeden met een zgn constant current driver. Hiermee kun je het effect van variërende forward voltage elimineren.

Om te testen in hoeverre dit nodig is zou je een test op kunnen zetten waarbij je over langere tijd steeds hetzelfde materiaal meet om te zien hoe groot de spreiding is.

Chip select pin

Je gaf aan dat de chip select niet werkt. Hier kan ik in het ontwerp niet direct een oorzaak voor geven. Als ik het goed heb onthouden heb je die nu direct aan GND gesoldeerd als workaround?

Een paar dingen om te proberen:

- meet de spanning aan beide kanten van R12, dit geeft een indicatie of de Arduino of de ADC de oorzaak is
- verbind de CS aan GND in serie met de multimeter en meet hoeveel stroom er gaat lopen. Dit geeft een indicatie of de lijn actief hooggetrokken wordt (> 1 mA) of dat het om een pullup gaat (bijv interne pullup in de ADC of arduino).
- check of je Arduino niet kapot is: kun je pin 10 wel togglen los van de PCB?
- staat je Arduino pin in output mode (`pinmode(10, OUTPUT)`)

Transimpedance amplifier

Optwerp lijkt sterk op deze application note van TI: <https://www.ti.com/lit/an/dlpa072/dlpa072.pdf>

Hierin wordt het ontwerp van een een DPL-gebaseerde spectrometer uitgelegd. Kijk vooral naar hoofdstuk 3.5. Hier vind je de relevante berekeningen voor de transimpedance amplifier.

Amplifier berekeningen:

$GBW = 5.5\text{MHz}$ #(gebaseerd op Opamp specs)

$C_s = \text{ca } 30\text{e-}12$ # (c=6+6.5+13+5?=30pF, gebaseerd op Opamp+photodiode specs)

$R_f = 240\text{e}3$ (240 kOhm)

$f = \text{sqrt}(5.5\text{Mhz}/(2*\text{pi}*r_f*C_s)) = \text{ca } 350\text{kHz}$

$C_{\text{min}} > 2\text{pF}$ (formule 7 appnote)

De gebruikte opamp heeft dus voldoende gain om te werken tot 350kHz. De compensatie capacitor (nu 51pF) moet **minimaal** 2pF zijn voor een stabiel circuit. Een grotere waarde zorgt voor lagere bandbreedte, maar ook voor minder ruis in je signaal.

Amplifier gain

De huidige versterker heeft een versterking van :

$\text{gain} = 2*R_f = 2*240\text{kOhm} = 480 \text{ mV} / \mu\text{A}$

In de photodiode gaat een klein stroompje lopen, afhankelijk van hoeveel licht eropvalt wordt dat volgens bovenstaande formule omgezet in een spanning. De optimale situatie is dat de maximum spanning overeenkomt met het maximum van je ADC input (zo gebruik je de hele 24-bit range).

Als dit niet zo is kun je een hogere gain resistor kiezen (of een lagere ADC reference voltage).

Filter response: feedback capacitor vs bandbreedte

Onderstaande (versimpelde) formule geeft een idee van de bandbreedte wanneer je een hogere capacitor waarde gebruikt:

$$C_{ff} = 51\text{pF}$$

$$R_f = 240\text{k}\Omega$$

$$f_{co} = 1 / (2 * \pi * r_f * C_{ff}) = \text{ca } 13\text{KHz}.$$

$$t_r = r_f * C_{ff} = 12\mu\text{s}$$

Bovenstaande formule is een benadering en klopt alleen zolang de uitkomst significant lager is dan de eerder berekende amplifier bandwidth ($\ll 350\text{KHz}$) is. De bandbreedte is gedefinieerd als de frequentie waarbij het signaal met 3dB verzwakt is. Als vuistregel kun je aannemen dat de settling time ongeveer 6 tijdsconstanten is:

$$t_{settle} = 6 * t_r = \text{ca } 0.073 \text{ miliseconde}$$

Dit lijkt me meer dan snel genoeg, je kunt gerust voor nog een wat hogere waarde gaan. Het is dus niet zo dat dit exact 51pF moet zijn. Je kunt gerust 47pF pakken (meer gangbare waarde) of dus een hogere waarde.

Tweede filter (antialiasing)

Na de opamp is nog een differential filter geplaatst met $R=301$, $C=47\text{nF}$, hiervan is de bandbreedte:

$$f_{co} = 1 / (2 * \pi * (2 * 301) * 47e-9) = 5.6\text{KHz}$$

Je kunt desgewenst andere waardes voor $R_3=R_4$ en C_4 kiezen. Let er dan wel op dat:

- R_3 en R_4 hetzelfde zijn (liefst 1% tolerantie), geldt trouwens ook voor R_1 en R_2 .
- R_3 en R_4 niet te groot zijn (zou $< 1\text{K}$ aanraden, heeft te maken met voltage drop richting je ADC)
- C_4 niet zo groot wordt dat het fysiek een grote package wordt (hou het 0805 of kleiner).

Dit filter (vooral C_4 en zeker C_5) moet direct naast de ADC pinnen geplaatst worden.

Opties tot versimpeling

Het huidige desing is duidelijk opgezet met hoge performance als doel. Ik zou dat in dit stadium nog even zo laten. Als je veel data verzameld hebt krijg je steeds

duidelijker hoe nauwkeurig het systeem nu eigenlijk moet zijn, of dat je met minder fancy hardware weg kunt komen.

Te overwegen:

- eenvoudigere 'single ended' transimpedance amplifier (gebruikt de helft van de opamps)
- goedkopere ADC (met minder uitgebreide features, minder channels, lagere samplerate of misschien 16-bit)
- voltage reference: de absolute nauwkeurigheid (in volt) is niet zo belangrijk, het gaat om de *relatieve nauwkeurigheid ten opzichte van hoe fel de LEDs branden*. Mogelijk kun je dus een eenvoudige LDO als voeding voor de LEDs en als referentie gebruiken.

Layout

Hieronder vind je een aantal tips hoe de layout verbeterd zou kunnen worden. Dit zal het product vooral stabiel en robuuster maken, denk aan EMC compliance (gevoeligheid voor interferentie door o.a. telefoons of andersom het storen van andere apparaten). Daarnaast zal het een positief effect hebben op de ADC performance.

Ground plane / return currents

De belangrijkste verbetering die je kunt maken in de layout is het toevoegen van een `GND plane`: probeer de bottom layer zoveel mogelijk ononderbroken te laten en gebruik alleen korte 'jumper' tracks als het niet anders kan. Dit heeft vooral invloed op de noise rondom de ADC en het risico op EMC storingen. Ik heb hier ooit [een blog over geschreven](#). Als je hier meer over wilt leren kan ik het [youtube kanaal van Robert Feranec](#) aanraden.

Decoupling capacitors

In de schema review kwam dit al even naar voren. Plaats direct naast elke voedings pin van elke chip een 100nF of vergelijkbare capacitor (zie datasheets). Dit is omdat zelfs PCB traces zich gedragen als inductieve spoeltjes die hoge frequenties niet goed doorlaten. Plaats condensators dus altijd vlakbij de chip met een zo kort mogelijke verbinding tussen de VCC/GND pinnen en de capacitor.

Dit geldt ook voor filters zoals bijvoorbeeld `c6/c7/c8`. Als er meerdere parallele condensatoren gebruikt zijn, plaats dan vooral de laagste waarde (`c8`) dichtbij de pinnen.

Gevoelige signalen

Analoge input

Analoge signalen, vooral de photodiode, zijn heel gevoelig voor beïnvloeding door andere signalen: omdat het om zulke kleine stroompjes gaat is zelfs een klein

stoorsignaal al significant. Dit ziet er al vrij goed uit. Ik zou zelf de tracks tussen D_1 en U_1 nog dichter tegen elkaar aan routen (als een differential pair) met ground eromheen (en een ononderbroken GND plane). De filter tussen de opamp en de ADC in kan ook nog ietsje compacter. Plaats de C zo dicht mogelijk bij de ADC input.

ADC

rondom de ADC / opamp wil je liefst geen digitale signalen of andere potentiële stoorbronnen hebben. Let op de routing van o.a. de I2C lijnen en de crystal onder de ADC door.

Conclusie

Qua functionaliteit zijn er niet echt dingen gevonden die per se fout zijn, maar wel wat puntjes waarmee je het design nog een stuk robuster kunt maken. Op termijn zou ik hiervoor wel een revisie aanraden, zeker als je CE markering (EMC compliance) overweegt.