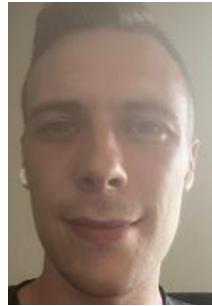


Metalldetektor projekt

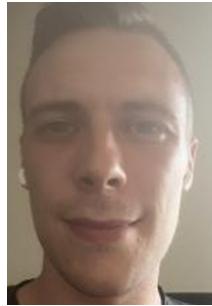
Gruppe 1

34621

Electromagnetic sensors and digital signal processing
Danmarks Tekniske Universitet



Sebastian Sørensen,
s233986



Oliver Holm,
s233988



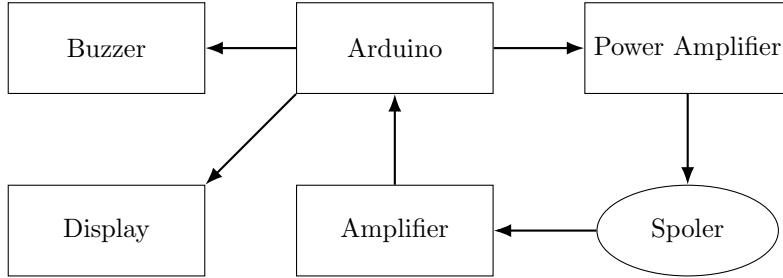
Bilal Alali,
s171678

January 18, 2026

Indholdsfortegnelse

1	Introduktion	2
2	Analyse	2
3	Design	2
3.1	Analogt design	2
3.1.1	Energiberegninger	2
3.1.2	Spoleberegninger	2
3.1.3	Power Amplifier	4
3.1.4	Filtrering og forstærkning af spolesignal	5
3.2	Digitalt design	6
3.2.1	Moduldiagram og introduktion	6
3.2.2	Brugerinteraktion	6
3.2.3	DFT algoritme og sampling	6
3.2.4	Tilstandsmaskine	7
3.2.5	Digital signal behandling	7
4	Implementering og test	7
5	Konklusion	7
6	Ansvarsområder (hvem har lavet hvad)	7
7	Appendix	7
7.1	Gantt kort	7
7.2	Mødereferater	7

1 Introduktion



Figur 1: Overordnet moduldiagram af systemet

2 Analyse

3 Design

3.1 Analogt design

3.1.1 Energiberegninger

Vi undersøgte os frem til at batteriet har en kapacitet på 550mAh. Da batteriet aflades fra 9V til 6V, har vi lavet udregningen:

$$E_{tot} = V \cdot I \cdot 3600 \iff E_{tot} = \frac{9V + 6V}{2} \cdot 0.55A \cdot 3600s = 14850J$$

Ved måling af strømforbruget finder vi at OLED-display og Arduinoen forbuger $\approx 76.2\text{mA}$. Dette giver os

$$E_{MCU} = 5V \cdot 76.2 \cdot 10^{-3}\text{A} \cdot 3600s = 1371.6J$$

Vi reserverer 15% af batteriet som buffer, for at være sikker på at overholde kravene. Resten af energien kan bruges til TX-spolen.

$$E_{TX} = E_{tot} \cdot (1 - 0.15) - E_{MCU} = 11250.9J$$

3.1.2 Spoleberegninger

TX-spole

Ved resonans kan spændingen gennem spolen approksimeres ved grundtonen i fourierrækken

$$a_n \approx 2 \left(\frac{A}{n\pi} \right) \sin \left(\frac{n\pi}{2} \right) = 2 \left(\frac{9V}{\pi} \right) \sin \left(\frac{\pi}{2} \right) = 5.73V$$

Hvorved RMS-spændingen kan bestemmes

$$V_{RMS} = \frac{a_n}{\sqrt{2}} = 4.05V$$

Derved kan vi nu beregne strømmen vi kan sende igennem spolen

$$I_{TX} = \frac{E_{TX}}{t \cdot V_{RMS}} = \frac{11250.9J}{3600s \cdot 4.05V} = 0.4628A$$

Radiusen på TX-spolen vælges til $r_{TX} = 10cm$, med $D_{TX} = \emptyset 0.4mm$. Derved kan antallet af viklinger beregnes ved

$$R_{TX} = \frac{V_{RMS}}{I_{TX}} = 8.754\Omega$$

$$N_{TX} = \frac{R_{TX} \cdot \left(\frac{D_{TX}}{2}\right)^2}{2 \cdot r_{TX} \cdot \rho_{cu}} = \frac{8.754\Omega \cdot \left(\frac{0.4mm}{2}\right)^2}{2 \cdot 10cm \cdot 1.77 \cdot 10^{-8}\Omega \cdot m} = 98.9$$

hvilket afrundes til $N_{TX} = 99$.

Selvinduktansen i spolen findes ved

$$L = \frac{0.394 \cdot r^2 \cdot N^2}{9 \cdot r + 10A} = \frac{0.394 \cdot 10^2 \cdot 99^2}{9 \cdot 10 + 10} = 3.855mH$$

For at kunne lave Arduino'ens firkantsignal til en sinuskurve anvendes et resonanskredsløb, som har resonansfrekvens på 2kHz. Størrelsen af kondensatoren findes ved at løse ligningen

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \iff 2kHz = \frac{1}{2\pi\sqrt{3.855mH \cdot C}} \implies C = 1.642\mu F \quad (1)$$

Magnetfeltet fra TX-spolen beregnes, da bucking-spolen skal udligne B-feltet fra TX-spolen, for på den måde at tilsikre at vi kun mäter på magnetfeltet fra metallet i detektoren.

$$|B| = \frac{\mu_0 I_{TX} N_{TX}}{2r_{TX}} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \frac{H}{m} \cdot 0.4628A \cdot 99}{2 \cdot 10cm} = 287.6\mu T$$

Bucking-spole

Derved kan Bucking-spolen beregnes. Vi vælger en radius på $r_{Buck} = 5cm$, og antallet af viklinger beregnes ved

$$|B| = \frac{\mu_0 \cdot I_{TX} \cdot N_{Buck}}{2 \cdot r_{Buck}} \iff 287.6\mu T = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 0.4628A \cdot N_{Buck}}{2 \cdot 5cm} \implies N_{Buck} = 49.458$$

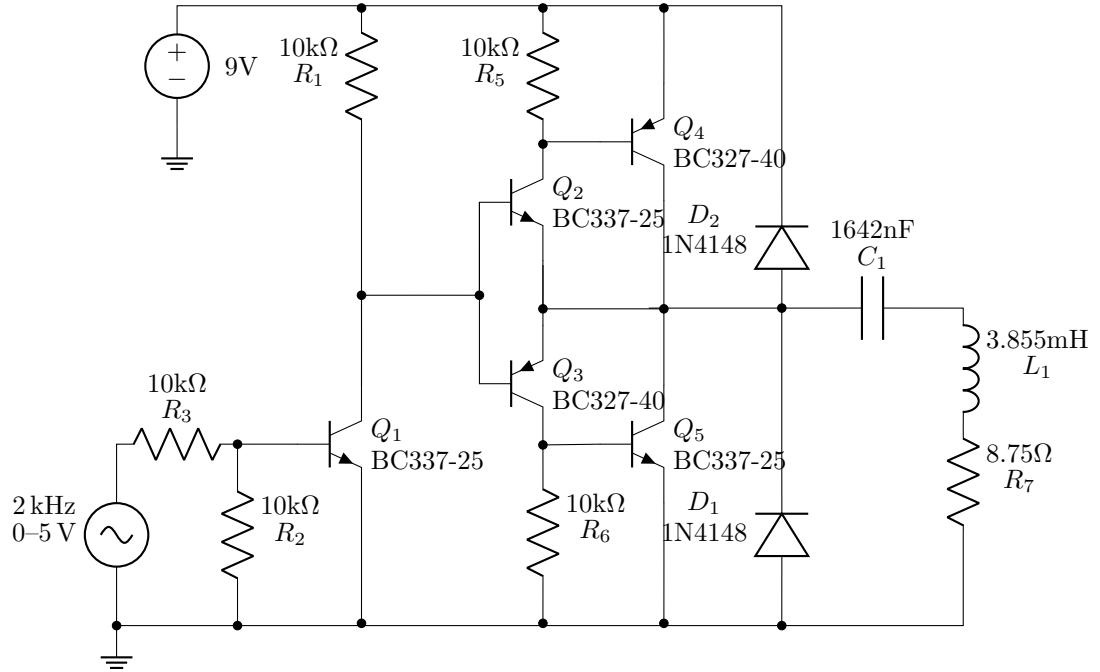
hvilket afrundes til $N_{Buck} = 50$.

RX-spole

For at opnå en god følsomhed på sensoren, er vi opmærksomme på at induktansen i RX-spolen skal være minimum $L_{RX} = 10mH$. Derved beregnes antallet af viklinger ved

$$10 \cdot 10^3 = \frac{0.394 \cdot r_{RX}^2 \cdot N_{RX}^2}{9r_{RX} + 10A_{RX}} = \frac{0.394 \cdot 5^2 \cdot N_{RX}^2}{9 \cdot 5 + 10} \implies N_{RX} = 236$$

3.1.3 Power Amplifier

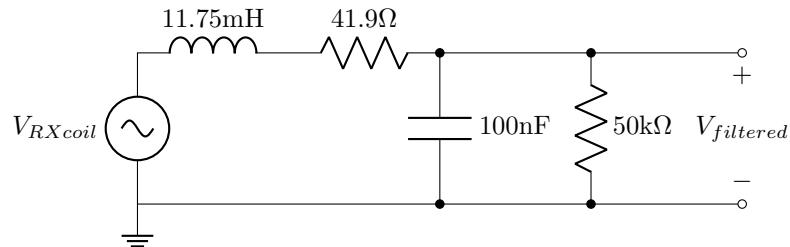


Figur 2: Power amplifier kredsløb til at øge strømmen gennem TX-spolen.

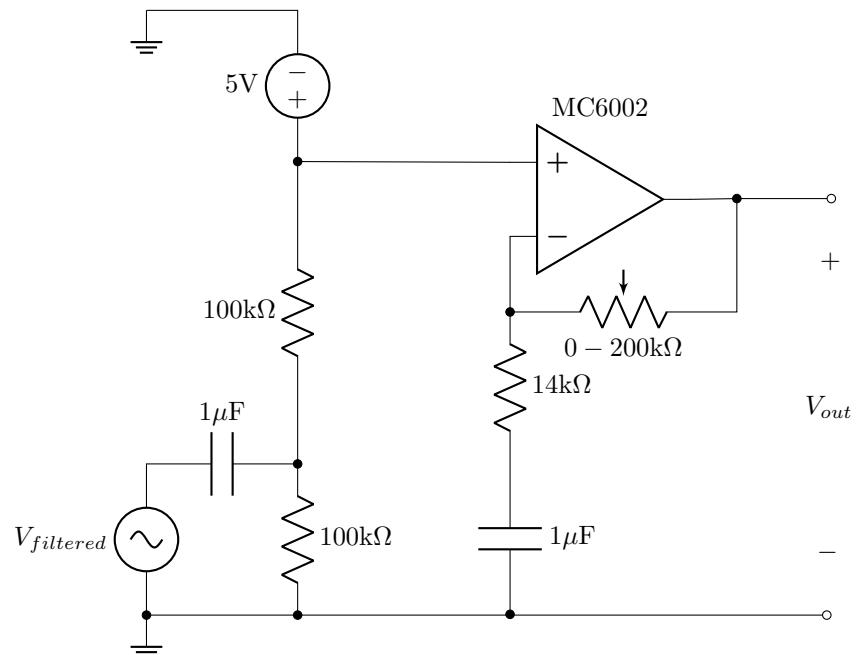
Ovenfor ses vores design af effektforstærkeren, som bruges til at forstærke signalet fra Arduino'en til at kunne drive TX-spolen. Kredsløbet virker ved:

- Firkantsignalet sendes ind i forstærkeren gennem en modstand som beskytter Arduino'en og styrer strømmen ind i transistoren Q_1 .
- Transistor-konfigurationen fungerer som en forstærker som via. en styrestrøm kontrollerer en større strøm fra batteriforsyningen (9V batteriet), som driver TX-spolen.
- TX-spolen (L_1) genererer et magnetfelt ved resonansfrekvensen
- Kondensatoren (C_1) er beregnet (Ligning 1) således at der opstår resonans ved detektionsfrekvensen på 2kHz
- Modstanden R_7 repræsenterer den ohmske modstand i TX-spolen.
- Dioderne D_1 og D_2 beskytter kredsløbet fra den induserede spænding i spolen.

3.1.4 Filtrering og forstærkning af spolesignal



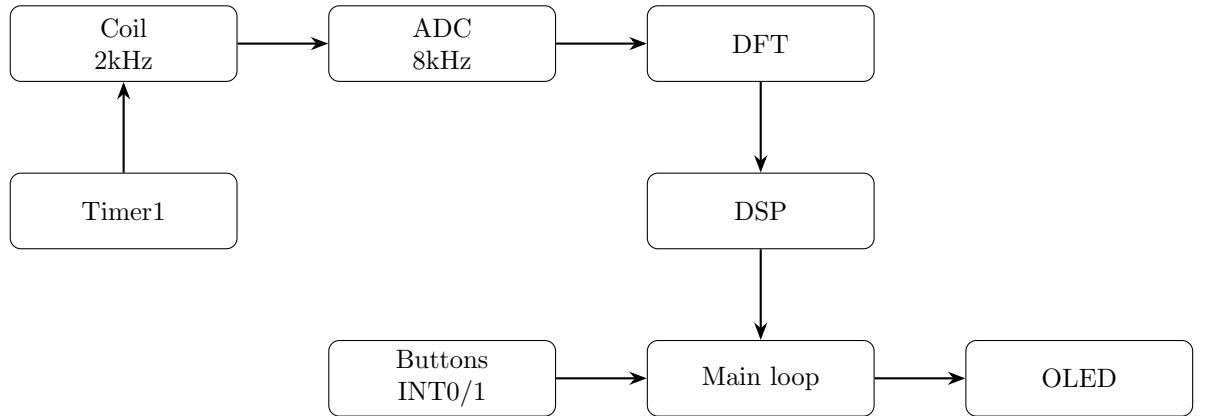
Figur 3: Kredsløb til at filtrere støj væk ($\approx \frac{f_s}{2} = 4\text{kHz}$) inden signalet bliver forstærket (som vist i Figur 4)



Figur 4: Kredsløb til at forstærke den filtrerede spænding fra RX-spolen op, inden det læses ind i MCU ADC'en.

3.2 Digitalt design

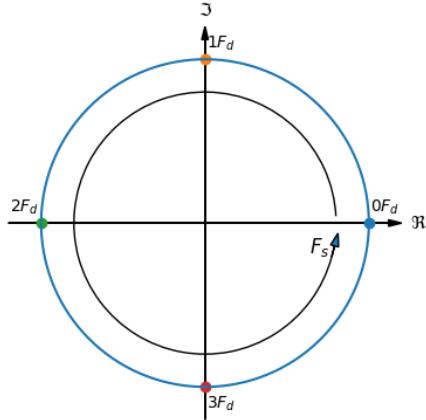
3.2.1 Moduldiagram og introduktion



Figur 5: Overordnet moduldiagram af systemet

3.2.2 Brugerinteraktion

3.2.3 DFT algoritme og sampling



Figur 6: Grafisk illustration over princippet bag DFT-algoritmen. Ved at vælge $F_d = \frac{F_s}{4}$, undgår vi at lave komplikerede komplekse beregninger.

3.2.4 Tilstandsmaskine

3.2.5 Digital signal behandling

4 Implementering og test

5 Konklusion

6 Ansvarsområder (hvem har lavet hvad)

7 Appendix

7.1 Gantt kort

7.2 Mødereferater