



CHALMERS

3D visualisering av roterande magnetfält

Användning av Unity och Arduino för att mäta och visa ett roterande magnetfält i realtid

Examensarbete inom högskoleprogrammet Elektroteknik och Datateknik

Tony Cheah
Leon Ruan

INSTITUTIONEN FÖR ELEKTROTEKNIK OCH DATATEKNIK

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg 2025
www.chalmers.se

EXAMENSARBETE 2025

3D visualisering av roterande magnetfält

Användning av Unity och Arduino för att mäta och visa ett roterande magnetfält i realtid

Tony Cheah
Leon Ruan



CHALMERS

Institutionen för Elektroteknik och Datateknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg 2025

3D visualisering av roterande magnetfält
Användning av Unity och Arduino för att mäta och visa ett roterande magnetfält i
realtid
TONY CHEAH
LEON RUAN

© TONY CHEAH, LEON RUAN, 2025.

Handledare: Sakib Sistik, Data- och informationsteknik
Examinator: Nicholas Smallbone, Data- och informationsteknik

Examensarbete 2025
Institutionen för Elektroteknik och Datateknik
Chalmers Tekniska Högskola
SE-412 96 Göteborg
Telefon +46 31 772 1000

Skriven i L^AT_EX
Göteborg 2025

3D visualisering av roterande magnetfält

Användning av Unity och Arduino för att mäta och visa ett roterande magnet- fält i realtid

TONY CHEAH

LEON RUAN

Institutionen för Elektroteknik och Datateknik

Chalmers Tekniska Högskola

Sammanfattning

Detta examensarbete genomfördes under våren 2025. Syftet med projektet var att skapa en applikation som visualiserar magnetflödet i en asynkronmotor i realtid. Idén grundade sig i behovet av att bättre kunna illustrera hur flödesrörelsen ser ut under drift, något som trots omfattande teoretiska studier kan vara svårt att visa på ett pedagogiskt sätt.

För att mäta det magnetiska fältet användes tre Hall-effektsensorer, strategiskt placerade med 120 graders mellanrum runt motorn. Sensorerna kopplades till en Arduino Uno som samlade in mätvärden från varje sensor. Dessa data skickades trådlöst via en Bluetooth-modul till en visualiseringsapplikation utvecklad i Unity.

I applikationen representerades varje sensors mätvärde av en färgad sfär vars nyans skiftade beroende på styrkan i det uppmätta magnetfältet. Dessutom beräknades och visades en riktningspil i 3D som visade den totala fältvektorns riktning och storlek i realtid. Visualiseringen gav en tydlig bild av hur det magnetiska flödet roterar i motorn.

Arbetet resulterade i en fungerande applikation med låg fördröjning och stabil överföring. Det finns potential för vidareutveckling, men den nuvarande lösningen uppfyller målet att ge en lättförståelig bild av motorflödets beteende.

Systemet testades stegvis: först hårdvara och kommunikation, sedan helheten genom att rotera magneten och jämföra sensordata med visualisering. Genomförandet följde en systemkonstruktion som omfattade hårdvarudesign, kommunikationslösning och mjukvaruutveckling för ett komplett visualiseringssystem.

Abstract

This thesis project, conducted during the spring of 2025, aimed to develop an application capable of visualizing the real-time magnetic field movement in an asynchronous motor. The primary motivation was to provide a pedagogical tool that simplifies the understanding of electromagnetic field behavior during motor operation—something that is often theoretically explained but rarely intuitively visualized.

To capture the magnetic field, three Hall-effect sensors were positioned at 120-degree intervals around the motor. These sensors transmitted analog signals to an Arduino Uno, which processed and relayed the data wirelessly via a Bluetooth module. The sensor data was then interpreted and visualized in a Unity based application.

The application displayed each sensor's reading through a colored sphere, where the color spectrum represented magnetic field strength. Additionally, a 3D directional arrow illustrated the resultant vector of the magnetic field in real-time. The user interface supported interactive camera controls, enabling flexible examination of how the magnetic field rotated in the motor.

The final implementation demonstrated low latency and reliable data transmission. Despite time constraints limiting the addition of more advanced features, the project successfully delivered a working demonstrator with clear educational value and potential for further development.

Förord

Vi vill rikta ett stort tack till vår handledare, Sakib SisteK, för hans stöd och inspiration under arbetets gång. Hans vägledning har skapat en motiverande och utvecklande miljö som hjälpt oss att växa både akademiskt och professionellt.

Tony Cheah och Leon Ruan , Göteborg, Juni 2025



Akronymer

3D	Tredimensionell
BLE	Bluetooth Low Energy
CSV	Comma Separated Values (filformat för data)
EMF	Elektromotorisk Kraft
GPS	Global Positioning System
UART	Universal Asynchronous Reciver/Transmitter
BPS	Bits Per Seconds



Innehåll

Akronymer	viii
Figurer	xiii
1 Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	1
1.3 Mål	1
1.4 Avgränsningar	2
2 Metod	3
2.1 Förberedelse och uppbyggnad	3
2.2 Datainsamling	3
2.3 Dataöverföring och bearbetning	3
2.4 Visualisering	4
3 Teknisk Bakgrund	5
3.1 Magnetism	5
3.1.1 Magnetfält	5
3.1.2 Magnet	6
3.2 Elektromagnetism	6
3.2.1 Elektriska och magnetiska fält	7
3.2.2 Faradays lag	7
3.2.3 Ampéres lag	8
3.3 Arduino	8
3.3.1 Hall-effektsensor	8
3.3.2 Bluetoothmodul-HM10	9
3.4 Motor	10
3.4.1 Tvåpolig motor	10
3.4.2 Asynkron motor	10
3.4.3 Synkron motor	11
3.4.4 Generator	11
3.5 Unity	11
3.6 Gauss	11
3.7 Tesla	12
3.8 Plotly	12
3.8.1 Dash	12

4	Systemkonstruktion	13
4.1	Sensorkonfiguration	13
4.2	Mikrokontroller och signalbehandling	13
4.3	Kommunikationsgränssnitt	13
4.4	Visualiseringsapplikation	13
4.5	Användargränssnitt	14
5	Genomförande	15
5.1	Hårdvaruuppsättning	15
5.2	Programmering av arduino	15
5.3	Bluetoothkommunikation	15
5.4	Visualisering i Unity	16
5.5	Testning och verifiering	16
6	Resultat och diskussion	17
6.1	Visualisering av sensorvärden	17
6.2	3D-visualisering av magnetfältet	20
6.3	Bluetooth-kommunikation i realtid	21
6.4	Diskussion	21
6.5	Förbättringar	21
7	Slutsats	23
7.1	Begränsningar	23
7.2	Fortsatt arbete	23
7.3	Slutsats	24
	Bibliography	25

Figurer

3.1	Magnetfältets inre riktning i en magnet [3]	6
3.2	Bild på en Arduino Uno[17]	8
3.3	Bild på en halleffekt sensor[18]	9
3.4	Bild på en HM-10[16]	10
4.1	Schematisk bild av systemets uppkoppling och kommunikation	14
6.1	Visualisering i mobilapplikationen	18
6.2	Visualisering i mobilapplikationen	19
6.3	Visualisering i mobilapplikationen	20
7.1	TinkerCad motorstyrning med PWM signal	24

1

Inledning

1.1 Bakgrund

Ett roterande magnetfält är ett fenomen som har stor betydelse inom elektriska maskiner. Fenomenet upptäcktes och beskrevs av den serbisk-amerikanske uppfinnaren Nikola Tesla i slutet av 1800-talet. Tesla var grunden till utvecklingen av växelströmssystem, och hans arbete kring roterande magnetfält lade grunden för framstegen inom induktionsmotorer och transformatorer. Det roterande magnetfältet uppstår när magnetfältet förändras över tid och roterar kring en central axel, vilket genererar den nödvändiga kraften för att driva elektriska motorer[4]. Upptäckten spelade en avgörande roll för utvecklingen av moderna elmotorer och generatorer, vilket revolutionerade industrin och möjliggjorde mer effektiv energiproduktion och användning.

Tesla utvecklade och demonstrerade dessa teknologier, och många av hans patent inom området bidrog till att etablera hans arv som en av de viktigaste uppfinnarna inom elektroteknik.

Dessutom har hans namn även inspirerat moderna företag som Tesla, vilket visar hur hans ideer fortsätter att påverka dagens teknik och innovation. Företaget Tesla fokuserar på elektriska fordon och energilagring, som i likhet med Teslas ursprungliga vision, bygger på effektiv användning av elektrisk energi.

För att förstå roterande magnetfält i praktiken är det viktigt att ha en tydlig förståelse för både den teoretiska fysiken bakom fenomenet och de tekniska aspekterna av hur magnetfält kan mätas, analyseras och visualiseras. I detta sammanhang blir projekt som kombinerar teknik som Arduino och Unity avgörande verktyg för att möjliggöra studier och ge en djupare förståelse för fenomenet i realtid.

1.2 Syfte

Syftet med det här projektet är att skapa en applikation som visualiserar ett roterande magnetfält i 3 dimensioner med hjälp av Unity och arduino.

1.3 Mål

Detta projekt syftar till att utveckla en plattform för visualisering av ett roterande magnetfält i tre dimensioner genom en integrering av Unity och Arduino. Målet är

att med hjälp av Arduino samla in data om magnetfältets egenskaper i realtid. Den insamlade informationen ska därefter analyseras, bearbetas och användas för att dynamiskt uppdatera en 3D visualisering i Unity. Visualiseringen representerar magnetfältet med hjälp av en pil där storleken och riktningen speglar magnetfältets styrka och orientering, samt cirklar som ändrar storlek beroende på det lokala fältets styrka.

Denna interaktiva visualisering fungerar inte bara som ett analysverktyg för att bättre förstå magnetfältets dynamik, utan också som en pedagogisk plattform tillgänglig via mobil eller annan enhet. Användaren ges möjlighet att i realtid observera förändringar i fältet, samt justera inställningar såsom enhetsval (Tesla/Gauss) och rotation/zoom

Sammanfattningsvis kombinerar detta arbete elektronik, realtidsdatahantering, fysik och 3D-programmering för att skapa en innovativ visualiseringsplattform som underlättar förståelsen av elektromagnetiska fenomen på ett tydligt och tillgängligt sätt.

1.4 Avgränsningar

Projektets omfattning begränsas enligt följande:

- Visualiseringen fokuserar enbart på ett roterande magnetfält genererat av en enkel konfiguration av magnetiska sensorer kopplade till en Arduino.
- Komplexa magnetfältsinteraktioner eller effekter av omgivande material beaktas inte.
- Endast stationära och långsamt varierande magnetfält behandlas; snabba variationer eller högfrekventa förändringar inkluderas inte.
- Elektromagnetisk störning, brusreducering eller kalibrering av sensorer ingår inte i projektets omfattning.
- Systemet är utvecklat för demonstrationssyfte och är inte avsett för industriell användning eller vetenskaplig precision.
- Endast tre sensorer används, vilket begränsar den spatiala upplösningen av magnetfältsvisualiseringen. Dock tillräcklig för att visualisera målet med projektet.
- Bluetooth-kommunikationen testas endast inom begränsade avstånd och miljöförhållanden.

2

Metod

Detta kapitel beskriver den metod som användes för att genomföra projektet, inklusive uppbyggnaden av testuppsättningen, insamlingen av data och visualiseringen av det roterande magnetfältet. Metoden utformades med målet att skapa en realtidsvisualisering av ett magnetfält genom användning av sensorer, mikrokontroller och mjukvara.

2.1 Förberedelse och uppbyggnad

Projektet inleddes med att bygga en testuppsättning där en asynkronmotor användes som bas för att generera ett roterande magnetfält. En permanentmagnet monterades inuti motorns rotor, som sedan roterades manuellt. Runt motorn placerades tre Hall-effektsensorer med 120 graders mellanrum för att kunna registrera magnetfältets styrka i olika riktningar.

Sensorerna kopplades till en Arduino Uno via analoga ingångar (A0, A1, A2), och all hårdvara monterades på ett kopplingsplatta för att möjliggöra enkel omkoppling och justering under utvecklingsfasen.

2.2 Datainsamling

Arduino Uno programmerades för att kontinuerligt läsa av signalerna från Hall-sensorerna med funktionen `analogRead()`. Dessa data formaterades som kommaseparerade värden (CSV) och skickades via en HM-10 Bluetooth-modul till en mottagande enhet.

För att säkerställa en stabil överföring i realtid valdes en baudrate på 9600 bps.

2.3 Dataöverföring och bearbetning

Mätdata togs emot trådlöst i en mobilapplikation utvecklad i Unity. Ett C#-skript hanterade Bluetooth-kommunikationen och bearbetade de inkommande datavärdena för att omvandla dem till användbar information för visualisering.

2.4 Visualisering

Den bearbetade datan användes för att generera en 3D-visualisering av magnetfältet i Unity. Scenen i Unity uppdaterades i realtid, och sensorerna visualiserades som färgade sfärer medan magnetfältets riktning illustrerades med en pil.

Visualiseringens syfte var att ge användaren en tydlig förståelse för hur magnetfältet roterar.

3

Teknisk Bakgrund

Detta kapitel beskriver den teoretiska bakgrunden som ligger till grund för projektet. Här förklaras relevanta begrepp, tidigare forskning samt den fysik och teknik som arbetet bygger på.

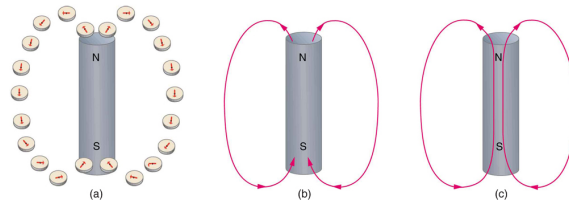
3.1 Magnetism

Magnetism är kraften av attraktion eller repulsion i och runt ett material. Det finns i alla material, men i vissa är det på så låga nivåer att det inte lätt kan upptäckas. Vissa material, såsom magnetit, järn, stål, nickel, kobolt och legeringar av sällsynta jordartsmetaller, uppvisar magnetism på nivåer som är lätt upptäckbara. Magnetism är en naturkraft som produceras av rörliga elektriska laddningar. Ibland sker dessa rörelser mikroskopiskt och inuti material som kallas magneter. Magneter, eller de magnetiskafälten som skapas av rörliga elektriska laddningar, kan attrahera eller repellera andra magneter och förändra rörelsen hos andra laddade partiklar. [1][2]

3.1.1 Magnetfält

Ett magnetfält är ett fält där en magnetisk kraft kan utövas. All materia består av atomer, och atomer består av protoner, neutroner och elektroner. En atoms kärna består av protoner och neutroner, och elektronerna är i ständig rörelse runt kärnan. Elektroner har en negativ elektrisk laddning och skapar ett magnetfält när de rör sig genom sin omgivning. Ett magnetfält skapas varje gång en elektrisk laddning är i rörelse. Eftersom att all materia är uppbyggt av atomer, kan vi då även påstå att all material har ett magnetfält.[1]

Ett magnetfält kan visualiseras genom magnetfältslinjer, som beskriver riktningen och styrkan hos det magnetiska fältet. Dessa linjer sträcker sig från magnetens nordpol till dess sydpol och visar i vilken riktning en liten magnet med en fri nordpol skulle röra sig om den placerades i fältet. Magnetfältslinjerna är alltid slutna kurvor, vilket innebär att de går från nordpolen till sydpolen utanför magneten och fortsätter tillbaka från sydpolen till nordpolen inuti magneten. Linjerna är tätare där fältet är starkare, och tunnare där fältet är svagare. Denna struktur förklarar hur magnetfältet verkar både inom och utanför en magnet.[3]



Figur 3.1: Magnetfältets inre riktning i en magnet [3]

3.1.2 Magnet

Magneter är mycket vanliga föremål på arbetsplatser och i hemmet. Användningen av magneter sträcker sig från att hålla bilder på kylskåpet till att skapa vridmoment i elektriska motorer. En magnet är vilket material som helst som har egenskapen att attrahera järn (eller stål). Magnetit, även känd som lodestone, är en naturligt förekommande sten som är en magnet. Denna naturliga magnet upptäcktes först i en region känd som Magnesia och fick sitt namn efter det område där den upptäcktes. Magnetism kan vara naturligt förekommande i ett material eller så kan materialet artificiellt magnetiseras genom olika metoder. Magneter kan vara permanenta eller temporära. Efter att ha blivit magnetiserad kommer en permanent magnet att behålla egenskaperna av magnetism på obestämd tid. En temporär magnet är en magnet gjord av mjukt järn, som vanligtvis är lätt att magnetisera; dock förlorar temporära magneter det mesta av sina magnetiska egenskaper när den magnetiserande orsaken upphör. Permanenta magneter är vanligtvis svårare att magnetisera, men de förblir magnetiserade. Material som kan magnetiseras kallas ferromagnetiska material. [1]

Alla magneter har två poler: en nordpol och en sydpol. En universell egenskap hos magneter är att lika poler repellerar varandra, medan olika poler attraherar varandra. Även jorden har sina egna poler, där nord- och sydpolen motsvarar varsin pol på en magnet. Det är värt att notera att jordens nordpol faktiskt fungerar som en sydpol i magnetisk mening. Detta innebär att kompassens nordpol, som är en magnet, attraheras av jordens geografiska nordpol, som i själva verket är dess magnetiska sydpol. Därför riktas kompassnålen alltid mot den. [3]

3.2 Elektromagnetism

Elektromagnetism är teorin som beskriver hur elektriska laddningar påverkar varandra genom elektriska och magnetiska fält. Detta område förenar tidigare separata områden inom fysiken – elektricitet, magnetism och optik – till ett enhetligt ramverk. Elektromagnetismen ligger till grund för en mängd fenomen, inklusive bildandet av elektromagnetiska vågor som till exempel ljus. Elektromagnetismens principer bygger på några grundläggande lagar, utvecklade av forskare som Michael Faraday, André-Marie Ampère och James Clerk Maxwell. Tillsammans sammanfattar dessa lagar hur elektriska och magnetiska fält uppstår och samverkar, både genom statiska och dynamiska förhållanden. [7]

3.2.1 Elektriska och magnetiska fält

Elektriska fält uppstår runt elektriska laddningar. De påverkar andra laddningar i närheten genom attraktion eller repulsion, beroende på om laddningarna är lika eller olika. Det vill säga positivt laddade eller negativt laddade. Coulombs lag beskriver styrkan på den kraft som laddningarna utövar på varandra.

Magnetiska fält, å andra sidan, uppstår runt rörliga laddningar eller elektriska strömmar. Precis som elektriska fält kan magnetiska fält påverka andra laddningar, men endast de som rör sig. Magnetfält kan representeras med magnetiska fältlinjer, som alltid bildar slutna slingor eftersom magnetiska monopoler (ensamma magnetiska poler) inte har observerats i naturen. Magnetiska fältlinjer börjar och slutar alltså inte på specifika punkter, utan återvänder istället till sig själva, vilket kan ses på exempelvis en stångmagnet där fältet går ut från nordpolen och åter in i sydpolen. Inuti magneten går den från sydpolen till nordpolen.[7]

3.2.2 Faradays lag

Faradays lag beskriver hur en förändring i ett magnetiskt fält kan inducera en elektrisk ström i en ledare, som exempelvis en slinga av koppartråd. När det magnetiska flödet genom en slinga förändras, exempelvis genom att en magnet rör sig i närheten av slingan, uppstår en elektromotorisk kraft (EMF) i ledaren. Detta innebär att en ström genereras utan direkt kontakt, en princip som används i tekniker som generatorer och induktionsspolar.

Den elektromotoriska kraften som genereras är proportionell mot hastigheten av förändringen i det magnetiska flödet. Ju snabbare förändringen sker, desto större är den inducerade strömmen. Detta är grunden för elektriska generatorer, där roterande magnetfält skapar elektricitet genom konstant variation i det magnetiska flödet.[7]

Faradays lag för elektromagnetisk induktion:

$$\mathcal{E} = -\frac{d\Phi_B}{dt} \quad (3.1)$$

där:

- \mathcal{E} är den inducerade elektromotoriska kraften (emk) i volt
- Φ_B är det magnetiska flödet genom en slinga (i Weber, Wb)
- $\frac{d\Phi_B}{dt}$ är förändringshastigheten av det magnetiska flödet

Lenz lag kompletterar Faradays lag genom att ange riktningen på den inducerade strömmen. Det negativa tecknet i formeln (se figur 3.2) visar just denna riktning. Enligt Lenz lag kommer den inducerade strömmen att flöda i en sådan riktning att dess magnetfält motverkar förändringen som orsakade den.

Det innebär att om en magnet förs mot en spole, kommer den inducerade strömmen i spolen att skapa ett magnetfält som stöter bortmagneteten. Om magneten däremot förs bort från spolen, kommer den inducerade strömmen att skapa ett magnetfält som drarmagneteten tillbaka. Lenz lag är ett uttryck för energiprincipen; strömmen som genereras av förändringen i magnetfältet försöker alltid motverka själva förändringen.[7]

3.2.3 Ampères lag

Ampères lag beskriver hur elektriska strömmar skapar magnetfält. Enligt lagen producerar en elektrisk ström som flyter genom en ledare ett magnetiskt fält runt ledaren. Denna magnetfältets styrka är proportionell mot storleken på strömmen.

För att visualisera Ampères lag kan man tänka sig en cirkulär bana runt ledaren. Ju större strömmen genom ledaren är, desto starkare är magnetfältet längs denna bana. Denna princip används för att skapa magnetfält i elektromagneter, där en spole med elektrisk ström producerar ett starkt magnetfält inuti spolen.[7]

Ampères lag:

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \mu_0 I_{\text{in}} \quad (3.2)$$

där:

- $\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l}$ är linjeintegralen av det magnetiska fältet \mathbf{B} längs en sluten bana
- μ_0 är den magnetiska konstanten (permeabiliteten i vakuum), $\mu_0 \approx 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$
- I_{in} är den totala elektriska strömmen som passerar genom ytan omsluten av slingan

3.3 Arduino

Arduino är en öppen hårdvaruplattform som har revolutionerat tillgången till elektronik och programmering för både amatörer och professionella. Plattformen möjliggör skapandet av interaktiva och automatiserade system genom att kombinera en mikrocontroller med en användarvänlig programvara och utvecklingsmiljö. Tack vare sin flexibilitet och användarvänlighet har Arduino blivit särskilt populärt inom utbildning, hobbyprojekt och prototyper i olika branscher.[5]

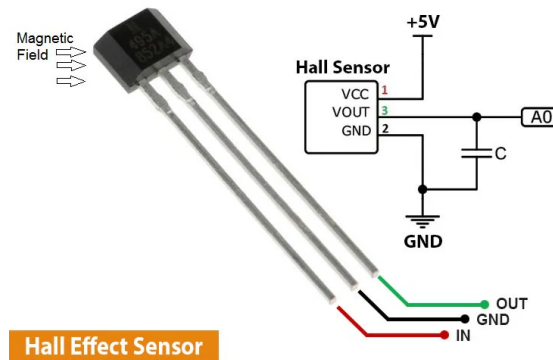


Figur 3.2: Bild på en Arduino Uno[17]

3.3.1 Hall-effektsensor

En Hall-effektsensor fungerar genom att mäta spänningsförändringar när den placeras i ett magnetfält. Sensorn använder en halvledare som passerar en elektrisk ström,

och när den kommer nära en magnet skapas en Hall-spänning som kan detektera objektets position. Styrkan i det magnetiska fältet bestämmer den genererade spänningen[6].



Figur 3.3: Bild på en halleffekt sensor[18]

3.3.2 Bluetoothmodul-HM10

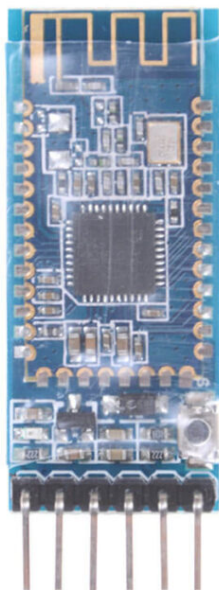
HM-10 är en Bluetooth Low Energy (BLE) modul som används för trådlös kommunikation, baserad på Bluetooth 4.0-teknologi. Den är designad för att koppla samman enheter som mikrokontroller, till exempel Arduino, med andra BLE-kompatibla enheter som smartphones, datorer eller surfplattor. HM-10-modulen erbjuder låg strömförbrukning, vilket gör den idealisk för batteridrivna applikationer.

Modulen använder UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter) för kommunikation och kan enkelt konfigureras via AT-kommandon för att ställa in parametrar som baudrate och enhetsroll (master eller slave). Den stöder en räckvidd på upp till 100 meter under optimala förhållanden.

Specifikationer:

- Spänningsintervall: 3.3V – 6V
- Kommunikationsgränssnitt: UART
- Protokoll: BLE (Bluetooth 4.0)
- Räckvidd: Upp till 100 meter beroende på miljö

Denna modul är särskilt användbar för trådlösa sensornätverk, IoT-enheter och andra applikationer där låg strömförbrukning och trådlös dataöverföring är viktiga.[11]



Figur 3.4: Bild på en HM-10[16]

3.4 Motor

En motor är en maskin som omvandlar elektrisk energi till mekanisk energi. Elektriska motorer är centrala i många applikationer, från små hushållsapparater till stora industrimaskiner, och fungerar genom att skapa ett magnetiskt fält som antingen drar eller skjuter en rotor i rörelse. Beroende på design och användning kan motorer ha olika antal poler, vara synkrona eller asynkrona, samt arbeta på olika principer för att generera mekanisk rörelse.

3.4.1 Tvåpolig motor

I projektet används en tvåpolig motor, vilket innebär att motorn har två poler: en nordpol och en sydpol. Detta ger en enkel och effektiv design, där det magnetiska fältet i statorn och rotern genererar en kraft som driver rotern i en cirkulär rörelse. En tvåpolig motor roterar snabbt eftersom den bara behöver genomgå en halv rotation för att återgå till sin ursprungliga orientering. Denna typ av motor är ofta snabbare än motorer med fler poler men kan ha lägre vridmoment.

3.4.2 Asynkron motor

En asynkron motor, också känd som en induktionsmotor, är en typ av motor där rotorns rotationshastighet är något lägre än statorns roterande magnetfält. Denna skillnad i hastighet kallas ”slip” och är nödvändig för att skapa det magnetiska

flödet som inducerar ström i rotorn och därmed skapar rörelse. Asynkrona motorer är kända för sin hållbarhet och låga underhållsbehov. De används ofta i industrier där hastighetsvariationer inte är kritiska, som i fläktar, pumpar och transportband.[8]

3.4.3 Synkron motor

En synkron motor skiljer sig från en asynkron motor genom att rotorn roterar i exakt samma hastighet som statorns magnetiska fält. Detta innebär att det inte finns någon slip, och motorens rotationshastighet är direkt proportionell till frekvensen hos den elektriska strömmen. Synkrona motorer används ofta i applikationer där exakt hastighet är viktig, såsom i klockor, robotik och vissa typer av industriella drivsystem. Synkrona motorer kan vara mer komplexa och kräver en externt magnetiserande ström, ofta genom en permanent magnet eller ett separat växelströmsfältssystem.[8]

3.4.4 Generator

En elektrisk generator omvandlar mekanisk energi till elektricitet för överföring och distribution till hushåll, företag och industri. Generatorerna som används för detta ändamål är vanligtvis trefasiga och producerar växelström med en fast frekvens, antingen 50 eller 60 Hz beroende på region. Mekanisk energi kan komma från vattenkraft, vindkraft, ångturbiner, gasturbiner eller förbränningsmotorer. Trefassystem är särskilt effektiva och ger stabil strömförsörjning i större elnät, vilket är varför de flesta elnät använder synkrogeneratorer.[9]

3.5 Unity

Unity är en kraftfull spelmotor och utvecklingsmiljö som används för att skapa interaktiva applikationer, spel och simuleringar. Den stödjer både 2D- och 3D-grafik och används inom en rad olika områden, såsom spelutveckling, utbildning, arkitektur, simulering och visualisering av tekniska processer. Unity utvecklades av Unity Technologies och är ett av de mest använda verktygen inom sitt område tack vare sin flexibilitet, användarvänlighet och breda plattformstöd.[14]

Unity bygger på ett komponentbaserat system där objekt i en scen kan tilldelas olika egenskaper genom så kallade komponenter. Funktionalitet i Unity skapas ofta med hjälp av programmering i C#, där användaren kan skriva egna skript för att styra hur objekt beter sig, reagerar på input eller kommunicerar med andra system.[14]

3.6 Gauss

Gauss (G) är en enhet för magnetfältstyrka inom det CGS-systemet (centimeter-gram-sekund-systemet). Namnet Gauss hedrar den tyske matematikern och fysikern Carl Friedrich Gauss, som gjorde viktiga bidrag till förståelsen av magnetism och elektrostatik. Gauss används primärt för att beskriva magnetfältets intensitet eller styrka i mindre områden, där fältet är relativt svagt.

1 Gauss (G) definieras som den magnetiska flödesdensitet som behövs för att generera ett fält på en enhet av 1 cm^2 med ett flöde på 1 maxwell (Mx) per kvadracentimeter. I mer praktiska termer används Gauss när man mäter magnetfältets styrka i mindre, kontrollerade miljöer där fältet inte är extremt starkt.[13]

3.7 Tesla

Tesla (T) är en enhet som används för att mäta magnetisk fluxdensitet eller magnetfältets styrka inom det SI-systemet (internationella enhetssystemet). Tesla är en mycket större enhet än Gauss och används för att mäta starkare magnetfält, till exempel i industriella tillämpningar, medicinsk utrustning som MRI-maskiner, och inom forskning.

En Tesla definieras som den magnetiska fluxdensitet som skapar en kraft på 1 Newton per Ampere-meter ($\text{N/A} \cdot \text{m}$) på en ledare som är i en vinkelrätt position mot fältet och bär en elektrisk ström av 1 Ampere. Tesla är den föredragna enheten för att mäta starkare magnetfält i den moderna fysiken.[12]

1 Tesla = 10 000 Gauss

3.8 Plotly

Plotly är ett kraftfullt bibliotek för datavisualisering som används för att skapa interaktiva och högkvalitativa grafer. Plotly stöder en mängd olika diagramtyper, inklusive 2D- och 3D-grafer, vilket gör det särskilt användbart för att visualisera komplexa dataset.

En av Plotlys största fördelar är dess förmåga att generera interaktiva grafer direkt i webbläsaren. Detta möjliggör bland annat zoomning, panorering och hovring över datapunkter för att visa mer information. Plotly används ofta tillsammans med Python och kan integreras med andra bibliotek för att hantera och analysera data.[15]

3.8.1 Dash

Dash är ett Python-baserat ramverk för att bygga interaktiva webbappar direkt i webbläsaren. Det är byggt ovanpå Plotly, vilket innebär att du enkelt kan skapa snygga och informativa grafer med Plotlys kraftfulla visualiseringsverktyg – men utan att behöva skriva HTML, CSS eller JavaScript själv.

Dash används ofta för att presentera data på ett interaktivt sätt i så kallade dashboards. Det passar bra för analytiska verktyg där användaren vill kunna filtrera, välja och utforska information visuellt. Eftersom allt körs i en webbläsare blir det lätt att dela och använda apparna, både lokalt och via nätverk.[15]

4

Systemkonstruktion

I detta kapitel beskrivs den tekniska uppbyggnaden av systemet som användes för att mäta och visualisera ett roterande magnetfält. Systemet består av fyra delar: sensorer, mikrokontroller, kommunikationsgränssnitt samt en visualiseringsapplikation.

4.1 Sensorkonfiguration

Tre Hall-effektsensorer valdes för att detektera förändringar i magnetfältets styrka i olika riktningar. De placerades jämnt runt motorns rotationsaxel med 120 graders mellanrum. Varje sensor kopplades till Arduinos analoga ingångar (A0, A1, A2) och matades med spänning och jord via en gemensam kopplingsplatta.

4.2 Mikrokontroller och signalbehandling

Arduino Uno agerade som systemets mikrokontroller och centralenhet för insamling och förbehandling av sensordata. Den var programmerad att läsa av analoga värden från sensorerna och omvandla dessa till digitala flyttal. Dessa formatterades som CSV-strängar och skickades ut via en Bluetooth-modul (HM-10) med en överföringshastighet på 9600 bps.

4.3 Kommunikationsgränssnitt

Bluetooth-modulen möjliggjorde trådlös kommunikation mellan Arduino och en mottagande enhet, i detta fall en Unity-applikation. Ett C#-skript ansvarade för att upprätta anslutningen, ta emot data och tolka dessa i realtid för vidare användning i visualiseringen.

4.4 Visualiseringsapplikation

En applikation utvecklades i spelmotorn Unity för att visualisera magnetfältets styrka och riktning. Visualiseringen inkluderade:

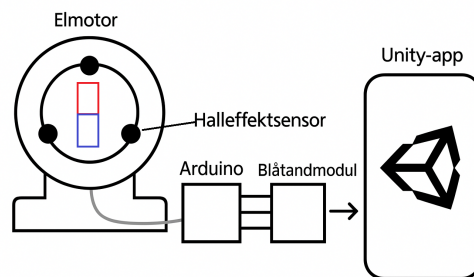
- Färgkodade sfärer som representerade sensorerna och vars färg ändrades beroende på mätvärden.
- En riktningspil som illustrerade den totala magnetfältvektorn.

- Textfält som visade aktuella mätvärden för varje sensor.
- En interaktiv kameras om möjliggjorde zoom och rotation.

4.5 Användargränssnitt

Användargränssnittet implementerades med Unitys Canvas-system och inkluderade:

- En knapp för att växla mellan Tesla och Gauss som enhetsvisning.
- Realtidsuppdaterade mätvärden från sensorerna.



Figur 4.1: Schematisk bild av systemets uppkoppling och kommunikation

5

Genomförande

Detta kapitel beskriver hur projektet genomfördes i praktiken. Här redogörs för de steg som togs från planering till färdig produkt, inklusive val av metoder, verktyg och tillvägagångssätt.

Projektets genomförande följde den systemkonstruktion som tidigare definierats. Arbetet delades upp i flera faser: uppbyggnad av hårdvaran, programmering av mikrokontroller (Arduino), utveckling av kommunikationssystemet, samt konstruktion av en applikation i Unity för visualisering av de insamlade sensordata.

5.1 Hårdvaruuppsättning

För att kunna mäta ett roterande magnetfält användes en Arduino Uno och tre Hall-effektsensorer. Sensorerna placerades runt en roterande motor, jämnt fördelade i 120 graders intervall, för att täcka in fältets förändring i olika riktningar. Varje sensor löddes fast till en kabel för att förlängas. därefter anslöts de till en av Arduinos analoga ingångar (A0, A1, A2) och en kopplingsplatta. Spänningsmatningen och jord kopplades gemensamt mellan sensorerna och Arduino. Bluetooth modulen placerades även på kopplingsplattan och anslöts till arduino Uno.

En permanentmagnet placerades i motorns rotor, och magnetfältet varierades genom manuell rotation av motorn under mätningen. Denna konstruktion möjliggjorde en realistisk simulering av ett roterande magnetfält.

5.2 Programmering av arduino

Arduino programmerades med en kod som kontinuerligt läste de tre sensorerna med funktionen `analogRead()` och konverterade råvärdena till flyttal. Värdena skickades i ett komma-separerat format (CSV) och skickades via en HM-10-Bluetooth-modul ansluten till Arduinos seriella port.

Kodens baudrate sattes till 9600 bps för att säkerställa stabil överföring till den enhet som tog emot datan.

5.3 Bluetoothkommunikation

En Bluetooth-modul integrerades med Arduino, vilket gjorde det möjligt att trådlöst skicka mätdata till en mobil enhet eller dator. I Unity användes ett C#-skript

(BluetoothManager) för att ansluta till rätt Bluetooth-enhet och ta emot inkommande data från Arduino. Mottagna data tolkades i realtid och skickades vidare för att visualiseras.

5.4 Visualisering i Unity

För att göra de insamlade sensorvärdena mer tydliga utvecklades en tredimensionell visualisering i spelmotorn Unity. Visualiseringen byggdes upp runt tre sfäriska objekt, där varje sfär representerade en av Hall-effektsensorerna. Dessa objekt placerades i en cirkelformation med jämna 120 graders mellanrum runt en gemensam mittpunkt, vilket motsvarade placeringen av sensorerna i det fysiska systemet.

I centrum av cirkeln placerades en 3D-pil som visuellt skulle indikera riktningen och styrkan på det magnetiska fältet. Pilen justerades dynamiskt baserat på inkommande data från sensorerna. Riktningen beräknades genom att först bestämma enhetsvektorer från centrum till varje sensor, vilka sedan viktades med respektive sensorvärde. Resultatet blev en sammansatt vektor som visade det totala magnetfältets riktning. Denna vektor användes för att rotera pilen i rätt riktning, och dess längd anpassades proportionellt efter fältets styrka.

Applikationen innehöll även följande funktioner:

- **Numerisk visning av sensordata:** Värdena från de tre sensorerna visades i var sitt textfält. Användaren kunde växla mellan att visa enheterna i Tesla eller Gauss genom att klicka på en knapp.
- **Färgvisualisering:** Varje sensor visades med en sfär vars färg gradvis ändrades mellan blått (negativt värde), vitt (neutral) och rött (positivt värde), vilket gav en snabb visuell indikation av fältstyrkan.
- **Kamerakontroll:** För att förbättra användarupplevelsen implementerades en interaktiv kamera med stöd för både rotation och zoom via touch. Detta gjorde det möjligt att se magnetfältet från olika vinklar.

5.5 Testning och verifiering

Innan hela systemet integrerades testades Arduino och Hall-effektsensorerna separat för att säkerställa att de levererade korrekta mätvärden. Varje sensor verifierades genom att läsa av värden lokalt via datorns seriella monitor, vilket gav en första indikation på att sensorerna fungerade som de skulle.

Därefter testades Bluetooth-kommunikationen genom att ansluta till modulen med hjälp av en mobilapplikation för Bluetooth-terminaler. På så sätt kunde det bekräftas att sensordata skickades korrekt och i rätt format. Både anslutningens stabilitet och datans kontinuitet observerades.

Slutligen testades hela systemet. Den roterande magneten sattes i rörelse manuellt, och den resulterande förändringen i magnetfältet följdes genom både sensordata och visualiseringen i Unity-applikationen. Detta test visade att systemet fungerade som tänkt. Från datainsamling till trådlös överföring och visuell tolkning i realtid.

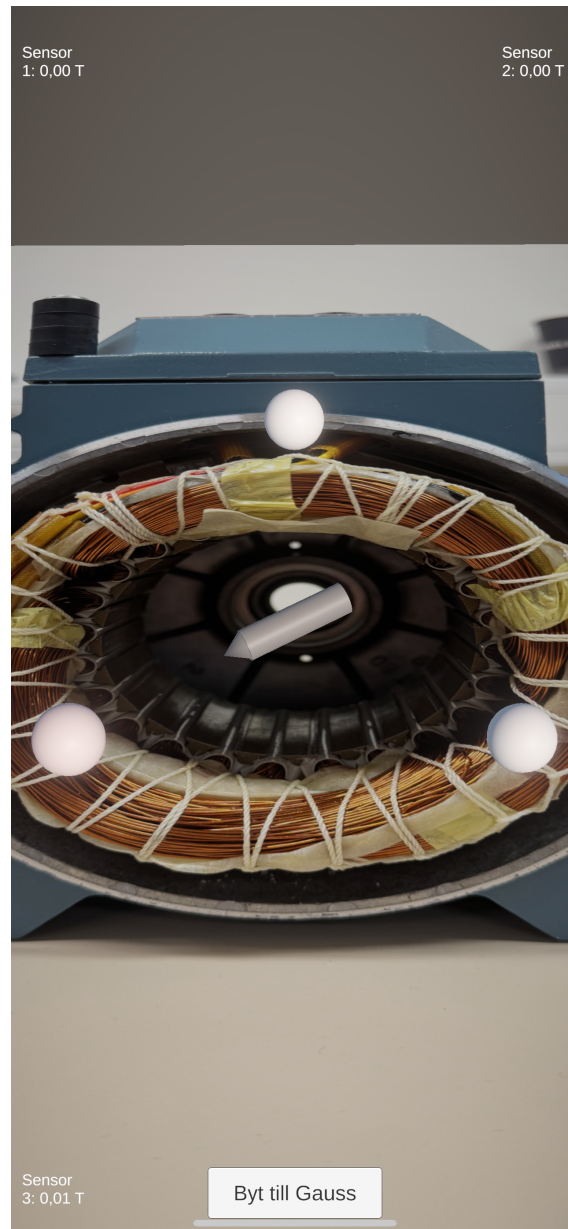
6

Resultat och diskussion

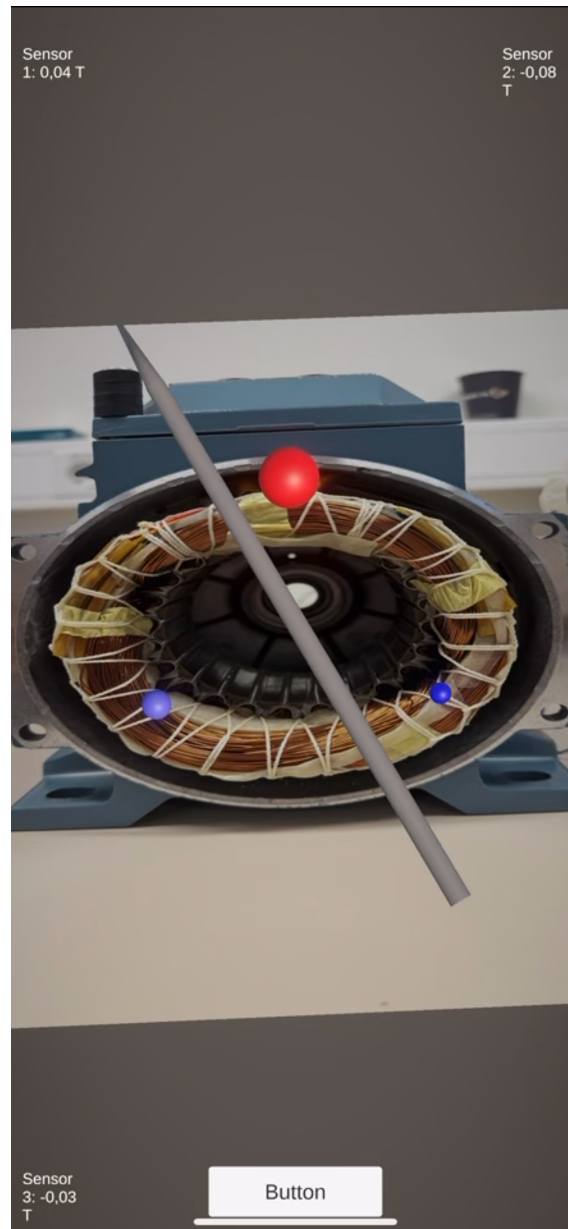
I detta kapitel presenteras de resultat som uppnåddes efter att hela systemet färdigställdes. Mätningar och tester utfördes med syfte att undersöka om sensorerna korrekt kunde mäta förändringar i magnetfält och om dessa kunde visualiseras tydligt i Unity-applikationen. Resultaten diskuteras också i relation till projektets mål och metodval.

6.1 Visualisering av sensorvärden

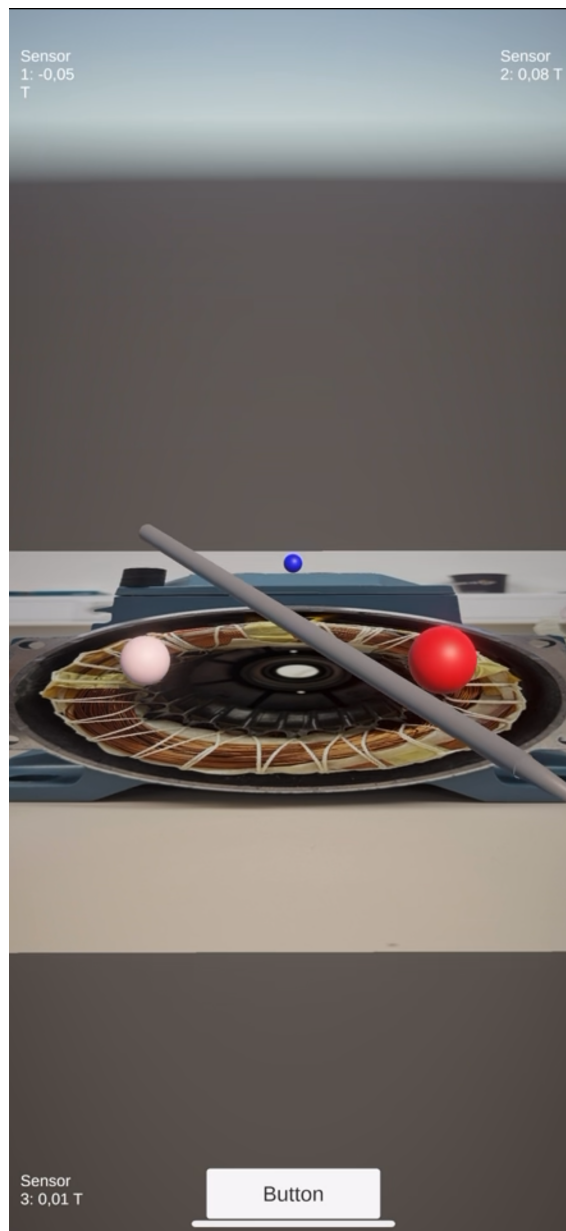
När systemet var i drift visades de tre Hall-effektsensorernas mätvärden direkt i mobilapplikationen. Varje sensorvärde visades i ett textfält på skärmen, med möjlighet att växla mellan enheterna Tesla och Gauss via en knapp. Värdena uppdaterades kontinuerligt och ändrades i takt med magnetens rörelse, vilket tydligt visade skillnaden mellan nord- och sydpol.



Figur 6.1: Visualisering i mobilapplikationen



Figur 6.2: Visualisering i mobilapplikationen



Figur 6.3: Visualisering i mobilapplikationen

6.2 3D-visualisering av magnetfältet

En 3D-pil i applikationen visade magnetfältets totala riktning genom att vikta sensorvärdena med deras respektive positioner. Pilen ändrade både riktning och längd beroende på magnetfältets styrka och riktning, och pekade i praktiken mot magnetens nordpol. Detta gav en tydlig visualisering. Varje sensor representerades dessutom av en färgad sfär vars färg varierade från blå (svagt negativt fält) till röd (starkt positivt fält), vilket ytterligare förstärkte den visuella återkopplingen.

6.3 Bluetooth-kommunikation i realtid

Bluetooth-kommunikationen mellan Arduino och applikationen fungerade stabilt inom en räckvidd av cirka 5–10 meter. Systemet kunde kontinuerligt ta emot data utan märkbara störningar eller fördröjningar, vilket är viktigt för användarupplevelsen.

6.4 Diskussion

Resultatet visar att det utvecklade systemet på ett tydligt och användarvänligt sätt kunde visualisera förändringar i ett magnetfält. Den tredimensionella visualiseringen med sfärer och en riktningsspil gav en bättre förståelse för fältets riktning och styrka. De numeriska värdena från varje sensor kompletterade visualiseringen och möjliggjorde även en mer exakt tolkning av mätningarna. Systemet reagerade tydligt på förändringar i magnetens läge. Både färgändringen i sfärerna och pilens rörelse stämde bra med vad man kunde förvänta sig. Det visar att kopplingen mellan sensorerna, Arduino, Bluetooth och Unity-appen fungerade som den skulle, även om vissa begränsningar och möjliga förbättringar upptäcktes.

I början av projektet användes Plotly och Dash för att skapa en webbapplikation som skulle visualisera magnetfältets förändringar i realtid. Visualiseringen byggdes i Python, där inkommande sensordata från Arduino lästes in via seriell kommunikation över USB till datorn. Där webbsidan uppdaterades var 100 millisekund, men systemet upplevdes som laggigt och fördröjt. Plotly och Dash visade sig vara mer anpassad för visualisering av historiska dataset än för snabb realtidsuppdatering. Den seriella kommunikationen var dessutom begränsande då den krävde kabelanslutning. På grund av dessa begränsningar valde vi att istället gå vidare med Unity och att skapa en mobilapplikation. Eftersom vi använde iPhone valde vi Bluetooth-modulen HM-10, som är kompatibel med IOS. Bluetooth blev ett naturligt val eftersom vi utvecklade en app, och med denna lösning kunde data skickas trådlöst och stabilt till mobilen. Det gjorde systemet mer responsivt och förbättrade användarupplevelsen. När det gäller sensorerna uppstod en viss utmaning i att de inte alltid returnerade exakt 512 som nollvärde när inget magnetfält detekterades. Detta berodde på små avvikelser i komponenternas spänningsnivåer. För vissa sensorer låg nollvärdet istället och varierade mellan exempelvis 508 - 516. Denna variation kunde påverka noggrannheten i mätningen, särskilt vid svaga magnetfält.

Trots dessa begränsningar visade systemet en god förmåga att visualisera magnetfältets förändringar på ett tydligt sätt. Kombinationen av färgade sfärer och en riktningsspil i 3D gav användaren en tydlig bild av fältets riktning och styrka. Unitys flexibilitet som utvecklingsplattform gjorde det även möjligt att snabbt skapa ett interaktivt gränssnitt med stöd för zoom och rotation.

6.5 Förbättringar

Det fanns flera saker i projektet som kunde ha gjorts bättre. En av de första var valet att använda Plotly och Dash för visualisering i början. Vi lade ner mycket tid på att bygga en webbsida som visade sensordata, men upptäckte senare att det

inte fungerade bra för realtidsuppdatering. Det blev för segt och fördröjt, eftersom Plotly främst är gjort för att visa historiska data, inte snabb datavisning. Vi kunde ha undersökt det bättre från början och kanske sparat tid genom att välja ett annat verktyg direkt.

När vi bytte till Unity för att skapa en mobilapp, stötte vi på ett nytt problem: vi hade först bara en HC-05 Bluetooth-modul, som inte fungerar med iPhone. Eftersom vi använde iPhone i projektet behövde vi skaffa en HM-10-modul istället. Det här är något vi också kunde ha planerat bättre från början.

En annan sak var att Hall-effektsensorerna inte alltid visade ett stabilt mittvärde (t.ex. 512) när inget magnetfält fanns. Det gjorde det svårare att avgöra vad som var ett riktigt mätvärde.

7

Slutsats

Detta kapitel sammanfattar projektets resultat och drar slutsatser utifrån det arbete som genomförts. Här diskuteras hur väl målen uppnåddes, vilka erfarenheter som dragits samt möjliga vägar för fortsatt utveckling.

7.1 Begränsningar

En av de främsta begränsningarna i projektet var att magnetfältet genererades manuellt genom att rotera en motor med en permanentmagnet för hand. Detta medförde svårigheter att uppnå jämn rotation, vilket i sin tur påverkade tillförlitligheten i mätdata och visualisering. Eftersom sensorernas mätvärden kan ha mindre avvikelser från varandra påverkas noggrannheten i den beräknade riktningen och styrkan på det visualiserade magnetfältet. Även om visualiseringen sker i realtid finns det en viss fördröjning från att data samlas in tills den visas i Unity, vilket bör beaktas vid användning för snabba eller dynamiska fältförändringar.

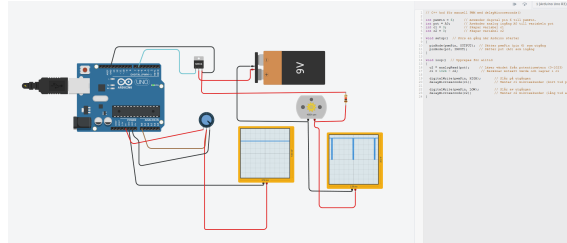
En annan begränsning var antalet sensorer – tre Hall-effektsensorer ger endast en begränsad uppfattning om det tredimensionella magnetfältet. Detta påverkar både noggrannheten i fältberäkningen och precisionen i den riktning som visualiseras. Slutligen hade Plotly, som först testades för datavisualisering, vissa prestandaproblem vid realtidsuppdateringar, vilket gjorde det mindre lämpligt för detta syfte.

7.2 Fortsatt arbete

Ett naturligt nästa steg i projektet vore att automatisera rotationen av magnetfältet genom att låta motorn styras elektroniskt i stället för att roteras manuellt. I det här projektet vrider magneten för hand, men i en mer avancerad version skulle motorn kunna kontrolleras direkt från appen – till exempel med funktioner för att starta, stoppa eller justera rotationshastigheten. Detta skulle skapa ett mer komplett och användarvänligt system.

Ett exempel gjordes i Tinkercad där det visar hur man kan styra hastigheten på en DC-motor med hjälp av en Arduino och en potentiometer genom så kallad PWM-styrning (Pulse Width Modulation). Potentiometern fungerar som en manuell hastighetskontroll – när du vrider på den förändras det analoga värdet som Arduino läser in. Detta värde omvandlas till en PWM-signal, vilket innebär att Arduino snabbt slår på och av strömmen till motorn i olika proportioner. Genom att justera denna signal kan man påverka hur snabbt motorn snurrar, utan att ändra spänningen direkt. En motorstyrkrets (L293D) används för att ge tillräcklig ström till

motorn, samtidigt som den skyddar Arduino. Genom att koppla in en multimeter i projektet kan man även mäta den genomsnittliga spänningen över motorn och se hur den varierar beroende på potentiometerns läge.



Figur 7.1: TinkerCad motorstyrning med PWM signal

Vidare förbättringar inkluderar att öka antalet sensorer för att få en mer detaljerad bild av magnetfältets struktur. Applikationen i Unity kan också utvecklas med fler funktioner, som möjligheten att spara mätdata, visa grafer över tid eller implementera olika visualiseringslägen. En annan viktig aspekt är att förbättra kalibreringsmetoderna och se över stabilare kommunikationslösningar som alternativ till Bluetooth.

7.3 Slutsats

Projektets mål var att visualisera ett roterande magnetfält med hjälp av Hall-effektsensorer, Arduino och Unity, och detta uppnåddes med gott resultat. Genom att kombinera hårdvara och mjukvara skapades ett interaktivt system där magnetfältets styrka och riktning kunde visas i 3D i nära realtid.

Valet att överge den webbaserade visualiseringen via Plotly till förmån för Unity visade sig avgörande, då Unity erbjöd bättre prestanda och flexibilitet för 3D-visualisering.

Sammantaget gav projektet värdefulla insikter i hur mätdata från sensorer kan integreras i digitala miljöer och visualiseras på ett användarvänligt sätt. Resultatet blev en fungerande applikation som inte bara uppfyllde målen utan också skapade en god grund för vidare utveckling inom området.

Litteraturförteckning

- [1] NDE Education, "Physics: Magnetism," NDE Education. [Online]. Tillgänglig: <https://www.nde-ed.org/Physics/Magnetism/index.xhtml>
- [2] J. Lucas och P. Sutter, "What is magnetism? Facts about magnetic fields and magnetic force," Live Science. [Online]. Tillgänglig: <https://www.livescience.com/38059-magnetism.html#section-how-magnetism-works>
- [3] Lumen Learning, "SUNY physics," Lumen Learning. [Online]. Tillgänglig: <https://courses.lumenlearning.com/suny-physics/chapter/22-3-magnetic-fields-and-magnetic-field-lines/>
- [4] A. Roguin, "Nikola Tesla: The man behind the magnetic field unit," *Wiley Online Library*. [Online]. Tillgänglig: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jmri.20002>
- [5] Arduino, "What is Arduino?," Arduino. [Online]. Tillgänglig: <https://www.arduino.cc/en/Guide/>
- [6] RS, "Everything You Need To Know About Hall Effect Sensors," RS-Online. [Online]. Tillgänglig: <https://se.rs-online.com/web/generalDisplay.html?id=ideas-and-advice/hall-effect-sensors-guide>
- [7] Huber och Stephen, "Electromagnetism," *Salem Press Encyclopedia of Science*, 2022. [Online]. Tillgänglig: <https://research.ebsco.com/c/lu54te/viewer/html/mugokw7jmr?auth-callid=cde46f0d-3fc8-4906-98f3-5826cd9c24c4>
- [8] Circuit Globe, "Difference Between Synchronous and Asynchronous Motor," Circuit Globe. [Online]. Tillgänglig: <https://circuitglobe.com/difference-between-synchronous-and-asynchronous-motor.html>
- [9] G. R. Slemon, "Electric generator," *Britannica*, 2024. [Online]. Tillgänglig: <https://www.britannica.com/technology/electric-generator/Permanent-magnet-generators>

- [10] Britannica, “Electromotive force,” *Britannica*, 2024. [Online]. Tillgänglig: <https://www.britannica.com/science/electromotive-force>

- [11] Arduino Store, “Bluetooth Low Energy 4.0 module HM-10,” [Online]. Tillgänglig: <https://store.arduino.cc/products/bluetooth-low-energy-4-0-module-hm-10?srs1tid=AfmBOop5eb3cATExFq4GNQ-OL5t1s1UX5HDzAPEafUGMEhjUAjZFRtrL>

- [12] Britannica, “Tesla” *Britannica*, 2025. [Online]. Tillgänglig: <https://www.britannica.com/science/tesla>

- [13] “Gauss(unit)” *Britannica*, 2025. [Online]. Tillgänglig: <https://www.britannica.com/science/gauss>

- [14] “What is Unity” *Coursera*, 2024. [Online]. Tillgänglig: <https://www.coursera.org/articles/what-is-unity>

- [15] Plotly, 2025. [Online]. Tillgänglig: <https://en.wikipedia.org/wiki/Plotly>

- [16] HM-10 bild tagen från COMPONENTS101,. [Online]. Tillgänglig: <https://components101.com/wireless/hm-10-bluetooth-module>

- [17] Arduino Uno bild tagen från Arduino store,. [Online]. Tillgänglig: https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=EU-Pmax&gad_source=1&gad_campaignid=22591753150&gbraid=0AAAAACbEa85eF9UTVidInw1VwjMNeQnkN&gclid=EAIaIQobChMI4rHk1PH4jQMVb1GRBR1ewxxEEAQYASABEGInTfD_BwE

- [18] hallsensor bild tagen från QUARTZCOMPONENTS,. [Online]. Tillgänglig: <https://quartzcomponents.com/blogs/electronics-projects/simple-diy-magnetic-pole-detector-using-hall-effect-sensor>

INSTITUTIONEN FÖR ELEKTROTEKNIK OCH DATATEKNIK

CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Gothenburg, Sweden

www.chalmers.se



CHALMERS
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY