

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Примењена механика и аутоматско управљање

Предмет: Основе аутоматског управљања

Број индекса: 227/2012

Александра М. Вељовић

**Аутоматско одређивање интензитета магнетског
поља у циљу детекције помераја
завршни рад**

Комисија за преглед и одбрану:

1. Др Александар Пеулић - ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да се упозна са феноменом магнетског поља. Циљ завршног рада је да се мерењем интензитета магнетског поља у све три осе стекне представа како се простире магнетско поље у реалној средини и могућност коришћења интензитета магнетског поља у циљу детекције растојања од извора поља. За реализацију задатка овог завршног рада, користиће се мерни претварач интензитета магнетског поља у напон, извршити аналого-дигиталну конверзију мерених вредности, конверзију вредности интензитета поља у растојање на основу експерименталних резултата. У те сврхе кандидат ће се упознати са принципима АД конверзије, пројектовању аквизиционе плочице базиране на микроконтролеру фамилије Microchip, као и пројектовању апликације која комуницира са аквизиционом картицом, приказује и архивира податке. За пројектовање апликације за рачунар, користиће се Microsoft C# Express Edition, а за програмирање микроконтролера Microchip MPLABX.

Препоручена литература:

- [1] Александар Пеулић, Жарко Чучеј, „Даљинско управљање и комуникације“, Крагујевац-Марибор, 2011
- [2] Војо Милановић, „Програмирање интрфејса у C#“, Инфоелектроника, 2011
- [3] Јасна Радуловић, „Електротехника са електроником“, Машински факултет у Крагујевцу, Крагујевац, 2011

Крагујевац, датум

ментор:

Име, презиме и звање ментора

Резиме

Циљ овог завршног рада је аутоматска детекција магнетског поља и његова зависност од растојања. У ту сврху коришћен је магнетски сензор као мерни претварач интензитета магнетског поља у еквивалентни аналогни напонски сигнал. На почетку је дат преглед карактеристика магнетског поља сталних магнета, затим особине и принцип рада магнетског сензора и система за аквизицију. На крају је описан поступак практичног рада и дата је дискусија резултата.

Кључне речи: **аутоматска детекција, магнетско поље, растојање**

Abstract

The object of this study is automatic detection of magnetic field, and its changes depend on distance. Magnetic sensor is used for this purpose, like transducer of magnetic field into equivalent analog voltage output. In the first chapters characteristics of magnetic field, working principle of sensor and acquisition system are given. At the end, procedure of practice work and results are described.

Key words: **automatic detection, magnetic field, distance**

Садржај

1. Увод	1
2. Магнетско поље у магнетостатици	2
3. Мерење јачина и смера магнетског поља.....	5
3.1. Принцип рада магнетског сензора.....	5
3.2. Карактеристике сензора Ametes MFS-3A	7
4. Мерно-аквизициони систем.....	8
4.1. Хардвер	8
4.2. Софтвер	10
5. Реализација и резултати.....	12
5.1. Аутоматска детекција магнетског поља	12
5.2. Одређивање помераја магнета у магнетском пољу	14
6. Закључак.....	23
7. Литература.....	24

1. Увод

У овом раду биће објашњено управљање прикупљеним подацима са магнетског сензора Ametes MFS-3A. Пре свега биће објашњен рад сензора и његово повезивање са рачунаром, практично одређивање јачине магнетског поља. У раду је коришћена апликација за кориснике у програмском језику C#, која се користи за нумеричко и графичко приказивање података на екрану, као и чување измерених вредности. Задатак овог рада је аутоматско одређивање помераја магнета у магнетском пољу мерењем интензитета у све три осе и превођењем у растојање, што за циљ има да се стекне увид у интензитет поља, а самим тим и растојања од извора, у нашем случају сталног магнета, тако да потенцијани корисник веома брзо стиче увид да ли је прекорачен дефинисани праг јачине магнетског поља, и на ком се растојању од извора магнетског поља налази у датом тренутку, што може наћи своју примену у различитим индустријским аутоматизованим процесима.

2. Магнетско поље у магнетостатици

Магнетско поље је физичко поље које се налази око природних и вештачких магнета. Као што је познато, магнетско поље постоји и око наелектрисаних честица које се крећу, па се постојање магнетског поља око магнета, са становишта квантне механике, може објаснити кретањем електрона у атомима. Магнетско поље је векторско поље и свака тачка у њему може да се опише вектором магнетског поља.

За описивање магнетског поља сталних магнета, уведене су величине аналогне величинама у електростатици. Тако је претпостављено да се у магнетским половима (N-северни и S-јужни) налазе фиктивне магнетске масе истих количина а супротних знакова.

Сила између магнетских полова, аналогно Кулоновом закону електростатике, сразмерна је магнетским масама полова а обрнуто сразмерна квадрату њиховог растојања.

$$\mathbf{F} = k \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

Где је $k = \frac{1}{4\pi\mu_0}$ - константа пропорционалности а μ_0 - магнетска пропустљивост вакуума

У случају супстанцијалне средине константа k је једнака $k = \frac{1}{4\pi\mu_0\mu_r}$, где је μ_r - релативна магнетска пропустљивост дате средине.

$$\mathbf{F} = \frac{1}{4\pi\mu_0} \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

Јачина магнетског поља (H) је сила којом поље делује на јединичну пробну магнетску масу која је увек позитивна. Сразмерна је магнетској сили, односно маси тела које изазива магнетско поље.[1]

$$\mathbf{H} = \frac{\mathbf{F}}{m_p} = \frac{1}{4\pi\mu_0} \frac{m}{r^2}$$

m_p - маса јединичног пробног магнета

m - магнетска маса која је извор магнетског поља

r - растојање од тачке у којој се посматра магнетско поље до масе која изазива магнетско поље

Магнетска индукција је појава при којој се неко тело намагнетише у присуству неког спољашњег магнетског поља. Магнетска индукција је сразмерна јачини магнетског поља, а коефицијент сразмерности је μ_0 . [2]

$$\mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{H}$$

Овако дефинисане величине за магнетску индукцију и јачину магнетског поља су аналогне датим величинама у електростатици. Експериментално је утврђено да је према својој физичкој природи јачина магнетског поља $\mathbf{H}$ аналогна електричној индукцији, а магнетска индукција $\mathbf{B}$ је аналогна јачини електричног поља. Због тога је уведена нова фиктивна величина да би математички изрази били у складу са физичким значењем. Та величина је количина магнетизма (намагнетисања) q_m која је сразмерна маси која изазива магнетско поље, а обрнуто сразмерна магнетској пропустљивости вакуума.

$$q_m = \frac{m}{\mu_0}$$

Увођењем ове величине у претходне изразе добијају се нови облици израза за силу, јачину магнетског поља и магнетску индукцију:

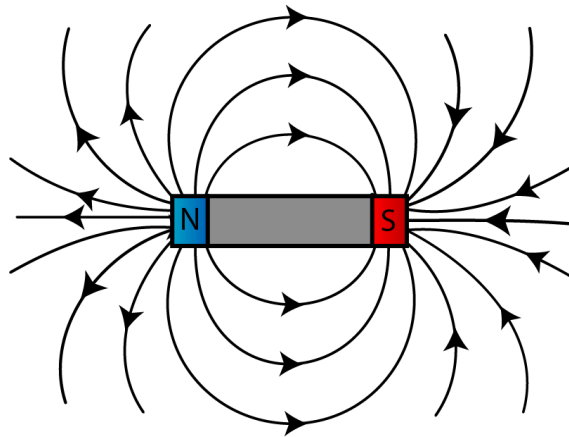
$$\mathbf{F} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{q_{m1} \cdot q_{m2}}{r^2}$$

q_{m1}, q_{m2} - количине наелектрисања у половима

$$\mathbf{H} = \frac{1}{4\pi} \frac{q_m}{r^2}$$

$$\mathbf{B} = \frac{\mathbf{F}}{q_m}$$

Графички се магнетско поље представља линијама сила магнетског поља. Ове линије су затворене и имају такав смер да извиру из северног и увиру у јужни магнетски пол (Слика 1). Вектор магнетске индукције је тангенцијалан на линије сила а смер је у смеру линија сила (од северног ка јужном полу), и њиме се карактеришу особине магнетског поља. [1]



Слика 1. Линије сила магнетског поља

У зависности од понашања материјала у присуству страног (спољашњег) магнетског поља, материјале делимо на:

1. Дијамагнетике
2. Парамагнетике
3. Феромагнетике

Дијамагнетици

Дијамагнетици су материјали који се одликују попуњеношћу орбитала електронима, па се магнетски моменти компензују па атоми немају магнетски момент. Када се овај материјал нађе у магнетском пољу, у њему се индукује унутрашње магнетско поље у смеру супротном од спољашњег, јер тежи да му се супротстави, и на тај начин га делимично компензује. Ово је једини ефекат који постоји код дијамагнетика па се након уклањања магнетског поља дијамагнетици враћају у првобитно стање. Неки дијамагнетици су сребро, злато, бакар, графит, жива, силицијум.

Парамагнетици

За разлику од дијамагнетика, парамагнетици немају попуњене орбитале па је њихов укупни магнетски момент електрона различит од нуле и када нема спољашњег магнетског поља. Ова појава се у нормаланом стању материјала не испољава, јер је оријентација магнетских момената хаотична. Увођењем парамагнетика у спољашње магнетско поље, у њему се индукује унутрашње поље супротног смера од спољашњег, али се јавља и додатни ефекат због постојања сталног магнетског момента електрона, који се оријентишу у правцу и смеру спољашњег поља и заједно са индукованим магнетским пољем дају резултујуће магнетско поље. Резултујуће поље је у истом правцу и смеру као спољашње тако да оно појачава спољашње магнетско поље. Неки парамагнетици су сумпор, калијум, натријум, алуминијум.

Феромагнетици

Феромагнетици поседују сопствени магнетски момент електрона. Код ових материјала магнетски моменти електрона не могу да се компензују јер су непопуњене орбитале d и f. D орбитала се налази у унутрашњости електронског омотача па електрони не могу да интерагују са другим атомима. Када се феромагнетик нађе у спољашњем магнетском пољу он га појачава. Намагнетисан феромагнетик након престанка деловања спољашњег поља може постати сталан магнет ако се материјал угреје па охлади или механички удара док је у магнетском пољу. Супротна појава- демагнетизација врши се јаким ударцем или загревањем магнета у одсуству спољашњег магнетског поља. [3]

3. Мерење јачина и смера магнетског поља

У овом раду биће приказана аутоматска детекција магнетског поља. За детекцију је коришћено мерење јачине магнетског поља као и за одређивање зависности јачине магнетског поља од растојања. Мерење је вршено помоћу магнетског сензора Ametes MFS-3A.

3.1. Принцип рада магнетског сензора

Магнетски сензор Ametes MFS-3A, компаније GMW Associates, мери јачину магнетског поља тако што посебно мери јачину у сва три правца Декартовог координатног система- x, y, z . У себи садржи три једноосна сензора Sentron CSA-1V. Овај сензор мери јачину магнетског поља само у једном правцу, а ради на принципу Холовог ефекта.

Холов ефекат

Посматрамо проводник у магнетском пољу кроз који протиче струја. Линије сила магнетског поља су нормалне на правац брзине кретања наелектрисања. Као што је познато, на проводник кроз који тече струја, у магнетском пољу, делује Лоренцова сила. Ова сила једнака је векторском производу брзине кретања наелектрисања и вектора магнетске индукције. Према томе она делује у правцу нормалном на оба вектора из векторског производа а смер зависи од ова два вектора.

$$\mathbf{F}_L = q\mathbf{V} \times \mathbf{B}$$

q - количина наелектрисања

$\mathbf{V}$ - брзина кретања наелектрисаних честица

$\mathbf{B}$ – магнетска индукција

За различита наелектрисања честица, позитивно и негативно, Лоренцова сила делује у супротним смеровима јер су смерови брзина за позитивно и негативно наелектрисање супротни. Због тога се услед дејства Лоренцове силе негативно наелектрисање гомила на једној а позитивно на другој страни проводника. Пошто Лоренцова сила у овом случају делује у попречном правцу на проводник тако се и раздвајање наелектрисања врши у попречном правцу. Услед раздвајања наелектрисања долази до индукције електромоторне силе. Новонастало електрично поље ($\mathbf{E}$) делује на наелектрисане честице у проводнику, електричном силом $\mathbf{F}_e = q \cdot \mathbf{E}$. Електрична сила се повећава са нагомилавањем

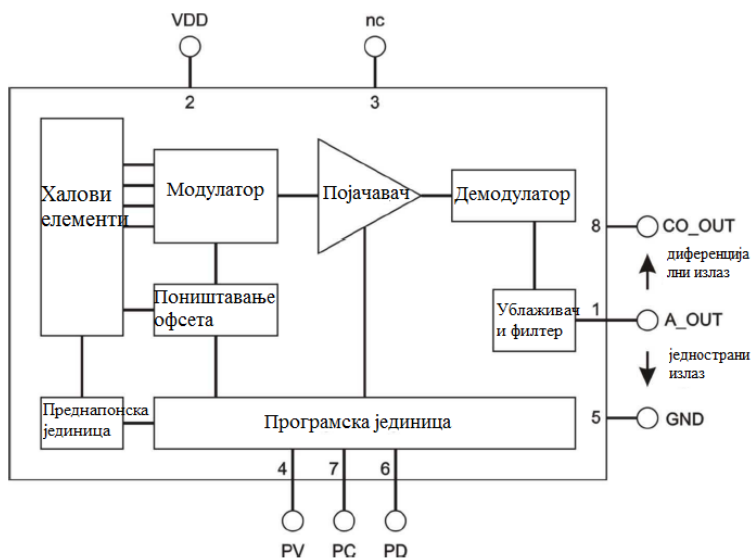
наелектрисања и повећањем јачине електричног поља, све док се не изједначи са Лоренцовом силом. Тада важи следећа релација једнакости интензитета ових сила:

$$q \cdot E = q \cdot V \cdot B$$

$$E = V \cdot B$$

Одавде се види да је јачина индукованог електричног поља сразмерна јачини магнетског поља које је изазвало индукцију. [4]

Сензор Sentron CSA-1V садржи Холов елемент и интегрисан концентратор магнетског флуksа, који детектује магнетско поље паралелно са чипом сензора за разлику од конвенционалних Холових сензора који детектују само нормалну компоненту магнетског поља. Овај сензор има феромагнетну превлаку која служи као концентратор магнетског флуksа и појачава дејство магнетног поља и до 10 пута, а самим тим појачава и излазни сигнал без повећања електричног шума сензора, и повећава се осетљивост сензора. Сензор даје аналогни напонски излаз до 5V, који је могуће конфигурисати као једностран и диференцијални (Слика 2). Код једностраног се напон мери у односу на масу (Ground) па је максимални напон +/- 5V, а код диференцијалног у односу на референтни напон па је максимални излазни напон +/- 2.5 V.

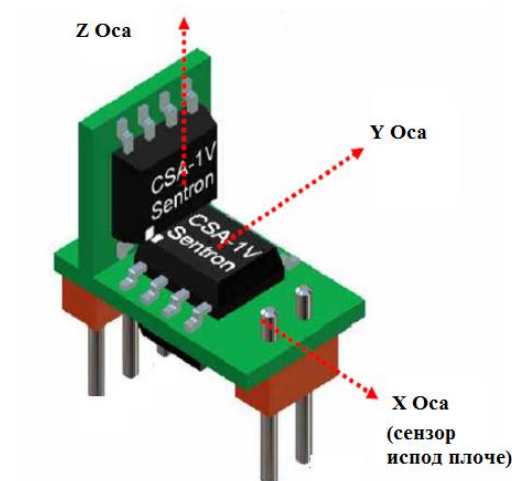


Слика 2. Блок дијаграм сензора Sentron CSA-1V

Са блок дијаграма видимо да напон са Холовог елемента пролази кроз модулар, појачавач, демодулар и филтер и на крају долази на излаз сензора. Излази са штампане плоче на којој је сензор, pv, pc, pd служе за фабричко програмирање. [5]

3.2. Карактеристике сензора Ametes MFS-3A

Ametes MFS-3A магнетски сензор одликује се високом осетљивошћу, тачном калибрацијом, високом стабилношћу и напонским излазима које обезбеђују три међусобно управна сензора Sentron. Ови једноосни сензори се налазе у кућишту и лако се постављају на штампану плочу сензора Ametes (Слика 3). Једна од најбитнијих особина сензора је тачност. Тачност представља способност сензора да на излазу верно репродукује улазни сигнал, односно тачност се описује тако да при више узастопних мерења сензор даје вредности са најмањим одступањем средњих вредности од стварне. Тачност може да зависи од промене осетљивости сензора, напонског офсета или електричног и магнетског засићења. Напонски офсет представља постојање напона на излазу када би он требало да буде једнак нули, што се дешава услед протеклог времена (старење сензора) или услед температуре.



Слика 3. Сензори Sentron на штампаним плочама у кућишту сензора Ametes

Три излазна напона на овим сензорима, у правцу оса x , y , z су V_x , V_y , V_z . Они су пропорционални компонентама магнетског флуksа B_x , B_y , B_z а коефицијент сразмерности је осетљивост сензора $S = 280 \frac{mV}{mT}$.

$$V_x = S \cdot B_x, \quad V_y = S \cdot B_y, \quad V_z = S \cdot B_z$$

Из ових релација могу се израчунати компоненте магнетског флуksа B_x , B_y , B_z а на основу тога се израчунава укупни магнетски флуks, самим тим и јачина магнетског поља која треба да се детектује:

$$B = \sqrt{B_x^2 + B_y^2 + B_z^2}$$

Основне карактеристике сензора, осетљивост, опсег мерења, резолуција, тачност, јачина напајања, дате су у Табели 1. [6]

Табела 1. Карактеристике сензора Ametes MFS-3A

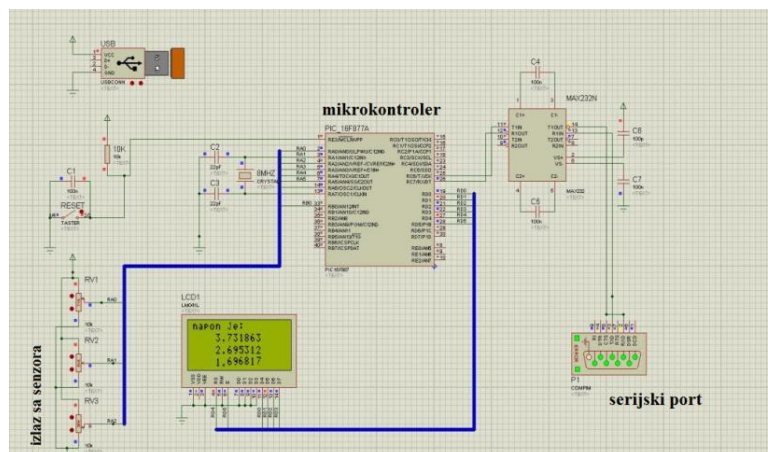
Карактеристике	Вредности
Опсег мерења	+/- 7.3 mT
Резолуција	+/- 10 μ T
Аналогни излаз (V_x , V_y , V_z)	од 0.5 до 4.5 V
Осетљивост	$280 \frac{mV}{mT}$
Тачност	+/- 3%
Напајање	36 mA на максималних 5V

4. Мерно-аквизициони систем

За мерење јачине магнетског поља потребно је извршити аквизицију сигнала добијених са сензора. Пошто су сигнали на излазу сензора аналогни потребно је извршити аналого-дигиталну конверзију да би те податке могли да користимо на рачунару. За аквизицију, конверзију као и приказ података потребни су посебни хардвер и софтвер.

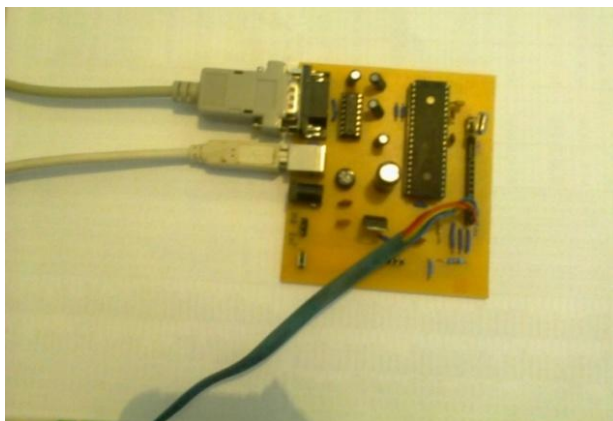
4.1. Хардвер

Да би сигнале добијене са сензора могли да користимо потребно их је одређеним хардверским компонентама у погодном облику довести до рачунара. У овом случају користи се аквизициона плоча. Пошто су излазни сигнали сензора аналогни потребно је извршити конверзију сигнала у дигиталне како би рачунар могао да их обрађује. То је главни задатак који извршава микроконтролер. Штампана плоча се пројектује тако што се одговарајућим програмима направи електрична шема која се фотопоступком израђује на штампаној плочи. На слици 4. приказана је електрична шема.[7]



Слика 4. Електрична шема штампане плоче

Сензор је са штампаном плочом повезан преко конектора. На шеми су три отпорника која симулирају рад сензора повезана са микроконтролером. Микроконтролер је мали рачунар реализован у облику интегрисаног кола, који садржи све потребне компоненте за самосталан рад. Те компоненте су интегрисан микропроцесор, меморија, дигитални и аналогни улази и излази, тајмери, бројачи, осцилатори. Микроконтролер се програмира да ради у бесконачној петљи при чему читава улазе и подешава излазе према задатом програму. У овом случају коришћен је микроконтролер са 10-о битним А/Д конвертором и серијском комуникацијом. Серијска комуникација представља слање података заједничким водом бит по бит. Тако се након А/Д конверзије подаци из микроконтролера преко серијског порта шаљу у рачунар. На слици 5. приказана је штампана плоча са свим компонентама и повезаним портом за сензор и напајање. Напајање се врши преко рачунара.



Слика 5. Штампана плоча са микроконтролером, повезаним сензором и напајањем

4.2. Софтвер

Апликација за прикупљање података направљена је у програмском језику C#. Помоћу ње се подаци приказују на екрану, исцртава се график и постоји могућност снимања података у датотеку. Извршено је прилагођавање аквизицији магнетског поља.

Подаци који се добијају са сензора се преко А/Д конвертора на микроконтролеру конвертују у 10-о битну реч. Такав податак се смешта у 2 бајта (1 бајт= 8 бита). Програм у C# прво чита колико бајтова садржи објекат повезан са рачунаром и оставља толико простора у бафер меморији у коју се ти бајтови учитавају. Кодом је дефинисано додељивање вредности из бафер меморије релативним променљивама rom1, rom2, rom3. Ове променљиве одговарају вредностима магнетског поља у правцу оса x,y,z. Тако да се у једном пролазу кроз if петљу вредности из бафер меморије додељују редом променљивим да не може да дође до неправилног распореда информација. Ови подаци се поново враћају у првобитну 10-о битну реч и даље обрађују. Следећи код приказује извршавање ових операција:

```
if (!comport.IsOpen) return;
close = false;
int bytes = comport.BytesToRead;
byte[] buffer = new byte[bytes];
comport.Read(buffer, 0, bytes);

try
{
    for (int num = 0; num < bytes - 7; num++)
    {
        if (buffer[num] == 'I' && buffer[num + 7] == 'N')
        {
            double rom1 = buffer[num + 1] + buffer[num + 2] * 256;
            double rom2 = buffer[num + 3] + buffer[num + 4] * 256;
            double rom3 = buffer[num + 5] + buffer[num + 6] * 256;
```

Након тога се извршава конверзија ових података у напон. На основу карактеристика сензора врши се конверзија напона у јачину магнетског поља у правцу све три осе. При томе се вредност јачине поља дефинише целобројним променљивима Mx, My, Mz . За даљи прорачун и за потребе исписивања вредности, дефинишу се променљиве типа string s1,s2,s3, аналогне целобројним вредностима Mx, My, Mz. Део кода који врши конверзију је следећи:

```

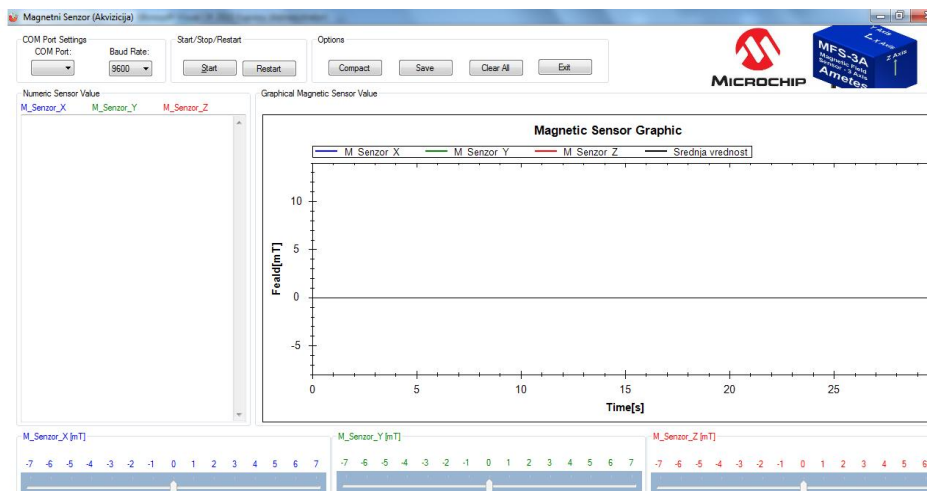
if (pom1 <= 1023 && pom2 <= 1023 && pom3 <= 1023)
{
    u = Math.Round(pom1 * 5 / 1023, 2); //konverzija vrednosti
    senzora A0 u napon
    if (u >= 0.5 && u <= 4.5)
    {
        u = Math.Round((u - 2.5) / 0.28, 3); //konverzija napona u
        magnetno polje (karakteristika senzora)
        Mx = Convert.ToInt16(u);
        s1 = Convert.ToString(u);
    }
    else if (u < 0.5)
    {
        u = Math.Round(-2 / 0.28, 3); //u sljucaju izlaska iz opsega
        Mx = Convert.ToInt16(u);
        s1 = Convert.ToString(u);
    }
    else
    {
        u = Math.Round(2 / 0.28, 3); //u sljucaju izlaska iz opsega
        Mx = Convert.ToInt16(u);
        s1 = Convert.ToString(u);
    }
}

```

Интензитет магнетског поља, представљен релативном променљивом $rom4$, у тачки у којој се налази сензор израчунава се на следећи начин:

$$rom4 = \sqrt{Mx^2 + My^2 + Mz^2}$$

Када се програм покрене отвара се форма помоћу које корисник управља апликацијом. Пре покретања потребно је у падајућем менију на форми изабрати одговарајући порт на који је сензор прикључен. Корисник покреће програм притиском на дугме старт, поред њега постоје и дугмићи за престанак рада (стоп), рестарт и излаз. Са леве стране исписују се вредности јачине магнетског поља у три колоне које одговарају осама x , y , z . На средини форме се исцртавају графици ових вредности, посебно за све осе, као и график укупне јачине поља. На слици 6 приказана је форма.[8]



Слика 6. Изглед форме

5. Реализација и резултати

Практичан део рада обухвата аутоматску детекцију магнетског поља путем програмског језика C# и мерење јачине магнетског поља у зависности од растојања у циљу детекције помераја магнета.

5.1. Аутоматска детекција магнетског поља

Аутоматска детекција поља подразумева увођење неке врсте механичког сигнала, као што су звук или светлост, када се јачина поља промени. Ми смо изабрали промену боје светлосног сигнала који је симулиран одређеним алатима у програму C#. Идеја је да се боја светлосног сигнала мења када јачина поља пређе дефинисане прагове јачине. Одабрани интервали јачине магнетског поља и њима одговарајуће боје светлосног сигнала дате су у Табели 2.

Табела 2. Интервали јачине магнетског поља са одговарајућом бојом сигнала

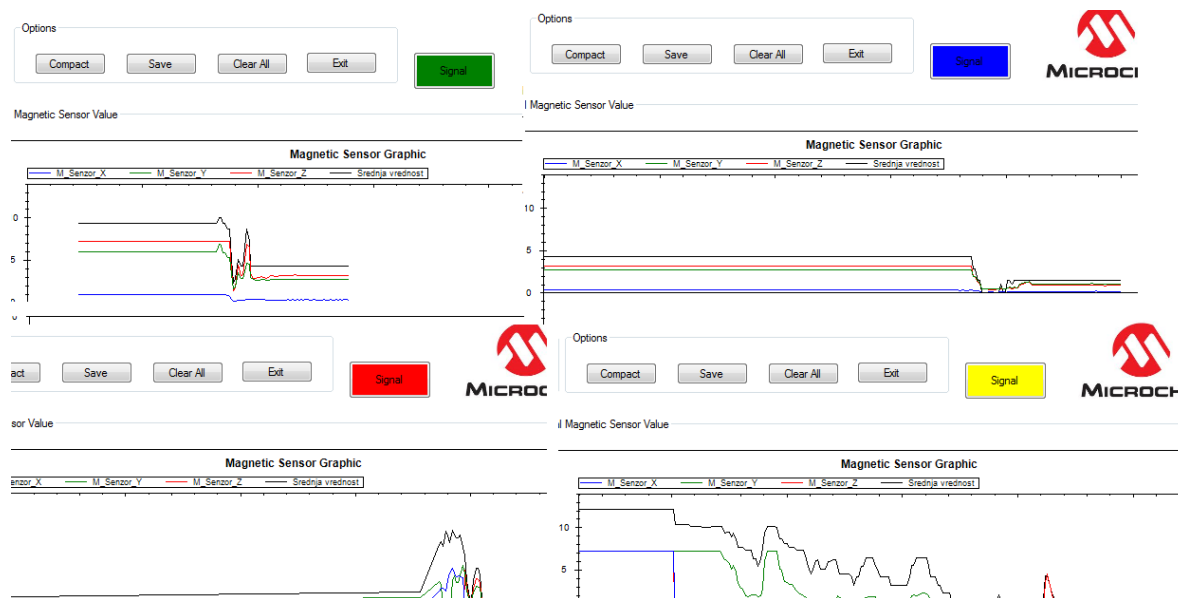
Интервал јачине магнетског поља	Боја светлосног сигнала
Од 1mT до 3mT	Жута
Од 3mT до 5mT	Зелена
Од 5mT до 6mT	Плава
Од 6mT до 7mT	Црвена

За извршавање ових наредби потребно је прво на форму поставити дугме Button следећом наредбом: Отворити Form (Design) → леви клик на палету Toolbox → Button. Дугме

поставити на жељено место на форми. Кликом на дугме, са десне стране отвара се мени са карактеристикама дугмета. У њему се у пољу Text промени име у Сигнал. Овако поствљено дугме симулира светлосни сигнал у стварном систему. Команда за промену боје дугмета је `Button.BackColor=Color.Red`, дат је пример за промену боје у црвено. Да би условили промену боје при промени јачине поља, потребно је да формирамо блок условних наредби, наредбом `if`, која извршава дати задатак само ако је испуњен задати услов. Део кода којим се уз помоћ `if` наредби мења боја дугмета у зависности од јачине поља је следећи:

```
if (pom4>1 && pom4<3)
{
    Button.BackColor = Color.Yellow;
}
else if (pom4> 3 && pom4<5 )
{
    Button.BackColor = Color.Green;
}
else if (pom4 > 5 && pom4 < 6)
    Button.BackColor = Color.Blue;
else if (pom4>6)
{
    Button.BackColor = Color.Red;
}
```

На слици 7 приказан је део форме са дугметом Signal, и промена боје светлосног сигнала у сва четири интервала јачине магнетског поља.

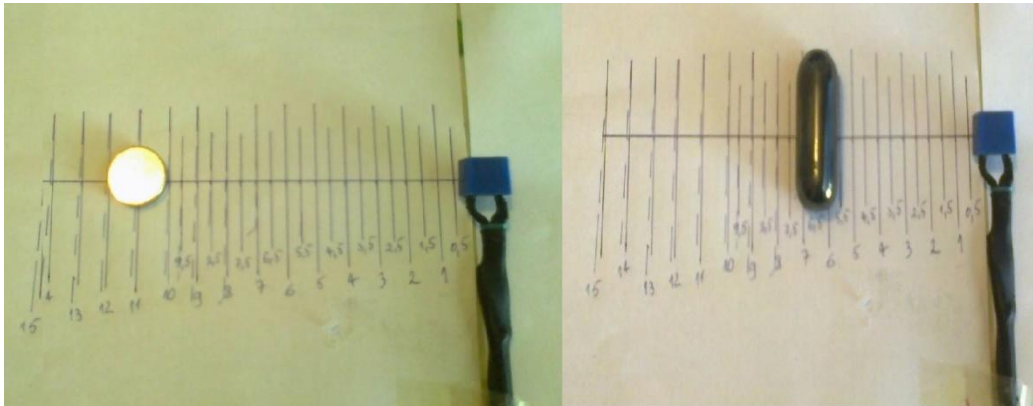


Слика 7. Аутоматска детекција различитих интервала јачине магнетског поља

5.2. Одређивање помераја магнета у магнетском пољу

Други део практичног рада представља мерења јачине магнетског поља на изабраним интервалима растојања. Поступак је реализован фиксирањем сензора у замишљеном координатном почетку Декартовог координатног система, а магнет је транслаторно померан у правцу оса. На замишљеним осама постављене су дужинске мерне скале на којима је мерено растојање магнета од сензора у cm. Мерење је вршено за два магнета истим поступцима.

Мерењем је утврђено да је јачина поља једног магнета већа од другог и он је узет за прво мерење и означен као магнет 1. Према његовој јачини усвојено је да јединична мера на скали буде 1cm, док је за првих 10 cm мерење вршено на 5mm да би добили тачнију зависност јачине поља и растојања, јер промена јачине поља није линеарна са растојањем. Поступак мерења за једну од оса (Слика 8) је следећи:



Слика 8. Мерење јачине магнетског поља у правцу једне осе за оба магнета

Хардвер је повезан са рачунаром, апликација је укључена, сензор фиксиран а магнет постављен на 1cm од сензора. Започињемо мерење одабиром одговарајућег порта и кликом на дугме старт. На екрану се читавају вредности и исцртава график. Кликком на дугме стоп, мерење се стопира затим се кликом на дугме Save подаци снимају у два формата. Први је txt фајл са подацима о јачини поља у правцу све три осе, други је слика графика у png формату. Пошто апликација снима све податке мерења од почетка, пре следећег мерења кликом на дугме Clear All избришемо постојеће податке на форми и затим наставимо мерења на новом растојању. Поступак смо понављали у правцу једне осе док се јачина поља није смањила на нулу. Из неколико мерења у најудаљенијим тачкама утврђено је да сензор има неутралну зону. То значи да је излаз сензора непромењен при промени улазног сигнала. У овом случају на великим растојањима сензор не показује апсолутну нулту вредност јачине магнетског поља, већ исте вредности, приближне нултој, реда 10^{-1} . То је последица некалибрисаног сензора па су ове вредности сматране нултим

вредностима. Други магнет има мању јачину магнетског поља, па самим тим њена вредност опада брже на истим растојањима на којима је вршено мерење магнета 1, па је мерење за магнет 2 вршено на сваких 5mm. Након измерених и снимљених података добили смо вредности јачине поља у зависности од растојања у правцу три осе. Ови подаци су из txt фајлова пребачени у Excel фајлове за лакшу обраду. Фајл за сваку осу садржи податке о јачини поља у правцу три осе па је било потребно израчунати укупну јачину магнетског поља за осу. На основу релације $B = \sqrt{B_x^2 + B_y^2 + B_z^2}$ израчуната је укупна јачина поља за осе као и целог магнета. У табелелама 3 и 4 дати су резултати мерења по x оси за магнет 1 и магнет 2, респективно. Због аналогije резултата за друге две осе, резултати ће бити само графички приказани.

Табела 3. Подаци мерења јачине поља у правцу осе X за магнет 1

Мерење у правцу X осе				
X оса [mT]	Y оса [mT]	Z оса [mT]	Растојање[cm]	Укупна јачина[mT]
7.143	5.821	1.714	0.5	9.372528
7.143	5.107	0.429	1.0	8.791356
7.143	4.464	0.714	1.5	8.453375
7.143	3.143	1.286	2.0	7.909153
7.143	2.857	-0.214	2.5	7.696148
6.714	1.607	0.786	3.0	6.94824
5.357	1.179	0.321	3.5	5.494591
3.714	0.821	0.286	4.0	3.814398
3.107	0.214	0.179	4.5	3.119501
1.857	0.214	0.286	5.0	1.891042
1.500	0.179	0.179	5.5	1.521211
1.464	0.214	0.286	6.0	1.506947
1.179	0.107	0.214	6.5	1.203032
1.036	0.107	0.214	7.0	1.063269
0.857	0.071	0.214	7.5	0.886164
0.679	0.071	0.25	8.0	0.727036

Табела 3. Наставак

X оса [mT]	Y оса [mT]	Z оса [mT]	Растојање[cm]	Укупна јачина[mT]
0.643	0.036	0.143	8.5	0.659692
0.536	0.036	0.179	9.0	0.566245
0.429	0.036	0.107	9.5	0.443606
0.429	0.036	0.179	10.0	0.466238
0.321	0.071	0.143	11.0	0.358512
0.286	0.071	0.143	12.0	0.327545
0.286	0.036	0.179	13.0	0.339313
0.250	0.036	0.179	14.0	0.309576
0.214	0.036	0.179	15.0	0.281306
0.179	0.036	0.179	16.0	0.255691
0.130	0.071	0.143	17.0	0.205888
0.143	0.071	0.143	18.0	0.214334
0.119	0.076	0.143	19.0	0.200963
0.211	0.031	0.143	20.0	0.25677
0.107	0.071	0.143	21.0	0.192195
0.107	0.071	0.143	22.0	0.192195
0.132	0.09	0.143	23.0	0.214413
0.132	0.071	0.107	24.0	0.184158
0.143	0.036	0.124	25.0	0.192668
0.143	0.036	0.124	26.0	0.192668
0.143	0.036	0.124	27.0	0.192668
0.107	0.036	0.175	28.0	0.208255
0.143	0.008	0.124	29.0	0.189444
0.143	0.008	0.124	30.0	0.189444
0.143	0.02	0.126	31.0	0.191638
0.071	0.09	0.143	32.0	0.183276
0.071	0.09	0.107	33.0	0.156812
0.071	0.09	0.107	34.0	0.156812
0.071	0.071	0.107	35.0	0.146734
0.071	0.071	0.107	36.0	0.146734

Табела 4. Подаци мерења у правцу осе X за магнет 2

Мерење у правцу X осе				
X оса [mT]	Y оса [mT]	Z оса [mT]	Растојање[cm]	Укупна јачина[mT]
6.107	7.143	0.464	0.5	7.303186
3.071	6.964	0.357	1	7.12518
1.786	4.107	0.286	1.5	4.279572
1.179	2.679	0.214	2	2.882288
0.821	1.821	0.214	2.5	2.025173
0.571	1.286	0.179	3	1.477287
0.429	0.857	0.143	3.5	1.0815
0.357	0.679	0.143	4	0.884123
0.286	0.429	0.143	4.5	0.617112
0.214	0.393	0.143	5	0.609776
0.179	0.286	0.107	5.5	0.458614
0.179	0.214	0.107	6	0.391257
0.143	0.143	0.107	6.5	0.368215
0.121	0.117	0.116	7	0.330947
0.104	0.078	0.112	7.5	0.29192
0.12	0.087	0.143	8	0.270087
0.107	0.036	0.143	8.5	0.209012
0.107	0.036	0.143	9	0.217336
0.107	0.023	0.133	9.5	0.202275
0.09	0.007	0.132	10	0.256866

На графицима 1 и 2 приказани су резултати мерења у правцу све три осе, за магнет 1 и магнет 2.

График 1. Резултати мерења у правцу оса x, y, z за магнет 1

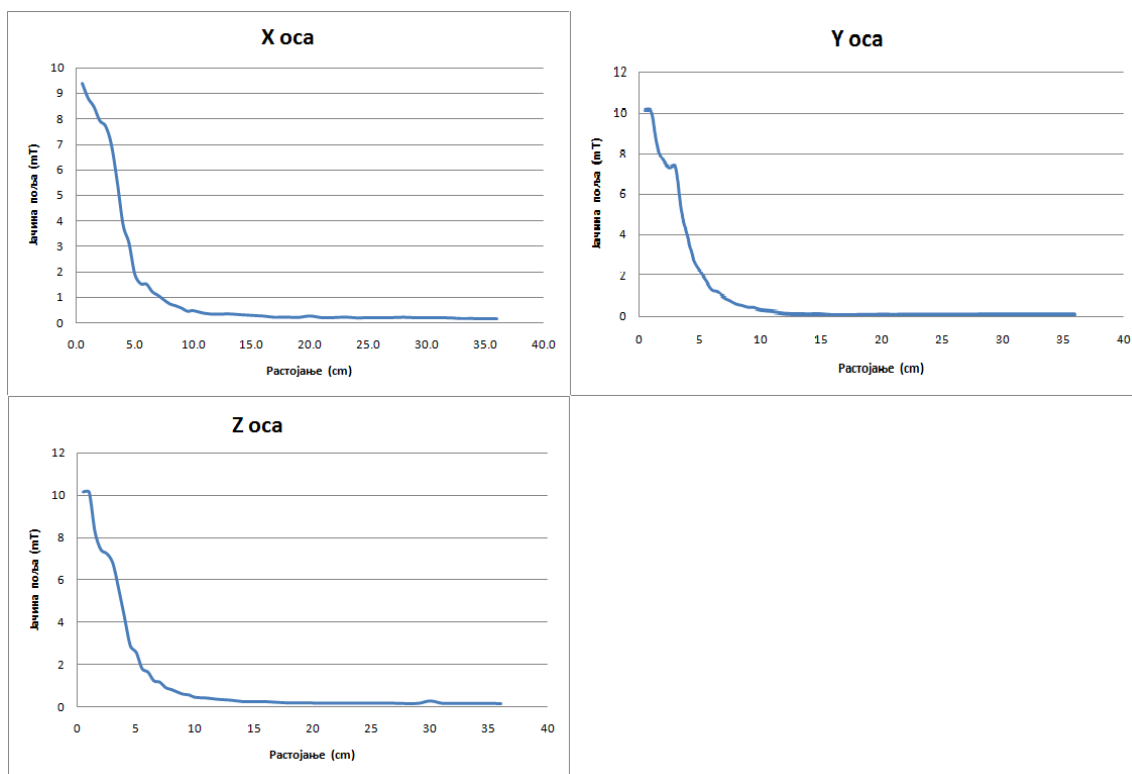
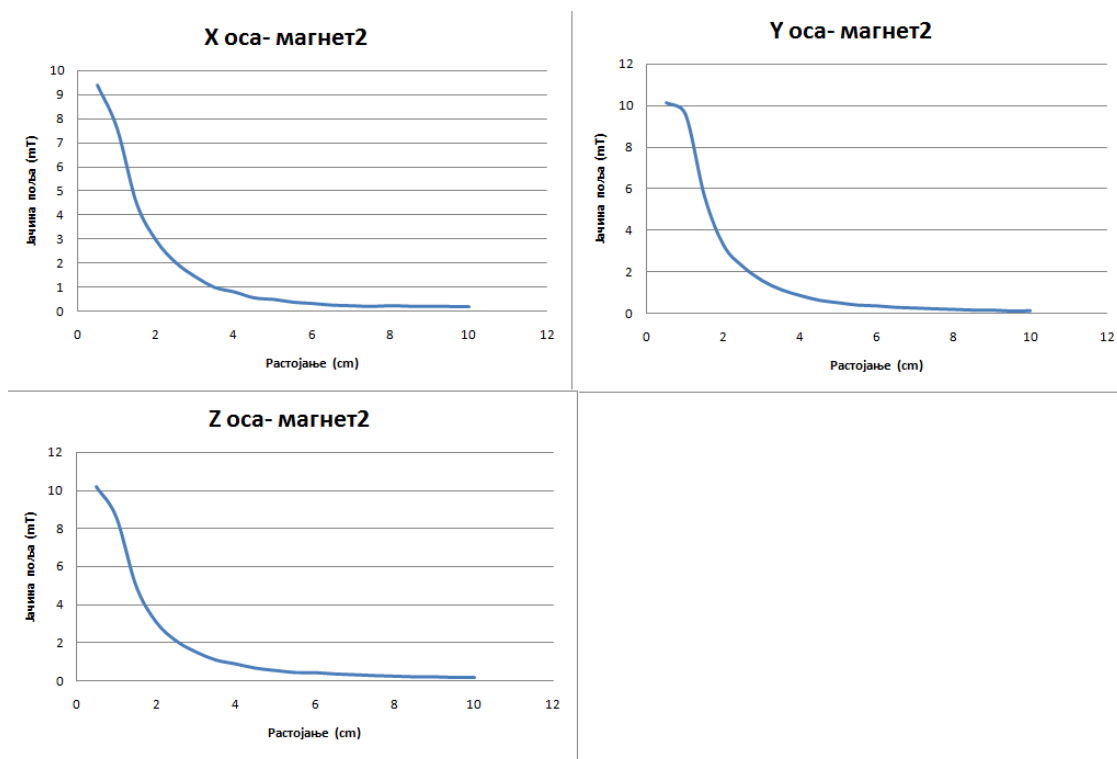


График 2. Резултати мерења у правцу оса x, y, z за магнет 2



Са графика 1 и 2 видимо да јачина магнетског поља у правцу оса, за оба мегнета нагло опада са порастом растојања и да је зависност јачине поља од растојања нелинеарна. Код првог магнета се при мањим растојањима изражава већа неправилност у опадању јачине поља, долази до појаве пикова и одступања од експоненцијалног закона. Највећи пад јачине магнетског поља за све три осе првог магнета дешава на растојању до 10cm, када јачина поља у правцу оса опада приближно од 10 mT до 1 mT. Након тога зависност јачине поља и растојања је најприближнија линерности и јачина поља тежи нули све до 36 cm растојања. Јачина поља у правцу оса другог магнета опада на исти начин, али је највећи пад јачине поља забележен на 4 cm растојања када износи приближно 1 mT. После тога јачина поља тежи нули све до 10 cm растојања, и зависност јачине поља и растојања је линеарнија.

Укупна јачина поља магнета израчуната је на основу јачина у правцу све три осе на основу релације $B = \sqrt{B_x^2 + B_y^2 + B_z^2}$. У табелама 5 и 6 приказани су резултати укупне јачине магнетског поља за магнете 2 и 1.

Табела 5. Укупна јачина поља у зависности од растојања за магнет 2

Укупна јачина поља – магнет 2				
Јачина поља за осу X [mT]	Јачина поља за осу Y [mT]	Јачина поља за осу Z [mT]	Растојање [cm]	Укупна јачина поља [mT]
9.409208	10.11238	10.16619	0.5	13.8128
7.619435	9.565375	8.576525	1	12.22915
4.487654	5.599654	4.951998	1.5	7.176013
2.934771	3.263578	3.080525	2	4.389057
2.008949	2.255225	2.088946	2.5	3.020251
1.418407	1.586438	1.503258	3	2.128066
0.968989	1.143036	1.079768	3.5	1.498489
0.780345	0.861152	0.875949	4	1.162119
0.535057	0.633866	0.652452	4.5	0.829501
0.469781	0.516227	0.530941	5	0.697986
0.353958	0.405624	0.421126	5.5	0.538347
0.298808	0.365768	0.413448	6	0.472305
0.228795	0.296872	0.345733	6.5	0.374807
0.204416	0.262368	0.303114	7	0.3326
0.171593	0.228327	0.262368	7.5	0.285617
0.205956	0.195903	0.228327	8	0.284246
0.182192	0.163664	0.195903	8.5	0.244908
0.182192	0.163664	0.195903	9	0.244908
0.172241	0.118495	0.163664	9.5	0.209065
0.159916	0.133364	0.163664	10	0.208228

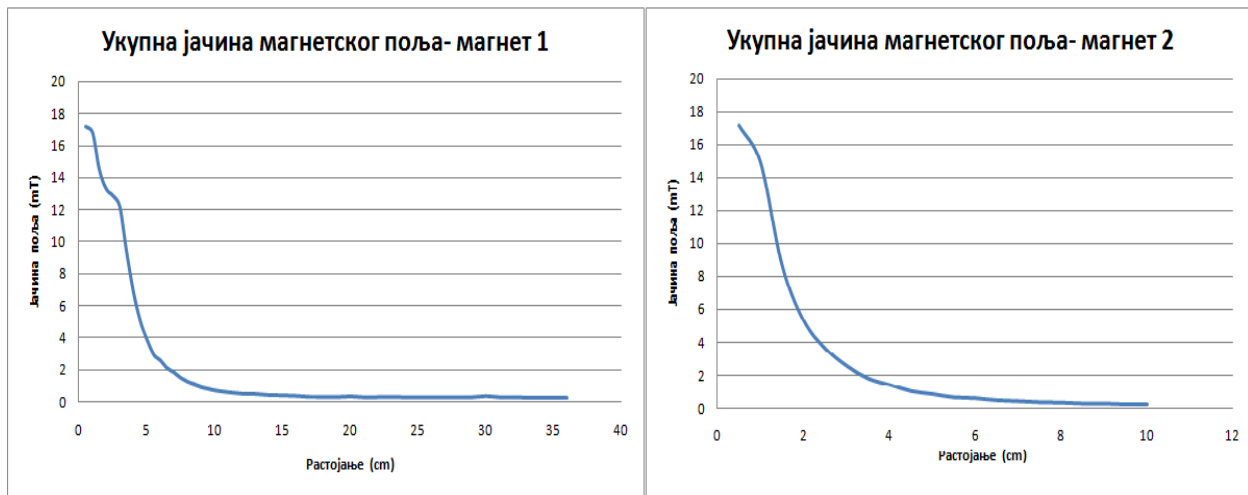
Табела 6. Укупна јачина поља у зависности од растојања за магнет 1

Укупна јачина поља – магнет 1				
Јачина поља за осу X [mT]	Јачина поља за осу Y [mT]	Јачина поља за осу Z [mT]	Растојање [cm]	Укупна јачина поља [mT]
9.372528	10.16287	10.1511	0.5	13.82491
8.791356	10.09217	10.12693	1.0	13.38431
8.453375	8.359218	8.242311	1.5	11.88848
7.909153	7.659465	7.42071	2.0	11.01009
7.696148	7.325179	7.232637	2.5	10.62492
6.94824	7.36887	6.798705	3.0	10.12809
5.494591	5.175157	5.59067	3.5	7.548031
3.814398	3.919163	4.222929	4.0	5.468955
3.119501	2.805601	2.874838	4.5	4.195555
1.891042	2.242753	2.564292	5.0	2.933595
1.521211	1.780673	1.796351	5.5	2.341982
1.506947	1.306444	1.626816	6.0	1.994413
1.203032	1.200366	1.215067	6.5	1.69946
1.063269	0.921921	1.156869	7.0	1.407295
0.886164	0.766805	0.89445	7.5	1.171869
0.727036	0.5929	0.799713	8.0	0.938143
0.659692	0.516227	0.68365	8.5	0.837666
0.566245	0.419755	0.582053	9.0	0.70486
0.443606	0.408894	0.54776	9.5	0.603308
0.466238	0.307475	0.436323	10.0	0.558497
0.358512	0.241952	0.400981	11.0	0.432518
0.327545	0.152164	0.336338	12.0	0.361165
0.339313	0.129406	0.303114	13.0	0.363151
0.309576	0.119185	0.236385	14.0	0.331726
0.281306	0.123713	0.236385	15.0	0.307308
0.255691	0.074518	0.230317	16.0	0.266329
0.205888	0.074518	0.196677	17.0	0.218959
0.214334	0.081197	0.167302	18.0	0.229199
0.200963	0.081197	0.170558	19.0	0.216746
0.25677	0.10098	0.163664	20.0	0.275913
0.192195	0.09315	0.156812	21.0	0.213579
0.192195	0.100588	0.160331	22.0	0.216926
0.214413	0.100588	0.160331	23.0	0.236835
0.184158	0.100588	0.160331	24.0	0.209838
0.192668	0.100588	0.160331	25.0	0.217345

Табела 6. Наставак

Јачина поља за осу X [mT]	Јачина поља за осу Y [mT]	Јачина поља за осу Z [mT]	Растојање [cm]	Укупна јачина поља [mT]
0.192668	0.100588	0.152201	26.0	0.217345
0.192668	0.100588	0.152201	27.0	0.217345
0.208255	0.107131	0.136404	28.0	0.234194
0.189444	0.107131	0.147949	29.0	0.217637
0.189444	0.107131	0.262368	30.0	0.217637
0.191638	0.107131	0.151793	31.0	0.21955
0.183276	0.107131	0.147949	32.0	0.21229
0.156812	0.107131	0.147949	33.0	0.189913
0.156812	0.107131	0.147949	34.0	0.189913
0.146734	0.107131	0.147949	35.0	0.181681
0.146734	0.107131	0.133364	36.0	0.181681

На графицима 3 и 4 приказана је зависност укупне јачине магнетског поља и растојања, за магнете 1 и 2.



Са графика се види да је природа промене укупне јачине магнетског поља иста као промена јачине за сваку осу. Видимо разлику између магнета 1 и магнета 2. Јачина поља првог магнета нагло опада до растојања око 8 cm, и износи око 1mT. Док јачина поља другог магнета на исту вредност опада на растојању приближном 4 cm. Закључујемо да се не може извести универзални закон промене јачине магнетског поља у зависности од растојања, али је могуће утврдити зависност ових величина за одређени магнет. График

другог магнета је приближан графику инверзне експоненцијалне функције. На графику првог магнета при јачини поља између 12 и 14 mT јавља се пик који ако је малог реда може да се занемари. Па и график првог магнета може да се посматра као инверзна експоненцијална функција. На основу добијених података и аутоматске детекције јачине поља, омогућено је одређивање помераја магнета. Праћењем промене јачине поља на екрану апликације и коришћењем датих табела или графика директно се одређује померај магнета.

6. Закључак

Данас су већина процеса производње или њени сегменти аутоматизовани па је од великог значаја њихово управљање и регулација. Поступак мерења интензитета магнетског поља у три осе и претварање у растојање са експериментално одређеном тачношћу, приказан у овом раду може наћи велику примену у разним процесима. Поред јачине поља која је дата бројним вредностима и графички, за могућност брзог увида у јачину магнетског поља, посебно у одређеним опсезима, неопходно је поставити ефикаснији начин сигнализације прекорачења опсега. Једно од решења овог проблема изложено у раду омогућава потенцијалном кориснику да уз измерене и сачуване податке, има и податке о растојању од извора магнетског поља при одређеним вредностима јачине, тако да се може дефинисати опсег јачине поља који је критичан. Аутоматском детекцијом овог опсега оператер може на време да реагује и регулише јачину поља док она не пређе критичну вредност. Овакво решење може се проширити и на аутоматизовану контролу јачине магнетског поља.

7. Литература

1. <http://www2.df.pmf.uns.ac.rs/download>, 26.06.2015
2. Јасна Радловић, „Електротехника са електроником“, Машински факултет у Крагујевцу, Крагујевац, 2011
3. <http://www.tehnikum.edu.rs/predmeti/0003/Predavanje11.pdf>, 26.06.2015.
4. <http://tesla.pmf.ni.ac.rs/people/nesiclj/predavanja/biologija/2010/glava11.pdf>-, 26.06.2015.
5. http://www.gmw.com/magnetic_sensors/sentron/csa/documents/CSA-1VG%20RoHS%20October%202008%20Rev.%20004.pdf, 27.06.2015.
6. http://www.gmw.com/magnetic_sensors/ametes/documents/Ametes_MFS-3A_Spec_18_Apr_2011.pdf, 27.06.2015.
7. Александар Пеулић, Жарко Чучеј, „Даљинско управљање и комуникације“, Крагујевац-Марибор, 2011
8. Војо Милановић, „Програмирање интерфејса у C#“, Инфоелектроника, 2011