

## Manyetik Alan Ölçümleri için Hall Effect Sensörlü Gaussmetre Tasarımı ve Uygulaması

Sibel AKKAYA OY<sup>1</sup>, Mehmet DEMİRTAŞ<sup>2</sup>, Olcay AYDIN<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ordu Üniversitesi, Deniz Bilimleri Fakültesi, Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Mühendisliği Bölümü, Ordu.

<sup>2</sup>Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Ankara.

<sup>3</sup>Hakkari Üniversitesi, Çölemerik Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, Hakkari.

e-posta: sibelakkayaoy@gmail.com, mehmetd@gazi.edu.tr, aydinolcay12@gmail.com

Geliş Tarihi:16.09.2015; Kabul Tarihi:15.12.2015

### Anahtar kelimeler

Hall effect sensör;  
Gaussmetre; Manyetik alan; Mikrodenetleyici

### Özet

Teknolojinin gelişmesi ile birlikte sayısı ve çeşitliliği artan elektronik aygıtlar, içinde buldukları ortamın manyetik alanını da değiştirmektedirler. Bu manyetik alan değişimlerinin uygun ve doğru şekilde tespit edilmesi yapılacak olan çalışmalar için önemlidir. Bu çalışmanın amacı, Hall etkili sensör kullanarak manyetik alan ölçecek bir Gaussmetre tasarlamaktır.

## The Design and Application Of Gaussmeter with Hall Effect Sensor for Magnetic Field Measurements

### Keywords

Hall effect sensor;  
Gaussmeter; Magnetic field; Microcontroller

### Abstract

The increasing of variety and number of electronic devices by the technological development changes the magnetic field of the environment. The accurate determination of this magnetic field changes is important for the studies. The main purpose of this study is to design a Gaussmeter that measure the magnetic field using Hall effect sensor.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

### 1. Giriş

Manyetik akı yoğunluğunu ölçmek için en çok kullanılan cihazlar, gaussmetre ve elektronik entegre fluxmetrelerdir (Seely, 1997). Gaussmetre cihazı, akım kaynağı ve hall gerilim algılama bölümlerinden oluşur. Problar kablo yardımıyla cihaza bağlanırlar. Manyetik akı yoğunluğunu ölçen gaussmetre, ayrıca manyetik alanın uzaklıkla nasıl değiştiğini ve manyetik alanın polaritesinin belirlenmesini de sağlar. Manyetik ölçüm aletlerinin uygun şekilde kullanılmasını sağlamak için, bu araçların uygulama metotlarının anlaşılması gerekir (Murphy, 1999). Hall Effect sensörü kullanılarak manyetik alan ölçmek bu uygulama metotlarından biridir (Blagojevic et al. 2004; Logofatu et al. 1997). Hall Effect sensörü maliyetinin ucuz olması ve hassasiyetinin yüksek

olması sayesinde endüstride çeşitli alanlarda kullanılmaktadır (Leroy et al. 2006; Qasimi et al. 2004). Günümüzde bilinen birçok Hall generatörü vardır (Randjelovic et al. 1999; Popovic, 1991). Fakat hall sensörlerinin gürültüden etkilenmeleri bu kullanım alanlarını sınırlamaktadır (Popovic et al. 2001). Hall sensörü kullanılarak ölçülen manyetik alanlarda hall effect düzlemi önemlidir (Morvic and Betko 2005; Goldberg and Davis 1954; Schott et al. 2000). Bu çalışmada kullanılan sensör ise UGN3503U lineer Hall Effect sensörüdür. Kullanılan sensörün çalışma prensibi, akımın sabit tutulduğunda gerilimin manyetik alana göre lineer değişmesidir (Badaroglu et al. 2008). Manyetik alan değişiminde sensörün ürettiği gerilim de değişecektir. Sensörün ürettiği gerilimden faydalanarak manyetik alanın değeri ölçülebilmektedir. Ölçülen değer görülebilmesi

için sensörün çıkışı analog/digital dönüştürücüye verilir ve daha sonra mikroişlemcide uygun şekilde işlenerek bir göstergeye gönderilir.

Bu çalışmada, tasarlanan cihaz fonksiyonel olarak sahada da kullanılabilir duruma getirilmiştir. Bu amaca yönelik olarak Hall Effect Sensörü elektronik sisteme belirli bir mesafede devreye yerleştirilmiştir. Tasarlanan Gaussmetre değişik manyetik alan ölçümlerinde kullanılmış olup, ölçüm değerleri ve ölçüm hassasiyeti geliştirilen Gaussmetrenin güvenilir bir cihaz olduğunu göstermiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Hall etkisi

Hall etkisini gösterimi Şekil 1’de verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi bir elektron, uygulanan herhangi bir manyetik alana dik yönde hareket ederken, hareket yönü manyetik kuvvet ve iç elektriksel kuvvetlerin etkisine göre değişir. Üzerinden I akımı geçen bir iletken plakada, akım manyetik alanın kuvvet çizgilerine dik şekilde geçiyorsa, Lorentz Kuvvetinin etkisiyle serbest yük taşıyıcıları bir noktada toplanır (Ramsden, 2006). Yüklü parçacıkların manyetik alan ve elektrik alanında verdikleri tepki denklem 1’de gösterilmektedir.

$$\vec{F} = q_0\vec{E} + q_0\vec{v} \times \vec{B} \quad (1)$$

Burada:

F=Meydana gelen kuvvet

E=Elektrik alanı

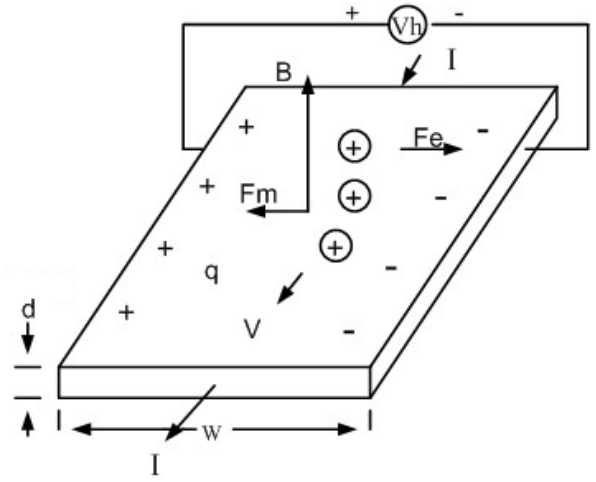
$q_0$ =elektron yükü

$v$ = Elektronun sürüklenme hızı

$B$ =Manyetik alan

olarak tanımlanmıştır.

Bu yüklerin oluşturacağı elektrik alan manyetik etkiyi dengelemeye çalışır. Bu durum  $F_m$  kuvveti ile  $F_e$  kuvveti eşit oluncaya kadar devam eder. Bu denge durumu denklem 2’deki gibidir.



Şekil 1. Hall Etkisi

$$q_0E_h + q_0vB = 0 \quad (2)$$

Burada  $E_h$ =Plaka üstünde iki yandaki elektrik alan olup, denklem 3 ile ifade edilir.

$$E_h = -vB \quad (3)$$

Şekil 1’de görülen pozitif yük taşıyıcılarına etki eden manyetik kuvvet denklem 4’teki gibidir.

$$F_m = q_0vB \quad (4)$$

Akımın sürüklenme hızı cinsinden ifadesi ise denklem 5’teki gibidir.

$$I = nq_0Av \quad (5)$$

Denklem 5’teki eşitlikten yararlanılarak elde edilen  $v$ ’nin değeri denklem 4’te yerine konulduğunda ise manyetik kuvvet denklem 6’daki gibi olur.

$$F_m = \frac{q_0IB}{nq_0A} \quad (6)$$

Denge durumunda elektrik alandan dolayı oluşan kuvvet( $F_e$ ) ile manyetik kuvvetin( $F_m$ ) birbirine eşit olmasından yararlanarak hesaplanan Hall gerilimi denklem 8’deki gibidir.

$$F_m = F_e = \frac{V_h q_0}{w} \quad (7)$$

$$V_h = \frac{IB}{nq_0d} \quad (8)$$

Burada;

$I$ =Akım

$n$ =Yük taşıyıcıları yoğunluğu

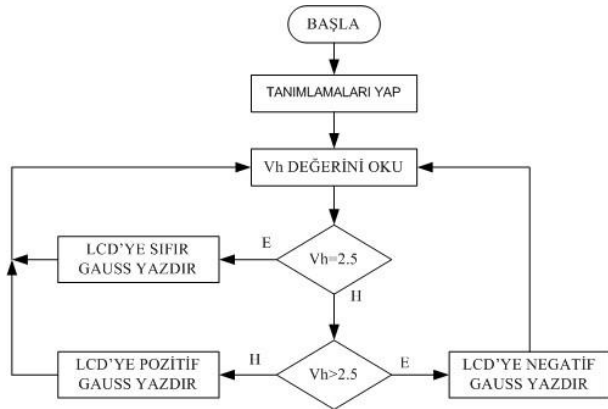
$d$ =iletken kalınlığı

olarak tanımlanmıştır.

Denklemden de anlaşılacağı gibi iletkenin sabit bir  $I$  akımı aktığında iletkenin uçlarından ölçülen Hall gerilimi manyetik alanla doğru orantılı olarak değişecektir (Ramsden, 2006).

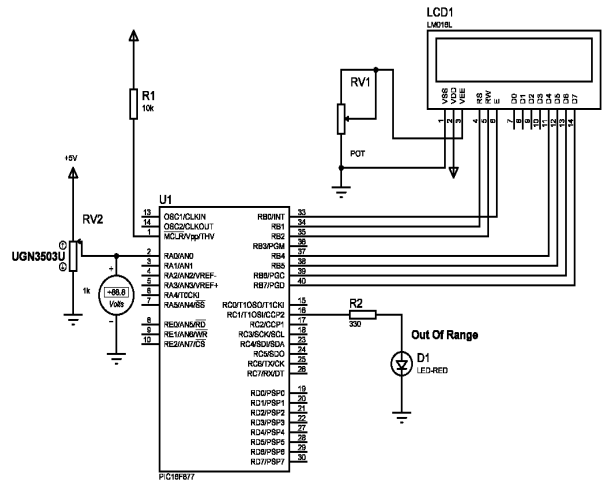
## 2.2. Devrenin Tasarımı

Bu çalışmada geliştirilen Gaussmetrenin akış diyagramı Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Devrenin akış diyagramı

Geliştirilen bu devrede Şekil 3’te görüldüğü gibi Hall Sensörü, PIC 16F877 mikroişlemcisi ve LCD kullanılmıştır. Hall sensörünün çıkışı ADC’nin girişlerinden biri olan ANO bacağına bağlanmıştır. Mikroişlemcinin çalışma frekansının ayarlanması için 4 MHz’lik osilatör kullanılmıştır. Mikroişlemcinin üzerindeki portlardan birinin çıkışına LED bağlanmıştır. Ölçülen manyetik alan ölçülebilen değerlerin dışında ise bu LED yanacaktır. PIC16F877 mikroişlemcisi C dili kullanılarak programlanmıştır. Şekil 4’te LCD’nin resmi görülmektedir. Program içinde yapılan işlemler sonucunda elde edilen ölçüm sonuçları LCD ekrana gönderilerek görüntülenmiştir.



Şekil 3. Tasarlanan sistemin devre şeması



Şekil 4. LCD genel görünüm

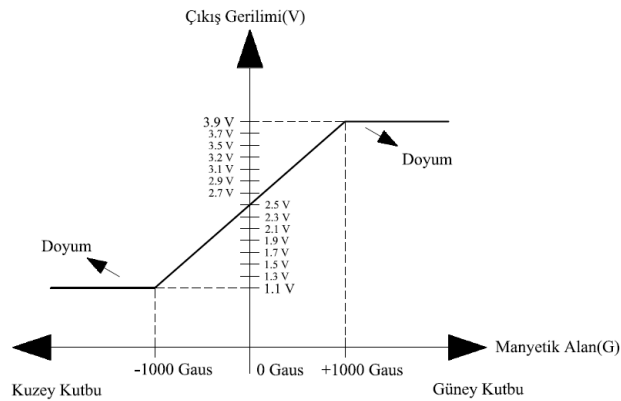
## 2.3. UGN3503U Linear Hall Effect Sensörü

Bu çalışmada +5V DA beslemeyle çalışan sensörün çıkışı  $\pm 1000$  G aralığında lineerdir. 25 °C ortam sıcaklığında ölçüm yapılmıştır. 10 Hz ile 10 kHz arasındaki dinamik değişimleri takip edebilmektedir.  $\pm 2\%$  doğruluk ile ölçüm yapabilmektedir. Bu çalışmada lineer kısım dikkate alınmıştır. Çünkü diğer değerlerde lineer olmadığından ölçümlerin doğruluğu hakkında kesin bir yargıya varılamayabilir. Bu yüzden -1000 G ile +1000 G aralığı haricindeki değerler gösterilmemiştir. Yapılan ölçümler sonucunda sensör çıkışının 0 G değeri için +2.5V DA, -1000 G için +1.1V DA, -650 G için +1.3V DA, -500 G için +1.7V DA, -250 G için +2 DA, +250 G için +2.7V DA, +500 G için +3V DA, +650 G için +3.7V DA, +1000 G için ise +3.9V DA gerilim ürettiği gözlenmiştir. Manyetik alan değerlerinin pozitif ya da negatif olması yönlerinin farklı olduğunu göstermektedir. Şekil 5’te sensörün çıkış gerilimini, manyetik alanın negatif ya da pozitif olması durumunda nasıl değiştiği görülmektedir.

Manyetik alanın sıfır değerinde olduğu zamanki sensörün çıkış gerilimi 2.5V'dur. Sensör kuzey kutbu manyetik alanında iken çıkış gerilimi referans gerilimi olarak alınan 2.5V değerine göre azalır. Güney kutbu manyetik alanında iken de çıkış gerilimi referans gerilim değerine göre artmaya başlar. Ölçeklendirme yapılırken 35 mG ile 350 kG ölçüm aralığı,  $\pm 0.05\%$  doğruluk ve 20  $\mu\text{G}$  DA ölçüm hassasiyetine sahip olan Lakeshore Marka Gaussmetreden yararlanılmıştır. Sabit tutulan bir miknatısa hall sensörü ve Lakeshore Gaussmetre aynı uzaklıkta ve aynı konumda yaklaştırılmıştır. Lakeshore Gaussmetrede ölçülen her gauss değeri için Hall sensörünün çıkış gerilim değeri ölçülerek kaydedilmiştir. Bu değerlere göre ölçeklendirme yapılmıştır. Tablo 1'de tasarlanan gaussmetre ile referans gaussmetrenin ölçüm sonuçları gösterilmiştir.

Tablo 1. Gaussmetrelerin ölçüm değerleri

Tasarlanan Gaussmetre Ölçüm Değerleri(G)	Referans Gaussmetre Ölçüm Değerleri(G)
1000	1002
650	651
500	503
250	252
0	0
-250	-248
-500	-497
-650	-642
-1000	-999



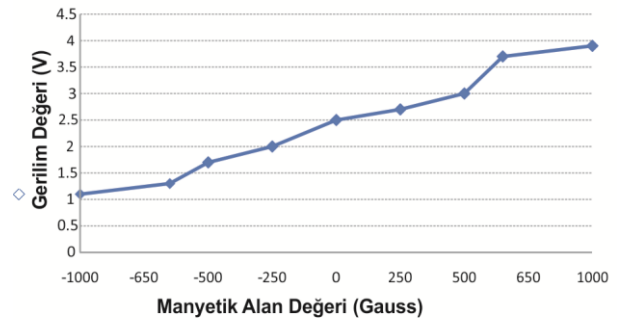
Şekil 5. Sensörün manyetik alana göre çıkış gerilimindeki değişim

ADC'nin seçimi ölçümlerin hassasiyeti açısından önemlidir. Dolayısıyla ADC (Analog Digital

Converter) seçilirken performansı dikkate alınmıştır. Devrede bir de mikroişlemci gerektiğinden, içinde 10 bit ADC bulunduran PIC16F877 mikroişlemcisi seçilmiştir. Bundan sonra mikroişlemcinin yazılım kısmı gelmektedir. PIC16F877'nin programlanması değişik programlama dilleri ile yapılabilmektedir. Bu durum bir avantaj olarak düşünülebilir. Assembly, BASIC ve C dilleri kullanılarak mikroişlemci programlanabilmektedir. Bu çalışmada, assembly ve BASIC dillerine göre daha kısa kodlar kullanılarak yazılabilesinden dolayı C programlama dili kullanılmıştır.

### 3. Sonuçlar ve Tartışma

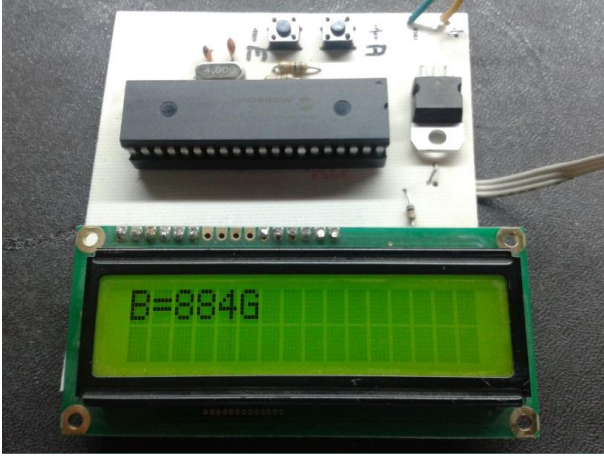
Bu çalışmanın sonunda, maliyeti yüksek olmayan, kullanışlı ve hassas ölçümler yapabilen bir Gaussmetre tasarlanmıştır. Bir tek 9 V 'luk pille çalışması devrenin avantajlarından birisidir. Piyasada ticari amaçla yapılan Hall Effect taşınabilir gaussmetreler bulunmaktadır. Ölçüm aralıkları bu çalışmada tasarlanan gaussmetreden daha geniştir. Fakat +1000 G (0.1 T) ile -1000 G (-0.1 T) arasında ölçüm yapılacaksa geliştirilen bu gaussmetrenin kullanılması daha ekonomik olacaktır. Çünkü piyasadaki gaussmetre fiyatları ile bu çalışmada yapılan gaussmetrenin maliyet fiyatı karşılaştırıldığında aralarında çok büyük fark olduğu görülmektedir. -1000 Gauss ile +1000 Gauss arasında çok düşük bir sapma oranıyla ölçümler kaydedilebilmiştir. Hall Effect Sensöründen elde edilen çıkış ve LCD ekranda okunan bazı manyetik alan değerleri Şekil 6'da gösterilmektedir. Şekil 6'da dikey eksen sensör çıkış gerilimlerini yatay eksen ise bu gerilim değerlerine karşılık gelen manyetik alan değerlerini vermektedir.



Şekil 6. Hall Effect Sensör Çıkış Eğrisi

Şekil 7’de gausmetre devresinin görünüşü verilmiştir.

Daha yüksek çözünürlükte ADC ve daha hassas sensör kullanılarak ölçüm hassasiyeti artırılabilir.



Şekil 7. Gausmetre devresinin görünüşü

## Kaynaklar

- Seely, E.S., 1997. Magnet Measuring for The User. *Electrical Manufacturing & Coil Winding Conference*, 437-440.
- Murphy, J., 1999. Gaussmeter Application. *Electrical Insulation Conference and Electrical Manufacturing & Coil Winding Conference, Proceedings of IEEE*, 573-576, 26-28.
- Blagojevic, M., De Venuto, D. and Kayal, M., 2004. SOI Hall sensor based solid state meter for power and energy measurements. *Proceedings of IEEE*, Vol.2, 1040-1043.
- Logofatu, M., Munteanu, I, Logofatu, B. and Lazarescu, M.F., 1997. Magnetic Field Sensor With Linear Response. *Sensor and Actuators A:Physical*, Vol.9., 149-152.
- Leroy, P., Christophe, C., Roux, A. F. And Chanteur, M. G., 2006. High Magnetic Field Amplification for Improving the Sensitivity of Hall Sensors. *IEEE Sensors Journal*, Vol 6, No. 3, 707-713.
- Qasimi, A, Dolabdjian, C., Bloyet, D. and Mosser, V., 2004. Improvement of the  $\mu$ -Hall Magnetic Sensor Sensitivity at Low Frequency. *IEEE Sensors Journal*, Vol 4, No. 1, 160-166.

- Randjelovic, Z., Pauchard, A., Haddab, Y. and Popovic, R. S., 1999. A Non-Plate Hall Sensor. *Sensor and Actuators A:Physical*, Vol.76, 149-152.
- Popovic, R.S., 1991. Hall Effect Devices. Adam Hilger, Bristol.
- Popovic, R.S., Schott, C., Shibasaki, I., Biard, J.M. and Foster, R.B., 2001. Hall-effect magnetic sensors. *Magnetic Sensors and Magnetometers*. Norwell, MA: Artech House.
- Morvic, M. and Betko J., 2005. Planar Hall effect in Hall sensors made from InP/InGaAs heterostructure. *Sensor and Actuators A:Physical*, Vol. 120, 130-133.
- Goldberg, C. and Davis, R.E., 1954. New Galvanomagnetic Effect. *Phys. Rev*, 94, 1121-1125.
- Schott, Ch., Besse, P.A. and Popovic, R.S., 2000. Planar Hall Effect in The Vertical Hall Sensor. *Sensor and Actuators A:Physical*, Vol.85, 111–115.
- Badaroglu, M., Decabooter, G., Laulanet, F. and Charlier, O., 2008. Calibration of Integrated CMOS Hall Sensors Using Coil-on-Chip in ATE Environment. *Design, Automation and Test in Europe*, 873-878, 10-14.
- Ramsden, E., 2006. Hall-Effect Sensors. Hardbound, 272.