

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HALL ETKİ SENSÖRÜ KULLANARAK, DÜŞÜK DEĞERLİ
MANYETİK ALANLARI ÖLÇEN TELEMETRİK SİSTEM
TASARIMI**

Orhan ARMAĞAN

Danışman: Prof. Dr. Mustafa MERDAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRONİK VE HABERLEŞME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA – 2012**

TEZ ONAYI

Orhan ARMAĞAN tarafından hazırlanan “**Hall Etki Sensörü Kullanarak, Düşük Değerli Manyetik Alanları Ölçen Telemetrik Sistem Tasarımı**” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Süleyman Demirel Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Mustafa MERDAN
Süleyman Demirel Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği A.B.D

Jüri Üyeleri : Yrd. Doç. Dr. Mesud KAHRİMAN
Süleyman Demirel Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği A.B.D

Jüri Üyeleri : Yrd. Doç. Dr. Mehmet UZUNKAVAK
Süleyman Demirel Üniversitesi Elektrik Eğitimi A.B.D.

Prof. Dr. Mehmet Cengiz KAYACAN
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Elektromanyetik Alanın Temelleri	4
1.1.1. Elektrik alan	8
1.1.2. Manyetik alan	10
1.1.3. Maxwell denklemleri	12
1.1.3.1. Faraday'ın indüksiyon kanunu	13
1.1.3.2. Ampere kanunu	13
1.1.3.3. Elektrik alanlar için gauss kanunu	14
1.1.3.4. Manyetik alanlar için gauss kanunu	14
1.1.4. Sınır koşulları	15
1.1.5. Elektromanyetik büyüklükler ve birimler	17
1.2. Manyetik Alan Ölçümleri	18
1.2.1. Düşük alan vektörel manyetometreler	20
1.2.1.1. İndüksiyon bobini manyetometre	20
1.2.1.2. Manyetik alan dedektörlü (fluxgate) manyetometre.....	22
1.2.1.3. SQUID manyetometre.....	25
1.2.2. Yüksek alan vektörel gaussmetreler.....	27
1.2.2.1. Hall etkili gaussmetre	27
1.2.2.2. Manyetik dirençli gausmetre.....	30
1.2.3. Skaler manyetik alan ölçerler.....	33
1.2.3.1. Proton presesyonlu manyetometre.....	35
1.2.3.2. Optik pompalanır manyetometre.....	37
1.3. Elektromanyetik Alanların Sağlık Üzerine Etkileri	39
1.4. Elektromanyetik Alan Maruz Kalma Limitleri	43
2. KAYNAK ÖZETLERİ	49
3. MATERYAL VE YÖNTEM	54

3.1. Materyal	54
3.1.1. Verici Devresi	54
3.1.1.1. UGN 3503 hall etki sensörü	54
3.1.1.2. LM7805 gerilim düzenleyici	56
3.1.1.3. PIC 12F675 mikrodenetleyicisi	56
3.1.1.4. ATX 34S verici	57
3.1.1.5. LM741 Op-Amp'ın yapısı ve özellikleri	58
3.1.2. Alıcı devresi	60
3.1.2.1. PIC 16F877 mikrodenetleyicisi	60
3.1.2.2. ARX 34C RF alıcı modül	61
3.1.2.3. LM741 Op-Amp'ın yapısı ve özellikleri	62
3.1.2.4. 2 x 16 LCD	62
3.1.3. Test için kullanılan ölçü aleti	65
3.2. Yöntem	65
3.2.1. Hall Etkisi	65
3.2.1.1. Yarı iletkenlerde hall etkisi	68
3.2.2. Akım Geçen Düz Telin Etrafındaki Manyetik Alan	69
3.2.3. RF ile Telemetrik Manyetik Alan Ölçümü	70
3.2.4. Kablosuz iletişim	70
3.2.5. Sayısal İletişim Teknikleri	71
3.2.5.1. Genlik kaydırmalı anahtarlama	73
3.2.5.2. Frekans kaydırmalı anahtarlama	74
3.2.5.3. Faz kaydırmalı anahtarlama	77
3.2.5.4. İkili faz kaydırmalı anahtarlama	78
3.2.5.5. Dörtlü Faz kaydırmalı anahtarlama	79
3.2.6. Analog sayısal dönüştürücü	81
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	83
4.1. Ölçüm Değerleri	85
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	90
6. KAYNAKLAR	92
EKLER	96
ÖZGEÇMİŞ	102

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

HALL ETKİ SENSÖRÜ KULLANARAK, DÜŞÜK DEĞERLİ MANYETİK ALANLARI ÖLÇEN TELEMETRİK SİSTEM TASARIMI

Orhan ARMAĞAN

**Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Prof. Dr. Mustafa MERDAN

Bu tez çalışmasında, ilk bölümde elektromanyetik alanların insan sağlığı üzerine etkileri ve bu konudaki çalışmalara değinilerek Elektromanyetiğin temelleri anlatılmıştır. Daha sonra manyetik alan ölçüm sistemleri hakkında bilgiler verilerek kısaca skaler ve vektörel ölçü aletlerinden bahsedilmiştir.

İkinci bölümde daha önce yapılmış çalışmalara ve kullanılan kaynak özetlerine yer verilmiştir.

Üçüncü bölümde ise tasarlanmış olduğumuz devre için kullanılan yöntemler ve devre elemanları tanıtılmış, ölçüm sistemimizde bulunan alıcı ve verici devrelerin şemaları gösterilmiştir. Tasarladığımız ölçüm sistemi dört verici devresi ve bir alıcı devresinden oluşmaktadır. Dört farklı noktadaki elektrik iletkenlerinde var olan akımlarla orantılı manyetik alan değerlerini algılayıp kablosuz olarak bu değerleri bir alıcıya gönderen kısım verici devreleridir. Bu değerleri kablosuz olarak alıp LCD ekranda gösterilmesini sağlayan kısım da alıcı devresidir.

Dördüncü bölümde de farklı değerlerdeki ölçüm sonuçları tablolar halinde verilmiş ve sonuçların değerlendirmeleri yapılmıştır.

İnsanlar yaşadıkları ortamdaki manyetik alan değerlerini gördüklerinde manyetik alanların zararlarından korunmak için gerekli önlemleri almakta daha duyarlı olabilecekleri düşünülmüştür. Bu nedenle böyle düşük maliyetli bir manyetik alan ölçer cihazı tasarlamaya ihtiyaç duyulmuştur.

Anahtar Kelimeler: elektromanyetik, manyetik alan, ölçme, Gausmetre, manyetik alan ölçer, manyetometre, hall etkisi.

2012, 102 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

THE DESIGN OF TELEMETRIC SYSTEM THAT MEASURES LOW-VALUE MAGNETIC FIELDS, USING HALL EFFECT SENSOR

Orhan ARMAĞAN

**Süleyman Demirel University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Electronic and Communication Engineering**

Supervisor: Prof. Dr. Mustafa MERDAN

In this study, in the first chapter, the effects of electromagnetic fields on human health and being referred to the studies carried out on this subject-matter, the basics of electromagnetics have been discussed. And then, the systems of magnetic fields having been explained, scales and vectoral measuring instruments have been dealt with.

In the second chapter, the studies carried out previously and resource abstracts used have been referred to.

In the third chapter, the methods applied to the circuit that was designed and the elements of circuits have been introduced, and the charts of the circuits of the receiver and transmitters in our measurement system. The measuring system designed is made up of four circuits of transmitter and is composed of one circuit of receiver. Those that sense the values of the magnetic fields proportional to the currents existing in the electric conductors in four different points are transmitting circuits. The one that senses those values wirelessly and allows them to be seen on the LCD screen is the circuit of receiver.

In the fourth chapter, the results of the measuring in different values have been given in tables and the results having been valued, the precautions that can be taken have been pointed out.

It has been considered that when people see the values of the magnetic field in the places where they live, they may be more sensitive about the precautions that can be taken to avoid the harms of the magnetic fields. Therefore, it has been necessary that such a low-cost measuring instrument of magnetic field should be designed.

Key Words: electromagnetic, magnetic field, measurement, gaussmeter, magnetic field meter, magnetometer, hall effect.

2012, 102 pages

TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübeleri ile aşmamda yardımcı olan, desteğini esirgemeyen değerli danışman hocam Prof. Dr. Mustafa MERDAN'a teőekkürlerimi sunarım.

Çalışmam boyunca çekinmeden sorularımı yöneltebildiğim, fikirlerinden ve tecrübelerinden yararlandığım değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Mesud KAHRİMAN'a çok teşekkür ederim.

Umutsuzluğa düştüğüm anlarda bana daima moral veren, destek olan değerli eşime de sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Orhan ARMAĞAN
ISPARTA, 2012

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Frekans ve dalga boyu	5
Şekil 1.2. Çubuk mıknatısın ürettiği manyetik alan	6
Şekil 1.3. Elektrik akımları tarafından üretilen manyetik alanlar	8
Şekil 1.4. I akımının oluşturduğu manyetik alan	11
Şekil 1.5. Ortam 1 ve ortam 2 arasındaki sınır	16
Şekil 1.6. iki telli bir iletim hattı çevresindeki elektromanyetik alan dağılımı	16
Şekil 1.7. Manyetik alan sensörlerinin kategorileri	19
Şekil 1.8. (a) Hava çekirdekli loop anten (b) ferromanyetik çekirdekli indüksiyon bobini	21
Şekil 1.9. İndüksiyon bobini eşdeğer devresi	22
Şekil 1.10. Schonstedt'de (a) halka çekirdek ve (b) fluxgate sensörleri	23
Şekil 1.11. Fluxgate manyetometresi ve dalga şekilleri	25
Şekil 1.12. Tipik alan geri beslemeli fluxgate manyetometresi	25
Şekil 1.13. (a) Josephson birleşimi ve (b) Akım (I) - Gerilim (V) eğrisi	26
Şekil 1.14. Geniş dinamik aralıklı dc SQUID manyetometre	27
Şekil 1.15. Hall etki sensörü	28
Şekil 1.16. Hall etkili gausmetre yapısının örneği	30
Şekil 1.17. Ferromanyetik malzemede direnç değişimi	31
Şekil 1.18. Bir AMR direnç elemanı ve vektör yönleri	31
Şekil 1.19. Magneto-resistor yapısı ve yakından görünüşü	33
Şekil 1.20. AMR köprü sensörü	33
Şekil 1.21. Örnek AMR(Anizotropik Magnetik Resistor) Gausmetre	35
Şekil 1.22. Nükleer presesyon	36
Şekil 1.23. Tipik proton presesyonlu manyetometre	37
Şekil 1.24. Rb-85 enerji diyagramı	38
Şekil 3.1. Hall etkisi sensörünü de içeren verici devresi şeması(4 adet)	54
Şekil 3.2. UGN3503 Sensörünün görünüşü	55
Şekil 3.3. UGN-3503'ün yazılı tarafından pin görünüşü(Datasheetarchive, 2002)..	55
Şekil 3.4. UGN-3503 (Lineer Hall Sensörü) Fonksiyonel Blok diyagramı	55
Şekil 3.5. LM7805 5V DC gerilim düzenleyicisi	56
Şekil 3.6. PIC 12F675'in pin görünüşü (Microchip, 2007)	57
Şekil 3.7. PIC 12F675'in genel görüşünü	57
Şekil 3.8. ATX 34 verici şekli (Udea Elektronik, 2010)	58
Şekil 3.9. Temel OP-AMP Sembolü ve lm741'in pin bağlantıları	58
Şekil 3.10. Alıcı Kontrol Devresi Şeması	60

Şekil 3.11. PIC 16F877 Bacak bağlantı yapısı	61
Şekil 3.12. ARX-34C RF Alıcının görünüşü	62
Şekil 3.13. LCD genel görünümü	63
Şekil 3.14. Proteus programında bacak bağlantıları	63
Şekil 3.15. LCD arka görüntüsü	63
Şekil 3.16. Test ölçümleri için kullanılan manyetik alan ölçer cihazı	65
Şekil 3.17. Hall etkisi	66
Şekil 3.18. Hall etkisindeki yarıiletken	67
Şekil 3.19. İletken bir levhadaki Hall etkisi.....	67
Şekil 3.20. Hall etkisindeki levha üzerindeki hall gerilimi	68
Şekil 3.21. Alan çizgilerinin sembolik gösterimi	69
Şekil 3.22. Akım geçen düz telin etrafındaki manyetik alanın yönü ve sağ el kuralı..	69
Şekil 3.23. Sayısal iletişim sistemleri; (a) sayısal iletim; (b) sayısal radyo	72
Şekil 3.24. Sayısal iletişim sistemleri	72
Şekil 3.25. ASK' nın modüle edilmiş dalga biçimleri	73
Şekil 3.26. ASK modülatör	73
Şekil 3.27. ASK' nın eşzamansız demodülasyonu	74
Şekil 3.28. Frekans kaydırmalı anahtarlama	74
Şekil 3.29. İkili FSK verici	75
Şekil 3.30. FKD- FSK demodülatör	76
Şekil 3.31. PSK modülatör blok diyagramı	77
Şekil 3.32. PSK demodülatör blok diyagramı	78
Şekil 3.33. BPSK modülatör blok diyagramı	79
Şekil 3.34. QPSK modulator blok diyagramı	80
Şekil 3.35. QPSK alıcı blok diyagramı	81
Şekil 4.1. Verici Devresi	83
Şekil 4.2. Alıcı Devresi	84
Şekil 4.3. Dört kanal ile alınan ölçüm düzeneği görünümü	85
Şekil 4.4. Dört kanal ile alınan ölçüm düzeneği görünümü	85
Şekil 4.5. Akım geçen telin sensör üzerindeki görünüşü	86
Şekil 4.6. Kablolu iletişim yapılırken ölçüm düzeneğinin görünüşü	87
Şekil 4.7. Kablosuz verici takılı iken alınan ölçüm örneği	87
Şekil 4.8. Soyulmuş zil teli ile ölçüm görünüşü	88

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 1.1. EM spektrum ve uygulama alanları	5
Çizelge 1.2. Manyetik Alan Birimlerinin CGS'den SI'ya dönüştürme Faktörleri	8
Çizelge 1.3. Bazı yaygın materyallerin 100MHz'deki bağıl dielektrik sabitleri ..	9
Çizelge 1.4. Bazı yaygın materyallerin oda sıcaklığındaki iletkenlikleri	10
Çizelge 1.5. Bazı yaygın materyallerin bağıl geçirgenlikleri	11
Çizelge 1.6. Cihazların alan şiddeti karakteristikleri	19
Çizelge 1.7. Uyarıcı ışığın geçiş polarizasyonu ve m'deki izin verilen değişiklik	37
Çizelge 1.8. Alkali buharları için örnek ölçek katsayıları	38
Çizelge 1.9. Elektrik ve manyetik alana maruz kalma limiti	45
Çizelge 3.1. ATX – 34S Pin Özellikleri	57
Çizelge 3.2. ARX – 34C Pin Özellikleri	62
Çizelge 3.3. Manyetik alan ölçer cihazının temel özellikleri	65
Çizelge 4.1. 100mA aralıklarla 1A'e kadar okunan değerler	86
Çizelge 4.2. Kablosuz verici devreden söküldüğünde alınan ölçüm sonuçları ...	87
Çizelge 4.3. Kablosuz verici takılı iken alınan ölçüm sonuçları(0,1A aralıklarla)	88
Çizelge 4.4. Kablosuz verici takılı iken alınan ölçüm sonuçları(0,5A aralıklarla)	88
Çizelge 4.5. Zil telinin soyulmuş haliyle kablosuz alınan ölçüm sonuçları	89
Çizelge 4.6. Profesyonel ölçü aleti ile yapılan ölçümler	89

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AC	Alternative Current
ADC	Analog Digital Converter
AF	Alçak Frekanslı
AMR	Anisotropic Magnetic Resistor
ASK	Genlik Kaydırmalı Anahtarlama
BPSK	İkili Faz Kaydırmalı Anahtarlama
CDMA	Code Division Multiple Access
CGS	Santimetre-Gram-Saniye Ölçü Sistemi
EEG	Elektroensefalografi
EKG	Elektrokardiyografi
EEPROM	Electrical Erasable Programmable Read Only Memory
ELF	Çok Alçak Frekans Alanı
EM	Elektromanyetik
EMA	Elektro Manyetik Alan
EMC	Elektromanyetik Uyumluluk
EMDR	Eye Movement Desensitization and Reprocessing
FSK	Frekans Kaydırmalı Anahtarlama
GSM	Global System for Mobile Communications
I / O	Input / Output
IARC	Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı
ICNIRP	International Committee on Non-Ionising Radiation Protection
IRPA	Uluslararası Radyasyon Korunma Kurumu
LCD	Liquid Crystal Display
MCS	Microchip Computer Solutions
NIEHS	National Institute of Environmental Health Sciences
PCS	Personel Communications Systems
PSK	Faz Kaydırmalı Anahtarlama
PIC	Peripheral Interface Controller
QPSK	Dört Faz Kaydırmalı Anahtarlama
RF	Radyo Frekans

SAR	Özgöl Soğurma Oranı
SI	Uluslararası Birimler Sistemi
SQUID	Superconducting Quantum Interference Device
TDMA	Time Division Multiple Access
WHO	Dünya Sağlık Örgütü

1. GİRİŞ

Elektromanyetik (EM) alanlar birçok doğal ya da insan yapımı kaynak tarafından yayılmaktadır. Radyo Frekans (RF; 10kHz-300GHz) bölgesinde yer alan elektromanyetik dalgalar iletişimde, cep telefonlarında, baz istasyonlarında, radyo ve televizyon yayınlarında v.s. kullanılmaktadır. Oldukça Düşük Frekans (ELF; 0-300 Hz) bölgesi ise trafo, yüksek gerilim hatları, ev ve iş yerlerinde kullanılan ve elektrikle beslenen sistemler tarafından üretilmektedir. Teknolojideki gelişmelerin sonucu olarak elektromanyetik dalgaların kullanımı her geçen gün artmakta ve günlük yaşamda doğada bulunanın çok üstündeki seviyelerde elektromanyetik dalgalara maruz kalınmaktadır. Son yıllarda yaygın olarak kullanılmaya başlanan cep telefonları, baz istasyonları ve kablosuz iletişim kaynaklı elektromanyetik alanların insan sağlığına etkileri konusunda kamuoyunun duyarlılığı artmaktadır. Gazi Üniversitesi Biyofizik Anabilim Dalı 25 yılı aşkın süredir EM alanların sağlık ve biyolojik etkilerini araştırmaktadır (Seyhan, 2010).

Endüstrileşme, teknoloji ve bilimin gelişimiyle hayatımıza yoğun bir şekilde giren ve son yıllarda trafik ve askeri alanlarda kullanılan radarların, mikrodalga fırınların, telsiz iletişim sistemlerinin, baz istasyonlarının, özel TV ve radyoların, cep telefonlarının artmasıyla daha yoğun olarak maruz kaldığımız Radyo Frekans (RF; 10kHz-300GHz) radyasyon kaynaklarını aynı zamanda tedavi amaçlı diatermi ve MRI üniteleri gibi medikal sistemlerde de kullanmaktayız. Oldukça düşük frekanslı (ELF-Extremely Low Frequency; 0-300Hz) alanlar ise evlerde ve ofislerde kullandığımız elektrikli cihazlar, trafolar ve Yüksek Gerilim Hatları (YGH) ile giderek artan oranda yaşamımızda yerini yoğun biçimde almaktadır. Akım taşıyan kablolar, ev ve iş yerinde kullanılan elektrikli aletler, TV ve bilgisayarlar, TV ve radyo antenleri, uydu antenleri ve verici antenler, saç kurutma makinesi, elektrikli tıraş makinesi, kablosuz telefon ve internet, elektrikli ısıtıcı, çamaşır makinesi, buzdolabı, vs her birinin etrafında Elektromanyetik (EM) alan vardır. Askeri radarlar, trafik ve hava durumu kontrol radarları, dielektrik ısıtıcı ve yapıştırıcılar, eritme fırınları, kaynak işlemleri, haberleşme antenleri, elektrikli trenler, mikrodalga linkler, havaalanı haberleşme sistemleri, TV ve Radyo Yayın ve Montaj Odaları, Yoğun Bakım Üniteleri de birer elektromanyetik alan kaynağı olarak sıralanabilir.

Elektrikle çalışan ev aletlerinde kullandığımız EM dalga saniyede 50-60 defa ($f=50$ Hz) titreşir. Güneş ışığı da bir EM dalgadır/enerjidir ve saniyede 10^{12} defa titreşim (10^{12} Hz) yapar. Röntgende kullanılan X- ışını saniyede 10^{18} defa, kanser tedavisinde kanserli dokuyu yok etmekte kullandığımız γ ışını 10^{22} defa titreşim yapar. Vücudumuz, besinleri yakmakla oluşan isinin %60'ini, vücut sıcaklığını 37°C sabit tutmak için IR radyasyonla etrafa verir. Canlılığımız devam ettikçe bizler 10^{12}Hz 'den daha az titreşimli IR (Infrared, Kızılötesi) EM radyasyon yapmaya devam ederiz (Polk and Postow, 1996).

Normal havada atmosferin Elektrik (E) alanı $120\text{-}150\text{V/m}$ iken, şimşekli havalarda bu değer $100\text{-}200$ kati artarak 10.000V/m 'ye çıkabilmektedir. Yerkürenin DC geomanyetik alanı ortalama $50\mu\text{T}$, AC alanı ise $(3\text{-}10)\text{nT}$ mertebesindedir. Vücudumuzun DC manyetik alanları; zedeli kalp kasında 30pT , abdominal bölgede 100pT , ciğerlerimizdeki magnetit/asbestos'dan kaynaklanan manyetik alan 3nT büyüklüğündedir. AC manyetik alanları ise; beyin dalgaları spontan aktivitede ($0,1\text{-}20\text{Hz}$) 1pT , uyarılmış durumda ($0\text{-}100\text{Hz}$) $0,1\text{pT}$; gözün manyetik alanı ($0\text{-}10\text{Hz}$) 10pT ; kalp kası manyetik alanı ($0\text{-}40\text{Hz}$) 200pT , iskelet kası manyetik alanı ise ($1\text{-}100\text{Hz}$) 10pT şiddetindedir. Bu değerlerden vücut manyetik alanının $100\text{pT}\text{-}0,1\text{pT}$ arasında değiştiği görülmektedir. Geomanyetik alan büyüklüğü ile karşılaştırıldığında vücut manyetik alanlarının yerkürenin doğal manyetik alanı ile uyumlu olduğu görülmektedir. Böyle bir ortamda yaşayan insan için çevre doğal alanları teknolojik gelişme ile bozulmuştur. Teknolojinin bize sunduğu yaşamımızı kolaylaştıran tüm aletler (cep telefonu, bilgisayar, televizyon, elektrikli ev aletleri, uydu antenler, kablolu ve kablosuz tüm iletişim sistemleri v.s.) bu uyumu bozmaktadır. Çünkü bu aletlerin EM alanları, insan vücudundaki EM alanlardan ve doğal çevre alanlarından çok daha fazladır. Örneğin, günlük hayatta ev ve işyerlerinde kullandığımız buzdolabı, bulaşık makinesi, kurutma makinesi, TV, bilgisayar, elektrikli ısıtıcı, ütü, mikser, mutfak robotu, flüoresan lamba, elektrikli tıraş makinesi, saç kurutma makinesi, elektrikli battaniye gibi aletlerin manyetik alanları $0,1\mu\text{T}\text{-}2,5\text{mT}$ arasında değişmektedir. Renkli TV ve Bilgisayar monitörünün manyetik alanı $0,1\text{-}0,5\text{mT}$ arasındadır. Halbuki vücut manyetik alanları en fazla 100pT mertebesindedir (Polk and Postow, 1996).

David ve arkadaşlarının yazdığı makalede biyolojik sistemler üzerinde tehlikeli etkileri olabilecek pertürbatif alanlar ölçümleri için uygun, bir izotropik yön karakteristiği olan bir manyetik alan ölçeri tasarlanmıştır. 40 Hz ile 100 kHz den fazla frekans aralığına ve büyük bir hassasiyete sahip olan cihaz biyolojik dokular üzerinde tehlikeli etkileri olabilecek pertürbatif alanların ölçümü için tavsiye edilir (David at al.,1996).

Elektromanyetik uyumluluk (EMC) ve diğer uygulamalar için Statik ve zamanla değişen manyetik alanları ölçebilen, düşük maliyetli, taşınabilir ve kullanımı kolay cihaz tasarımı ve geliştirilmesi Satav ve Agarwal'in yazdığı makalede sunulmaktadır. Kullanılan temel sensör bir Hall-etkili elemanıdır. Cihaz, %0.5 'lik bir doğruluk ve 30 kHz'lik geniş bir bant genişliğine sahiptir. Alan ölçerin çözünürlüğü 12.5mG'dir ve jeomanyetik alan gibi küçük alanlarda doğru ölçüm sağlar. Bir grafik kullanıcı arayüzü (GUI) bilgisayar arayüzü ve veri sunumu için geliştirilmiştir. Tasarımı doğrulamak için Helmholtz bobini ve Sıfır Gauss odası kullanılmaktadır. Önerilen ölçer düşük maliyetli ve doğru olmanın yanı sıra, daha düşük bir parça sayısına sahiptir ve basit bir tasarım ve üretim süreci içerir (Satav and Agarwal, 2009).

Tüm çalışmalardan manyetik alanların insan vücudu üzerine etkilerinin olduğu açıktır. Bu yüzden çalışma ve yaşam ortamlarında oluşan manyetik alan değerlerinin bilinmesi oldukça önemlidir. Bu değerleri ölçmeye yarayan cihazlara gauss metre, manyetometre ya da manyetik alan ölçer cihazı denilmektedir. Bu cihazlar profesyonel olup hem fiyatları oldukça yüksektir hem de kullanımı karmaşıktır. Bu yüzden düşük maliyetli ve kullanımı kolay cihazlara ihtiyaç olduğu aşikârdır. Bu yüzden bu çalışmamızda düşük maliyetli ve sadece yerleştirildikleri noktalardaki manyetik alan değerlerini gösterecek ve gösterilen değerlerin de standartlara göre düşük, orta ve yüksek şeklinde değer uyarımı yapacak bir devre tasarlamak düşünülmüştür. Bu düşünceyle başlanan çalışmada sadece bir noktanın değil birkaç noktanın manyetik alanını ölçebilecek ve kablosuz olarak bir merkezde tüm değerleri göstermesinin daha kullanışlı olacağı kanaatine varılmıştır. Bu amaçla başlanan çalışmada ilk olarak DC akımın oluşturduğu manyetik alanla orantılı değerleri gösterecek devre tasarımı yapılmıştır.

Tüm bu bahsedilen durumlar yaşam alanlarındaki manyetik alanların değerlerinin bilinmesinin önemini ortaya koymaktadır. Bu yüzden manyetik alan değerlerini gösterecek bir sistem oluşturmanın öneminin büyük olduğu açıktır.

Bu çalışmada, yaşam alanlarında belli kritik noktalarda oluşan manyetik alanla orantılı değerleri belli bir merkezde sürekli gösterecek bir manyetik alan ölçer devresi tasarlanmıştır. Bu tasarımda dört farklı manyetik alan sensörü ile belirlenen dört noktanın manyetik alan değerleri ADC bulunduran birer mikro denetleyicilerle okunarak kablosuz vericiler aracılığıyla merkez bir noktada bulunan kablosuz alıcı modüle aktarılacaktır. Bu alıcı modüle gelen bilgiler yine alıcı devrede bulunan bir mikro denetleyici ile sırayla alınıp işlenen bilgiler mikro denetleyici çıkışından sırayla periyodik olarak bir LCD'ye gönderilmektedir. LCD'ye gelen bilgilerinde ekranda gösterilmesi düşünülmüştür.

1.1. Elektromanyetik Alanın Temelleri

EM dalgalar yelpazesine, radyo dalgaları ve optik dalgalar EM dalgalar sadece iki örnektir. Biz ışığı görebiliriz ama radyo dalgalarını göremeyiz. Bütün spektrum çok frekans bantlarında ayrılmıştır. Bazı radyo frekans bantları Çizelge 1.1'de listelenmiştir.

Dalgası hızı (v), basit bir denklemlerle f frekansına, ve λ dalga boyuna bağlıdır:

$$v = f \cdot \lambda \quad (1.1)$$

Işık hızının (bir EM dalga) boşlukta 3×10^8 m/s olduğu çok iyi bilinmektedir. Frekans yükseldikçe dalga boyu küçülür. Frekansların dalga boyuna nasıl bağlı olduğunun gösterimi Şekil 1.1'de verilmektedir. Burada frekans ve dalga boyunun her ikisi de logaritmik ölçekte çizilmiştir. Bunun avantajı, fonksiyonun çok büyük ölçek üzerinde bile nasıl değiştiğinin açıkça görülebilmesidir.

Çizelge 1.1. EM spektrum ve uygulama alanları

Frekans	Kısaltma	Dalga Boyu	Uygulamalar
3-30 kHz	VLF - Very Low Frequency	100-10 km	Navigasyon, sonar, faks
30-300 kHz	LF - Low Frequency	10-1km	Navigasyon
300 kHz-3 MHz	MF - Medium Frequency	1.000-100 m	AM yayınları
3-30 MHz	HF - High Frequency	100-10 m	Telefon, faks, CB, gemi iletişimleri
30-300 MHz	VHF - Very High Frequency	10-1 m	TV, FM yayınları
300 MHz-3 GHz	UHF - Ultra High Frequency	100-10 cm	TV, hareketli radar
3-30 GHz	SHF - Super High Frequency	10-1 cm	Radar, uydu, mikrodalga linkler
30-300 GHz	EHF - Extremely High Frq	10-1 mm	Radar, kablosuz iletişim

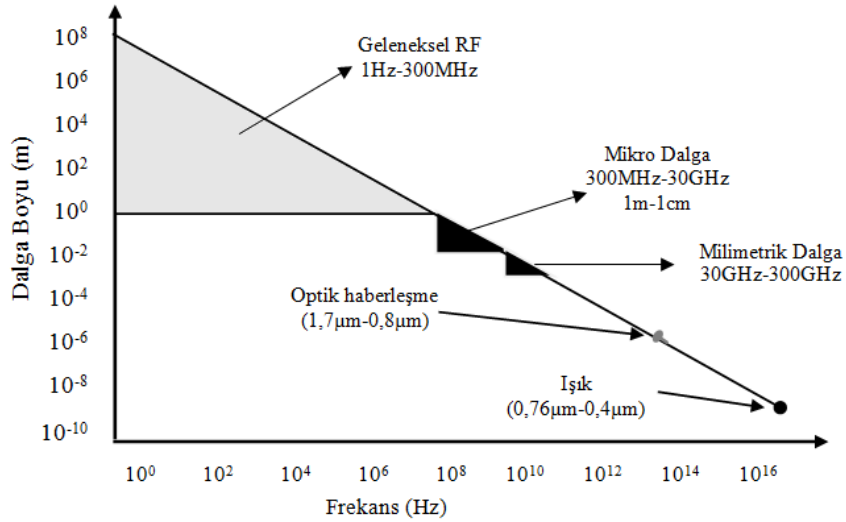
Logaritmik ölçekler RF düzenlemelerinde ve anten birliklerinde çok yaygın kullanılır. Çünkü sinyallerde büyüklük bakımından önemli değişikliklerle (çoğu durumda 1000 katın üzerinde) ilgilenilir. Sinyal gücü normalde dB ile ifade edilir ve şu şekilde tanımlanır;

$$P(\text{dBW}) = 10 \log_{10} \left(\frac{P(W)}{1W} \right) ; P(\text{dBm}) = 10 \log_{10} \left(\frac{P(W)}{1mW} \right) \quad (1.2)$$

Böylece, 100Watt çoğu durumda 20 dB, 20dBW olarak ifade edilir. 1 W 0dB veya 30dBm ve 0.5W -3dB veya 27 dBm'dir. Bu tanıma göre dB'de diğer parametreleri ifade edebiliriz. Örneğin, güç gerilime bağlı olduğu için ($P=V^2/R$; P, V² ile orantılıdır) V voltajının şu şekilde dBV'ye dönüştürülür,

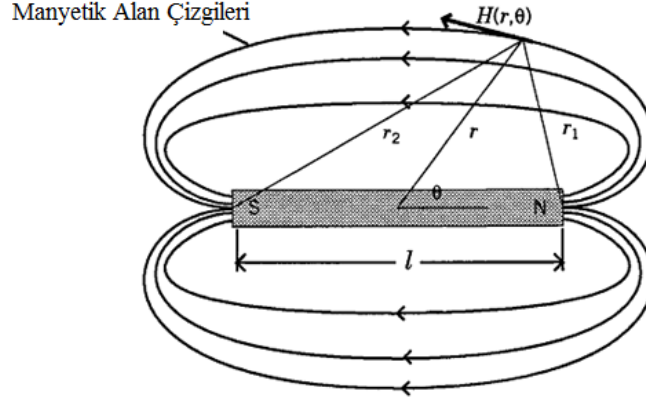
$$V(\text{dBV}) = 20 \log_{10} \left(\frac{V(V)}{1V} \right) \quad (1.3)$$

Örneğin, 3kV yaklaşık 70dBV ve 0,5V -6dBV'dir.



Şekil 1.1. Frekans ve dalga boyu

Manyetik alanların özelliklerinin anlaşılması, manyetik alan şiddetini ölçmek için kullanılan teknikleri anlamak için gereklidir. En çok bilinen manyetik alan kaynağı çubuk mıknatıstır. Ürettiği alan Şekil 1.2 'de gösterilmiştir. Manyetik alan vektörel bir büyüklüktür. Herhangi bir mesafede ölçülen, çubuk mıknatısın veya başka herhangi bir mıknatıslanmış nesnenin alanı, eşitlik (1.4) ile gösterilir:



Şekil 1.2. Çubuk mıknatısın ürettiği manyetik alan

$$\vec{H} = \frac{3(\vec{m} \times \hat{a}_r)\hat{a}_r - \vec{m}}{r^3} \quad (1.4)$$

Burada \hat{a}_r r boyunca bir birim vektör, r manyetik alan kaynağı ve ölçüm noktası arasındaki mesafe ve \vec{m} manyetik dipol momentidir. Bu denklem manyetik nesnelere tarafından üretilen alanı tahmin etmek için çok uygun bir denklemdir.

Bir nesnenin manyetik şiddeti ya da yoğunluğu, hacim dağılımlı momentlerinin yoğunluğuna bağlıdır. Bu yoğunluk, birim hacim başına moment olarak tanımlanan mıknatıslanma olarak adlandırılır ve M ile gösterilir:

$$\vec{M} = \frac{\vec{m}}{\text{Hacim}} \quad (1.5)$$

Manyetik alan gibi mıknatıslanma da vektörel bir büyüklüktür. Mıknatıslanma bir malzeme özelliğidir. Harici bir manyetik alan tarafından oluşturulabildiği gibi manyetik alan kaynaklardan da kaynaklanabilir (Macintyre, 1999).

Üçüncü bir manyetik vektör olan B, manyetik indüksiyon veya akı yoğunluğu diye adlandırılır. Boşlukta, manyetik alan ve manyetik indüksiyonun birbirine oranı sabit bir μ_0 faktörüdür.

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H} \quad (1.6)$$

Eşitlik 1.7, manyetik alan, manyetik indüksiyonun ve mıknatıslanma vektörleri arasındaki ilişki:

$$\vec{B} = \mu_0 (\vec{H} + \vec{M}) \quad (1.7)$$

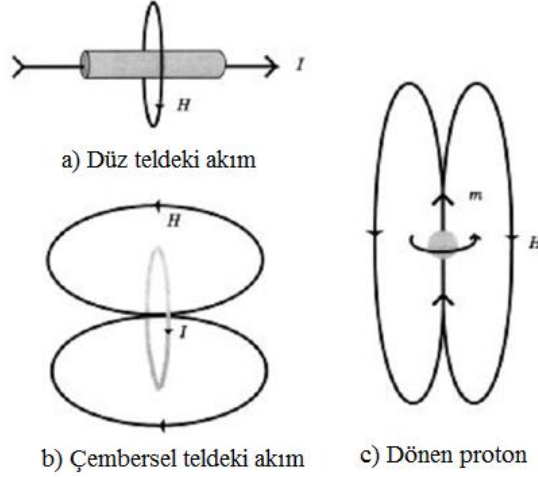
Bu durumda, manyetik indüksiyon ve manyetik alan vektörlerinin aynı yöne sahip olması zorunlu değildir. Bazı malzemeler, anizotropik manyetik özelliklere sahiptir. Bu özellik, iki vektörün farklı yönlere yönelmesine sebep olur. Mıknatıslanma vektörü, kalıcı ve indüklenmiş mıknatıslanma bileşenlerinden oluşabilir. Kalıcı mıknatıslanma vektörü, harici bir alanın varlığına bağlı değildir. İndüklenmiş mıknatıslanma vektörü, harici bir manyetik alana bağlıdır ve sadece indükleyici alan varken bulunur.

Elektrik ve manyetik alanlar arasında yakın bir ilişki vardır. Oersted, bir pusula yakınındaki üzerinden akım geçen bir telin, pusula iğnesinin dönmesine neden olduğunu keşfetmiştir. Böylece pusula ilk manyetik alan şiddeti sensörü olmuştur. Faraday, bir çevrimsel telin yakınında hareket eden bir mıknatısın, o telin uçlarında bir gerilim üretebileceğini bulmuştur. Bu indüksiyon veya sarım, bobin sensörüne temel oluşturmuştur.

Manyetik alanlar elektrik yükü akışı (yani elektrik akımı) tarafından üretilmektedir. Sonuç olarak, manyetik alan, hızlanma ile bölünmüş elektrik alanıdır (Lorentz dönüşümü sayesinde $\vec{E} = \vec{v} \times \vec{B}$). Düz bir tel, halka şeklinde bir tel, ya da bir solenoidten akan akım, Şekil-1.3'de gösterildiği gibi manyetik alan oluşturur.

Birimler, her zaman manyetik alanlarla ilgili bir problemdir. Gauss, CGS (santimetre, gram, saniye) birim sisteminde, uzun yıllardır tercih edilmektedir. Boşlukta $\mu_0 = 1$ olduğundan, manyetik alan ve akı yoğunluğu, havada aynı sayısal değere sahiptir ve bunların birimleri (akı yoğunluğu için gauss ve alan için oersted)

genellikle fark gözetilmeden birbiri yerine kullanılır. Bu büyük bir karışıklığa yol açmaktadır. CGS sistemi artık Uluslararası Birim Sisteminin (SI) yerini almıştır. SI sistemi temel birimler olarak, metre (m), kilogram (kg), saniye (s), amper (A) ve diğerlerini kullanır. Çizelge 1.2 iki birim sistemi arasındaki ilişkiyi özetlemektedir (Macintyre, 1999).



Şekil 1.3. Elektrik akımları tarafından üretilen manyetik alanlar

Çizelge 1.2. Manyetik Alan Birimlerinin CGS'den SI'ya dönüştürme Faktörleri

Tanım	Sembol	SI Birimi	CGS Birimi	Çarpan
Manyetik indüksiyon	B	Tesla	Gauss	10^4
Manyetik Alan Şiddeti	H	$A m^{-1}$	Oerstedt	$4\pi \cdot 10^{-3}$
Mıknatıslanma	M	$A m^{-1}$	$emu m^{-3}$	10^{-3}
Manyetik Dipol Moment	m	$A m^2$	emu	10^3
Manyetik Akı	Φ	Weber (Wb)	maxwell	10^8
Manyetik kutup şiddeti	ρ	$A m$	$emu m^{-1}$	
Boşluğun geçirgenliği	μ_0	$H m^{-1}$	$4\pi \cdot 10^{-7}$	1

1.1.1. Elektrik alan

Elektrik alan (V/m) birim yük başına kuvvet olarak tanımlanır. Bu tanım ve Coulomb yasasından, E elektrik alanı r mesafesindeki bir Q nokta yükü tarafından oluşturulur.

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{Q} = \frac{Q}{4\pi\epsilon r^2} \hat{r} \quad (V/m) \quad (1.8)$$

Burada

F, Coulomb yasası ile verilen elektrikselsel kuvvettir. ($F=q_1 \cdot q_2 / 4\pi \cdot \epsilon \cdot r^2 \cdot \hat{f}$);

\hat{f} ; hem E elektrik alan yönünde, hem de r yönünde bir birim vektördür.

ϵ , malzemenin elektrik geçirgenliği (aynı zamanda dielektrik sabiti olarak da adlandırılır, ancak normal olarak frekansın bir fonksiyonudur ve gerçekte bir sabit değildir)'dir. SI birim sisteminde Farad/m'dir. Boşlukta bu bir sabittir:

$$\epsilon_0 = 8.85419 \times 10^{-12} \text{ F/m} \quad (1.9)$$

Geçirgenliğin ve elektrik alanın ürünü olan, elektrik akı yoğunluğu olarak adlandırılan D, birim alandan geçen elektrik akı miktarının bir ölçüsüdür.

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E} = \epsilon_r \epsilon_0 \vec{E} \quad (\text{C/m}^2) \quad (1.10)$$

Burada $\epsilon_r = \epsilon/\epsilon_0$ bağıl geçirgenlik veya bağıl dielektrik sabitidir. Bazı yaygın malzemelerin bağıl geçirgenlikleri Çizelge 1.3'de listelenmiştir. Bunlar frekans ve sıcaklığa bağlı fonksiyonlardır. Normalde, radyo frekans bandında frekans daha yüksek, geçirgenlik daha küçüktür. Ayrıca hemen hemen tüm iletkenlerin bir bağıl geçirgenliğinin olduğunu belirtmek gerekir.

Çizelge 1.3. Bazı yaygın materyallerin 100MHz'deki bağıl dielektrik sabitleri

Malzeme	Bağıl dielektrik sabiti	Malzeme	Bağıl dielektrik sabiti
ABS-plastik	2,4 – 3,8	Polipropilen	2,2
Hava	1	Polivinil klorür (PVC)	3
Alüminyum oksit	9,8	Porselen	5,1 – 5,9
Alüminyum silikat	5,3 – 5,5	PTFE-Teflon	2,1
Balsa ağacı	1,37 (1 MHz)	PTFE-Seramik	10,2
	1,22 (3 GHz)	PTFE-Cam	2,1 - 2,55
Beton	~8	Kauçuk	3,0 – 4,0
Bakır	1	Safir	9,4
Elmas	5,5	Deniz suyu	80
Saf etil alkol	24,5 (1 MHz)	Silisyum	11,7 – 12,9
	6,5 (3 GHz)	Toprak	~10
GaAs	13	Toprak (kuru kumlu)	2,59 (1 MHz)
Cam	~4		2,55 (3 GHz)
Altın	1	Su (32 °F)	88
Buz (saf damıtık su)	4,15 (1 MHz)	(68 °F)	80,4
	3,2 (3 GHz)	(212 °F)	55,3
		Ağaç	~2

Sembolü D olan elektrik akı yoğunluğu, elektrik deplasmanı olarak da adlandırılan bir vektördür. İzotropik (yönden bağımsız özelliklerde olan) malzemede, D ve E aynı yöndedir ve ϵ skaler büyüklüktür. ϵ bir tensör ise, bir anizotropik malzemede D ve E farklı yönlerde olabilir.

Dielektrik bir karmaşık sayı ise, malzemenin kaybı olduğu anlamına gelir. Karmaşık geçirgenlik şu şekilde yazılabilir

$$\varepsilon = \varepsilon' - j\varepsilon'' \quad (1.11)$$

İmajiner kısmın reel kısma oranı kayıp tanjant diye adlandırılır, yani

$$\tan \delta = \frac{\varepsilon''}{\varepsilon'} \quad (1.12)$$

Birimi yoktur, aynı zamanda frekans ve sıcaklığın bir fonksiyonudur.

Ohm kanununda J akım yoğunluğu (A/m²), bir başka önemli parametre olan, E elektrik alanıyla ilişkilidir. Bunlar arasındaki ilişki şu şekilde ifade edilebilir

$$\vec{J} = \sigma \vec{E} \quad (1.13)$$

Burada σ , direncin tersi olan iletkenliktir. Maddenin elektriksel akım iletkenliği yeteneğinin bir ölçüsüdür ve S/m ile ifade edilir. Çizelge 1.4 yaygın kullanılan bazı materyallerin iletkenlikleri listelenmektedir.

Çizelge 1.4. Bazı yaygın materyallerin oda sıcaklığındaki iletkenlikleri

Malzeme	İletkenlik (S/m)	Malzeme	İletkenlik (S/m)
Gümüş	6,3x10 ⁷	Grafit	≈10 ⁵
Bakır	5,8x10 ⁷	Karbon	≈10 ⁴
Altın	4,1x10 ⁷	Silisyum	≈10 ³
Aliminyum	3,5x10 ⁷	Ferrit	≈10 ²
Tugsten	1,8x10 ⁷	Deniz suyu	≈5
Çinko	1,7x10 ⁷	Germanyum	≈2
Pirinç	1x10 ⁷	Islak toprak	≈1
Fosfor tuncu	1x10 ⁷	Hayvan kanı	0,7
Kalay	9x10 ⁶	Hayvan vücudu	0,3
Kurşun	5x10 ⁶	Tatlı su	≈10 ⁻²
Silisyum çeliği	2x10 ⁶	Kuru toprak	≈10 ⁻³
Paslanmaz çelik	1x10 ⁶	Damıtık su	≈10 ⁻⁴
Civa	1x10 ⁶	Cam	≈10 ⁻¹²
Dökme demir	≈10 ⁶	Hava	0

1.1.2. Manyetik alan

Yükler bir elektrik alan oluştururken, akımlar da manyetik alan oluştururlar. H(A/m) manyetik alanı, mıknatısların ya da elektrik akımlarının etrafında kapalı çevrim gösterimi vektör alanıdır. Bir I akım vektöründen manyetik alan, Biot-Savart yasasıyla şu şekilde verilir,

$$\vec{H} = \frac{I \times \hat{r}}{4\pi r^2} \text{ (A/m)} \quad (1.14)$$

Burada

\hat{r} , akım elemanından alan noktasına birim deplasman vektörüdür,

r , akım elemanından alan noktasına mesafedir.

I , \hat{r} ve H sağ el kuralına uyar, yani H , Şekil-1.2'de gösterildiği gibi hem I 'ya hem de \hat{r} 'ye diktir.

Elektrik alan gibi, manyetik alan da, elektrik yükü üzerine bir kuvvet uygular. Ancak bir elektrik alanının aksine, sadece hareketli yük üzerine bir kuvvet uygular ve kuvvetin yönü manyetik alan ve yük hızının her ikisine de diktir:

$$\vec{F} = Q\vec{v} \times \mu\vec{H} \quad (1.15)$$

burada

F , newton cinsinden kuvvet vektörü;

Q , Coulomb(C) biriminde elektrik yüküdür;

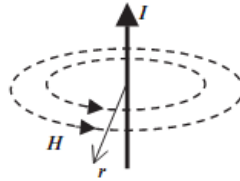
v , Q elektrik yükünün (m/s) biriminde hız vektörüdür;

μ , malzemenin manyetik geçirgenliğidir. Birimi metre başına Henry (H/m)'dir.

Boşlukta geçirgenlik

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m} \quad (1.16)$$

Eşitlik 1.15'de, Qv aslında I akım vektörü olarak düşünülebilir ve μH çarpanına, elektrik akı yoğunluğu karşılığı olan B manyetik akı yoğunluğu (Tesla) denilir.



Şekil 1.4. I akımının oluşturduğu manyetik alan

Çizelge 1.5. Bazı yaygın materyallerin bağıl geçirgenlikleri.

Malzeme	Bağıl geçirgenlik	Malzeme	Bağıl geçirgenlik
Süper alaşım	$\approx 1 \times 10^6$	Aliminyum	≈ 1
Aritılmış demir	$\approx 2 \times 10^5$	Hava	1
Silikon demir	$\approx 7 \times 10^3$	Su	≈ 1
Demir	$\approx 5 \times 10^3$	Bakır	≈ 1
Yumuşak çelik	$\approx 2 \times 10^3$	Kurşun	≈ 1
Nikel	600	Gümüş	≈ 1

Böylece

$$\vec{B} = \mu \vec{H} \quad (1.17)$$

Yine, izotropik bir malzemede (yönden bağımsız özellikte), B ve H aynı yöndedir ve μ skaler bir büyüklüktür. Anizotropik bir malzemede, B ve E farklı yönlerde olabilir ve μ bir tensordur.

Bağıl dielektrik sabiti gibi bağıl geçirgenlik aşağıdaki gibi verilebilir.

$$\mu_r = \mu/\mu_0 \quad (1.18)$$

Bazı malzemelerin bağıl geçirgenlikleri Çizelge 1.5'de verilmiştir. Geçirgenlik frekans veya sıcaklığına duyarlı değildir. İletkenler dahil birçok malzeme, birine çok yakın bağıl geçirgenliğe sahiptir.

Eşitlik 1.8 ve 1.15 birleştirilirse,

$$\vec{F} = Q(\vec{E} + \vec{v} \times \mu \vec{H}) \quad (1.19)$$

Bu Lorentz kuvveti diye, adlandırılır. Parçacık, elektrik alandan dolayı QE ve manyetik alanından dolayı $Q\vec{v} \times \vec{B}$ kuvvetine maruz kalacak.

1.1.3. Maxwell denklemleri

Maxwell denklemleri, ilk olarak James Clerk Maxwell (1831-1879) tarafından on dokuzuncu yüzyılın ikinci yarısında farklı bir grup olarak sunulan denklemler kümesidir. Matematiksel olarak, aşağıdaki diferansiyel şeklinde gösterilebilir:

$$\begin{aligned} \nabla \times \vec{E} &= -\frac{d\vec{B}}{dt} \\ \nabla \times \vec{H} &= \vec{J} + \frac{d\vec{D}}{dt} \\ \nabla \cdot \vec{D} &= \rho \\ \nabla \cdot \vec{B} &= 0 \end{aligned} \quad (1.20)$$

burada

ρ yük yoğunluğudur;

$\nabla = \frac{\partial}{\partial x} \hat{x} + \frac{\partial}{\partial y} \hat{y} + \frac{\partial}{\partial z} \hat{z}$ bir vektör operatörüdür;

$\nabla \times$ curl operatörüdür, bazı ülkelerde curl yerine rot denilir;

$\nabla \cdot$ diverjans operatörüdür.

Burada biz her iki vektörü nokta çarpım ve çapraz çarpım alırız.

Maxwell denklemleri, elektrik alanlar, manyetik alanlar, elektrik yükü ve elektrik akımı arasındaki ilişkiyi açıklar. Maxwell kendisi denklemlerin yaratıcısı olmamasına rağmen bu eşitlikleri uyumlu bir set halinde bir araya getirerek gruplayan ilk kişidir. En önemlisi, Eşitlik (1.20)'nin ikinci kısmını Amper Kanununa ek olarak tanıtmıştır. Bu ekstra terim, Maxwell deplasman akımı olarak bilinen elektrik alanının zamana göre türevidir.

1.1.3.1. Faraday'ın indüksiyon kanunu

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{d\vec{B}}{dt} \quad \oint_c \vec{E} \cdot d\vec{l} = \frac{d}{dt} \int_s \vec{B} \cdot d\vec{A} \quad (1.21)$$

Bu eşitlik, basitçe indüklenen (üretilen) elektromotor kuvvetinin, bir bobinin uçlarındaki manyetik akı değişim oranı ile orantılı olduğu anlamına gelir. İnsanların anlayabileceği bir dilden, (örneğin bir metal tel) bir iletken manyetik alan sayesinde değişen bir gerilim üretir. Ortaya çıkan gerilim, hareket hızı ile doğru orantılıdır. Bu eşitlikten görülüyor ki zamanla değişen manyetik alan $\left(\mu \frac{dH}{dt} \neq 0\right)$ bir elektrik alan oluşturacaktır, yani $E \neq 0$ olur. Eğer manyetik alan zamanla değişmezse elektrik alan oluşmaz.

1.1.3.2. Ampere kanunu

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{j} + \frac{d\vec{D}}{dt} \quad \oint_c \vec{H} \cdot d\vec{l} = \int_s \vec{j}_i \cdot d\vec{A} + \frac{d}{dt} \int_s \vec{D} \cdot d\vec{A} \quad (1.22)$$

Ampere yasasının Maxwell tarafından düzenlenmiş şeklidir. Maxwell bu denkleme, denklemin sağ tarafındaki ikinci terimi eklemiştir. Bu denklem, kapalı bir çevre boyunca manyetik alanın çizgi integralinin iki terimin toplamına eşit olduğunu göstermektedir. İlk terim bu kapalı çevrenin sınırladığı yüzeyden geçen net akımı içerir. Maxwell'in eklemiş olduğu ikinci terim ise bu kapalı çevrenin sınırladığı yüzeydeki elektrik alan akısının zamanla değişimini ifade eder. Maxwell bu düzenlemesi ile elektrik alandaki zamanla değişimin manyetik alan oluşturduğunu

göstermektedir. Maxwell'in bu denkleme yaptığı ilave, elektromanyetik teorisin temel çatısını oluşturmaktadır.

1.1.3.3. Elektrik alanlar için gauss kanunu

$$\nabla \cdot \vec{D} = \rho \quad \oint_S \vec{D} \cdot d\vec{A} = \int_V \rho \cdot dV \quad (1.23)$$

Statik alanlar için bu kanun Coulomb kanununa eşittir. Gauss kanunu, kapalı bir yüzeydeki elektrik alan akısının, bu yüzey tarafından çevrelenmiş olan hacimde bulunan net yük ile orantılı olduğunu ifade eder. Sonuç olarak, elektrik alanları için kapalı bir çevrim oluşturmak mümkün değildir. $D = \epsilon E$ için elektrik yükleri(ρ) elektrik alanları oluşturabilir, yani $E \neq 0$.

1.1.3.4. Manyetik alanlar için gauss kanunu

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0 \quad \oint_S \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0 \quad (1.24)$$

Kapalı bir yüzeydeki manyetik alan akısının sıfır olduğunu ve dolayısıyla manyetik yüklerin var olmadığını belirtir. Bu gösteriyor ki, manyetik alanın diverjansı ($\nabla \cdot B$) her zaman sıfırdır. Bu manyetik alan çizgilerinin kapalı döngüler olduğu anlamına gelir. Dolayısıyla B'nin kapalı bir yüzey üzerindeki integrali sıfırdır.

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E}, \quad \vec{B} = \mu \vec{H}, \quad \vec{J} = \sigma \vec{E} \quad (1.25)$$

Bir zaman harmonik elektromanyetik alan ($e^{j\omega t}$ faktörü ile zamana bağlı bir alan anlamına gelir, burada ω açısal frekans ve t zamandır) için, aşağıdaki formda

Maxwell denklemlerini yazmak için (1.25) temel bağıntılarını kullanabiliriz

$$\begin{aligned} \nabla \times \vec{E} &= -j\omega\mu\vec{H} \\ \nabla \times \vec{H} &= \vec{J} + j\omega\epsilon\vec{E} = j\omega\epsilon\left(1 - j\frac{\sigma}{\omega\epsilon}\right)\vec{E} \\ \nabla \cdot \vec{E} &= \rho/\epsilon \\ \nabla \cdot \vec{H} &= 0 \end{aligned} \quad (1.26)$$

Burada denklemleri basitleştirmek için D, E elektrik alanıyla ve B, H manyetik alanıyla değiştirilir ve gerekli olmadıkça tekrar kullanılmayacaklardır.

İşaret etmek gerekir ki, eşitlik (1.26)'de, $\varepsilon \left(1 - j \frac{\sigma}{\omega \varepsilon}\right)$ eşitlik (1.11) ile tanımlanan karmaşık bir geçirgenlik olarak görülebilir.

Bu durumda, kayıp tanjantı

$$\tan \delta = \frac{\varepsilon''}{\varepsilon'} = \frac{\sigma}{\omega \varepsilon} \quad (1.27)$$

Frekansla kayıp tanjantın nasıl değiştiğini tahmin etmek zordur, çünkü hem geçirgenlik hem de iletkenlik frekansın fonksiyonlarıdır.

1.1.4. Sınır koşulları

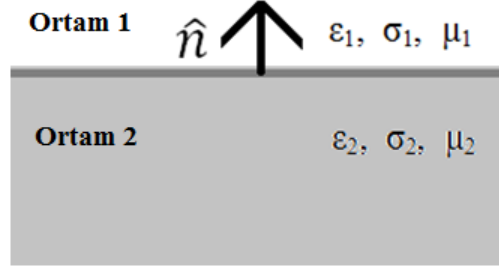
Maxwell denklemleri integral formu olarak da yazılabilir

$$\begin{aligned} \oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} &= \iint_S \frac{d\vec{B}}{dt} \cdot d\vec{s} \\ \oint_C \vec{H} \cdot d\vec{l} &= \iint_S \left(\vec{J} + \frac{d\vec{D}}{dt}\right) \cdot d\vec{s} \\ \oiint_S \vec{D} \cdot d\vec{s} &= \iiint_V \rho dv = Q \\ \oiint_S \vec{B} \cdot d\vec{s} &= 0 \end{aligned} \quad (1.28)$$

Şekil 1.5 'de gösterilen iki malzeme arasındaki sınır için bu denklemleri kullanarak, bir dizi sonuçlar elde edebiliriz. Örneğin, Ortam 1 ve Ortam 2 arasındaki sınıra, integral şeklindeki Maxwell denklemlerinin ilk eşitliği uygulanırsa, ikinci eşitlik elde edilir:

$$\hat{n} \times E_1 = \hat{n} \times E_2 \quad (1.29)$$

Burada \hat{n} ortam 2'den ortam 1'e yüzey birim vektörüdür. Bu durum, bir elektrik alanının ($\hat{n} \times E$) tanjantsal bileşenlerinin, herhangi iki ortam arasındaki sınır boyunca sürekli olduğu anlamına gelir.



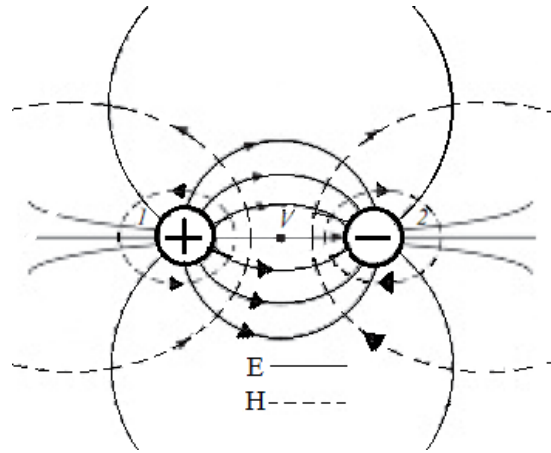
Şekil 1.5. Ortam 1 ve ortam 2 arasındaki sınır

Benzer şekilde, bu sınırı elde etmek için, diğer üç Maxwell denklemi uygulanabilir:

$$\begin{aligned}
 \hat{n} \times (H_1 - H_2) &= J_s \\
 \hat{n} \cdot (\epsilon_1 E_1 - \epsilon_2 E_2) &= \rho_s \\
 \hat{n} \cdot (\mu_1 H_1 - \mu_2 H_2) &= 0
 \end{aligned} \tag{1.30}$$

Burada J_s yüzeysel akım yoğunluğu ve ρ_s yüzeysel yük yoğunluğudur. Bu sonuçları yorumlarsak,

- Sınır boyunca manyetik alanın tanjant bileşeninin değişimi sınırdaki yüzeysel akım yoğunluğuna eşittir.
- Sınır boyunca elektrik akı yoğunluğu normal bileşenindeki değişim sınırdaki yüzeysel yük yoğunluğuna eşittir;
- Manyetik akı yoğunluğunun normal bileşeni iki ortam arasındaki sınır boyunca süreklidir. Diğer yandan, manyetik alan normal bileşeni $\mu_1 = \mu_2$ olmadıkça sürekli değildir.



Şekil 1.6. İki telli bir iletim hattı çevresindeki elektromanyetik alan dağılımı

Olası mükemmel bir iletkende, ($\sigma = \infty$ iletkenlik içinde elektrik ve manyetik alanın olmadığı anlamına gelir) bu sınır koşullarını uygularsak, şunları buluruz

$$\hat{n} \times E = 0; \quad \hat{n} \times H = J_s; \quad \hat{n} \cdot E = \rho_s/\epsilon; \quad \hat{n} \cdot H = 0 \quad (1.31)$$

Şekil 1.6'da gösterilen iki telli iletim hattı çevresindeki alan dağılımını, bu sonuçları göstermek için kullanabiliriz. Burada, elektrik alanları, düz çizgiler ve manyetik alanları kesikli çizgiler olarak çizilmiştir. Bilindiği gibi, elektrik alan pozitif yüklerden negatif yüklere doğru iken, manyetik alan akım etrafında daireler oluşturur.

1.1.5. Elektromanyetik büyüklükler ve birimler

Manyetik alan daha çok Amerika Birleşik Devletleri'nde kullanılan gauss ya da uluslararası kabul görmüş tesla birimi ile tanımlanır.

Elektrik alanların şiddeti metre başına düşen gerilim SI birim sistemiyle (Volt/metre) ile ölçülürken, manyetik alanın ölçü birimi SI birim sistemiyle Tesla'dır. 1 Tesla = 1 Weber/m². Yaygın olarak kullanılan bir başka birim ise CGS sistemiyle Gauss'tur. Manyetik alan ölçümlerinde miligauss; 1/1000 gauss ve mikrottesla ise 1/1000000 tesla'dır. Miligauss ve mikrottesla arasındaki ilişki $0,1\mu T = 1mG$ veya $0,1mT = 100\mu T = 1G$ şeklindedir. Elektrik ve manyetik alanların özellikleri farklıdır. Dolayısı ile bu alanların canlıların biyolojik yapıları üzerindeki etkileri değişik olur. Bu alanların insanları nasıl etkilediği henüz tam olarak anlaşılmış değildir. Fakat yapılan çalışmalar; manyetik alanların, elektrik alanlara göre daha etkili olduğunu düşündürmektedir. Öte yandan manyetik alanlar, özel olarak üretilmiş kimi maddeler dışında, hiçbir engel tanımaz. Elektrik alanlar insan bedeninin yüzeyinde zayıf akım oluşturur. Manyetik alanlar ise bedenin içine girerek bu tür zayıf akımların iç organlarda bile oluşmasına yol açarlar. Gerçekte değişken manyetik alanlar, çevrelerinde bulunan tüm iletkenlerde (insan bedeni de bir iletken olarak düşünülebilir) akım oluştururlar.

Bazı elektromanyetik değişkenler araştırma aşamasında elektrik alan ve manyetik alan şiddetleri ölçümlerinde kullanılacaktır. Bu değişkenlerin anlamları ve birimleri aşağıdaki gibidir (Karacaörenli, 2007).

- İletkenlik, σ iletken akım yoğunluğunun elektrik alan şiddetine oranıdır ve metre başına *Siemens* birimi ile ölçülür ($\sigma=J/E$ [S/m]).
- Dielektrik katsayısı, ϵ elektrik akı yoğunluğunun elektrik alana bölünmesiyle tanımlıdır ($\epsilon=D/E$ [F/m]).
- Manyetik geçirgenlik, μ manyetik akı yoğunluğunun manyetik alana oranı olarak tanımlanır ($\mu = B / H$ [Henry / m]).

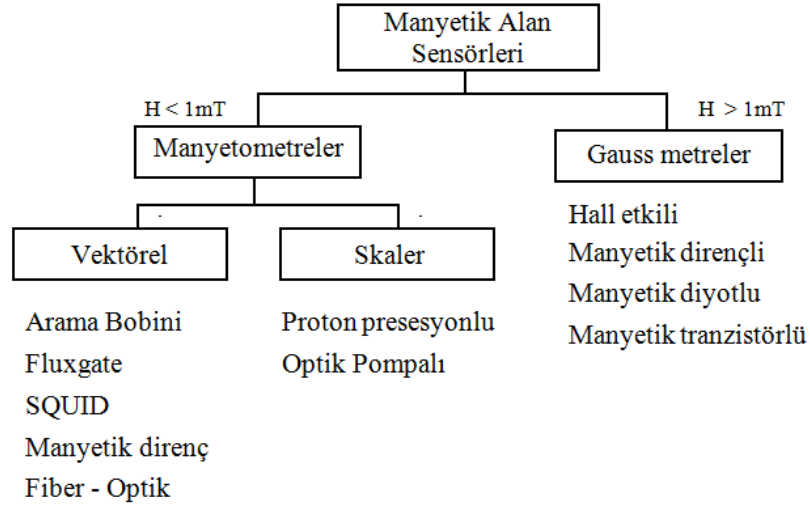
1.2. Manyetik Alan Ölçümleri

Manyetik alan büyüklükleri değişik teknolojiler kullanılarak ölçülür. Her teknik, özel uygulamalar için onları daha uygun yapan benzersiz özelliklere sahiptir. Bu uygulamalar; alan değişikliğini, alanın varlığının basitçe algılaması, manyetik alanın skaler ve vektörel özelliklerinin hassas ölçümlerini içermektedir (Macintyre, 1999).

Şekil 1.7'de görüldüğü gibi gruplandırılabilir. Düşük alanları ölçen aletler manyetometre, yüksek alanları ölçen aletler de gaussmetre olarak adlandırılırlar.

İndüksiyon bobini ve detektörlü (fluxgate) manyetometreler en yaygın kullanılan vektör ölçüm cihazlarıdır. Bunlar sağlam, güvenilir ve diğer düşük alan vektör ölçüm cihazlarına göre daha ucuzdur. Fiber optik manyetometre son zamanlardaki en gelişmiş düşük alan ölçüm cihazıdır. Halen bir detektörlü (fluxgate) manyetometre ile yaklaşık aynı hassasiyetli olmasına rağmen, daha iyi performans için potansiyeli daha büyüktür. Süper iletken kuantum girişim cihazı (SQUID-Superconducting Quantum Interference Device) manyetometreler tüm manyetik alan ölçüm cihazlarının en hassasıdır. Bu sensörler mutlak sifıra yakın sıcaklıklarda çalışırlar ve özel termal kontrol sistemleri gerektirir. Bu yüzden SQUID tabanlı manyetometreler daha pahalıdır.

Hall etki sensörü, gaussmetrelerde kullanılan en eski ve en yaygın yüksek alan vektör sensörüdür. Bu, özellikle çok yüksek alanları ($> 1T$) ölçmek için kullanışlıdır. Manyetoresistiv sensörler düşük ve yüksek alan sensörleri arasında orta seviyede bir yer tutmaktadır. AMR'ler (Anizotropik Magneto Resistors), manyetometreler dahil olmak üzere pek çok uygulamada kullanılmaktadır.



Şekil 1.7. Manyetik alan sensörlerinin kategorileri (Macintyre'den 1999)

Manyetometreler düşük alan ölçer ve gauss metreler de yüksek alanları ölçer.

Çizelge 1.6. Cihazların alan şiddeti karakteristikleri (Macintyre'den, 1999)

Cihaz	Aralık (mT)	Kararlılık	Band genişliği	Açıklama
İndüksiyon bobini	$10^{-10} - 10^6$	Değişken	$10^{-1} - 10^6$	Statik alanları ölçemez
Fluxgate	$10^{-4} - 0,5$	0,1	DC - 2×10^3	Genel amaçlı vektörel manyetometre
SQUID	$10^{-9} - 0,1$	10^{-4}	DC - 5	En yüksek hassasiyetli manyetometre
Hall etkili	$0,1 - 3 \times 10^4$	100	DC - 10^8	1mT üzerindeki alanlar için en iyisi
Manyetik dirençli	$10^{-3} - 5$	10	DC - 10^7	Orta aralıklı uygulamalar için iyi
Proton presesyonlu	0,02 - 0,1	0,05	DC - 2	Genel amaçlı skaler manyetometre
Optik pompalı	0,01 - 0,1	0,005	DC - 5	En yüksek kararlılık skaler manyetometre

Proton (nükleer) presesyonlu manyetometre skaler manyetik alan şiddeti ölçümü için en popüler cihazdır. Bunun en önemli uygulamaları arasında yeryüzü manyetik alanının haritalanması ve jeolojik araştırmalar yer almaktadır. Çalışma prensibi temel atomik sabitlere dayalı olduğu için, manyetometreleri kalibre etmek için de öncelikli standart olarak kullanılır. Proton presesyonlu manyetometre çok düşük bir örnekleme oranına (yaklaşık saniyede 1 ila 3 örnek) sahiptir. Bu yüzden manyetik alanda hızlı değişiklikleri ölçemez. Optik pompalı manyetometre daha yüksek örnekleme

oranyla çalışır ve proton presesyonlu manyetometreden daha hassas duyarlıktadır. Çizelge 1.6 Çeşitli manyetik alan şiddeti cihazlarını ve özelliklerini listelemektedir.

1.2.1. Düşük alan vektörel manyetometreler

1.2.1.1. İndüksiyon bobini manyetometre

En basit manyetik alan algılama cihazlarından biri olan indüksiyon veya arama bobini (search coil), Faraday yasasına dayanmaktadır. Bu yasaya göre, spiral tel kapalı döngüsel bölge içinde manyetik akı (ϕ) değişimine maruz kalırsa, spiral içindeki akı değişim hızıyla orantılı bir gerilim indüklenir.

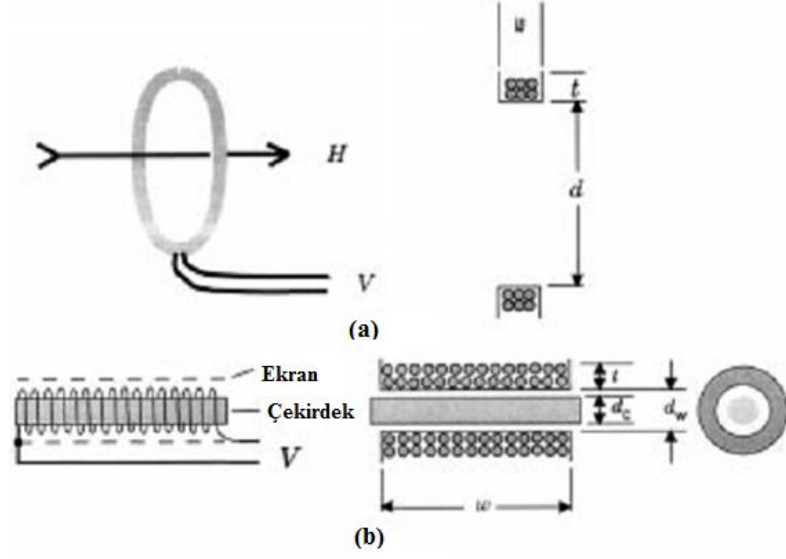
$$e(t) = - \frac{d\phi}{dt} \quad (1.32)$$

$$e(t) = - \frac{d(\vec{B} \cdot \vec{A})}{dt} \quad (1.33)$$

Eşitlik 1.33, \vec{B} 'deki geçici değişiklik ya da \vec{B} ile ilgili \vec{A} 'nın mekanik uyumunun bir terminal gerilimi üreteceğini ifade eder. Bobin ile ilgili olarak \vec{B} sabit kalırsa o zaman statik alanlar tespit edilemez; fakat döngü döndürülür veya \vec{A} 'nın büyüklüğü değiştirilirse o zaman bir statik alan ölçmek mümkün olur. Eşitlik 1.33 tarafından tanımlanan ilişkiden birçok manyetik alan ölçüm cihazlarında yararlanılır.

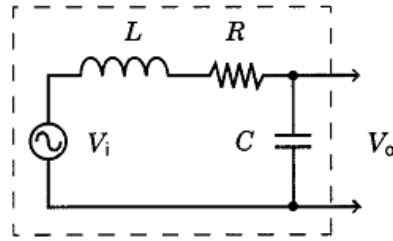
Şekil 1.8 alan şiddetini ölçmek için en yaygın kullanılan iki indüksiyon bobinini konfigürasyonunu gösterir: Hava çekirdekli loop anten ve çubuk anten. Çalışma prensibi, her iki yapı için aynıdır. Eşitlik 1.33'de B'nin yerine $\mu_0\mu_e H(t)$ koyarsak ve döngünün alan vektörü açısından sabit olduğu varsayarsak, terminal gerilimi şu şekilde oluşur:

$$e(t) = -\mu_0\mu_e nA \frac{d\vec{H}(t)}{dt} \quad (1.34)$$



Şekil 1.8. (a) Hava çekirdekli loop anten (b) ferromanyetik çekirdekli indüksiyon bobini

Burada n , bobin sarım sayısı, ve μ_c çekirdeğin etkin bağıl geçirgenliğidir. Normalde bir çubuk antenin çekirdeği manyetik "yumuşak" malzemeden inşa edilmiştir. Bu yüzden bir çekirdekteki varsayılabilen akı yoğunluğu harici bir manyetik alan tarafından indüklenir. Havalı çekirdeğin etkin bağıl geçirgenliği 1'dir. Bir çekirdek içeren indüksiyon bobininin etkin geçirgenliği genellikle birden çok büyüktür ve güçlü bir şekilde çekirdeğin şekline ve bir dereceye kadar sargının yapısına bağlıdır.



Şekil 1.9. İndüksiyon bobini eşdeğer devresi

Şekil 1.9'da eşdeğer devre frekans bağımlı bir gerilim kaynağı ile buna seri bağlı bir bobin, direnç ve kondansatörden oluşur.

Eşitlik 1.34'ün Laplace dönüşümünün alınması ve her iki tarafında H ile bölünmesiyle, bir indüksiyon bobini anteni için aşağıdaki transfer fonksiyonu $T(s)$ elde edilir:

$$T(s) = -\mu_0\mu_e nAs = -Ks \quad (VmA^{-1}) \quad (1.35)$$

$E(s) = T(s).H(s)$ 'de $E(s)$ ve $H(s)$, $e(t)$ ile $H(t)$ 'nin Laplace dönüşümleridir ve s Laplace dönüşüm operatörüdür. Bobin sabiti veya Loop anten hassasiyeti:

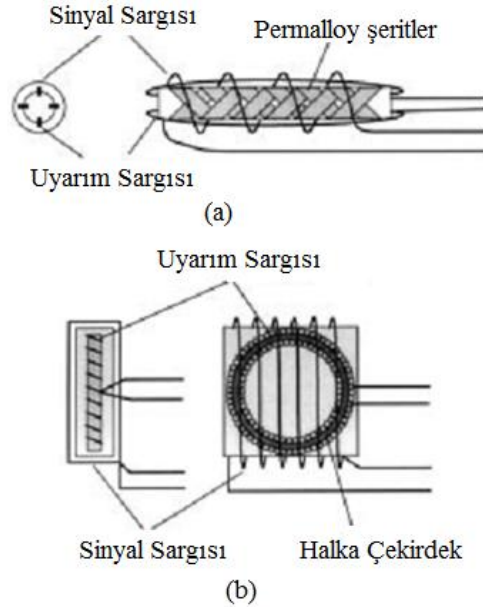
$$K = \mu_0\mu_e nA \quad (VsmA^{-1}) \quad (1.36)$$

Şekil 1.8 gösterilen manyetik olmayan malzemedan yapılmış elektrostatik kalkan, indüksiyon bobininin tasarımında önemli bir unsurdur. Bu, bobin içindeki elektrik alanların kuplajını önler ve böylece bobin uçlarında sadece manyetik alandan dolayı oluşan sinyalin görülmesini sağlar. Ekran, bobin kapasitansını ve gürültüyü arttırdığı için sarıma çok yakın konulmamalıdır.

Şekil 1.9 bir indüksiyon bobini anteni için eşdeğer devreyi göstermektedir. Halka tel uçlarında ölçülen gerçek gerilim, L indüktansı, R direnci ve C eşdeğer kapasitörü ile değişmektedir. Bu devre parametreleri çekirdek, bobin ve sarım geometrisine bağlıdır.

1.2.1.2. Manyetik alan dedektörlü (fluxgate) manyetometre

Fluxgate manyetik alan ölçer, hem uzayda hem de dünyada manyetik alan şiddeti ile çalışan cihazlardır. Sağlam, güvenilir, fiziksel olarak küçük ve çalışması için çok az güç gerektirir. Bu özelliklerle, dc'den birkaç kHz'e kadar $1 \text{ mT} - 0,1 \text{ nT}$ aralığında manyetik alanların vektör bileşenlerini ölçme kabiliyetine sahip bir araçtır. Jeologlar keşif için ve jeofizikçiler de jeomanyetik alan (Dünya'nın yüzeyinde yaklaşık $20 \mu\text{T}$ 'dan $75 \mu\text{T}$ 'ya) çalışmak için bu cihazları kullanırlar. Uydu mühendisleri uzay aracının davranışını belirlemek ve kontrol etmek için, bilim adamları araştırmaları için ve askeriye mayın tespiti, araç algılama ve hedef tanıma olmak üzere pek çok uygulamada bunları kullanırlar. Bazı havaalanı güvenlik sistemleri bunları silah tespit etmek için kullanırlar.



Şekil 1.10. Schonstedt'de (a) halka çekirdek ve (b) fluxgate sensörleri

Şekil 1.10'da uyarım alanı sinyal sargısı eksenine dik açıdadır. Bu yapı, uyarım alanı ve sinyal sargısı arasındaki kupaı en aza indirir.

Fluxgate

Manyetometrenin kalbi fluxgate'dir. Bu transdüser bir manyetik alanı bir elektrik gerilimi haline dönüştürür. Çok çeşitli fluxgate konfigürasyonu vardır. Çok popüler olanlardan ikisi Şekil 1.10 'de gösterilmiştir.

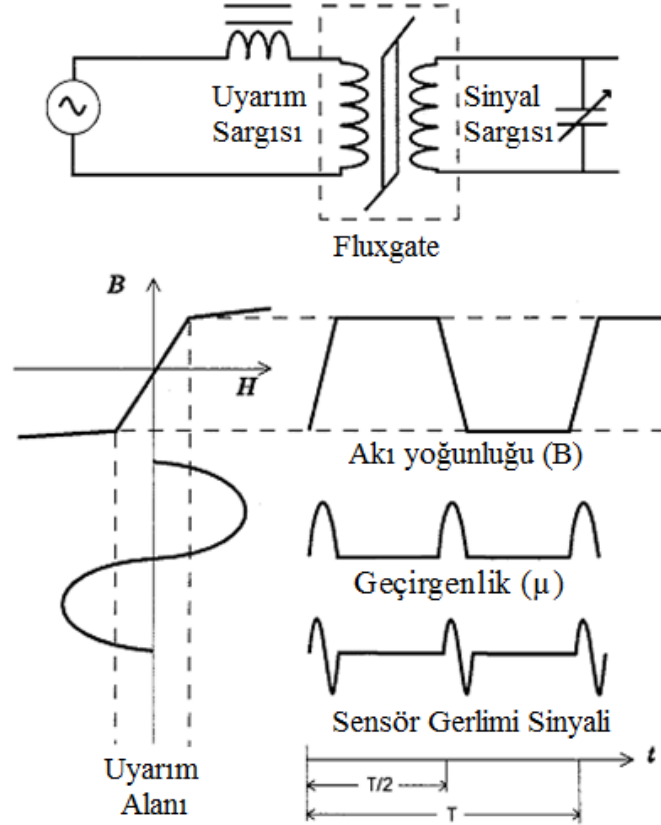
Halka çekirdekli fluxgate kolayca doyurulabilir ince bir şerit ferromanyetik malzemedan inşa edilmiştir. Şekil 1.11 'de görüldüğü gibi alternatif akım toroid şeklinde sarılmış bobin üzerinden uygulanır. Bu manyetik çekirdek etrafında dolanan bir manyetik alan oluşturur. Bu manyetik alan demir malzemede ilk önce saat yönünde sonra saat yönünün tersi yönde akıya neden olur. Demir malzeme doygunluk uç sınırları arasında iken, ortalama geçirgenliği havanınkinden çok daha büyük değerde tutar. Çekirdek saturasyonda iken, çekirdek geçirgenliği havanınkine eşit olur. Sinyal sargı eksenini boyunca manyetik alanın herhangi bir bileşeni yoksa sargıda görülen akı değişimi sıfırdır. Öte yandan, bir alan bileşeni sinyal sargı eksenini boyunca mevcut ise, demir malzeme her zaman bir uç saturasyondan diğerine gider, çekirdek içindeki akı düşük seviyeden yüksek seviyeye değişir. Faraday yasasına

göre, akı değişimi, akı değişim hızı ile orantılı olarak sargı sinyali terminallerinde bir gerilim üretir. Dc ve düşük frekanslı manyetik alanlar için, sinyal sargı gerilimi:

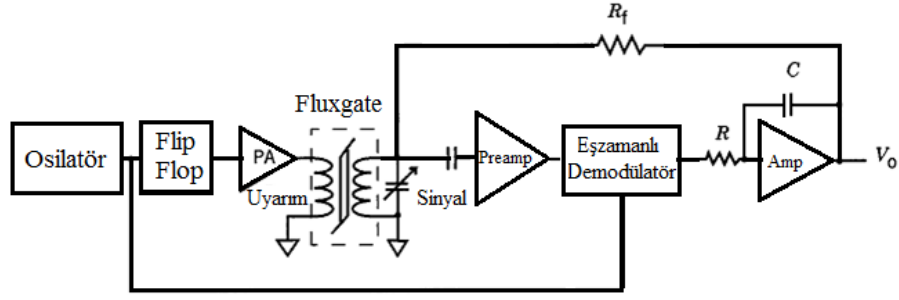
$$e(t) = nA \frac{d(\mu_0 \mu_e H)}{dt} = nA \mu_0 H \frac{d\mu_e(t)}{dt} \quad (1.37)$$

- burada H = Ölçülen manyetik alan bileşeni
n = Sinyal sargısı üzerindeki sarım sayısı
A = Sinyal sargısının kesit alanı
 $\mu_e(t)$ = Çekirdeğin Etkin bağlı geçirgenliği

Fluxgate manyetometresi uyarma alanında sırayla, çekirdeğin etkin geçirgenliği 1 ve büyük değer arasında her çevrimde iki kez geçiş yapmasına sebep olan çekirdeği pozitif ya da negatif saturasyona sürer.



Şekil 1.11. Fluxgate manyetometresi ve dalga şekilleri



Şekil 1.12. Tipik alan geri beslemeli fluxgate manyetometresi

Sensör çıkışı yükseltilmiş eşzamanlı demodüle ve filtre edilmiş AC gerilimdir. Sensörün çevresindeki alanı sıfırlayan bir manyetik alan çıkış ve sinyal sargısı arasına R_f direnci bağlayarak üretilmektedir.

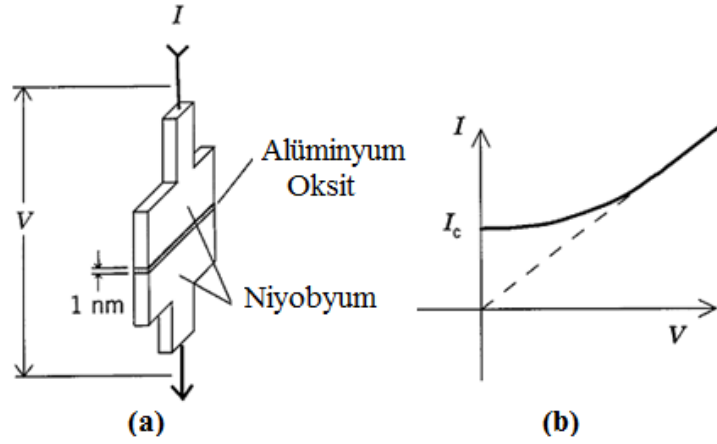
1.2.1.3. SQUID manyetometre

1962 yılında Brian D. Josephson, Cambridge Üniversitesi'nde yüksek lisans öğrencisi iken, ince bir yalıtım tabakası ile ayrılmış iki süperiletken arasında süperiletken akımı akabileceğini öne sürdü. Bu "Josephson birleşimi" üzerindeki (kritik) süperiletken akımının büyüklüğü manyetik alanın varlığından etkilenir ve Josephson birleşimi SQUID manyetometrenin temelini oluşturur.

Şekil 1.13 Josephson birleşiminin genel yapısını ve akım-gerilim (V-I) ilişkisini göstermektedir. İki süperiletken (örneğin, niyobyum) çok ince bir yalıtım tabakası (örneğin, alüminyum oksit) tarafından ayrılır. Bu tabakanın kalınlığı genellikle 1 nm'dir. Birleşim sıcaklığı 4.2K (-269 ° C) altına düştüğü zaman bir süperiletken akımı birleşim uçlarındaki 0 V gerilim ile kavşak içinden akacaktır. Kritik I_c akımı olarak adlandırılan bu akımın büyüklüğü, birleşimde var olan magnetik akımın periyodik bir fonksiyonudur.

Süper İletken Kuantum Girişim Cihazı (SQUID)'na dayalı manyetometreler şu an manyetik alan şiddetini ölçmek için kullanılan en hassas cihazlardır. SQUID manyetometreler bazı gelişmiş alan seviyesindeki manyetik alan değişikliğini ölçerler. Biyomedikal araştırma SQUID manyetometrelerin önemli uygulamaları

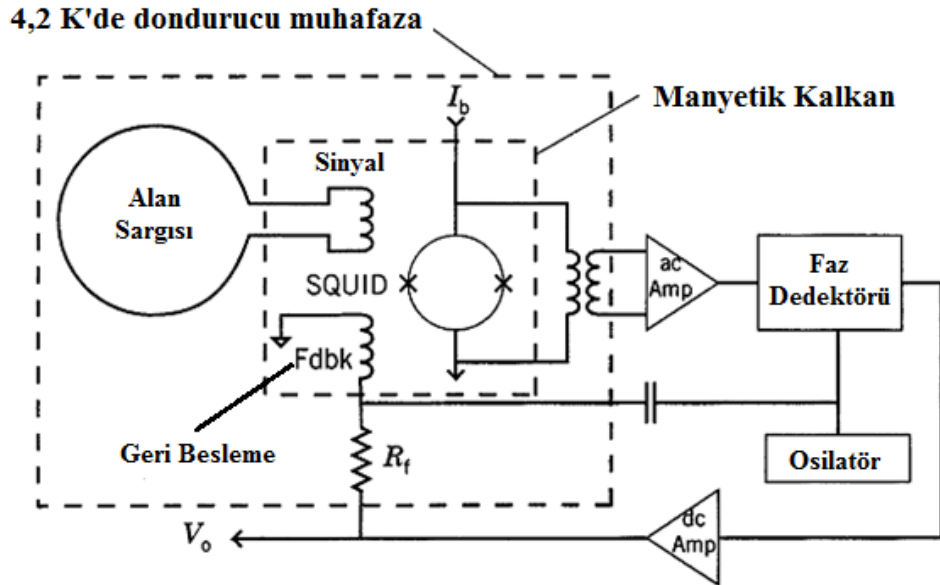
birdir. SQUID manyetometreler vücut tarafından oluşturulan zayıf manyetik alanları ölçmek için gerekli olan yüksek hassasiyetlere sahiptir.



Şekil 1.13. (a) Josephson birleşimi ve (b) Akım (I) - Gerilim (V) eğrisi

Şekil 1.13.(a)'daki Josephson birleşimi ince bir yalıtım tabakası ile ayrılmış niyobyum gibi bir süper iletkenden oluşur. (b)'de Akım (I) - Gerilim (V) eğrisi gösterilmiştir. (Birleşimden sıfır voltta süper iletkenlik kritik akımı geçer)

Diğer uygulama alanları paleomanyetizma (kayalarda manyetizma kalıntısı ölçümü) ve magnetotellurics (Dünya direnç-özdirenç ölçümleri)'dir.



Şekil 1.14. Geniş dinamik aralıklı dc SQUID manyetometre (Wellstood at al., 1984)

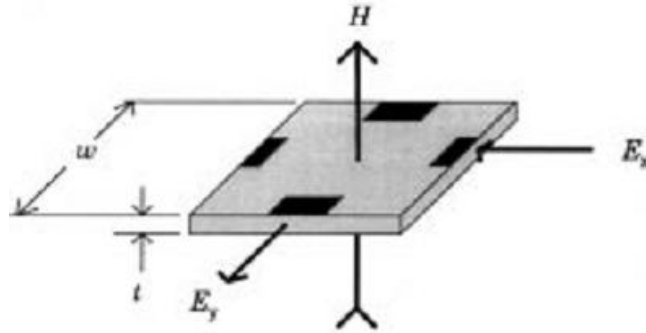
Şekil 1.14, geniş dinamik aralıkta alan ölçümleri için kullanılabilir bir dc SQUID manyetometre uygulamasının blok diyagramıdır. Ölçülen manyetik alana maruz kalan geniş bir süperiletken loop, manyetik olarak SQUID'e doğrudan birleştirilmiş çok turlu sinyal sargısına bağlıdır. Kriyojenik sıcaklıklarda etkili bir şekilde sinyal sargısı ve loop dc indüksiyon bobininden oluşmaktadır. Bobinine uygulanan harici akı, dc manyetik alanlar için bile, döngü içinde sabit bir net akı bulunduran loop içinde bir akım üretecektir. Sinyal sargısı SQUID'e uygulanan akıyı büyütür.

1.2.2. Yüksek alan vektörel gaussmetreler

1.2.2.1. Hall etkili gaussmetre

Muhtemelen güçlü manyetik alanları ölçmek için en tanınmış ve en yaygın olarak kullanılan sensör olan Hall etki sensörü, 1897 yılında Edwin H. Hall tarafından Hall etkisinin keşfedilmesine dayanır. Hall etkisi, Lorentz kuvveti yasasının bir sonucudur ki bu durum, hareketli bir q yükü B manyetik indüksiyon alanında hareket ettirildiğinde, aşağıdaki denklemle ifade edildiği gibi yükün hız vektörü ve alan vektörüne dik açıda bir F kuvvetine maruz kalır:

$$\vec{F} = -q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}) \quad (1.38)$$



Şekil 1.15. Hall etki sensörü

H , x-yönünde akımı iletebilen sensörün yüzey normaline uygulanan bir manyetik alan, y-yönünde bir gerilim üretecektir. E_x x-yönünde uygulanan elektrik alan ve E_y y yönü boyunca Hall etkisi elektrik alanıdır.

Hall etki cihazı, Şekil 1.15’de gösterildiği gibi birbirlerine dik açıda iki çift elektrot ile düz, ince bir dikdörtgen iletken veya yarı iletken oluşur. Bir E_x elektrik alanı x veya kontrol ekseni boyunca uygulanır. Bir B_z manyetik alanı cihazın yüzeyine dik uygulandığında, E_x ’in bir sonucu olarak x ekseni boyunca akan serbest yük, y eksenine veya Hall gerilimi eksenine doğru saptırılır. Açık-çevrim koşulları altında y ekseninde akım akamayacağı için, bu y ekseni boyunca yük birikmesine sebep olacaktır. Yükün hareketine karşı kuvvet üreten bir elektrik alanı oluşturur:

$$\vec{E}_y = \vec{v}_x \vec{B}_z \quad (1.39)$$

Burada v_x ortalama elektron (veya çoğunluk taşıyıcıları) sürüklenme hızıdır. v_x ortalama bir sürüklenme hızına sahip birim hacim başına n adet serbest yük içeren bir iletkende, akım yoğunluğu:

$$J_x = qn v_x \quad (1.40)$$

ve

$$E_y = \frac{J_x B_z}{qn} = R_H J_x B_z \quad (1.41)$$

Burada R_H Hall katsayısı olarak adlandırılır. Bir yarıiletken, çoğunluk taşıyıcısının (elektron veya delik) hareketliliği μ (sürüklenme hız / alan) ve iletkenlik σ bakımından ele alınır. Bu durumda,

$$E_y = \mu E_x B_z \quad ve \quad E_x = \frac{J_x}{\sigma} \quad (1.42)$$

Bu yüzden,

$$E_y = \frac{\mu}{\sigma} J_x B_z \quad ve \quad R_H = \frac{\mu}{\sigma} \quad (1.43)$$

R_H değeri bir malzemedan diğerine önemli oranda değişir ve hem sıcaklığa hem de alan büyüklüğüne bağlıdır. Temel malzemeye bazı katkıların eklenmesiyle özellikleri belli bir ölçüde kontrol altına alınabilir. Örneğin, germanyuma arsenik ilavesi ile büyüklük pahasına sıcaklık bağımlılığı azaltılabilir.

Y-ekseni terminalleri üstünde ölçülen gerilim y eksenini boyunca elektrik alanının integralidir. Eğer sabit kontrol akımı x eksenini boyunca akıyorsa, o zaman:

$$J_x = \frac{I}{wt} \quad (1.44)$$

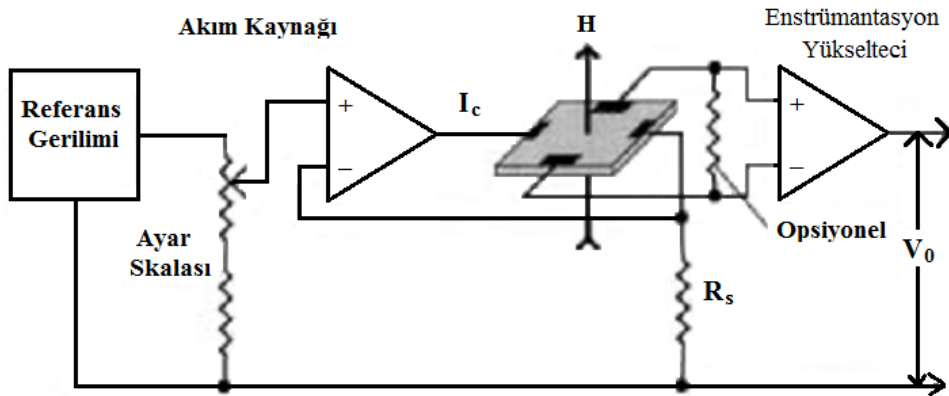
ve ölçülen çıkış gerilimi:

$$e_y = \frac{R_H I B_z}{t} \quad (1.45)$$

Burada t metre cinsinden kalınlık ve w, y eksenindeki terminaller arasındaki mesafedir. Hall etkisi cihazlarının üreticileri tarafından belirtilen bir başka özelliği anma kontrol akımı I_c 'deki manyetik duyarlılığı γ_b :

$$\gamma_b = \frac{e_y}{B_z} = \frac{R_H I_c}{t} \quad (1.46)$$

Bir Hall etki cihazı yapmak için, bakır (Cu) gibi iletkenler kullanılabilmesine rağmen, galyum arsenit (GaAs), indiyum antimonide (InSb), indiyum arsenit (InAs) gibi yarı iletken malzemeler, en yüksek ve en istikrarlı Hall katsayıları üretebilir. InAs, bileşimindeki düşük sıcaklık duyarlılık katsayısından dolayı ($<0,1 / ^\circ C$), düşük direnç ve nispeten iyi hassasiyet nedeniyle Hall etkisi cihazlarının ticari üreticileri tarafından tercih edilen malzemedir.



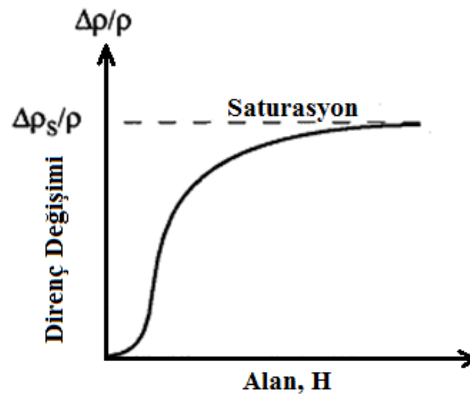
Şekil 1.16. Hall etkili gausmetre yapısının örneği

Hall etki sensörü için sabit akım kaynağı opamp ve R_s direncinden oluşur. Enstrümantasyon veya diferansiyel amplifikatör Hall gerilimini kuvvetlendirir ve ölçeklendirir. Yük direnci çıkış uçlarındaki Hall gerilimi için bazen gereklidir.

Hall etkisi cihazları için tipik kontrol akımı 100 mA'dır, ancak bazen 1 mA gibi düşük akımlarda işlem yaparlar. Duyarlılıkları 10 mV/T ile 1.4 V/T aralığındadır. Lineer Nominal çalışma alanı aralığı %0,25 ile %2 arasında değişmektedir. Kontrol giriş direnci ve gerilim çıkış direnci tipik olarak $1\Omega - 3\Omega$ aralığındadır. Sensör elemanı genellikle küçüktür (yaklaşık 0.5 mm kalınlığında, 10 mm^2 alanında) ve çok küçük paket içinde üç eksenli bir sürümü bulundurulabilir. Bu cihazlar $50\mu\text{T}$ ile 30T arasında değişen akı yoğunlukları ölçmek için çok etkilidir.

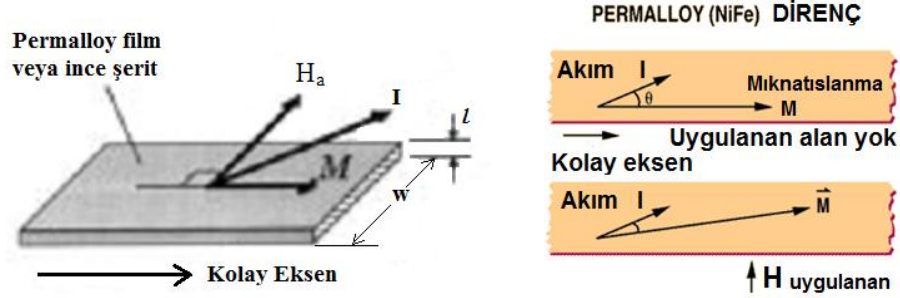
1.2.2.2. Manyetik dirençli gausmetre

Manyetorezistans etkisi ilk kez 19. yüzyılın ortasında William Thomson (Lord Kelvin) tarafından ortaya atılmıştır. O ferromanyetik bir malzemeye uygulanan manyetik alanın, direncinin değişmesine neden olduğunu buldu. Değişim miktarı manyetizasyonun büyüklüğüne ve direnç ölçmek için kullanılan akımın akacağı yöne bağlıdır. Nikel-demir alaşımları dirençte (yaklaşık %5 maksimum) en büyük değişikliği göstermektedir. Şekil 1.17 Akım akışına paralel uygulanan bir alan için Permalloy'daki (nikel-demir alaşımı) direnç değişikliklerini göstermektedir. Manyetik alan arttıkça, direnç değişimi artar ve malzeme saturasyona yaklaşırken, asimptotik olarak maksimum değerine yaklaşır. Permalloy %80 Ni ve %20 Fe ile sifira yakın manyetositriksiyon etkisi ile yüksek manyetik direnç etkisi sağlar ve manyetik dirençler için favori bir malzemedir.



Şekil 1.17. Ferromanyetik malzemede direnç değişimi

Alan uygulandığında, öncelikle direnç hızla değişir. Malzemenin manyetik akısı saturasyona yaklaşırken, direnç değişimi maksimum değerine yaklaşır.



Şekil 1.18. Bir AMR direnç elemanı ve vektör yönleri

İmalat sırasında, kolay eksenini tanımlamak ve onu mıknatıslanmak için şerit uzunluğu boyunca bir manyetik alan uygulanır. I akımı kolay eksene ya da anizotropik eksene 45° açıda film içinden geçirilir. M mıknatıslanma vektörüne dik açılarda uygulanan H_a manyetik alanı mıknatıslanma vektörünün dönmesine ve manyetorezistansın değişmesine neden olur.

Permalloy Filmde direnç değişimi aynı zamanda mıknatıslanmanın yönü ve akım yönü arasındaki θ açısının bir fonksiyonudur:

$$\rho(\theta) = \rho_0 + \Delta\rho_m \cos^2 \theta \quad (1.47)$$

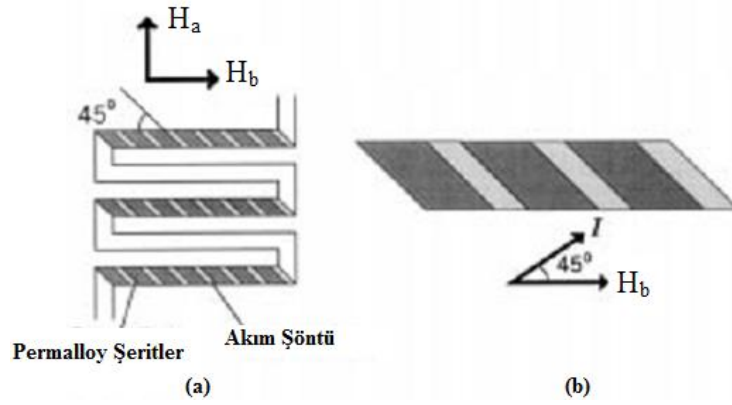
Burada $\Delta\rho_m$ magneto-resistivite anizotropi değişimidir ve $\theta = \pi/2$ için ρ_0 öz dirençtir.

Daha önce bahsedildiği gibi manyetik malzemeler anizotropik manyetik özelliklere (manyetik özellikleri yöne bağlıdır) sahiptir. Bir nesnenin fiziksel şekli ve imalat sırasında var olan koşulları güçlü bir şekilde anizotropik özellikleri belirler. İnce uzun film permalloy çökeltme sırasında mıknatıslanma alanına maruz kalırsa, çok eksensiz anizotropik özelliklere sahip yapılabilir. Bu özellik anizotropik manyetik direnç (AMR) sensöründe kullanılır.

AMR temel direnç elemanı Şekil 1.18 'de görüldüğü gibi ince bir dikdörtgen şeklinde bir filmidir. Anizotropi veya kolay eksen denilen bir eksende, mıknatıslanma

duyarlılığı diğer ikisinden çok daha yüksek bir değere sahiptir. Kolay eksen normalde filmin uzunluğu boyunca. İnceliği nedeniyle, filmin normal eksenine, neredeyse hiç manyetik duyarlılığa sahip değildir. Enine eksenin kolay eksene çok az bir duyarlılığı vardır.

Bir H_b ön alanı kolay eksen boyunca mıknatıslanmayı sature etmek için kullanılır ve sıfır harici alan için mıknatıslanma yönünü belirler. Basitleştirilmiş analiz için, film tek etki alanı olarak modellenir.

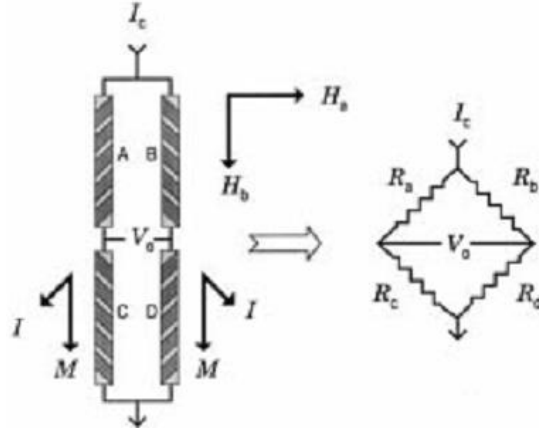


Şekil 1.19. Magneto-resistor yapısı ve yakından görünüşü

Şekil 1.19 (a)'da Tipik bir AMR elemanı kırımlı modeldeki birbirine bağlı birden fazla permalloy şeritler oluşur. Akım şöntleri akımın kolay eksene 45° açıda permalloy üzerinden akmaya zorlar. (b)'de yakın çekim görüntüsü verilmiştir.

Film düzlemindeki bir dış manyetik alanın etkisi ve anizotropi eksenini normalini mıknatıslanma vektörüne döndürecek ve Eşitlik 1.47'ye göre direnci değiştirecek.

Şekil 1.19'da gösterildiği gibi bu permalloy filmlerin bir serisi magneto-resistor oluşturmak üzere birbirine birleştirilir. Permalloy film üzerine iyi iletken malzemenin ince şeritler halinde yatırılmasıyla kolay eksene 45° açıda Akım akmaya zorlanır. Filmin mıknatıslanma seviyesi, permalloy kolay eksenine paralel olan mıknatıslanmış dirençler üzerindeki ince kobalt tabakası kaplaması üzerinde oluşturulan alanın etkisi ile kontrol edilir.



Şekil 1.20. AMR köprü sensörü

Gaussmetre veya manyetometre için uygun tipik bir AMR sensörü, Şekil 1.20 de gösterildiği gibi bir Wheatstone köprüsünde bağlı dört AMR'den oluşur. Transfer fonksiyonunda, A ve D dirençlerinin polaritesi, şönt akımının 90° döndürülerek B ve C dirençlerinin karşısında olması sağlanır. Bu belirtilen diziliş dördünününe göre tek bir direnç üzerindeki belirli bir alan için çıkış gerilimi sinyalini kuvvetlendirir.

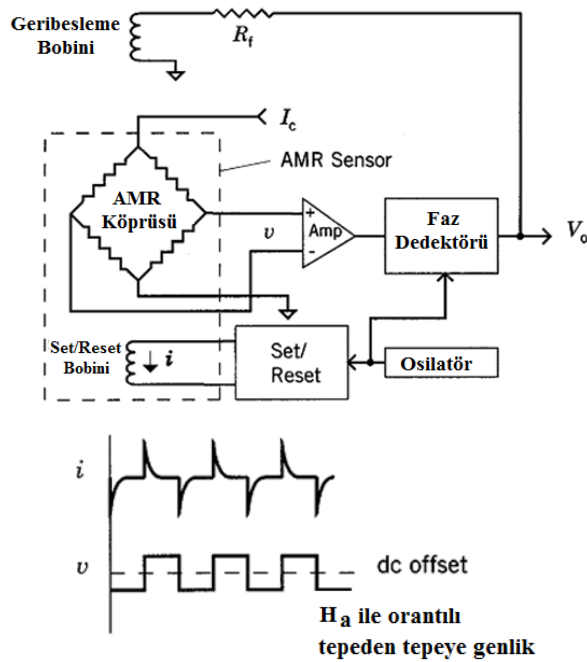
Geleneksel Wheatstone köprüsü sinyal iyileştirme devreleri, AMR köprüsünü işlemek için kullanılabilir. Köprü hassasiyeti ve sıfır sapması köprü gerilimi ile doğru orantılıdır. Bu yüzden düşük gürültülü ve uygun sıcaklık kararlılığı ile iyi düzenlenmiş bir kaynağı kullanmak önemlidir.

1.2.3. Skaler manyetik alan ölçerler

Skaler manyetometreler maddenin atomik ve nükleer özelliklerini kullanarak manyetik alan vektörünün büyüklüğünü ölçer. En yaygın olarak kullanılan iki skaler manyetometre proton presesyon ve optik pompalanır manyetometredir. Doğru koşullar altında çalıştırıldığında, bu cihazlar son derece yüksek çözünürlük ve doğruluğa sahip ve nispeten yönden bağımsızdırlar. Her ikisinin de bilinen çalışma kısıtlamaları vardır. Cihazlar, manyetik alanın algılama elemanı hacminin her yerinde düzenli olmasını gerektirir. Bunların sınırlı bir manyetik alan büyüklüğü ölçüm aralığı vardır: Genellikle $20\mu\text{T}$ - $100\mu\text{T}$.

Mıknatıslanma yönü sırayla sıfır ofseti ortadan kaldırmak için döndürülebilir. Elde edilen AC sinyal daha sonra yükseltilebilir ve aynı zamanda alanla ilgili sinyali kurtarmak için faz-tespit edilebilir. İsteğe bağlı olarak, AMR Gausmetrenin aralığı ve kararlılığı, çıkış gerilimi ile uygulanan alanı sıfırlayacak alanı üreten geri besleme bobini arasına bir direnç bağlayarak artırılabilir.

Proton presesyonunun manyetometre bir hidro-karbonda protonları polarize etmek için güçlü bir manyetik alan kullanır ve sonra polarize alanı kapatıldıktan sonra nonpolarize durumuna değişirken protonların presesyon frekansını algılar. Presesyon frekansı, polarize alan kaldırıldıktan sonra mevcut olan herhangi bir ortamın manyetik alanı büyüklüğü ile doğru orantılıdır. Atom sabitlerine olan bağımlılığından dolayı, proton presesyonunun manyetometre, manyetik alanları oluşturmak ve manyetometreleri kalibre etmek için kullanılan kalibre sistemleri için birincil standarttır.

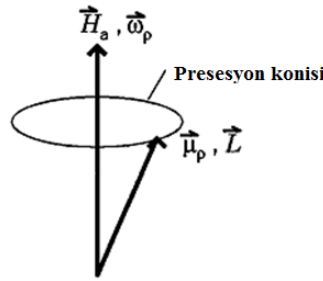


Şekil 1.21. Örnek AMR(Anisotropic Magnetic Resistor) Gausmetre

Optik pompalanır manyetometre Zeeman etkisine dayanmaktadır. Bir atomik buhar kuvvetli manyetik alana tutulduğu zaman, atomların elektron enerji seviyelerinde

her bir elektron geçişte birçok absorpsiyon çizgisinin oluşumuna yol açan bir yarılmaya gözlenir. Oluşan yeni çizgilerin absorpsanları toplamı, onların oluştuğu orijinal çizginin absorpsanına tam olarak eşit olmak üzere, bu çizgiler biri diğerinden 0.01 mm'ye kadar ayrılır. Bu durum genel olarak bütün atomik spektrumlarda Zeeman etkisi olarak tanımlanır.

Açısal momentumu L ve manyetik momenti μ_p ile dönen proton, H_a manyetik alanına maruz kaldığında, $\mu_p H_a / L$ 'ye eşit bir ω_p açısal hızıyla, alan etrafında yalpalama yapacaktır.



Şekil 1.22. Nükleer presesyon

1.2.3.1. Proton presesyonlu manyetometre

Proton presesyonlu manyetometre, Şekil 1.22'de gösterildiği gibi hem L açısal momentumu hem de μ_p manyetik momenti olan ve bir dönen çekirdeğin bir jiroskop gibi manyetik alanın etrafında dönmesi prensibine dayanmaktadır. Presesyon frekansı, ω_p uygulanan alanla orantılıdır. H_a Manyetik alanı çekirdeğe uygulandığında, çekirdek üzerinde bir tork üretecektir:

$$\vec{T} = \mu_p \times \vec{H}_a \quad (1.48)$$

Çekirdeğin açısal momentuma sahip olması nedeniyle bu tork, alanın yönü etrafında çekirdeğin yalpalanmasına neden olacaktır. Dengede tork, presesyonun hızı ve açısal momentum arasındaki ilişki:

$$\mu_p \times \vec{H}_a = \vec{\omega}_p \times \vec{L} \quad (1.49)$$

Presesyon (Larmor) frekansının büyüklüğü için çözerek şu sonucuna varılır:

$$\omega_p = \left(\frac{\mu_p}{L}\right) H_a = \gamma H_a \quad (1.50)$$

Burada γ 'ye döner mıknatıslık (jiromanyetiklik) oranı denir ve $(2.6751526 \pm 0.0000008) \times 10^{-8} \text{ T}^{-1} \text{ s}^{-1}$ eşittir.

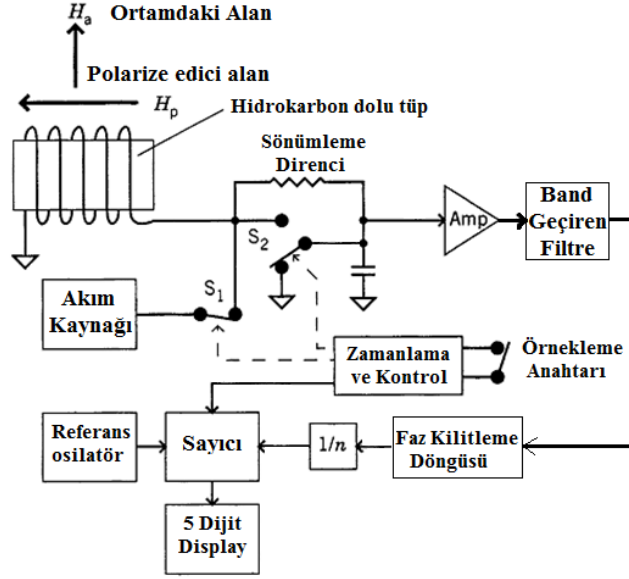
Şekil 1.23 proton presesyonlu manyetometrenin bir blok diyagramıdır. Sensör serbest hidrojen çekirdeğinde zengin hidrokarbon toplayıcısıdır. Toplayıcının etrafına sarılmış bir selenoid hem çekirdekleri kutuplaştırır hem de çevre alanın neden olduğu presesyonu algılamak için kullanılır. Polarize alan uygulanmadan önce, çekirdeklerdeki manyetik momentler rastgele yönlendirilir ve net mıknatıslanma sıfır olur.

Polarize alanın (genellikle 3mT'den 10mT'ye) uygulanması çekirdeklerin alan etrafında yalpalanmasına neden olur. Presesyonun eksenine uygulanan alana paralel veya antiparalel olabilir. Kuantum mekanik bir bakış açısıyla, antiparalel durum paralel durumundakinden daha düşük enerji seviyesindedir. Isıl dalgalanma olmaması durumunda atomlar arasındaki çarpışmalar, sıvının demagnetize kalmasına neden olur. Bir çarpışma meydana geldiğinde, presesyon-eksenine paralel çekirdekler enerji kaybeder ve antiparalel durumuna geçer ve sıvı M_0 denge mıknatıslanmasına ulaşır. Mıknatıslanma oluşumunun zamanla ilişkili denklemi:

$$M(t) = M_0(1 - e^{-\frac{t}{\tau_e}}) \quad (1.51)$$

Burada τ_e kafes dönüş gevşeme zamanıdır.

Şekil 1.23'deki devrede S1 kapatıldığında kutuplaştırıcı alan hidrokarbona uygulanır. Amplifikatör girişi, onu aşırı yüklemeyi önlemek için kısa devre yapılır. Birkaç saniye sonra, S1 açılır ve bobin Larmor frekansını ölçmek için sinyal işlemcisine bağlanır. Mıknatıslanma dengesi termodinamik düşüncelere dayanmaktadır.



Şekil 1.23. Tipik proton presesyonlu manyetometre

1.2.3.2. Optik pompalanır manyetometre

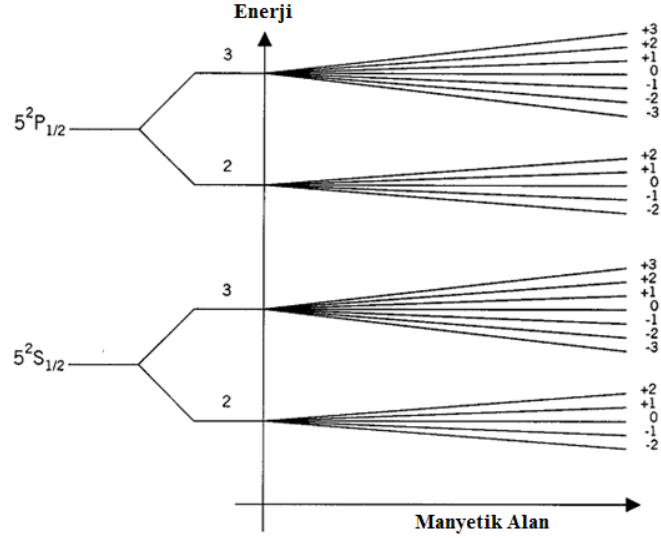
Daha önce açıklandığı gibi, optik pompalanır manyetometre Zeeman etkisine dayanmaktadır. Bu etki alkalin buharlarında (sezyum, sodyum ve potasyum rubidyum, lityum) çok telaffuz edilir. Şekil 1.24 bu tür manyetometrelerde yaygın olarak kullanılan rubidyumun (Rb) 85 valans elektronları için aşırı ince spektral yapısıdır. Bu aşırı ince çizgiler arasındaki frekans aralığı ile ilgili enerji, uygulanan alan ile orantılıdır. Manyetik kuantum sayısı m , açıl momentum sayısı ile ilgilidir ve uygulanan alanın yanı sıra manyetik momentin muhtemel bileşenin büyüklüğü belirler. Optik pompalanır manyetometre bu özelliğin avantajından yararlanır.

Geçişler farklı m değerlerinin seviyeleri arasında oluşur ve m 'deki kurala uygun değişiklik sadece 0, 1 ve -1 değerleri olabilir. Çizelge 1.7 uyarıcı ışığın geçiş polarizasyonu ve m 'deki izin verilen değişiklik arasındaki ilişkiyi listeler.

Çizelge 1.7. Uyarıcı ışığın geçiş polarizasyonu ve m 'deki izin verilen değişiklik

Polarizasyon	m
Sol dairesel	-1
Parelel	0
Sağ dairesel	1

Şekil 1.24’de bir manyetik alan uygulandığında, enerji seviyeleri alan arttıkça farklı Zeeman alt düzeylerine bölünmüştür. Kuantum mekanik faktörler her birincil enerji seviyesindeki alt düzeylerin sayısını belirler.



Şekil 1.24. Rb-85 enerji diyagramı

Pompalama başladığı zaman, buhar ışık geçirmez olur. Zaman ilerledikçe, emici fotonlar için daha az elektron erişilebilir olur ve sonunda, pompalama hareketi durana kadar buhar saydamlaşır ve sonunda tamamen saydam olur. Larmor frekansında küçük bir RF manyetik alanı, ölçülmekte olan manyetik alana dik açıda uygulanırsa, $m = 3$ seviyesindeki elektronlar diğer m seviyesindekilere geri çekilir. Optik olarak pompalanır manyetometre, Larmor frekansında osilatör üretmek için bu durumun olumlu bir geri besleme düzenlemesinden faydalanır.

Optik pompalanır manyetometreler için ölçek katsayıları proton presesyonlu manyetometreninkinden çok daha yüksektir. Çizelge 1.8 bir takım alkali buharları için bu ölçek katsayılarını listeler. Alandaki Değişim için Frekans Değişikliği Optik Pompalı Manyetometrede Proton Presesyon Manyetometreden çok daha yüksektir.

Çizelge 1.8. Alkali buharları için örnek ölçek katsayıları

Alkali	Ölçek Katsayı (Hz nT^{-1})
Rb-85	4,66737
Rb-87	~ 7
Sezyum	3,4986

Sonuç olarak, örnekleme oranı ve çözünürlüğü çok daha yüksek olabilir. 0,005 nT çözünürlük mümkündür. Örnekleme oranları, saniyede 15 örnek gibi yüksek olabilir.

1.3. Elektromanyetik Alanların Sağlık Üzerine Etkileri

Elektromanyetik dalgalar insan organizmasında büyük ölçüde karışıklığa sebep olabilirler. Örneğin, vücudun molekül ve atomları kendi aralarında kurdukları elektrik dengeyi kaybedebilir, biyokimyasal faaliyetlerden etkilenebilir ve en önemlisi hücrenin ve dolayısıyla dokuların işleyişindeki elektriksel yapı bozulabilir. Kalp, dolaşım sistemi, bağışıklık sistemi ve sinir sisteminde buna bağlı bozukluklar ortaya çıkabilir. Vücudun bağışıklık sisteminin sürekli zayıflamasının “kanseri artıran veya kanseri başlatan, tetikleyen bir etki” yapacağı sorusu da gündeme gelmiş konulardandır. Çocuklarda kan kanseri riskinin artmasını, kan tablosunun değişmesini, baş ağısının ve baş dönmelerinin çoğalmasını elektromanyetik alanlara bağlayan çalışmalar vardır. İnsan sağlığı açısından artık bir risk faktörü oluşturan elektrik alanların biyolojik etkilerini araştıran çalışmaların sayısı hızla artmaya başlamıştır (Walleczek, 1992).

Elektrik ve manyetik alanların insan sağlığı üzerindeki etkileri konusunda; 1989 yılında Amerika’da düzenlenen bir panelde sunulan çalışmalarda, alanların biyolojik etkilerinin özellikle hücreler ve dokular üzerinde olduğu belirtilmiştir. Dolayısıyla kanser, üreme sorunları ve hastalıkların oluşumu sistematik olarak büyüme kontrolündeki düzensizlikler nedeniyle meydana gelmektedir (Davis and Mills, 1993).

Biyolojik etkiler hakkında ilk bilgiler, bakteriler ve daha küçük yapıdaki hücreler üzerinde yapılan araştırmalar sonucu elde edilmiştir. Bu ön çalışmalar elektrik ve manyetik alanların hücreler üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesinde faydalı olmuştur. Bununla birlikte; bu bilgiler insana uygulanırken, aradaki fark dikkate alınmalıdır. Çünkü bu organizmalar, memelilere göre daha basit yapıya sahiptir (Davis and Mills, 1993).

Bilimsel veriler ve kanıtlar gösteriyor ki, ELF-EMF'ye maruz kalınmasının sağlık üzerinde olumsuz etkileri bulunmaktadır. En güçlü kanıt ise, mesleki alanlarda bulunan yetişkinler için lösemi ve çocuklarda görülen çocuk lösemisi şeklinde ortaya çıkan, insanoglunda görülen kanserin iki formu şeklindedir. Bu kişisel çalışmaların zayıflığının yanı sıra, yayılımın ve bununla doğru orantılı olarak maruz kalmanın artması ihtimalinde, kronik ve çocuk lösemisine yakalanma ihtimallerinin artırıcı etkenlerin tespit edildiğini de belirtmek gerekir. Bunu aksine, mekanistik çalışmalar ve hayvan topoloji kaynakları biyolojik çalışmalarla ilgili zayıf bulgular sunmuşlar ve rapor etmişlerdir. Yani hayvanlar üzerinde yapılan deneysel çalışmalar, bu sebepten dolayı lösemi hastalığının artışı delillerini gösterememişlerdir (Tazegül, 2006).

Thomas S. Tenforde tarafından yapılan bir çalışmada; elektrik ve manyetik alanların, özellikle hücre zarında ve Ca^{++} iyonu tarafından meydana getirilen işaret yolunda oluşturacağı değişiklikler incelenmiştir. Yine bu çalışmada; birçok duruma göre elektromanyetik alan etkisi altındaki hücrelerin, değişen fonksiyon özellikleri araştırılmıştır (Tenforde, 1993).

ABD Teknoloji Değerlendirme Bürosu'nun "iletim hatlarının ürettiği elektrik ve manyetik alanların halk sağlığı üzerine etkileri" konulu raporunda, elektrik ve manyetik alanlar ile hücre etkileşiminin hücre zarında meydana getirdiği ve elektromanyetik alanların vücudun elektrik düzeninde oluşturabileceği küçük bir işaret değişikliğinin bile hücrenin çalışmasında kritik öneme sahip olduğu bildirilmiştir. Ayrıca elektromanyetik alanlar normal büyüme işlemini yürüten hücrelere etki ederek özelliklerini bozmaktadır (Şeker ve Çerezci, 1997).

Yapılan bir başka çalışmada; hastalar her gün kısa bir süre manyetik alana maruz bırakıldığında, manyetik alanın hücre yapısına veya dokulara zarar vermediği gözlenmiştir. Fakat bu, uzun süre etki altında kalındığında aynı sonuçların alınacağını göstermez (Davis, 1992).

1977'de Minnesota ve Kuzey Dakota arasında düşünülen 400 kV'luk doğru gerilim hattının yapımı esnasında, halkın muhalefeti yoğun olmuştur. 1978'de hat

tamamlandıktan sonra çevrede oturanlar burun kanamaları, çocuk düşürmeleri, deri tahrişleri ve stres gibi sağlık problemlerinden şikâyetçi olmuşlardır. Bu şikâyetler sonucu Minnesota Çevresel Özellikler Kurulu'nun başlattığı araştırmalarda, elektromanyetik alanların meydana getirdiği söylenen olumsuz etkilerle ilgili hiçbir kanıt bulunamamıştır (Denno, 1992).

1987'de Danver'da David Savitz, yüksek gerilim hatlarının oluşturduğu elektromanyetik alanlarla çocuk kanserleri arasındaki ilişkinin derecesini belirlemek ve Wertheimer tarafından yapılan çalışmaları incelemek üzere yaptığı araştırmalarda yüksek manyetik alan etkisi altında kalan çocuklarda görülen kanserin, etki altında kalmayanlara göre 1.6 kez daha fazla olduğunu tespit etmiştir (Ulukut, 2005).

Elektromanyetik alanların kanser oluşumu üzerinde etkisi varsa, kanser vakalarının bağıl riskten fazla olması gerekmektedir. Ayrıca elektromanyetik alanların bütün yeryüzüne etkisi söz konusu olmasına ve uygulama alanların da hızla artmasına rağmen, kanser vakalarında önemli bir artış gözlenmemiştir. Fakat bu sonuçlar, elektromanyetik alanların olumsuz etkilerinin göz ardı edilmesi gerektiği anlamına gelmemelidir (Savitz and Loomis, 1995).

Elektromanyetik alanların üreme üzerindeki etkileri incelenirken; araştırmacıları en fazla uğraştıran konu, üremeyle ilgili her problemin birçok nedeni olması ve bu nedenlerin genellikle birbiriyle ilişkili olmasıdır. Dolayısıyla çalışmalar; rastlantı sonucu oluşan üreme problemleriyle, elektromanyetik alan etkisiyle oluşan problemler arasındaki fark üzerinde yoğunlaşmıştır. Örneğin elektromanyetik alan gibi çevresel etkilerin; embriyonun gelişimi üzerinde meydana getireceği etkileri tahmin etmek, önemli bir problem teşkil etmektedir. Embriyonun büyük bir oranı, hamileliğin başlangıç dönemlerinde kaybedilir. Bunların %50'si ilk üç haftada olmaktadır. Dünyaya gelen bebeklerin %3 ve %6 arasındakilerde çeşitli sakatlıklar görülmektedir. Fakat bunların değişik sebepler sonucu olduğu bilinmektedir (Davis vd., 1993).

Üreme problemleriyle ilgili olarak, hayvanlar üzerinde birçok araştırma yapılmıştır. En fazla kullanılan civciv embriyosu olmuştur. Çalışma mekanizması bakımından civciv embriyosu uygun olmakla birlikte; insanlar üzerindeki muhtemel üreme etkilerinin tayininde daha güvenilir bulgular için, çalışmaların memeliler üzerinde tekrarlanması gerekir. Civciv embriyoları üzerinde yaklaşık 15 deney yapılmış; ancak tutarlı veriler elde edilemediğinden, alan etkilerinin üreme problemi oluşturduğuna dair bir sonuca varılamamıştır.

Bir başka çalışma ise, inekler üzerinde yapılmıştır. Bu çalışmada inekler; dört ay gibi bir süre yüksek gerilim hatları altında bırakılmalarına rağmen, üreme özelliklerinde hiç bir bozukluk görülmemiştir. Benzer bir araştırma da fareler üzerinde yapılmış, onlarda da herhangi bir üreme problemine rastlanmamıştır (Davis vd., 1993).

Elektrik alanın etkileri arasında en önemlisi, beyin dokusunda bulunan kalsiyum iyonları üzerindeki olumsuz etkileridir. Yapılan yeni çalışmalar; elektrik alanının kalsiyumlu dokular üzerindeki etkisinin, özellikle alanın frekansına ve şiddetine bağlı olduğunu göstermiştir (Şeker ve Çerezci, 1997).

Son yirmi yılda; manyetik alanın etkileri konusunda yapılan birçok araştırmada, manyetik alanın genel davranışlar üzerinde etkili olduğu vurgulanmıştır. Fakat laboratuarlarda insanlar üzerinde yapılan incelemeler, manyetik alanların genel davranışlar üzerinde herhangi bir etkisi olduğuna dair bir sonuç vermemiştir. Araştırmalar manyetik alanın, elektrik alandan daha etkili olduğunu göstermektedir (Davis at al., 1993).

Elektriğin günlük hayatta kullanımı önemli bir yer tutmaktadır. Elektrik Akımının geçtiği her iletkenin yakınında ve etrafında hem elektrik alan, hem de manyetik alan oluşmaktadır. 1970'lerden beri çok düşük frekanslarda (ELF'de) oluşan elektrik ve manyetik alanlarının insan sağlığına etkileri sürekli gündemdedir. O zamandan beri birçok araştırma yapılmış ve gelecek araştırmalar için önemli veriler elde edilmiştir.

Son 30 yıldır yapılan araştırmalar, bu alanların biyolojik sistemleri etkilediğini göstermiştir.(Lacy-Hulbert at al., 1998). Wertheimer ve arkadaşlarının (1979) nc çalışması ile g istasyonlarında ve yüksek gerilim hatları civarındaki yerleşim yerlerinde yaşayan ve bu alanlara maruz kalan çocuklarda kanser sıklığının 2-3 kat arttığının tespit edilmesi bu alandaki araştırmaların yoğunlaşmasına neden olmuştur. Bu alanların olumsuz etkilerini gösteren birçok epidemiyolojik çalışmalar yapılmıştır (Moulder and Foster, 1999).

Bu verilerin aksini gösteren bulgular da olmasına rağmen(Tynes and Haldorsen, 1997; Savitz and Loomis, 1995) tüm verileri değerlendiren NIEHS ve IARC, DF-EMA'ları 2B sınıftan olası kanserojen etken olarak kabul etmiştir (Eichholz, 2002).

ELF manyetik alanı ile ilgili bağdaştırılabilecek başka kötü hastalıklar üzerinde de çalışmalar yapılmıştır. Bunlar diğer çocukluk kanserleri, yetişkinlerde kanser, depresyon, intihar, kan ve damar rahatsızlıkları, üreme bozukluğu, gelişim yetersizliği, immünolojik gelişimler, sinir davranış etkileri ve sinir bozukluğu hastalıkları olarak sayılabilir. WHO alışma grubuna göre ELF manyetik alanlardan dolayı ortaya çıkan rahatsızlıklara göre bütün bu hastalıklar lösemiye oranla daha düşük sayıda meydana gelmektedir.

1.4. Elektromanyetik Alan Maruz Kalma Limitleri

1974 yılında IRPA (International Radiation Protection Association) Uluslararası Radyasyondan Koruma Kurulu, NIR (Non-Ionizing Radiation) İyonlaştırmayan Radyasyon alışma grubunu oluşturmuştur. 0-300 GHz arasında BEM (Biyo Elektromanyetik) konusunu incelemekle görevlendirilmiştir. 1977 yılında Paris'te yapılan IRPA kongresinde; bu çalışma grubu INIRC (International Non-Ionizing Radiation Committee), Uluslararası İyonlaştırmayan Radyasyon Komitesine dönüştürülmüştür.

IRPA/INIRC kurumu; WHO (World Health Organisation) Dünya sağlık Örgütü'nün Çevre Sağlığı birimi ile birlikte, UNEP (United Nations Environment Programme) Birleşmiş Milletler Çevre Programınca desteklenen bir dizi çalışma sonucu çevre sağlık kriterleri oluşturulmuştur.

IRPA'nın 1992 yılında Kanada'da yapılan sekizinci Uluslararası kongresinde bağımsız ICNIRP (International Committee on Non-Ionising Radiation Protection) Uluslararası İyonlaştırmayan Radyasyondan koruma komitesi kurulmuş ve bu kurul IRPA/INIRC kurumunun yerini almıştır.

ICNIRP kuruluşunu, izleyen günlerde İyonlaştırmayan Radyasyon konusunda kılavuzlar oluşturma çalışmaları başlamıştır. Ulaşılabilen bütün bilimsel deneyler, bulgular incelenmiş ve tartışılmıştır. Hazırlanan istatistiksel veriler gözden geçirilmiştir. Elektromanyetik kirliliğin doğrudan ve dolaylı sağlık etkileri üzerinde araştırmalar desteklenmiş ve veri tabanları oluşturulmuştur.

ICNIRP kılavuzlarında iki sınıfta limitlerden söz edilir:

- Temel sınırlamalar: Doğrudan sağlık etkileri yaratan ve zamanla değişen elektrik, manyetik ve elektromanyetik alanlardır. Temel sınırlamalar için kullanılan parametreler frekansa göre;
 - a) Akım yoğunluğu (J),
 - b) Özgül soğurma oranı (SAR),
 - c) Güç yoğunluğu (S)'dur.

Bunlardan sadece ortamda bulunan (insan vücudunun dışındaki) güç yoğunluğu kolayca ölçülebilir.

- Referans seviyeler: Bu seviyeler; temel sınırlamaların sağlanıp sağlanmadığının belirlenmesine yarayan, ölçülebilir büyüklüklerdir. Bu seviyeler yapılan test ve ölçümlerden olduğu kadar, bilgisayar simülasyonlarından da elde edilir. Türetilmiş referans seviyelerinde kullanılan büyüklükler; elektrik alan E, manyetik alan H, güç yoğunluğu S ve

kaslardan akan akım I_a , adale akımıdır. Ayrıca kontak akımı I_k ve darbesel işaretler için özgül soğurma SA da kullanılmaktadır.

Elektromanyetik kirlilik durumunda bu parametrelerden birisi ölçülür ya da hesaplanır ve belirtilen referans seviye değeri ile karşılaştırılır. Referans seviyelerin sağlanması, temel sınırlamaların da sağlanması anlamına gelir. Ölçülen ya da hesaplanan değer; referans seviyeden yüksek çıkması, doğrudan temel sınırlamaların aşılması anlamına gelmeyebilir.

ICNIRP kılavuzları; doğrudan cihazların sağlanması gereken, elektromanyetik sızıntı seviyelerini belirlemez. Yani kullanılan cihazların limitleri ile ilgilenmez. Yine ICNIRP kılavuzları kalp pilleri, işitme cihazları gibi özel cihazları ne etkiler konusunu içermez. Normal koşullarda ortalama insana göre sınır ve limit değerlerden söz edilir.

Günümüzde henüz elektromanyetik alanlara maruz kalma limitleri kesin olarak tanımlanmamıştır (Anonymous, 2009). 1990'da IRPA tarafından hazırlanan kılavuza göre yüksek gerilim hatlarından kaynaklanan elektrik ve manyetik alan için maruz kalma limitleri Çizelge 1.9'daki gibidir (Hameyer et al., 1996). Kılavuzda bu alanlardan dolayı ani hastalıklara davetiye çıkarılmasının engellemesi amaçlanmıştır.

Çizelge 1.9. Elektrik ve manyetik alana maruz kalma limiti

Maruz Kalan	Elektrik Alan Büyüklüğü kV/m(rms)	Manyetik Akı Yoğunluğu mT(rms)
Profesyonel		
Gün boyunca	10	0.5
Kısa zaman için	30 ^(a)	5 ^(b)
Kol,bacak	-	25
Halk		
24 saate kadar ^(c)	5	0.1
Birkaç saat ^(d)	10	1
a) maruz kalma süresi $t(\text{saat}) \leq 80/E$, $E = [10,30]\text{kV/m}$		
b) günde maksimum 2 saat çalışma süresi		
c) dinlenme, toplantı alanlarında maruz kalma		
d) maruz kalma olmadığında birkaç dakikalığına limit değeri önemli değildir		

Bu konuda yapılan çalışmalar EM alanlarının birçok hastalıklara yol açtığını göstermektedir. Gelişigüzel kurulan iletim hattı sistemi yerleşim yerlerindeki insanların yüksek şiddetlerde EM alanlarına maruz kalmasına neden olmaktadır. Literatürde bu alanda yapılan çalışmaları, insan sağlığını risk altında bırakan etmenlerin aradan kaldırılması konusunda yetersiz kaldığını göstermektedir. Bu sebepten iletim hattı sistemleri için kapsamlı bir elektromanyetik alan hesaplaması yapılmalı, engellenebilirliği görülmeli buna göre iletim hattı tasarlanmalıdır (Abdulla, 2011).

50 Hz-1 mT manyetik alanın etkisini incelendiğinde, bu frekansta 1 mT manyetik alan yoğunluğunun değeri, biyolojik etkileşimin başladığı sınır değer olarak bilinmekte ve kabul edilmektedir (Coşkun vd., 2009).

Araştırmamızda ortalama ÖF değeri kullanılarak kobaylara uygulanan B alanların (1 mT, 2 mT ve 3 mT) insanlar için eşdeğeri sırasıyla 0,19 mT, 0,38 mT ve 0,57 mT hesaplanmıştır (Canseven ve Seyhan, 2005).

ICNIRP (Uluslararası İyonize Olmayan Radyasyondan Korunma Komisyonu)'ın kabul ettiği manyetik alan ve elektrik alanı maruziyet sınır değerleri şöyledir (Dinçer, 2009):

ELF 50Hz Manyetik Alan Maruziyeti Halk İçin Sınır Değeri	100 μ T = 1G
ELF 50Hz Elektrik Alan Maruziyeti Halk İçin Sınır Değeri	5000 V/m = 5kV/m
ELF 50Hz Manyetik Alan Maruziyeti Mesleki Sınır Değeri	500 μ T = 5G
ELF 50Hz Elektrik Alan Maruziyeti Mesleki Sınır Değeri	10000 V/m = 10kV/m

Bulgularımız 5mT, 50Hz elektromanyetik alanın lenfositlerde hiperpolarizasyona yol açtığını gösterdi (Tiber ve Garip, 2008). Bu bulgumuz Nuccitelli ve arkadaşlarının yaptıkları ve farklı şiddetlerdeki manyetik alanların U937 monosit hücrelerinde hiperpolarizasyona yol açtığını gösteren bulguları ile örtüşmektedir (Nuccitelli at al., 2006).

Önemli soru; toplumda EMA'a ne kadar maruz kalındığıdır. Toplum değişik seviyelerde EMA'a maruz kalmaktadır. EMA maruziyeti açısından yerleşim alanlarının ve konutların özelliklerine göre anlamlı farklılıklar vardır. Metropolitan alanda konutlarda ve çocuk odalarındaki maruziyet; şehir, kasaba ve kırsal alana göre

daha fazladır. Eski yapılar, hem iş hem konut amaçlı kullanılan binalar ve enerji hatlarına yakın konutlarda maruziyet daha fazladır. Konutlarda maruziyeti elektrik tesisatının durumu ve kullanılan elektrikli cihazlar belirler (Li at al., 2007).

İspanya'da kentsel alanda yapılan ölçümlerde, kent içi farklılıklar dikkat çekmiştir. Ölçülen en yüksek değer $7,3\mu\text{T}$ olup ölçümlerin %14,4'ü, sağlığa olumsuz etkisi olabileceği gösterilmiş olan, $0,2\mu\text{T}$ 'dan fazladır (Paniagua et al.,2007). Türkiye'de maruziyet belirlemeye yönelik az sayıda çalışma vardır. Ankara'da yüksek gerilim hatları izdüşümündeki ortalama değer $9,1\text{mG}$ ($0,91\mu\text{T}$) olarak bulunmuştur (Türkkan, 2009).

Uzun yaşam diliminin geçirildiği konutlar, EMA'a daha çok maruz kalınan yerlerdir. Bu nedenle çocuklar ve yaşlılar bundan daha fazla etkilenmektedir. ABD'de konut maruziyetinin incelendiği 992 ev ve odaların ortasında yapılan ölçümlerde evlerin %50'sinde manyetik alanın $0,6\text{mG}$ ve altı ($0,06\mu\text{T}$), %15'inde ise $2,1\text{mG}$ ($0,21\mu\text{T}$) olduğu ve tüm ölçümlerin ortalamasının $0,9\text{mG}$ ($0,09\mu\text{T}$) olduğu bildirilmiştir (Zaffanella, 1993).

EMA maruziyeti açısından sağlıklı sonuçlara ulaşmak için bireysel maruziyet seviyelerinin de incelenmesi zorunludur. ABD'de 1000 kişide, 24 saat boyunca yapılan ölçümlerde; maruziyet ortalaması $0,89\text{mG}$ ($0,089\mu\text{T}$) bulunmuştur. Toplumun %14,3'ünün 24 saatlik ortalama maruziyeti 2mG 'dur ($0,2\mu\text{T}$). Toplumun %6,3'ünün 3mG ($0,3\mu\text{T}$), %2,42'sinin 5mG ($0,5\mu\text{T}$) ve %0,46'sının 10mG ($1\mu\text{T}$) maruziyeti saptanmıştır. Bu durumda her dört kişiden birinin ortalama $0,2\mu\text{T}$ 'dan fazla EMA'a maruz kaldığı söylenebilir. Bireyler yüksek düzeyde ancak kısa süreli EMA'lara maruz kalabilmektedir. Toplumun %25'i bir saatini 4mG 'den ($0,4\mu\text{T}$), %9'u ise 8mG 'den ($0,8\mu\text{T}$) yüksek alanlarda geçirmektedir. Yaş gruplarına göre de maruziyet farklılıkları vardır. En fazla maruziyet ortalaması ($0,97\text{mG}$) çalışma hayatındaki yaş grubundadır. Bunu okul öncesi yaş grubu ($0,80\text{mG}$) ve okul çağı çocukları ($0,76\text{mG}$) izler (Zaffanella, 1998). Taiwan'da yapılan çalışmada 7 yaş ve altındaki çocukların %7,3'ünün $0,3\mu\text{T}$ ve %5,4'ünün $0,4\mu\text{T}$ 'dan fazla maruziyeti bildirilmiştir (Li at al., 2007).

Wertheimer ve Leeper'in 1979 yılında çok düşük frekanslı EMA maruziyeti ile çocukluk çağı kanserleri arasındaki ilişkiyi bildirmeleri, dikkatleri EMA'ların sağlık etkileri üzerine çekmiştir. Son 20 yıl içinde de artan şekilde değişik EMA kaynakları ile sağlık sonuçları arasındaki ilişki incelenmiştir. EMA ile lösemi arasındaki ilişkiyi araştıran çok sayıda çalışma vardır. EMA ile lösemi arasında anlamlı ilişki olmadığını bildiren çalışmalar (UK Childhood Cancer Study Investigators, 1999; Cheng at all., 2000) bulunmasına karşın, 0,4 μ T ve üstündeki maruziyetlerde çocukluk çağı lösemi riskinin 2 kat arttığı bildirilmektedir (Ahlbom at al., 2000). Gece maruziyeti \geq 0,4 μ T olan 4 yaş altı çocuklarda çocukluk çağı lösemi riski 14,9 kat artmaktadır (Schüz at al., 2001). Başka bir çalışmada riskin 6 yaş altında arttığı gösterilmiştir (Green at al., 1999).

Özellikle çok düşük frekanslı manyetik alan başta olmak üzere radyo frekans dalgalarına maruz kalma sonucunda pineal bezden melatonin salgısı baskılanmaktadır. Günde 30 dakika boyunca 1 ila 21 gün süreyle 50Hz/5,2mT manyetik alana maruz kalma, erkek Wistar ratlarında serum melatonin seviyelerini 15 gün süreyle azalttığı gibi pineal sinaptik düğüm sayılarını da azaltmıştır (Martinez at al., 1992).

İkinci (WHO) raporu; zamanla değişen manyetik alanların, insan üzerindeki etkileri konusunda mevcut verilerle ilgilidir. Raporda 50-60 Hz frekanslar için şu sonuçlara varılmıştır:

- 5 mT'nin altındaki manyetik alanlara maruz kalan insanlarda, önemli biyolojik etkiler görülmemiştir.
- 5 mT'le 50 mT arasındaki alanlara kısa süreli maruz kalmalarda; küçük geçici sağlık sorunlarına neden olabilen, biyolojik etkiler görülmüştür. Fakat uzun süreli (birkaç saat, gün veya hafta) maruz kalmalarda, sağlık sorunlarının neler olabileceği bilinmemektedir.
- 50 mT'dan büyük alanlara maruz kalma, değişik sağlık sorunları meydana getiren çeşitli hücre uyarı seviyelerinin aşılmasına neden olur.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Oldukça Düşük Frekans (ELF; 0-300 Hz) bölgesi trafo, yüksek gerilim hatları, ev ve iş yerlerinde kullanılan ve elektrikle beslenen sistemler tarafından üretilmektedir. Teknolojideki gelişmelerin sonucu olarak elektromanyetik dalgaların kullanımı her geçen gün artmakta ve günlük yaşamda doğada bulunanın çok üstündeki seviyelerde elektromanyetik dalgalara maruz kalınmaktadır (Seyhan, 2010).

ELF manyetik alanların Ekim 2001’de IARC (Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı) tarafından 2B sınıfı olası kanserojen olarak tanımlanmıştır. Gazi Biyofizik Anabilim Dalı’nın Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ile birlikte 9-11 Haziran 2004 tarihlerinde İstanbul’da yaptığı “Sensitivity of Children to Electro Magnetic Fields (Çocukların Elektromanyetik Alanlara Hassasiyeti)” konulu toplantıda, WHO’nun ELF manyetik alanların çocuk lösemisini 2 kat artırdığını tüm dünyaya duyurması, RF ve ELF’nin sağlık üzerine etkilerine yönelik araştırmaların önemini ortaya koymuştur (Anonymous, 2004).

İnsanlarda yapılan laboratuvar çalışmalarında ELF EM alanların, kan biyokimyası ve hematolojisinde sapmalara neden olduğu, nöroendokrin sistemde hormon salgılanmasını, sindirim sistemini, kardiyovasküler sistemde kan basıncı ve EKG potansiyellerini etkilediği, sinir sisteminde EEG dalga potansiyelinde değişim oluşturduğu, davranış değişimlerine neden olduğu, deri sıcaklığını etkilediği, fibroplastlarda DNA sentezini artırdığı gözlenmiştir. Evlerde ELF manyetik alan seviyelerindeki artışla depresyon arasında ilişki bulunmuştur. YGH yakınında yaşayanlarda baş ağrısı, depresyon, halüsinasyon oranı istatistiksel olarak önemli derecede yüksek bulan çalışmalar vardır. ELF EM alanlara maruz bırakılan deney hayvanlarında (maymun, kobay, fare, sıçan ve tavşan) saptanan nötrofil, lenfosit ve lökosit sayılarında azalma, beyinde biyokimyasal ve yapısal değişimler, serotonin ve dopamin seviyelerinde azalma gibi bulgular mevcuttur. ELF alanlardan en çok etkilenen dokular iletkenlik özelliklerine göre beyin sıvısı ve kan, ikinci derecede etkilenen dokular ise göz sıvısı, tiroid, kas, gastrointestinal sistem, prostat ve

testislerdir. ELF Manyetik alan melatonin sentezini yavaşlatarak uyku düzeninin bozulmasına neden olmaktadır (Polk and Postow, 1996).

Elektromanyetik dalga ışıması etkisinde kalan canlılar, elektromanyetik radyasyonu soğurmaktadır. Soğurulan elektromanyetik radyasyon vücutta ısınmaya yol açmakta ve bazı organlardaki elektrik akımının değişmesine neden olmaktadır. Elektromanyetik ışıma üreme organlarına, sinir sistemine, dolaşım sistemine zarar vermekte ve doku hücrelerinin kimyasal yapısını da bozmaktadır. Elektromanyetik ışıma soğurulmasının, baş ağrısı, hafıza kaybı, sinir ve dolaşım sistemi bozuklukları, bağışıklık sisteminin zayıflaması, uyku bozuklukları gibi hasarlara yol açtığı düşünülmektedir. Ancak elektromanyetik ışıma belli bir değerin altında olduğunda zararlı etkinin azaldığı bilinmektedir (Dizdar, 2004).

Son 30 yıldır yapılan araştırmalar, bu alanların biyolojik sistemleri etkilediğini göstermiştir.(Lacy-Hulbert at al., 1998). Wertheimer ve arkadaşlarının (1979) öncü çalışması ile güç istasyonlarında ve yüksek gerilim hatları civarındaki yerleşim yerlerinde yaşayan ve bu alanlara maruz kalan çocuklarda kanser sıklığının 2-3 kat arttığını tespit edilmesi bu alandaki araştırmaların yoğunlaşmasına neden olmuştur. Bu alanların olumsuz etkilerini gösteren birçok epidemiyolojik çalışmalar yapılmıştır (Moulder and Foster, 1999).

Önemli soru; toplumda EMA'a ne kadar maruz kalındığıdır. Toplum değişik seviyelerde EMA'a maruz kalmaktadır. EMA maruziyeti açısından yerleşim alanlarının ve konutların özelliklerine göre anlamlı farklılıklar vardır. Metropolitan alanda konutlarda ve çocuk odalarındaki maruziyet; şehir, kasaba ve kırsal alana göre daha fazladır. Eski yapılar, hem iş hem konut amaçlı kullanılan binalar ve enerji hatlarına yakın konutlarda maruziyet daha fazladır. Konutlarda maruziyeti elektrik tesisatının durumu ve kullanılan elektrikli cihazlar belirler (Li at al., 2007).

İspanya'da kentsel alanda yapılan ölçümlerde, kent içi farklılıklar dikkat çekmiştir. Ölçülen en yüksek değer 7,3 μ T olup ölçümlerin %14,4'ü, sağlığa olumsuz etkisi olabileceği gösterilmiş olan, 0,2 μ T'dan fazladır(Paniagua et al.,2007). Türkiye'de

maruziyet belirlemeye yönelik az sayıda çalışma vardır. Ankara’da yüksek gerilim hatları izdüşümündeki ortalama değer 9,1mG (0,91 μ T) olarak bulunmuştur (Türkkan, 2009).

Uzun yaşam diliminin geçirildiği konutlar EMA’ya daha çok maruz kalınan yerlerdir. Bu nedenle çocuklar ve yaşlılar bundan daha fazla etkilenmektedir. ABD’de konut maruziyetinin incelendiği, 992 ev ve odaların ortasında yapılan ölçümlerde evlerin %50’sinde manyetik alanın 0,6 mG ve altı (0,06 μ T), %15’inde ise 2,1 mG (0,21 μ T) olduğu ve tüm ölçümlerin ortalamasının 0,9 mG (0,09 μ T) olduğu bildirilmiştir (Zaffanella, 1993).

EMA maruziyeti açısından sağlıklı sonuçlara ulaşmak için bireysel maruziyet seviyelerinin de incelenmesi zorunludur. ABD’de 1000 kişide, 24 saat boyunca yapılan ölçümlerde; maruziyet ortalaması 0,89mG (0,089 μ T) bulunmuştur. Toplumun %14,3’ünün 24 saatlik ortalama maruziyeti 2mG’dur (0,2 μ T). Toplumun %6,3’ünün 3 mG (0,3 μ T), %2,42’sinin 5 mG (0,5 μ T) ve %0,46’sının 10 mG (1 μ T) maruziyeti saptanmıştır. Bu durumda her dört kişiden birinin ortalama 0,2 μ T’den fazla EMA’ya maruz kaldığı söylenebilir. Bireyler yüksek düzeyde ancak kısa süreli EMA’lara maruz kalabilmektedir. Toplumun %25’i bir saatini 4mG’den (0,4 μ T), %9’u ise 8 mG’den (0,8 μ T) yüksek alanlarda geçirmektedir. Yaş gruplarına göre de maruziyet farklılıkları vardır. En fazla maruziyet ortalaması (0,97 mG) çalışma hayatındaki yaş grubundadır. Bunu okul öncesi yaş grubu (0,80 mG) ve okul çağı çocukları (0,76 mG) izler (Zaffanella, 1998). Taiwan’da yapılan çalışmada 7 yaş ve altındaki çocukların %7,3’ünün 0,3 μ T ve %5,4’ünün 0,4 μ T’den fazla maruziyeti bildirilmiştir (Li at al., 2007).

Wertheimer ve Leeper’in 1979 yılında çok düşük frekanslı EMA maruziyeti ile çocukluk çağı kanserleri arasındaki ilişkiyi bildirmeleri, dikkatleri EMA’ların sağlık etkileri üzerine çekmiştir. Son 20 yıl içinde de artan şekilde değişik EMA kaynakları ile sağlık sonuçları arasındaki ilişki incelenmiştir. EMA ile lösemi arasındaki ilişkiyi araştıran çok sayıda çalışma vardır. EMA ile lösemi arasında anlamlı ilişki olmadığını bildiren çalışmalar(UK Childhood Cancer Study Investigators, 1999;

Cheng at all., 2000) bulunmasına karşın, 0,4 μ T ve üstündeki maruziyetlerde çocukluk çağı lösemi riskinin 2 kat arttığı bildirilmektedir (Ahlbom at al., 2000). Gece maruziyeti $\geq 0,4\mu$ T olan 4 yaş altı çocuklarda çocukluk çağı lösemi riski 14,9 kat artmaktadır (Schüz at al., 2001). Başka bir çalışmada riskin 6 yaş altında arttığı gösterilmiştir (Green at al., 1999).

Özellikle çok düşük frekanslı manyetik alan başta olmak üzere radyofrekans dalgalarına maruz kalma sonucunda pineal bezden melatonin salgısı baskılanmaktadır. Günde 30 dakika boyunca 1 ila 21 gün süreyle 50Hz/5,2mT manyetik alana maruz kalma, erkek Wistar ratlarında serum melatonin seviyelerini 15 gün süreyle azalttığı gibi pineal sinaptik düğüm sayılarını da azaltmıştır (Martinez at al., 1992).

Çok düşük frekanslı manyetik alana maruz kalma sonucunda pineal bezden melatonin salgılanması azalırken yüksek frekanslı manyetik alanın melatonin salgılanması üzerine etkisinin olmayışı Özen (Özen, 2003) tarafından şu şekilde açıklanmaktadır: Enerji nüfuz etme derinliği frekanstaki yükselmeye bağlı olarak azalır. Bu nedenle elektromanyetik alanlardan kaynaklanan enerjinin çoğunluğu yüzeye yakın soğurulur. Alçak frekanslar yüksek frekanslara göre çok daha derinlere ulaşabilmektedir. Cep telefonlarının da dahil olduğu mikrodalga frekans bölgesinde insan kafatasında elektromanyetik enerji soğurulması kafa derisi katmanında yoğunlaşmaktadır. Bu nedenle 900MHz ve üst frekanslardaki elektromanyetik dalgalar, pineal bezin derin anatomik yerleşiminden dolayı pineal bezi çok az etkilerken, düşük frekanstaki elektromanyetik dalgalar daha fazla etkilemektedir. Bu bilgiler ışığında denilebilir ki, düşük frekanslı manyetik alanlar organizmanın derin dokularına kadar etki gösterirken, yüksek frekanslı manyetik alanların zararlı etkileri yüzeysel dokularla sınırlı kalmaktadır.

Akhras ve ark.(2001) düşük frekanslı manyetik alanın dişi ve erkek ratlarda üreme üzerine etkili olduğunu saptamışlardır. ELF (Extremely Low Frequency, $f < 300$ Hz) aralığındaki 50Hz'lik manyetik alanların etkilerinin araştırılmasında yoğunlaşmıştır. Evde veya işyerlerinde maruz kaldığımız, elektrik kabloları, yüksek gerilim hatları ve elektrikli ev aletlerinden kaynaklanan elektrik (E) ve manyetik (B)

alanlar 50Hz titreşimlidir. Yüksek gerilim hatlarından kaynaklanan B alanının toprak yüzeyinde yaratacağı maksimum şiddet hattın yüksekliğine bağlı olarak $10\mu\text{T}$ - $50\mu\text{T}$ arasında değişmekte, ev ve işyerlerinde kullandığımız elektrikli aletlerin B alanları $0,1\mu\text{T}$ ile $2,5\text{mT}$ arasında değişim göstermektedir. Laboratuvar çalışmaları ile düşük şiddette ELF EM alanların biyomoleküllerin (DNA, RNA ve protein) sentezini, hücre bölünmesi ve kanser oluşumunu etkilediği gösterilmiştir (Best,1990; Canseven, 1998). Epidemiyolojik çalışma bulgularına göre yüksek gerilim hatları ve elektrikli ev aletlerinin kanser riskini artırdığı bilinmektedir. Günlük yaşamda maruz kalınan ELF alanların beyin tümörlerini, özellikle erkeklerde lösemi ve akut myeloid lösemi artırdığı rapor edilmiştir. $0,2\mu\text{T}$ gibi çok küçük B alanlar lösemi, lenfoma ve yumuşak doku sarkomlarını daha fazla olmak üzere tüm kanser türlerini 1,4 kat artırmaktadır (Frey, 1995).

Deri hidroksiprolin düzeyini etkilemekte 1mT , 2mT ve 3mT şiddetleri arasındaki fark istatistiksel anlamda önemli ($p=3.2\times 10^{-5}$) bulundu. 1mT şiddetinde uygulanan manyetik alan deri hidroksiprolin miktarını azaltırken, 2mT daha fazla olmak üzere 2mT ve 3mT şiddetlerinin hidroksiprolin miktarını artırdığı tespit edildi (Cansseven ve Seyhan, 2005).

Araştırmamızda ortalama ÖF değeri kullanılarak kobaylara uygulanan B alanların (1mT , 2mT ve 3mT) insanlar için eşdeğeri sırasıyla $0,19\text{mT}$, $0,38\text{mT}$ ve $0,57\text{mT}$ hesaplandı (Cansseven ve Seyhan, 2005).

50 Hz-1 mT manyetik alanın etkisini incelendiğinde, bu frekansta 1 mT manyetik alan yoğunluğunun değeri, biyolojik etkileşimin başladığı sınır değer olarak bilinmekte ve kabul edilmektedir (Coşkun vd., 2009).

iki bileşeninden biri olan manyetik alan, diğeri olan elektriksel alanın aksine, pek zayıflamadan vücudun derinlerine nüfuz eder ve bu yüzden vücudun derinlerindeki EMA şiddeti dışarıdaki alan şiddetiyle hemen hemen aynıdır. Bu nedenle, ELF-EMA'nın manyetik alan bileşeninin etkileri üzerinde daha çok durulmaktadır (Barnes, 1995).

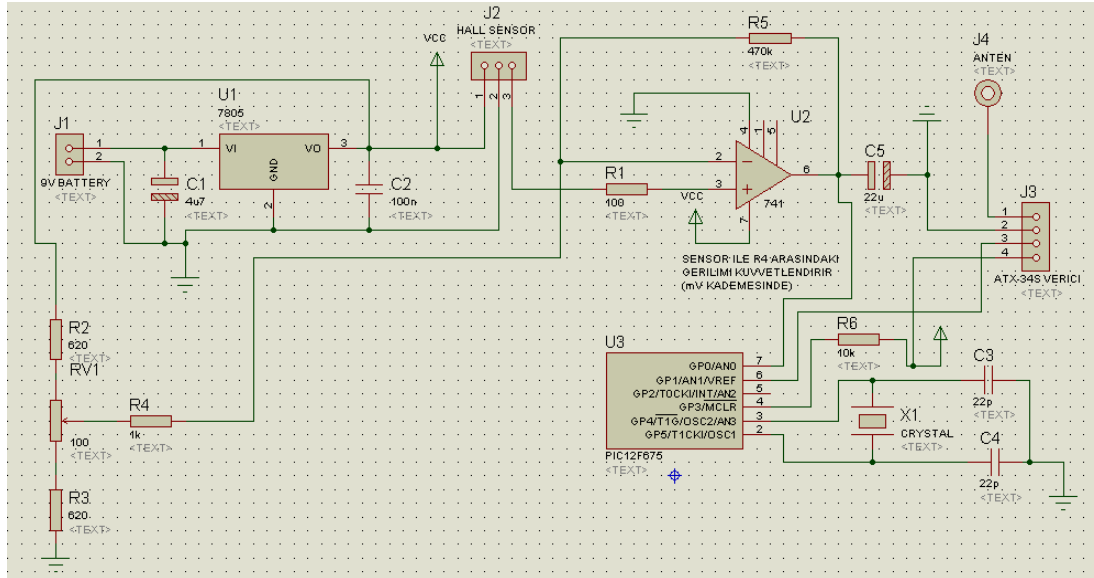
3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Bu bölümde tasarlanan devreler ve bu devrelerde kullanılan devre elemanları tanıtılacaktır.

3.1.1. Verici devresi

Manyetik alan ölçümünün yapılacağı ve hall sensörünün bulunduğu devredir. Devrede Hall sensörü yanında besleme katı, hassas ayar kısmı, kuvvetlendirici katı, mikro denetleyici ve RF verici modülü bulunmaktadır. Devrenin şeması şekil 3.1'de gösterilmiştir.



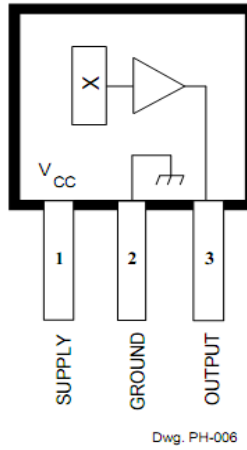
Şekil 3.1. Hall etkisi sensörünü de içeren verici devresi şeması(4 adet)

3.1.1.1. UGN 3503 hall etki sensörü

UGN3503LT, UGN3503U ve UGN3503UA Hall etkisi sensörleri manyetik akı yoğunluğundaki oldukça küçük değişiklikleri doğru bir şekilde izler. Hareket detektörleri, dişli sensörleri ve yaklaşım detektörleri olarak mekanik olayları manyetiğe aksettirmede kullanılırlar.



Şekil 3.2. UGN3503 Sensörünün görünüşü.

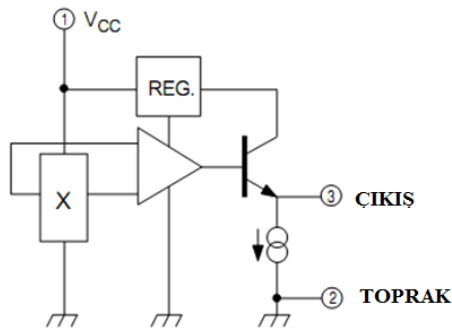


Dwg. PH-006
Pinning is shown viewed from branded side.

Şekil 3.3. UGN-3503'ün yazılı tarafından pin görünüşü (Datasheetarchive, 2002).

Her Hall etki sensörü devresi Hall algılama elemanı, doğrusal amplifikatör ve emetör çıkışlı takipçisi katı içerir. Küçük analog sinyallerin işlenmesiyle ilgili problemler, tek bir chip üzerinde Hall hücresi ve amplifikatör olarak en aza indirilmiştir.

Çoğu Uygulamalar için manyetik olarak optimize edilmiş üç kılıf sitili sağlanmıştır. Her cihaz +85°C/-20°C sıcaklık aralığında sürekli çalışma için tasarlanmıştır.



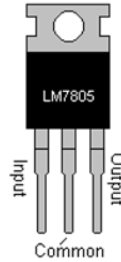
Şekil 3.4. UGN-3503 (Lineer Hall Sensörü) Fonksiyonel Blok diyagramı

Özellikleri;

- Son derece hassas
- 23 kHz'e kadar düzgün tepki
- Düşük gürültülü çıkış
- 4.5V'tan 6V'a besleme gerilimi ile çalışma

3.1.1.2. LM7805 gerilim düzenleyici

LM78XX serisi pozitif gerilim düzenleyicileri, elektronik elemanların güç tüketimlerinin hızla azalmaya devam ettiği günümüzde, devre tasarımında sıklıkla kullanılmaktadır. Ayrıca LM79XX serisi negatif gerilim düzenleyicileri de bulunmaktadır. Bir LM7805 devresi, girişine uygulanan 15Volt'luk gerilimi, 5Volt'a düşürüp sabitlerken; LM7905 devresi, aynı gerilim girişine uygulandığında bu gerilimi -5 Volt'a düşürmektedir. LM7805 gerilim düzenleyicisi şekil 3.5'de gösterilmiştir. Model olarak; 5, 6, 8, 9, 10, 12, 15, 18, 24 Volt çıkış gerilimi verebilen modeller bulunmaktadır. Ayrıca LM117XX serisi gerilim düzenleyiciler 1.2Volt'tan 57Volt'a kadar çıkış gerilimi sağlayabilmektedirler (Aruğaslan, 2008).

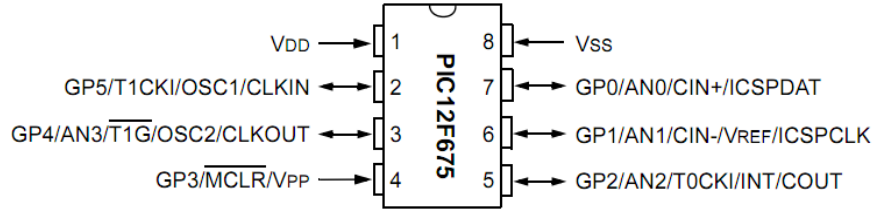


Şekil 3.5. LM7805 5V DC gerilim düzenleyicisi

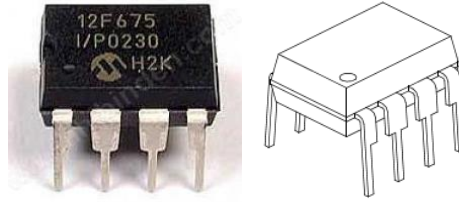
3.1.1.3. PIC 12F675 mikrodenetleyicisi

12F675 olarak kullanılan mikrodenetleyicinin diğer mikrodenetleyicilerden farkı program belleğinin flash teknolojisi ile üretilmiş olması ve sadece 8 pin ile küçük bir yapıya sahip olmasıdır. Flash memory teknolojisi ile üretilen bir belleğe yüklenen program, chipe uygulanan enerji kesilse bile silinmez. Yine istenirse bu tip belleğe yeniden bilgi yazılabilir.

8 pinlik küçük yapısına rağmen içinde ADC içermekte ve 4 adet analog giriş pinine sahiptir. İçinde 4Mhz. ve 20MHz dahili osilatör bulunmaktadır. Seri iletişimde de kullanılabilir. Yaptığımız çalışmada işlemcimizi 4MHz. frekansta seri iletişim için kullandık.



Şekil 3.6. PIC 12F675'in pin görünüşü (Microchip, 2007)



Şekil 3.7. PIC 12F675'in genel görüşünü

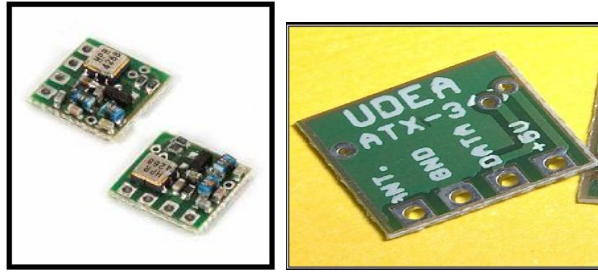
3.1.1.4. ATX 34S verici

Udea Elektronik firmasının üretmiş olduğu ATX-34S Radyo Frekanslı verici devresi, 433 MHz frekansında çalışmaktadır. 4 bacaklı yapıya sahip olan devre (Çizelge 3.1.) 17.3 cm'lik bir antenle birlikte en verimli biçimde çalışabilmektedir (Udea Elektronik, 2010).

Çizelge 3.1. ATX – 34S Pin Özellikleri

Pin No	Pin-İsmi	I/O	Açıklama	
1	Vcc	-	+5VDC besleme terminali	Regüle edilmiş voltaj kaynağı kullanılmalıdır.
2	DIN	1	DIGITAL INPUT	
3	GND	-	Kontrol kartınızın toprak hattına bağlayınız.	
4	ANT	O	50Ω empedans Anten bağlantı noktası.	

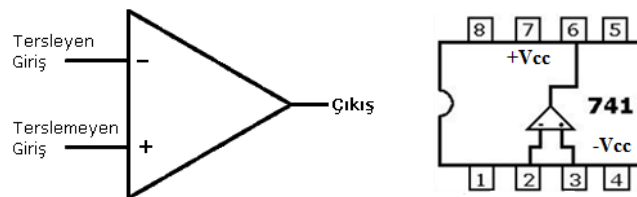
Anten boyu hesabı nasıl yapılacağı ise ARX-34S alıcı tanıtılırken yapılmıştır. Boyutları 11x11x2 mm'dir. Besleme gerilimi olarak 5 Volt ile 12 Volt arası bir gerilim seçilmelidir. Besleme gerilimi değeri 12 Volt'a yaklaştıkça, vericinin performansı artmaktadır dolayısıyla daha uzaklara veri iletilebilmektedir. Ayrıca besleme geriliminde en fazla 100 mV dalgalanma olması devrenin öngörüldüğü gibi çalışması açısından önemlidir. 300 baud ile 2400 baud hızları arasında veri transferi yapabilen devre, ev içi uygulamalarda en iyi sonucu 600 baud hızında vermektedir. Hızın ayarlanması yazılım aracılığıyla yapılmıştır ve PIC aracılığıyla vericiye uygulanmıştır. -10 °C ile +55 °C arasında ortam sıcaklığı çalışabilen ATX-34S; besleme gerilimi 5 Volt seçildiğinde 6,5mA besleme akımı çekmektedir. Sadece sayısal girişi bulunan verici devreye, uzağa göndermek istediğimiz veri sayısallaştırılıp bağlanmalıdır (Aruğaslan, 2008).



Şekil 3.8. ATX 34S verici şekli (Udea Elektronik, 2010)

3.1.1.5. LM741 Op-Amp'ın yapısı ve özellikleri

İşlemsel yükselteçler (Operational Amplifiers, kısaca OP-AMP) 1960 'lı yılların sonlarına doğru kullanılmaya başlanmıştır. 741 ve 747 gibi entegre şeklinde üretilirler. Bu entegrelere dışarıdan bağlanan devre elemanları ile geri beslemesi ve dolayısıyla yükselteç devresinin gerilim kazancı kontrol edilebilir. Genel olarak OP-AMP, çok yüksek kazançlı bir yükselteçtir.



Şekil 3.9. Temel OP-AMP Sembolü ve lm741'in pin bağlantıları

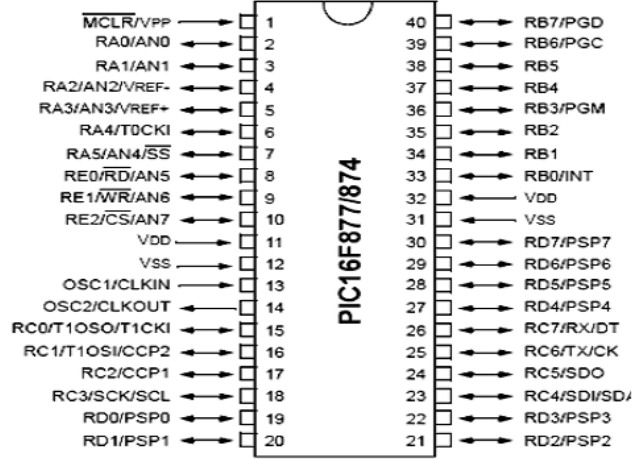
Şekil 3.9'da temel OP-AMP sembolü gösterilmiştir. Bu sembolde gösterilmeyen bir de besleme voltaj uçları bulunur. Genel olarak bir işlemsel yükseltcin iki giriş, bir çıkış, iki de besleme kaynağı ucu bulunur. Sembolde, (-) işaretli giriş ucu tersleyen (eviren, inverting), (+) işaretli giriş ucu terslemeyen giriş ucudur. (-) işaretli giriş ucuna sinyal uygulandığında çıkıştan 180° faz farklı bir çıkış sinyali alınır. Giriş sinyali (+) işaretli giriş ucuna uygulandığı zaman da çıkıştan alınan sinyalle girişe uygulanan sinyal arasında faz farkı oluşmaz. Yani aynı fazda bir çıkış sinyali alınır. OP-AMP, 5 önemli özelliğe sahiptir. Bunlar;

- Kazancı çok fazladır. (Örneğin, 200.000)
- Giriş empedansı çok yüksektir. ($5\text{ M}\Omega$)
- Çıkış empedansı sifıra yakındır.
- Band genişliği fazladır. (1MHz)
- Girişe 0 Volt uygulandığında, çıkıştan yaklaşık 0 Volt elde edilir.

OP-AMP 'ın iki kazancı vardır. Bunlar açık çevrim ve kapalı çevrim kazancıdır. Kapalı çevrim kazancı, devreye harici olarak bağlanan geri besleme direnci ile belirlenir. Açık çevrim kazancı ise OP-AMP 'ın kendi kazancıdır. Yani direnç ile belirlenemeyen kazancıdır. Her ne kadar OP-AMP 'ın kazancı yaklaşık 200.000 gibi bir değerde olmasına rağmen bu kazanç OP-AMP 'a uygulanan besleme voltajına bağlıdır. Örneğin, bir OP-AMP 'ın besleme voltajı ± 12 Volt ve girişe 1 Volt yükseltmek üzere bir giriş sinyali uygulansa, OP-AMP 'ın özelliğine göre çıkıştan bu kazançla orantılı olarak 200.000 Volt alınmaz. Çünkü besleme voltajı ± 12 Volt kullanılmışsa çıkıştan en fazla 12 Volt alınır. Burada, açık çevrim kazancını etkileyen en önemli faktör besleme voltajının değeridir. Devremizde besleme +5V kullanılmıştır.

OP-AMP 'ın diğer özelliği $5\text{ M}\Omega$ 'a ulaşan giriş empedansıdır. Giriş empedansının bu kadar büyük olması, bağlı olduğu sinyal kaynağını ve bir önceki devreyi yüklememesi, küçük bir giriş akımı ile kumanda edilmesi gibi üstünlükleri vardır.

portların giriş ya da çıkış olarak kullanılması isteğe bağlıdır. Bu portlar giriş/çıkış yapmakla beraber bazı çevresel işlemleri de yapacak özelliğe sahiptirler. Bu bacaklar çevre birimleri kullanıldığında genel giriş/çıkış olarak kullanılmaz.



Şekil 3.11. PIC 16F877 Bacak bağlantı yapısı

3.1.2.2. ARX 34C RF alıcı modül

Udea Elektronik firmasının üretmiş olduğu ARX-34C radyo frekanslı alıcı devresi, 433MHz frekansında çalışmaktadır (Udea Elektronik, 2010). Küçük fiziksel boyutu ve düşük güç tüketimi sayesinde uzaktan kontrol sistemleri için kullanıma uygun olan devre; 17,3cm'lik bir antenle birlikte en başarılı biçimde çalışabilmektedir. Anten boyu hesabı için bağıntılar eşitlik (3.1) ve (3.2)'da verilmiştir. Besleme gerilimi olarak 4.9Volt ile 5.1Volt arası bir gerilim seçilmelidir. 5.1Volt'tan yüksek bir besleme gerilimi uygulanması durumunda devrenin bozulma olasılığı çok yüksektir. Ayrıca besleme geriliminde en fazla 100 mV (mili Volt) dalgalanma olması, devrenin öngörüldüğü gibi çalışması açısından önemlidir. Modülün pin özellikleri Çizelge 3.2'te verilmiştir.

$$Dalga\ Boyu = \frac{3 \times 10^{10}}{f} \quad (cm) \quad (3.1)$$

$$Anten\ Boyu = \frac{Dalga\ Boyu}{4} \quad (cm) \quad (3.2)$$



Şekil 3.12. ARX-34C RF Alıcının görünüşü

Çizelge 3.2. ARX – 34C Pin Özellikleri

Pin No	Pin-İsmi	I/O	Açıklama	
1	ANT	I	50Ω impedance Anten bağlantı noktası.	
2	GND	-	Kontrol kartınızın toprak hattına bağlayınız.	
3	Vcc	-	+5VDC besleme terminali	Regüle edilmiş voltaj kaynağı kullanılmalıdır.
4	AOUT	O	ANALOG OUTPUT	
5	DOUT	O	DIGITAL OUTPUT	

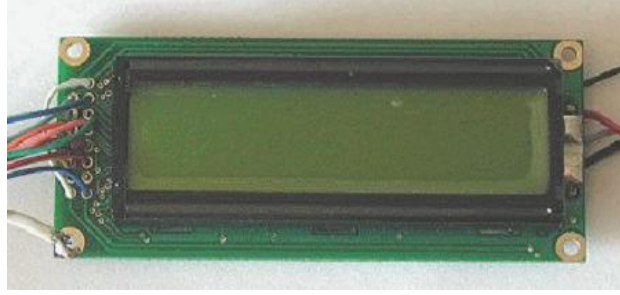
300 baud ile 2400 baud hızları arasında veri transferi yapabilen devre, ev içi uygulamalarda en iyi sonucu 600 baud hızında vermektedir. -10 °C ile +55 °C arasında ortam sıcaklığı çalışabilen ARX-34C; 5 mA besleme akımı çekmektedir. Hem sayısal hem de analog girişe sahiptir. Devrede sayısal giriş kullanılmıştır.

3.1.2.3. LM741 Op-Amp'ın yapısı ve özellikleri

Devreye 5V sabit besleme gerilimi sağlamak için kullanılmaktadır. Bu konu verici devrede de bulunduğu için 3.1.1.5. numaralı konu içinde anlatılmıştır.

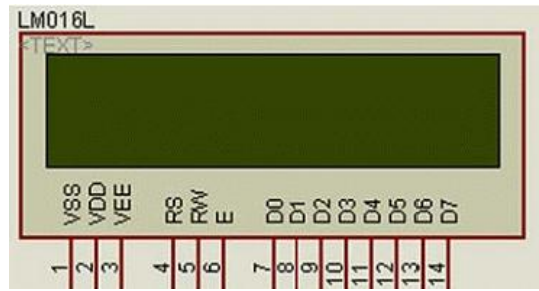
3.1.2.4. 2 x 16 LCD

LCD'ler ilk olarak 1960 yılında kullanılmış olup günümüzde de kullanılan yüksek teknolojik sistemlerdir. Likit kristalli ekran; günlük yaşamda cep telefonlarında, beyaz eşyalarda, güvenlik sistemlerinde ve birçok elektronik sistemde kullanılan ve kendi karakter hafızası bulunan bir birimdir. 2 x 16; 2 satır ve 16 sütundan oluşan bir ekran anlamına gelmektedir.



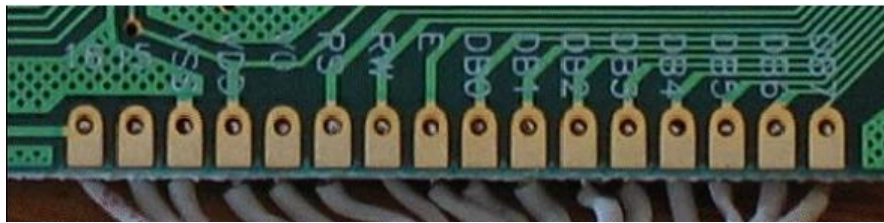
Şekil 3.13. LCD genel görünümü

Likit kristalli ekran 16 adet bağlantıya sahiptir. Bu bağlantılar aşağıda açıklanmıştır.



Şekil 3.14. Proteus programında bacak bağlantıları

Şekil 3.13 ve Şekil 3.14'de da görüldüğü gibi 1. ve 2. bacaklar güç kaynağı hatları yani Vss ve Vdd'dir. Vdd bacağının pozitif gerilime, Vss'nin de 0V'a veya toprağa bağlanması gerektiğini ifade eder. Likit kristalli ekran birimleri veri kitapçıklarının çoğunda kaynak besleme gerilimi 5V gösterilmesine rağmen, 6V ve 4.5V'luk beslemelerde de oldukça iyi çalışmaktadır. Hatta bazı ekran birimlerinde besleme gerilimi 3V'a kadar düşmektedir. Bu nedenle ekran birimleri etkin ve ekonomik olarak pil / batarya ile beslemek de mümkündür (Aruğaslan, 2008).



Şekil 3.15. LCD arka görüntüsü

3. bacak yani Vss, ekranın parlaklığını ayarlamaya yarayan bir kontrol ucudur. Bu bacak değişken bir gerilim kaynağına veya besleme hatları arasına bağlanan bir

ayarlı direncin orta ucuna bağlanarak bu ayar yapılabilir. Ancak bazı likit kristalli ekran birimlerinin 7V'a varan gerilimlere ihtiyaç duyduğu da göz önüne alınrsa, en basit olarak bu bacağın 0V'a bağlanması en uygundur. 4., 5. ve 6. bacaklar komut kontrol bitleri olarak isimlendirilebilirler. Bunlardan 4. bacak yani RS yazma seçme bitidir ve bu komut kontrol bacaklarının ilkinin oluşturur. Bu hat düşük (Lojik 0) yapıldığı durumda ekrana aktarılan veri bitleri komut olarak algılanır ve gerekli işlem yerine getirilir. Bu durumda ekrandan okunan veri bitleri ise, ekranın durumu hakkında bilgi verir. Bu hattın yüksek (Lojik 1) yapılması ile de, birime karakter veri transferi veya alımı yapılacağı anlaşılır. Kısa ve basitçe özetlemek gerekirse, ekranda bir karakter yazmak veya ekrandan bir karakter okumak için RS hattı yüksek, ekrana bir komut yollamak veya ekranın durumu hakkında bilgi almak istersek RS hattını düşük yapılması gerekmektedir. 5. bacak yani R/W hattı, kısaca oku / yaz anlamına gelmektedir. Eğer ekrana karakter veri transferi yapılacaksa veya bir komut yollanacaksa düşük, karakter veri alımı yapılacaksa veya yazmaçlardan durum bilgisi okunacaksa yüksek yapılır. 6. bacak yani E ise komut kontrol bitlerinin sonuncusunu oluşturur ve yetki biti olarak isimlendirilebilir. Bu giriş, birim ve veri hatları arasında, komutların veya karakter verilerinin, gerçek anlamda aktarımını başlatmak için kullanılır.

Ekrana yazılırken, veri aktarımı sadece bu işaretin düşen kenarında gerçekleşir. Bununla birlikte, ekrandan okuma yapılırken, veri yükselen kenar hemen kısa bir süre sonra hazır olur ve işaret tekrar düşüncüye kadar hatta kalır. 7. ile 14. bacaklar arasındaki uçlar sekiz adet veri hattıdır. Veri ekrana, ya 8 bit'lik tek bir byte olarak ya da, içi 4 bit'lik Nibble' lar olarak aktarılır veya ekrandan okunur. Bu ikinci durumda, sadece üst dört veri hattı (D4'den D7'ye) kullanılır. Bu 4 bit modu, bir mikrodenetleyici kullanıldığında, daha az giriş / çıkış hattına gerek olduğundan kullanışlıdır. 15. ve 16. bacaklar ise aydınlatma girişleridir. 15. bacak +5 Volt gerilime, 16. bacak ise toprak hattına bağlandığında ekran ışıklı hale gelmektedir (Aruğaslan, 2008).

3.1.3. Test için kullanılan ölçü aleti

Kullanılan manyetik alan ölçer cihazının bazı özellikleri aşağıdaki Çizelge 3.3’de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Manyetik alan ölçer cihazının temel özellikleri

Minimum frekans aralığı	1Hz
Maksimum frekans aralığı	30MHz
Minimum Elektrik alan aralığı	0,1V/m
Maksimum Elektrik alan aralığı	20kV/m
Minimum Manyetik alan aralığı [Tesla]	1pT**
Maksimum Manyetik alan aralığı [Tesla]	2mT
Minimum Manyetik alan aralığı [Gauss]	10nG**
Maksimum Manyetik alan aralığı [Gauss]	20G
Minimum Analog giriş	200nV
Maksimum Analog giriş	200mV
Filtre band genişliği (Minimum)	1Hz
Filtre band genişliği (Maksimum)	1MHz
Doğruluk	3%
Nokta kararlılığı	1024
Boyutlar (Boy x En x Kalınlık) [mm]	260x86x23
Ağırlık	420gr

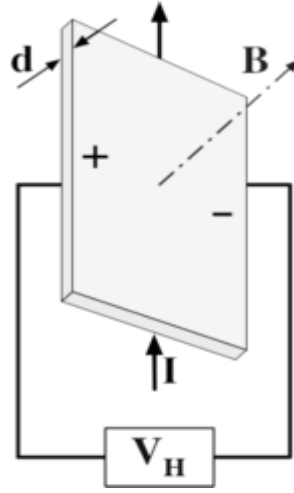


Şekil 3.16. Test ölçümleri için kullanılan manyetik alan ölçer cihazı

3.2. Yöntem

3.2.1. Hall Etkisi

Hall-etkisi elektrik ve manyetik alan altında kalan yük taşıyıcıların hareketlerini inceler. Bu taşıyıcılar iletken ya da yarı iletken maddenin içindedir ve manyetik alanın oluşturduğu kuvvet ile bu maddenin bir kenarında toplanırlar (Anonymous, 2011).



Şekil 3.17. Hall etkisi

Sadece bir tip yük taşıyıcısı (elektronlar) olan basit bir metal için Hall gerilimi aşağıdaki eşitlik (3.3) ile verilir:

$$V_H = \frac{-I B/d}{n e} \quad (3.3)$$

Eşitlikte I levha uzunluğu boyunca olan akımı, B manyetik akı yoğunluğunu, d levhanın kalınlığını, e elektronun yükünü ve n taşıyıcı elektronların yük taşıyıcı yoğunluğunu verir.

Hall katsayısı aşağıdaki gibi tanımlanır:

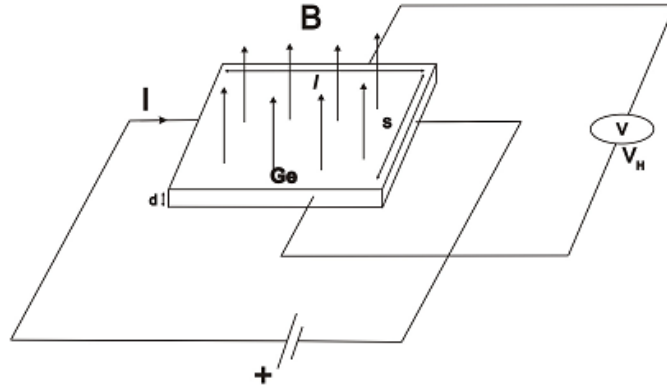
$$R_H = \frac{E_y}{j_x B} \quad (3.4)$$

Eşitlik (3.4)'de j taşıyıcı elektronların akım yoğunluğudur. Bu eşitlik,

$$R_H = \frac{E_y}{j_x B} = \frac{V_H}{I B/d} = -\frac{1}{n e} \quad (3.5)$$

halini alır.

Sonuç olarak Hall etkisi, taşıyıcı yoğunluğu veya manyetik alanı ölçmek için çok kullanışlı bir yöntemdir.

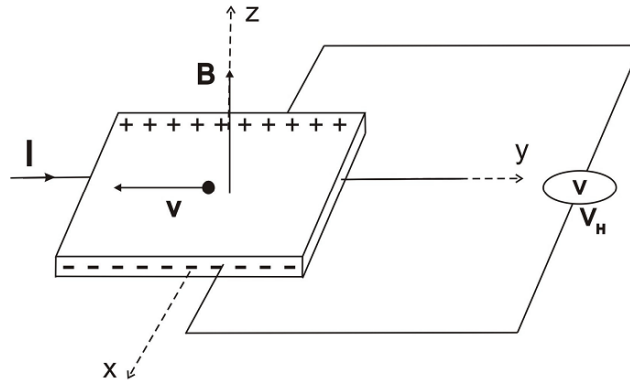


Şekil 3.18. Hall etkisindeki yarıiletken

Şekil 3.18’de bir Hall-Etkisi deneyinin düzeneği gösterilmektedir. Görmüş olduğunuz gibi manyetik alan etkisi altında kalmış yarı iletken maddeye voltaj uygulanarak akım verilir (Kontrol Akımı). Manyetik alan sonucu hareket eden yükler Lorentz Kuvveti

$$\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B}) \quad (3.6)$$

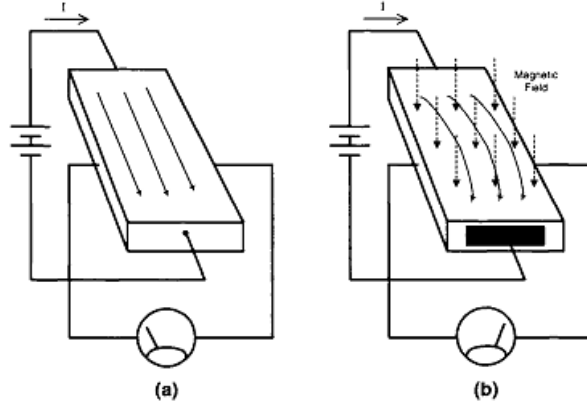
etkisi altında kalırlar ve yarı-iletken maddenin bir kenarında toplanırlar. Eşitlik (3.6)’de ‘q’ elektronun ya da holün yükünü, ‘v’ ise hızını ifade eder. Yarı iletken maddede elektronlar x-yönünde bir kuvvetin etkisinde kalıp yarı iletken maddeye Şekil 3.19’da görüldüğü gibi dağılırlar (Anonim, 2007).



Şekil 3.19. Hall etkisindeki yarıiletken ve polarizasyonu

Bu yük dağılımı sonucunda oluşan kutuplaşma sonucu bir elektrik alan oluşur (E_H). Yük dağılımı devam ettikçe elektrik alan çoğalır ve manyetik kuvvetin tersine bir kuvvet uygular. Bu durumda elektrik alan manyetik kuvveti dengelediğinde yük

dağılımı durur. Bu denge pozisyonunda yarı iletken maddedeki yük farkından dolayı oluşan voltaja Hall Voltaj (V_H) denir.



Şekil 3.20. Hall etkisindeki levha üzerindeki hall gerilimi

3.2.1.1. Yarı iletkenlerde hall etkisi

Akım taşıyan bir yarı iletken manyetik alan içinde tutulduğunda, akım taşıyıcıları manyetik alana ve akım yönüne dik bir kuvvet etkisi altında kalır. Denge durumunda yarı iletkenin kenarları arasında bir gerilim oluşur.

Akım taşıyıcıların yoğunlukları ile mobiliteleri farklı olan elektronlar ve elektron boşluklarının olduğu yarı iletkenlerde, yukarıda verilen Hall katsayısının basit ifadesi daha karmaşık bir hal alır. Orta derecedeki manyetik alanları için Hall katsayısı

$$R_H = \frac{-n\mu_e^2 + p\mu_h^2}{e(n\mu_e + p\mu_h)^2} \quad (3.7)$$

şeklindedir. Burada n elektron konsantrasyonu, p boşluk konsantrasyonu, μ_e elektron mobilitesi, μ_h boşluk mobilitesi ve e elektronik yükün mutlak değeridir (Anonymous, 2011).

Uygulanan büyük değerdeki manyetik alanlar için daha basit bir Hall katsayısı ifadesi mevcuttur:

$$R_H = \frac{1}{(p - n)e} \quad (3.8)$$

vektörü sayfa düzleminin içine doğru ise \otimes işareti ile, vektör sayfa düzleminin dışına yani bize doğru ise \odot işareti ile gösterilir.

3.2.3. RF ile Telemetrik Manyetik Alan Ölçümü

Bu çalışmada, RF (Radyo Frekans) veri haberleşmesi ile kablosuz çalışan bir uzaktan manyetik alan ölçüm sistemi prototipi geliştirilmiştir. Bu sistemde, birden çok ölçüm noktasından gönderilen manyetik alan bilgisi kontrol birimi tarafından alınabilmekte ve bu değerler LCD'de (Liquid Crystal Display) gösterilmektedir. Manyetik alan ölçümü için kullanılan manyetik alan algılayıcısı, yüksek doğrulukla ölçüm yapmakta ve manyetik alan bilgisini tek bir veri hattı üzerinden sayısal olarak göndermektedir. Yapılan deneylerde, ölçüm noktalarından kontrol noktasına manyetik alan verisinin yaklaşık 25-30m uzaklığa kadar iletebildiği gözlenmiştir. Bu manyetik alan ölçüm sisteminde, allegro firması tarafından üretilen UGN-3503 adlı Hall etkisi algılayıcısı kullanılarak manyetik alan değeri RF veri iletimi ile kablosuz şekilde ölçülmüştür. RF veri iletimi için Udea firması tarafından üretilen ve ASK (Amplitude Shift Keying) modülasyonu kullanan ATX-34S / ARX-34C verici-alıcı birimleri kullanılmıştır. Her bir ölçüm noktasında PIC12F675 mikrodenetleyicisi, ATX-34S RF vericisi ve UGN-3503 manyetik alan algılayıcısından oluşan ölçüm birimi, kontrol noktasında ise PIC16F877 mikrodenetleyicisi ve ARX-34C RF alıcısından oluşan kontrol birimi bulunmaktadır. Verici noktalardan RF yoluyla alınan manyetik alan bilgisi kontrol noktasındaki LCD'de gösterilmektedir.

3.2.4. Kablosuz İletişim

1970 ve 1980' li yıllar telekomünikasyon alanında dünyada devrimler yaşanmasına sahne oldu. Analog FM teknolojisi kullanılarak hücreli iletişim teknikleri geliştirilmeye başlandı. FM teknolojisi telsiz (wireless) iletim devriminin ilk adımı sayılır ve çoğu zaman birinci nesil teknoloji olarak adlandırılır (Aruğaslan, 2008).

1990'lı yıllarda ikinci nesil hücreli kişisel iletişim sistemleri PCS (Personel Communications Systems) geliştirildi. Yeni sistemler, zaman bölüşümlü çoklu erişim TDMA (Time Division Multiple Access) ve dar band kod bölüşümlü çoklu erişim

CDMA (Code Division Multiple Access) standartlarına dayanmaktadır. Sayısal teknoloji kullanan yeni teknolojiler, analog sistemlere nazaran daha yüksek kapasiteli veri iletimine sahip olmalarına rağmen, halen spektrum kullanımında etkili değildirler ve yeterince yüksek hızda veri taşıyamamaktadırlar. Ayrıca harici frekans girişimlerine karşı korunaklı değildirler (Aruğaslan, 2008).

Şu an dünyada üç tane ikinci nesil teknik hâkimdir. GSM, CDMA, PDC. Bunlar arasında GSM dünya üzerinde en yoğun kullanılan sistem. GSM, TDMA temelli bir sistemdir ve Amerika kıtası ve Japonya, Kore haricinde hemen hemen dünyanın her alanında kullanılmakta. CDMA sistemler, dünya telsiz hücreli iletim sistemlerinin yaklaşık yüzde 20' si oranında kullanılmakta ve yoğun kullanıldığı yerler Kuzey ve Güney Amerika kıtasıdır. PDC ise TDMA tabanlı Japon hücreli telsiz iletim sistemi. Bu sistemler değişik yöntemler kullanılarak birbirleri ile haberleşebilecek duruma getirilebilirler dahi, genel olarak dünya üzerinde tek bir değişim ortamı oluşturulamamıştır (Aruğaslan, 2008).

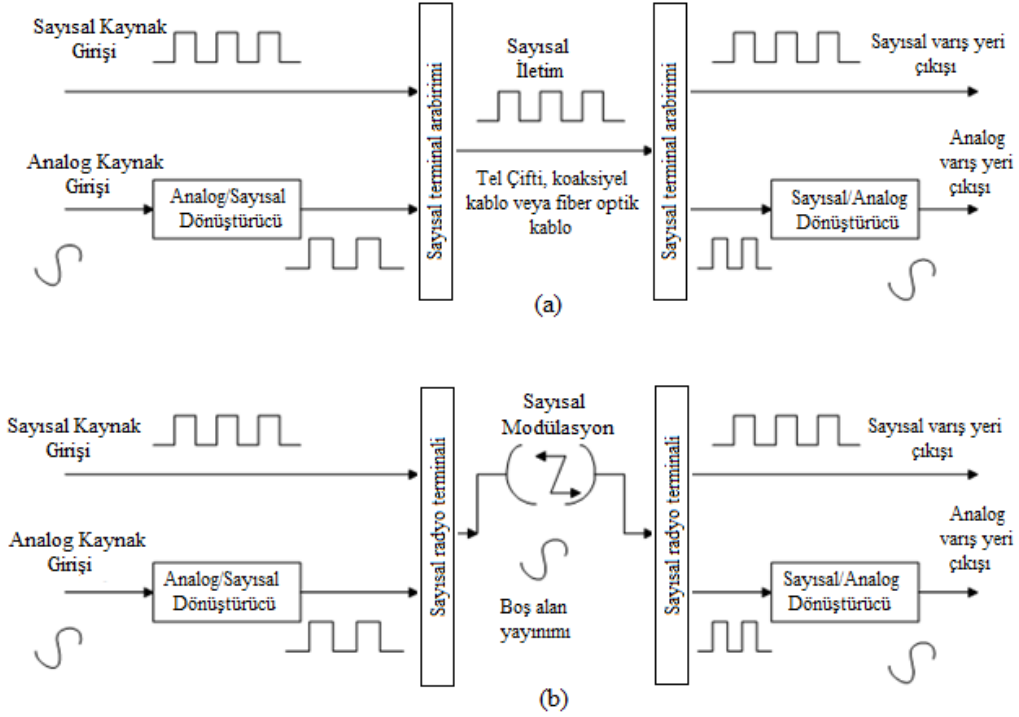
İkinci nesil teknikler çok dar frekans bantları kullanırlar. Bu alan bu sistemlere ses iletimi için yeterli imkânı sağlasa da, veri iletimi için yeterli değildir. Şu an ikinci nesil teknikler üzerinden iletebilecek veri hızı sadece 9.6 Kbps oranındadır. Bu oran maalesef veri iletimi için çok düşük ve pahalıya mal olacak bir orandır (Aruğaslan, 2008).

3.2.5. Sayısal iletişim teknikleri

Sayısal iletim, bir iletişim sisteminde iki nokta arasında sayısal darbelerin iletilmesidir. Sayısal radyo ise, bir iletişim sisteminde iki nokta arasında sayısal modülasyonlu analog taşıyıcıların iletimidir. Sayısal iletim sistemleri, verici ile alıcı arasında metalik tel çifti, koaksiyel kablo ya da fiber optik kablo gibi fiziksel bir malzeme gerektirirler. Sayısal radyo sistemlerinde iletim ortamı boş alan ya da yeryüzü atmosferidir (Biçer, 2007).

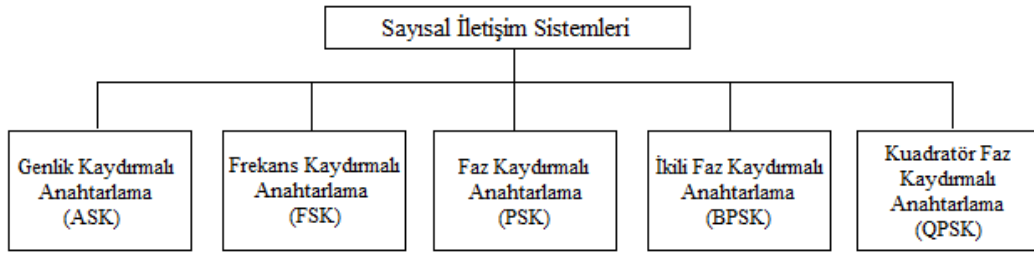
Şekil 3.23, sayısal bir iletim sistemi ile sayısal bir radyo sisteminin blok diyagramını göstermektedir. Sayısal bir iletim sisteminde, başlangıçtaki kaynak bilgi sayısal biçimde ya da analog biçimde olabilir. Eğer kaynak bilgi analog biçimdeyse, iletimden önce sayısal darbelere; alma ucunda ise tekrar analog biçime

dönüştürülmelidir. Sayısal bir radyo sisteminde, module edici giriş işareti ve demodüle edilmiş çıkış işareti sayısal darbelerdir.



Şekil 3.23. Sayısal iletişim sistemleri; (a) sayısal iletim; (b) sayısal radyo

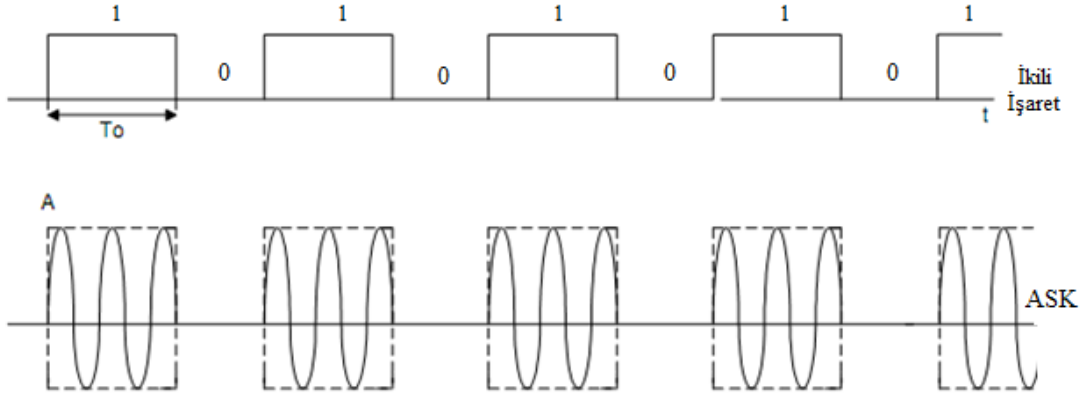
Sayısal radyo sistemini klasik, GM, FM ya da PM radyo sistemlerinden ayıran özellik, sayısal radyo sisteminde module edici ve demodüle edilmiş işaretlerin, analog dalga biçimleri değil, sayısal darbeler olmalarıdır. Klasik sistemlerde olduğu gibi sayısal radyoda da analog taşıyıcılar kullanılmaktadır. Fakat module edici ve demodüle edilmiş işaretler, analog dalga biçimleri değil, sayısal darbelerdir. Bunlar "Modern dünyanın yapı taşları" olan , dijital "0" ve "1" işaretleridir. En çok kullanılan sayısal iletişim sistemleri Şekil 3.24'de gösterilmiştir.



Şekil 3.24. Sayısal iletişim sistemleri

3.2.5.1. Genlik Kaydırmalı Anahtarlama

Genlik Kaydırmalı Anahtarlama (ASK), ikili bilgi işaretlerinin genlik modülasyonuna uygulanmasıdır. (Var – Yok) anahtarlama (on-off keying-okk) adı verilen bu teknikte modüle edilmiş dalga biçimleri Şekil 3.25’de verilmiştir.

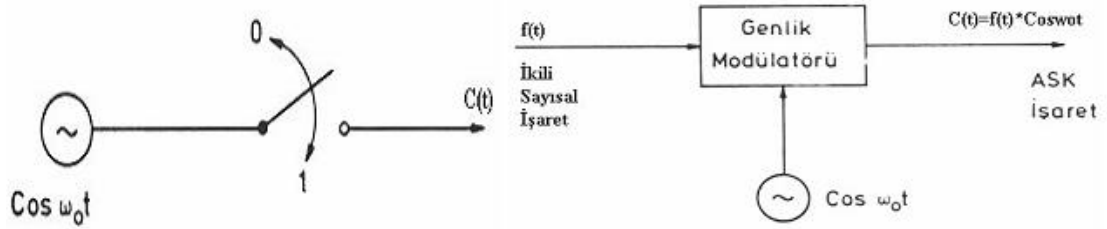


Şekil 3.25. ASK'nın modüle edilmiş dalga biçimleri

Burada var durumu L -1 koduna, yok durumu L- 0 koduna karşılık düşmektedir.

• ASK verici

Analog sistemlerdeki ÇYB işaret üretimine benzemektedir.



Şekil 3.26. ASK modülatör

Şekilde gösterilen bir dengeli modülasyon veya çarpıcı ile ASK işaret elde edilir. t süresi kadar anahtar kapalı diğer durumlarda açıktır. ASK işaretinin bant genişliği şu şekilde hesaplanır :

$$C(t) = A.f(t).Cos\omega_0t \quad (3.10)$$

$$C(w) = \frac{A}{2} [F(w - w_0) + F(w + w_0)] \quad (3.11)$$

ASK ile ikili işaretin spektrumu $\pm w_0$ 'a kaydırılmaktadır.

- **ASK Alıcı**

Bunların demodülasyonu için başlıca iki yol vardır.

1. Eşzamanlı demodülasyon
2. Eşzamansız demodülasyon

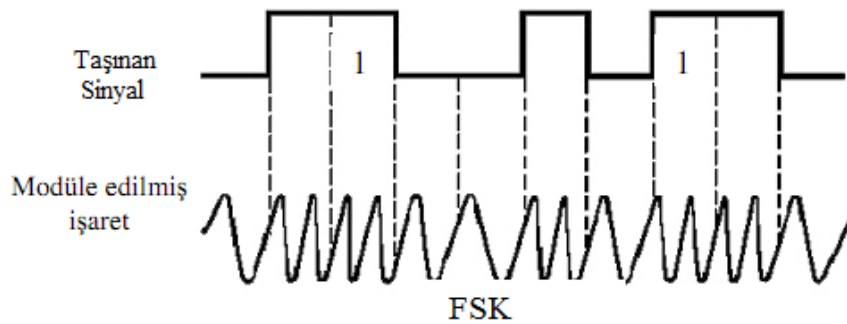
Bunlar analog haberleşmedekiler ile aynıdır.



Şekil 3.27. ASK' nın eşzamansız demodülasyonu

3.2.5.2. Frekans Kaydırmalı Anahtarlama

Frekans Kaydırmalı Anahtarlama (FSK), basit, düşük performanslı bir sayısal modülasyon biçimidir. FSK, frekans modülasyonuna benzer (FM) sabit zarflı bir açılı modülasyonu biçimidir; aradaki fark, modüle edici işaretin sürekli değişen bir dalga biçimi değil iki ayrı gerilim düzeyi arasında değişen ikili darbe akışı olmasıdır. Kısacası FSK, ikili bilgi işaretlerinin frekans modülasyonuna uygulanmasıdır. Şekil 3.28'de frekans kaydırmalı anahtarlamanın şekli gösterilmektedir.

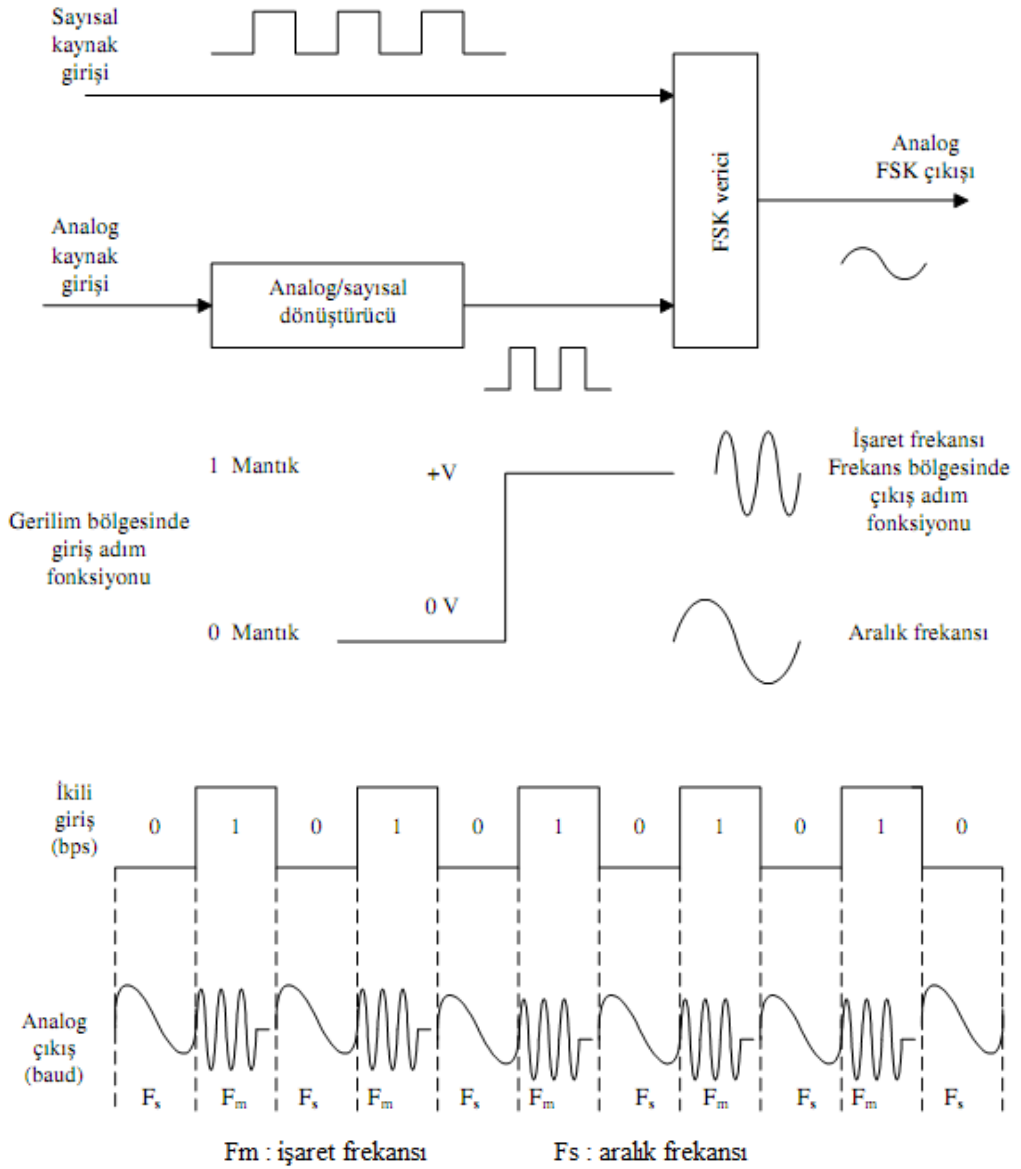


Şekil 3.28. Frekans kaydırmalı anahtarlama

- **FSK verici**

İkili FSK'da, orta frekans ya da taşıyıcı frekansı, ikili giriş verisi tarafından kaydırılır. Dolayısıyla, FSK bir modülatörün çıkışı, frekans domeninde bir basamak

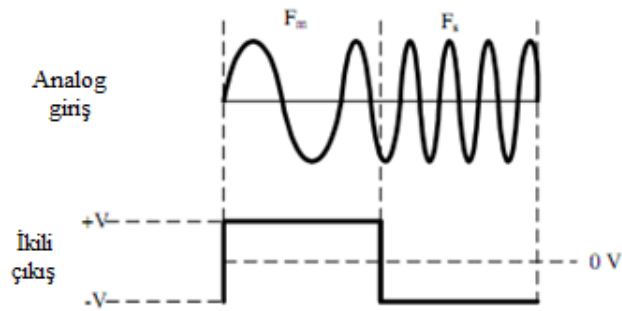
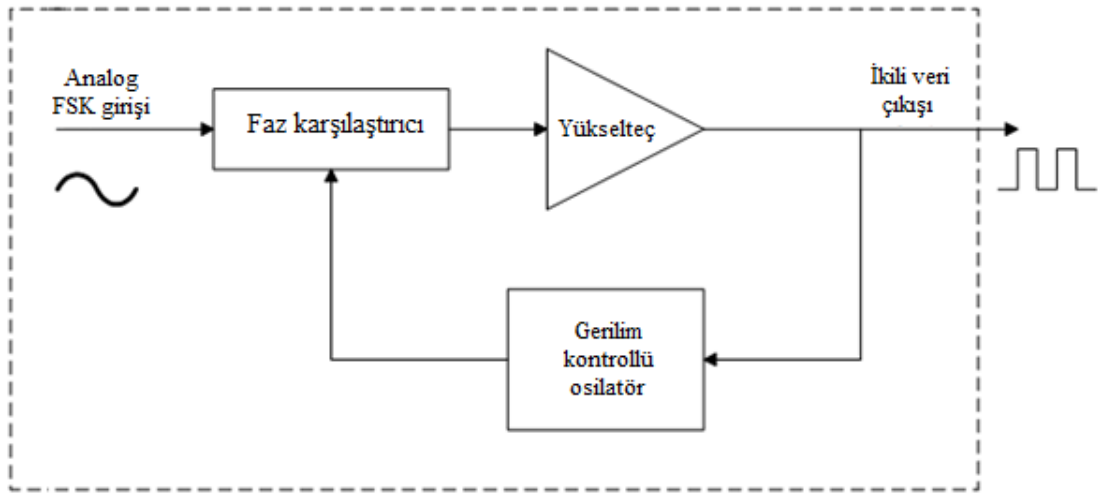
fonksiyonudur. İkili giriş işareti, 0 mantık düzeyinden 1 mantık düzeyine ya da 1 mantık düzeyinden 0 mantık düzeyine değiştiğinde, FSK çıkışı iki frekans arasında kayar: işaret ya da mantık 1 frekansı ile aralık ya da mantık 0 frekansı. FSK’ da, ikili giriş işaretinin mantık durumu her değiştiğinde, çıkış frekansında bir değişiklik olur. Dolayısıyla, çıkış değişim hızı giriş değişim hızına eşittir. Sayısal modülasyonda, modülatörün girişindeki değişim hızına bit iletim hızı denir; bit iletim hızının birimi, bit bölü saniyedir (bps). Modülatörün çıkışındaki değişim hızına baud ya da baud hızı denir; baud hızı, bir çıkış işaretleme ögesinin süresinin tersine eşittir. FSK’ da, giriş ve çıkış değişim hızları eşittir; dolayısıyla, bit iletim hızı ve baud hızı eşittir. Basit bir FSK verici, Şekil 3.29’da gösterilmiştir.



Şekil 3.29. İkili FSK verici

- **FSK Alıcı**

FSK işaretleri demodüle etmek için en yaygın olarak kullanılan devre, Şekil 3.30'da gösterilen faz kilitlemeli döngüdür (FKD). FKD- FSK bir demodülatör, FKD'nin girişi, işaret ve aralık frekansları arasında kaydığında, faz karşılaştırıcının çıkışındaki dc hata gerilimi frekans kaymasını izler. Yalnızca iki giriş frekansı (işaret ve aralık) olduğu için yalnızca iki çıkış hata gerilimi vardır. Biri 1 mantık düzeyini; öteki ise 0 mantık düzeyini temsil eder. Bu nedenle çıkış, FSK girişinin iki - düzeyli (ikili) bir temsilidir. Genelde, FKD' nin doğal frekansı FSK modülatörün orta frekansına eşit yapılır. Bunun sonucunda, dc hata gerilimindeki değişiklikler, analog giriş frekansındaki değişiklikleri izler ve 0 V dc etrafında simetriklerdir. FSK yalnızca, düşük performanslı, düşük maliyetli, asenkron veri iletişim modemlerinde kullanılır; bu modemler analog, ses bandı telefon hatlarında yapılan veri iletişimde kullanılmaktadır (Biçer, 2007).



Şekil 3.30. FKD- FSK demodülatör

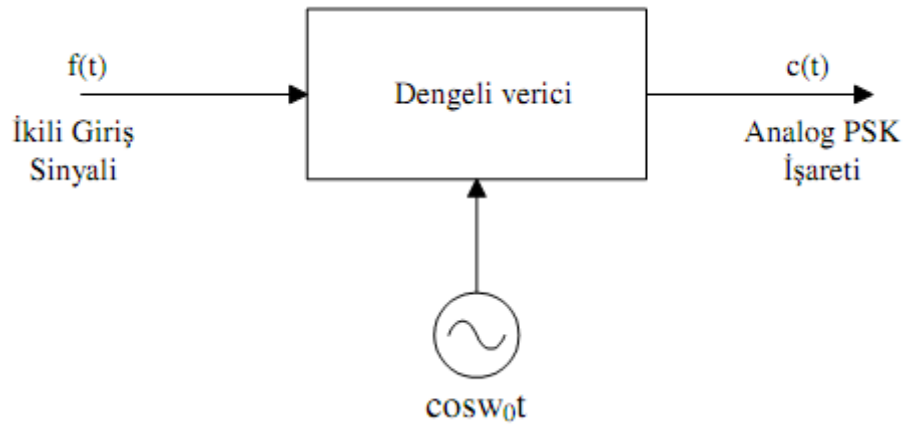
3.2.5.3. Faz Kaydırmalı Anahtarlama

Faz kaydırmalı anahtarlama (PSK), açılı modülasyonlu, sabit zarflı, sayısal modülasyonun bir başka biçimidir. PSK, klasik faz modülasyonuna benzemektedir; aralarındaki fark şudur: PSK’ da giriş işareti ikili sayısal bir işarettir ve sınırlı sayıda çıkış fazı mümkündür. Kısacası PSK, ikili bilgi işaretlerinin faz modülasyonuna uygulanmasıdır.

Bu tür sayısal iletişim sistemlerinde, taşıyıcının fazı, ikili işarete bağlı olarak 180 derece kaydırılır.

• PSK Verici

Aşağıda dengeli bir modülatör(verici) ile gerçekleştirilen PSK vericisi görülmektedir.



Şekil 3.31. PSK modülatör blok diyagramı

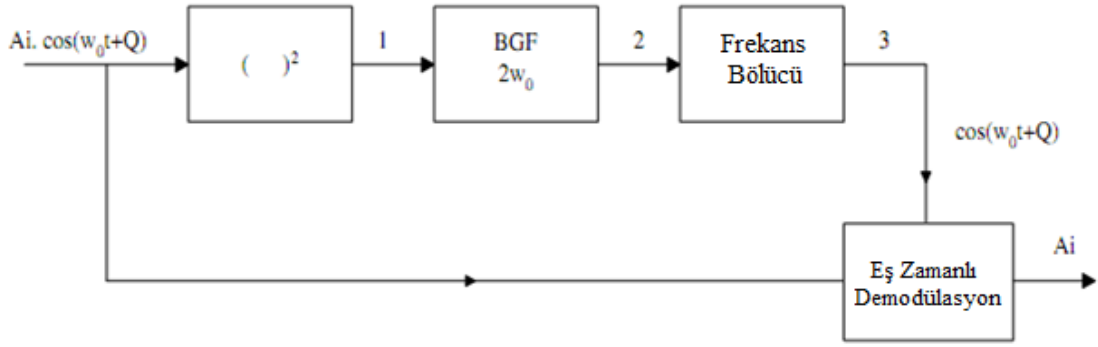
$$C(t) = A \cdot \cos(w_0 t + Q_i) \longrightarrow Q_i = 0 \text{ veya } 180^\circ \quad (3.12)$$

$$C(t) = A_n \cdot \cos w_0 t \longrightarrow A_n = \pm A \quad (3.13)$$

PSK işaretinin modülatör çıkışı yukarıdaki gibi matematiksel olarak ifade edilebilir.

• PSK Alıcı

Demodülasyon işlemi eşzamanlı bir demodülatör ile yapılabilir. Şöyleki:



Şekil 3.32. PSK demodülatör blok diyagramı

Giriş

$$C(t) = A_i \cdot \cos(W_0t + Q) \quad (3.14)$$

Burada eşzamanlı demodülasyonun $\cos(W_0t + Q)$ 'sini üretmek için bir devre kullanılmıştır. Şöyle ki;

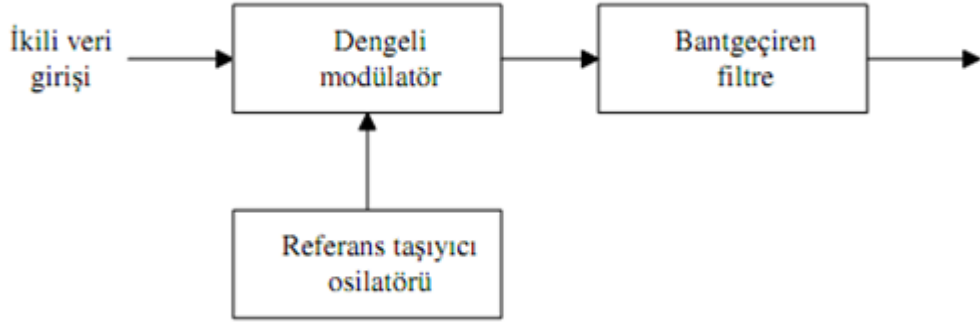
- 1) $C(t)^2 = A_i^2 \cdot \cos^2(w_0t+Q)$
- 2) $\cos^2(w_0t+Q)$ BGF çıkışı
- 3) $\cos(w_0t+Q)$ elde edilir.

Eşzamanlı demodülatörde gerekli eşzamanlama yerel taşıyıcısı burada gelen işaretten elde edilmiştir. Eşzamanlı demodülatörde; gelen işaretle $\cos(W_0t+Q)$ çarpılıp, bir AGF' den geçirilirse;

$FA = A_i$ elde edilir. Bu da ikili bilgidir.

3.2.5.4. İkili faz kaydırmalı anahtarlama

İkili faz kaydırmalı anahtarlama (BPSK), tek bir taşıyıcı frekansı için iki çıkış fazı mümkündür. Bir çıkış fazı 1 mantık düzeyini; diğeri ise 0 mantık düzeyini temsil eder. Sayısal giriş işareti değiştiğinde, çıkış taşıyıcısının fazı, 180° farklı iki açı arasında kayar. Şekil 3.33 bir BPSK modülatörün basitleştirilmiş blok diyagramını göstermektedir.



Şekil 3.33. BPSK modülatör blok diyagramı

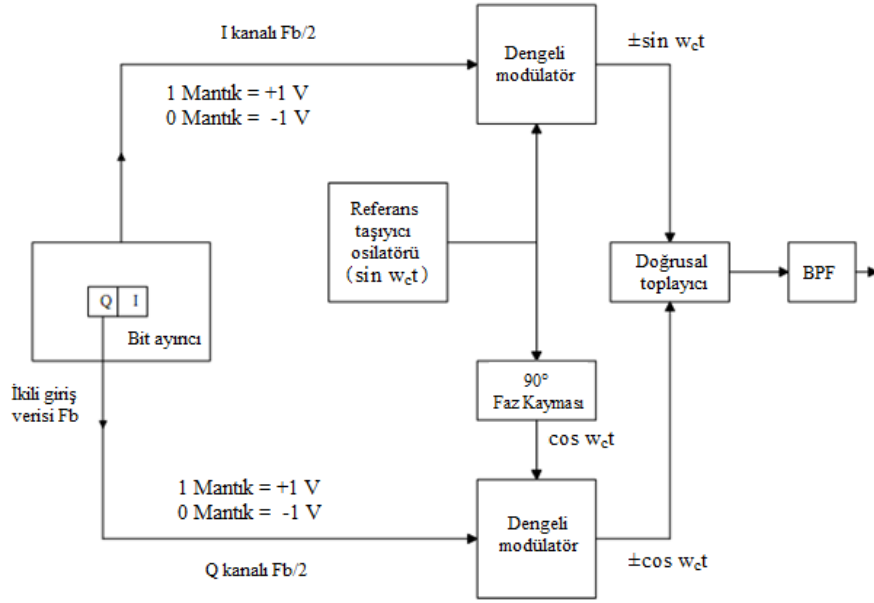
3.2.5.5. Kuadratur (Dörtlü) Faz Kaydırmalı Anahtarlama

Dört faz kaydırmalı Anahtarlama (QPSK) , sabit zarflı sayısal modülasyon biçimidir. QPSK, M'nin 4 olduğu M-li bir kodlama tekniğidir. QPSK' da tek bir taşıyıcı frekansı için dört çıkış fazı mümkündür. Dört farklı çıkış fazı olduğu için, dört farklı giriş durumu olmalıdır.

QPSK modülatörün sayısal girişi ikili bir işaret olduğu için, dört farklı giriş durumunu üretmek için tek bir giriş bitinden fazlası gerekir. 2 bit ile, dört olası durum vardır: 00, 01, 10, ve 11. Bu nedenle QPSK' da ikili giriş verileri, dibit adı verilen 2 bitlik gruplar halinde birleştirilir. Her dibit kodu, dört olası çıkış fazından birini üretir. Dolayısıyla, modülatöre giren her 2 bitlik dibit için, tek bir çıkış değişikliği meydana gelir. Bu nedenle, çıkıştaki değişim hızı (baud hızı), giriş bit iletim hızının yarısıdır.

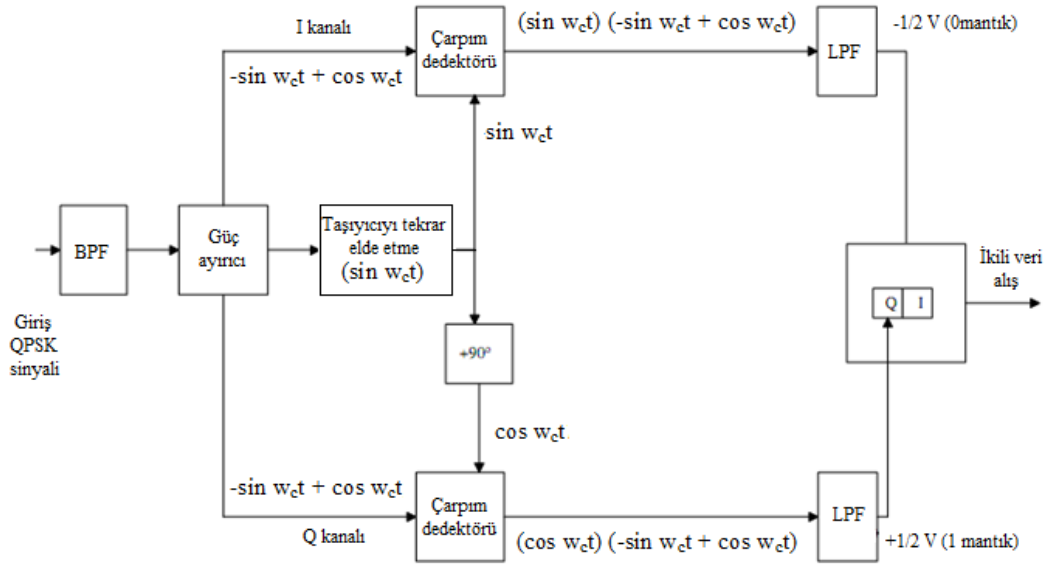
• QPSK Verici

Bir QPSK modülatörün blok diyagramı, Şekil 3.34'de gösterilmiştir. İki bit (bir dibit), bit ayırıcıya gönderilir. İki bitin ayırıcıya seri girişinden sonra, bu bitler çıkışa aynı zamanda paralel olarak gelirler. Bir bit I kanalına, öteki bit ise Q kanalına yönlendirilir. I biti referans modülatörü ile aynı fazda olan bir taşıyıcıyı modüle eder. Q biti ise referans taşıyıcıdan 90° farklı fazda olan ya da onunla dik açı yapan bir taşıyıcıyı modüle eder.



Şekil 3.34. QPSK modulator blok diyagramı

Bir dibit I ve Q kanallarına ayrıldıktan sonra, QPSK modülatörün çalışmasının BPSK modülatörün çalışması ile aynı olduğu görülebilir. Temel olarak, bir QPSK modülatör paralel olarak birleştirilmiş iki BPSK modülatördür.



Şekil 3.35. QPSK alıcı blok diyagramı

• QPSK Alıcı

Bir QPSK alıcının blok diyagramı Şekil 3.35’de gösterilmiştir. Güç ayırıcı, giriş QPSK işaretini I ve Q çarpım dedektörlerine ve taşıyıcıyı tekrar elde etme devresine

yönlendirir. Taşıyıcıyı tekrar elde etme devresi, başlangıçtaki gönderme taşıyıcı osilatörü işaretini tekrar oluşturur. Tekrar elde edilen taşıyıcının frekansı ve fazı, gönderme referans taşıyıcısı ile koherent olmalıdır. QPSK işareti, I ve Q çarpım dedektörlerinde demodüle edilir; dedektörler, başlangıçtaki I ve Q veri bitlerini üretir. Çarpım dedektörlerinin çıkışları, bit birleştirici devreye beslenerek, paralel I ve Q veri kanallarından, tek ikili çıkış veri akışına dönüştürülür (Biçer, 2007).

Gelen QPSK işaret, (00, 01, 10, 11) dört olası çıkış fazından herhangi biri olabilir.

3.2.6. Analog Sayısal Dönüştürücü

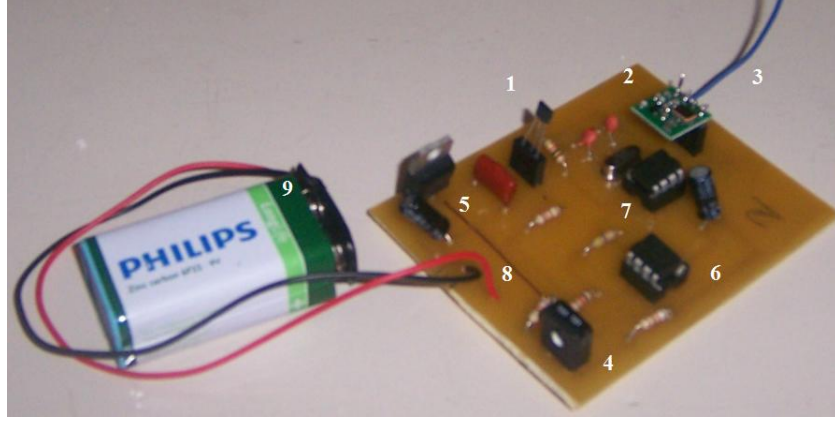
Bilgisayar dijital birimler topluluğudur ve bir değeri işleyebilmesi için bu değerini ikili sayı sisteminde verilmesi gerekir. Doğal koşullarda ise sıcaklık, basınç, gerilim gibi değerler süreklidir ve elektriksel eşdeğerleri olan akım veya gerilim analog değerlerdir. Analog bir değeri, dijital bir sistemde işlenebilecek duruma getirmek için Analog Dijital Dönüştürücü (ADC) elektronik devrelerinden yararlanır. Bu devreler analog verileri dijital veri haline dönüştürürler. Sensörlerinin Vout çıkışından alınacak olan manyetik alana bağlı gerilim değerleri analog bilgiler olup bunların bilgisayarda işlenebilmesi için dijital bilgilere dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu dönüştürme işlemleri için bir analog dijital dönüştürücü özelliğine sahip pic mikro denetleyicisi kullanılmıştır.

Analog Dijital Dönüştürücünün çalışmasından bahsedecek olursak V_{ref} girişine verilen analog gerilim değerini 10 bit olarak ($V_{ref}/1024$) parçalar ve V_{in} girişine gelen gerilimi $V_{ref}/1024$ ile karşılaştırıp hangi dijital 10 bit değere karşılık geldiğini elde eder ve çıkışa gönderir. Örneğin $V_{ref} = +5V$ yapılarak V_{in} girişine $+5V$ gerilim verildiğinde dijital çıkışta 11 1111 1111 değeri, $0V$ verildiğinde ise 00 0000 0000 dijital değeri elde edilir. Böylece her bir bit dijital değer değişimi $5V/1024 = 0,004883V \approx 5mV$ gerilim değerine karşılık gelir. Bu da ADC'nin $5mV$ gerilim değişimlerine hassas olduğu anlamına gelmektedir. ADC'nin bit sayısı arttıkça hassasiyet değeri artarken bit sayısı azaldıkça da hassasiyet azalmaktadır. Kullanılan pic12f675 mikrodenetleyicisinde 10 bitlik ADC olup duruma göre bu 8 bit olarak da kullanılabilir. Çalışmada 8 bit olarak kullanılmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu çalışmada, Hall Etki Sensörü üzerinde oluşan manyetik alan ile orantılı olarak değişen çıkış geriliminden faydalanılarak dijital bir manyetik alan ölçer devresi tasarlanması hedeflenmiş ve sensör çıkışından okunan gerilim değeri RF Alıcı-Verici sistemiyle LCD'ye aktarılmıştır.

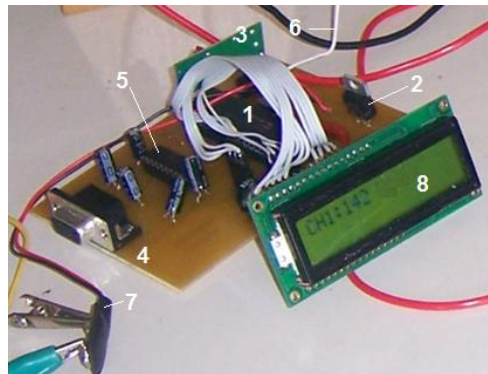
Verici devresinde kullanılan sensör 0 ile 5V arasında analog çıkış gerilimi vermektedir. Bu sensör çıkışı 2,5V olduğunda manyetik alan sıfırdır. Manyetik alanın yönüne bağlı olarak 2,5V'nin üstüne çıkar ya da altına iner. Bu gerilim değişimleri çok düşüktür. Bu küçük gerilim değişikliklerinin mikrodenetleyicilerle algılanabilmesi ve devrenin ölçümlere hassas olabilmesi için opampli fark yükselteç devresinden yararlanılmıştır. Bu fark yükselteç devresinde sensörden gelen çıkış gerilimi ile 2,5V sabit bir başka gerilimin farkı alınmıştır. Bu durumda devre tek yönde manyetik alan ölçümü yapmakta fakat daha hassas ölçüm sonucu elde edilmektedir. Bu kuvvetlendirme sayesinde mili volt seviyesindeki fark gerilimi değişimleri 0,1V mertebelerine yükseltilmiş ve 30mA seviyelerindeki akım değişimleri devremizde gözlenebilir hale getirilmiştir. Devrede bu yükseltilmiş gerilim değerleri PIC12f675 mikrodenetleyicisine analog giriş olarak girilmiş ve burada mikrodenetleyicinin dahili ADC'si kullanılarak değerler dijital sinyallere dönüştürülmüştür. Sayısal sinyale dönüştürülen analog değerler pic 12f675 ile RF vericiye seri veriler olarak gönderilmektedir. Verici devresi de anteniyle bu bilgileri alıcı devreye aktarmaktadır. Alıcı devrenin anteniyle alınan bu sinyaller de PIC16f877 tarafından alınıp işlendikten sonra LCD'ye gönderilerek burada görülmesi sağlanmaktadır.



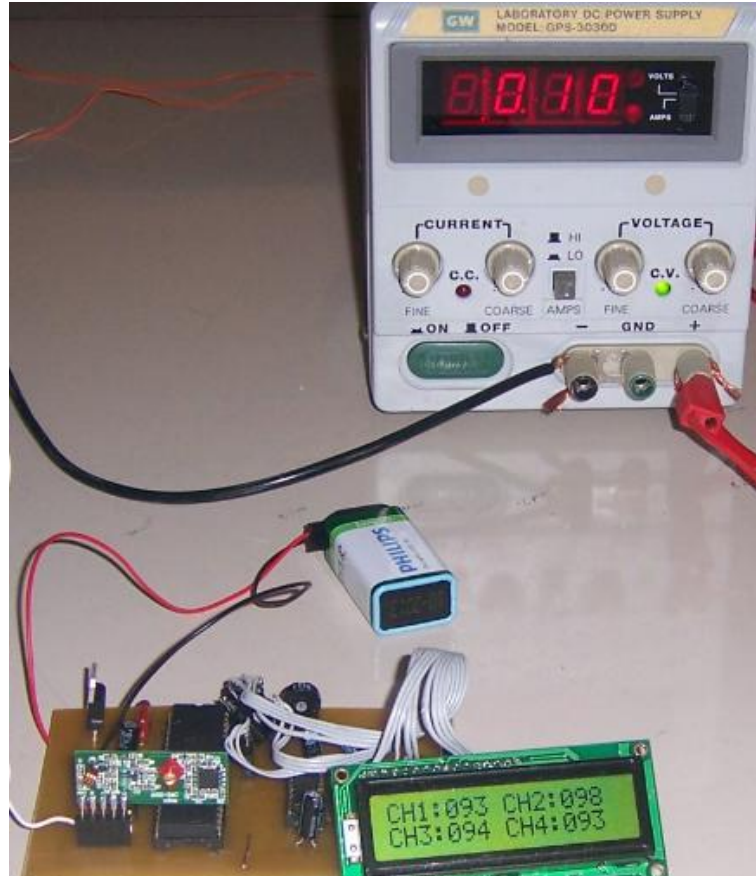
Şekil 4.1. Verici Devresi

Şekil 4.1’de sensörün bulunduğu ölçüm değerlerini alan verici devresi numaralandırılmış olarak gösterilmiştir. Buradaki numaralara göre devreyi anlatırsak;

- 1- Ölçüm değerlerini alan hall effect sensörüdür. İstenilirse kabloyla da uzatılabilir.
- 2- Udea ATX 34S RF verici modülü.
- 3- Verici modülün anteni. Yaklaşık 17cm
- 4- Ölçüm hassasiyetini ayarlamak için kullanılan potansiyometre
- 5- LM7805 gerilim düzenleyicisi. 9V pil gerilimini 5V’a düşürür.
- 6- LM741 op-amp ile oluşturulan fark yükselteç kısmı.
- 7- PIC12f675 mikrodenetleyicisi.
- 8- 9V pil için kullanılan soket kabloları.
- 9- 9V pil.



Şekil 4.2. Alıcı Devresi



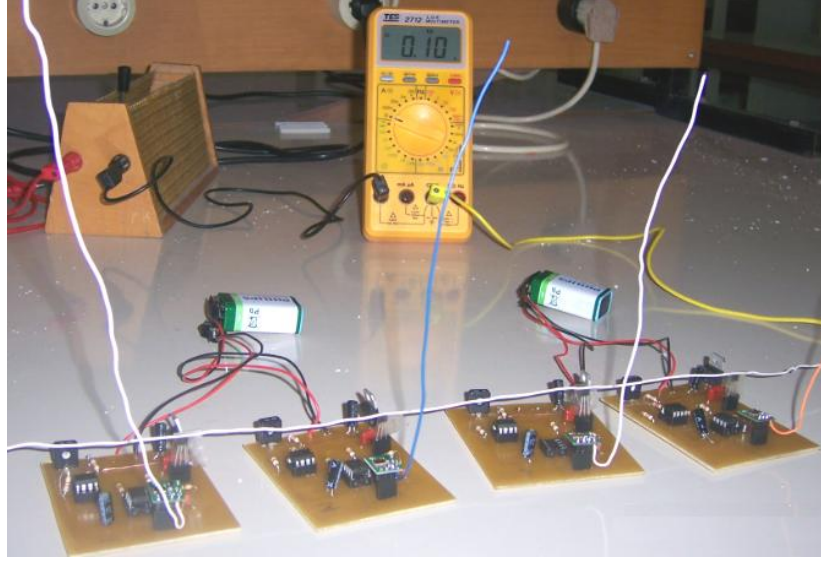
Şekil 4.3. Dört kanal ile alınan ölçüm düzeneği görünümü

Şekil 4.2’de ölçüm değerlerini gösteren alıcı devresi numaralandırılmış olarak gösterilmiştir. Buradaki numaralara göre devreyi anlatırsak;

- 1- PIC16f877 mikrodenetleyicisi
- 2- LM7805 gerilim düzenleyicisi. 9V pil gerilimini 5V’a düşürür.
- 3- Udea ARX 34C RF alıcı modülü.
- 4- Bilgisayar bağlantısı için RS232 konnektörü.
- 5- Bilgisayar ile iletişim için max232 entegresi.
- 6- Alıcı modülün anteni. Yaklaşık 17cm.
- 7- 9V pil için kullanılan soket.
- 8- 2x16 LCD

Her iki devrede de bulunan PIC mikrodenetleyici programları eklerde verilmiştir.

4.1. Ölçüm Değerleri



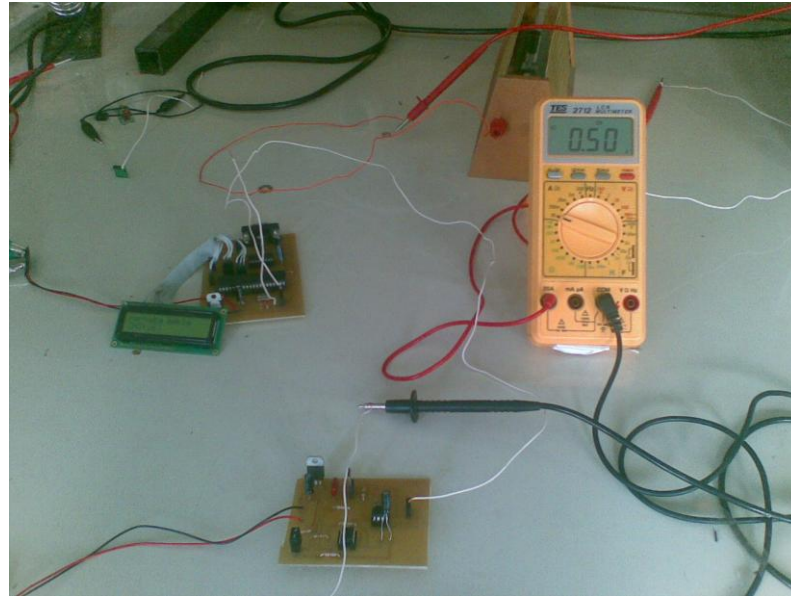
Şekil 4.4. Dört kanal ile alınan ölçüm düzeneği görünümü

Çizelge 4.1. 100mA aralıklarla 2A'ye kadar okunan değerler

Akım geçen tel zil teli ve Kablosuz iletişim ile				
Akım Değeri (mA)	CH1	CH2	CH3	CH4
0	102	110	126	122
100	106	113	129	125
200	109	116	131	130
300	111	120	135	134
400	114	124	139	139
500	118	128	142	142
600	121	132	146	146
700	125	136	149	149
800	128	139	151	152
900	130	142	154	156
1000	135	146	157	161
1100	139	150	161	165
1200	142	154	164	169
1300	144	159	166	173
1400	147	163	170	176
1500	151	167	173	179
1600	155	171	176	187
1700	159	176	179	191
1800	162	180	183	195
1900	165	184	186	200
2000	169	187	189	204



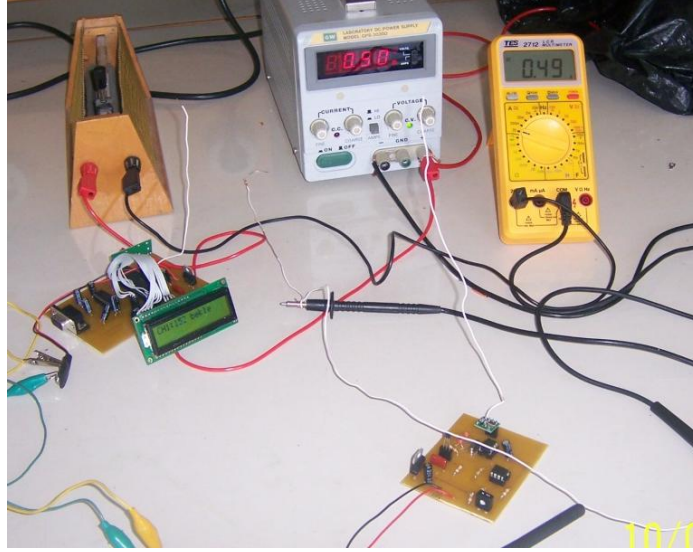
Şekil 4.5. Akım geçen telin sensör üzerindeki görünüşü



Şekil 4.6. Kablolu iletişim yapılırken ölçüm düzeneğinin görünüşü

Çizelge 4.2. Kablolu kağıtları ile 0,5A aralıklarla alınan ölçüm sonuçları

Akım geçen tel zil teli ve Kablolu iletişim	
Akım Değeri	CH3
0	149
0,5 A	168
1 A	189
1,5 A	209
1,9 A	225



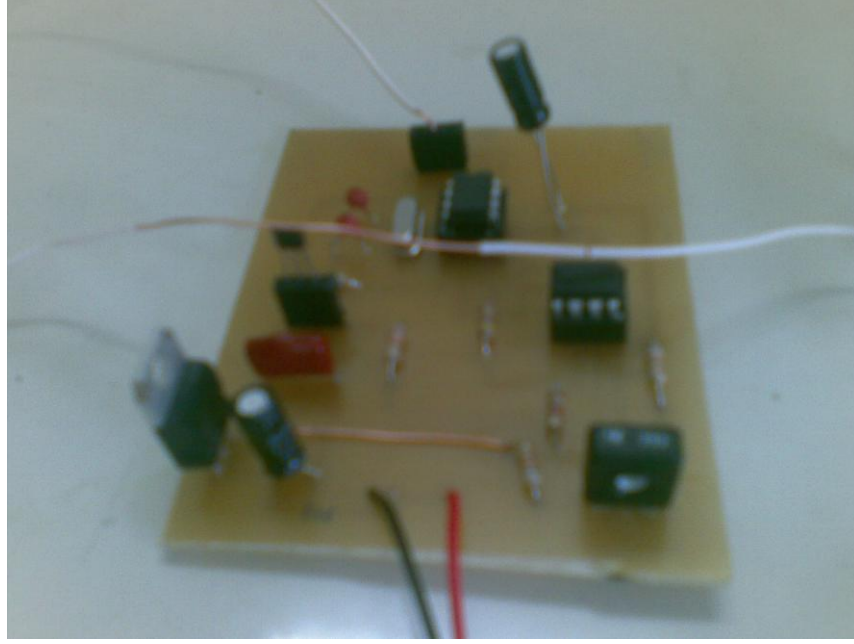
Şekil 4.7. Kablosuz verici takılı iken alınan ölçüm örneği

Çizelge 4.3. Kablosuz verici takılı iken alınan ölçüm sonuçları (0,1A aralıklarla)

Akım geçen tel zil teli ve Kablosuz iletişim	
Akım Değeri (mA)	CH3
0	125
100	128
200	132
300	136
400	137
500	141
600	144
700	146
800	149
900	152
1000	156

Çizelge 4.4. Kablosuz verici takılı iken alınan ölçüm sonuçları (0,5A aralıklarla)

Akım geçen tel zil teli ve Kablosuz iletişim	
Akım Değeri (A)	CH3
0	126
0,5 A	144
1 A	159
1,5 A	174
2 A	193
2,5 A	209



Şekil 4.8. Soyulmuş zil teli ile ölçüm görünüşü

Çizelge 4.5. Zil telinin soyulmuş haliyle kablosuz alınan ölçüm sonuçları

Akım Değeri (mA)	CH3 Zil Teli Kablolu iletişim	CH3 Zil teli Kablosuz iletişim	CH3 Soyulmuş zil teli Kablosuz iletişim
0	150	125	150
100	155	128	153
200	158	132	155
300	162	136	160
400	167	138	164
500	170	141	169
600	174	144	173
700	178	146	179
800	181	149	186
900	185	152	190
1000	189	156	196

Çizelge 4.6. Profesyonel ölçü aleti ile yapılan ölçümler

Akım geçen tel zil teli ve Kablosuz iletişim					
Akım Değeri (mA)	CH3	CH3 (mG)		Ölçü Aleti(mG)	
		min	max	min	max
0	97	585	594	585	594
100	100	588	597	593	600
200	104	591	601	600	609
300	108	595	604	608	622
400	113	599	609	615	628
500	116	602	612	618	630
600	120	606	615	620	634
700	123	608	618	620	630
800	129	614	624	627	640
900	133	617	628	624	634
1000	139	623	633	624	637
1100	142	626	636	644	647
1200	144	627	638	637	652
1500	158	640	651	640	651

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

İnsan sağlığı çeşitli dış etkenlerin tehditi ile karşı karşıyadır. Bu tehditlerden başlıcaları; çevre, besin, sosyo-psikolojik ve teknolojik vb.kaynaklıdır. Özellikle elektromanyetik dalgaların oluşturduğu sağlık sorunları içersinde kalp rahatsızlıkları, kanser gibi hastalıklar bulunmaktadır. NHMRC'e göre, 50/60 Hz alanlarına maruz kalan çocuk ve yetişkinlerde kansere yakalanma oranının yüksek olduğu belirtilmekte olup bu konuda çeşitli araştırmalar yoğun şekilde sürdürölmektedir. Esasen, elde edilen veriler kanser riskinin hangi maruz kalma seviyesinde ortaya çıktığını göstermese bile bu manyetik alanların zararsız olduğu anlamına gelmemektedir. Bu nedenle söz konusu manyetik alanların sevilerinin hassas bir şekilde ölçölmesi, gerekli önlemlerin alınması açısından önem arz etmektedir.

Bu çalışmada, kablosuz iletişim teknolojisinin avantajlarından faydalanmak için Udea firmasının ATX-34S RF alıcı ve ARX-34C RF verici modülleri kullanılmıştır. Bu modüller sayesinde Alıcı ve verici devre arasında kablo kullanımına gerek kalmamıştır. Böylece görsel olarak göze batacak görüntü kirliliğinin önüne geçilmiştir. Devrelerde kullanılan PIC mikrodnetleyicileri için yazılan program kodları için Pic Basic Pro programı kullanılmıştır. Verici devrede bulunan hall sensörlerinin çıkış uçlarındaki gerilim bilgisi değışiminin anlamlı olarak mikrodnetleyiciye aktarılabilmesi için bir opamp'lı fark yükselteç devresinden yararlanılmıştır. Bu devrenin kullanımındaki amaç; hall sensörü çıkışında görölen, manyetik alan değışimiyle oluşan küçük gerilim değışiminin kuvvetlendirilmesidir. Bu devrenin çıkışının, yani kuvvetlendirilmiş fark geriliminin 0 ile 5V arasında olması sağlanmışır. PIC12f675 mikrodnetleyicisinin girişı olarak kullanılan bu analog değer pic programıyla 8 bit sayısal değere dönüştürölerek seri iletişimle kablosuz vericiye aktarılmıştır. Vericiye gelen 8 bitlik veriler yine seri iletişim kullanılarak verici anteninden ortama gönderilmektedir. Ortama gönderilen bu veriler alıcı devrenin anteniyle alınıp bu devredeki PIC16f877 mikrodnetleyicisine aktarılmaktadır. Bu mikrodnetleyiciye gelen bilgiler LCD ekrana aktararak burada göröltenilmektedir. Ölçüm tablolarında bu değerler direk olarak 8 bit işlenmemiş bilgilerdir. Bu nedenle ölçüm değerleri 0 ile 256 arasında değışmektedir. Ölçüm

sonuçlarının verildiği tabloları oluşturmak için kullanılan ölçüm düzeneğinde bir reosta, 5A akım verebilen DC güç kaynağı, bir ampermetre ve zil teli kullanılmıştır. Zil teli sensör üzerine yerleştirilmiş ve telden 100mA aralıklarla akımlar geçirilmiştir. Bu 100mA akım değişimleriyle, sensörlerde oluşan gerilim değişimleriyle orantılı değerler LCD ekranda görüntülenmiştir. LCD ekranda görüntülenen değerler ve ampermetrede okunan değerler 4.1. Ölçüm Değerleri kısmında verilen çizelgelerde verilmiştir.

Ölçüm sonuçları gözden geçirildiğinde akım geçen iletken üzerindeki akım değişimiyle oluşan manyetik alan değişimi karşılaştırılmış ve tasarlanmış olduğumuz cihazın yaklaşık 30mA akıma duyarlıklı olduğu görülmüştür. Çünkü 100mA akım aralıklarıyla alınan ölçümlerde ortalama 3-4 kademelik değer değişimi oluşmaktadır. Bu da akıma oranlandığında 25-35mA değerlerine karşılık gelmektedir. Dışarıdan bir etki olmadığı sürece de genelde akım arttırıldığında LCD'de görülen değerler sürekli artış göstermektedir. Hatta zil telinin üzeri soyulduğunda alınan ölçümlere dikkat edilirse yaklaşık 25 birimlik bir artış görülmüştür. Çünkü tel üzerindeki kılıf soyulduğunda akım geçen iletken sensöre daha yakın olmaktadır. Milimetreden daha az boyutlarındaki değişikliklerde bile bu kadar değer değişimi, bu ölçümlerin oldukça hassas olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.6'daki Profosyonel bir manyetik alan ölçer cihazı ile alınan ölçüm sonuçlarına bakıldığında akım arttırıldıkça cihazın gösterdiği manyetik alan değerlerinde bazen düşmeler görülmüştür. Aynı çizelgede tasarlanmış olduğumuz cihazın gösterdiği değerlere bakarsak her akım arttırıldığında manyetik alana karşı gelen değerler de artmıştır. Bu durum da cihazın kararlılığının iyi olduğu anlamına gelir. Çizelgede 0A akım değerinde görülen 585mG manyetik alan değeri ise yer kürenin manyetik alanından kaynaklanmaktadır. Çünkü 0A akım değerinde manyetik alan oluşmaz. Cihazın gösterdiği bu değerler ise yer kürenin sahip olduğu 0,5-0,6G DC manyetik alan değerine aittir.

6. KAYNAKLAR

- Abdulla, R., 2011. 50Hz İletim Hatlarında Hat Optimizasyonu. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 94s, Isparta.
- Ahlbom, A., Day, N., Feychting, M., Roman, E., Skinner, J., Dockerty, J. et al., 2000. A pooled analysis of magnetic fields and childhood leukaemia. *Br J Cancer*, 83, 692-8.
- Al-Akhras, MA., Elbetieha, A., Al-Omari, MHI., et al., 2001. Effect of extremely low frequency magnetic field on fertility of adult male and female rats. *Bioelectromagnetics*, 22, 340-344.
- Aruğaslan, E., 2008. Termal elektrik kaynaklı kablosuz yüksek sıcaklık duyum devresi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 98s, Isparta.
- Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency – 2009. İnternet Sitesi. http://www.arpana.gov.au/radiationprotection/factsheets/is_emf.cfm. Erişim Tarihi: 03.10.2010.
- Barnes, FS., 1995. Typical Electric and Magnetic Field Exposures at Power-Line Frequencies and Their Coupling to Biological Systems. *American Chemical Society*, 250, 37-55.
- Best S., 1990. Killing Fields: The Epidemiological Evidence, *Electronics World and Wireless World, Non-Ionizing Radiation*, 98-106.
- Biçer, Z., 2007. Sayısal Modülasyonlarda Dalgacık Dönüşüm Temelli Bir Akıllı Sınıflandırma Sistemi. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 76s, Elazığ.
- Canseven, A.G., Seyhan, N., 2005. Çevresel Elf Manyetik Alanların Etkileri : Kobay Deri Kollagen Sentezinde Değişimler Ve Deney Hayvanından İnsana Ölçülendirme. *Gazi Tıp Dergisi*, Cilt 16, Sayı 4, 160-165.
- Canseven, AG., 1998. Değişik Şiddet ve Süreli Manyetik Alanların Deri Hidroksiprolin Seviyesine Etkisi. *Gazi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Biyofizik Anabilim Dalı, Doktora Tezi*, 193, Ankara.
- Cheng, KK., Day, NE., Cartwright, R., Craft, A., Birch, JM., Eden, OB., 2000. Childhood cancer and residential proximity to power lines. *UK Childhood Cancer Study Investigators.. Br J Cancer*, 83, 1573-80.
- Coşkun Ö., Çömlekçi, S., Koyuncuoğlu, HR., Özkorucuklu, S., 2009. 50 Hz-1 mT Manyetik Alanın İnsan Medyan Siniri Üzerine Etkisi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Cilt 15, Sayı 2, Sayfa 215-220.

- Datasheetarchive, 2002. İnternet sitesi <http://www.datasheetarchive.com/UGN3503-datasheet.html> Erişim Tarihi: 24.05.2011
- David, V., Antoniu, M., Vremeri, E., 1996. A Triaxis Broadband Magnetic Field Meter. Precision Electromagnetic Measurements, p 433-434.
- Davis, J. G., Mills W. A., 1993. Health Effect of Low Frequency Electric and Magnetic Fields, Science and Technology, Vol. 27, No.1, pp. 44-48.
- Denno, K., 1992. High Voltage Engineering in Power System, Boca Raton, pp.367-376, CRC Press.
- Dinçer, H., 2009. Enerji İletim Hatlarının Enerji İletim Hatlarının Oluşturduğu Manyetik Ve Elektrik Alanlar. Elektrik Mühendisliği Dergisi, 436, 37-41.
- Dizdar, E.N., 2004. Bilgisayar Kullanıcılarında Elektromanyetik Işımların İnsan Sağlığına Etkisinin İncelenmesi. Teknoloji, Cilt 7, Sayı 4, 625-628.
- Dünya Sağlık Örgütü (WHO) web sayfası, 2004. İnternet sitesi. www.who.int/peh-emf. Erişim Tarihi: 15.03.2010
- Eichholz, GG., 2002. Non-Ionizing Radiation, Part 1. Static and Extremely Low-Frequency (ELF) Electric and Magnetic Fields. IARC Monogr Eval Carcinog Risks Hum., 80, 1-395.
- Frey, AH., 1995. An Integration of the Data on Mechanisms with Particular Reference to Cancer. In Frey AH. (ed): Medical Intelligence Unit: On the Nature of Electromagnetic Field Interactions with Biological Systems. R.G. Landes Company, 9, Austin USA.
- Green, LM., Miller, AB., Villeneuve, PJ., Agnew, DA., Greenberg, ML., Li J et al., 1999. A case-control study of childhood leukemia in southern Ontario, Canada, and exposure to magnetic fields in residences. Int J Cancer, 82, 161-70.
- Hameyer, K., Mertens, R., Belmans, R., 1996, Computation and Measurement of Electromagnetic Fields of AC-High-Voltage Transmission Lines, Institute of Electrical and Electronics Engineers, 'AC and DC Power Transmission', Conference Publication No. 423, 52-57.
- Karacaörenli, A., 2007. 50Hz Şebeke Frekanslı Elektrik Alanın Sıçanlarda Yavru Gelişimi Üzerine Etkileri, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 44, Isparta
- Lacy-Hulbert, A., Metcalfe, JC., Hesketh, R., 1998. Biological responses to electromagnetic fields. FASEB J, 12, 395-420.

- Li, C., Mezei, G., Sung, FC., Silva, M., Chen, PC., Lee, PC. et al., 2007. Survey of residential extremely-low frequency magnetic field exposure among children in Taiwan. *Environ Int*, 33, 233-8.
- Macintyre, S.A., 1999. *Magnetic Field Measurement*. Copyright 2000 CRC Press LLC.
- Martinez , S., Gimenez, GM., Armanazas, E., Ruiz, TA., 1992. Pineal ‘synaptic ribbons’ and serum melatonin levels in the rat following the pulse action of 52-Gs (50-Hz) magnetic fields: an evaluative analysis over 21 days. *Acta Anat*; 143: 289-293.
- Microchip, 2007. 12F675 Datasheet. İnternet Sitesi w1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/41190c.pdf Eriş Tar: 02.05.2011
- Moulder, J.E., Foster, K.R., 1999. Is there a link between exposure to power frequency electric fields and cancer?. *IEE Eng. Med. Bio. Mag.*, 18, 109-116.
- Nuccitelli, S., Cerella, C., Cordisco, S., 2006. Hyperpolarization of plasma membrane of tumor cells sensitive to antiapoptotic effects of magnetic fields. *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, 1090, 217–225.
- Özen, Ş., 2003. Mikrodalga frekanslı EM radyasyona maruz kalan biyolojik dokularda oluşan ısı etkinin teorik ve deneysel incelenmesi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği, Doktora Tezi, 144, Sakarya.
- Paniagua, JM., Jimenez, A., Rufo, M., Gutierrez, JA., Gomez, FJ., Antolin, A., 2007. Exposure to extremely low frequency magnetic fields in an urban area. *Radiat Environ Biophys*, 46, 69-76.
- Polk, C., Postow, E., 1996. *Handbook of Biological Effects of Electromagnetic Fields*. CRC Press Second Edition, 618, Florida, USA.
- RENKO Ltd. Şti. Fizik Deney Setleri, 2007. [ftp://fizik.cu.edu.tr/Lab/quantum/Hall%20Etkisi.pdf](http://fizik.cu.edu.tr/Lab/quantum/Hall%20Etkisi.pdf) Erş. Tarihi: 28.06.2011.
- Satav, S.M., Agarwal, V., 2009. Design and Development of a Low-Cost Digital Magnetic Field Meter With Wide Dynamic Range for EMC Precompliance Measurements and Other Applications. *Instrumentation and Measurement*, 58, p 2837 – 2846.
- Savitz, DA., Loomis, DP., 1995. Magnetic field exposure in relation to leukemia and breast cancer mortality among electrical utility workers. *Am.J.Epidemiol*, 141, 123-134.
- Schüz, J., Grigat, JP., Brinkmann, K., Michaelis, J., 2001. Residential magnetic fields as a risk factor for childhood acute leukaemia: results from a German population-based case-control study. *Int J Cancer*, 91, 728-35.

- Seyhan, N., 2010. Electromagnetic Pollution and Our Health. Archives of Neuropsychiatry, 47, 158-161
- Şeker, Ş. S., Çerezci, O., 1997. Çevremizdeki Radyasyon ve Korunma Yöntemleri. Boğaziçi Üniversitesi Matbaası, pp. 190- 210.
- Tazegül, T., 2006. Elektromagnetik alanların biyolojik etkileri, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tazi, 72, İstanbul.
- Tenforde, T.S., 1993. Health Effects of Low Frequency Electric and Magnetic Fields, Environ, Science Technology , Vol.27, No.1, pp. 56-58.
- Tiber, PM., Garip, Aİ., 2008. Çok Düşük Frekanslı Elektromanyetik Alanların Lenfositlerin Membran Potansiyellerine Etkisi. Marmara Medical Journal 21(3);238-246
- Türkkan, A., 2009. Çocukluk Çağı Lösemileri ve Elektromanyetik Alan. Güncel Pediatri Dergisi, 7, 137-141.
- Tynes, T, Haldorsen, T., 1997. Electromagnetic fields and cancer in children residing near Norwegian high-voltage power lines. Am J Epidemiol, 145, 219-26.
- Udea Elektronik, 2010. İnternet Sitesi. www.udea.com.tr. Erişim Tarihi: 15.05.2011.
- UK Childhood Cancer Study Investigators, 1999. Exposure to power-frequency magnetic fields and the risk of childhood cancer. Lancet, 9194, 1925-31.
- Ulukut, Ö., 2005. Endüstriyel EM Alanlara Maruz Kalma, Standartlar, Ölçüm Prosedürlerinin Geliştirilmesi Ve Ölçümlerin Simülasyonu. Süleyman Demirel Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 102, Isparta.
- Wikipedi – 2011. İnternet Sitesi. http://en.wikipedia.org/wiki/Hall_effect. Erişim Tarihi: 28.06.2011.
- Walleczek, J., 1992. Electromagnetics field effects on cell of the immune system : the role of calcium signalling. FASEB J., vol. 6, pp. 3177- 3185.
- Wertheimer, N., Leeper, E., 1979. Electrical wiring configurations and childhood cancer. Am J Epidemiol, 109, 273-84.
- World Health Organization – 2007. İnternet Sitesi. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs322/en/index.html>. Erişim Tarihi: 06.11.2010.
- Zaffanella, LE., Kalton, GW., 1998. Survey of Personal Magnetic Field Exposure: Phase II:1000-Person Survey EMF RAPID Program Engineering Project, 6. Final report.

EKLER

```

*****
* Name : ALICI.BAS *
* Author : [select VIEW...EDITOR OPTIONS] *
* Notice : Copyright (c) 2011 [select VIEW...EDITOR OPTIONS] *
* : All Rights Reserved *
* Date : 17.05.2011 *
* Version : 1.0 *
*****
INCLUDE "modedefs.bas"
deger var byte(4)
deg var byte
kanal var byte
DEFINE LCD_DREG PORTB 'LCD data bacakları hangi Porta bağlı?
DEFINE LCD_DBIT 4 'LCD data bacakları hangi bitten
başlıyor?
DEFINE LCD_EREG PORTB 'LCD Enable Bacağı Hangi Porta bağlı?
DEFINE LCD_EBIT 2 'LCD Enable Bacağı Hangi bite bağlı ?
define LCD RWREG PORTB 'LCD R/W Bacağı Hangi Porta bağlı?
define LCD_RWBIT 1 'LCD R/W Bacağı Hangi bite bağlı ?
DEFINE LCD_RSREG PORTB 'LCD RS Bacağı Hangi Porta bağlı ?
DEFINE LCD_RSBIT 0 'LCD RS bacağı Hangi Bite bağlı ?
DEFINE LCD_BITS 4 'LCD 4 bit mi yoksa 8 bit olarak bağlı?
DEFINE LCD_LINES 2 'LCD Kaç sıra yazabiliyor

lcdout $FE,1,"Baglantı Kuruluyor"
serin portd.0,0,["A",0]
lcdout $FE,1
pause 50

BASLA:
if deg=250 then deg =0
serin portd.0,0,["A",0],deger(1)
lcdout $FE,$80, "CH1:", dec3 deger(1)
pause 50
serin portd.0,0,["B",15],deger(2)
lcdout $FE,$88, "CH2:", dec3 deger(2)
pause 50
'serin portd.0,0,["AB",240],deger(3)
lcdout $FE,$C0, "CH3:", dec3 deg
pause 50
'serin portd.0,0,["AB",255],deger(4)
'lcdout $FE,$C8, "CH4:", dec3 deger(4)
'pause 2
serout portd.6,0,["XY",deger(1),deger(2)]
pause 20

goto basla
end

```

```

*****
'* Name   : VERICL_1.BAS                                     *
'* Author : [select VIEW...EDITOR OPTIONS]                 *
'* Notice : Copyright (c) 2011 [select VIEW...EDITOR OPTIONS] *
'*         : All Rights Reserved                             *
'* Date   : 14.01.2011                                       *
'* Version : 1.0                                             *
*****
INCLUDE "modedefs.bas"
ADCON0=%1
ANSEL=%00110001
CMCON=7
INTCON=0
WPU = 0
OPTION_REG=%00000000

DEFINE ADC_BITS 8
'DEFINE ADC_CLOCK 3
'DEFINE ADC_SAMPLEUS 100
DEGER VAR BYTE
kanal var byte

kanal=0

BASLA:

ADCIN 0,DEGER
BAK: IF ADCON0.1=1 THEN BAK
SerOut GPIO.1,0,["AB",kanal,deger]
SerOut GPIO.1,0,["AB",kanal,deger]
SerOut GPIO.1,0,["AB",kanal,deger]
SerOut GPIO.1,0,["AB",kanal,deger]
SerOut GPIO.1,0,["AB",kanal,deger]
SerOut GPIO.1,0,["AB",kanal,deger]
SerOut GPIO.1,0,["AB",kanal,deger]
PAUSE 100

GOTO BASLA

```

```

*****
'* Name   : VERICI_2.BAS                                     *
'* Author : [select VIEW...EDITOR OPTIONS]                 *
'* Notice : Copyright (c) 2011 [select VIEW...EDITOR OPTIONS] *
'*         : All Rights Reserved                             *
'* Date   : 14.01.2011                                       *
'* Version : 1.0                                             *
*****
INCLUDE "modedefs.bas"
ADCON0=%1
ANSEL=%00110001
CMCON=7
INTCON=0
WPU = 0
OPTION_REG=%00000000

DEFINE ADC_BITS 8
'DEFINE ADC_CLOCK 3
'DEFINE ADC_SAMPLEUS 100
DEGER VAR BYTE
kanal var byte

kanal=15

BASLA:

ADCIN 0,DEGER
BAK: IF ADCON0.1=1 THEN BAK
SerOut GPIO.1,0,["AB",kanal,deger]
SerOut GPIO.1,0,["AB",kanal,deger]
SerOut GPIO.1,0,["AB",kanal,deger]
SerOut GPIO.1,0,["AB",kanal,deger]
SerOut GPIO.1,0,["AB",kanal,deger]
SerOut GPIO.1,0,["AB",kanal,deger]
SerOut GPIO.1,0,["AB",kanal,deger]
PAUSE 100

GOTO BASLA

```

```

*****
'* Name   : VERICL_3.BAS                                     *
'* Author : [select VIEW...EDITOR OPTIONS]                 *
'* Notice : Copyright (c) 2011 [select VIEW...EDITOR OPTIONS] *
'*         : All Rights Reserved                             *
'* Date   : 14.01.2011                                       *
'* Version : 1.0                                             *
*****
INCLUDE "modedefs.bas"
ADCON0=%1
ANSEL=%00110001
CMCON=7
INTCON=0
WPU = 0
OPTION_REG=%00000000

DEFINE ADC_BITS 8
'DEFINE ADC_CLOCK 3
'DEFINE ADC_SAMPLEUS 100
DEGER VAR BYTE
kanal var byte

kanal=240

BASLA:

ADCIN 0,DEGER
BAK: IF ADCON0.1=1 THEN BAK
SerOut GPIO.1,0,["AB",kanal,deger]
SerOut GPIO.1,0,["AB",kanal,deger]
SerOut GPIO.1,0,["AB",kanal,deger]
SerOut GPIO.1,0,["AB",kanal,deger]
SerOut GPIO.1,0,["AB",kanal,deger]
SerOut GPIO.1,0,["AB",kanal,deger]
SerOut GPIO.1,0,["AB",kanal,deger]
PAUSE 100

GOTO BASLA

```

```

*****
'* Name   : VERICI_4.BAS                                     *
'* Author : [select VIEW...EDITOR OPTIONS]                 *
'* Notice : Copyright (c) 2011 [select VIEW...EDITOR OPTIONS] *
'*         : All Rights Reserved                             *
'* Date   : 14.01.2011                                       *
'* Version : 1.0                                             *
*****
INCLUDE "modedefs.bas"
ADCON0=%1
ANSEL=%00110001
CMCON=7
INTCON=0
WPU = 0
OPTION_REG=%00000000

DEFINE ADC_BITS 8
'DEFINE ADC_CLOCK 3
'DEFINE ADC_SAMPLEUS 100
DEGER VAR BYTE
kanal var byte

kanal=255

BASLA:

ADCIN 0,DEGER
BAK: IF ADCON0.1=1 THEN BAK
SerOut GPIO.1,0,["AB",kanal,deger]
SerOut GPIO.1,0,["AB",kanal,deger]
SerOut GPIO.1,0,["AB",kanal,deger]
SerOut GPIO.1,0,["AB",kanal,deger]
SerOut GPIO.1,0,["AB",kanal,deger]
SerOut GPIO.1,0,["AB",kanal,deger]
SerOut GPIO.1,0,["AB",kanal,deger]
PAUSE 100

GOTO BASLA

```

ÖZGEÇMİŞ



Adı Soyadı: Orhan ARMAĞAN

Doğum Yeri ve Yılı : Uşak - 1976

Medeni Hali : Evli

Yabancı Dili : İngilizce

Almanca

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : İzmir Büyük Çiğli Lisesi (1994)

Lisans : Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi
Elektronik Mühendisliği Bölümü (1998)

Yüksek Lisans : Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bil. Enst. Fizik ABD
(2003)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl:

1999-2010 : Süleyman Demirel Üniversitesi Yalvaç Meslek Yüksekokulu
Öğretim Görevlisi

2010- halen : Süleyman Demirel Üniversitesi Yalvaç Teknik Bilimler
Meslek Yüksekokulu Öğretim Görevlisi