

Ö. ÜZÜM

FİZİK ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MUĞLA 2018

T.C.

MUĞLA SITKI KOÇMAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FİZİK ANABİLİM DALI

SICAKLIK BAĞIMLI MANYETİK
KARAKTERİZASYON İÇİN TİTREŞİMLİ ÖRNEK
MANYETOMETRESİ TASARIMI

YÜKSEK LİSANS

ÖZKAN ÜZÜM

TEMMUZ 2018

MUĞLA

T.C.
MUĞLA SITKI KOÇMAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FİZİK ANABİLİM DALI

SICAKLIK BAĞIMLI MANYETİK
KARAKTERİZASYON İÇİN TİTREŞİMLİ ÖRNEK
MANYETOMETRESİ TASARIMI

YÜKSEK LİSANS

ÖZKAN ÜZÜM

TEMMUZ 2018

MUĞLA

Tez çalışmalarım sırasında elde ettiğim ve sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgelerin tarafımdan bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde edildiğini; akademik ve bilimsel etik kurallarına uygun olduğunu beyan ederim. Ayrıca, akademik ve bilimsel etik kuralları gereği bu tez çalışması sırasında elde edilmemiş başkalarına ait tüm orijinal bilgi ve sonuçlara atıf yapıldığını da beyan ederim.

Özkan Üzüm

27/07/2018

MUĞLA SITKI KOÇMAN ÜNİVERSİTESİ

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEZ ONAYI

ÖZKAN ÜZÜM tarafından hazırlanan SICAKLIK BAĞIMLI MANYETİK KARAKTERİZASYON İÇİN TİTREŞİMLİ ÖRNEK MANYETOMETRESİ TASARIMI başlıklı tezinin, 27/07/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Fizik Anabilim Dalı'nda yüksek lisans derecesi için gerekli şartları sağladığı oybirliği ile kabul edilmiştir.

TEZ SINAV JURİSİ

Doç. Dr. Aydın ÇETİN (Jüri Başkanı)

İmza:

Teknoloji Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü,
Gazi Üniversitesi, Ankara



Doç. Dr. Ergün TAŞARKUYU (Danışman)

İmza:

Fizik Anabilim Dalı,
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla



Prof. Dr. Selçuk AKTÜRK (Üye)

İmza:

Fizik Anabilim Dalı,
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla



ANA BİLİM DALI BAŞKANLIĞI ONAYI

Prof. Dr. Habibe BAYHAN

İmza:

Fizik Ana Bilim Dalı Başkanı,
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla



Doç. Dr. Ergün TAŞARKUYU

İmza:

Danışman, Fizik Anabilim Dalı,
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla



Savunma Tarihi: 27/07/2018

ÖZET
SICAKLIK BAĞIMLI MANYETİK KARAKTERİZASYON İÇİN
TİTREŞİMLİ ÖRNEK MANYETOMETRESİ TASARIMI

Özkan ÜZÜM

Yüksek Lisans Tezi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Ergün TAŞARKUYU

Temmuz 2018, 52 sayfa

Bu çalışmada sabit alan altında fakat değişken sıcaklıklarda ölçüm yapabilen düşük bütçeli bir Titreşimli Örnek Manyetometresi (TÖM) sistemi tasarlanmış ve yapılmıştır. Bu tasarımda, örneğin mıknatıslanması sağlamak için 20 mm çapında halka biçiminde bir çift Nd alaşımlı süper mıknatıs ve mıknatıslanma miktarını ölçmek için onların arasına sarılmış bir algılayıcı bobin saniyede yaklaşık 70 kez titreştirilmektedir. Mıknatıs-bobin sistemini titreştirmek için bir DC motor ve merkezi dışında (merkezinden 2,5 mm uzaklıktaki başka bir ekseninde) dönen bir volan kullanılmıştır. Volanın yalpalı hareketi doğrusal olarak hareket etmeye zorlanmış bir karbon fiber çubuğa aktarılarak genliği 2,5 mm olan bir sinüzoidal hareket elde edilmiştir.

Böylece, titreşim genliği titreşim frekansından bağımsız olarak sabit kalabilmektedir. Algılayıcı bobinde indüklenen gerilimin titreşim frekansı dışında, örneğin 50 Hz şebeke frekansı ve diğer gürültü kaynaklarından gelen başka bileşenler içermesi olasılığına karşı, Kilitlemeli yükselteç (SR830) ile yalnızca titreşim frekansındaki sinyalin ölçülmesi sağlanmıştır. Kilitlemeli yükselteç için gerekli olan referans sinyali titreşen karbon çubuk üzerine yerleştirilen küçük bir mıknatısın karşısında sabit duran bir Hall sensöründen elde edilmiştir. Sistem, dış ortamla olan ısı teması azaltmak için havası vakum pompası ile boşaltılabilen bir PVC boru içine alınmış ve PVC boru radyasyon yoluyla ısı değiş-tokuşunu engellemek için alüminyum kaplı Mylar reflektörlerle ile sarılmıştır. Örnek sıcaklığının değiştirilebilmesini sağlamak için örnek, içerisinden sıvı azot akışı olan bir bakır boru ile ısı teması içinde olan sabit bir örnek tutucu üzerine yerleştirilmiştir. Bakır boruya temas halinde bulunan bakır bir levha üzerine yerleştirilen 25 W dirence uygulanan Darbe Genişliği Modülasyonu (PWM) sinyali ile blok sıcaklığı ve dolayısı ile örnek sıcaklığı değiştirilebilmektedir. Örneğin çok yakınına yerleştirilen bir K-tipi ısı-çift ile örnek sıcaklığı takip edilerek PWM sinyalinin darbe genişliği bir PID denetleyici ile istenilen örnek sıcaklığı saylanabilmektedir. Isıl-çiftin ürettiği mikro volt düzeyindeki potansiyel fark bir fark kuvvetlendirici (INA 128) ile yükseltilerek 15 bitlik $\Delta\Sigma$ tipi bir Analog Dijital

Converter (ADC) (ADS1118) tümleşik devresi ile dijital veriye dönüştürülmüştür. Bu dijital veri AVR tabanlı bir mikro-denetleyicisi (ATmega328P) zerinde çalıştırılan bir PID algoritması ile işlenerek gerekli PWM sinyalinin üretilmesi sağlanmıştır. Sistemin otomasyonu ve elde edilen verilerin işlenmesi, MATLAB platformunda yazılan bir programla sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Titreşimli rnek manyetometresi, Oransal-integral-trevsel denetleyici.



ABSTRACT

DESING OF A VIBRATING SAMPLE MAGNETOMETER FOR TEMPRATURE DEPENDENT MAGNETIC CHARACTERIZATION

Özkan ÜZÜM

Master of Science (M.Sc.)

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Physics

Supervisor: Doç. Dr. Ergün TAŞARKUYU

July 2018, 52 pages

In this study, a low-cost Vibrating Sample Magnetometer (VSM) system capable of measuring magnetization of samples, under constant field but at variable temperatures, was designed and constructed. In this design, in order to provide an excitation magnetic field to a sample under investigation, a pair of ring-shaped Nd alloy super-magnets 20 mm in diameter are used. A sensor coil wound between the magnets to measure the magnitude of magnetization and the magnets are vibrated about 70 times in a second. A DC motor is used to vibrate the magnet-coil system, and a flywheel that rotates off-center (on another axis, 2.5 mm off from its center) is used. The motion of the flywheel was transferred to a carbon fiber bar that was forced to move linearly, resulting in a sinusoidal motion of 2.5 mm in amplitude. Thus, the vibration amplitude can remain constant regardless of the vibration frequency. With the lock-in amplifier (SR830), it is possible to measure signals only at the vibration frequency against the possibility that the induced voltage in the sensor coil contains other components other than the vibration frequency, e.g. 50 Hz mains frequency and other noise sources. The reference signal for the lock-in amplifier is derived from a Hall sensor that is stationary with respect to a small magnet placed on the vibrating carbon rod.

The system is housed in a PVC pipe that can be evacuated by a vacuum pump to reduce the thermal contact with the outside, and the PVC pipe is wrapped with aluminum coated Mylar reflectors to prevent heat exchange through the radiation. To enable the sample temperature to be changed, the sample is placed on a fixed sample holder, which is in thermal contact with a copper tube with a flow of liquid nitrogen through it. The block temperature and thus the sample temperature can be changed with a Pulse Width Modulation (PWM) signal applied to a 25 W resistor placed on a copper plate in contact with a copper pipe. In order for monitoring the temperature of the sample, a K-type thermocouple placed very close to the sample holder. The desired sample temperature can be achieved with a PID controller by adjusting the pulse width (duty cycle) of the PWM signal.

The potential difference in the microvolt level produced by the thermocouple is amplified by a differential amplifier (INA 128) and converted into digital data by a 15-bit $\Delta\Sigma$ type Analog Digital Converter (ADC) (ADS1118).

This digital data is processed with a PID algorithm embedded in an AVR based microcontroller (ATmega328P) to generate the required PWM signal. The automation of the system and the processing of the obtained data is provided by a program written in the MATLAB platform.

Keywords: Vibrating sample magnetometer, Proportional–integral–derivative controller.





Kıymetli Aileme

ÖNSÖZ

Hayatım boyunca desteğini hiç esirgemeyen kıymetli aileme teşekkür ederim.

Tez çalışmasının her anında desteğini gördüğüm, bilgi birikimi ve tecrübelerinden yararlandığım danışman hocam Doç. Dr. Ergün TAŞARKUYU ve kıymetli hocam Prof. Dr. Selçuk AKTÜRK' en içten duygularıyla teşekkür ederim.

Ayrıca görüşlerinden ve önerilerinden çok sık faydalandığım Doç. Dr. Atilla ÇOŞKUN, Dr. Öğr. Üyesi Yusuf SAMANCIOĞLU ve Arş. Görevlisi Çiğdem Elif DEMİRCİ DÖNMEZ'e teşekkürlerimi borç bilirim.

Beraber çalışmaktan keyif duyduğum aynı zamanda bilgilerinden faydalandığım değerli arkadaşlarım Şükrü KAFAL, Barış ALTAN'a ve Çağdaş CANDEMİR'e teşekkür ederim.

Bu tez çalışması BAP 17/156 numaralı proje ile desteklenmiştir.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	x
İÇİNDEKİLER	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
SEMBOLLER VE KISALTMALAR	xv
1.GİRİŞ	1
1.1. Malzemelerin Manyetik Sınıflandırılması.....	3
1.2. Titreşimli Örnek Manyetometresi (TÖM) Tekniği.....	4
2. SİSTEM TASARIMI VE BİLEŞENLER	7
2.1. Tasarım	7
2.2. Titreştirici Mekanizma.....	8
2.2.1 Kilitlemeli yükselteç için referans sinyal üretme.....	12
2.3. Mıknatıs, algılayıcı bobin ve örneğin konumu	14
2.4. Örnek Sıcaklığının Denetimi	19
2.4.1 PID denetleyicisi	19
2.4.2 Sıcaklık ayarlama ve iletimi.....	22
2.4.3 K-tipi ısıl-çiftten sıcaklık okuma	27
2.5. Sistem Denetimi.....	37
3.ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE BULGULAR	38
4.TARTIŞMA VE ÖNERİLER	40
KAYNAKLAR	43
EKLER	44
Ek A. PWM	44
Ek B. Kilitlemeli Yükselteç	45
Ek C. TÖM Kontrol MATLAB Yazılımı	46
ÖZGEÇMİŞ	52

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. K-tipi ısı-çiftin sıcaklığa bağlı gerilim çizelgesi	29
Çizelge 2.2. Sıcaklığı gerilime çevirmek için kullanılan polinomların sabitleri..	30
Çizelge 2.3. Gerilimi sıcaklığa çevirmek için kullanılan polinomun sabitleri....	31



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Simon Foner tarafından geliştirilen TÖM sisteminin blok diyagramı.....	2
Şekil 1.2. Manyetik malzemelerin manyetik momentlerinin alan ile yönelimi	4
Şekil 1.3. Bir dipolün küresel koordinatlarda gösterimi	5
Şekil 2.1. Titreşimli Örnek Manyetometresi genel görünümü.....	8
Şekil 2.2. Hoparlör ile yapılmış olan titreştirici mekanizması.....	9
Şekil 2.3. Zorlamalı titreşim sistemi	11
Şekil 2.4. DC motor ile yapılmış olan titreşim mekanizması	12
Şekil 2.5. Referans sinyal üretici için Hall sensör ve mıknatıs.....	13
Şekil 2.6. Hall sensöründen elde edilen sinyalden iki farklı fazda (0° ve 90°), aynı frekansta referans sinyali üreten devre şeması	14
Şekil 2.7. Bakır örnek tutucu.....	15
Şekil 2.8. Mıknatıs, algılayıcı bobin ve örneğin konumu	16
Şekil 2.9. N42 tip Neodyum halka mıknatısın manyetik alan çizgileri	17
Şekil 2.10. Süper pozisyonda bulunan iki mıknatısın manyetik alan çizgileri (tr.wikipedia.org/wiki/Dosya:VFpt_helmholtz_coil_thumb.svg)	18
Şekil 2.11. Süper pozisyon halindeki iki mıknatısın manyetik alan şiddetinin değişimi.....	18
Şekil 2.12. PID denetleyici çalışma işlemleri diyagramı	20
Şekil 2.13. TÖM için yapılan PID denetleyici	21
Şekil 2.14 PID denetleyici yazılımın akış diyagramı.....	22
Şekil 2.15 Termoelektrik modülün polaritesini değiştirmek için kullanılan H-Bridge	23
Şekil 2.16. Örnek malzemede sıcaklık denetimini sağlamak amaçlı yapılmış blok ..	24
Şekil 2.17. H-bridge ile termoelektrik modül ve filtre devresi (https://electronics.stackexchange.com/questions/314243/peltier-driver-with-ir2110?rq=1)	25
Şekil 2.18. Sıcaklık denetim ve ayar bloğu.....	26

Şekil 2.19. Isıtıcı direnç için mosfet ile yapılan sürücü devre şeması	26
Şekil 2.20. Sıcaklık ayar ve iletim kısmında yapılan yalıtım çalışması ve tasarıma uygun hale getirilmesi.....	27
Şekil 2.21. K-tipi ısı-çiftin yapısı.....	28
Şekil 2.22. ADS1118 bilgi notunda tavsiye edilen K-tipi ısı-çift sıcaklık okuma devre şeması.....	31
Şekil 2.23. K-tipi ısı-çift sıcaklık okuma işlemleri ve örnek gösterim	32
Şekil 2.24. ADS1118 K-tipi ısı-çift okuma devre şeması.....	33
Şekil 2.25. ADS1118 ile K-tipi ısı-çift okumak için yapılmış olan devre	34
Şekil 2.26. 12 bit MCP3208 tümleşik devresi ile yapılan K-tipi ısı-çift sıcaklık okuma devre şeması.....	35
Şekil 2.27. MCP3208 ile yapılan K-tipi ısı-çift sıcaklık okuma devresi	35
Şekil 2.28. MCP3208'in sıcaklık okuma çözünürlüğü	36
Şekil 2.29. ADS1118'in sıcaklık okuma çözünürlüğü.....	36
Şekil 2.30. Sistemi denetleyen MATLAB programının akış diyagramı	37
Şekil 3.1. Titreşim mekanizmasının gerilime bağlı frekans değişimi grafiği	38
Şekil 3.2. TÖM sisteminde referans sinyalin osiloskop görüntüsü	39
Şekil 3.3. TÖM sisteminde algılayıcı bobinden gelen sinyalin osiloskop görüntüsü	39
Şekil 3.4. TÖM sisteminde algılayıcı bobinden gelen sinyal ve referans sinyalinin osiloskop görüntüsü	40
Şekil Ek 1 PWM ile ortalama güç ayarlama gösterimi	44

SEMBOLLER VE KISALTMALAR

TÖM	Titreşimli Örnek Manyetometresi
VSM	Vibrating Sample Magnetometer
PWM	Pulse Width Modulation
LIA	Lock-in Amplifier
NIST	National Institute of Standards and Technology
ITS-90	International Temperature Scale of 1990
PID	Proportional–Integral–Derivative Controller
K_P, K_I, K_D	PID Katsayıları
AVR	Modifiye Edilmiş RISC Mimarisine Sahip Mikro-Denetleyici
$\Delta\Sigma$	Delta-Sigma
ADC	Analog-to-Digital Converter
μ_0	Boş Uzayın Manyetik Geçirgenliği
DC	Doğru Akım
AC	Alternatif Akım
F_0	Zorlayıcı Kuvvet
λ	Sürtünme Sabiti
k	Yay Sabiti
m	Kütle
ω	Sistemin Zorunlu Frekansı
ω_n	Sistemin Doğal Rezonans Frekansı
Φ	Doğal Salınım İle Zorlayıcı Salınım Arasındaki Faz Farkı

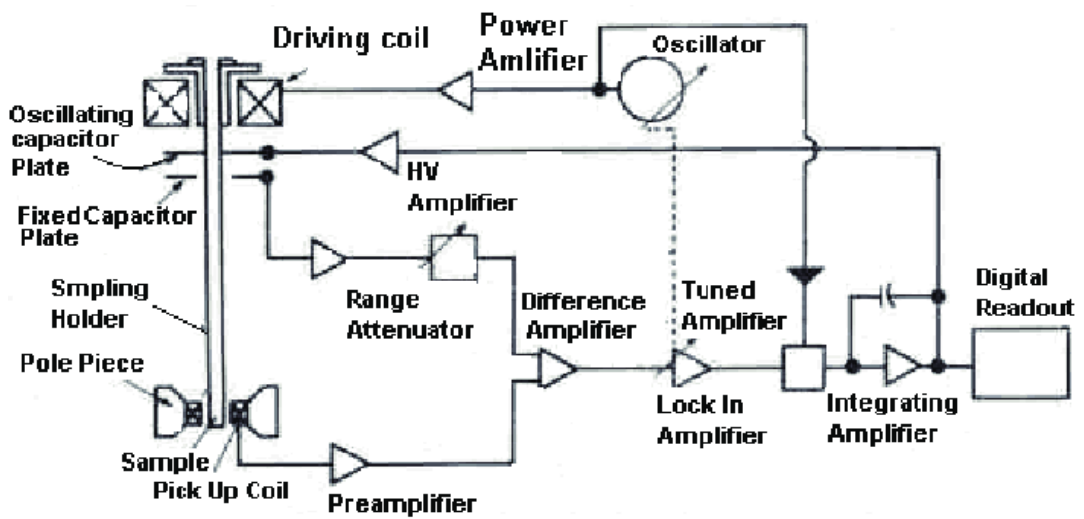
1.GİRİŞ

Malzemeler doğası gereği farklı özelliklere sahiplerdir. Bunlardan bir tanesi manyetik özellikleridir. Malzemeler manyetik özelliklerine göre çeşitli kullanım alanları vardır. Manyetik malzemeler veri depolama diskleri, trafo, elektrik motoru, sensör yapımı gibi günümüzde birçok alanda kullanılmaktadır. Bu sebepten dolayı malzemelerin manyetik özelliklerini anlamak önemlidir. Malzemelerin manyetik özellikleri belirleyebilmek için kullanılan yöntemlerden bir tanesi titreşimli örnek manyetometresi yöntemidir.

Malzemelerin manyetik özelliklerini araştırmada kullanılan Titreşimli Örnek Manyetometresinin (TÖM) MIT Lincoln laboratuvarlarında çalışmakta olan Simon Foner tarafından 1955 yılında icat edildiği iddia edilmektedir, ancak bu icada ilişkin rapor ise 1959 yılında yayınlanmıştır (Foner, 1959). Ayrıca, TÖM'ne ilişkin fikirler 1956 yılında G. W. Van Oosterhout (Van Oosterhout, Appl. Sci. Res. B6 1956) ve P.J. Flanders (Flanders, IEEE Special Publication T-91, Conference on Magnetism and Magnetic Materials, Boston,1956) tarafından daha önce yayımlanmıştır. Buna rağmen TÖM bazen Foner manyetometresi olarak anılmaktadır. Foner'in geliştirdiği ilk modelin temel çalışma ilkesi gösteren basitleştirilmiş diyagram Şekil 1.1.'de gösterilmiştir. Basit bir anlatımla, Foner'in sisteminde mıknatıslanması ölçülecek olan örnek manyetik olmayan uzun bir çubuğun ucuna tutturulur ve örnek güçlü bir elektromıknatısın kutupları arasına daldırılır. Sonra, örnek elektromekanik bir titreştirici ile titreştirilir. Mıknatıs kutuplarına sabitlenen bir çift algılama bobininde titreşen örnek tarafından indüklenen gerilim, bir kilitlemeli amlifikatör yardımıyla okunur. Foner'in TÖM'e alternatif olarak, 1956 yılında D.O. Smith tarafından titreşen bobin manyetometresi geliştirilmiş ancak yeterince yaygınlaşmamıştır (Smith, 1956). Foner yaptığı ilk modellerde örnekleri sinüzoidal olarak titreştirmek için piezo-elektrik titreştiriciler kullanmıştır.

Piezo-elektrik materyallerin yüksek frekanslarda mekanik titreşimler için uygun olmasına karşın titreşim genliklerinin düşük olması nedeniyle, sonraki yıllarda ses hoparlörleri modifiye edilerek kullanılmaya başlanmıştır.

Bu tip sistemlerde hoparlörü titreştirmek için sürülen akımın yarattığı manyetik alan ile algılayıcı bobinde indüklenen gerilimin aynı faz ilişkisi içinde olması nedeniyle elektromanyetik girişimden kaynaklı gürültü problemi ortaya çıkmaktadır (C N Guy, 1967). Bunun önüne geçmek için, özellikle ticari sistemlerde doğrusal işleticilerin (linear accuator) titreştirici olarak kullanılmasına başlanmıştır. 1968 yılında yine Foner tarafından daha düşük frekanslarda ölçüm alınmasına izin veren modeller geliştirilmiştir (Foner, 1968). Daha sonra, 1983 yılında Hoon tarafından titreşimli örnek manyetometresinin maliyetlerini düşürülmesi üzerinde çalışmalar yapılmıştır (Hoon, 1983). 1988 yılında Hoon ve Willcock tarafından çift kranklı titreştiricisi olan bir model geliştirmiştir (Hoon, 1988). Yine aynı yıl içinde Hoon titreşen ve dönen örnek manyetometresi modelleri üzerinde çok kutuplu AC kaynak kullanımının matematiksel modellemeleri üzerinde teorik çalışmalar yapmıştır. TÖM'nin hassasiyetini artırılması ve diğer taraftan maliyetlerinin düşürülmesi için A. Niazi tarafından çalışmalar yapılmıştır (Niazi, 2000). Günümüzde ticari olarak muhtelif marka ve modellerle TÖM'lerin üretilmesi ölçüm hassasiyetlerinin geliştirilmesine devam edildiğinden dolayıdır.

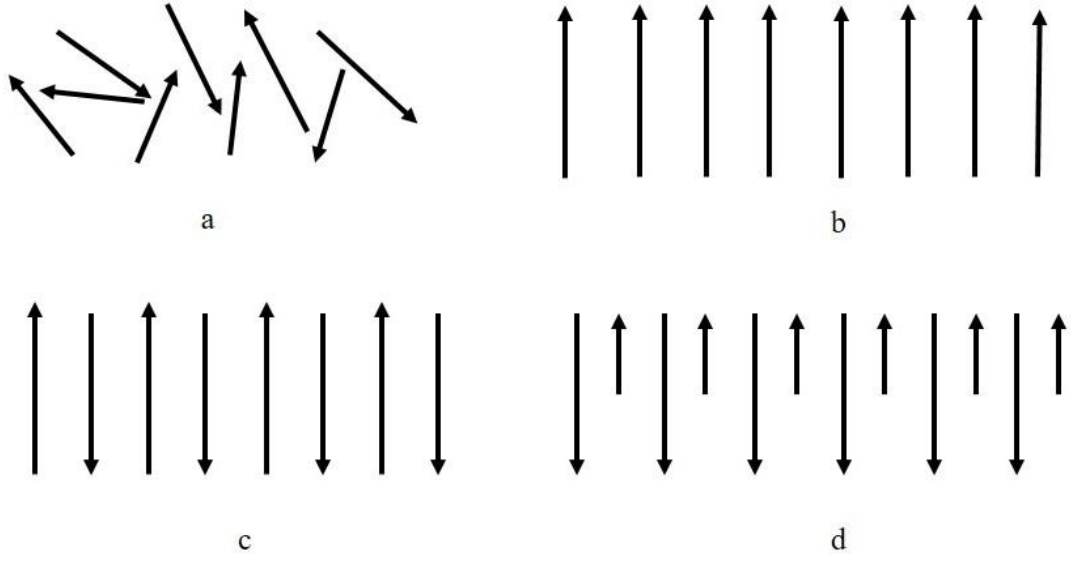


Şekil 1.1. Simon Foner tarafından geliştirilen TÖM sisteminin blok diyagramı

1.1. Malzemelerin Manyetik Sınıflandırılması

Doğadaki bütün malzemeler doğası gereği az ya da çok manyetik özelliğe sahiptir. Manyetizma türleri malzemelerin üzerlerine uygulanan manyetik alana verdikleri tepkiye göre sınıflandırılmaktadır. Bunlar başlıca; diyamanyetizma, paramanyetizma, ferromanyetizma, antiferromanyetizma ve ferimanyetizmadır.

Diyamanyetizma uygulanan bir dış manyetik alana zıt yönde ortaya çıkan orbital katkıları sonucu kendini gösterir. Diyamanyetik maddelerde manyetik duyunluk değeri negatiftir ve diğer manyetizma türlerine göre daha zayıftır. Paramanyetizma ise çekirdek veya elektronik manyetik momentlerin dış alana paralel olma eğiliminden kaynaklanır (Şekil 1.2.a). Paramanyetik malzemelerde manyetik duyunluk pozitif olmakla birlikte ferromanyetik maddelerde oluşan duyunluğa göre daha zayıftır. Manyetik alan tarafından zayıf bir şekilde çekilirler. Bu tür manyetizmada değiş-tokuş etkileşmeleri sıcaklığın bozucu etkilerini yenecek kadar şiddetli olmadığından bir spin düzenlenmesi gözlemlenmez. Ferromanyetik (Şekil 1.2.b) malzemelerin atomlarının manyetik momentleri aynı yönlü olmaya eğilimlidir. Antiferromanyetik (Şekil 1.2.c) malzemelerde momentler antiparalel olacak biçimde sıralanmışlardır, bundan dolayı bu tür malzemelerin net manyetik momentleri sıfırdır. Ferimanyetik (Şekil 1.2.d) malzemeler, momentlerinin antiparalel olması yönüyle antiferromanyetik malzemelere benzerken bazı momentlerinin diğer momentlerden daha büyük olması sebebiyle net manyetik momente sahiptirler.



Şekil 1.2. Manyetik malzemelerin manyetik momentlerinin alan ile yönelimi

1.2. Titreşimli Örnek Manyetometresi (TÖM) Tekniği

TÖM tekniği, malzemelerin manyetik özelliklerini belirlemek için kullanılan ve temelde elektromanyetik indüksiyon ilkesine dayanan bir tekniktir. Faraday indüksiyon kanununa göre, bir iletken halkadaki manyetik akı değişimi bobinde bir elektro motor kuvveti (emk) oluşturur. İndüklenen emk denklem 1.1'deki gibi ifade edilir.

$$\varepsilon = - \frac{d\Phi}{dt} \quad (1.1)$$

Emk oluşabilmesi için manyetik akı değeri zamanla değişmelidir. Bunun için ya değişen manyetik alan uygulayarak ya da manyetik alan içerisindeki örnek titreştirilerek, indüklenen emk örneğin mıknatıslanması ile orantılı olması sebebiyle bu ölçüm tekniği kullanılır.

İçinden I akımı geçen ve alanı A olan bir akım halkası için manyetik dipol momenti

$$\vec{m} = I \int d\vec{a} = I\vec{A} \quad (1.2)$$

Olarak tanımlanır.

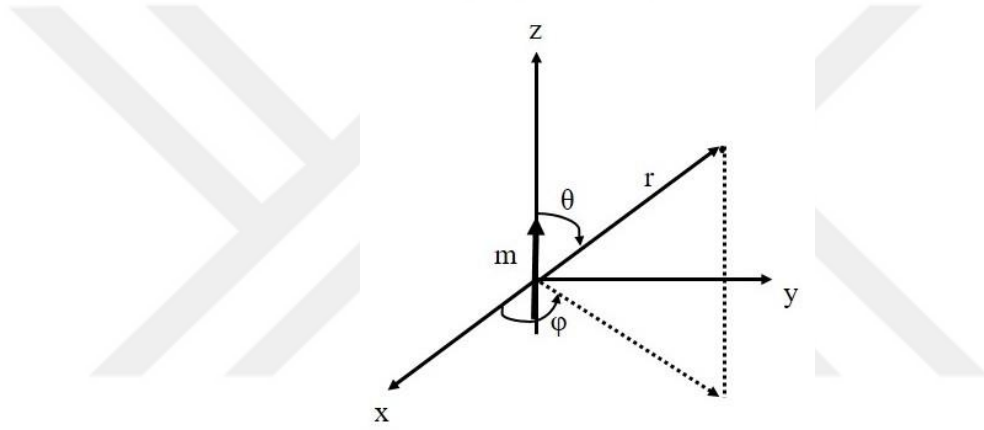
Herhangi bir koordinat sisteminin merkezine sabitlenmiş olan manyetik dipolün, seçilen koordinat sisteminden bağımsız olarak herhangi bir \vec{r} yer vektörü ile gösterilen bir noktada yarattığı manyetik alan, denklem (1.3)'de gösterildiği gibidir.

$$B_{\text{dip}}(\vec{r}) = \frac{\mu_0}{4\pi r^2} \frac{1}{r^3} [3(\vec{m} \cdot \hat{r}) \hat{r} - \vec{m}] \quad (1.3)$$

Dipolün manyetik alanı Şekil 1.3.'de gösterildiği gibi küresel koordinatlarda ve z-ekseni yönünde hizalandığı düşünülerek yeniden ifade edilirse

$$B_{\text{dip}}(r) = \frac{\mu_0 m}{4\pi} (2\cos\theta \hat{r} + \sin\theta \hat{\theta}) \quad (1.4)$$

olarak bulunur.



Şekil 1.3. Bir dipolün küresel koordinatlarda gösterimi

Bu dipolün z-ekseni üzerinde titreşimli hareket ettiği varsayılırsa çevresindeki bir kapalı bir iletken halka üzerinde indükleyeceği emk (V), dipol momentinin büyüklüğüne ($m=Mv$, v malzemenin hacmidir), titreşim hızına ve iletken halkanın parametrelerine (iletken halkanın sarım sayısına ve yönelime, halkanın alanına vb.) bağlı olarak denklem 1.5'deki gibi verilebilir.

$$V = k_1 m \frac{dz}{dt} \quad (1.5)$$

Burada k_1 iletken halkanın parametrelerine bağlı bir sabittir.

Eğer titreşim $z = z_0 \sin\omega\tau$ düşünülecek olursa;

$$V_{\text{rms}} = k_2 m \quad (1.6)$$

Olarak ifade edilebilir. Burada $k_2 = k_1 \omega z_0 \sqrt{2}$ olarak verilir. Miknatıslanma bir maddenin manyetik durumunu belirten niceliktir. Bu vektörün büyüklüğü, maddenin birim hacminin net manyetik momentine eşittir. Miknatıslanmanın ve madde içindeki manyetizmanın kaynağı elektronların yörüngedeki hareketleridir. Miknatıslanma vektörü M harfi ile gösterilir. Bir maddedeki toplam manyetik alan B, çevre akımlarından oluşan H manyetik alan şiddetiyle, maddenin iç dinamiklerinden kaynaklanan M miknatıslanmasının vektörel toplamına eşittir. Yani,

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

M ve H arasında da bir ilişki vardır. Diyamanyetik ve paramanyetik maddeler için bu iki nicelik doğru orantılıdır.

$$M = \chi_m H \quad (1.8)$$

χ_m manyetik duyunluk denilen boyutsuz bir çarpandır. Ferromanyetik maddelerde ise manyetik kesiklikten dolayı M ile H arasında doğrudan bir ilişki yoktur.

TÖM ölçümlerinde örnek malzeme sabit bir manyetik alan içerisine konulur. Bu sabit manyetik alan örnek malzemenin manyetik dipollerinin bir düzene girmesine sebep olacaktır. Sabit manyetik alan ne kadar şiddetli olursa miknatıslanma bir o kadar büyük olacaktır. Örnek malzeme içerisindeki manyetik dipoller kendi etrafında bir manyetik alan oluşturacaktır.

TÖM'ün titreştirici mekanizması ile örnek malzeme aşağı-yukarı hareket ettirilirse oluşan bu manyetik alan zamanın bir fonksiyonu olarak değişecektir ve emk algılayıcı bobinde indüklenenecektir.

2. SİSTEM TASARIMI VE BİLEŞENLER

2.1. Tasarım

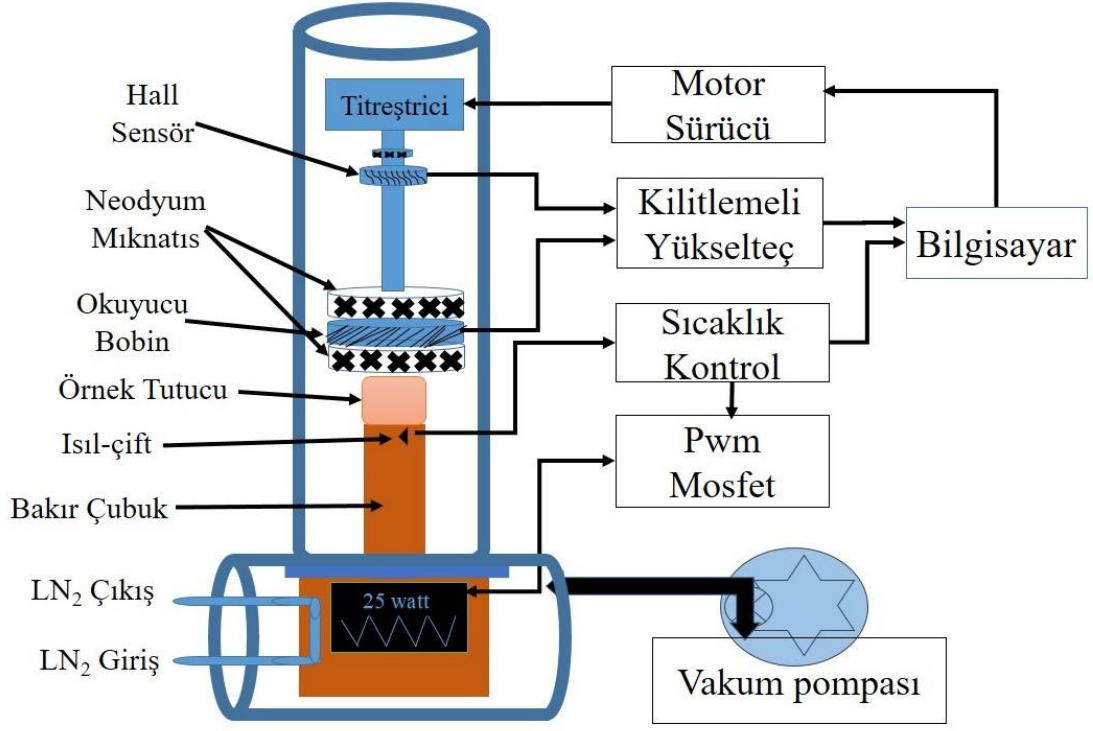
Tez çalışması kapsamında yapılan Titreşimli Örnek Manyetometresi (TÖM) iki ana kısımdan ve bileşenlerden oluşmaktadır. Bu kısımlar; titreşim mekanizması ve örnek sıcaklığı denetim bloğudur. Bileşenler ise PID denetleme ünitesi, kilitlemeli yükselteç, Hall sensör ile referans sinyal üretme devresi, titreştiricinin bilgisayar kontrollü güç kaynağıdır.

Öncelikle TÖM sisteminin titreştirici mekanizması tasarlanmış ve yapılmıştır. Titreşim sağlamak için DC motor ve DC motorun dönme hareketini doğrusal ve sinüzoidal hareket haline getirmek için yapılan mekanik parçalar kullanılmıştır. Bu bölümde ayrıca ölçüm sırasında doğru sinyali okuyabilmek için üretilen referans sinyal üretici de tasarlanmıştır.

Referans sinyal üretici için Hall sensör ve mıknatıs kullanılmıştır. Mıknatıs titreşimin olduğu mekanizmaya sabitlenmiştir ve hemen üzerine titreşimden bağımsız bir platforma Hall sensörü takılmıştır. Titreşim başladığında mıknatıs titreşimle aynı frekansta titreyecektir ve hall sensör manyetik alanın değişimden çıkışına bir sinyal üretecektir.

Titreşim mekanizmasının en alt kısmında neodyum mıknatıs ve okuyucu bobin sistemi bulunmaktadır, iki halka neodyum mıknatıs arasına konumlanmış olan algılayıcı bobin tam örneğin bulunduğu yerdedir.

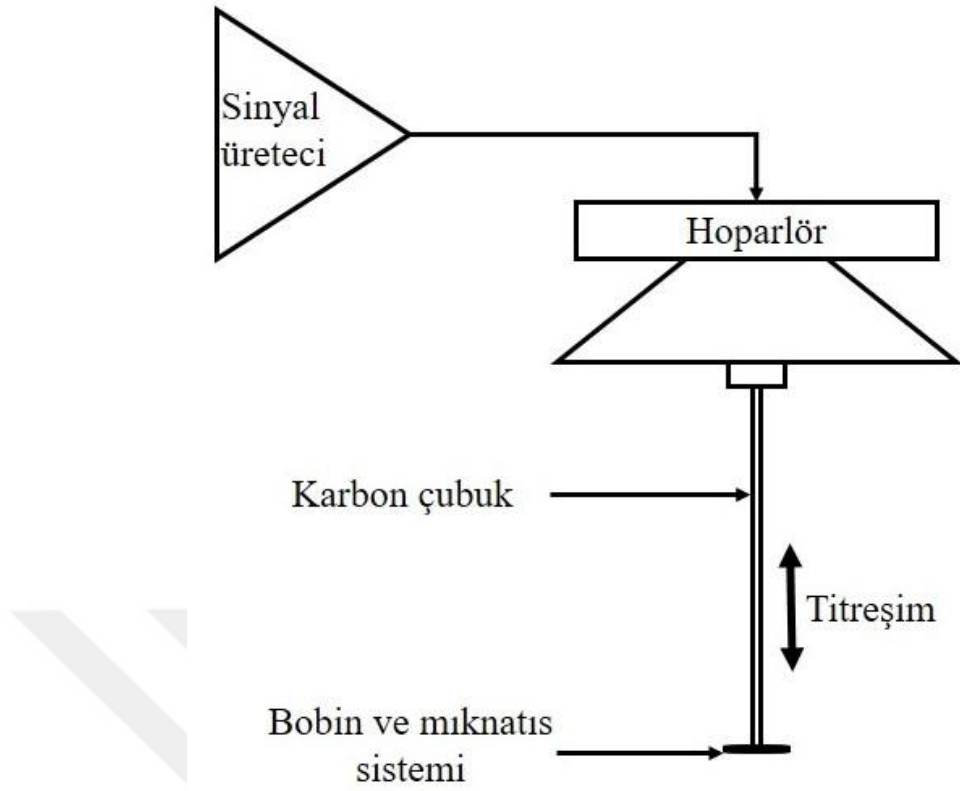
Bir diğer bölüm ise örneğin bulunduğu ve sıcaklığın ayarlandığı bölümdür, burada içerisinden sıvı azot geçen bakır boruya sabitlenmiş ısıtıcı direnç ve hemen yanında örnek tutucu bulunmaktadır. Bakır boru sabit 77 K de kalırken ısıtıcı 25 W direnç istenilen sıcaklığa ulaşmak için kullanılmıştır. Örnek tutucuya yakın bir konumda takılan ısıl-çift sıcaklık okumak ve PID denetimi yapmak için kullanılmıştır. Ayrıca sıcaklığı ayarlamak için alüminyum blok ve termoelektrik modül de denenmiştir. Tez kapsamında yapılan TÖM cihazının genel gösterimi Şekil 2.1.'de verilmiştir.



Şekil 2.1. Titreşimli Örnek Manyetometresi genel görünümü

2.2. Titreştirici Mekanizma

TÖM titreştirici mekanizması iki farklı yöntem denenmiştir. Bu yöntemlerden birincisi titreşimi hoparlör ile sağlamaktır. 8 Ω 60 W hoparlörün diyafram konisi çıkarılmıştır. İç körüğüne bağlanmış olan karbon çubuk bir yatağın içerisine konularak sağ-sola yalpalanması engellenmiştir. Karbon çubuğun ucuna titreştirici mekanizmasında kullanılacak ağırlığa eş olan ağırlık takılmıştır. Hoparlör, sinyal üretici ve ona bağlı bir güç amplifikatörü aracılığı ile belli frekanslarda sürülmüştür. Bu yapılan sistem Şekil 2.2.'de verilmiştir.



Şekil 2.2. Hoparlör ile yapılmış olan titreştirici mekanizması

Yapılan sistemin dinamiklerini anlayabilmek için Newton'un hareket kanunundan yola çıkılarak hoparlör sisteminin diferansiyel denklemi;

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = F(t) - kx - \lambda \frac{dx}{dt} \quad (2.1)$$

şeklinde yazılır.

Bu eşitlikte zorlayıcı kuvvet $F(t)=F_0\sin\omega t$, hoparlörün körüğünden kaynaklanan yay sabiti k ve karbon çubuğun yatağından kaynaklanan sürtünme katsayısı λ olarak gösterilmiştir.

Denklem 2.1'de düzenlemeler yapılırsa;

$$\frac{m}{k} \frac{d^2x}{dt^2} + \frac{\lambda}{k} \frac{dx}{dt} + x = \frac{1}{k} F_0 \sin\omega t \quad (2.2)$$

dönüşür.

Bu denklemin sabitleri aşağıdaki gibi yeniden tanımlanırsa

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}}, \quad \zeta = \frac{\lambda}{2\sqrt{km}}, \quad K = \frac{1}{k}$$

$$\frac{1}{\omega_n^2} \frac{d^2x}{dt^2} + \frac{2\zeta}{\omega_n} \frac{dx}{dt} + x = KF(t) \quad (2.3)$$

elde edilir.

Denklem 2.3 çözüldüğünde, genliğin zamanla değişimi

$$x(t) = X_0 \sin(\omega t + \Phi) \quad (2.4)$$

olarak elde edilir. Burada

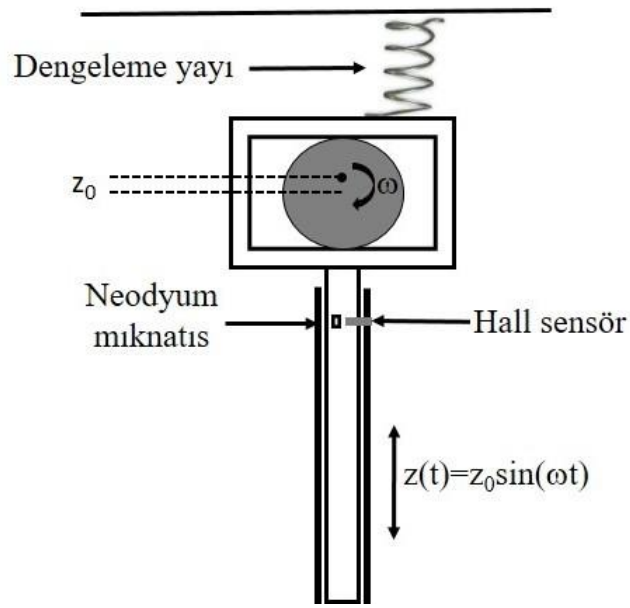
$$X_0 = \frac{KF_0}{\left\{ \left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_n^2}\right)^2 + \left(\frac{2\zeta\omega}{\omega_n}\right)^2 \right\}^{1/2}} \quad (2.5)$$

$$\phi = \tan^{-1} \left(\frac{-2\zeta\omega/\omega_n}{1 - \omega^2/\omega_n^2} \right) \quad (2.6)$$

olarak hesaplanmıştır. Denklem 2.4 de görüldüğü gibi hoparlör ile yapılan titreşim mekanizmasında genlik frekansa bağlı olarak değişmektedir. Denklem 2.6'da verilen ϕ , zorlayıcı kuvvetin fazı ile doğal sistem salınıminin arasındaki faz farkıdır. Bu denklemlerden de görüleceği gibi, zorlayıcı kuvvetin frekansı ile sistemin doğal rezonans frekansı uyuşmadığında genlikte bir azalmanın ortaya çıkacağı bununla birlikte fazında da bir kayma meydana geleceği anlaşılmaktadır. Yapılan testler bunu doğrular niteliktedir. Düşük frekanslarda (yaklaşık 15 Hz) genlik yeterli gelirken, frekans yükseldikçe genliğin ciddi miktarda azaldığı gözlemlenmiştir. Denklem 1.5'de titreşim genliğinin ve frekansının yüksek olması algılayıcı bobindeki indüklenen gerilimle doğru orantılı olduğunu göstermektedir.

Ayrıca bu sistemde frekans ile birlikte genlik değiştiğinden (Denklem 2.5) dolayı kalibrasyon sabitinden bahsetmek mümkün olamayacaktır. Sayılan bu sebeplerden dolayı genliğin ve frekansın kararlı bir şekilde sürdürülebildiği bir titreştirici mekanizmanın gerekliliği anlaşılmıştır.

Genliğin, frekansın ve fazının kararlı olduğu bir titreştirici mekanizmanın, merkezi dışında bir dönme hareketi yapan volanın yalpalı hareketinin düşey doğrultuda bir eksene taşınarak sağlanacağı düşünülmüştür ve Şekil 2.3.'de verilmiştir. Böylece, çerçevenin düşey ekseninde zamanla yer değiştirmesi $z(t)=z_0\sin(\omega t)$ olarak elde edilir. Bu ifadede görülüşü gibi z_0 frekanstan bağımsız olarak sabit bir değerdedir ve sadece volanın merkezinden olan uzaklığa bağlıdır. Frekans ise volanın dönme hızına bağlı olarak istenildiği ölçüde değiştirilebilmektedir.



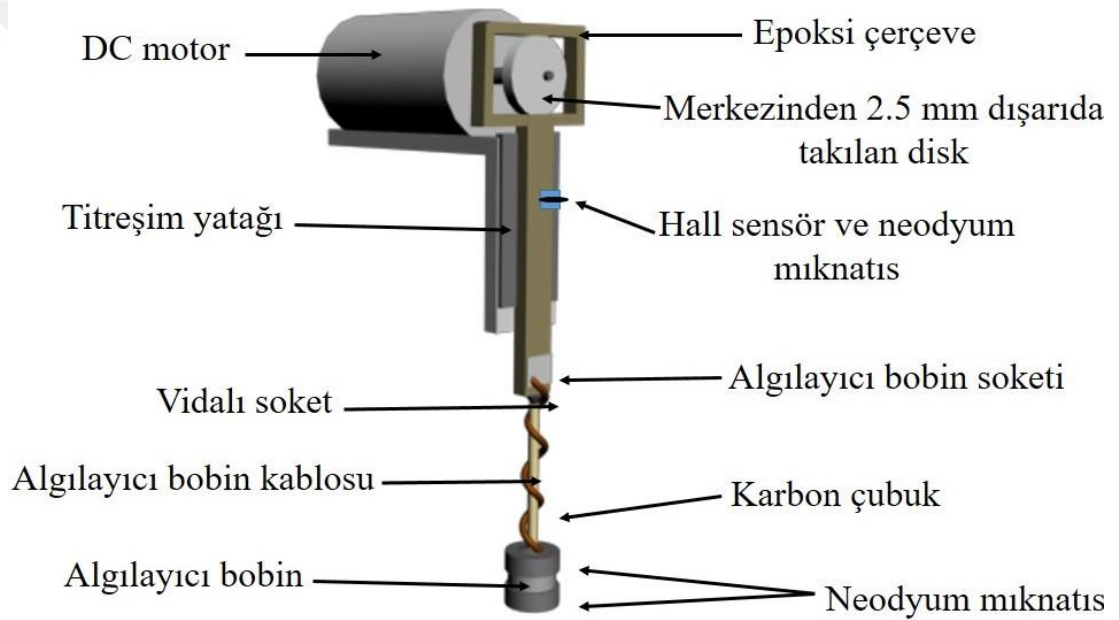
Şekil 2.3. Zorlamalı titreşim sistemi

Bu titreşim mekanizmasının hareketi için DC motor (18 V 2 A) kullanılmıştır. Merkezinden 2,5 mm dışına delik açılmış olan bir volan DC motorun miline takılmıştır.

Bu volan epoksi plaketten yapılmış olan bir dikdörtgen çerçevenin içerisinde hareket edebilecek şekilde yerleştirilmiştir.

Böylece merkezi dışında dönen volan dikdörtgen çerçevenin içinde tek boyutta iki yönde hareket etmektedir.

Dikdörtgen çerçevenin hareketini örnek malzemenin bulunduğu kısma kadar aktarmak için epoksi plaketin ucuna vidalı bir karbon çubuk kullanılmıştır. Bu çubuğun sağa ve sola yalpalamasını engellemek için bir yatağın içerisinde hareket etmesi sağlanmıştır. Ayrıca kilitlemeli yükselteç için referans sinyal de titreştirici mekanizmadan Hall sensör ve mıknatis ile elde edilmektedir. Bu kısım bir sonraki bölümde ayrıca anlatılacaktır. Yapılan titreştirici mekanizma ayrıntılı olarak Şekil 2.4.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.4. DC motor ile yapılmış olan titreşim mekanizması

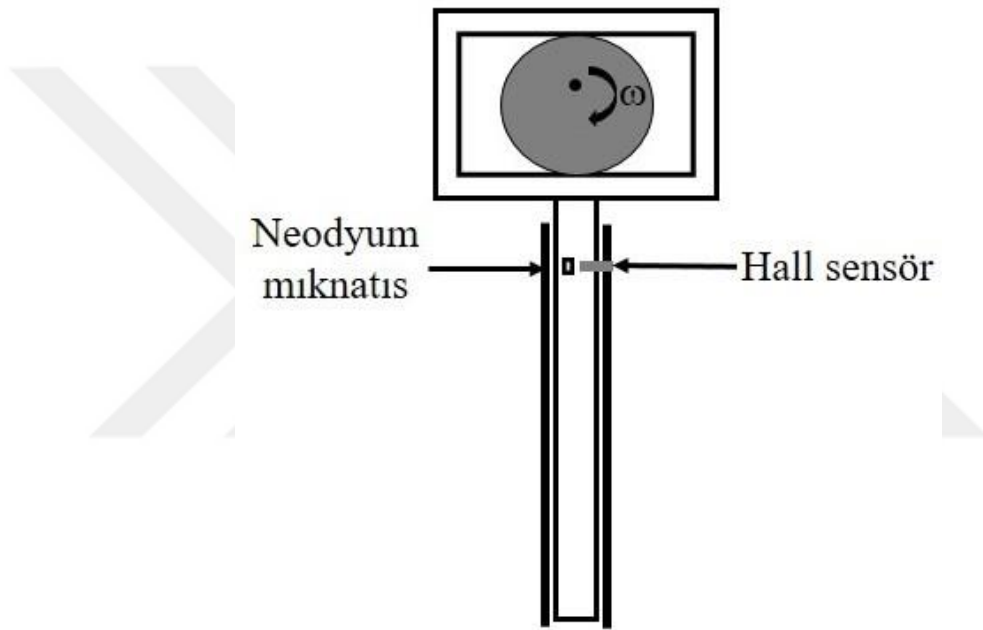
2.2.1 Kilitlemeli yükselteç için referans sinyal üretme

Titreşimli örnek manyetometresi algılayıcı bobininde örnek malzemenin indüklediği sinyal osiloskop ile gözlemlenmiştir. Bu gözlemlerde indüklenen sinyal dışında çevreden gelen elektromanyetik gürültü osiloskopta görülmektedir.

Algılayıcı bobindeki gürültüyü ya da başka bir sinyali değil sadece örnek malzemenin algılayıcı bobinde oluşturduğu indüklenmeyi ölçmek için kilitlemeli yükselteç kullanılmıştır.

Kilitlemeli yükselteç, referans kanalına girilen sinyalle algılayıcı bobinden gelen farklı sinyallerin içinden referans sinyali ile aynı frekanstaki sinyali ölçer.

Yani titreşimin frekansı biliniyorsa algılayıcı bobinde oluşan sinyallerin içinde sadece malzemenin oluşturduğu indüklenme kilitlemeli yükselteç ile ölçülebilir. Titreşim frekansı ile aynı frekansta referans sinyal üretmek için A3144 model Hall sensör ve mıknatıs kullanılmıştır. Titreşim mekanizmasının titreşen kısmına neodyum mıknatıs sabitlenmiştir. Titreşimden bağımsız bir noktaya titreşen mıknatısın hemen üzerine gelecek şekilde Hall sensör takılmıştır (Şekil 2.5.). Böylece titreşimle birlikte hareket eden mıknatıs sabit olan Hall sensörde titreşimle aynı frekansta bir sinyal üretecektir.

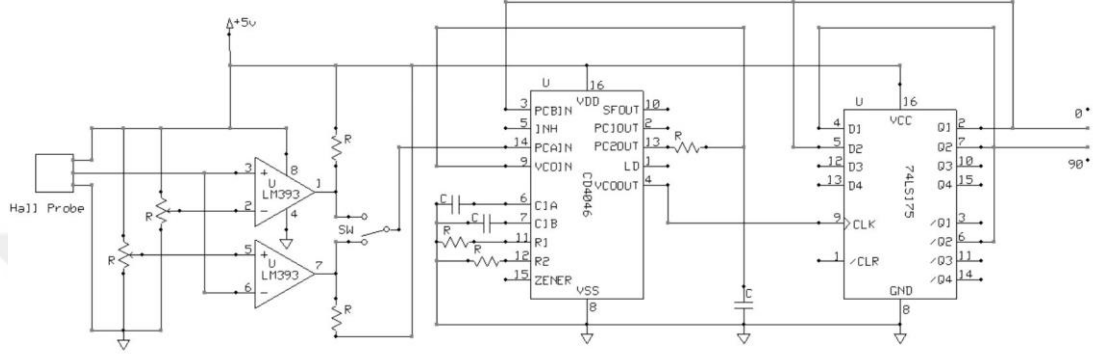


Şekil 2.5. Referans sinyal üretici için Hall sensör ve mıknatıs

Kullanılan A3144 model Hall sensör doğrusal çalışmaktadır. Hall sensör komparatörü ile belirli bir manyetik alan değerinde açılıp başka bir değerde kapanmasıyla dikdörtgen dalga elde edilmektedir. Bu açma kapama işlemi için LM393 komparatörü (analog karşılaştırıcı) kullanılmıştır.

Titreşimli örnek manyetometresinde titreşim sırasında örnek malzeme ile algılayıcı bobinin konumları her zaman bilinemediği için referans sinyali iki farklı fazda (0° ve 90°) aynı frekansta elde edilerek bu iki referans sinyalinin bileşkesinin ölçülmesi gerekmektedir.

Örnek malzeme ve algılayıcı bobinin konumu bilinmese bile, ölçülen sinyal örnek malzemenin algılayıcı bobinde indüklediği gerilim ile orantılı olacaktır. Referans sinyalinden aynı frekansta iki farklı faz elde etmek için 74LS175 tümleşik devresi ve dikdörtgen sinyali kare sinyale çevirmek için CD4046 (faz kilitleme döngüsü) tümleşik devresi kullanılmıştır. Hall sensör için yapılan devre şeması detaylı olarak Şekil 2.6.'da verilmiştir.



Şekil 2.6. Hall sensöründen elde edilen sinyalden iki farklı fazda (0° ve 90°), aynı frekansta referans sinyali üreten devre şeması

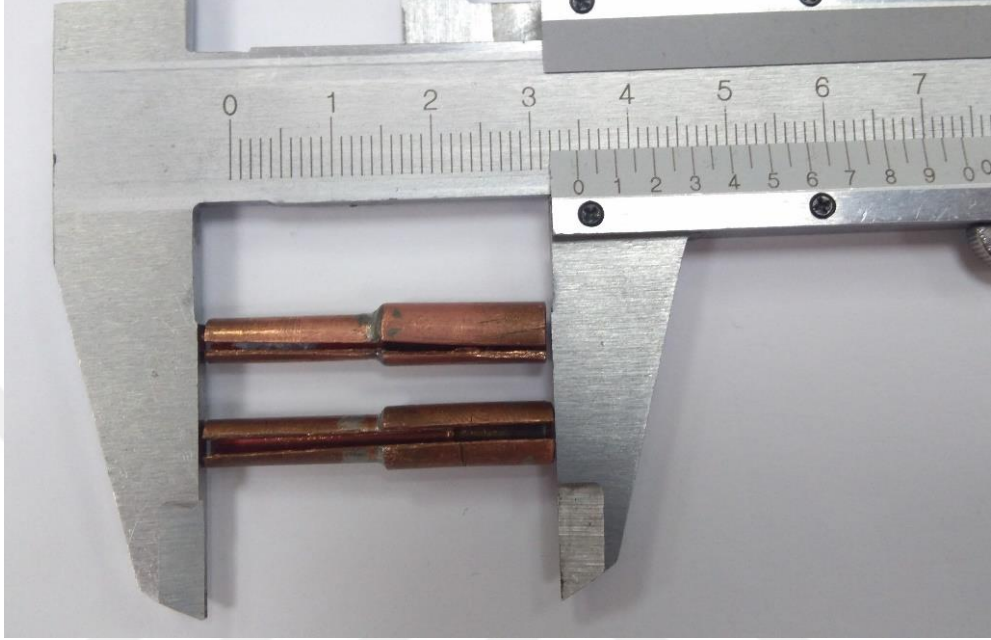
2.3. Mıknatıs, algılayıcı bobin ve örneğin konumu

TÖM cihazına örneği takabilmek için örnek tutucu yapılmıştır ve örnek tutucu yapımında bakır malzeme kullanılmıştır. Bunun sebebi bakırın ısı iletiminin iyi olması yani sıcaklığın örneğe iletimini iyi bir şekilde sağlamak ve bakırın manyetik alandan çok az etkilenmesidir. Böylece örnek tutucu ile istenilen sıcaklığı örneğe iyi bir şekilde iletilecek ve manyetik alana maruz kalsa bile bakır zayıf bir diamanyetik malzeme olduğundan algılayıcı bobine indükleme yapamayacaktır.

Örnek tutucu yapımı için iki farklı çapta bakır boru kesilerek ve birbirlerine lehim yapılarak sabitlenmiştir. İki farklı çapta bakır boru kullanılmasının sebebi, çapı küçük olan tarafın ısı iletimini sağlamak için yapılmış olan örnek tutucu yuvasına tam oturmasıdır. Çapı büyük olan taraf ise daha fazla örnek koyabilmek için yapılmıştır.

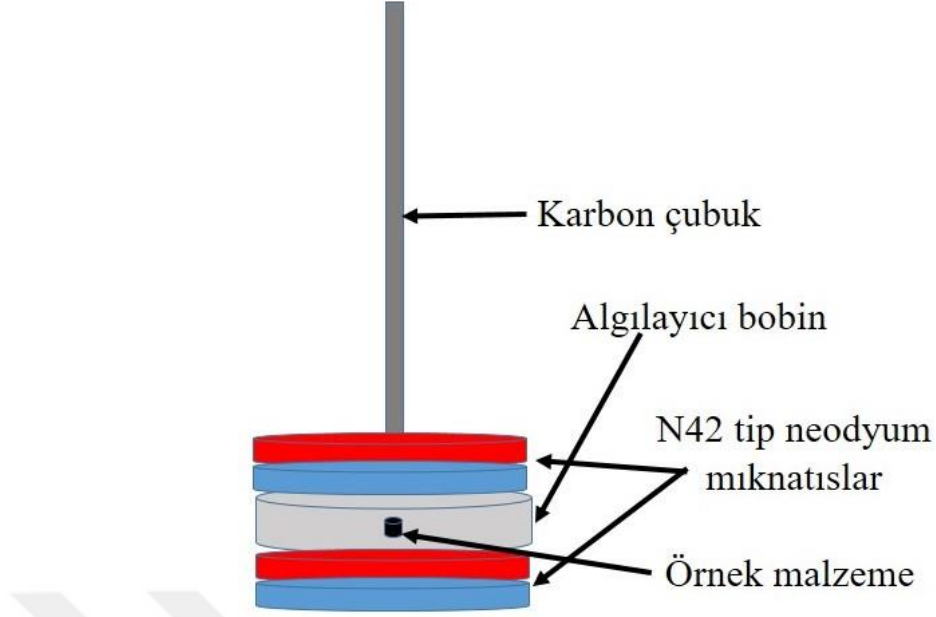
Ayrıca ölçümleri etkilememesi adına bakır boruda oluşması muhtemel olan girdap akımlarını engellemek için örnek tutucuya Şekil 2.7.'de görüldüğü gibi yarık açılmıştır.

Girdap akımları Faraday'ın indüksiyon kanunu sebebiyle, manyetik alan değiştiğinde iletkenlerin içerisinde oluşan ęembersel (bir ęeręevenin içerisinde başladığı noktaya dönen) elektrik akımıdır. Böyle bir akımın oluşması manyetik alan oluşturacağı için algılayıcı bobinde bir sinyal ¼retecektir.



şekil 2.7. Bakır rnek tutucu

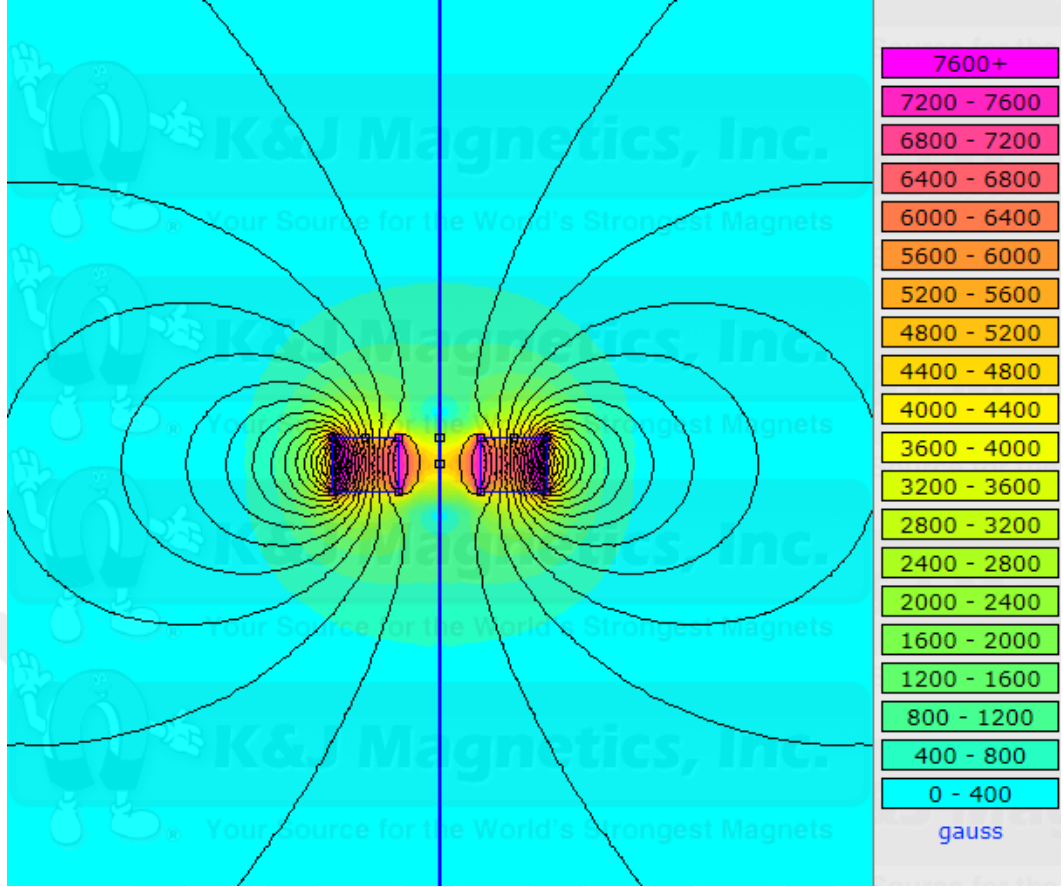
TM sisteminde örnek iki adet mıknatısın arasına yerleştirilen algılayıcı bobinin tam ortasında bulunmaktadır (şekil 2.8.). Mıknatıslarla birlikte titreşen algılayıcı bobin, mıknatısların oluşturduğu manyetik alan tarafından mıknatıslanan örnek malzemenin yarattığı ind¼klenmeyi lęer.



Şekil 2.8. Mıknatıs, algılayıcı bobin ve örneğin konumu

Algılayıcı bobinde oluşan sinyal malzemenin türü, hacmi, bobinin direnci, titreşim frekansı ve manyetik alanın şiddetine göre değişkenlik göstermekle birlikte genelde mV mertebesinde sinyallerdir. Bu nedenle çevreden gelen elektromanyetik gürültüden etkilenmektedir ve bu durum örnekten gelen sinyali ölçmeyi zorlaştırmaktadır. Bunun önüne geçerek sadece örnek malzemeden gelen sinyali dedekte etmek için kilitlemeli yükseltece ihtiyacı duyulmaktadır.

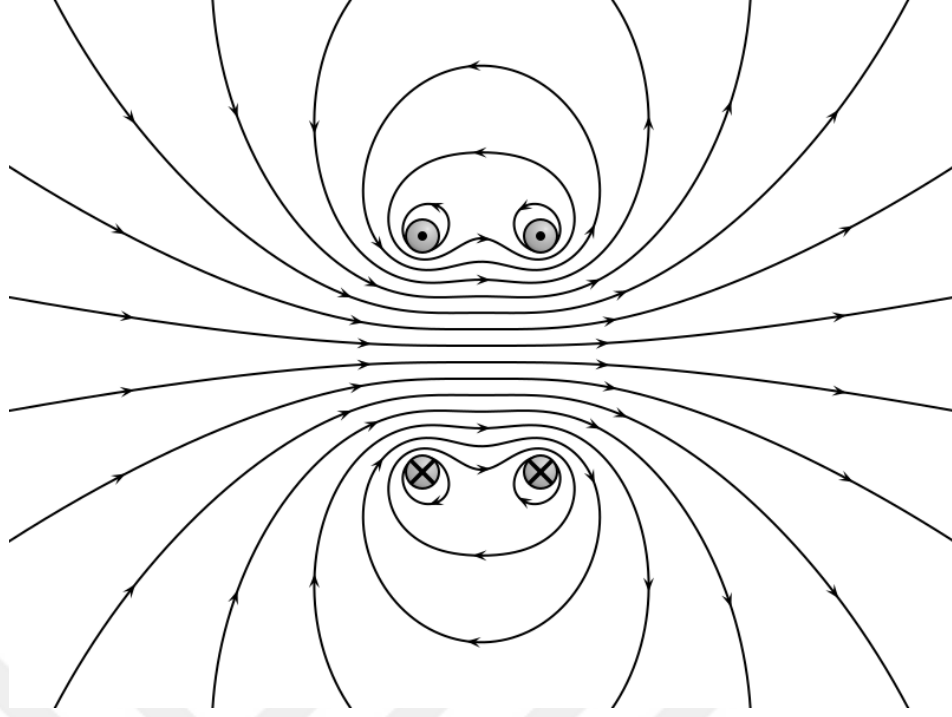
Sistemde kullanılan halka şeklinde N42 neodyum tip mıknatısın manyetik alan şiddetini gösteren manyetik alan çizgileri Şekil 2.9.'da verilmiştir.



Şekil 2.9. N42 tip Neodyum halka mıknatısın manyetik alan çizgileri
(<https://www.kjmagnetics.com/calculator.asp?calcType=ring>)

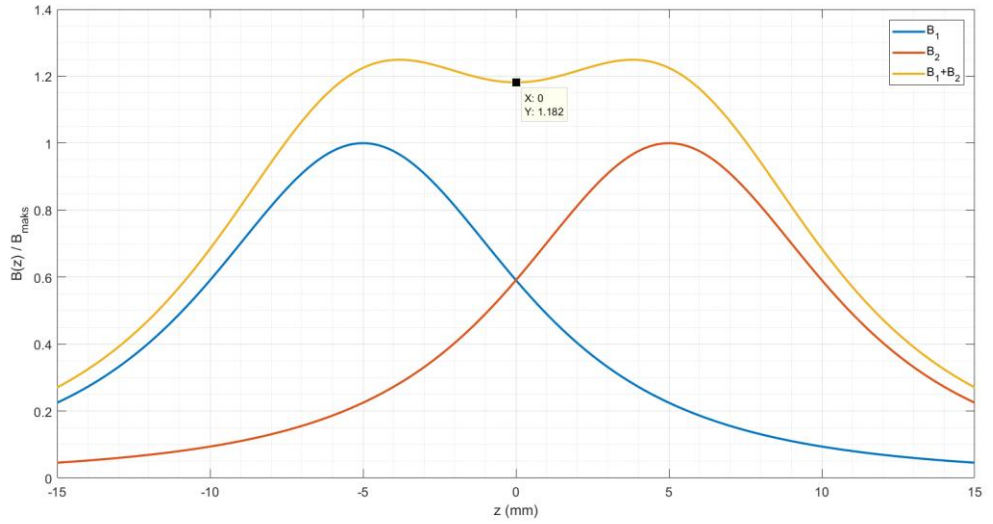
TÖM sisteminde daha güçlü ve tekdüze manyetik alan elde etmek için birbirleriyle süper pozisyon halinde iki adet mıknatıs kullanılmıştır. Bu iki adet mıknatıs konumları gereği Helmholtz bobinine benzetebilir.

Örnek malzeme bu iki mıknatısın tam ortasındaki daha kuvvetli ve düzgün manyetik alana maruz kalacaktır. Birbirleriyle süper pozisyon halinde olan iki mıknatısın manyetik alan çizgileri Şekil 2.10'daki gibidir.



Şekil 2.10. Süper pozisyonda bulunan iki mıknatısın manyetik alan çizgileri
(tr.wikipedia.org/wiki/Dosya:VFPT_helmholtz_coil_thumb.svg)

Süper pozisyonda bulunan iki mıknatısın eksenindeki manyetik alan şiddetini kuvvetlendirdiği Şekil 2.11’de gösterilmiştir.



Şekil 2.11. Süper pozisyon halindeki iki mıknatısın manyetik alan şiddetinin değişimi

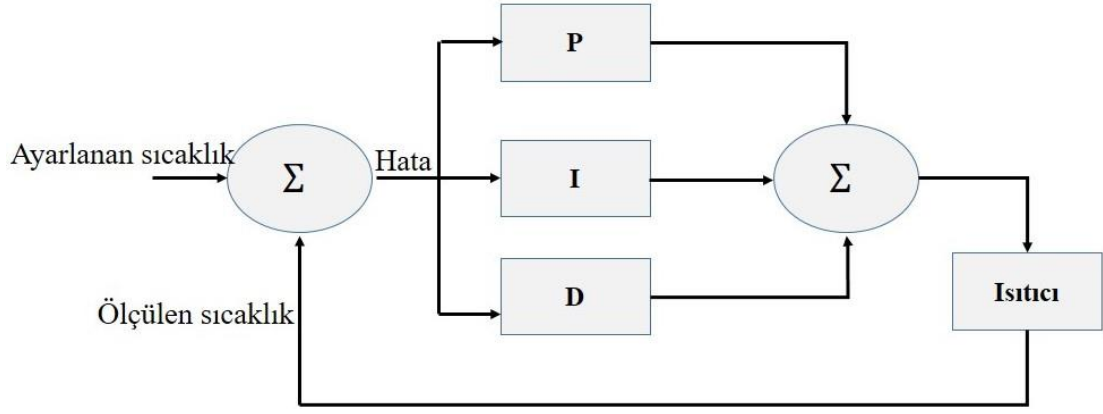
2.4. Örnek Sıcaklığının Denetimi

Bu tez kapsamında TÖM cihazı, örnek malzemenin sıcaklığı sıvı azot ile 77-300 K arasında değiştirmek için tasarlanarak yapılmıştır. Sıcaklığın bu aralıkta değişmesinin nedeni sistemi soğutmak için sıvı azot ve TÖM yapımı için kullanılan malzemelerin 300 K'den sonrası için bozulmaya başlamasıdır. Sıcaklık değişimini kontrol etmek için PID denetleyici kullanılmıştır. Sıcaklık okuma işlemi için ise ısıl-çift kullanılmıştır.

2.4.1 PID denetleyicisi

PID bir kontrol geri bildirim döngüsüdür. Bir PID denetleyici belirli bir zaman içinde değişen ve istenilen ayar noktası ile arasındaki farkı olarak bir “hata” değerini hesaplar ve bu hata değerine dayanan bir geri besleme ile düzeltme uygular böylece hatanın en aza indirilmesi sağlanır. PID (Proportional, Integral, Derivative) diye tanımlanır. Türkçesi (Oransal, İntegral, Türevsel) denetleyicidir. PID denetiminde öncelikle hata tanımlaması yapılmalıdır. Hata ise referans değere olan uzaklık olarak tanımlanabilir. Oransal terim sistemden gelen hatayı bir kat sayı ile çarpılarak bir düzeltme uygular. İntegral hatanın alanını bulmak anlamına gelmektedir.

Her bir dt çevriminde hata K_I katsayısıyla çarpılarak toplanır. İntegralin çok yükselmesini önlemek için sınırlandırmak gereklidir. Sürekli toplandığı için integral çok artarsa tekrar azalmasını beklemek zaman alır. Bu yüzden integrali sınırlamak sistemin çabuk toparlanmasını sağlayacaktır. Türev, sistemdeki iki örnekleme zamanı arasındaki hatanın değişim hızını hesaplar. Eğer hatada bir değişim yok ise türev sıfır olur. PID denetleyicisinin şematik olarak çalışma sistemi Şekil 2.12.'de akış diyagramı verilmiştir.



Şekil 2.12. PID denetleyici çalışma işlemleri diyagramı

Analog olarak çalışan bir PID denetleyicinin çıkış değeri denklem 2.7’de gösterildiği gibi hesaplanır. Analog PID denklemi bir mikro-denetleyici ile dijital olarak uyarlandığında PID integral terimi toplam terimine, türev terimi ise fark terimine dönüşmektedir ve denklem 2.8’de verildiği gibidir.

$$V_0 = K_P e + K_I \int_0^t e(t) dt + K_D \frac{de}{dt} \quad (2.7)$$

$$V_0 = K_P e_i + K_I \sum_{j=0}^i e_j + K_D \frac{\Delta e}{\Delta t} \quad (2.8)$$

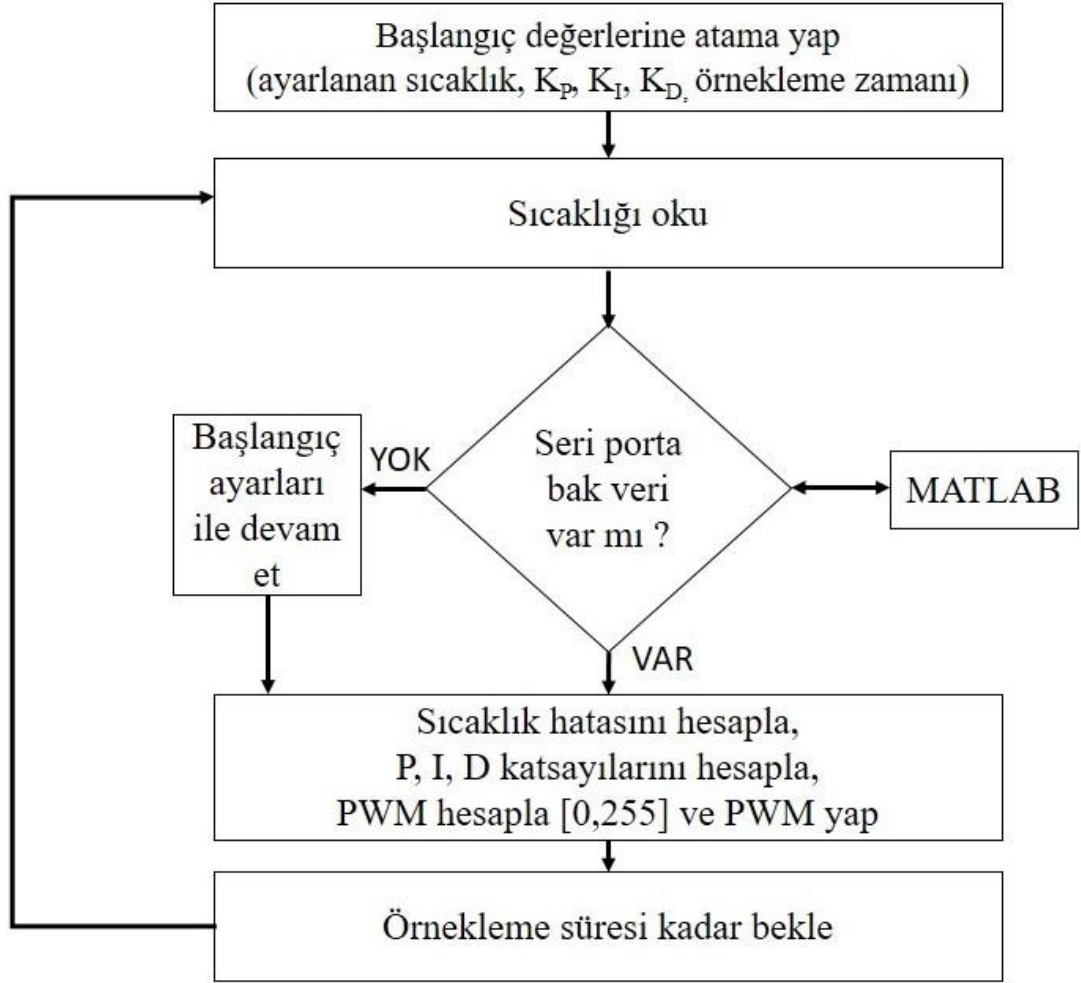
TÖM sistemi için yapılan PID denetleyici dijital olarak çalışmaktadır. AVR tabanlı ATmega328P mikro-denetleyicisi tarafından kontrol edilmektedir. PID denetleyicisine sıcaklık bilgisi 15 bit ADC tarafından K-tipi ısı-çift okunarak gönderilmektedir. PID denetleyici sisteme geri vereceği sayısal değeri 8 bitlik PWM değeri (0-255) arasında ayarlar. Yapılan PID denetleyici kutusu Şekil 2.13.’de fotoğraflanmıştır. Kutunun arka tarafında ısı-çift soketleri ve güç girişi bulunmaktadır. Ön tarafında ise LCD ekranlar bulunmaktadır. Bu ekranlar TÖM sisteminin PID denetimi ile ilgili verilerini göstermektedir. Kutu içerisinde ise mikro-işlemci, 15 bit ADC ve güç kaynağı bulunmaktadır.



Şekil 2.13. TÖM için yapılan PID denetleyici

Yazılımsal olarak PID denetleyicinin öncelikle başlangıç değerlerini ayarlamak gerekmektedir. Bu başlangıç değerleri; PID katsayıları (K_P , K_I , K_D), örnekleme süresi ve gitmesi istenilen ilk sıcaklıktır. Daha sonra sıcaklık verisi okunur ve seri porta MATLAB tarafından veri gelip gelmediğine bakılır. Eğer MATLAB tarafından ayarlanması gereken sıcaklığın verisi gönderildi ise bu gönderilen sıcaklığa ulaşmak için PID denetleyici işlemlere başlar. MATLAB tarafından seri porta veri gönderilmedi ise başlangıç değerleriyle sistem işlemeye devam eder. Aynı zamanda sıcaklık verisi MATLAB programına gönderilmektedir. Ardından sistemin gitmesi gereken sıcaklık ile okunan sıcaklık verisi karşılaştırılarak hata hesaplanır. Bu hata PID katsayıları ile çarpılarak sisteme geri gönderilecek olan sayısal değer hesaplanır.

Bu hesaplanan sayısal değer PWM sinyaline dönüştürülerek sisteme gönderilir. Örnekleme süresi kadar beklenir ve sıcaklık tekrar okunur. Bu döngü ayarlanan sıcaklığa gelene kadar devam eder. Ayarlanan sıcaklığa gelindiğinde MATLAB programı algılayıcı bobinden kilitlemeli yükselteç yardımıyla veri alır ve yeni sıcaklık bilgisini gönderir. Yazılımın akış şeması Şekil 2.14'de verilmiştir.



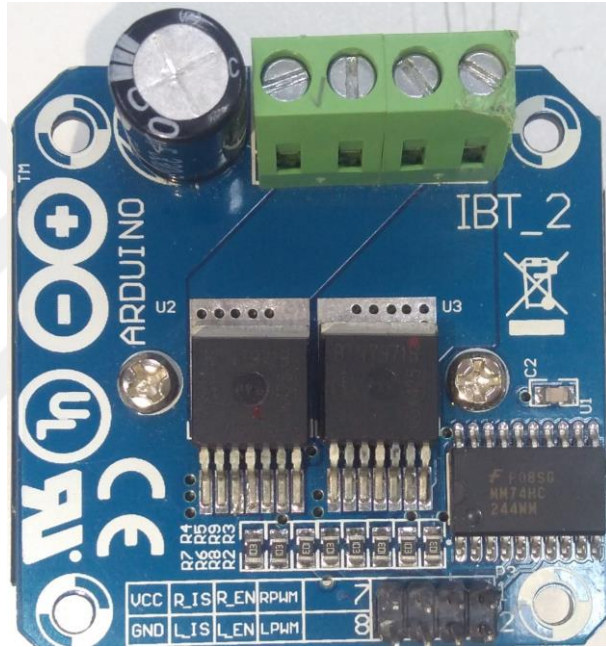
Şekil 2.14 PID denetleyici yazılımın akış diyagramı

2.4.2 Sıcaklık ayarlama ve iletimi

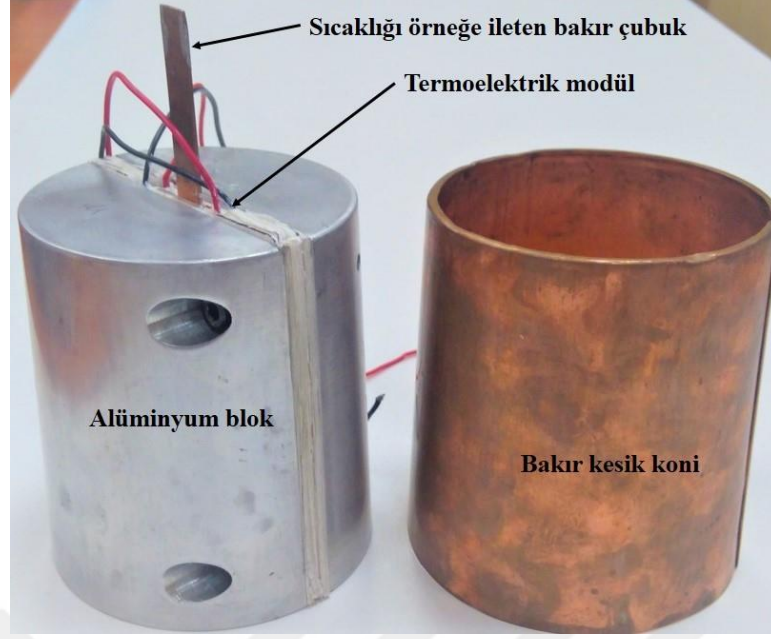
Sıcaklık denetimi yapılabilmesi için ısıtıcı ve soğutucu sistemlere gerek duyulmaktadır. TÖM sisteminin sıcaklık denetimi için iki farklı teknik ve yöntem denenmiştir. Bunlardan biri bir alüminyum bloğu sıvı azot sıcaklığına ($77\text{ K} = -196\text{ }^{\circ}\text{C}$) düşürerek termoelektrik modül yardımı ile sıcaklık ayarı yapmaktır. Diğer denenen bir yöntem ise sıvı azotu bakır boru ile örneğe yakın bir yere kadar taşıyarak bu noktada 25 W ısıtıcı direnç ile sıcaklık denetimini sağlamaktır.

TÖM sisteminde örnek malzemenin sıcaklık denetimini sağlamak adına ilk denenen yöntem için yaklaşık 2 kg kütleli D şeklinde iki adet alüminyum blok kullanılmıştır (Şekil 2.16.).

Bu alüminyum bloklar birbirlerine vidalanarak içi dolu kesik koni haline gelmektedir. Kesik koninin arasında sıcaklığı kontrol etmek için 2 adet termoelektrik modül (4x4 cm² ve 67 W) ve bu sıcaklığı örnek malzemeye iletecek olan bakır levha sıkıştırılmıştır. Bakır çubuğun örneğe yakın kısmına sıcaklığı okumak için ısıl-çift montajlanmıştır. Amaç alüminyum bloğun çevresinden bakır borular yardımıyla sıvı azot geçirerek alüminyum bloğu 77 K'e kadar soğutmaktır. Daha sonra H-bridge (Şekil 2.15.) yardımıyla polaritesi değiştirilebilen termoelektrik modül ile sıcaklık kontrolü yapmaktır. Böylece 77 K'de sabit kalan alüminyum bloğun arasındaki termoelektrik modül yardımıyla sıcaklık PID denetleyici tarafından istenilen seviyeye getirilecektir.

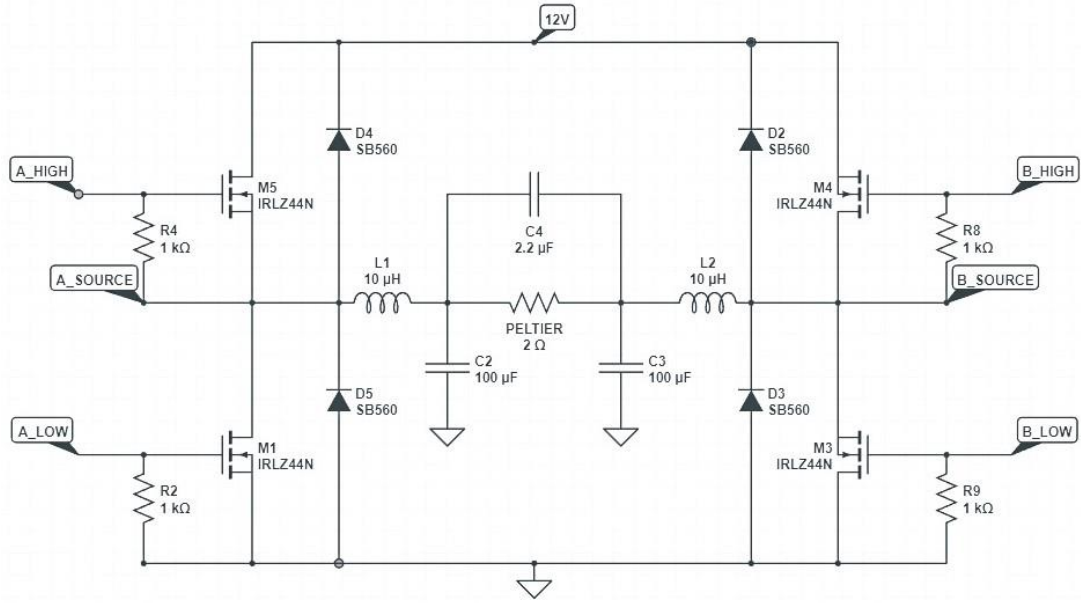


Şekil 2.15 Termoelektrik modülün polaritesini değiştirmek için kullanılan H-Bridge



Şekil 2.16. Örnek malzemede sıcaklık denetimini sağlamak amaçlı yapılmış blok

Fakat yapılan testlerde sürekli olarak termoelektrik modüllerin arızalandığı gözlemlenmiştir. Bunun sebebi olarak termoelektrik modüllerin PWM darbelerine dayanmadığı düşünülerek Şekil 2.17.'de de görüldüğü gibi filtre devresi kullanılmıştır. Filtre devresi kullanılmasına rağmen bu sorunun önüne geçilememiştir. Sonuç olarak termoelektrik modüller ya ısıl değişime dayanamamakta ya da PWM darbeleri yapılan filtre ile yumuşatılmadığı için termoelektrik modüller kısa bir zamanda arızalanmaya devam etmektedir. Bu sebepten dolayı başka bir yöntem ile tasarım yapılmasına karar verilmiştir.

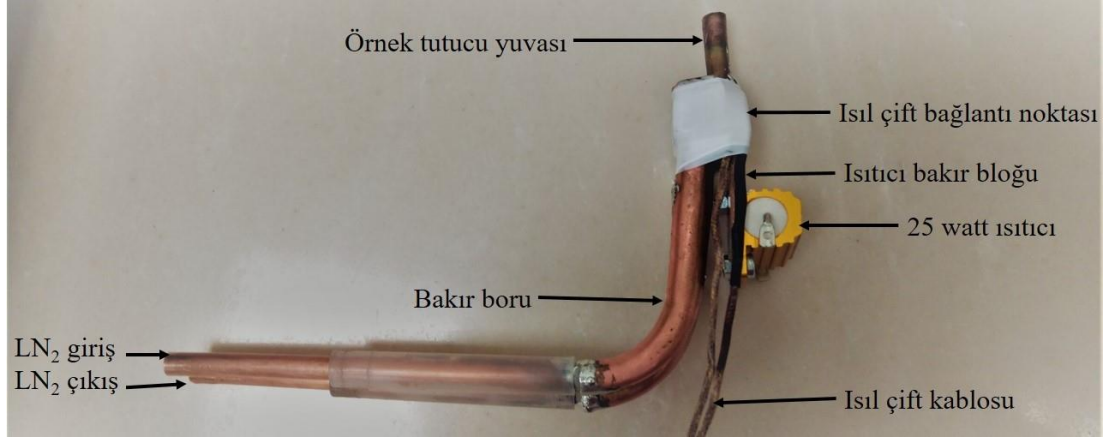


Şekil 2.17. H-bridge ile termoelektrik modül ve filtre devresi
<https://electronics.stackexchange.com/questions/314243/peltier-driver-with-ir2110?rq=1>

Daha sonra TÖM için yeni bir sıcaklık ayar bloğu tasarlanarak yapılmıştır. Bu tasarımda bakır boru içerisinde sıvı azot geçirerek bir eklem noktasında ısıtıcı direnç ile sıcaklık kontrolü sağlanması amaçlanmıştır.

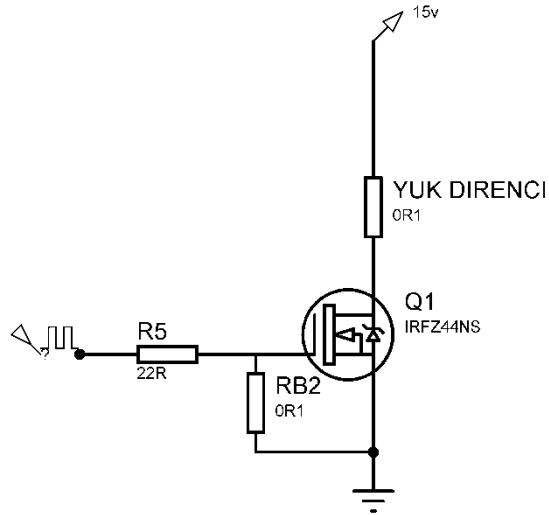
İçerisinden sıvı azot geçecek olan bakır boru U şeklinde ve bir kısmı 90° bükülerek tasarlanmıştır. Bir tarafından bakır boruya giren sıvı azot bakır borunun sıcaklığını yaklaşık 77 K'e kadar düşürerek diğer taraftan tahliye edilmektedir. PID denetimi ile sıcaklık kontrolü yapmak için gerekli olan 25 W ısıtıcı direnç bir bakır levha üzerine yerleştirilerek bakır boru ile sıcaklık teması sağlanmıştır. Bakır boru ve ısıtıcı direncin ısıl olarak temas sağlandığı noktaya ısıl-çift ve bakır borudan kesilerek yapılan örnek tutucu yuvası sabitlenmiştir.

Isıl-çift PID denetimi için sıcaklığı okuyacaktır ve bakır borudan yapılmış olan örnek tutucu yuvası sıcaklığı örnek tutucuya iletecektir (Şekil 2.18.).



Şekil 2.18. Sıcaklık denetim ve ayar bloğu

Sıcaklık denetimi yapılabilmesi sağlayan ısıtıcı direnç için PID denetleyici tarafından PWM sinyalleri üretilmektedir. Bu üretilen sinyaller bir mosfet ile anahtarlama işlemi yapılarak ısıtıcı direnç sürülmektedir. Burada mosfet kullanılmasının sebebi PID denetleyicisi mikro-denetleyicinin çıkış gücünün ısıtıcı direnç için yeterli olmamasıdır. Isıtıcı direnç için yapılan devre şeması Şekil 2.19.'de gösterilmektedir. PWM detaylı olarak Ek A'da anlatılmaktadır.



Şekil 2.19. Isıtıcı direnç için mosfet ile yapılan sürücü devre şeması

TÖM sisteminin dış ortam ile olan ısı alışverişi en aza indirmek için sistem vakum altına alınmıştır.

Vakum altına alınmasının diğerk bir avantajı ise örnek malzemenin bulunduğu yerde düşük sıcaklıklarda karlanma ve buzlanmayı önlemektir. Yine dış ortam ile ısı alış-verişini engellemeyi desteklemek için poliüretan köpük ve strafor kullanılmıştır. Ayrıca, örneğin radyasyon yoluyla ısınmasını engellemek için alüminyum kaplı Mylar ile etrafı sarılmıştır (Şekil 2.20.).



Şekil 2.20. Sıcaklık ayar ve iletim kısmında yapılan yalıtım çalışması ve tasarıma uygun hale getirilmesi

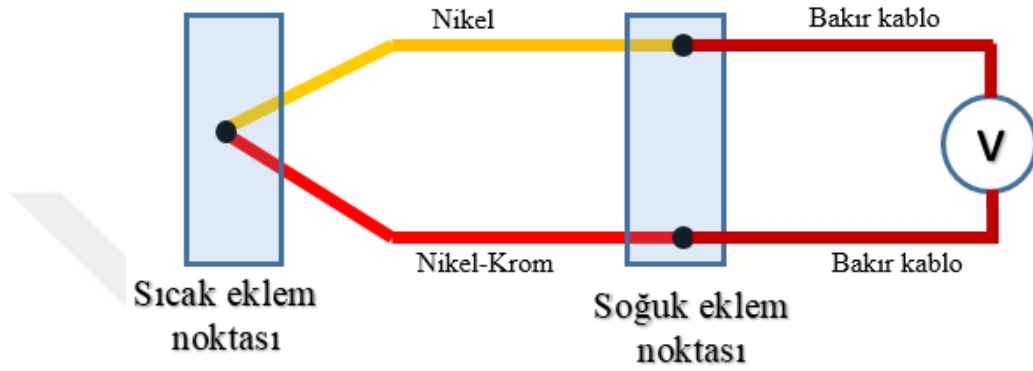
2.4.3 K-tipi ısı-çiftten sıcaklık okuma

TÖM sisteminin önemli özelliklerinden biride sıcaklık kontrolü sağlamaktır, iyi bir sıcaklık kontrorlü sağlamak için iyi bir PID denetleyici ve sistem için uygun PID parametreleri gereklidir. PID denetleyicisinin hassas ve hızlı çalışabilmesi için sıcaklığı kontrol edilecek olan noktanın sıcaklığını hassas ve hızlı okunmalıdır. Sıcaklık okuma işlemi için ısı-çift kullanılmıştır.

Isıl-çiftler iki farklı metal alaşımın uçlarının kaynaklanması ile elde edilen bir sıcaklık sensörüdür. Isıl-çiftler yapıldıkları elementlere bağlı olarak farklı tiplerle sınıflandırılmaktadır. Bu sensörler termal potansiyel farkını elektriksel potansiyel ya da mV değerinde elektriksel potansiyelleri termal potansiyele dönüştürebilirler.

Ölçülmek istenen sıcaklığın olduğu noktaya sıcak eklem, açık kalan iki uçun olduğu nokta soğuk eklem olarak adlandırılır (Şekil 2.21.).

Sıcaklık farkına orantılı olarak soğuk eklem uçlarında mV değerlerinde gerilim üretilir. Sıcak eklem ile soğuk eklem sıcaklık dağılımı nasıl olursa olsun, üretilen gerilim sıcak ile soğuk eklem arasındaki sıcaklık farkına orantılıdır. Sıcak eklem sıcaklığı aynı kalmak koşulu ile soğuk eklem sıcaklığı değiştiğinde farklı potansiyel fark ortaya çıkar. Bu nedenle, standart bir sıcaklık-mV tablosu oluşturabilmek için ısı-çiftin soğuk eklem noktasının sabit kalması gerekmektedir. Bu sabit sıcaklık NIST tarafından 0 °C kabul edilerek sıcaklığa karşılık üretilen potansiyel fark belirlenmiştir.



Şekil 2.21. K-tipi ısı-çiftin yapısı

K-tipi ısı-çiftin soğuk eklem noktası sıcaklığı 0 °C'deyken NIST verilerine göre sıcaklığa bağlı gerilim tablosu Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. K-tipi ısı-çiftin sıcaklığa bağlı gerilim çizelgesi (TYPE Reference Tables N.I.S.T.
Monograph 175 Revised to ITS-90 K)

C	mV	C	mV	C	mV	C	mV	C	mV	C	mV	C	mV
-202	-5,922	-169	-5,333	-136	-4,567	-103	-3,645	-70	-2,587	-37	-1,417	-4	-0,157
-201	-5,907	-168	-5,313	-135	-4,542	-102	-3,614	-69	-2,553	-36	-1,38	-3	-0,118
-200	-5,891	-167	-5,292	-134	-4,516	-101	-3,584	-68	-2,519	-35	-1,343	-2	-0,079
-199	-5,876	-166	-5,271	-133	-4,49	-100	-3,554	-67	-2,485	-34	-1,305	-1	-0,039
-198	-5,861	-165	-5,25	-132	-4,463	-99	-3,523	-66	-2,45	-33	-1,268	0	0
-197	-5,845	-164	-5,228	-131	-4,437	-98	-3,492	-65	-2,416	-32	-1,231	1	0,039
-196	-5,829	-163	-5,207	-130	-4,411	-97	-3,462	-64	-2,382	-31	-1,194	2	0,079
-195	-5,813	-162	-5,185	-129	-4,384	-96	-3,431	-63	-2,347	-30	-1,156	3	0,119
-194	-5,797	-161	-5,163	-128	-4,357	-95	-3,4	-62	-2,312	-29	-1,119	4	0,158
-193	-5,78	-160	-5,141	-127	-4,33	-94	-3,68	-61	-2,278	-28	-1,081	5	0,198
-192	-5,763	-159	-5,119	-126	-4,303	-93	-3,337	-60	-2,243	-27	-1,043	6	0,238
-191	-5,747	-158	-5,097	-125	-4,276	-92	-3,306	-59	-2,208	-26	-1,006	7	0,277
-190	-5,73	-157	-5,074	-124	-4,249	-91	-3,274	-58	-2,173	-25	-0,968	8	0,317
-189	-5,713	-156	-5,052	-123	-4,221	-90	-3,243	-57	-2,138	-24	-0,93	9	0,357
-188	-5,695	-155	-5,029	-122	-4,194	-89	-3,211	-56	-2,103	-23	-0,892	10	0,397
-187	-5,678	-154	-5,006	-121	-4,166	-88	-3,179	-55	-2,067	-22	-0,854	11	0,437
-186	-5,66	-153	-4,983	-120	-4,138	-87	-3,147	-54	-2,032	-21	-0,816	12	0,477
-185	-5,642	-152	-4,96	-119	-4,11	-86	-3,115	-53	-1,996	-20	-0,778	13	0,517
-184	-5,624	-151	-4,936	-118	-4,082	-85	-3,083	-52	-1,961	-19	-0,739	14	0,557
-183	-5,606	-150	-4,913	-117	-4,054	-84	-3,05	-51	-1,925	-18	-0,701	15	0,597
-182	-5,588	-149	-4,889	-116	-4,025	-83	-3,018	-50	-1,889	-17	-0,663	16	0,637
-181	-5,569	-148	-4,865	-115	-3,997	-82	-2,986	-49	-1,854	-16	-0,624	17	0,677
-180	-5,55	-147	-4,841	-114	-3,968	-81	-2,953	-48	-1,818	-15	-0,586	18	0,718
-179	-5,531	-146	-4,817	-113	-3,939	-80	-2,92	-47	-1,782	-14	-0,547	19	0,758
-178	-5,512	-145	-4,793	-112	-3,911	-79	-2,887	-46	-1,745	-13	-0,508	20	0,798
-177	-5,493	-144	-4,768	-111	-3,882	-78	-2,854	-45	-1,709	-12	-0,47	21	0,38
-176	-5,474	-143	-4,744	-110	-3,852	-77	-2,821	-44	-1,673	-11	-0,431	22	0,879
-175	-5,454	-142	-4,719	-109	-3,823	-76	-2,788	-43	-1,637	-10	-0,392	23	0,919
-174	-5,435	-141	-4,694	-108	-3,794	-75	-2,755	-42	-1,6	-9	-0,353	24	0,96
-173	-5,415	-140	-4,669	-107	-3,764	-74	-2,721	-41	-1,564	-8	-0,314	25	1,01
-172	-5,395	-139	-4,644	-106	-3,734	-73	-2,688	-40	-1,527	-7	-0,275	26	1,041
-171	-5,374	-138	-4,618	-105	-3,705	-72	-2,654	-39	-1,49	-6	-0,236	27	1,081
-170	-5,354	-137	-4,593	-104	-3,675	-71	-2,62	-38	-1,453	-5	-0,197	28	1,122

Sıcaklığı gerilime çevirmek için denklem 2.9 kullanılmaktadır.

$$E = \sum_{i=0}^n c_i (t_{90})^i + \alpha_0 e^{\alpha_1(t_{90}-126.9686)^2} \quad (2.9)$$

Denklem 2.9 sadece 0 °C ve üzeri sıcaklıkları gerilime çevirmek için kullanılmaktadır. Bu da soğuk eklem noktası sıcaklığını gerilime çevirmek için yeterlidir çünkü oda sıcaklığı normal şartlarda 0 °C'nin altına düşmemektedir.

Denklem 2.2 için gerekli olan sabitler Çizelge 2.2.'de verilmiştir. Ayrıca 0 °C altında olan sıcaklıklar gerilime çevrilmek istenirse; $E = \sum_{i=0}^n c_i (t_{90})^i$ denklemi kullanılır.

Çizelge 2.2. Sıcaklığı gerilime çevirmek için kullanılan polinomların sabitleri (ITS-90 Thermocouple Direct and Inverse Polynomials).

	0 °C altında
$c_0=-1,7600413686 \times 10^1$	$c_0=0000000000$
$c_1=3,8921204975 \times 10^1$	$c_1=3,9450128025 \times 10^1$
$c_2=1,8558770032 \times 10^{-2}$	$c_2=2,3622373598 \times 10^{-2}$
$c_3=-9,9457592874 \times 10^{-5}$	$c_3=-3.2858906784 \times 10^{-4}$
$c_4=3,1840945719 \times 10^{-7}$	$c_4=-4,99048 8777 \times 10^{-6}$
$c_5=-5,607284889 \times 10^{-10}$	$c_5=-6,7509059173 \times 10^{-8}$
$c_6=5,6075059059 \times 10^{-13}$	$c_6=-5,7410327428 \times 10^{-10}$
$c_7=-3,202072003 \times 10^{-16}$	$c_7=-3,1088872894 \times 10^{-12}$
$c_8=9,7151147152 \times 10^{-20}$	$c_8=-1,0451609365 \times 10^{-14}$
$c_9=-1,210472125 \times 10^{-23}$	$c_9=-1,9889266878 \times 10^{-17}$
$\alpha_0=1,185976 \times 10^2$	$c_{10}=-1,632269748 \times 10^{-20}$
$\alpha_1=-1,183432 \times 10^{-4}$	

Gerilimi sıcaklığa çevirmek için ise denklem 2.10 kullanılmaktadır.

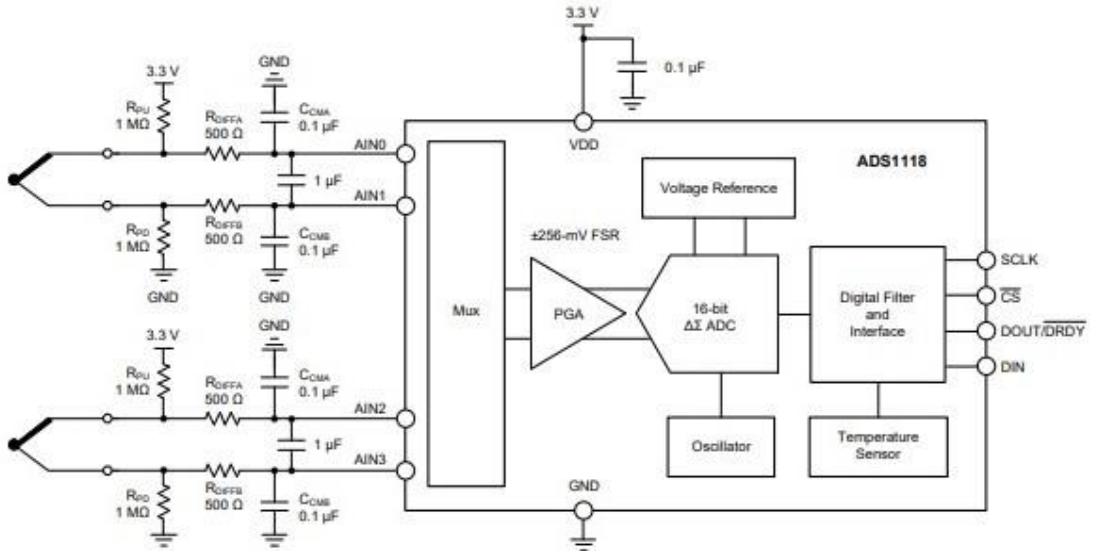
$$t_{90} = c_0 + c_1E + c_2E^2 + \dots c_iE^i \quad (2.10)$$

Denklem 2.10 bir gerilimi sıcaklığa çevirmek için kullanılmaktadır, bu denklemde 0 °C'nin altındaki sıcaklıklar için Çizelge 2.3.'deki c sabitleri kullanılmaktadır. 0 °C'nin üstündeki sıcaklıklar için ise Çizelge 2.4'deki c sabitleri kullanılmaktadır.

Çizelge 2.3. Gerilimi sıcaklığa çevirmek için kullanılan polinomun sabitleri (ITS-90 Thermocouple Direct and Inverse Polynomials).

0 °C üstünde	0 °C altında
$c_0 = 0,00000$	$c_0 = 0,000000$
$c_1 = 2,5173462 \times 10^{-2}$	$c_1 = 2,508355 \times 10^{-2}$
$c_2 = -1,1662878 \times 10^{-6}$	$c_2 = 7,860106 \times 10^{-8}$
$c_3 = -1,0833638 \times 10^{-9}$	$c_3 = -2,503131 \times 10^{-10}$
$c_4 = -8,9773540 \times 10^{-13}$	$c_4 = 8,315270 \times 10^{-14}$
$c_5 = -3,734237 \times 10^{-16}$	$c_5 = -1,228034 \times 10^{-17}$
$c_6 = -8,6632643 \times 10^{-20}$	$c_6 = 9,804036 \times 10^{-22}$
$c_7 = -1,0450598 \times 10^{-23}$	$c_7 = -4,413030 \times 10^{-26}$
$c_8 = -5,1920577 \times 10^{-28}$	$c_8 = 1,057734 \times 10^{-30}$
	$c_9 = -1,052755 \times 10^{-35}$

TÖM sisteminde sıcaklık okumak için K-tipi ısıl-çift, INA128 fark kuvvetlendirici, referans gerilim için gerilim bölücü ve 15 bit ADS1118 tümleşik devresi kullanılmıştır. ADS1118 tümleşik devresi bilgi notlarında K-tipi ısıl-çift okuma işlemi için önerilen devre Şekil 2.22'deki gibidir.

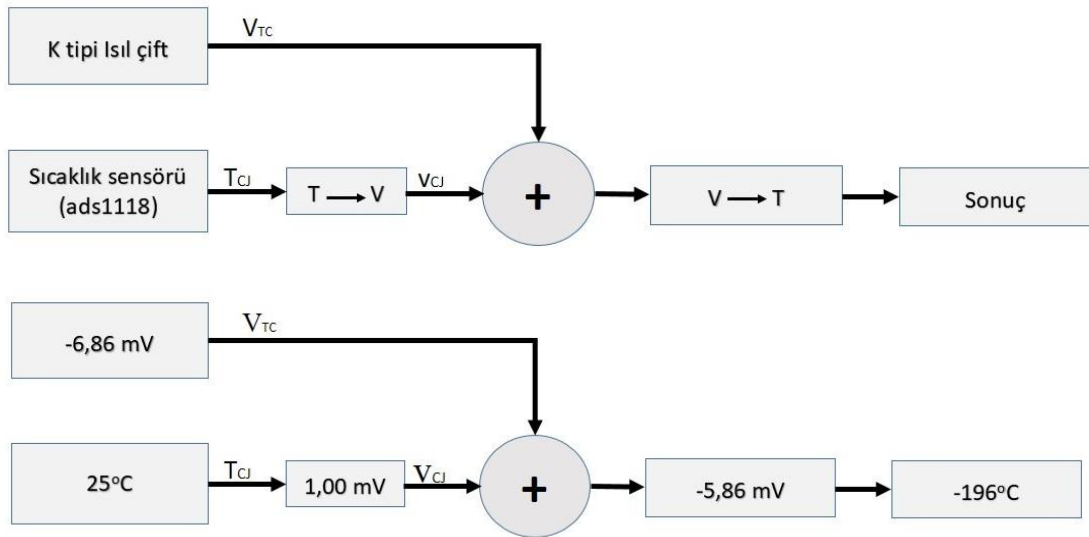


Şekil 2.22. ADS1118 bilgi notunda tavsiye edilen K-tipi ısıl-çift sıcaklık okuma devre şeması

K-tipi ısıl-çiftin TÖM sisteminin çalışma sıcaklığı aralığında soğuk eklem noktası 0 °C'de iken ürettiği gerilim -5,8 mV ile 1,08 mV aralığındadır.

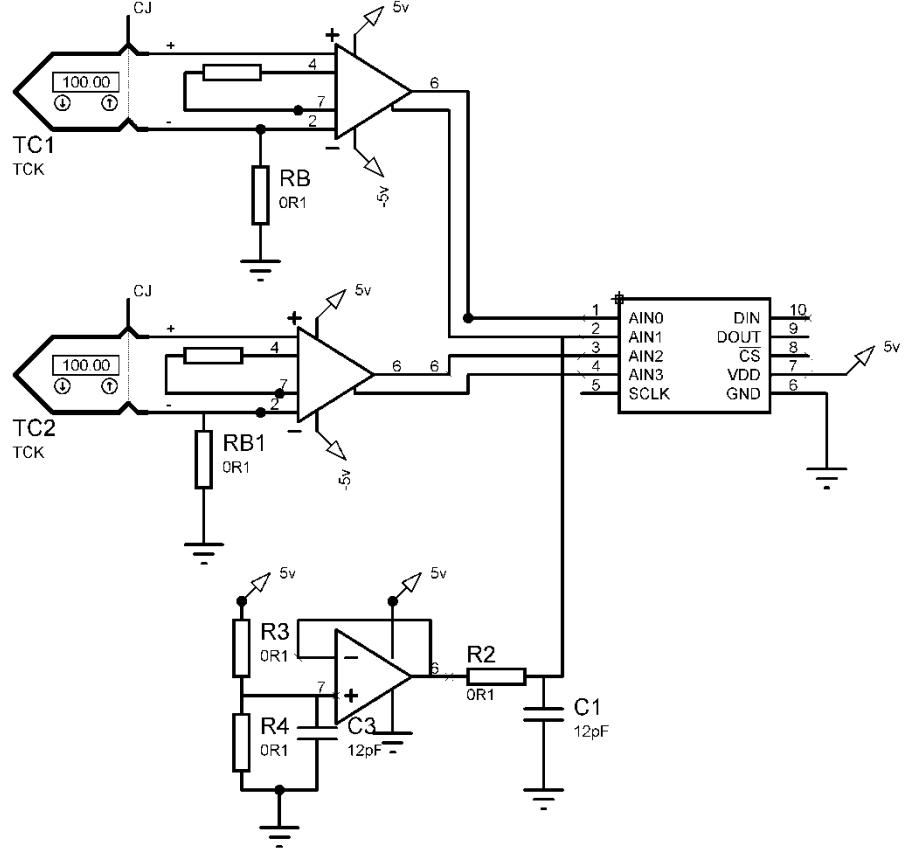
Sistemde kullanılan 15 bit ADS1118 $\Delta\Sigma$ ADC negatif gerilim okuma özelliğine sahip olmadığından ısı-çiftten gelen gerilime bilinen bir değerde gerilim eklenerek negatif olan değerler pozitif değerlere çıkartılarak okuma işlemi yapılmıştır. Isıl-çiftler genel olarak Kelvin başına mikro volt mertebesinde gerilim ürettiklerinden dolayı bu üretilen gerilimi daha doğru ve hassas okuyabilmek için ve ADC'nin bütün yelpazesini kullanmak için INA128 fark kuvvetlendirici kullanılmıştır. Bu fark kuvvetlendirici ile gerilim yaklaşık 32 kat yükseltilmiştir. Böylece ısı-çiftin kullanılan sıcaklık aralığında 6 mV olan değişim ADC'nin okuma yelpazesi olan 256 mV'a yayılmış olacaktır ve ADC tam performansta kullanılacaktır. Isıl-çiftten gelen gerilimi sıcaklığa çevirebilmek için ısı-çiftin soğuk eklem noktasının sıcaklığını bilmek gerekmektedir. Sistemde kullanılan K-tipi ısı-çiftin soğuk eklem noktası ADS1118 tümleşik devresinin hemen yanında bulunmaktadır.

ADS1118 tümleşik devresinde dâhili olarak bulunan Şekil 2.22'de gösterilen sıcaklık sensöründen okunan sıcaklık K-tipi ısı-çiftin soğuk eklem noktasının sıcaklığıdır denilebilir. Sonuç olarak ısı-çiftten ölçülen gerilimi sıcaklığa çevirmek için denklem 2.9 ya da sıcaklık-mV tablosu kullanılarak mV'a çevrilmelidir. Daha sonra ısı-çiftin oluşturduğu gerilim ile toplanır ve tekrar denklem 2.10 kullanılarak sıcaklığa çevrilir. Yukarıda bahsedilen sıcaklık-mV ve mV-sıcaklık dönüşüm işlemleri Şekil 2.23.'de verilen akış diyagramında gösterildiği gibidir.

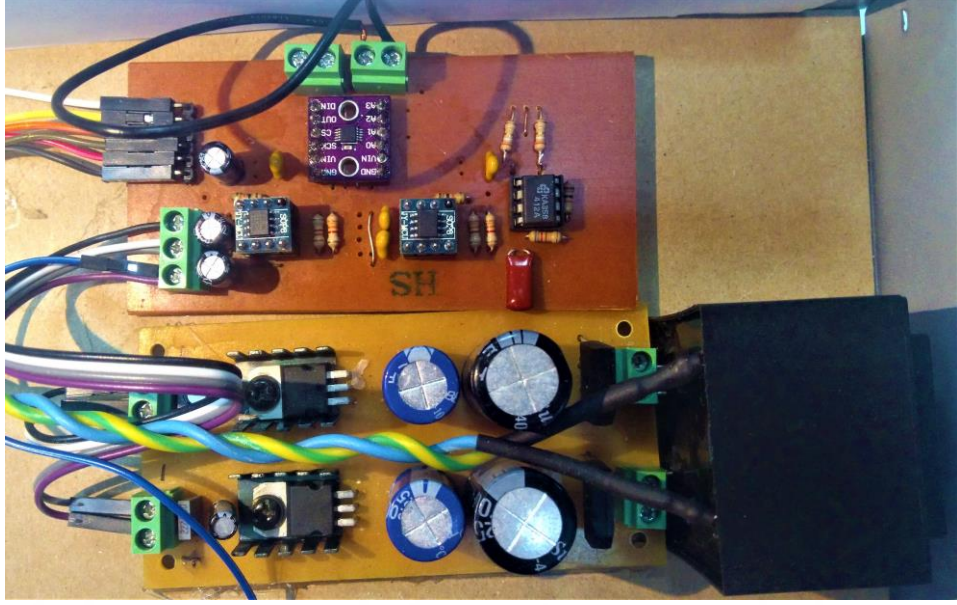


Şekil 2.23. K-tipi ısı-çift sıcaklık okuma işlemleri ve örnek gösterim

TÖM sisteminde sıcaklık okumak için yapılmış devre şeması Şekil 2.24’de verilmiştir. Daha sonra sinyali yükseltmek için yapılan eklemeler (INA128 kazancı) ve devreden kaynaklı hatalar (offset) yazılımsal olarak düzeltilerek gerçek sıcaklık verisine ulaşılmaktadır. Yapılan baskı devre Şekil 2.25.’de verilmiştir.



Şekil 2.24. ADS1118 K-tipi ısı-çift okuma devre şeması

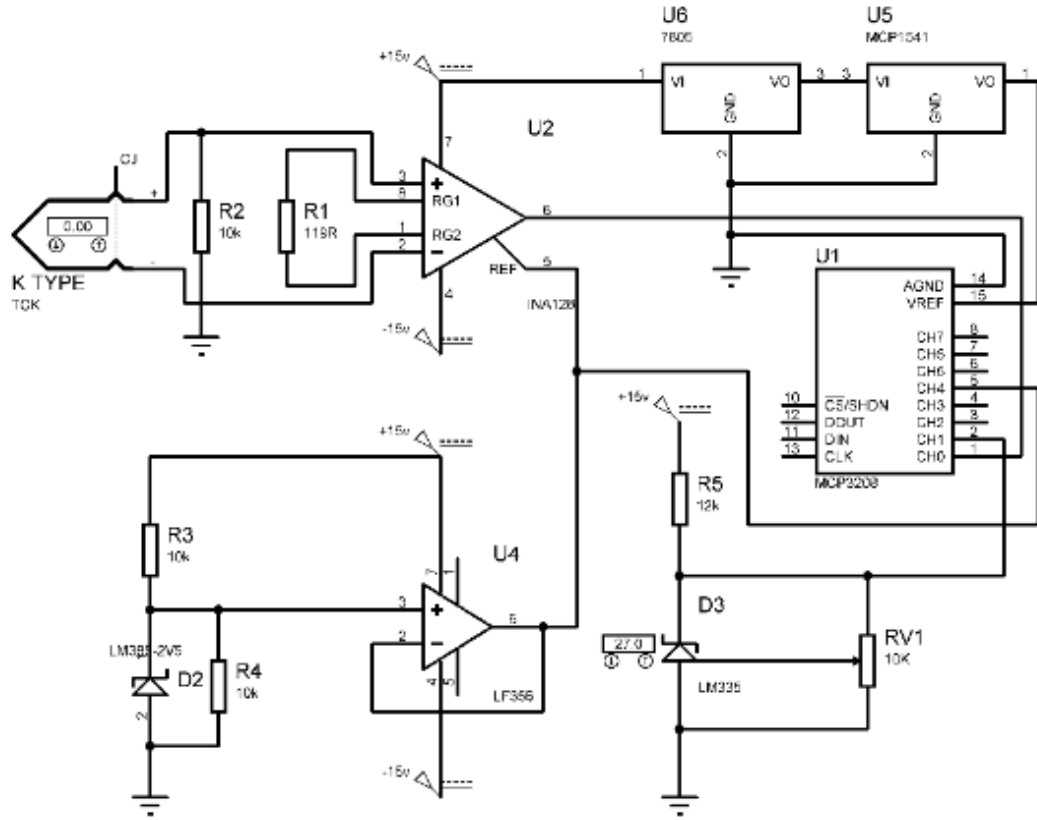


Şekil 2.25. ADS1118 ile K-tipi ısı-çift okumak için yapılmış olan devre

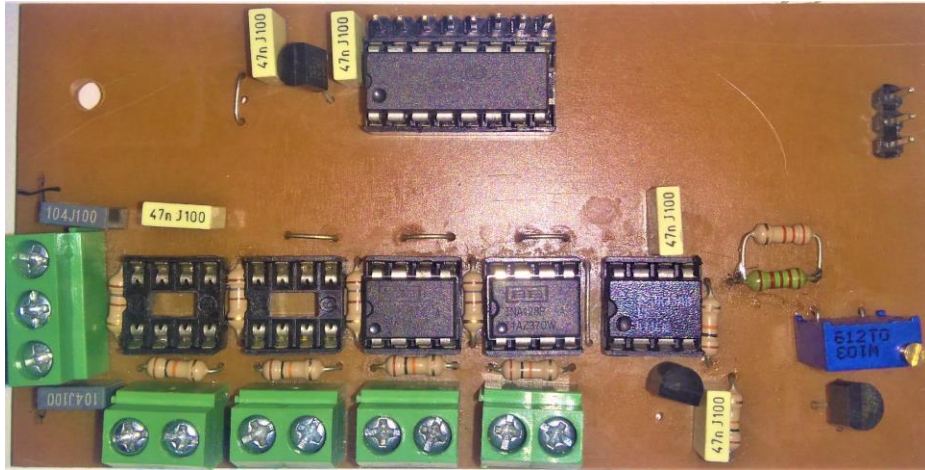
TÖM sisteminde ayrıca sıcaklık okumak için 15 bit ADS1118 tümleşik devresi kullanılmadan önce 12 bit olan MCP3208 tümleşik devresi kullanılarak da devre hazırlanmıştır. Devre şeması Şekil 2.26'da verildiği gibidir.

MCP3208 ile yapılan devre ADS1118 ile hemen hemen aynıdır. Farklı olarak ADS1118 de bulunan dahili sıcaklık sensörü MCP3208'de bulunmamaktadır. Bu sebepten dolayı soğuk eklem noktasının sıcaklığını LM335 sıcaklık sensörü ile okunmaktadır. Yapılan baskılı devre Şekil 2.27'de verilmiştir.

MCP3208 tümleşik devresi kullanılarak yapılan devre kartı test edilirken, sıcaklığın hassas ve kararlı okunamadığı gözlemlenmiştir. Sıcaklık okurken oluşan yaklaşık 0,5 K-1 K'lik sıçramalar PID denetimi yapmayı oldukça zorlaştırmıştır. Bu sebepten dolayı 12 bit olan MCP3208 tümleşik devresinin yetersiz olduğundan dolayı daha yüksek çözünürlüklü ADC kullanılmaya karar verilmiştir.



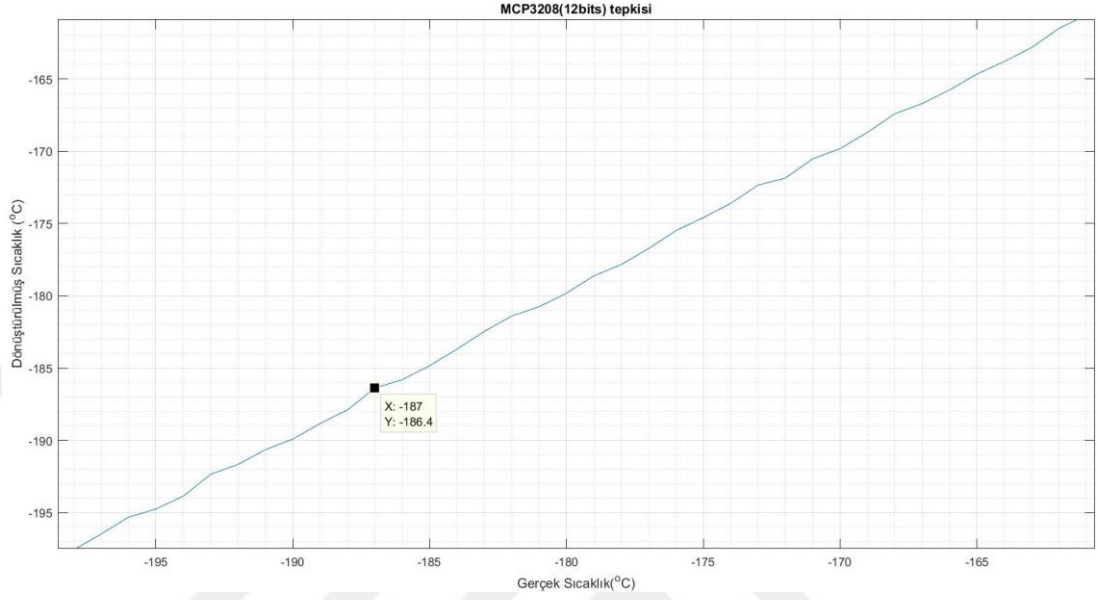
Şekil 2.26. 12 bit MCP3208 tümleşik devresi ile yapılan K-tipi ısı-çift sıcaklık okuma devre şeması



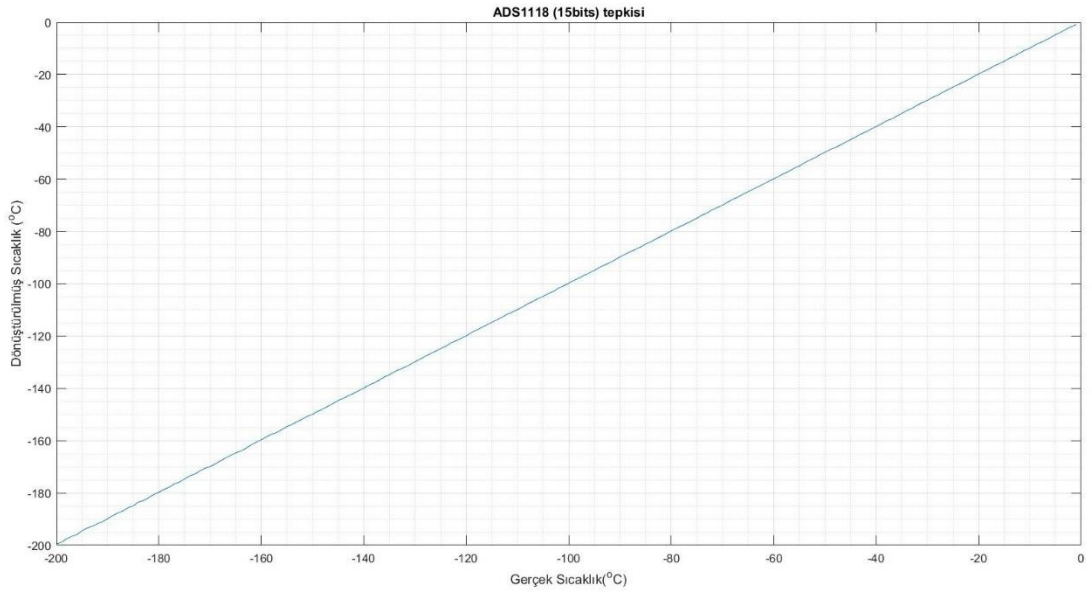
Şekil 2.27. MCP3208 ile yapılan K-tipi ısı-çift sıcaklık okuma devresi

ADC çözünürlüğünün sıcaklık okuma hassasiyetine olan etkisi aşağıdaki grafiklerde verilmiştir. 12 bit olan MCP3208 ve 15 bit olan ADS1118 ile karşılaştırılmıştır.

12 bit olan MCP3208 (Şekil 2.28.) basamaklı okuma yaparken 15 bit olan ADS1118 (Şekil 2.29.) daha doğrusal ve kararlı okuma yapmaktadır.



Şekil 2.28. MCP3208'in sıcaklık okuma çözünürlüğü



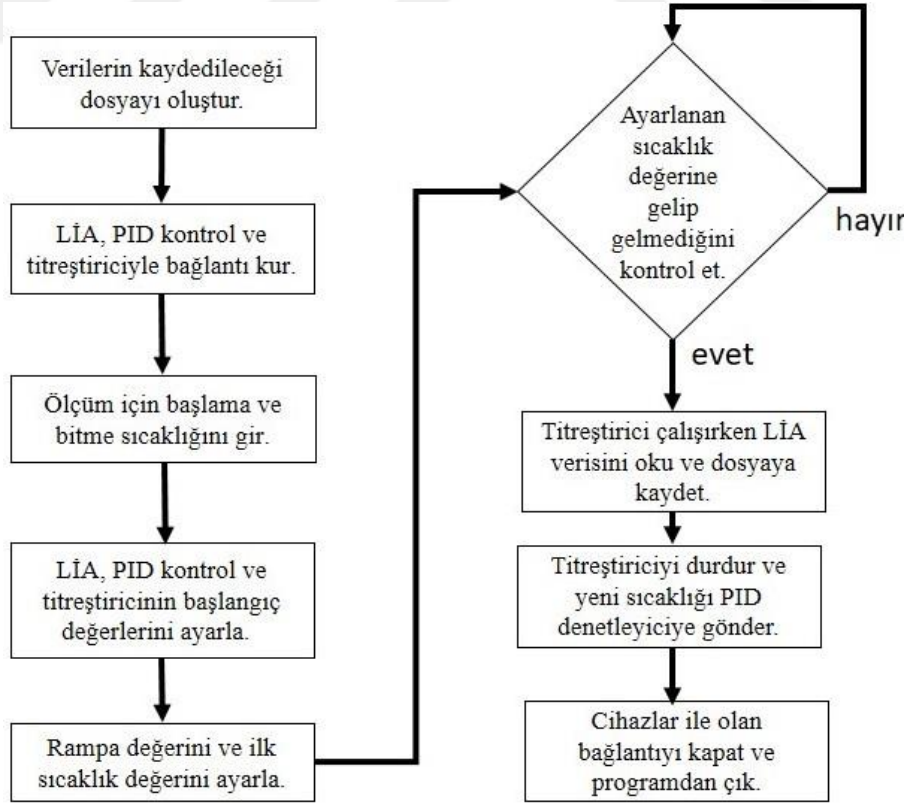
Şekil 2.29. ADS1118'in sıcaklık okuma çözünürlüğü

2.5. Sistem Denetimi

Titreşimli örnek manyetometresinde bileşenler arasında haberleşme ve kontrolü MATLAB programında yazılan bir yazılım ile sağlanmaktadır. MATLAB programı; Titreştirici mekanizma, PID denetim ünitesini ve verilerin geldiği kilitlemeli yükselteci kontrol etmektedir.

TÖM sistemi MATLAB yazılımı ile çalışmaya başlamaktadır. TÖM çalışmaya başladığında MATLAB yazılımı verilerin kayıt edileceği dosyayı oluşturur ve bileşenler ile bağlantı kurar. Ardından PID denetleyiciye başlama ve bitme sıcaklığını gönderdikten sonra bileşenlere başlangıç değerlerini yollar. PID denetleyici gelen ilk sıcaklık hedefine gitmek için çalışmaya başlar. Sistem hedeflenen sıcaklığa ulaştığında MATLAB yazılımı titreştirici mekanizmayı çalıştırır ve algılayıcı bobinin bağlı olduğu kilitlemeli yükselteçten aldığı veriyi dosyaya kayıt eder.

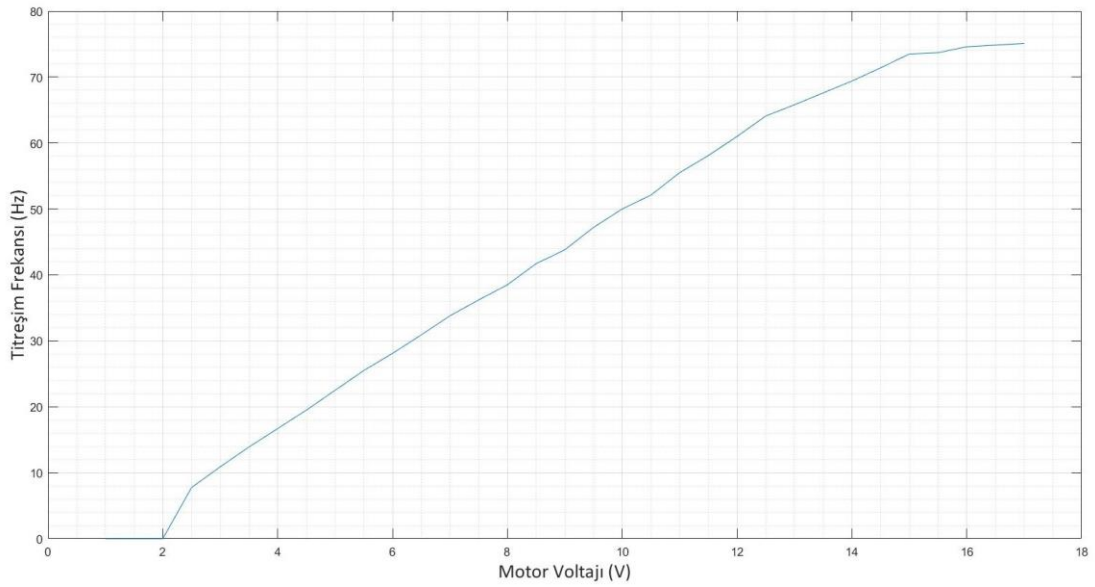
Daha sonra titreştirici mekanizmayı durdurur ve yeni sıcaklık hedefini PID denetleyiciye gönderir. MATLAB programı akış diyagramı Şekil 2.30.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.30. Sistemi denetleyen MATLAB programının akış diyagramı

3.ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE BULGULAR

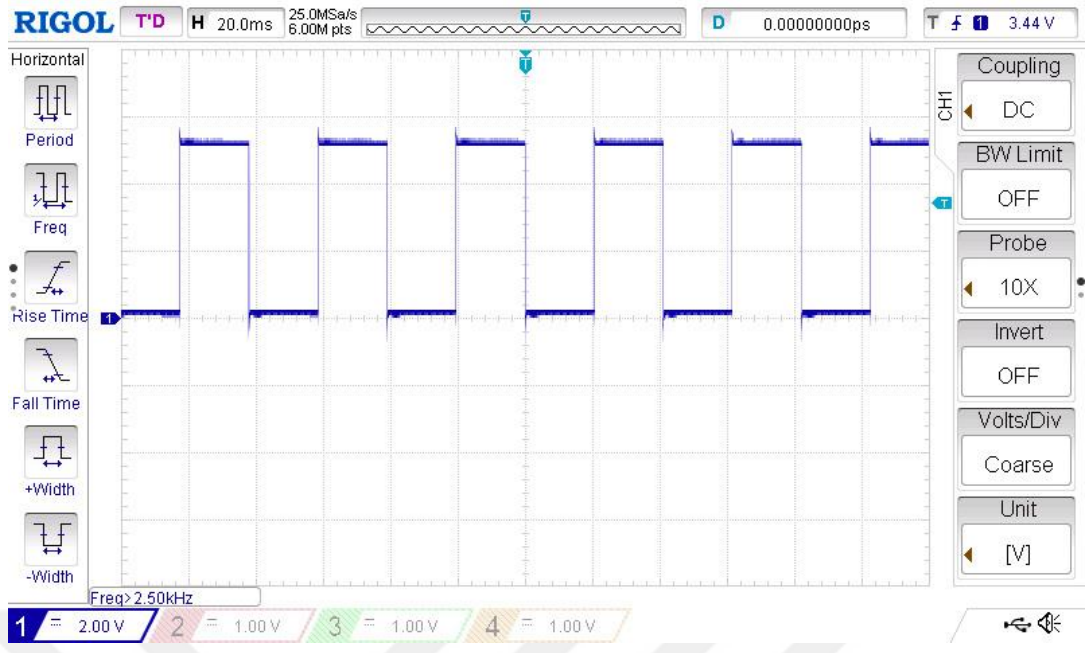
TÖM sisteminde DC motora uygulanan gerilim ile frekansın nasıl değiştiği gözlemlenmiştir. Şekil 3.1.'de gösterildiği gibi 2-15 V arasında gerilim arttıkça frekansın arttığı görülmektedir. Yaklaşık 15 V civarında titreşimin frekansı 75 Hz olmuştur. 15 V'den sonra gerilim arttırılsa bile frekansın hemen hemen sabit kaldığı görülmektedir.



Şekil 3.1. Titreşim mekanizmasının gerilime bağlı frekans değişimi grafiği

TÖM sisteminde Hall sensörün bağlı olduğu komparatör devresinin çıkışındaki sinyal titreşim ile aynı frekansta dikdörtgen dalga formundadır (Şekil 3.2.). Şekil 3.3.'de gösterilen sinyal ise algılayıcı bobinden gelen sinyaldir. Algılayıcı bobinde sinyal oluşturmak için örnek tutucuya küçük bir mıknatıs konulmuştur. Sinyalin şeklinin sinüs olması beklenirken şekilde de gözüktüğü gibi dalganın şekli tam sinüs değildir. Bunun sebebi titreşim sistemindeki yalpalı dönen volanın çevresindeki dikdörtgen çerçevede boşluk olmasından kaynaklanmaktadır.

Şekil 3.4.'de referans sinyal ve algılayıcı bobinde oluşan sinyal beraber görülmektedir.



Şekil 3.2. TÖM sisteminde referans sinyalin osiloskop görüntüsü



Şekil 3.3. TÖM sisteminde algılayıcı bobinden gelen sinyalin osiloskop görüntüsü



Şekil 3.4. TÖM sisteminde algılayıcı bobinden gelen sinyal ve referans sinyalinin osiloskop görüntüsü

4.TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Bu çalışmada sıvı azot sıcaklığından (77 K) yaklaşık oda sıcaklığına kadar (300 K) kadar manyetik malzemelerin karakterizasyonunda kullanılmak üzere bir titreşimli örnek manyetometri tasarlanmış ve yapılmıştır. Daha çok sıcaklığa bağlı manyetik faz geçişleri ile ilgilenildiği için, sistem sadece sabit alan altında mıknatıslanma ölçümü gerçekleştirebilecek kapasitede tasarlanmıştır. Örneğe uygulanan sabit manyetik alanı oluşturmak için halka biçiminde iki adet Nd alaşımli süper mıknatıs kullanılmıştır. Bu çalışmada standart titreşimli örnek manyetometrelerden farklı olarak, örnek mıknatıslanmasını algılamak üzere Nd mıknatısların arasına bırakılan boşluğa bir bobin sarılarak, bobin-mıknatıs sistemi saniyede yaklaşık 75 kez titreştirilmiştir.

Titreşimi gerçekleştirmek için, bir DC motorun miline bağlı bir volanın merkezi dışında bir eksenle döndürülmesi ile elde edilen yalpalı hareketin düşey eksene aktarılması yöntemi kullanılmış ve volanın dönüş frekansı ile aynı frekansta, uzanımı sinüzoidal olarak değişen, titreşim frekansından bağımsız olarak sabit genlikte lineer bir hareket elde edilmiştir.

Örnek sıcaklığını kontrol etmek için bir mikro denetleyici üzerinde gömülü PID sıcaklık denetleyici yazılımı ve donanımı da bu çalışma kapsamında geliştirilmiştir. Sıcaklık ölçümü için, K-tipi bir ısı-çift kullanılmış ve ısı-çiftin ürettiği gerilim önce bir fark kuvvetlendirici ile yükseltilmiş, ardından da 15 bitlik bir Analog-Dijital dönüştürücü ile sayısal veriye dönüştürülmüştür. Sayısal veriler PID denetleyicide işlenerek üretilen PWM sinyalleri bir mosfet kullanılarak 25 W'lık bir yük direnci ile sıvı azot sıcaklığının üzerindeki sıcaklıklarda kademeli olarak örneğin sıcaklığın istenilen seviyeye getirilmesi sağlanmıştır. Sistemin dış ortam ile ısı alış-verişini olabildiğince azaltabilmek için, sistem vakum altına alınmış, ayrıca, poliüretan köpük ve Mylar yansıtıcı ile ısı yalıtımı desteklenmiştir.

Algılayıcı bobinde mıknatıslanan malzemenin indüklediği gerilim gürültü barındırdığından, sadece titreşim frekansındaki sinyalin ölçülmesi için bir iki-fazlı kilitlemeli yükselteç kullanılmıştır. Kilitlemeli yükselteç için gerekli olan referans sinyali titreşen çubuk üzerine bağlı küçük bir mıknatısın karşısındaki sabit Hall sensöründen elde edilmiştir. Hall sensöründen elde edilen gerilim önce bir analog karşılaştırıcı tümleşik devresi ile kare dalgaya çevrilmiştir, ancak, bu kare dalga ile indüklenen gerilim arasında bir faz farkı olduğu gözlenmiştir. Faz farkından bağımsız olarak kilitleme yapabilmek için, kare dalgadan birbiri ile 90° faz farkı olan (quadrature) iki bağımsız dalga formu elde edilmiş ve referans olarak kullanılmıştır.

Yukarıdakilere ek olarak, bu çalışma kapsamında sistemi bir bütün olarak çalıştıracak, donanımlarla haberleşmeyi sağlayan ve verilerin bir dosyada saklanmasını ve işlenmesi sağlayacak olan bir yazılım da geliştirilmiştir. MATLAB platformunda geliştirilen yazılım ile bilgisayarın iletişim portları üzerinden, titreştirici DC motor, PID denetleyici ve kilitlemeli yükselteç arasında iki yönlü bağlantı kurularak, hem sistem otomasyonu, hem de verilerin elde edilmesi sağlanmıştır.

Bu çalışmanın başarılı olarak tamamlandığını söylemek mümkündür. Buna rağmen, bazı kusurları da barındırdığı gözlenmiştir. Örneğin, titreştirici mekanizmada yalnızca düşey ekseninde bir titreşim olması istenmesine karşın, diğer yönlerde de istenmeyen salınımlar tespit edilmiştir. Ayrıca, titreştirici frekansında 75 Hz gibi bir st limit olduğu ve bunun sinyal-gürültü oranı açısından artırılmasının faydalı olacağı gözlenmiştir.

Sıvı azot akışının zamanla değişkenlik göstermesi ve dolayısı ile örnek sıcaklığı denetiminin hassas bir şekilde yapılmasında da zorluklarla karşılaşılmıştır. Tasarımda yapılacak bazı değişikliklerle bunların stesinden gelinebileceği dşnlmektedir.



KAYNAKLAR

- C N Guy, (1967), *A Simple Approach to Coil Design for Vibrating Sample Magnetometers*, Physics Department, Imperial College, Prince Consort Road London.
- Foner, Simon (1959) "*Versatile and Sensitive Vibrating-Sample Magnetometer*". Rev. Sci. Instrum. 30 (7): 548–557.
- G. W. Van Oosterhout, *Introduction to Magnetic Materials* Appl. Sci. Res. B6, 1956
- Niazi, P. Poddar, A.K. Rastogi, (2000) *A Precision, Low-cost Vibrating Sample Magnetometer*, Current Science. Vol. 79, NO. 1.
- P. J. Flanders, IEEE Special Publication T-91, *Conference on Magnetism and Magnetic Materials*, Boston, 1956, 62s
- S Foner, (1968) *Very Low Frequency Integrating Vibrating Sample Magnetometer of Scientific Instruments*, Vol.39, No. 2. pp. 171-179.
- Smith, D. O. (1956) "*Development of a Vibrating-Coil Magnetometer*". Rev. Sci. Instrum. 27 (261): 261.
- S. R. Hoon, S. N. M. Willcock, (1988) *The design and operation of an automated double-crank vibrating sample magnetometer*, J. Phys E:Instrum. 21, 772-785. Printed in the UK
- S R Hoon, (1983) *An in expensive, sensitive vibrating sample magnetometer*, Eur.J.Phys.4, 61-67. Printed in Northern Ireland
- S R Hoon (1988) *AC Multipolar Sources for Vibrating and Rotating Sample Magnetometer Modelling*, IEEE Transaction on Magnetics, Vol.24, NO. 2.

EKLER

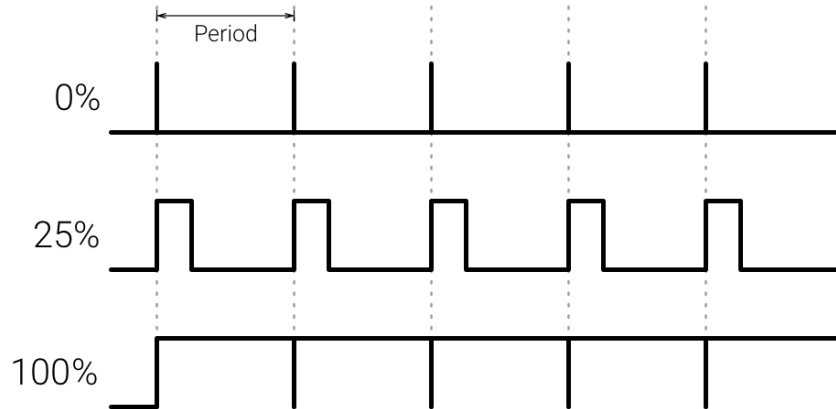
Ek A. PWM

Pulse-width modulation (PWM, Darbe genişlik modülasyonu), üretilecek olan darbelerin, genişliklerini kontrol ederek, çıkışta üretilmek istenen analog elektriksel değerin veya sinyalin elde edilmesi tekniğidir.

PWM elektrik ve elektronikte birçok alanda, farklı amaçlar için kullanılmaktadır. Telekomünikasyon, güç, voltaj düzenleyiciler, ses üreteçleri veya yükselteçler gibi çeşitli uygulama alanları ve farklı uygulamaları bulunmaktadır.

Üretilen kare dalga darbe sinyallerinin genişliklerinin ortalaması, çıkışta üretilecek olan analog değerin elde edilmesini sağlar.

PWM gösterimi Şekil Ek 1’de gösterildiği gibidir.



Şekil Ek 1 PWM ile ortalama güç ayarlama gösterimi

Ek B. Kilitlemeli Yükselteç

Kilitlemeli yükselteç kitleme tekniği, sinyal içinde var olan gürültüyü algılayarak ölçülebilir hale getiren bir tekniktir. Kitleme yükselteçler, nano volt seviyesindeki küçük sinyalleri bile dedekte edip ölçebilir. Bu yükselteçler, faz duyarlı dedeksiyon olarak bilinen tekniğe göre çalışırlar. Aslında kilitlemeli yükselteç, sinyal gürültü oranının -130dB olan herhangi bir sinyalin seviyesini veya fazını ölçmek için eş zamanlı demodülasyonu kullanan özel bir AC voltmetredir ve uygun bir referans sinyal oluşturarak ölçme mantığında dayanmaktadır. Modern fiziksel ölçümlerde, sinyal gürültü oranını artırmak çok önemlidir özellikle düşük frekanslarda 1/f gürültü oranı sinyalin doğru bir şekilde ölçülmesinin önünde büyük engeldir. Cihazın ölçme kapasitesini artırmak için sinyal birkaç şekilde modüle edilir. Burada dikkat edilmesi gereken en önemli nokta sinyal modüle edilirken sinyalin şiddeti, voltajı gibi bazı değişkenlerden de modüle edilmektedir ve bu da sinyali değiştirerek sinyal gürültü oranının artmasına neden olmaktadır. Genellikle sinyaldeki gürültüyü dedekte etmek için filtreleme ve yükseltme yapılır ve fakat bu seferde rastgele gürültüler ortaya çıkmaya başlayacaktır. İşte burada faz kilitlemeli yükselteç kullanarak istenen sinyalde bir referans sinyalini modüle ederek sözü edilen problemlerin üstesinden gelinir. Faz kitleme yükselteçler, dB cinsinden hesaplanan sinyal gürültü oranını, %5'den daha az ölçüm hatasıyla tolere edebilir. Bunu analog faz kitlemeli yükselteçler 60dB, sayısal faz kitleme yükselteçler ise -100dB oranını pre-amplifikatöre gerek duymaksızın yapabilir. Eğer düşük seviyeli DC gerilim ölçülmek isteniyorsa, bu sinyal hem elektriksel hem de chopper kullanarak mekaniksel bir AC dalga şeklinde modüle edilmelidir. Sinyal ve referans sinyal olarak bilinen asıl sinyalin modülasyon frekansı faz kitlemeli yükselteçle beslenir. Herhangi bir yükseltecin girişte uygulanan elektriksel sinyali ve bant genişliğinin büyük olması sinyaldeki gürültüleri de kuvvetlendireceğinden, faz kitlemeli yükselteçler çok hassas ölçümler yapılabilir.

Ek C. TÖM Kontrol MATLAB Yazılımı

```
% TÖM KONTROL YAZILIMI

clc
clear all

[filename, pathname] = uiputfile(...
    {'*.txt'; '*.dat'}; , ...
    'Save as');

    file_name=[pathname filename];

    fid=fopen(file_name, 'a+');

prompt = {'Initial Temperature (K)', ...
    'Final Temperature (K)', ...
    };

dlg_title = 'VSM';
num_lines = 1;

def = {'80', '300'};
options.Resize='on';
options.WindowStyle='large';
options.Interpreter='tex';

model= inputdlg(prompt,dlg_title,num_lines,def);

cat=str2double(model);

T_ini=(cat(1));
T_fin=(cat(2));

LIA = serial('COM3', 'BaudRate', 115200)

LIA.DataBits=8;
LIA.Parity='None';
LIA.Stopbit=1;
LIA.Terminator='LF';
LIA.InputBufferSize=1024;
LIA.Timeout=10;
```

Ek C. (devam)

```
try
    fopen(LIA);
catch err
    fclose(instrfind);

error('Make sure you select the correct COM Port where
the Arduino is connected.');
```

```
end
pause(1);

PID = serial('COM8', 'BaudRate', 57600)

PID.DataBits=8;
PID.Parity='None';
PID.Stopbit=1;
PID.Timeout=10;
PID.InputBufferSize = 1024;
try
    fopen(PID);
catch err
    fclose(instrfind);
    error('Make sure you select the correct COM Port
where the Arduino is connected.');
```

```
end
pause(1);

VIB = serial('COM7', 'BaudRate', 2400, 'Terminator',
char(13))
VIB.DataBits=8;
VIB.Parity='None';
VIB.Stopbit=1;
VIB.Timeout=10;
VIB.InputBufferSize = 1024;
try
    fopen(VIB);
catch err
    fclose(instrfind);
    error('Make sure you select the correct COM Port
where the PSP405 is connected.');
```

```
end
pause(1);
```

Ek C. (devam)

```
set_voltage_limit='SU 20' ;
command=strcat(set_voltage_limit, char(13));
fprintf(VIB,command);

set_current_limit='SI 1.00' ;
command=strcat(set_current_limit, char(13));
fprintf(VIB,command);

set_power_limit='SP 20' ;
command=strcat(set_power_limit, char(13));
fprintf(VIB,command);

disp('Instruments are connected and initialized
successfully')

c_initial=clock
initial=c_initial(6)+c_initial(5)*60+c_initial(4)*3600

    fprintf(LIA, '%s\n','G5');
    fprintf(LIA, '%s\n','T7');

del_T = 1.0;

if(T_ini<T_fin)
Temperatures=T_ini:del_T:T_fin;
else
Temperatures=T_ini:-del_T:T_fin;
end

temp_tolerance=0.05;

for i=1:size(Temperatures,2);

    set_T_str=num2str(Temperatures(i));
    command=strcat('S', set_T_str);

        fprintf(PID, command);
        fprintf(PID, 'R');
        current_temp=fscanf(PID, '%g');
        previous_temp=current_temp;
        delta_T=2*temp_tolerance;
```

Ek C. (devam)

```
while ~(delta_T<=temp_tolerance &&...
        (abs(Temperatures(i)-
current_temp))<=temp_tolerance)
    pause(1.5)
        fprintf(PID, 'R');
        current_temp=fscanf(PID, '%g');

        pause(0.1)

        delta_T=abs(previous_temp-current_temp);

        previous_temp=current_temp;

    veri=[Temperatures(i), current_temp, delta_T]
end

set_voltage=['SV ' '00.00'];
command=strcat(set_voltage, char(13'));
fprintf(VIB, command);
pause(0.5);

    VIB_ON='KOE';
command=strcat(VIB_ON, char(13'));
fprintf(VIB, command);
pause(0.5);

for V=1:18;
voltage=num2str(V);
if (V<10)
set_voltage=['SV 0' voltage '.00'];
else
set_voltage=['SV ' voltage '.00'];
end

command=strcat(set_voltage, char(13'));
fprintf(VIB, command);

pause(1.2);

end

    fprintf(LIA, 'X');
    XX=fscanf(LIA, '%g')
```


Ek C. (devam)

```
fprintf(LIA, 'Y');
    YY = fscanf(LIA, '%g')

    RR = sqrt(XX^2+YY^2)

    PP=atan2(YY,XX)*180.0/pi;
    if(YY<0)
        PP=PP+360.0;
    end

    set_voltage=['SV 00.00'];
    command=strcat(set_voltage, char(13'));
    fprintf(VIB, command);
    pause(0.5);

VIB_OFF='KOD';
command=strcat(VIB_OFF, char(13'));
fprintf(VIB,command);
pause(0.2);

    TT=round(current_temp);

    data =[TT,XX,YY,RR,PP]

    dlmwrite(file_name, data, '-append',...
        'delimiter', '\t', ...
        'precision', 6,...
        'newline', 'pc') ;

    data_stored = dlmread(file_name);
    plot(data_stored(:,1), data_stored(:,4));

    grid on
    grid minor
    disp('measuring for other temperatures')

end
set_voltage=['SV 00.00'];
command=strcat(set_voltage, char(13'));
fprintf(VIB, command);
```

Ek C. (devam)

```
VIB_OFF='KOD';  
    command=strcat(VIB_OFF, char(13));  
    fprintf(VIB,command);  
disp('all data has been collected')  
  
    c_final=clock  
    final=c_final(6)+c_final(5)*60+c_final(4)*3600  
    elapsed_time=final-initial  
  
    fclose(fid);  
  
    fclose(PID);  
    delete(PID);  
    clear PID;  
  
    fclose(VIB);  
    delete(VIB);  
    clear VIB;  
  
fclose(LIA);  
    delete(LIA);  
    clear LIA;  
  
disp('Instruments are disconnected and closed')
```

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Ad Soyad : Özkan ÜZÜM

Uyruk : T.C.

Doğum Yeri ve Tarihi : İstanbul – 05/04/1992

Telefon : 05458550052

E-posta : o.uzumm@gmail.com

Eğitim

Alınan Derece	Aldığı Kurum /Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lise	Ordu Lisesi	2010
Lisans	Atatürk Üniversitesi	2015
Yüksek Lisans	Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi	2018