



T.C.
Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü

Termoelektrik Soğutucu (TES) İçin İki Yönlü Sürücü Tasarımı
ve Gerçekleştirilmesi

Bekir KOCA

Yüksek Lisans Tezi



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TERMOELEKTRİK SOĞUTUCU (TES) İÇİN İKİ YÖNLÜ SÜRÜCÜ
TASARIMI VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ**

Bekir KOCA
Orcid No: 0000-0002-2879-7686

Doç. Dr. Ersen YILMAZ
Orcid No: 0000-0002-6620-655X
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ

BURSA – 2019

TEZ ONAYI

Bekir KOCA tarafından hazırlanan "Termoelektrik soğutucu (Tes) için iki yönlü sürücü tasarımı ve gerçekleştirilmesi" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Ersen YILMAZ
Orcid No: 0000-0002-6620-655X

Başkan: Doç. Dr. Ersen YILMAZ
Orcid No: 0000-0002-6620-655X
Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik
Fakültesi,
Devreler ve Sistemler Anabilim Dalı

İmza



Üye : Dr. Cengiz TOĞAY
Orcid No: 0000-0001-5739-1784
Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik
Fakültesi,
Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza



Üye : Doç. Dr. Cemal HANILÇI
Orcid No: 0000-0002-9174-0367
Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve
Doğa Bilimleri Fakültesi,
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN
Enstitü Müdürü

18/11/2019

B.U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

18 /12/2019

Bekir KOCA

İmza

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TERMOELEKTRİK SOĞUTUCU (TES) İÇİN İKİ YÖNLÜ SÜRÜCÜ TASARIMI VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Bekir KOCA

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Ersen YILMAZ

1930'lu yıllarda keşfedilen termoelektrik soğutucu olarak bilinen peltierler, lazer optik sistemlerde, bilgisayar işlemcilerinde, araç buzdolaplarında ve su ile soğutma sistemlerinin kullanıldığı iklimlendirme sistemlerinde sıklıkla tercih edilmektedir. Enerji tasarrufu sağlanması ve soğutucu devrenin az yer kaplaması önemli avantajlarındanır.

Bu tezde, hassas çalışma sıcaklık aralığına sahip sistemlerin çalışma koşullarının kontrolünde kullanılan TES'ler (Termoelektrik soğutucu) için iki yönlü sürücü tasarımı yapılmış ve gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan sürücü ile akım yönü değiştirilerek hem soğutma hem de ısıtma yapılmıştır. Bu sayede istenilen sıcaklık aralığı kontrolünün daha hassas olması sağlanmıştır. Kullanım yeri olarak özel bir sistem tercih edilmemiştir.

Bu çalışmada kontrol döngülerinde sıkça kullanılan PID ile sürücü devresinde yer alan H köprüsü, kapı sürücüsü, PWM tekniği ve elektronik elemanlardan detaylı biçimde bahsedilmiştir. Tasarlanan çift yönlü akım kontrolü yapan sürücü devreye ait benzetim ve gerçek uygulama sonuçları sunulmuştur.

Anahtar kelimeler: TES (Termoelektrik soğutucu), optik sistemler, PWM, H-köprü
2019, viii + 51 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF BIDIRECTIONAL DRIVER FOR THERMOELECTRIC COOLER

Bekir KOCA

Bursa Uludag University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Electrical and Electronics Engineering

Supervisor: Associate Dr. Ersen YILMAZ

Peltiers discovered in 1930's known as thermoelectric coolers which are used often for laser optical systems, processors of computers, vehicle refrigerators and chiller cooling devices used for air conditioning systems. Thermoelectric coolers have important advantages because of their energy saving and small foot print characteristics.

In this thesis, bidirectional driver was designed and realized for using TEC (thermoelectric coolers) which were used to control operating conditions of sensitive systems. Cooling and heating functions were accomplished with the aid of changing direction of current by designed driver. Hence, desired temperature range was controlled very sensitive. Any specific system was not preferred as a place of use.

In this study, PID which is frequently used in control loops, H-bridge, gate driver, PWM technique and electronic equipments in the driver circuit were mentioned in detail. Simulation and actual application results of the designed bidirectional current control drive circuit were presented.

Key words: TEC (Thermoelectric cooler), Optical systems, PWM, H-Bridge

2019, viii + 51 pages

TEŐEKKÖR

Tezimin hazırlanma sürecinde desteklerini esirgemeyen Doç. Dr. sayın Ersen YILMAZ'a, zamanlarını aldığım aileme, sayın Nizam MUZAFFEROĞLU'na ve Ermaksan firmasına teşekkürlerimi sunarım.

Bekir KOCA
/ /2019

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI	4
2.1. Kesikli zaman PID kontrolcüleri.....	4
2.2. PID kontrol döngüsü.....	4
2.2.1. PID kontrol döngüsü kuramının açıklaması.....	7
2.2.2. Kapalı döngü sistemi nedir?.....	10
2.2.3. P (Oransal) kontrol.....	14
2.2.4. I (İntegral) kontrol.....	15
2.2.5. D (Türevsel) kontrol.....	16
2.3. PID Ayarlaması	18
2.4. H Köprüsü.....	21
2.5. Kapı sürücüsü	23
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	26
3.1. Deneysel kurulum.....	26
3.2. Blok şemada kullanılan elemanların açıklamaları	27
3.2.1. Sıcaklık kontrolü yapılabilecek cihazlar	27
3.2.2. Peltier elemanı	28
3.2.3. Isı ölçer	29
3.2.4. NTC ısı ölçer voltaj oluşturma devresi.....	30
3.2.5. PWM üretici.....	32
3.2.6. PWM (Darbe genişliği düzenlemesi) gerçekleştirilmesi	36
3.2.7. Görev döngüsü limit	36
3.2.8. Çıkış kutbu.....	37
3.3. TES sürücü devre gerçekleştirilmesi.....	37
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	39
5. SONUÇ.....	45
KAYNAKLAR	46
EKLER.....	49
EK1	50
ÖZGEÇMİŞ	51

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
U(t)	Kontrol sinyali
E(t)	Hata sinyali
t	Zaman değişkeni
\int	İntegral değişkeni
K _p	Oransal kontrol kazancı
K _i	İntegral kontrol kazancı
K _d	Türevsel kontrol kazancı

Kisaltmalar	Açıklama
P	Oransal
I	İntegral
D	Türevsel
TES	Termoelektrik Soğutucu
PWM	Sinyal genişlik düzenlemesi
PID	Oransal integral türevsel
GND	Toprak
TG	Üst kapı
TS	Üst source
V _{cc}	Çip besleme voltajı
InP	Çip giriş voltajı
K _c	Oransal kazanç
T _i	İntegral zamanı
T _d	Türevsel zamanı
MOSFED	Metal oksit alan etkili transistor
DSP	Sayısal sinyal işleme
CPU	Merkezi kontrol ünitesi
H	Örnekleme zamanı

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. PID kontrol algoritmasının blok diyagramı.....	5
Şekil 2.2. Temel seviyede sıcaklık geri besleme kontrol sistemi	7
Şekil 2.3. Sıcaklık geri besleme kontrol sistemi.....	8
Şekil 2.4. Uygulaması yapılan kontrol ve sürücü sistemi.....	9
Şekil 2.5. Kapalı döngü sisteminin blok diyagramı.....	11
Şekil 2.6. PID kapalı döngü adım tepki sonucu	11
Şekil 2.7. Ölü zamanlı kapalı döngü sistemi tepki sonucu	13
Şekil 2.8. H köprüsü devre tasarımı	22
Şekil 2.9. H köprüsünün peltier soğutma elemanı bağlanmış şekli	22
Şekil 2.10. Kapı sürücü tümleşik devresi bağlantı şeması.....	23
Şekil 2.11. Kapı tümleşik blok diyagramı	24
Şekil 2.12. Zaman diyagramı.....	24
Şekil 2.13. Kapı sürücü blok çizimi	25
Şekil 3.1. Peltier ile TES sürücü devresi gerçekleştirilmesi.....	26
Şekil 3.2. Devre elemanlarının ve bağlantı uçlarının tasarımsal olarak gösterimi	27
Şekil 3.3. Lazer diyot.....	28
Şekil 3.4. Soğutma plakası ve fan.....	28
Şekil 3.5. Peltier soğutma-ısıtma elemanı.....	28
Şekil 3.6. Peltier elemanı çalışma mantığı	29
Şekil 3.7. Isıölçer	29
Şekil 3.8. Sıcaklık ölçüm devre şeması	32
Şekil 3.9. PWM üretici.....	32
Şekil 3.10. Tercih edilen PWM tümleşik şeması	33
Şekil 3.11. PWM üretici çalışma şekli	33
Şekil 3.12. PWM üretici giriş voltajı	34
Şekil 3.13. PWM üretici çıkış sinyali.....	35
Şekil 3.14. Giriş ve çıkış sinyallerinin eş zamanlı gösterimi.....	35
Şekil 3.15. PWM kutup seçimine göre çıkış biçimi	37
Şekil 3.16. Peltier ve NTC ısıölçer yerleştirilmesi.....	38
Şekil 4.1. TES sürücü giriş-çıkış ölçümleri.....	40

Şekil 4.2. TES sürücü giriş-çıkış ölçümleri	40
Şekil 4.3. TES sürücü giriş-çıkış ölçümleri	41
Şekil 4.4. TES sürücü giriş-çıkış ölçümleri.....	41
Şekil 4.5. TES sürücü giriş-çıkış ölçümleri.....	42
Şekil 4.6. TES sürücü giriş-çıkış ölçümleri	42
Şekil 4.7. TES sürücü giriş-çıkış ölçümleri	43
Şekil 4.8. TES sürücü giriş-çıkış ölçümleri	43
Şekil 4.9. TES sürücü giriş-çıkış ölçümleri	44
Şekil 4.10. TES sürücü giriş-çıkış ölçümleri.....	44



ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Salınım metodu kullanılarak Ziegler-Nichols ayar tablosu	19
Çizelge 2.2. PID parametrelerinin sistem üzerindeki etkileri.....	20



1. GİRİŞ

Modern ve yüksek teknolojilerin gelişmesiyle beraber tıbbi, endüstriyel, askeri ve kişisel cihazların boyutlarının küçülmesi, beraberinde düşük enerji tüketimine sahip, sağlam, küçük boyutlu, sessiz, hafif ve uzun ömürlü soğutuculara duyulan ihtiyacı arttırmıştır.

Klasik yöntemlerle yapılan soğutma uygulamalarında hem bakım isteyen aşırı büyük sistemler hem de yüksek enerji tüketen sistemler kullanılmaktadır. Yüksek soğutma kapasitesi istenen yerlerde bu klasik sistemler hala kullanılsa bile küçük boyutlu cihazlarda verim ve esnekliği tam olarak sağlanamamaktadır. Aynı sıcaklıktaki farklı iki metal kullanılarak oluşturulan bir kapalı devrede başlangıçta bir elektrik akımı görülmez. Ancak uçlardan biri ısıtıldığında devrede bir elektrik akımı gözlenecektir. 1821 yılında Thomas Seeback tarafından gözlemlenen bu etki günümüzde sıcaklık ölçümleri ve güç üretimi için kullanılmaktadır.

1834 yılında Jean Charles Athanese Peltier farklı malzemelerden oluşan iki telin birleşme uçlarından elektrik akımı geçirildiğinde birleşme noktasının soğuduğunu gözlemlemiştir. Seeback etkisinin tam tersi olan Peltier etkisi olarak adlandırılan bu olay termoelektriğin temelini oluşturmuştur.

1900'lü yılların başından itibaren günümüze kadar peltier, kontrolcü ve sürücüleri üzerinde yapılan çalışmalar, dijital kontrol sistemlerinin gelişmesi ile daha kararlı yapılara kavuşmuştur. Günümüzde oldukça yaygın olarak kullanılan peltier kontrol ve sürücü sistemlerinin bir bütün olarak geliştirilmesi sonucunda hazır sistemler tedarik edilebilmekte ancak hazır sistemlerin maliyeti de yüksek olmaktadır.

Bu çalışmada ekonomik bir ürün tasarlanması hedeflenmiştir. Gelecekte teknolojilerin daha ileri seviyelere yükselmesi ve bu soğutma-ısıtma sisteminin yaygınlaşması ile birlikte maliyetlerinde düşürülebileceği tahmin edilmektedir.

Termoelektrik soğutucular oldukça geniş bir uygulama alanına sahiptir. 1930'lu yıllarda keşfedilen peltier elemanları, genellikle lazer-optik (lazer diyotları) ve elektro-optik

sistemlerde (IR algılayıcı, lazer odaklayıcı ve toplayıcılar, CCD kameralar), ısı şartlandırma odaları, nem alıcı sistemlerin içinde, bilgisayar CPU'ları ve araç buzdolaplarında soğutma amaçlı olarak tercih edilmektedirler. Hem enerji tasarrufu sağlanması hem de mümkün olduğu kadar soğutucu devrenin az yer kaplaması kullanım sahasını arttırmaktadır (Bulut 2005).

2000'li yılların başlarında küçük boyutta sürücüler tasarlanmış ve üretilmiş olup ticari ürün kataloglarında da yerlerini almaya başlamışlardır (Electronic Engineering Times 2002).

Geçtiğimiz yıllarda termoelektrik soğutucularda kullanılan sürücülerin peltier üzerine montajının sağlıklı yapılabilmesi için patentli araştırmalar yapılmıştır. Elektro-optik ürünlerdeki hızlı veri transferinden dolayı oluşan ısınmanın önüne geçilmesi için tasarlanmış olan sürücü ve sıcaklık ölçerin termoelektrik soğutucuya montajı ayrı bir çalışma alanı olarak karşımıza çıkmaktadır (Hosking ve ark. 2012).

Peltier sıcaklık kontrolünü yapabilmek için çalışmalar sürekli bir şekilde devam etmekte olup, yüksek verimli ve hızlı tepki verebilen, sayısal PID sıcaklık kontrol döngülü sistemler de geliştirilmiştir. Bu sistemlerde, yüksek akımlarda çift yönlü olacak şekilde peltierlerin de kontrol edilebilmesi sağlanmaktadır (Electro Optics Journal 2017).

Bu çalışmada, termoelektrik soğutucunun kullanım yeri olarak herhangi bir özel sistem tercih edilmemiş olup ileride tercih edilecek bir ortamı belli bir sıcaklıkta tutulabilmesini sağlayacak sistem geliştirilmiştir.

Bu tezde, PID kontrolör sistemlerinden teorik olarak bahsedilmiş olup, sadece termoelektrik soğutucu sürücü katı gerçekleştirilmiştir. PWM, kapı sürücüsü, H köprü devre sistemlerinden bahsedilmiştir. Bu devre elemanları kullanarak iki yönlü çıkış verebilen sürücü devresi tasarlanmıştır. Bu sürücü devresi ile herhangi bir ısı kaynağı sisteminin sıcaklığının kontrol altında tutulması hedeflenmiştir. Tasarlanan bu devrenin yapımı gerçekleştirilmiş ve denemeler sonucunda istenenlerin karşılanması sağlanmıştır.

Peltier olarak bilinen aktif soğutma-ısıtma elemanı, genellikle düzlemsel boyutta gözüken dirence benzemektedir. DC voltaj uygulanır ve elektronların akış yönüne bağlı olarak peltier'in bir yüzeyi soğur diğer yüzeyi ısınır. Elektronların hareket yönü soğuk yüzeyden sıcak yüzeye doğrudur. Bir başka deyişle akım yönü, soğutma ve ısıtma yönünü de belirlemektedir. Bu sayede bir ısı kaynağı veya soğutma kaynağı gibi davranır. Dolayısı ile TES sistemlerinde peltier elemanı, bu özelliklerinden dolayı hem ısıtma hem de soğutma işlevini yerine getirebilmektedir.

Sahanın diğer elemanı ise, peltier'e akım beslemesini yapan güç yükselticidir. Güç yükselticileri doğrusal ya da anahtarlama olarak seçilebilmektedir. Doğrusal yükselticiler, düşük seviyeli gürültü yayarken anahtarlama olanlar ise daha yüksek güç verimliliği ve daha düşük ısı yayımına sahiptir. Ayrıca doğrusal yükselticiler geniş bir alan kaplamaktadırlar. Ancak bizim sistemimizde mümkün olduğu kadar yüksek enerji verimliliğine ulaşmak istendiği için anahtarlama yükselticiler tercih edilecektir.

Tercih edilen geri besleme algılayıcısı basit bir sıcaklık ölçer olarak seçilmiştir. Bu ısıölçerin sıcaklık değişimi ile direnci de değişmekte olup, devremiz bu direnç değişimini okuyarak ortam sıcaklığını ölçebilmektedir. Direnç değişimini analog voltaja çevirerek sıcaklık değişimini okuyabilmekteyiz.

Bu değişim genelde logaritmik olarak artan bir grafiğe sahiptir. Bu yüzden kapalı devre kontrol sistemlerinde doğrusal olmayan bir durum sergilemektedir. Ancak buradaki doğrusal olmayan direnç değişimi, kontrol sistemimizin düşük bir tepki süresi olduğu için herhangi bir olumsuz sonuca yol açmayacak şekilde çalışabilmektedir.

Bu sistem soğutma ve ısıtma işlevini yerine getirerek ortam sıcaklığını sabit tutacaktır. Devre, belirlenen toleranslar içinde kapalı döngü olarak sıcaklığı sabit tutacaktır. Set edilen sıcaklığa ise sistem çalışmasından yaklaşık 15 saniye sonra ulaşmak üzere tasarlanmıştır. Bu tezde sadece sürücü sisteminin tasarımı ve gerçekleştirilmesinden bahsedileceği için soğutma için kullanılan farklı ortamlardan ya da kontrolcü ara yüzünden ayrıntılı bir şekilde bahsedilmeyecektir. Tez içeriğinde sürücü tasarımı, peltier ve kapalı döngü sisteminden bahsedilecektir.

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1 Kesikli zaman PID kontrolcüleri

Termoelektrik soğutucularda geri besleme kontrolörü genelde PID algoritması uygulamaktadır. Oransal, alansal ve fark kontrol yöntemleri kullanılmaktadır. Kapalı döngü sıcaklık ayar noktasının hızlı değişimlerinde ve termal etki oluşturan dış etkenlere hızlı cevap verebilmek için oransal kontrol yöntemi kullanılmaktadır. Sistemin ayarlanan değere tam olarak en kısa sürede ulaşabilmesi için (ayar değeri ile algılayıcıdan gelen verinin eşit olması durumu) ve termal dış etkenlerin bozucu etkilerini azaltmak için integral kontrol yöntemi kullanılmaktadır. Örneğin, ortama yayılan ısının belirlenmiş seviyeler içinde kalması gerektiği durumlarda, alan kazancı değiştirilerek istenen aralık içinde sıcaklık kontrolü yapılabilmektedir. Sistemde oluşabilecek olan anlık yüksek veya düşük değerleri kontrol altında tutabilmek için (zellikle sıcaklık ayar değişiminde) kullanılabilir (Zhang 2013).

Bu tezde dijital sinyal işlemcisi, tümleşik 12 bitlik analog-sayısal dönüştürücü ile NTC sıcaklık ölçer değerini okuyarak geri besleme kontrolünü yapacaktır. Peltier elemanına, H köprünün akım yönüne bağlı olarak besleme yapılacaktır. H köprüye ise kapı sürücüleri üzerinden atım genişlik düzenleyicisi dalga formu olarak doğrudan çıkış verilecektir.

2.2 PID kontrol döngüsü

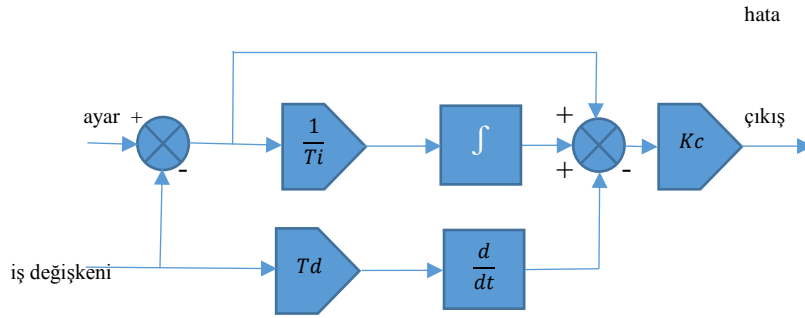
Kapalı bir çevrim kontrol sisteminde geri beslemeden alınan sinyal, istenen sinyal ile karşılaştırılır. Aradaki fark hata sinyali olarak üretilir ve kontrol edilen değişkenin türüne göre uygun kontrol sinyali üretilir. Bunun için P,PI ve PID olarak adlandırılan kontrol sistemleri uygulanır. Her bir kontrol sistemi için ayrı bir matematiksel modelleme mevcuttur.

Sistemin şartları sürekli kontrol edilirken sık sık hata sinyali ile karşılaşılmaktadır. Bu hata sinyalini sıfırlayabilmek için sistem çıkışı sürekli olarak açık kapalı ıkışları verir. Eğer ıkış değeri istenen değeri geçmişse sistem çıkışı kapatır, eğer istenen değere

ulaşmamışsa sistem sürekli açık kalır. Çok hassas kontrol ortamlarında ise sürekli bir açma ve kapama sinyali üretileceği için istenen değere hiçbir zaman sürekli ve kararlı olacak şekilde ulaşamayacaktır. Bu sürekliliği sağlamak için oransal, integral ve türevsel kontrol yöntemleri istenen kararlı çıkışı alacak şekilde ve uygun parametrelerle kullanılmalıdır.

Otomatik kontrol sistemlerinde karşılaşılan kalıcı ve geçici durum şartlarının kontrol altında tutulabilmesi için PID kontrol sistemlerinin uygulanması şart olmaktadır. Geçici durum şartları, sistemin kararlı hale ulaşmaya kadar geçen zaman değişimine göre olan zamana bağlı davranışlardır. Kalıcı durum ise, sistemin istenen geçici durum davranışını bitirdikten sonra kararlı hale geldiği düşünülen ve sürekli olarak belli çıkışı zamana bağlı davranışlardır. Her iki durumu da kontrol altına almak için uygulanan PID kontrol sistemleri etkin bir şekilde istenen kararlı çıkışları verebilmektedir (Rao ve Mishra 2014).

PID kontrol döngüsünün matematiksel formülü aşağıdaki gibi ifade edilmektedir. Burada zaman tabanına göre formül belirtilmiştir. Şekil 2.1'de kontrol algoritmasının blok diyagramı verilmiştir.



Şekil 2.1 PID kontrol algoritmasının blok diyagramı

$$u(t): Kp(e(t) + Ki \int_{T=0}^t e(T). dT + Kd \frac{d}{dt} [e(t)]) \quad (2.1)$$

Burada ;

u(t) : Kontrol sinyali

$e(t)$: Hata sinyali
 t : Zaman değişkeni
 T : İntegral değişkeni
 K_p : Oransal tür kontrol kazancı
 K_i : İntegral tür kontrol kazancı
 K_d : Türevsel tür kontrol kazancı

olarak ifade edilmektedir.

Eğer DSP (Sayısal sinyal işleme) kullanarak bu algoritma uygulanmak istenirse bu formül kesikli zamana çevrilmesi gerekecektir. Bunun için değişik yöntemler mevcuttur. En kısa yöntem integral için trapezoidal toplama yaklaşımı, türevsel için ise ters-fark yaklaşımının kullanılması olarak ifade edilebilir. Oransal katsayısı, doğrudan yaklaşım metodu kullanılmadan da aşağıdaki gibi yazılabilir (Bulut 2005).

$$P \text{ için : } K_p e(t) = K_p e(k) \quad (2.2)$$

$$I \text{ için : } K_i \int_{T=0}^t e(T) dT = K_i \sum_{i=0}^k \frac{h}{2} [e(i) + e(i-1)] \quad (2.3)$$

$$D \text{ için : } d \frac{d}{dt} [e(t)] = K_d \left[\frac{e(k) - e(k-1)}{h} \right] \quad (2.4)$$

Zaman ilişkisi için: $t=k \cdot h$

H örnekleme periyodu, k kesikli-zaman indeksi olarak kullanılmıştır. ($k = 0, 1, 2, 3, \dots$)

Biraz daha basitleştirmek için yeni kontrol kazançlarını aşağıdaki gibi yazabiliriz.

$$K_i = K_i \frac{h}{2} \quad (2.5)$$

$$K_d = \frac{K_d}{h} \quad (2.6)$$

Bu ifadeleri yukarıdaki formülümüzün içine yerleştirirsek aşağıdaki gibi basitleştirilmiş bir kesikli-zamanlı PID kontrol sistemi formülünü oluşturabiliriz.

$$U(k) = Kp e(k) + Ki \sum_{i=0}^k [e(i) + e(i-1)] + Kd [e(k) - e(k-1)] \quad (2.7)$$

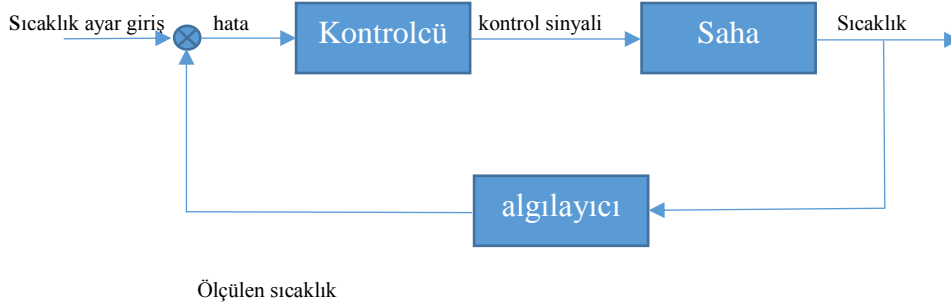
Tüm zaman adımlarının hesaplanmasını engellemek için (çünkü zaman ilerlemesi artan bir şekilde olacağı için hesaplama miktarı da artacaktır), toplama formülü aşağıdaki gibi ifade edilebilir (Alter 2003).

$$top(k) = top(k-1) + [e(k) + e(k-1)]$$

$$u(k) = Kp e(k) + Kitop(k) + Kd [e(k) - e(k-1)] \quad (2.8)$$

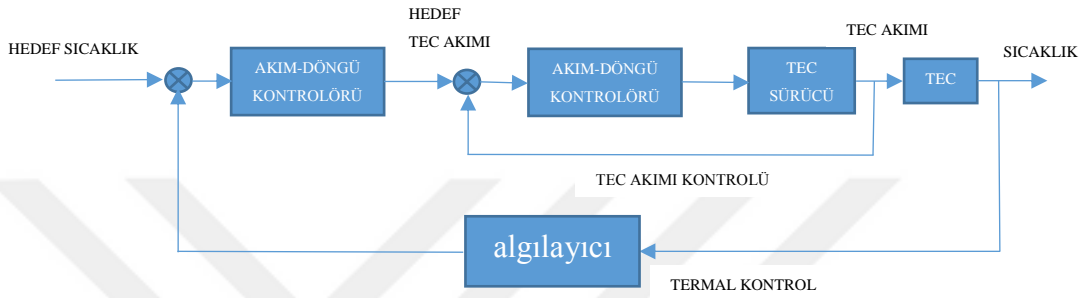
2.2.1 PID kontrol döngüsü kuramının açıklaması

PID kontrol yöntemi, günümüzde birçok alanda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Sıvı seviye, sıcaklık, motor devir ve nem kontrolü gibi oldukça fazla kullanım yerine sahiptir. Bir sistemin kontrol edilebilmesi için sistemin kapalı çevrim olması, yani bir ölçüm cihazı ile sürekli çıkış şartlarının kontrol edilebilir olması gerekmektedir. Bu işlemleri yerine getirecek birçok cihaz sahada kullanılmaktadır. Çok fazla üretici bu konuda çözümlerini sunmaktadır.



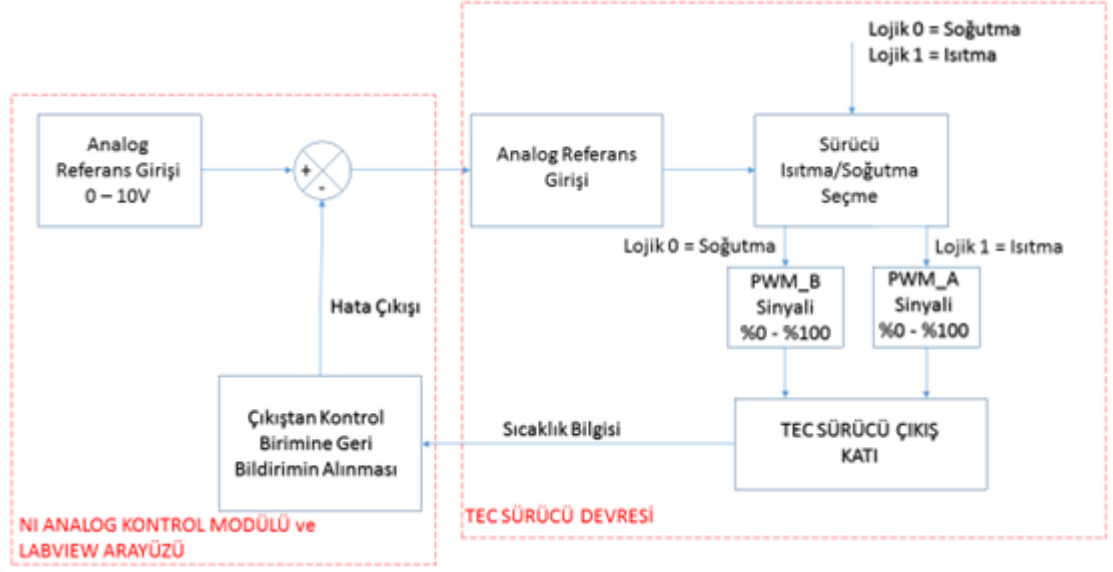
Şekil 2.2 Temel seviyede sıcaklık geri besleme kontrol sistemi (MIP 2015)

Şekil 2.2’de programlanan değer ile ölçülen değer arasındaki hata hesaplanmasını gösteren kontrol bloğu şeması gösterilmektedir. Bu şekilde tasarlanan devrelerde sabit ayar noktası tercih edilmiştir. Saha ısı değişim dinamikleri düşük olduğu için, TES sürücü devresi de oldukça düşük bant aralığında çalışıyor olacaktır. Basit bir PID (oransal, alansal ve türevsel) kontrol devresi, genelde yeterli bir kapalı devre performansını gerçekleştirebilmektedir. (Electronic engineering times 2002)



Şekil 2.3 Sıcaklık geri besleme kontrol sistemi (MIP 2015)

Bu tezde sıcaklık referans değeri sabit tutulmuştur. Şekil 2.3’de bahsedilen akım ve voltaj kontrolü dikkate alınmamıştır. Sıcaklık referans sinyalinin zamana bağlı bir işlevi olsaydı takip problemi ile karşılaşılabilir. Ayrıca sahadaki ısı kaynağının da dinamik değişkenleri olsaydı (iki veya daha yüksek dereceli diferansiyel denklem) kontrol sisteminin tasarımının da bu şartlara göre incelenip tasarımını özel şartlara göre yapılması gerekecekti. Buradaki termal yük ne kadar fazla olursa sistemimizin set değerine ulaşması da o kadar yavaş olur.



Şekil 2.4 Uygulaması yapılan kontrol ve sürücü sistemi

Şekil 2.4’de gösterilen akış şemasının birinci bölümünde, temin edilen yazılımların hazır kontrol blokları kullanılmıştır. Set değer girişi, sıcaklık karşılaştırma ve kontrolcü hazır blokları sayesinde tezin konusu olan sürücü devresine kontrol sinyali verilmiş ve geri besleme doğrudan hazır bloklara girmiştir. Bu sayede kontrolcü tasarımı ve devre üretimi yapılmadan sürücü tasarlanmış ve çıkış değerleri ölçülebilmektedir.

Termoelektrik soğutucu PID kontrol devresi işlemsel yükselteç, direnç ve kapasitörle de yapılabilen analog kontrol devresidir. Dijital kontrolörlerin ise analog kontrolcülere göre daha fazla avantajı vardır. Dijital kontrolörler hem sıcaklık değişimine karşı hem de direnç-kapasitör gibi elemanların tolerans değerlerine daha az duyarlıdır. Devre elemanları yaşlanmaları ve özelliklerinin zaman içinde değişimi gibi sorunlar olmamaktadır.

Dijital kontrol, kolay ve hassas yazılım ayarlarına sahiptir. Bu yüzden daha kısa sürede kurulumu yapıp daha kısa sürede hassas ayarlı potansiyometreler ile kontrolör ayarları yapılabilmektedir. TES uygulamalarında tek bir kontrolcü (yazılım ve donanım olarak) tasarlanabilir. Dolayısı ile çok fazla devre elemanı kullanmadan da tasarım yapılabilmektedir (Zhang 2013).

Oransal-alansal-türevsel kontrol, kapalı sistem kontrollerinde oldukça fazla kullanılan ve artık evrenselleşmiş olan endüstriyel kontrol sistemidir. PID kontrolün en büyük avantajı kararlı bir şekilde çok geniş çalışma şartlarında sistem kontrolünü yapılmasına olanak sağlamasıdır. Yukarıda bahsedildiği üzere PID algoritması oransal, alansal ve türevsel işlev olarak üç ana işlevden oluşmaktadır.

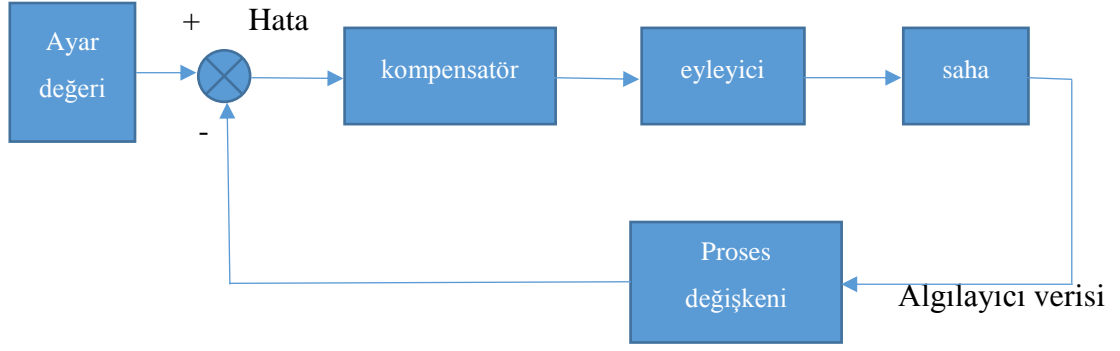
Bir kontrol sisteminin en önemli unsurlarından bir tanesi algılayıcılarıdır. Algılayıcıdan gelen verilere göre sistemi kontrol eden elemana oransal, alansal ve türevsel kazanç hesaplarının toplanması ile üretilen kontrol sinyali uygulanır. Burada bahsedilen kontrol parametrelerini tanımlamadan önce kapalı döngü sistemlerini kısaca inceleyebiliriz.

2.2.2 Kapalı döngü sistemi nedir?

Bir kontrol sisteminde iş değişkenleri sıcaklık, basınç ya da debi gibi kontrol edilebilecek sistem parametreleridir. Bir algılayıcı iş değişkenlerini ölçmek için kullanılabilir. Ölçülen değerler kontrol sistemine geri besleme olarak gönderir. Ayarlanan değer istenen ya da komut edilmek istenen iş değişkenidir. Bizim uygulamamızda (sıcaklık kontrol sistemi) belirlediğimiz sıcaklık değeri bir iş değişkenidir.

Herhangi bir anda iş değişkeni (istenen sıcaklık) ile ayarlanan sıcaklık (set edilen değer) arasında oluşan fark, eyleyiciyi sürmek için gerekli olan girişi sağlamak için ihtiyaç olan kontrol sistem algoritması oluşturur. Örneğin; ölçülen sıcaklık iş değeri 20 dereceyse, istenen sıcaklık değeri 25 derece ise aradaki 5 derecelik fark hata olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu 5 derecelik farkın sonucu olarak eyleyici olarak adlandıracağımız ısıtıcıyı çalıştırması ve ortam sıcaklığını yükseltmesi gerekecektir. Yani bir ısıtıcıyı çalıştırmak, sistemin ısınısını yükseltecek ve iş sıcaklık değişkeninin artması ile sonuçlanmış olacaktır.

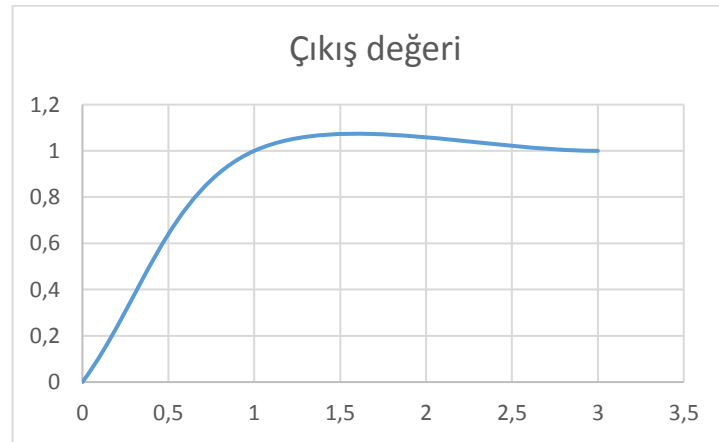
Eğer sistem sıcaklığı set edilen değerden yüksek olarak ölçülürse, hata sinyali bu sefer sistem sıcaklığını düşürmek üzere oluşturulacak böylece iş sıcaklık değişkeninin düşürülmesi ile ısıtıcının kontrol sinyali kesilmiş olacaktır.



Şekil 2.5 Kapalı döngü sisteminin blok diyagramı (ALTER,D.M. 2003)

Şekil 2.5’de gösterilen sistemin adına ise kapalı döngü kontrol sistemi denmektedir. Çünkü iş sonucunu (sistem sıcaklığı) okuyan algılayıcı ile sürekli olarak bilgi kontrolcüye aktarılmakta ve oluşturulan hata sinyali ile çıkış sıcaklığı istenen seviyede tutulabilmektedir. Eyleyici çıkışının sistem üzerinde etkisi olduğu için kapalı döngü sistemine dahil edilmiştir. Örneğin, sıcaklık kontrolü yapılacak sistemlerde ısıyı değiştirecek soğuk hava-sıvı akışı olmaktadır. Bunlar sistemi bozucu etkenler olarak adlandırılmaktadır (Maxim Integrated Products 2015).

Kontrol tasarımından kısaca bahsetmek gerekirse, öncelikle performans ihtiyaçları belirlenir. Kontrol sistem performansı, belli bir ayar değeri olan adım işlevi uygulanarak ölçülür. Daha sonra ise iş değişkeni tepkisine bakılarak performans değerlendirilmesi yapılır. Genellikle tepkinin değerlendirilebilmesi için çıkış ölçülerek bir tanımlama yapılmaktadır. Adım işaretinin çıkışının girişe yakın olması beklenmektedir.

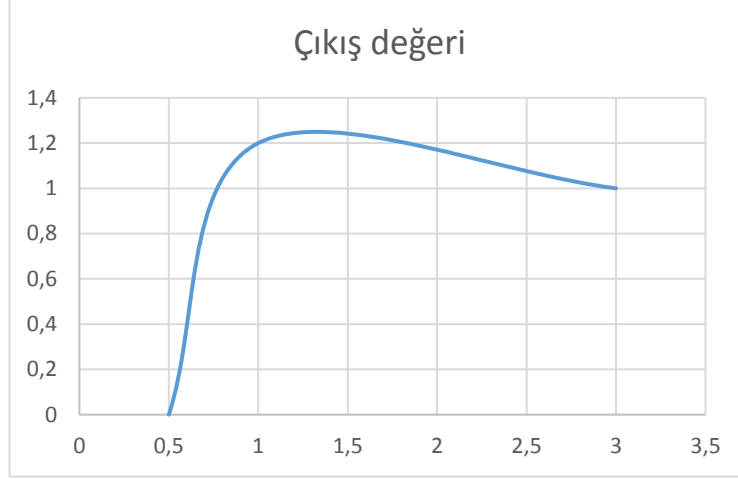


Şekil 2.6 PID kapalı döngü adım tepki sonucu (ZHANG,S.N. 2013)

Şekil 2.6’da örnek giriş-çıkış sinyaline yer verilmiştir. İş sinyalinin yükselme zamanı, son değere (kararlı olarak hatalı erişim ya da kesin değere ulaşması olarak) çıktığı zamanın %10’undan %90’nına ulaşması olarak alınabilir. Yüzdeler sıçrama, ölçülen iş sinyalinin son değerden fazla yükselmesinin yüzdeler olarak ifade edilmesidir. Tam oturma zamanı, iş değişkeninin %5 tolerans içinde istenen değere ulaştığı zaman olarak kabul edilmektedir. Dengeye ulaşma hatası, iş değişkeni ile set edilen değer arasındaki farktır. Bu tabirler ortak olarak kullanılsa da farklı tabirlere literatürde rastlanılmaktadır.

Yukarıda bahsedilen değişkenler, bir kontrol sisteminin performans ihtiyaçlarına göre kullanılır. Sonrasında tasarım ihtiyaçlarının karşılanması için kontrol sisteminin karşılaşılabileceği en kötü şartların tanımlanması gerekmektedir. Sık sık karşımıza iş değişkenlerini etkileyen ya da iş değişkenlerinin ölçümünü etkileyen sistemdeki bozucular vardır. En kötü durumlarda da kontrol sisteminin sağlıklı çalışabilmesi için tasarımda dikkatli olunması gerekmektedir. Bir kontrol sisteminin oluşan bozuculara karşı ne kadar etkili olduğu, kontrol sisteminin bozucuları engelleyebilme yeteneği olarak adlandırılabilir. (Quick-Ohm Küpper&Co.GmbH Components 2014)

Bazı durumlarda kontrol çıkışına olan sistemin tepkisi zamana bağlı ya da bazı etkenlerle olan durumlarına göre değişebilmektedir. Doğrusal olmayan sistemde, bir çalışma noktasında verdiği tepki ile diğer çalışma noktasında verdiği tepkinin başarılı olarak çıkışı kontrol edemediği durumlar olabilir. Örneğin sıvı dolu bir kabın sıcaklık kontrolü ile tam dolu olmayan başka bir kabın sıcaklık kontrolleri arasında farklılıklar olacaktır. Bir kontrol sisteminin bozucu etkenleri ve doğrusal olmayan durumları takip edebilmesi, kontrol sisteminin kararlı ve sağlam olduğunu göstermektedir.



Şekil 2.7 Ölü zamanlı kapalı döngü sistemi tepki sonucu (ZHANG,S.N.2013)

Bazı sistemlerde ölü zaman olarak adlandırılan istenmeyen durumlar vardır. Şekil 2.7’de örnek bir ölü zaman grafiği verilmiştir. Ölü zaman, tam olarak iş değişkeni değişmesiyle bu değişimin tespit edilmesi arasındaki zaman gecikmesi olarak bilinir. Örneğin, bir sıcaklık algılayıcı soğutma suyu girişinden uzak bir noktaya yerleştirilirse, sıcaklık değişiminin anında ölçümü yapılamayacaktır.

Ölü zamana sebep olan diğer bir faktörde kontrol komutuna geç cevap veren eyleyici tepki süresidir. Örnek olarak kimya sanayinde ölü zamana sebep olarak, sıvı akışının uzun ve hacimli borularda olması, dolayısıyla hem akış süresi hem sıcaklık değişiminin ölçüm değerlerini etkileyeceği verilebilir.

Döngü çevrimi, kapalı döngü sistemlerde önemli bir parametredir. Döngü çevrimi zamanı, kontrol algoritmasının çalışma aralığı olarak da bilinir.

Performans ihtiyaçları tespit edildikten sonra sistem incelenir ve uygun kontrol şeması seçilir.

2.2.3 P (Oransal) kontrol

Oransal kontrol, sadece set noktası ile iş değişkenleri arasındaki farka bağlıdır. Bu fark hata olarak bilinmektedir. Oransal kazanç (K_c), hata sinyaline çıkış tepkisinin oranı olarak belirlenir. Örneğin, eğer hata miktarının büyüklüğü 5 ve oransal kazanç 2 ise sonuç olarak 10 değerinde bir oransal çıkış verecektir.

Genelde artan oransal kazanç, kontrol sisteminin hızını da artırmaktadır. Bununla beraber eğer oransal kazanç çok yüksekse, iş değişkeni salınım yapmaya başlar. Eğer K_c çok fazla artırılırsa salınım daha fazla olacaktır ve sistem kararsız çalışmaya başlayacaktır ve hatta kontrol dışına çıkacak salınıma sebep olacaktır.

Oransal kontrolöre örnek olarak, sabit hızda dönmesi istenen bir motorun hız ölçümü verilebilir. Dönme sayısı ölçümü bir enkoder ile yapılabilmektedir. Enkoder bilgisinin kapalı çevrimde hata sinyali üretecek şekilde hedef değerle karşılaştırması yapılır. Bu sistemde eğer oransal kontrol kullanılırsa, karşılaştırma sonunda hata olarak hesaplanan devir sayısını artırıp azaltmak için uygulanan voltaj değerinin de oransal bir şekilde artırılıp azaltılması gerekecektir. Eğer eksi hata ölçülürse, motorun devrinin fazla olduğuna karar verilip voltaj düşümü sayesinde motor dönmesi yavaşlatılacaktır. Eğer pozitif hata ölçülürse motorun dönme devrinin yavaşladığı anlaşılıp voltaj artırımına gidilecektir.

Buradaki voltaj artırım ya da azalımı oranı, oransal kontrol sisteminin çarpanlarının büyüklüğü ile ilgilidir. Eğer yüksek bir çarpan varsa çok hızlı bir tepki verip aniden motor devrini artırmaya veya azaltmaya çalışacaktır. Bu durum ise kararsızlığa sebep olup sistemin kontrol dışında çalışmasına dahi yol açabilecektir. Bu yüzden katsayı seçimlerinin, sistemin en sağlıklı çalışabileceği aralığa bağlı olarak belirlenmesi gerekmektedir. Aksi takdirde bu örnekte verdiğimiz motor ve aktarım organları, fiziksel olarak zarar görebilecektir.

Yüksek kazançlı sistemlerin hızlı bir şekilde kararlı konuma gelebileceği düşünülebilir ancak kararsız duruma geçmeleri genelde çok karşılaşılan bir sorundur. Bunun tersi

olarak düşük oransal kazançlı sistemlerde, sistemin istenen çıkışa ulaşması uzun zaman alacaktır. Ayrıca uzun salınımlara da sebep olabilecektir. Dolayısıyla yine uygun katsayı seçiminin yapılması zorunluluğu olacaktır.

2.2.4 I (İntegral) kontrol

İntegral kontrol, zamana göre hata teriminin toplamları demektir. İntegral tepkisi hata sıfıra düşene kadar zamana bağlı olarak artacaktır. Yani yavaş bir şekilde integral kontrolü artırmaya gidilir. İntegralin asıl amacı iş değişkeni (yani çıkış) kararlı hale gelince kadar (denge durumu) oluşan hata farkını ortadan kaldırmaktır.

Kararlı durum hatası, iş değişkeni ve ayarlanan değer arasındaki fark olarak bilinmektedir. İntegral etkisi, bu arada oluşan farkı sıfırlamak için kullanılmaktadır. Hatanın integrali ile orantılı olarak kontrolör çıkışını değiştirmektedir. Sabit olarak gelen hata, integral çıkışında değişim oluşturur. Bu değişim hızı hata miktarına bağlı olarak değişir. Oransal kontrol sisteminde oluşan çıkıştaki anlık değişimlerin dengelenebilmesi için belirli bir hızda kontrol altında tutulması da gerekmektedir. Bu hız, integral etki hızı (I) olarak bilinmektedir.

Genelde integral kazancı tek başına kullanılmamaktadır. Benzer şekilde oransal kontrol sistemi de tek başına kontrol şartlarını karşılayamayabilir. Bunu engellemek için oransal ve integral kontrol sistemi birlikte kullanılabilir.

Oransal kontrol sisteminin yalnız kullanıldığı sistemlerde kalıcı durum hataları sıklıkla karşılaşılmaktadır. Kalıcı durum hatasının ortadan kaldırılması ve çıkış sinyalinde sürekli bir hedef değere yakınsama istenilmektedir.

Hedef değerlere ulaşmak için ise zayıf olarak adlandırılacak oransal kontrol denetim sinyalinin, sistemi kararsızlığa götürmeden güçlendirilmesi gerekecektir. İntegral kontrol yöntemi ile sistemin kararsızlığa gitmesi engellenebilir, kalıcı durum hataları giderilebilir ve kısa sürelerde istenen hedef değerlere ulaşılabilmesi sağlanabilir.

Hata sinyalinin integrali alınır ve oransal kontrol sistemine eklenir. Bu kontrol sistemine PI kontrol sistemi denilmektedir. Burada oransal yöntem hata sinyali ile orantılı olarak bir çıkış verir. İntegral yöntemi ise hata sinyalinin integralini alarak orantılı bir şekilde takviye çıkış sinyali vermektedir.

Yüksek integral değerlerinin olumsuz sonuçlarından birisi kontrol edilen sistemin salınım değerini artırabilir. P ve I kontrol yöntemi bir araya gelince sistemin tepki süresi artacaktır. Hızlı tepki süresini almak için oransal kazanç artırılabilir ancak sistem kararsız konuma geçecektir. Genelde integral değerinin kullanıldığı yerlerde oransal değerler azaltılmaktadır. Bu ise yine sistemin kararlı konuma geçiş zamanında kayba sebep olacaktır.

PI kontrolün sakıncalarından bir diğeri kontrol ilk başlangıcında set değerinin üzerinde ya da altında kalacak şekilde aşımalar veya düşümler yaşanması olarak bilinmektedir. Yine de uygun değişken atamalarıyla bu değerler asgari seviyede tutulabilmektedir.

PI kullanımı kontrol sistemlerinde oldukça yaygın olarak uygulanmaktadır. P ile sistemin hızı artırılmakta I ile hata miktarı düşürülebilmektedir. Eğer zaman gecikmesi istenmiyorsa, türevsel kontrol sistemi de PI kontrol sistemine katılması gerekmektedir. İntegral kontrolünün çalışması, hata sinyalinin sıfır olmasına kadar devam edeceği için kontrol sonucunda sıfır hata alınabilmektedir.

2.2.5 D (Türevsel) kontrol

Türevsel kontrol, eğer iş değişkeni hızlı bir şekilde artarsa bu değeri düşürmek amaçlı olarak çalışmaktadır. Türevsel tepki, iş değişkeninin değişim oranını katsayısıdır. Artan türevsel zamanı (Td) parametresi, hata teriminin değişimine çok güçlü bir tepki gösteren kontrol sistemine yol açmaktadır. Bu ise tüm kontrol sisteminin tepkisinin hızını artıracaktır.

En pratik kontrol sistemleri küçük türevsel zaman (Td) kullanmaktadır. Çünkü türevsel tepki, iş değişken sinyalindeki gürültüye oldukça hassastır. Eğer algılayıcı geri besleme

sinyali gürültülüyse ya da kontrol döngüsü oranı oldukça yavaşsa, türevsel tepki kontrol sistemini kararsız hale getirebilmektedir.

Türev kontrolü hata sinyalinin değişimi ile orantılı olarak kontrol sinyalini değiştirebilmektedir. Türev kontrolü, hatanın değişim hızını takip ederek hatayı tespit etmeye çalışmaktadır. Tahmin edilen bir hatayı azaltmak ve bir kontrol tepkisi vermek için bu değişim hızını kullanmaktadır.

Türev kontrolü sadece hata değişimi olduğunda çalışmaktadır. Bu yüzden türevsel kontrol sistemi genelde oransal veya oransal-integral kontrol sistemi ile kullanılmaktadır. İhtiyaç duyulan değişken kontrolüne göre oransal ya da oransal-integral kontrol sistemi yöntemi tercih edilmektedir.

Türev kontrol sistemi hiçbir zaman tek başına kullanılmamaktadır. Türev değeri hata sinyalinin değişim hızından elde edilmektedir. 90 derecelik bir hata değişiminde sonsuz bir çıkış eğimi oluşturacaktır. Bu yüzden sistem üzerinde kararsız bir kontrol sinyali oluşturacaktır.

Türev kontrolünün asıl amaçlarından biriside üst ve alt aşım değerlerini düşürmek içindir. Bunu yaparken kararlı halde biraz da olsa sapma oluşturabilmektedir.

Kısaca PID kontrol sistemi oransal, integral ve türevsel kontrol yöntemlerinin birleştirilmesi ile oluşturulduğu için 3'lü kontrolör olarak literatürde geçmektedir.

Oransal kontrol istenen değere hızlı erişilebilmesi için, integral kontrol yük değişimlerinde oransal sapmayı engellemek için, türev kontrol sistemi ise salınımı azaltarak hata sinyalini oluşmadan engellemeye yönelik çalışır. Türev kontrol sistemi, ani yük değişimlerinin olduğu yerlerde tercih edilmektedir. Kısacası PID kontrol sistemi hatanın istenen sınırlar içinde tutulamadığı yerlerde tercih edilmektedir.

PID kontrol sistemlerinde, fark sinyalinin türevi ve integrali alınmaktadır. Bu sinyal aynı zamanda oransaldan gelen hata sinyali ile de toplanmaktadır. Türevsel kontrol yöntemi

sayesinde üst ve alt aşım engellenmesiyle beraber, integral yöntemi ile kalıcı durum hatası da sıfıra çekilebilmektedir (Steinar 1992).

Türevle kontrol sistemi kullanıldığı durumlarda daha yüksek kazanç değerleri sağlanabilir. Bu sayede kontrol sistemi daha dinamik çalışabilir. Tepki süreleri azaltılıp kararlı durum hataları sıfıra indirilebilir.

2.3 PID Ayarlaması

Günümüzde PID kontrol cihazları, dijital göstergelere sahiptir. Set değerleri ve parametreleri ayarlanabilmektedir. Farklı çalışma yöntemleri seçilebilmektedir. Örneğin P kontrol, PI kontrol, PD kontrol ya da açma-kapama fonksiyonları gibi değişik şekillerde kullanılabilir. Boyutları oldukça küçültülmüş olup pano ya da makine üzerine çok rahat monte edilebilmektedir.

Bazı kontrolörlerde PID parametreleri otomatik olarak ayarlanabilmektedir. Bunun için sadece otomatik ayar seçeneğinin seçilmesi ve sistemin kısa süreli çalıştırılması yeterli olmaktadır. Akım ve voltaj olarak analog sinyaller için girişler bulunabilmektedir. Bu sayede istenen ölçüm cihazları ve algılayıcılar geri besleme elemanı olarak takılabilmektedir. Alarm özelliği olanlar, farklı haberleşme protokolünü destekleyenler, röle çıkışlı olanlar ve sıfırlama değerinin harici olarak verebilen kontrolörler olarak çok fazla çeşitlilikleri mevcuttur.

Bir kontrol sisteminden en uygun tepkiyi almak için P, I ve D kazançlarının düzenlenmesine ayar denmektedir. Ayar için tahmin ve kontrol yöntemi ya da Ziegler-Nichols yöntemleri kullanılmaktadır.

PID kontrolör kazançları deneme ve hata yöntemi ile tespit edilebilir. Öncelikle bir mühendis her bir kazanç parametresinin nasıl çalıştığını bilmelidir. Bu yöntem göreceli olarak kolay gelmektedir.

Bu metot da ilk etapta integral ve türev terimleri sıfırlanır ve oransal kazanç çıkış salınım gösterene kadar artırılabilir. Oransal kazanç artırılrsa, sistem daha hızlı olur ama sistemin kararlı halde kalmasına dikkat edilmesi gerekecektir. Önce P kazancı hızlı bir şekilde tepki verilmesi için artırılabilir, I integral kazancı ise salınımları durdurmak için artırılabilir. Aynı zamanda integral terimi son denge durumu hatasını düşürür ancak sinyal kararlı bir şekilde set değeri geçebilir (Megep 2009).

Bazı hızlı sistemlerde sinyal aşımı gerekli olmaktadır bu sayede tepki süreside çok kısa olur. İntegral terimi son denge durumu hatasını en küçük seviyede tutmak için kullanılır. Önce P ve I, hızlı kontrol sistemleri için ve minimum son denge durumu hatası için ayarlanır, sonra türev terimi ayarlanan değere en hızlı ulaşacak şekilde artırılır. Artırılan türevsel terim, sinyalde ani artışları azaltır ve kararlılığı artırır ancak gürültülere daha hassas olacaktır.

Ziegler-Nichols metodu diğer bir PID kontrolör ayar yöntemi olarak kullanılan popüler bir yöntemdir. Bu yöntem deneme ve yanılma yöntemine benzer bir yöntemdir. Burada I ve D sıfır olarak ayarlanır ve P, sistem salınım yapana kadar artırılır. Salınım başlayınca kritik olarak adlandırılabilcek olan P kazancı K_c ve salınım periyodu P_c , not alınır. P, I ve D çizelge 2.1' deki gibi ayarlanır.

Çizelge 2.1 Salınım metodu kullanılarak Ziegler-Nichols ayar tablosu

KONTROL	SONUÇ
P	P kazanç
PI	PI kazancı
PID	PID kazancı

Bu yöntemle beraber, analog veya dijital olarak kullanılan PID kontrolörlerin ayarlanmasında kazançların artırılıp azaltılmasıyla sistemin tepkisi incelenmelidir. Her bir kazancın sisteme farklı bir etkisi olacağı için ayarlanma sırasında sistem tepki grafikleri incelenmelidir.

Örneğin oransal kontrolü, yükseliş zamanını azaltırken kalıcı hatayı ortadan kaldıramaz. İntegral kontrolü, kalıcı hatayı ortadan kaldırırken salınım gibi anlık ve kalıcı olmayan etkileri bozabilir. Türev kontrolü, sistemin kararlılığını artırdığı gibi hedef değer aşımını azaltır, geçici ve anlık tepkilerin etkisini düşürür. Çizelge 2.2’de ki gibi kapalı döngü sistemlerinde dört etkili parametre vardır. Yükselme zamanı olarak adlandırılan parametre, sisteme enerji verildikten sonra set değerinin %90’ına ulaşana kadar geçen süreyi göstermektedir. Aşım, hedef değerdeki sapmayı ifade etmektedir. Oturma zamanı, hedef değerine yakın ve kabul edilebilir bir sürede sinyalin kararlı olmasını göstermektedir. Oturma zamanının daima hızlı olması istenir. Kalıcı durum hatası, çıkış sinyalinin belli bir değerde sabit durması ve o şekilde devamlı olarak kalmasını ifade etmektedir. Ayrıntılı açıklamaları çizelge 2.2 üzerinde verilmektedir.

Çizelge 2.2 PID parametrelerinin sistem üzerindeki etkileri (Megep 2009)

Kontrol	Kazanç	Yükselme zamanı	Aşım	Oturma zamanı	Kalıcı durum hatası
P	K_p	Azaltır	Artırır	Az etkili artırır	Azaltır
I	K_i	Etkisi Az	Artırır	Artırır	Kaldırır
D	K_d	Düşük etkili azaltır	Artırır	Azaltır	Az etkiler

Kapalı çevrimdeki bir sistemin kararlı çalışabilmesi için yukarıda bahsedilen K_p , K_i ve K_d parametrelerinin düzgün ayarlanması gerekmektedir. PID parametreleri deneme yanılma yöntemi ile ayarlanabildiği gibi değişik matematiksel yöntemlerle de ayarlanabilmektedir. Örneğin, yukarıda bahsedilen Ziegler-Nichols yöntemi ya da öz uyarlamalı teknikler gibi yöntemler kullanılabilir.

DeneySEL uygulama yapılarak PID parametreleri ayarlanması istenirse aşağıdaki yöntemler kullanılabilir.

İlk olarak K_p kazancı ayarlanır, Diğer kazanç değerleri sıfırlanarak K_p değeri yavaş yavaş artırılır. Hedefe en yakın çıkışa yaklaşıncaya kadar artırılmaya devam edilir. K_p değeri sabit tutularak K_d değeri fazla aşım kabul edilebilir bir seviyeye ulaşana kadar artırılır. Aşım

miktarı yükte oynamalar yapılarak kontrol edilebilir. Bu sayede küçük yük değişimlerinde kontrolsüz bir şekilde çalışma engellenmiş olur.

Örneğin, bir sistemde kontrol edilen değişkenin üzerinde dışarıdan etkilerle sistem çalışma şartları değiştirilebilir. Sıcaklığın yükseltilmesi, nemin düşürülmesi, motorun dönmesinin engellenmeye çalışılması, seviyenin ani iniş çıkışlarla değiştirilmesi gibi bozucu etkiler uygulanmalıdır.

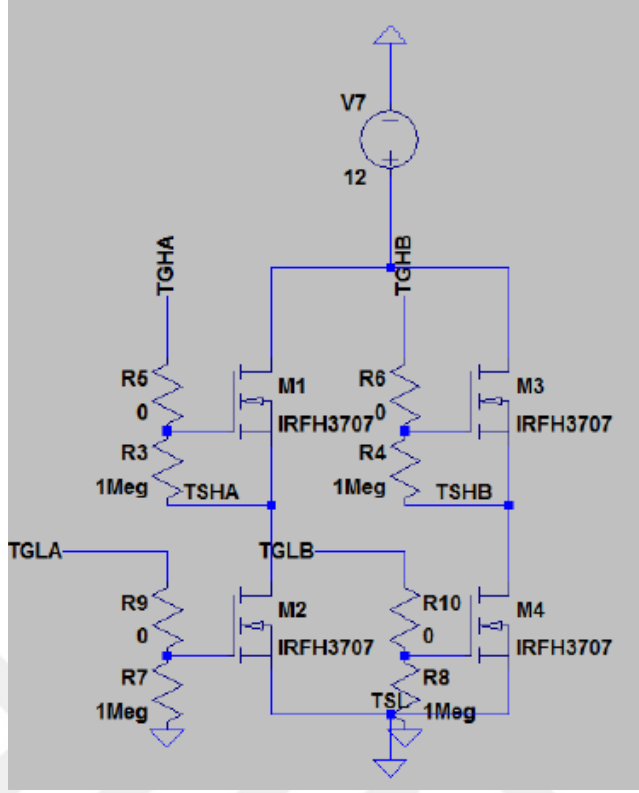
Bu şartlarda kalıcı durumdaki değerler kontrol edilir. Minimum salınım elde edildiğinde Kd değeri ile ayarlanma işlemi bitirilir. Bu ayarlamalar yapıldıktan sonra kalıcı durumda oluşan hatayı sıfırlamak için Ki değeri artırılır. Kalıcı durum hatası sıfırlanınca ayar işlemi sonlandırılır (Megep 2009).

2.4 H Köprüsü

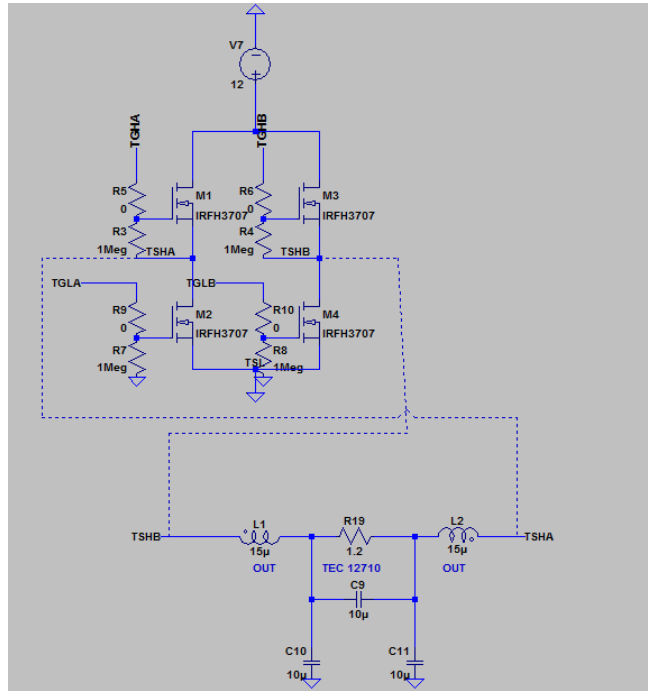
H Köprü devresi genellikle elektrik motorlarının hız ve yönünü kontrol etmek için kullanılan elektronik güç devresidir. Genellikle DC motorlarda bolca kullanım alanları vardır. Bu güç devresinin amacı kullanılan güç elektroniği elemanları sayesinde motorun doğru yönde dönmesini sağlayacak doğru miktarda akıma geçiş sağlamaktır.

Kullanılan güç elektroniği elemanı ise MOSFET olarak bilinen alan etkili transistörlerdir. Motor ya da herhangi uygun bir eyleyici sürmek için H köprüyle beraber PWM kontrol sinyalleri kullanılmaktadır. Bu sayede hız-yön kontrolü PWM sinyalleri ile yönetilebilmektedir (Alter 2003).

Şekil 2.8 ve Şekil 2.9 'da MOSFED ile oluşturulmuş olan H köprüsü ve Peltier ile olan bağlantısı ayrıntılı bir biçimde gösterilmiştir.



Şekil 2.8 H köprüsü devre tasarımı



Şekil 2.9 H köprüsünün peltier soğutma elemanı bağlanmış şekli

2.5 Kapı sürücüsü

Bu tezde yüksek hızlı, yüksek voltaj yüksek kenarlı kapı sürücüsü kullanılmaktadır (Şekil 2.10). Bu elemanı seçmemizin sebebi hızlı ve kararlı çıkışları verebilmesi ve aynı zamanda PWM üreticinin frekansını takip edebilecek hızda açma kapama süresine sahip olmasından dolayıdır.

Burada Vcc, BOOST ve TS voltajı 12Vdc olarak belirlenmiştir. Giriş voltajımız PWM üreticinin çıkış voltajı olarak, maksimum TG çıkış akımı 4 Amper olarak belirlenmiştir (Şekil 2.11).

Pin 1, Vcc, Çip beslemesi olarak,

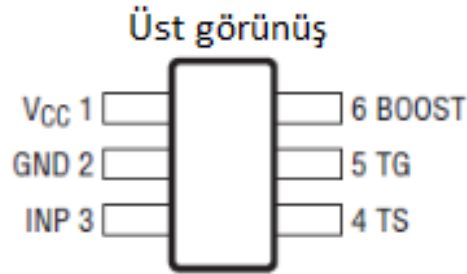
Pin 2, GND, Çip toprağı olarak,

Pin 3, INP, Çipe giriş voltajı olarak,

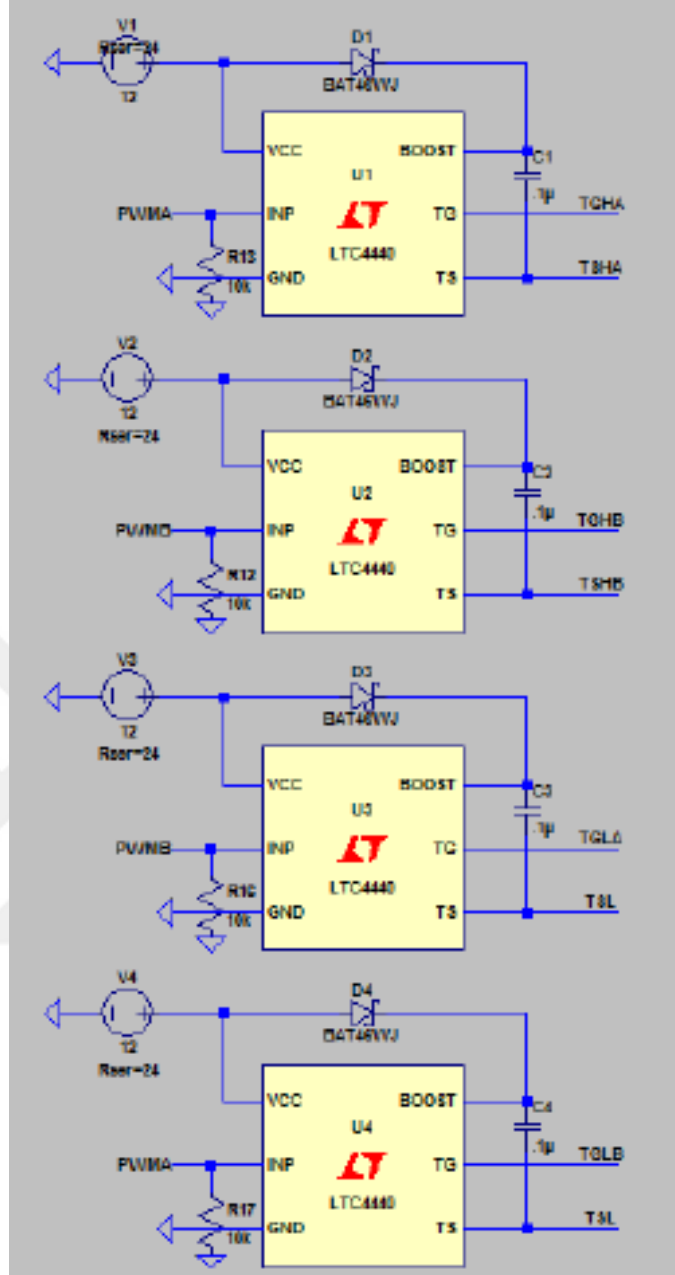
Pin 4, TS (Üst besleme), yüksek kenar beslemesi olarak,

Pin 5, TG (Üst kapı), yüksek kenar kapı sürücü çıkışı olarak,

Pin 6, BOOST (Yüksek kenar), beslemesi olarak kullanılmaktadır.



Şekil 2.10 Kapı sürücü tümleşik devresi bağlantı şeması (LTC 2010)



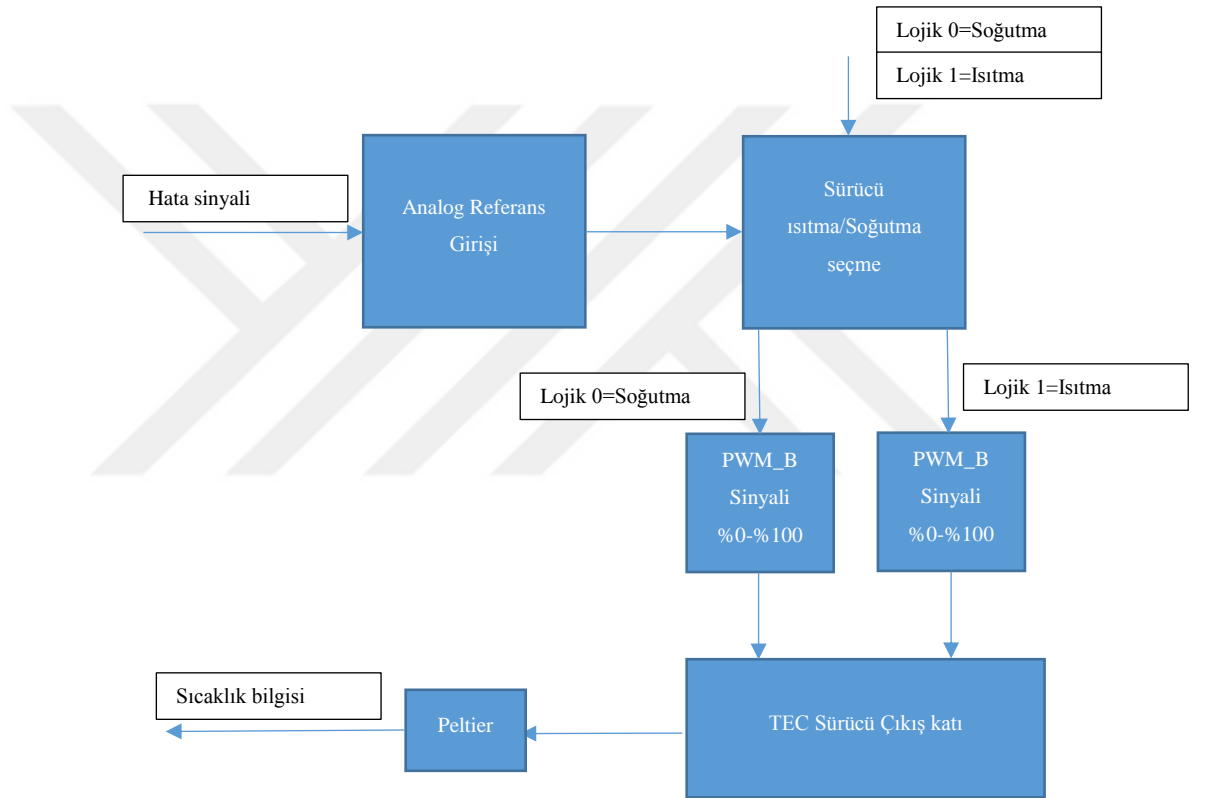
Şekil 2.13 Kapı sürücü blok çizimi

Benzetim programında kapı sürücü devresi tasarlanmış olup, giriş çıkış sinyalleri ve blok şemalar gösterilmiştir. Bu çalışma için yazılımın hazır işlev blokları kullanılabilmekte ve istenen değişkenlerle belirlenen çıkışlar alınabilmektedir (Şekil 2.13). Bu sayede devre gerçekleştirilmeden önce sistem çalışma şartları oluşturulabilmektedir.

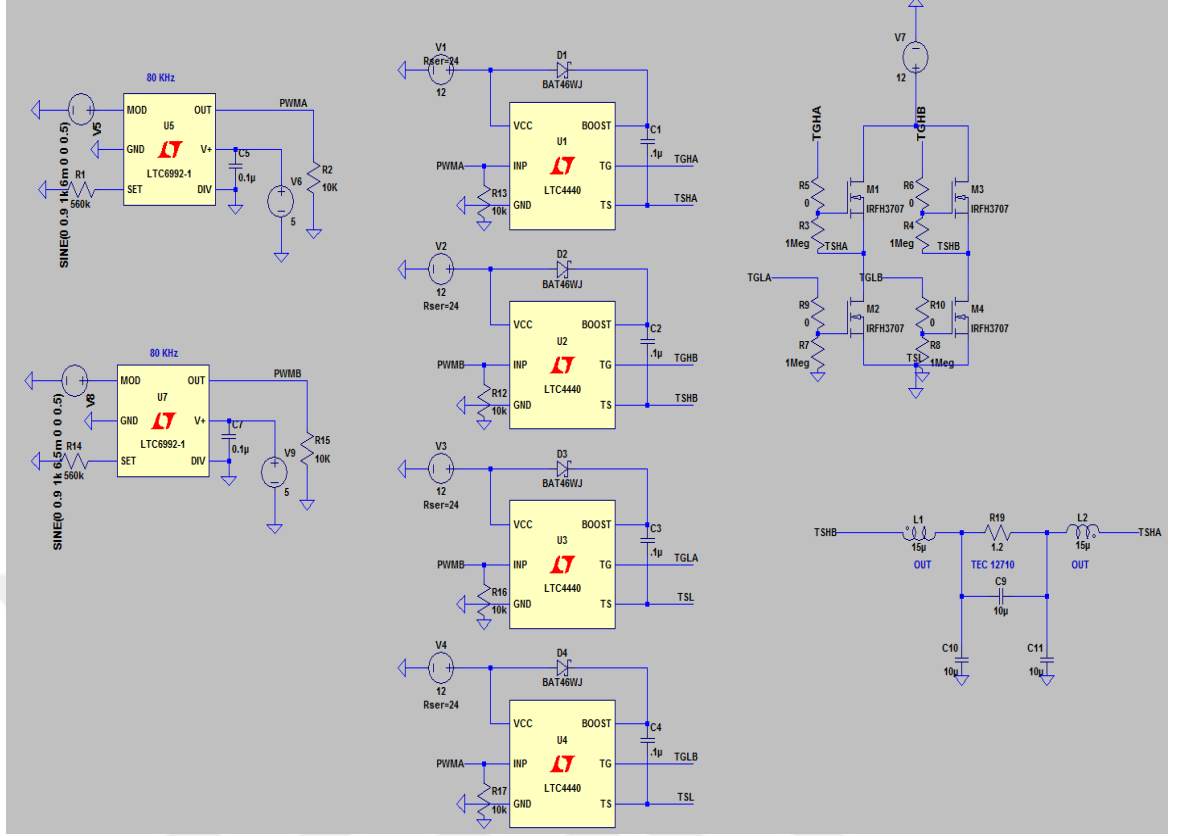
3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1 Deneysel kurulum

Termoelektrik sürücü devre tasarımını gerçekleştirmeden önce blok şemalar üzerinde sistem tasarımı yapılmıştır. Bu tasarımı gerçekleştirmek için kullanılabilir olan farklı işlevleri olan programlar kullanılabilir. Tasarımı yapılan TES sürücü devre sistemi Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Peltier ile TES sürücü devresi gerçekleştirilmesi



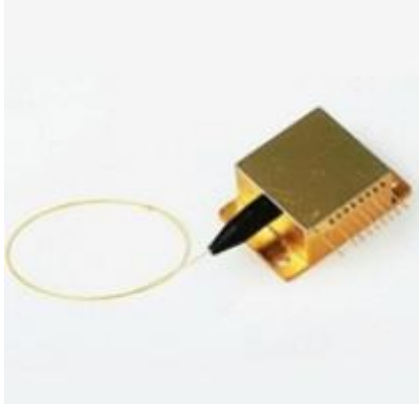
Şekil 3.2 Devre elemanlarının ve bağlantı uçlarının tasarımsal olarak gösterimi

Genel tasarımı yapılmış olan sistemin içinde yer alan sürücü devresi tasarımı şekil 3.2’de gösterilmiştir. Sürücü tasarımında kullanılan elektronik elemanların birbirleri ile olan ilişkileri de verilmiştir.

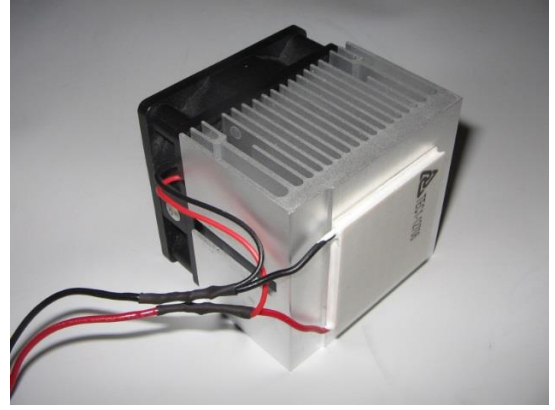
3.2 Blok şemada kullanılan elemanların açıklamaları

3.2.1 Sıcaklık kontrolü yapılabilecek cihazlar

Şekil 3.1’de verilen blok şemada sıcaklık ölçülerek sürücü devresine belirlenen komut sinyali verilebilmektedir. Peltier’in montaj yapıldığı plakanın sıcaklığı bir ısıölçer vasıtası ile ölçülerek sistemimizin verdiği tepki gözlenmiş oldu. Bu sayede, blok diyagramda verilen çözüm, herhangi bir sıcaklık kontrolü istenen sistemde kullanılabilir (Şekil 3.3 ve 3.4).



Şekil 3.3 Lazer diyot (lumentum)

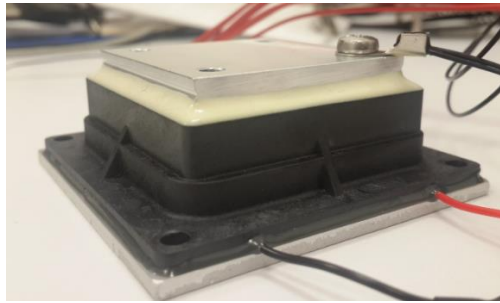


Şekil 3.4 Soğutma plakası ve fan (lumentum)

3.2.2 Peltier elemanı

Peltier bileşenine DC voltaj uygulanırsa yarıiletkenlerdeki pozitif ve negatif yükler bir taraftaki tabakadan diğer taraftaki tabakaya ısıyı emerek taşır. Isının alındığı tabaka soğuyarak ortam ısısı düşürülebilir (Şekil 3.6). Peltier'e uygulanan akım yönü değiştirilirse pozitif ve negatif yükler ters istikamete hareket eder ve bu sayede ısı transfer yönü de değiştirilmiş olur. Yani bu sefer ısınan taraf soğur soğuyan taraf ısınmış olur.

Bu tezde kullanılan peltier, hem ısıtma hem soğutma özelliğine sahip su geçirmez bir yapıya sahiptir (Şekil 3.5). Besleme akımı azami 6 amper voltajı ise 12 Vdc olarak tercih edilmiştir. Dolayısı ile 72 wattlık bir elektriksel güce sahiptir. Peltierler genelde soğutma ya da nem alma amaçlı kullanıldığı için soğutma için ne kadar ısı transferi yapılması gerektiği hesaplanmalı ve ona göre peltier bileşeni seçilmelidir (CUI inc 2016).



Şekil 3.5 Peltier soğutma-ısıtma elemanı



Şekil 3.6 Peltier elemanı çalışma mantığı (Bulut 2005)

3.2.3 Isıölçer

Sıcaklık ölçümü için 10k NTC kullanılabilir. Burada 10k, ısıölçerin 25 santigrad derecedeki direnç değeridir. Isıölçer dokümanı direnç tablosunda R_t/R_{25} olarak verilmiştir. Bunun anlamı, 25 santigrad sıcaklık için NTC direnci $R_t = 10k$, R_{25} değeri sabit olup her zaman 10k'dır böylece tabloda yer alan R_t/R_{25} oranı 25 santigrad sıcaklık için 1 olacaktır (TDK 2013).



Şekil 3.7 Isıölçer (TDK 2013)

Bu projede ısıölçerin çok hassas sonuç vermesi ve sıcaklık değişimine anlık ve yüksek hassasiyette tepki vermesi için bir çalışma yapılmamıştır. Asıl önemli olan sıcaklık değişimini hassas olmayacak bir şekilde de olsa okunması ve bu değerlerin kontrolcüye iletilmesini sağlamaktır (Şekil 3.7). Dolayısı ile teknik özelliklerde ısıölçerin hassasiyeti

ve kararlılığının ne olduğu ikinci planda bırakılmıştır. Ayarladığımız sıcaklık değeri ile ölçtüğümüz sıcaklık değerinin birbirine ne kadar yakın olduğunun, kontrol algoritmamızın ne kadar hassas çalıştığının ve elde edilen sonucun ne kadar amaca hizmet ettiğinin belirlenmesi için bu çalışma yapılmıştır.

Isıölçerin kararlılığı ve kapalı devredeki yaptığı ölçümün matematiksel modeli de kullanılabilir. Steinhart-Hart modeli ısıölçerin matematiksel modeli kullanılabilir.

$$R(T) = e^{(A+\frac{B}{T})} \quad (3.1)$$

Burada ;

R(t): Sıcaklığa bağlı bir işlevi olarak elektriksel direnç (ohm)

T: Sıcaklık (Kelvin ya da derece olarak alınabilir)

A: Kayma sabiti In (ohm)

B: Eğim katsayısı In (ohm)

olarak ifade edilmektedir.

Bu tezde, sıcaklık-direnç eğrisindeki istediğimiz sıcaklığa göre ısıölçerin direnci belirlenir. Örneğin: belirli dereceler için ısıölçerin ulaşacağı direnç ohm olarak belirlenebilir. Bu değerler tamamen bizim tasarımımıza göre sistemimizde tanımlanabilmektedir. Örnek verilen değerlere göre A ve B katsayıları hesaplanabilir. Ekteki ısıölçer özellikler tablosunda ayrıntılı olarak değişimler görülebilir (TDK 2013).

3.2.4 NTC ısıölçer voltaj oluşturma devresi

Devre gerçekleştirilmesinde kullanılan ısıölçer peltier üzerine tutturulmuştur. Oluşturulan devre ısıölçerdeki direnç değişimlerini voltaja çevirmektedir. Farklı yöntemlerde kullanılarak direnç değeri voltaja dönüştürülebilmektedir. En yaygın kullanılan yöntem wheatson köprüsünde dörtlü direncin bir tanesini kullanmaktır.

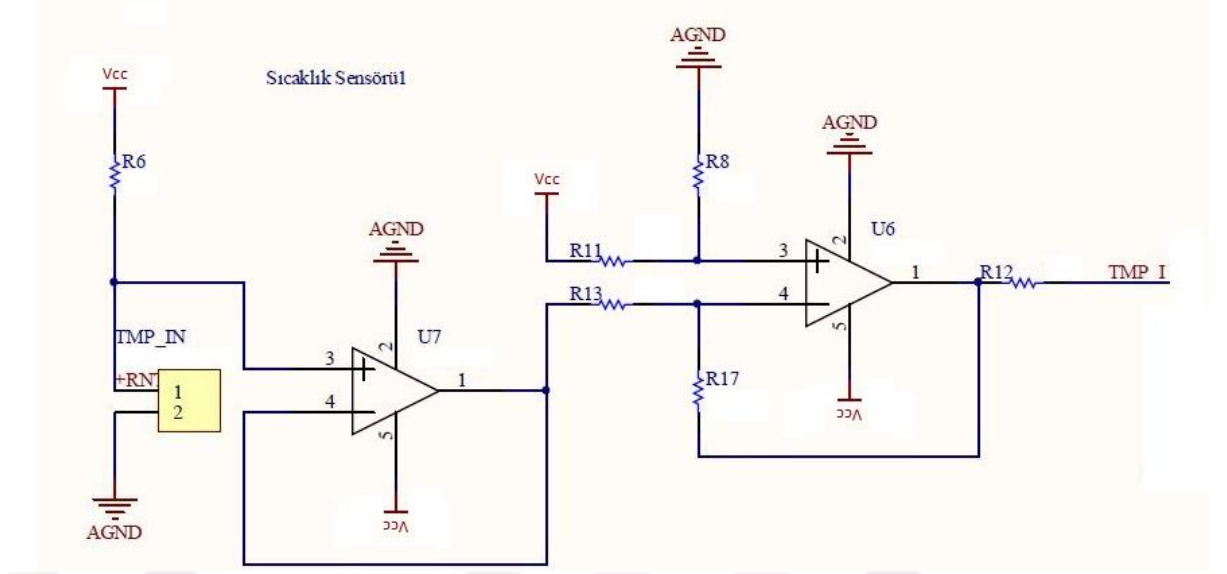
Köprü devre çıkışı ise ADC tarafından okunabilecek olan yükselticiye girmektedir. Çıkış voltajı, ısıölçer direnç değişim ile doğru orantılı olarak değişmektedir. Bu yöntem hem

kolay bir yol sunmaktadır hem de aktif bir eleman ihtiyacı olmamaktadır. Ancak kullanılan elemanların yani köprüyü oluşturan dirençlerin özelliğine bağlı olarak ölçüm hassasiyeti değişecektir.

Ölçüm hassasiyetini etkileyen diğer bir faktörde sinyal güçlendiren yükseltici kazancının direnç değeridir. Diğer bir yöntem ise sabit bir sabit akımın kaynağı ile ısıölçerin beslenmesidir. Dolayısı ile ısıölçer direnci sayesinde ohm kanununa göre bir voltaj oluşacaktır.

Bu yöntem birincisine göre daha karışık olmakla beraber kullanılan elemanlardan bağımsız daha hassas ölçüm sonucu vermektedir. Wheatson köprüsü kullanılarak belli bir direnci olan ısıölçere seri bağlanır. Yapılan ölçümde seri bağlantı boyunca sabit bir voltaj uygulanır. Termistor direnci, üzerinde biriken voltaj direnci ile doğru orantılı olarak değişecektir. Her iki durumda da yükseltici düzenlenmiş sinyali oluşturur ve ADC'ye beslenecek voltaj kazancını da belirler.

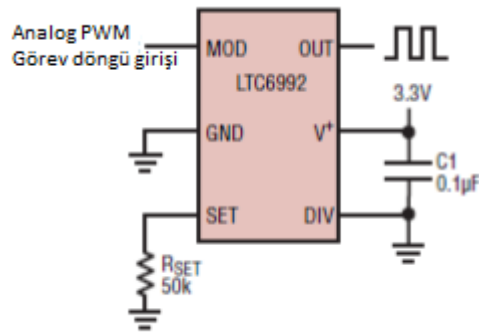
Bizim devremizde ise sıcaklık ölçümü için wheatson köprüsü veya akım kaynağı ile voltaj farkı oluşturma tekniği kullanılmamaktadır. Kendi diferansiyel gerilim ölçme tekniğimizi kullanıyoruz ve bu şekilde NTC direnci üzerindeki gerilim değerini okuyoruz. Bu gerilim değerine göre de bir takım matematiksel işlemler sonucunda o anki NTC direncini hesaplıyoruz. Sıcaklık ölçüm devresi Şekil 3.8'de gösterilmiştir.



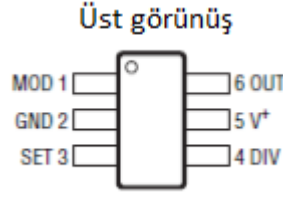
Şekil 3.8 Sıcaklık ölçüm devre şeması

3.2.5 PWM üretici

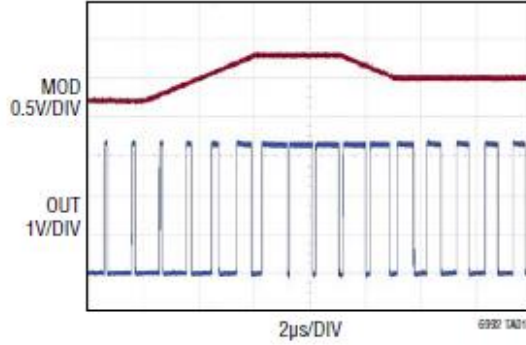
PWM üreticiden faydalanarak anahtarlama yöntemiyle sayısal analog sinyal oluşturulabilmektedir. Bu tezde kullanılan PWM üretici devresi şekil 3.9’da gösterilmektedir. Giriş ve çıkışlar, kullanılan sinyaller ve hangi girişe hangi sinyalin verileceği şekil 3.10’de verilmiştir.



Şekil 3.9 PWM üretici (Linear technology corporation 2010)



Şekil 3.10 Tercih edilen PWM tümleşik şeması (Linear technology corporation 2010)



Şekil 3.11 PWM üretici çalışma şekli (Linear technology corporation 2010)

Besleme voltajı (V+) olarak pin5 kullanılır. 2.25 volttan 5.5 volta kadar bir kaynak seçilebilir. Bu besleme kaynağı gürültü ve parazitlerden arındırılmış olması gerekmektedir. Bunu başarmak için genelde besleme voltajı ile GND arasına 0.1 μF kondansatör kullanılmaktadır.

Programlanabilir ayırıcı ve kutup girişi olarak Pin4 kullanılır. DIV ayak voltajı LTC6992 içinde 4 bitliğe (DIVCODE) çevrilir (4 veya 16 olarak ayarlanabilir). VDIV voltajı V+ ve GND arasında bir direnç kullanarak da üretilebilir. Giriş3, frekans ayar girişi olarak kullanılır. Ayar girişindeki besleme 1Volt' a sabitlenebilir.

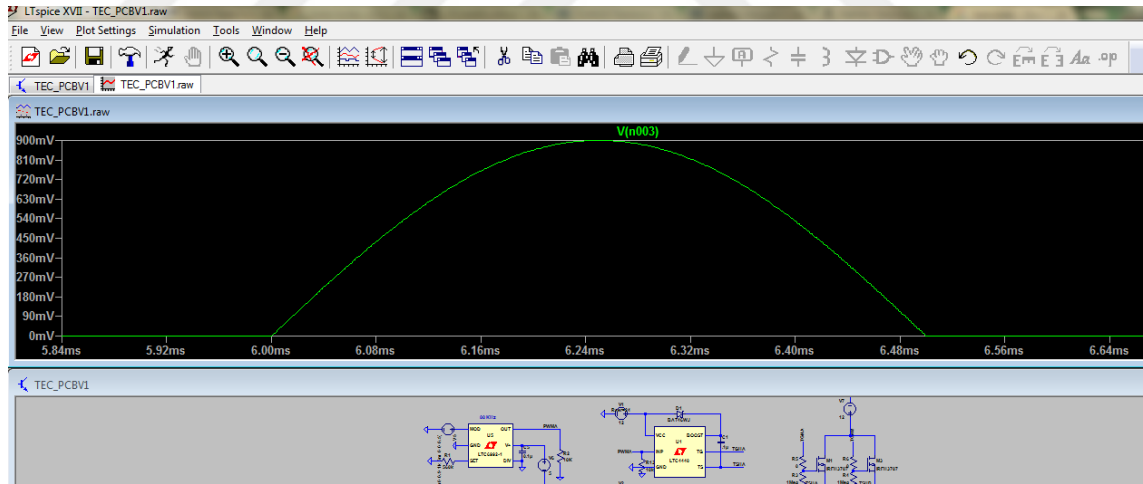
Ayar girişindeki akım miktarı, ana salınım frekansını belirler. Iset değeri 1.25 μA 'den 20 μA 'e kadar değiştirilebilir. Eğer Iset değeri 500nA'in altına düşerse çıkış salınımı duracaktır.

Frekans ayarı için en iyi yol SET ve GND girişleri arasına bir direnç bağlanmasıdır. Birinci ayak MOD girişi olarak kullanılmaktadır. Mod girişlerindeki voltaj değeri çıkış

görev frekansını kontrol eder. Doğrusal olarak kontrol edilen oran $0.1 \times V_{set}$ ve $0.9 \times V_{set}$ arasındaki değerlerdir. Bu ise yaklaşık olarak 100mV ile 900mV'a denk gelmektedir. Bu değerlerin üzerinde ya da altındaki durumlarda salınım ya duracaktır ya da 100% olacaktır yani salınım her iki durumda da olmayacaktır.

GND, 2.nci ayak olarak kullanılmaktadır. OUT olarak pin6 kullanılmaktadır. Bu çıkış ise salınım çıkışı olarak bilinmektedir. Çıkışımıza 10 kohm değerinde bir direnç bağlayarak salınımı sağlayabiliriz.

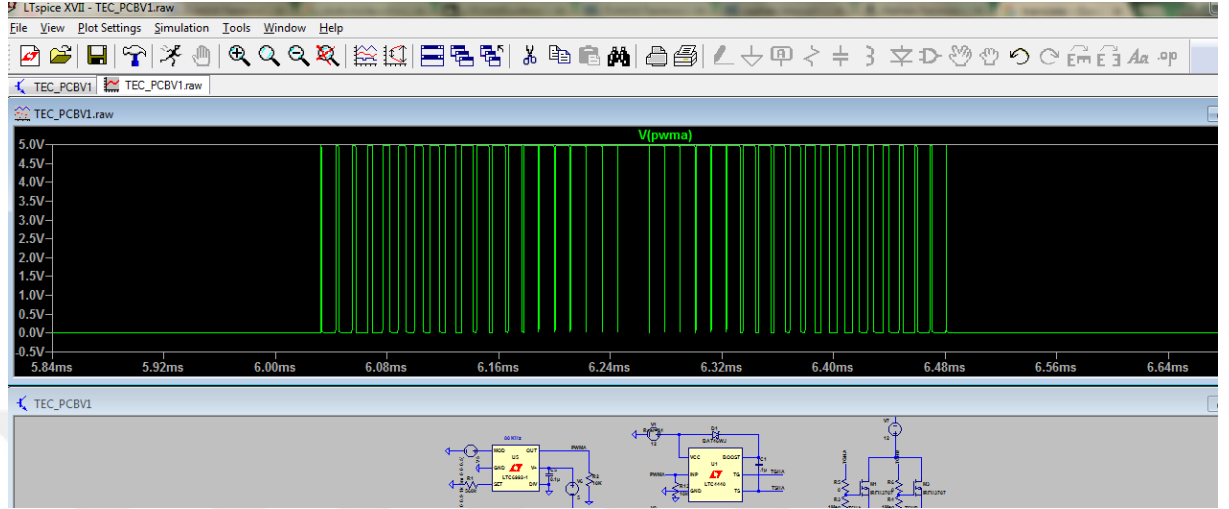
Görev döngüsü, MOD bacağındaki voltaj miktarı ile belirlenmektedir. Çıkış yüküne göre direnç değeri de çıkış akımını sınırlamak için değiştirilebilir. (Örneğin düşük empedaslı bir yük için direnç değeri çıkışı 20mA'e sınırlayacak şekilde seçilebilir). Bizim devremizde yük direnci kullanılmasının sebebi PWM çıkışı eğer 0 (sıfır) olursa ve herhangi bir yük direnci bağlamazsak, kapı sürücü girişinde darbe, sıfır olarak algılanacak ve kapı sürücüsü kararsız bir çalışma sergileyecektir.



Şekil 3.12 PWM üretici giriş voltajı

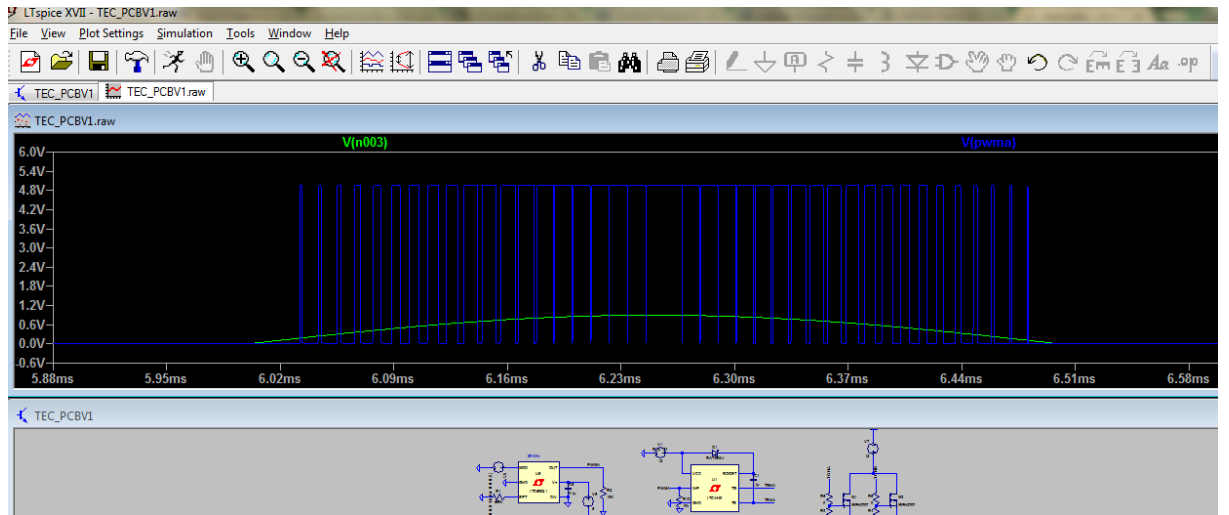
Tam tersi olarak PWM çıkışı maksimum olursa kapı sürücü giriş katında sürekli maksimum olarak algılayacak eğer ki sinyal maksimumdan minimuma düşerse kapı sürücü çıkışını minimuma çekemeyebilir. Bu sorunları engellemek için salınım çıkışına 10k'lık bir direnç bağlamamız gerekiyor. Bu sayede girişteki voltaj sıfır olursa direnç

üzerinden toprağa bağlantı olacağı için kapı sürücü elemanı girişi boş olarak değil 0 (sıfır) volt olarak okuyabilecektir (Şekil 3.12).



Şekil 3.13 PWM üretici çıkış sinyali

Aynı şekilde salınım çıkışı maksimum olunca sinyal yine minimuma (sıfır) düşme durumunda kapı sürücü giriş sinyalinin sıfıra düştüğünü okuyabilecek ve çıkışını da girişle aynı fazda kontrol edebilecektir (Şekil 3.13).



Şekil 3.14 Giriş ve çıkış sinyallerinin eş zamanlı gösterimi

PWM çıkış katında direnç kullanılmasının bir diğer avantajı da darbe azami çıkışlarında ve asgari (sıfıra) inişlerinde sinyalin fazla çıkmasını ya da düşmesini engelleyici etkisi de vardır (Şekil 3.14). O yüzden PWM çıkış katı ile kapı sürücü girişi arasında Rset direnci kullanılmasının avantajları görülmüştür (Linear technology corporation 2010).

Rset direnci hesaplama formülü 3.2' de verilmiştir.

$$R_{set} = \frac{1MHz*50k}{N_{div}*f_{out}} \quad (3.2)$$

3.2.6 PWM (Darbe genişliği düzenlemesi) gerçekleştirilmesi

Görev döngüsü aşağıdaki denklemdeki gibi yazılabilmektedir. Görev döngüsü MOD girişine uygulanan voltajla doğru orantılı olarak değişmektedir. Yani görev döngüsünü MO girişine uygulanan voltaj ile kontrol edilebilmektedir.

$$Görev\ döngüsü = D = \frac{V_{mod}}{0.8*V_{set}} - \frac{1}{8} \quad (3.3)$$

Burada Vset = 1 volt ±30mV olduğu için görev döngüsü formülü aşağıdaki gibi yaklaşık olarak kabul edilebilmektedir.

$$Görev\ döngüsü = D = \frac{V_{mod}-100mV}{800mV} \quad (3.4)$$

Vmod voltajı yaklaşık olarak 0.1 ile 0.9 volt arasında değişmektedir (Linear technology corporation 2010).

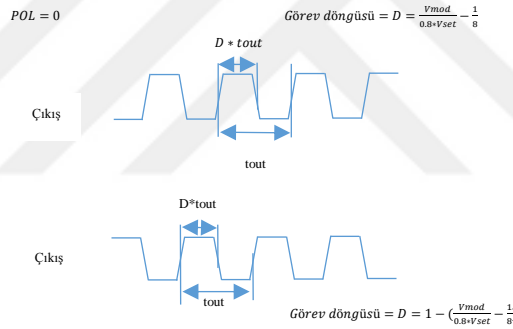
3.2.7 Görev döngüsü limiti

Devremizde kullandığımız salınım kaynağının görev döngü limitleri, 0% ile 100% arasında değişebilmektedir. 0% veya 100% Vmod girişinde uygulanırsa, çıkışında tetiklenmiş olarak sinyali alamayız. Yani 0%'de çıkış olmayacak, 100%'de de ise çıkış sürekli olacaktır (Linear technology corporation 2010).

3.2.8 Çıkış kutbu

Görev döngü denklemi oransal bir taşıma işlevi gibi davranır. Burada Vmod arttıkça, görev döngüsü de artmaktadır. Çıkış kutup biti çıkış sinyalini tersine çevirebilmektedir. Yani görev döngüsü kazancı negatif olur burada da Vmod artarken görev döngüsünü negatif yapabilmektedir.

PWM taşıma işlevi şekil 3.15’da gösterilmiştir. Yani PWM 0 ile 100 arası çalışmak yerine giriş voltajı artarken 100’den 0’a düşürülmesi isteniyorsa kutup biti ayarlanır (Şekil 3.20). Tezdeki uygulamamızda Vmod ile doğru orantılı olarak PWM oluşturacağız o yüzden kutuplama biti bizim uygulamamızda 0 (sıfır) olarak seçilmiştir (Linear technology corporation 2010).



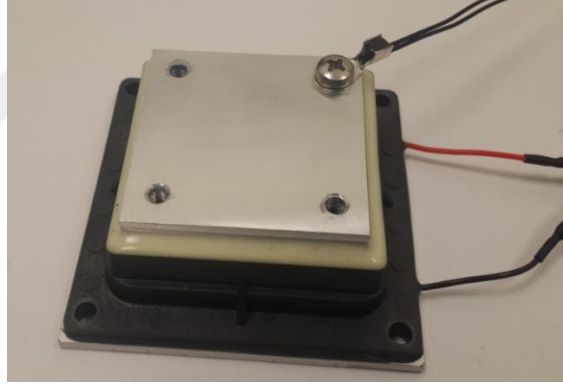
Şekil 3.15 PWM kutup seçimine göre çıkış biçimi (LTC 2010).

3.3 TES sürücü devre gerçekleştirilmesi

Sürücü devreleri yapı itibariyle devre elemanlarının fiyatlarının düşmesi, basit ve uygun fiyatlı olmalarından dolayı sahada çok sık kullanılmaktadır. Sürücüler, kontrolörden gelen emirleri uyguladıkları için tek başlarına çalışan sistemler olarak kullanılamazlar. Akıllı olarak adlandırılabilir sürücülerde programlama yapılabildiği için uygun sistemlerde kontrolör ve sürücü aynı kasa içinde olabilmektedir.

Analog sürücüler, analog devre elemanları ve uygulanan karmaşık kontrol şemaları gibi dezavantajlara sahiptir. Yarıiletken teknolojilerindeki ilerlemelerle beraber sürücü devreleri daha da küçülmüş olup daha hızlı tepki verebilen ekonomik ve ayarlanabilir sürücüler üretilmiştir. Mikroişlemcilerle birlikte sürücülerin yapabilirliği ve kullanım alanları da artmış bulunmaktadır.

Bu tezde gerçekleştirilen tasarım sonucu olarak elektronik bileşen PCB üzerine baskı devre olarak gerçekleştirilmiş olup peltierli deney düzeneği şeklinde sistem oluşturulmuştur (Şekil 3.16). Burada peltier üzerindeki plakaya ısıölçer yerleştirilerek kapalı döngü sürücü sistemi elde edilmiştir. Aynı şekilde kontrol devremiz NI ve Labview programı vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen kontrol sistemimiz üzerinden ayar değerleri girilebilmiş, peltierin plakasının sıcaklık kontrolünün kararlı bir şekilde yapılması sağlanmıştır.



Şekil 3.16 Peltier ve NTC ısıölçer yerleştirilmesi

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

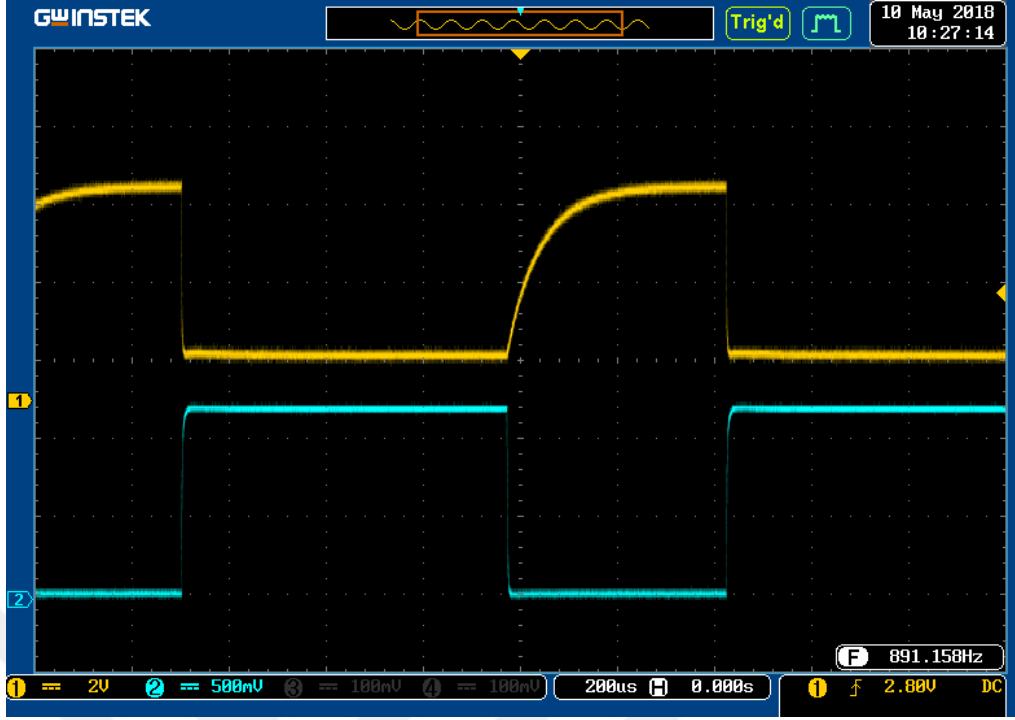
Devre gerçekleştirilmesi sonrası alınan osiloskop ölçümleri aşağıdaki şekillerde sırasıyla verilmiştir. Burada sürücü devresine uygulanan işaretçi sinyalin sürücü çıkışına olan karşılaştırması görülmektedir. Sürücü devresine verilebilecek olan analog sinyal değişiminin farklı PWM değerlerindeki çıkışları olarakda yorumlanabilir. Sürücüye verilen farklı genlikteki ve değerdeki giriş sinyallerine göre alınan çıkışların görülmektedir (Şekil 4.1).

Bu çalışma sonunda sürücü devremizin giriş sinyallerine olan tepkisi ölçülebilmüş olup dışarıdan bir kontrol sistemi ile beraber kullanılarak laboratuvar ortamında denemeleri yapılmıştır.

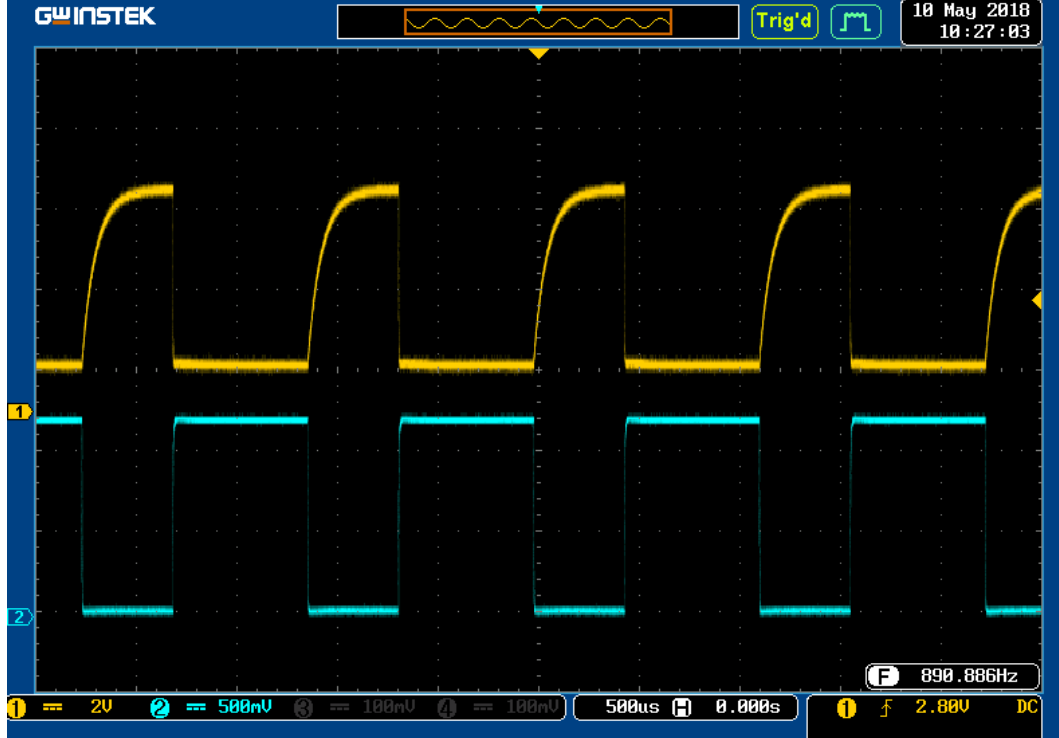
Günümüz peltier uygulamalarında bu tarz sürücü sistemleri özellikleri, istenen soğutma-ısıtma gücüne göre seçilebilir ve uygulaması yapılabilir.

Yapılan denemelerde iki yönlü uygulanan akım sayesinde peltier termoelektrik soğutucu ısısı yükseltip azaltılabilmektedir. Bu çalışmada herhangi bir ortamın ısı kontrolünü yapabilmek için tasarlanan sistemin çalışabilirliği görülmüş olup giriş ve çıkışların uyumlu olduğu, dış ortamdan gelebilecek olan bozucu etkenlere karşı verebildiği anlık tepki izlenmiştir.

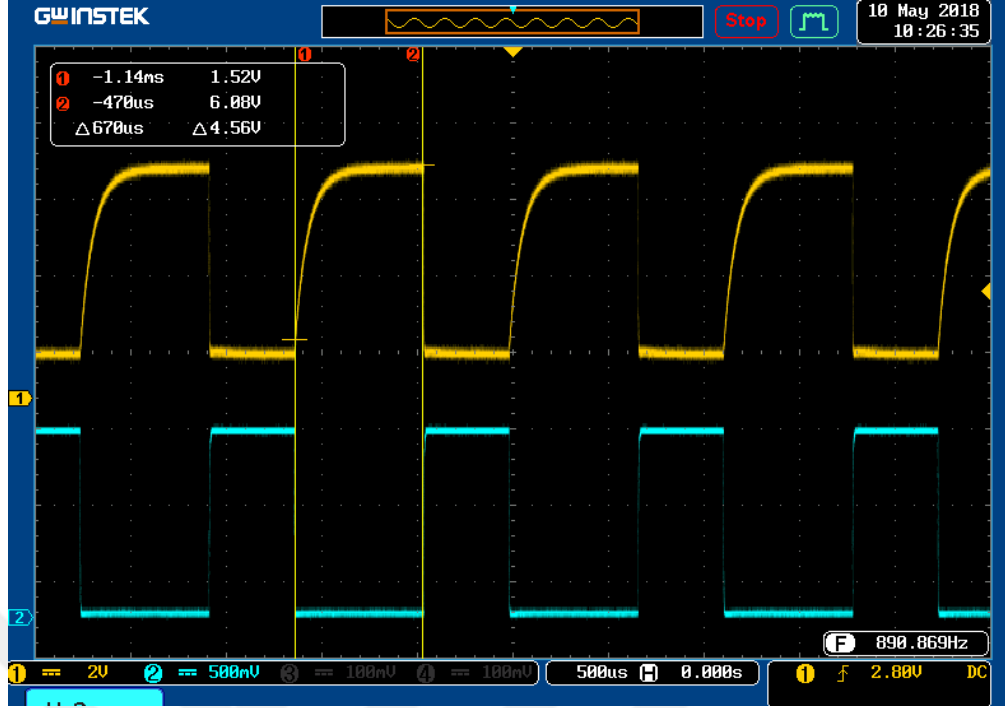
Şekil 4.1'den şekil 4.10'a kadar alınan ölçümlerde mavi ile gösterilen giriş darbesi sarı ile gösterilenler ise çıkış voltajı olarak ölçülmüştür. Bu şekillere göre giriş ve çıkış aynı anda ölçülüp devre sinyal çıkışı karşılaştırması yapılabilmektedir.



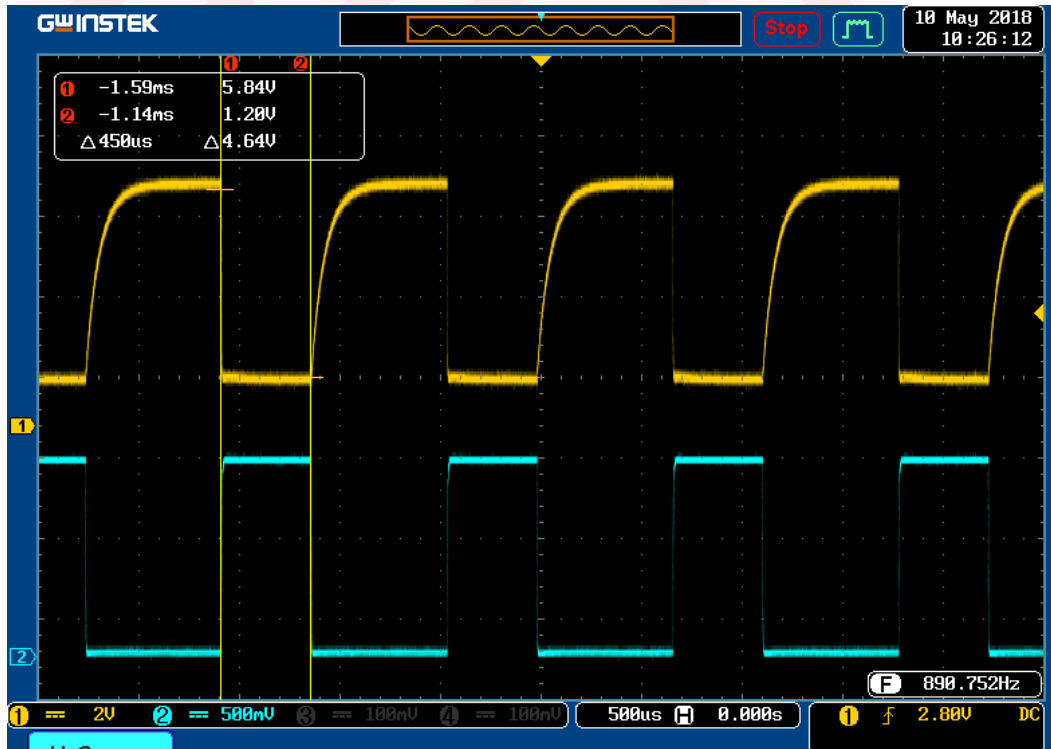
Şekil 4.1 TES sürücü giriş-çıkış ölçümleri



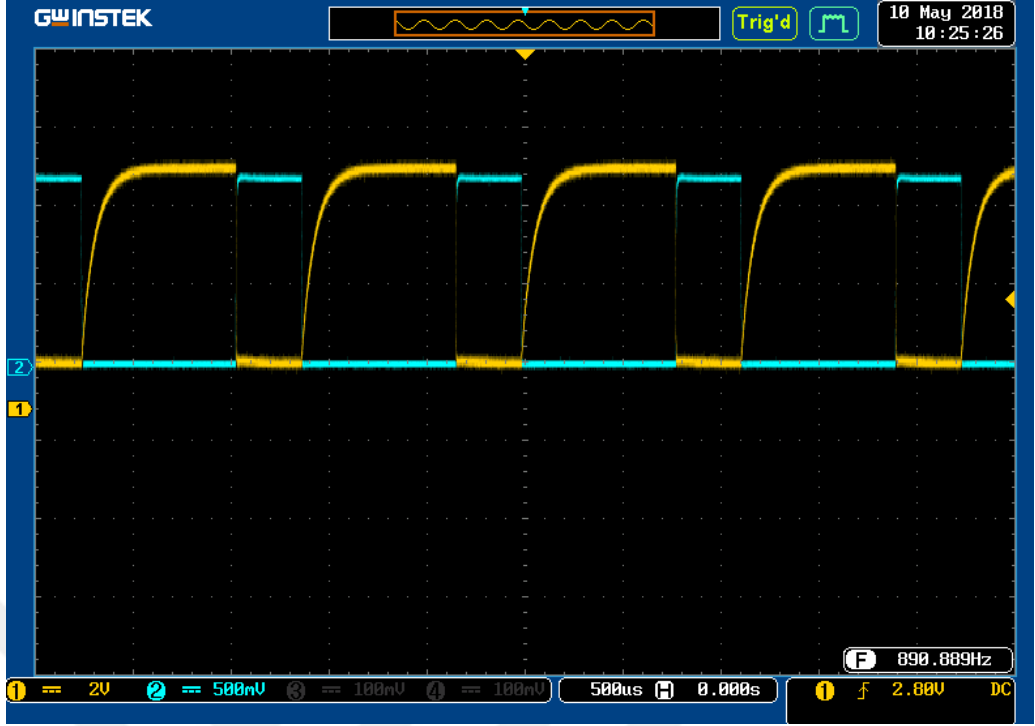
Şekil 4.2 TES sürücü giriş-çıkış ölçümleri



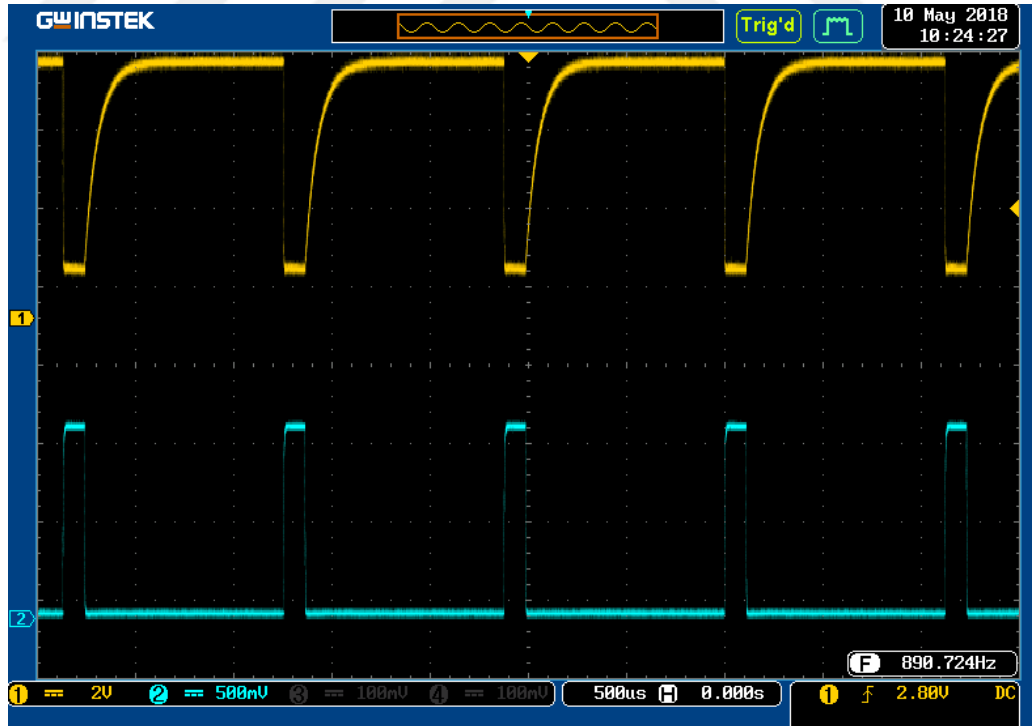
Şekil 4.3 TES sürücü giriş-çıkış ölçümleri



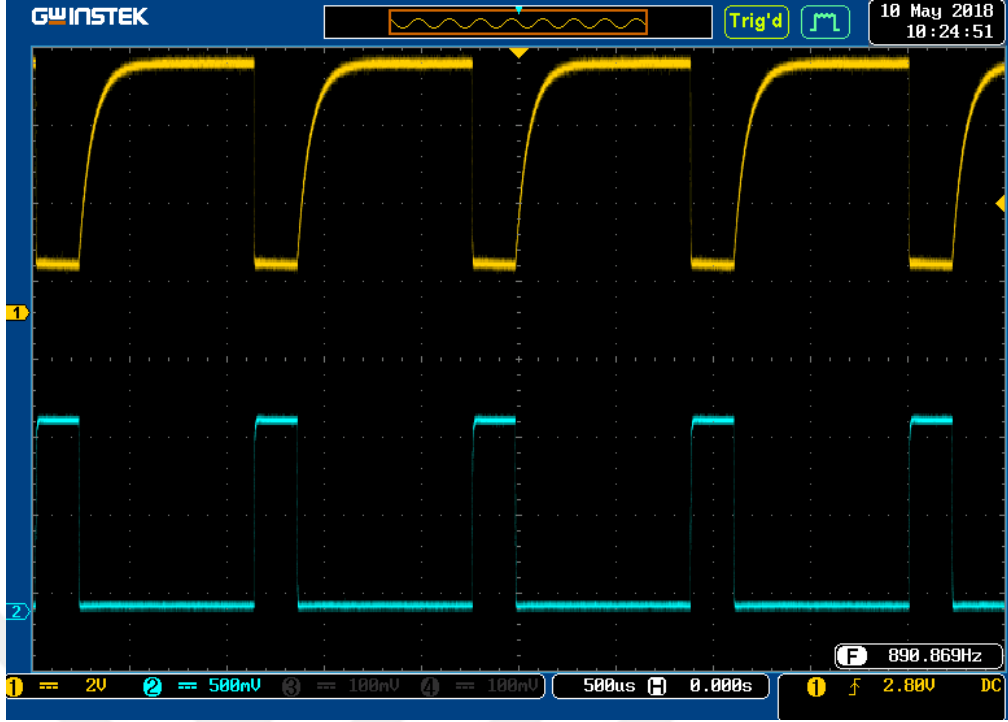
Şekil 4.4 TES sürücü giriş-çıkış ölçümleri



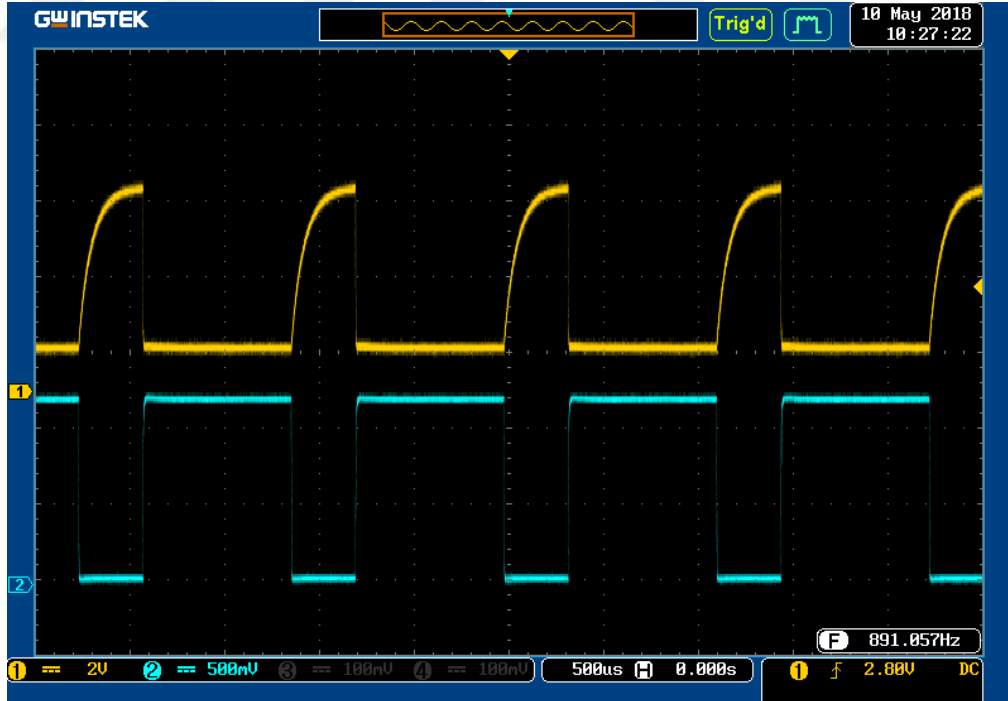
Şekil 4.5 TES sürücü giriş-çıkış ölçümleri



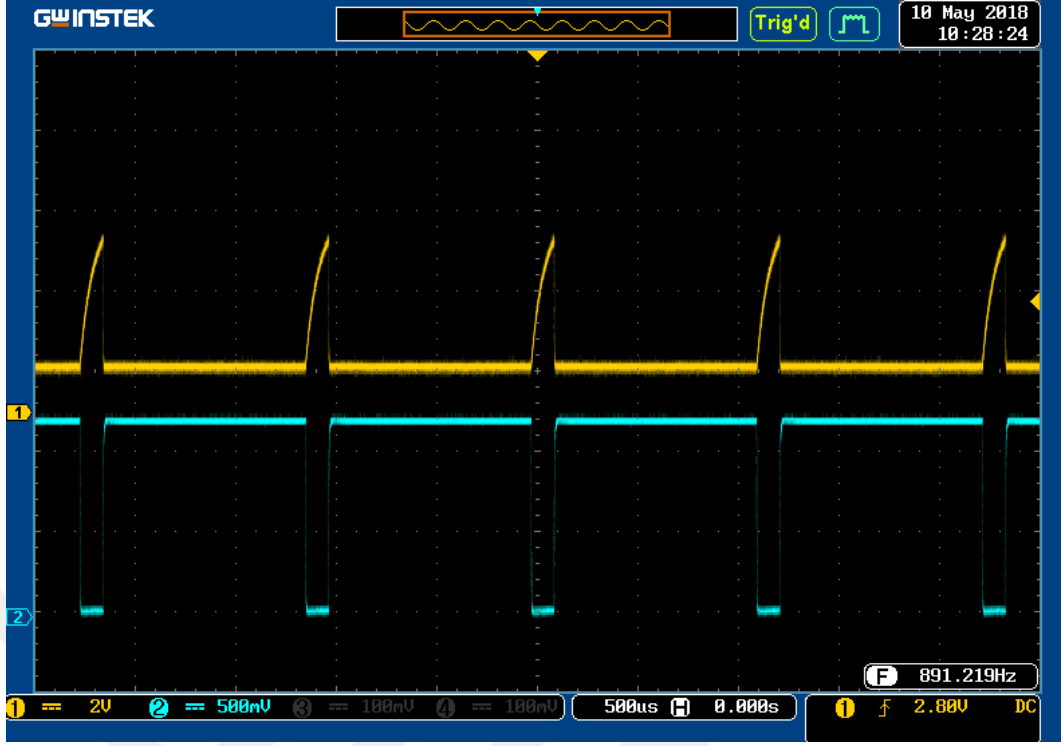
Şekil 4.6 TES sürücü giriş-çıkış ölçümleri



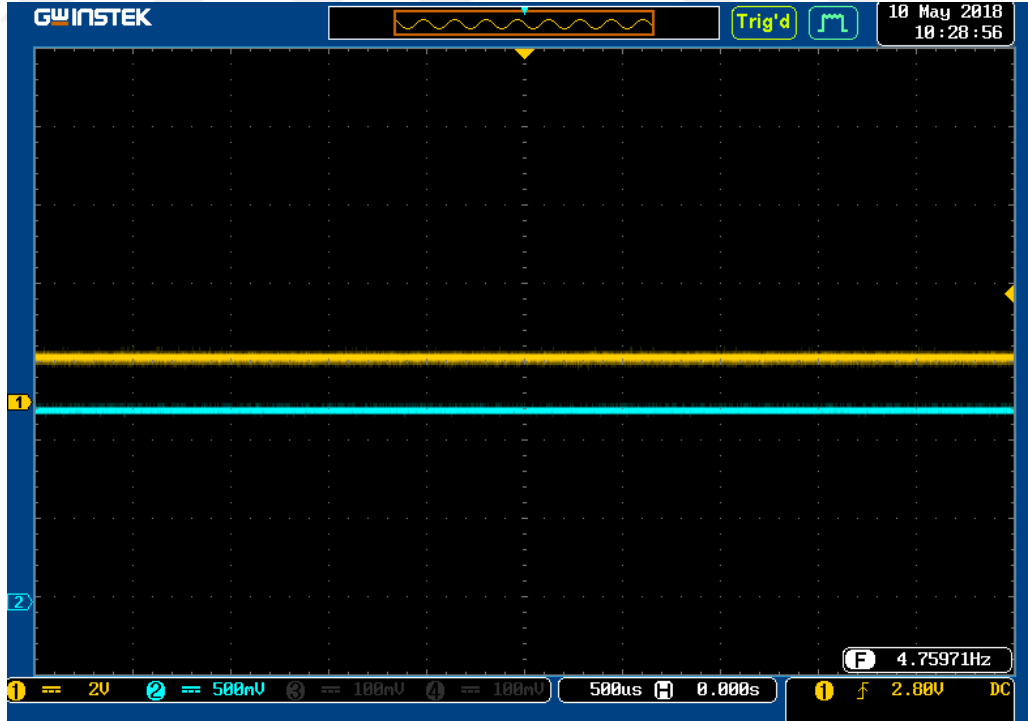
Şekil 4.7 TES sürücü giriş-çıkış ölçümleri



Şekil 4.8 TES sürücü giriş-çıkış ölçümleri



Şekil 4.9 TES sürücü giriş-çıkış ölçümleri



Şekil 4.10 TES sürücü giriş-çıkış ölçümleri

5. SONUÇ

Bu tezde, hassas çalışma sıcaklık aralığına sahip sistemlerin çalışma koşullarının kontrolünde kullanılan TES'ler (Termoelektrik soğutucu) için iki yönlü sürücü tasarımı yapılmış ve gerçekleştirilmiştir. Bu sürücü devre kapalı bir ortamda çalışma esnasında oluşan yüksek ısıların soğurulmasını hedefleyen uygulamalarda kullanılmak üzere geliştirilmiştir. Bu sistem endüstride kullanılan geleneksel iklimlendirme sistemlerine alternatif olabilecek potansiyelindedir. Ayrıca, sera gazı salınımının ortadan kaldırılması ve enerji tasarrufu sağlaması nedeniyle çevreye duyarlı bir çözüm olarak önerilmektedir.

TES uygulamaları önümüzdeki yıllarda daha da yaygınlaşacak ve kullanım alanları arttıkça ilgili teknolojiler de gelişecektir. Daha küçük boyutlarda ve daha fazla alanı etkisi altına alabilecek sistemlerin geliştirilmesi önemli bir çalışma alanı olmayı sürdürecektir. Günlük yaşantımızın ve endüstrinin her alanında ihtiyaç duyulan soğutma, ısıtma ve nem alma işlemlerinde peltier tabanlı sistemlerin kullanım yerleri giderek yaygınlaşacaktır.

KAYNAKLAR

- Albayrak, N., Keçeciler A. 2015.** Termoelektrik malzeme ile su soğutma uygulaması. Dumlupınar Üniversitesi Dergisi, 2015, 165-172
- Alter, D. M. 2003.** Thermoelectric cooler control using a TMS320F2812 DSP, Texas Instrument Application Report and a DRV592 Power Amplifier
- Anonim,2019,a,** <https://www.marlow.com/products/thermoelectric-coolers / single-stage> (Erişim tarihi: 17 Mart 2019)
- Anonim, 2019,b,** <https://www.electronics-cooling.com/> (Erişim tarihi: 5 Nisan 2019)
- Anonim, 2019,c,** [https://www.meerstetter.ch/index.php?option=com_content&Itemid=137 &catid=11&id=32&view=article](https://www.meerstetter.ch/index.php?option=com_content&Itemid=137&catid=11&id=32&view=article) (Erişim tarihi: 5 Temmuz 2019)
- Anonim, 2019, d ,** <https://www.photonics.com/Articles/ThermoelectricCoolerControllerDesignMade/a53054> (Erişim tarihi: 3 Ağustos 2019)
- Anonim, 2019, e** <https://www.electronics-cooling.com/1996/09/an-introduction-to-thermoelectric-coolers/> (Erişim tarihi: 4 Ağustos 2019)
- Arzen, K.E., 1999.** A simple event-based PID controller, *IFAC World Congress*, 1-6, Beijing , CHINA.
- Aydoğan, B. 2006.** Labview görsel grafik programı ile peltier yarıiletkenine enerji verildiğinde sıcaklık performansının incelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, PAÜ.Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Denizli.
- Bennett, S.1994.** Development of the PID controller. *IEEE Control Systems Magazine* , 13 (6): 58-64
- Bir, A. 2011.** Otomatik kontrol uygulamalarının öncüleri. *Otomasyon*, EMO İzmir Şubesi Yayını, İzmir, Türkiye.
- Bulut, H. 2005.** Termoelektrik soğutma sistemleri. *Soğutma Dünyası*, Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü Yayınları, 31: 9-16.
- Chang, Y. W., Chan C. C., Ke, M. T., Chen, S. L. 2009.** Thermoelectric air-cooling module for electronic devices. *Applied Thermal Engineering*, 29(13): 2731-2737.
- Chaoqiang, J., Kwok, T.C., Christopher, H.T.L., Wei, H., Wei, L., Lam, W. H. 2019.** A wireless servo motor drive with bidirectional motion capability. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 34(12): 12001-12010.
- Chein, R., Huang, G.2004.** Thermoelectric cooler application in electronic cooling, *Applied Thermal Engineering*, 25(17-18): 2983-2997.
- CUI inc, 2016.** Peltier Application Note,120:5.
- Dongliang, Z. ve Gang, T. 2014.** A review of thermoelectric cooling: Materials, modeling and applications. *Applied Thermal Engineering*, 46(9):1359-4311.
- Electronic engineering times 2002.** Tiny tecdrivers from maxim halve the heat.
- Electro optics journal 2017.** MTD 1020t TEC driver.
- Foley M. W., Rhonda H. J. 2008.** A comparison of PID controller tuning methods. *Canadian Society for Chemical Engineering*, 83(4):712-722.
- Hosking, L.G., Daghighian, H. 2012.** Optoelectronic subassembly with integral thermoelectric cooler driver. Application filed by Finisar Corp., 55:10.

- Huang B.J.,Chin C.J.,Duang C.L. 2000.** A design method of thermoelectric cooler. *International Journal of Refrigeration*, 23: 208-218,
- Kaur, M. 2017.** Literature review of PID controller based on various soft computing techniques. *International Journal On Recent And Innovation Trends In Computing And Communication*, 5: 1375-1378.
- Koca, B. 2018.** Design and implementation of bi-directional driver for thermoelectric cooler, International Congress on Engineering and Life Science (ICELIS), Kastamonu, TÜRKİYE.
- Linear Technology Corporation, 2001.** LTC1923 1923f high efficiency thermoelectric cooler controller, Linear technology Corporation Data Sheets.
- Linear technology corporation,2010.** TimerBlox voltage-controlled pulse width modulator (PWM), Linear technology Corporation.102:5.
- Liu, D., Zhao, F. Y., Yang, H. X., Tang, G. F. 2015** Thermoelectric mini cooler coupled with micro thermosiphon for CPU cooling system. *Energy*, 83: 29-36.
- Liu, S., 2012.** Thermoelectric cooler control using the DS4830 Optical microcontroller, Application notes 5424, Maxim Integrated Products, Inc., C.A., U.S.A.
- Maxim integrated products, 2015.** Journal technical specifications, C.A., U.S.A.
- Meerstetter engineering gmbh, 2013.** Thermoelectric cooling temperature controller, Meerstetter engineering GmbH, Switzerland
- Meerstetter engineering gmbh, 2015.** TEC controller software, Meerstetter Engineering, GmbH Switzerland
- Milli eğitim bakanlığı,2009** MEGEP Endüstriyel otomasyon teknolojileri PID kontrolü eğitim notları, sayfa 1-51
- Nassar M. Sh., Hegazi A. A., Mousa M. G.,2019.** Combined effect of pulsating flow and magnetic field on thermoelectric cooler performance. *Case Studies in Thermal Engineering*, 13: 100403.
- Nixon, M.J., Muston, P.R., Chen, D., Han, S. 2014.** Managing big data in process Control Systems. Patent, Fisher-Rosemount Systems Inc., Round Rock, TX, U.S.A.
- Predrag S. I. , Goran B. S., Ivan B. K., Bratislav M. O., Milorad M. K.,2019.** Thermostat with peltier element and microcontroller as a driver. *Measurement*,137: 470-476
- Rao, K.S., Mishra, R.2014.** Comparative study of P, PI and PID controller for speed control of VSI-fed induction motor. *International Journal of Engineering Development and Research*, 2(2):2321-9939.
- Quick-Ohm küpper&Co.Gmbh components, 2014.** Peltier controller QC-PC-CO-CH1 user manual temperature controller for automatic heating and cooling applications, Quick-Ohm Küpper & Co. GmbH Components – Heat Management – Industry Ceramics.
- Slanina Z., Uhlik M., Sladeczek V. 2018.** Cooling device with peltier element for medical applications. *IFAC-Papers On Line*, 51(6): 54-59.
- Sloman A.W.Buggs P.,Molley J.,Steward D. 1996.** A microcontroller-based driver to stabilize the temperature of an optical stage to within 1 mK in the range 4–38 °C, using a

Peltier heat pump and a thermistor sensor. *Measurement Science and Technology*, 7: 1653-1664.

Steinar, S. T. 1992. A method for closed loop automatic tuning of PID controllers, *Automatica*, 28; 587-591.

Tan, F.L., Fok ,S.C. 2008. Methodology on sizing and selecting thermoelectric cooler from different TEC manufacturers in cooling system design, *Energy Conversion and Management*, 49(6):1715-1723.

TDK,2013. NTC thermistors for temperature measurement. *Miniature sensors with bendable wires*, TDK.Technical specifications.

Xuan, X. C. 2002. Optimum design of a thermoelectric device. *Semiconductor Science and Technology*, 17(2):114-119.

Warwick, K, 1996. An introduction to control systems. *Advanced series in electrical and computer engineering*, World Scientific Publishing Company; 2nd ed., Singapur,376pp.

Yamanashi, M. 1996. A new approach to optimum design in thermoelectric cooling systems. *Journal of Applied Physics*, 80:5494-5502.

Zhang,S.N. 2013. Thermoelectric cooler based temperature controlled environment chamber design for application in optical systems, *Yüksek Lisans Tezi*, Virginia Polytechnic Institute and State University , Electrical Engineering Department, Blacksburg, Virginia U.S.A.

EKLER

EK 1 Sıcaklık değişimine göre ısı ölçer direnç değişimi (TDK,2013)



EK 1

Temperature measurement	B57869S
Miniature sensors with bendable wires	S869

R/T characteristics

R/T No.	8016		8018	
T (°C)	B _{25/100} = 3988 K		B _{25/100} = 3964 K	
	R _T /R ₂₅	α (%/K)	R _T /R ₂₅	α (%/K)
-55.0	96.3	7.4	—	—
-50.0	67.01	7.2	—	—
-45.0	47.17	6.9	—	—
-40.0	33.65	6.7	30.24	6.3
-35.0	24.26	6.4	22.1	6.1
-30.0	17.7	6.2	16.32	5.9
-25.0	13.04	6.0	12.17	5.8
-20.0	9.707	5.8	9.153	5.6
-15.0	7.293	5.6	6.945	5.4
-10.0	5.533	5.5	5.313	5.2
-5.0	4.232	5.3	4.097	5.1
0.0	3.265	5.1	3.183	4.9
5.0	2.539	5.0	2.491	4.8
10.0	1.99	4.8	1.963	4.7
15.0	1.571	4.7	1.557	4.6
20.0	1.249	4.5	1.244	4.4
25.0	1.0000	4.4	1.0000	4.3
30.0	0.8057	4.3	0.8083	4.2
35.0	0.6531	4.1	0.6572	4.1
40.0	0.5327	4.0	0.5373	4.0
45.0	0.4369	3.9	0.4418	3.9
50.0	0.3603	3.8	0.365	3.7
55.0	0.2986	3.7	0.303	3.7
60.0	0.2488	3.6	0.2527	3.6
65.0	0.2083	3.5	0.2118	3.5
70.0	0.1752	3.4	0.1783	3.4
75.0	0.1481	3.3	0.1508	3.3
80.0	0.1258	3.2	0.128	3.2
85.0	0.1072	3.2	0.1091	3.2
90.0	0.09177	3.1	0.0933	3.1
95.0	0.07885	3.0	0.08016	3.0
100.0	0.068	2.9	0.0691	2.9
105.0	0.05886	2.9	0.05974	2.9
110.0	0.05112	2.8	0.05183	2.8
115.0	0.04454	2.7	0.04512	2.8
120.0	0.03893	2.6	0.0394	2.7
125.0	0.03417	2.6	0.0345	2.6
130.0	0.03009	2.5	0.03032	2.6
135.0	0.02654	2.5	0.02672	2.5
140.0	0.02348	2.4	0.02361	2.5
145.0	0.02083	2.4	0.02091	2.4
150.0	0.01853	2.3	0.01857	2.4
155.0	0.01653	2.3	0.016537	2.3

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Bekir KOCA
Doğum Yeri ve Tarihi : İZMİR-18.09.1975
Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu
Lise : Urla Fen Lisesi
Lisans : Gaziantep üniversitesi Elektrik-Elektronik mühendisliği
(İngilizce)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar : Ermaksan makine sanayi (2003- ...)

İletişim (e-posta) : bekirkoca@yahoo.com

Yayımları : **Koca, B. 2018.** Design and implementation of bi-directional driver for thermoelectric cooler, poster sunumu, International Congress on Engineering and Life Science (Kastamonu ICELIS 2018)