

T.C.
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DEĞİŞKEN DERECELİ MEMRİSTÖRLER VE UYGULAMALARI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: Sümeyra BEYZADE
DANIŞMAN: Doç. Dr. Özkan ATAN

VAN-2022

T.C.
YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DEĞİŞKEN DERECELİ MEMRİSTÖRLER VE UYGULAMALARI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: Sümeyra BEYZADE

VAN-2022

KABUL VE ONAY SAYFASI

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Doç. Dr. Özkan ATAN danışmanlığında, Sümeyra BEYZADE tarafından sunulan “DEĞİŞKEN DERECELİ MEMRİSTÖRLER VE UYGULAMALARI” isimli bu çalışma Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili hükümleri gereğince 07/01/2022 tarihinde aşığıdaki jüri tarafından oy birliği ile başarılı bulunmuş ve Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Prof. Dr. Rıdvan SARAÇOĞLU

İmza:

Üye: Doç. Dr. Özkan ATAN

İmza:

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Cafer BUDAK

İmza:

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/..../..... tarih ve sayılı kararı ile onaylanmıştır.

İmza

.....
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Sümevra BEYZADE



ÖZET

DEĞİŞKEN DERECELİ MEMRİSTÖRLER VE UYGULAMALARI

BEYZADE, SÜMEYRA

Yüksek Lisans Tezi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Özkan ATAN

Şubat 2022, 53 sayfa

Chua tarafından 1971 yılında dördüncü temel devre elamanı olarak tanımlanan Memristörlerin varlığı 2008 yılında HP laboratuvarında yapılan çalışmalar sonucu memristör benzeri bir elaman ile keşfedildi. Bu çalışmada farklı kesir dereceli memristörlerin ve değişken dereceli yapıların etkisi incelenecektir. Böylece yeni nesil memristörlerin karakteristik özellikleri ve davranışları incelenecek ve örnek tasarım çalışmaları ile simülasyonda elde edilen davranışın aşarımı incelenecektir. Klasik memristörlerin davranışı kesir dereceli olarak modellendiğinde karakteristiğinde ciddi değişimler olduğu bilinmektedir. Literatürde bu değişikliğin sağladığı avantajlar ve dezavantajlar kısmen incelenmiş ve tartışılmıştır. Bu tez çalışmasında ise değişken dereceli memristörlerin davranışı incelenmiştir. Bu devre elemanının davranışı aktif filtrelere uygulanarak analiz edilmiş ve literatürdeki benzer çalışmalar ile tartışılmıştır.

Anahtar kelimeler: Değişken Dereceli Memristörler, Değişken dereceli sistemler, Memristörler.

ABSTRACT

VARIABLE ORDER MEMRISTORS AND APPLICATIONS

BEYZADE, Sümeyra
M.Sc. Thesis, Electrical-Electronics Engineering
Supervisor : Asst. Prof. Dr. Özkan ATAN
February 2022, 53 pages

The existence of memristors, defined by Chua in 1971 as the fourth basic circuit element, was discovered in 2008 with a memristor-like element as a result of studies carried out in the HP laboratory. In this study, the effect of different fractional order memristors and variable order structures will be examined. Thus, the characteristics and behaviors of new generation memristors will be examined and the performance obtained in simulation with sample design studies will be examined. It is known that when the behavior of classical memristors is modeled as a fractional order, there are serious changes in its characteristics. The advantages and disadvantages of this change have been partially examined and discussed in the literature. In this thesis, the behavior of variable-order memristors was investigated. The behavior of this circuit element is analyzed by applying it to active filters and discussed with similar studies in the literature.

Keywords: Fractional order systems, Memristors, Variable order memristors, Variable order systems,



ÖN SÖZ

Bu tez çalışmasında, özellikle her türlü ilgi ve yardımlarını esirgemeyen danışmanım Sayın Doç. Dr. Özkan ATAN' a teşekkürlerimi bir borç bilirim. Çalışmalarım sırasında bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen tüm Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü Hocalarıma, yakın zamanda kaybettiğim ve şu an benimle gurur duyduğuna emin olduğum çok kıymetli Dedem Muhyettin CEMO'ya , her zaman beni desteklemekten vazgeçmeyen mesai arkadaşım Murat BAŞ'a ve manevi desteklerinden dolayı tüm aileme teşekkürlerimi sunarım.

2022

Sümevra BEYZADE

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	iii
ÖN SÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
ÇİZELGELER LİSTESİ.....	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1.GİRİŞ.....	1
1.1. Memristörlerin Tarihçesi.....	1
1.1.1. Memristörün temel özellikleri.....	2
1.2. Kesir Dereceli Sistemlerin Tarihçesi.....	4
2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ.....	6
3. MATERYAL YÖNTEM.....	11
3.1. Memristör.....	11
3.2. Kesir Dereceli ve Değişken Dereceli sistemler.....	12
3.2.1. Kesir dereceli sistemler.....	12
3.2.1.1. Kesir dereceli sistemler için çözüm yöntemleri.....	14
3.2.1.1.1. Grünvald-Letnikov yöntemi.....	15
3.2.1.1.2. Caputo yöntemi.....	16
3.2.1.1.3.Riemann-Liouville yöntemi.....	17
3.2.2. Değişken dereceli sistemler.....	17
3.3. Kesir Dereceli Memristörler.....	19
3.4. Değişken Dereceli Memristörler.....	19

3.5. Kesirli Dereceli Memristörler ve Filtreler.....	20
3.6. Memristör Uygulamaları.....	21
3.7. Filtre Uygulamaları.....	21
3.7.1. Kesir dereceli alçak geçiren memristörlü filtre devresi analizi.....	23
3.7.2. Kesir dereceli yüksek geçiren memristörlü filtre devresi analizi.....	25
3.7.3. Kesir dereceli bant geçiren memristörlü filtre devresi analizi.....	28
3.8 Denetleyici Uygulamaları.....	30
3.8.1. Temel denetim tipleri.....	30
3.8.2. Klasik PID denetleyici devre modeli.....	31
3.8.3. Memristörlü PID denetleyici devre modeli.....	33
4. BULGULAR.....	37
4.1. Değişken Dereceli Memristörlerin Filtre Uygulamaları.....	37
4.1.1. Değişken dereceli memristörlü yüksek geçiren filtre devresi.....	37
4.1.2. Değişken dereceli memristörlü alçak geçiren filtre devresi.....	39
4.1.3. Değişken dereceli memristörlü bant geçiren filtre devresi.....	41
4.2. Değişken Dereceli Memristörlerin Denetleyici Uygulamaları.....	43
4.2.1. Değişken dereceli memristörlerin PID uygulamaları.....	43
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	47
KAYNAKLAR.....	48
ÖZGEÇMİŞ.....	53

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Pasif devre elemanlarının özellikleri.....	21
Çizelge 3.2. Alçak geçiren filtre devresi parametreler.....	24



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Chua devre önerisi.....	1
Şekil 1.2. Memristörün iç yapısı.....	2
Şekil 1.3. 50 nanometre kalınlığındaki platin nanotellerden yapılmış 17 adet memristör kalıbı.....	2
Şekil 1.4. Temel elektronik devre elemanları arasındaki matematiksel ilişkiler.....	3
Şekil 3.1. Temel devre elemanları arasındaki ilişki.....	11
Şekil 3.2. $f(t)=\sin(t)$ 'nin $\alpha(t)=\sin(t)$ derecesine göre değişim grafiği.....	18
Şekil 3.3. Kesir dereceli alçak geçiren memristörlü filtre devresi Kesir dereceli yüksek geçiren memristörlü filtre devresi Kesir dereceli memristörlü bant geçiren filtre devresi.....	22
Şekil 3.4. Memristörlü alçak geçiren filtre devresi.....	23
Şekil 3.5. Memristörlü alçak geçiren filtre devresinin 10Hz giriş sinyali için tepkisi.....	24
Şekil 3.6. Memristörlü alçak geçiren filtre devresinin 100Hz giriş sinyali için tepkisi.....	25
Şekil 3.7. Memristörlü alçak geçiren filtre devresinin 1kHz giriş sinyali için tepkisi.....	25
Şekil 3.8. Memristörlü yüksek geçiren filtre devresi	26
Şekil 3.9. Memristörlü yüksek geçiren filtre devresinin 10Hz giriş sinyali için tepkisi.....	27
Şekil 3.10. Memristörlü yüksek geçiren filtre devresinin 100Hz giriş sinyali için tepkisi.....	27
Şekil 3.11. Memristörlü yüksek geçiren filtre devresinin 1kHz giriş sinyali için tepkisi.....	28

Şekil 3.12. Memristörlü bant geçiren filtre devresi.....	28
Şekil 3.13. Memristörlü bant geçiren filtre devresinin 10Hz giriş sinyali için tepkisi.....	29
Şekil 3.14. Memristörlü bant geçiren filtre devresinin 100Hz giriş sinyali için tepkisi.....	30
Şekil 3.15. Memristörlü bant geçiren filtre devresinin 1kHz giriş sinyali için tepkisi.....	30
Şekil 3.16. Klasik doğrusal PID denetleyici devreleri.....	32
Şekil 3.17. M-PID kontrolör devre şeması.....	34
Şekil 3.18. D uzunluğunda bir memristor şeması.....	34
Şekil 4.1. Değişken dereceli yüksek geçiren filtre devresi.....	38
Şekil 4.2. Değişken dereceli yüksek geçiren filtre devresinin düşük frekans sinyal tepkisi.....	38
Şekil 4.3. Değişken dereceli yüksek geçiren filtre devresinin yüksek frekans sinyal tepkisi.....	39
Şekil 4.4. Değişken dereceli alçak geçiren filtre devresi.....	40
Şekil 4.5. Alçak geçiren filtre devresinin 100 Hz'lik sinyale tepkisi.....	40
Şekil 4.6. Alçak geçiren filtre devresinin 10 Hz'lik sinyale tepkisi.....	41
Şekil 4.7. Değişken dereceli bant geçiren filtre devresi.....	42
Şekil 4.8. Bant geçiren filtre devresinin 100 Hz'lik sinyale tepkisi.....	42
Şekil 4.9. Bant geçiren filtre devresinin 10 Hz'lik sinyale tepkisi.....	43
Şekil 4.10. M-PID kontrolör devre şeması.....	44
Şekil 4.11. D uzunluğunda bir memristor şeması.....	44
Şekil 4.12. Değişken dereceli memristörlerin kontrol sistemlerinde uygulanması-1.....	46

Şekil 4.13. Değişken dereceli memristörlerin kontrol sistemlerinde uygulanması-2.....46





SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
D	Memristör oksijen uzunluğu
F	Memristör Simgesi
Kd	Türev denetleyici sabiti
Ki	İntegral denetleyici sabiti
Kp	Oransal denetleyici sabiti
lim	Limit Alma Fonksiyonu
λ	Kesir dereceli denetleyicinin integral derecesi
Q	Yük
Φ	Akı
Kısaltmalar	Açıklama
C	Kapasitör
HP	Hewlett-Packard
I	Akım
KD	Kesir Dereceli
KDPID	Kesir Dereceli PID
KDS	Kesir dereceli sistemler
L	Bobin
M	Memristör
PID	Türevsel-Oransal-İntegral
PI	Oransal-İntegral
R_(OFF)	HP memristörün katkısız direnç değeri
R_(ON)	HP memristörün katkılı direnç değeri
R	Direnç

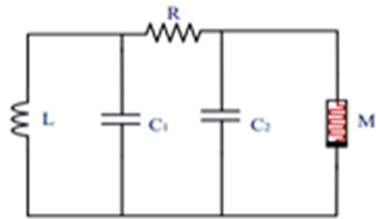


1. GİRİŞ

1.1. Memristörün Tarihçesi

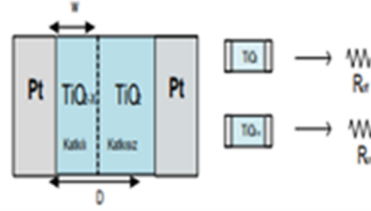
Leon Chua'nın 1971 yılında memristör hakkında yazmış olduğu makalesinde "Memristör- Kayıp Devre Elemanı" olarak tanımlanmış ve o tarihten sonra bu isim ile anılmıştır. Memristör adı hafızalı direnç anlamına gelen "memory" ve "resistor" kelimelerinin kısaltılmasından oluşturulmuştur (Chua, 1971). Bu yeni pasif devre elemanı yük ile akı arasındaki ilişkiyi tanımlayan, iki girişli olarak literatüre girmiştir. Yük ile manyetik akı arasındaki bu ilişki Chua'nın 6.denklemleri olarak bilinen teorik çalışması ile gösterildi (Chua,1971).

Chua sadece iki adet kondansatör ve birer adet bobin, direnç ve memristör kullanarak hazırladığı devre önerisi Şekil 1.1'de görülmektedir. Fakat nano boyutta çalışılmadığından tam anlamıyla memristörün özellikleri fark edilmiyordu. Chua'nın bu iddiayı ortaya atmasından tam 37 yıl sonra, HP laboratuvarlarında sürdürülen araştırmalar sonucunda Stanley Williams ve ekibi Chua'nın teorik olarak ispatladığı bu elemanın varlığını keşfettiler. Williams ve ekibi bu mekanizmaya memristans adı verip literatüre sundu (Williams ve ark., 2008).



Şekil 1.1. Chua devre önerisi.

Memristörün içyapısı SiO_2 (silisyum dioksit) veya TiO_2 (titanyum dioksit) adı verilen yarı iletken malzemelerden biriyle hazırlanır. Daha çok analog devrelerde kullanışlı olduğu için TiO_2 memristörün yapısını oluşturmak için idealdir. Memristör içyapısı Şekil 1.2’de verilmektedir (Karakaya ve ark., 2017).



Şekil 1.2. Memristörün iç yapısı.



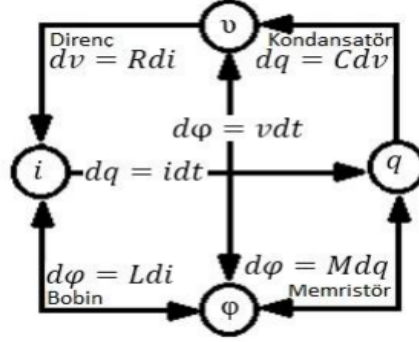
Şekil.1.3. Stanley Williams ve ekibinin ortaya koyduğu memristör yapısı (Williams ve ark.; 2008).

1.1.1. Memristörün temel özellikleri

Memristör, üzerindeki bilgiyi depolamaktadır. En son taşıdığı bilgileri hatırlıyor olması, memristörü diğer pasif devre elemanlarından (direnç, kapasitör ve bobin) ayıran en önemli farktır. Memristörlerin temel özellikleri aşağıda sıralanmıştır;

- İki girişli AC bir devre elemanıdır,
- Enerjisiz kaldığında bile direnç değerini koruma özelliğine sahiptir,
- Sadece çok düşük değerlerde özelliğini gösterebilmektedir,

- Doğrusal olmayan özelliğe sahiptir (Şevgin, 2016),



Şekil 1.4. Pasif devre elemanları matematiksel ilişki (Strukov ve ark., 2008).

Gün geçtikçe memristör konusunda daha yoğun çalışmalar yapılmış ve diğer devre elemanlarına göre alışılmadık dışındaki özelliklerinden dolayı araştırmacıların ilgi odağı olmuştur. Araştırmacılar, aktif olarak kullanılan teknolojik cihazlar için gereksinimi karşılayan arayış içine girdiler. Bu araştırmalar sonucunda memristörün nanoteknoloji için büyük öneme sahip olduğu ortaya konmuştur. Memristör; az yer kaplaması, daha az enerji tüketmesi, anahtarlama özelliği ve hafıza özelliğinin bulunması sonucu çeşitli uygulama alanlarında olumlu etkisi olacağı kabul edilmektedir (Şevgin, 2016).

Literatürde son yıllarda farklı memristor modellerinin etkileri (kesirli dereceden memristor, memductor ve memcapacitor) kesir dereceli sistemlerin bazı uygulamalarında kullanılmıştır. Kesir dereceli filtreler, PI, PID devreleri, akım aynaları, operasyonel iletkenlik yükselteçleri gibi özellikler sıralanabilir (Atan, 2019).

Petráš'ın yazmış olduğu makalesi, memristör tabanlı Chua devresiyle ilgilidir. İlk defa kesir dereceli bu modeller bu makalede sunulmaktadır. Kesir dereceli memristör tabanlı Chua denklemlerinin dinamik davranış ve kararlılık analizleri tanımlanmış ve simülasyonları için sayısal çözümleri elde edilmiştir (Petras, 2010).

Mathiyalagan ve ark. tarafından yapılan çalışmada karışık belirsizlikleri olan kesir dereceli kaotik sistemlerin daha geniş kararlılık bölgesine sahip olduğu ve sistemin kaotik davranış sergileyip sergilemediği gösterilmiştir (Mathiyalagan ve ark., 2015).

Fouda ve ark. makalelerinde, memristörde dahil olmak üzere olası tüm durumları dikkate alarak, bilinen tüm unsurları modellemek için genelleştirilmiş durum denklemini, kesir dereceli olarak ele almışlardır. Bu denkleme dayanarak, ters çevirici olarak adlandırılan, doğrusal olmayan bir indüktörde veya doğrusal olmayan bir kapasitörde veya türev kontrollü doğrusal olmayan bir dirençte memristör özellikleri ve kesir dereceli parametrelerinin çıkıştaki etkisi incelenmiş ve ters bir davranışın olabileceği bulunmuştur (Fouda ve ark., 2013).

Hyongsuk ve ark. çalışmalarında, memristör devresi geliştirmek için bir TiO₂ memristörünün davranışını taklit eden bir memristör emülatörü geliştirmiştir. Tasarlanan gerçek zamanlı taklit devrelerinin paralel, seri ve hibrit olarak bağlandığından bahsetmiştir. Taklit devresi donanımı ve simülasyonu için TiO₂ memristör modeline benzer davranışa sahip olan bir yapı ortaya koymuşlardır (Hyongsuk ve ark., 2012).

1.2. Kesir Dereceli Sistemlerin Tarihçesi

Sistemin derecesi tamsayıdan farklı bir reel sayı olan ve diferansiyel denklemlerle ifade edilebilen sistemlere kesir dereceli sistemler denir. İlk olarak Leibniz' in L'Hospital' e 1695 yılında göndermiş olduğu mektupla ortaya çıktığı bilinmektedir. Mektupta Leibniz; “tam dereceli türev için yapılan genellemeleri, tam dereceli olmayan türevler için de yapabilir miyiz? Farz edelim ki sistem derecesi $\frac{1}{2}$ olduğunda ne olur?” diye sorduğu sorusuna karşılık L' Hopital; “Bu ileride yararlı sonuçları olacak bir paradokstur” diye cevap vermiş ve bu olaydan sonra KDS ve KDS'lerin çözümü için bir çok çalışmalar yapılmıştır (Petras, 2010; Fouda ve ark., 2013).

Literatürde güncelliğini koruyan ve hala kullanılmakta olan Caputo, Liouville-Riemann, Grünwald-Letnikov gibi çözüm yöntemleri mevcuttur (Atan, 2014).

Diğer taraftan KDS uygulamalarına yönelik çalışmalar artmaktadır. KDS özellikle mühendislik sistemlerinde popülerdir ve literatürde birçok uygulamaya sahiptir (Atan, 2014). Kesir dereceli sisteme ait modeller güncelde kullanılan sistemleri daha

doğru bir Şekilde karŐılaması nedeni ile kesir dereceli sisteme ait modellere ve kesir dereceli sistem kontrollerine olan rağbet artmıŐtır (Şenol ve ark., 2011).

Matignon, KDS'lerin diğer standart sistemlerine nazaran kararlılık bölgesinin daha geniş olduğunu belirtmiŐ, sistem derecesinin üçün altında olması durumunda kaotik davranış sergilediğini göstermiştir (Mathiyalagan ve ark., 2015; Zhao ve ark., 2015).

KD'li denetleyiciler diğer denetleyici sistemlerden daha çok parametre içerdiiğinden hesaplanmasında karmaŐık teknikler kullanılır. Bundan dolayı parametreleri belirlemek için akıllı sistem temelli benzetmeler kullanılmaktadır (Podlubny, 1999; Baleanu ve ark., 2011).



2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ

1971 yılında Chua tarafından yazılan makalede Memristör kayıp dördüncü pasif devre elemanı olarak tanımlandı. Gerilim ve akım arasındaki ilişkiyi direnç, yük ve gerilim arasındaki ilişkiyi kondansatör, son olarak akım ve manyetik akı arasındaki ilişkiyi de bobin ortaya koyarken yük ve akı arasında bir ilişki olmaması Chua'nın dikkatini çekmişti. Yani 4 parametreden 6 denklem olması gerekirken 5 denklem mevcuttu. Manyetik akı ve yük arasında ilişkiyi kuran Chua bu denklem ile Memristörü teorik olarak ispatladı. Chua makalesinde bu devre elemanının doğrusal olmayan yük ve manyetik akı ilişkisi sonucu olarak ortaya çıktığını belirtiyordu. Ve sadece iki adet kondansatör ve birer adet bobin, direnç ve memristör kullanarak hazırlamıştır (Chua ve ark, 1976).

HP laboratuvarlarında bir grup araştırmacı tarafından yapılan çalışmalar sonucu Chua'nın bahsetmiş olduğu memristör benzeri bir elamanın matematiksel modeli tanımlandı. Stanley Williams ve ekibi tarafından tanımlanan bu mekanizmaya memristans adı verilip literatüre sunuldu (Williams ve ark., 2008).

Abdelouahab ve ark. (2014), son zamanlarda memristif sistemler kavramı, özellikleri sistemin durumuna ve geçmişine bağlı olan memcapacitor ve meminductor gibi kapasitif ve endüktif elemanlara genişletildi. Makalelerinde bu tür öğelerin davranışlarını bellekle açıklamak için matematiksel bir paradigma sağlamak ve genelleştirmek için kesirli hesabı kullanmışlardır. Bu çerçevede Ohm yasasını genelleştirilmiş Ohm yasasına genişletip ispatlayacaklardır.

Yamaçlı ve ark. (2011) Chua devresi olarak bilinen devrede, doğrusal bir direncin değerini değiştirerek bir dizi kaotik davranışın nasıl oluşturulacağını göstermiş ve matematiksel olarak analiz etmişlerdir. Sonuçları MATLAB ortamında grafik şeklinde görüntülenir. Simülasyon ve devrenin gerçekleştirilmesi sonuçları karşılaştırılır ve sunulmuştur.

Parlak ve ark. (2020) hazırladıkları araştırma makalesinde; Mutlu ve arkadaşları Alharbi, Muthuswamy tarafından hazırlanan memristör benzeri taklit devrelerine ait benzetimleri Multisim programında 5Hz–150Hz frekans aralığında yaptılar. Mutlu ve arkadaşları tarafından önerilen devre; farklı frekanslara ait akım-gerilim (I-V) eğrileri

incelenerek en kararlı çıkış eğrisini verecek şekilde gerçekleştirildi. Önerilen taklit devresi kullanılarak 2. dereceden yüksek geçiren filtre devresi tasarlandı. Memristörlü ve direnç kullanılarak gerçekleştirilen filtre devreleri kalite faktörleri, Bode diyagramları ve kesim frekansları açısından karşılaştırılmış olup, memristörlü filtre devresinin 0-10 Hz frekans aralığında direnç kullanılarak gerçekleştirilen filtre devresinden daha iyi süzme işlemi yaptığı görülmüştür.

Hamamcı ve ark. (2020) araştırma makalesinde memristör tabanlı filtrenin EKG sinyali için uygulanmasını göstermiştir. Memristör yüksek frekanslarda normal dirençten farksız olup, memristans değerindeki değişim, filtre devrelerinde kesim frekansının ayarlanmasını sağlamaktadır. Bu nedenle sık kullanılan RC filtre yapılarında (alçak geçiren, yüksek geçiren, bant geçiren) rezistör elemanı yerine memristör tabanlı taklitçi devresinin yerleştirilmesiyle oluşturulmuştur. Board üzerine filtre devresi kurulmuş ve devrelerinin girişine sinüs işareti uygulanmıştır. Elektrokardiyogram (EKG) sinyali M-C filtrenin girişine uygulanmaktadır. Uygulama içinse LabVIEW ara yüzü ve DAQ kartı kullanılmıştır. Çalışma sonucunda memristörün biyomedikal sinyal işleme uygulamalarında kolaylıkla kullanılabileceği görülmektedir.

Şahin ve ark. (2017) çalışmalarında LabVIEW platformunda TiO₂ memristör modelini kullanarak, TiO₂ memristörün matematik denklemlerini oluşturmuş ve sonuçlar elde etmişlerdir. Çalışmalarında bu sistemin davranış ve kararlılık analizinin sonuçları sunulmaktadır.

Karakaya ve ark. (2017) çalışmalarında, memristör tabanlı kaotik devre modeli Alanda Programlanabilir Kapı Dizileri (Field Programmable Gate Array, FPGA) ortamında tasarlanıp gerçekleştirilmektedir. Tasarlanan devrede indüktör, kapasitör ve memristör elemanı bulunmaktadır. Devre modeli, dinamik durum denklemleri içermektedir. Kaotik davranış elde edilebilmesi için modele ait kaos parametreleri verilmektedir. Öncelikle, kaotik devreye ait durum denklemleri İleri Euler yöntemiyle ayrıştırılmaktadır. Sonra, ayrık zamanlı kaotik devre denklemleri, kaotik davranışın benzetimini elde etmek için Xilinx Sistem Üretici (Xilinx System Generator, XSG) yazılımında tasarlanmaktadır. Benzetim işleminden sonra, tasarım XSG aracılığıyla sentezlenip FPGA ortamında gerçekleştirilmektedir.

Mutlu (2018), yazmış olduğu makalede, logaritmik yük bağımlılığı olan bir memristörün Stanley Williams ve ekibi tarafından belirlenen prensipleri kullanarak ve memristör üzerinde bazı değişiklikler yapılarak yapılabileceği gösterilmiştir.

Atan (2019), makalesinde Chua devresinde değişken dereceli pasif devre elamanının davranışını analiz etmiştir. Daha sonra değişken dereceli bir memristörün kullanıldığı devredeki davranışları incelemiştir.

Petráš'ın (2010), yazmış olduğu makalesi, memristör tabanlı Chua devresiyle ilgilidir. İlk defa kesir dereceli bu modeller bu makalede sunulmaktadır. Kesir dereceli memristör tabanlı Chua denklemlerinin dinamik davranış ve kararlılık analizleri tanımlanmış ve simülasyonları için sayısal çözümleri elde edilmiştir.

Du ve ark. (2020), yazdıkları makalede zaman gecikmeli bir kesirli dereceli memristör tabanlı sinir ağı (FOMNN) sınıfı için sonlu zaman kararlılığı (FTS) problemleri incelemiştir. Mevcut yöntemden daha az tutucu olan; Kesirli dereceli Gronwall eşitsizliği teorisi, adımlar yöntemi, küme değerli haritalama, diferansiyel dahil etmeye zaman gecikmesi ve kesir derecesine sahip FOMNN'nin FTS'si için gecikmeye bağlı yeni bir kritere dayanarak $0 < \mu < 1$ türetilmiştir.

Yener ve ark. makalelerinde , ultra düşük voltajlı ultra düşük güçlü DTMOS tabanlı memristör tasarımı sunulmaktadır. Ultra düşük voltaj, ultra düşük güç işlemsel yükselteç ve ultra düşük voltaj, ultra düşük güç çarpanı da uygulamada kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Memristör tasarımı, simetrik ± 0.25 V besleme gerilimli CMOS 0.18 μm proses teknolojisi kullanılarak bu iki tip aktif bloktan oluşmaktadır. Memristör ikinci dereceden bir Sallen-Key bant geçiren filtre topolojisinde kullanılır. Tasarlanan memristör tabanlı Sallen-Key bant geçiren filtre daha sonra gerçek elektroensefalogram veri işleme için kullanılır (Yener ve ark., 2016).

Şenol ve ark. (2011) yayınlarında , KD kontrol sistemlerine ait zaman ve frekans tepkilerinin analizini kolayca sağlamak amacıyla MATLAB ortamında arayüz ve program geliştirmiştir. Bu programı kullanarak kesir dereceli sistemlerin zaman tabanında birim basamak tepkileri, frekans tabanında Bode, Nyquist ve Nichols grafikleri kolayca çizilebilmektedir.

Arpacı (2018), tarafından yazılan doktora tezinde, kesir dereceli denetleyici tasarımı çalışmalarında, ilk başta model referans uyarılama yöntemi, ardından sinirsel-bulanık sistem yapısını kullanarak KD-PID denetleyici tasarımını yapmıştır.

KD sinirsel-bulanık sistemi ile denetleyici tasarımı için uyarlamalı sinirsel bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) kullanılarak KD-PID denetleyici oluşturulmuştur. Bu yöntem ile bulanık mantık ve yapay sinir ağlarının avantajları bir arada kullanılmıştır.

Gua ve ark. (2018), çalışmalarında Lyapunov doğrusal yöntem ile bilinmeyen parametrelere sahip memristör tabanlı sinir ağlarının, orantılı Riemann-Liouville kesirli mertebesi için senkronizasyon ile üzerine çalışmışlardır. Teorilerinin verimliliğini göstermek için sayısal örneklerden yararlanmışlardır,

Narayanan ve ark. (2019), yazdıkları makalede gecikme ve sızıntı terimleri ile stokastik kesirli sıralı memristör bulanık BAM sinir ağlarının ortalama karesindeki tek tip kararlılığını ele almışlardır. Cauchy-Schwartz eşitsizliği, Burkholder-Davis-Gundy eşitsizliği, analiz tekniği fikirleri kullanılarak, bu tür ağların ortalama karesinde tek tip kararlılığı sağlamak için bazı yeterli koşullar türetilir. Denge noktasının varlığı, teklifi ve kararlılığı da gösterilmiştir. U-katmanı ve Vlayer arasındaki iki farklı kesir dereceli türev, kesir dereceli $1/2 \leq \alpha < 1$ ile eşzamanlı olarak dikkate alınır. Sonuçların etkinliğini göstermek için iki örnek de vermişlerdir.

Peng ve ark. (2020), çalışmalarında paralel hesaplama verimliliğini artırmak için sekiz 2.048 hücreli memristör dizisini entegre eden CNN(konvolüsyon sinir ağları)'lerin uygulanması için yüksek verimli, yüksek performanslı ve tek tip memristör çapraz çubuk dizilerinin üretimini rapor etmiştir. Ayrıca, cihaz kusurlarına uyum sağlamak ve genel sistem performansını iyileştirmek için etkili bir hibrit eğitim yöntemini önermişlerdir. MNIST10 (Modifiye Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü veri tabanı) görüntü tanıma gerçekleştirmek için beş katmanlı memristör tabanlı bir CNN oluşturup ve yüzde 96'dan fazla yüksek doğruluk elde etmişlerdir. Paylaşılan girdilerle farklı çekirdekler kullanan paralel evrişimlere ek olarak, farklı girdileri paralel olarak işlemek için memristör dizilerinde birden çok özdeş çekirdeğin çoğaltılması gösterildi. Memristör tabanlı CNN nöromorfik sistemi, son teknoloji grafik işleme birimlerinden iki kat daha fazla bir enerji verimliliğine sahiptir ve artık sinir ağları gibi daha büyük ağlara ölçeklenebilir olduğu gösterilmiştir. Sonuçların, derin sinir ağları ve uç bilgi işlem için geçerli bir memristör tabanlı von Neumann olmayan donanım çözümü sağlanması bekleniyor.

Şevgin (2016), çalışmasında, analog devre tasarımı yöntemini kullanarak memristör devre modeli benzetimi ile PI denetleyicisi tasarlamış ve tasarladığı

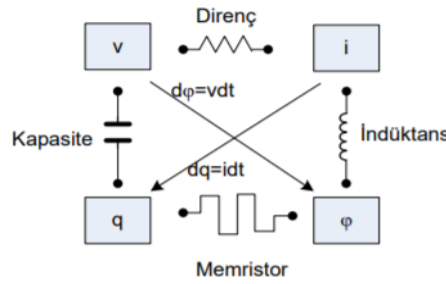
denetleyici ile doğrusal olmayan bir sistemin denetimindeki başarısını ölçmüştür. Memristorler ile gerçekleştirilen PI denetleyicisi ile klasik denetleyici performansını karşılaştırmıştır. Denetleyici parametrelerinin denetim sistemi üzerindeki etkisini incelemiştir.



3. MATERYAL YÖNTEM

3.1. Memristör

Memristör, manyetik akının yükü göre değişiminden yola çıkarak ilişkilendirilen yeni devre elemanıdır. En önemli özelliği ise devredeki akım kesilse hafıza özelliğine sahip olması, kendini pasif devre elemanı olarak göstermektedir. Memristör üzerine uygulanan giriş gerilimine göre direnç değerini değiştirdiği için sistemin davranışını uyarlamalı (adaptive) olarak değiştirebilme özelliğine sahiptir (Parlar, 2018). Temel devre elemanları arasındaki ilişki Şekil 3.1’de verilmiştir (Güler ve ark., 2016).



Şekil 3.1. Temel devre elemanları arasındaki ilişki.

Akım, gerilim ve akının birbirleriyle olan ilişkileri elektroniğin üç ana elemanı tanımlanır. Tüm bu bağıntılar ve devre elemanları ile devre değişkenlerinin aralarındaki ilişkiler aşağıdaki gibi ifade edilirse;

Yükün ve akının zamana göre değişimlerini tanımlarsak ,

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (3.1)$$

$$V = \frac{d\phi}{dt} \quad (3.2)$$

Direnç; gerilim ve akım arasındaki ilişki;

$$R = \frac{dv}{di} \quad (3.3)$$

Bobin ; akı ile akım arasındaki ilişki;

$$L = \frac{d\phi}{di} \quad (3.4)$$

Kondansatör ; gerilim ile yük arasındaki ilişki;

$$C = \frac{dv}{dq} \quad (3.5)$$

bağıntıları ile tanımlanırlar.

Memristör' ün bağıntısı ise akının yüke göre türevi şeklinde ifade edildiği için aralarındaki ilişki:

$$M = \frac{d\phi}{dq} \quad (3.6)$$

3.2. Kesir Dereceli ve Değişken Dereceli Sistemler

3.2.1. Kesir dereceli sistemler

KDS, derecesi tamsayıdan farklı herhangi bir reel sayı olan dinamik sistemler olarak bilinir. Bu sistemlerin varlığı 17. yy'da Leibniz'in, L'Hopital'a yazdığı mektupla ortaya çıktığı bilinmektedir (Podlubny ve ark., 1999; Oldham ve ark., 2006). Sonraki yıllarda 1730 yılında Euler çalışmasını bu yönde yaparken, 1772'de yılında Lagrange, farklı operatörler için dolaylı olarak KD'li hesap yöntemi geliştirmiştir. Devamında Laplace ve Fourier bu alandaki çalışmalarıyla farklı çözüm yöntemleri geliştirmiştir. 1832 yılında Liouville, tanımı problemlerin çözümü için uygulanmıştır. 1867 yılında ise Grünwald, kesirli operatör üzerinde çalışmalar yapmıştır. Riemann, kesirli integral teorisini geliştirmiş ve bu yöntem Liouville yöntemiyle birlikte Riemann-Liouville

çözüm yaklaşımı olarak bilinmektedir. Letnikov'un 1872 yılına kadar yaptığı çalışmalarla kesirli hesaplamaya farklı yaklaşım sunmuştur. Yine Letnikov'un yaptığı bu çalışmalar, Grünwald'ın çalışmalarıyla birlikte literatürde Grünwald-Letnikov çözüm yöntemi olarak bilinir (Atan, 2014). Kesir dereceli matematiğin gelişimi devam etmiş ve kesir dereceli integral ve türev için farklı tanımlar yapılmıştır (Çökmez ve ark., 2018). Bu tanımlardan en önemli olanlarından Grünwald – Letnikov, Caputo ve Riemann – Liouville olmak üzere üç çözüm yöntemi kullanılmaktadır. Kesirli dereceli sistemlerinin sayısal analizi için genellikle Grünwald – Letnikov yöntemi genellikle kullanılır (Atan, 2019).

KDS'lerin hesaplama yöntemleri gelişim gösterirken, uygulamaları ancak 1990'lı yıllarda ortaya çıkmıştır. Gerçek sistemlerin tamsayı şeklinde değil ancak kesirli olabileceği fikri ortaya atılmıştır (Li ve ark., 2004). KDS uygulamaları ilk olarak Wang ve Podlubny tarafından gerçekleştirilmiş ve bu yıllardan sonra KDS'ler birçok farklı alanda uygulamaları görülmektedir (Monje ve ark., 2010; Baleanu ve ark., 2011; Li ve ark., 2004).

Örneğin literatürde bulunan bazı çalışmalarda, kesir dereceli kontrol sistemlerinin zaman ve frekans tepkilerinin analizinde kolaylık sağlamak için MATLAB ortamında arayüz ve program geliştirilmiştir. Bu program kullanılarak kesir dereceli sistemlerin zaman tabanında birim basamak tepkileri, frekans tabanında Bode, Nyquist ve Nichols grafikleri kolayca çizilebilmektedir (Şenol ve ark., 2011). Arpacı ise çalışmasında, kesir dereceli kontrolör tasarım çalışmalarında, önce model referans uyarılma yöntemi ve daha sonra sinirsel-bulanık sistem yapısı kullanarak kesir dereceli PID kontrolör tasarımları gerçekleştirmiştir. Kesir dereceli sinirsel-bulanık sistemi ile kontrolör tasarımı için uyarılmalı sinirsel bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) kullanılarak kesir dereceli PID kontrolör yapısını oluşturmuştur. Bu şekilde bulanık mantık ve yapay sinir ağlarının avantajları birlikte kullanmıştır (Arpacı ve ark., 2018). Şenol ise çalışmasında; belirsizlik yapıları içeren kesir dereceli polinom ve transfer fonksiyonlarının analizi için geliştirilen yöntemler ve arayüz programları sunmuştur. Değer kümesi analizi ve sıfırı dışarıda bırakma prensibi kullanılarak doğrusal ve doğrusal olmayan belirsizlik yapıları içeren kesir dereceli polinomların kararlılık analizini yapmıştır (Şenol, 2015).

3.2.1.1. Kesir dereceli sistemler için çözüm yöntemleri

Son yıllarda hem matematikte hem de uygulamalarda kesirli dereceli sistemler büyük ilgi uyandırmıştır. Birçok bilim adamının KDS çözüm yöntemleri konusunda çalışması bulunmaktadır. KD sistemlerin hesaplanmasında kullanılan en önemli fonksiyon Gamma fonksiyonudur. Gamma fonksiyonu faktöriyel işleminin tüm reel sayılar için tanımlanmış hali olarak bilinir ve bu fonksiyon Denklem (3.7)'de ifade edildiği gibidir (Srivastava ve ark., 1984)

$$\Gamma(z) = \int_0^{\infty} t^{z-1} e^{-t} dt \quad (3.7)$$

$$\Gamma(n) = (n-1)!$$

Genel olarak kesir dereceli hesaplamada integro-diferansiyel operatörü Denklem (3.8)'deki gibi tanımlanmaktadır (Driscoll ve ark., 2010; Li ve ark., 2012). Burada, α kompleks türev veya integral derecesini göstermektedir (Li ve ark, 2012).

$${}_a D_t^\alpha = \begin{cases} \frac{d^\alpha}{dt^\alpha} & \text{Re}(\alpha) > 0 \\ 1 & \text{Re}(\alpha) = 0 \\ \int_a^t (d\tau)^{-\alpha} & \text{Re}(\alpha) < 0 \end{cases} \quad (3.8)$$

Gamma fonksiyonundan yararlanılarak Caputo, Grünwald-Letnikov, Riemann-Liouville ve Laplace dönüşümü gibi çözüm yaklaşımları mevcuttur (Baleanu ve ark. 2011).

3.2.1.1.1. Grünwald-Letnikov yöntemi

Sürekli bir fonksiyon olan $f(t)$ 'yi ele alalım. Bu fonksiyonun birinci ve ikinci dereceden türev yaklaşımı ayrık düzlemde KDS 'e uyarlanmış halidir ve aşağıdaki şekilde verilebilir.

$$\begin{aligned}
\frac{d}{dt} f(t) &= f'(t) = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{f(t) - f(t-h)}{h} \\
\frac{d^2}{dt^2} f(t) &= f''(t) = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{f'(t) - f'(t-h)}{h} \\
&= \lim_{h \rightarrow 0} \frac{1}{h} \left\{ \frac{f(t) - f(t-h)}{h} - \frac{f(t) - f(t-2h)}{h} \right\} \\
&= \lim_{h \rightarrow 0} \left\{ \frac{f(t) - 2f(t-h) + f(t-2h)}{h^2} \right\}
\end{aligned}
\tag{3.9}$$

Yukarıdaki kuralı uygulayarak $f(t)$ fonksiyonun n . dereceden genelleştirilmiş türevi şu şekilde hesaplanabilir:

$$\frac{d^n}{dt^n} f(t) = f^n(t) = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{1}{h^n} \sum_{j=0}^n (-1)^j \binom{n}{j} f(t-jh), \quad j > n, n \in \mathbb{N}
\tag{3.10}$$

Gamma fonksiyonu $\Gamma(\cdot)$, pozitif reel bir m için aşağıdaki şekilde tanımlanabilir.

$$\Gamma(m) = \int_0^{\infty} e^{-u} u^{m-1} du
\tag{3.11}$$

m değerinin tamsayı olduğu durumda ise gamma fonksiyonu,

$$\Gamma(m+1) = m!
\tag{3.12}$$

şeklinde ifade edilir. Limit değeri olarak $n = \frac{t-a}{h}$ yazarsak,

$${}_a D_t^r f(t) = \lim_{h \rightarrow 0} h^{-r} \sum_{j=0}^{\left[\frac{t-a}{h} \right]} (-1)^j \binom{r}{j} f(t-jh)
\tag{3.13}$$

denklemini elde ederiz. Burada, α gerçel bir katsayıdır ve $[x]$ gösterimi x 'in tamsayılı kısmını, h ise zaman artış miktarını göstermektedir. Operasyon derecesi olan r , gerçel

bir sayı olup, türevleme veya integralleme durumuna göre negatif veya pozitif olabilir (Şenol, 2015).

3.2.1.1.2. Caputo yöntemi

1967 yılında İtalyan matematikçi Caputo tarafından ortaya konan bu yöntem Denklem (3.14)'teki gibidir (Şevgin, 2016).

$${}_a D_t^r f(t) = \frac{1}{\Gamma(n-r)} \int_a^t \frac{f^n(\tau)}{(t-\tau)^{r-n+1}} d\tau, \quad (n-1 < r < n) \quad (3.14)$$

Yukarıda ki ifadede ki caputo denklemi ile, kesir dereceli diferansiyel denklemlerin başlangıç koşulları, tamsayı dereceli diferansiyel denklemlerle aynı formdadır (Şenol, 2015). Ve r, KD'yi ifade ederken, n ise r'den büyük en küçük tamsayıyı ifade etmektedir (Şevgin, 2016).

3.2.1.1.3. Riemann – Liouville yöntemi

Sık karşılaşılan bir diğer tanıma göre KD' li türev ve integral işlemi, Denklem (3.15) 'teki gibi ifade edilir (Çelik, 2010) .

$$\int_a^x dx_1 \int_a^{x_1} dx_2 \int_a^{x_3} \dots \int_a^{x_{n-1}} f(x_n) dx_n = \frac{1}{\Gamma(n)} \int_a^x \frac{f(t)}{(x-t)^{1-n}} dt \quad (3.15)$$

Bu denklemi KDS'ler için genelleyecek olursak Denklem (5.12)'de verilen ifade elde edilir (Şevgin 2016).

$$I_a^\alpha f(t) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_a^x \frac{f(x)}{(t-x)^{1-\alpha}} dx \quad (3.16)$$

3.2.2. Değişken dereceli sistemler

Kesir dereceli sistemlerin çözüm yöntemleri üzerine yapılan çalışmalar aynı zamanda değişken kesir dereceli sistemlerin çözüm yöntemlerine doğru evirilmektedir. Son yıllarda diferansiyel sistemler için çözüm yaklaşımları ortaya çıkmıştır ve genellikle Grünvald-Letnikov, Caputo ve Riemann-Liouville olmak üzere üç çözüm yöntemi düşünülmüştür (Sierociuk ve ark., 2015; Tavares ve ark., 2016; Zhao ve ark., 2015). Kesirli dereceli sistemlerin sayısal analizi için, genellikle Grünvald-Letnikov yöntemi kullanılır (Atan, 2014).

Kesirli-değişken dereceli sistemlerin birinci türevi, Grünvald-Letnikov yöntemi şu şekilde verilir:

$${}_a D_t^{\alpha(t)} f(t) = \lim_{h \rightarrow 0} \sum_{k=0}^{[(t-a)/h]} \frac{(-1)^k}{h^{\alpha(t)}} \binom{\alpha(t)}{k} f(t-kh) \quad (3.17)$$

İkinci dereceden kesirli değişken dereceli türevler, Grünvald-Letnikoff yöntemi şu şekilde verilir;

$${}_a D_t^{\alpha(t)} f(t) = \lim_{h \rightarrow 0} \sum_{k=0}^{[(t-a)/h]} \frac{(-1)^k}{h^{\alpha(t-kh)}} \binom{\alpha(t-kh)}{k} f(t-kh) \quad (3.18)$$

Üçüncü dereceden kesirli-değişken dereceli türevler Grünvald-Letnikov yöntemi şu şekilde bulunur:

$${}_a D_t^{\alpha(t)} f(t) = \lim_{h \rightarrow 0} \sum_{k=0}^{[(t-a)/h]} \frac{(-1)^k}{h^{\alpha(kh)}} \binom{\alpha(kh)}{k} f(t-kh) \quad (3.19)$$

Riemann-Liouville yönteminde, kesirli değişken dereceli sistemlerin üç tanımı vardır.

Kesirli değişken dereceli türevlerin ilk sol ve sağ türleri sırasıyla Riemann-Liouville yönteminde aşağıdaki gibi bulunur.

$${}_a D_t^{\alpha(t)} f(t) = \frac{1}{\Gamma(1-\alpha(t))} \frac{d}{dt} \int_a^t (t-\tau)^{\alpha(t)} f(\tau) d\tau \quad (3.20)$$

ve

$${}_a D_t^{\alpha(t)} f(t) = \frac{-1}{\Gamma(1-\alpha(t))} \frac{d}{dt} \int_t^b (\tau-t)^{-\alpha(t)} f(\tau) d\tau \quad (3.21)$$

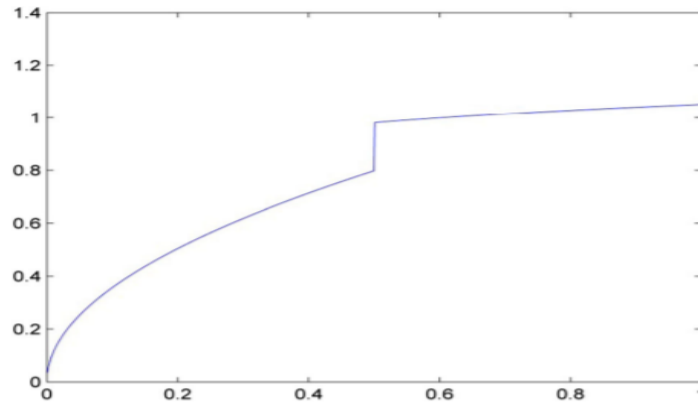
Kesirli değişken dereceli türevlerin ikinci sol ve sağ türleri sırasıyla Riemann-Liouville yöntemine göre aşağıdaki gibi bulunur;

$${}_a D_t^{\alpha(t)} f(t) = \frac{d}{dt} \left(\frac{-1}{\Gamma(1-\alpha(t))} \int_t^b (\tau-t)^{-\alpha(t)} f(\tau) d\tau \right) \quad (3.22)$$

ve

$${}_a D_t^{\alpha(t)} f(t) = \frac{d}{dt} \left(\frac{-1}{\Gamma(1-\alpha(t))} \int_t^b (\tau-t)^{-\alpha(t)} f(\tau) d\tau \right) \quad (3.23)$$

$f(t)=\sin(t)$ 'nin $\alpha(t)=\sin(t)$ olması durumunda, fonksiyonun türevi Şekil 3.2'de gösterilmiştir (Atan, 2019).



Şekil 3.2. $f(t)=\sin(t)$ 'nin $\alpha(t)=\sin(t)$ derecesine göre değişim grafiği (Atan, 2019).

3.3. Kesir Dereceli Memristörler

Memristör akınının yüke göre değişimi iken, kesir dereceli memristörde ise bu değişime bağlılık kesir dereceli olarak ifade edilir (Muthuswamy, 2010; Petras, 2010).

$$M^a(t) = \frac{d^a \phi}{dq^a} \quad (3.24)$$

Kesir dereceli memristörün, HP laboratuvarlarında yapılan çalışmalar sonucu gerçekleştirilen memristör benzeri eleman üzerinden matematiksel modeli ifade edilirse;

$$M^a(t) = \frac{d^a \phi}{dq^a} \approx R_{off} \left[1 - A \left(D_t^{-a} i(t) \right) \right] \quad (3.25)$$

şeklindedir (Fouda ve ark., 2013).

3.4. Değişken Dereceli Memristörler

Farklı memristör modellerinin uygulamaları araştırmacılar için yeni bir konudur. Önceki bölümde belirtilen klasik memristörler, akınının yüke göre değişimi olarak ele alınırken değişken dereceli memristörlerde bu değişime bağlılık değişken dereceli olarak ifade edilebilir. Değişken dereceli Akım ve gerilim devre elemanlarının arasındaki ilişki aşağıdaki gibidir (Atan, 2019).

$$i_{M^{\alpha_1(t), \alpha_2(t)}}(t) = \frac{1}{F_M^{\alpha_1(t), \alpha_2(t)}(t)} D_t^{\alpha_1(t) - \alpha_2(t)} v_2(t), \quad (3.26)$$

Burada $F_M^{\alpha_1(t), \alpha_2(t)}(t)$ memristörün derecesidir ve sabit olduğu varsayılır. Değişken dereceli memristörün akım ve gerilimi arasındaki ilişki, klasik memristörden farklıdır. Hafıza özelliği ayrıca sistem derecesine göre değişir. Burada $\alpha_1(t)$, $\alpha_2(t)$ değeri +1 ile -1 arasında değişkenlik gösterir (Atan, 2019).

3.5. Kesirli Dereceli Memristörler ve Filtreler

Kesirli dereceli bellek sistemleri kesirli diferansiyel ilişkilere sahip olduğundan, sistemler farklı özelliklere sahiptir. Bellek öğeleri için genelleştirilmiş bir Ohm yasası, Abdelouahab tarafından şu şekilde tanımlandı:

$$D_t^{\alpha_1} \varphi(t) - (F_M^{\alpha_1, \alpha_2}(t) D_t^{\alpha_2} q(t)) = 0 \quad (3.27)$$

$$F_M^{\alpha_1, \alpha_2} = a_{(\alpha_1, \alpha_2)} C_M^{-1} + b_{(\alpha_1, \alpha_2)} R_M + c_{(\alpha_1, \alpha_2)} L_M + d_{(\alpha_1, \alpha_2)} M_M$$

burada α_1 ve α_2 devre elemanı tiplerini gösterir (Çizelge 3.1) ; a, b ve c parametreler olarak seçilmiştir (Abdelouahab ve ark., 2019).

$$\begin{aligned} a_{(\alpha_1, \alpha_2)} &= \alpha_1 (1 - \alpha_2) \\ b_{(\alpha_1, \alpha_2)} &= \alpha_1 \alpha_2 \left(\frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2} \right) \\ c_{(\alpha_1, \alpha_2)} &= \alpha_2 (1 - \alpha_1) \\ d_{(\alpha_1, \alpha_2)} &= (1 - \alpha_2)(1 - \alpha_1) \end{aligned} \quad (3.28)$$

Çizelge 3.1. Pasif devre elemanlarının özellikleri

Devre Elemanı	α_1	α_2	$F_M^{\alpha_1, \alpha_2}$
Direnç	1	1	$F_M^{1,1} = R$
Bobin	0	1	$F_M^{0,1} = L$
Kapasitans	1	0	$F_M^{1,0} = \frac{1}{C}$
Memristör	0	0	$F_M^{0,0} = R_M$
Memdüktör	-1	0	$F_M^{-1,0} = L_M$
Memkapasitör	0	-1	$F_M^{0,-1} = \frac{1}{C_M}$

Çizelge 3.1'de α_1 ve α_2 miktarları klasik pasif elektriksel elemanlarda tamsayılardır. Klasik pasif devre elemanlarından farklı olarak kesirli mertebeden pasif devre elemanları α_1 ve α_2 'nin gerçek değerleri için tanımlanır. Aşağıdaki gibi eşitsizliklerle tanımlanırlar.

$$\begin{aligned} -1 &\leq \alpha_1 \leq 1 \\ -1 &\leq \alpha_2 \leq 1 \end{aligned} \quad (3.29)$$

Pasif kesir dereceli devre elemanları özel durum elemanlarıdır, yüksek dereceli kimyasal elementlerle oluşturulabilir ve pasif devre elemanları kesir dereceli bir diferansiyel denklem ile modellenebilir (Doha ve ark., 2019).

3.6. Memristör Uygulamaları

Chua; dirençler, kondansatörler, bobinler ve yükselteçlerden devre elemanları ile simüle edilmiş bir devre modeli geliştirmişti (Chua, 1971). Chua devresi olarak bilinen devrede doğrusal bir direncin değerini değiştirerek bir dizi kaotik davranışın nasıl oluşturulacağı gösterilmiş ve matematiksel olarak analiz edilmiştir. Sonuçları MATLAB ortamında grafik şeklinde görüntülenir (Yamaçlı ve ark. 2011).

Bunların yanında memristör kullanılarak yapılan programlanabilir direnç uygulaması (Shin, 2019) nöromorfik sistemlerde nano ölçekli memristör cihazı (Jo, 2010), kaos uygulamaları (Muthuswamy 2010; Wang ve ark., 2012) memristöre dayalı osilatör tasarımı (Itoh ve ark., 2008) yapılmıştır.

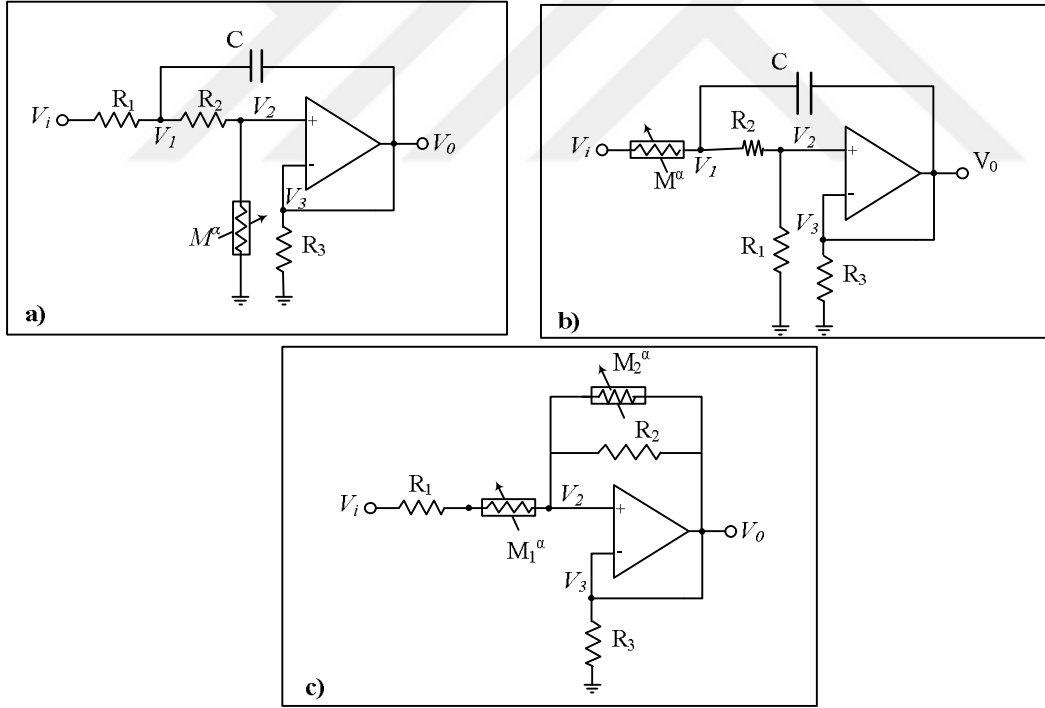
3.7. Filtre Uygulamaları

Memristor temelli filtreler ve karakteristikleri üzerinde yapılan çalışmalarda etkileyici sonuçlar elde edilmiş ve bu sonuçlar konvansiyonel filtrelerle karşılaştırılmıştır. Bu çalışmalardan bazılarını özetlersek; Lu ve arkadaşları Twin-T notch filter kullanarak memristör temelli devrelerde kaos kontrolü gerçekleştirmişlerdir (Lu ve ark., 2011), Driscoll ve ark. Memristor temelli adaptive filtre tasarlamışlardır

(Driscoll ve ark., 2010). Li ve Chew çalışmasında uyarlamalı alçak geçiren filtre tasarlamıştır (Li ve ark., 2012). Lee ve Nickel, memristör tarafından frekans ayarlaması yapabilen ayarlanabilir memristif alçak geçiren ve yüksek geçiren filtrelerin analog devrelerini tasarlamışlardır (Lee ve ark., 2012).

Bazı çalışmalarda değişken dereceli memristör kullanılarak alçak geçiren filtre, yüksek geçiren filtre ve bant geçiren filtre olmak üzere üç tip filtre tasarlanmış ve kesme frekansları, bant genişliği, kalite faktörü gibi aktif filtre parametreleri incelenmiştir (Atan, 2019).

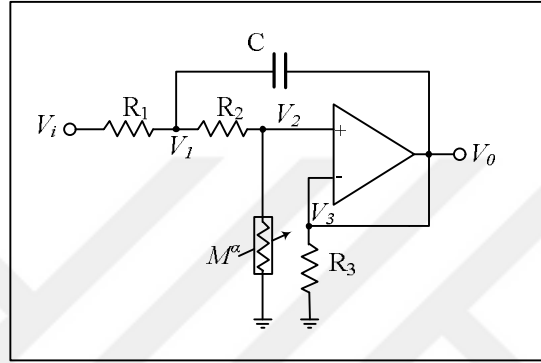
Bu filtreyi klasik ve memristor tabanlı filtrelerden ayıran özelliği, kondansatör yerine kesirli mertebeden memristor kullanılmasıdır. Kesir dereceli memristörlü alçak geçiren, yüksek geçiren ve bant geçiren filtre devreleri gibi üç tip filtre sırasıyla Şekil 3.3'te verilmiştir (Atan, 2019).



Şekil 3.3. a. kesir dereceli Alçak geçiren memristörlü filtre devresi, b. kesir dereceli yüksek geçiren memristörlü filtre devresi, c. kesir dereceli memristorlú bant geçiren filtre devresi.

3.7.1. Kesir dereceli alçak geçiren memristörlü filtre devresi analizi

Kesirli dereceli memristor modeli Denklem (3.27) 'de verilmiş ve Şekil 3.4'te alçak geçiren filtre devresinde kesir dereceli devre memristörünün akım ve gerilimi arasındaki ilişkiye göre dinamik model şu şekilde elde edilmiştir.



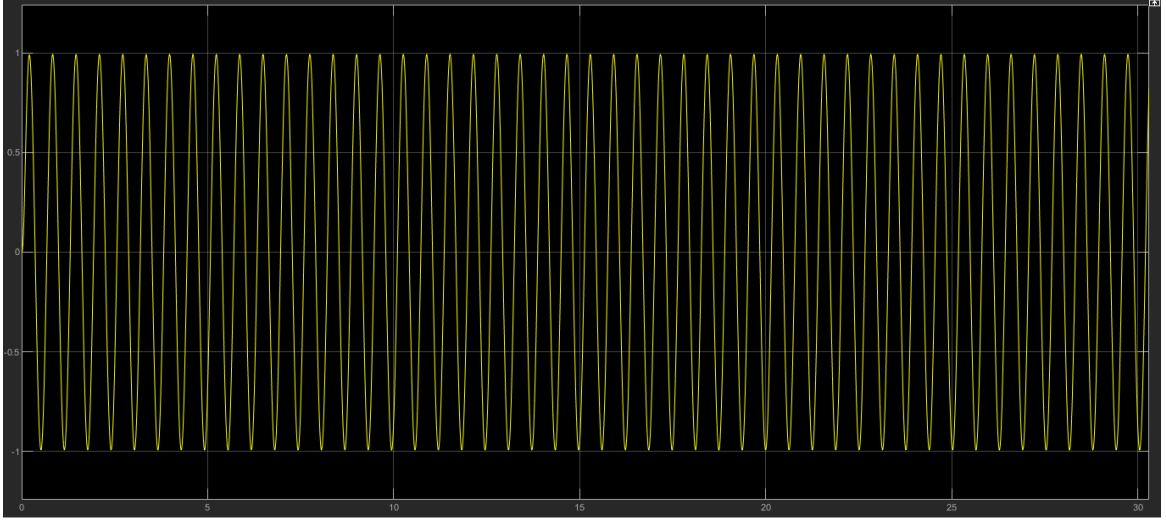
Şekil 3.4. Memristörlü alçak geçiren filtre devresi.

$$\begin{aligned}
 v_i(t) &= a D_t^{\alpha_1 - \alpha_2} v_0(t) + b D_t^{\alpha_1} v_0(t) + c v_0(t) \\
 a &= \left[\frac{R_1 R_3 + R_1 R_2 R_3 C + R_2 R_3}{F_M^{\alpha_1, \alpha_2} (R_3 + R_1)} \right] \\
 b &= \left[\frac{R_1 R_3 C}{(R_3 + R_1)} - R_1 C \right] \\
 c &= \frac{R_3}{(R_3 + R_1)}
 \end{aligned} \tag{3.30}$$

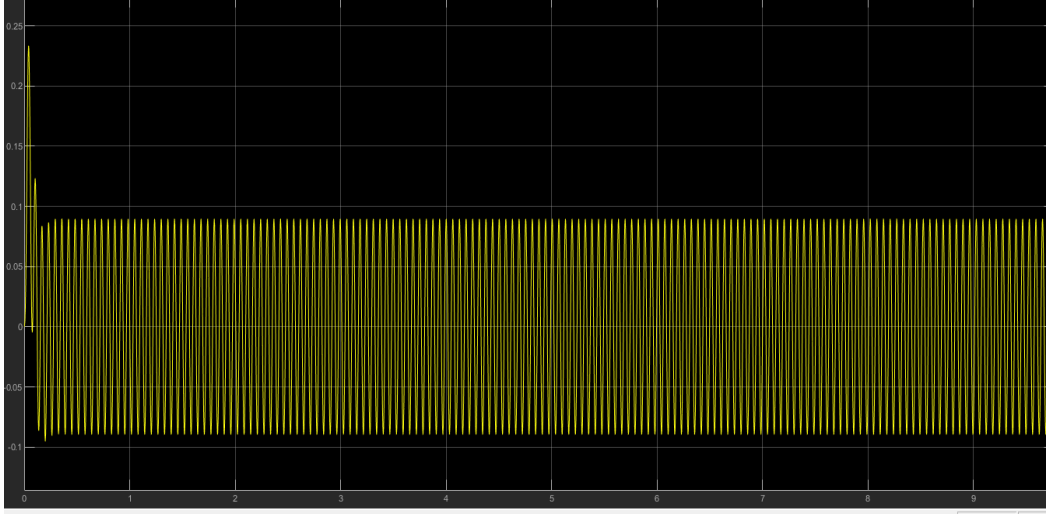
a, b ve c'nin sabit olduğu durumlarda devre parametrelerine bağlıdır. Alçak geçiren filtre devresi parametreleri Çizelge 3.2'de verilmiştir. Bu parametrelere göre filtrenin 10Hz, 100Hz ve 1kHz için sinyal çıkışları Şekil 3.5-3.7'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Alçak geçiren filtre devresi parametreleri

<i>Sembol</i>	<i>Değer</i>
R_1	5k Ω
R_2	120k Ω
C	10nF
R_M	1k Ω
M_M	1k Ω
C_M	20nF
L_M	3mH
α_1	0.9
α_2	0.1



Şekil 3.5. Memristörlü alçak geçiren filtre devresinin 10Hz giriş sinyali için tepkisi.



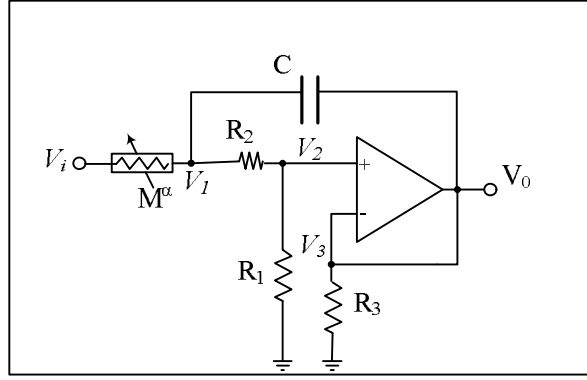
Şekil 3.6. Memristörlü alçak geçiren filtre devresinin 100Hz giriş sinyali için tepkisi.



Şekil 3.7. Memristörlü alçak geçiren filtre devresinin 1kHz giriş sinyali için tepkisi.

3.7.2. Kesir dereceli yüksek geçiren memristörlü filtre devresi analizi

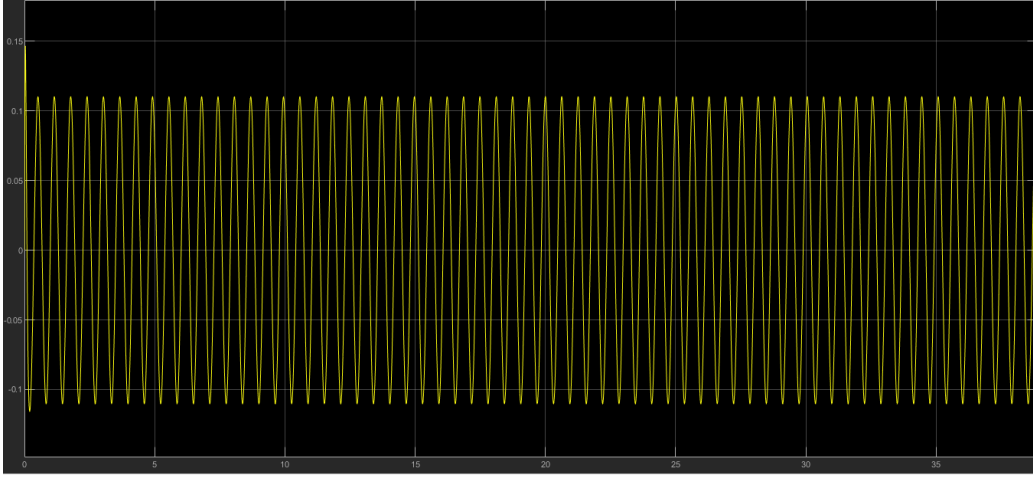
Kesirli dereceli memristör ile gerçekleştirilen ve Şekil 3.9'da gösterilen yüksek geçiren filtre devresine ait matematiksel ifade aşağıda verilmiştir:



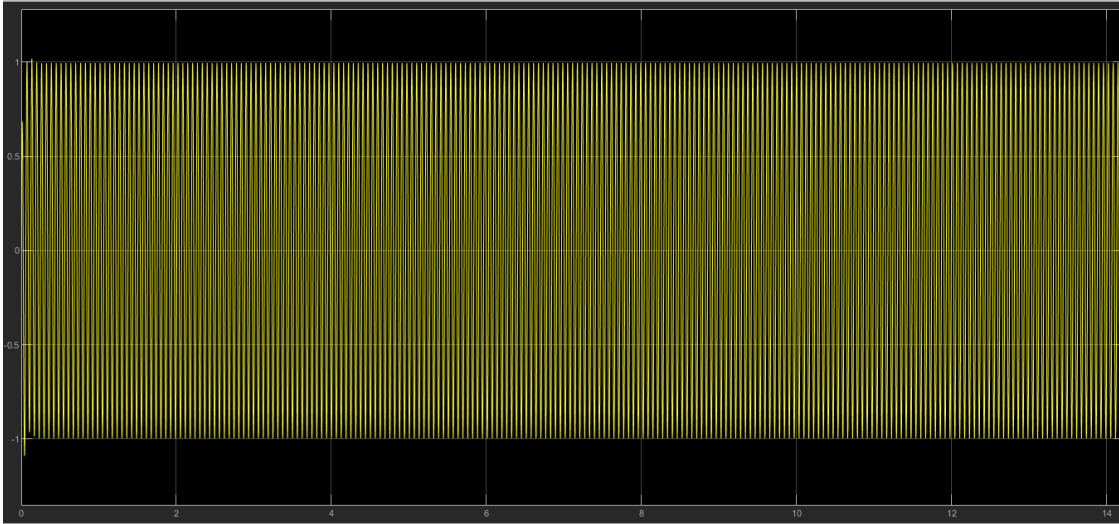
Şekil 3.8. Memristörlü yüksek geçiren filtre devresi.

$$\begin{aligned}
 v_0(t) &= \frac{1}{\gamma} \left[D_t^{\alpha+1} v_i(t) - D_t^{\alpha} \delta v_0(t) - \chi D_t^{\alpha+1} v_0(t) - \kappa D_t^{\alpha} v_0(t) \right] \\
 \alpha &= \alpha_1 - \alpha_2 \\
 \delta &= \frac{R_3 F_M^{\alpha_1, \alpha_2}}{R_1 (R_3 + R_2)} - \frac{F_M^{\alpha_1, \alpha_2}}{R_2} + \frac{F_M^{\alpha_1, \alpha_2} R_3}{R_2 (R_3 + R_1)} \\
 \chi &= \frac{R_3}{(R_3 + R_1)} \\
 \kappa &= \frac{R_3}{CR_2 (R_3 + R_1)} \\
 \gamma &= \frac{R_3 F_M^{\alpha_1, \alpha_2}}{CR_2^2 (R_3 + R_2)}
 \end{aligned} \tag{3.31}$$

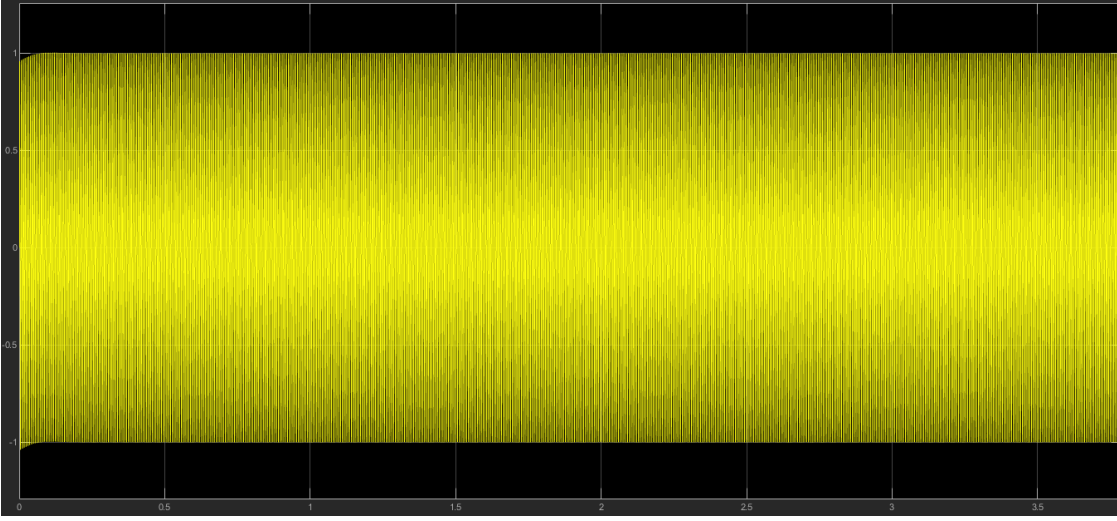
a, b ve c'nin sabit olduğu durumlarda devre parametrelerine bağlıdır. Bu filtrenin 10Hz, 100Hz ve 1kHz için sinyal çıkışları Şekil 3.10-3.12'de verilmiştir.



Şekil 3.9. Memristörlü yüksek geçiren filtre devresinin 10Hz giriş sinyali için tepkisi.



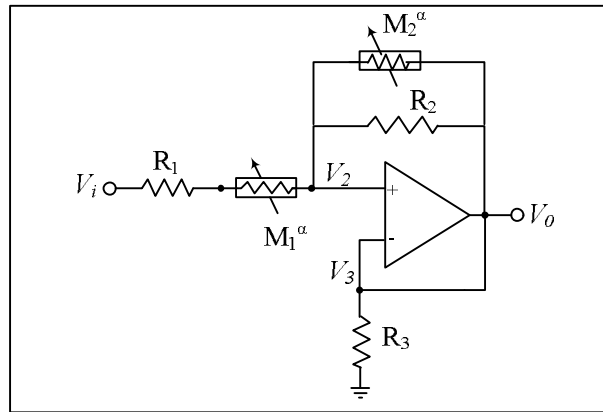
Şekil 3.10. Memristörlü yüksek geçiren filtre devresinin 100Hz giriş sinyali için tepkisi.



Şekil 3.11. Memristörlü yüksek geçiren filtre devresinin 1kHz giriş sinyali için tepkisi.

3.7.3. Kesir dereceli bant geçiren memristörlü filtre devresi analizi

Yüksek ve alçak geçiren filtrelerde olduğu gibi Şekil 3.12’de verilen kesirli dereceli memristörlü bant geçiren devre elemanının akımı ve gerilimi arasındaki ilişki aşağıda verilmiştir.



Şekil 3.12. Memristörlü bant geçiren filtre devresi.

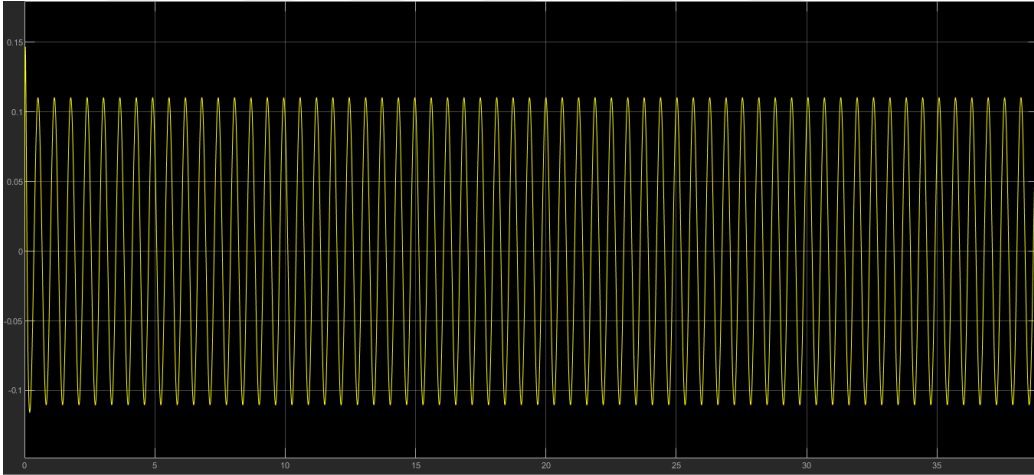
$$v_i(t) = a D_t^{\alpha_1 - \alpha_2} v_0(t) + b D_t^{\alpha_2 - \alpha_1} v_0(t) + c v_0(t)$$

$$a = \frac{R_1 R_2}{F_M^{\alpha_1, \alpha_2} (R_2 + R_3)}$$

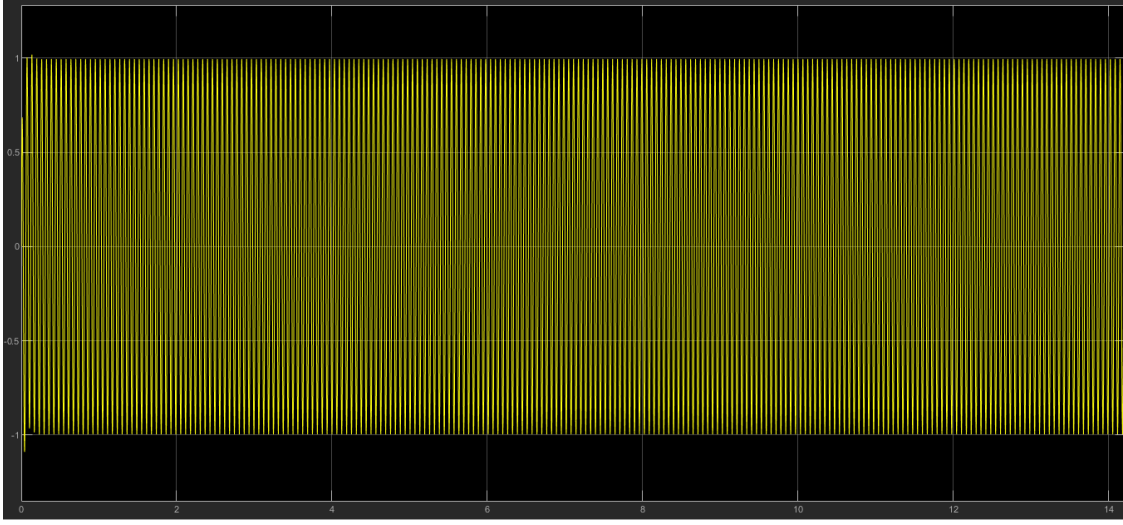
$$b = \frac{R_1 R_4 F_{M2}}{R_2 R_3 (R_3 + R_2)}$$

$$c = \frac{R_1 R_3 F_{M2}}{F_{M1} R_3 (R_2 + R_1)} + \frac{R_1 R_3}{R_3 (R_1 + R_2)} + \frac{R_3}{(R_1 + R_2)} + \frac{R_3 F_{M2}}{R_3 (R_1 + R_2)}$$
(3.32)

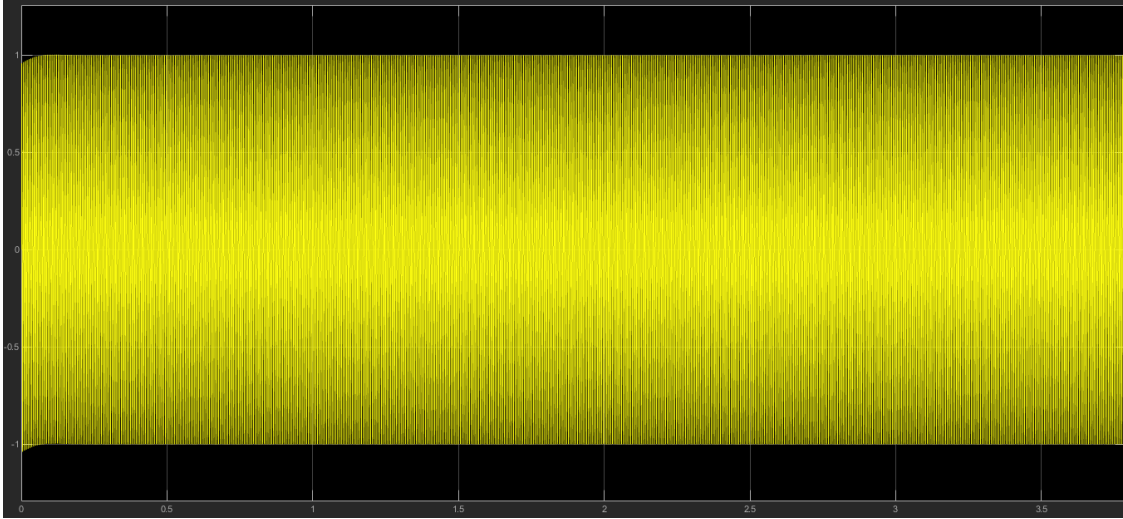
a, b ve c'nin sabit olduğu durumlarda devre parametrelerine bağlıdır. Bu filtrenin 10Hz, 100Hz ve 1kHz için sinyal çıkışları Şekil 3.13-3.15'da verilmiştir.



Şekil 3.13. Memristörlü bant geçiren filtre devresinin 10Hz giriş sinyali için tepkisi.



Şekil 3.14. Memristörlü bant geçiren filtre devresinin 100Hz giriş sinyali için tepkisi.



Şekil 3.15. Memristörlü bant geçiren filtre devresinin 1kHz giriş sinyali için tepkisi.

3.8. Denetleyici Uygulamaları

3.8.1. Temel denetim tipleri

Otomatik kontrol sistemlerinde denetim çok önemli. Bir sistemin kontrol edilmesi için birçok denetim türü kullanılıyor. Bunlardan bir tanesi de sürekli denetimlerden PID denetleyiciler. Sürekli denetim türleri, geri besleme yoluyla hata

farkına göre çıkışa bir sinyal üretmek kontrolü sağlar. PID'nin açılımına bakacak olursak;

-Orantı denetim etkisi (P)

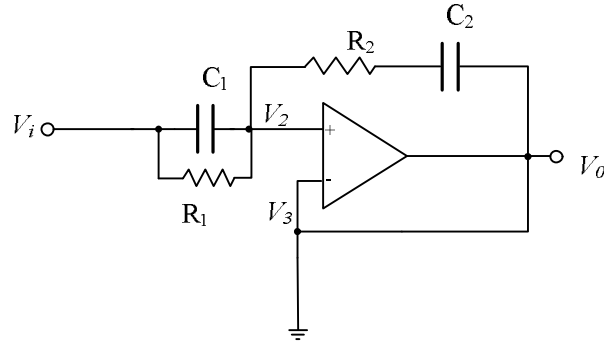
-İntegral denetim etkisi (I)

-Türev denetim etkisi (D)

Bu sürekli denetim türleri P denetleyici, I denetleyici, D denetleyici ve bu denetimlerden birkaçının bir araya gelerek PI denetleyici, PD denetleyici ve PID denetleyici denetim organları oluşur. P denetleyici, oransal terim sistemdeki hatayı bir katsayı (K_p) ile çarparak küçültmeyi hedefler. Bu işlemle birlikte hata hızlıca düzeltilir ancak çıkışta osilasyon görülme ihtimali artar. Bu yüzden salınımları önlemek için K_p değeri yüksek seçilmemelidir. I denetleyici, İntegral hatanın alanını bulmak anlamına gelir. Her bir periyottaki hata katsayı (K_i) ile çarpılarak toplanır. Sürekli toplama işlemi yapıldığı için integral çok fazla artmadan sınırlandırılması gerekir. D denetleyici, Türev zamana bağlı değer değişimi ile ilgilidir. Sistemde gerçekleşen değişimden gerçekleşecek değişimi fark eder ve sistemi istenen değer üzerine çıkmaması için yavaşlatır. Eğer iki örnek arasındaki hatada değişim olmadıysa türev sıfır olur (Kuo, 1995).

3.8.2. Klasik PID denetleyici devre modeli

Pratikte, birçok devre doğrusal PID kontrolörü olarak kullanılabilir. Şekil 3.16'da klasik doğrusal PID denetleyici devreleri gösterilmektedir. Şekil 3.16'da, U_1 giriş, kapalı döngü hatası $e(t)$, U_2 ise çıkıştır ve genellikle kontrol eylemidir. C_1 , C_2 kapasitördür ve R_1 , R_2 dirençtir. Burada opamp işlemsel kuvvetlendiricidir, B noktası, topraklama bağlantılarıdır. Bu nedenle Opampın direnci genellikle çok büyüktür, Opampdan geçen akımın çok zayıf, sıfıra yakın olduğunu varsayabiliriz. Dolayısıyla A noktasının potansiyelinin B noktasının potansiyeline eşit olduğunu, yani sıfır olduğunu varsayıyoruz (Wang ve ark., 2011).



Şekil 3.16. Klasik doğrusal PID denetleyici devreleri.

B noktası sıfıra eşittir. Akım $i_1(t)$ den geçiyor . C_1 kondansatörü aracılığıyla $C_1 \frac{du_1(t)}{dt}$,mevcut $i_2(t)$ geçiyor. R_1 direnci aracılığıyla $\frac{u_1(t)}{R_1}$. Geçen akım $i(t)$ direnç R_2 ve kapasitör C_2 , $i_1(t) + i_2(t)$ 'dir. Elde edilen denklemler aşağıdadır;

$$i_1(t) = C_1 \frac{du_1(t)}{dt} \quad (3.33)$$

$$i_2(t) = \frac{u_1(t)}{R_1} \quad (3.34)$$

$$i(t) = i_1(t) + i_2(t) \quad (3.35)$$

$$u_2(t) = R_2 i(t) + u_{C_2}(t) \quad (3.36)$$

$$i(t) = C_2 \frac{du_{C_2}(t)}{dt} \quad (3.37)$$

(3.37) 'de $u_{C_2}(t) = \frac{1}{C_2} \int_0^t i(\tau) d\tau$ (3.33), (3.34)'nin (3.35) 'e yerleştirilmesiyle,

$$i(t) = i_1(t) + i_2(t) = C_1 \frac{du_1(t)}{dt} + \frac{u_1(t)}{R_1} \quad (3.38)$$

Eğer $u_1(0) = 0$ olarak alırsak ,

$$\begin{aligned}
u_{C_2}(t) &= \frac{1}{C_2} \int_0^t i(\tau) d\tau \\
&= \frac{1}{C_2} \int_0^t \left(C_1 \frac{du_1(\tau)}{d\tau} + \frac{u_1(\tau)}{R_1} \right) d\tau \\
&= \frac{C_1}{C_2} \int_0^t du_1(\tau) + \frac{1}{R_1 C_2} \int_0^t u_1(\tau) d\tau \\
&= \frac{C_1}{C_2} u_1(t) + \frac{1}{R_1 C_2} \int_0^t u_1(\tau) d\tau
\end{aligned} \tag{3.39}$$

(3.39)'a (3.33)' teki denklemi yerleştirirsek,

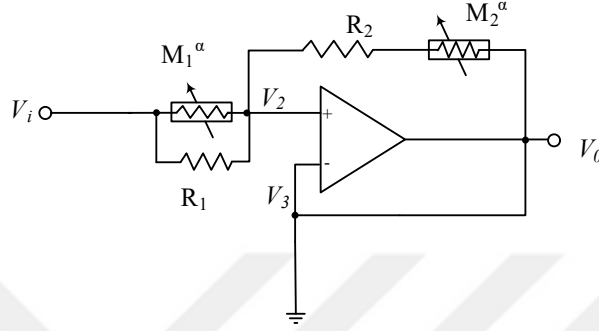
$$\begin{aligned}
u_2(t) &= R_2 i(t) + u_{C_2}(t) \\
&= R_2 \left(C_1 \frac{du_1(t)}{dt} + \frac{u_1(t)}{R_1} \right) + \frac{C_1}{C_2} u_1(t) + \frac{1}{R_1 C_2} \int_0^t u_1(\tau) d\tau \\
&= \left(\frac{R_2}{R_1} + \frac{C_1}{C_2} \right) u_1(t) + \frac{1}{R_1 C_2} \int_0^t u_1(\tau) d\tau + R_2 C_1 \frac{du_1(t)}{dt}
\end{aligned} \tag{3.40}$$

Denklem (3.40)' ta ilk terim orantısal bir ögedir, ikinci terim entegre bir ögedir ve üçüncü terim bir türev ögesidir, böylece Şekil 3.16'da gösterilen devre PID kontrolörü olarak kullanılabilir. Gerçek kontrollü bir sistemde, $u_1(t)$ giriş, kapalı döngü hatası $e(t)$, $u_2(t)$ ise çıkıştır ve genellikle kontrol eylemidir. R_1 , R_2 , C_1 , C_2 değerleri verilirse Şekil 3.16'da gösterilen PID devresi doğrusal sabit kazançlı bir kontrol cihazıdır (Wang ve ark., 2011).

3.8.3. Memristörlü PID denetleyici devre modeli

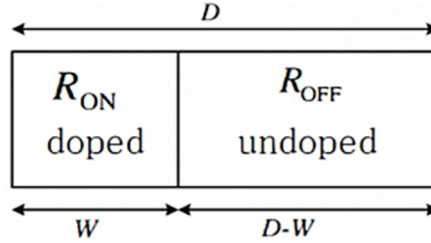
Şekil 3.16'da gösterilen PID denetleyicisi, lineer olmasına rağmen R_1 , R_2 , C_1 , C_2 sabit olduğunda doğrusal bir denetleyicidir. PID kontrolörleri genellikle bir nominal değeri kontrol etmek için yeterlidir. Fiziksel süreç, yüksek performanslı kontrol gereksinimli çalışma koşullarında veya çevresel koşullarda değişiklik olduğunda kontrol parametreleri genellikle basit PID' nin yeteneklerinin çok ötesindedir.

Bir memristörün direnci voltaj ile adaptif değiştirilebilir. Yani Şekil 3.17'de gösterilen kapasitör C_1 'e paralel olan R_1 ayarlanabilir direncin yerine M_1 konulursa, (Wang ve ark., 2011).



Şekil 3.17. M-PID kontrolör devre şeması.

Memristor'un direncini elde etmek için sonucu uyguluyoruz (Joglekar ve ark.,2006).



Şekil 3.18. D uzunluğunda bir memristor şeması .

Şekil 3.18'de D ($D \sim 10\text{nm}$) boyutunda bir memristor şeması gösterilmektedir.Seri olarak iki direnç olarak modellenmiştir (Wang ve ark., 2011).

Burada D ile memristörün uzunluğunu belirtmektedir ve memristörün direnci

$$M(t) = R_{off} + (R_{on} - R_{off}) \frac{w(t)}{D}$$

şeklinde hesaplanır. Bu formüle göre memristörün direncinin yük miktarına göre değişimi aşağıda verilmiştir.

$$M(q(t)) = R_0 \sqrt{1 - 2\Delta R\phi(t) / Q_0 R_0^2} \quad (3.41)$$

Burada $\phi(t) = \int_0^t v(\tau) d\tau$, $v(t)$ gerilimi ile ilişkili manyetik akıdır.

Klasik PID kontrolör modeline benzer şekilde, memristörden geçen $i_2(t)$ akımını elde ederiz:

$$i_2(t) = \frac{u_1(t)}{M_1} = \frac{u_1(t)}{R_0 \sqrt{1 - 2\Delta R\phi(t) / Q_0 R_0^2}} \quad (3.42)$$

Sonra R_2, C_2 'den geçen $i(t)$ akımını elde ederiz,

$$\begin{aligned} i(t) &= i_1(t) + i_2(t) \\ &= C_1 \frac{du_1(t)}{dt} + \frac{u_1(t)}{R_0 \sqrt{1 - 2\Delta R\phi(t) / Q_0 R_0^2}} \end{aligned} \quad (3.43)$$

Ardından C_2 kapasitöründen geçen U_{C2} gerilimini hesaplarız,

$$\begin{aligned} u_{C2}(t) &= \frac{1}{C_2} \int_0^t i(\tau) d\tau \\ &= \frac{1}{C_2} \int_0^t (i_1(\tau) + i_2(\tau)) d\tau \\ &= \frac{1}{C_2} \int_0^t \left(C_1 \frac{du_1(\tau)}{d\tau} + \frac{u_1(\tau)}{R_0 \sqrt{1 - 2\Delta R\phi(\tau) / Q_0 R_0^2}} \right) d\tau \\ &= \frac{C_1}{C_2} \int_0^t du_1(\tau) + \frac{1}{C_2} \int_0^t \left(\frac{u_1(\tau)}{R_0 \sqrt{1 - 2\Delta R\phi(\tau) / Q_0 R_0^2}} \right) d\tau \\ &= \frac{C_1}{C_2} u_1(t) + \frac{1}{R_0 C_2} \int_0^t \left(\frac{u_1(\tau)}{\sqrt{1 - 2\Delta R\phi(\tau) / Q_0 R_0^2}} \right) d\tau \end{aligned} \quad (3.44)$$

Sonuç olarak $u_2(t)$ gerilimini elde ederiz.

$$\begin{aligned}
 u_2(t) &= R_2 i(t) + u_{C_2}(t) \\
 &= R_2 \left(C_1 \frac{du_1(t)}{dt} + \frac{u_1(t)}{M_1} \right) + \frac{C_1}{C_2} u_1(t) + \frac{1}{R_0 C_2} \int_0^t \left(\frac{u_1(\tau)}{\sqrt{1 - 2\Delta R \phi(\tau) / Q_0 R_0^2}} \right) d\tau \\
 &= R_2 C_1 \frac{du_1(t)}{dt} + \frac{R_2}{R_0} \frac{u_1(t)}{\sqrt{1 - 2\Delta R \phi(t) / Q_0 R_0^2}} + \frac{C_1}{C_2} u_1(t) + \frac{1}{R_0 C_2} \int_0^t \left(\frac{u_1(\tau)}{\sqrt{1 - 2\Delta R \phi(\tau) / Q_0 R_0^2}} \right) d\tau
 \end{aligned} \tag{3.45}$$

M-PID kontrolörünün modelidir ve şunları içerir : Oranlı öge, entegre öge ve türev öge. Parametreleri t zamanı ile bağlantılıdır, bu nedenle doğrusal olmayan PID kontrolördür. Memristor'un direnci, ayarlanabilir kazanç olarak kullanılabilen voltajına göre otomatik olarak değişir (Wang ve ark., 2011).

4. BULGULAR

Bu tez çalışmasında değişken dereceli memristörlerin aktif filtreler ve PID devrelerindeki etkisi incelenmiştir. Aktif filtrelerde yüksek geçiren alçak geçiren ve bant geçiren filtreler, denetleyicilerde ise opamp ile yapılan PID denetleyicisi üzerinde yapılan simülasyonlar ile bu elemanın davranışları analiz edilmiştir.

4.1. Değişken Dereceli Memristörlerin Filtre Uygulamaları

Aktif filtreler devre elemanlarında kullanılan kapasitör yerine memristör yerleştirilerek filtre davranışı Matlab/Simulink programında analiz edilmiştir. Analiz edilen bu devre davranışlarına ait çıktılar bu kısımda verilmiştir.

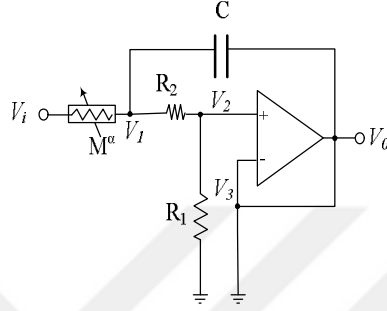
4.1.1. Değişken dereceli memristörlü yüksek geçiren filtre devresi

Değişken dereceli devre elemanının akımı ve gerilimi arasındaki ilişki şu şekilde verilir:

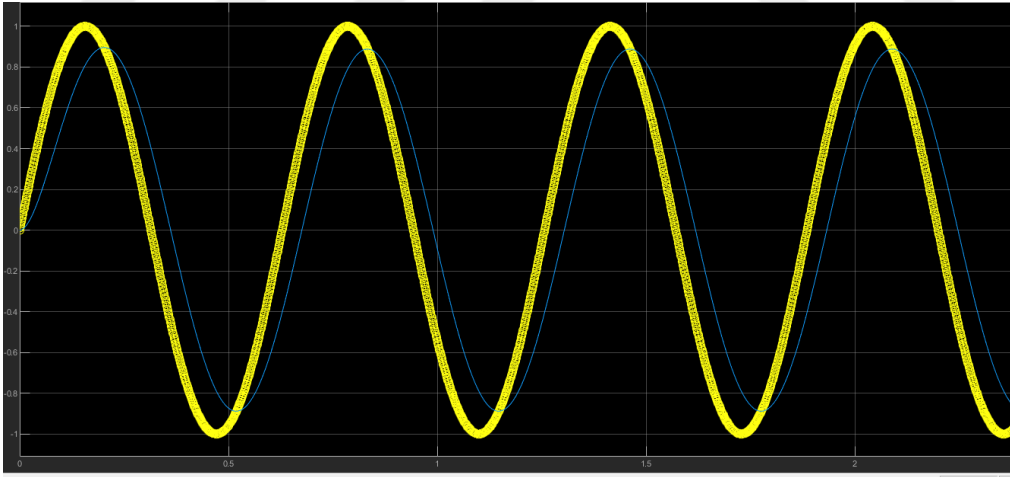
$$\begin{aligned} v_i(t) &= a D_t^{\alpha_1(t)-\alpha_2(t)} v_0(t) + b D_t^{\alpha_1} v_0(t) + c v_0(t) \\ a &= \left[\frac{R_1 R_3}{F_M^{\alpha_1(t), \alpha_2(t)} (R_3 + R_4)} + \frac{R_1 R_2 R_3 C_2}{F_M^{\alpha_1(t), \alpha_2(t)} (R_3 + R_4)} + \frac{R_2 R_3}{F_M^{\alpha_1(t), \alpha_2(t)} (R_3 + R_4)} \right] \\ b &= \left[\frac{R_1 R_3 C_2}{(R_3 + R_4)} - R_1 C_2 \right] \\ c &= \frac{R_3}{(R_3 + R_4)} \end{aligned} \quad (4.1)$$

a, b ve c'nin sabit olduğu durumlarda devre parametrelere bağlıdır. Ekte verilen Yüksek geçiren filtre devresinde Şekil 4.1 'de direnç yerine değişken dereceli memristör kullanılarak filtrenin davranışı analiz edilmiştir. Elde edilen bu simülasyon sonucunda

giriş sinyalinin yüksek ve alçak frekanslı giriş sinyaline karşı cevapları aşağıdaki Şekil 4.1 'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Değişken dereceli yüksek geçiren filtre devresi.



Şekil 4.2. Değişken dereceli yüksek geçiren filtre devresinin düşük frekans sinyal tepkisi.



Şekil 4.3. Değişken dereceli yüksek geçiren filtre devresinin yüksek frekans sinyal tepkisi.

4.1.2. Değişken dereceli memristörlü alçak geçiren filtre devresi

Kesirli dereceli memristor modeli Denklemleri (3.24, 3.25) analiz edilerek ,yüksek geçiren filtre devresinde değişken dereceli devre memristörünün akım ve gerilimi arasındaki ilişkiye göre dinamik model şu şekilde ifade edilmiştir:

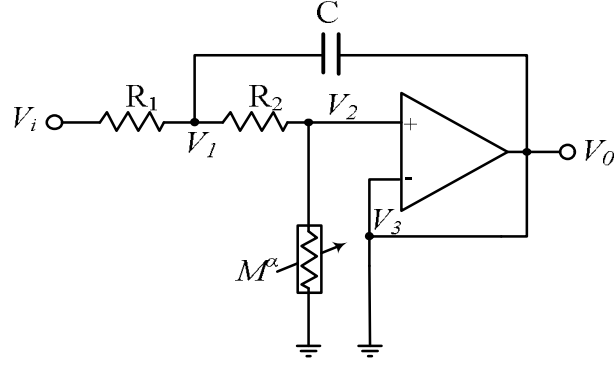
$$v_i(t) = a D_t^{\alpha_1(t) - \alpha_2(t)} v_0(t) + b D_t^{\beta} v_0(t) + c v_0(t)$$

$$a = \left[\frac{R_1 R_3 + R_1 R_2 R_3 C + R_2 R_3}{F_M^{\alpha_1(t), \alpha_2(t)} (R_3 + R_4)} \right] \quad (4.2)$$

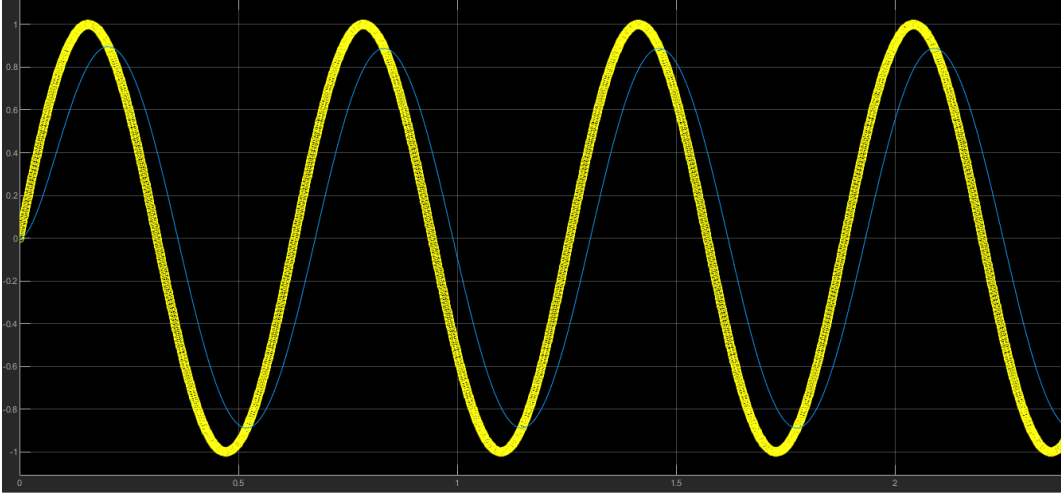
$$b = \left[\frac{R_1 R_3 C}{(R_3 + R_4)} - R_1 C \right]$$

$$c = \frac{R_3}{(R_3 + R_4)}$$

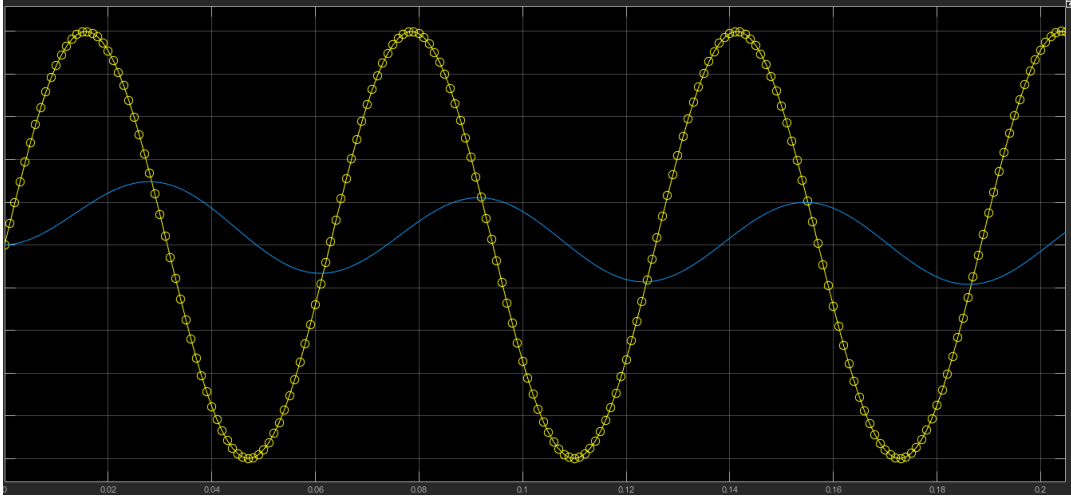
a, b ve c'nin sabit olduğu durumlarda devre parametrelere bağlıdır. Ekte verilen alçak geçiren filtre devresinde direnç yerine değişken dereceli memristör kullanılarak filtrenin davranışı analiz edilmiştir. Elde edilen bu simülasyon sonucunda giriş sinyalinin yüksek ve alçak frekanslı giriş sinyaline karşı cevapları aşağıdaki Şekil 4.4'te gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Değişken dereceli alçak geçiren filtre devresi.



Şekil 4.5. Alçak geçiren filtre devresinin 100Hz lik sinyale tepkisi.



Şekil 4.6. Alçak geçiren filtre devresinin 10Hz lik sinyale tepkisi.

4.1.3. Değişken dereceli memristörlü bant geçiren filtre devresi

Değişken dereceli devre elemanının akımı ve gerilimi arasındaki ilişki şu şekilde ifade edilirse,

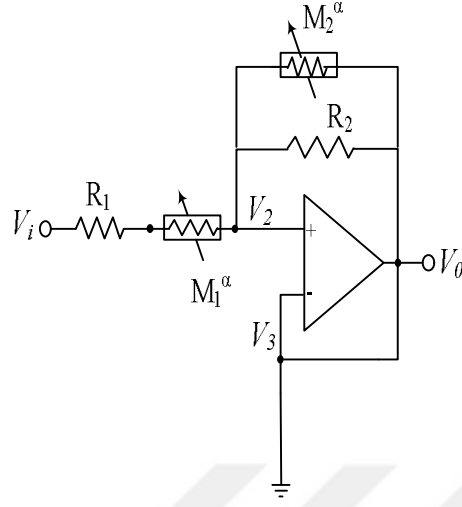
$$v_i(t) = a D_i^{\alpha_1(t) - \alpha_2(t)} v_0(t) + b D_i^1 v_0(t) + c v_0(t)$$

$$a = \left[\frac{R_1 R_3}{F_M^{\alpha_1(t), \alpha_2(t)} (R_3 + R_4)} + \frac{R_1 R_2 R_3 C_2}{F_M^{\alpha_1(t), \alpha_2(t)} (R_3 + R_4)} + \frac{R_2 R_3}{F_M^{\alpha_1(t), \alpha_2(t)} (R_3 + R_4)} \right] \quad (4.3)$$

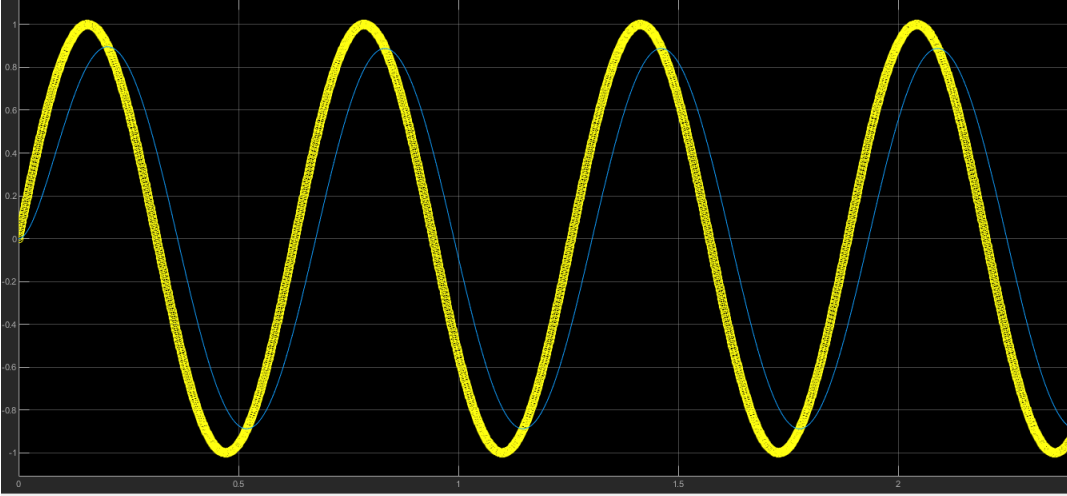
$$b = \left[\frac{R_1 R_3 C_2}{(R_3 + R_4)} - R_1 C_2 \right]$$

$$c = \frac{R_3}{(R_3 + R_4)}$$

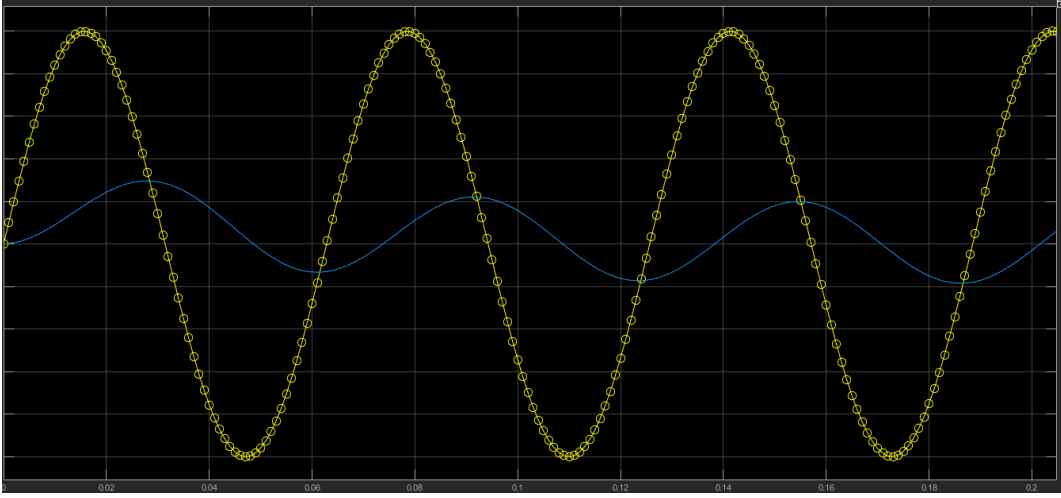
a, b ve c'nin sabit olduğu durumlarda devre parametrelere bağlıdır. Ekte verilen bant geçiren filtre devresinde direnç yerine değişken dereceli memristör kullanılarak filtrenin davranışı analiz edilmiştir. Elde edilen bu simülasyon sonucunda giriş sinyalinin yüksek ve alçak frekanslı giriş sinyaline karşı cevapları aşağıdaki Şekil 4.7 'de gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Değişken dereceli bant geçiren filtre devresi.



Şekil 4.8. Bant geçiren filtre devresinin 100Hz lik sinyale tepkisi.



Şekil 4.9. Bant geçiren filtre devresinin 10Hz lik sinyale tepkisi.

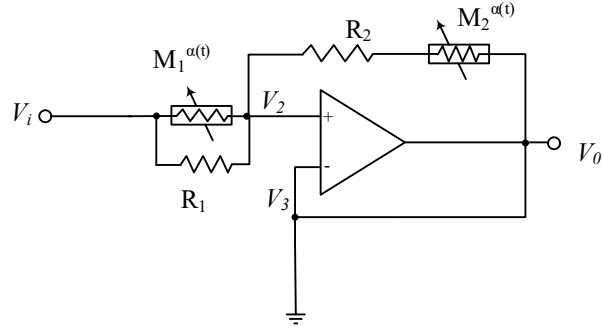
4.2. Değişken Dereceli Memristörlerin Denetleyici Uygulamaları

Denetleyicilerde devre elemanlarında kullanılan kapasitör yerine memristör yerleştirilerek denetleyici davranışı Matlab/Simulink programında analiz edilmiştir. Analiz edilen bu denetleyici davranışlarına ait çıktılar bu kısımda verilmiştir.

4.2.1. Değişken dereceli memristörlerin PID uygulamaları

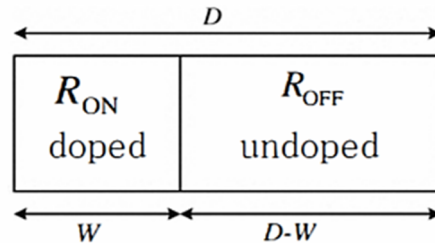
Şekil 4.10'da gösterilen PID denetleyicisi, lineer olmasına rağmen R_1 , R_2 , C_1 , C_2 sabit olduğunda doğrusal bir denetleyicidir. PID kontrolörleri genellikle bir nominal değeri kontrol etmek için yeterlidir. Fiziksel süreç, yüksek performanslı kontrol gereksinimli çalışma koşullarında veya çevresel koşullarda değişiklik olduğunda kontrol parametreleri genellikle basit PID' nin yeteneklerinin çok ötesindedir. (Wang ve ark., 2011).

Bir memristörün direnci voltaj ile adaptif değiştirilebilir. Yani Şekil 4.10'da gösterilen kapasitör C_1 'e paralel olan R_1 ayarlanabilir direncin yerine M_1 konulursa, (Wang ve ark., 2011).



Şekil 4.10. M-PID kontrolör devre şeması.

Şekil 4.11'de D ($D \sim 10\text{nm}$) boyutunda bir memristor şeması gösterilmektedir. Seri olarak iki direnç olarak modellenmiştir (Wang ve ark.,2011).



Şekil 4.11. D uzunluğunda bir memristor şeması.

$$M(q(t)) = R_0 \sqrt{1 - 2\Delta R \phi(t) / Q_0 R_0^2} \quad (4.4)$$

Burada $\phi(t) = \int_0^t v(\tau) d\tau$, $v(t)$ gerilimi ile ilişkili manyetik akıdır

Klasik PID kontrolör modeline benzer şekilde, memristörden geçen $i_2(t)$ akımını elde ederiz:

$$i_2(t) = \frac{u_1(t)}{M_1} = \frac{u_1(t)}{R_0 \sqrt{1 - 2\Delta R \phi(t) / Q_0 R_0^2}} \quad (4.5)$$

Sonra R_2 , C_2 'den geçen $i(t)$ akımını elde ederiz,

$$\begin{aligned}
i(t) &= i_1(t) + i_2(t) \\
&= C_1 \frac{du_1(t)}{dt} + \frac{u_1(t)}{R_0 \sqrt{1 - 2\Delta R\phi(t) / Q_0 R_0^2}}
\end{aligned} \tag{4.6}$$

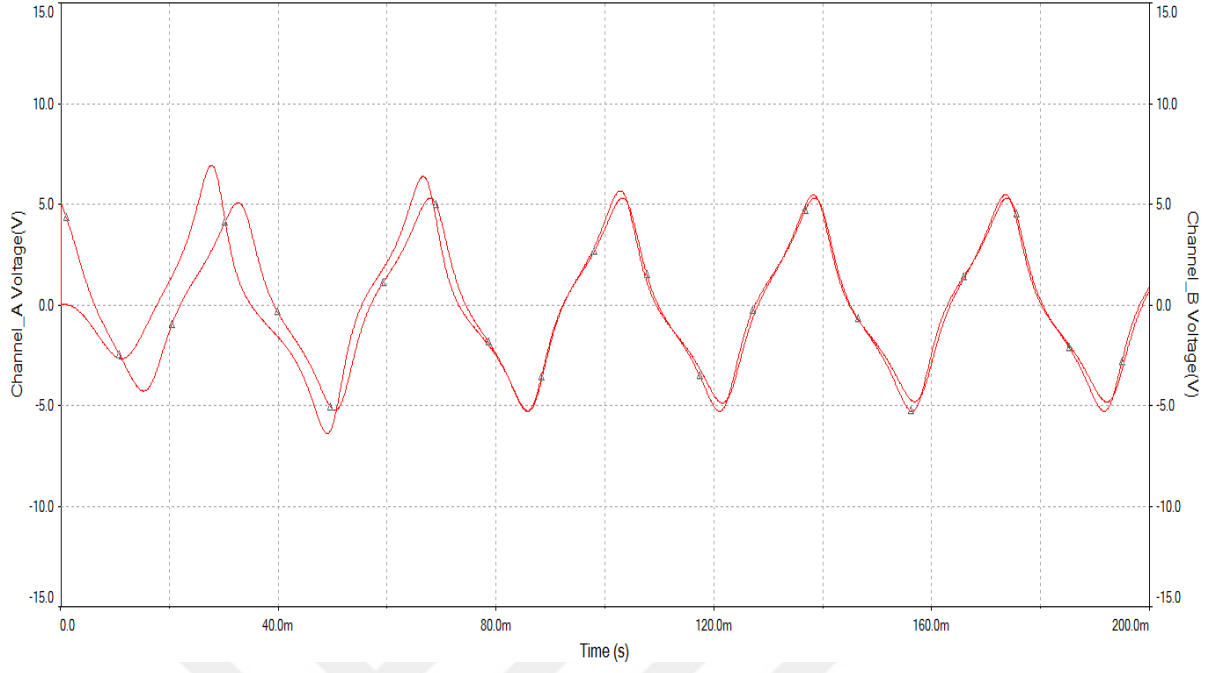
Ardından C_2 kapasitöründen geçen $U_{C_2}(t)$ gerilimini hesaplarız,

$$\begin{aligned}
u_{C_2}(t) &= \frac{1}{C_2} \int_0^t i(\tau) d\tau \\
&= \frac{1}{C_2} \int_0^t (i_1(\tau) + i_2(\tau)) d\tau \\
&= \frac{1}{C_2} \int_0^t \left(C_1 \frac{du_1(\tau)}{d\tau} + \frac{u_1(\tau)}{R_0 \sqrt{1 - 2\Delta R\phi(\tau) / Q_0 R_0^2}} \right) d\tau \\
&= \frac{C_1}{C_2} \int_0^t du_1(\tau) + \frac{1}{C_2} \int_0^t \left(\frac{u_1(\tau)}{R_0 \sqrt{1 - 2\Delta R\phi(\tau) / Q_0 R_0^2}} \right) d\tau \\
&= \frac{C_1}{C_2} u_1(t) + \frac{1}{R_0 C_2} \int_0^t \left(\frac{u_1(\tau)}{\sqrt{1 - 2\Delta R\phi(\tau) / Q_0 R_0^2}} \right) d\tau
\end{aligned} \tag{4.7}$$

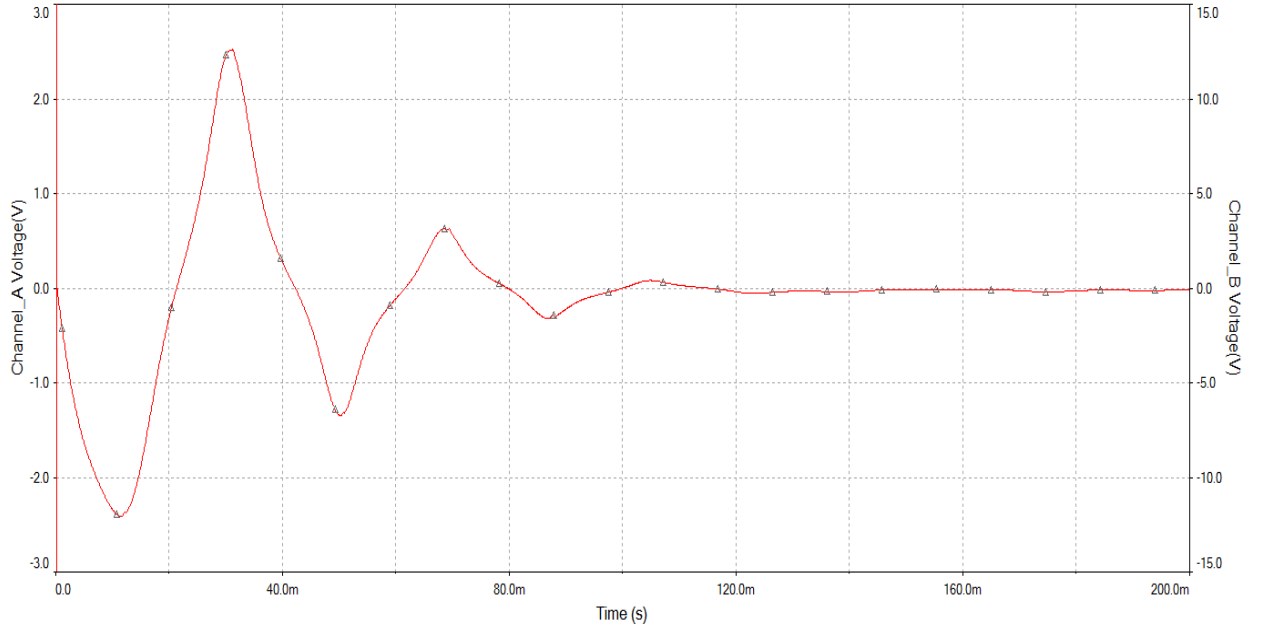
Sonuç olarak $u_2(t)$ gerilimini elde ederiz.

$$\begin{aligned}
u_2(t) &= R_2 i(t) + u_{C_2}(t) \\
&= R_2 \left(C_1 \frac{du_1(t)}{dt} + \frac{u_1(t)}{M_1} \right) + \frac{C_1}{C_2} u_1(t) + \frac{1}{R_0 C_2} \int_0^t \left(\frac{u_1(\tau)}{\sqrt{1 - 2\Delta R\phi(\tau) / Q_0 R_0^2}} \right) d\tau \\
&= R_2 C_1 \frac{du_1(t)}{dt} + \frac{R_2}{R_0} \frac{u_1(t)}{\sqrt{1 - 2\Delta R\phi(t) / Q_0 R_0^2}} + \frac{C_1}{C_2} u_1(t) + \frac{1}{R_0 C_2} \int_0^t \left(\frac{u_1(\tau)}{\sqrt{1 - 2\Delta R\phi(\tau) / Q_0 R_0^2}} \right) d\tau
\end{aligned} \tag{4.8}$$

Denklem (3.46)'da M-PID kontrolörünün modelidir ve şunları içerir : Oranlı öge, entegre öge ve t değişken dereceli memristörlerin kontrol sistemlerinde uygulanması sonucu Şekil 4.12 ve şekil 4.13 elde edilen grafiklerde görülmektedir.



Şekil 4.12. Değişken dereceli memristörlerin kontrol sistemlerinde uygulanması-1.



Şekil 4.13. Değişken dereceli memristörlerin kontrol sistemlerinde uygulanması-2.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Memristör pasif devre elemanı olarak kullanılan hafıza özelliği olan bir malzemedir. Akım ile akı arasındaki ilişkiye göre davranışı belirleyen memristörler doğrusal olmayan davranışı nedeniyle akım ile gerilim arasında histeressiz davranışa dayanarak hafızalı direnç özelliğine sahiptir. Ohm yasasının kesir deeceli olarak genellenmiş formunu ifade eden Abdelouahab ve ark. Çalışmalarından yola çıkarak değişken dereceli memrsitörlerin davranışı analiz edilmiş ve bu analiz sonucunda memristör uygulamalarına yönelik çalışma yürütülmüştür. Değişken dereceli memristörler üzerine uygulanan gerilime göre sadece direnç değeri değil aynı zamanda pasif hangi devre elemanının (direnç, indüktans, kapasitans veya memristör) özelliğini göstereceğini uygulanan gerilime göre belirleyen bir yapıya sahip olacağı varsayılmaktadır.

Buna göre değişken dereceli memristörlerin filtre ve denetleyici simülasyonlarında davranışının anlaşılması için yapılan bu tez çalışmasında değişken dereceli memristörlerin davranışı simüle edilmiş ve sonuçları incelenmiştir. Elde edilen sonuçlardan filtrelerde giriş gerilimine göre davranışı klasik memristörlerden farklı olduğu görülmüştür. Ayrıca denetleyicilerde de uyarlamalı denetim etkisi sağlamıştır. İleriki çalışmalarda değişken dereceli memristörlerin taklit devreleri oluşturularak uygulama yapılması ve bu elemanın başarımının incelenmesi gerçekleştirilebilir.

KAYNAKLAR

- Abdelouahab, M. S., Lozi, R., Chua, L., 2014. Memfractance: A mathematical paradigm for circuit elements with memory. *International Journal of Bifurcation and Chaos* **24**(09): 1430023
- Ali, A. S., Radwan, A. G., Soliman, A. M., 2013. Fractional Order Butterworth Filter: Active and Passive Realizations. *EEE Journal on Emerging and Selected Topics in Circuits and Systems*, **3**(3):346–354.
- Ali, M. S., Narayanana, G., Shekher, V., Alsulami, H., Saeedc, T., 2019. Dynamic stability analysis of stochastic fractional-order memristor fuzzy BAM neural networks with delay and leakage terms, *Applied Mathematics and Computation*. **369**(C): 124896.
- Arpacı, H., 2018. *Uyarlamalı Ve Sinirsel-Bulanık Sistemler Kullanarak Katsayıları Ayarlanabilen Kesir Dereceli Pıd Kontrolör Tasarımı ve Uygulanması* doktora tezi). İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya.
- Atan, O., 2014. *Bulanık Uyarlamalı Parçacık Sürü En İyileme Yöntem İle Kesir Dereceli Denetleyicilerin Kaos Tabanlı Haberleşme Sistemlerine Uygulanması* (doktora tezi). Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Atan O., 2019. Effects of Variable-Order Passive Circuit Element in Chua Circuit. *Springer Science Business Media, LLC, part of Springer Nature.*, **39**: 2293–2306
- Atan, O., 2019. Fuzzy Variable Order Extremum-Seeking Controller Design for Mobile Robots. *Balkan Journal of Electrical and Computer Engineering*, **7**(1): 81–87.
- Baleanu, D., Machado, J.A.T., Luo, A.C., 2011. Fractional dynamics and control. *Springer Science & Business Media*.
- Cafagna, D., Grassi, G., 2012. On the simplest fractional-order memristor-based chaotic system. *Nonlinear Dynamics*, **70**(2), 1185–1197.
- Chua, L.O., Kang, S. M., 1976. Memristive devices and systems. *Proceedings of The IEEE*, **64**: 209-223.
- Chua, L.O, 1971. Memristor-the Missing Circuit Element. *IEEE Transactions on Circuit Theory*, **18** (5): 507-519
- Çelik, V., 2010. *Kesir Dereceli Yapıların Doğrusal Olmayan Davranışlar Üzerine Etkileri* (doktora tezi). Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Çökmez, E., Kaya, I., 2018. Kesir dereceli PI denetleyici ile kesir dereceli kararsız zaman gecikmeli sistemler için kararlılık bölgelerinin elde edilmesi. *DÜMF Mühendislik Dergisi*, **9**(2): 625-636.

- Driscoll, T., *et al.*, 2010. Memristive adaptive filters. *Applied Physics Letters*, **97**(9): 093502.
- Doha, E.H., Abdelkawy, M.A., Amin, A.Z.M., Baleanu, D., 2019. Approximate solutions for solving nonlinear variable-order fractional Riccati differential equations. *Nonlinear Analysis Modelling and Control*, **24**(2): 176–188.
- Feifei, D., Jun-Guo L., 2020. New criteria for finite-time stability of fractional order memristor-based neural networks with time delays. *Neurocomputing* **421**(2021): 349-359
- Galias, Z., 2018. Study of Amplitude Control and Dynamical Behaviors of a Memristive Band Pass Filter Circuit. *IEEE Transactions On Circuits And Systems—II: Express Briefs*, **65**(5): 637–641.
- Gua, Y., Wangb, H., Yua, Y., 2018. Synchronization for commensurate Riemann-Liouville fractional-order memristor-based neural networks with unknown parameters. *Journal of the Franklin Institute*, **357**(2020):8870-8898.
- Hajipour, M., Jajarmi, A., Baleanu, D., Sun, H., 2019. On an accurate discretization of a variable-order fractional reaction-diffusion equation. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, **69**:119–133.
- Hyongsuk, K., Sah, M.P., Changju, Y., Seongik, C., Chua, L.O., 2012. Memristor emulator for memristor circuit applications, *IEEE Transactions on Circuits and Systems*, **59**:2422-2431.
- Itoh, M., Chua, L.O., 2008. Memristor Oscillators. *International Journal of Bifurcation and Chaos*, **18**(11): 3183–3206.
- Iu, H.H.C., Yu, D.S., Fitch, A. L., Sreeram, V., Chen, H., 2011. Controlling Chaos in a Memristor Based Circuit Using a Twin-T Notch Filter. *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, **58**(6): 1337–1344.
- Jameel, S., Korasli, C., Nacaroglu, A., 2013. Realization of biquadratic filter by using memristor. *2013 The International Conference on Technological Advances in Electrical, Electronics and Computer Engineering (TAECE)*. 9-11 February 2013, Konya. 52–56.
- Jo, S.H., Chang, T., Ebong, I., Bhadviya, B.B., Mazumder, P., Lu, W., 2010. Nanoscale Memristor Device as Synapse in Neuromorphic Systems. *Nano Letter*, **10**(4): 1297–1301.
- Joglekar, Y.N., Wolf, S. J., 2009. The elusive memristor: properties of basic electrical circuits. *European Journal of Physics*, **30** :661-675.
- Jun-Jie L., Chong-Xin, L., 2007. Realization of fractional-order Liu chaotic system by circuit. *Chinese Physics*, **16**(6), 1586–1590.

- Karakaya, B., Sahin, M.E., Güler, H., Gülten, A., 2017. Memristör Tabanlı Kaotik Devre Modelinin FPGA Ortamında Tasarımı ve Gerçeklenmesi. *Firat Üniversitesi, Fen Bilimleri Dergisi*, **29**(2): 39-44.
- Kim, H., Sah, M.P., Yang, C., Cho, S., Chua, L.O., 2012. Memristor Emulator for Memristor Circuit Applications. *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, **59**(10): 2422–2431.
- Kuo, B.C., 1995 . *Automatic Control*, London. 523.
- Lee, T.W., Nickel, J. H., 2012. Memristor Resistance Modulation for Analog Applications. *IEEE Electron Device Letters*, **33**(10): 1456–1458.
- Li, L., Chew, Z.J., 2012. Printed circuit board based memristor in adaptive lowpass filter. *Electron Letters*, **48**(25): 1610–1611.
- Liu, L., Pan, F., Xue, D., Variable-order fuzzy fractional PID controller. *ISA Transactions*, **55**: 227–233.
- Malesza, W., Macias, M., Sierociuk, D., 2019. Analytical solution of fractional variable order differential equations. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, **348**: 214–236.
- Mathiyalagan, K., Park, J.H., Sakthivel, R., 2015. Exponential synchronization for fractional order chaotic systems with mixed uncertainties. *Complexity*, **21**: 114-125.
- Muthuswamy, B., 2010. Implementing Memristor Based Chaotic Circuits. *International Journal of Bifurcation and Chaos*, **20**(05): 1335–1350.
- Mutlu,R., 2018. Logaritmik Memristanslı TiO2 Memristör, *European Journal of Engineering and Applied Sciences*, **1**(1): 9-13.
- Monje, C.A., Chen, Y., Vinagre, B.M., Xue, D., Feliu-Batlle, V., 2010. *Fractional Order Systems and Controls: Fundamentals and Applications*. Springer Science& Business Media.
- Oldham, K.B., Spanier, J., 2006. *The Fractional Calculus: Theory and Applications of Differentiation and Integration to Arbitrary Order*, Dover Books on Mathematics.
- Ortigueira, M.D., Valério, D., Machado, J.T., 2019. Variable order fractional systems. *Communications In Nonlinear Science And Numerical Simulation*, **71**: 231–243.
- Parlak, I., Almalı, M.N., 2020. Memristör Temelli 2. Dereceden Aktif Yüksek Geçiren Filtrenin İncelenmesi, *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, **9** (1): 446-456.
- Petras, I., 2010. Fractional-Order memristor-based Chua's circuit, *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs*, **57**: 975- 979.

- Podlubny, I., 1999. Fractional-order Systems and $PI^\lambda D^\delta$ Controllers. *IEEE Transactions Automatic Control*, **44**(1):208-214.
- Pu Y.F., Yuan, X., 2016. Fracmemristor: Fractional-Order Memristor. *IEEE Access*, **4**: 1872–1888.
- Şahin, M.E., Karakaya, B., Güler, H., Gülten, A., Hamamcı, S.E., 2020. Memristör Tabanlı Filtre Tasarımı ve EKG Sinyali için Uygulanması. *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi BEU Journal of Science*, **9** (2): 756-765.
- Şahin, M.E., Güler, H., 2017. LabVIEW ile TiO₂ Memristör Modellemesi. *Turkish Journal of Science & Technology*, **12**(2): 79-83.
- Sallen, R.P., Key, E.L., 1955. A practical method of designing RC active filters. *IRE Transactions Circuit Theory*, **2**(1): 74–85.
- Samko, S.G., Ross, B., 1993. Integration and differentiation to a variable fractional order. *Integral Transforms and Special Functions*, **1**(4): 277–300.
- Sánchez-López, C., Carrasco-Aguilar, M.A., Muñoz-Montero, C., 2015. A 16Hz–160kHz memristor emulator circuit. *AEU - International Journal of Electronics and Communications*, **69**(9): 1208–1219.
- Şevgin, E., 2016. *Kesir Dereceli Memristörler İle Uyarlamalı Denetleyici Tasarımı* (yüksek lisans tezi). Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.
- Şenol, B., Yeroğlu, C., Tan, N., 2011. Kesir Dereceli Kontrol Sistemlerinin Analizi için Kolay Kullanımlı Program. *Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı*. 14 Eylül 2011, İzmir.
- Şenol, B., 2015. *Kesir Dereceli Belirsiz Sistemler İçin Dayanıklı Analiz Araçlarının ve Arayüz Programlarının Geliştirilmesi* (yüksek lisans tezi). İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya.
- Sierociuk, D., Malesza, W., Macias, M., 2015. Derivation, interpretation, and analog modelling of fractional variable order derivative definition. *Applied Mathematical Modelling*, **39**: 3876–3888.
- Sözen H., Cam, U., 2013. On the realization of memristor based RC high pass filter. *2013 8th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO)*, 45–48.
- Sun, Q., *et al.*, 2018. Hopf bifurcation analysis in a fractional-order survival red blood cells model and PD control. *Advances in Difference Equations*, **2018**(1): 10.
- Sheng, H., Sun, H.G., Coopmans, C., Chen, Y.Q., Bohannan, G.W., 2011. A Physical experimental study of variable-order fractional integrator and differentiator. *The European Physical Journal Special Topics*, **193**(1): 93–104.

- Shin, S., Kim, K., Kang, S.M., 2009. Memristor-based fine resolution programmable resistance and its applications. *International Conference on Communications, Circuits and Systems*, 948–951.
- Srivastava, H.M., Monoca H.L., 1984. *Treatise on Generating Functions*, England.569
- Strukov, D.B., Snider, G.S., Stewart, D.R., Williams, R.S., 2008. The missing memristor found. *Nature*, **453**(7191): 80–83.
- Tavares, D., Almeida, R., Torres, D.F.M., 2016. Caputo derivatives of fractional variable order: numerical approximations. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, **35**: 69–87.
- Tüfenkçi, S., Senol, B., Alagöz, B.B., 2019. V- alanında Minimum Açılı Kutup Yerleşimi Yöntemine Göre Kesir Dereceli PI Denetçi Tasarımı ve Dayanıklı Kontrol Performansının İncelenmesi, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, **17**: 9-19.
- Tzoumas, V., Xue, Y., Pequito, S., Bogdan, P., Pappas, G.J., 2018. Selecting Sensors in Biological Fractional-Order Systems. *IEEE Transactions On Control Of Network Systems*, **5**(2).
- Wang, L., Drakakis, E., Duan, S., He, P., Liao, X., 2012. Memristor Model and Its Application For Chaos Generation. *International Journal of Bifurcation and Chaos*, **22**(08): 1250205.
- Wang, X., Zhao, Y., Liao, Y., 2011. Dynamic Performance Analysis of PID Controller with one Memristor. *International Conference on Information Science and Technology*. 10 May 2011, China.
- Yeşil, A., Babacan, Y., Kaçar, F., 2014. A new DDCC based memristor emulator circuit and its applications. *Microelectronics Journal*, **45**(3): 282–287.
- Yamaçlı, V., Abacı, K., Köse, E., 2011, Chua Devresinin Gerçeklenmesi ve Simülasyonu. **6. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu**. 2011, Elazığ. 82-86.
- Yener, S.C., Uygur, A., Kuntman, H.H., 2016. Ultra low-voltage ultra low-power memristor based band-pass filter design and its application to EEG signal processing. *Analog Integrated Circuits and Signal Processing*, **89**(3): 719–726.
- Yin, C., Chen, Y., Zhong, S., 2014. Fractional-order sliding mode based extremum seeking control of a class of nonlinear systems. *Automatica*, **50**(12): 3173–3181.
- Zhao, X., Zhong Sun, Z., Karniadakis, G.E., 2015. Second-order approximations for variable order fractional derivatives: algorithms and applications. *Journal of Computational Physics*, **293**: 184–200.
- Zhao, Y.B., Tse, C.K., Feng, J.C., Guo, Y.C., 2013. Application of Memristor-Based Controller for Loop Filter Design in Charge-Pump Phase-Locked Loops. *Circuits, Systems, and Signal Processing*, **32**(3): 1013–1023.

ÖZGEÇMİŞ

İlk, orta ve lise öğretimini Ağrı'da tamamladı. Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nden mezun olduktan sonra 2019 yılında Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Mühendislik Fakültesi'nde Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünün Tezli Yüksek Lisans Öğrencisi olarak kabul edildi. Halen Aksa Doğalgaz Dağıtım Şirketi'nde Kalite ve İş Süreçleri Uzmanı olarak görev yapmaktadır.



VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
LİSANSÜSTÜ TEZ ORJİNALLİK RAPORU

Tarih: 28/02/2022

Tez Başlığı / Konusu: Değişken Dereceli Memristörler ve Uygulamaları

Yukarıda başlığı/konusu belirlenen tez çalışmamın Kapak sayfası, Giriş, Ana bölümler ve Sonuç bölümlerinden oluşan toplam 54 sayfalık kısmına ilişkin, 28/02/2022 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtreleme uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % (yüzde 10) dur.

Uygulanan filtreler aşağıda verilmiştir:

- Materyal ve yöntem hariç,
- Kaynaklar hariç,
- Tezden çıkan yayınlar hariç,
- 7 kelimeden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç (Limit inatch size to 7 words)

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Lisansüstü Tez Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılmasına İlişkin Yönergeyi inceledim ve bu yönergede belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini bilgilerinize arz ederim.

Adı Soyadı: Sümeyra BEYZADE

Öğrenci No: 18910001267

Anabilim Dalı: Elektrik-Elektronik Mühendisliği

Programı: Elektrik Elektronik Mühendisliği

Statüsü: Yüksek Lisans Doktora

DANIŞMAN ONAYI
UYGUNDUR
Doç. Dr. Özkan ATAN

ENSTİTÜ ONAY
UYGUNDUR