T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Lineer Olmayan Hafızalı Elemanların Tasarımı

Mehmet Ziya HOŞBAŞ

DANIŞMAN
Prof. Dr. Fırat KAÇAR

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Programı

İSTANBUL-2019

Bu çalışma 30.10.2019 Tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Programı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

TEZ JÜRİSİ

Prof. Dr. Fırat KAÇAR
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi

Doç. Dr. Yasin ÖZCELEP
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi

Dr.Öğr.Üyesi Muhammed Emin BAŞAK
Yıldız Teknik Üniversitesi
Gemi İnşaatı ve Denizcilik Fakültesi

20.04.2016 tarihli Resmi Gazete'de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa'nın abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

Bu tez, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliğinin ..... numaralı projesi ile desteklenmiştir.
Bu tez, ... numaralı ..... projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

İstanbul Üniversitesinde lisans ve yüksek lisans eğitimim sürecinde göstermiş olduğu anlayış ve yardımlarından dolayı, tez çalışmamda rehberliğini ve değerli zamanını benden esirgemeden çalışmamı yönlendiren değerli hocam Prof. Dr. Fırat KAÇAR'a en içten dileklerimle teşekkür ederim.

Bu çalışma boyunca yardımlarını esirgemeyen hocalarım Doç. Dr. Yunus BABACAN ve Doç. Dr. Abdullah YEŞİL 'e emeklerinden dolayı en içten saygı ve sevgilerimi sunarım.

Ekim 2019 Mehmet Ziya HOŞBAŞ

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ ..... **iv**
İÇİNDEKİLER ..... **v**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **vii**
TABLO LİSTESİ ..... **ix**
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ ..... **x**
ÖZET ..... **xii**
SUMMARY ..... **xiv**
1. GİRİŞ **1**
2. GENEL KISIMLAR **3**
2.1. HAFIZALI DEVRE ELEMANLARI 4
2.1.1. Memristör 4
2.1.1.1. Memristör Emülatör *6*
2.1.2. Memkapasitör 6
2.1.2.1. Memkapasitör Emülatör *7*
3. MALZEME VE YÖNTEM **8**
3.1. MEMRİSTİF DEVRELERİN MEMKAPASİTÖRE DÖNÜŞTÜRÜLMESİ 8
3.1.1. Hafızalı devrelerde memkapasitör tasarımı 8
3.1.2. Memristör taklitçisinin memkapasitöre dönüştürülmesi 10
3.1.3. Memristör Tabanlı bir memkapasitör taklitçisi tasarımı 13
3.2. GERİLİM FARKINI ALAN GEÇİŞ İLETKENLİĞİ KUVVETLENDİRİSİCİ 14
3.3.1.Vdta Sembolü Ve Uç Denklemleri 14
3.3. ÖRNEK BİR VDTA TASARIMI 15
3.4. VDTA KULLANILARAK YAPILMIŞ BİR MEMRİSTÖR TASARIMI 17
3.5. OTA TABANLI BİR MEMKAPASİTÖR TASARIMI 20
4.BULGULAR **23**
4.1. ÖNERİLEN MEMRİSTÖR TABANLI MEMKAPSİTÖR DEVRESİ 23
4.1.1. Tasarımda Kullanılan Memristör Devresi 23
4.1.2. Önerilen memkapasitör devresi 25
5.TARTIŞMA VE SONUÇ **32**
KAYNAKLAR **33**

ÖZGEÇMİŞ 35

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1: Dört temel eleman 4
Şekil 2.2: Üretilen memristörün taramalı 5
Şekil 2.3: Krosbar yapı ve memristif anahtarlama kısmının yakından görüntüsü. 5
Şekil 2.4: Memristörün yapısının detaylı görünümü 6
Şekil 3.1: Memristör taklitçi devresi 8
Şekil 3.2: Önerilen memkapasitör taklitçi devresi. 8
Şekil 3.3: Memkapsaitör taklitçisinin kare dalga sinyaline cevabı 10
Şekil 3. 4: Yüzen tip memristörü memkapasitöre dönüştürücü devre 11
Şekil 3. 5:Yüzen tip emülatör spice analiz sonuçları 11
Şekil 3. 6: Topraklı tip memristörü memkapasitöre dönüştürücü devre 12
Şekil 3. 7: Topraklı tip emülatör spice analiz sonuçları 12
Şekil 3. 8: Memristörü memkapasitöre dönüştüren devre 13
Şekil 3.9: VDTA elemanın devre sembolü 14
Şekil 3. 10: Önerilen devrede VDTA Devre sembolü 15
Şekil 3. 11: VDTA'nın CMOS gerçekleştirmesi 17
Şekil 3. 12: Memristör tasarımında kullanılan vdta devre sembolü 18
Şekil 3. 13: VDTA ile Memristör tasarımında kullanılan vdta iç şeması 18
Şekil 3. 14: VDTA ile gerçeklenmiş memristör devresi 19
Şekil 3.15: OTA tabanlı memkapasitör devresi 20
Şekil 3.16: Farklı frekanslardaki yük-grerilim eğrisi 21
Şekil 3.17: Memkapasitörün giriş gerilim ve yük eğrisi 21

Şekil 4.1: Memristör emülatör devresi.....23

Şekil 4.2: Memristör devresinin 100Hz ve 300mV ‘ta Giriş akım ve gerilim grafikleri.....24

Şekil 4.3: Frekansın 100Hz, 200Hz ve 300Hz değerleri için histerezis eğrisi.....24

Şekil 4.4: Önerilen Memkapasitör Taklitçi Devresi 25

Şekil 4.5: Memkapasitör Giriş Gerilim ve çıkış Yük sinyalleri.....25

Şekil 4.6: 100Hz ve 300mV için Memkapasitör histerezis eğrisi.....27

Şekil 4.7: Farklı frekanslarda histerezis eğrisi 28

Şekil 4.8: Uygulanan siyalin palsine göre memkapasitans değişimi 29

Şekil 4.9: Gerilim kontrollü memkapasitans değişimi.....30

Şekil 4.10: Farklı frekanslardaki memkapasitör I-V eğrisi.....31

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 3.1: Temel VDTA‘nın terminalleri arasında bağıntı……...15

Tablo 3.2: Önerilen VDTA‘nın terminalleri arasında bağıntı……...16

Tablo 3.3: Memristör VDTA terminal ilişkileri……....18

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler **Açıklama**

C : Kapasite
i : Akım
v : Gerilim
g_m : VDTA'nın geçiş iletkenliği
q : Yük
P : Güç
R : Direnç
V_{DD} : Pozitif besleme gerilimi
Vss : Negatif besleme gerilimi
IF : Intermediate Frequency
I_N : VDTA N terminali çıkıs akımı
I_P : VDTA P terminali çıkıs akımı
I_{ZN} : VDTA Z_N terminali çıkış akımı
I_{ZP} : VDTA Z_P terminali çıkış akımı
Cox : MOS tranzistor geçit oksit kapasitesi
W : Etkin kanal genişliği
L : Etkin kanal uzunluğu
I_{Bi} : Transistörün beyz akımı
I_{x+} : VDTA X terminali pozitif çıkış akımı
I_{x-} : VDTA X terminali pozitif çıkış akımı
V_N : VDTA N terminali giriş gerilimi
V_P : VDTA P terminali giriş gerilimi

Kısaltmalar **Açıklama**

VDTA : Voltage Differencing Transconductance Amplifier
OTA : Operational Transconductance Amplifier
CMOS : Complementary Metal-Oxide Semiconductor
HP : Hewlett-Packard

LTSPICE :Linear Technology Simulation Program with Integrated Circuits Emphasis

OP-AMP : Operational Amplifier

TSMC : Taiwan Semiconductor Manufacturing Company

TiO_2 **:** Titanyum di oksit

ÖZET

LİNEER OLMAYAN HAFIZALI ELEMAN TASARIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet Ziya HOŞBAŞ

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Fırat KAÇAR

Bu tezde bir güç kaynağına ihtiyaç duymadan bilgiyi depolayabilen bir devre elemanı ihtiyacını karşılamak amacıyla Memristör tabanlı bir memkapasitör taklitçi devresi LTspice simülasyon programında tasarlanmıştır. Bu memkapasitör taklitçi devresi tasarımında lineer olmama, tasarım kolaylığı, bant genişliği gibi etkenlerden dolayı aktif devre elemanlarından VDTA kullanılmıştır.

Bu tasarımın birinci bloğunda hafıza etkisini meydana getirmek için kullanılan memristor devresi, bir VDTA ve bir kapasitörden oluşmaktadır. İkinci bloğunda ise memkapasitör davranışının gözlemlenebilmesini sağlayan bir VDTA ve bir kapasitör daha kullanılmıştır. Bu ikinci blokta yük-gerilim ilişkisini gözlemlemek amacıyla, giriş akımının integralini alan, bir VDTA ve onun Z çıkışı ile eviren girişi arasına bir kapasitör bağlanmıştır.

Ekim 2019, 47 sayfa.

Anahtar kelimeler: Memkapasitör, VDTA, Memristor, Taklitçi Devre, LTspice

SUMMARY

DESIGN OF NONLINEAR MEMELEMENTS

M.Sc. THESIS

Mehmet Ziya HOŞBAŞ

Istanbul University-Cerrahpasa

Institute of Graduate Studies

Department of Electrical and Electronic Engineering

Supervisor : Prof. Dr. Fırat KAÇAR

In this thesis, a memistor based memkapasitör simulator circuit is designed in the LTspice simulation program to meet the need for a circuit element that can store information without the need for a power supply. In this memkapasitör emulator circuit design, VDTA is used for active circuit elements due to non-linearity, ease of design and bandwidth.

The memristor circuit used to generate the memory effect in the first block of this circuit comprises a VDTA and a capacitor. In the second block, a VDTA and a capacitor were used to allow the observation of memcapacitor behavior. In order to observe the charge-voltage relationship, there is a VDTA and a capacitor that integrates the input current. This capacitor is connected between the inverting input and the Z output of this VDTA.

October 2019, 47 pages.

Keywords: Memristor, Memkapasitör, Memelements,capacitor,resistor

1. GİRİŞ

Memristorler, 1971'de Chua'nın öne sürdüğü kayıp dördüncü temel devre elemanıdır [1]. Hewlett-Packard'ın araştırmacıları 2008'de memristörlerin nano boyuttaki katı hal uygulamasını geliştirdiler [2]. Bu gelişme duyulana kadar da bu konuda çok az araştırma faaliyeti vardı ve sonrası bu konu araştırmacıların daha çok ilgisini çekmeye başladı. Nano boyuttaki bir ürünün üretimi her koşulda mümkün olmadığı için, memristor taklitçi devreleri ve memristor tabanlı devreler gerçek ve pratik mühendislik uygulamaları için çok önemli bir hal aldı.

2009 yılında, memristör gibi hafızalı sistemler olarak düşünülebilecek iki cihaz daha keşfedildi ve memkapasitör ve meminductor olarak tanımlandılar [3, 4]. Memristörlere benzer özelliklere sahiptirler ve değerleri durum değişkenlerine ve sistemlerinin geçmişlerine göre değişir. Dahili durumları bariz hafıza etkileri gösterir ve iki kurucu değişken arasındaki ilişkiler histeretik döngüler olarak gösterilir.

Halen memkapasitör'un analog modelini tanımlayan çok az sayıda rapor vardır [5-8]. [5]'de, yazarlar matematiksel tanımlarına dayanarak genel memristif, memkapasitif ve memindüktif sistemlerin SPICE modelleme metodolojisini kullandılar. [6]'da, yazarlar analog memristör modelini kullanarak bir memkapasitör dönüşümünü gerçekleştirmenin bir yolunu önerdiler.[7, 8] 'de, D. Biolek ve meslektaşları [6] 'deki devreyi geliştirdiler ve memristörü memkapasitöre dönüştürecek bir taklitçi devre sağlanmış oldu.

Bu devreler incelendiğinde temelde aktif devre elemanlarının kullanıldığını görürüz. Neden aktif devre elemanlarının kullanıldığına gelirsek, bu elektronik elemanlar, bağlı bulundukları devreye enerji sağlayıp sağlamama durumlarına göre aktif veya pasif eleman olarak sınıflandırılmaktadırlar. Ayrıca devre elemanlarının tanım bağıntılarındaki uç akım ve gerilim fonksiyonlarına bağlı olarak lineer ya da lineer olmayan eleman olarak sınıflandırılmaktadırlar. Aktif elemanların uç akım ve gerilim fonksiyonları, belli akım, gerilim ve frekans değerleri için lineerlik şartını sağlarlar ve bu şartlar altında bu aktif elemanlar lineer olarak çalışırlar. Bu şartlar dışında ise lineer olmayan bir çalışma şekli gösterirler. Dolayısıyla tüm aktif elemanlar aslında lineer olmayan elemanlardır. Sadece özel koşullar altında lineer olarak çalıştırılırlar.

Tasarlanması planlanan lineer olmayan hafızalı devre elemanının tasarımında, tasarım kolaylığı, bant genişliği gibi etkenlerden dolayı aktif devre elemanı VDTA kullanılmıştır. Bu aktif devre elamanı kullanılarak memkapasitör taklitçi devresi önerilmiştir. Bu taklitçi devre, bir VDTA kullanılarak yapılmış memristör taklitçi devresini yine bir VDTA daha kullanarak memkapasitör taklitçi devresine dönüştürerek gerçekleştirilmiştir.

Bu tez kapsamında memristör ve memkapasitör hafızalı devre elemanları ve bu elemanlarla yapılmış taklitçi devreler incelenecektir. Daha sonra öne sürdüğümüz taklitçi devrenin simülatif uygulaması gösterilecek ve benzerlerine göre avantajlarından bahsedilecektir.

2. GENEL KISIMLAR

Devre teorisinde, üç temel devre elemanının var olduğunu biliyoruz: direnç, kondansatör ve bobin. İlk eleman, akım ve gerilim arasındaki ilişkiyi, ikincisi yük ve gerilim arasındaki ilişkiyi ve üçüncüsü, akım ve manyetik akı (veya gerilimin zaman integrali) arasındaki ilişkiyi belirler. Bu pasif iki terminalli cihazlar, modern elektroniğin temel yapı taşlarıdır ve bu nedenle devrelerde her yerde bulunurlar. Ancak, bildiğimiz bir şey daha var ki oda son durumları hakkında herhangi bir bilgiye sahip olunamamaktadır. Yani yukarıdaki unsurlardan (gerilim, akım, yük, akı) birinin durumu değişse bile, güç kaynağını kapatıp biraz beklediğimizde en son değerleri hakkındaki bilgiler kaybolacaktır. Ancak bunun yerine temel bir öneme sahip: bir güç kaynağına ihtiyaç duymadan bilgi depolamak, elektroniklerde bir paradigma değişikliğini temsil eder.

Bu durum, 1971'de, temel devre teorilerinin manyetik akı ve yük arasındaki ilişkiyi belirleyen bir unsuru özlediğini fark eden Chua'nın memristor kavramının tanıtımıyla tamamen değişti.

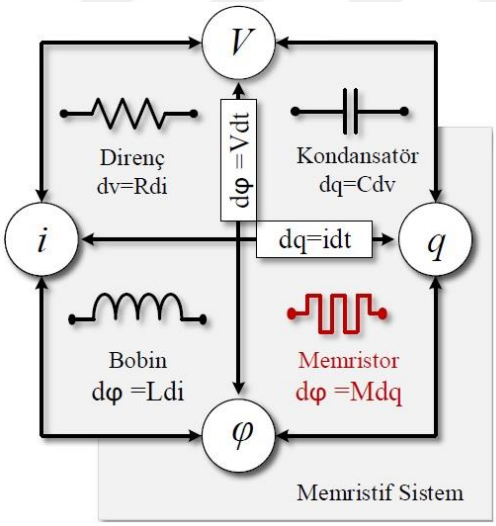
Eşdeğer olarak, memristör akımı gerilimle ilişkilendirir, ancak geleneksel benzerinden farklı olarak, güç kaynağını kapattıktan sonraki direnci, tüm geçmiş akım dalga formunun integraline bağlıdır. Başka bir deyişle, sistemin içinden geçtiği geçmiş durumların hatırasına sahiptir. Konsept, bu tür bir cihazın Hewlett-Packard'da bulunan bir grup tarafından titanyum dioksit ince filmler kullanılarak gerçekleştirilmesinden dolayı yeniden ortaya çıkmasından dolayı, esas olarak teorik olarak kalmıştır. Bu cihazda, direnç, filmin belirli bölgelerinde bazı oksijen atomlarının (oksijen boşlukları) yokluğunda oluşan atomik kusurların göçü yoluyla sisteme uygulanan gerilime göre değişir. Bu etki nedeniyle, güç kaynağı kapatıldığında, oksijen boşlukları kolayca orijinal konumlarına kolayca geri taşınmaz ve sistem yeni direnç durumunu korur.

Biolek ve Biolkova [7], yapmış oldukları çalışmada, memristörü memkapasitöre dönüştürecek eşdeğer modelinde başka parazitik unsurlar olmadan bir memkapasitörü sağlayan, bir taklitçi devre tasarlamışlardır. Bu dönüşüm, basit doğrusal dönüşümler yoluyla memristorun yapısal ilişkisinden türetilen memkapasitör 'ün, belirgin kurucu ilişkisini korur.

2.1. HAFIZALI DEVRE ELEMANLARI

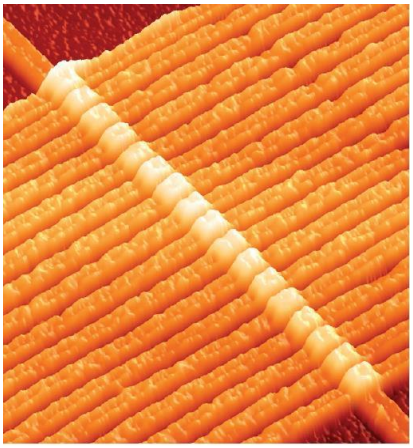
2.1.1. Memristör

Elektriksel ifadeler araştırıldığında dört temel ifade olduğu ve bunlar arasında bir bağlantının olduğu görülmektedir (Şekil 2.1). Burada direnç, akım-gerilim arasındaki bağlantının fiziksel bir ifadesi olmaktadır. benzer şekilde, kondansatör yük-gerilim arasındaki bağlantıyı, bobin ise, akı-akım arasındaki bağlantıyı fiziksel olarak ifade eder. Fakat aşağıdaki elektriksel ifadeler şekil 2.1'deki gibi bir düzen haline getirildiğinde akı-yük arasındaki ifadenin eksik olduğu görülmektedir. Leon Chua 1971 yılında akı-yük arasındaki ilişkiyi matematiksel olarak göstermiş ve bu bağlantıyı sağlayan elemanı memristör (memory-resistor) olarak isimlendirilmiştir [1, 9].



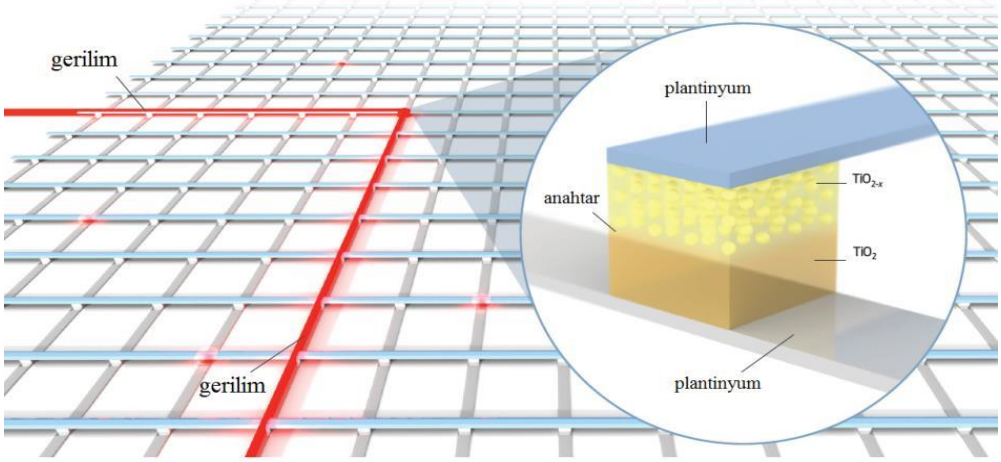
Şekil 2.1: Dört temel eleman [2].

2008 yılında ise HP firmasının araştırmacıları tarafından fiziksel olarak gerçekleştirildikten [2] sonra büyük ilgi görmüştür. Williams ve arkadaşları memristörü TiO_2 (titanyum di oksit) malzemesi ile üretmiş ve memristif davranışı gerek matematiksel model oluşturarak gerekse de fiziksel olarak başarılı bir şekilde açıklamıştır. Şekil 2.2'te HP firması tarafından üretilen memristöre ait görüntü verilmektedir.



Şekil 2.2: Üretilen memristörün taramalı tünelleme mikroskobundan alınmış görüntüsü [10].

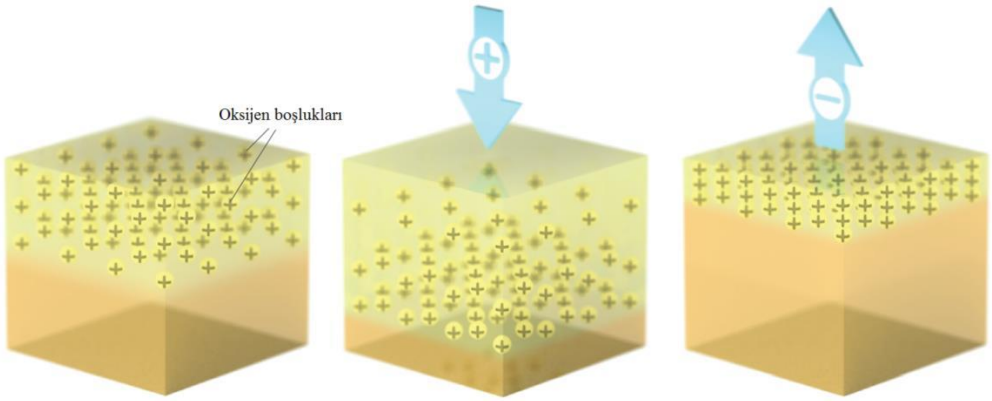
Üretilen memristörler krosbar (crossbar) şeklinde üretilmiştir (Şekil 2.3). Bu tür yapılar yüksek yoğunluklu kararlı işlemciler için oldukça uygundurlar ve aynı zamanda her bir memristör arasındaki iletimin sağlanması bu tür yapılarda oldukça kolaydır [10].



Şekil 2.3: Krosbar yapı ve memristif anahtarlama kısmının yakından görüntüsü [10].

Şekil 2.4'te de görüldüğü gibi kusurlu oksijen atomlarından kaynaklanan iyonların uygulanan gerilim sayesinde hareket ettirilmesi ile memristörden geçen akım kontrol edilmektedir. Burada TiO_2 çok iyi bir yalıtkanken $TiO_{(2-x)}$ yarı iletken bir yapıya sahiptir. Eğer yalıtkan kısmın genişliği uygulanan gerilim ile artırılırsa memristörden geçen akıma karşı büyük bir direnç oluşmuş olur. Ya da tam tersi olarak iletken kısmın genişliği uygulanan gerilimle artırılırsa memristörün direnci azalacak ve akım kolay bir şekilde akacaktır. Yani geçen akım gerilimle sürülebilmektedir. Burada gerilim uygulanarak yalıtkan veya iletken kısmın

genişliği artırılır ve daha sonra uygulanan bu gerilim kaldırılırsa elektronlar herhangi bir gerilim olmadığından mevcut konumlarında kalmaya devam ederler ve bu sayede memristörün hafıza özelliği gerçekleşmiş olur.



Şekil 2.4: Memristörün yapısının detaylı görünümü [10].

2.1.1.1. Memristör Emülatör

Memristor emülatörünün tasarımı için önceki çalışmalara baktığımızda, farklı teknikler kullanılarak tasarlanmış iki tip emülatör yapısı görüyoruz. Bu yapılar yüzen tip memristor ve topraklı tip memristor emulatör devreleridir. Ayrıca, aktif devre elemanları kullanarak yapılmış birçok çalışmaya rastlamak mümkündür. Bunlardan bazıları; Babacan ve diğ. Bir OTA aktif elemanı ve topraklanmış bir kondansatör kullanarak bir memristor emülatörü tasarlamıştır. Bu çalışmada, azalan tip memristor emülatörünün ve artan tip memristor emülatör devrelerinin tasarımı topraklama yöntemi kullanılarak önerilmiştir. Yeşil ve diğ. Yüzen tip yöntemini kullanarak DDCC tabanlı azalan ve artan bir memristör emülatör devre tasarımı önermiştir. VDTA aktif elemanı kullanılarak yapılmış bir başka memristör emülatör [11] devreside mevcuttur.

2.1.2. Memkapasitör

Memkapasitör ve memindüktör, memristör gibi güç kaynağına ihtiyaç duymadan bilgiyi saklayabilen ve depolayabilen, geçici olmayan hafızaya sahip olan ve memristörün aksine enerji depolayabilen iki yeni kabul görmüş devre elemanıdır. [3]

Memristörlerde yapısal ilişki akım ve gerilimin zamana bağlı integrali ile incelenirken [1], sırasıyla memkapasitörde yük ve gerilim, memindüktörde ise akım ve akı arasından incelenir. Bu iki elemanın frekans ile olan ilişkisini incelediğimizde ise, memristif sistemlerde olduğu gibi sonsuz frekans sınırında lineer bir devre elemanı gibi ya da sıfır frekans sınırında lineer olmayan bir devre elemanı gibi davranış sergilediği görülür. Memkapasitörün önemli uygulama alanlarında, programlanabilir analog devre tasarımında [12, 13], adaptif öğrenmede [14, 15], kaotik devrelerde [16, 17], nöroformik devrelerde [18, 19] kullanım için kendine yer edinmiştir.

2.1.2.1. Memkapasitör Emülatör

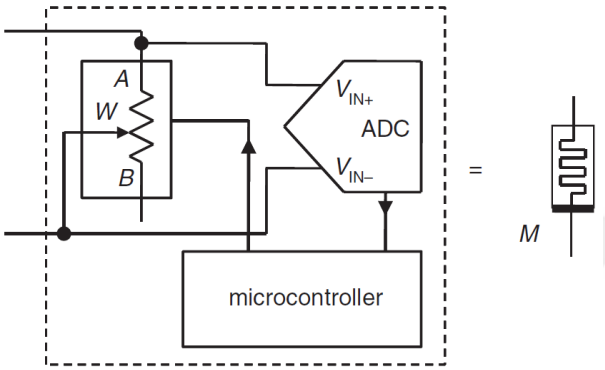
Memkapasitif ve memindüktif sistemler yakın zamanda, memristif sistemler sınıfını tamamlayan ve beklenen hafızalı iki devre elemanı sınıfıdır.[3] Onların yapısal karakteristikleri histerisiz özelliğine sahiptirler ve bu histerisiz orjinden geçmek zorunda değildir.[3] Bu iki elemanın yapısal değişkenleri, memkapasitör için yük-gerilim ve memindüktör için ise akım ve akıdır. Periyodik bir giriş tarafından sürüldüklerinde memristörlerin aksine enerji depolayabilirler. Memristörlerle benzer özelliklere sahiptirler ve değerleri durum değişkenlerine ve sistemlerinin geçmişlerine göre değişir. Onların içsel durumları belirgin hafıza etkisi gösterir.

[5] 'da, yazarlar, matematiksel tanımlarına dayanarak, memristif, memkapasitif ve memindüktif sistemlerin SPICE modellemesi metodolojisini uyguladılar. [6] 'de, makale yazarları analog memristor modelini kullanarak bir memkapasitör taklitçi devresini gerçekleştirmenin bir yolunu önerdiler. [7] ve [8] 'de, D. Biolek ve meslektaşları [6]' deki devreyi geliştirdiler ve bir mutasyon sağladılar.

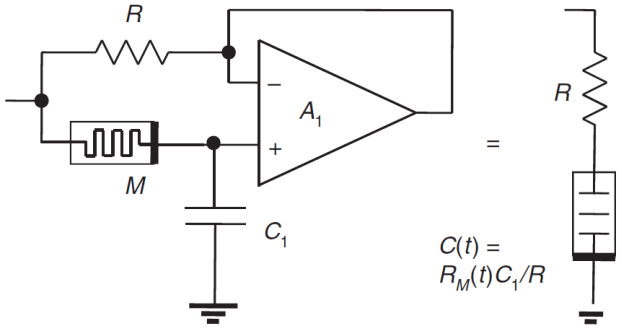
3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. MEMRİSTİF DEVRELERİN MEMKAPASİTÖRE DÖNÜŞTÜRÜLMESİ

3.1.1. Hafızalı devrelerde memkapasitör tasarımı



Şekil 3.1: Memristör taklitçi devresi [20].



Şekil 3.2: Önerilen memkapasitör taklitçi devresi[6].

Bu memkapasitör taklitçisi şu şekilde açıklanabilir;

Memristor emülatörü, [12, 20]'de olduğu gibi uygulanır ve direnci bir mikrodenetleyici tarafından sürekli güncellenen, akım kontrollü veya voltaj kontrollü memrisif sistemlerin önceden programlanmış denklemleriyle belirlenen dijital bir potansiyometreden oluşur.

İlgili makalelerde [12, 21] memristör direnci Rm 'nin Rm=x olduğu belirtilmiştir.

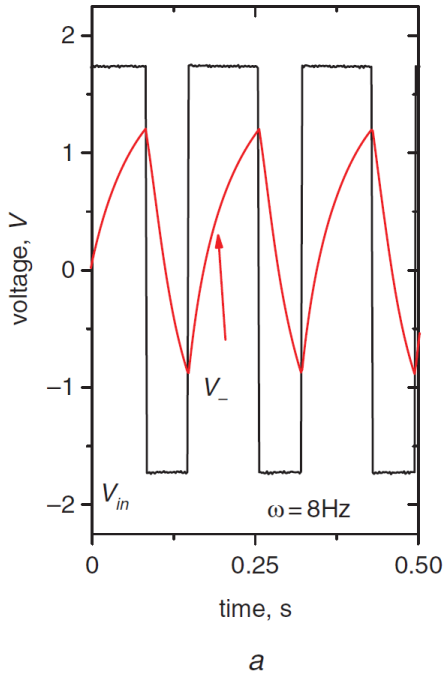
$$\dot{x} = (\beta V_M + 0.5(\alpha - \beta)[|V_M + V_T| - |V_M - V_T|]) \times \theta(x - R_{min})\theta(R_{max} - x)$$

Burada V_M memristör üzerinden geçen gerilim, $\theta(\cdot)$ adım fonksiyonudur. Bu çalışmada kullanılan parametreler ise şu şekildedir;

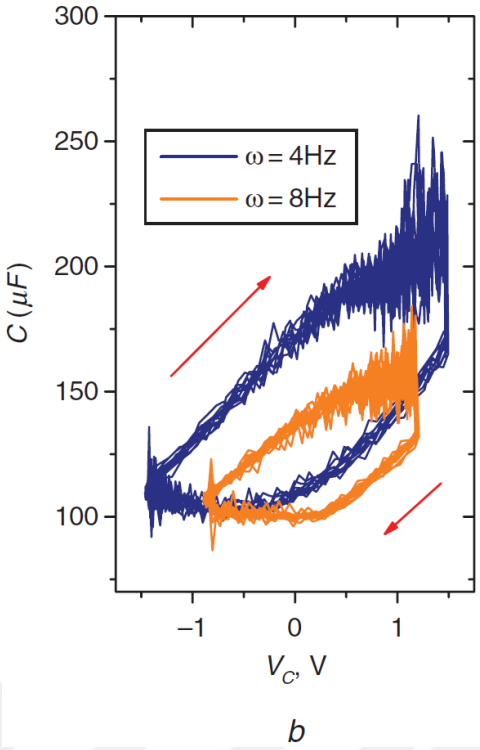
$$\alpha = 0, \beta = 62\ k\Omega/Vs\ , V_T = \ 1\ V, R_{min} = 5k\Omega\ ve\ R_{max} = 10\ k\Omega.$$

Şekil 3.2 'de gösterildiği gibi M memristör, A1 işlemsel yükseltecine bağlanmış bir C1 kapasitörü ve R direncinden oluşmaktadır. İşlemsel yükselteç eviren ve evirmeyen girişlerinde neredeyse eşit gerilimler barındırdığı için C1 kondansatörü üzerindeki gerilim, R direncinin işlemsel yükseltecin eviren girişine bağlandığı nokta üzerinde uygulanır. Bu nedenle R direncinin işlemsel yükseltecin eviren girişine bağlandığı noktada zaman bağımlı kapasitansı C(t) olan efektif bir kapasitör bağlı olduğu düşünülür ki bu ilişki $RC(t) = R_M(t)C_1$ olarak belirlenir. $R_M(t) = (V_{in} - V_-)/I = (V_{in} - V_-)/(C_1V_- - dt)$ olduğu için kapasitansın şu şekilde hesaplanmasına olanak verir; $C(t) = R_M(t)C_1/R = (V_{in} - V_-)/(RdV_-/dt)$. R_M'nin zamana bağımlı olması nedeniyle eş değer kapasitans C 'de zamana bağımlıdır.

Memkapasitör davranışının ispatlanması için taklitçi devrenin girişine uygulanan kare dalga sinyalinin cevabı incelenecek olursa, şekil 3a 'da işlemsel yükseltecin eviren girişine uygulanan giriş sinyali görülmektedir, şekil 3b 'de ise memkapasitör taklitçisinin, kare dalga sinyalinin iki farklı frekanstaki kapasitansı görülmektedir.



a) A1 işlemsel yükseltecinin eviren girişindeki sinyal ve zamana bağlı giriş gerilimi



b) Giriş geriliminden çıkartılmış eş değer kapasitans

Şekil 3.3: Memkapsaitör taklitçisinin kare dalga sinyaline cevabı

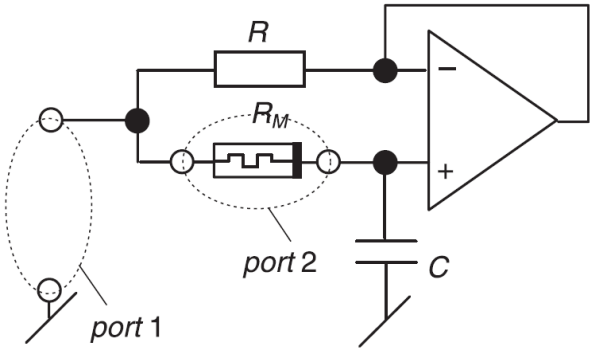
Grafikten de görüldüğü üzere kapasitans histerizisi frekansa bağlıdır ki, histerizis eğrisi 8 Hz'lik yüksek frekansta çok daha küçüktür. Yüksek frekanslarda doğrusal elemanlar gibi davranması da hafızalı devrelerin [3] bir tezahürüdür.

Bu yazılanlardan anlaşılacağı üzere tasarlanan memkapasitör taklitçi devresi gerçekte enerji depolayamazlar, tasarlanan devrede kullanılan aktif elemanlar enerji gereksinimi duyarlar. Bununla birlikte memristörlü devrelerin hafıza etkisi kullanılarak farklı devrelerin üretilebileceği anlaşılmaktadır.

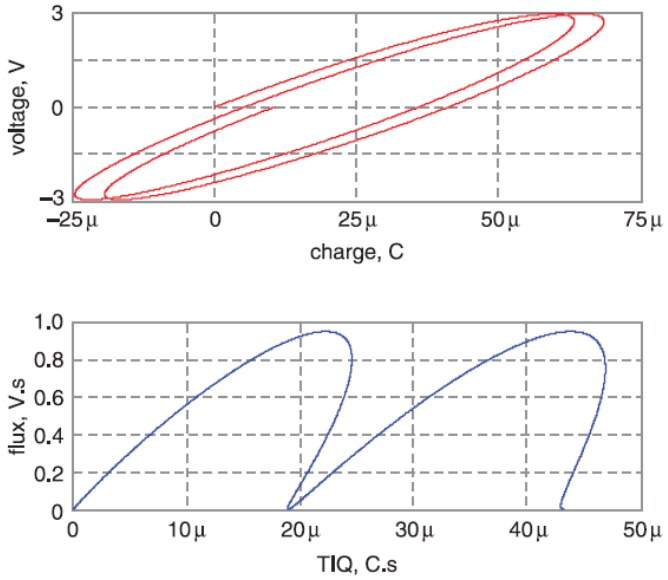
3.1.2. Memristör taklitçisinin memkapasitöre dönüştürülmesi

Literatürdeki çalışmalara bakıldığında bir memristör taklitçisini kullanarak, bir memkapasitör taklitçi devresini üretme [7] fikrinin ilk olarak ortaya atılması bu alanda farklı bir kapıyı aralamıştır. D. Biolek ve V. Biolkova [7] makalesinde önerdikleri iki dönüştürücü devreyi inceleyecek olursak bunlardan biri yüzen tip, diğeri ise topraklı tip emülatörlerdir.

Bu devrelerden yüzen tip emülatör şekil 3.4'te ve incelendiğinde bir memkapasitör davranışını sergileyemediği şekil 3.5'teki grafiklerden görülür.

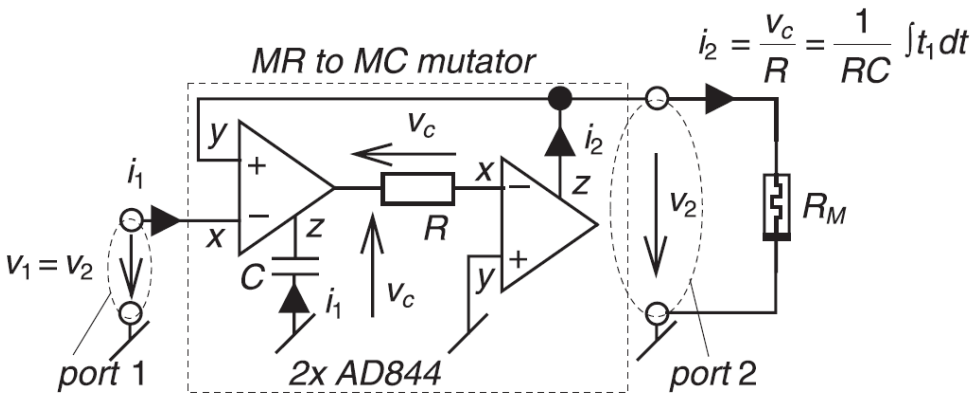


Şekil 3. 4: Yüzen tip memristörü memkapasitöre dönüştürücü devre

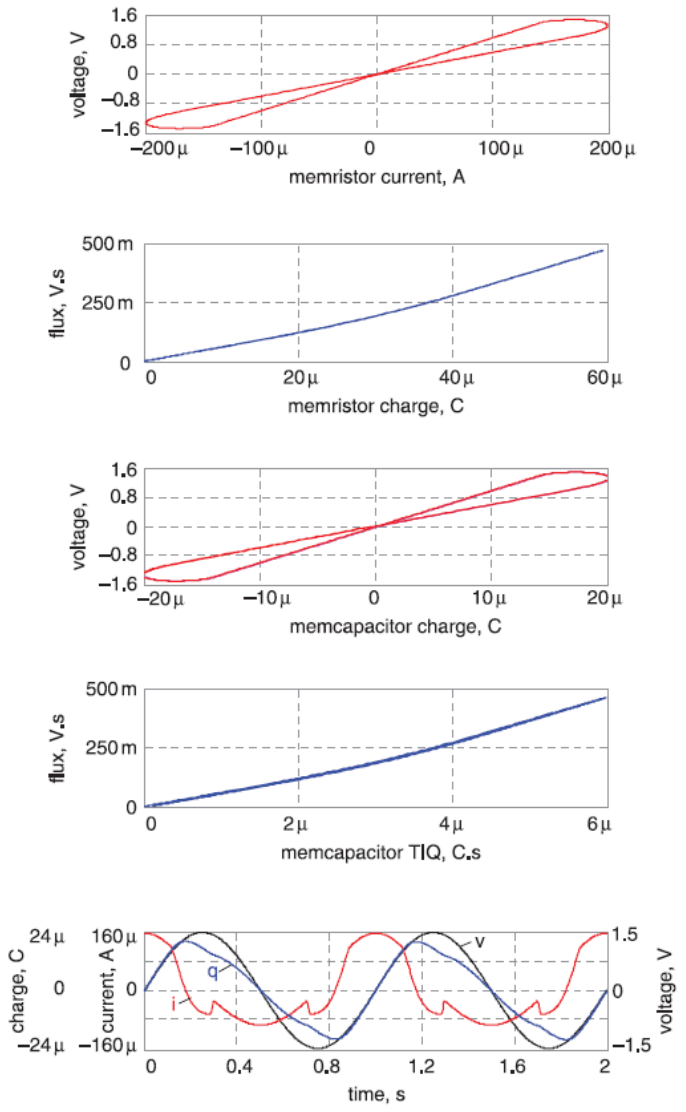


Şekil 3. 5:Yüzen tip emülatör spice analiz sonuçları

Topraklı tip emulatör şekil 3.6 ’da ve incelendiğinde bir memkapasitör davranışı sergilediği şekil 3.7’deki grafiklerden görülür.



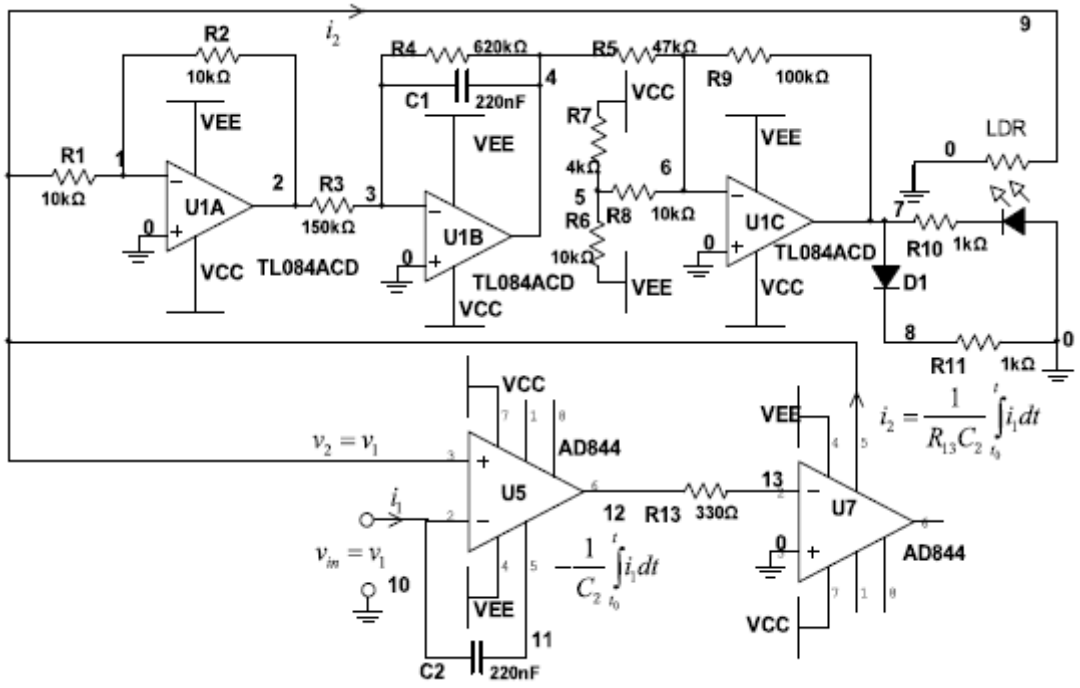
Şekil 3. 6: Topraklı tip memristörü memkapasitöre dönüştürücü devre



Şekil 3. 7: Topraklı tip emülatör spice analiz sonuçları

3.1.3. Memristör Tabanlı bir memkapasitör taklitçisi tasarımı

X.Y.WANG ve diğ. [22] makalelerinde iki adet AD844 ve memristör emülatörü kullanarak bir memkapasitör taklitçi devresi oluşturmuşlardır. Şekil 3.8'deki bu devreyi incelediğimizde ilk AD844 integral alıcı devre olarak kullanılmıştır. Diğer AD844 ise girişine gelen gerilim sinyalini girişindeki direnç değerini de hesaba katarak akıma çevirmektedir. Bu akımda memristör emületöründen memristif davranışı sağlamaktadır.



Şekil 3. 8: Memristörü memkapasitöre dönüştüren devre

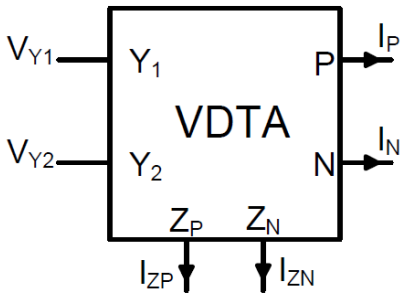
Memristör emülatör devreleri kullanılarak oluşturulmuş memristörü memkapasitöre dönüştürücü bir devrenin tasarımı ilk olarak Pershin ve Ventra tarafından [6] makalesinde ortaya atılmıştır. Bu makalelerinde daha önceden tasarlanmış olan [20] memristör taklitçisi kullanılarak memristörü memkapasitöre dönüştürücü bir devre tasarlamışlardır.

3.2. GERİLİM FARKINI ALAN GEÇİŞ İLETKENLİĞİ KUVVETLENDİRİSİCİ

Son yıllarda, çeşitli analog aktif devre tasarımlarında, örneğin amplifikatörler, osilatörler, filtreler veya daha genel olarak analog sinyal işleme devrelerinde yeni aktif elemanların kullanımına büyük önem verilmiştir. Gerilim farkını alan geçiş iletkenliği kuvvetlendiricisi (VDTA), 2008 yılında Biolek ve diğ. [11] tarafından tanıtılan bir aktif elemandır. Bu eleman, iki giriş voltajının ve bir çoklu çıkış geçiş iletkenliği yükselticisinin farkı tarafından kontrol edilen akım kaynağından oluşur ve geçiş iletkenliği kazancı boyunca elektronik ayarlama kabiliyeti sağlar. Bu nedenle, VDTA cihazı elektronik olarak ayarlanabilen aktif devre sentezi için çok uygundur. VDTA'nın aktif bir eleman olarak kullanılmasının bir başka avantajlı özelliği, iki farklı geçiş iletkenliği değeri bulundurması sebebiyle harici direnç kullanımına gerek kalmaz ve bu bazı uygulamalarda kompakt yapıların kolayca elde edilebilmesini sağlar.

3.3.1.Vdta Sembolü Ve Uç Denklemleri

Biolek ve diğ. yaptıkları araştırmalar sonucu 2008 yılında VDTA elemanını tanımlamış ve tanım bağıntılarını yılında önermişlerdir. Terminallerden ikisi giriş, ikisi çıkış ve bir tanesi de birden fazla ara terminale sahip en az 5 terminale bağlı bir aktif elemandır. Giriş terminalleri akım akıtmamakta, bu yüzden ara terminallerin akım ve gerilim değerleri kullanılmaktadır. Elemanın yapısı şu şekildedir; girişte gerilimlerin farkını alarak birinci geçiş iletkenliği katı ile çarpıp ara terminale akım olarak gönderir. Ara terminale bağlanan bir empedans ile gerilim oluşturulur ve bu gerilim ikinci katının girişine verilir. İkinci katta ise bu gerilimi ikinci katın geçiş iletkenliği ile çarparak çıkış terminallerinde pozitif ve negatif akım oluşmasını sağlar.



Şekil 3.9: VDTA elemanın devre sembolü

VDTA elemanı sembolü Şekil 3.7'de verilmiştir. Y1 ve Y2 uçları giriş terminalleri, ZP ve ZN uçları ara terminalleri, P ve N uçları ise çıkış terminallerini oluşturmaktadır. ZP terminali Y1 ve Y2 den uygulanan gerilim farkının geçiş iletkenliği çarpılıp akım oluşturulduğu ve bu

akımın Z_P terminaline bağlanan bir empedans yardımı ile ikinci katın giriş gerilimini oluşturur. Z_N terminali ise Z_P terminalinde oluşan akımın negatif işaretlisidir ki başka bir kata bağlanmadan sadece akım alınan bir uçtur. P ve N terminalleri, Z_P terminalindeki gerilim ile ikinci katının pozitif ve negatif geçiş iletkenliği ile çarpımında oluşan sırasıyla pozitif ve negatif çıkış akımlarıdır. Elemana ait tüm terminaller yüksek empedansa sahiptir. VDTA‟nın giriş çıkış terminalleri arasındaki ilişki matrissel formda Tablo (3.1)‟de verilmiştir.

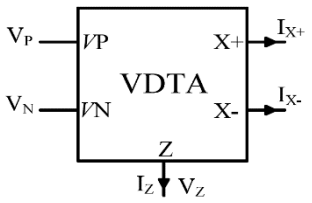
Tablo 3.1: Temel VDTA‘nın terminalleri arasında bağıntı

$$\begin{bmatrix} I_{ZP} \\ I_{ZN} \\ I_P \\ I_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_{m1} & -g_{m1} & 0 \\ -g_{m1} & g_{m1} & 0 \\ 0 & 0 & g_{m2} \\ 0 & 0 & -g_{m2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{Y1} \\ V_{Y2} \\ V_{ZP} \end{bmatrix} \tag{3.1}$$

Tanım bağıntısından da görüldüğü gibi giriş gerilimlerinin farkı alınmaktadır. Birinci katının geçiş iletkenliği gm1, ikinci katının iletkenliği ise gm2 ile gösterilmiştir. Ayrıca ZN terminalin sadece akım değeri kullanılmaktadır.

3.3. ÖRNEK BİR VDTA TASARIMI

Gerilim farkını alan geçiş iletkenliği kuvvetlendirisi (VDTA), analog sinyal işleme için tanıtılan bir aktif elementtir. 2011 yılında Yesil ve diğ.’leri [15] tarafından VDTA'nın yeni ve basit bir CMOS gerçekleştirilmesi sunulmuştur. Önerilen blok iki voltaj girişine ve iki çeşit akım çıkışına sahiptir, bu nedenle voltaj ve iletkenlik modu çalışması için işlevseldir. Ayrıca, VDTA iki farklı geçiş iletkenliği değeri sergiler, böylece VDTA tabanlı uygulamalar için analog devre tasarımcısı için iyi bir avantaj gibi görünen harici dirençlere gerek kalmaz.



Şekil 3. 10: Önerilen devrede VDTA Devre sembolü [15]

Tasarımı yapılan aktif eleman VDTA 'nın devre simgesi, VP ve VN 'nin giriş terminalleri ve Z, X + ve X- çıkış terminalleri Şekil 3.8'de gösterilmiştir. Tüm terminaller yüksek empedans

değerleri gösterir. Standart notasyon kullanarak, ideal bir VDTA'nın terminal ilişkileri aşağıdakilerle karakterize edilebilir:

Tablo 3.2: Önerilen VDTA'nın terminalleri arasında bağıntı

$$\begin{bmatrix} I_Z \\ I_{X+} \\ I_{X-} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_{m1} & -g_{m1} & 0 \\ 0 & 0 & g_{m2} \\ 0 & 0 & -g_{m2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{VP} \\ V_{VN} \\ V_Z \end{bmatrix} \tag{3.2}$$

Yukarıda açıklanan denklemler, giriş ve çıkış aşaması basitçe değişken akım kaynakları ile gerçekleştirilebilir. Giriş terminallerine göre, Z terminalinde bir çıkış akımı üretilir. Z terminalinin orta gerilimi çıkış akımlarına dönüştürülür. VDTA'nın yeni CMOS gerçekleştirmesi Şekil 3.9 'da gösterilmektedir. Girilen devre iki Arbel-Goldminz geçiş iletkenliği kullanır [16]. Devredeki VDTA elemanının giriş ve çıkış iletkenlik parametreleri, transistörlerin çıkışlarının geçiş iletkenliği ile belirlenir. Bu aşağıdaki gibi tanımlanabilir;

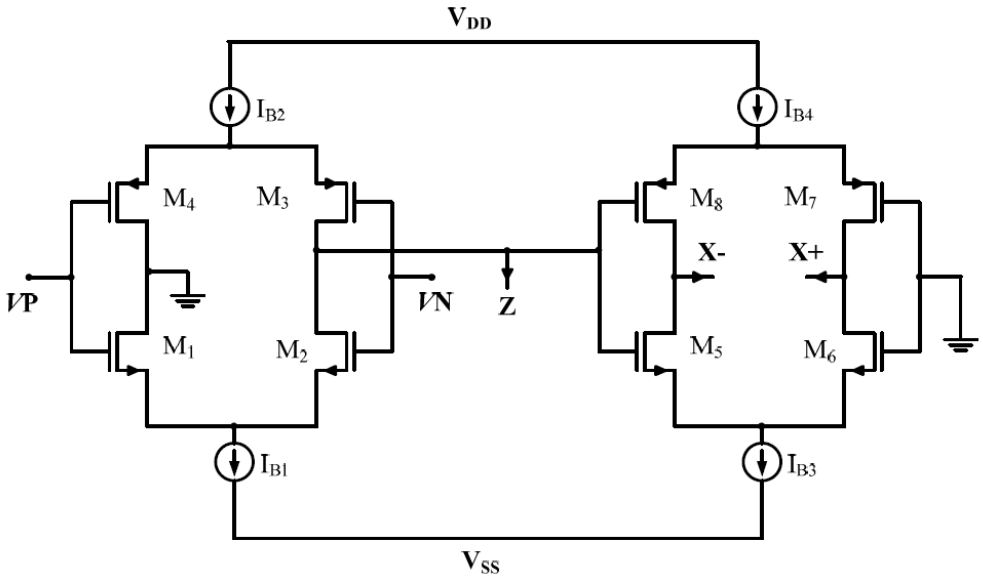
$$g_{m1} = (g_3 + g_4)/2, \tag{3.3}$$

$$g_{m2} = (g_5 + g_8)/2 \text{ or } g_{m2} = (g_6 + g_7)/2 \tag{3.4}$$

i 'inci transistörün geçiş iletkenliği değeri g_i şu şekilde tanımlanır;

$$g_i = \sqrt{I_{Bi} \cdot \mu_i \cdot C_{OX} \left[\frac{W}{L}\right]_i}, \tag{3.6}$$

μ_i (i=n,p) taşıyıcının NMOS(n) ve PMOS(p) transistörleri için hareket kabiliyeti, C_{ox} birim alan başına geçit oksit kapasitansı, W etkin kanal genişliği, L etkin kanal uzunluğu ve $I_{Bi,}$ transistörün beyz akımıdır.

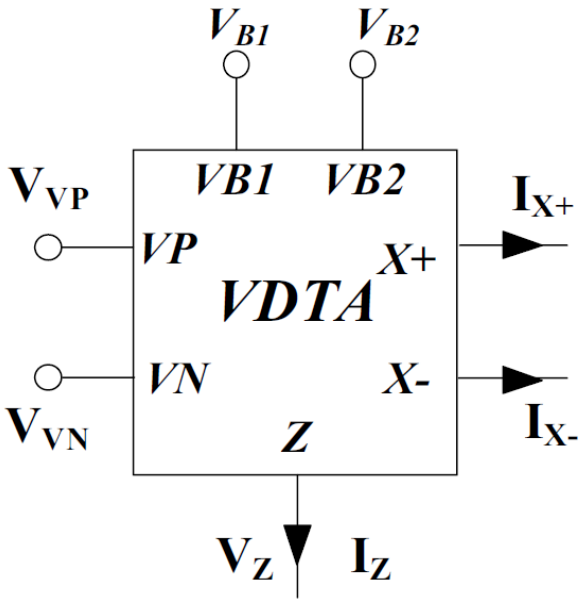


Şekil 3. 11: VDTA'nın CMOS gerçekleştirmesi [15]

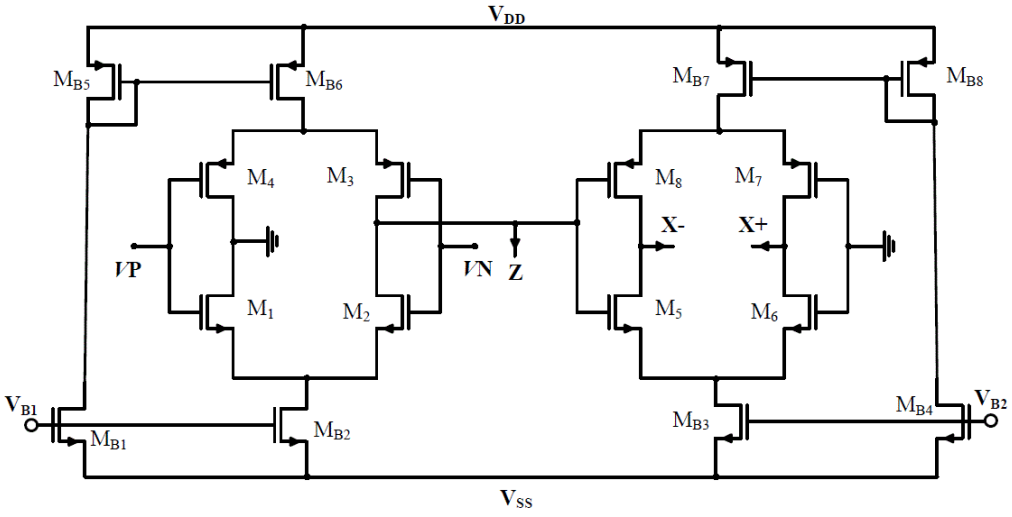
3.4. VDTA KULLANILARAK YAPILMIŞ BİR MEMRİSTÖR TASARIMI

Yesil ve diğ.'leri [15] tarafından 2011 yılında tasarlanmış olan bir VDTA devre elemanını kullanarak yine Yesil ve diğ.'leri [17] tarafından bir memristör tasarımı yapılmıştır. Yapılan bu çalışmada gerilim farkını alan geçiş iletkenliği kuvvetlendirisicine (VDTA) dayalı bir memristor emülatörü sunmaktadırlar. Önerilen memristor emülatör devresi, aktif eleman olarak sadece bir VDTA ve entegre devreden faydalanan tek topraklı kondansatör içermektedir. Ayrıca, devrede MOS-kapasitör yerine harici kapasitör kullanılabileceğini bildirmişlerdir. LTspice programında VDTA tasarımı yapılırken [15] verilen mosfet boyut (TSMC 0.18um) bilgileri kullanılmıştır. Bu boyut bilgileri Tayvan Yarıiletken Üretim Şirketi tarafından sunulmuştur. Elde ettikleri simülasyon sonuçları, sunulan memristor emülatörünün farklı çalışma frekanslarında, proses köşesinde ve radikal sıcaklık değişikliklerinde performansını göstermek için verilmiştir. Ayrıca, tek LM13700 ticari cihazını aktif eleman olarak kullanarak teorik analizi onaylamak için prototip devre tasarımı gerçekleştirmişlerdir.

Önerilen memristor emülatörü, aktif eleman olarak tek VDTA ve entegre devre gerçekleştirmeye uygun tek topraklı MOS kapasitansından (MOS-kap) oluşmaktadır. Elektrik sembolü ve VDTA'nın CMOS gerçekleştirilmesi, sırasıyla Şekil 3.10 ve Şekil 3.11'de verilmiştir. VDTA'nın akım-gerilim ilişkisi, aşağıdaki gibi tanımlanabilir.



Şekil 3. 12: Memristör tasarımında kullanılan vdta devre sembolü



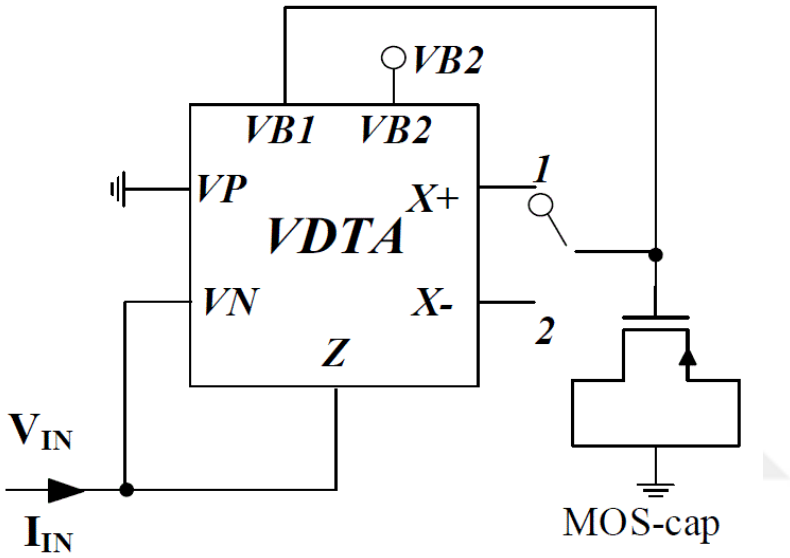
Şekil 3. 13: VDTA ile Memristör tasarımında kullanılan vdta iç şeması

Tablo 3.3: Memristör VDTA terminal ilişkileri

$$\begin{bmatrix} I_Z \\ I_{X+} \\ I_{X-} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_{m1} & -g_{m1} & 0 \\ 0 & 0 & g_{m2} \\ 0 & 0 & -g_{m2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{VP} \\ V_{VN} \\ V_Z \end{bmatrix}$$

Burada VDTA, sırasıyla VDTA'nın birinci ve ikinci geçiş iletkenlik kazanımları için gm1, gm2 olarak adlandırılan iki bağımlı geçiş iletkenlik kazanım aşamasından oluşur [37]. Geçiş

İletkenlik kazanımları, sırasıyla VB1 ve VB2 voltajı bastırılarak elektronik olarak kontrol edilebilir. VDTA bazlı yeni memristor emülatörü, Şekil 3.12 'de gösterildiği gibi tasarlanmıştır. VDTA'nın VP terminali toprağa bağlanır, hem VN hem de Z terminalleri memristor girişi olarak kullanılır. Yük memristöre bir yönde memristör direnci artar ve buna artan memristör denilir, diğer yönde geçtiğinde ise memristör direnci azalır buna da azalan memristör denilir. Kapasitör sırasıyla VDTA'nın 1 ve 2 terminallerine bağlandığında, sırasıyla artan ve azalan memristör olarak davranır.



Şekil 3. 14: VDTA ile gerçeklenmiş memristör devresi

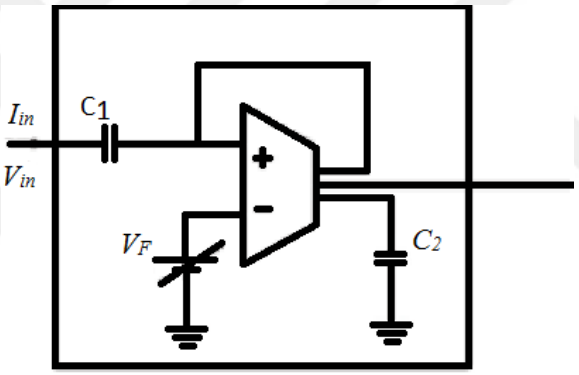
Bu devre tasarımında aşağıdaki parametreler kullanılmıştır;

TSMC 0.18µm proses parametresi kullanılır ve sırasıyla DC besleme voltajları ve bastırma voltajı VDD = -VSS = 0.9V ve VB2 = -0.1V olarak seçilir. Transistörlerin boyutları, PMOS transistörleri için 13 µm / 0.36 µm, NMOS transistörleri için 4 µm / 0.36 µm ve MOS kapasitör için 200 µm / 1.5 µm olarak seçilmiştir. MOS kapasitör dışındaki tüm PMOS ve NMOS transistörlerin toplu terminalleri sırasıyla VDD ve VSS güç kaynaklarına bağlanır.

3.5. OTA TABANLI BİR MEMKAPASİTÖR TASARIMI

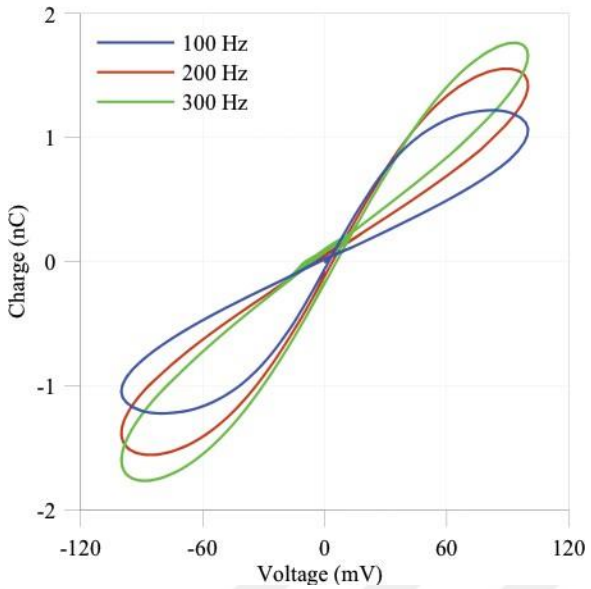
Bu makaledesinde Babacan [23], memkapasitör tasarımlarında kullanılan memristörden memkapasitör'a dönüşecek herhangi bir taklitçi devre gerektirmeyen, işlemsel İletkenlik yükseltecine (OTA) dayalı bir memkapasitor emülatörü sunmaktadır.

Akım modlu yapılar çok düşük güç tüketimi özelliğine sahiptir. Bu nedenle akım modlu devre elemanı olan işlemsel İletkenlik yükselteci (OTA), emülatör tasarımı için uygun görülmüştür. Önerilen memkapasitör devresi Şekil 1'de gösterilmiştir. OTA'nın bir çıkış terminali rezistif davranış sağlamak için pozitif giriş terminaline bağlanmıştır. Bir başka terminal, önerilen emülatörün hafıza etkisini elde etmek için C2 kondansatörüne bağlanır. OTA'nın negatif giriş terminali, C2 kapasitörünün geriliminin, gerilim değeri ve integralinin çarpımına bağlı olan voltaj kaynağına bağlıdır. C1 kondansatörü, önerilen emülatörün başlangıç kondansatörüdür.

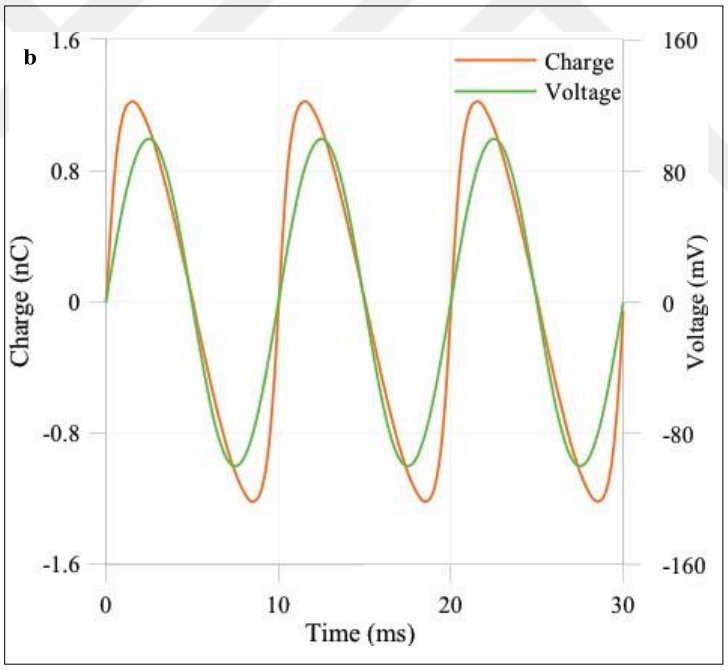


Şekil 3.15: OTA tabanlı memkapasitör devresi

Memkapasitör girişine uygulanmış farklı frekanslardaki 100 mV ‘luk sinüsoydal giriş sinyali ve elde edilen yük-gerilim eğrisi şekil 3.5 ‘te, giriş gerilim-zaman ve yük-zaman grafikleri de şekil 3.6 ‘da gösterlmiştir.



Şekil 3.16: Farklı frekanslardaki yük-grerilim eğrisi



Şekil 3.17: Memkapasitörün giriş gerilim ve yük eğrisi

Giriş akımı;

$$I_{in} = C_1 \frac{d(V_{in} - V_F)}{dt} \tag{3.8}$$

Yukarıdaki denklem şu şekilde yazılabilir:

$$\frac{q(t)}{C_1} + V_F = V_{in} \tag{3.9}$$

$$V_F = V_{C2} \int V_{C2} = \frac{q(t)}{C_2^2} \int q(t)\,dt, (q(t) = C_2 V_{C2}) \tag{3.10}$$

Q(t), önerilen devrenin değişken bir parçasıdır, bu nedenle V_F, önerilen emülatör devresinin memristif davranışını değiştirir.

4.BULGULAR

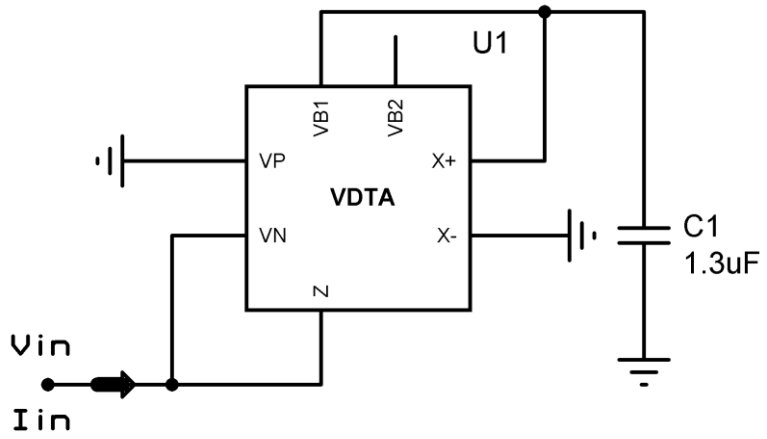
4.1. ÖNERİLEN MEMRİSTÖR TABANLI MEMKAPSİTÖR DEVRESİ

Önerilen memkapasitör taklitçi devresinin amacı daha az devre elemanı ile daha az güç tüketimi sağlayarak elektronik olarak kontrol edilebilen bir memkapasitör emülatör devresini elde edebilen bir yapıyı meydana getirmektir, bunun içinse oluşturulmak istenen devrenin lineer olmaması göz önünde bulundurulduğunda aktif devre elemanlarının bu tasarım için avantajlı bir parametreye sahip olduğu anlaşılmaktadır.

Önerilen devre iki bloktan oluşmaktadır, birinci blok memristör yapısını oluştururken ikinci blok memkapasitör yapısını temsil etmektedir. Her blokta bir VDTA ve bir kapasitör kullanılmıştır.

4.1.1. Tasarımda Kullanılan Memristör Devresi

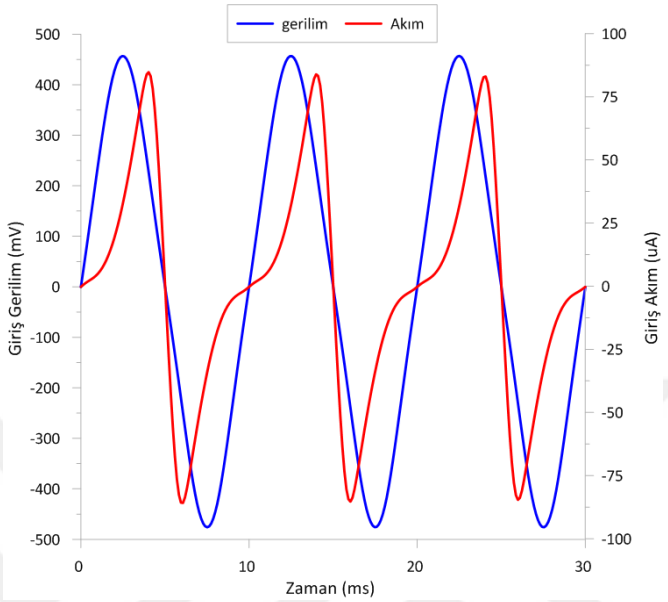
Tasarımda kullandığımız memristör emülatör devresi yeşil ve diğer. [11] tarafından bir vdta ve bir kapasitör ile tasarlanmış olan memristör emülatör devresidir. Şekil 4.1'de aktif devre elemanı VDTA ve kapasitör ile gerçeklenmiş bir memristör emülatör devresi görülmektedir.



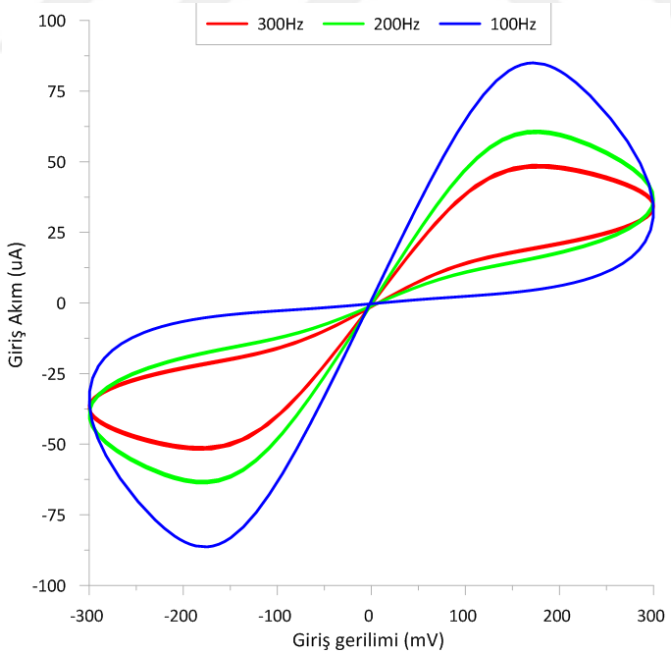
Şekil 4.1: Memristör emülatör devresi

Giriş voltajının 100Hz'de 300 mV (en yüksek) ve giriş akımının zaman tepkileri, Şekil 4.2'de gösterilmektedir. Kullanılan memristörün gerilim-akım ilişkisi, Şekil 4.3 'de gösterilmektedir.

Şekil 4.3 'den, gerilim-akım ilişkisinin histerezis döngüsü olduğu ve uygulanan giriş sinyali frekanslarına duyarlı olduğu açıkça görülmektedir. 300 mV (tepe) sinüsoydal sinyal, sırasıyla 100Hz, 200Hz ve 300Hz gibi farklı frekanslarda uygulanmıştır.

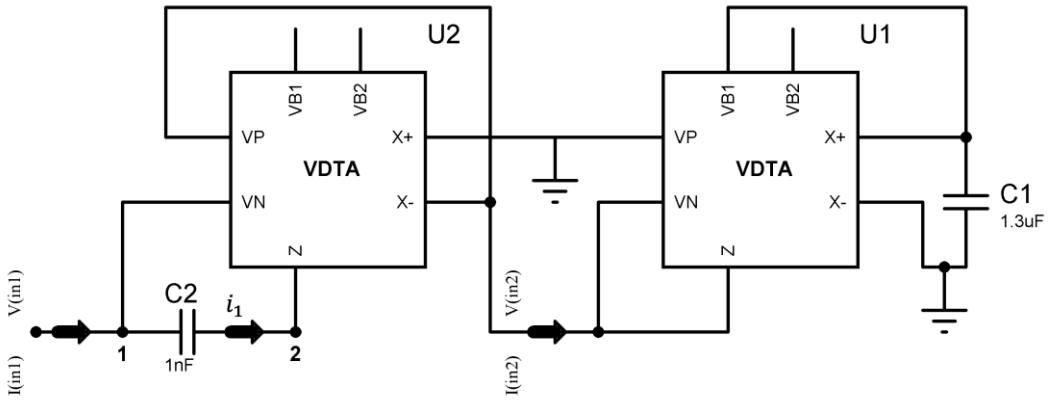


Şekil 4.2: Memristör devresinin 100Hz ve 300mV 'ta Giriş akım ve gerilim grafikleri



Şekil 4.3: Frekansın 100Hz, 200Hz ve 300Hz değerleri için histerezis eğrisi

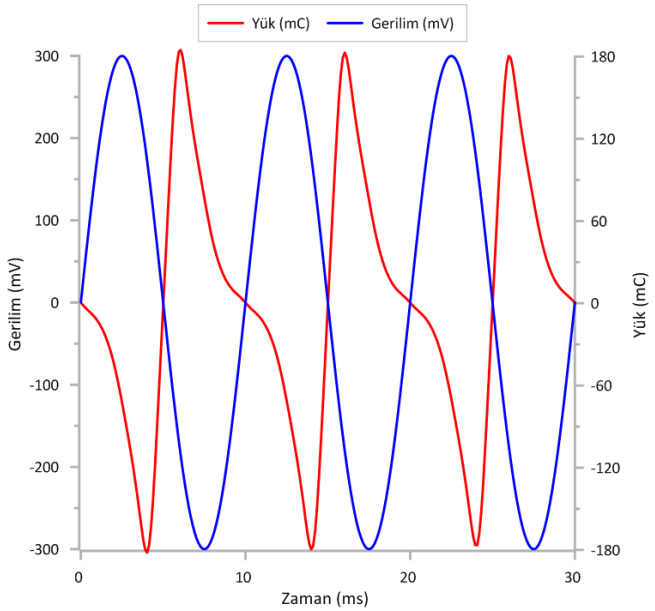
4.1.2. Önerilen memkapasitör devresi



Şekil 4.4: Önerilen Memkapasitör Taklitçi Devresi

Memristor ve memkapasitör arasındaki ilişkiyi gerçekleştirmek için, ilk kez memristörü memkapasitör'e dönüştürme fikrini öneren [7] 'ye atıfta bulunarak, dönüşüm devresi Şekil 4.4'te gösterilmiştir.

Devrenin girişine uygulanan gerilim ve çıkışındaki yük sinyallerinin zaman alanındaki eğrileri şekil 4.5'te de gösterilmektedir.



Şekil 4.5: Memkapasitör Giriş Gerilim ve çıkış Yük sinyalleri

Bu devre iki kısımdan oluşmaktadır. 1. Kısım memristör devresi ve 2. Kısım memristörü memkapasitöre dönüştürücü kısım olarak adlandırabiliriz. Birinci kısımda U1 ve C1 bulunurken ikinci kısımda U2 ve C2 bulunmaktadır.

Bu devrede C2 kapasitörü ve U2, Iin akımının integralini almak için kullanılmıştır, 2 numaralı noktadaki gerilim,

$$V_2(t) = -\frac{1}{C_2}\int_{to}^{t} i_1 dt = -\frac{1}{C_2} q(t), \tag{4.1}$$

U_2 VDTA çıkışındaki akım;

$$I_{X-} = -gm_2 * V_z(t) \tag{4.2}$$

olmak üzere;

$$V_z(t) = V_2(t) \tag{4.3}$$

$$I_{X-} = -gm_2 * V_2(t) \tag{4.4}$$

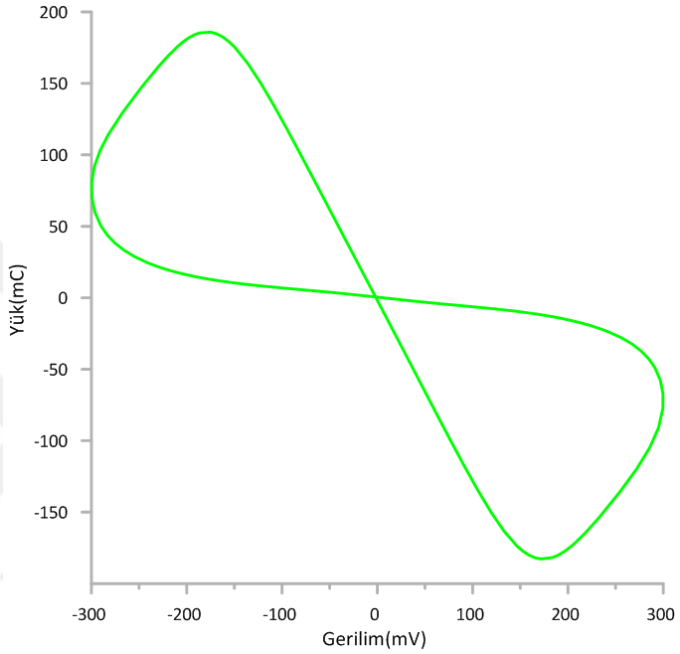
$$I_{X-} = {gm_2}/{C_2}\int_{to}^{t} i_1 dt \tag{4.5}$$

$$I_{X-} = I_{(in2)} \tag{4.6}$$ olur.

Ayrıca bu devre de U2 VDTA'nın V_n ve V_p terminalleri arasındaki potasiyel fark sıfıra yakın olduğunu düşünürsek Memristör ve Memkapasitör giriş voltajları arasında da aşağıdaki denklemdeki gibi bir ilişki elde ederiz.

$$V_{(in1)} \cong V_{(in2)} \tag{4.7}$$

Bildiğimiz üzere, halihazırda devre tasarımı için kullanılan dirençlerin akım ve gerilim arasındaki ilişki doğrusaldır, fakat bir memristörün girişine sinüsoidal giriş sinyali uygulandığında bu sinyale cevap olarak akım-gerilim ilişkisi incelendiğinde histerezis eğrisi elde edilir. Benzer olarak kapasitöründe yük ve gerilim arasındaki ilişki incelendiğinde elde edilen cevapta doğrusaldır, fakat memkapasitörün yük-gerilim eğrisi doğrusal değil bir histerezis eğrisidir.

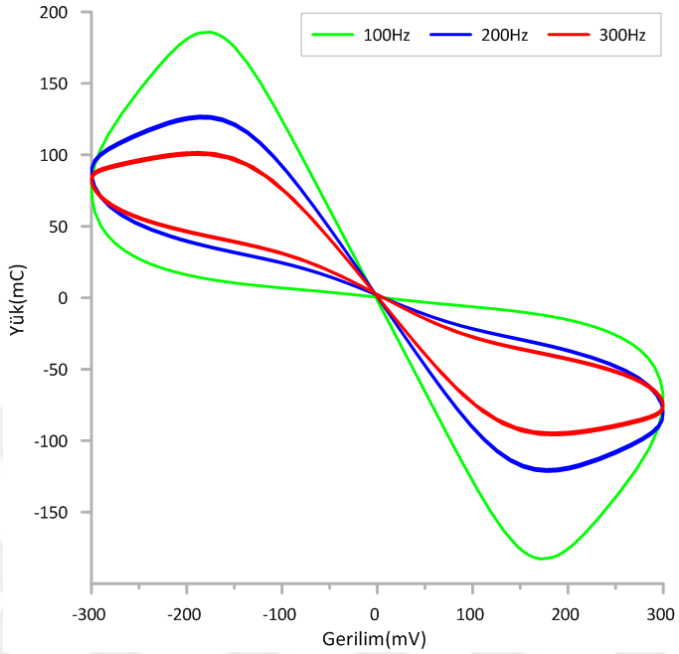


Şekil 4.6: 100Hz ve 300mV için Memkapasitör histerezis eğrisi

Memkapasitörün yük-gerilim karakteristiğinin LtSpice simülasyon sonuçları şekil 4.6'da görülmektedir. Giriş voltajı 1 nolu uçtan alınırken, yük için 2 nolu uçtaki gerilim referans alınır. Her ne kadar memkapasitördeki yük ve gerilim arasındaki ilişkiyi göstermek istesekte, 2 nolu uçtaki gerilim 4.1'deki denklemde görüldüğü üzere yük 'ün negatif bir görüntüsünü bize verir. Birinci ve üçüncü bölgede olması beklenen görüntü, ikinci ve dördüncü bölgede oluşmuştur.

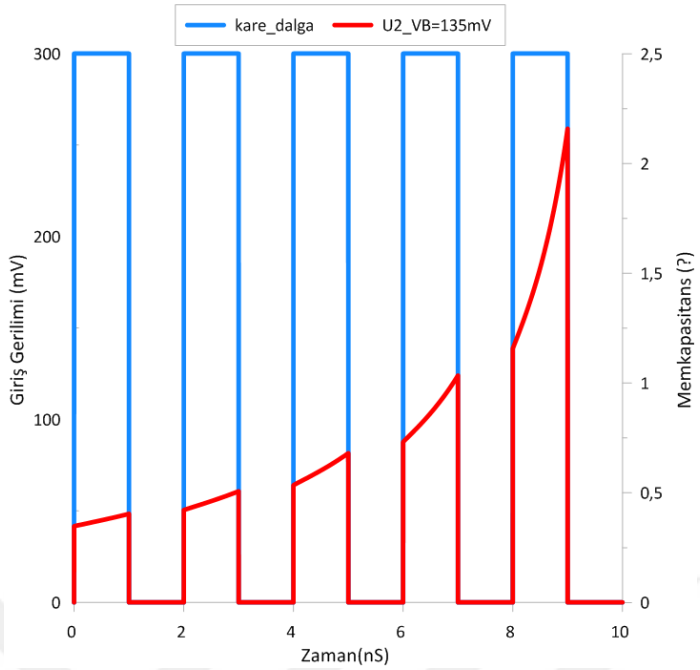
Memkapasitör emülatörü memristöre bağlı çalışmaktadır. Memkapasitör'ün düzgün çalışmasını istiyorsak, memristor emülatörünün doğru çalışması esastır. Şekil 9'da gösterildiği gibi, memkapasitör'ün istenen bir frekans aralığında çalışmasını istiyorsak, memristor devresindeki bileşen değerlerini ayarlamalı ve sonra memkapasitörün aynı aralıkta çalışmasını sağlamak için dönüştürme devresindeki bileşen değerlerini değiştirmeliyiz. Hem memristör hem de memkapasitör tarafındaki değiştirilebilecek bileşenler C1 ve C2 kapasitörü olacaktır.

Memkapasitör taklitçi devresinin yük-gerilim eğirisinin farklı frekanslarda ki davranışını görmek istersek 100Hz, 200Hz ve 300Hz frekans değerlerindeki ölçümleri Şekil 4.7'de incelemek mümkündür.



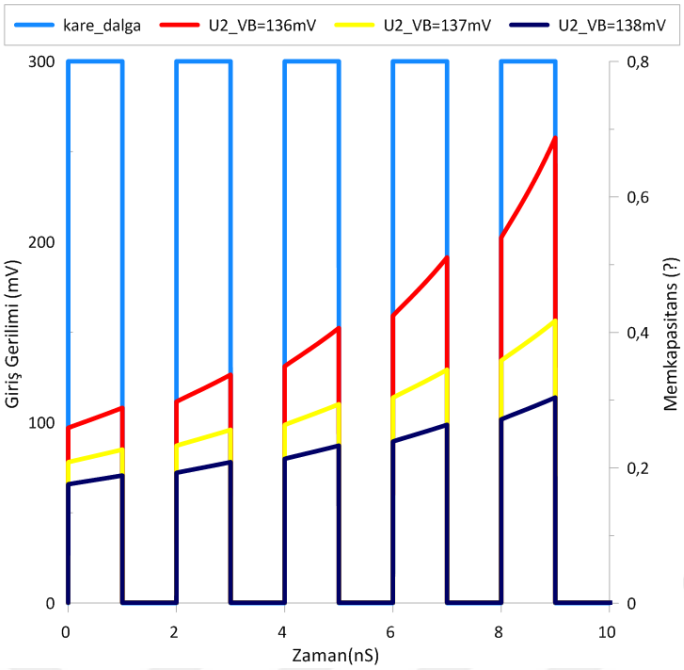
Şekil 4.7: Farklı frekanslarda histerezis eğrisi

Geçici olmayan hafıza özelliği memkapasitörün temel özelliğidir, bu yüzden önerilen memkapasitörün hafıza performansını analiz ettik. Şekil 4.8 'de görüleceği üzere analiz için 10 ns 'lik zaman aralığında girişe 300mV kare dalga uygulanmıştır. Bu şekli açıklayacak olursak kare dalga sinyalinin aktif olduğu durumlarda memkapasitans değeri değişim göstermekte olup kare dalga sinyalinin pasif olduğu durumlarda memkapasitans değeri de pasif durumda olmaktadır.



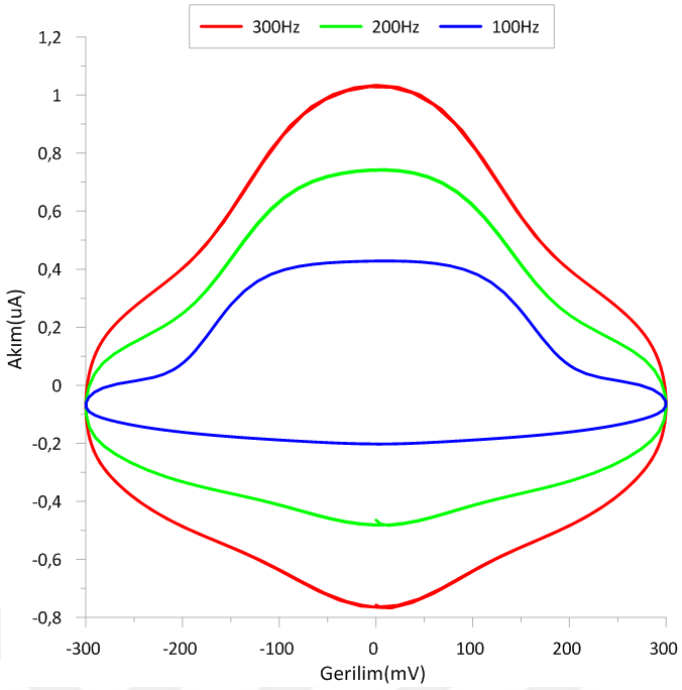
Şekil 4.8: Uygulanan siyalin palsine göre memkapasitans değişimi

Ayrıca memkapasitör emulatör devresinde memkapasitörün elektronik olarak kontrol edilebilmesini de incelemek istediğimizde VB1 ve VB2 terminallerini kullanmak gereklidir. Yani VDTA, sırasıyla birinci ve ikinci geçiş iletkenlik kazanımları için gm1, gm2 olarak adlandırılan iki bağımlı geçiş iletkenlik kazanım aşamasından oluşur. Geçiş İletkenlik kazanımları, sırasıyla VB1 ve VB2 voltajı bastırılarak elektronik olarak kontrol edilebilir. VB1 ve VB2 voltajına farklı değerler vererek memkapasitans değerinin nasıl bir değişim gösterdiğini Şekil 4.9'de görmek mümkündür, bu bize elektronik olarak kontrol edilebilirliğin mümkün olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.9: Gerilim kontrollü memkapasitans değişimi

Memkapasitör emülatörünün I-V eğirisinin farklı frekanaslarda ki davranışını Şekil 4.10'da görülmektedir. Sırasıyla 100Hz, 200Hz ve 300Hz olarak yapılan ölçümlerde memkapasitör taklitçi devresinin memkapasitif davranışı sergilediği tespit edilmiştir. I-V eğirisi baz alındığında önerilen devrenin memkapasitör davranışını sağladığını görmek için Radvan ve Fouda 'nın [24] makalesinde bu eğrinin benzer şekilde sağlanmış olduğunu görebiliriz.



Şekil 4.10: Farklı frekanslardaki memkapasitör I-V eğrisi

5.TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu tez çalışmasında, Gerilim Farkını Alan Geçiş İletkenliği Kuvvetlendiricisi (VDTA) olarak adlandırılan analog aktif blok ve az sayıda topraklanmış pasif bileşen kullanan bir memkapasitör tasarımı sunulmuştur. Tasarımda kullanılan VDTA aktif bir elaman olup ticari bir ürün olarak piyasada bulunmamaktadır. Tasarım yöntemi olarak Biolek ve Biolkova 'nın önerdiği memristör tabanlı dönüştürücü devre yapısı kullanılmıştır. Bu yöntem ile memristif yapının davranışsal karakteristiği memkapasitif yapıya aktarılması sağlanmıştır. LTspice kullanarak yapılan simülasyon sonuçları önerilen memkapasitör tasarımını doğrular. Şöyle ki; amaçlanan memkapasitör emülatör devresi literatürde olması gerektiği gibi memkapasitif davranışları sergileyen çıkış sinyallerini başarılı bir şekilde vermeyi başarmıştır. Önerilen memkapasitör şu avantajlarla gelir, basit ve sağlam tasarım, az sayıda aktif ve pasif eleman gerektirir, entegre devre üretimi için uygun, dışarıdan uygulanan gerilim yoluyla elektronik olarak kontrol edilebilen bir memkapasitör özelliğini taşıması, tasarımda kullanılan aktif devre elemanı VDTA Cmos transistörler kullanılarak tasarlanmış olması bize düşük güç tüketiminin yolunu açar. Bunların dışında dezavantaj olarak baktığımızda ise yüksek frekans bandında kararlı çalışamamaktadır. Literatürde, devrede kullanılan aktif ve pasif eleman sayısına göre bir karşılaştırma yapacak olursak, bu tezde kullanılan yöntem olan dönüştürücü yapıyı kullanarak tasarlanmış sadece bir yayın vardır. O yayında 5 adet aktif eleman, 17 adet pasif eleman kullanılmıştır. Önerilen devrede 2 adet aktif ve 2 adet pasif eleman bulunmaktadır. Buradan yola çıkacak olursak, devremizin aynı başarımı elde edebilen fakat daha basit ve pratik bir yapıya sahip olduğu açıkça görülmektedir.

Tasarımın birinci kısmı Memristör taklitçisi olarak çalışırken, ikinci kısmında bulunan VDTA ve kapasitör aynı zamanda kendi başına, VDTA tabanlı bir integral alıcı devresini temsil etmektedir. Memkapasitör devresi, memristif sistemlerde olduğu gibi sonsuz frekans sınırında doğrusal bir kondansatör gibi ya da sıfır frekans sınırında doğrusal olamayan bir kondansatör gibi davranır. Bu davranışın kökeni; düşük frekans için; sistemin biasdaki yavaş değişime uyum sağlayabilme yeteneğine ve tersine; aşırı yüksek frekanslı salınımlara cevap verememesine dayanır.

Önerilen devrenin, memkapasitör'ün olası uygulamalarını keşfetmek için ek bir seçenek sunduğuna inanmaktayım.

KAYNAKLAR

[1] L. Chua, "Memristor-the missing circuit element," *IEEE Transactions on circuit theory*, vol. 18, no. 5, pp. 507-519, 1971.

[2] D. B. Strukov, G. S. Snider, D. R. Stewart, and R. S. Williams, "The missing memristor found," *nature*, vol. 453, no. 7191, p. 80, 2008.

[3] M. Di Ventra, Y. V. Pershin, and L. O. Chua, "Circuit elements with memory: memristors, memcapacitors, and meminductors," *Proceedings of the IEEE*, vol. 97, no. 10, pp. 1717-1724, 2009.

[4] M. Di Ventra, Y. V. Pershin, and L. O. Chua, "Putting memory into circuit elements: memristors, memcapacitors, and meminductors [point of view]," *Proceedings of the IEEE*, vol. 97, no. 8, pp. 1371-1372, 2009.

[5] D. Biolek, Z. Biolek, and V. Biolkova, "SPICE modelling of memcapacitor," *Electronics letters*, vol. 46, no. 7, pp. 520-522, 2010.

[6] Y. V. Pershin and M. Di Ventra, "Memristive circuits simulate memcapacitors and meminductors," *Electronics Letters*, vol. 46, no. 7, pp. 517-518, 2010.

[7] D. Biolek and V. Biolkova, "Mutator for transforming memristor into memcapacitor," *Electronics Letters*, vol. 46, no. 21, pp. 1428-1429, 2010.

[8] D. Biolek, V. Biolková, and Z. Kolka, "Mutators simulating memcapacitors and meminductors," in *2010 IEEE Asia Pacific Conference on Circuits and Systems*, 2010, pp. 800-803: IEEE.

[9] L. O. Chua and S. M. Kang, "Memristive devices and systems," *Proceedings of the IEEE*, vol. 64, no. 2, pp. 209-223, 1976.

[10] R. Stanley Williams, "How we found the missing memristor," in *Chaos, CNN, Memristors and Beyond: A Festschrift for Leon Chua With DVD-ROM, composed by Eleonora Bilotta*: World Scientific, 2013, pp. 483-489.

[11] A. Yesil, Y. Babacan, and F. Kacar, "Design and experimental evolution of memristor with only one VDTA and one capacitor," *IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems*, 2018.

[12] Y. V. Pershin and M. Di Ventra, "Practical approach to programmable analog circuits with memristors," *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, vol. 57, no. 8, pp. 1857-1864, 2010.

[13] Y. V. Pershin, E. Sazonov, and M. Di Ventra, "Analogue-to-digital and digital-to-analogue conversion with memristive devices," *Electronics letters*, vol. 48, no. 2, pp. 73-74, 2012.

[14] F. Z. Wang *et al.*, "Adaptive neuromorphic architecture (ANA)," *Neural Networks*, vol. 45, pp. 111-116, 2013.

[15] M. S. Feali, A. Ahmadi, and M. Hayati, "Implementation of adaptive neuron based on memristor and memcapacitor emulators," *Neurocomputing*, vol. 309, pp. 157-167, 2018.

[16] B. Muthuswamy and P. P. Kokate, "Memristor-based chaotic circuits," *IETE Technical Review*, vol. 26, no. 6, pp. 417-429, 2009.

[17] G. Wang, S. Zang, X. Wang, F. Yuan, and H. H.-C. Iu, "Memcapacitor model and its application in chaotic oscillator with memristor," *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science*, vol. 27, no. 1, p. 013110, 2017.

[18] Y. V. Pershin and M. Di Ventra, "Memcapacitive neural networks," *Electronics Letters*, vol. 50, no. 3, pp. 141-143, 2014.

[19] G. C. Adam, B. D. Hoskins, M. Prezioso, F. Merrikh-Bayat, B. Chakrabarti, and D. B. Strukov, "3-D memristor crossbars for analog and neuromorphic computing applications," *IEEE Transactions on Electron Devices*, vol. 64, no. 1, pp. 312-318, 2016.

[20] Y. V. Pershin and M. Di Ventra, "Experimental demonstration of associative memory with memristive neural networks," *Neural Networks*, vol. 23, no. 7, pp. 881-886, 2010.

[21] Y. V. Pershin, S. La Fontaine, and M. Di Ventra, "Memristive model of amoeba learning," *Physical Review E*, vol. 80, no. 2, p. 021926, 2009.

[22] X. Wang, A. Fitch, H. Iu, and W. Qi, "Design of a memcapacitor emulator based on a memristor," *Physics Letters A*, vol. 376, no. 4, pp. 394-399, 2012.

[23] Y. Babacan, "An Operational Transconductance Amplifier-based Memcapacitor and Meminductor," *Electrica*, vol. 18, no. 1, pp. 36-38, 2018.

[24] A. G. Radwan and M. E. Fouda, "Memcapacitor: Modeling, Analysis, and Emulators," in *On the Mathematical Modeling of Memristor, Memcapacitor, and Meminductor*: Springer, 2015, pp. 151-185.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Mehmet Ziya HOŞBAŞ
Doğum Yeri	Çorum
Doğum Tarihi	10.12.1988
Uyruğu	☑ T.C. ❒ Diğer:
Telefon	0 507 534 96 47
E-Posta Adresi	mehmetziyahosbas@hitit.edu.tr
Web Adresi	-



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Fakülte	Mühendislik Fakültesi
Bölümü	Elektrik-Elektronik Mühendisliği
Mezuniyet Yılı	03.02.2014

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Enstitü Adı	Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Anabilim Dalı	Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Programı	Elektrik-Elektronik Mühendisliği Tezli Y.L. Programı