



**T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

MOSFET PARAZİTLİKLERİNİ KULLANARAK FİLTRE TASARIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Semih ELMALI

DANIŞMAN

Prof. Dr. Emre ARSLAN

AKSARAY, 2022

Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 182363404 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Semih ELMALI tarafından hazırlanan “**MOSFET PARAZİTLİKLERİNİ KULLANARAK FİLTRE TASARIMI**” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Emre ARSLAN

Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.....

Üye: Doç. Dr. İsmail KIYAK

Marmara Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.....

Üye: Doç. Dr. Yunus UZUN

Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.....

Tez Savunma Tarihi: 25/01/2022

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Doç. Dr. Mehmet Ali HINIS

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

DOĞRULUK BEYANI

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışmayı, akademik kurallara ve bilimsel etik, ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın yazdığımı, yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu, çalışmamda kullandığım verilerin orijinalliğini ve her türlü intihalden uzak olduğunu beyan ederim.

Enstitü tarafından belli bir zamana bağlı olmaksızın, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildiririm.

Semih ELMALI

TEŞEKKÜR

Danışmanım Prof. Dr. Emre ARSLAN' a bu tezin ilerleyiői yardımları, sabırları, zor zamanlarımda çalışmalarına desteklerinden ve en önemlisi bana karşı daima pozitif düşünen ılımlı yaklaşımlarında dolayı teşekkür ederim.

Çalışmalarımda her daim yanı başımda bana katkı sunan, umutsuz anlarımda beni teşvik eden biricik eşim Büőra ELMALI 'ya, yorgun anlarımda mutluluk kaynağı olduğu için kızım Rabia'ya teşekkür ederim.

Ayrıca Őube Müdürüm Menekőe ÜNAL ve Őefim Yeőim KARATAĞ başta olmak üzere ismini sayamayacağım nice mesai arkadaşlarıma üzerimden yük alarak bana destek oldukları için çok teşekkür ederim.

Bu tez Aksaray'da Aksaray Üniversitesi' nde Yüksek Lisans eğitimimde yazılmıştır.

Semih ELMALI
AKSARAY, 2022

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR	vii
1. GİRİŞ.....	1
2. ANALOG SİNYAL, ANALOG DEVRE VE ANALOG FİLTRE.....	4
3. FİLTRE ÇEŞİTLERİ	6
3.1 Alçak Geçiren Filtreler.....	6
3.2 Yüksek Geçiren Filtreler	6
3.3 Bant Geçiren Filtreler.....	7
3.4 Bant Durduran Filtreler,	8
4. ANALOG FİLTRE YAKLAŞIM TÜRLERİ	9
4.1 Butterworth	9
4.2 Chebyshev	10
4.3 Bessel	10
4.4 Elliptic	11
5. AKTİF FİLTRELER TEMEL YAPI TAŞLARI	12
5.1 İdeal Entegratör	12
5.2 Kayıplı integratör	13
6. AKTİF FİLTRELERDE KULLANILAN FARKLI DEVRE BLOKLARI ..	15
6.1 İşlemse Geçişiletkenliği Kuvvetlendiricisi (OTA)	15
6.2 Akım Taşıyıcılar.....	15
7. MOSFET VE ÇALIŞMA PRENSİPLERİ.....	18
7.1. MOSFET Kapasitansları	18
7.1.1 Çıkış kapasitansı (C_{OSS})	19
7.1.2 Giriş kapasitansı (C_{ISS}).....	19
7.1.3 MOSFET'in iç direnci (R_{DS}).....	20
8. MALZEME VE YÖNTEM	21
8.1 Yüksek Değerli Dirençler (HVR)	21
8.2 Kapasite Çarpma Devreleri	21
8.3 Yüzen Geçit Transistörler (Floating Gate Mos, FGMOS).....	21
8.4 MOS Transistörlerin Gövde Etkisi	22
8.5 Biyomedikal İşaretler	22
8.5.1 Elektrik kökenli işaretler	23
8.5.2 Elektriksel kökenli olmayan işaretler.....	23
9. ÖNERİLEN DEVRELER VE SONUÇ	25
9.1 Önerilen Devre	25
9.2 Simülasyon Sonuçları	26
10. SONUÇ.....	29
KAYNAKLAR	30
ÖZGEÇMİŞ.....	33

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MOSFET PARAZİTLİKLERİNİ KULLANARAK FİLTRE TASARIMI

Semih ELMALI

**Aksaray Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Prof. Dr. Emre ARSLAN

ÖZET

Elektronik alanlarda geçmişten günümüze kadar pek çok gelişme yaşanmıştır. Bu gelişmenin paralelinde Radyo haberleşmesi, televizyon, telefon, ses, resim, veri haberleşmesi, biyomedikal vb. alanlarda bu gelişmeyle pek çok sinyal kullanılmaktadır. Elektronik cihazların yapısı gereği gerekli haberleşme, veri aktarımı esnasında ya da sinyal üretimi sırasında gibi gerekli sinyalin yanında istenmeyen parazitler ve gürültüler oluşur. Parazitler ve gürültüler gerek analog olsun gerek dijital olsun sinyali bozarak devrenin doğru çalışmasına engel olur. Bu durumda verileri doğru okuyup, yorumlayabilmemiz için dikkat etmemiz gereken şey bu sinyalinde oluşabilecek gürültü ve parazitin en aza indirilmesidir. Gürültü ve parazitin en aza indirilebilmesi için parazit ve gürültünün sebebi araştırılarak doğru tespit ile uygun devre planı ve gerekli filtrelemeyi yapmaktır.

Filtreleme birden fazla sinyallerin bulunduğu bir devrede istenilen sinyali elde edebilmek için diğer sinyaller süzme işlemine denir. Filtreler çalışma prensiplerine göre Alçak Geçiren Filtre, Yüksek Geçiren Filtre, Bant Geçiren Filtre ve Bant durdurucu Filtre olarak 4 kısma, yapım elemanlarına göre Pasif Filtre ve Aktif Filtre olarak iki kısma ayrılmaktadır.

Pasif filtre oluşturabilmek için direnç kapasitör, indüktör gibi pasif elemanlar kullanılırken aktif filtrede ise op-amp, BJT, MOSFET gibi aktif bileşenler kullanılmaktadır. Sinyalleri veya frekansları filtreleme yaparken, sinyalin kaynağından veya devreden bağımsız olarak, kullanılan filtrenin kendisinden kaynaklanan ve çıkış sinyalini etkileyen istenmeyen harmonik sinyallerde oluşabilmektedir.

Bu makalede akım modlu, ikinci dereceden Yüksek Geçiren ve Bant Geçiren filtre topolojisi sunulmuştur. Önerilen filtre devresinin benzetimleri LTSpice programı ile gerçekleştirilmiştir. LTSpice simülasyon sonuçları ile teorik sonuçlar kıyaslanmış ve her iki sonucun oldukça uyumlu olduğu gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Salt MOSFET, Transisörler, Akım-modlu filtreler, Gate-to-Source Capacitance, LTSpice, filtre

Ocak, 2022; 33 sayfa

M.Sc. THESIS

FILTER DESIGN USING MOSFET PARASITICS

Semih ELMALI

**Aksaray University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Electrical-Electronic Engineering**

Supervisor: Prof. Dr. Emre ARSLAN

ABSTRACT

There have been many developments in electronic fields from past to present. Due to the nature of electronic devices, unwanted interference and noise occur in addition to the necessary signal, such as during necessary communication, data transfer or signal generation. Interferences and noises, whether analog or digital, distort the signal and prevent the circuit from working properly. In this case, what we need to pay attention to so that we can read and interpret the data correctly is that this signal is in the desired format and that the noise and interference that may occur from the devices are minimized. In order to minimize noise and interference, it is to investigate the cause of noise and noise and to make the appropriate circuit plan and necessary filtering with correct detection.

Filtering is the process of filtering other signals in order to obtain the desired signal in a circuit. Filters are divided into 4 parts as Low-Pass Filter, High-Pass Filter, Band-Pass Filter and Band-stop Filter according to their working principles, and into two parts as Passive Filter and Active Filter according to the construction elements.

While passive elements such as resistors, capacitors and inductors are used to create a passive filter, active components such as op-amp, BJT and MOSFET are used in the active filter. While filtering signals or frequencies, undesirable harmonic signals may occur, regardless of the source of the signal or the circuit, originating from the filter itself and affecting the output signal. The semiconductor materials used in the transistors, which are the circuit elements used in the active filter, or the capacitance from the passive filter elements, the resistors, etc. caused by electrical noise and interference. However, it is desired to see an output signal or frequency close to the ideal in the designed circuit. In order to reduce unwanted signals in the circuit, the circuit is analyzed and it is given which of these filters to use and what kind of filter to use by considering the cost.

The proposed filter circuits are simulated with LTSpice. LTSpice simulation results are compared with the theoretical results. It has been observed that the simulation results are in good harmony with the theoretical ones.

Keywords: MOSFET, Transconductance, Current-mode filters, Gate-to-Source Capacitance, LTSpice

January, 2022; 33 pages

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. P-kanallı D-MOSFET	2
Şekil 1.2. N kanallı E-MOSFET	3
Şekil 3.1. İdeal Filtre Frekans Cevabı (a) Alçak Geçiren Filtre, (b) Yüksek Geçiren filtre, (c) Bant Geçiren Filtre, (d) Bant Durduran Filtre	6
Şekil 3.2. Yüksek Geçiren Filtre Açısız Frekans-Kazanç Eğrisi	7
Şekil 3.3. Bant Geçiren Filtre Kazanç-Açısız Frekans Eğrisi.....	7
Şekil 3.4. Bant Durduran Filtre Kazanç-Açısız Frekans Eğrisi	8
Şekil 4.1. Filtre Yaklaşım Türleri Frekans Cevabı	9
Şekil 4.2. Butterworth Filtre Karakteristiği	10
Şekil 4.3. Chebyshev Filtre Karakteristiği	10
Şekil 4.4. Bessel Filtre Karakteristiği	11
Şekil 4.5. Elliptic Filtre Karakteristiği	11
Şekil 5.1. İdeal İntegral Alıcı Devre	12
Şekil 5.2. İdeal İntegral Alıcı Devreye Giriş ve Çıkış Sinyali.....	12
Şekil 5.3. İdeal İntegral Alıcı Devrenin Frekansa Bağlı Kazanç Değişimi	13
Şekil 5.4. Kayıplı İntegratör.....	13
Şekil 5.5. Kayıplı İntegratörün Frekansa Bağlı Kazanç Değişimi.....	14
Şekil 6.1. OTA Eşdeğer Devresi ve Devre Sembolü	15
Şekil 6.2. Birinci Kuşak Akım Taşıyıcıları ve İkinci Kuşak Akım Taşıyıcıları	16
Şekil 6.3. Birinci Kuşak Akım Taşıyıcısı Devre Şeması	17
Şekil 7.1. MOSFET'in Gate Direnci ve İç Kapasitansları.....	18
Şekil 7.2. MOSFET Kapasitanslarının VDS İle Değişimi.....	19
Şekil 8.1. FGMOS Transistörün Devresi	22
Şekil 8.2. Biyolojik İşaretlerin Sınıflandırılması	23
Şekil 9.1. MOSFET Frekans Modeli	25
Şekil 9.2. Önerilen Salt MOSFET Akım Modu Filtre Yapısı. C1, C2 Ve C3 Gate-Source Kapasiteleri Temsil Eder Fakat Bunun Yerine Fiziksel Kapasitanslar Da Bağlanabilir.	26
Şekil 9.3. Frekans Yanıtının Simülasyonun Sonuçları. Filtre Devrelerinin Merkez Frekansı, M1 ve M3'ün CGS Yerine 1 nF Kapasitanslar Bağlanarak 49kHz Olarak Bulunmuştur.....	27
Şekil 9.4. 49.5kHz Sinüzoidal Giriş Akımı Sinyali İçin BP (a) ve HP (b) Filtre Devrelerinin Geçici Tepkileri.....	28
Şekil 9.5. 49.5 kHz Sinüzoidal Giriş Akımı Sinyali İçin BP (a) ve HP (b) Filtre Devreleri İçin Monte Carlo Simülasyon Sonuçları	28

ÇİZELGELER DİZİNİ

Tablo 8.1. Bazı Elektrik Kökenli İşaretler	23
Tablo 8.2. Bazı Elektrik Kökenli Olmayan İşaretler	24



SİMGELER VE KISALTMALAR

B	Kazanç Bant Genişliği
D	Drain
G	Gate
S	Source
C_{gd}	Gate-drain Uçları Arasındaki Parazitik Kapasite
V_{gs}	Gate-source Uçları Arasındaki Gerilim
C_{gs}	Gate-source Uçları Arasındaki Parazitik Kapasite
g_m	Geçiş İletkenliği
g_o	İç Direnç İletkenliği
f₀	Merkez Frekansı
f_c	Kesim Frekansı
V_{th}	Eşik Gerilimi
A_v	Voltaj Kazancı
I_{abc}	Harici Akım (OTA)
g_m	Geçişiletkenliği Parametresi (OTA)
R_{DS}	MOSFET İç Direnci
C_{ISS}	Giriş Kapasitesi
C_{OSS}	Çıkış Kapasitesi
C_{RSS}	Ters Transfer Kapasitesi
Q_g	Giriş Kapasitansı Şarj Etmek İçin Gerekli

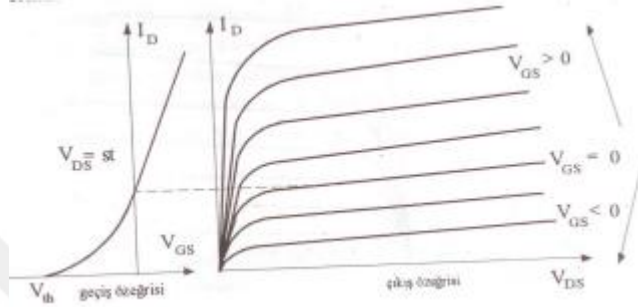
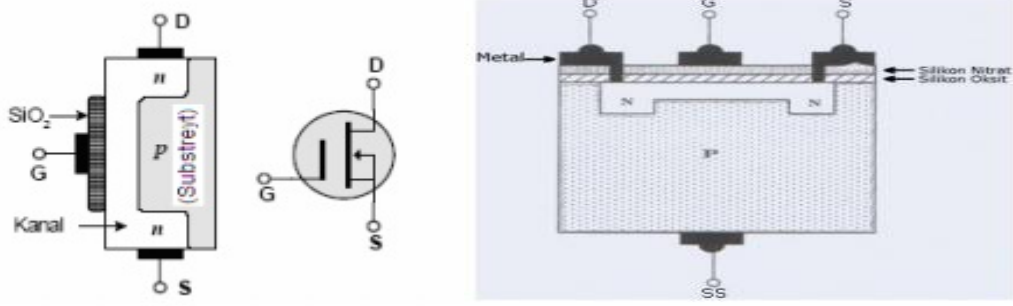
1. GİRİŞ

Aktif bileşenlerden oluşan analog filtreler elektroniğin gelişmesinde önemli rol oynamaktadır. Özellikle telekomünikasyon alanında, bu filtreler birçok teknolojik atılımın ayrılmaz bir parçası olmuş ve sinyal işleme çalışmaları için muazzam fayda kaynağı olmuştur [1-3]. Standart hücre kitaplıklarını kullanarak OP-AMP' ler, OTA' lar gibi aktif elemanlara dayalı birçok analog filtre tasarımı vardır. Bu yaklaşım, tasarım prosedürünü otomasyon için çok daha kolay hale getirse bile, ortaya çıkan tasarım, filtre özelliklerini yerine getirmek için gerekenden daha fazla transistör içerir. Bu sorunu çözmek için MOS tabanlı tasarım yöntemi izlenerek daha basit ve verimli filtreler elde etmek mümkündür [4].

MOSFET'in yapısı yarı iletken teknolojisine dayanmaktadır. Aşağıdaki Şekil 1.1 görüldüğü gibi yarı iletken P gövdesi üzerine yarı iletken n maddesi yerleştirilir. P ve n yarı iletken malzemeden oluşan yapının üzeri havada bulunan Sodyumdan etkilenmemesi için silikon nitrat ile kaplanmıştır. Source, gate ve drain uçları bu yarı iletken madde üzerine bir metalle (alüminyum tabaka) bağlanmıştır. Yani metal iletken kutupları yarı iletken ile ayrılmıştır [5].

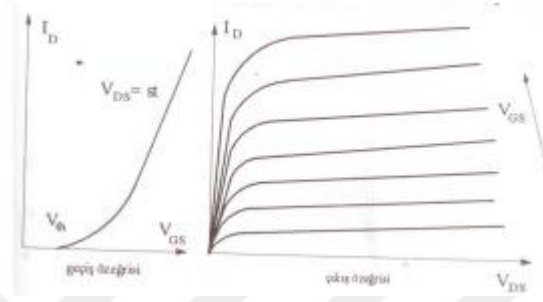
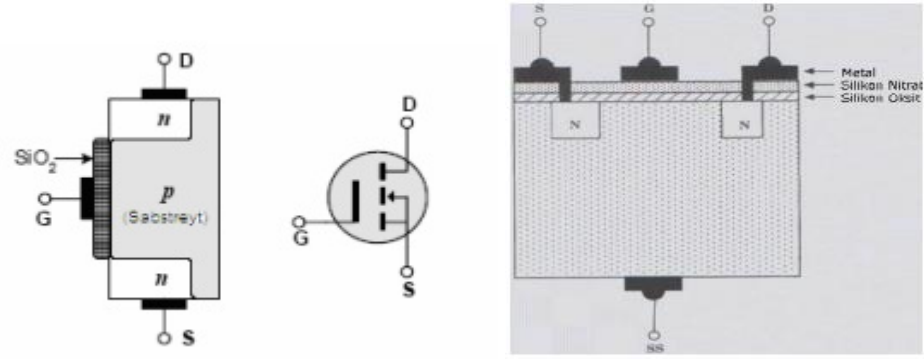
Elektronik alanda karşımıza çokça çıkan MOSFET çalışma prensibine göre azalan (depletion) ve çoğaltan (enhance) olmak üzere iki çeşidi vardır. Azalan tip MOSFET'e D- MOSFET, çoğaltan tip MOSFET ise E-MOSFET olarak adlandırılır. Hem D- MOSFET hem de E-MOSFET'in substrat maddesine göre n-kanallı veya p-kanallı olabilmektedir.

Aşağıda Şekil 1.1'de kapı (gate) ucuna 0 V (sıfır) gerilim uygulansa dahi drain ile source arasından belirli bir akım geçer. Çünkü drain ve source uçları yarı iletken malzeme ile birbirlerine bağlıdır. Gate ucuna pozitif bir gerilim uygulandığında n tipi yarı iletken üzerinde iletkenliği sağlayan kanal genişler ve drain ile source arasındaki akım artar. Gate ucuna negatif bir gerilim uygulanırsa n tipi yarı iletken üzerinde iletkenliği sağlayan kanal daralır ve drain ile source arasındaki akım azalır [6].



Şekil 1.1. P-kanallı D-MOSFET

E-MOSFET'te ise yapısında n ve p yarı iletken malzemeleri aşağıda Şekil 1.2'de görüldüğü gibi birleştirilmiş ve drain ile source uçları arasında iki yarı iletken malzeme de bulunmaktadır. Drain ve source arasında iki yarı iletken malzeme kullanıldığından bu iki uç arasında fiziksel bir kanal bulunmamaktadır. Bu yüzden gate ucuna bir gerilim bulunmaması durumunda drain ile source herhangi bir akım akmaz. Gate ucuna pozitif bir gerilim uygulandığında drain ile source arasından akım akmaya başlar. Bu pozitif gerilimin değeri arttıkça drain ile source arasından akan akımın şiddeti artar. Böylelikle drain ile source arasındaki akım gate ucuna uygulanan gerilimle kontrol edilmiş olur. E- MOSFET'te drain ile source arasında gate ucuna herhangi bir gerilim olmadığında akmadığından, drainden source akım başlatmak için gerekli minimum gate gerilimine eşik gerilimi (V_{th}) denir. Gate' deki gerilim değeri V_{th} (eşik gerilimi)'den küçükse drain ile source arasında akım akmaz. Yani drain ile source arasında akım akması için gate geriliminin V_{th} 'dan büyük olması gereklidir.



Şekil 1.2. N kanallı E-MOSFET

2. ANALOG SİNYAL, ANALOG DEVRE VE ANALOG FİLTRE

Analog sinyal, zaman doğrusu üzerinde, sürekli gerilim veya genellikle sinüzoidal olan genlik sinyalidir. Analog sinyallerin çoğu sinüs dalgalarına ayrıştırılabilir. Sinyal, pozitif genlik ile negatif genlik arasında zaman doğrusu üzerinde hareket edebilir. Analog sinyalin, verilen iki değer arasında sonsuz sayıda değeri vardır. Analog sinyal, dalga formunda bozulma oluşturan ve veri kaybına veya veri bozulmasına yol açan gürültüye ve parazitlere karşı daha hassastır. İçinde bulunduğumuz ortamı göz önüne aldığımızda, doğada ölçmemiz gereken sinyaller analog sinyallerdir. Analog sinyaller osiloskop, voltmetre, ampermetre vb. gibi ölçü aletleri kullanılarak tespit edilip ve analiz edilebilir.

İndüktör, direnç, kapasitör gibi analog elemanlardan oluşan devrelere analog devreler denir.

Analog filtreler, devre çıkışında istenilen sinyali elde etmek için giriş sinyal frekansının bazı kısımlarını geçirmeyi sağlayan ve sinyalin diğer kısmını geçirmeyen devrelerdir. Analog filtrenin geçmesine izin verdiği frekans aralığı, geçiş bandı olarak adlandırılır iken filtre tarafından kırılan frekans aralığı ise durdurma bandı ile adlandırılır.

Filtreler yapısında kullanılan bileşenlerine bağlı olarak aktif filtre ve pasif filtre olmak üzere iki kısma ayrılırlar. Pasif filtre oluşturabilmek için direnç kapasitör, indüktör gibi pasif elemanlar kullanılıp harici güç kaynağına ihtiyaç duyulurken aktif filtrede ise OP-AMP, BJT, MOSFET gibi aktif bileşenler kullanılmakta ve harici güç kaynağına ihtiyaç duyulmamaktadır [7].

Filtrelerde, filtre kazancının büyüklüğü, devrenin voltaj kazancının logaritma fonksiyonu ile hesaplanır ve birimi desibel (dB) dir [8].

$$A_V(dB) = 20 \log_{10} \left(\frac{V_{out}}{V_{in}} \right) \quad (2.1)$$

Pasif filtrelerde direnç, bobin, kapasite gibi pasif elemanlar kullanıldığında pasif filtre devresi bütün enerjisini giriş sinyalinden alır. Bu yüzden aktif filtrenin kazancı pasif filtreye nazaran her zaman büyüktür. Aynı zamanda pasif filtrelerde harici güç kaynağı

olmadığından devre enerjisini giriş sinyalinden karşıladığından pasif filtrenin iletimde olduğu aralıkta daima zayıflama olur. Aktif filtrede ise harici güç kaynağı sayesinde giriş sinyali güçlendirilerek de çıkışa aktarılabilir. Pasif filtrenin daha maliyetli olması, daha büyük yer kaplaması gibi nedenlerden dolayı çok tercih edilmezler.



3. FİLTRE ÇEŞİTLERİ

Filtreler çalışma prensiplerine göre filtreler; Alçak Geçiren Filtre, Yüksek Geçiren Filtre, Bant Geçiren Filtre ve Bant durduran Filtre olarak 4 kısma ayrılmaktadır. Çalışma prensiplerine göre filtre çeşitlerinin frekans cevabı Şekil 3.1’de gösterilmiştir. İstenilen çıkış sinyaline göre bu filtrelerden gerekli olan kullanılır [8-10].



Şekil 3.1. İdeal Filtre Frekans Cevabı (a) Alçak Geçiren Filtre, (b) Yüksek Geçiren filtre, (c) Bant Geçiren Filtre, (d) Bant Durduran Filtre

3.1 Alçak Geçiren Filtreler

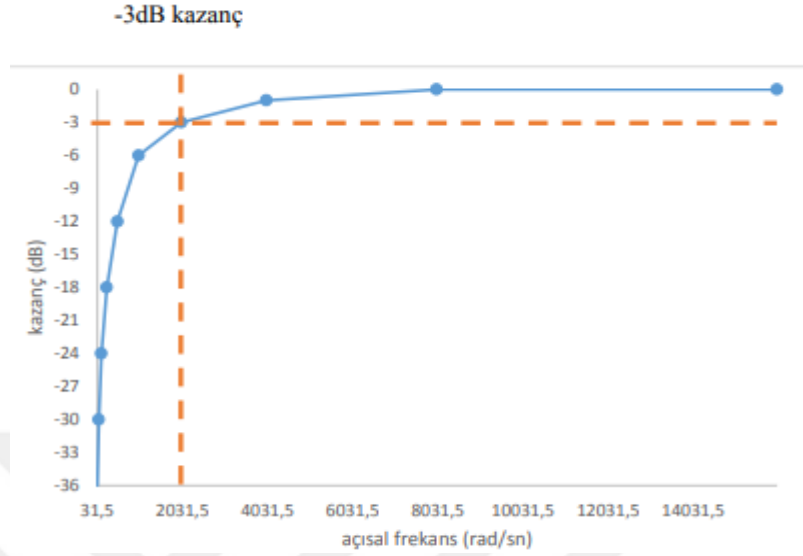
Alçak geçiren filtreler yüksek frekans ve alçak frekans bileşenlerinin olduğu sinyalden yüksek frekanslı bileşenin sönümlenmesi için kullanılır.

Belirli bir frekanstan (kesim frekansı) daha büyük frekansta olan sinyalin sönümleyen, kesim frekansından daha düşük olan sinyalin geçmesine izin veren filtrelere denir. İdeal bir alçak geçiren filtrede kesim frekansından büyük sinyaller tamamen sönümlenmeli, kesim frekansına kadar olan sinyaller tamamen geçmelidir. Ancak uygulamada Şekil 3.1’teki gibi bir dikdörtgen şeklinde bir sinyal oluşması mümkün değildir. Bu yüzden -3 dB düşümdeki frekans değeri kesim frekansı olarak kabul edilmektedir.

3.2 Yüksek Geçiren Filtreler

Yüksek geçiren filtreler yüksek frekans ve alçak frekans bileşenlerinin olduğu sinyalden alçak frekanslı bileşenin sönümlenmesi için kullanılır.

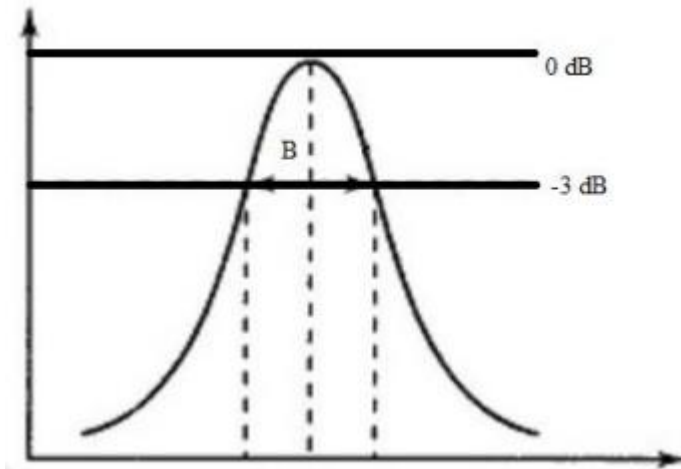
Belirli bir frekanstan (kesim frekansı) daha küçük frekansta olan sinyalin sönümleyen, kesim frekansından daha büyük olan sinyalin geçmesine izin veren filtrelere denir. Şekil 3.2’te yüksek geçiren filtrenin açısal frekans ve kazanç eğrisi gösterilmiştir [3].



Şekil 3.2. Yüksek Geçiren Filtre Açısal Frekans-Kazanç Eğrisi

3.3 Bant Geçiren Filtreler

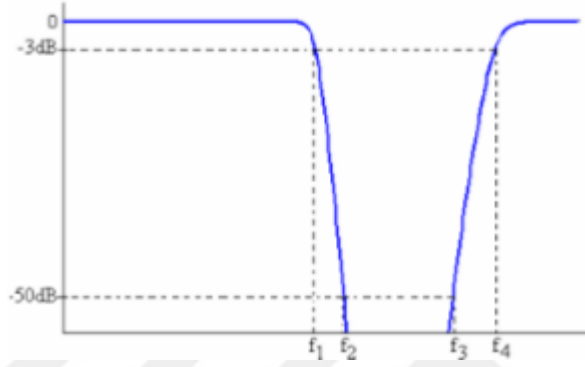
Bant geçiren filtreler, elektronik sistemlerde iletilen bir sinyali belirli iki frekans arasında diğer frekanslardaki sinyallerden ayırmak için kullanılır. Bant geçiren filtreler belirli iki frekans aralığındaki sinyali geçiren, iki frekans dışında kalan frekansı sönümleyen filtredir. Şekil 3.3’te bant geçiren filtrenin açısal frekans ve kazanç eğrisi gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Bant Geçiren Filtre Kazanç-Açısal Frekans Eğrisi

3.4 Bant Durduran Filtreler

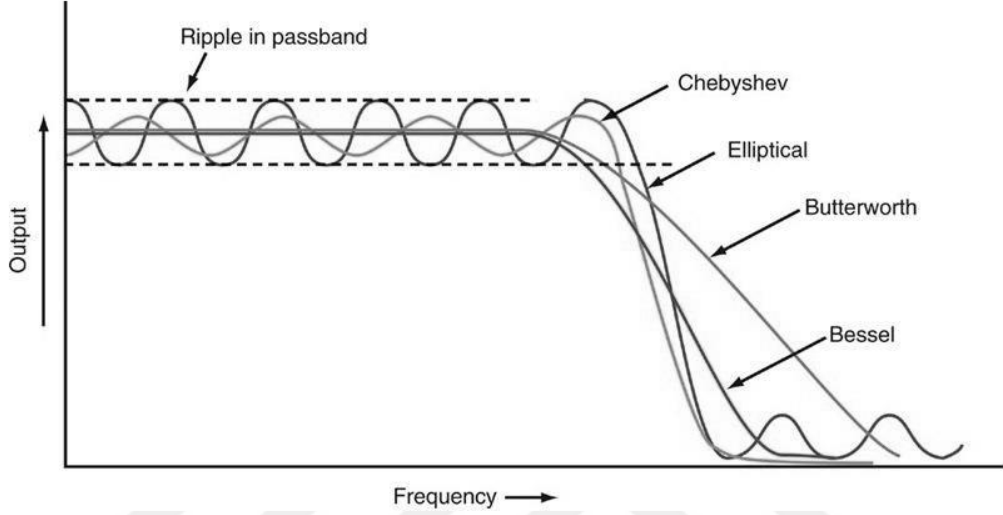
Bant durduran filtreler, elektronik sistemlerde iletilen bir sinyali belirli iki frekans arasında diğere frekanslardaki sinyallerden ayırmak için kullanılır. Bant durduran filtreler belirli iki frekans aralığındaki sinyali durduran, iki frekans dışında kalan frekansı geçiren filtredir. Şekil 3.4'te bant durduran filtrenin açısai frekans ve kazanç eğrisi gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Bant Durduran Filtre Kazanç-Açısai Frekans Eğrisi

4. ANALOG FİLTRE YAKLAŞIM TÜRLERİ

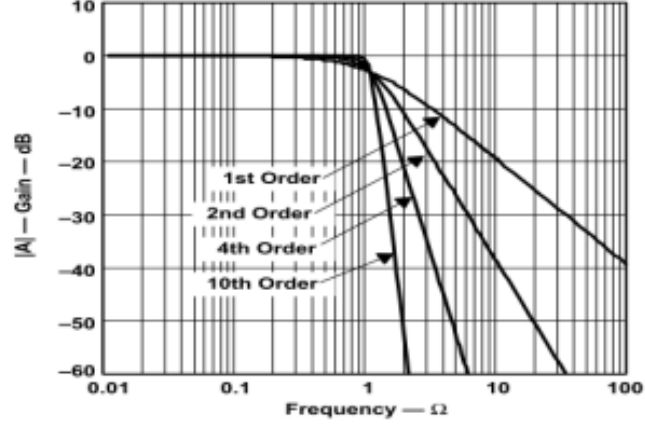
Klasik analog filtreler tür olarak Butterworth, Chebyshev, Elliptic ve Bessel olmak üzere 4 kısma ayrılırlar. Her filtre türünün diğerinden daha verimli ve üstün olduğu alanlar vardır. Aşağıdaki Şekil 4.1’te farklı filtre türlerinin frekans cevabı tek grafikte gösterilmiştir [11-14].



Şekil 4.1. Filtre Yaklaşım Türleri Frekans Cevabı [14]

4.1 Butterworth

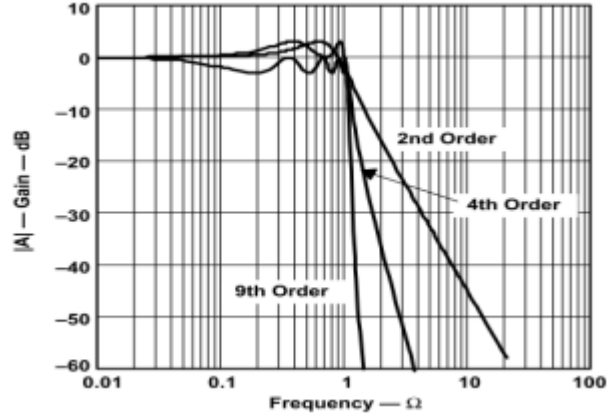
En iyi bilinen filtre türüdür. Geçiş bandı içinde dalgalanma çok azdır ve düz bir geçiş sergiler ve durdurma bandında sifira yaklaşmaktadır bu yüzden oldukça iyi bir faz yanıtına sahiptir. Durdurma ve geçiş bandında herhangi bir dalgalanma söz konusu değildir [15-17]. Butterworth filtrenin en büyük dezavantajı geniş bir geçiş bandına sahip olmasıdır. Butterworth filtrenin derecesi arttıkça bu geçiş bandı daralmaktadır. Şekil 4.2’te 1., 2., 4., ve 10. derece Butterworth filtrenin kazanç ve frekans cevabı gösterilmektedir.



Şekil 4.2. Butterworth Filtre Karakteristiği

4.2 Chebyshev

Bu filtre türü sinyalin geçiş bandını düz olmasının gerekli olmadığı durumda kullanılır. Durdurma ve geçiş bandında dalgalanmalar bulunmaktadır. Aynı zamanda geçiş bandından söndürme bandına dik bir şekilde iniş yapmaktadır [7]. Sinyalin geçiş anında ve söndürme yapıldığı anlarda çıkış sinyalinde dalgalanmalar bulunur. Chebyshev filtrede filtre derecesi artması durumunda genlikte etkilenmektedir. Şekil 4.3'te 2., 4., ve 9. derece Chebyshev filtrenin kazanç ve frekans cevabı gösterilmektedir.

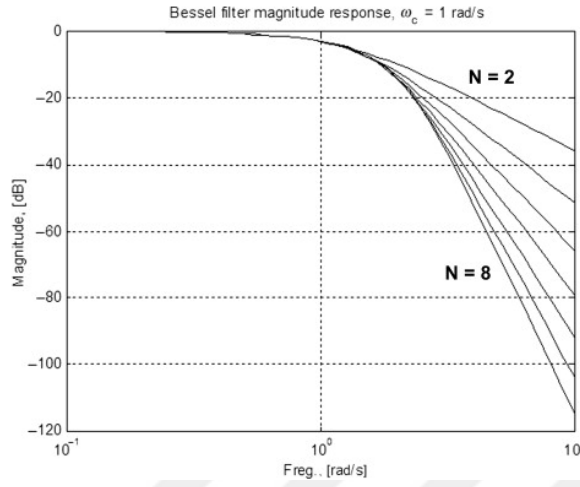


Şekil 4.3. Chebyshev Filtre Karakteristiği

4.3 Bessel

Thomson filtresi diye de bilinmektedir. Bessel filtresi de doğrusal bir faz cevabı bulunmaktadır ancak frekansın artması ile faz kayması oluşmaktadır [17]. Bessel filtreler genellikle dikdörtgen biçimindeki dalgaları filtrelemek için kullanılırlar. Şekil

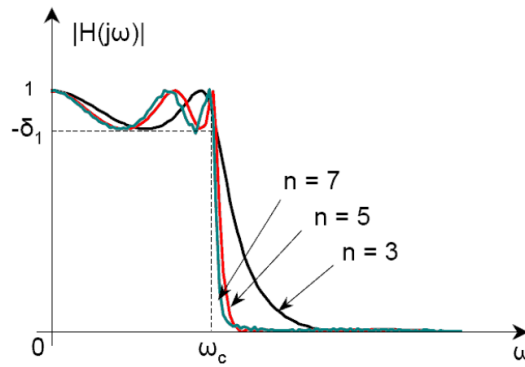
4.3'te 1. Dereceden 8. Dereceye kadar Bessel filtrenin kazanç ve frekans cevabı gösterilmektedir.



Şekil 4.4. Bessel Filtre Karakteristiği

4.4 Elliptic

Bu filtrenin en büyük özelliği sönüm bölgesinde ve geçiş bölgesinde eş dalgalılık göstermesidir. Elliptic filtrede, filtrenin derecesi arttıkça çıkış sinyalindeki düşüş diğer filtrelere nazaran daha diktir. Şekil 4.4'te 3., 5., ve 7. derece Elliptic filtrenin kazanç ve frekans cevabı gösterilmektedir.



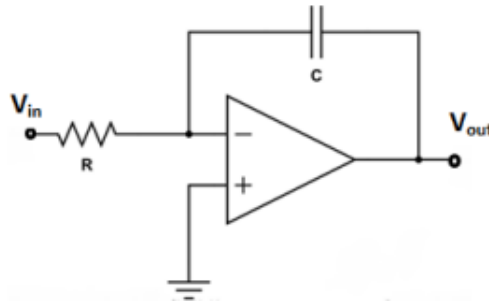
Şekil 4.5. Elliptic Filtre Karakteristiği

5. AKTİF FİLTRELER TEMEL YAPI TAŞLARI

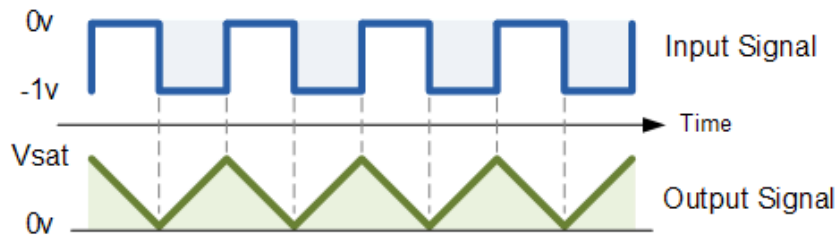
Aktif filtrelerin giriş empedansı oldukça yüksek ve çıkış empedansı oldukça düşüktür bu sebepten aktif filtrenin giriş ve çıkışına bağlanan devre elemanlarından etkilenmesi çok azdır. Aynı zamanda aktif filtrelerde harici güç kaynağı bulunduğu için filtrenin geçirgen olduğu frekansta giriş sinyalinde herhangi bir zayıflatma olmaz. Aktif filtreler genelde kayıpsız ve kayıplı entegratör olarak sentezlenmiştir.

5.1 İdeal Entegratör

İsminden de anlaşıldığı gibi giriş sinyalinin integralini alarak çıkış sinyaline aktaran devredir. Yani matematiksel olarak giriş sinyalinin altında kalan alanı çıkış sinyaline aktarır. Mesela ideal entegratör girişine kare biçiminde sinyal uygulanırsa çıkış olarak üçgen dalga elde edilir. (Bkz. Şekil 5.2.) Aşağıdaki Şekil 5.1’de görüldüğü üzere kondansatör geri besleme olarak kullanılmaktadır. Kondansatör üzerindeki yükün miktarı ve dolma, boşalma süresi entegratör için önemlidir [18-19].



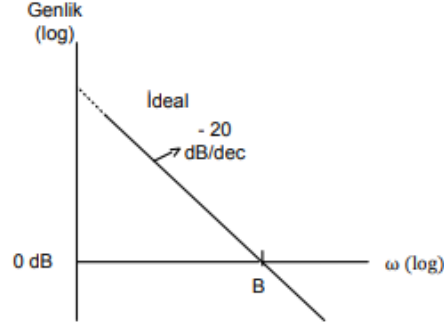
Şekil 5.1. İdeal İntegral Alıcı Devre



Şekil 5.2. İdeal İntegral Alıcı Devreye Giriş ve Çıkış Sinyali

İdeal integral devresinin transfer fonksiyonu ve genlik karakteristiğinin frekansa bağlı olarak değişimi Şekil 5.3’teki gibidir. B; kazanç bant genişliği,

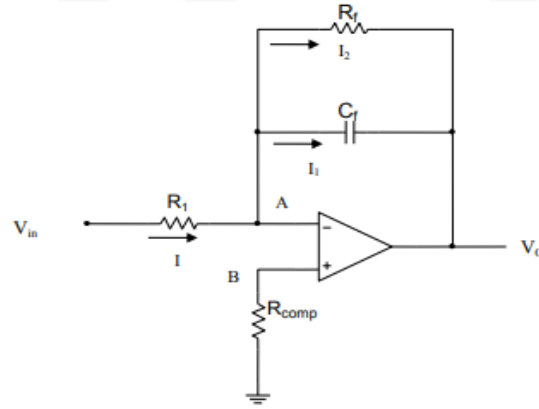
$$A(S) = \frac{B}{S}, \quad |A(j\omega)| = \frac{B}{\omega} \quad (5.1)$$



Şekil 5.3. İdeal İntegral Alıcı Devrenin Frekansa Bağlı Kazanç Değişimi

5.2 Kayıplı İntegratör

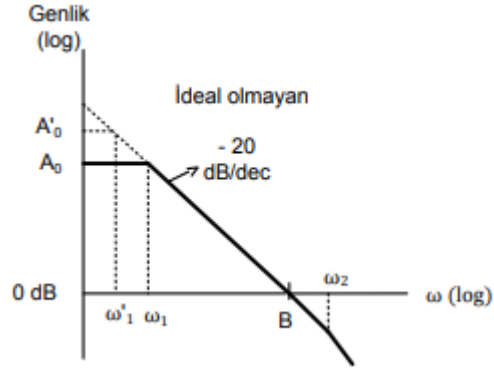
Bir integratörün kazancı doyum noktasına yaklaşmasından dolayı düşük frekansta sınırlandırılır. İntegratörün doyum noktasına yaklaşmasının önlemek için kapasitöre paralel bir R_f direnç bağlanır. Kayıplı integratör devre şeması Şekil 5.4'te gösterilmiştir [19].



Şekil 5.4. Kayıplı İntegratör

Kayıplı integratörün transfer fonksiyonu aşağıda (5.2) gösterilmiştir. Aynı zamanda kayıplı integratörün frekans ile genlik değişimi Şekil 5.5. de gösterilmektedir.

$$A(s) = A_0 \frac{\omega_1}{s + \omega_1}, \quad \omega \gg \omega_1 \text{ için } |A(j\omega)| \approx \frac{A_0 \omega_1}{\omega} \cong \frac{B}{\omega} \quad (5.2)$$



Şekil 5.5. Kayıplı İntegratörün Frekansa Bağlı Kazanç Değişimi

6. AKTİF FİLTRELERDE KULLANILAN FARKLI DEVRE BLOKLARI

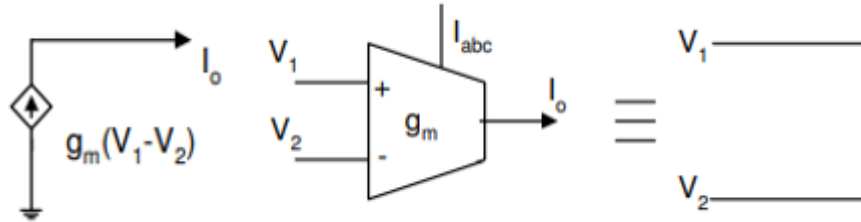
6.1 İşlemsel Geçiş İletkenliği Kuvvetlendiricisi (OTA)

İşlemsel Geçiş iletkenliği Kuvvetlendiricisi (OTA) çıkış akımının giriş uçlarına bağlanan gerilimin farkı ile kontrol edilmesi demektir. Yani çıkış akımının kontrolü giriş uçlarına uygulanan gerilimin farkı ile kontrol edilir. OTA için bilinmesi gereken şey I_{abc} (harici akım) ile g_m (geçiş iletkenliği parametresi) kontrol edildiğidir.

$$g_m = h \cdot I_{abc} \quad (6.1)$$

Buradaki h devrenin sıcaklığına, şekline, üretim aşamasındaki işlemlere bağlı bir katsayıdır.

İdeal bir işlemsel geçiş iletkenliği kuvvetlendiricisi sinde (OTA) giriş empedansı sonsuz olduğundan I_1 ve I_2 değerleri sıfır kabul edilmektedir. Aşağıdaki Şekil 6.1’de OTA nın eşdeğer devresi ve devre sembolü gösterilmiştir [20-22].



Şekil 6.1. OTA Eşdeğer Devresi ve Devre Sembolü

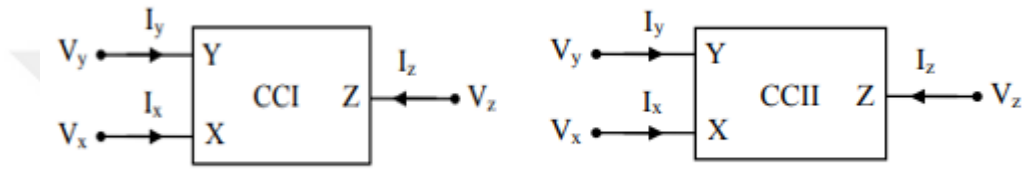
6.2 Akım Taşıyıcılar

Akım taşıyıcılar tezin daha önceki bölümlerinde bahsedilen aktif elamanlara göre daha kullanışlıdır. Aynı zamanda akım taşıyıcılar akım ve gerilim kaynağı ile kolayca sürülen ve geniş frekans bandına sahip bir devre elemanıdır [23-24].

Akım taşıyıcıları üç kapılıdır. Akım farklı empedanslara sahip iki kapı arasında taşınır.

Akım taşıyıcılarla ilgili bugüne kadar pek çok çalışmalar yapılmıştır. Her çalışmada eski çalışmalar üzerine yenilikler eklenmiştir. İlk çalışmalara birinci kuşak akım

taşıyıcıları (First generation current conveyor, CCI) denmiş ve birinci kuşak akım taşıyıcıların geliştirilmesi ile ikinci kuşak akım taşıyıcıları İkinci Kuşak Akım Taşıyıcı (Second generation current conveyor, CCII) geliştirilmiştir. İkinci kuşak akım taşıyıcıları geliştirilmesi ile de üçüncü kuşak akım taşıyıcıları (Third generation current conveyor, CCIII) geliştirilmiştir. Daha sonra ikinci kuşak akım taşıyıcıları geliştirilerek kontrollü ikinci kuşak akım taşıyıcı (Current Controlled Current Conveyor, CCCII) devre yapısı geliştirilmiştir [7]. Birinci kuşak akım taşıyıcı (First generation current conveyor, CCI) ve ikinci kuşak akım taşıyıcı (Second generation current conveyor, CCII) blok yapısı Şekil 6.2’de görülmektedir.



Şekil 6.2. Birinci Kuşak Akım Taşıyıcıları ve İkinci Kuşak Akım Taşıyıcıları [7]

Şekil 6.2’ deki devrenin giriş bağlantı denklemler aşağıda gösterilmiştir.

$$I_Y = I_X \quad (6.2)$$

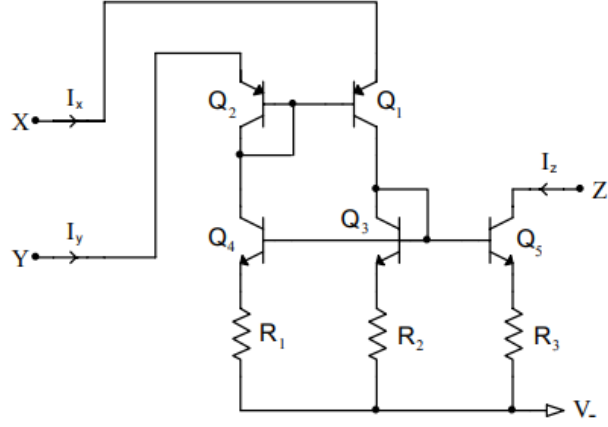
$$I_X = V_Y \quad (6.3)$$

$$I_X = I_{\mp X} \quad (6.4)$$

Yukarıdaki denklemlerin parametrelerinin matrisi aşağıdaki gibidir.

$$\begin{bmatrix} I_Y \\ V_X \\ I_Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & \pm 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_Y \\ I_X \\ V_Z \end{bmatrix} \quad (6.5)$$

Şekil 6.3’de birinci kuşak akım taşıyıcının temel mantığını ifade eden basit bir CCI yapısı görülmektedir.

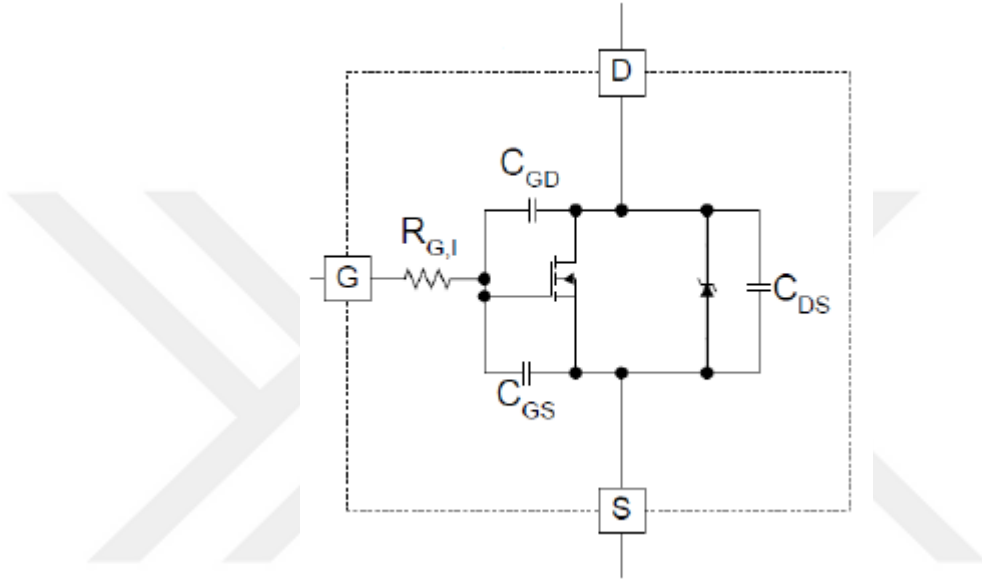


Şekil 6.3. Birinci Kuşak Akım Taşıyıcısı Devre Şeması [7]



7. MOSFET VE ÇALIŞMA PRENSİBLERİ

MOSFET günümüzde en çok kullanılan devre elemandan biridir. Ayrıca MOSFET'in direk akımın kendisiyle kontrol edilmeyip, elektrik alan ile kontrol edilmesi, kontrol için harcanan gücü azaltmıştır. Üstelik MOSFET'in sıcaklığa dayanıklı olması ve esnek ve kullanım MOSFET'in kullanımını daha da yaygınlaştırmıştır. Şekil 7.1'de MOSFET'in gate direnci ve iç kapasitansları gösterilmektedir.



Şekil 7.1. MOSFET'in Gate Direnci ve İç Kapasitansları

7.1 MOSFET Kapasitansları

Yukarıdaki şekilden de görüldüğü üzere MOSFET'in uçları arsına kapasitans ve dirençler mevcuttur. MOSFET'teki gate ile source (C_{GS}) ve gate ile drain (C_{RSS}) arasında oluşan kapasitans MOSFET'in yapısı itibariyle oluşurken drain ile source (C_{DS}) arasındaki kapasitans MOSFET'in içindeki diyot sebebiyle olmaktadır.

Datasheetlerde genellikle gate-drain, gate-source, drain- source kapasitanslar hakkında bilgi verilmez. Ama onların yerine MOSFET'in giriş (C_{ISS}), çıkış (C_{OSS}), ters transfer (C_{RSS}) kapasitansı verilir.

$$C_{ISS} = C_{GS} + C_{GD} \quad (7.1)$$

$$C_{OSS} = C_{DS} + C_{GD} \quad (7.2)$$

$$C_{RSS} = C_{GD} \quad (7.3)$$

MOSFET'in source-drain gerilimine göre MOSFET'in ters transfer fonksiyonu değişiklik göstermektedir. Bu duruma Miller efekti denilmektedir. Miller efekti denklemini aşağıda gösterilmiştir. Buradaki g_{fs} ; iletkenlik geçişidir.

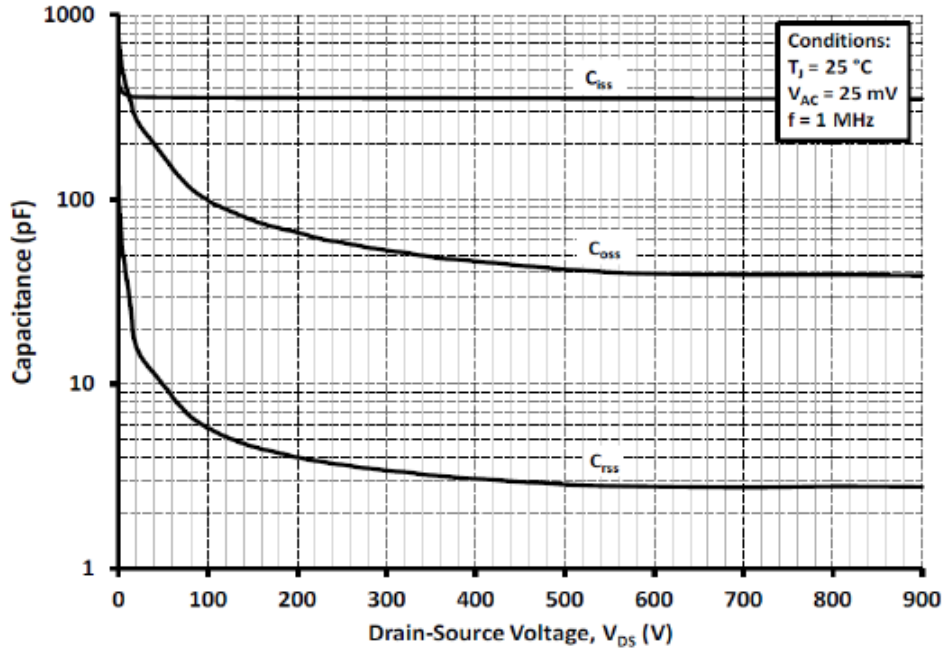
$$C_{RSS} = (1 + g_{fs} \cdot R_L) \cdot C_{GD} \quad (7.4)$$

7.1.1 ıkış kapasitansı (C_{oss})

MOSFET'teki drain ile source arasındaki kapasitansı ile gate ile drain arasında kapasitansın toplanması ile elde edilir. MOSFET'in ilettime geçebilmesi için çıkış kapasitansı şarz edilmiş olma gereklidir. ıkış kapasitansı için gerekli yük miktarı Q_g ile gösterilir.

7.1.2 Giriş kapasitansı (C_{iss})

MOSFET'in iletimde kalma süresi az olduğu zaman kayıplarda o nispette daha az olur. MOSFET'te özellikle hafif yüklerde kayıpların büyük çoğunluğu giriş kapasitansı değerinin büyük olmasında kaynaklanmaktadır. Bu yüzden giriş kapasitansı değerinin küçük seçilmesi kayıpları da azaltacaktır. Drain ile source arası gerilimin (V_{DS}) giriş kapasitansı ile değişimi şekil 7.2'deki grafikte gösterilmiştir.



şekil 7.2. MOSFET Kapasitanslarının V_{DS} ile Değişimi

7.1.3 MOSFET'in iç direnci (R_{DS})

MOSFET'teki en önemli kayıplardan biri anahtarlama ve sürücü kayıplarıdır. MOSFET'in yükü arttıkça kayıplar artar. Bu kayıplar için en önemli etken MOSFET iç direnci (R_{DS}) dir.

MOSFET'in iç direnci MOSFET'in gate ile source arasında gerilim ile değişiklik göstermektedir. Gate ile source arasında gerilim arttıkça MOSFET'in iç direnci azalmaktadır.

MOSFET'in iç direnci sıcaklıkla da değişiklik göstermektedir. MOSFET ısındıkça MOSFET iç direnci üzerindeki kayıplar artacaktır bu yüzden MOSFET uygun bir soğutucu ile optimal sıcaklıkta tutulmalıdır.

MOSFET'in iç direnci ile MOSFET'in giriş ve çıkış kapasitansları arasında ters orantı vardır. Yani iç direnç büyürken iç ve dış kapasitanslar küçülür. Anahtarlama bu kapasitansların belirli süre içerisinde dolup boşalması gerekmektedir olduğundan kapasitanslarla direnci birbirleriyle uygun orantıda seçilmelidir.

8. MALZEME VE YÖNTEM

Günümüzde en çok kullanılan entegre elemanı CMOS tur. Lojik devrelerde, mikro denetleyiciler, sensörler vb. CMOS kullanılan alanlardan bazılarıdır.

8.1 Yüksek Değerli Dirençler (HVR)

Biyomedikal aletler başta olmak üzere görüntü, ses bilgisayar gibi günümüzde pek çok alanda kullanılan bir elektronik bileşendir. Devrelerde genellikle mega-ohm kullanılır. Giga-ohm ve tera-ohm maliyetleri nedeniyle ve değerlerinin büyüklüğü nedeniyle pek kullanılmamaktadır.

8.2 Kapasite Çarpma Devreleri

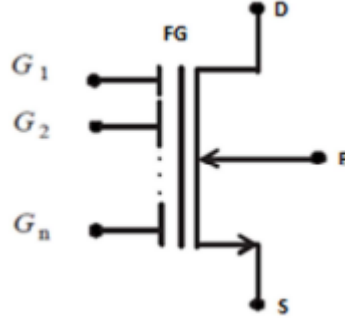
Kapasite çarpma devreleri ile küçük değerli kapasite ile büyük değerli kapasite elde etmektir. Büyük değerli kapasiteli devreler boyut ve maliyet bakımından tercih edilmediğinden kapasite çarpma devreleri ile bu devreler gerçekleştirilmektedir.

Kapasite çarpma devrelerinde aktif ve pasif devre elemanı sayısı ile enerji tüketimi doğru orantılıdır. Bu yüzden ister aktif ister pasif olsun devre minimum devre eleman sayısı tercih edilmelidir.

8.3 Yüzen Geçit Transistörler (Floating Gate Mos, FGMOS)

İlk kez 1967 yılında Khang ve Sze tarafından tasarlanmıştır. Günümüz devrelerinde az devre elemanı kullanarak daha çok verim alarak enerji tasarruf etmek giderek önem kazanmıştır. Yüzen Geçit Transistorlar devrede daha az devre elemanı kullanmaya ve programlamaya izin veren bir devre elemanı olduğundan FGMOS ile ilgili çalışmalar son zamanlarda giderek hız kazanmıştır.

FGMOS transistörler, MOS transistörlerle aynı özelliklere sahiptirler. FGMOS, MOS transistörlerin çok altında bir gerilimle çalışabilmesini yanı sıra yüzen bir geçide sahiptirler. FGMOS un birden fazla geçide sahip olmaları, hızlı olmaları, az yer kaplamaları ve bu geçitlerin farklı iletkenlik katsayıları ile çarpımı FGMOS'un diğer devre elemanlarından çok daha fazla kullanılmasını sağlamaktadır. FGMOS transistörün sembolü Şekil 8.1'de gösterilmektedir [12].



Şekil 8.1. FGMOS Transistörün Sembolü

8.4 MOS Transistörlerin Gövde Etkisi

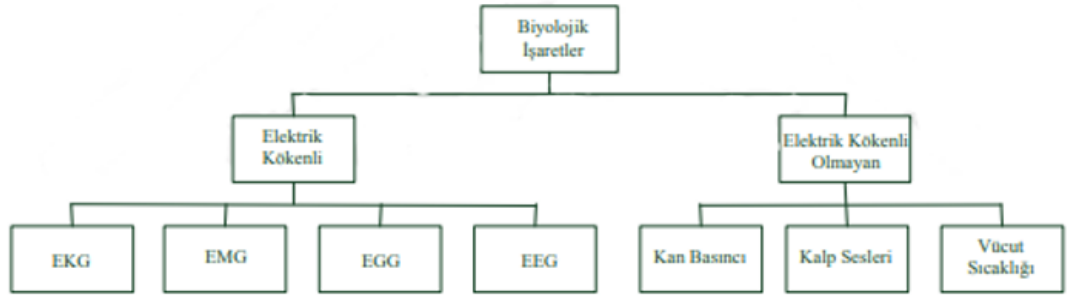
MOSFET yapısında n ve p yarı iletken malzemeler kullanılmıştır. MOSFET'in iletme geçebilmesi için iki yarı iletken malzeme arasında kanal olmalıdır. Bu kanallar iyonlar vasıtasıyla oluşmaktadır. N ve p maddeleri arasında oluşan kanala iyon miktarında değişiklik yapılarak MOSFET cihazın eşik voltajı değiştirilebilir. Bu duruma MOSFET transistörlerinin gövde etkisi denir.

8.5 Biyomedikal İşaretler

Canlı olan organizmaların içyapısında organların çalışmasından dolayı Şekil 8.2'deki gibi elektriksel kökenli veya elektriksel kökenli olmayan biyomedikal işaretler oluşur. İnsan vücudu için de bu böyledir. Vücudumuzda her organların çalışması esnasında belirli bir işaret yayarlar. Bu işaretlerin bu işaretler sensörler veya elektrotlarla toplanıp dönüştürme işlemleri yapıldıktan sonra ve gerekli filtreleme işlemleri uygulanarak organların çalışması hakkında bilgi edinilmektedir.

Canlı organizma içinde oldukça karmaşık olan birçok yapı vardır. Bu yapılar birbirleri ile haberleşmektedir. Yapılar birbiri ile haberleşirken iletimden ve yapının kendisinden kaynaklanan işaretler oluşmaktadır. Bu işaretlerin anlamlı olabilmesi için istenmeyen işaretlerin sönümlenmesi gerekmektedir. Böylelikle doktorlar yapıdaki bir rahatsızlık hakkında bilgi sahibi olmaktadır.

Biyolojik işaretler elektrik kökenli ve elektrik kökenli olmayan olmak üzere iki kısma ayrılır.



Şekil 8.2. Biyolojik İşaretlerin Sınıflandırılması

8.5.1 Elektrik kökenli işaretler

Yapıların haberleşmesi ile doğan işaretlerdir. Çok düşük genlik değerlerine sahiptirler. ($100\mu V \sim 1$ mV arasında). Frekans değerleri ise 0.1 Hz ~2000 Hz arasındadır. Bu işaretler elektrotlar vasıtasıyla toplanır. Elektrotlar buldukları noktadaki iyonik potansiyelini ölçmektedir. Tablo 8.1’de bazı elektriksel kökenli işaretler, bu işaretlerin alındığı yerler, genlik ve frekans aralıkları verilmiştir

Elektrik kökenli işaretler genellikle ölçme yöntemi vücut yüzeyinden yapılmaktadır. Ancak sinir, kas yahut beyin bazı yerlerine elektrotlu iğne batırılmak suretiyle de ölçümler yapılabilmektedir.

Tablo 8.1. Bazı Elektrik Kökenli İşaretler

İşaret	Alındığı Yer	İşaret Genişliği	Frekans
Elektrokardiyogram (EKG)	Kalp	100-500 μV	0.1-150 Hz
Elektroensefalogram (EEG)	Beyin	2-100 μV	0.5-50 Hz
Elektrogastrogram(EGG)	Bağırsak-Mide	100-500 μV	2-4 cpm

8.5.2 Elektriksel kökenli olmayan işaretler

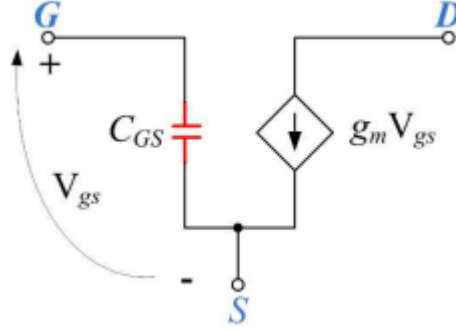
Organizma içindeki yapının içinde oluşan sıcaklık, kan akış hızı, kan basıncı gibi işaretlerdir. Bu işaretler farklı farklı dönüştürücüler vasıtasıyla toplanmaktadır. Aşağıdaki şekilde bazı işaretlerin değerlendirilmesinde hangi dönüştürücülerin kullanıldığı gösterilmektedir. Tablo 8.2’de elektrik kökenli olmayan işaretler, kullanılan dönüştürücüler ve incelendiği birim verilmiştir.

Tablo 8.2. Bazı Elektrik Kökenli Olmayan İşaretler

İşaret	Dönüştürücü	İncelendiği Birim
Kan Basıncı	Basınç	Kalp-Dolaşım Sistemi
Kan Akış Hızı	Elektromanyetik-Ultrasonik	Dolaşım Sistemi
Solunum Hacmi	Pletismograf	Akciğer
Sıcaklık	Sıcaklık	Vücudun veya Organların
pH	pHmetre	Kanın
PO ₂	Kimyasal	Kanın ve Havanın

9. ÖNERİLEN DEVRELER VE SONUÇ

Günümüzde analog filtre ve devre tasarımlarında MOS ve MOS-C devreleri çokça kullanılmaktadır. Devre tasarımında pasif elemanlar yerine aktif elemanlar kullanılması pasif elemanların dezavantajından kurtardığı gibi maliyet ve devrenin kapladığı alan bakımından avantaj sağlamaktadır [25-27].

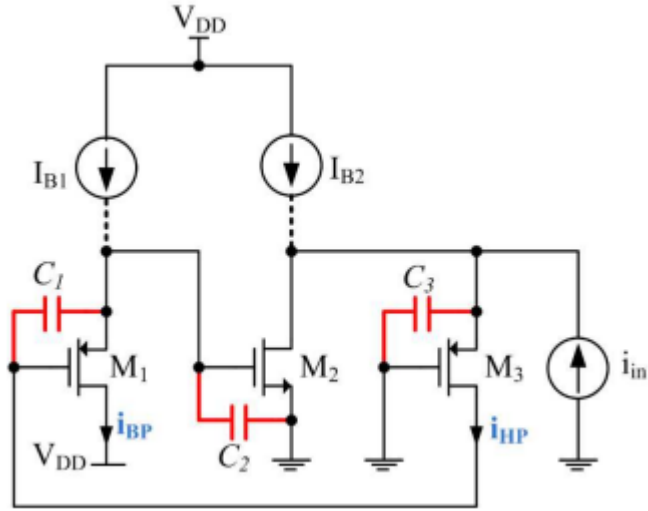


Şekil 9.1. MOSFET Transistörün Küçük Sinyal Modeli

Son zamanlarda filtre tasarımında pasif devre elemanları yerine MOSFET'in iç kapasitanslarını kullanarak devre tasarlanması giderek önem kazanmıştır. Hem böylelikle devre daha az yer kaplamış ve daha az güç tüketmiş olmaktadır. MOS transistörlerin Şekil 9.1'de de görüldüğü gibi parazitik kapasitansları vardır. Özellikle MOS transistörün doyuma yaklaştığı bölgede gate ile source arasında baskın bir C_{GS} kapasitansı oluşmaktadır.

9.1 Önerilen Devre

Önerilen devreni ac eşdeğeri sadece üç MOS transistörden oluşmaktadır. Önerilen ikinci derecen BP/HP filtre devresi aşağıdaki Şekil 9.2'de gösterilmiştir.



Şekil 9.2. Önerilen Salt MOSFET Akım Modu Filtre Yapısı. C_1 , C_2 Ve C_3 Gate-Source Kapasiteleri Temsil Eder Fakat Bunun Yerine Fiziksel Kapasitanslar Da Bağlanabilir.

M_1 ve M_2 drain akımları aşağıda belirtilen denklemlerle bulunabilir.

$$\frac{I_{BP}}{I_{in}} = \frac{C_{gs3}g_{m1}s}{g_{m1}g_{m3} + C_{gs3}g_{m1}s + C_{gs1}C_{gs3}s^2} \quad (9.1)$$

$$\frac{I_{HP}}{I_{in}} = \frac{C_{gs1}g_{gs3}s^2}{g_{m1}g_{m3} + C_{gs3}g_{m1}s + C_{gs1}C_{gs3}s^2} \quad (9.2)$$

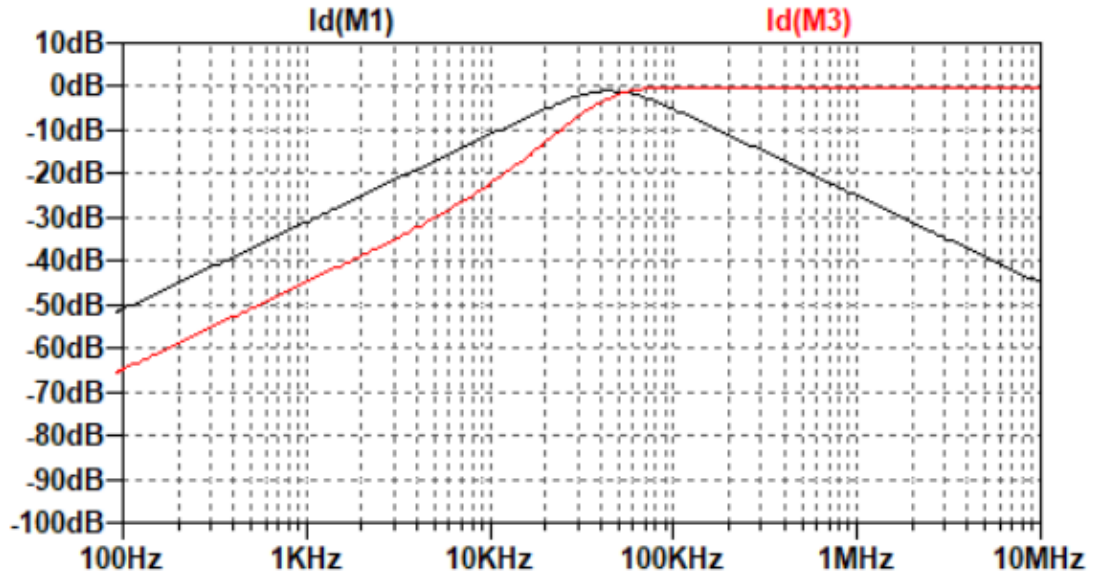
Bu doğrultuda kutup frekansı (ω_0) ve kalite faktörü (Q) aşağıda yazan denklemlerle bulunmaktadır.

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{g_{m1}g_{m3}}{C_{gs1}C_{gs3}}} \quad (9.3)$$

$$Q = \sqrt{\frac{C_{gs1}g_{m3}}{C_{gs3}g_{m1}}} \quad (9.4)$$

9.2 Simülasyon Sonuçları

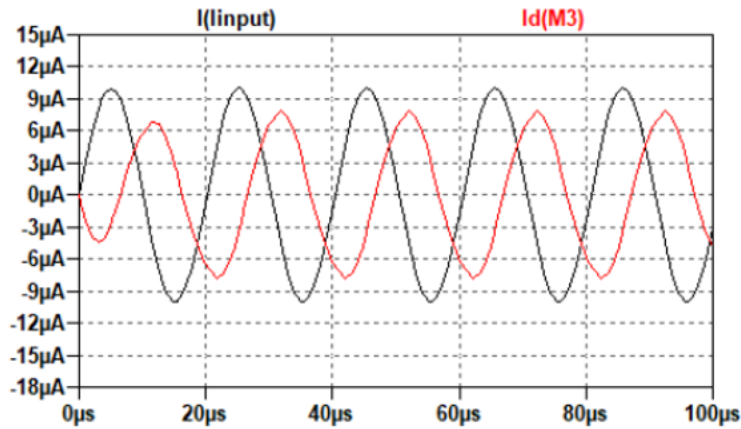
Sunulan filtre devresin LTSpice simülasyon programı ile gerçekleştirilmiştir. Simülasyon programında gerilim kaynağı olarak 2V ve 100 μ A ön gerilimli akım kaynakları kullanılmıştır.



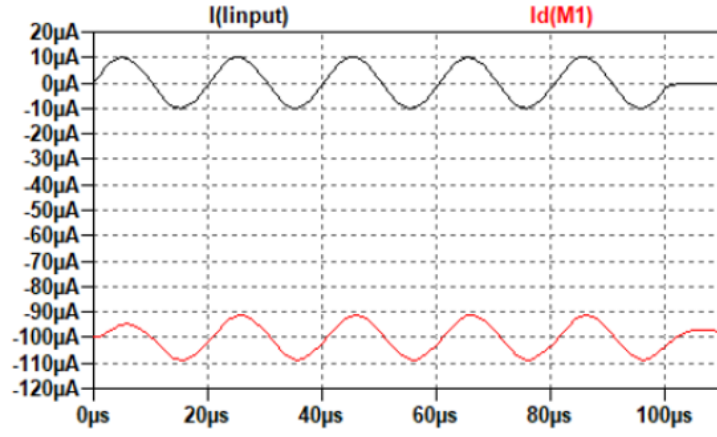
Şekil 9.3. Frekans Yanıtının Simülasyonun Sonuçları. Filtre Devrelerinin Merkez Frekansı, M1 ve M3'ün C_{GS} Yerine 1 nF Kapasitanslar Bağlanarak 49kHz Olarak Bulunmuştur.

Monte-Carlo (MC) simülasyonları, transistörlerin genişliği ve uzunluğu, oksit kalınlığı ve eşik voltaj değerleri gibi işlem parametrelerinin varyasyonlarının etkilerine karşı filtre devrelerinin sağlamlığını gösterir. Şekil 9.5'deki simülasyon sonuçlarında verildiği gibi, HP ve BP yanıtlarının kazanımlarındaki varyasyonlar %10'dan daha düşüktür.

HP/BP filtrelerinin geçici tepkileri Şekil 9.4'te verilmiştir. Giriş akımı sinyali, 10uA kazançlı ve 49,5kHz frekanslı sinüzoidal bir sinyale ayarlanmıştır. Bu frekans, filtre devrelerinin kutup frekansıdır. BP filtre yanıtında bir DC ofseti vardır ve bu ofset değeri simetrik besleme gerilimleri kullanılarak 0V'a ayarlanabilir.

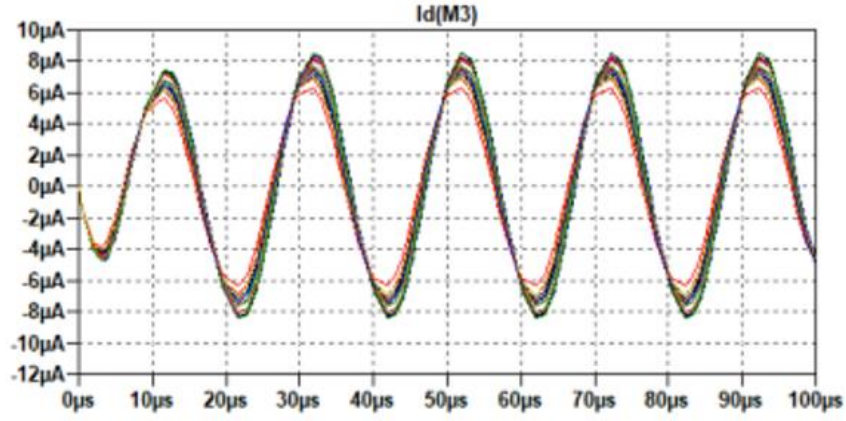


(a)

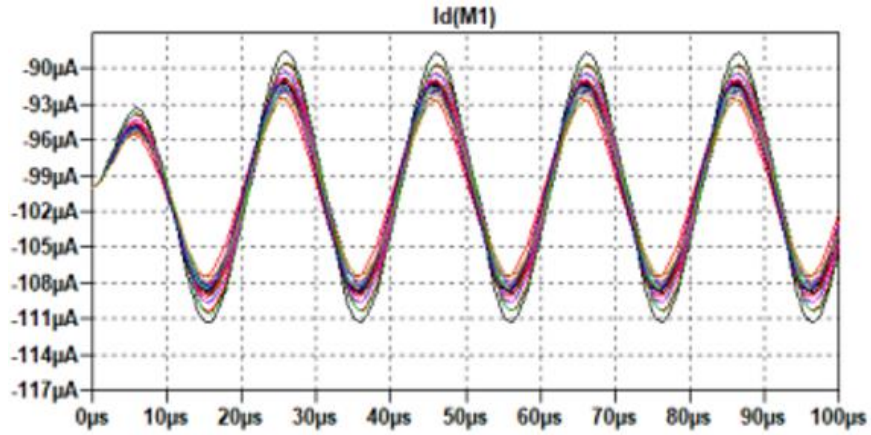


(b)

Şekil 9.4. 49.5kHz Sinüzoidal Giriş Akımı Sinyali İçin BP (a) ve HP (b) Filtre Devrelerinin Geçici Tepkileri



(a)



(b)

Şekil 9.5. 49.5 kHz Sinüzoidal Giriş Akımı Sinyali İçin BP (a) ve HP (b) Filtre Devreleri İçin Monte Carlo Simülasyon Sonuçları

10. SONUÇ

Bu çalışmada, MOS transistörünün parazitik kapasite ve geçiş iletkenliğini kullanan ikinci dereceden filtre yapısı önerilmiştir. Önerilen devrede direnç ve kapasite gibi fiziksel pasif elemanlar kullanılmamıştır. Bununla beraber, önerilen devre aynı zamanda dışarıdan fiziksel kapasite bağlamaya da müsait olduğundan hem çok yüksek frekanslarda hem de düşük frekanslarda çalışmaya elverişli bir yapıya sahiptir. Önerilen filtre devresinin çekirdek yapısında sadece 3 adet MOSFET bulunmaktadır. Önerilen devre minimum sayıda MOS transistörü içerdiğinden düşük güç tüketimi, yüksek frekans cevabı, küçük kırımlık alanı ve düşük maliyet gibi birçok özelliğe sahiptir. Yapılan LTSpice simülasyonlarında devrenin beklendiği gibi çalıştığı gösterilmiştir. Hem zaman hem frekans boyutundaki simülasyonlar ile devrenin teorik sonuçlara uygun şekilde çalıştığı ispatlanmıştır. Monte Carlo analizleri ile de önerilen devrenin MOSFET model parametrelerine minimum derecede bağımlı olduğu gösterilmiştir.

KAYNAKLAR

1. Arslan, E., 2020. Mikroşerit Alçak Geçiren Filtre Tasarımı Ve Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
2. Akkuş, M., 2014. Bessel, Butterworth Ve Chebyshev Aktif Filtre Modellerinde Parametre Kestirimi İçin Pso, De Ve Abc Optimizasyon Algoritmalarının Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.
3. Şeker, A.Ş., 2019. Düşük Gürültülü Salt Aktif Filtre Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
4. Yeşil, A., 2018. Salt MOSFET filtrelerde gürültü performansların incelenmesi, International Journal of Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies 2(1), 17-20.
5. Yeşil, A.İ., 2012. Yüzen geçit mos transistörün analog devre uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
6. Yücehan, T., 2016. Aktif Blok Yapıları İle Gerçekleştirilen Kapasite Çarpma Devresi, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
7. Ercan, H., 2012. Akım Taşıyıcılar Ve Elektronik Devre Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
8. Özenç, E., 2007. İşlemsel Geçiş iletkenliği Kuvvetlendiricisi Kullanan Filtre Ve Osilatör Devrelerinin Hesabı Ve Orcad Pspice Simülasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya.
9. Özenli, D., Kuntman H., 2016. MOS-Only Design Automation and A Simple Agile MOS-Only BP/LP Filter Design, National Conference on Electrical, Electronics and Biomedical Engineering (ELECO), 456-460.
10. Kaya, D., 2018. Biyomedikal İşaretlerin Sınıflandırılması İçin Akıllı Tekniklerin Labview Ortamında Gerçeklenmesi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
11. Çavuşoğlu, M., 2020. Çığ Fotodiyot Sürme Devresinin Gerçekleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
12. Pelgrom, M. J., Duinmaijer, A. C ve Welbers, A. P., 1989. Matching properties of MOS transistors. IEEE Journal of Solid-State Circuits, 24(5), 1433-1439.
13. Xiao, Y., Shah, H., Chow, T. P. ve Gutmann, R. J., 2004. Analytical modeling and experimental evaluation of interconnect parasitic inductance on MOSFET switching characteristics. In Nineteenth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition, APEC'04, February, (516-521), IEEE.

14. Kızılırmak, Ş., 2019. Mos Only And Mos-C Circuit Design, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
15. Horng, J.W., 2009. High-order current-mode and transimpedancemode universal filters with multiple-inputs and two-outputs using MOCCII. *Radioengineering*, 18(4), 537–543.
16. Arslan, E., Metin, B. ve Cicekoglu, O., 2015. MOSFET-only multi-function biquad filter. *AEU-International Journal of Electronics and Communications*, 69(12), 1737-1740.
17. Safari, L., Minaei, S. ve Metin, B., 2014. “A low power current controllable single-input three-output current-mode filter using MOS transistors only”. *AEU - International Journal of Electronics and Communications*, 68(12), December, 1205-1213.
18. Nandi, R., 1980. Lossless inductor simulation: novel configurations using DVCCS. *Electronics Letters*, 16(17), 666-667.
19. Gupta, S.S. ve Senani, R., 2003. Realisation of current-mode SRCOs using all grounded passive elements. *Frequenz*, 57, 1–2, 26–37.
20. Chang, C.M., Soliman, A.M. ve Swamy M.N.S., 2007. Analytical synthesis of low-sensitivity high-order voltage-mode DDCC and FDCCII-grounded R and C all-pass filter structures. *IEEE Transactions on Circuits and Systems*. 54(7), 430–1443.
21. Chang, C.M. ve Tu, S.H., 1998. Universal current-mode filters employing CFCCII. *International Journal of Electronics*, 85(6), 749–754.
22. Jiang, J. ve He, Y., 2009. Tunable frequency versatile filters implementation using minimum number of passive elements. *Analog Integrated Circuits and Signal Processing*, 59, 53–64.
23. Horng, J.W., 2009. High-order current-mode and transimpedancemode universal filters with multiple-inputs and two-outputs using MOCCII. *Radioengineering*, 18(4), 537–543.
24. Zhao, J., Jiang, J.G. ve Liu, J.N., 2010. Design of tunable biquadratic filters employing CCCII: state variable block diagram approach. *Analog Integrated Circuits and Signal Processing*, 62, 397–406.
25. Arslan, E., Metin, B. ve Cicekoglu, O., 2015. MOSFET-only multi-function biquad filter. *AEU-International Journal of Electronics and Communications*, 69(12), 1737-1740.
26. Metin, B., Yıldız, H. A., Cicekoglu, O. ve Ozoguz, S., 2017. A new class of MOSFET-C multifunction filters. In 2017 10th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO), November, 1235-1237.

27. Safari, L., Minaei, S. ve Metin, B., 2014. A low power current controllable single-input three-output current-mode filter using MOS transistors only. AEU-International Journal of Electronics and Communications, 68(12), December, 1205-1213



ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : Semih ELMALI

EĞİTİM BİLGİLERİ (Kurum ve Yıl)

Lisans : Selçuk Üniversitesi, Elektrik Elektronik Müh. Bölümü, 2010-2015

Yüksek Lisans : Aksaray Üniversitesi, Elektrik Elektronik Müh. Anabilim Dalı, 2018-2022

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLERİ

1. Aksaray Enerji 2017
2. UDEM Asansör Muayene Personeli 2017-2018

TEZDEN ÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER

Kongrelerde Sunulan Makaleler

1. **Semih ELMALI**, Safak Murat KIZILIRMAK, Emre ARSLAN, “*MOS-Only Current Mode Filter Design*”, IEEE International Conference on Electrical, Computer and Energy Technologies (ICECET’21), Cape Town, South Africa, pp. 2317-2320, 2021