

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OTA İLE TASARLANAN SÜZGEÇLERİN BENZETİMİ VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Şaziye Şule DEĞİRMENCİOĞLU

Tez Yöneticisi:
Yrd. Doç. Dr. Melih Cevdet İNCE

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ELAZIĞ, 2009

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OTA İLE TASARLANAN SÜZGEÇLERİN BENZETİMİ VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Şaziye Şule DEĞİRMENCİOĞLU

Tez Yöneticisi:
Yrd. Doç. Dr. Melih Cevdet İNCE

Yüksek Lisans Tezi
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu tez, tarihinde aşağıda belirtilen jüri tarafından oybirliği /oyçokluğu ile başarılı / başarısız olarak değerlendirilmiştir.

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Melih Cevdet İNCE

Üye: Prof. Dr. Yakup DEMİR

Üye: Yrd. Doç. Dr. Abdulkadir ŞENGÜR

Üye:

Üye:

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../..... tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması süresince yol göstererek benden yardımlarını esirgemeyen, değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Melih Cevdet İNCE' ye, her konuda beni destekleyen değerli aileme teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	I
ŞEKİLLER LİSTESİ	III
TABLolar LİSTESİ	VII
SİMGELER	VIII
KISALTMALAR	IX
ÖZET	X
ABSTRACT	XI
1. GİRİŞ	1
2. OTA KAVRAMI	2
2.1. Giriş.....	2
2.2. OTA'nın Tarihi Gelişimi.....	2
2.3. İdeal OTA	3
2.4. Bipolar OTA	4
2.5. İdeal DO-OTA	7
2.6. Gerçek OTA ve DO-OTA.....	8
2.7. İdeal OTA' nın Kutuplandırılması	9
2.8. CMOS OTA	11
2.8.1. Analog tümdevrelerde MOS teknolojisinin yeri	11
2.8.2. Temel CMOS OTA yapısı	12
2.9. CA3080 OTA Entegresinin İncelenmesi.....	15
2.9.1. Giriş.....	15
2.9.2. CA3080 Entegresi Katalog Bilgileri	15
2.9.3. CA3080 OTA Entegresinin İç Yapısı	17
2.10. LM13700 OTA Entegresinin İncelenmesi	17
3. OTA-C DEVRELERİNİN OP-AMP DEVRELERİ İLE PERFORMANS KARŞILAŞTIRMASI	21
3.1. Giriş.....	21
3.2. Temel OTA ve OP-AMP Yapıları	21
3.3. Gerçek OP-AMP Özellikleri	24
3.4. Gerçek OTA Özellikleri.....	24
3.5. OTA ve OP-AMP Arasındaki Farklılıklar	24
3.6. Eviren Yükselteç Devresi.....	25
3.6.1. LM741 OP-AMP Kullanan Eviren Yükselteç Devresi	26

3.6.2. CA3080 OTA kullanan Eviren Yükselteç Devresi	27
3.7. Evirmeyen Yükselteç Devresi.....	29
3.7.1. LM741 OP-AMP Kullanan Evirmeyen Yükselteç Devresi	30
3.7.2. CA3080 OTA Kullanan Evirmeyen Yükselteç Devresi	31
3.8. İntegratör	32
3.8.1. LM741 OPAMP kullanan İntegratörün Frekans Analizi	35
3.8.2. CA3080 OTA Kullanan İntegratörün Frekans Analizi	37
4. SÜZGEÇ DEVRELERİ	40
4.1. Giriş.....	40
4.2. Aktif Süzgeç Tasarımında OTA'nın Tercih Sebepleri.....	41
4.3. OTA-C Süzgeçler.....	43
4.3.1. Birinci Derece OTA-C Süzgeçler	44
4.3.2. İkinci Derece OTA-C Süzgeçler	46
4.3.2.1. İkinci Dereceden Alçak-Geçiren OTA-C Süzgeçler (AGS)	48
4.3.2.2. İkinci Dereceden Yüksek-Geçiren OTA-C Süzgeçler (YGS).....	50
4.3.2.3. İkinci Dereceden Bant-Geçiren OTA-C Süzgeçler (BGS).....	52
4.3.2.4. İkinci Dereceden Bant-Durduran OTA-C Süzgeçler (BDS)	54
5. ÖRNEK UYGULAMALAR.....	56
5.1.Giriş.....	56
5.2. LM741 OPAMP Kullanan Alçak Geçiren Süzgeç Örnek Devresi	56
5.3. CA3080 OTA Kullanan Alçak Geçiren Süzgeç Örnek Devresi	59
5.4. LM741 OPAMP Kullanan Yüksek Geçiren Süzgeç Örnek Devresi.....	61
5.5. CA3080 OTA Kullanan Yüksek Geçiren Süzgeç Örnek Devresi.....	63
5.6. LM741 OPAMP Kullanan Bant Geçiren Süzgeç Örnek Devresi	65
5.7. CA3080 OTA Kullanan Bant Geçiren Süzgeç Örnek Devresi	68
6. OTA KULLANILARAK GERÇEKLEŞTİRİLEN OSİLATÖR DEVRELERİ.....	71
6.1. Giriş.....	71
6.2. Osilatör Devrelerinin Çalışma İlkesi.....	71
6.3. Süzgeç Devreleri Kullanılarak Osilatör Devrelerinin Elde Edilmesi.....	72
6.4. OTA-C Osilatör Yapıları.....	75
6.4.1. İki OTA Üç Kondansatörlü Osilatör Yapısı.....	75
6.4.2. Dört OTA İki Kondansatörlü Osilatör Yapısı.....	77
7. SONUÇ.....	79
KAYNAKLAR	80
ÖZGEÇMİŞ.....	82

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. OTA' nın şematik sembolü.....	2
Şekil 2.2. OTA devre sembolü ve eşdeğer devresi	3
Şekil 2.3. Bipolar OTA ' nın iç yapısı	5
Şekil 2.4. OTA'nın çıkış akımının giriş gerilimine göre karakteristiği	6
Şekil 2.5. İdeal DO-OTA yapısı ve eşdeğer devresi.....	7
Şekil 2.6. İki OTA kullanarak DO-OTA elde edilmesi	7
Şekil 2.7. İdeal olmayan OTA' nın eşdeğer devresi.....	8
Şekil 2.8. Gerçek DO-OTA eşdeğer devresi.....	9
Şekil 2.9. OTA'nın kutuplandırılması a) Rabc direncinin Vcc'ye bağlanması b) Rabc direncinin toprağa bağlanması	10
Şekil 2.10. Bir OTA'nın evirmeyen gerilim kuvvetlendirici olarak kullanılması.....	11
Şekil 2.11. Temel CMOS OTA yapısı.....	13
Şekil 2.12. Temel CMOS OTA çıkış ve kutuplama akımları	14
Şekil 2.13. CA3080 entegresi iç bağlantı yapısı.....	15
Şekil 2.14. CA3080 OTA entegresi devre şeması	17
Şekil 2.15. LM13700 entegresi iç bağlantı yapısı.....	18
Şekil 2.16. LM13700 entegresi devre şeması	19
Şekil 2.17. LM13700 OTA entegresi için elde edilen karakteristik eğri	20
Şekil 3.1. LM741 entegresi iç bağlantı şeması	21
Şekil 3.2. OP-AMP elemanının simetrik kaynaktan beslenmesi	22
Şekil 3.3. Temel OTA ve OP-AMP devreleri ile bu devrelere ait formüller	23
Şekil 3.4. OTA kullanan eviren yükselteç devresi.....	25
Şekil 3.5. OP-AMP kullanan eviren yükselteç devre şeması.....	26
Şekil 3.6. LM741 kullanan eviren yükselteç devresinin $K=2$ için elde edilen frekans-kazanç karakteristiği	26
Şekil 3.7. LM741 kullanan eviren yükselteç devresinin $K=1000$ için frekans-kazanç karakteristiği.....	27
Şekil 3.8. CA3080 kullanan eviren yükselteç devresi	27
Şekil 3.9. CA3080 kullanan eviren yükselteç devresinin giriş ve çıkış karakteristiği	28
Şekil 3.10. CA3080 kullanan eviren yükselteç devresinin frekans-kazanç karakteristiği	28
Şekil 3.11. OTA kullanan evirmeyen yükselteç devresi.....	29
Şekil 3.12. OP-AMP kullanan evirmeyen yükselteç devresi.....	30

Şekil 3.13. OP-AMP kullanan evirmeyen yükselteç devresi frekans-kazanç karakteristiği.....	30
Şekil 3.14. CA3080 kullanan evirmeyen yükselteç devresi	31
Şekil 3.15. CA3080 OTA kullanan evirmeyen yükselteç devresi frekans-kazanç karakteristiği.....	31
Şekil 3.16. OP-AMP kullanan kayıpsız integratör.....	32
Şekil 3.17. OP-AMP kullanan kayıplı integratör.....	33
Şekil 3.18. OTA kullanan kayıpsız integratör	33
Şekil 3.19. OTA kullanan kayıplı integratör.....	34
Şekil 3.20. LM 741 OP-AMP' lı integratör	35
Şekil 3.21. Frekansı 1 kHz ve kazancı 1 olan kayıplı integratörün giriş-çıkış gerilim karakteristiği.....	36
Şekil 3.22. Frekansı 10 kHz ve kazancı 1 olan kayıplı integratörün giriş-çıkış gerilim karakteristiği.....	36
Şekil 3.23. Frekansı 100 kHz ve kazancı 1 olan kayıplı integratörün giriş-çıkış gerilim karakteristiği.....	37
Şekil 3.24. CA3080 kullanan frekansı 1 kHz ve kazancı 1 olan kayıplı integratör şeması	37
Şekil 3.25. CA3080 kullanan frekansı 1 kHz ve kazancı 1 olan kayıplı integratör giriş-çıkış gerilim karakteristiği.....	38
Şekil 3.26. CA3080 kullanan frekansı 10 kHz ve kazancı 0.33 olan kayıplı integratör devre şeması.....	38
Şekil 3.27. CA3080 kullanan frekansı 10 kHz ve kazancı 0.33 olan kayıplı integratör sonuç karakteristiği.....	39
Şekil 3.28. CA3080 kullanan frekansı 100 kHz ve kazancı 0.1 olan kayıplı integratör sonuç karakteristiği.....	39
Şekil 4.1. OTA-C süzgeç devrelerinin tipik uygulama alanları ve frekans değerleri	41
Şekil 4.2. II .dereceden transfer fonksiyonunu gerçekleyen genel OTA-C aktif süzgeç yapısı	44
Şekil 4.3. Birinci derece süzgeçler a) Dc kazancı sabit kutbu ayarlanabilen alçak geçiren b) yüksek geçiren c) Çok fonksiyonlu OTA-C süzgeç.....	45
Şekil 4.4. İkinci derece transfer fonksiyonunu gerçekleyen OTA-C süzgeç devresi.....	47
Şekil 4.5. İkinci derece AGF'nin genlik karakteristiği.....	48
Şekil 4.6. OTA-C ikinci derece alçak geçiren süzgeç devresi.....	49
Şekil 4.7. İkinci derece YGF'nin genlik karakteristiği.....	50
Şekil 4.8. OTA-C ikinci derece yüksek geçiren süzgeç devresi	51
Şekil 4.9. İkinci derece BGF' nin genlik karakteristiği	52

Şekil 4.10. OTA-C ikinci derece bant geçiren süzgeç devresi.....	53
Şekil 4.11. İkinci derece BDF'nin genlik karakteristiği.....	54
Şekil 4.12. OTA-C ikinci derece bant durduran süzgeç devresi.....	55
Şekil 5.1. OP-AMP ile gerçekleştirilen AGS devre şeması.....	56
Şekil 5.2. OP-AMP kullanan ve frekansı 1kHz olan AGS frekans-kazanç karakteristiği.....	57
Şekil 5.3. OP-AMP kullanan ve frekansı 100 kHz olan AGS frekans-kazanç karakteristiği	58
Şekil 5.4. OP-AMP kullanan ve frekansı 1 MHz olan AGS frekans-kazanç karakteristiği.....	58
Şekil 5.5. OTA kullanan II. Dereceden AGS temel devre şeması.....	59
Şekil 5.6. CA3080 OTA ile gerçekleştirilen AGS devre şeması	59
Şekil 5.7. OTA ile gerçekleştirilen ve frekansı 100 kHz olan AGS frekans-kazanç karakteristiği.....	60
Şekil 5.8. OTA kullanan ve frekansı 1 MHz olan AGS frekans-kazanç karakteristiği	60
Şekil 5.9. LM741 OP-AMP kullanan yüksek geçiren süzgeç devre şeması.....	61
Şekil 5.10. LM741 kullanan ve frekansı 1 kHz olan YGS frekans-kazanç karakteristiği	62
Şekil 5.11. LM741 kullanan ve frekansı 100 kHz olan YGS frekans-kazanç karakteristiği	62
Şekil 5.12. LM741 kullanan ve frekansı 1 MHz olan YGS frekans-kazanç karakteristiği.....	63
Şekil 5.13. OTA kullanan YGS temel devre şeması.....	63
Şekil 5.14. CA3080 OTA kullanan YGS MULTİSİM devre şeması	64
Şekil 5.15. CA3080 OTA kullanan ve frekansı 100 kHz olan YGS frekans-kazanç karakteristiği.....	65
Şekil 5.16. CA3080 kullanan ve frekansı 1 MHz olan YGS frekans-kazanç karakteristiği	65
Şekil 5.17. LM741 OP-AMP ile gerçekleştirilen ve frekansı 1 kHz olan BGS devre şeması	66
Şekil 5.18. LM741 ile gerçekleştirilen ve frekansı 1 kHz olan BGS frekans-kazanç karakteristiği.....	67
Şekil 5.19. LM741 ile gerçekleştirilen ve frekansı 100 kHz BGS frekans-kazanç karakteristiği.....	67
Şekil 5.20. LM741 kullanan ve frekansı 1 MHz olan BGS frekans-kazanç karakteristiği.....	68
Şekil 5.21. OTA kullanan BGS devre şeması.....	68
Şekil 5.22. CA3080 OTA kullanan BGS devre şeması	69
Şekil 5.23. CA3080 kullanan ve frekansı 100 kHz olan BGS frekans-kazanç karakteristiği	70
Şekil 5.24. CA3080 kullanan ve frekansı 1 MHz olan bant geçiren süzgeç frekans-kazanç karakteristiği.....	70
Şekil 6.1. AGS'den elde edilen osilatör yapısı	73
Şekil 6.2. YGS'den elde edilen osilatör yapısı	73

Şekil 6.3. BGS’den elde edilen osilatör yapısı	74
Şekil 6.4. 2OTA-3C osilatör yapısı	75
Şekil 6.5. 4OTA-2C osilatör yapısı	77

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 2.1. CA3080 OTA parametre değerleri.....	16
Tablo 3.1. OTA ve OP-AMP parametrelerinin karşılaştırılması.....	24
Tablo 4.1. Süzgeç tasarımında kullanılan aktif ve pasif elemanların karşılaştırılması	43
Tablo 6.1. Şekil 6.1’de verilen devrelere ilişkin osilatör şartları	74

SİMGELER LİSTESİ

C	: Kondansatör
f	: Frekans
g_m	: Geçiş iletkenliği kuvvetlendiricisi (Transconductance)
$H(s)$	: Transfer fonksiyonu
I_{abc}	: OTA' nın kontrol akımı
I_o	: Çıkış akımı
K	: Kazanç
R_{abc}	: Kontrol direnci
R_L	: Yük direnci
V_{CC}	: Pozitif besleme gerilimi
V_{EE}	: Negatif besleme gerilimi
V_1, V_2	: OTA' nın pozitif ve negatif giriş ucu gerilimleri
V_o	: Çıkış gerilimi
V_{in}	: Giriş gerilimi
ω_o	: Açısal kesim frekans
Z_i	: Giriş direnci
Z_o	: Çıkış direnci
W	: CMOS transistor kanal genişliği
L	: CMOS transistor kanal uzunluğu
Ω_0	: Osilasyon frekansı
Q	: Kalite faktörü

KISALTMALAR LİSTESİ

AGS	: Alçak geçiren süzgeç
YGS	: Yüksek geçiren süzgeç
BDS	: Bant durduran süzgeç
BGS	: Bant geçiren süzgeç
OP-AMP	: İşlemsel kuvvetlendirici
OTA	: İşlemsel geçiş iletkenliği kuvvetlendiricisi
DO-OTA	: Çift çıkışlı geçiş iletkenliği kuvvetlendiricisi
k	: Kilo
M	: Mega
m	: Mili
n	: Nano
p	: Piko
μ	: Mikro
s	: Saniye
S	: Simens
t	: Zaman
T	: Periyot
Hz	: Hertz

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

OTA İLE TASARLANAN SÜZGEÇLERİN BENZETİMİ VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Şaziye Şule DEĞİRMENCİOĞLU

Fırat Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

2009, Sayfa : 82

Bu tez çalışmasında, bir elektriksel sistemin performansını yüksek oranda etkileyen süzgeç (filtre) devreleri, OTA elemanı ile gerçekleştirilmiştir ve OP-AMP elemanı kullanan devrelerle karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmada önce OTA ve OP-AMP elemanları hakkında genel bilgiler verilmiştir. Piyasada rahatlıkla bulunabilen, bipolar yapıya sahip CA3080 OTA entegresi ile LM13700 OTA entegresi incelenmiştir. Daha sonra OP-AMP devreleri ile oluşturulan yükselteç, süzgeç ve osilatör uygulama devreleri OTA elemanı ile tasarlanmış ve bu tasarımlar MULTİSİM programı yardımıyla simüle edilmiştir. Elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Örnek uygulamalarda LM741 OP-AMP entegresi ile CA3080 OTA entegresi ayrı ayrı kullanılarak oluşturulan filtre devreleri arasında performans değerlendirmesi yapılmıştır.

Sonuç olarak, yüksek frekanslarda OTA elemanının OP-AMP elemanına göre daha doğru çalıştığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: OTA, OP-AMP, İdeal OTA, Bipolar OTA, CMOS OTA, DO-OTA, OTA-C Süzgeç

ABSTRACT

Master Thesis

THE SIMULATION AND REALIZATION OF THE FILTERS DESIGNED BY OTA

Şaziye Şule DEĞİRMENCİOĞLU

Fırat University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electrical-Electronics Engineering

2009, Page : 82

In this thesis is to create filter circuits which highly effects the performance of an electrical system, with OTA elements and compare with circuits using OP-AMP element.

First, general information is given about OTA and OP-AMP elements. Bipolar CA3080 and LM13700 OTA integrated circuits, can be easily obtained in the market, are examined. Later, amplifier, filter and osilator aplication circuits which can be created with OP-AMP circuits, are designed and these designs are simulated with the MULTİSİM program. The obtained results are compared. In the sample applications, performance assessment is done among the created filter circuits, using seperately LM741 OP-AMP and CA3080 OTA integrated circuits.

To conclude, it is observed that high-frequency OTA element works better compared to OP-AMP element.

Keywords: OTA, OP-AMP, Ideal OTA, Bipolar OTA, CMOS OTA, DO-OTA, OTA-C Filter

1. GİRİŞ

Günümüzde analog elektronik alanının çok kullanılan temel yapılarından biri olan işlemsel kuvvetlendiriciler (Operational Amplifiers, OP-AMP) 1960'lı yılların sonlarına doğru kullanılmaya başlanmıştır. OP-AMP'lar, çok yüksek kazançlı bir DC yükselteçtir ve OP-AMP'lar ile her türlü devre gerçekleştirilebilmektedir. OP-AMP'lar düşük frekanslı tüm uygulamalarda, özellikle ölçme, otomatik kontrol, analog/dijital ve dijital/analog dönüştürücülerde, yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca dalga şekilendirici devreler, süzgeç, osilatör ve dalga üreteçleri gibi pek çok alanda kullanılmaktadırlar. Maliyetlerinin düşük olması ve çok kullanışlı bir eleman olması nedeniyle OP-AMP'lar gerilim modlu devrelerde piyasada üretilen ürünler içerisinde en fazla kullanılan lineer elemanlar olmuşlardır [1].

OP-AMP ile gerçekleştirilen süzgeç ve osilatör devreleri kHz seviyelerinde çalışabilmektedir. Tasarıma yönelik amaçlar için OP-AMP ideal olarak kabul edildiğinden, sonsuz giriş direnci, sıfır çıkış direnci ve sonsuz açık çevrim kazancına sahiptir. Ancak yüksek frekanslara çıkıldığında, OP-AMP'ın performansının kötüleşmesi nedeniyle, karakteristiği bozulmaktadır. Bu frekanslarda, OP-AMP integral alıcı bir devre gibi davranır. Ayrıca, OP-AMP elemanını dışardan uygulanan bir işaret ile kontrol etme imkanı da yoktur. Yüksek lineerlikte ve geniş dinamik aralıklı gerilim modlu devrelerin tasarımı zorlaştığından, gerilim yerine akımın temel işaret olduğu düşük empedanslı analog devreler dikkat çekmeye başlamıştır. Akım modlu devreler, düşük gerilim salınımları nedeniyle, düşük besleme gerilimlerinde çalışabilmekte ve küçük işaret geçiş frekansına yakın geniş bantlı frekans cevapları elde edilebilmektedir [2]. Akım modlu devrelere olan bu ilginin ortaya çıkması esas olarak, işlemsel geçiş iletkenliği kuvvetlendiricisi (OTA) ile olmuştur. OTA, giriş gerilimlerini orantılı çıkış akımına dönüştüren bir elemandır.

OTA yapıları geniş bantlı olmaları, eğimlerinin kutuplama akımı ile kontrol edilebilmesi, yapılarının tümleştirmeye uygun ve basit olması gibi nedenlerden dolayı yaygın bir kullanım alanı bulmaktadır.

Bu tez çalışmasında OTA elemanı ile oluşturulan devreler özellikle süzgeç devreleri incelenecek ve OP-AMP kullanılan devrelere göre performans değerlendirmesi yapılacaktır.

2. OTA KAVRAMI

2.1. Giriş

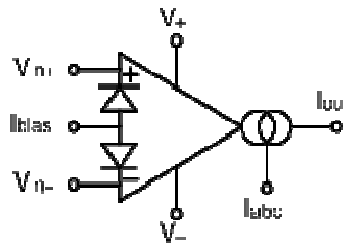
OTA, girişine uygulanan gerilim farkıyla orantılı çıkış akımı üreten bir elemandır. Dışardan uygulanan elektriksel bir büyüklükle (akım veya gerilimle) iletkenliği ayarlanabilir. Diğer işlemsel kuvvetlendiricilerden ya da OP-AMP' lardan farklı olarak OTA' lar, bir Gerilim Kontrollü Akım Kaynağı (GKAK) gibi davranırlar. OTA' lar da ideal bir transistör gibi davranırlar ve transistorler gibi OTA' lar da üç uçbirime sahiptir. Bunlar; yüksek öz dirençli bir giriş, alçak öz dirençli bir giriş (ya da emiter) ve akım çıkışıdır. GKAK'den farklı olarak, bir OTA hem kendinden eğimli hem de iki kutupludur [3].

2.2. OTA'nın Tarihi Gelişimi

OTA ilk olarak 1969 yılında RCA firması tarafından iki kutuplu olarak tanıtılmıştır. 1971-1982 yılları arasında, programlanabilir aktif süzgeçler ve lineer devreler, ayrık bipolar OTA kullanılarak oluşturulmuştur. 1985 yılında OTA kullanılarak aktif süzgeç dizaynları, 1988 yılında ise CMOS OTA-C süzgeçleri geliştirilmiştir. 1993'ten günümüze kadar Q tuning ve fo tuning arttırmaları ve yüksek frekanslı sözde fark (pseudo differential) OTA'lar geliştirilmiştir [4].

OTA hakkında ilk olarak 1969 yılında C.F Wheatley ve H.A Wittlinger bir kitap yazmıştır [2]. Daha sonra birçok bilim adamı OTA hakkında kitaplar yazmıştır. Bunlar içinden en çok eser verenler ise Edgar Sanchez-Sinencio, Jaime Ramirez-Angulo ve Angel Rodriguez-Vazquez' dir.

OTA hakkında en çok atıf yapılan kitap ,”K. R. Laker'in kitabıdır [5]. OTA ile ilgili en çok çalışma yapan Türk bilim adamı ise Prof.Dr.Hakan Kuntman' dır.



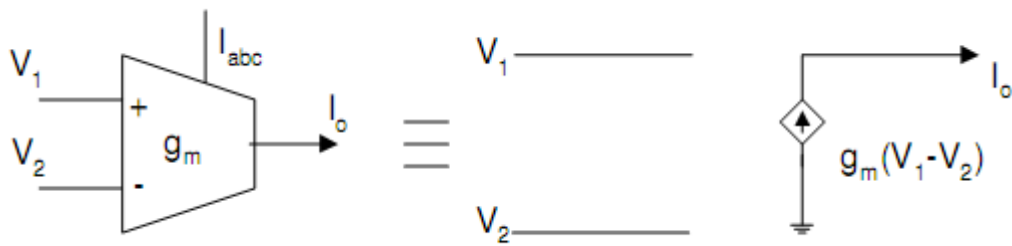
Şekil 2.1. OTA' nın şematik sembolü

Şekil 2.1’ de şeması görülen OTA’ lar standart OP-AMP’ lar gibi, tersine çevrilen (-) ve tersine çevrilmeyen (+) girişlere, güç kaynak girişlerine (V_+ ve V_-) ve tek bir çıkışa sahiptir. Geleneksel OP-AMP’lardan farklı olarak, fazladan iki kutuplaşma girişine, (I_{abc} ve I_{bias}) sahiptir.

OTA’ların ilk versiyonlarında, ne I_{bias} uç birimi ne de diyotlar vardır. Bunların hepsi sonraki versiyonlarında eklenmiştir. Bu eklentiler OTA’ya iki önemli gelişme sağlamıştır. Bunlardan birincisi, diyotların eklenmesi giriş safhasının doğrusallaşmasını arttırmıştır. Diyotları kullanarak fark girişin 80 mV’lık sinyal distorsiyon seviyesi, basit bir fark kuvvetlendiricisinin 20 mV’lık diferansiyel girişindeki seviyeyle aynı yapılmaktadır. Ayrıca kutuplanmış diotların hareketi OTA’nın geçiş iletkenliğinin sıcaklık hassasiyetinin büyük çoğunluğunu iyileştirmektedir. İkinci gelişim ise, OTA’nın yerleştirildiği çipe, opsiyonel kullanımlı buffer kuvvetlendiricisinin entegre edilmesidir. Bu aslında OTA’nın gelişiminden ziyade devre dizayncısı için, ayrı bir tampon bölge yerleştirme sorununu çözerek, bir rahatlık sunmaktadır. Bu durum ayrıca, arzu edildiği takdirde, çıkış akımını gerilime çevirerek, OTA’nın geleneksel bir OP-AMP gibi kullanılmasına olanak sağlamaktadır [4,6,7].

2.3. İdeal OTA

OTA, giriş uçlarına uygulanan gerilim farkı ile, çıkış akımının g_m olarak adlandırılan geçiş iletkenliği katsayısı ile kontrol edilmesi temeline dayanmaktadır. OTA’ da çıkış akımının kontrolü, girişe uygulanan gerilimlerin farkı ile gerçekleştirilmektedir. OTA için bilinmesi gereken en önemli özellik, içerisinde bulunan g_m , harici akım olan I_{abc} ile kontrol edilebilmesidir. Şekil 2.2’ de OTA devre sembolü ve eşdeğer devresi verilmiştir.



Şekil 2.2. OTA devre sembolü ve eşdeğer devresi

OTA’ da g_m katsayısı ile I_{abc} arasındaki ilişki,

$$g_m = h \cdot I_{abc} \quad (2.1)$$

şeklindedir. Burada h elemanın geometrisine, üretim sırasındaki işlemlere ve sıcaklığa bağlı bir katsayıdır. BJT OTA' larda ve oda sıcaklığında tipik değeri $h = 19,2 \text{ V}^{-1}$ dir

CMOS OTA' larda ise g_m geçiş iletkenliği I_{abc} akımıyla şu şekilde ilgilidir:

$$g_m = h\sqrt{I_{abc}} \quad (2.2)$$

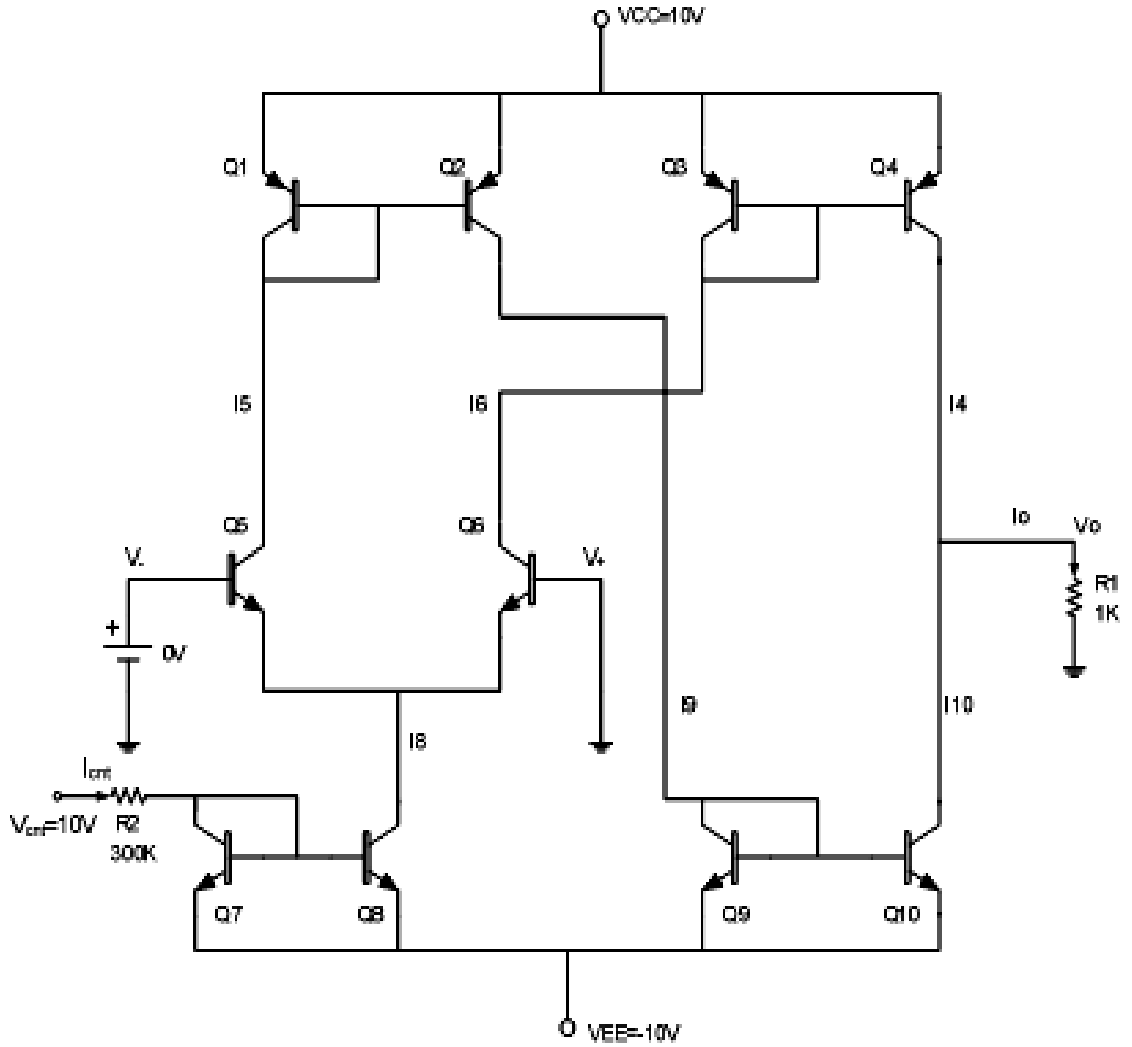
İdeal bir OTA' da, aşağıda hesaplandığı gibi, çıkış akımı, fark giriş geriliminin doğrusal bir fonksiyonudur.

$$I_o = g_m (V_1 - V_2) \quad (2.3)$$

V_1 tersine çevrilmeyen girişin, V_2 ise tersine çevrilen girişin gerilimleridir. İdeal OTA' da giriş empedansı sonsuz kabul edildiğinden giriş akım değerleri, $I_1=0$ ve $I_2=0$ dır.

2.4. Bipolar OTA

Bipolar tekniğiyle yapılmış OTA'nın iç yapısı Şekil 2.3'de görülmektedir [2]. Devredeki Q_5 ve Q_6 transistörleri diferansiyel çifti (fark kuvvetlendirici) oluşturur. Q_1 ve Q_2 ise akım aynası olarak görev yapmaktadır. Kontrol akımı I_{cnt} ; V_{cnt} ve R_2 direnciyle kontrol edilir. Q_7 ve Q_8 akım aynası olduğundan $I_{cnt} = I_8$ olur. Buna göre $I_8 = I_5 + I_6$ olduğu görülmektedir. Devredeki akım aynalarına dikkat edilirse, bazı akım değerlerinin birbirine eşit olduğu görülür. Devrede; Q_1 ve Q_2 akım aynasından $I_5 = I_9$ ve Q_9 - Q_{10} akım aynasından $I_9 = I_{10}$ olduğu görülmektedir. Benzer şekilde Q_3 - Q_4 akım aynasından $I_4 = I_6$ olarak bulunur ve çıkışa ilişkin düğüm denkleminde $I_o = I_4 - I_{10} = I_6 - I_5$ elde edilebilir.



Şekil 2.3. Bipolar OTA 'nın iç yapısı

Devrenin gerilim kazancı hesaplanırsa,

$$A_v = \frac{V_o}{V_{in}} = \frac{I_0 R_L}{V_{in}} = g_m R_L, \quad V_{in} = V_+ - V_-, \quad R_L = R1 \quad (2.4.)$$

olarak bulunur. Eğim (g_m) Denklem (2.5) kullanılarak hesaplanır.

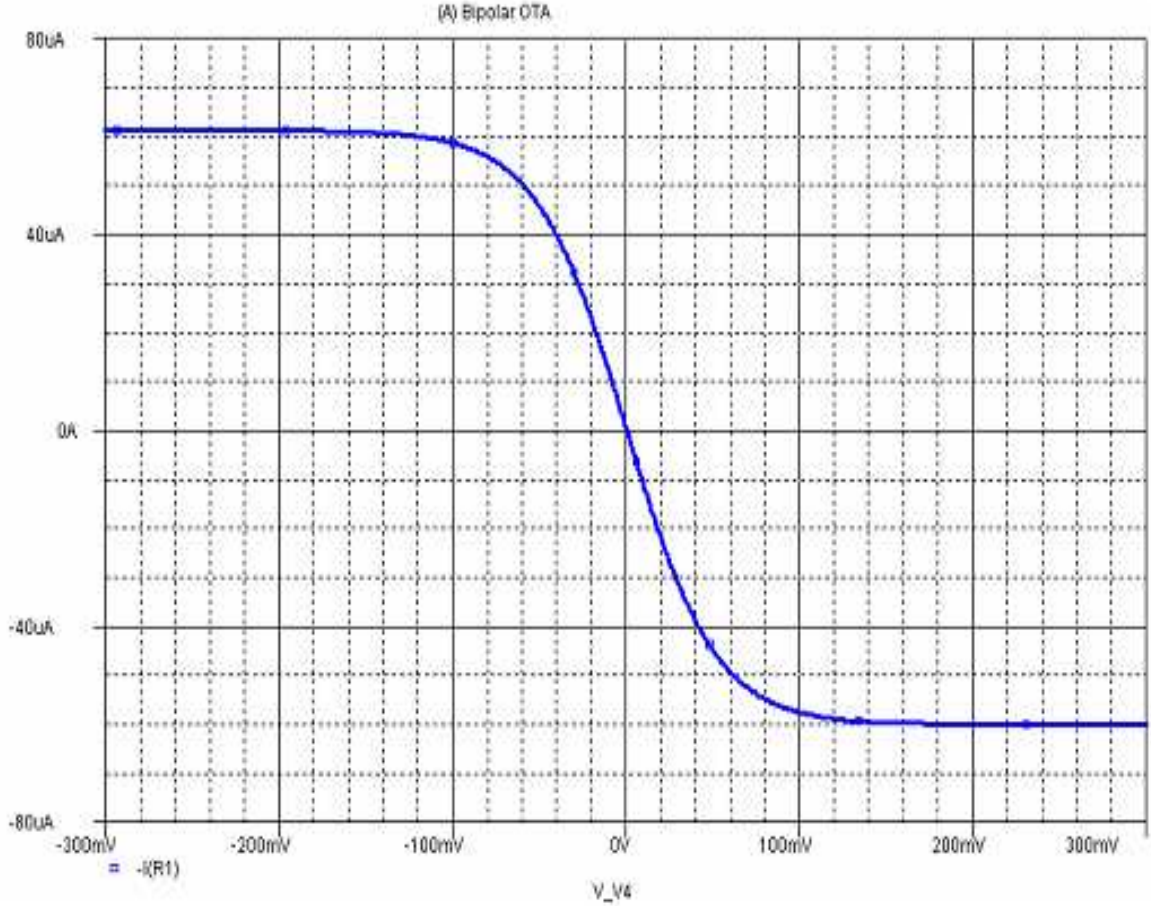
$$g_m = \frac{\partial I_0}{\partial V_{in}} = \frac{I_{cnt}}{2V_T} \quad (2.5)$$

Buna göre OTA' nın gerilim kazancı, kontrol akımı $I_{cnt} = I_{abc}$ ile ayarlanabilir.

Oda sıcaklığında ;

$$V_T = 26 \text{ mV} \text{ ve } g_m = \frac{\partial I_0}{\partial V_{in}} = \frac{I_{cnt}}{2V_T} = \frac{I_{cnt}}{52 \text{ mV}} = 19.2 \times I_{cnt} \text{ olur.}$$

Şekil 2.3 ' teki bipolar OTA devresi MULTISIM ile simüle edildiğinde, çıkış akımının (I_o) $V_{in} = V_+ - V_-$ 'e göre değişimi Şekil 2.4' de görülmektedir.



Şekil 2.4 OTA'nın çıkış akımının giriş gerilimine göre karakteristiği

Simülasyonu gerçekleştirilen devrede $R_L = R_1 = 1\text{ k}$ olarak seçilmiştir. $V_{cnt} = 10\text{ V}$ ve $R_2 = 300\text{ k}$ yapılarak kontrol akımının $I_{cnt} = 63\text{ }\mu\text{A}$ olması sağlanmıştır. OTA' lar mV seviyelerinde çalışıklarından giriş geriliminin küçük seçilebilmesi gerekir. Simülasyon sonucundan da görüldüğü gibi OTA'nın lineerliği yaklaşık 50 mV'luk giriş geriliminden sonra bozulmaya başlamıştır. Ortaya çıkan şeklin eğimi Denklem (2.5) ile hesaplandığında $g_m = 1.21\text{ mS}$ olarak hesaplanır. Şekil 2.4. deki karakteristiğe sahip OTA için;

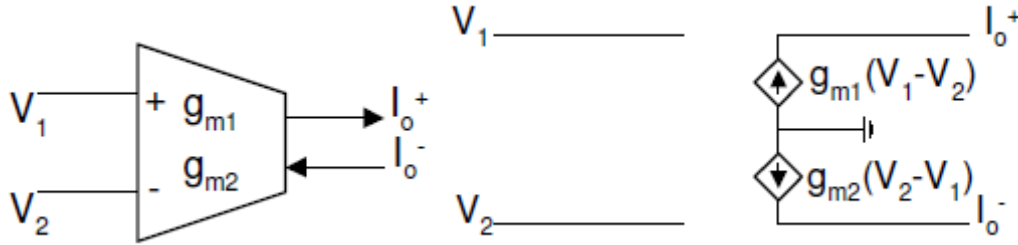
$$I_{cnt} = \frac{V_{cnt} + |-V_{EE}| - 0.7}{R_{cnt}}, \quad R_{cnt} = R_2 \quad (2.6)$$

ifadesinden hesaplanabilir. Burada 0.7 V, Q7 transistörüne ait baz – emiter geriliminin iletim yönü değeridir ve bu transistör diyot gibi davranmaktadır. Simülasyonunda 63 μ A olarak görülen I_{cnt} akımı (2.6) denklemiyle de hesaplanırsa 63 μ A olduğu görülmektedir.

Sonuç olarak simülasyon sonuçlarıyla matematiksel sonuçlarının büyük oranda benzerlik gösterdiği ve g_m değeriyle kontrol edilebildiği görülmüştür.

2.5. İdeal DO-OTA

Şekil 2.5’ de hem girişi hem de çıkışı farksal olan DO-OTA (Çift çıkışlı geçiş iletkenliği kuvvetlendiricisi) yapısı görülmektedir.

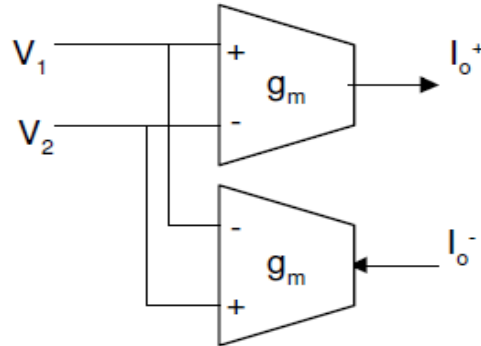


Şekil 2.5. İdeal DO-OTA yapısı ve eşdeğer devresi

DO-OTA devresi, giriş gerilim farkıyla orantılı olarak çıkışta pozitif ve negatif olmak üzere iki ayrı akım oluşturmaktadır. DO-OTA’nın çıkış akımlarının giriş gerilimiyle olan matematiksel ilişkisi,

$$I_o^+ = g_{m1}(V_1 - V_2) \quad I_o^- = g_{m2}(V_2 - V_1) \quad (2.7)$$

biçiminde verilmektedir. Şekil 2,6’da g_m değerleri eşit olan iki OTA kullanarak DO-OTA elde edilmesi gösterilmiştir.

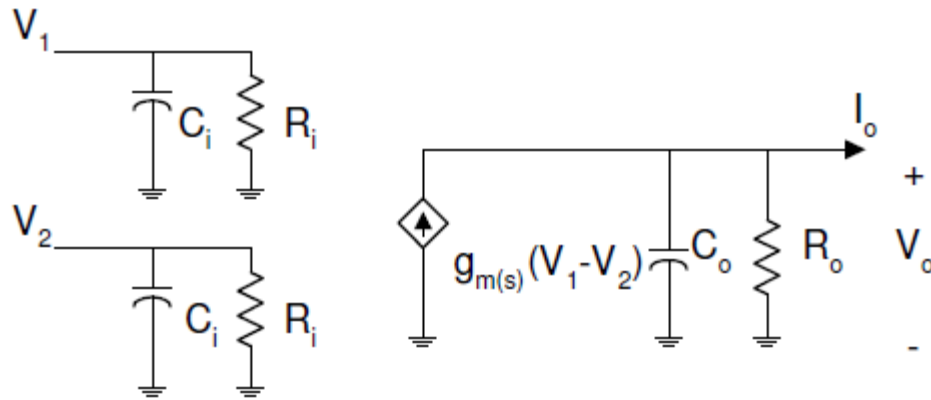


Şekil 2.6 İki OTA kullanarak DO-OTA elde edilmesi

DO-OTA elemanın normal OTA elemanın sahip olduğu tüm özelliklere sahip olmanın yanında başka avantajları da vardır. Gerilim modunda çalışan devrelerin, yerlerini akım modlu yapılara bırakmaya başlamaları ile DO-OTA elemanı ön plana çıkmıştır. DO-OTA elemanın birden fazla akım çıkışına sahip olmasıyla kolayca akım geri besleme çevrimi oluşturulur. Bu şekilde akım modlu devre topolojilerinin gerçekleştirilmesinde büyük kolaylık sağlanır. Bu sistemlere devre kapasiteleri, girişi oluşturan DO-OTA'ların girişlerine gelerek DO-OTA'ların sahip olduğu parazit kapasiteleri kompanze ederler. Böylece devrelerin bant genişliğini daraltan sınırlamanın önüne geçilerek daha yüksek frekanslarda çalışma sağlanır [8].

2.6. Gerçek OTA ve DO-OTA

Pratikte tasarımcı, OTA elemanı ile çalışırken dikkatli olmalıdır. Gerçek OTA'lar da giriş ve çıkış elemanlarının frekansa bağlı ve sonlu olduklarının göz önünde bulundurulması gerekir. OTA'nın eğimi g_m , frekansla değişmektedir. Gerçek OTA modeli, Şekil 2,7' de verilmiştir. Burada, pozitif ve negatif giriş uçlarından toprağa olan empedansların eşit olduğu varsayılmaktadır. Ayrıca giriş uçlarının arasındaki empedans ve giriş-çıkış arası kapasite dikkate alınmamıştır.



Şekil 2.7. İdeal olmayan OTA' nın eşdeğer devresi

Şekil 2.7' de $R_i = 0.5 \text{ M}\Omega$ ve $R_o = 50 \text{ M}\Omega$, C_i ve C_o kapasiteleri ise birkaç pF değerinde bulunmaktadır. Ticari amaçla sunulmuş OTA'lar bipolar tekniği ile üretilmiş ve bazı pratik sınırlamalara sahiptirler. CA3080 elemanı bunlardan biridir. Bu tür OTA'ların girişlerine uygulanabilecek gerilim farkı 20 mV' tan daha küçük olmalıdır, aksi halde dinamik davranışlarında sorun çıkması olasıdır [9].

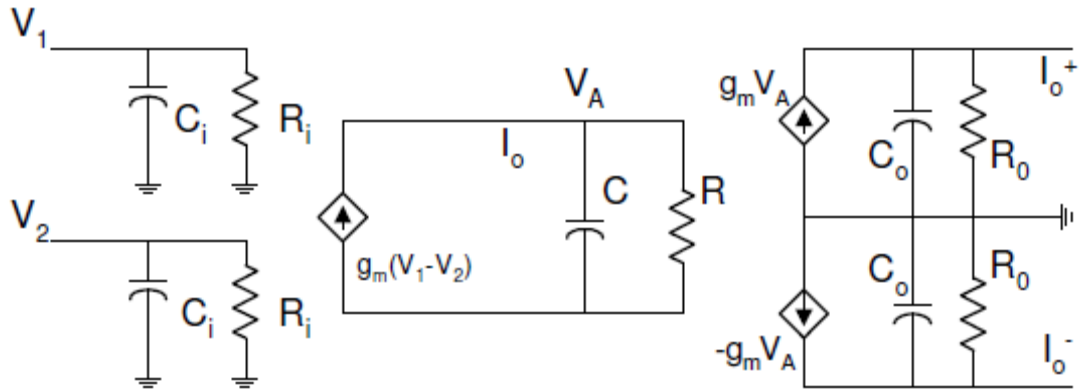
OTA' nın frekansla değişen eğimi (g_m) göz önüne alınarak.

$$g_m(s) = g_{mo} e^{-st} \quad (2.8)$$

olur. $f \ll 1/\tau$ frekans bölgesinde bağıntı

$$g_m(s) = g_{mo}(1 - e^{-st}) \quad (2.9)$$

olarak görülebilir. Sonlu giriş empedansı Z_i ; giriş direnci R_i ve giriş parazit kapasitesi C_i 'den oluşur. Sonlu çıkış empedansı Z_o ise; çıkış direnci R_o ve çıkış kapasitesi C_o 'dan oluşur. I_{abc} akımıyla OTA'nın giriş ve çıkış empedansları değiştirilebilir. Şekil 2.8' de ise gerçek DO-OTA'nın eşdeğer devresi verilmiştir.



Şekil 2.8. Gerçek DO-OTA eşdeğer devresi

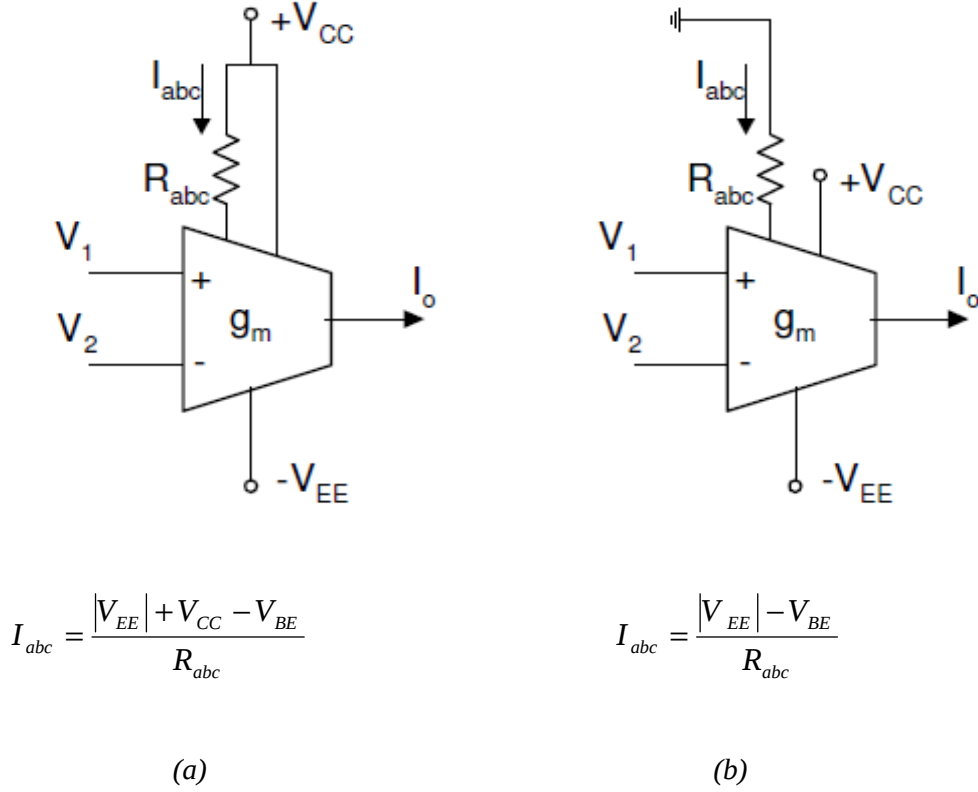
2.7. İdeal OTA' nın Kutuplandırılması

Piyasada CA3080, CA3094, LM13600 ve LM13700 gibi içerisinde tek ve çift olarak OTA' nın tasarlandığı tümdevreler bulunmaktadır.

Denklem (2.5)'de görüldüğü gibi bir OTA' nın g_m geçiş iletkenliği, I_{abc} kontrol (kutuplama=kuyruk=bias) akımına bağlıdır ve bu akım R_{abc} direnci üzerinden akmaktadır. R_{abc} direncinin kaynağa veya toprağa bağlanmış tarzına göre, OTA' lar da iki ayrı kutuplama yöntemi bulunmaktadır. Bu durumlar Şekil 2,9' da görülmektedir. Bir OTA' nın kontrol akımı sınırlıdır ve bu değer; $0.1\mu A \leq I_{abc} \leq 1mA$ aralığındadır.

I_{abc} kaynak akımı devreye bağlanan uygun değerde bir dirençle ayarlanabilir. Kazancın bu ayarlanabilir yapısından dolayı OTA; bir gerilim kontrollü kuvvetlendiriciye (GKK), gerilim kontrollü osilatöre (GKO) ve bunlarla kontrol edilebilen süzgeçlere kolayca uyarlanabilmektedir. Bir OTA çıkışına uygun bir R_L yükü bağlanarak bilinen bir gerilim kuvvetlendiricisi olarak kullanılabilir. Şekil 2,9' da evirmeyen kuvvetlendirici olarak kullanılan bir OTA devresi görülmektedir. Bu devre, eviren kuvvetlendirici devresi olarak da kullanılabilir. Kuvvetlendirilmesi istenen giriş işareti hangi giriş terminaline uygulanırsa

kuvvetlendirici o devrenin özelliğini göstermektedir. Birisi için çıkarılacak formüller diğeri için de geçerli olacaktır, fakat eviren ve evirmeyen kuvvetlendirici için işaret farkına dikkat edilmesi gerekmektedir.



Şekil 2.9. OTA'nın kutuplandırılması a) Rabc direncinin Vcc'ye bağlanması b) Rabc direncinin toprağa bağlanması

Şekil 2.10'daki kuvvetlendiricide yük üzerinden geçen akım,

$$I_L = g_m \cdot V_i \quad (2.11)$$

dir. Kuvvetlendiricinin g_m katsayısının I_{abc} akımıyla ilişkisi:

$$g_m = h \cdot I_{abc} \quad (2.12)$$

şeklindedir. Burada h değeri 25°C de $19,2 \text{ V}^{-1}$ 'dir. Devrenin çıkış gerilimi V_o ,

$$V_o = R_L \cdot I_L \quad (2.13)$$

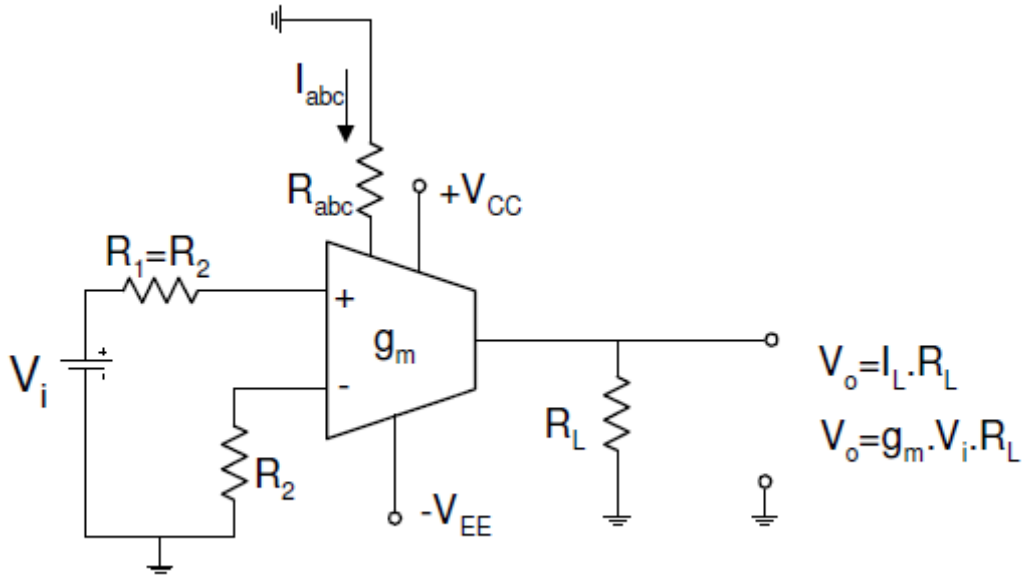
dir. Denklem (2.11), Denklem (2.13)'de yerine konursa,

$$V_o = g_m \cdot V_i \cdot R_L \quad (2.14)$$

elde edilir. Buradan OTA için gerilim kazancı tanımlanırsa,

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = g_m \cdot R_L \quad (2.15)$$

olur.



Şekil 2.10. Bir OTA'nın evirmeyen gerilim kuvvetlendirici olarak kullanılması

Sekil 2.10'da verilen OTA devresinin girişlerine R_1 ve R_2 dirençleri bağlanmayabilirdi. Çünkü bu devre girişteki gerilim farkını değerlendiren bir devredir ve girişlerine doğrudan gerilim kaynağı bağlanabilir. Ancak girişteki kutuplama akımları ve giriş dengesizlik akımının etkisini azaltmak için bu dirençleri kullanmak daha uygundur. Bir OP-AMP'ta olduğu gibi OTA'nın da giriş direnci çok büyük olduğundan, devrede kullanılan R_1 ve R_2 dirençleri OTA'nın giriş direncini şöntleyerek fazla küçültmeyecek bir değerde seçilir. Bunun için tipik değerler, 10 K' dan küçük olmayan direnç değerleridir [3].

2.8. CMOS OTA

2.8.1. Analog tümdevrelerde MOS teknolojinin yeri

Son zamanlara kadar daha çok dijital sistemlerin gerçekleştirilmesinde kullanılan MOS teknolojisi, günümüzde, analog tümdevre yapı bloklarının oluşturulmasında gittikçe yaygınlaşarak kullanılmaktadır [10]. Bunun başlıca nedeni, gün geçtikçe analog ve dijital sistemlerin iç içe girmesidir. Dijital sistemlerde MOS teknolojisi yaygın olarak kullanıldığından, analog sistemler için de aynı teknolojinin kullanılabilir olması, ekonomik açıdan büyük yararlar sağlamaktadır. Genellikle, işaretin analogdan dijitale çevrilmesi veya bunun tersinin gerçekleştirilmesi için gerekli olan hassas kuvvetlendirme, süzme, örnekleme ve tutma, gerilim karşılaştırma, hassas ikili kod ağırlıklı gerilim ve akım üretme vb. analog fonksiyonların gerçekleştirilmesine gereksinim duyulmaktadır.

Alt sistemlerin eski teknolojide olduğu gibi, ayrı ayrı bipolar analog ve MOS dijital bölümlere ayrılması ise, birçok durumda kılıflama maliyeti, baskılı devre üzerinde kaplanan yer gibi nedenlerle, istenen bir özellik olmamaktadır. Bunun yanı sıra, MOS teknolojisi ile bipolar transistörlere göre %30-%50 oranında daha az kırmık alanı kullanılmaktadır. Bipolar teknolojisini ile karşılaştırıldığında, MOS teknolojisinin analog fonksiyonların gerçekleştirilmesi açısından yararlı yanları olduğu kadar dezavantajları da bulunduğu söylenebilir. MOS teknolojisinin bipolar transistörlere göre önemli sayılabilecek dezavantajları şöyle özetlenebilir :

1. Aynı kollektör akımı için bipolar transistörlerin geçiş iletkenliği MOS transistörlere göre kıyaslanamayacak kadar yüksektir.
2. Geçiş iletkenliğinden ileri gelen bu sakıncayı gidermek üzere, kazanç katlarında büyük değerli dirençler kullanılabilir. Ancak, MOS teknolojisi ile büyük değerli dirençler elde etmek oldukça güçtür. Bu dirençleri elde etmek için kullanılan kırmık alanı da o kadar fazla olmaya başlar ki, bunların kullanılması pratik olmaktan çıkar. Bu yüzden, MOS' larla çalışılırken büyük kazanç değerleri elde etmek üzere aktif elemanlardan yararlanma zorunluluğu bulunmaktadır.
3. MOS transistörlerin frekans cevabı, bipolar transistörlerinkine göre daha kötüdür.
4. İmalat sırasında meydana gelen eşleştirme sorunu yüzünden, işlemsel kuvvetlendiricilerin giriş dengesizlik gerilimi daha fazladır.
5. Gürültü daha yüksek olmaktadır.

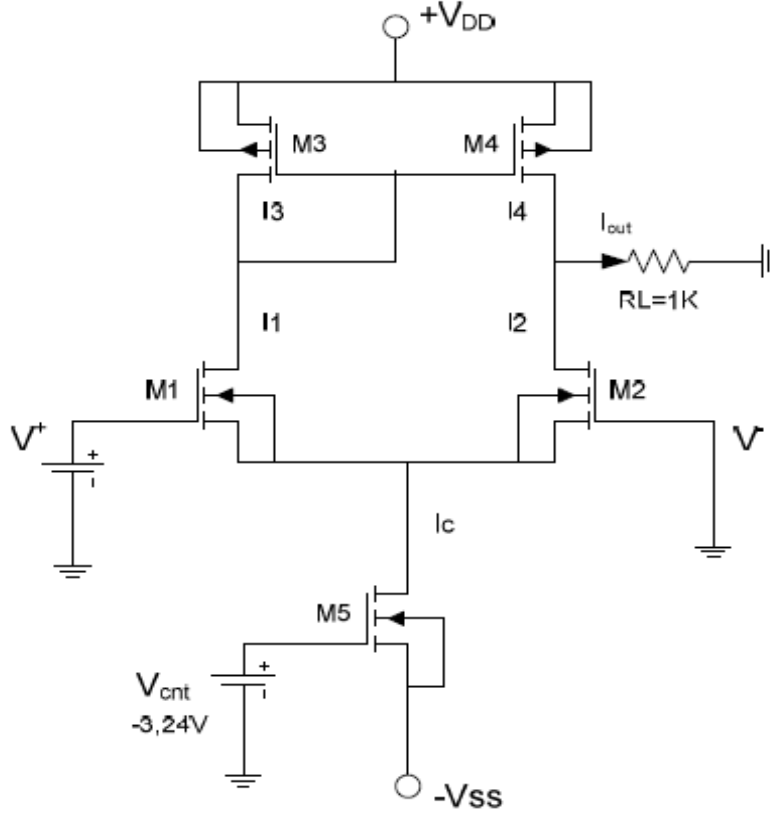
Bütün bu sakıncalara rağmen, günümüzde MOS teknolojisi analog devrelerde gittikçe yaygınlaşmaktadır. Bunun nedeni, daha önce de belirtildiği gibi, analog ve dijital sistemlerin gün geçtikçe iç içe girmesidir. Dijital sistemlerde MOS teknolojisinin kullanılması, analog sistemlerde de aynı teknolojinin kullanılabilir olması, ekonomik açıdan büyük yararlar sağlamaktadır. Bunun yanı sıra, yüksek giriş direnci, çekilen akımın düşük olması gibi nedenlerden dolayı, MOS yapılar yarar sağlamaktadır [10].

2.8.2. Temel CMOS OTA yapısı

Mevcut bipolar OTA yapılarında, lineer bölgede çalışabilmek için fark geriliminin oldukça küçük tutulması sorunu, CMOS tekniği ile yapılan OTA'lar da iyileştirilmeye çalışılmıştır. En basit OTA yapısı, Şekil 2.11' de verilen kendiliğinden kutuplamalı aktif yüklü CMOS fark kuvvetlendiricisi yardımıyla kurulabilir.

M1 ve M2, n kanallı transistörlere eş transistörlerdir. Bunların (W/L) oranları eşittir ($W=30\mu\text{m}$, $L=3\mu\text{m}$) Aynı özellikler, p kanallı M3-M4 çifti için de geçerlidir. Yapıdaki tüm akım seviyeleri I_c akımı ile belirlenir. Bu akım M5 transistörüne uygulanan kutuplama gerilimi (V_{cnt}) ve W/L oranına bağlıdır. M5 için $W=45\mu\text{m}$, $L=3\mu\text{m}$ olarak seçilmiştir.

V_{cnt} gerilimi ise transistörü doyumda çalıştıracak büyüklükte olmalıdır. Yapıda tüm kaynak uçları, transistörlerin bazına bağlıdır, bu şekilde gövde etkisi elimine edilmiş olur.



Şekil 2.11. Temel CMOS OTA yapısı

Alçak frekanslarda, transistörlerin çıkış dirençleri ve gövde etkisi ihmal edilirse temel CMOS OTA 'nın çıkış akımı (2.19) bağıntısı kullanılarak bulunur.

$$I_1 = \frac{\beta}{2} (V_{GS}^+ - V_{TH})^2 \quad \beta = \mu C_{ox} \left(\frac{W}{L} \right) \quad (2.16)$$

$$I_2 = \frac{\beta}{2} (V_{GS}^- - V_{TH})^2 \quad (2.17)$$

$$I_{out} = I_1 - I_2 = \frac{\beta}{2} \Delta V_{in} \sqrt{\frac{2I_c}{\beta I_2} - \Delta V_{in}^2}, \quad \Delta V_{in} = V^+ - V^-, \quad I_1 + I_2 = I_c \quad (2.18)$$

Büyük kontrol akımı (I_c), küçük β ve ΔV_{in} için çıkış akımı,

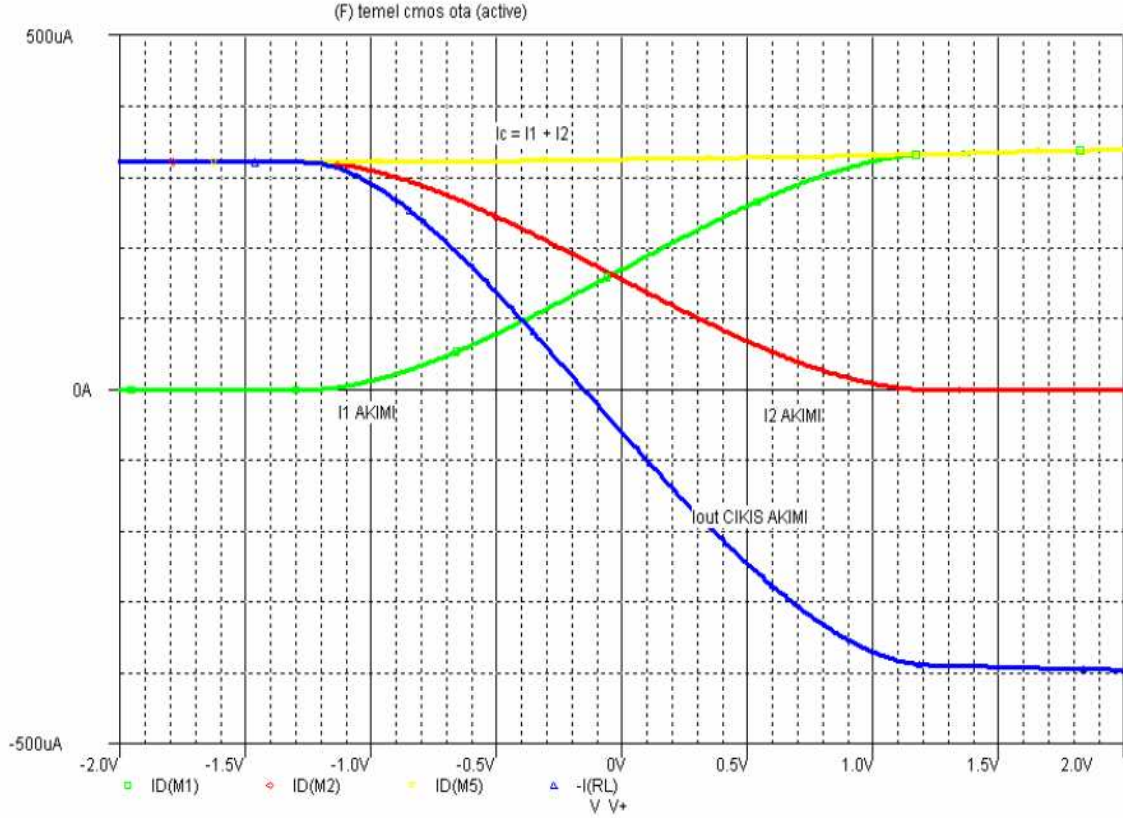
$$I_{out} = \sqrt{\beta \cdot I_c} \cdot \Delta V_{in} \quad (2.19)$$

olur.

CMOS OTA' nın eğimi ise yaklaşık olarak,

$$g_m \equiv \frac{\partial I_{out}}{\partial \Delta V_{in}} = \frac{I_{out}}{\Delta V_{in}} \cong \sqrt{\beta \cdot I_c} \quad (2.20)$$

şeklinde bulunabilir.



Şekil 2.12. Temel CMOS OTA çıkış ve kutuplama akımları

Şekil 2.12' de verilen temel CMOS OTA devresinin simülasyon sonuçları incelendiğinde yaklaşık olarak $I_c = 320 \mu A$ olduğu görülmektedir. Bu değer şekilden de görülebileceği gibi I_1 ve I_2 akımlarının toplamıdır. M1 ve M2 transistörleri arasındaki dengesizlikten dolayı, eğriler giriş gerilimleri farkının sıfırında kesişmezler.

Sonuç olarak, bipolar yapılarda eğim sadece kontrol akımına (I_c) bağlıdır ve eleman boyutlarından bağımsızdır. MOS fark kuvvetlendiricilerinde ise eğim hem kontrol akımına hem de elemanın boyutlarına bağlı olmaktadır. Giriş gerilim sınırlaması CMOS OTA'larla biraz daha aşılmıştır. Bipolar OTA'da fark giriş gerilimi 50 mV' un üzerine çıkamazken, CMOS yapılarda bu değer Şekil 2.12'deki gibi, yaklaşık 500 mV seviyesine ulaşmıştır.

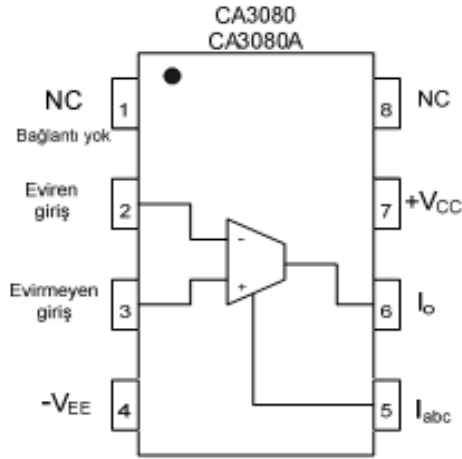
2.9. CA3080 OTA Entegresinin İncelenmesi

2.9.1. Giriş

Piyasada CA3080, CA3094, LM13600 ve LM13700 gibi içerisinde tek ve çift olarak OTA' nın tasarlandığı tümdevreler bulunmaktadır. Bunların içinde en kolay bulunabilen ve popüler olan CA3080 entegresidir [11].

2.9.2 CA3080 Entegresi Katalog Bilgileri

CA3080 entegresi Intersil firmasının ürettiği, bipolar yapıya sahip olan bir entegredir. Piyasada kolayca bulunabilir ve fiyatı yaklaşık olarak 2–2.5 TL' dir. Hemen hemen aynı özelliklere sahip CA3080A entegresi de vardır. Bu entegrenin çalışma sıcaklığı CA3080' e göre farklılıklar göstermektedir. Besleme gerilimleri +2 V ile + 15 V ve -15 V arasında değişmektedir. Bunlara ait uç bağlantıları ve oda sıcaklığındaki tipik özellikleri Şekil 2.12 ve Tablo 2.1' de verilmiştir.



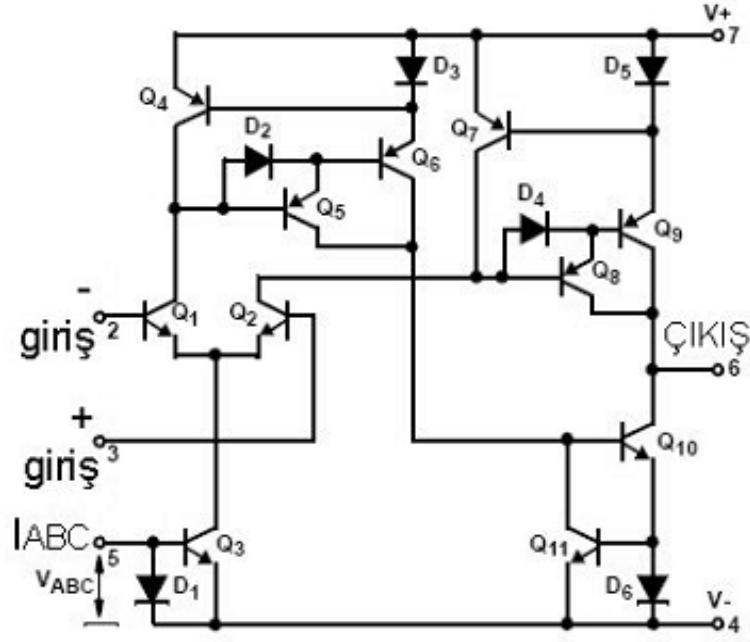
Şekil 2.13. CA3080 entegresi iç bağlantı yapısı

Tablo 2.1. CA3080 OTA parametre değerleri

Elektriksel değerler 25 °C’ de $V_{CC}=15\text{ V}$, $V_{EE}=-15\text{ V}$		
Parametreler	CA3080	CA3080A
Slaw Rate	50 V/ μ S	50 V/ μ S
Açık Çevrim BantGenişliği $I_{abc}=500\mu\text{A}$	2MHz	2MHz
Çıkış Akımı I_o ($I_{abc}=500\text{ }\mu\text{A}$, $R_L=0\text{ }\Omega$)	350 $\mu\text{A}(\text{min})$ 650 $\mu\text{A}(\text{max})$	350 $\mu\text{A}(\text{min})$ 650 $\mu\text{A}(\text{max})$
Çıkış Akımı I_o ($I_{abc}=5\text{ }\mu\text{A}$, $R_L=0\text{ }\Omega$)	5 μA	5 μA
Çıkış Gerilimi V_{out} $I_{abc}=500\text{ }\mu\text{A}$, $R_L=\infty$	13.5 V -14.4 V	13.5 V -14.4 V
Çıkış Gerilimi V_{out} $I_{abc}=500\text{ }\mu\text{A}$, $R_L=0$	13.8 V -14.5 V	13.8 V -14.5 V
Ofset Giriş Gerilimi ($I_{abc}=500\text{ }\mu\text{A}$)	0.4 mV	0.4 V
Ofset Giriş Gerilimi ($I_{abc}=5\text{ }\mu\text{A}$)	0.3 mV	0.3 V
Ofset Giriş Akımı ($I_{abc}=500\text{ }\mu\text{A}$)	0.12 μA	0.12 μA
Giriş Direnci ($I_{abc}=500\text{ }\mu\text{A}$)	26 K Ω	26 K Ω
Çıkış Direnci ($I_{abc}=500\text{ }\mu\text{A}$)	15 M Ω	15M Ω
Giriş Kapasitesi $I_{abc}=500\text{ }\mu\text{A}$, $f=1\text{ MHz}$	3.6 pF	3.6 pF
Çıkış Kapasitesi $I_{abc}=500\text{ }\mu\text{A}$, $f=1\text{ MHz}$	5.6 pF	5.6 pF
Geçiş İletkenliği $I_{abc}=500\text{ }\mu\text{A}$	6700 $\mu\text{S}(\text{min})$ 9600 $\mu\text{S}(\text{tipik})$ 13000 $\mu\text{S}(\text{max})$	7700 $\mu\text{S}(\text{min})$ 9600 $\mu\text{S}(\text{tipik})$ 12000 $\mu\text{S}(\text{max})$
Propagasyon Gecikmesi $I_{abc}=500\text{ }\mu\text{A}$	45 ns	45 ns
Çalışma Sıcaklığı	0 °C ile 70 °C	-55 °C ile 125°C

2.9.3. CA3080 OTA Entegresinin İç Yapısı

CA3080 entegresi bipolar yapıya sahiptir. Şekil 2.14’de görüldüğü gibi 11 transistör ve 6 diyot kullanarak OTA yapısı oluşturulmuştur [2].



Şekil 2.14. CA3080 OTA entegresi devre şeması

Burada Q_1 ve Q_2 transistörleri “differential pair” denilen fark yükseltici kısmını oluşturmaktadır. Devrede 4 akım aynası bulunmaktadır. Şekil 2.14’de Q_4 , Q_5 ve Q_6 transistörleri ile D_2 ve D_3 diyetleri 1. akım aynasını oluşturmaktadır. Q_7 , Q_8 ve Q_9 transistörleri ile D_4 ve D_5 diyetleri 2. akım aynasını ve Q_3 transistörü ile D_1 diyeti 3. akım aynasını oluşturmaktadır. Q_{10} ve Q_{11} transistörleri ile D_6 diyeti 4. akım aynasını oluşturmak için kullanılmıştır. D_2 ve D_4 diyetleri, devre hızını arttırmak için, Q_5 ve Q_8 transistörlerinin karşısına bağlanır. Şekil 2.13’de görüldüğü üzere OTA, 1 adet fark yükseltici ve 4 adet akım aynasından meydana gelmektedir. Bu akım aynalarından 3. ve 4. akım aynaları söndüren tip akım aynası, 1 ve 2. akım aynaları kaynak tipi akım aynasıdır.

2.10. LM13700 OTA Entegresinin İncelenmesi

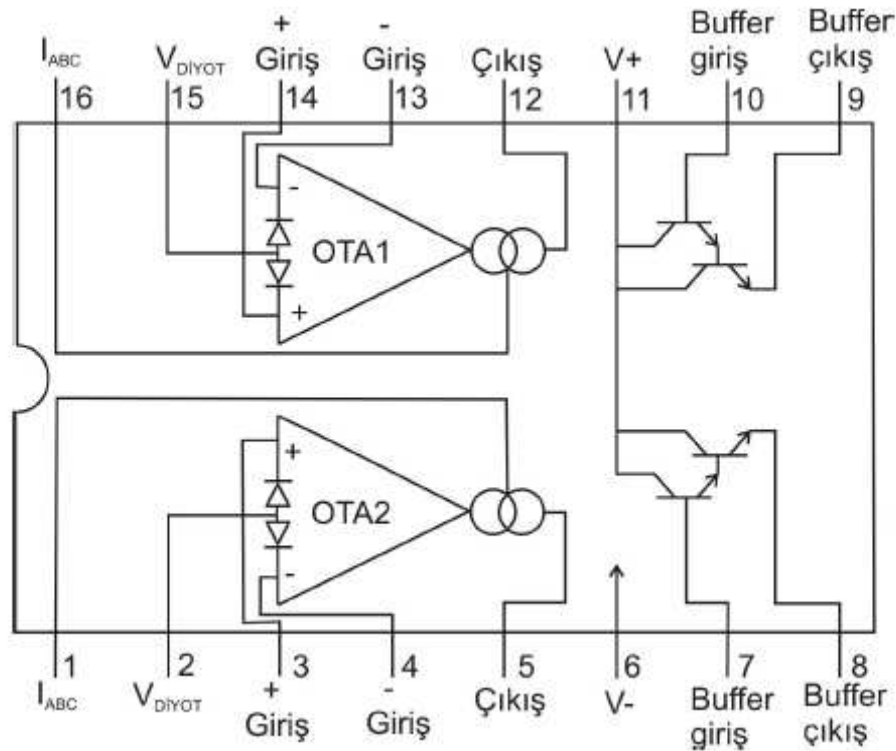
LM13700 OTA entegresi, lineerleştirme diyeti ve bufferdan meydana gelen 16 bacaklı bir entegredir ve içinde 2 tane birbirinden bağımsız kullanılabilen OTA bulunmaktadır. Her iki OTA ortak beslenmektedir.

Lineerleştirme diyotu girişteki bozucu etkileri azaltır ve giriş gerilim seviyesinin yüksek olmasını sağlar. Buffer ise çıkış direncinin düşürülmesini ve çıkış akımının yüksek olmasını sağlar. OTA'ların giriş gerilim farkı seviyeleri çok düşüktür. LM13700 entegresinde şu tipik değerler vardır :

$$g_m = 9.6 \text{ mS}$$

$$I_{abc} = 500 \text{ } \mu\text{A}$$

$$g_m = 19.2 \times I_{abc} \text{ (Oda sıcaklığında)}$$

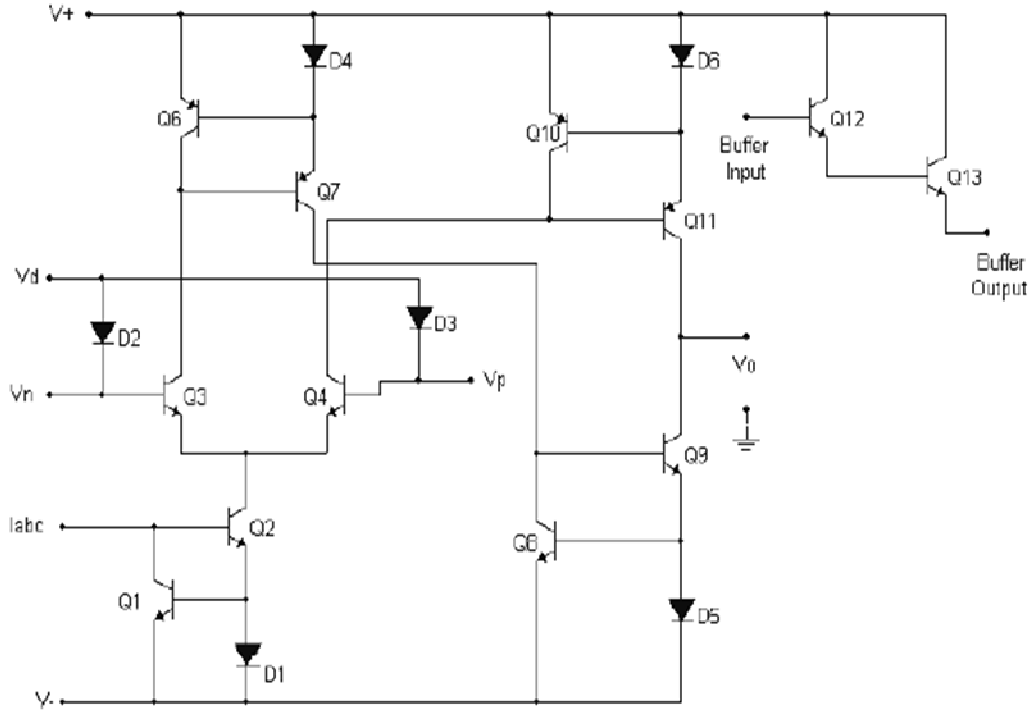


Şekil 2.15. LM13700 entegresi iç bağlantı yapısı

LM13700 entegresine, içerisinde lineerleştirme diyotu ve buffer barındırdığı için ikinci nesil OTA denilmektedir. Lineerleştirme diyotlarını ve buffer'ı kullanmak tamamen isteğe bağlıdır. İstenirse sadece OTA kullanılabilir. Bu durumda simülasyon yaparken sorun çıkmaması için V_{diyot} girişine, buffer girişine ve buffer çıkışına sonsuz direnç bağlanabilir [17].

Eğer OTA'ın çıkışı buffer'ın girişine bağlanırsa, buffer'ın çıkışı OTA'ın çıkışı gibi düşünülmektedir. Buffer, çıkış akımını yükseltmekte ve OTA'nın çıkışına bağlanacak devrenin veya elemanın OTA'lı devreye olan bozucu etkilerini önlemektedir. OTA'nın çıkış direnci yüksektir ve eğer OTA'nın çıkışı buffer'ın girişine bağlanırsa ve buffer'ın çıkışı, çıkış ucu olarak kullanılırsa çıkış direnci düşürülmüş olur.

Buffer kısmı kullanılmak istenirse, OTA' nın çıkışını buffer'ın girişine bağlamakla birlikte buffer'ın çıkışına bir yük direnci bağlanmalı ve bu yük direncinin diğer ucu negatif besleme ucuna bağlanmalıdır. Yük direncinin diğer ucu toprağa bağlanarak buffer kısmı kullanılamaz. İstenirse buffer giriş ve çıkışları açık devre olarak da bırakılabilir.

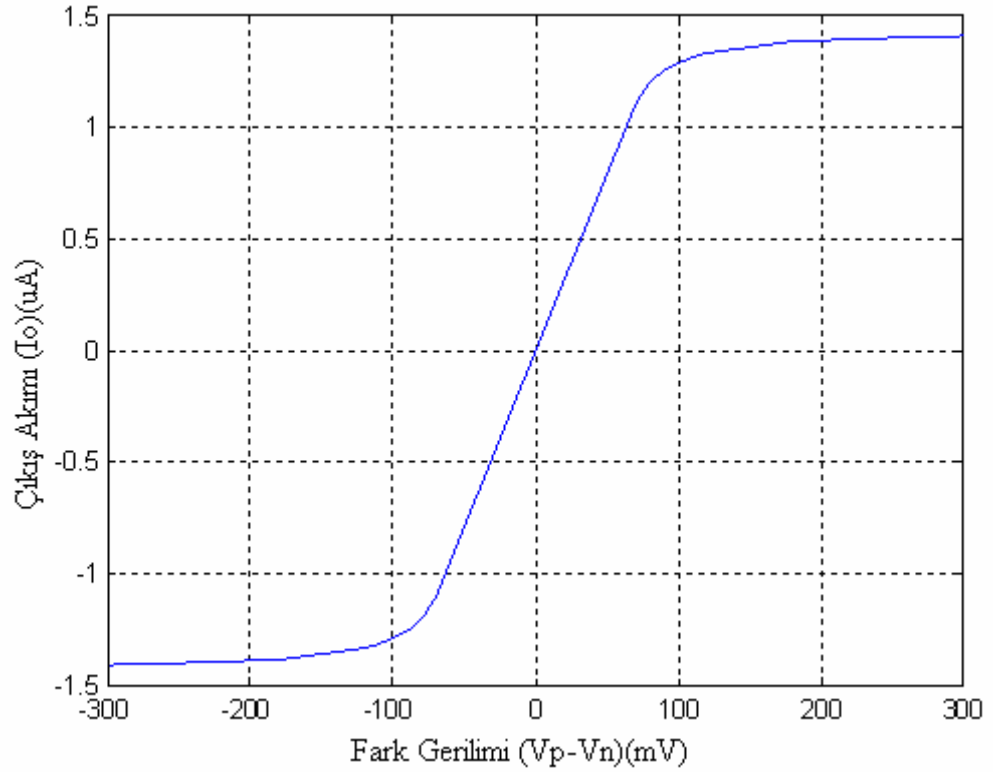


Şekil 2.16. LM13700 entegresi devre şeması

Bu devrede Q3 ve Q4 transistörleri fark yükseltici kısmını oluşturmaktadır ve OTA'nın V+ ve V- girişleri buradan uygulanmaktadır. D2 ve D3 diyotları lineerleştirme diyotlarıdır. Q1, Q2 transistörleri ve D1 diyodu akım aynası devresidir ve bu devre sayesinde $I_{abc} = I_3 + I_4$ olmaya zorlanır. I_3 ve I_4 akımları Q3 ve Q4 transistörlerinin kollektör akımlarıdır.

Düşük giriş gerilimleri için yaklaşık olarak $I_3=I_4 = (I_{abc} /2)$ olur. Q6, Q7 ve D4 elemanları, Q10, Q11 ve D6 elemanları, Q8, Q9 ve D5 elemanları ayrı ayrı üç adet akım aynasıdır ve bu akım aynalarının sayesinde çıkış akımının I_4-I_3 olması sağlanır. Darlington bağlanmış Q12 ve Q13 transistörleri ise buffer elemanıdır.

LM13700 OTA entegresinin girişine uygulanan fark gerilimi ile çıkışında elde edilen akıma ilişkin karakteristik Şekil 2.17'de görülmektedir.



Şekil 2.17. LM13700 OTA entegresi için elde edilen karakteristik eğri

3. OTA-C DEVRELERİNİN OP-AMP DEVRELERİ İLE PERFORMANS KARŞILAŞTIRMASI

3.1. Giriş

OP-AMP gerilim kontrollü gerilim kaynağı özelliği gösterir, çıkış direnci çok küçüktür ve kazancı;

$$K = \frac{V_o}{V_1 - V_2} \quad (3.1)$$

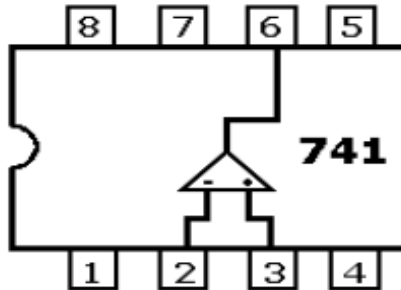
bağıntısıyla tanımlanır. OTA ise gerilim kontrollü akım kaynağı özelliği gösterir, çıkış empedansı yüksektir ve kazancın tanım bağıntısı;

$$G = \frac{I_o}{V_1 - V_2} \quad (3.2)$$

şeklindedir. OP-AMP' lar gelişmiş ve ucuz olmalarına rağmen, tümleşik devre elde etmek için pek uygun olmadıklarından OTA gibi elemanlar kullanılmaktadır. OTA'lar OP-AMP'a benzerler ve OP-AMP'lar gibi kullanılabilirler. OTA'ların OP-AMP'lara göre gerilim kazançları düşüktür. Ancak, çıkış akımı kontrol edilebildiğinden bir çok uygulamada tercih edilirler.

3.2. Temel OTA ve OP-AMP Yapıları

Bu tez çalışmasında yapılan analizlerde, OP-AMP piyasada rahatça bulunabilen LM741 entegresi kullanılmıştır. Şekil 3.1'de verilen LM741 bacak bağlantısına göre bu entegrenin kullanılmakta olan 5 adet bacağı bulunmaktadır. Bu bacaklar sırasıyla; +giriş, - giriş, + besleme, -besleme ve çıkış uçlarıdır.

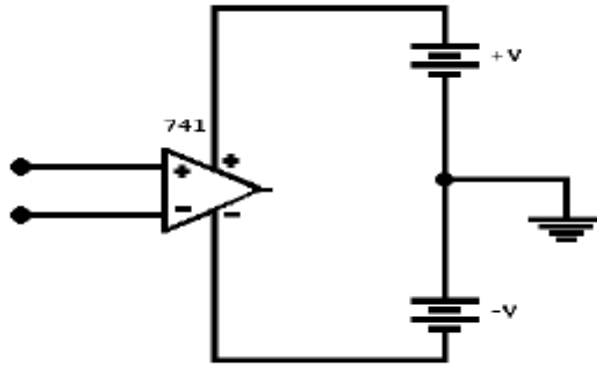


Şekil 3.1. LM741 entegresi iç bağlantı şeması

LM741 OP-AMP' ın Pin Numaraları:

- 1- Offset sıfırlama
- 2- - giriş
- 3- + giriş
- 4- - V
- 5- + V
- 6- OP-AMP çıkışı
- 7- Pozitif besleme gerilimi
- 8- Boş uç

OP-AMP sembolünde +V ve -V uçları, besleme kaynağının bağlandığı uçlardır. Bir OP-AMP'a ± 5 V, ± 12 V, ± 15 V, ± 18 V gibi besleme gerilimi verilebilir. OP-AMP'ın AC sinyal yükseltmesinde tek güç kaynağı kullanmak yeterlidir. Genellikle OP-AMP'lar simetrik kaynaktan beslenir.

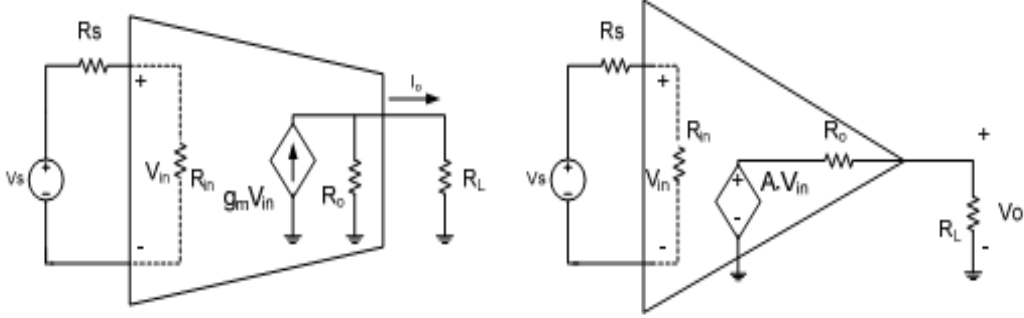


Şekil 3.2. OP-AMP elemanının simetrik kaynaktan beslenmesi

Şekil 3.2'de OP-AMP'ın simetrik kaynaktan beslenmesi durumu görülmektedir. Örneğin bir OP-AMP devresi olarak 741 entegresi kullanılacaksa, entegrenin 7 nolu ucuna pozitif besleme, 4 nolu ucuna ise negatif besleme uygulanır. Şekil 3.2'de görülen (+) giriş faz çevirmeyen giriş ucu, (-) giriş faz çeviren giriş ucunu gösterir.

Şekil 2.12' de verilen CA3080 OTA entegre iç bağlantı yapısına göre, entegrenin kullanımda olan 6 bacağı vardır. 2 ve 3 nolu bacaklar fark gerilimlerini oluşturan pozitif ve negatif giriş gerilimlerini, 6 nolu bacak çıkışı, 4 ve 7 nolu bacaklar - ve + besleme girişlerini oluştururlar. 5 nolu bacak ise CA3080 entegresinin işlemsel geçiş iletkenliğini temsil eden g_m 'in değerini ayarlamaya yarayan DC akım kaynağının bağlanacağı baktır. CA3080 entegresinde 1 ve 8 nolu bacaklar kullanılmamaktadır. Burada I_{abc} ile temsil edilen kontrol akımı $1\mu A$ ile $400\mu A$ arasında olması OTA' nın doğrusal olarak çalışmasını sağlayacaktır.

OTA' ların insanlara çekici gelmesinin sebebi, klasik düşük çıkış dirençli OP-AMP' lara göre hızlı olmaları ve kazançlarının kutuplama akımıyla ayarlanabilir olmasıdır. Ayrıca OTA' lar, OP-AMP' lara göre önemli derecede daha yüksek band genişliklerine sahiptirler [15].



Temel OTA devresi

$$I_o = \frac{R_o}{R_o + R_L} g_m V_{in}$$

$$V_{in} = \frac{R_o}{R_o + R_L} g_m V_{in}$$

$$G_m = \frac{I_o}{V_{in}} = \left[\frac{R_o}{R_o + R_L} \right] g_m \left[\frac{R_{in}}{R_S + R_{in}} \right]$$

ideal OTA

$$G_m = g_m$$

Temel OP-AMP devresi

$$V_o = \frac{R_L}{R_o + R_L} A_v V_{in}$$

$$V_{in} = \frac{R_L}{R_o + R_L} A_v V_{in}$$

$$A = \frac{V_o}{V_{in}} = \left[\frac{R_L}{R_o + R_L} \right] A_v \left[\frac{R_{in}}{R_S + R_{in}} \right]$$

ideal OP-AMP

$$A = A_v = \infty$$

Şekil 3.3. Temel OTA ve OP-AMP devreleri ile bu devrelere ait bağıntılar

Şekil 3.3' de verilen devreler OTA ve OP-AMP'a ait temel devrelerdir. Burada R_{in} giriş direncini, R_o ise çıkış direncini göstermektedir. Tablo 3.1 'de ise OTA'nın kazancının g_m değeriyle ayarlanabildiği görülmektedir. OP-AMP' ta ise kazanç idealde sonsuz gerçekte ise 100000 civarındadır [15].

Tablo 3.1. OTA ve OP-AMP parametrelerinin karşılaştırılması

Yükseltici Tipi	İdeal Rin	İdeal Ro	İdeal Kazanç	Giriş Akımı	Giriş Gerilimi
OP-AMP	∞	0	∞	0	0
OTA	∞	∞	g_m	0	Sıfır değil

3.3. Gerçek OP-AMP Özellikleri

- 1- Giriş empedansları çok yüksektir ($Z_{in} = 6M\Omega$ kadardır. Dolayısıyla önceki devreyi yüklemeyiz).
- 2- Kazançları çok yüksektir ($A=100000$ kadardır).
- 3- Çıkış empedansları çok küçüktür (Z_{out} yaklaşık 0Ω ile 50Ω arasındadır. Çıkış dirençlerinin küçük olmasından dolayı çıkış akımları yüksek olur, bu akım 45 mA kadardır).
- 4- Band genişlikleri 1MHz civarındadır.
- 5- Besleme tek veya iki kaynaktan yapılabilir.
- 6- Çıkış gerilimleri, $V_{out} = A(V_2 - V_1)$ olur.
- 7- Girişe 0 V uygulandığında çıkışta yaklaşık 0 V elde edilir.

3.4. Gerçek OTA Özellikleri

- 1- OTA ' ya ait etkin tüm parametreler I_{abc} kontrol akımına bağlıdır ve I_{abc} ile ayarlanabilir.
- 2- Maksimum çıkış akımı (çıkış kısa devre) I_{abc} değerine eşittir.
- 3- OTA ' nın toplam akım tüketimi , yani OTA ' nın kaynaktan çektiği akım $2 \times I_{abc}$ civarındadır ve bu değer $I_{abc} = 0.1 \mu A$ olarak ayarlanarak çok az güç tüketimli bir OTA yapılabilir.
- 4- OTA ' nın giriş akım değerleri tipik olarak $I_{abc}/200$ civarındadır.
- 5- OTA ' nın giriş ve çıkış direnç değerleri I_{abc} ile değişen bir yapıdadır. Bunun için entegrenin katalog bilgilerinden yararlanılabilir.

3.5. OTA ve OP-AMP Arasındaki Farklılıklar

1. OP-AMP'lar gerilim modunda çalışır, girişleri ve çıkışları hep gerilimdir. Fakat OTA'ların girişleri gerilim çıkışları ise akımdır.
2. OP-AMP'lar sonsuz kazançlıyken, OTA'lar sonlu kazançta sahiptir.

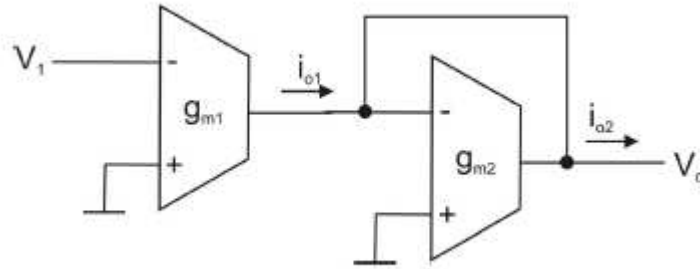
3. Birçok OP-AMP kazançlarının kontrolü, elektronik yollarla mümkün değilken, OTA'ların kazançları ayarlanabilir.
4. Hem OP-AMP hem OTA sonsuz giriş direncine sahiptir. Fakat, çıkış gerilimi OP-AMP'larda sıfırken, OTA' larda (ideal OTA' da) sonsuzdur.
5. OTA'ların iç devresi OP-AMP lardan farklıdır. OTA' lar tamamiyle transistör ve diyotlardan yapılır. Kondansatör ve direnç kullanılmaz.

3.6. Eviren Yükselteç Devresi

Eviren yükselteç devresinin yaptığı iş, girişe uygulanan sinyalin kazanç değeri kadar yükseltilmesini sağlamak ve 180 derece faz farkı oluşturarak çıkışa vermektir. Eviren yükselteç devrenin matematiksel olarak kazanç ifadesi

$$K = -\frac{R_2}{R_1} \quad (3.3)$$

şeklindeir. OTA ile gerçekleştirilen eviren yükselteç devresinde giriş sinyali elemanın negatif girişine uygulandığından sinyal kuvvetlendirilip evirilerek çıkışa verilir.



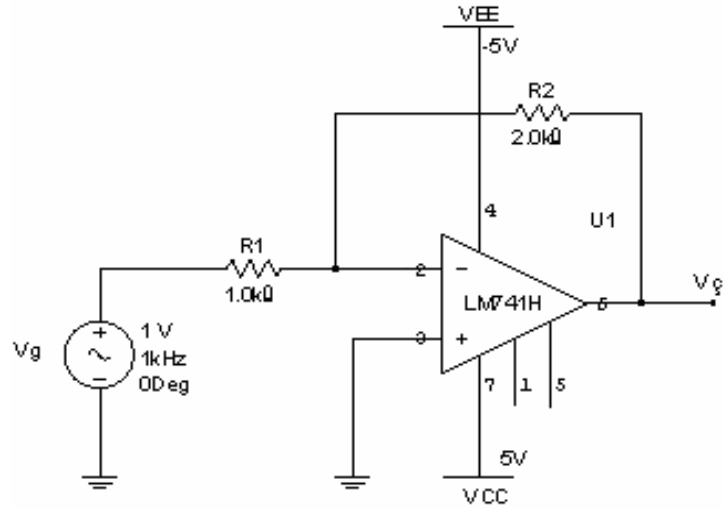
Şekil 3.4. OTA kullanan eviren yükselteç devresi

Şekil 3.4'de verilen eviren yükselteç devresinin matematiksel ifadesi

$$V_o = -\frac{g_{m1}}{g_{m2}} \times V_1 \quad (3.4)$$

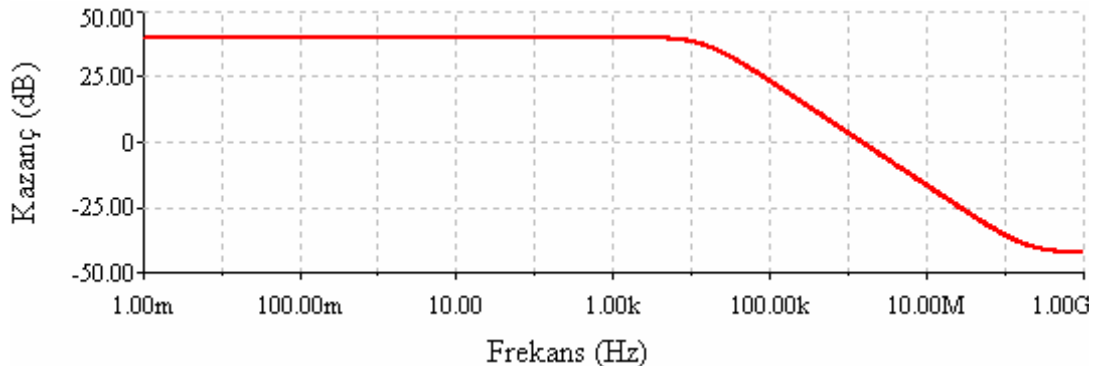
şeklindeir. Bu devrenin kazancı OTA'lara ait g_m değerleri değiştirilerek ayarlanabilir.

3.6.1. LM741 OP-AMP Kullanan Eviren Yükselteç Devresi



Şekil 3.5. OP-AMP kullanan eviren yükselteç devre şeması

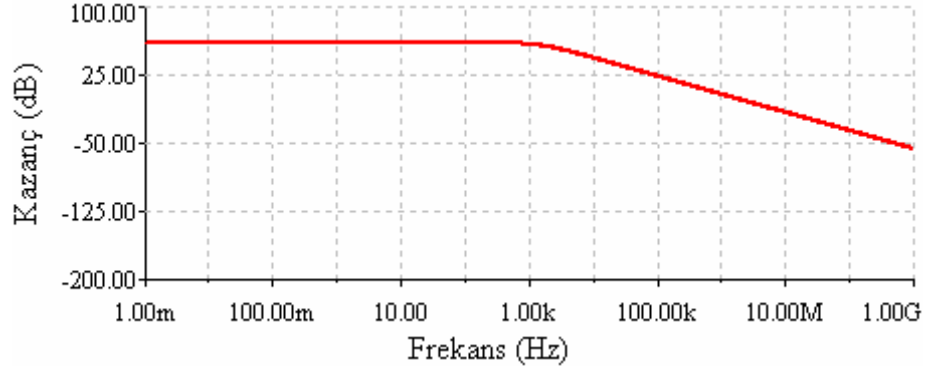
Eviren yükselteç devresinin simülasyonunda $R1=1\text{ k}\Omega$, $R2=2\text{ k}\Omega$ alınmıştır. Bu durumda $K=2$ dir. Devrenin girişine tepe değeri 1V ve $f=1\text{ kHz}$ olan bir sinyal uygulanmış ve çıkışındaki sinyal gözlenmiştir. Şekil 3.5’deki LM741 entegresi ile elde edilen eviren yükselteç devresinin uygulanan frekans ve elde edilen kazanç değerlerine göre elde edilen, frekans-kazanc karakteristiği Şekil 3.6’da görülmektedir.



Şekil 3.6. LM741 kullanan eviren yükselteç devresinin $K=2$ için elde edilen frekans-kazanc karakteristiği

Şekil 3.6 incelendiğinde frekansın artmasıyla, belli bir değerden sonra kazancın doğrusal olarak düştüğü görülmektedir. Her noktadaki bant genişliğinin, kazançla çarpımı her zaman aynı değeri verir. Ancak kazanç ile bant genişliği ters olarak değişmektedir. Burada $K=2$ için bant genişliği 10 kHz seviyesindedir.

Şekil 3.5'deki devre için kazanç değerini artırdığımızda elde edilen frekans-kazanç karakteristiği farklılık göstermektedir. Şekil 3.7'de $K=1000$ değeri için elde edilen frekans kazanç karakteristiği görülmektedir.

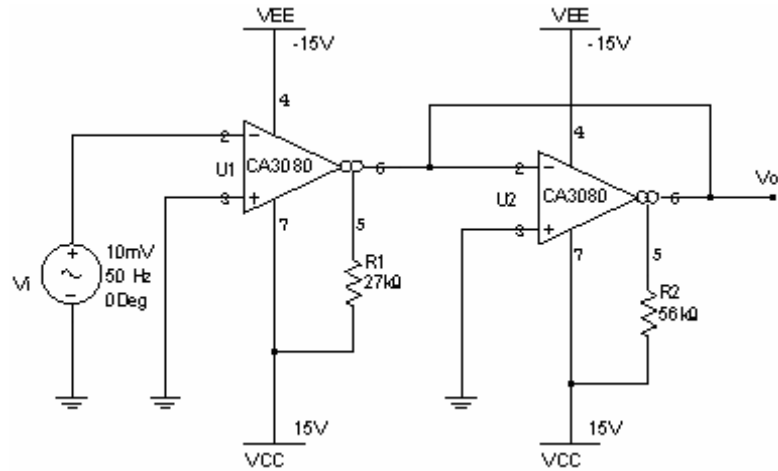


Şekil 3.7. LM741 kullanan eviren yükselteç devresinin $K=1000$ için frekans-kazanç karakteristiği

Şekil 3.7 incelendiğinde $K=1000$ değeri için bant genişliği 1 kHz olarak görülmektedir. Bu durum, OP-AMP elemanının düşük kazançlarda daha iyi sonuçlar verdiği anlamına gelmektedir.

3.6.2. CA3080 OTA kullanan Eviren Yükselteç Devresi

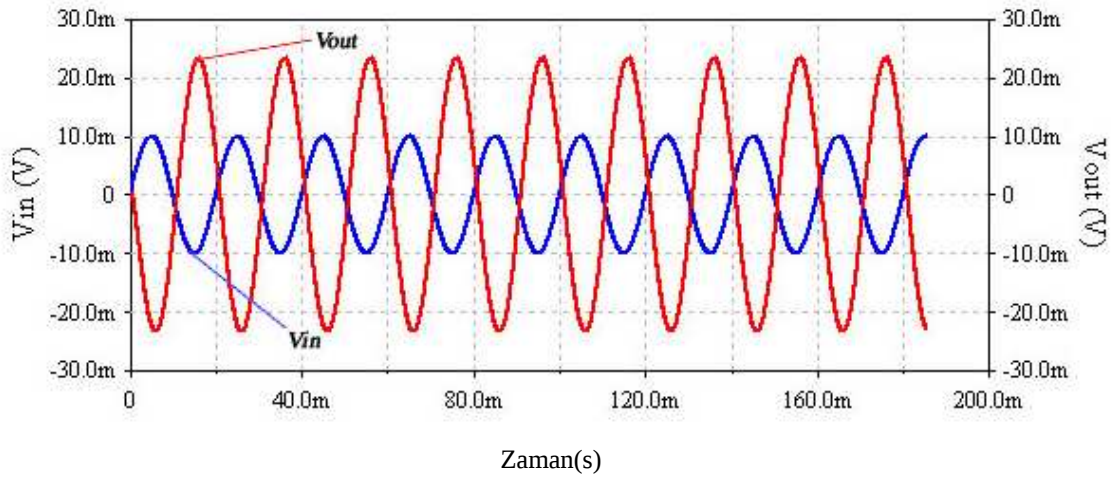
Şekil 3.4'de eviren yükselteç devresi CA3080 elemanı kullanılarak oluşturulmuştur.



Şekil 3.8. CA3080 kullanan eviren yükselteç devresi

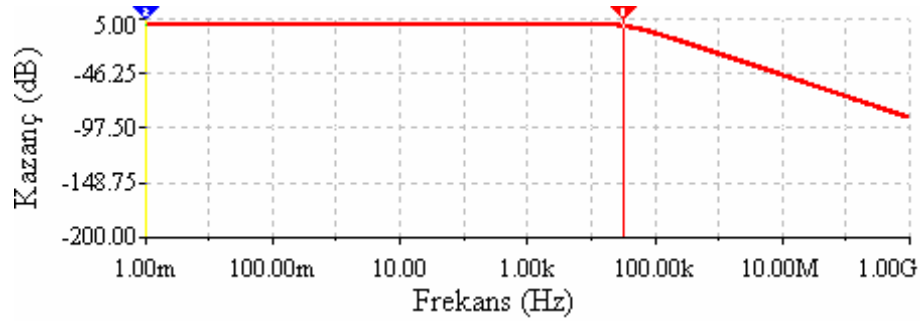
Devrenin eleman değerleri olarak $R1=27 \text{ k}\Omega$ için $g_{m1}=20 \text{ mS}$, $R2=56 \text{ k}\Omega$ için $g_{m2}=10 \text{ mS}$ alınmış ve böylece (3.4) formülü gereğince kazanç, 2 olarak belirlenmiştir.

Devrenin girişine tepe değeri 10 mV olan sinüs işareti uygulanmış ve çıkışta tepe değeri yaklaşık 20 mV olan terslenmiş işaret elde edilmiştir.



Şekil 3.9. CA3080 kullanan eviren yükselteç devresinin giriş ve çıkış karakteristiği

Şekil 3.9'dan görüldüğü üzere çıkışta 2 mV civarında istenmeyen bir DC bileşen etkisi oluşmuş ve çıkış şekli 2 mV yukarı kaymıştır. Şekil 3.8'deki CA3080 OTA entegresi ile elde edilen eviren yükselteç devresinin uygulanan frekans ve elde edilen kazanç değerlerine göre ortaya çıkardığı frekans-kazanç karakteristiği Şekil 3.10'da görülmektedir.



Şekil 3.10. CA3080 kullanan eviren yükselteç devresinin frekans-kazanç karakteristiği

Şekil 3.10'dan görüldüğü gibi, $K=2$ değeri için bant genişliği 30 kHz seviyesindedir. OTA elemanın eviren yükselteç devresi için avantajı, yüksek kazanç değerlerinde daha net görülmektedir. OP-AMP elemanın, kazanç değeri yüksek olan devrelerde bant genişliğinin azaldığı ve yüksek kazanç değerlerinde CA3080 OTA entegresi ile elde edilen frekans-kazanç karakteristiğinin daha yüksek bant genişliğine sahip olduğu gözlenmiştir.

3.7. Evirmeyen Yükselteç Devresi

Evirmeyen yükselteç devresinde devrenin çıkış gerilimi R_1 ve R_2 dirençleriyle bölünerek OP-AMP'ın (-) giriş ucuna geri besleme yapılmıştır. OP-AMP'ı ideal varsayılırsa,

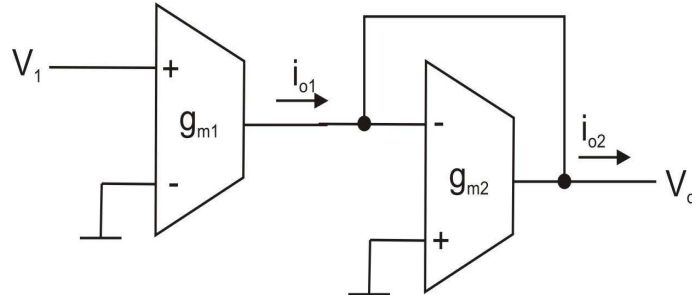
$$V_g = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \quad (3.5)$$

olur ve devrenin kazancı;

$$K = \frac{V_o}{V_g} = 1 + \frac{R_2}{R_1} \quad (3.6)$$

olarak bulunur. Devrenin giriş direnci OP-AMP'ın giriş direncine eşittir (çok büyük, ideal durumda sonsuz), çıkış direnci ise çok küçüktür (ideal durumda sıfır).

OTA ile gerçekleştirilen evirmeyen yükselteç devresinde devrenin kazancı OTA'ların g_m değerlerine bağlıdır. Şekil 3.11'deki devrenin (-) girişi toprağa verildiğinde evirmeyen yükselteç, (+) girişi toprağa verildiğinde eviren yükselteç elde edilmiş olur. Bu devrenin kazancı OTA'ların g_m değerleri ile ayarlanabilir.



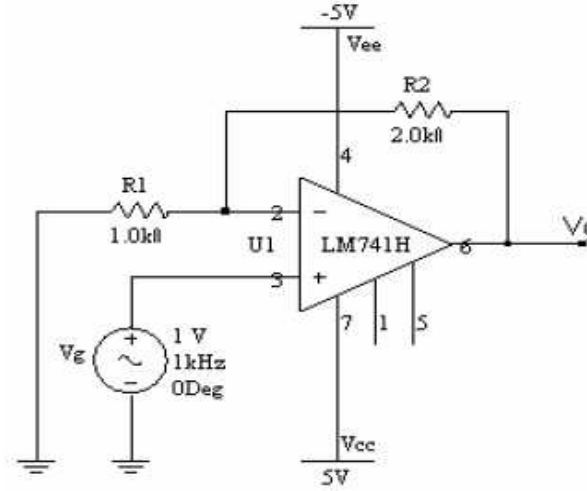
Şekil 3.11. OTA kullanan evirmeyen yükselteç devresi

Şekil 3.11'deki devre için,

$$V_o = \frac{g_{m1}}{g_{m2}} \times V_1 \quad (3.7)$$

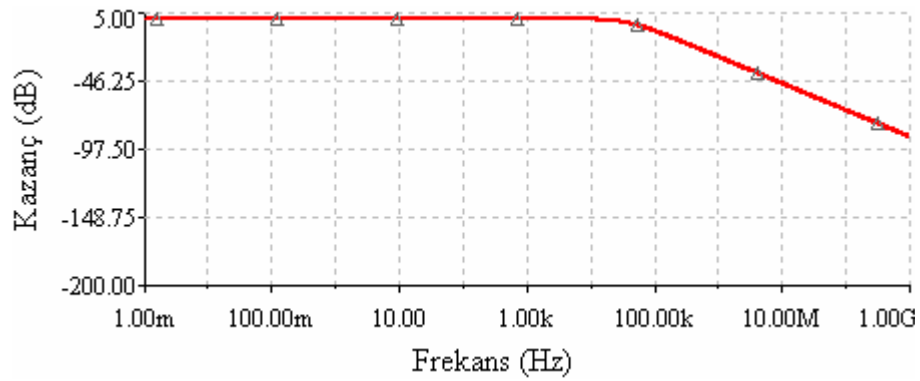
olur

3.7.1. LM741 OP-AMP Kullanan Evirmeyen Yükselteç Devresi



Şekil 3.12. OP-AMP kullanan evirmeyen yükselteç devresi

Şekil 3.12'deki devrenin incelenmesinde $R_1=1\text{ k}\Omega$, $R_2=2\text{ k}\Omega$ alınmıştır. Bu durumda $K=3$ tür. Devrenin girişine, tepe değeri 1 V ve $f=1\text{ kHz}$ olan bir sinyal uygulanmış çıkışındaki sinyal geçici durum analizi ile gözlenmiştir. Çıkışta işaretin terslenmediği ve giriş işaretinin 3 kat büyüdüğü görülmüştür. Şekil 3.13'de evirmeyen yükselteç devresinden elde edilen frekans kazanç karakteristiği görülmektedir.

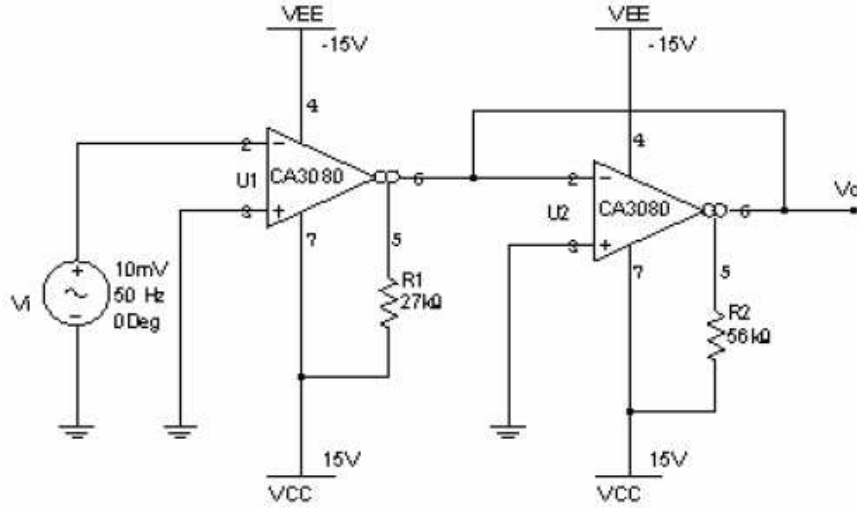


Şekil 3.13. OP-AMP kullanan evirmeyen yükselteç devresi frekans-kazanç karakteristiği

Şekil 3.13'de elde edilen frekans-kazanç karakteristiğinde $K=3$ değeri için bant genişliğinin 10 kHz seviyesinde olduğu gözlenmiştir.

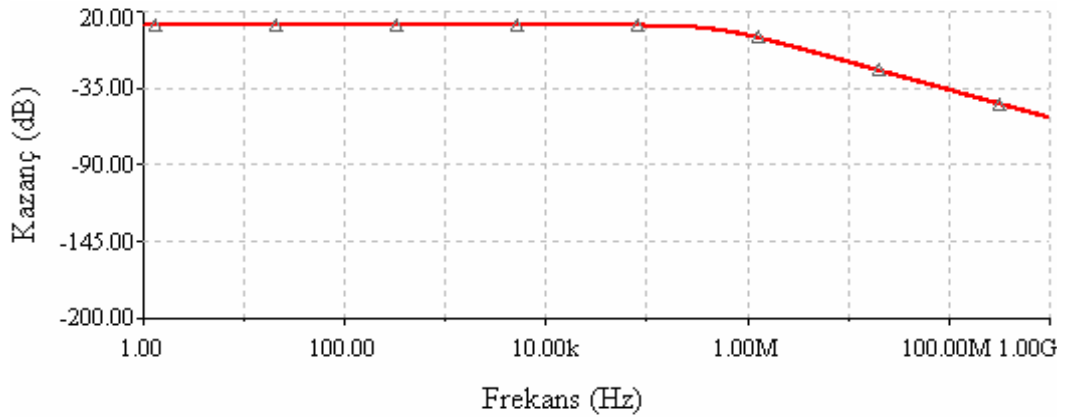
Eviren yükselteç devresinde olduğu gibi OP-AMP elemanı kullanan evirmeyen yükselteç devresi, $K=1000$ değeri için simüle edildiğinde bant genişliğinin 1 kHz seviyesinde olduğu görülmüştür.

3.7.2. CA3080 OTA Kullanan Evirmeyen Yükselteç Devresi



Şekil 3.14. CA3080 kullanan evirmeyen yükselteç devresi

Şekil 3.14'deki devrede; g_{m1} değeri 15, g_{m2} değeri 5 olarak ayarlanmıştır ve bu değerler için I_{abc} akımları sırayla 816 μA ve 267 μA olmalıdır (Şekil 3.14). İncelenen evirmeyen yükselteç devresinin girişine tepe değeri 10 mV olan sinüs kaynağı uygulanmıştır. Devrenin eleman değerlerine göre kazancı 3 olarak ayarlanmıştır. Buna göre çıkışta görülen işaret, sinüs işaretinin genliğinin 3 kat artmış halidir. Yani sıfır çizgisi üzerinde gezinen ve tepe değeri 30mV olan bir sinüs işareti çıkışta gözlenmiştir. Devreden elde edilen frekans-kazanç karakteristiği Şekil 3.15'de verilmiştir.

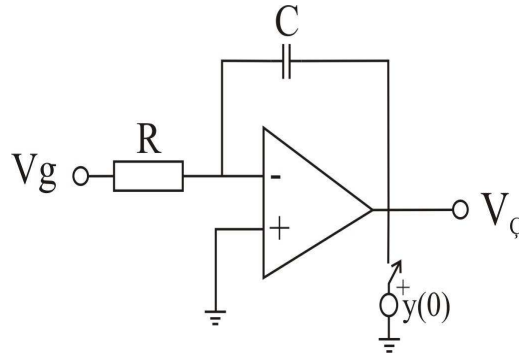


Şekil 3.15. CA3080 OTA kullanan evirmeyen yükselteç devresi frekans-kazanç karakteristiği

Şekil 3.15 incelendiğinde, CA3080 OTA elemanı kullanan evirmeyen yükselteç devresinin $K=3$ değeri için bant genişliği 100 kHz olarak görülmektedir. $K=3$ değeri için OP-AMP ile oluşturulan evirmeyen yükselteç devresine karşılık, OTA elemanı kullanan evirmeyen yükselteç devresinin bant genişliğinin daha yüksek olduğu görülmüştür. OP-AMP elemanı düşük kazanç ve frekans değerlerinde iyi sonuçlar vermesine rağmen, yüksek kazanç ve frekanslarda OTA elemanının daha yüksek bant genişliğine sahip olduğu gözlenmiştir.

3.8. İntegratör

Türev alıcı devrede bulunan kondansatör ile direncin yer değiştirmesi ile elde edilen bir devredir. Bu devre temel olarak girişindeki sinyalin integralini alarak çıkışa verir.



Şekil 3.16. OP-AMP kullanan kayıpsız integratör

OP-AMP'ın (-) ucunun bağlandığı düğüm için akım denklemi yazılırsa,

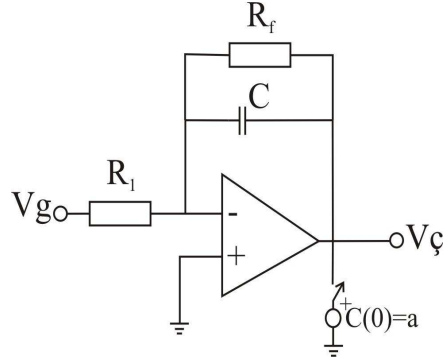
$$\frac{V_g(s)}{R} = -V_\phi(s) sC \quad (3.8)$$

$$V_\phi(t) = -\frac{1}{RC} \int V_g(t) dt \quad (3.9)$$

Bu devre kayıpsız integral alma devresidir. Şekil 3.17'de kayıplı integratör verilmiştir. Bu devrenin frekansı

$$f_d = \frac{1}{2\pi R_f C} \quad (3.10)$$

ile hesaplanır.

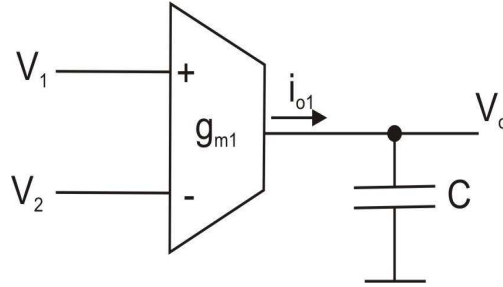


Şekil 3.17. OP-AMP kullanan kayıplı integratör

Burada R_f direnci geri besleme direncidir ve bu direncin bağlanmasının nedeni, ofset gerilimi ile kondansatörün sarj olarak devrenin çalışmasına bozucu etki yapmasını engellemektir. Bu direncin değeri R_1 direncinden en az 10 kat daha büyük olmalıdır. Bu devrenin entegral işlemini yapabilmesi için ;

$$f_g > f_d \quad (3.11)$$

şartı olmalıdır. Bunun anlamı devrenin girişindeki sinyalin frekansının, devre frekansından büyük olması gerektiğidir. Bu şart sağlanmazsa, devre entegral işlemini gerçekleştiremez ve yükselteç devresi gibi çalışır. Şekil 3.18’de gösterilen devre, girişindeki sinyalin integralini olarak çıkışa veren devredir. Çıkışında yalnızca kapasite olduğundan bu devre kayıpsız integratördür.



Şekil 3.18. OTA kullanan kayıpsız integratör

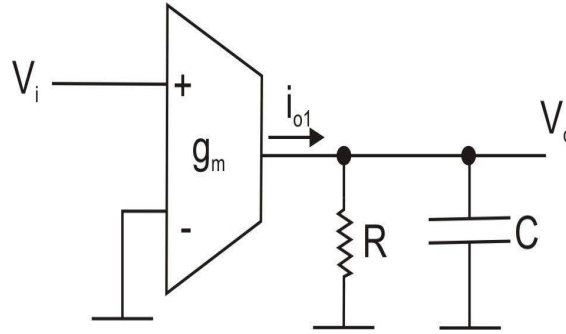
Şekil 3.18’deki devrenin matematiksel ifadesi,

$$V_o = \frac{1}{sC} I_o = \frac{1}{C} \int I_o \quad (3.12)$$

$$I_o = g_m (V_1 - V_2) \quad (3.13)$$

$$V_0 = \frac{1}{sC} I_0 = \frac{1}{C} \int I_0 \quad (3.14)$$

olur. Bu devrede V_1 girişi veya V_2 girişi toprağa bağlandığında tek girişli bir integratör elde edilir. V_1 'i giriş olarak kullanılıp V_2 toprağa bağlandığında tek girişli ve evirmeyen bir integratör elde ederiz. Ters olarak V_2 giriş olarak kullanıp V_1 toprağa bağlandığında tek girişli ve eviren bir integratör elde edilir. Kayıpsız integratör yerine, çıkışa paralel direnç bağlanarak elde edilen kayıplı integratör ile daha kolay sonuç elde edilir. OTA ile oluşturulan kayıplı integratör devresi Şekil 3.19'da verilmiştir.



Şekil 3.19. OTA kullanan kayıplı integratör

Şekil 3.19'da gösterilen devrenin matematiksel ifadesi,

$$\frac{V_0}{V_i} = \frac{g_m \cdot R}{s \cdot R \cdot C + 1} \quad (3.15)$$

Gibidir. Kayıpsız integratörde çıkış işaretinin genliğinin giriş işaretinin genliğine oranı g_m/C formülü ile hesaplanabilir. Yani integratör devresinin kazancı g_m ve C değerleri ile ayarlanabilir. Kayıplı integratörün kazancı ise (3.15) bağıntısının genliğidir.

Yani kayıplı integratörün kazancı;

$$\left| \frac{V_0}{V_i} \right| = \left| \frac{g_m \cdot R}{j \cdot \omega \cdot R \cdot C + 1} \right| = \frac{|g_m R|}{|j \cdot \omega \cdot R \cdot C + 1|} \quad (3.16)$$

ile hesaplanabilir.

(3.16)' da s yerine $j\omega$ değerinin yazıldığına ve integratör kazancı g_m , R ve C değerleri ile birlikte ω değerine yani frekansa bağlıdır..

Örneğin $g_m=19.2$ mS ($I_{abc}=1$ mA), $R=100$ Ω , $C=2.6$ μ F değerlerine sahip ve girişinde $f=1$ kHz frekansa sahip kare dalga sinyal olan kayıplı integratör kazancı;

$$\omega=2 \cdot \pi \cdot f=6.28k \quad (3.17)$$

$$Kazanç = \left| \frac{19.2m \times 100}{j \times 6.28k \times 100 \times 2.6\mu + 1} \right| \quad (3.18)$$

$$Kazanç = \left| \frac{1.92}{1 + j1.63} \right| = \left| \frac{1.92 - j31.14}{3.66} \right| = |0.52 - j0.86| = 1 \quad (3.19)$$

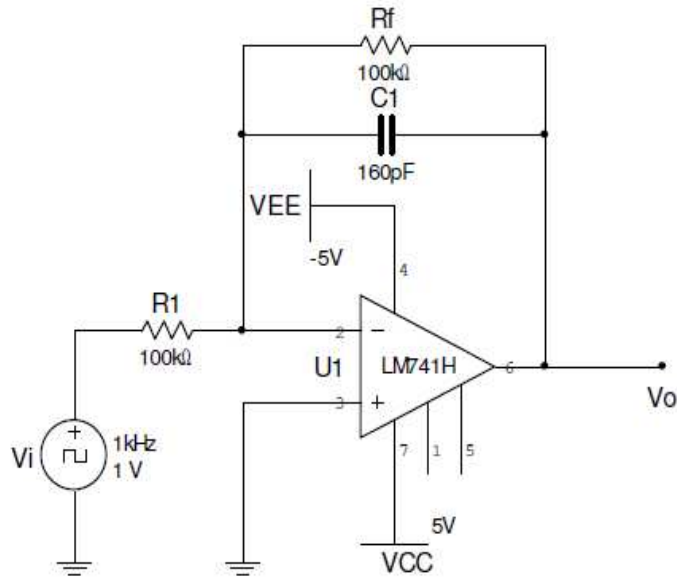
şeklinde hesaplanabilir. Aynı sonuç;

$$Kazanç = \frac{|1.92|}{|1 + j1.63|} = \frac{1.92}{1.91} = 1 \quad (3.20)$$

olarakta bulunabilir.

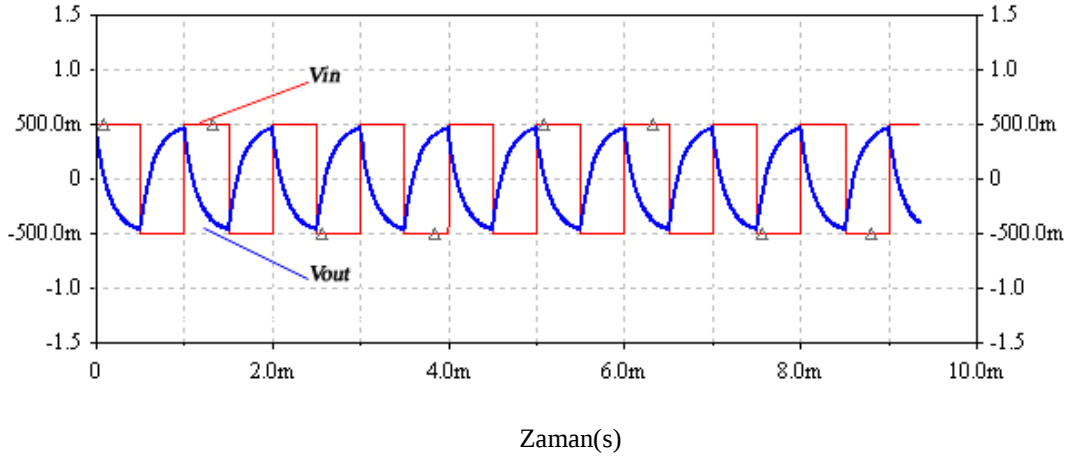
3.8.1. LM741 OPAMP Kullanan İntegratörün Frekans Analizi

Şekil 3.20’de LM741 OP-AMP entegresi kullanılarak elde edilen olan integratör devre verilmiştir.



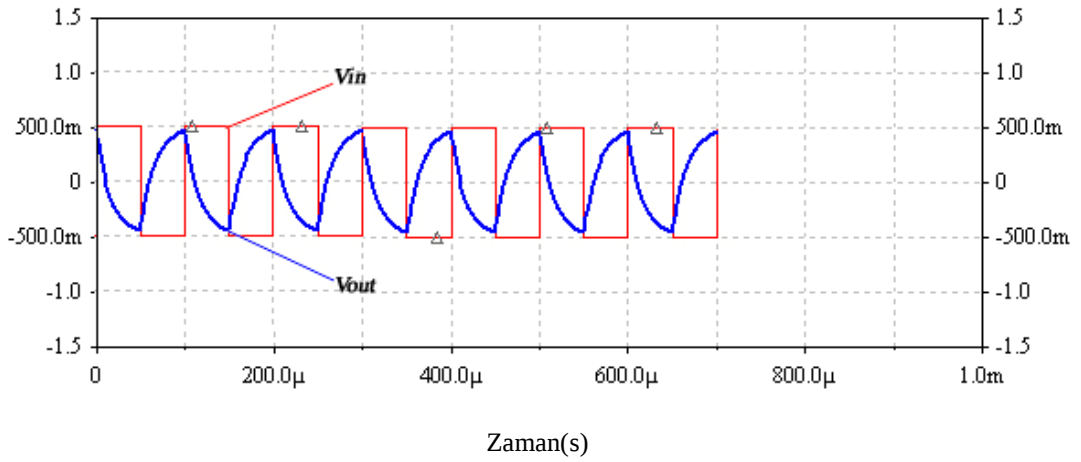
Şekil 3.20. LM741 OP-AMP’lı integratör

Devre girişine tepe değeri 1V ve $f=1$ kHz olan kare dalga sinyal uygulanmış çıkışındaki sinyal geçici durum analizi ile gözlemlenmiştir. Çıkışta V_i giriş sinyalinin integrali alınmıştır. Ayrıca devre frekansı hesaplama sonucu yaklaşık $f_d = 1$ kHz çıkmıştır. Şekil 3.21’den de görüleceği üzere giriş sinyalinin integrali alınmıştır.



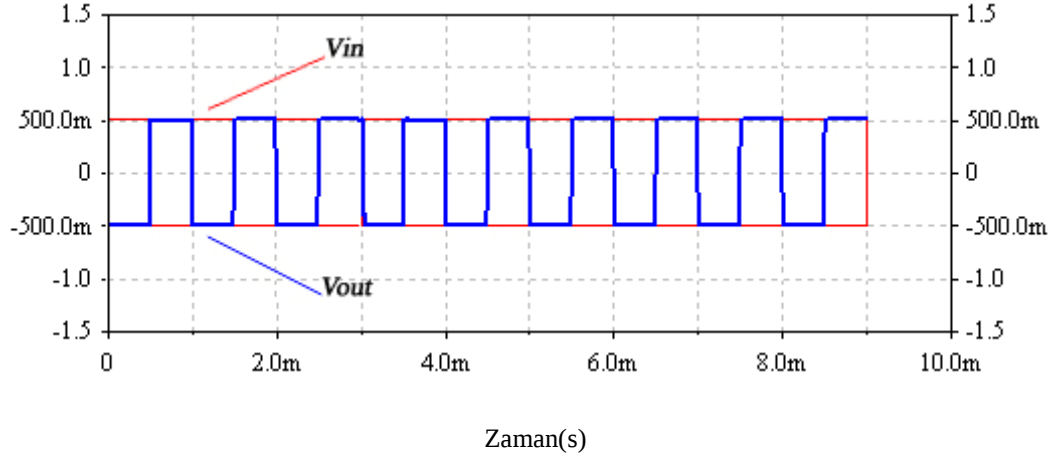
Şekil 3.21. Frekansı 1 kHz ve kazancı 1 olan kayıplı integratörün giriş-çıkış gerilim karakteristiği

Şekil 3.21’de sonucu verilen devrenin kazancı 1 olduğu için çıkış sinyali, giriş sinyali ile aynı seviyede görülmektedir. Eğer devreyi $R_1=100\text{k}\Omega$, $R_f=100\text{k}\Omega$, $C=160\text{ pF}$ değerlerini alarak kurarsak frekansı 10 kHz olan bir integratör elde edilmiş olur. Kazancı 1 ve $f_c=10\text{ kHz}$ olan integratörün sonuç eğrileri Şekil 3.22’de verilmiştir.



Şekil 3.22. Frekansı 10 kHz ve kazancı 1 olan kayıplı integratörün giriş-çıkış gerilim karakteristiği

Şekil 3.19’daki devrede $f_c=100\text{ kHz}$ olan bir integratör elde etmek için devre eleman değerleri $R_1=100\text{ k}\Omega$, $R_f=100\text{ k}\Omega$, $C=16\text{ pF}$ olarak değiştirilmelidir. Elde edilen çıkış grafiği Şekil 3.23’de gösterilmiştir.

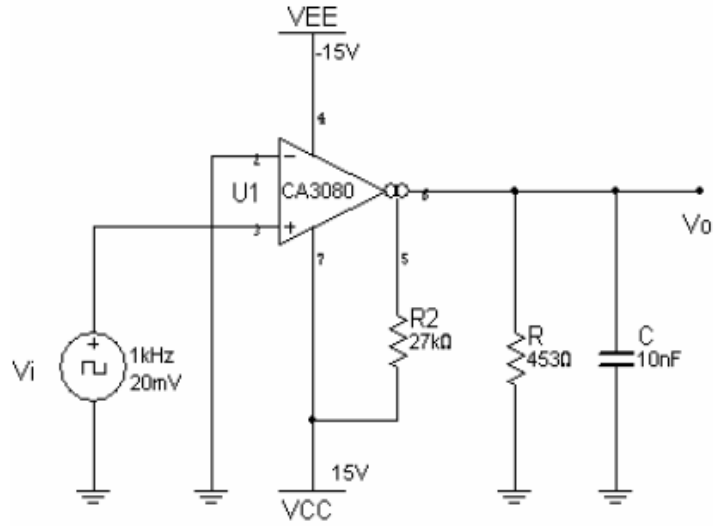


Şekil 3.23. Frekansı 100 kHz ve kazancı 1 olan kayıplı integratör giriş-çıkış gerilimi karakteristiği

Farklı frekans değerleri için elde edilen grafikler incelendiğinde OP-AMP elemanının Şekil 3.23’de verilen sonuç eğrisinde $f=100$ kHz için entegral alma işlemini gerçekleştiremediği gözlenmiştir.

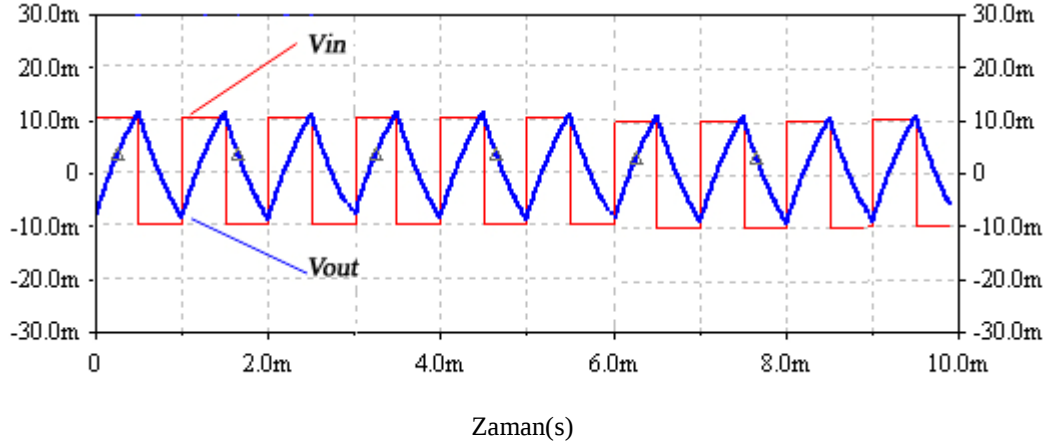
3.8.2. CA3080 OTA Kullanan İntegratörün Frekans Analizi

Kayıplı integratörü MULTISIM ortamında kurulduğunda Şekil 3.24’deki devre elde edilir.



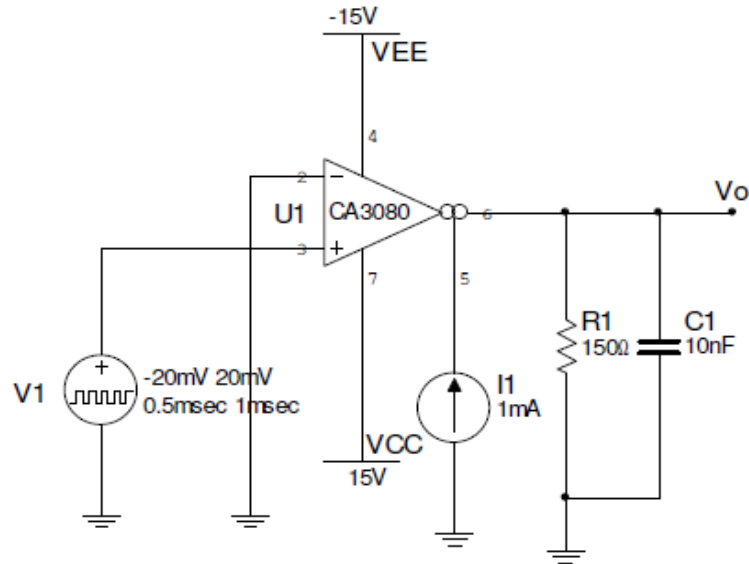
Şekil 3.24. CA3080 kullanan frekansı 1 kHz ve kazancı 1 olan kayıplı integratör devresi

Bu devrede $R=453 \Omega$ ve $C=10 \text{ nF}$ alınmıştır. OTA'nın g_m değeri 20 mS olacak şekilde ayarlanmıştır. Devrenin girişine 20 mV ve 1 kHz frekansa sahip kare dalga sinyali uygulanmıştır (Şekil 3.24). Bu kare dalganın integrali olan çıkış karakteristiği Şekil 3.25'de görülmektedir.



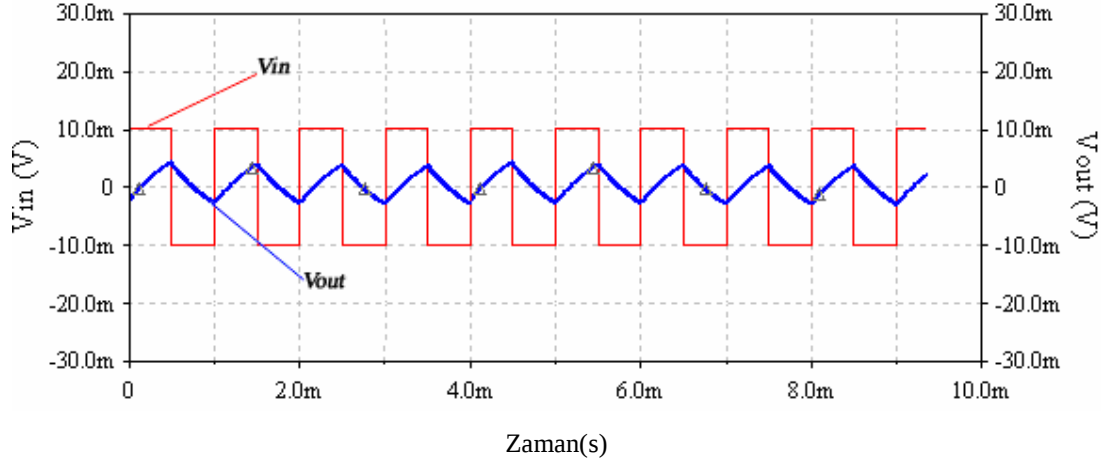
Şekil 3.25. CA3080 kullanan frekansı 1 kHz ve kazancı 1 olan kayıplı integratörün giriş-çıkış gerilim karakteristiği

Eğer devreye ait değerleri (3.16)'da yerine konursa $K=1$ olarak bulunur. Devrenin eleman değerleri $g_m=19.2 \text{ mS}$ ($I_{abc}=1 \text{ mA}$), $R=150 \Omega$, $C=10 \text{ nF}$ olan devre Şekil 3.26'da verilmiştir ve giriş sinyali olarak genliği 20 mV ve frekansı 1 kHz olan kare dalga uygulanmıştır



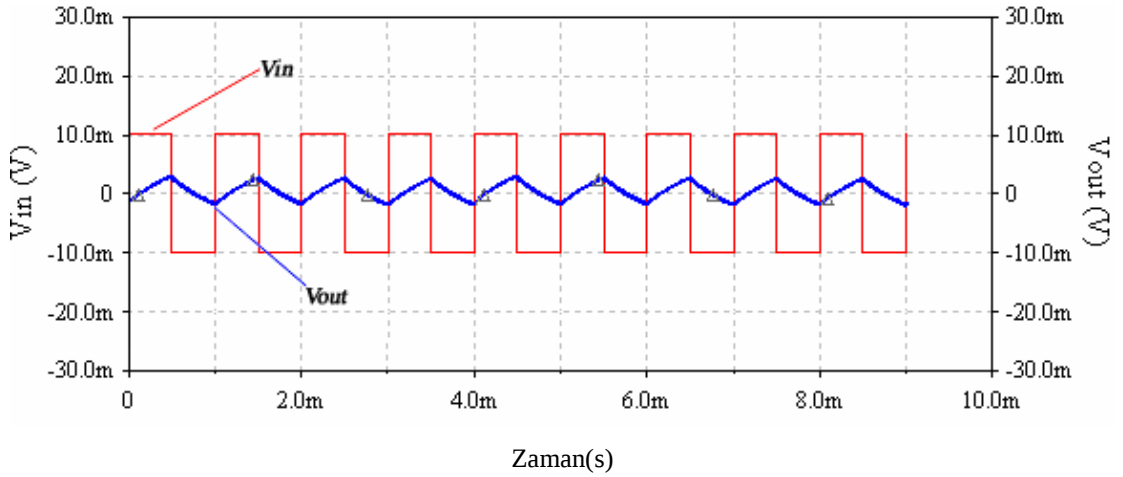
Şekil 3.26. CA3080 kullanan frekansı 10 kHz ve kazancı 0.33 olan kayıplı integratör devre şeması

Şekil 3.26'daki devrenin eleman değerleri (3.16)'da yerine yazıldığında $K=0.33$ olarak bulunur.



Şekil 3.27. CA3080 kullanan frekansı 10 kHz ve kazancı 0.33 olan kayıplı integratör sonuç karakteristiği

Gerek Şekil 3.24 devresinde ve gerekse Şekil 3.26'daki devrede eleman değerlerine bakılıp (3.16)'da yerine konularak elde edilen kazanç değerleri ile sonuç karakteristiğine bakılarak elde edilen kazanç değerleri farklılık göstermektedir. Karakteristiklerden elde edilen kazanç değeri, formül ile hesaplanan kazanç değerinden daha büyük çıkmaktadır. Şekil 3.26'daki devrede, eleman değerleri $R=100\ \Omega$, $C=10\ \text{pF}$ olarak değiştirildiğinde $f=100\ \text{kHz}$ olan bir integratör devresi elde edilir. Bu devreden elde edilen karakteristik Şekil 3.28'de gösterilmiştir.



Şekil 3.28. CA3080 kullanan frekansı 100 kHz ve kazancı 0.1 olan kayıplı integratör sonuç karakteristiği

OP-AMP ile gerçekleştirilen ve Şekil 3.19'da devre şeması verilen integratöre $f=1\ \text{kHz}$, $10\ \text{kHz}$ ve $100\ \text{kHz}$ için gerekli eleman değerleri uygulanmış ve elde edilen sonuç karakteristiğinde OP-AMP elemanının $f=100\ \text{kHz}$ için entegral alma işlemini yapmadığı gözlenmiştir. Buna karşılık OTA ile gerçekleştirilen integratörün yüksek frekans değerlerinde de entegral alma işlemi yaptığı gözlemlenmiş ve sonuç karakteristiği Şekil 3.28'de verilmiştir.

4. SÜZGEÇ DEVRELERİ

4.1 Giriş

Bir devrenin girişine farklı frekanslı bir çok işaret aynı anda uygulanabilir. Örneğin, bir antene ulaşan farklı frekanslı elektromanyetik dalgaların hepsi alınarak antenden sonraki katın girişine uygulanır. Ayrıca, sinüsoidal olmayan tek bir işaret (örneğin, bir kare dalga), Fourier serisine açıldığında görüleceği gibi, farklı frekanslı bir çok sinüsoidal işaretin toplamından oluşmaktadır. Bir süzgeç devresi, girişine uygulanan belli bir frekans aralığındaki işaretleri zayıflatmadan çıkışına aktaran, diğer bir frekanstaki işaretleri ise zayıflatan bir devredir. Süzgeçler; ses, görüntü ve veri haberleşme sistemleri, tıp elektroniği gibi bir çok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır [17].

Süzgeçlerin, pasif ve aktif olmak üzere iki tip tasarımı yapılabilir. Pasif süzgeç tasarımı; direnç, kondansatör ve bobin (self) gibi pasif devre elemanları kullanılır. Aktif süzgeçlerde ise pasif devre elemanlarına ilaveten transistör ve tüm devre gibi yarı iletken devre elemanları da kullanılır. Aktif süzgeçlerin, pasif süzgeçlere nazaran bazı avantaj ve dezavantajları vardır. Bunlar aşağıda sıralanmıştır.

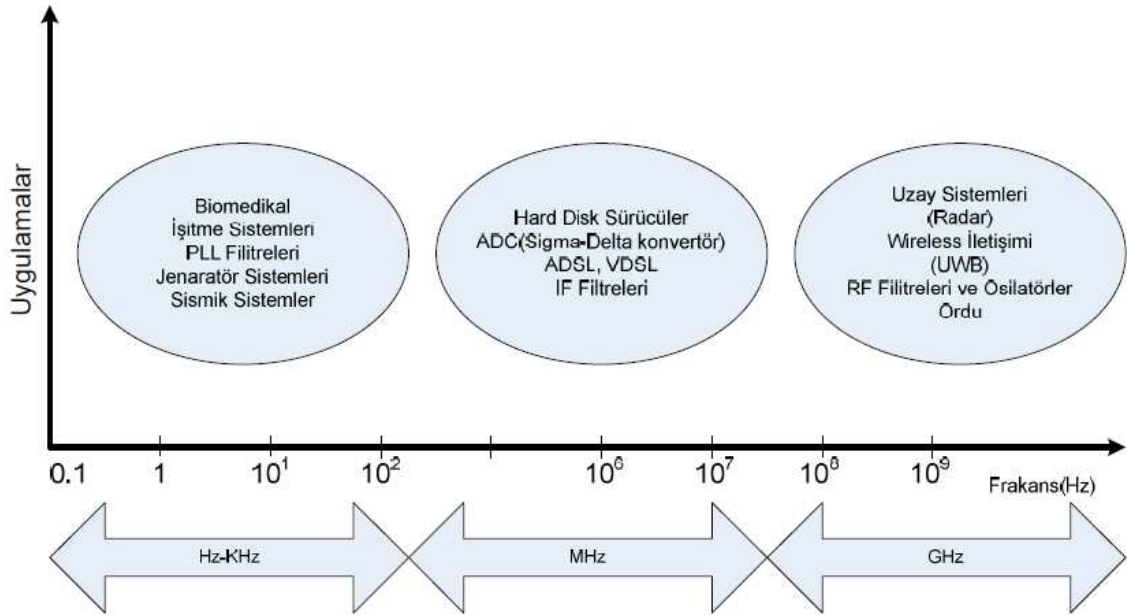
- Aktif süzgeç tasarımı bobin (self) elemanı kullanılmaz. Bu nedenle tasarımı kolay ve ucuzdur.
- Aktif süzgeç devrelerinin çıkış empedansı çok düşük, giriş empedansı ise oldukça yüksektir. Bu nedenle, aktif süzgeçlerin girişlerine veya çıkışlarına bağlanacak devre veya devre elemanlarının etkilenmesi söz konusu değildir.
- Aktif süzgeçlerde, süzgecin geçirgen olduğu frekanslarda herhangi bir zayıflatma olmaz. Çünkü aktif süzgeç tasarımı kullanılan OP-AMP, süzgeç edilen işaretleri yükselterek çıkışına aktarabilir.
- Pasif süzgeçler herhangi bir besleme gerilimine gereksinim duymazlar. Fakat aktif süzgeçlerin her zaman besleme gerilimine gereksinimleri vardır.
- Aktif süzgeç tasarımı kullanılan OP-AMP'ların band genişlikleri sınırlı olduğundan her frekansta aktif süzgeç tasarlamak oldukça zordur.
- Aktif süzgeç devrelerinde tüm devre üretim teknolojilerinden kaynaklanan sınırlamalar nedeniyle, self (bobin) elemanı kullanılamaz. Bu eleman yerine negatif empedans dönüştürücülerden yararlanılarak kondansatörden self elde edilebilir.

Aktif süzgeç tasarımı OP-AMP'lar yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Ancak OPAMP'ların bazı özelliklerinden dolayı, özellikle yüksek frekanslı uygulamalarda büyük problemler ortaya çıkmaktadır. Süzgeç tasarımı OTA'nın kullanılması, karşılaşılabilecek bu problemlerin birçoğunun ortaya çıkmasını engellemektedir.

Yüksek frekansın ve düşük güç tüketiminin istendiği sistemlerde OTA ile gerçekleştirilen süzgeçler tercih edilmektedir. OTA-C süzgeçlerinin bu uygulama alanları Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Günümüzde; hard disk sürücülerinde, cep telefonlarında, mp3 çalarlarda, bluetooth ve wireless haberleşme sistemlerinde vb. yüksek frekans gerektiren birçok uygulamada OTA-C süzgeç yapıları kullanılmaktadır.

Bu bölümde süzgeç gerçekleştirilmesinde OTA’nın tercih sebepleri ortaya konmuş ve OTA ile gerçekleştirilmiş süzgeç yapıları incelenmiştir. Ayrıca, aktif süzgeç yapılarının OTA ile tasarım yöntemleri hakkında bilgi verilmiş ve örnek uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Yüksek kesim frekansına sahip süzgeçler OP-AMP’lar kullanılarak da gerçekleştirilmiş simülasyon sonuçları karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.1. OTA-C süzgeç devrelerinin tipik uygulama alanları ve frekans değerleri

4.2. Aktif Süzgeç Tasarımında OTA’nın Tercih Sebepleri

İşlemsel kuvvetlendiriciler aktif süzgeç tasarımında çok sık kullanılırlar. İdeal bir OPAMP’ın giriş direncinin ve gerilim kazancının sonsuz, çıkış direncinin sıfır olmasından dolayı mevcut süzgeçler bu özellikler dikkate alınarak tasarlanmış ve geliştirilmiştir. Ancak, OP-AMP’ların kazançlarının çok yüksek oluşu, yüksek frekanslı uygulamalarda tümdevreleştirmede dahil olmak üzere birçok problem oluşturmaktadır [15].

Süzgeç karakteristiklerini harici olarak ayarlamak için uygun şekilde gerilim ve akım temin eden devrelere ihtiyaç vardır. Bunlar OP-AMP’la gerçekleştirilen süzgeçlerde birçok güçlüğü de beraberinde getirmektedir.

OTA tabanlı süzgeçlerde ise bir tek derece için bir OTA ve bir kapasitör kullanılmaktadır. Bu tip süzgeçler kısaca OTA-C süzgeçler diye adlandırılmaktadır. Bunlar tümdevreleştirme ve tasarım açısından çok caziptir. Ayrıca, OTA'ların yüksek frekanstaki performansları oldukça iyidir.

Bir OTA'da g_m katsayısının harici bir dc kutuplama akımıyla değiştirilebilmesi hem kullanım kolaylığı sağlamakta hem de süzgeç kazancını birkaç kat değiştirebilme imkanı vermektedir [12].

OTA tabanlı süzgeç tasarım çalışmaları genellikle ya uygulanan geribeslemeyi g_m kazancından bağımsız yapma üzerine yoğunlaşmakta veya OTA ve ilave pasif elemanları kapsayan mevcut OP-AMP'lı süzgeç yapılarını iyileştirme şeklinde olmaktadır. Bilinen bipolar ve CMOS teknolojisinin geliştirilip birleştirilerek BICMOS tümdevre tekniği ile üretilen OTA'lar, kırmık üzerinde küçük yer kapladıklarından daha az güç harcayarak daha yüksek frekanslarda çalışma imkanı sağlamaktadırlar. Ayrıca, bilinen aktif süzgeç düzenlerinde düşük frekanslı bantlarda çalışıldığında büyük değerli kapasitörlere ihtiyaç duyulmakta ve boyutlarda büyük olmaktadır. OTA-C süzgeçlerde ise boyutlar küçüktür. Bunların düşük frekanslı işaretleri algılama hassasiyetleri de yükseltilerek; EEG, EMG ve EKG gibi biyolojik işaretlerin ölçülüp değerlendirilmesinde kullanılması tıbbi cihazların gelişmesine de katkıda bulunmaktadır[19].

g_m değiştirilerek etkin frekans cevabı kontrolü sağlanması, ayarlama aralıklarının 3-6 dekat civarında geniş olması ve tasarımlarının basit olması gibi avantajlarının yanında, OTA'ların çıkış dirençlerinin sonlu olması ve giriş katının (fark kuvvetlendiricisinin) doğrusallık aralığının dar olması gibi dezavantajları da vardır. Tablo 4.1'de aktif ve pasif elemanlardan oluşacak süzgeç devrelerinin karşılaştırılması yapılmaktadır.

Tablo 4.1 Süzgeç tasarımında kullanılan aktif ve pasif elemanların karşılaştırılması

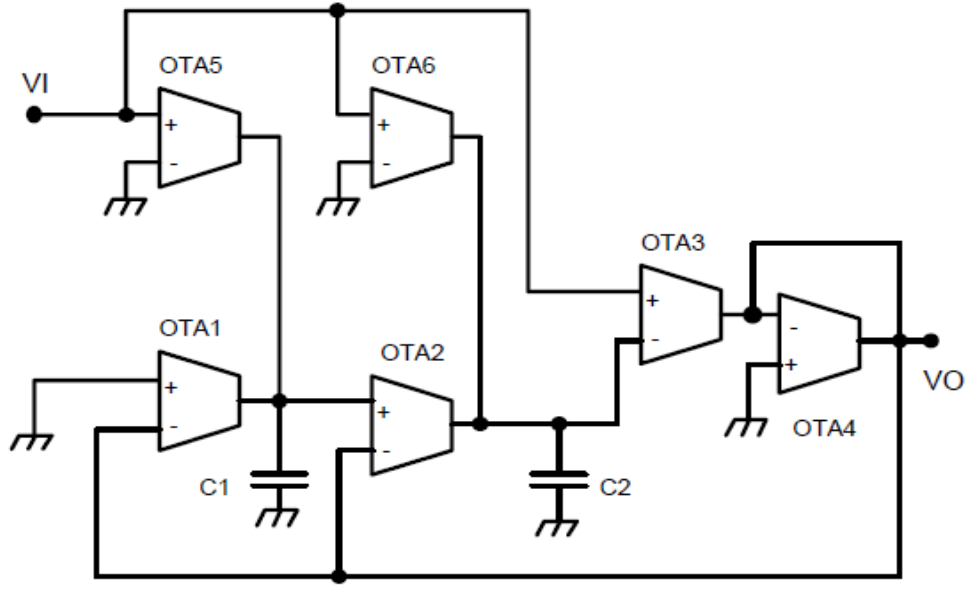
Parametreler	Aktif Filtre		Pasif Filtre RLC
	Aktif-RC	OTA-C	
Frekans İşleme	100 MHZ değerinden biraz fazla	GHZ seviyesi ve üzeri	MHZ değerinden biraz fazla
Blok	OP-AMP	OTA	R,L,C
Sınırlamalar	Güç Tüketimi OP-AMP' ın frekans sınırlaması Ayarlanabilirlik	Doğrusallık Güç,Gürültü Ayar	Büyük indüktör yüksek frekanslarda
Alan	Az	Daha Az	Çok Büyük
Silikon İntegrasyon	Kolay	Kolay	Zor

4.3. OTA-C Süzgeçler

Aktif süzgeç yapılarında kullanılmaya elverişli OTA yapıları geniş bantlı olması, I_{bias} akımıyla kontrol edilebilmesi gibi nedenlerden dolayı yaygın bir kullanım alanı bulmaktadır. OTA-C , süzgeç yapılarının yanı sıra analog çarpma devreleri ve yüksek frekans osilatörlerinin gerçekleştirilmesi amacıyla da kullanılmaktadır [16]. Bu amaca yönelik çeşitli çalışmalarda, minimum sayıda OTA ve bir ucu topraklanmış kondansatörle kurulan bikuadratik aktif süzgeçler gerçekleştirilmesi için devre sentezi yöntemleri önerilmiştir. Bilindiği gibi, bikuadratik genel transfer fonksiyonu;

$$G(s) = \frac{a_2 s^2 + a_1 s + a_0}{s^2 + b_1 s + b_0} \quad (4.1)$$

biçimindedir. Bu transfer fonksiyonu sağlayan genel devre yapısı Şekil 4.2 'de verilmiştir.



Şekil 4.2. II .dereceden transfer fonksiyonunu gerçekleyen genel OTA-C aktif süzgeç yapısı

Bu devrede tasarım eşitlikleri aşağıdaki biçimdedir. Bu bağıntılarda g_{mi} büyüklükleri i. OTA' nın eğimini göstermektedir.

$$\frac{g_{m1}}{C_1} = \frac{b_0}{b_1}, \quad \frac{g_{m2}}{C_2} = \frac{b_1}{a_2}, \quad \frac{g_{m3}}{g_{m4}} = a_2, \quad \frac{g_{m5}}{C_1} = \frac{a_0}{b_1}, \quad \frac{g_{m6}}{C_2} = \frac{a_1}{a_2},$$

4.3.1. Birinci Derece OTA-C Süzgeçler

Birinci derece süzgeç yapıları, OTA' lar ile kolayca gerçekleştirilebilmektedir. OTA' lar ile gerçekleştirilmiş bazı süzgeç yapıları ve transfer fonksiyonları Şekil 6.2' de verilmiştir. Birinci dereceden bir süzgeç gerçekleştirebilmek için devrenin gerilim transfer fonksiyonu kullanılır. Birinci derece süzgeçler için genel transfer fonksiyonu;

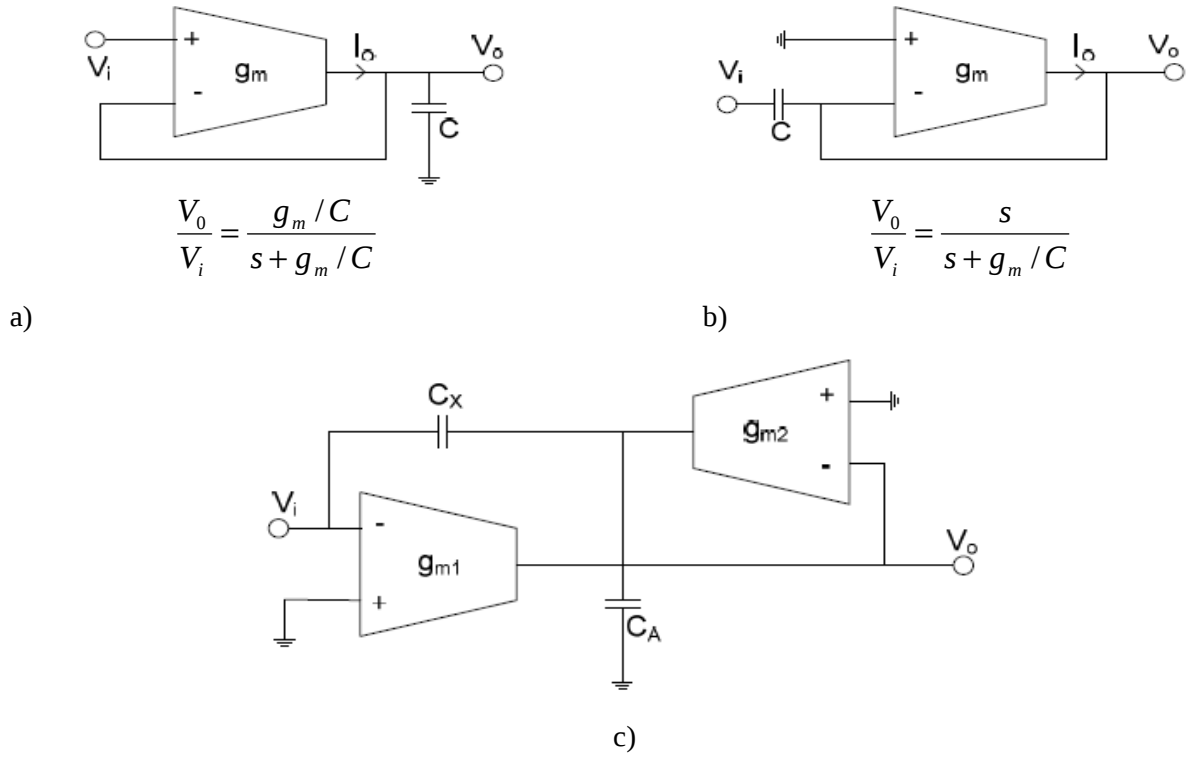
$$H(s) = \frac{V_{out}(s)}{V_{in}(s)} = \frac{k_0 + k_1 s}{s + \omega_0} \quad (4.2)$$

şeklindedir. Denklem (6.1)' de verilen transfer fonksiyonunda $\omega_0 = 2\pi f_c$ kesim frekansını belirlemektedir.

$k_0 = 0$ ise – yüksek geçiren süzgeç (YGS)

$k_1 = 0$ ise – alçak geçiren süzgeç (AGS)

devreleri elde edilmiş olur.



Şekil 4.3. Birinci derece süzgeçler a) DC kazancı sabit kutbu ayarlanabilen alçak geçiren b) yüksek geçiren c) Çok fonksiyonlu OTA-C süzgeç

Şekil 4.3.c’de verilen süzgeç devresi Denklem (4.1)’de verilen transfer fonksiyonunu gerçeklemektedir. Bu devrenin transfer fonksiyonu;

$$g_{m1} V_i(s) + sC_x [V_i(s) - V_o(s)] - sC_A V_o(s) - g_{m2} V_o(s) = 0 \quad (4.3.a)$$

$$\frac{V_o(s)}{V_i(s)} = \frac{sC_x + g_{m1}}{s(C_A + C_x) + g_{m2}} = \frac{s \left(\frac{C_x}{C_A + C_x} \right) + \left(\frac{g_{m1}}{C_A + C_x} \right)}{s + \left(\frac{g_{m2}}{C_A + C_x} \right)} \quad (4.3.b)$$

$$C_x = \left(\frac{k_1}{1-k_1} \right) C_A \quad 0 \leq k_1 < 1 \quad (4.3.c)$$

$$g_{m1} = k_0 (C_A + C_x) \quad (4.3.d)$$

$$g_{m2} = w_0 (C_A + C_x) \quad (4.3.e)$$

elde edilir.

4.3.2. İkinci Derece OTA-C Süzgeçler

Süzgeç fonksiyonu $H(s)$ 'nin derecesi arttıkça, süzgeç karakteristiği $H(j\omega)$ 'de ideale yaklaşır, buna karşılık $H(s)$ 'yi sağlayan devrenin karmaşıklığı da artar. n. derece bir fonksiyonu sağlayan bir devre ikinci dereceden (gerekirse bir tanede birinci dereceden) fonksiyonları sağlayan devrelerin kaskat bağlanmasıyla elde edilebildiğinden ikinci dereceden transfer fonksiyonlarının ve devrelerin analizi önem kazanır [17].

En genel ikinci derece transfer fonksiyonu,

$$H(s) = \frac{N(s)}{D(s)} = \frac{a_2 s^2 + a_1 s + a_0}{s^2 + b_1 s + b_0} \quad (4.4)$$

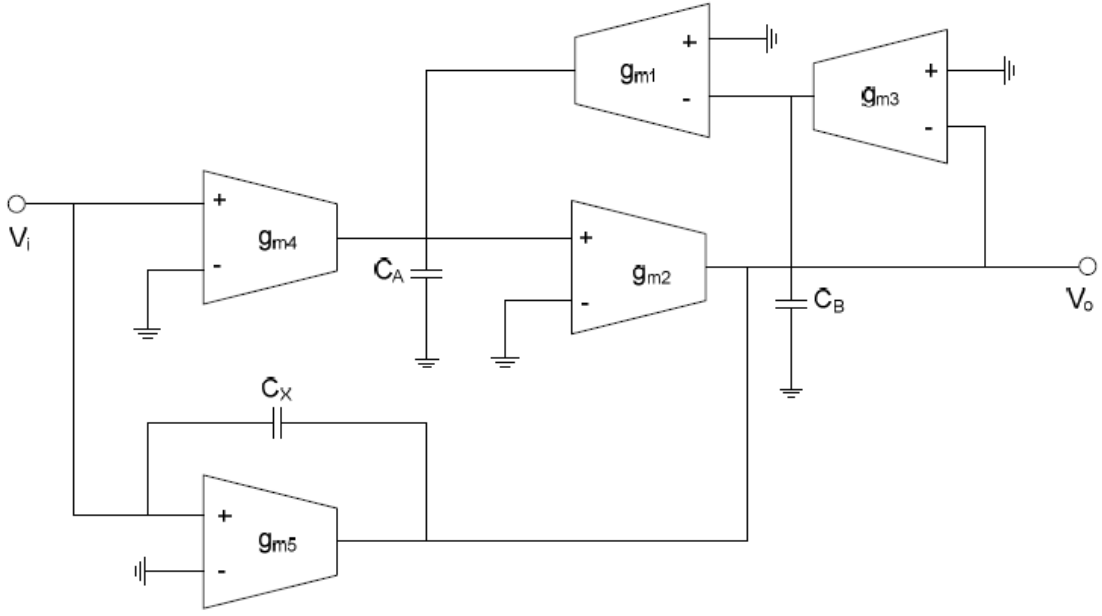
biçimindedir. $D(s)$ payda polinomu genellikle

$$D(s) = s^2 + s \frac{\omega_0}{Q} + \omega_0^2$$

Standart biçiminde ele alınır. 4.3 bağıntısıyla;

$a_2 = a_1 = 0$	ise	alçak geçiren	süzgeç (AGS)
$a_1 = a_0 = 0$	ise	yüksek geçiren	süzgeç (YGS)
$a_2 = a_0 = 0$	ise	band geçiren	süzgeç (BGS)
$a_1 = 0$	ise	band durduran	süzgeç (BDS)

fonksiyonları elde edilmiş olur. Şekil 4.4' de Denklem (4.4)'de verilen ikinci derece transfer fonksiyonunu sağlayan OTA-C süzgeç devresi görülmektedir.



Şekil 4.4. İkinci derece transfer fonksiyonunu gerçekleyen OTA-C süzgeç devresi

Devrenin transfer fonksiyonu,

$$H(s) = \frac{V_o(s)}{V_i(s)} = \frac{s^2 \left(\frac{C_X}{C_B + C_X} \right) + s \left(\frac{g_{m5}}{C_B + C_X} \right) + \left(\frac{g_{m2} \cdot g_{m4}}{C_A (C_B + C_X)} \right)}{s^2 + s \left(\frac{g_{m3}}{C_B + C_X} \right) + \left(\frac{g_{m1} \cdot g_{m2}}{C_A (C_B + C_X)} \right)} = \frac{a_2 s^2 + a_1 s + a_0}{s^2 + \left(\frac{\omega_0}{Q} \right) s + \omega_0^2} \quad (4.5)$$

şeklinde olmaktadır.

Devrenin karakteristik fonksiyonları,

$$D(s) = s^2 + s \frac{\omega_0}{Q} + \omega_0^2$$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{g_{m1} \cdot g_{m2}}{C_A (C_B + C_X)}} \quad (4.6)$$

$$Q = \sqrt{\frac{g_{m1} \cdot g_{m2}}{g_{m3}^2} \frac{C_X + C_B}{C_A}} \quad (4.7)$$

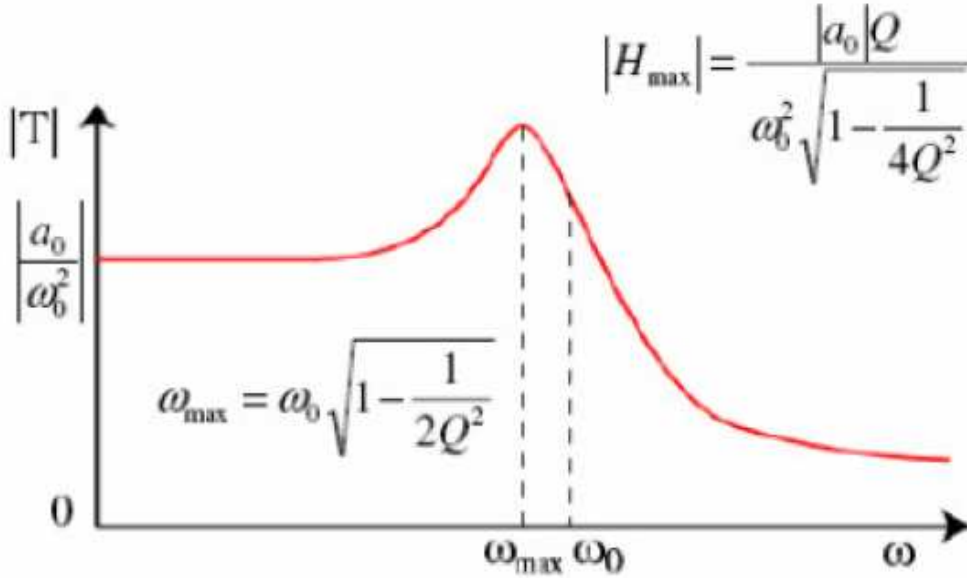
şeklinde olur.

4.3.2.1. İkinci Dereceden Alçak-Geçiren OTA-C Süzgeçler (AGS)

AGS, belirli bir köşe frekansının altındaki frekansları geçiren üstündekileri ise zayıflatan bir devredir. Köşe frekansı f_c ile gösterilir. F_c , aynı zamanda; 0.707 frekansı, -3dB frekansı veya kesim frekansı olarak da isimlendirilir. İkinci dereceden alçak geçiren süzgeç fonksiyonu aşağıda verilmiştir.

$$H(s) = \frac{a_0}{s^2 + b_1s + b_0} = \frac{a_0}{s^2 + \frac{\omega_0}{Q}s + \omega_0^2} \quad (4.8)$$

İkinci dereceden AGS için frekans-genlik grafiği Şekil 6.6'da verilmiştir.



Şekil 4.5. İkinci derece AGF'nin genlik karakteristiği

Şekil 4.5'deki karakteristik incelendiğinde $\omega_{\max}$ noktasında genliğin arttığı görülmektedir.

$Q > \frac{1}{\sqrt{2}}$, $\omega_{\max} = \omega_0 \sqrt{1 - \frac{1}{2Q^2}}$, değerinde, $H(j\omega)$ maksimum değerine sahip olur.

Q değerinin büyümesi bu genlik değerinin de büyümesine neden olmaktadır. DC kazanç ise

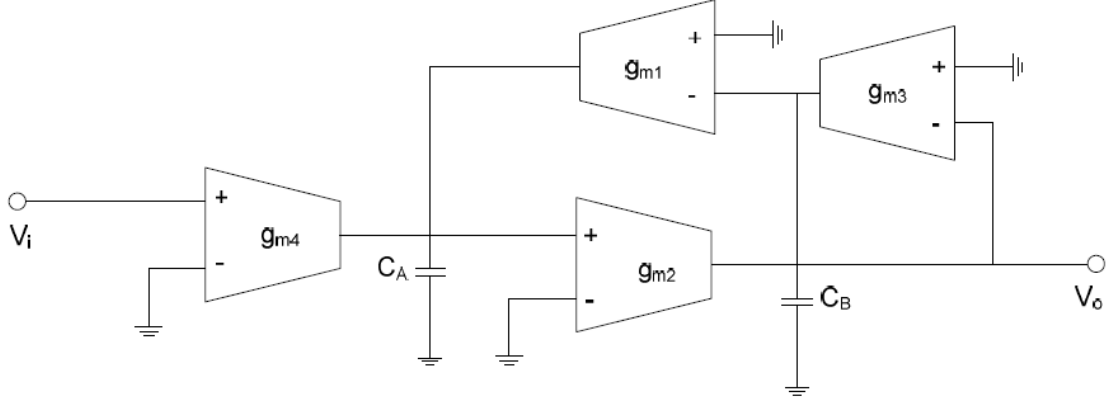
$\frac{a_0}{\omega_0^2}$ değerine eşittir. Şekil 4.4'teki genel süzgeç yapısından AGF elde etmek için $a_2 = 0$ ve

$a_1 = 0$ yapılmalıdır.

$a_2 = \frac{C_X}{C_B + C_X}$ ve $a_1 = \frac{g_{m5}}{C_B + C_X}$ olduğuna göre, C_X kondansatörünün ve g_{m5} OTA'sının

devreden kaldırılmasıyla, ikinci derece alçak geçiren süzgeç devresi elde edilir[20].

Denklem 4.8 de verilen transfer fonksiyonunu gerçekleyen devre aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.6. OTA-C ikinci derece alçak geçiren süzgeç devresi

Devrenin transfer fonksiyonu,

$$H(s) = \frac{V_o(s)}{V_i(s)} = \frac{\left(\frac{g_{m2} \cdot g_{m4}}{C_A C_B} \right)}{s^2 + s \left(\frac{g_{m3}}{C_B} \right) + \left(\frac{g_{m1} \cdot g_{m2}}{C_A C_B} \right)} \leftarrow \frac{a_0}{s^2 + \left(\frac{\omega_0}{Q} \right) s + \omega_0^2} \quad (4.9)$$

olarak bulunur. Devrenin karakteristik fonksiyonları,

$$D(s) = s^2 + s \frac{\omega_0}{Q} + \omega_0^2$$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{g_{m1} \cdot g_{m2}}{C_A C_B}} \quad (4.10)$$

$$Q = \sqrt{\frac{g_{m1} \cdot g_{m2} \cdot C_B}{g_{m3}^2 \cdot C_A}} \quad (4.11)$$

şeklindedir.

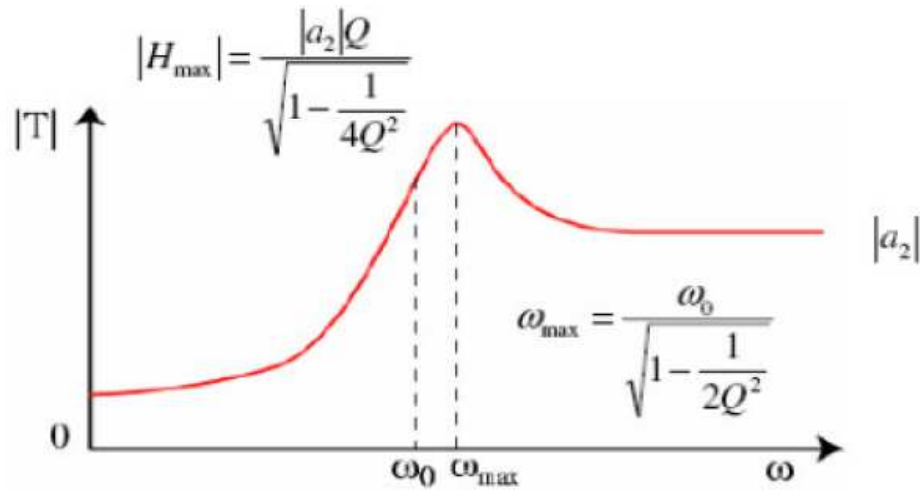
4.3.2.2. İkinci Dereceden Yüksek-Geçiren OTA-C Süzgeçler (YGS)

YGS; belirli bir köşe frekansının yalnız üzerindeki frekansları geçiren, altındaki frekansları ise zayıflatan süzgeç devresidir. YGS, alçak geçiren süzgecin simetriğidir.

İkinci dereceden YGS fonksiyonu

$$H(s) = \frac{a_2 s^2}{s^2 + b_1 s + b_0} = \frac{a_2 s^2}{s^2 + \frac{\omega_0}{Q} s + \omega_0^2} \quad (4.12)$$

olup frekans-genlik karakteristiği Şekil 4.7’de verilmiştir.



Şekil 4.7. İkinci derece YGF'nin genlik karakteristiği

Şekil 4.7’ deki karakteristik incelendiğinde $\omega_{\max}$ noktasında genliğin arttığı görülmektedir.

$Q > 5$ değeri için $\omega_0 = \omega_{\max}$ değerinde $H(j\omega)$ maksimum olur ve bant genişliği $\frac{\omega_0}{Q}$ olur [17].

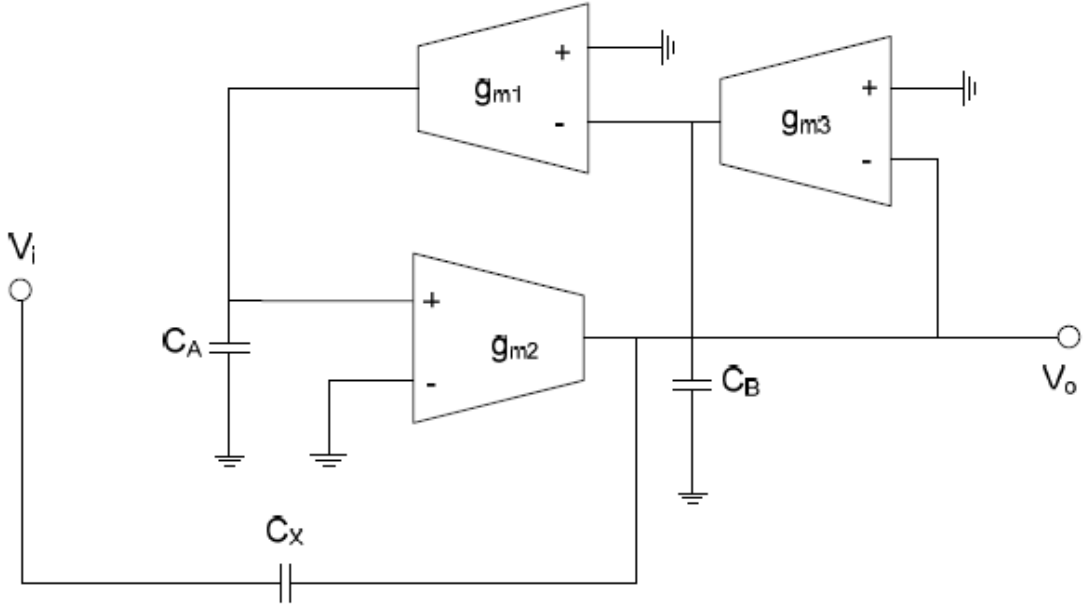
Q 'nun diğer değerleri için $\omega_{\max} = \frac{\omega_0}{\sqrt{1 - \frac{1}{2Q^2}}}$ noktasında, $H(j\omega)$ maksimum değerine sahip

olur. Q değerinin büyümesi bu genlik değerinin de büyümesine neden olmaktadır. DC kazanç ise a_2 değerine eşittir [20]. Denklem 4.5’deki genel süzgeç yapısından YGS elde etmek için $a_0 = 0$ ve $a_1 = 0$ yapılmalıdır.

$$a_0 = \frac{g_{m2} \cdot g_{m4}}{C_A (C_B + C_X)} \text{ ve } a_1 = \frac{g_{m5}}{C_B + C_X} \text{ olduğuna göre,}$$

g_{m4} ve g_{m5} OTA’larının devreden kaldırılmasıyla, ikinci derece YGS devresi elde edilmiş olur.

Denklem (4.12)'de verilen transfer fonksiyonunu gerçekleyen devre Şekil 4.8'de verilmiştir.



Şekil 4.8. OTA-C ikinci derece yüksek geçiren süzgeç devresi

Devrenin transfer fonksiyonu,

$$H(s) = \frac{V_o(s)}{V_i(s)} = \frac{s^2 \left(\frac{C_X}{C_B + C_X} \right)}{s^2 + s \left(\frac{g_{m3}}{C_B + C_X} \right) + \left(\frac{g_{m1} \cdot g_{m2}}{C_A (C_B + C_X)} \right)} \leftarrow \frac{a_2 s^2}{s^2 + \left(\frac{\omega_0}{Q} \right) s + \omega_0^2} \quad (4.13)$$

olarak bulunur. Devrenin karakteristik fonksiyonları,

$$D(s) = s^2 + s \frac{\omega_0}{Q} + \omega_0^2 \quad (4.14.a)$$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{g_{m1} \cdot g_{m2}}{C_A (C_B + C_X)}} \quad (4.14.b)$$

$$Q = \sqrt{\frac{g_{m1} \cdot g_{m2}}{g_{m3}^2} \frac{C_X + C_B}{C_A}} \quad (4.14.c)$$

şeklindedir.

4.3.2.3. İkinci Dereceden Bant-Geçiren OTA-C Süzgeçler (BGS)

Basit BGS, AGS ve YGS'lerin birleşimi ile elde edilir. Belirli bir frekans aralığındaki işaretleri geçirip, diğerlerini geçirmeyen veya zayıflatan süzgeçlere BGS denir. (Alçak ve yüksek frekansları söndürür, sadece belli frekans aralığındaki sinyalleri geçirir).

İkinci dereceden BGS fonksiyonu,

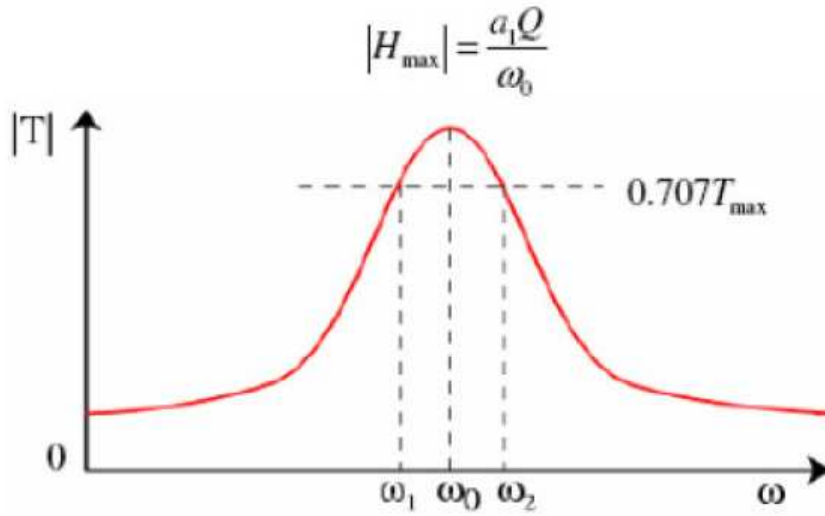
$$H(s) = \frac{a_1 s}{s^2 + b_1 s + b_0} = \frac{a_1 s}{s^2 + \frac{\omega_0}{Q} s + \omega_0^2} \quad (4.15)$$

dir. İkinci dereceden BGS için frekans-genlik grafiği Şekil 4.9'da verilmiştir. Q değerinden bağımsız olarak $\omega_{max} = \omega_0$ değerinde $H(j\omega)$ tepe yapar ve bant genişliği $\frac{\omega_0}{Q}$ olur [17].

Alt ve üst frekans değerleri,

$$\omega_1, \omega_2 = \omega_0 \sqrt{1 - \frac{1}{4Q^2}} \mp \frac{\omega_0}{2Q} \quad (4.16)$$

formülü kullanılarak hesaplanır.



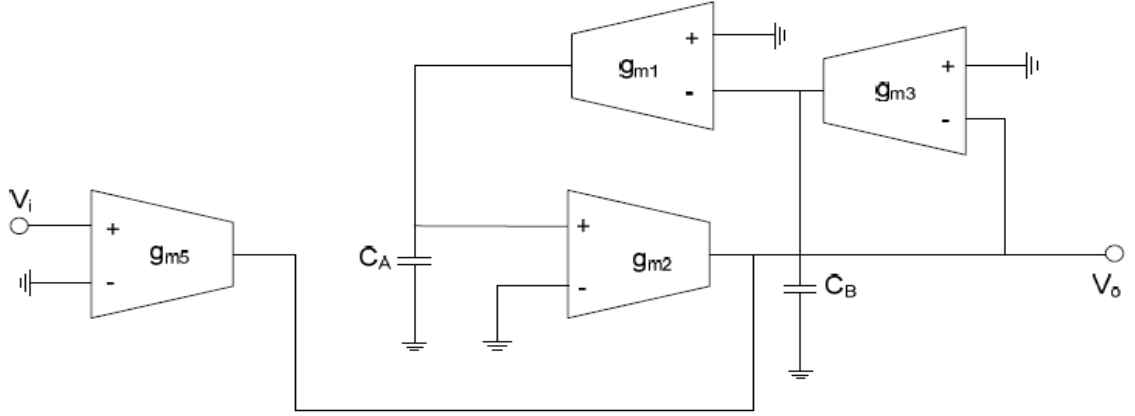
Şekil 4.9. İkinci derece BGF'nin genlik karakteristiği

DC kazanç ise $\frac{a_1 Q}{\omega_0}$ değerine esittir [20]. Denklem 4.5' deki genel süzgeç yapısından BGF elde etmek için $a_2 = 0$ ve $a_0 = 0$ yapılmalıdır.

$a_2 = \frac{C_X}{C_B + C_X}$ ve $a_0 = \frac{g_{m2} \cdot g_{m4}}{C_A(C_B + C_X)}$ olduğuna göre, C_X kondansatörünün ve g_{m4}

OTA'sının devreden kaldırılmasıyla, ikinci derece BGS devresi elde edilmiş olur.

Denklem (4.15)'teki transfer fonksiyonunu gerçekleyen devre Şekil 4.10'da verilmiştir.



Şekil 4.10. OTA-C ikinci derece bant geçiren süzgeç devresi

Devrenin transfer fonksiyonu,

$$H(s) = \frac{V_o(s)}{V_i(s)} = \frac{s \left(\frac{g_{m5}}{C_B} \right)}{s^2 + s \left(\frac{g_{m3}}{C_B} \right) + \left(\frac{g_{m1} \cdot g_{m2}}{C_A C_B} \right)} \leftarrow \frac{a_1 s}{s^2 + \left(\frac{\omega_0}{Q} \right) s + \omega_0^2} \quad (4.17)$$

olarak bulunur. Devrenin karakteristik fonksiyonları,

$$D(s) = s^2 + s \frac{\omega_0}{Q} + \omega_0^2$$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{g_{m1} \cdot g_{m2}}{C_A C_B}} \quad (4.18)$$

$$Q = \sqrt{\frac{g_{m1} \cdot g_{m2}}{g_{m3}^2} \frac{C_B}{C_A}} \quad (4.19)$$

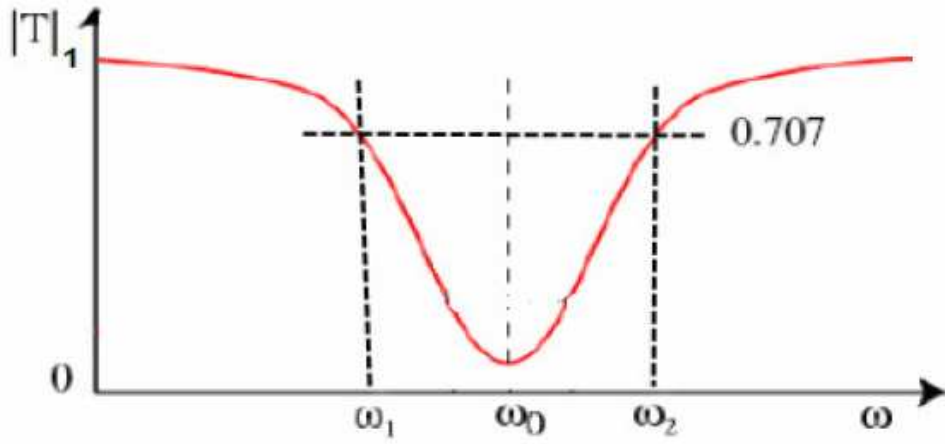
şeklindedir.

4.3.2.4. İkinci Dereceden Bant-Durduran OTA-C Süzgeçler (BDF)

Belirli bir frekans aralığındaki sinyalleri geçirmeyen diğer sinyalleri geçiren filtrelerdir. İkinci dereceden BDS transfer fonksiyonu;

$$H(s) = \frac{s^2 + a_0}{s^2 + b_1s + b_0} = \frac{s^2 + \omega_0^2}{s^2 + \frac{\omega_0}{Q}s + \omega_0^2} \quad (4.20)$$

dir. İkinci dereceden BDS için frekans-genlik karakteristiği Şekil 4.11’de verilmiştir.



Şekil 4.11. İkinci derece BDF'nin genlik karakteristiği

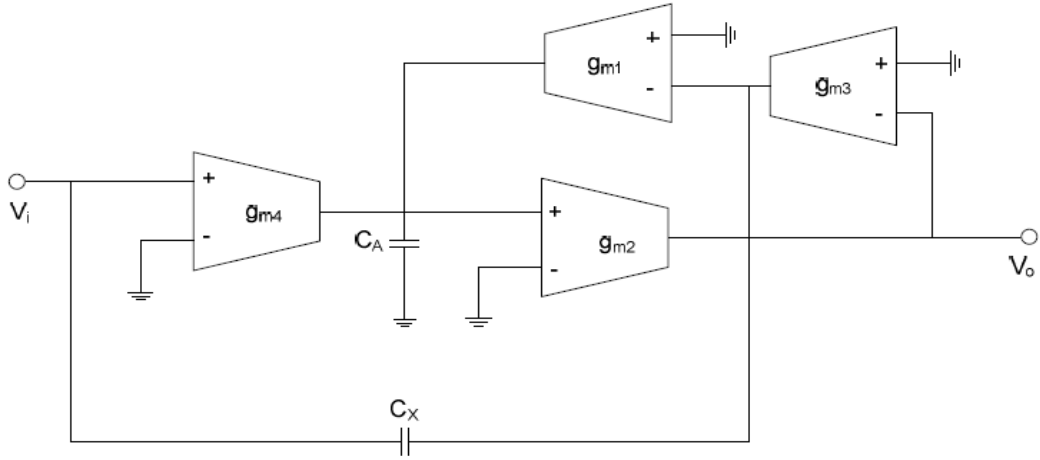
Q değerinden bağımsız olarak ω_0 değerinde $H(j\omega)=0$ 'dır ve bant genişliği $\frac{\omega_0}{Q}$ olur [17].

Denklem 4.4' deki genel süzgeç yapısından BDF elde etmek için $a_2=1$, $a_0=\omega_0^2$ ve $a_1=0$ yapılmalıdır.

$$a_2 = \frac{C_X}{C_B + C_X}, \quad a_1 = \frac{g_{m5}}{C_B + C_X} \quad \text{ve} \quad a_0 = \frac{g_{m2} \cdot g_{m4}}{C_A(C_B + C_X)} \quad \text{olduğuna göre,}$$

C_B kondansatörünün ve g_{m5} OTA'sının devreden kaldırılmasıyla, ikinci derece BDS devresi elde edilmiş olur.

Denklem 4.20’de verilen transfer fonksiyonunu gerçekleyen devre aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.12. OTA-C ikinci derece bant durduran süzgeç devresi

Devrenin transfer fonksiyonu,

$$H(s) = \frac{V_o(s)}{V_i(s)} = \frac{s^2 + \left(\frac{g_{m2} \cdot g_{m4}}{C_A C_X} \right)}{s^2 + s \left(\frac{g_{m3}}{C_X} \right) + \left(\frac{g_{m1} \cdot g_{m2}}{C_A C_X} \right)} \Leftarrow \frac{s^2 + a_0}{s^2 + \left(\frac{\omega_0}{Q} \right) s + \omega_0^2} \quad (4.21)$$

olarak bulunur. Bant durduran süzgeç elde etmek için $g_{m1} = g_{m4}$ olarak seçilmelidir. Devrenin karakteristik fonksiyonları ,

$$D(s) = s^2 + s \frac{\omega_0}{Q} + \omega_0^2$$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{g_{m1} \cdot g_{m2}}{C_A C_X}} \quad (4.22)$$

$$Q = \sqrt{\frac{g_{m1} \cdot g_{m2} C_X}{g_{m3} C_A}} \quad (4.23)$$

şeklindedir.

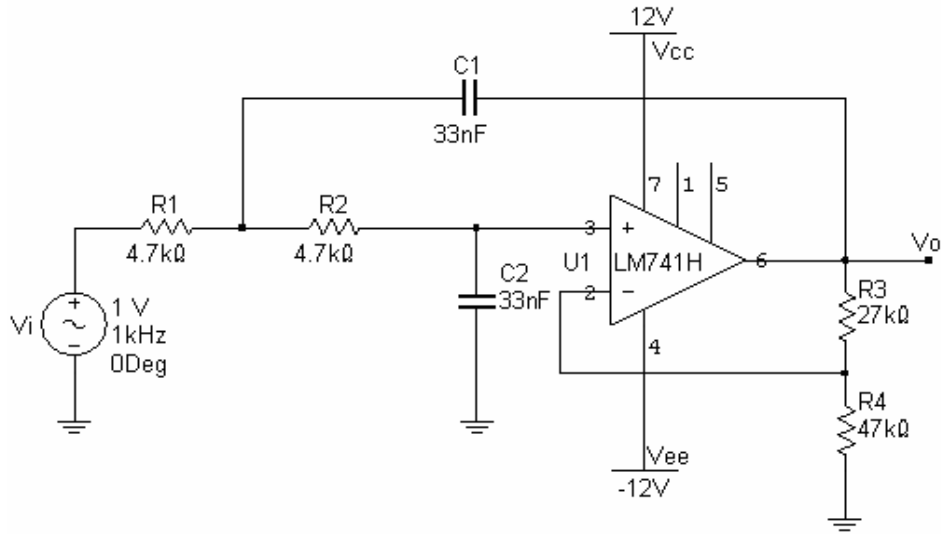
5.ÖRNEK UYGULAMALAR

5.1.Giriş

Bu bölümde , inceleyeceğimiz örnek devrelerde OP-AMP ve OTA devre elemanları ayrı ayrı kullanılarak süzgeç devreleri oluşturulmuştur. Bu devrelerin hem MULTISIM programıyla simülasyonu yapılmış hemde board üzerinde gerçek devreleri kurularak farklı frekans değerlerinde elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

5.2. LM741 OPAMP Kullanan Alçak Geçiren Süzgeç Örnek Devresi

Burada; 2.dereceden (-40 dB/dekad) bir aktif süzgeç devresini incelenecektir. Bunun yanı sıra 1. ve 3. dereceden (-20 dB/dekad ve -60 dB/dekad) süzgeç devreleri de vardır [17]. Şekil 5.1 de uygulaması yapılan 2. dereceden aktif süzgeç devresi görülmektedir. Bu devrenin kazancı; kesim frekansı f_c 'den sonra -40 dB/dekad'lık bir eğimle zayıflar.



Şekil 5.1. OP-AMP ile gerçekleştirilen AGS devre şeması

Şekil 5.1'deki AGS devresinde dirençler frekanstan etkilenmezler. Devredeki kondansatörlerin (C1 ve C2) kapasitif reaktansı (X_c) frekansa bağlıdır. Başlangıçta X_c değeri büyüktür ve C2 yüksek reaktans gösterir. Aynı zamanda C1 kondansatörü de geri besleme akımına karşı yüksek reaktans gösterir. Bundan dolayı V_o çıkış işareti yüksek değerdedir. Giriş işaretinin frekansı arttığında, X_c azalır ve C2 kondansatörü giriş işaretini daha fazla şöntlemeye başlar.

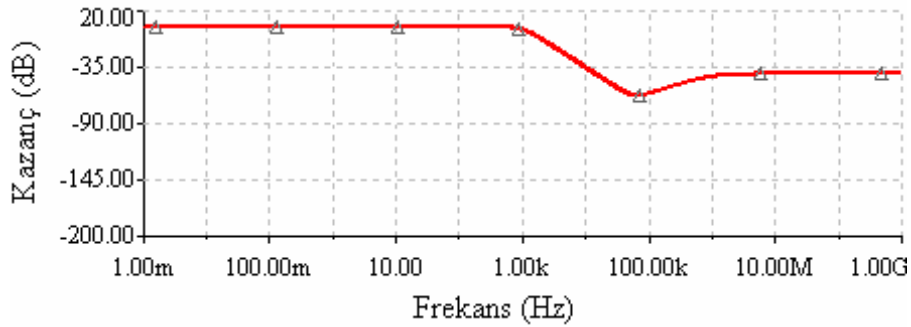
Bu anda C1 kondansatörü daha fazla geri besleme akımına müsaade eder ve devrenin kazancı azalır. Böylece yüksek frekanslarda kazancı azalan devre, alçak frekanslarda yüksek kazanç gösterir. Şekil 5.1’deki devrenin transfer fonksiyonu,

$$H(s) = \frac{K}{R_1 R_2 C_1 C_2} \cdot \frac{1}{s^2 + s \left[\frac{1}{R_1 C_1} + \frac{1}{R_2 C_2} (1-K) \right] + \frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2}} \text{ olur.} \quad (5.1)$$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}}, Q = \frac{1}{\sqrt{\frac{R_2 C_2}{R_2 C_1} + (1-K) \sqrt{\frac{R_1 C_1}{R_2 C_2}}}}, f_c = \frac{1}{2\pi \sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}} \quad (5.2)$$

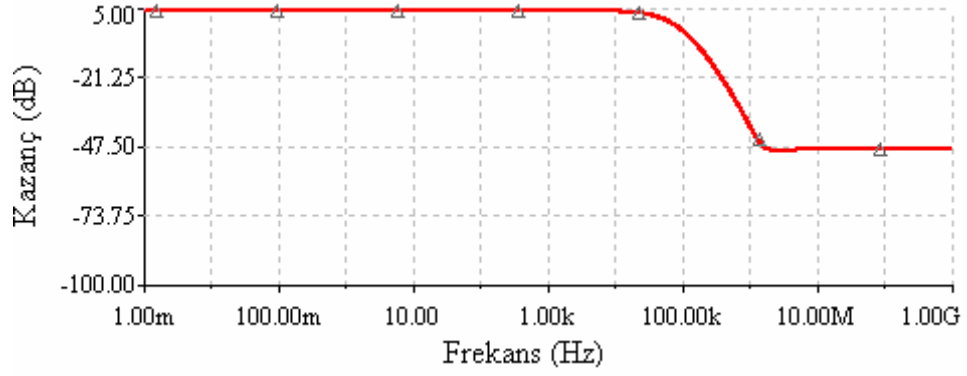
formülleri ile ifade edilir.

Şekil 5.1’de OP-AMP ile gerçekleştirilen alçak geçiren süzgeç devresi eleman değerleri $R_1=R_2=4.7 \text{ k}\Omega$, $C_1=33 \text{ nF}$, $C_2=33\text{nF}$ olarak seçilir ve eleman değerleri (5.2)’deki f_c denkleminde yerine konulursa $f_c=1 \text{ kHz}$ elde edilir. Bu devreden elde edilen frekans-kazanç karakteristiği Şekil 5.2’de görülmektedir.



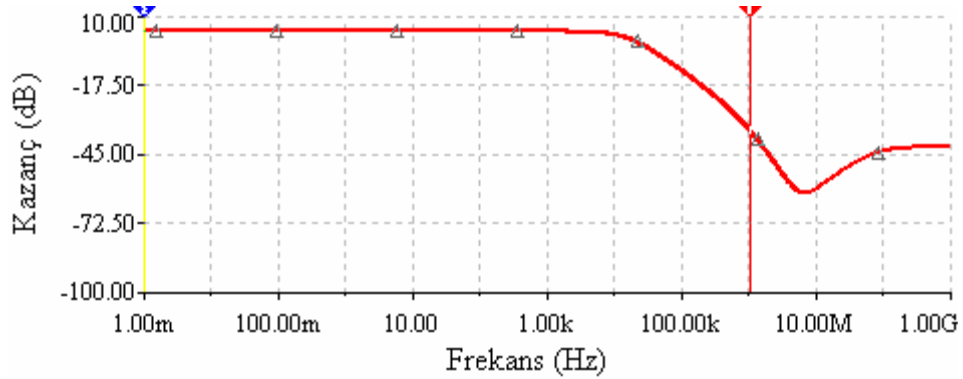
Şekil 5.2. OP-AMP kullanan ve frekansı 1kHz olan alçak geçiren AGS frekans-kazanç karakteristiği

Şekil 5.2 incelendiğinde çıkış sinyalinin 1 kHz kesim frekansı değerinden sonra belli bir eğimle zayıfladığı görülmektedir. Şekil 5.1’deki devrede eleman değerleri $R_1=R_2=10\text{k}\Omega$, $C_1= 110 \text{ pF}$ ve $C_2= 220 \text{ pF}$ olarak değiştirilir ve bu değerler formülde (5.2) yerine yazılırsa $f_c= 100 \text{ kHz}$ olarak elde edilir. Bu devreden elde edilen frekans-kazanç grafiği Şekil 5.3’de verilmiştir.



Şekil 5.3. OP-AMP kullanan ve frekansı 100 kHz olan AGS frekans-kazanç karakteristiği

Şekil 5.3. incelendiğinde 100 kHz değerinde kesime gitmesi gereken çıkış sinyali bu seviyeden daha önce azalmaya başlamıştır. Şekil 5.1'deki devrede eleman değerleri $C1=1\text{pF}$, $C2=1\text{ nF}$, $R1=R2=4.7\text{ k}\Omega$ olarak değiştirilir ve bu değerler formülde yerine yazılırsa (5.2) kesim frekansı değeri 1 MHz olarak hesaplanır. Oluşturulan bu devre simüle edilirse elde edilen frekans-kazanç grafiği Şekil 5.2' deki gibi olur.

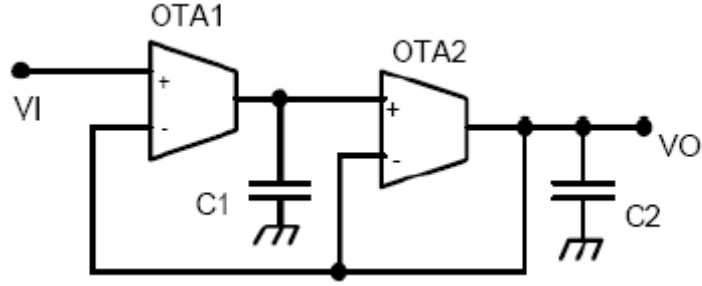


Şekil 5.4. OP-AMP kullanan ve frekansı 1 MHz olan AGS frekans-kazanç karakteristiği

Şekil 5.4. incelendiğinde (5.2)' den elde edilen kesim frekansı ile grafikten elde edilen kesim frekansı değerlerinin uyumsuzluk gösterdiği görülmektedir. 1 MHz seviyesinde kesime gitmesi gereken çıkış sinyali OP-AMP' ın yüksek frekanslardaki çalışma problemi nedeniyle daha düşük frekans değerlerinde kesime gitmeye başlamıştır.

5.3. CA3080 OTA Kullanan Alçak Geçiren Süzgeç Örnek Devresi

OTA ile oluşturulan AGS devresi Şekil 5.5’de verilmiştir.



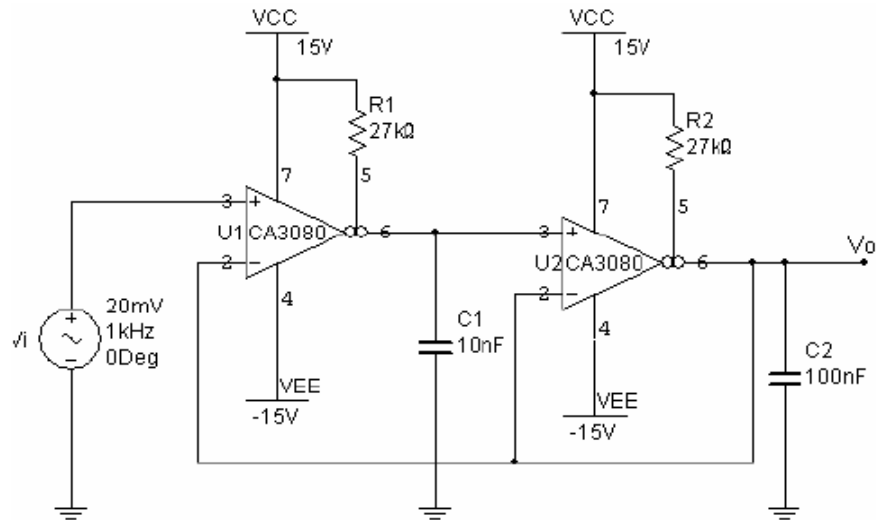
Şekil 5.5. OTA ile gerçekleştirilen II. Dereceden AGS temel devre şeması

Devrenin transfer fonksiyonu,

$$H(s) = \frac{g_{m1}g_{m2} / C_1C_2}{s^2 + s\left(\frac{g_{m2}}{C_2}\right) + \frac{g_{m1}g_{m2}}{C_1C_2}} \quad \text{dir.} \quad (5.3)$$

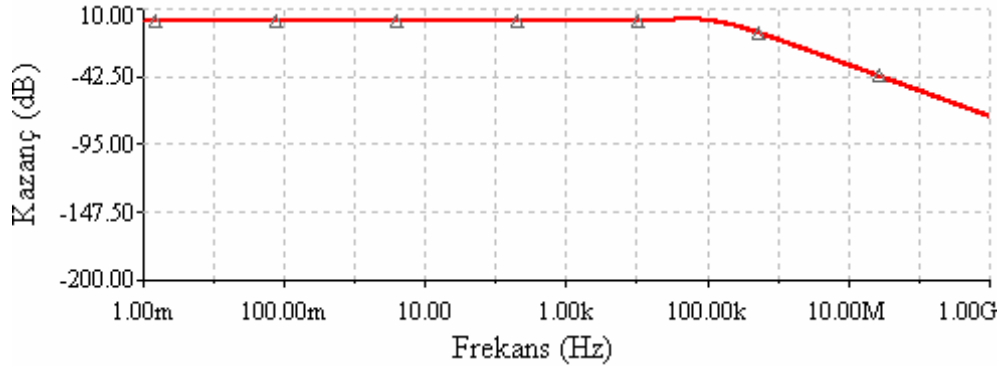
$$\omega_0 = \sqrt{\frac{g_{m1}g_{m2}}{C_1C_2}} \quad \text{ve} \quad Q = \sqrt{\frac{g_{m1}C_2}{C_1g_{m2}}} \quad \text{elde edilir.} \quad (5.4)$$

CA3080 OTA entegresi kullanan alçak geçiren süzgeç devresi oluşturulduğunda Şekil 5.6’daki devre elde edilir.



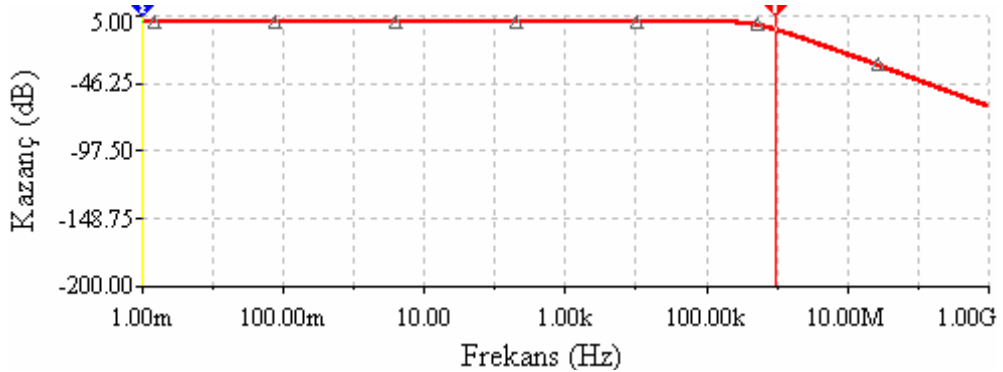
Şekil 5.6. CA3080 OTA ile gerçekleştirilen AGS süzgeç devre şeması

Devre eleman değerleri $g_{m1}=g_{m2}=20$ mS, $C1=10$ nF ve $C2=100$ nF olarak belirlendiğinde f_c değerinin 100 kHz olarak (5.4) elde edildiği görülmüştür. Şekil 5.7’de CA3080 OTA entegresi ile gerçekleştirilen alçak geçiren süzgeç devresinin frekans-kazanç karakteristiği verilmiştir.



Şekil 5.7. OTA ile gerçekleştirilen ve frekansı 100 kHz olan AGS frekans-kazanç eğrisi

Şekil 5.7 incelendiğinde devrenin kesime gitme frekansının, formülden elde edilen (5.4) frekans değeriyle aynı olduğu görülmektedir. Yani devrenin çıkış sinyali 100 kHz seviyesinden itibaren belli bir eğimle azalmaya başlamıştır. Şekil 5.6’daki devrenin eleman değerleri $g_{m1}=g_{m2}=20$ mS, $C1=1$ nF ve $C2=10$ nF olarak seçilir ve bu değerler formülde (5.4) yerine yazılırsa kesim frekans değeri 1 Mhz olarak elde edilir. Bu devreye ait frekans-kazanç karakteristiği Şekil 5.8’de görülmektedir.

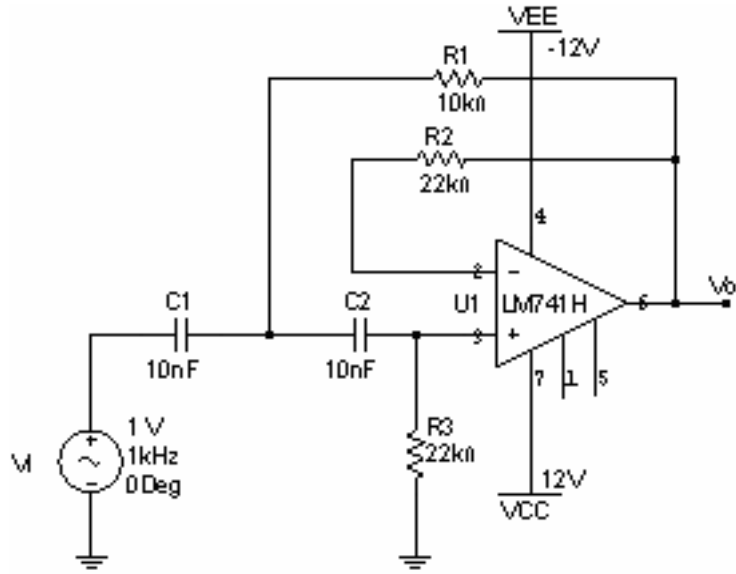


Şekil 5.8. OTA kullanan ve frekansı 1 MHz olan AGS frekans-kazanç karakteristiği

CA3080 OTA ile gerçekleştirilen AGS devrelerinde $f_c = 10$ kHz, 100 kHz ve 1MHz için elde edilen karakteristiğin LM741 OP-AMP ile gerçekleştirilen alçak geçiren süzgeç devrelerine nazaran yüksek frekanslarda daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

5.4. LM741 OPAMP Kullanan Yüksek Geçiren Süzgeç Örnek Devresi

Süzgecin köşe frekansı formül (5.2) ile elde edilir. İkinci dereceden (-40dB/Dekad) yüksek geçiren süzgeç devresi Şekil 5.9’da çizilmiştir. Alçak frekanslarda C1 ve C2 kondansatörlerinin kapasitif reaktansları büyüktür. Bundan dolayı giriş işaretinin önemli bir miktarı bu elemanlar üzerine düşer. Bu ise küçük bir giriş işaretinin OP-AMP’ a ulaşması demektir.



Şekil 5.9. LM741 OP-AMP kullanan YGS devre şeması

Süzgeç girişinden uygulanan işaretin frekansını artırırsak C1 ve C2 kondansatörlerinin kapasitif reaktansları azalır. Bu durumda OP-AMP’ a daha fazla sinyal ulaşır ve daha büyük bir çıkış işareti elde edilir. Böylece; devrenin yüksek frekanslarda kazancı artarken düşük frekanslarda kazancı azalır ve YGS devresi elde edilmiş olur.

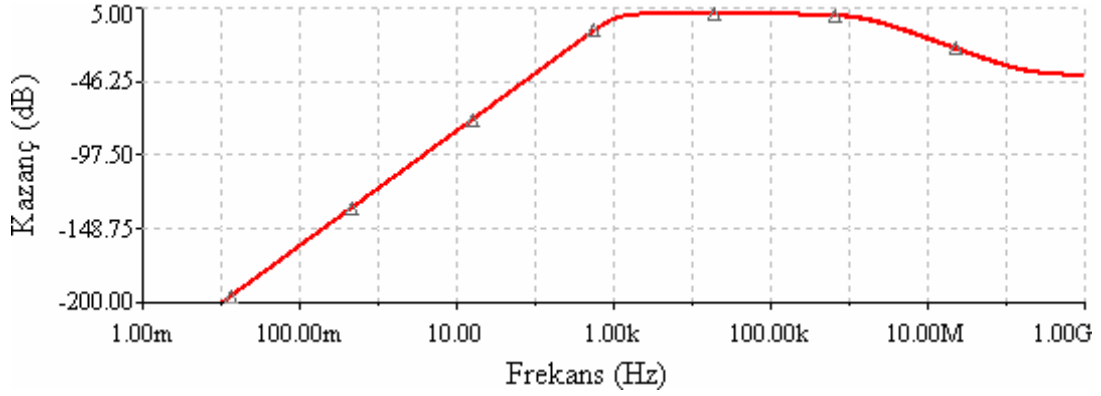
Devrenin transfer fonksiyonu,

$$H(s) = \frac{Ks^2}{s^2 + s\left[\frac{1}{R_2}\left(\frac{C_1 + C_2}{C_1 C_2}\right) + \frac{1-K}{R_1 C_1}\right] + \frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2}} \text{ olur.} \quad (5.5)$$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}}, \quad Q = \frac{1}{\sqrt{\frac{R_1}{R_2}\left(\sqrt{\frac{C_2}{C_1}} + \sqrt{\frac{C_1}{C_2}}\right) + \sqrt{\frac{R_2 C_2}{R_1 C_1}}(1-K)}}, \quad (5.6)$$

formülleri ile ifade edilir.

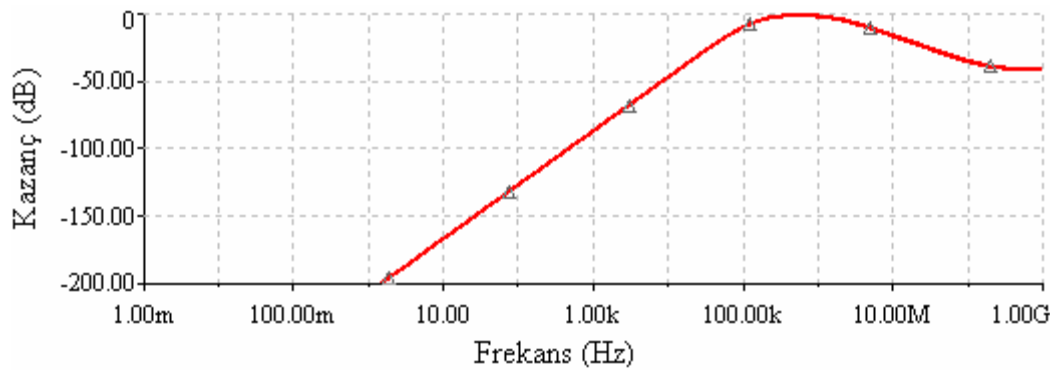
Şekil 5.9' daki yüksek geçiren aktif süzgeç devresinde eleman değerleri $R1=10\text{ k}\Omega$, $R2=22\text{ k}\Omega$, $C1=10\text{ nF}$ ve $C2=10\text{ nF}$ olarak belirlendiğinde ve bu değerler formülde (5.6) yerine yazıldığında devre için frekans değeri 1 kHz olarak hesaplanır. Bu devrenin frekans-kazanç karakteristiği Şekil 5.10'da verilmiştir.



Şekil 5.10. LM741 kullanan ve frekansı 1 kHz olan YGS frekans-kazanç karakteristiği

Şekil 5.10' daki karakteristik incelenirse; düşük frekanslarda çıkış işaretinin belirli bir eğimle zayıfladığı ve devrenin 1 kHz ve üzerindeki sinyalleri belirli bir frekans değerine kadar geçirdiği gözlemlenir.

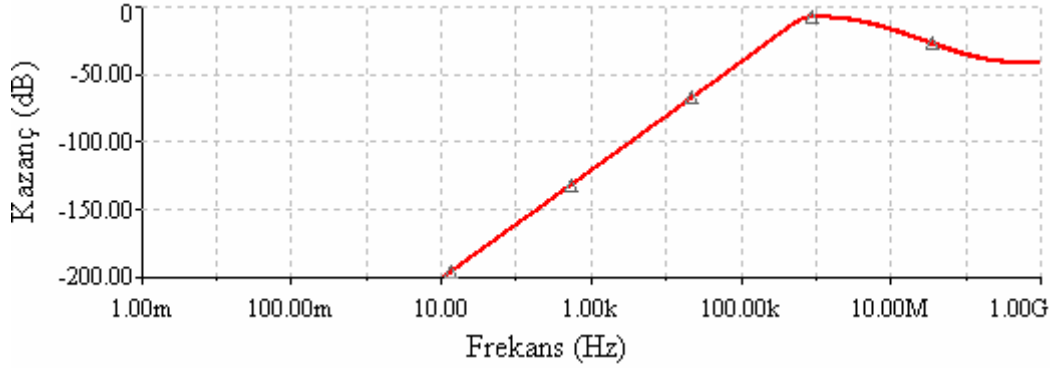
Şekil 5.9' daki devrede eleman değerleri $R1=10\text{ k}\Omega$, $R2=22\text{ k}\Omega$, $C1=110\text{ pF}$ ve $C2=100\text{ pF}$ olarak seçilir ve bu değerler formülde (5.6) yerine yazılırsa frekans değeri 100 kHz olarak bulunur. Bu eleman değerlerine sahip olan OP-AMP' lı YGS devresi için Şekil 5.11'de görülen karakteristik elde edilir.



Şekil 5.11. LM741 kullanan ve frekansı 100 kHz olan YGS frekans-kazanç karakteristiği

Şekil 5.11 incelendiğinde devrenin çıkış sinyalinin 100 kHz değerinden sonra küçük bir bant aralığında iletimde olduğu görülmektedir. 100 kHz değerinden daha küçük ve çok yüksek frekans değerlerinde ise devrenin kesimde olduğu gözlenmektedir.

Şekil 5.9'daki devrenin daha yüksek frekanslardaki cevabını öğrenmek için eleman değerleri $R_1=10\text{ k}\Omega$, $R_2=22\text{ k}\Omega$, $C_1=10\text{ pF}$ ve $C_2=10\text{ pF}$ olarak değiştirilirse Şekil 5.12'de bulunan karakteristik elde edilir.

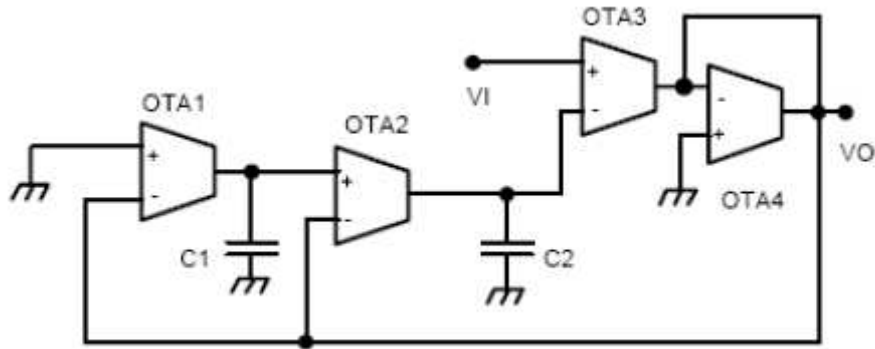


Şekil 5.12. LM741 kullanan ve frekansı 1 MHz olan YGS frekans-kazanç karakteristiği

Elde edilen sonuç eğrilerine göre OP-AMP elemanı ile gerçekleştirilen YGS devrelerinde özellikle Şekil 5.12'de görülen ve frekansı 1 MHz olan devrede 1 MHz üzerindeki sinyallerin iletilmesi gerekirken sinyalin zayıfladığı görülmüştür. Bu durum OP-AMP'ın yüksek frekanslardaki çalışma sorununu ortaya koymaktadır.

5.5. CA3080 OTA Kullanan Yüksek Geçiren Süzgeç Örnek Devresi

Şekil 5.13'de CA3080 OTA kullanan YGS devresinin devre şeması verilmiştir[12].



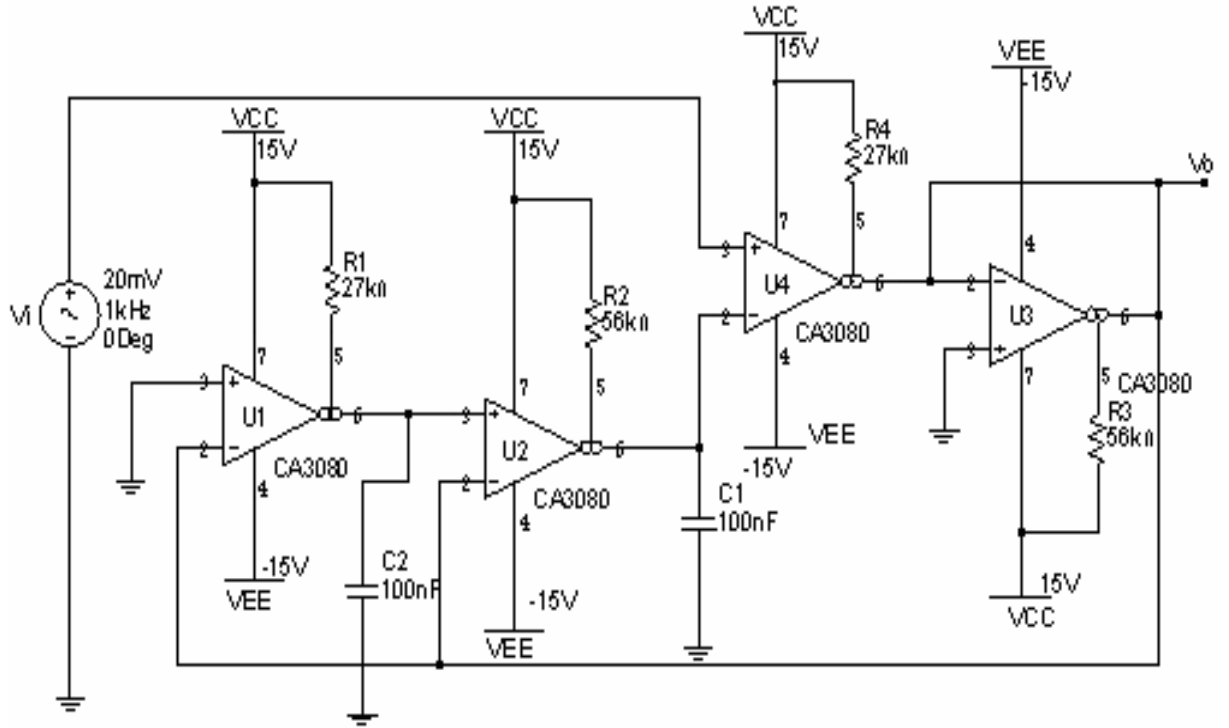
Şekil 5.13. OTA kullanan YGS temel devre şeması

Devrenin transfer fonksiyonu,

$$H(s) = \frac{s^2(g_{m3}/g_{m4})}{s^2 + s \frac{g_{m2}g_{m3}}{g_{m4}C_2} + \frac{g_{m1}g_{m2}g_{m3}}{g_{m4}C_1C_2}} \quad (5.7)$$

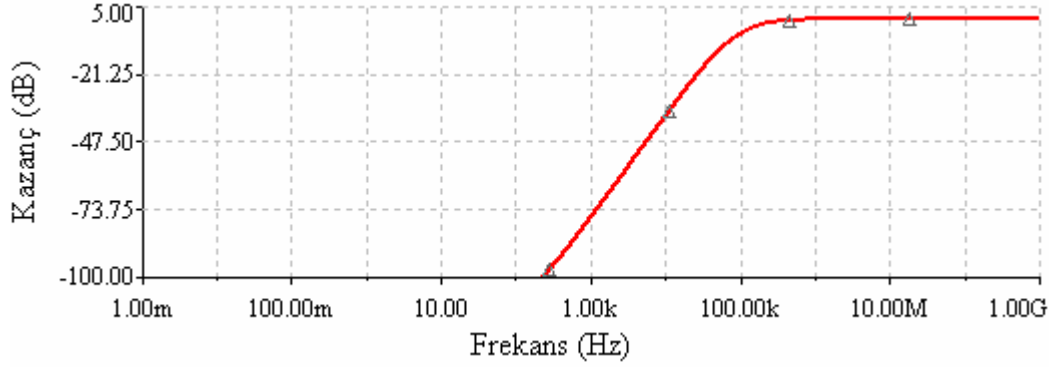
$$\omega_0 = \sqrt{\frac{g_{m1}g_{m2}g_{m3}}{g_{m4}C_1C_2}} \quad (5.8)$$

Şekil 5.14' de OTA kullanan YGS devresinin simülasyonu görülmektedir. Devrede eleman değerleri olarak $g_{m1}=20$ mS, $g_{m2}=10$ mS, $g_{m3}=20$ mS, $g_{m4}=10$ mS, $C1=10$ nF ve $C2=100$ nF belirlenmiştir. Belirlenen bu değerler formüle (5.8) yerine yazıldığında frekans değeri olarak 100 kHz elde edilir.



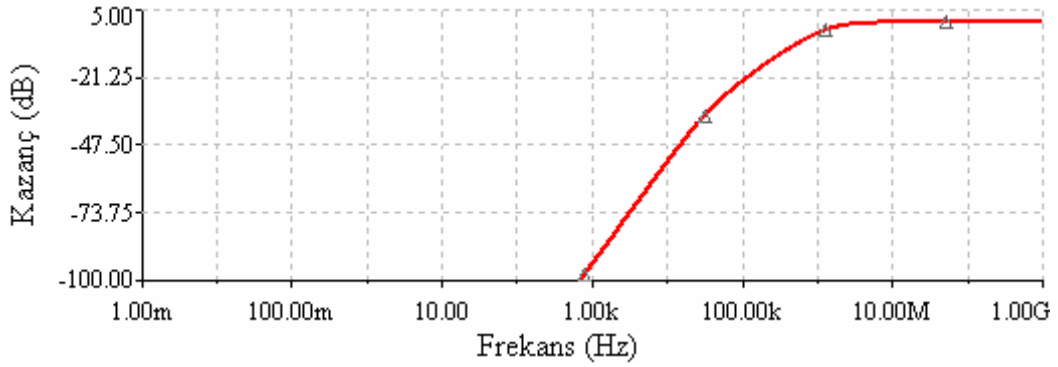
Şekil 5.14. CA3080 OTA kullanan YGS MULTISIM devre şeması

Şekil 5.15'de YGS devresinin frekans-kazanç karakteristiği görülmektedir. Şekil incelendiğinde; düşük frekanslarda çıkış işaretinin zayıf olduğu, 100 kHz frekans değerinin üzerindeki frekans değerlerinde devrenin iletimde olduğu gözlenmiştir.



Şekil 5.15. CA3080 OTA kullanan ve frekansı 100 kHz olan YGS frekans-kazanç karakteristiği

Şekil 5.14'deki devrenin eleman değerleri $gm_1=20$ mS, $gm_2=10$ mS, $gm_3=20$ mS, $gm_4=10$ mS, $C_1=1$ nF ve $C_2=10$ nF olarak değiştirilir ve bu değerler formülde (5.8) yerine yazılırsa frekans değeri 1 MHz olarak hesaplanır. Bu eleman değerlerine göre devre şeması oluşturulursa Şekil 5.16'daki sonuç eğrisi elde edilir.



Şekil 5.16. CA3080 kullanan ve frekansı 1 MHz olan YGS frekans-kazanç karakteristiği

Şekil 5.16 incelendiğinde OTA elemanı ile gerçekleştirilen YGS devresinde matematiksel formüllerle elde edilen frekans değerleri ile simülasyon sonucu elde edilen grafiklerdeki değerler birbiriyle uyumluluk göstermektedir.

OP-AMP elemanı ile gerçekleştirilen ve frekansı 1 MHz olan Şekil 5.12'deki grafikte yüksek frekanslarda görülen sinyal zayıflaması, aynı frekansa sahip OTA elemanı ile gerçekleştirilen YGS devresinde elde edilen karakteristikler meydana gelmemiştir.

5.6. LM741 OPAMP Kullanan Bant Geçiren Süzgeç Örnek Devresi

Şekil 5.17'de BGS devresi verilmiştir. Bu devrede; çıkış geriliminin ve kazancın maksimum olduğu frekansa "Rezonans Frekansı" denir. Rezonans frekansı f_r (f_0) veya w_r (w_0) ile sembolize edilir.

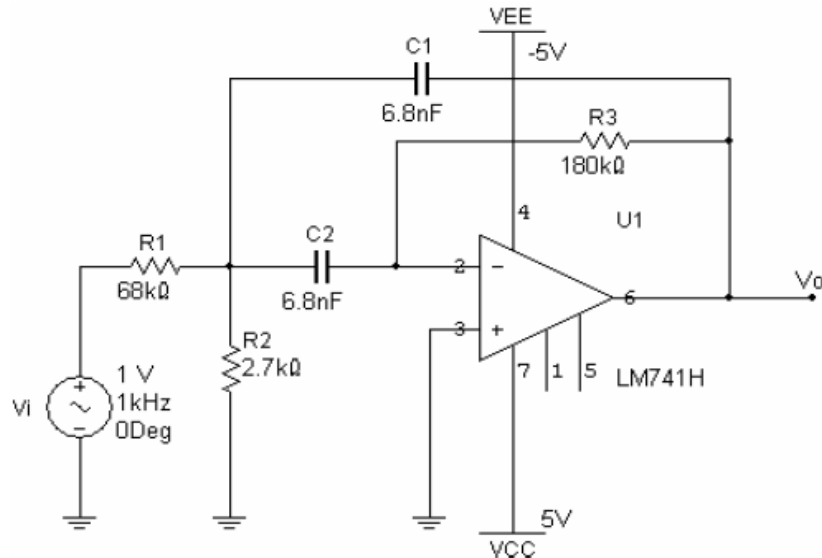
BGS devresinde kazancın 0.707 katı olan frekanslara alt (WL) ve üst (WH) kesim frekansı denir. Alt ve üst kesim frekansları arasındaki bölgeye ise “Bant Genişliği” adı verilir ve “B” ile sembolize edilir. Band Genişliği; $B=WH-WL$ şeklinde belirlenebilir. Dar ve geniş bant olmak üzere iki tip band geçiren süzgeç vardır. Dar bant süzgeçlerde bant genişliği rezonans frekansının $1/10$ 'nundan daha küçüktür. Geniş bant süzgeçlerde ise daha büyüktür. Rezonans frekansının (W_r), band genişliğine (B) oranına süzgeç devresinin kalite faktörü (Q) denir. Kalite Faktörü, $Q=W_r/B$ formülü ile belirlenir. Q'nun alacağı değere göre süzgeç devresinin kalitesi ve seçiciliği değişir. Q değeri yüksek ise seçicilikte fazladır. Dar bantlı süzgeçlerde seçicilik daha fazladır çünkü $Q>10$ 'dur. Geniş bantlı da ise $Q<10$ 'dur.

Devrenin transfer fonksiyonu,

$$H(s) = -\frac{1}{CR_1} \frac{s}{s^2 \frac{2}{CR_3} + \frac{1/C^2}{R_3 \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}}} \quad (5.9)$$

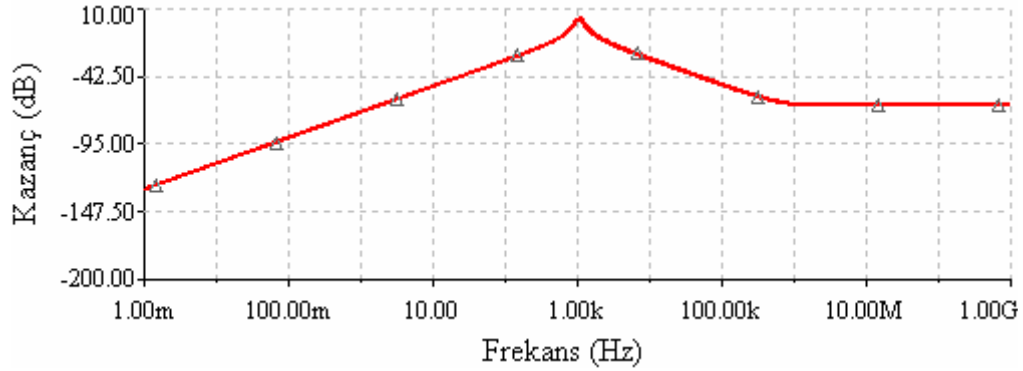
$$\omega_0 = 1/C \sqrt{R_1 R_2 R_3 / (R_1 + R_2)} \quad , \quad Q = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{R_3 (R_1 + R_2)}{R_1 R_2}} \quad (5.10)$$

formülleri yardımı ile bulunur. Şekil 5.17'de LM741 OP-AMP entegresi ile gerçekleştirilen bant geçiren süzgeç devresi şeması görülmektedir.



Şekil 5.17. LM741 OP-AMP ile gerçekleştirilen ve frekansı 1 kHz olan BGS devre şeması

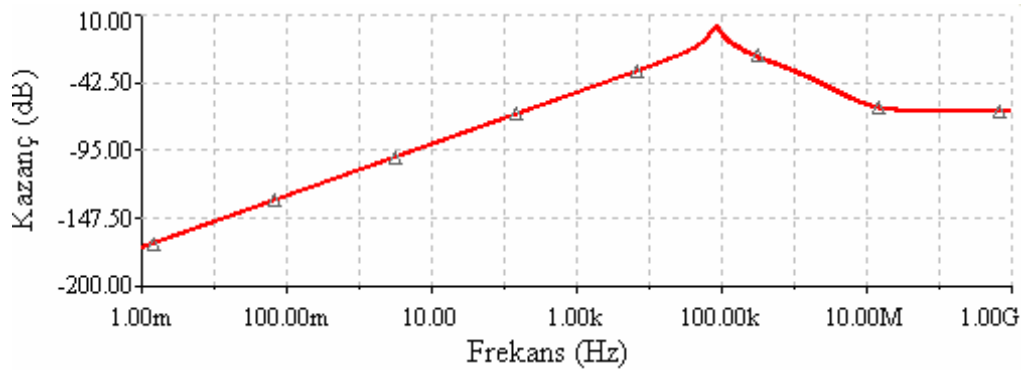
Şekil 5.17'deki LM741 OP-AMP entegresi ile gerçekleştirilen BGS devresinde eleman değerleri $R_1=68 \text{ k}\Omega$, $R_2=2.7\text{k}\Omega$, $R_3=180 \text{ k}\Omega$ ve $C_1=C_2=6.8 \text{ nF}$ olarak belirlenir ve bu değerler frekans formülünde (5.10) yerine yazılırsa rezonans frekansı 1 kHz olarak hesaplanır. Devrenin frekans-kazanç karakteristiği Şekil 5.18' de görülmektedir.



Şekil 5.18. LM741 ile gerçekleştirilen ve frekansı 1 kHz olan BGS frekans-kazanç karakteristiği

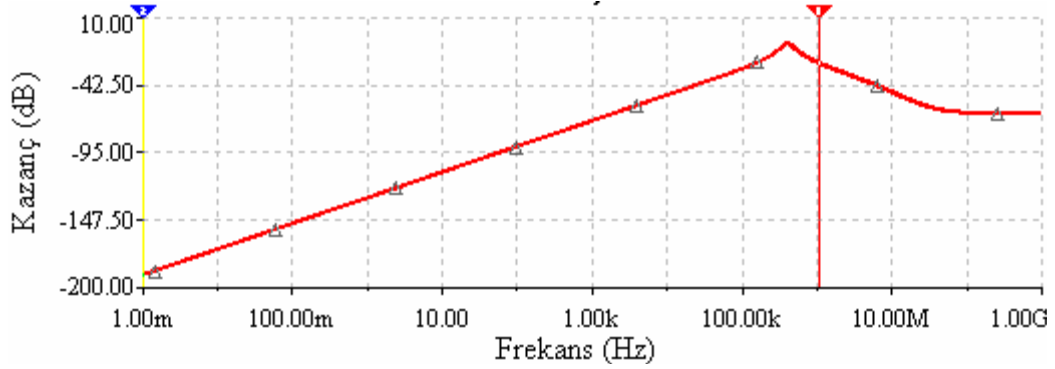
Şekil 5.18 incelendiğinde devrenin bant geçirme işlemini maksimum seviyede gerçekleştirdiği rezonans frekansının matematiksel formülden elde edilen değerle uyumluluk gösterdiği görülmektedir.

Şekil 3.35'deki devrenin eleman değerleri $R_1=68\text{k}\Omega$, $R_2=2.7\text{k}\Omega$, $R_3=180\text{k}\Omega$ ve $C_1=C_2=68 \text{ pF}$ olarak değiştirilirse ve değerler formülde yerine yazılırsa (5.10) f_0 (rezonans frekansı) değeri 100 kHz olarak bulunur. Oluşturulan bu devreye ait frekans-kazanç grafiği Şekil 5.19'da verilmiştir.



Şekil 5.19. LM741 ile gerçekleştirilen ve frekansı 100 kHz BGS frekans-kazanç karakteristiği

Şekil 5.19'dan da görüldüğü gibi çıkış sinyalinin rezonans frekansı ile matematiksel hesaplamalarla elde edilen frekans değeri 100 kHz için tutarlılık göstermektedir. Şekil 5.17'deki devrenin eleman değerleri $R1=68\text{ k}\Omega$, $R2=2.7\text{ k}\Omega$, $R3=180\text{ k}\Omega$ ve $C1=C2=6.8\text{ pF}$ olarak ayarlanır ve formülde (5.10) yerine yazılırsa rezonans frekansı 1 Mhz olarak bulunur. Bu durumda elde edilen devre MULTISIM programında oluşturulur ve frekans-kazanç karakteristiği elde edilirse Şekil 5.20 ortaya çıkmaktadır.

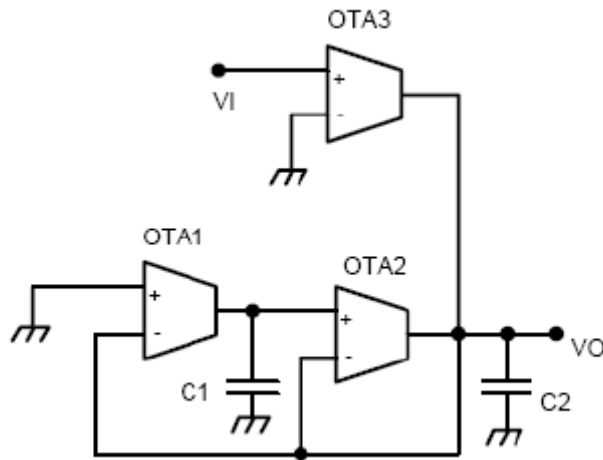


Şekil 5.20. LM741 kullanan ve frekansı 1 MHz olan BGS frekans-kazanç karakteristiği

OP-AMP ile gerçekleştirilen BGS devrelerinde 1 kHz ve 100 kHz değerleri için matematiksel sonuçlarla, MULTISIM simülatöründen elde edilen sonuçların birbiriyle uyumluluk gösterdiği ancak Şekil 5.20 incelendiğinde 1 MHz rezonans frekansı değeri için OP-AMP 'ın beklenen cevabı vermediği gözlenmiştir.

5.7. CA3080 OTA Kullanan Bant Geçiren Süzgeç Örnek Devresi

OTA kullanan BGS temel devresi Şekil 5.21'de verilmiştir.



Şekil 5.21. OTA kullanan BGS temel devre şeması

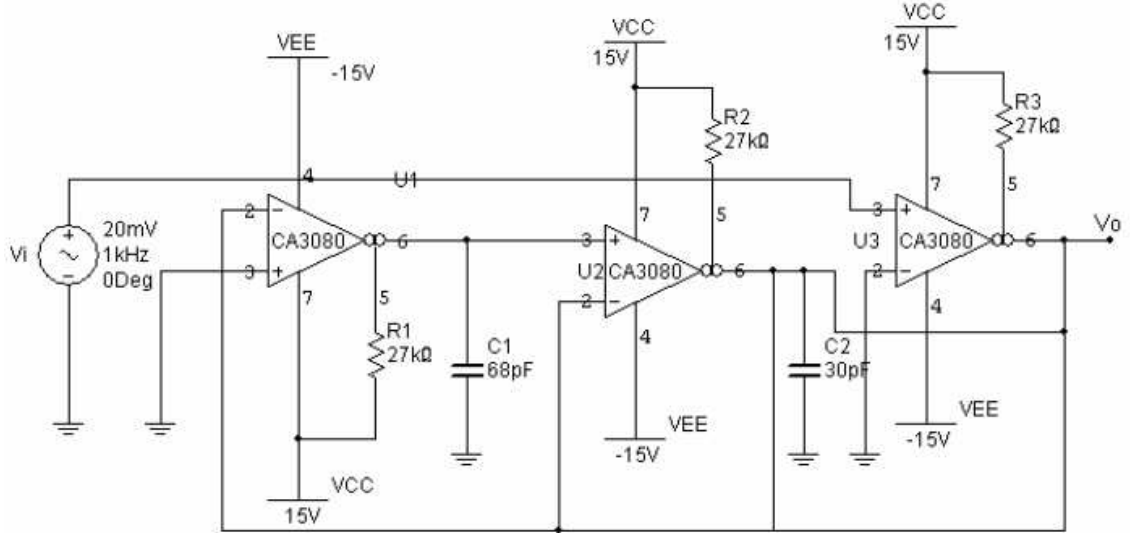
Bu devrenin transfer fonksiyonu,

$$H(s) = \frac{g_{m3}/C_2}{s^2 + s\left(\frac{g_{m2}}{C_2}\right) + \frac{g_{m1}g_{m2}}{C_1C_2}} \quad (5.11)$$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{g_{m1}g_{m2}}{C_1C_2}} \quad (5.12)$$

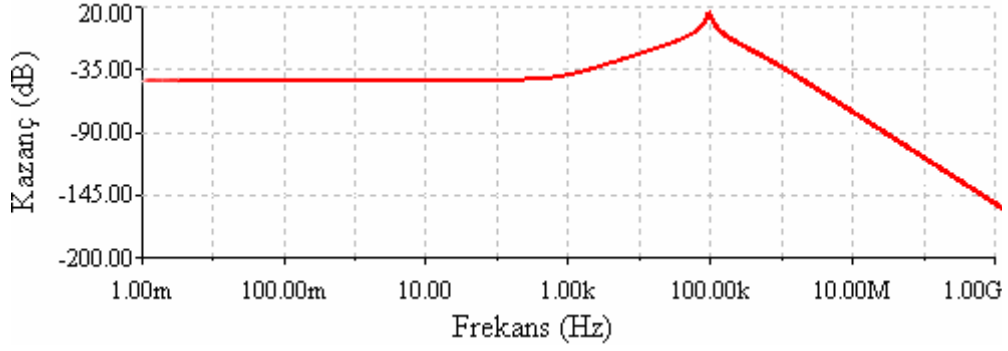
formülleri ile hesaplanır.

Şekil 5.22’de CA3080 OTA kullanan BGS devresinin devre şeması verilmiştir. Bu devrenin eleman değerleri, rezonans frekansı 100 kHz olacak şekilde ayarlanmıştır.



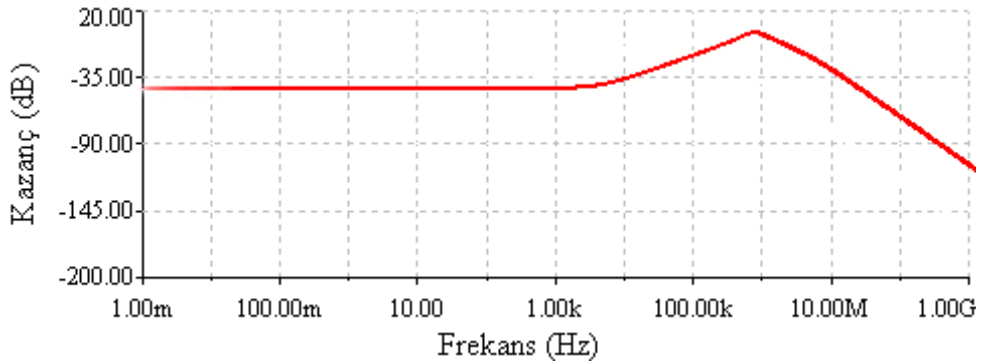
Şekil 5.22. CA3080 OTA kullanan BGS devre şeması

Şekil 5.23’de CA3080 OTA entegresi ile gerçekleştirilen BGS devresinin frekans-kazanç karakteristiği görülmektedir.



Şekil 5.23. CA3080 kullanan ve frekansı 100 kHz olan BGS frekans-kazanç karakteristiği

Şekil 5.23 incelendiğinde devre eleman değerlerinin formülde (5.12) yerine yazılmasıyla elde edilen rezonans frekansı ile devrenin frekans-kazanç karakteristiğinde görülen frekans değeri birbiriyle örtüşmektedir. Şekil 5.22'deki devrenin eleman değerleri f_0 rezonans frekansı 1 MHz olacak şekilde değiştirildiğinde elde edilen frekans-kazanç karakteristiği Şekil 5.24'de verilmiştir.



Şekil 5.24. CA3080 kullanan ve frekansı 1 MHz olan BGS frekans-kazanç karakteristiği

Düşük frekans değerleri için gerek OP-AMP elemanı ile, gerekse OTA elemanı ile gerçekleştirilen bant geçiren süzgeç devrelerinde, frekans formüllerinden elde edilen rezonans frekansı değerleri, MULTISIM programı sonuç grafiklerinden elde edilen değerler ile board üzerinde kurulan gerçek devrenin osiloskoptan alınan sonuçları birbiriyle örtüşmektedir. Şekil 5.20 ve Şekil 5.24 karşılaştırıldığında yüksek frekans değerlerinde OP-AMP elemanı ile gerçekleştirilen bant geçiren süzgeç devresinin sonuç grafiğinde rezonans frekansı olması gereken frekans değerinden kayarken, OTA elemanı ile gerçekleştirilen BGS devresinin sonuç grafiğinde kesim frekansı olması gereken frekans değerindedir.

6. OTA KULLANILARAK GERÇEKLEŞTİRİLEN OSİLATÖR DEVRELERİ

6.1. Giriş

Osilatör devrelerinin; haberleşme sistemlerinde, kontrol sistemlerinde, işaret işlemede ve ölçme sistemlerinde çok geniş kullanım alanı vardır. Gerilim kontrollü sinüzoidal osilatör tasarımı için günümüze kadar OP-AMP ve aktif RC tabanlı çok sayıda devre önerilmiştir. Fakat, bu devreler yüksek frekanslarda yetersiz kalmaktadır. Tümüleştirilmiş RC osilatörlerde kullanılan direnç değerleri tam olarak kontrol edilemez ve bunların toleransları oldukça büyük olur. Bu yapıların yerini sadece geçiş iletkenliği kuvvetlendiricisi ve kondansatörler kullanılarak gerçekleştirilen osilatör yapıları almıştır ve bunlar yüksek frekans devrelerinde oldukça kullanışlıdır. Bu devrelerin en büyük avantaj, yapıda endüktans bulunmaması, OTA'nın açık çevrimde çalışabilmesi, baska bir deyişle, yapılan lokal geribeslemelerle frekans cevabına ilişkin kutuplar için ek bir sınırlama getirmemesidir. OTA'nın eğiminin bir tasarım parametresi olarak kullanılması diğer bir avantaj olarak değerlendirilebilir. Bu eğim, akımın bir fonksiyonu olduğundan OTA'nın I_{bias} akımının değiştirilmesiyle söz konusu parametre ve bununla da frekansı değiştirme olanağı bulunmaktadır [21].

Son yıllarda gerilim modunda çalışan devreler, yerlerini akım modunda çalışan devrelere bırakmaya başlamıştır. Akım modunda çalışan devrelerin, gerilim modunda çalışan devrelere sağladığı en büyük üstünlük, düşük empedans seviyelerinde çalışması nedeniyle bozucu kapasitelerin küçülmesi ve bu sebeple devrelerin daha yüksek frekanslarda salınım yapabilmesidir. Akım modunda çalışan CCII yapıları, kullanıldıkları sistemlerde direnç elemanına ihtiyaç duydukları için tümleştirmeye uygun değildir. Akım modunda çalışan diğer bir eleman olan OTA, son yıllarda süzgeç yapılarında kullanılmaya başlanmıştır. OTA elemanı hem yukarıda bahsedilen sorunları aşmakta hem de akım modunda çalışan devre topolojilerinin oluşturulmasında büyük kolaylık sağlamaktadır [21].

6.2. Osilatör Devrelerinin Çalışma İlkesi

Osilatörler, doğru akımı periyodik dalga şekilli bir işarete çeviren devrelerdir [22]. Sinüzoidal osilatör devresi, sanal eksen üzerinde birbirinin eşleniği iki kutba sahip olup, diğer kutupları kompleks düzlemin sol yarısında olan bir devredir. Genel olarak ikinci dereceden bir osilatörün karakteristik polinomu

$$s^2 + bs + \Omega_0^2 = 0 \quad (6.1)$$

şeklindedir. Burada $b=0$ osilasyon şartıdır, $b<0$ için osilasyon genliği üstel olarak azalırken, $b>0$ için üstel olarak artar ise Ω_0 osilasyon frekansıdır. Osilatör tasarımında amaç b ve Ω_0 birbirinden bağımsız olarak minimum elemanla kontrol etmektir.

Bu bölümde yukarıda belirtilen şartları yerine getirecek devre yapıları elde edilecektir. Bu yapılar oluşturulurken yöntem, OTA-C süzgeçlerden hareketle sinüzoidal işaret üretecek olan osilatör yapıları oluşturmaktadır.

6.3. Süzgeç Devreleri Kullanılarak Osilatör Devrelerinin Elde Edilmesi

Genel bir biquadratik süzgecin transfer fonksiyonu Denklem (6.2)'de verilmiştir.

$$H(s) = \frac{V_o(s)}{V_i(s)} = \frac{a_2 s^2 + a_1 s + a_0}{s^2 + b_1 s + b_0} \quad (6.2)$$

gibidir. Bu fonksiyondan osilatör karakteristik fonksiyonu iki şekilde elde edilir. Birinci olarak $V_i=0$ yapılarak Denklem (6.3)'teki ifade elde edilir.

$$(s^2 + b_1 s + b_0)V_o(s) = 0 \quad (6.3.a)$$

İkinci olarak, $V_o(s) = V_i(s)$ yapılırsa,

$$s^2 + b_1 s + b_0 = a_2 s^2 + a_1 s + a_0 \quad (6.3.b)$$

$$(a_2 - 1)s^2 + (a_1 - b_1)s + (a_0 - b_0) = 0 \quad (6.3.c)$$

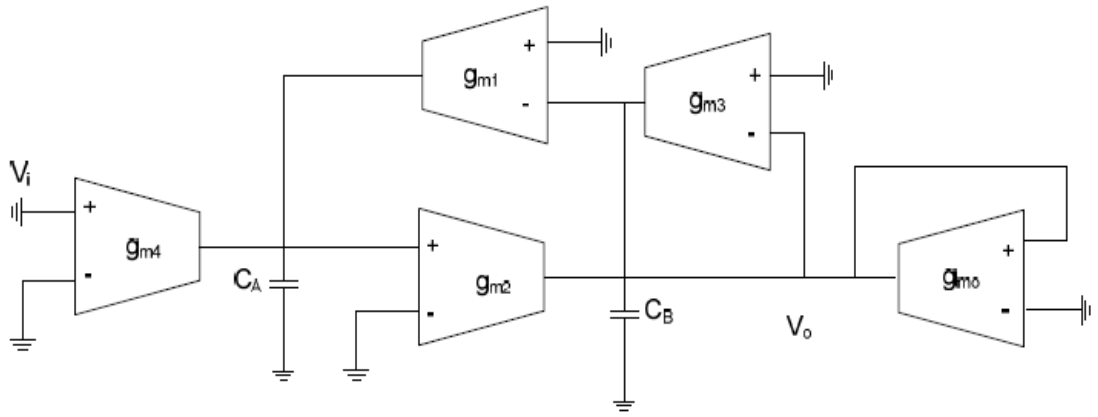
eşitlikleri elde edilir.

Burada karakteristik polinom,

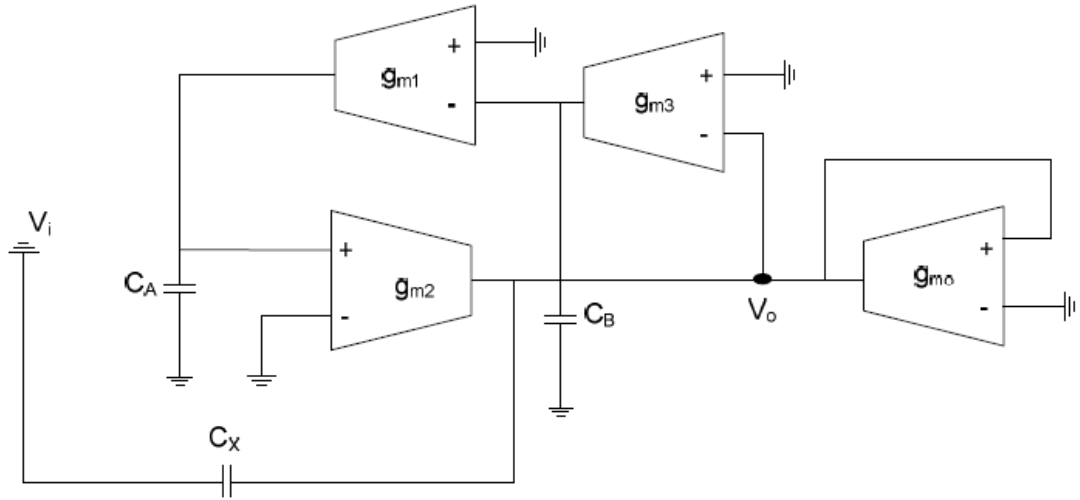
$$[s^2 + (\frac{a_1 - b_1}{a_2 - 1})s + (\frac{a_0 - b_0}{a_2 - 1})] = 0 \quad (6.4)$$

olmaktadır. Osilatör yapılarını elde etmek için, Bölüm 4'de önerilen ikinci derece transfer fonksiyonunu gerçekleyen genel süzgeç yapısından yararlanılmıştır. Bu yapıdan elde edilen alçak geçiren, yüksek geçiren ve bant geçiren süzgeç devreleri kullanılarak osilatör yapıları oluşturulmuştur.

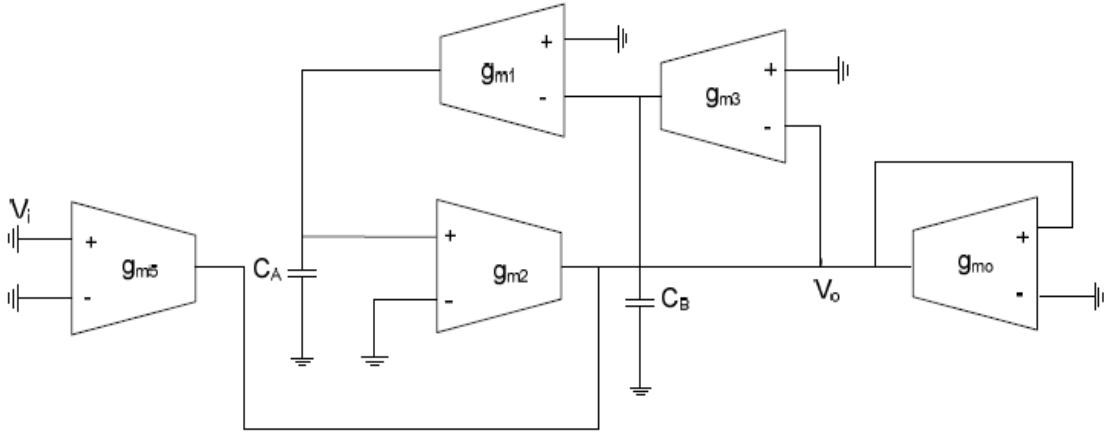
Anlatılan yöntemlerden birincisi uygulanarak, transfer fonksiyonunda yer alan b_1 ve b_0 terimlerinin, devre parametrelerine bağlı olarak hesaplanması yoluna gidilmiştir. Birinci yöntemde, giriş gerilimi $V_i(s)=0$ yapılarak, ikinci dereceden bir osilatörün transfer fonksiyonu elde edilir. Daha sonra osilasyon şartı olan “ $b_1=0$ ’mıdır?” bunun kontrolü yapılmalıdır. Eğer $b_1=0$ sağlanamamış ise uygun noktalara OTA ile gerçekleşmiş negatif direnç elemanı eklenmelidir. Aşağıdaki şekillerde süzgeç yapıları kullanılarak elde edilmiş osilatör devreleri görülmektedir.



Şekil 6.1.AGS'den elde edilen osilatör yapısı



Şekil 6.2. YGS'den elde edilen osilatör yapısı



Şekil 6.3. BGS'den elde edilen osilatör yapısı

Bölüm 4' de verilen süzgeç yapılarından, $V_i(s)=0$ yapılmasıyla elde edilen osilatör yapılarına, negatif direncin eklenmesiyle oluşturulan yeni osilatör yapıları Şekil 6.1'de verilmiştir. Bu devrelere ilişkin yeni ve eski b_1 ve Ω_0 bağıntıları Tablo 6.1'de görülmektedir. Burada verilen b_1 eşitliklerine bakıldığında g_{m3} teriminin yanına bir negatif direnç getirildiğinde $b_1=0$ şartının sağlandığı görülmektedir. Bunun devre üzerindeki anlamı, g_{m3} 'ün bağlı olduğu düğüme bu negatif direncin bağlanması gereğidir.

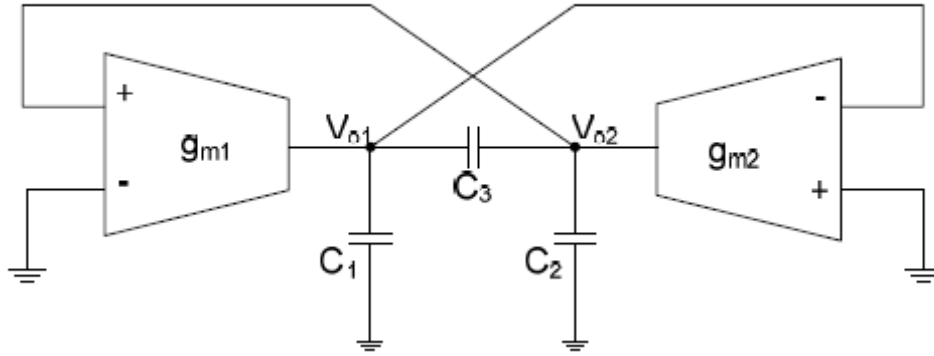
Tablo 6.1 Şekil 6.1'de verilen devrelere ilişkin osilatör şartları

Şekil No	$V_i(s)=0$ Negatif direnç (g_m) yok			$V_i(s)=0$ Negatif direnç (g_m) eklenmiş		
	b_1	Ω_0	Transfer fonksiyonu	b_1	Ω_0	Transfer fonksiyonu
Şekil 6.1	$\frac{g_{m3}}{C_B}$	$\sqrt{\frac{g_{m1}g_{m2}}{C_A C_B}}$	$s^2 + s\left(\frac{g_{m3}}{C_B}\right) + \left(\frac{g_{m1}g_{m2}}{C_A C_B}\right)$	$\frac{g_{m3}-g_{m0}}{C_B}$	$\sqrt{\frac{g_{m1}g_{m2}}{C_A C_B}}$	$s^2 + s\left(\frac{g_{m3}-g_{m0}}{C_B}\right) + \left(\frac{g_{m1}g_{m2}}{C_A C_B}\right)$
Şekil 6.2	$\frac{g_{m3}}{C_B+C_X}$	$\sqrt{\frac{g_{m1}g_{m2}}{C_A(C_B+C_X)}}$	$s^2 + s\left(\frac{g_{m3}}{C_B+C_X}\right) + \left(\frac{g_{m1}g_{m2}}{C_A(C_B+C_X)}\right)$	$\frac{g_{m3}-g_{m0}}{C_B+C_X}$	$\sqrt{\frac{g_{m1}g_{m2}}{C_A(C_B+C_X)}}$	$s^2 + s\left(\frac{g_{m3}-g_{m0}}{C_B+C_X}\right) + \left(\frac{g_{m1}g_{m2}}{C_A(C_B+C_X)}\right)$
Şekil 6.3	$\frac{g_{m3}}{C_B}$	$\sqrt{\frac{g_{m1}g_{m2}}{C_A C_B}}$	$\sqrt{\frac{g_{m1}g_{m2}}{C_A C_B}}$	$\frac{g_{m3}-g_{m0}}{C_B}$	$\sqrt{\frac{g_{m1}g_{m2}}{C_A C_B}}$	$s^2 + s\left(\frac{g_{m3}-g_{m0}}{C_B}\right) + \left(\frac{g_{m1}g_{m2}}{C_A C_B}\right)$

6.4. OTA-C Osilatör Yapıları

6.4.1. İki OTA Üç Kondansatörlü Osilatör Yapısı

İki OTA ve üç kapasite kullanılarak elde edilmiş osilatör yapısı Şekil 6.3'te görülmektedir. Bu osilatör devresinde görüldüğü gibi kullanılan eleman sayısı azdır, fakat buna bağlı olarak osilasyon frekansı, kullanılan tüm eleman değerlerine bağlıdır. Çoğu zaman bu istenmeyen bir durumdur.



Şekil 6.4. 2OTA-3C osilatör yapısı

Devrenin transfer fonksiyonu aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

V_{o1} düğümüne ilişkin gerilim,

$$V_{o1} = \frac{V_{o2}g_{m1} + (V_{o2} - V_{o1})sC_3}{sC_1} \quad (6.5.a)$$

$$V_{o1}sC_1 + V_{o1}sC_3 = V_{o2}g_{m1} + V_{o2}sC_3 \quad (6.5.b)$$

$$V_{o1} = \frac{g_{m1} + sC_3}{s(C_1 + C_3)} \cdot V_{o2} \quad (6.5.c)$$

olarak elde edilir. V_{o2} düğümüne ilişkin gerilim ise,

$$V_{o2} = \frac{-V_{o1}g_{m2} + (V_{o1} - V_{o2})sC_3}{sC_2} \quad (6.6.a)$$

$$V_{o2}sC_3 + V_{o2}sC_2 = -V_{o1}g_{m2} + V_{o1}sC_3 \quad (6.6.b)$$

$$V_{o2} = \frac{sC_3 - g_{m2}}{s(C_2 + C_3)} \cdot V_{o1} \quad (6.6.c)$$

olarak bulunur.

Devre çıkışı V_{o1} olarak kabul edilirse, hesaplanan V_{o2} değeri Denklem (6.5)'te yerine konulmalıdır. Bu yapıldığında elde edilen fonksiyon aşağıda görülmektedir.

$$V_{o1} = \frac{g_{m1} + sC_3}{s(C_1 + C_3)} \cdot \frac{sC_3 - g_{m2}}{s(C_2 + C_3)} V_{o1} \quad (6.7.a)$$

$$\frac{g_{m1} + sC_3}{s(C_1 + C_3)} = \frac{s(C_2 + C_3)}{sC_3 - g_{m2}} \quad (6.7.b)$$

$$s^2(C_1 + C_3)(C_2 + C_3) = sC_3g_{m1} + s^2C_3^2 - g_{m1}g_{m2} - sC_3g_{m2} \quad (6.7.c)$$

denklem düzenlendiğinde,

$$s^2[(C_1 + C_3)(C_2 + C_3) - C_3^2] = sC_3g_{m1} - g_{m1}g_{m2} - sC_3g_{m2} \quad (6.7.d)$$

$$s^2[(C_1 + C_3)(C_2 + C_3) - C_3^2] - sC_3(g_{m1} - g_{m2}) + g_{m1}g_{m2} = 0 \quad (6.7.e)$$

elde edilir.

Denklem ikinci dereceden osilatörün genel transfer fonksiyonuna benzetilirse,

$$s^2 - b_1s + \Omega_0^2 = 0$$

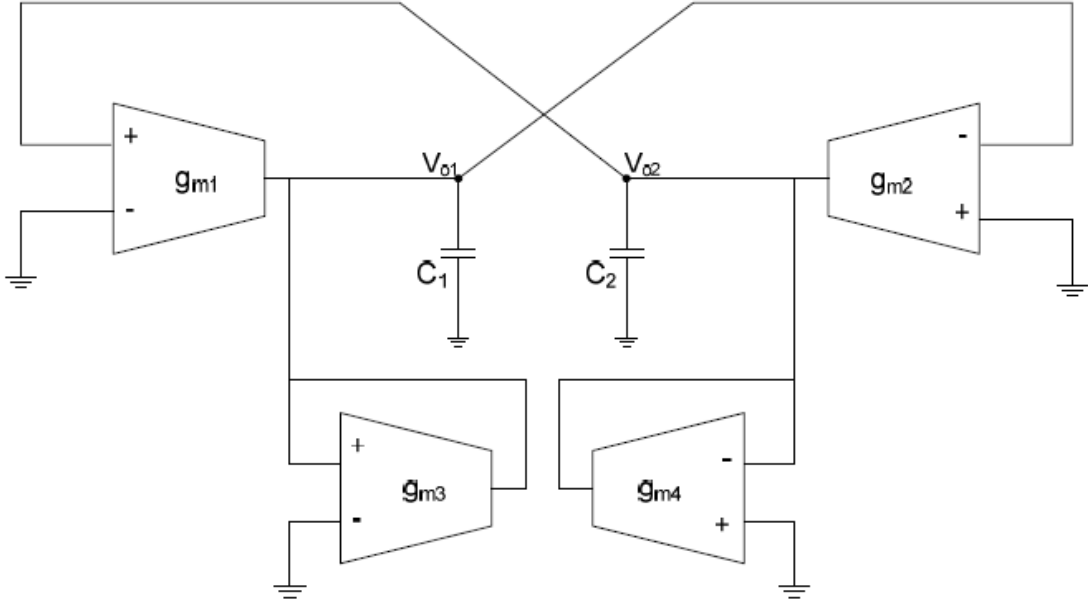
$$b_1 = \frac{C_3(g_{m1} - g_{m2})}{(C_1 + C_3)(C_2 + C_3) - C_3^2} \quad (6.8)$$

$$\Omega_0^2 = \frac{g_{m1}g_{m2}}{(C_1 + C_3)(C_2 + C_3) - C_3^2} \quad (6.9)$$

olarak bulunur. Osilasyonun gerçekleşmesi, $b_1=0$ olmasıyla mümkündür. Denklem (6.8)'den de görüldüğü gibi $b_1=0$ olması için g_{m1} ve g_{m2} değerleri eşit seçilmelidir.

6.4.2. Dört OTA İki Kondansatörlü Osilatör Yapısı

Dört OTA ve iki kapasite kullanılarak elde edilmiş osilatör yapısı Şekil 6.5’ de görülmektedir.



Şekil 6.5. 4OTA-2C osilatör yapısı

Devrenin transfer fonksiyonu aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

V_{o1} düğümüne ilişkin gerilim,

$$V_{o1} = \frac{V_{o2}g_{m1} + V_{o1}g_{m3}}{sC_1}$$

$$V_{o1} = \frac{g_{m1}}{sC_1 - g_{m3}} V_{o2} \quad (6.10)$$

olarak elde edilir. V_{o2} düğümüne ilişkin gerilim ise,

$$V_{o2} = \frac{-V_{o1}g_{m2} - V_{o2}g_{m4}}{sC_2}$$

$$V_{o2} = \frac{-g_{m2}}{sC_2 + g_{m4}} V_{o1} \quad (6.11)$$

olarak bulunur. Devre çıkışı V_{o1} olarak kabul edilirse, hesaplanan V_{o2} değeri Denklem (6.10)’da yerine konulmalıdır. Bu yapıldığında elde edilen fonksiyon 6.12. bağıntısında görülmektedir.

$$\frac{g_{m1}}{sC_1 - g_{m3}} = \frac{sC_2 + g_{m4}}{-g_{m2}}$$

$$s^2 C_1 C_2 - s C_2 g_{m3} + s C_1 g_{m4} - g_{m3} g_{m4} = -g_{m1} g_{m2}$$

denklem düzenlendiğinde,

$$s^2 [C_1 C_2] - s (C_2 g_{m3} - C_1 g_{m4}) - g_{m3} g_{m4} + g_{m1} g_{m2} = 0 \quad (6.12)$$

elde edilir. Denklem ikinci dereceden osilatörün genel transfer fonksiyonuna benzetilirse,

$$s^2 - b_1 s + \Omega_0^2 = 0$$

$$b_1 = \frac{C_2 g_{m3} - C_1 g_{m4}}{C_1 C_2} \quad (6.13)$$

$$\Omega_0^2 = \frac{g_{m1} g_{m2} - g_{m3} g_{m4}}{C_1 C_2} \quad (6.14)$$

olarak bulunur. Denklem (6.13)'ten de görüldüğü gibi $b_1=0$ olması için $C_2 \cdot g_{m3}$ ve $C_1 \cdot g_{m4}$ değerleri eşit olacak şekilde seçilmelidir. Ayrıca, $g_{m3} \cdot g_{m4} > g_{m1} \cdot g_{m2}$ olmamalıdır.

7.SONUÇ

Bu tez çalışmasında daha önceleri OP-AMP' lar kullanılarak yapılan yükselteç, süzgeç ve osilatör devrelerinin daha yeni aktif elemanlar olan OTA'larla tasarlanması incelenmiştir.

OP-AMP' lı devrelerin simülasyonunda MULTISIM LM741 modeli kullanılmıştır. OTA devre tasarımlarında ve simülasyonlarında ise Bipolar CA3080 modeli kullanılmıştır. LM741 entegresi ile gerçekleştirilen tasarımlar, OTA elemanı olan CA3080 entegresi kullanılarak tasarlanmış ve elde edilen devrelerin MULTISIM simülatöründe kazanç-frekans karakteristikleri çıkartılmıştır. Simülasyon sonuçları ile board üzerinde kurulan gerçek devrenin sonuçlarının aynı olduğu görülmüştür. OTA elemanı ile gerçekleştirilen devrelerin, OP-AMP elemanı kullanılan devrelere göre daha yüksek bant genişliğine sahip olduğu gözlenmiştir. OP-AMP elemanının düşük frekans değerleri için daha doğru sonuçlar verebildiği, ancak yüksek frekans değeri gerektiren uygulamalarda hatalı sonuçlar verdiği görülmüştür.

OTA ile gerçekleştirilen süzgeç devreleri direnç kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Alçak geçiren, yüksek geçiren, bant geçiren ve bant durduran süzgeç transfer fonksiyonları elde edilmiştir. OTA elemanı ile gerçekleştirilen süzgeç devreleri hem düşük frekanslar için ($\leq 100\text{KHz}$), hem de yüksek frekanslar için ($\geq 1\text{MHz}$) gerçekleştirilmiş, yapılan hesaplamalarla simülasyon sonuçlarının birbiri ile büyük benzerlik gösterdiği görülmüştür. OTA ile süzgeç tasarımında dikkat edilmesi gereken, kullanılan kapasite değerleridir. Frekans değeri yükseldikçe kapasite değerleri de küçültülmelidir. Aksi takdirde yapılan hesaplamalarla simülasyon sonuçları arasında büyük fark oluşmaktadır.

Sonuç olarak OP-AMP ile oluşturulan bir çok devrenin, OTA elemanları ile de oluşturulabileceği belirlenmiştir. OTA'nın yüksek frekanslardaki çalışma performansının OP-AMP'lara göre, çok daha iyi olduğu ve matematiksel olarak da daha kolay analiz yapılabildiği bu tez çalışmasında ortaya konmuştur.

KAYNAKLAR

- [1] UZUNHİSARCIKLİ E., ALÇI M., “UAE’lerin Gelişimi ve Bir BGF Devresinin Voltaj ve Akım Modunda FTFN ile Gerçekleştirilmesi”, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 19 (1-2) 38-49, 2003
- [2] WİTTLİNGER H.A., "Applications of the CA3080 and CA3080A High Performance Operational Transconductance Amplifiers," RCA Application Note ICAN-6668, May 2002
- [3] RANDALL L. GEİGER AND EDGAR SANCHEZ-SİNENCİO, “ Active Filter Design Using Operational Transconductance Amplifiers : A Tutorial ”, IEEE Circuits and Devices Magazine, Vol. 1, pp.20-32, March 1985
- [4] ZUMCHAK, EUGENE M , “A Short Discussion of the Operational Transconductance Amplifier (OTA), 1999
- [5] K. R. LAKER, W. M. C.SANSEN, “Design of Analog Integrated Circuits and Systems”, Mc Graw-Hill, 1994
- [6] JUNG, W.G , “IC Op-Amp Cookbook” (Howard W. Sams -Bobs Merrill First Ed.1974)
- [7] JUNG, W.G , “IC Array Cookbook ”, (Hayden, 1980)
- [8] SUN Y., FIDLER J.K., “Current-Mode Multiple-Loop Feedback Filters Using Dual-Output OTAs and Grounded Capacitor Filters”, International Journal of Circuit Theory and Applications, Vol. 25, 69-80, 1997
- [9] MINAEI S., “OTA ile Sayısal/Analog ve Analog/Sayısal Dönüştürücü Tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Şubat, 1997
- [10] KUNTMAN H., “Analog tümdevre tasarımı”, Sistem Yayınları, İstanbul, 1992
- [11] GRATZ ACHİM , “ Operational Transconductance Amplifiers ”, June 23, 2006
- [12] GEİGER R.L., SANCHEZ-SİNENCİO E., "Active Filter Design Using Operational Transconductance Amplifiers: A Tutorial," IEEE Circuits and Devices Magazine, Vol. 1, pp.20-32, March 1985.
- [13] GRISE W., “Application of the operational transconductance amplifiers (OTA) to voltage controlled amplifiers and active filters”, Department of IET Morehead State University.
- [14] ALÇI M., KARA S., “OP-AMP ve Lineer Tümdevreler”, Ufuk Kitapevi, Erciyes Üniv. Elektronik Müh. Bölümü, Kayseri.
- [15] KUNTMAN H. , “ Endüstriyel Elektronik : Analog Tümdevre Uygulamaları ”, Birsan Yayınevi, İstanbul, 1998
- [16] FERİKOĞLU A., “Devreleriyle ve Spice Simülasyonlarıyla Elektronik Devreler”, Değişim Yayınları, Nisan 2004.
- [17] LM13700 “ National Semiconductor” June, 2004

- [18] <http://www.itucu.edu.tr/ogr/mckasapbasi/doc/elektronik/OP-AMPS.pdf>
- [19] FOO S.Y., ANDERSON & TAKEFUJ_ Y., “Analog Components for the VLSI Neural Networks.”, IEEE Circuits and Devices Magazine. Vol.6. No.4.pp.18-26. July
- [20] RUSU A., “Lecture 8, Continuous-Time Filters”, KTH Vetenskap Och Konst, Spring, 2006.
- [21] ÖZPINAR A., “Yeni DO-OTA-C Osilatör Topolojileri”, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Şubat 1998.
- [22] KUNTMAN H., “İleri Analog Tümdevre Tasarımı”, İ.T.Ü. İleri Elektronik Teknolojileri Araştırma Geliştirme Vakfı, 1994

ÖZGEÇMİŞ

Şaziye Şule DEĞİRMENCİOĞLU 06.03.1984 tarihinde Mardin’ de doğmuştur. İlk ve orta öğrenimini Palu’ da, lise öğrenimini Elazığ’ da tamamlamıştır. 2001 yılında Mehmet Akif Ersoy Lisesi’nden mezun olmuştur. 2006 yılında Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümünden mezun olmuştur. 2008 yılında TEDAŞ’ ta Elektrik Mühendisi olarak göreve başlamış ve halen devam etmektedir.