

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

**OTA TABANLI DEVRE TASARIMI VE MULTISİM
SİMÜLASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Berkay ÇELİK

Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRONİK VE BİLGİSAYAR EĞİTİMİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Abdullah FERİKOĞLU

Haziran 2007

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

**OTA TABANLI DEVRE TASARIMI VE MULTİSİM
SİMÜLASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Berkay ÇELİK

Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRONİK VE BİLGİSAYAR EĞİTİMİ

Bu tez 15 / 06 /2007 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

**Prof. Dr. Abdullah
FERİKOĞLU
.....
Jüri Başkanı**

**Yrd. Doç. Dr. Halil
İbrahim ESKİKURT
.....
Üye**

**Yrd. Doç. Dr. Ahmet
Yahya TEŞNELİ
.....
Üye**

ÖNSÖZ

Son yıllarda meydana gelen teknolojik gelişmeler insanların ve bu gelişmeleri elinde tutan firmaların öncülüğünde tüketicilerin kullanımına sunulmaktadır. Ancak bu gelişmelerin ortaya çıkmasıyla, elde olan kaynakların en verimli şekilde kullanılması da gerekmektedir. Özellikle elektronik alanındaki gelişmelerde üreticiden, ortaya çıkarılan üründe olması istenen en önemli özellikler, yapılan işin hızlı olması, maliyetin düşük olması, ürünün değişik platformlara uyumlu olması ve uygulama devrelerinde benzer elemanlara göre en kaliteli sonuçların elde edilmesidir. Bu nedenle var olan elemanların piyasadaki yeni elemanlarla karşılaştırılıp en verimli olan ürünün kullanılması gerekir. Bu durum büyük oranda üretici ve tüketiciyi rahatlatacaktır.

Elektronik ve bilgisayar alanında bilime katkıda bulunabileceğim bir konuda tez hazırlamamı sağlayan ve hiçbir yardımını esirgemeyen çok kıymetli danışman hocam Prof. Dr. Abdullah FERİKOĞLU(Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi) hocama, bilgilerinden istifade ettiğim Elektronik ve Bilgisayar Bölümü öğretim üyesi hocalarıma ve araştırma görevlilerine, Sakarya Üniversitesi Kütüphane personeline ve Fen Bilimleri Enstitüsü çalışanlarına ve tabi ki bu tez çalışmam süresince bana katlanan ve destek olan ev arkadaşlarıma teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
TABLolar LİSTESİ.....	xi
ÖZET.....	xii
SUMMARY.....	xiii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
DEĞİŞİK OTA DEVRELERİNİN İÇ YAPILARININ İNCELENMESİ VE ÖZ EĞRİLERİNİN MULTISİM KULLANILARAK ELDE EDİLMESİ.....	4
2.1. Giriş.....	4
2.2. Geçiş İletkenliği Kuvvetlendiricisi (OTA).....	4
2.3. İşlemsel Kuvvetlendirici (OPAMP).....	5
2.4. Bipolar CA3080 OTA Yapısının Multisim Ortamında Modellenmesi ve Özeğrisinin Elde Edilmesi.....	7
2.5. Simetrik CMOS OTA Yapısının Modellenmesi ve Özeğrilerinin Elde Edilmesi.....	12
2.6. Bipolar LM13700 OTA Entegresinin Multisim Ortamında Modellenmesi ve Özeğrisinin Elde Edilmesi.....	14

BÖLÜM 3.

OTA-C DEVRELERİNİN OPAMP-C DEVRELERİ İLE PERFORMANS KARŞILAŞTIRMASI.....

17	17
3.1. Giriş.....	17
3.2. Eviren Yükselteç Devresi.....	19
3.2.1. LM741 OPAMP kullanan eviren yükselteç devresinin Multisim simülatöründe GB incelenmesi.....	20
3.2.2. Bipolar CA3080 OTA kullanan eviren yükselteç devresinin Multisim simülatöründe GB incelenmesi.....	22
3.3. Evirmeyen Yükselteç Devresi.....	23
3.3.1. LM741 OPAMP kullanan evirmeyen yükselteç devresinin Multisim simülatöründe GB incelenmesi.....	24
3.3.2. Bipolar CA3080 OTA kullanan evirmeyen yükselteç devresinin Multisim simülatöründe GB incelenmesi.....	25
3.4. Entegratör.....	27
3.4.1. LM741 OPAMP kullanan entegratörün Multisim simülatöründe frekans analizi.....	31
3.4.2. Bipolar CA3080 OTA kullanan entegratörün Multisim simülatöründe frekans analizi.....	33
3.5. Filtre Devreleri	36
3.5.1. LM741 OPAMP kullanan alçak geçiren filtre devresinin Multisim simülatöründe GB incelenmesi.....	38
3.5.2. Bipolar CA3080 OTA kullanan alçak geçiren filtre devresinin Multisim simülatöründe GB incelenmesi	42
3.5.3. LM741 OPAMP kullanan bant geçiren filtre devresinin Multisim simülatöründe GB incelenmesi.....	44
3.5.4. Bipolar CA3080 OTA kullanan bant geçiren filtre devresinin Multisim simülatöründe GB incelenmesi	47
3.5.5. LM741 OPAMP kullanan yüksek geçiren filtre devresinin Multisim simülatöründe GB incelenmesi	49
3.5.6. Bipolar CA3080 OTA kullanan yüksek geçiren filtre devresinin Multisim simülatöründe GB incelenmesi	52

3.6. Osilatör Devreleri.....	54
3.6.1. LM741 OPAMP kullanarak gerçekleştirilen sinüzoidal osilatör devresi.....	57
3.6.2. Bipolar CA3080 OTA kullanarak gerçekleştirilen sinüzoidal osilatör devresi.....	60
BÖLÜM 4.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	63
KAYNAKLAR.....	65
ÖZGEÇMİŞ.....	66

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

I_p	: Opamp pozitif giriş ucu akımı
I_n	: Opamp negatif giriş ucu akımı
V_p, V_n	: Opamp pozitif ve negatif giriş ucu gerilimleri
g_m	: Geçiş İletkenliği (Transconductance)
I_o	: OTA' nın çıkış akımı
I_{abc}	: OTA' nın kutuplama akımı
k	: Kilo
M	: Mega
m	: Mili
n	: Nano
p	: Piko
sn	: Saniye
S	: Simens
t	: Zaman
T	: Periyod
u	: Mikro
$V_{\text{Ç}}$: Çıkış gerilim işareti
V_D	: Lineerleştirme diyodu giriş değeri
V_g	: Giriş gerilim işareti
V_{in}	: Giriş gerilim farkı
V_k	: Kaynak gerilim işareti
V_T	: Ters doyma gerilimi
W	: CMOS transistor kanal genişliği
L	: CMOS transistor kanal uzunluğu
I_B	: CMOS kontrol akımı
C_{ox}	: Birim alan başına düşen geçit-oksit kapasite
μ	: Elektron ve deliklerin efektif hareketliliği

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	OTA devre sembolü ve eşdeğer devresi.....	5
Şekil 2.2.	Opamp'ın devre sembolü.....	6
Şekil 2.3.	Opamp eşdeğer devresi.....	6
Şekil 2.4.	Basit OTA devre şeması	7
Şekil 2.5.	CA3080 entegresi devre şeması.....	8
Şekil 2.6.	CA3080 entegresinin çalışmasının sembolik gösterimi.....	9
Şekil 2.7.	CA3080 entegresi iç yapısı çalışma prensip şeması.....	9
Şekil 2.8.	CA3080 entegresi için elde edilen karakteristik eğri.....	11
Şekil 2.9.	CMOS OTA devre şeması.....	12
Şekil 2.10.	CMOS OTA entegresi için elde edilen karakteristik eğri.....	13
Şekil 2.11.	LM13700 entegresi bacak bağlantıları.....	14
Şekil 2.12.	LM13700 entegresi devre şeması.....	15
Şekil 2.13.	LM13700 OTA entegresi için elde edilen karakteristik eğri.....	16
Şekil 3.1.	LM741 entegresi iç bağlantı şeması.....	18
Şekil 3.2.	Opamp elemanının simetrik kaynaktan beslenmesi.....	18
Şekil 3.3.	CA3080 entegresi iç bağlantı yapısı.....	19
Şekil 3.4.	OTA kullanan eviren yükselteç devresi.....	20
Şekil 3.5.	Opamp kullanan eviren yükselteç Multisim devre şeması.....	20
Şekil 3.6.	LM741 kullanan eviren yükselteç devresinin frekans-kazanç eğrisi.....	21
Şekil 3.7.	LM741 kullanan eviren yükselteç devresinin K=1000 için frekans-kazanç eğrisi.....	21
Şekil 3.8.	CA3080 kullanan eviren yükselteç Multisim devresi.....	22
Şekil 3.9.	CA3080 kullanan eviren yükselteç devresinin Multisim giriş ve çıkış eğrileri.....	22
Şekil 3.10.	CA3080 kullanan eviren yükselteç devresinin Multisim frekans-kazanç eğrisi.....	23

Şekil 3.11.	OTA kullanan evirmeyen yükselteç devresi.....	24
Şekil 3.12.	Opamp kullanan evirmeyen yükselteç temel devresi.....	24
Şekil 3.13.	Opamplı evirmeyen yükselteç devresi frekans-kazanç eğrisi.....	25
Şekil 3.14.	CA3080 kullanan evirmeyen yükselteç Multisim devresi.....	26
Şekil 3.15.	CA3080 OTA kullanan evirmeyen yükselteç devresi frekans-kazanç eğrisi.....	26
Şekil 3.16.	Opamp kullanan kayıpsız entegratör.....	27
Şekil 3.17.	Opamp kullanan kayıplı entegratör.....	28
Şekil 3.18.	OTA kullanan kayıpsız entegratör.....	29
Şekil 3.19.	OTA kullanan kayıplı entegratör.....	29
Şekil 3.20.	LM741 Opamplı entegratör.....	31
Şekil 3.21.	Frekans 1 kHz ve kazancı 1 olan kayıplı entegratörün Multisim sonuç eğrisi.....	32
Şekil 3.22.	Frekans 10 kHz ve kazancı 1 olan kayıplı entegratörün Multisim sonuç eğrisi.....	32
Şekil 3.23.	Frekans 100 kHz ve kazancı 1 olan kayıplı entegratörün Multisim sonuç eğrisi.....	33
Şekil 3.24.	CA3080 kullanan frekans 1 kHz ve kazancı 1 olan kayıplı entegratör devre şeması.....	33
Şekil 3.25.	CA3080 kullanan frekans 1 kHz ve kazancı 1 olan kayıplı entegratör Multisim sonuç eğrisi.....	34
Şekil 3.26.	CA3080 kullanan frekans 10 kHz ve kazancı 0.33 olan kayıplı entegratör devre şeması.....	34
Şekil 3.27.	CA3080 kullanan frekans 10 kHz ve kazancı 0.33 olan kayıplı entegratör sonuç eğrisi.....	35
Şekil 3.28.	CA3080 kullanan frekans 100 kHz ve kazancı 0.1 olan kayıplı entegratör sonuç eğrisi.....	35
Şekil 3.29.	İkinci dereceden transfer fonksiyonunu gerçekleyen genel OTA-C aktif süzgeç yapısı.....	38
Şekil 3.30.	Opamp ile gerçekleştirilen alçak geçiren filtre Multisim devre şeması.....	39

Şekil 3.31.	Opamp kullanan ve frekansı 1kHz olan alçak geçiren filtre frekans-kazanç eğrisi.....	40
Şekil 3.32.	Opamp kullanan ve frekansı 100 kHz olan alçak geçiren filtre frekans-kazanç eğrisi.....	41
Şekil 3.33.	Opamp kullanan ve frekansı 1 MHz olan alçak geçiren filtre frekans-kazanç eğrisi.....	41
Şekil 3.34.	OTA kullanan alçak geçiren filtre temel devresi.....	42
Şekil 3.35.	CA3080 OTA ile gerçekleştirilen alçak geçiren filtre Multisim devre şeması.....	42
Şekil 3.36.	OTA ile gerçekleştirilen ve frekansı 100 kHz olan alçak geçiren filtre frekans-kazanç eğrisi.....	43
Şekil 3.37.	OTA kullanan ve frekansı 1 MHz olan alçak geçiren filtre frekans-kazanç eğrisi.....	43
Şekil 3.38.	LM741 Opamp ile gerçekleştirilen ve frekansı 1 kHz olan bant geçiren filtre devre şeması.....	45
Şekil 3.39.	LM741 ile gerçekleştirilen ve frekansı 1 kHz olan bant geçiren filtre frekans-kazanç eğrisi.....	46
Şekil 3.40.	LM741 ile gerçekleştirilen ve frekansı 100 kHz bant geçiren filtre frekans-kazanç eğrisi.....	46
Şekil 3.41.	LM741 kullanan ve frekansı 1 MHz olan bant geçiren filtre frekans-kazanç eğrisi.....	47
Şekil 3.42.	OTA kullanan bant geçiren filtre temel devre şeması.....	47
Şekil 3.43.	CA3080 OTA kullanan bant geçiren filtre Multisim devre şeması.....	48
Şekil 3.44.	CA3080 kullanan ve frekansı 100 kHz olan bant geçiren filtre frekans-kazanç eğrisi.....	48
Şekil 3.45.	CA3080 kullanan ve frekansı 1 MHz olan bant geçiren filtre frekans-kazanç eğrisi.....	49
Şekil 3.46.	LM741 Opamp kullanan yüksek geçiren filtre Multisim devre şeması.....	50
Şekil 3.47.	LM741 kullanan ve frekansı 1 kHz olan yüksek geçiren filtre frekans-kazanç eğrisi.....	51

Şekil 3.48.	LM741 kullanan ve frekansı 100 kHz olan yüksek geçiren filtre frekans-kazanç eğrisi.....	51
Şekil 3.49.	LM741 kullanan ve frekansı 1 Mhz olan yüksek geçiren filtre frekans-kazanç eğrisi.....	52
Şekil 3.50.	OTA kullanan yüksek geçiren filtre temel devre şeması.....	52
Şekil 3.51.	CA3080 OTA kullanan yüksek geçiren filtre Multisim devre şeması.....	53
Şekil 3.52.	CA3080 kullanan ve frekansı 100 kHz olan yüksek geçiren filtre frekans-kazanç eğrisi.....	53
Şekil 3.53.	CA3080 kullanan ve frekansı 1 MHz olan yüksek geçiren filtre frekans-kazanç eğrisi.....	54
Şekil 3.54a.	Alçak geçiren filtreden elde edilen osilatör yapısı.....	55
Şekil 3.54b.	Yüksek geçiren filtreden elde edilen osilatör yapısı.....	56
Şekil 3.54c.	Bant geçiren filtreden elde edilen osilatör yapısı.....	56
Şekil 3.55.	LM741 Opamp kullanan sinüzoidal osilatör devre şeması.....	57
Şekil 3.56.	LM741 Osilatör devresinde $f=10$ kHz için elde edilen sinüzoidal çıkış sinyali.....	58
Şekil 3.57.	LM741 Osilatör devresinde $f=100$ kHz için elde edilen sinüzoidal çıkış sinyali.....	58
Şekil 3.58.	LM741 Osilatör devresinde $f=500$ kHz için elde edilen sinüzoidal çıkış sinyali.....	59
Şekil 3.59.	CA3080 OTA kullanan osilatör Multisim devre şeması.....	60
Şekil 3.60.	CA3080 OTA kullanan ve osilasyon frekansı 100 kHz olan osilatör devresi çıkış sinyali.....	61
Şekil 3.61.	CA3080 OTA kullanan ve osilasyon frekansı 1 MHz olan osilatör devresi çıkış sinyali.....	62

TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1.	Osilatör yapılarına ilişkin osilasyon şartı ve osilasyon frekans bağıntıları.....	56
Tablo 3.2.	LM741 Opamplı osilatör devresinden elde edilen frekans ve çıkış gerilimi değerleri.....	59

ÖZET

Anahtar kelimeler: OTA, işlemsel geçiş iletkenliği kuvvetlendiricisi, Multisim, Simülasyon

Bu tez çalışmasında, elektronik alanında daha önceden opamp ile oluşturulan bazı temel devrelerin OTA elemanı kullanılarak oluşturulması, Multisim simülatörü kullanılarak incelenmesi ve karşılaştırılması amaçlanmıştır.

Birinci bölümde bu tez çalışmasının amacı ve kullanılan Multisim programının özelliklerine yer verilmiştir. Ayrıca daha önceden bu tez çalışmasına yol gösterici nitelikteki literatürden bahsedilmiştir.

İkinci bölümde OTA ve opamp hakkında genel bilgiler verilmiş ve OTA' yı temsil eden Bipolar ve CMOS entegrelerinin içyapıları incelenmiş ve bu yapılar transistör diyot ve direnç kullanarak Multisim programında oluşturulmuş ve her bir yapının özgeğrileri elde edilmiştir.

Üçüncü bölümde, opamp devreleri ile oluşturulan yükselteç, filtre ve osilatör uygulama devreleri OTA elemanı ile tasarlanmış ve bu tasarımlar Multisim programı yardımıyla simüle edilmiştir. Elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve LM741 opamp entegresi ile Bipolar CA3080 OTA entegresi arasında performans değerglendirmesi yapılmıştır.

Dördüncü bölümde, yapılan simülasyonlar ve incelemelerden elde edilen sonuçlar belirtilmiş ve bu konuda yapılabilecek yeni uygulamalar ve araştırmalar hakkında öneriler sunulmuştur.

OTA BASED CIRCUIT DESIGN IN MULTISIM ENVIRONMENT

SUMMARY

Key Words: OTA, Transconductance Amplifier, NI Multisim, Simulation

The purpose of this thesis is to construct basic well known opamp circuits with the OTA element, examine them with the use of Multisim Simulator and make comparisons between each other.

In the first part, the purpose of this thesis, the properties of the Multisim Simulator Program that is used and the literature that led to this thesis are mentioned.

In the second part, general information is given about OTA and opamp and the interior structures of the Bipolar and CMOS integrated circuits that represent OTA are examined. These structures are constructed with the use of Multisim Simulator Program and the characteristic diagrams of each structure are obtained.

In the third part, the amplifier, filter and oscillator application circuits that were constructed with the opamp circuits are designed with the OTA element and these designs are simulated by using Multisim Simulator Program. The obtained results are compared and a performance evaluation is made between LM741 opamp and Bipolar CA3080 integrated circuits.

In the fourth part, the results from the simulations made and their evaluations are emphasized. And some suggestions are presented on new applications and researches that can be made on the subject.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Elektronik alanında gerçekleştirilen sistemler diferansiyel denklemler yardımıyla tanımlanmakta ve tanımlanan bu diferansiyel denklemlerin çözülmesi ile sistemlerin karakteristikleri hakkında bilgi edinilmektedir. Elektronik sistemlerin çözüm aşaması için kullanılan yöntemlerden biride sistemi analog bloklar halinde elde etmek yani herhangi bir sistemi ifade eden diferansiyel denkleme karşılık gelen elektrik devresinin fiziksel elemanlar yardımıyla kurulması ve sistemin girişine gerekli işaretlerin uygulanarak çıkışın gözlemlenmesidir.

Bu çalışmada kurulacak olan elektriksel devrelerde opamp ve OTA elemanlarından yararlanılmıştır. Son zamanlarda bu tür aktif elemanlara yenileri eklenmektedir. Günümüzde birçok analog blok çözümleri için opamp kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında daha çok OTA elemanı ile kurulmuş olan devreler incelenecek ve opamp kullanılan devrelere nazaran performans değerlendirmesi yapılacaktır. Yapılacak değerlendirmelerde Multisim Education Edition Programı kullanılarak devrelerin simülasyonu gerçekleştirilecektir.

Yapılan çalışmada öncelikle OTA ve opamp elemanları tanıtılmış, bu elemanlar ile kurulmuş temel devreler verilmiştir. Daha sonra OTA ve opamp kullanılarak yükselteç devreleri, osilatör devreleri ve filtre devreleri tasarlanmış ve bu tasarlanan devre şemaları Multisim simülasyon programı yardımıyla kurulup sonuçları incelenmiştir. Sonuçların doğruluğu mümkün olduğunca sayısal çözümler ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada kullanılan devrelerdeki elemanların değerleri belirlenerek Multisim ortamında uygulaması yapılmıştır.

Multisim programı, elektronik bir devre simülatörüdür. İlk olarak Toronto, Ontario ve Canada tabanlı bir şirket tarafından ortaya çıkarılmıştır. Yazılım başlangıçta eğitim amacıyla dokümanların işlenmesi için kullanılmıştır. Ontario hükümetinin fakültelerde elektronik araçların öğretilmesi için bir yazılıma ihtiyaç duyması sonucu

şirket Electronics Workbench adı verilen bir simülatör üretmiştir. 1999 yılında şirket EDA adında başka bir şirketle birleşerek Ultimate Technology adını almıştır. Tabii ki bu esnada Electronics Workbench programı geliştirilerek Schematic Capture, Multisim ve Ultiboard adı verilen üç ayrı uyumlu çalışabilen yazılım haline getirilmiştir. 2005 yılında ise yazılımın tüm haklarını National Instruments şirketi almıştır. Bu çalışmada Multisim Education Edition Version 10.0 kullanılmıştır.

Bilindiği üzere simülasyon programları gerçek hayatta incelenmesi zaman açısından ve maddi açıdan zor olan elektriksel devreleri bilgisayar ortamında gerçekleştirmek ve elde edilecek sonuçları gerçeğe yakın şekliyle incelemek amacıyla üretilmekte ve kullanılmaktadır.

Multisim programında herhangi bir devrenin analizi, bilgisayar aracılığıyla devre şemasını ilgili elemanları kullanarak oluşturmak ve kullanıcının belirleyeceği şartlara göre devreyi çalıştırıp sonuçları incelemek yoluyla yapılmaktadır.

Multisim programı yardımıyla devrelerin simule edilmesinde çeşitli eleman parametrelerinin devre üzerindeki etkilerini birbirinden ayırmak ve izole etmek üzere, sonsuz band genişliğinde ve kazanca sahip elemanlar kullanılabilir. Ayrıca bir deney setinin devre üzerine getireceği parazit etkiler olmaksızın bir tüm devrenin yüksek frekanstaki davranışları incelenebilir ve gerçek bir devrede ölçü probunun yaptığı işi devreyi yüklemeyen, akım ve gerilimlerin dalga şekillerini ve frekans cevabını izlemek mümkündür.

Bu tez çalışması OTA ve opamp ile kurulmuş elektrik devrelerinin simülasyonunu kapsamaktadır. Bilgisayarda yapılan simülasyon en iyi ölçme yöntemidir. Ancak kullanılan simülasyon programında elemanları temsil eden modellerin de yeteri kadar doğru olması gerekmektedir. Model ne kadar iyi kurulmuşsa, bilgisayarda simülasyonda o derece iyi sonuç verecektir.

Elektronikte kullanılan aktif devre elemanları lineer olmayan elemanlardır. Bu elemanları temsil eden modellerde buna bağlı olarak non-lineer olacaktır. Aktif bir elektronik devre elemanında, elemanların davranışını etkileyen çok sayıda fiziksel

olay bulunmaktadır. Bu yüzden eleman davranışlarının iyi bir şekilde modellenebilmesi için bütün bu fiziksel olayların lineer olmayan model içerisine alınması gerekir.

Pratikte işlemsel yükselteçler genellikle analog kontrollerde kullanılırlar. Diğer taraftan işlemsel geçiş iletkenliği kuvvetlendiricileri (OTA) yüksek bant genişliği, yüksek frekanslarda çalışabilme, entegrasyona uyumluluk ve opamlara nazaran daha iyi kararlılık karakteristiğine sahip olma gibi bazı olumlu özelliklere sahiptirler [3].

OTA elemanı voltaj kontrollü akım kaynağı olarak çalışabilen bir devre elemanıdır. OTA elemanının işlemselliği girişine uygulanan fark gerilimlerinin çıkışındaki akım değerini değiştirmesinden kaynaklanmaktadır [6].

İşlemsel geçiş iletkenliği yükselteci, geçiş iletkenliğini ve kazancını sadece girişine uygulanan fark gerilimleri ile kontrol etmez. Aynı zamanda kontrol akımı denilen akım değeriyle geçiş iletkenliğini değiştirebilir. Devre çıkışında elde edilecek olan akım değeri en fazla devre girişinde kontrol akımı olarak uygulanan akım değerine ulaşabilir. Bu durum OTA elemanının olumlu yanlarından biridir [9].

Birçok OTA yapısında sadece OTA elemanı ve kapasite kullanılmaktadır. Böylece VCVS (Voltage Controlled Voltage Source) devrelere nazaran daha az devre elemanı kullanılmış olur. Aynı zamanda bu durum giriş ve çıkış karakteristik eğrilerinin daha lineer olmasını sağlamaktadır. Özellikle bazı filtre yapılarında sıkça tercih edilmektedir [5].

BÖLÜM 2. DEĞİŞİK OTA DEVRELERİNİN İÇYAPILARININ İNCELENMESİ VE ÖZ EĞRİLERİNİN MULTISİM PROGRAMI KULLANILARAK ELDE EDİLMESİ

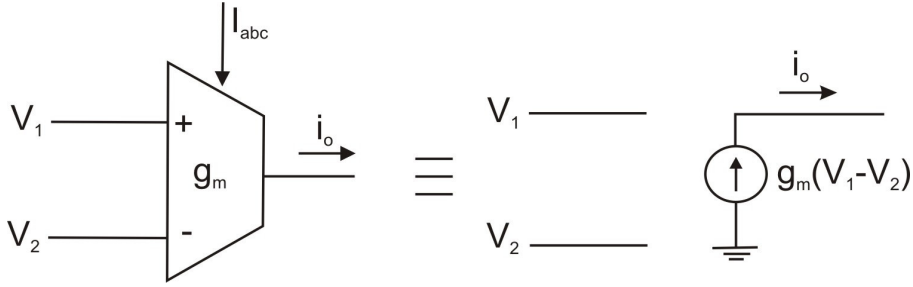
2.1 Giriş

Piyasada kullanılan OTA' ların hepsi BJT ile gerçekleştirilmiştir. Piyasada İntersil firmasına ait CA3080 ve CA3094 entegreleri, National Semiconductor firmasına ait LM13600 ve LM13700 entegreleri, Texas Instruments firmasına ait OPA860 entegresi bulunmaktadır [8].

Basit yapıdaki bir OTA temelde bir fark kuvvetlendiricisi ve akım aynalarından meydana gelmektedir. CA3080 entegresinin içinde 1 adet basit yapıda OTA bulunmaktadır. LM13700 entegresinde ise 2 adet geliştirilmiş OTA diyebileceğimiz OTA, lineerleştirme diyotları ve buffer bulunmaktadır.

2.2. Geçiş İletkenliği Kuvvetlendiricisi (OTA)

Opamplar ucuz ve gelişmiş olmalarına rağmen tümleşik devre elde etmek için pek uygun olmadıklarından OTA gibi elemanlar kullanılmaktadır. OTA' nın açılımı "Operational Transconductance Amplifier" dir, yani geçiş iletkenliği kuvvetlendiricisi anlamına gelmektedir. OTA-C ise "Operational Transconductance Amplifier-Capacitor" anlamındadır. OTA giriş gerilimlerinin farkı ile çıkış akımını kontrol eden bir devredir. Başka bir deyişle gerilim kontrollü akım kaynağıdır. OTA bütün teknolojilerde tümleştirme için uygundur. Bunun yanında OTA' lar bir kutuplama akımının değiştirilmesi yoluyla elektronik ayarlama için kolay metotlar sağlarlar. Ayrıca OTA' lar opamlara göre önemli derecede daha yüksek band genişliklerine sahiptirler. İdeal bir OTA eşdeğer devresi ve devre sembolü Şekil 2.1 de gösterilmektedir [5].



Şekil 2.1. OTA devre sembolü ve eşdeğer devresi

İdeal bir OTA' nın tanım denklemi,

$$I_o = g_m (V_1 - V_2) \quad (2.1)$$

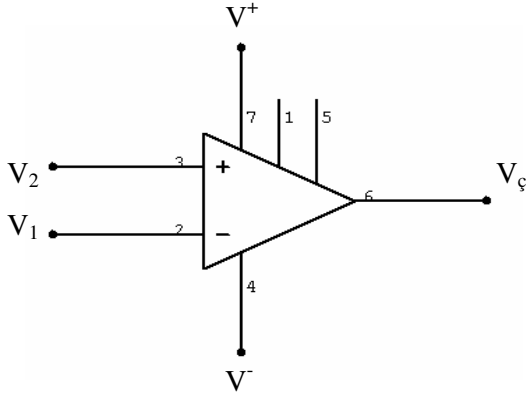
olur.

Burada $g_m = f(I_{abc})$ dir. Yani kutuplama akımı değiştirilerek g_m değeri belirlenebilir. OTA elemanı daha çok açık çevrim devrelerinde kullanılmaktadır. OTA'nın giriş ve çıkış empedansları ideale yakın şekildedir. Yani giriş ve çıkış dirençleri çok büyüktür. OTA ile kurulmuş devrelerde zaman sabiti g_m/C şeklindedir. g_m değerinin değiştirilebilir yani kontrol edilebilir olması önemli bir özelliktir.

Gerçek OTA' lar ile çalışırken dikkatli olmak gerekir. Çünkü gerçek OTA'larda giriş ve çıkış empedansları frekansa bağlıdır ve sonsuz değildir. Ayrıca g_m değeri de frekans ile değişebilmektedir. OTA'nın lineer bölgede çalışabilmesi için giriş fark gerilim değerlerinin 50mV'dan küçük olması gerekir.

2.3. İşlemsel Kuvvetlendirici (Opamp)

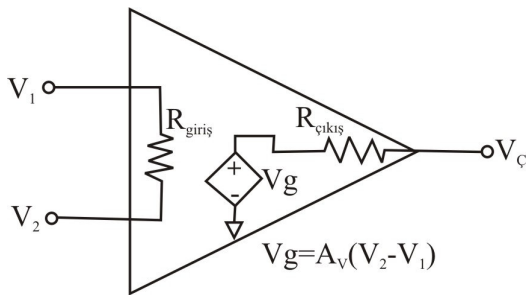
İşlemsel kuvvetlendirici (Opamp), yüksek kazançlı, çok sayıda doğrusal ve doğrusal olmayan işaret işleme fonksiyonlarını gerçekleştirme yeteneğine sahip tümleşik devre yükselticidir. Opamlara dışarıdan bağlanan devre elemanları ile geri beslemesi ve dolayısıyla yükselteç devresinin gerilim kazancı kontrol edilebilir. Genel olarak opamp, çok yüksek kazançlı bir DC yükselteçtir. Günümüzde, 100MHz' i geçen frekanslarda ve 100w güç seviyesini aşan değerlerde kullanılan işlemsel kuvvetlendiriciler mevcuttur.



Şekil 2.2. Opamp devre sembolü

Genel olarak bir işlemsel yükselticinin iki giriş, bir çıkış, iki de besleme kaynağı ucu bulunur. Sembolde, (-) işaretli giriş ucu tersleyen (eviren, inverting), (+) işaretli giriş ucu terslemeyen (evirmeyen, noninverting) giriş ucudur. (-) işaretli giriş ucuna sinyal uygulandığında çıkıştan 180° faz farklı bir çıkış sinyali alınır. Giriş sinyali (+) işaretli giriş ucuna uygulandığı zaman da çıkıştan alınan sinyalle girişe uygulanan sinyal arasında faz farkı olmaz. Yani aynı fazda bir çıkış sinyali alınır.

Opamp eşdeğer devresini temsil eden şema Şekil 2.3’de verilmiştir.



Şekil 2.3. Opamp eşdeğer devresi

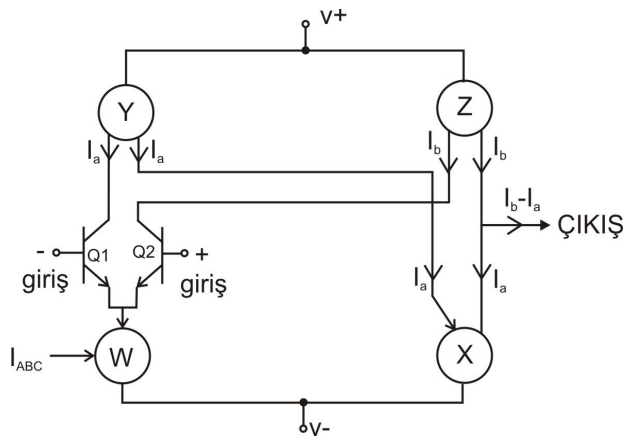
Opamp’ ın tanım denklemleri:

$$\left. \begin{array}{l} I_p = 0, I_n = 0 \\ V_p - V_n = 0 \end{array} \right\} \text{ (ideal opamp için)} \quad (2.2)$$

Opamp'ın iki kazancı vardır. Bunlar açık çevrim ve kapalı çevrim kazancıdır. Kapalı çevrim kazancı, devreye harici olarak bağlanan geri besleme direnci ile belirlenir. Açık çevrim kazancı ise Opamp'ın kendi kazancıdır. Yani direnç ile belirlenemeyen kazancıdır. Her ne kadar Opamp'ın kazancı yaklaşık 200.000 gibi bir değerde olmasına rağmen bu kazanç Opamp'a uygulanan besleme voltajına bağlıdır. Örneğin, bir Opamp'ın besleme voltajı ± 5 Volt ve girişe 1 Volt yükseltmek üzere bir giriş sinyali uygulansa, Opamp'ın özelliğine göre çıkıştan bu kazançla orantılı olarak 200.000 Volt alınmaz. Çünkü besleme voltajı ± 5 Volt kullanılmışsa çıkıştan en fazla 5 Volt alınır. Burada, açık çevrim kazancını etkileyen en önemli faktör besleme voltajının değeridir. Opamp'ın diğer özelliği $5M\Omega$ 'a ulaşan giriş empedansıdır. Giriş empedansının bu kadar büyük olması, bağlı olduğu sinyal kaynağını ve bir önceki devreyi yüklememesi, küçük bir giriş akımı ile kumanda edilmesi gibi üstünlükleri vardır. Opamp'ın çıkış empedansı idealde sıfır iken pratikte bu değer 100–150 Ω arasındadır. Opamp'ın çıkış empedansının küçük olması, çıkış akımını artırarak kısa devrelerden zarar görmemesini sağlar.

2.4 Bipolar CA3080 OTA Yapısının Multisim Ortamında Modellenmesi ve Özgeçiriminin Elde Edilmesi

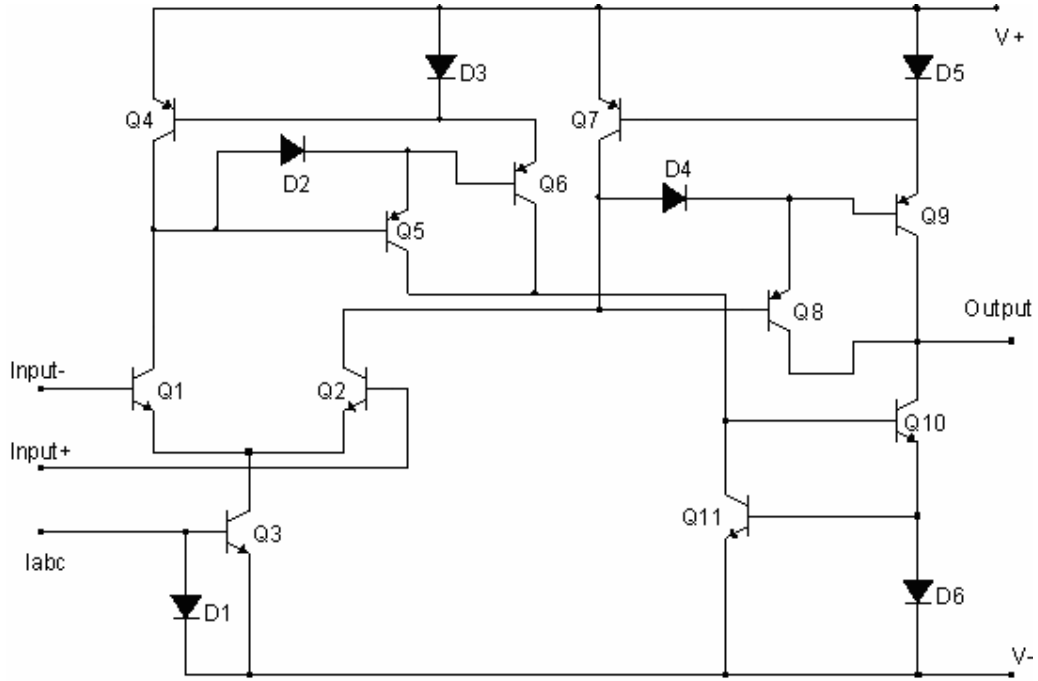
CA3080, piyasada bulunan en basit OTA yapısına sahip entegredir. OTA, Şekil 2.4'de gösterildiği gibi basit olarak fark yükselticiden ve akım aynalarından oluşmaktadır.



Şekil 2.4. Basit OTA devre şeması

Burada Q_1 ve Q_2 transistörleri “differential pair” denilen fark yükseltici kısmını oluşturmaktadır. X, Y, Z ve W ise akım aynasıdır [1].

Akım aynası devreleri Şekil 2.5’deki devreye yerleştirilirse CA3080 entegresi oluşturulmuş olur.



Şekil 2.5. CA3080 entegresi devre şeması

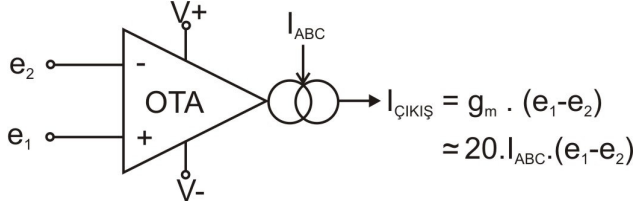
Şekil 2.4’de gösterilen Y akım aynasını oluşturmak için Şekil 2.5’te Q_4 , Q_5 ve Q_6 transistörleri ile D_2 ve D_3 diyotları kullanılmıştır.

Şekil 2.4’de gösterilen Z akım aynasını oluşturmak için Şekil 2.5’te Q_7 , Q_8 ve Q_9 transistörleri ile D_4 ve D_5 diyotları kullanılmıştır.

Şekil 2.4’de gösterilen W akım aynasını oluşturmak için Şekil 2.5’te Q_3 transistörü ile D_1 diyodu kullanılmıştır.

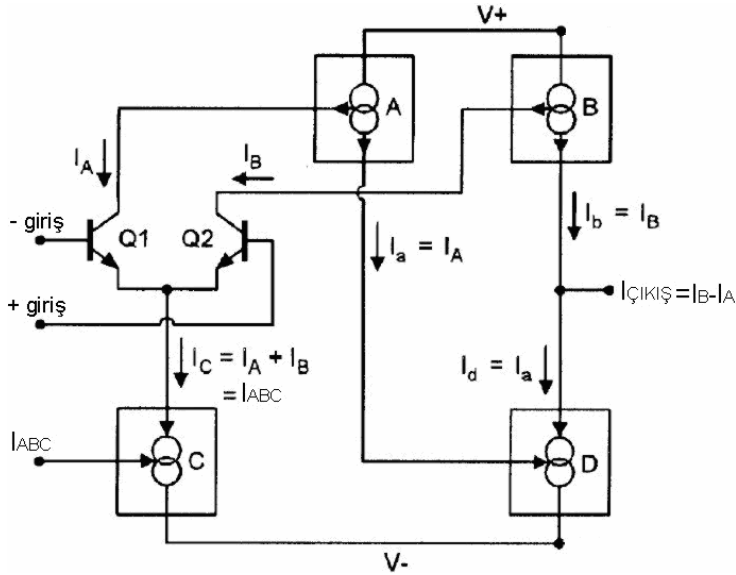
Şekil 2.4’de gösterilen X akım aynasını oluşturmak için Şekil 2.5’te Q_{10} ve Q_{11} transistörleri ile D_6 diyodu kullanılmıştır.

Şekil 2.6 ve 2.7’de CA3080 OTA entegrenin çalışma şeklini gösteren devreler verilmiştir.



Şekil 2.6. CA3080 entegresinin çalışmasının sembolik gösterimi

Şekil 2.4’den görüldüğü üzere OTA, 1 adet fark yükseltici ve 4 adet akım aynasından meydana gelmektedir. Bu akım aynalarından W ve X akım aynaları söndüren tip (current mirror sink) akım aynası, Y ve Z akım aynaları kaynak tipi (current mirror source) akım aynasıdır. OTA entegresinin yaptığı temel görev çıkış akımı olan $I_b - I_a$ değerini $g_m \cdot V_{in}$ değerinden oluşturmaktır. g_m değeri I_{ABC} akımı ile ($20 \cdot I_{ABC}$) ayarlanabilmektedir [9].



Şekil 2.7. CA3080 entegresi iç yapısı ve çalışma prensip şeması

Q1 ve Q2 transistörleri $V+$ ve $V-$ girişlerinin bağlandığı ve bu girişlerin farkına göre $I_B - I_A$ değerinin oluşturulmasında rolü olan kısımdır.

C akım aynası I_{ABC} kontrol akımı değerinin dışarıdan sorunsuz bir şekilde girilmesi için kullanılmaktadır. Diğer 3 akım aynası $I_B - I_A$ ifadesini yani çıkış ifadesini oluşturmak ve oluşan bu çıkış ifadesini OTA'nın çıkış ucundan çıkış akımı olarak vermek için kullanılmaktadır. Akım aynalarının birbirine nasıl bağlandığı Şekil 2.7'de açık bir şekilde gösterilmektedir.

OTA elemanın çalışma prensibi;

$$I_{\text{ÇIKIŞ}} = I_B - I_A = V_{\text{in}} \cdot g_m = (e_1 - e_2) \cdot g_m \quad (2.3)$$

formülüne dayanmaktadır. g_m ifadesi I_{ABC} ile ayarlanabilmekte ve V_{in} ile çarpılarak çıkış akımı oluşturulmaktadır. Normal opamplarda çıkış değeri gerilim iken OTA'da çıkış değeri akımdır.

CA3080 entegresinin tipik bazı değerleri şu şekildedir:

OTA'ya ait etkin tüm parametreler I_{ABC} kontrol akımına bağlıdır ve I_{ABC} ile ayarlanabilir. Maksimum çıkış akımı (çıkış kısa devre) I_{ABC} değerine eşittir.

OTA'nın giriş ve çıkış direnç değerleri I_{ABC} ile değişen bir yapıdadır. Bunun için entegrenin katalog bilgilerinden yararlanılabilir. Örnek olarak +15V ve -15V besleme ile beslenen, oda sıcaklığındaki bir OTA'ya $I_{ABC} = 10\mu\text{A}$ değerinde bir kontrol akımı uyguladığımızda giriş direnci 800k ve çıkış direnci 700M olacaktır. Eğer $I_{ABC} = 1\text{mA}$ değerinde bir kontrol akımı uygularsak giriş direnci 15k ve çıkış direnci 7M olacaktır. I_{ABC} arttıkça giriş ve çıkış dirençleri küçülmektedir [9].

OTA'nın çıkış gerilim değeri çıkışa bağlanacak bir yük direnci ile belirlenebilir. Tabiki bu çıkış gerilim değerinin I_{ABC} akımına bağlı olduğu unutulmamalıdır. Eğer çıkış direnci olarak sonsuz bir direnç bağlanırsa çıkış gerilim değeri pozitif besleme geriliminin 1.5 V etrafı ile negatif besleme geriliminin 0.5 V etrafı arasında salınır. Eğer sonsuz olmayan bir yük direnci bağlanırsa çıkış geriliminin tepe değeri $I_{ABC} \times R_L$ ile hesaplanabilir. Örneğin $I_{ABC} = 10\mu\text{A}$ ve yük direnci 100k olarak alınırsa $10\mu\text{A} \times 100\text{k}$ çarpılarak 1V elde edilir. Bunun anlamı çıkış gerilimi +1V ve -1V

arasında salınabilir demektir. I_{ABC} değeri 0.1uA ile 1mA arasında değiştirilebilir ve bu bize 10000:1 oranında kazancın kontrol edilebileceğini gösterir.

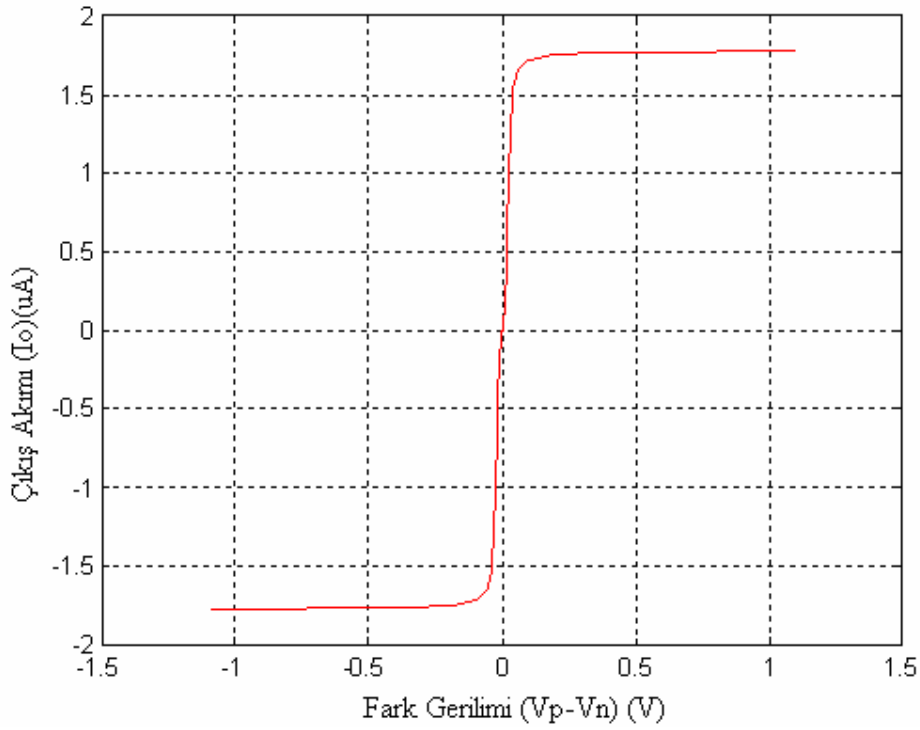
$I_{ABC}=0.1\mu\text{A}$ için $g_m=1.92\mu\text{S}$,

$I_{ABC}=1\text{mA}$ için $g_m=19.2\text{mS}$

olarak ayarlanabilir.

En sık kullanılan tipik değer,

$I_{ABC}=0.5\text{mA}$ için $g_m=9.6\text{mS}$ dir.



Şekil 2.8. CA3080 entegresi için elde edilen karakteristik eğri

Şekil 2.5 devresinin girişine -1 ile 1 V arasında değerler verilerek Multisim ortamında simüle edilmiş ve Şekil 2.8'deki karakteristik eğri elde edilmiştir. Karakteristikten lineer bir çıkış akımı için uygulanan giriş fark geriliminin maksimum 50 mV olması gerektiği görülmüştür. Elde edilen çıkış akımı değerlerinin de -1.8 μA ile 1.8 μA arasında olduğu görülmüştür.

2.5. Simetrik CMOS OTA Yapısının Multisim Ortamında Modellenmesi ve Özeğrisinin Elde Edilmesi

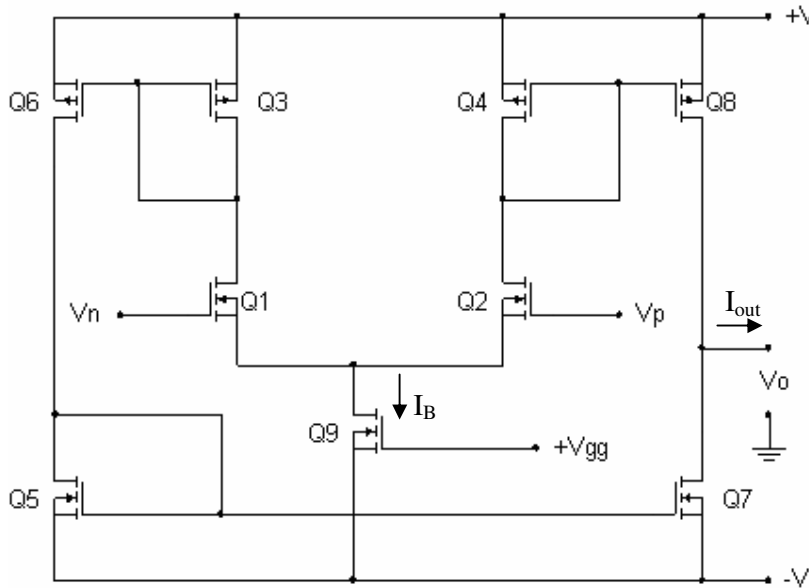
Mevcut bipolar OTA yapılarında, lineer bölgede çalışabilme için fark geriliminin oldukça küçük tutulma sorunu, CMOS tekniği ile yapılmış olan OTA' larda iyileştirmeye çalışılmıştır.

Simetrik CMOS OTA yapısının tanım denklemleri,

$$I_{out} = g_m(V_p - V_n) \quad I_p=0 \text{ ve } I_n=0 \quad (2.4)$$

dir.

g_m , OTA' nın eğimi (geçiş iletkenliği) olarak kullanılır ve I_p ve I_n yapının faz döndüren ve döndürmeyen giriş terminalleridir. g_m ideal olarak sabit olmalıdır; fakat bazı uygulamalarda ayarlanabilir olması birden fazla g_m değeri gereksinimini de karşılar.



Şekil 2.9. Simetrik CMOS OTA devre şeması

OTA' da MOSFET' ler giriş elemanları olarak kullanıldığında giriş akımları eşitliği neredeyse her uygulama için doğru olur. Yalnız bazı durumlarda ve geçici hallerde akım akıtabilir. I_{out} eşitliği yalnızca küçük işaret durumlarında geçerli olur. İdealde,

g_m 'in geniş bir giriş gerilimi aralığında sabit olması beklenir. Bu da $I_{out}-V_{in}$ eğrisinin sabit bir eğimi olmasını sağlar [3].

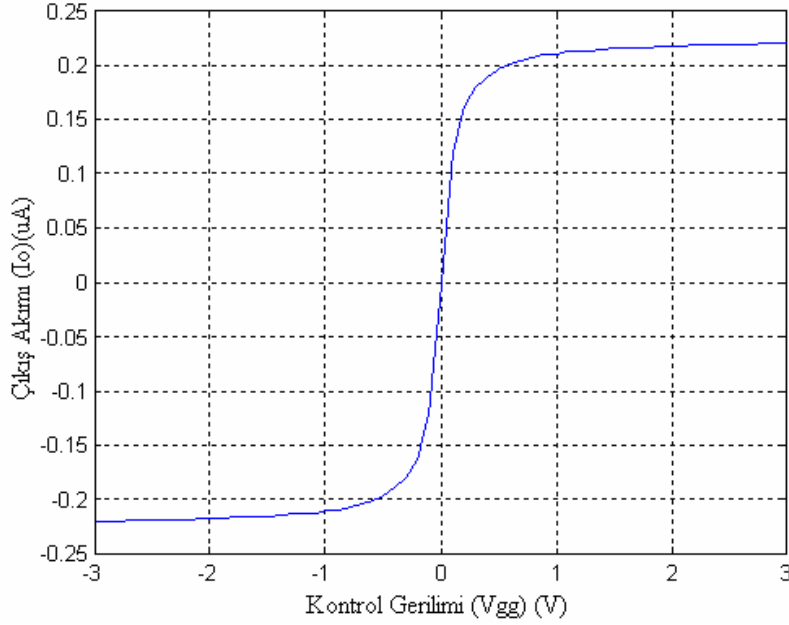
CMOS katının eğimi;

$$g_m=(I_{D1}-I_{D2})/(V_1-V_2) \quad (2.5)$$

şeklinde ifade edilir. Küçük işaret iletkenliği(eğimi) ise;

$$g_m=(2kI_B W/L)^{1/2} \quad (2.6)$$

Burada I_B kuyruk akımı, k ise $k=\mu C_{ox}/2$ ile ifade edilen eğim parametresi, W/L ise giriş transistorlarının oranıdır. Şekil 2.9'daki CMOS OTA devre çıkışında akım elde etmek için devrenin V_{gg} girişi kullanılmaktadır. Başka bir deyişle V_{gg} girişine uygulanan gerilim değerine bağlı olarak çıkıştaki akım değeri değiştirilebilmektedir. CMOS OTA entegresinin V_{gg} girişine uygulanan gerilim değerleri ile çıkışından elde edilen akım değerlerinden oluşan karakteristik eğri Şekil 2.10'da görülmektedir.



Şekil 2.10. Simetrik CMOS OTA entegresi için elde edilen karakteristik eğri

Şekil 2.10 incelendiğinde devrenin V_{gg} girişine uygulanan gerilim değerinin -3 ve 3 V değerleri arasında olduğu ve elde edilen çıkış akımının $-0.22 \mu A$ ile $0.22 \mu A$ değerleri arasında değiştiği gözlemlenmiştir.

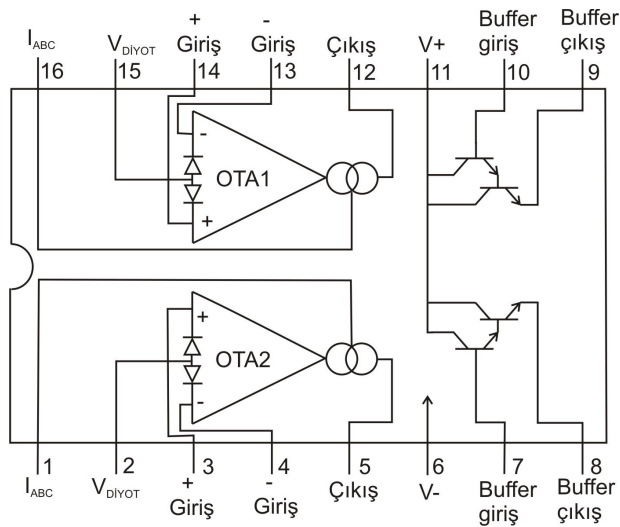
2.6. Bipolar LM13700 OTA Entegresinin Multisim Ortamında Modellenmesi ve Özgeçiriminin Elde Edilmesi

LM13700 entegresi OTA, lineerleştirme diyotu 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:

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

$$I_{ABC} = 500 \text{ uA}$$

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

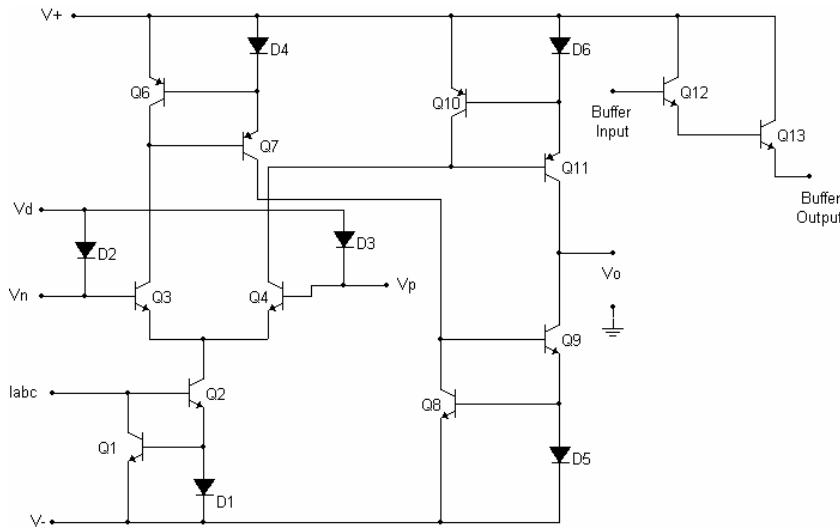


Şekil 2.11. LM13700 entegresi bacak bağlantıları

LM13700 entegresine, içerisinde lineerleştirme diyotu ve buffer barındırdığı için ikinci nesil OTA denilmektedir. Lineerleştirme diyotlarını ve buffer'ı kullanmak

tamamen isteğe bağlıdır. Eğer istenirse sadece OTA kullanılabilir. Eğer sadece OTA kısmını kullanmak isterseniz simülasyon yaparken sorun çıkmaması için V_{diyod} girişine, buffer girişine ve buffer çıkışına sonsuz direnç bağlanabilir.

Eğer OTA'nın çıkışı buffer'ın girişine bağlanırsa buffer'ın çıkışı OTA'nın çıkışı gibi düşünülerek kullanılabilir. 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. Bu tez çalışmasında buffer çıkışı kullanılmamıştır. Bu yüzden LM13700 entegresinin buffer giriş ve çıkışları toprağa bağlanmıştır. Eğer istenirse buffer giriş ve çıkışları açık devre olarak da bırakılabilir.

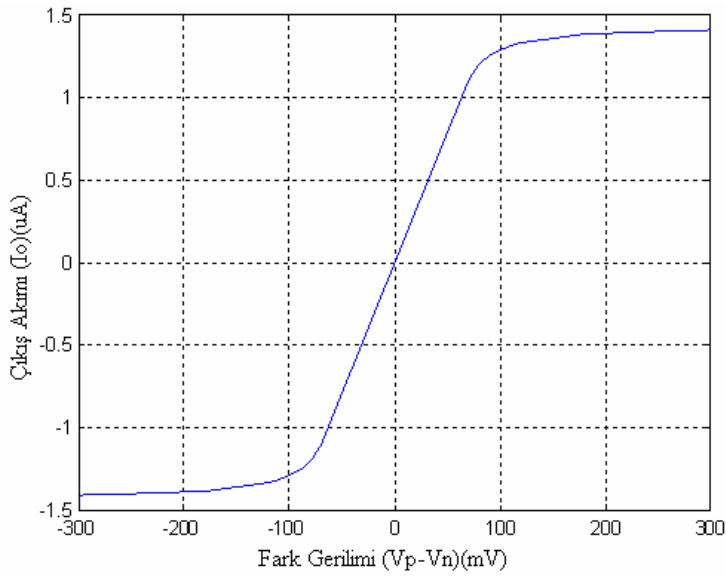


Şekil 2.12. LM13700 entegresi devre şeması

Bu devrede Q3 ve Q4 transistörleri fark yükselteci 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 gerilimleri ile çıkışında elde edilen akım değerinden oluşan karakteristik eğri Şekil 2.13’de görülmektedir.



Şekil 2.13. LM13700 OTA entegresi için elde edilen karakteristik eğri

Şekil 2.12’deki devreye Multisim programı yardımıyla giriş fark gerilim değerleri olarak -300 ile 300 mV uygulanmıştır. Şekil 2.13 incelendiğinde girişe uygulanan fark gerilimlerine bakılarak çıkışta -1.4 µA ile 1.4 µA arasında akım değerlerini elde edildiği gözlemlenmiştir.

Bu tez çalışmasında OTA elemanı için CA3080, CMOS OTA ve LM13700 entegreleri kullanılmıştır. Devre simülasyonları Multisim programında yapılmıştır. Bu programda simülasyon için devre şeması Multisim programının kütüphanesinde bulunan elemanlar yardımıyla kurulmuş ve istenilen sonuçlar programa ait araçlar içerisindeki osiloskop ve diğer ölçü aletleri yardımıyla elde edilmiştir.

BÖLÜM 3. OTA-C DEVRELERİNİN OPAMP-C DEVRELERİ İLE PERFORMANS KARŞILAŞTIRMASI

3.1. Giriş

İşlemsel kuvvetlendiricinin (Opamp) gerilim kontrollü gerilim kaynağı özelliği göstermesi çıkış direncinin çok küçük olması ve kazancın;

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

bağıntısıyla tanımlanmasına karşılık, geçiş iletkenliği kuvvetlendiricisi (OTA), gerilim kontrollü akım kaynağı özelliği gösterir. Çıkış empedansı yüksektir ve tanım bağıntısı;

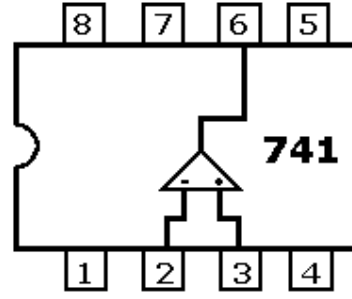
$$G = \frac{I_o}{V_1 - V_2} \quad (3.2)$$

şeklindedir.

Bu tezde yapılan Multisim analizlerinde, piyasada rahatça bulunabilen LM741 entegresi kullanılmıştır. Şekil 3.1'deki LM741 bacak bağlantısına göre bu entegrenin kullanılmakta olan 5 adet bacağı bulunmaktadır. Bu bacaklar sırasıyla +giriş, -giriş, +besleme, -besleme, çıkış uçlarıdır. Entegrenin beslemesinin +12V ve -12V şeklinde simetrik besleme olduğunu unutmamak gerekir. Şekil 3.1'de LM741 Opamp entegresinin bacak bağlantıları verilmiştir.

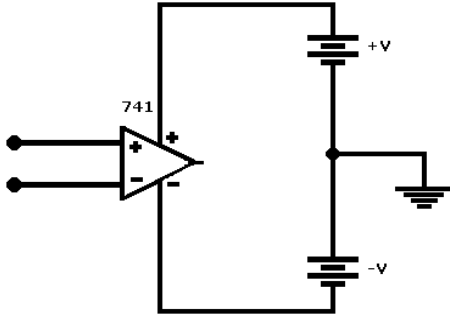
Pin No:

- 1- Offset sıfırlama
- 2- OP-AMP 'in tersleyen giriş ucu
- 3- OP-AMP 'in terslemeyen giriş ucu
- 4- (-) V, negatif besleme voltajı
- 5- Offset sıfırlama
- 6- OP-AMP çıkışı
- 7- (+) V, pozitif besleme voltajı
- 8- Boş uç



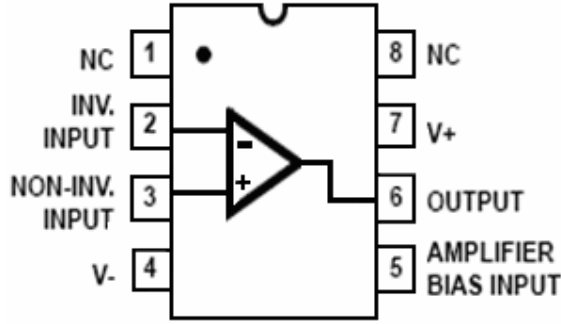
Şekil 3.1. LM741 Entegresi iç bağlantı şeması

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



Şekil 3.2. Opamp Elemanının Simetrik Kaynaktan Beslenmesi

Şekil 3.2'de bir Opamp'ın simetrik kaynaktan beslenmesi görülmektedir, örneğin bir Opamp 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 3.3. CA3080 entegresi iç bağlantı yapısı

Şekil 3.3'de verilen CA3080 entegre bacak bağlantısına 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 negatif ve pozitif 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.

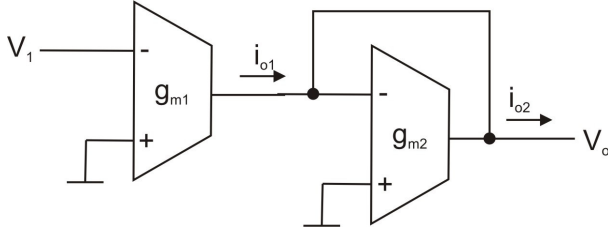
CA3080 entegresinde 1 ve 8 nolu bacaklar kullanılmamaktadır. Burada I_{ABC} ile temsil edilen kontrol akımı 1 ile 400 μA arasında olması OTA' nın doğrusal olarak çalışmasını sağlayacaktır.

3.2. 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 şu şekildedir.

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

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



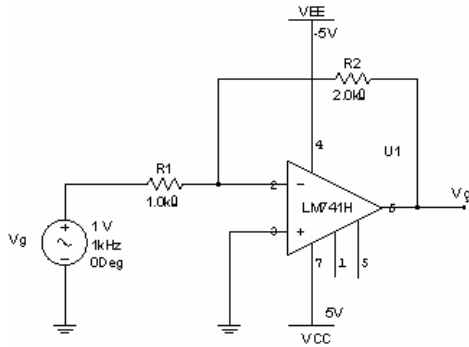
Şekil 3.4. OTA kullanan eviren yükselteç devresi

Şekil 3.4’de verilen eviren yükselteç devresinin matematiksel ifadesi şu şekildedir.

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

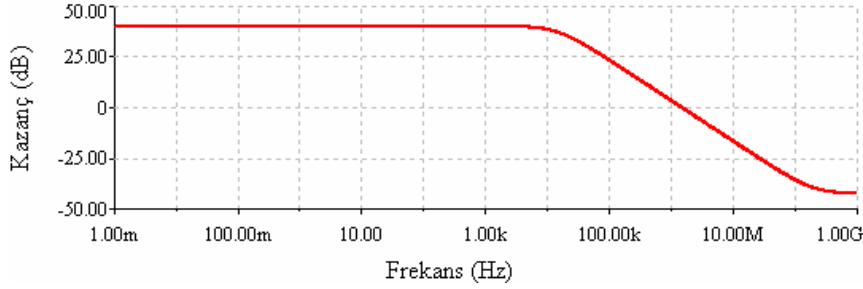
Bu devrenin kazancı OTA’lara ait gm değerleri değiştirilerek ayarlanabilir.

3.2.1. LM741 OPAMP kullanan eviren yükselteç devresinin Multisim simülasyonunda GB incelenmesi



Şekil 3.5. Opamp kullanan eviren yükselteç multisim devre şeması

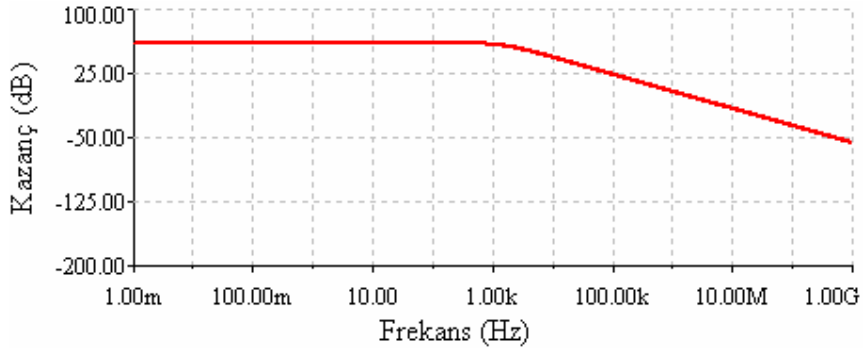
Eviren yükselteç devresinin simülasyonunda $R_1=1k$, $R_2=2k$ alınmıştır. Bu durumda $Kazanç=2$ dir. Devrenin girişine tepe değeri 1V ve $f=1$ kHz olan bir sinyal uygulanmış ve çıkışındaki sinyal gözlemlenmiştir. Şekil 3.5’deki LM741 entegresi ile elde edilen eviren yükselteç devresinin uygulanan frekans ve elde edilen kazanç değerlerine göre ortaya çıkardığı frekans-kazanç grafiği Şekil 3.6’da verilmiştir.



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

Şekil 3.6 incelendiğinde frekansın artmasıyla, 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 10kHz seviyesindedir.

Şekil 3.5'deki devre için kazanç değeri artırıldığında elde edilen frekans-kazanç grafiği farklılık göstermektedir. Şekil 3.7'de $K=1000$ değeri için elde edilen frekans-kazanç eğrisi verilmiştir.

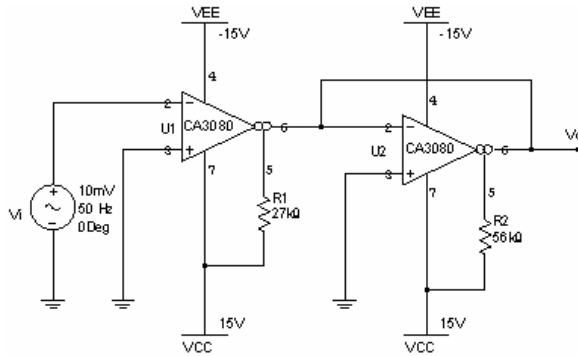


Şekil 3.7. LM741 kullanan eviren yükselteç devresinin $K=1000$ için frekans-kazanç eğrisi

Şekil 3.7 incelendiğinde $K=1000$ değeri için bant genişliği 1 kHz olarak görülmektedir. Bu durum opamp elemanının düşük kazançlarda daha iyi sonuçlar verdiği anlamında gelmektedir.

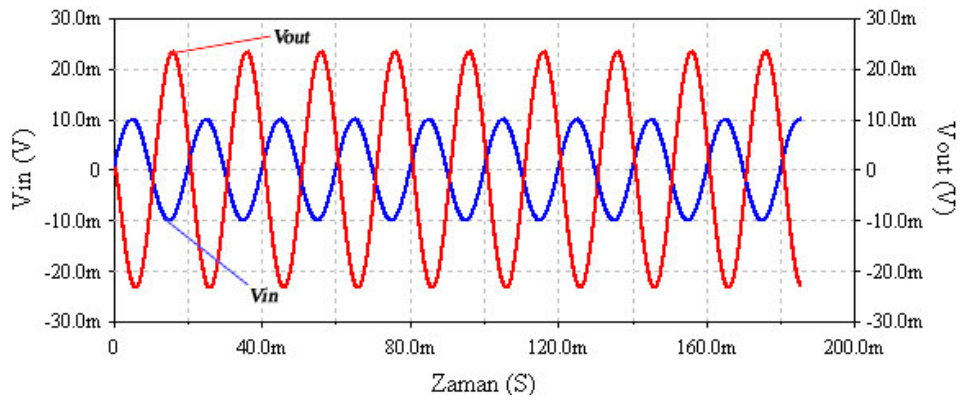
3.2.2. Bipolar CA3080 OTA kullanan eviren yükselteç devresinin Multisim simülasyonunda GB incelenmesi

Şekil 3.4'deki eviren yükselteç alt devresi CA3080 elemanı ile Multisim ortamında incelenmiştir.



Şekil 3.8. CA3080 kullanan eviren yükselteç multisim devresi

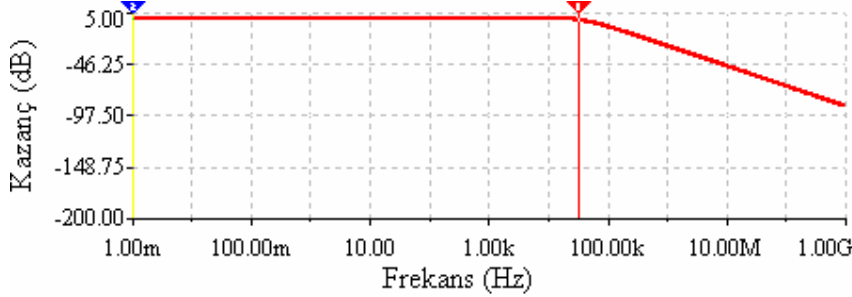
Devrenin eleman değerleri olarak $R1=27k$ için $g_{m1}=20mS$, $R2=56k$ için $g_{m2}=10mS$ alınmış ve böylece (3.4) formülü gereğince kazanç 2 olarak belirlenmiştir. Devrenin girişine tepe değeri 10mV olan sinüs işareti uygulanmış ve çıkışta tepe değeri 20 mV olan terslenmiş işaret elde edilmiştir.



Şekil 3.9. CA3080 kullanan eviren yükselteç devresinin multisim giriş ve çıkış eğrileri

Şekil 3.9'dan görüldüğü üzere çıkışta 2mV civarında istenmeyen bir DC bileşen etkisi oluşmuş ve çıkış şekli 2mV 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 grafiği Şekil 3.10'da verilmiştir.



Şekil 3.10. CA3080 kullanan eviren yükselteç devresinin multisim frekans-kazanç eğrisi

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. Opamp elemanının, kazanç değeri yüksek olan devrelerde bant genişliğinin azaldığı ve yüksek kazanç değerlerinde Bipolar CA3080 OTA entegresi ile elde edilen frekans-kazanç karakteristiğinin daha yüksek bant genişliğine sahip olduğu gözlemlenmiştir.

3.3. Evirmeyen Yükselteç Devresi

Evirmeyen yükselteç devresinde devrenin çıkış gerilimi $R1$ ve $R2$ dirençleriyle bölünerek Opamp'ın (-) giriş ucuna geri besleme yapılmıştır.

Opamp'ı ideal varsayarsak,

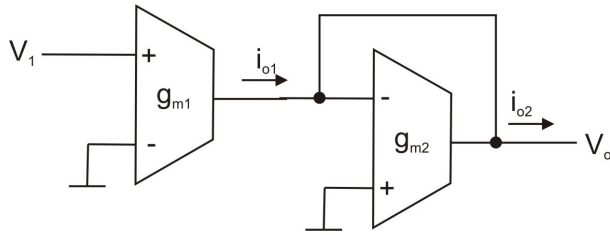
$$V_g = \frac{R1}{R1 + R2} \quad (3.5)$$

olur ve devrenin kazancı;

$$K = \frac{V_{\zeta}}{V_g} = 1 + \frac{R2}{R1} \quad (3.6)$$

olarak bulunur. Devrenin giriş direnci Opamp'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 eksi girişi toprağa verildiğinde evirmeyen yükselteç, artı girişi toprağa verildiğinde eviren yükselteç elde edilmiş olur. Bu devrenin kazancı OTA'ların g_m değerleri ile ayarlanabilir.



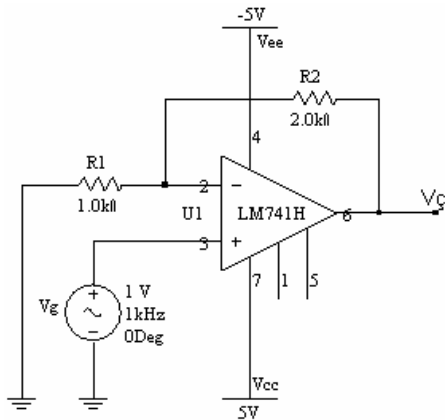
Şekil 3.11. OTA kullanan evirmeyen yükselteç devresi

Şekil 3.11'de gösterilen devre için,

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

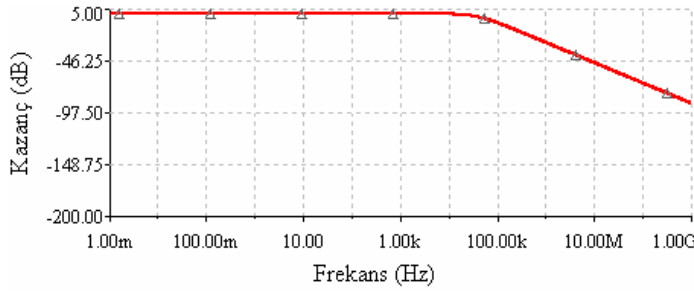
dir.

3.3.1. LM741 OPAMP kullanan evirmeyen yükselteç devresinin Multisim simülöründe GB incelenmesi



Şekil 3.12. Opamp kullanan evirmeyen yükselteç devresi

Şekil 3.12'deki devrenin incelenmesinde $R1=1k$, $R2=2k$ alınmıştır. Bu durumda $K=3$ tür. Devrenin girişine tepe değeri 1 V ve $f= 1$ kHz olan bir sinyal uygulanmış çıkışındaki sinyal geçici durum analizi ile gözlemlenmiştir. Çıkışta işaretin terslenmediği ve giriş işaretinin 3 kat büyüdüğü görülmüştür. Şekil 3.13'de evirmeyen yükselteç devresinden Multisim programı kullanarak elde edilen frekans-kazanç karakteristiği verilmiştir.

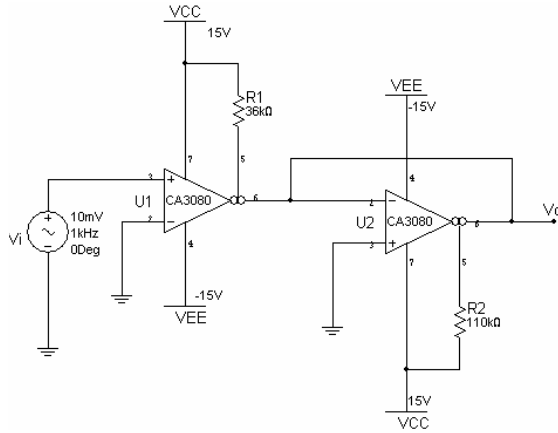


Şekil 3.13. Opamp kullanan evirmeyen yükselteç devresi frekans-kazanç eğrisi

Şekil 3.13'de elde edilen frekans-kazanç karakteristiğinde $K=3$ değeri için bant genişliğinin 10 kHz seviyesinde olduğu gözlemlenmiştir. Eviren yükselteç devresinde olduğu gibi opamp elemanı kullanan evirmeyen yükselteç devresi $K=1000$ değeri için Multisim ortamında oluşturulup simüle edildiğinde bant genişliğinin 1 kHz seviyesinde olduğu görülmüştür.

3.3.2. Bipolar CA3080 OTA kullanan evirmeyen yükselteç devresinin Multisim simülöründe GB incelenmesi

Şekil 3.14'deki evirmeyen yükselteç devresi CA3080 elemanı ile Multisim ortamında incelenmiştir.

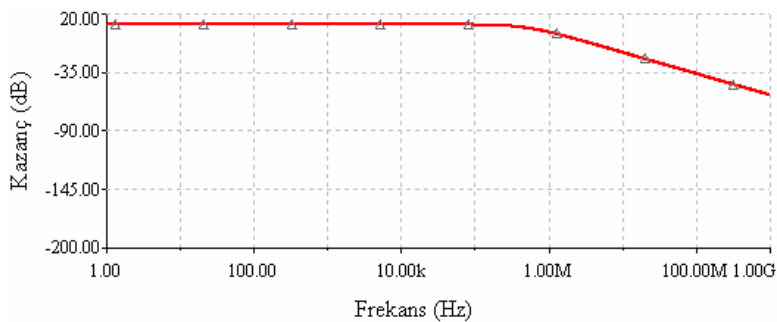


Şekil 3.14. CA3080 kullanan evirmeyen yükselteç multisim devresi

Bu incelemede g_{m1} değeri 15, g_{m2} değeri 5 olacak şekilde ayarlanmıştır ve bu değerler için I_{ABC} akımları sırayla $816 \mu A$ ve $267 \mu A$ olmalıdır (Şekil 3.14). İncelenen evirmeyen yükselteç devresinin girişine tepe değeri 10mV olan sinüs kaynağı uygulanmıştır. Devre eleman değerlerine göre devrenin 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 gözlemlenmiştir.

Devreden elde edilen frekans-kazanç eğrisi şu şekildedir:

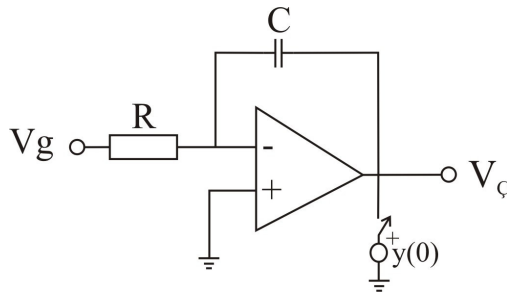


Şekil 3.15. CA3080 OTA kullanan evirmeyen yükselteç devresi frekans-kazanç eğrisi

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 Opamp ile oluşturulan evirmeyen yükselteç devresine karşılık OTA elemanı kullanan evirmeyen yükselteç devresinin bant genişliğinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Opamp elemanı düşük kazanç ve frekans değerlerinde iyi sonuçlar vermesine rağmen, yüksek kazanç ve frekanslarda OTA elemanının daha yüksek bant genişliğine sahip olduğu gözlenmiştir.

3.4. Entegratör

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



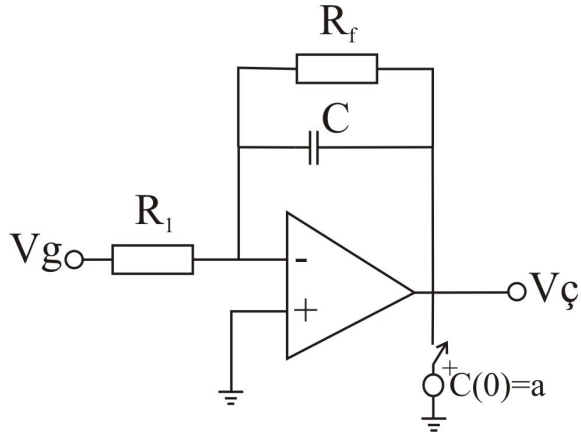
Şekil 3.16. Opamp kullanan kayıpsız entegratör

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

$$\frac{Vg(s)}{R} = -Vç(s)sC \quad (3.8)$$

$$Vç(t) = -\frac{1}{RC} \int Vg(t) dt \quad (3.9)$$

Bu devre kayıpsız integral alma devresidir. Şekil 3.17'de kayıplı entegratör verilmiştir.



Şekil 3.17. Opamp kullanan kayıplı entegratör

Bu devrenin frekansı şu şekilde hesaplanabilir:

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

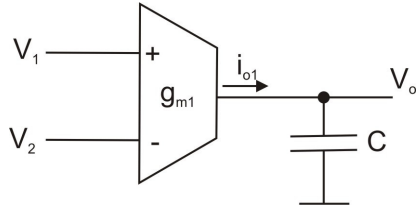
Buradaki R_f direnci geri besleme direncidir ve C elemanına paralel olarak bağlanır. Bu direncin bağlanmasının nedeni, ofset gerilimi ile kondansatörün şarj olarak devrenin çalışmasına bozucu etki yapmasını engellemektir. Bu direncin değeri R_1 direncinden en az 10 kat daha büyük olmalıdır.

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 alarak çıkışa veren devredir. Çıkışında yalnızca kapasite olduğundan bu devre kayıpsız entegratördür.



Şekil 3.18. OTA kullanan kayıpsız entegratör

Şekil 3.18’de gösterilen devrenin matematiksel ifadesi şu şekildedir:

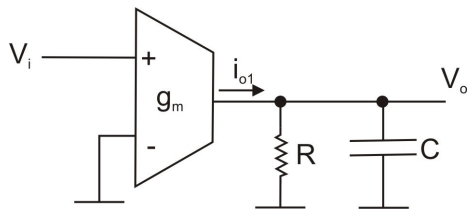
$$V_o = \frac{1}{sC} I_o = \frac{1}{C} \int I_o \quad (3.12)$$

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

$$V_o = \frac{g_m}{sC} (V_1 - V_2) = \frac{g_m}{C} \int (V_1 - V_2) \quad (3.14)$$

Şekil 3.18’de gösterilen devrede V_1 girişini veya V_2 girişini toprağa bağladığımızda tek girişli bir entegratör elde etmiş oluruz. V_1 ’i giriş olarak kullanıp V_2 ’yi toprağa bağladığımızda tek girişli ve evirmeyen bir entegratör elde ederiz. Ters olarak V_2 ’yi giriş olarak kullanıp V_1 ’i toprağa bağladığımızda tek girişli ve eviren bir entegratör elde ederiz. Kayıpsız entegratör yerine, çıkışa paralel direnç bağlanarak elde edilen kayıplı entegratör ile daha kolay sonuç elde edilmiştir.

OTA ile oluşturulan kayıplı entegratör devresi Şekil 3.19’da verilmiştir.



Şekil 3.19. OTA kullanan kayıplı entegratör

Şekil 3.19'da gösterilen devrenin matematiksel ifadesi şu şekildedir:

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

Kayıpsız entegratörde çıkış işaretinin genliğinin giriş işaretinin genliğine oranı g_m/C formülü ile hesaplanabilir. Yani entegratör devresinin kazancı g_m ve C değerleri ile ayarlanabilir.

Kayıplı entegratörün kazancı ise (3.15) formülünün genliğidir. Yani kayıplı entegratörün kazancı;

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

formülü ile hesaplanabilir. (3.16) formülünde s yerine $j\omega$ değerinin yazıldığına ve entegratör kazancının g_m , R ve C değerleri ile birlikte ω değerine yani frekansa bağlı olduğuna dikkat ediniz.

Örneğin $g_m=19.2\text{mS}$ ($I_{ABC}=1\text{mA}$), $R=100$ ohm, $C=2.6\mu\text{F}$ değerlerine sahip ve girişinde $f=1\text{kHz}$ frekansa sahip kare dalga sinyal olan kayıplı entegratör kazancını;

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

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

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

şeklinde hesaplayabiliriz.

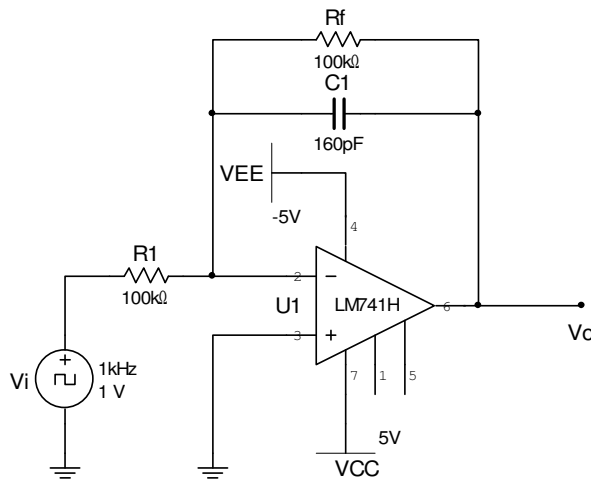
Aynı sonuç

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

şeklinde de hesaplanabilir.

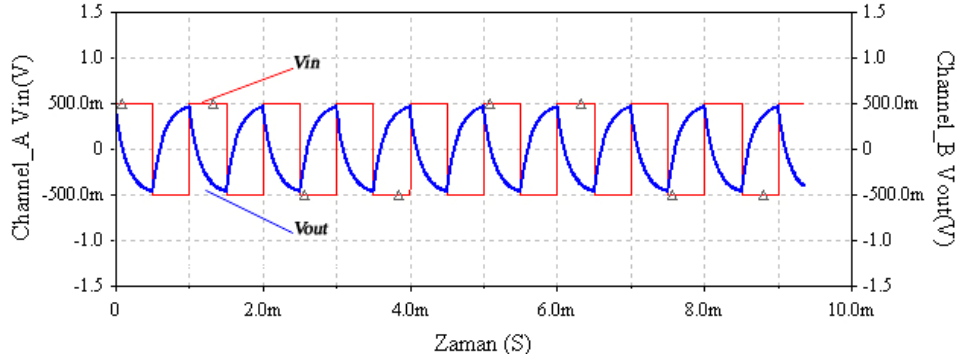
3.4.1. LM741 OPAMP kullanan entegratörün Multisim simülâtöründe frekans analizi

Şekil 3.20’de LM741 Opamp entegresi kullanılarak elde edilmiş olan entegratör devre şeması verilmiştir.



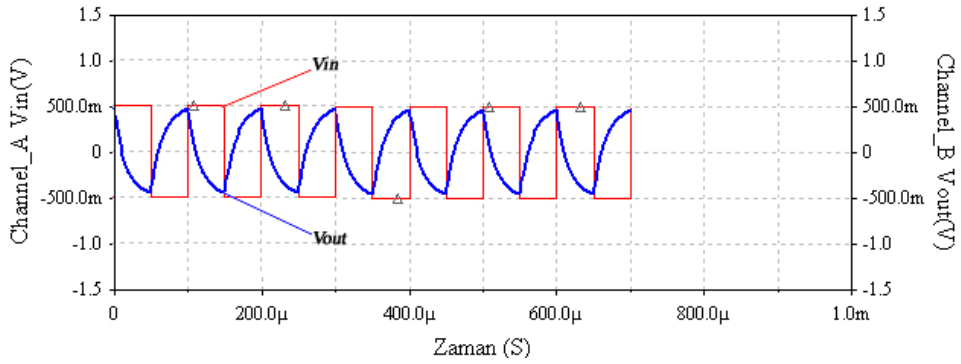
Şekil 3.20. LM741 Opampli entegratör

Bu devrenin incelenmesinde $R1=100k$, $Rf=100k$ ve $C=1.5$ nF alınmıştır. Devrenin 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 integralinin alındığına dikkat ediniz. Ayrıca devre frekansının hesaplama sonucu yaklaşık $f_d=1$ kHz çıktığına dikkat ediniz. Şekil 3.21’den de görüleceği üzere giriş sinyalinin entegrali alınmıştır.



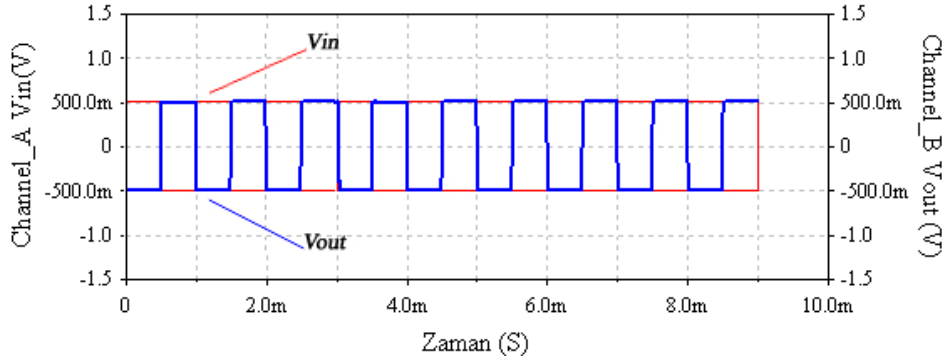
Şekil 3.21. Frekansı 1 kHz ve kazancı 1 olan kayıplı entegratörün multisim sonuç eğrisi

Şekil 3.21’de sonucu verilen devrenin kazancı 1 olduğu için çıkış sinyali, giriş sinyali ile aynı seviyede görülmektedir. Eğer devreyi $R1=100k$, $Rf=100k$, $C=160$ pF değerlerini alarak kurarsak frekansı 10 kHz olan bir entegratör elde edilmiş olur. Burada Rf direnci devre kazancını etkilememektedir. Kazancı 1 ve $f_c=10$ kHz olan entegratörün multisim sonuç eğrileri Şekil 3.22’de verilmiştir.



Şekil 3.22. Frekansı 10 kHz ve kazancı 1 olan kayıplı entegratörün multisim sonuç eğrisi

Şekil 3.19’deki devrede $f_c=100$ kHz olan bir entegratör elde etmek için devre eleman değerleri $R1=100k$, $Rf=100k$, $C=16$ pF olarak değiştirilmelidir. Elde edilen çıkış grafiği Şekil 3.23’de gösterilmiştir.

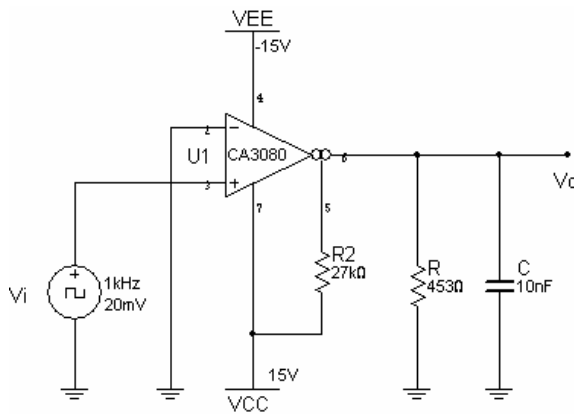


Şekil 3.23. Frekansı 100 kHz ve kazancı 1 olan kayıplı entegratörün multisim sonuç eğrisi

Farklı frekans değerleri için elde edilen grafikler incelendiğinde opamp elemanının Şekil 3.23’de verilen multisim sonuç eğrisinde $f=100$ kHz için entegral alma işlemini gerçekleştiremediği gözlemlenmiştir.

3.4.2. Bipolar CA3080 OTA kullanan entegratörün Multisim simülöründe frekans analizi

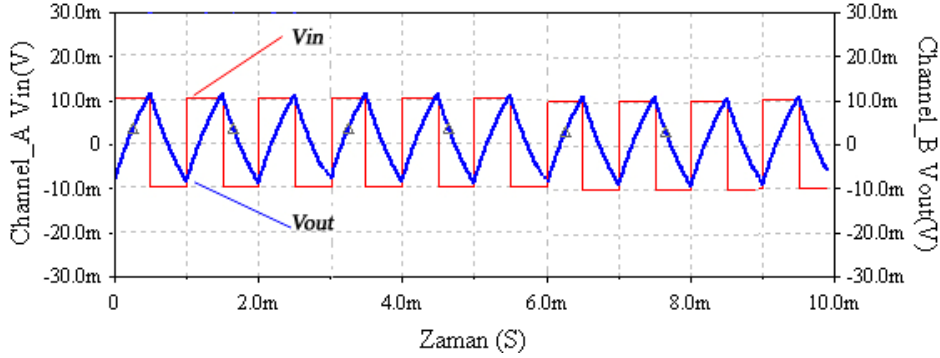
Kayıplı entegratörü Multisim ortamında kurduğumuzda Şekil 3.24’deki devre elde edilir.



Şekil 3.24. CA3080 kullanan frekansı 1 kHz ve kazancı 1 olan kayıplı entegratör multisim şeması

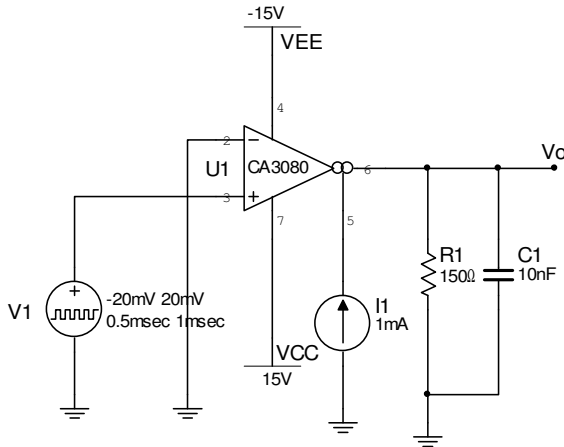
Bu devrede $R=453$ ohm ve $C=10$ nF alınmıştır. OTA’nın g_m değeri 20mS olacak şekilde ayarlanmıştır. Devrenin girişine 20mV ve 1kHz frekansa sahip kare dalga

sinyali uygulanmıştır (Şekil 3.24). Bu kare dalganın integrali olan üçgen dalga çıkış eğrisi Şekil 3.25’de verilmiştir.



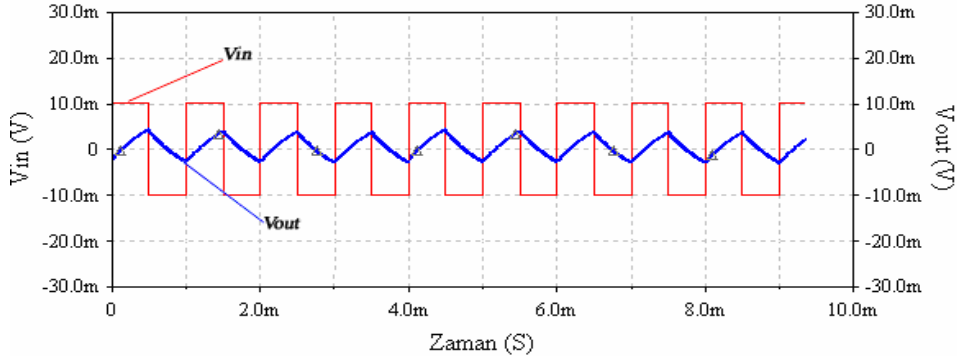
Şekil 3.25. CA3080 kullanan frekansı 1 kHz ve kazancı 1 olan kayıplı entegratör multisim sonuç eğrisi

Eğer devreye ait değerleri (3.16) formülünde yerine koyarsak kazanç=1 olarak bulunur. Devrenin eleman değerleri $g_m=19.2$ mS ($I_{ABC}=1$ mA), $R=150$ ohm, $C=10$ nF olan devre Şekil 3.26’da verilmiştir ve giriş sinyali olarak genliği 20 mV ve frekansı 1kHz olan kare dalga uygulanmıştır.



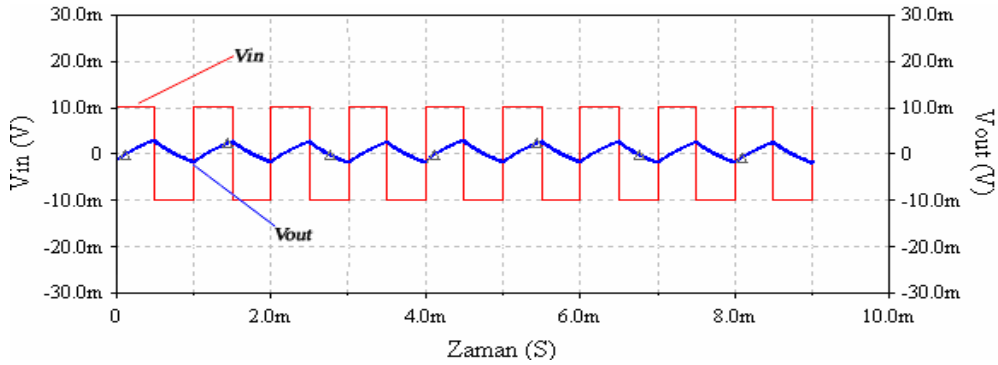
Şekil 3.26. CA3080 kullanan frekansı 10 kHz ve kazancı 0.33 olan kayıplı entegratör devre şeması

Şekil 3.26’daki devrenin eleman değerlerini (3.16) formülünde yazdığımızda kazanç=0.33 olarak bulunur.



Şekil 3.27. CA3080 kullanan frekansı 10 kHz ve kazancı 0.33 olan kayıplı entegratör sonuç eğrisi

Gerek Şekil 3.24 devresinde ve gerekse Şekil 3.26 devresinde eleman değerlerine bakılıp (3.16) formülünde yerine konularak elde edilen kazanç değerleri ile sonuç grafiklerine bakılarak elde edilen kazanç değerleri farklılık göstermektedir. Sonuç grafiklerinden elde edilen kazanç değeri, formül ile hesaplanan kazanç değerinden daha büyük çıkmaktadır. Şekil 3.26'daki devrede eleman değerleri $R=100$ ohm, $C=10$ pF olarak değiştirildiğinde $f=100$ kHz olan bir entegratör devresi elde edilir. Bu devreden elde edilen sonuç grafiği Şekil 3.28'de gösterilmiştir.



Şekil 3.28. CA3080 kullanan frekansı 100 kHz ve kazancı 0.1 olan kayıplı entegratör sonuç eğrisi

Opamp ile gerçekleştirilen ve Şekil 3.19'da devre şeması verilen entegratöre $f=1$, 10 ve 100 kHz için gerekli eleman değerleri uygulanmış ve elde edilen sonuç grafiklerinde opamp elemanının $f=100$ kHz için entegral alma işlemini yapmadığı gözlemlenmiştir. Buna karşılık OTA ile gerçekleştirilen entegratörün yüksek frekans değerlerinde de entegral alma işlemi yaptığı gözlemlenmiş ve sonuç grafiği Şekil 3.28'de verilmiştir.

3.5. Filtre Devreleri

Belirli bir frekans bandını geçirmek, bunun dışında kalan frekansları zayıflatmak amacı ile filtre devreleri kullanılır. Filtreler; aktif ve pasif olmak üzere iki temel tipe tasarlanırlar. Bu tez çalışmasında alçak geçiren, yüksek geçiren ve band geçiren olmak üzere üç tip aktif filtre üzerinde durulacaktır [4].

Filtrelerin başlıca işlevi, belirli bir frekans bandını geçirip diğerlerini zayıflatmasıdır. Pasif ve Aktif olmak üzere iki tip filtre tasarımı yapılabilir. Pasif filtre tasarımında; direnç, kondansatör ve bobin (self) gibi pasif devre elemanları kullanılır. Aktif filtrelerde ise pasif devre elemanlarına ilaveten transistor ve tüm devre gibi yarıiletken devre elemanları da kullanılır. Aktif filtrelerin pasif filtrelere nazaran bazı avantaj ve dezavantajları vardır. Bunlar aşağıda sıralanmıştır.

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

Filtre devrelerinde iletilen frekans aralığına geçen band, zayıflatılan frekans aralığına ise durdurulan veya söndürülen band adı verilir. Alçak geçiren filtre; kesim frekansının (F_C) altındaki frekansları geçirir, üstündekileri ise durdurur veya zayıflatır.

Kesim frekansı şu şekilde hesaplanır.

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}} \quad (3.21)$$

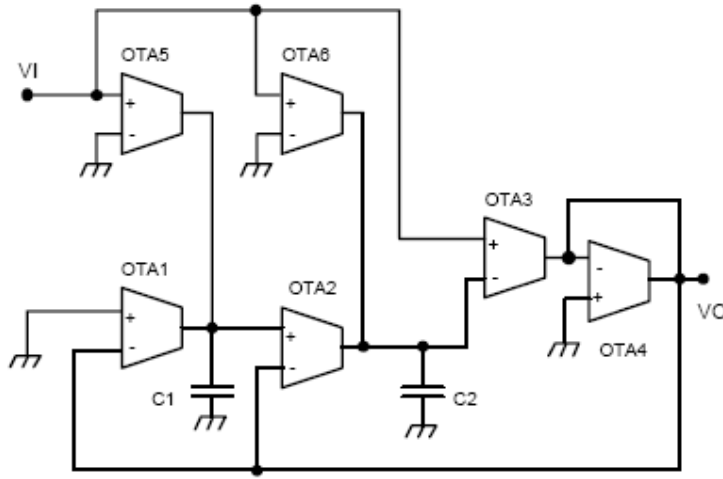
Alçak geçiren filtre devresinde köşe frekansına kadar çıkış gerilim V_o sabittir ve zayıflama yoktur. Köşe frekansı değerinden sonra çıkış işareti belirli bir eğimle zayıflar. Yüksek geçiren filtre; kesim frekansının (F_c) üstündeki frekansları geçirir, altındakileri ise durdurur veya zayıflatır. Band geçiren filtre ise, sadece belirlenen band içerisindeki frekansları geçirir, diğerlerini zayıflatır.

İşlemsel kuvvetlendiricilerden daha geniş bantlı olmaları ve eğimlerinin kontrol edilebilir olması nedeniyle OTA'lar da gittikçe yaygınlaşarak kullanım alanı bulmaktadır. Yine, CMOS teknolojisi nedeniyle kolayca tümleştirilebilmeleri nedeniyle, OTA-C aktif süzgeçleri de yaygınlaşmakta ve bu alanda gerek OTA gerekse aktif süzgeç gerçekleştirilmesi için yeni devre topolojileri önerilmektedir. Aktif süzgeç yapılarında kullanılmaya elverişli OTA yapıları piyasada bulunmaktadır (CA3080 vb). Geniş bantlı olmaları, eğimlerinin I_{cnt} kutuplama akımı ile kontrol edilebilmesi, yapılarının tümleştirmeye uygun ve basit olması gibi nedenlerden dolayı yaygın bir kullanım alanı bulmaktadır. OTA-C süzgeç yapılarının yanı sıra, analog çarpma devreleri ve yüksek frekans osilatörlerinin gerçekleştirilmesi amacıyla da bu devre yapılarından yararlanılmaktadır [2].

Bu amaca yönelik çeşitli çalışmalarda minimum sayıda OTA ve bir ucu topraklanmış kondansatörle kurulan bikuadrik aktif süzgeçler gerçekleştirilmesi için devre sentezi yöntemleri önerilmiştir. Bilindiği gibi, bikuadrik genel transfer fonksiyonu,

$$G(s) = \frac{(a_2 s^2 + a_1 s + a_0)}{(s^2 + b_1 s + b_0)} \quad (3.22)$$

biçimindedir. Bu transfer fonksiyonunu sağlayan genel devre yapısı Şekil 3.29'da verilmiştir.



Şekil 3.29. İkinci dereceden transfer fonksiyonunu gerçekleyen genel OTA-C aktif süzgeç yapısı

Bu devrede tasarım eşitlikleri

$$\left. \begin{aligned} g_{m1}/C_1 &= b_0/b_1 \\ g_{m2}/C_2 &= b_1/a_2 \\ g_{m3}/g_{m4} &= a_2 \\ g_{m5}/C_1 &= a_0/b_1 \\ g_{m6}/C_2 &= a_1/a_2 \end{aligned} \right\} \quad (3.23)$$

şeklinde dir.

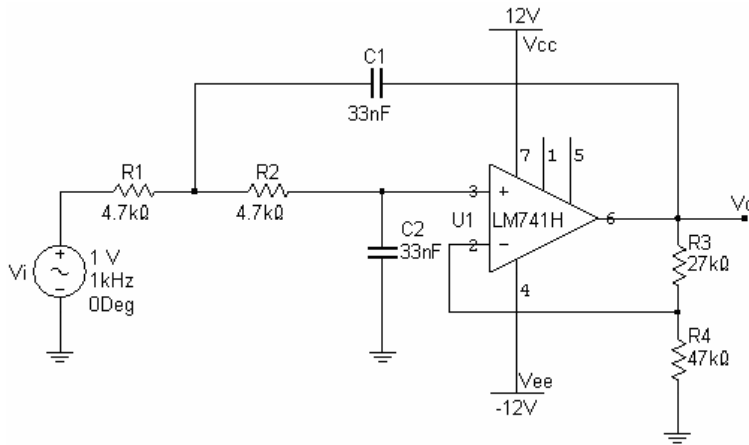
3.5.1. LM741 OPAMP kullanan alçak geçiren filtre devresinin Multisim simülasyonunda GB incelenmesi

Bir filtre devresi, belli bir frekans bandını geçirerek ve bu frekansın dışındakileri zayıflatmak amacı ile geliştirilmiş, aktif veya pasif bir devredir. Aktif filtreler, pasif filtreler nazaran birçok üstünlük içerirler. Örneğin filtrenin geçirgen olduğu frekanslarda bir zayıflatma olmaz. Bu filtrelerde giriş empedansı çok yüksek, çıkış empedansı ise çok düşüktür. Opamp'ın band genişliği sınırlı olduğundan bazı frekanslarda filtreleme işlemi yapmak mümkün değildir. Çeşitli derecelerde aktif filtre yapmak mümkündür. Bu bölümde; 2.dereceden (-40 dB/dekad) bir aktif filtre

devresini inceleyeceğiz. Bunun yanı sıra 1. ve 3. dereceden (-20dB/dekad ve -60dB/dekad) filtre devreleri de vardır [4].

Alçak geçiren filtre, belirli bir köşe frekansının altındaki frekansları geçiren üstündekileri ise zayıflatan bir devredir. Köşe frekansına F_c denir. F_c , aynı zamanda; 0.707 frekansı, -3dB frekansı veya kesim frekansı olarak da isimlendirilir. Şekil 3.30 da uygulamasını yapacağımız 2. dereceden aktif filtre devresi görülmektedir. Bu devrenin kazancı; kesim frekansı F_c 'den sonra -40dB/dekad 'lık bir eğimle zayıflar.

Bu durum Şekil 3.31'de alçak geçiren filtrenin frekans karakteristiği incelenerek görülebilir.



Şekil 3.30. Opamp ile gerçekleştirilen alçak geçiren filtre multisim devre şeması

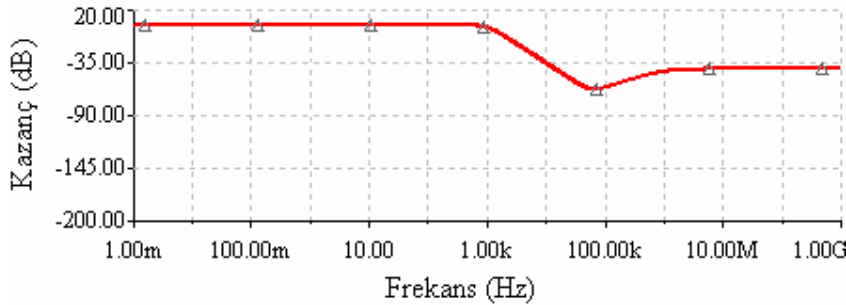
Şekil 3.30'daki alçak frekans filtresinde dirençler frekanstan etkilenmezler. Devredeki kondansatörlerin ($C1$ ve $C2$) kapasitif reaktansı (X_c) ise frekansa bağlıdır. Başlangıçta X_c değeri büyüktür ve $C2$ yüksek empedans gösterir. Aynı zamanda $C1$ kondansatörü de geri besleme akımına karşı yüksek bir empedans 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 3.30'daki devrenin transfer fonksiyonu,

$$H(s) = \frac{K}{R_1 R_2 C_1 C_2} \cdot \frac{1}{s^2 + s \left[\frac{1}{R_1 C_1} + \frac{1}{R_2 C_2} (1-K) + \frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2} \right]} \quad \text{olur.} \quad (3.24)$$

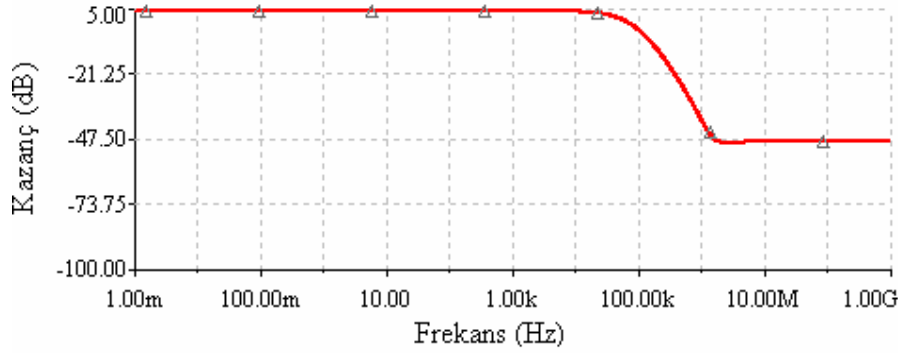
$$W_0 = \frac{1}{\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}} \quad \text{ve} \quad Q = \frac{1}{\sqrt{\frac{R_2 C_2}{R_2 C_1} + (1-K) \sqrt{\frac{R_1 C_1}{R_2 C_2}}}} \quad \text{formülleri ile ifade edilir.}$$

Şekil 3.30'da Opamp ile gerçekleştirilen alçak geçiren filtre devresi eleman değerleri $R_1=R_2=4.7 \text{ k}$, $C_1=33\text{nF}$, $C_2=33\text{nF}$ olarak seçilir ve eleman değerleri formülde (3.21) yerine konulursa $f_c=1 \text{ kHz}$ elde edilir. Bu devreden elde edilen frekans-kazanç karakteristiği Şekil 3.31'de görülmektedir.



Şekil 3.31. Opamp kullanan ve frekansı 1kHz olan alçak geçiren filtre frekans-kazanç eğrisi

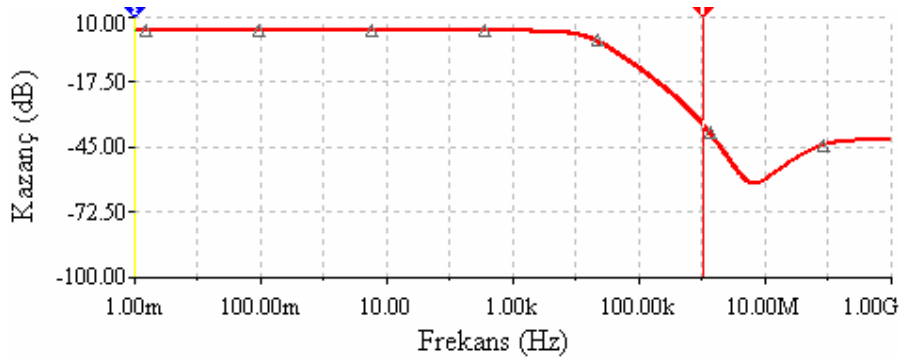
Şekil 3.31 incelendiğinde çıkış sinyalinin 1 kHz kesim frekansı değerinden sonra belli bir eğimle zayıfladığı görülmektedir. Şekil 3.30'daki devrede eleman değerleri $R_1=R_2=10\text{k}$, $C_1=110\text{pF}$ ve $C_2=220\text{pF}$ olarak değiştirilir ve bu değerler formülde (3.21) yerine yazılırsa $f_c=100 \text{ kHz}$ olarak elde edilir. Bu devreden elde edilen frekans-kazanç grafiği Şekil 3.32'de verilmiştir.



Şekil 3.32. Opamp kullanan ve frekansı 100 kHz olan alçak geçiren filtre frekans-kazanç eğrisi

Şekil 3.32 incelendiğinde 100 kHz değerinde kesime gitmesi gereken çıkış sinyali bu seviyeden daha önce azalmaya başlamıştır. Şekil 3.30'daki devrede eleman değerleri $R1=R2=4.7k$, $C1=1pF$ ve $C2=1nF$ olarak değiştirilir ve bu değerler formülde yerine yazılırsa (3.21) kesim frekansı değeri 1 Mhz olarak hesaplanır.

Oluşturulan bu devre Multisim ortamında kurulup simüle edilirse elde edilen frekans-kazanç grafiği şu şekilde olur:

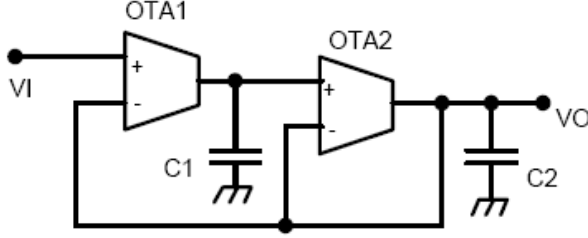


Şekil 3.33. Opamp kullanan ve frekansı 1 MHz olan alçak geçiren filtre frekans-kazanç eğrisi

Şekil 3.33 incelendiğinde formülden elde edilen kesim frekansı ile grafikten elde edilen kesim frekansı değerlerinin uyumsuzluk gösterdiği görülmektedir. 1 Mhz seviyesinde kesime gitmesi gereken çıkış sinyali opampın yüksek frekanslardaki çalışma problemi nedeniyle daha düşük frekans değerlerinde kesime gitmeye başlamıştır.

3.5.2. Bipolar CA3080 OTA kullanan alçak geçiren filtre devresinin Multisim simülâtöründe GB incelenmesi

OTA ile oluşturulan alçak geçiren filtre devresi Şekil 3.34'de verilmiştir.



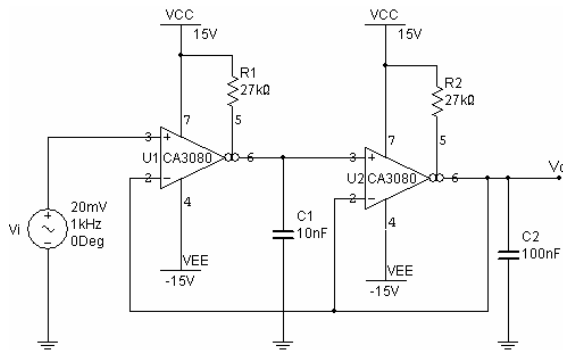
Şekil 3.34. OTA kullanan alçak geçiren filtre temel devresi

Devrenin transfer fonksiyonu,

$$H(s) = \frac{g_{m1}g_{m2} / C_1C_2}{s^2 + \frac{g_{m2}}{C_2}s + \frac{g_{m1}g_{m2}}{C_1C_2}} \quad \text{dir.} \quad (3.25)$$

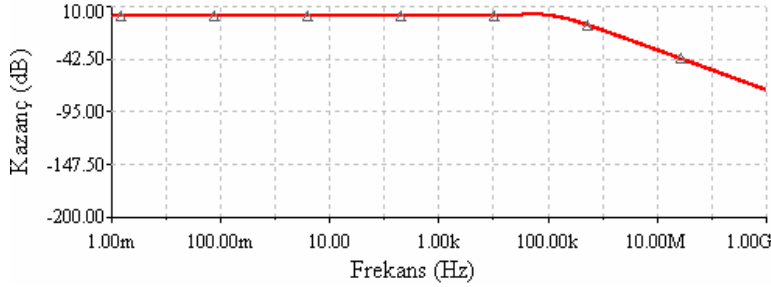
$$W_o = \sqrt{\frac{g_{m1}g_{m2}}{C_1C_2}} \quad \text{ve} \quad Q = \sqrt{\frac{g_{m1}C_2}{C_1g_{m2}}} \quad \text{elde edilir.}$$

Bipolar CA3080 OTA entegresi kullanan alçak geçiren filtre devresi Multisim programında oluşturulduğunda Şekil 3.35'deki devre elde edilir.



Şekil 3.35. CA3080 OTA ile gerçekleştirilen alçak geçiren filtre multisim devre şeması

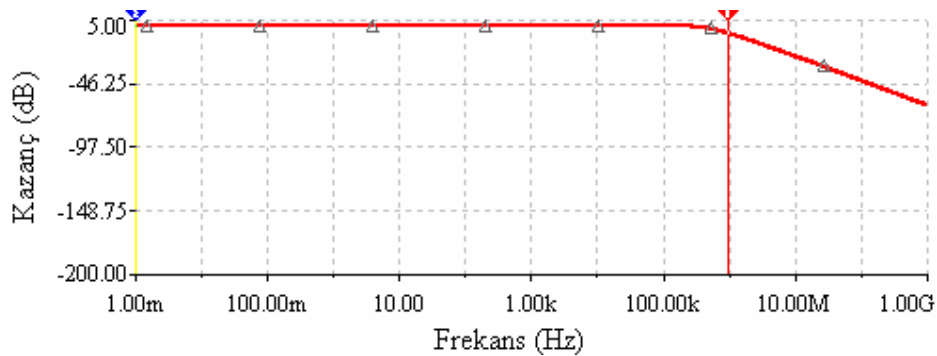
Devre eleman değerleri $g_{m1}=g_{m2}=20\text{mS}$, $C_1=10\text{nF}$ ve $C_2=100\text{nF}$ olarak belirlendiğinde f_c değerinin 100 kHz olarak (3.25) elde edildiği görülmüştür. Şekil 3.36'da CA3080 OTA entegresi ile gerçekleştirilen alçak geçiren filtre devresinin frekans-kazanç karakteristiği verilmiştir.



Şekil 3.36. OTA ile gerçekleştirilen ve frekansı 100 kHz olan alçak geçiren filtre frekans-kazanç eğrisi

Şekil 3.36 incelendiğinde devrenin kesime gitme frekansının, formülden elde edilen (3.25) frekans değeriyle aynı olduğu görülmektedir. Yani devrenin çıkış sinyali 100kHz seviyesinden itibaren belli bir eğimle azalmaya başlamıştır.

Şekil 3.35'deki devrenin eleman değerleri $g_{m1}=g_{m2}=20\text{mS}$, $C_1=1\text{nF}$ ve $C_2=10\text{nF}$ olarak seçilir ve bu değerler formülde (3.25) yerine yazılırsa kesim frekans değeri 1 Mhz olarak elde edilir. Bu devreye ait frekans-kazanç grafiği Şekil 3.37'de görülmektedir.



Şekil 3.37. OTA kullanan ve frekansı 1 MHz olan alçak geçiren filtre frekans-kazanç eğrisi

Bipolar OTA CA3080 ile gerçekleştirilen alçak geçiren filtre devrelerinde $f_c = 10\text{kHz}$, 100kHz ve 1MHz için elde edilen sonuç grafiklerinin LM741 Opamp ile gerçekleştirilen alçak geçiren filtre devrelerine nazaran yüksek frekanslarda daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

3.5.3. LM741 OPAMP kullanan bant geçiren filtre devresinin Multisim simülöründe GB incelenmesi

Alçak geçiren filtrelerin yanı sıra, diğer genel filtre tipleri yüksek geçiren (sadece yüksek frekansları geçirir), band durduran filtreler (belli frekanstaki sinyalleri bloklar) ve band geçiren filtrelerdir (Alçak ve yüksek frekansları söndürür, sadece belli frekans aralığındaki sinyalleri geçirir). Basit band geçiren filtre alçak geçiren ve yüksek geçiren filtrelerin kombinasyonuyla elde edilir.

Belirli bir frekans aralığındaki işaretleri geçirip, diğerlerini geçirmeyen veya zayıflatan filtrelere band geçiren filtre denir. Şekil 3.38’de band geçiren filtre devresi verilmiştir. Bu devrede; çıkış geriliminin ve kazancın maksimum olduğu frekansa “Rezonans Frekansı” denir. Rezonans frekansı FR veya WR ile sembolize edilir.

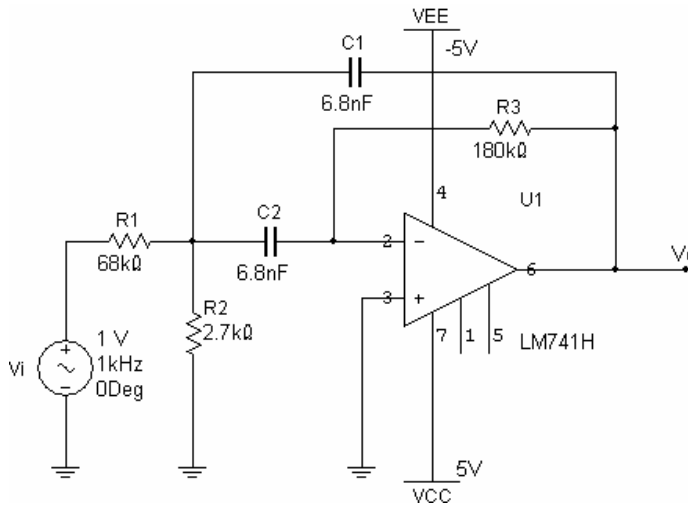
Band geçiren filtre devresinde kazancın 0.707 katı olan frekanslara alt (WL) ve üst (WH) kesim frekansı denir. Alt ve üst kesim frekansları arasındaki bölgeye ise “Band Genişliği” adı verilir ve “ B ” ile sembolize edilir. Band Genişliği; $B = WH - WL$ şeklinde belirlenebilir. Dar ve geniş bant olmak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

Devrenin transfer fonksiyonu,

$$H(s) = -\frac{1}{CR_1} \frac{s}{s^2 + s \frac{2}{CR_3} + \frac{1/C^2}{R_3 \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}}} \quad (3.26)$$

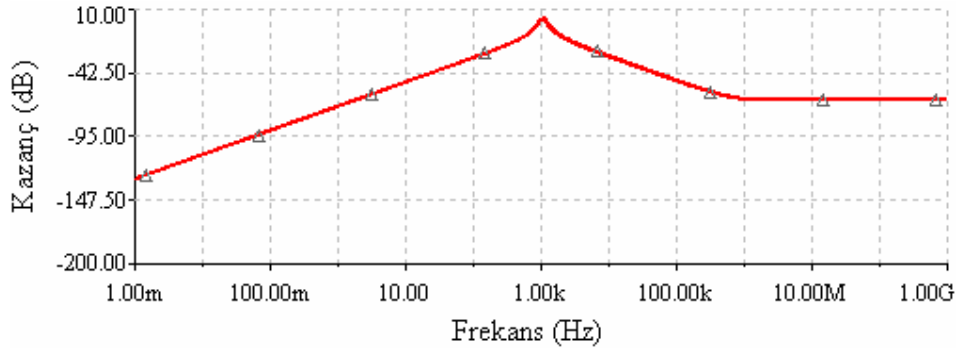
$$W_o = 1/C \sqrt{R_1 R_2 R_3 / (R_1 + R_2)} \quad \text{ve} \quad Q = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{R_3 (R_1 + R_2)}{R_1 R_2}}$$

formülleri yardımı ile bulunur. Şekil 3.38’de LM741 Opamp entegresi ile gerçekleştirilen bant geçiren filtre devresinin multisim şeması görülmektedir.



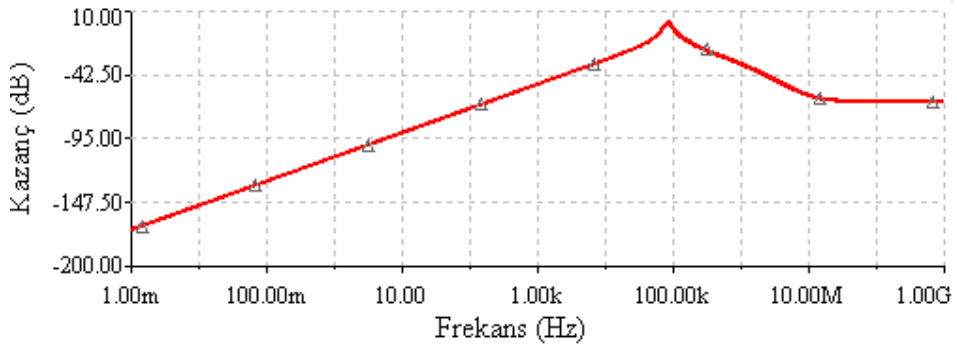
Şekil 3.38. LM741 Opamp ile gerçekleştirilen ve frekansı 1 kHz olan bant geçiren filtre devre şeması

Şekil 3.38’deki LM741 Opamp entegresi ile gerçekleştirilen bant geçiren filtre devresinde eleman değerleri $R_1 = 68k$, $R_2 = 2.7k$, $R_3 = 180k$ ve $C_1 = C_2 = 6.8$ nF olarak belirlenir ve bu değerler frekans formülünde (3.26) yerine yazılırsa rezonans frekansı 1 kHz olarak hesaplanır. Devre multisim programında oluşturulup simüle edildiğinde Şekil 3.39’daki frekans-kazanç karakteristiği elde edilir.



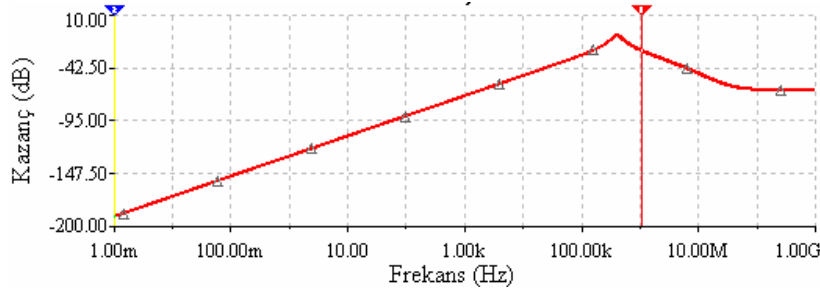
Şekil 3.39. LM741 ile gerçekleştirilen ve frekansı 1 kHz olan bant geçiren filtre frekans-kazanç eğrisi

Şekil 3.39 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 $R_1=68k$, $R_2=2.7k$, $R_3=180k$ ve $C_1=C_2=68$ pF olarak değiştirilirse ve değerler formülde yerine yazılırsa (3.26) f_0 (rezonans frekansı) değeri 100 kHz olarak bulunur. Oluşturulan bu devreye ait frekans-kazanç grafiği Şekil 3.40'da verilmiştir.



Şekil 3.40. LM741 ile gerçekleştirilen ve frekansı 100 kHz bant geçiren filtre frekans-kazanç eğrisi

Şekil 3.40'dan da görüldüğü gibi çıkış sinyalinin rezonans frekansı ile matematiksel hesaplamalarla elde edilen frekans değeri 100 kHz için tutarlılık göstermektedir. Şekil 3.35'deki devrenin eleman değerleri $R_1=68k$, $R_2=2.7k$, $R_3=180k$ ve $C_1=C_2=6.8$ pF olarak ayarlanır ve formülde (3.26) yerine yazılırsa rezonans frekansı 1 Mhz olarak bulunur. Bu durumda elde edilen devre Multisim programında oluşturulur ve frekans-kazanç karakteristiği elde edilirse Şekil 3.41 ortaya çıkmaktadır.

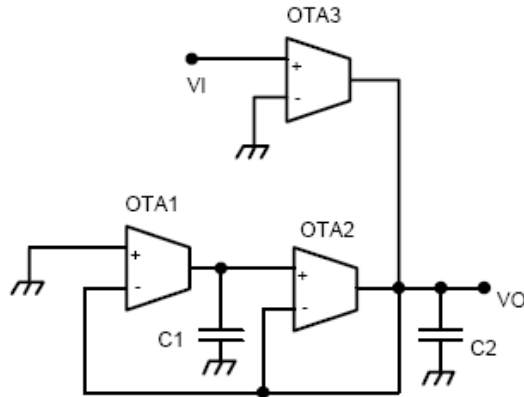


Şekil 3.41. LM741 kullanan ve frekansı 1 MHz olan bant geçiren filtre frekans-kazanç eğrisi

Opamp ile gerçekleştirilen bant geçiren filtre devrelerinde 1 ve 100 kHz değerleri için matematiksel sonuçlarla, Multisim simülöründen elde edilen sonuçların birbirine uyumluluk gösterdiği ancak Şekil 3.41 incelendiğinde 1 MHz rezonans frekansı değeri için opampın beklenen cevabı vermediği gözlenmiştir.

3.5.4. Bipolar CA3080 OTA kullanan bant geçiren filtre devresinin Multisim simülöründe GB incelenmesi

OTA kullanan bant geçiren filtre temel devresi Şekil 3.36'da verilmiştir.



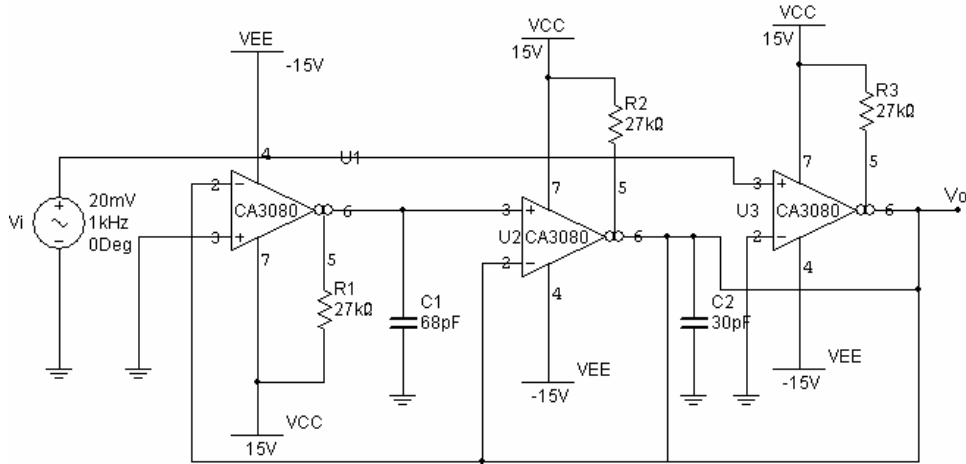
Şekil 3.42. OTA kullanan bant geçiren filtre temel devre şeması

Bu devrenin transfer fonksiyonu,

$$H(s) = \frac{g_{m3} / C_2}{s^2 + s \frac{g_{m2}}{C_2} + \frac{g_{m1} g_{m2}}{C_1 C_2}} \quad \text{ve} \quad W_o = \sqrt{\frac{g_{m1} g_{m2}}{C_1 C_2}} \quad (3.27)$$

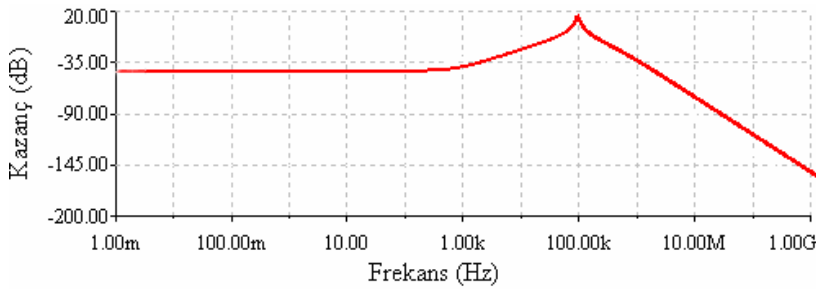
formülleri ile hesaplanır.

Şekil 3.43’de CA3080 OTA kullanan bant geçiren filtre devresinin multisim devre şeması verilmiştir. Bu devrenin eleman değerleri, rezonans frekansı 100 KHz olacak şekilde ayarlanmıştır.



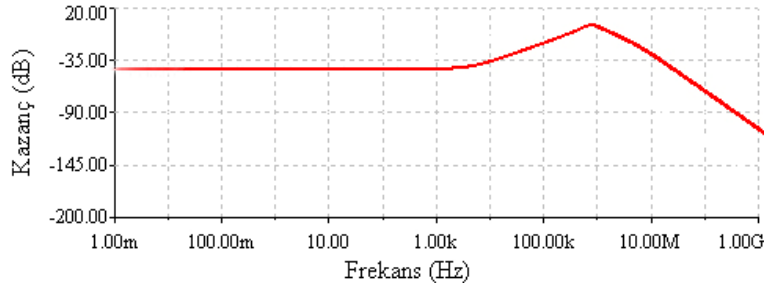
Şekil 3.43. CA3080 OTA kullanan bant geçiren filtre multisim devre şeması

Şekil 3.44’de CA3080 OTA entegresi ile gerçekleştirilen bant geçiren filtre devresinin frekans-kazanç karakteristiği görülmektedir.



Şekil 3.44. CA3080 kullanan ve frekansı 100 kHz olan bant geçiren filtre frekans-kazanç eğrisi

Şekil 3.44 incelendiğinde devre eleman değerlerinin formülde (3.27) yerine yazılmasıyla elde edilen rezonans frekansı ile devrenin frekans-kazanç karakteristiğinde görülen frekans değeri birbiriyle örtüşmektedir. Şekil 3.43’deki devrenin eleman değerleri f_0 rezonans frekansı 1 Mhz olacak şekilde değiştirildiğinde elde edilen frekans-kazanç grafiği Şekil 3.45’de verilmiştir.



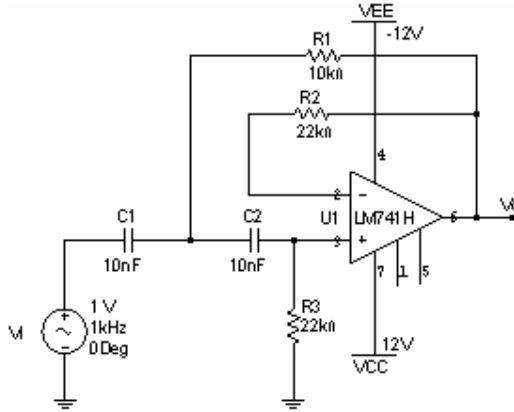
Şekil 3.45. CA3080 kullanan ve frekansı 1 MHz olan bant geçiren filtre frekans-kazanç eğrisi

Düşük frekans değerleri için gerek opamp elemanı ile, gerekse OTA elemanı ile gerçekleştirilen bant geçiren filtre devrelerinde, frekans formüllerinden elde edilen rezonans frekansı değerleri ile Multisim programı sonuç grafiklerinden elde edilen değerler birbirleriyle örtüşmektedir. Şekil 3.41 ve Şekil 3.45 karşılaştırıldığında yüksek frekans değerlerinde opamp elemanı ile gerçekleştirilen bant geçiren filtre devresinin Multisim sonuç grafiğinde rezonans frekansının olması gereken frekans değerinden kaydığı gözlemlenmiştir.

3.5.5. LM741 OPAMP kullanan yüksek geçiren filtre devresinin Multisim simülöründe GB incelenmesi

Yüksek geçiren filtre; belirli bir köşe frekansının yalnız üzerindeki frekansları geçiren, altındaki frekansları ise zayıflatan filtre devresidir. Yüksek geçiren filtre, Alçak geçiren filtrenin simetriğidir. Filtrenin köşe frekansı F_c formül (3.21) ile elde edilir. İkinci dereceden (-40dB/Dekad) yüksek geçiren filtre devresi Şekil 3.46'da çizilmiştir. Devrenin özellikleri ve çalışması şu şekildedir:

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 opampa ulaşması demektir.



Şekil 3.46. LM741 Opamp kullanan yüksek geçiren filtre multisim devre şeması

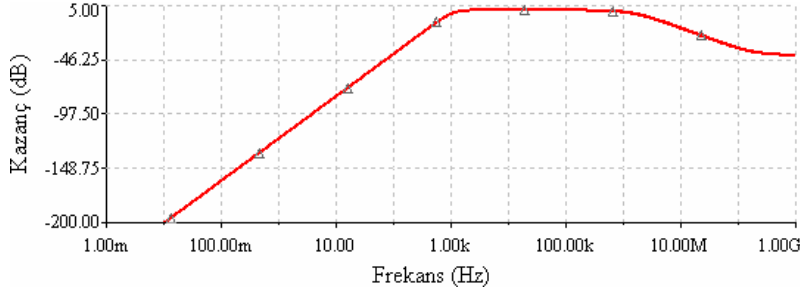
Filtre girişinden uygulanan işaretin frekansını artırırsak C1 ve C2 kondansatörlerinin kapasitif reaktansları azalır. Bu durumda opampa daha fazla sinyal ulaşır ve daha büyük bir çıkış işareti elde edilir. Böylece; devrenin yüksek frekanslarda kazancı artarken düşük frekanslarda kazancı azalır ve yüksek geçiren bir filtre devresi elde edilmiş olur.

Devrenin transfer fonksiyonu,

$$H(s) = \frac{Ks^2}{s^2 + s\left[\frac{1}{R_2}\left(\frac{C_1 + C_2}{C_1 C_2}\right) + \frac{1-K}{R_1 C_1}\right] + \frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2}} \quad \text{olarak bulunur.} \quad (3.28)$$

$$W_0 = \frac{1}{\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}} \quad \text{ve} \quad Q = \frac{1}{\sqrt{\frac{R_1}{R_2}\left(\sqrt{\frac{C_2}{C_1}} + \sqrt{\frac{C_1}{C_2}}\right) + \sqrt{\frac{R_2 C_2}{R_1 C_1}}(1-K)}} \quad \text{dir.}$$

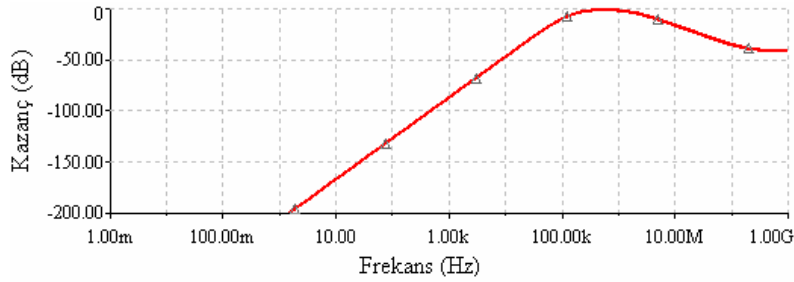
Şekil 3.46'daki yüksek geçiren aktif filtre devresinde eleman değerleri R1=10k, R2=22k, C1=10nF ve C2=10 nF olarak belirlendiğinde ve bu değerler formülde (3.28) yerine yazıldığında devre için frekans değeri 1 kHz olarak hesaplanır. Bu devre Multisim ortamında oluşturulup simüle edildiğinde elde edilen frekans-kazanç karakteristiği Şekil 3.47'de verilmiştir.



Şekil 3.47. LM741 kullanan ve frekansı 1 kHz olan yüksek geçiren filtre frekans-kazanç eğrisi

Şekil 3.47'deki karakteristik incelenirse; düşük frekanslarda çıkış işaretinin belirli bir eğimle zayıfladığı ve devrenin 1 kHz ve üzerindeki sinyalleri belirli bir frekans değerine kadar geçirdiği gözlemlenir.

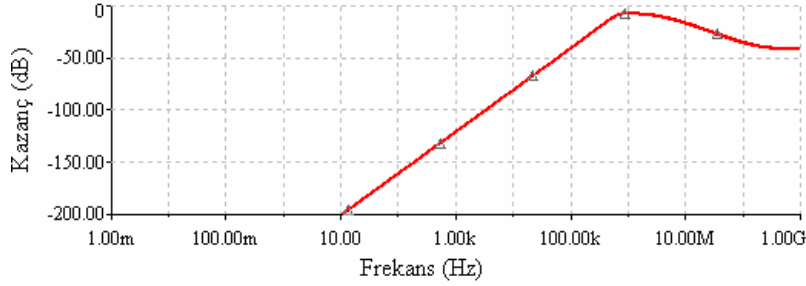
Şekil 3.46'daki devrede eleman değerleri $R1=10k$, $R2=22k$, $C1=110pF$ ve $C2=100pF$ olarak seçilir ve bu değerler formülde (3.28) yerine yazılırsa frekans değeri 100 kHz olarak bulunur. Bu eleman değerlerine sahip olan opampli yüksek geçiren filtre devresi Multisim ortamında oluşturulup simüle edildiğinde Şekil 3.48 de görülen grafik elde edilir.



Şekil 3.48. LM741 kullanan ve frekansı 100 kHz olan yüksek geçiren filtre frekans-kazanç eğrisi

Şekil 3.48 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 3.46'daki devrenin daha yüksek frekanslardaki cevabını öğrenmek için eleman değerleri $R1=10k$, $R2=22k$, $C1=10pF$ ve $C2=10 pF$ olarak değiştirilir ve elde edilen

devre Multisim ortamında oluşturulup simüle edilirse Şekil 3.49’da bulunan sonuç eğrisi elde edilir.

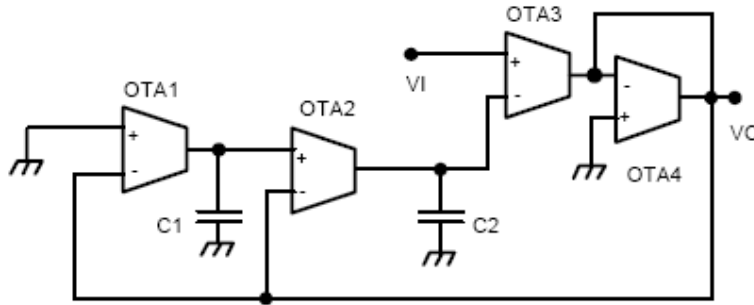


Şekil 3.49. LM741 kullanan ve frekansı 1 MHz olan yüksek geçiren filtre frekans-kazanç eğrisi

Elde edilen sonuç eğrilerine göre opamp elemanı ile gerçekleştirilen bant geçiren filtre devrelerinde özellikle Şekil 3.49’da görülen ve frekansı 1 MHz olan devrede 1 MHz üzerindeki sinyallerin iletilmesi gerekirken sinyalin zayıfladığı görülmüştür. Bu durum opampın yüksek frekanslardaki çalışma sorununu ortaya koymaktadır.

3.5.6. Bipolar CA3080 OTA kullanan yüksek geçiren filtre devresinin Multisim simülöründe GB incelenmesi

Şekil 3.50’de CA3080 OTA kullanan yüksek geçiren filtre devresinin devre şeması verilmiştir [5].

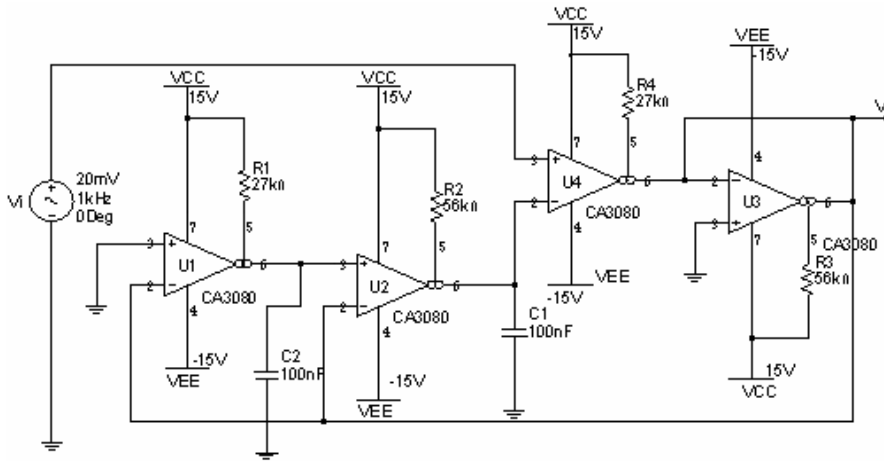


Şekil 3.50. OTA kullanan yüksek geçiren filtre temel devre şeması

Devrenin transfer fonksiyonu,

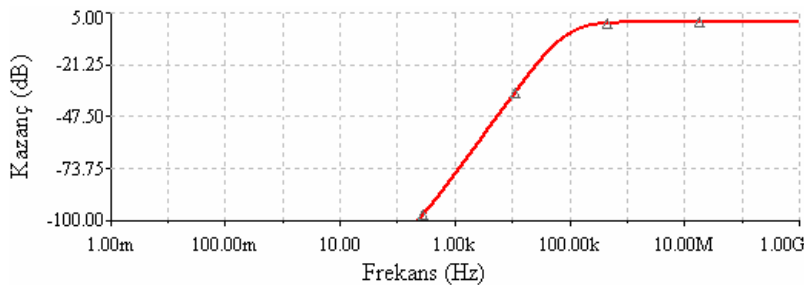
$$H(s) = \frac{(g_{m3} / g_{m4})s^2}{s^2 + \frac{g_{m2}g_{m3}}{g_{m4}C_2}s + \frac{g_{m1}g_{m2}g_{m3}}{g_{m4}C_1C_2}} \quad W_0 = \sqrt{\frac{g_{m1} \cdot g_{m2} \cdot g_{m3}}{g_{m4} \cdot C_1 \cdot C_2}} \quad \text{dir.} \quad (3.29)$$

Şekil 3.51’de OTA kullanan yüksek geçiren filtre devresinin multisim simülasyonu görülmektedir. Devrede eleman değerleri olarak $g_{m1}=20$ mS, $g_{m2}=10$ mS, $g_{m3}=20$ mS, $g_{m4}=10$ mS, $C_1=10$ nF ve $C_2=100$ nF belirlenmiştir. Belirlenen bu değerler formülde (3.29) yerine yazıldığında frekans değeri olarak 100 kHz elde edilir.



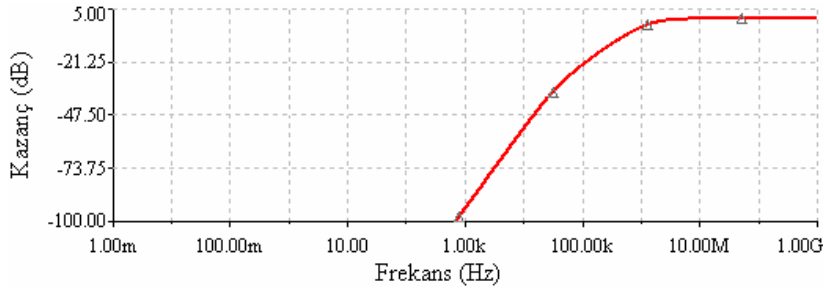
Şekil 3.51. CA3080 OTA kullanan yüksek geçiren filtre multisim devre şeması

Şekil 3.52’de yüksek geçiren aktif filtre devresinin frekans-kazanç karakteristiği görülmektedir. Şekil incelendiğinde; düşük frekanslarda çıkış işaretinin belirli bir eğimle zayıfladığı ve 100 kHz frekans değerinin üzerindeki frekans değerlerinde devrenin iletimde olduğu gözlenmiştir.



Şekil 3.52. CA3080 kullanan ve frekansı 100 kHz olan yüksek geçiren filtre frekans-kazanç eğrisi

Şekil 3.51'deki devrenin eleman değerleri $g_{m1}=20$ mS, $g_{m2}=10$ mS, $g_{m3}=20$ mS, $g_{m4}=10$ mS, $C1=1$ nF ve $C2=10$ nF olarak değiştirilir ve bu değerler formülde (3.29) yerine yazılırsa frekans değeri 1 MHz olarak hesaplanır. Bu eleman değerlerine göre devre şeması Multisim programında oluşturulursa Şekil 3.53'deki sonuç eğrisi elde edilir.



Şekil 3.53. CA3080 kullanan ve frekansı 1 MHz olan yüksek geçiren filtre frekans-kazanç eğrisi

Şekil 3.53 incelendiğinde OTA elemanı ile gerçekleştirilen yüksek geçiren filtre devresinde matematiksel formüllerle elde edilen frekans değerleri ile simülasyon sonucu elde edilen grafiklerdeki değerler birbiriyle uyumluluk göstermektedir. Opamp elemanı ile gerçekleştirilen ve frekansı 1 MHz olan Şekil 3.49'daki grafikte yüksek frekanslarda görülen sinyal zayıflaması, aynı frekansa sahip OTA elemanı ile gerçekleştirilen yüksek geçiren filtre devresinde elde edilen grafiklerde meydana gelmemiştir.

3.6. Osilatör Devreleri

Sayısal ya da analog, çoğu elektronik sistem zamanlama, kontrol, modülasyon gibi fonksiyonları yerine getirmek için periyodik dalga biçimlerine ihtiyaç duyar. Bu periyodik işaretler sinusoidal, üçgen dalga, kare dalga ya da başka biçimlerde olabilir. Dolayısıyla, bu işaretlerin üretilmesi önemli olmaktadır. Belli bir dalga biçimini üreten devreye geleneksel olarak osilatör adı verilmektedir. Son zamanlarda fonksiyon üretici, dalga üretici, bazı özel durumlarda multivibratör gibi terimler de kullanılmaktadır.

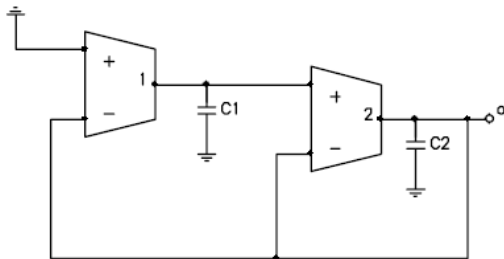
Bütün osilatörlerin ortak yanı devrelerinde bir tür pozitif geri besleme kullanmalarındır. Lineer kuvvetlendirme devrelerinin osilasyon ihtimalini minimize edecek şekilde tasarlanmalarına karşılık osilatör devreleri kontrol edilebilir bir osilasyon üretecek biçimde tasarlanır. Çoğu osilatör dışarıdan bir giriş işareti kullanmaz (aktif elemanların beslenmesi için dc kaynaklar gerekir), eğer böyle bir giriş işareti kullanılıyorsa bu ya frekans kontrolü için ya da osilatörün bir dış referansa senkronizasyonunu sağlamak içindir.

Sadece geçiş iletkenliği kuvvetlendiricisi ve kondansatörler kullanılarak gerçekleştirilen osilatör yapıları yüksek frekanslı devrelerde oldukça fazla yarar sağlarlar. Devrenin sağladığı en büyük yarar, yapıda endüktans bulunmaması, OTA'nın açık çevrimde çalışabilmesi, başka bir deyişle yapılan geri beslemelerle frekans cevabına ilişkin kutuplar için ek bir sınırlama getirmemesidir. OTA'nın eğiminin bir tasarım parametresi olarak kullanılması da elde edilen bir yarar olarak değerlendirilebilir. Bu eğim akımın bir fonksiyonu olduğundan OTA'nın kontrol akımının değiştirilmesiyle söz konusu parametre ve bununla da frekansı değiştirme olanağı bulunmaktadır. Devrenin çalışması ikinci dereceden bir osilatör devresinin karakteristik denkleminin elde edilmesine dayanır [12].

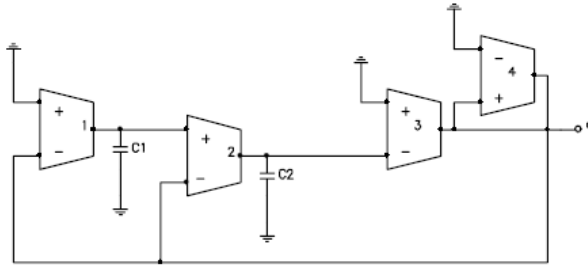
Bu karakteristik denklem,

$$S^2 - bs + \Omega_0 = 0 \quad (3.30)$$

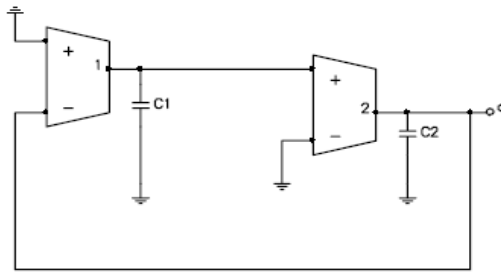
şeklinindedir. b ve Ω_0 büyüklükleri OTA'ların geçiş iletkenliklerinin ve kapasitelerin fonksiyonudur. Bu karakteristik denklem çeşitli yapı düzenleri ile sağlanabilir.



Şekil 3.54a. Alçak geçiren filtreden elde edilen osilatör yapısı



Şekil 3.54b. Yüksek geçiren filtreden elde edilen osilatör yapısı



Şekil 3.54c. Bant geçiren filtreden elde edilen osilatör yapısı

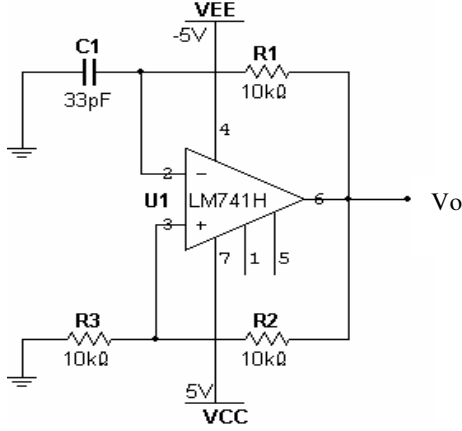
Tablo 3.1’de Şekil 3.54’de verilen devrelere ilişkin osilasyon şartı ve osilasyon frekans bağıntıları verilmiştir.

Tablo 3.1. Osilatör yapılarına ilişkin osilasyon şartı ve osilasyon frekans bağıntıları

Şekil No	b	Ω_0
Şekil 3.54a	$\frac{gm_2}{C_2}$	$\sqrt{\frac{gm_1 \cdot gm_2}{C_1 \cdot C_2}}$
Şekil 3.54b	$\frac{gm_2 \cdot gm_3}{gm_4 \cdot C_2}$	$\sqrt{\frac{gm_1 \cdot gm_2 \cdot gm_3}{gm_4 \cdot C_1 \cdot C_2}}$
Şekil 3.54c	0	$\sqrt{\frac{gm_1 \cdot gm_2}{C_1 \cdot C_2}}$

3.6.1. LM741 kullanarak gerçekleştirilen sinüzoidal osilatör devresi

Çift opamp kullanarak aynı anda hem üçgen dalga hem kare dalga üreten bir osilatör Şekil 3.55' de gösterilmiştir [4].



Şekil 3.55. LM741 Opamp kullanan sinüzoidal osilatör devre şeması

Devreden,

$$G(s) = K \cdot \frac{Z_1(s)}{Z_1(s) + Z_2(s)} = \frac{Ks / R_2 C_1}{s^2 + s \left(\frac{1}{R_1 C_1} + \frac{1}{R_2 C_2} + \frac{1}{R_2 C_1} \right) + \frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2}} \quad (3.31)$$

$$\text{olur ve } s^2 + s \left(\frac{1}{R_1 C_1} + \frac{1}{R_2 C_2} + \frac{1}{R_2 C_1} (1 - K) \right) + \frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2} = 0 \quad (3.32)$$

elde edilir. Buradan osilatörden elde edilen dalganın periyodu

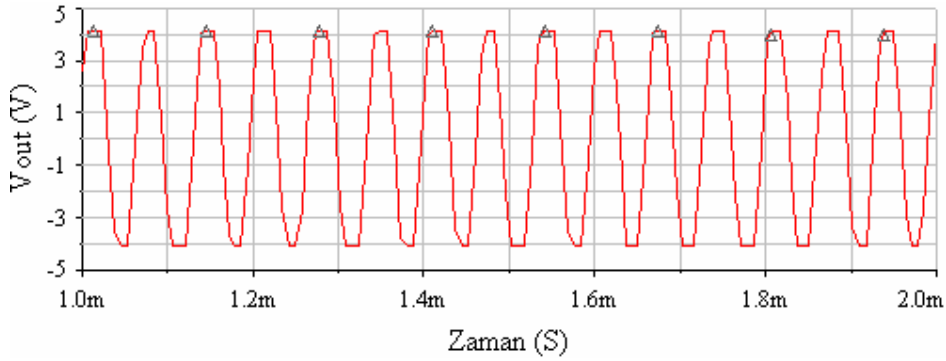
$$T = 2\pi R_1 C_1 \quad (3.33)$$

olarak ve osilasyon frekansı da,

$$f_o = \frac{1}{2\pi R_1 C_1} \quad (3.34)$$

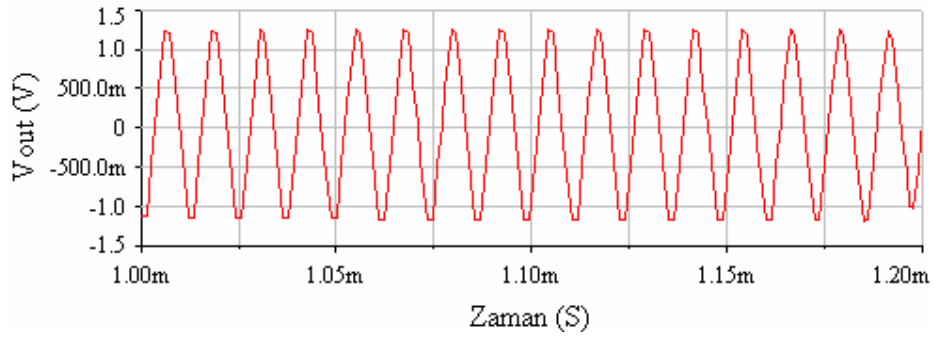
olarak bulunur. Günümüzde frekansı ayarlanabilen sinüs, üçgen dalga ve kare dalga sinyallerini üreten birçok entegre devre piyasada bulunmaktadır.

Şekil 3.55'deki devrede osilasyon frekansı 10 kHz olacak şekilde eleman değerleri seçildiğinde elde edilen çıkış sinyali grafiği Şekil 3.56'da gösterilmiştir.



Şekil 3.56. LM741 Osilatör devresinde $f=10$ kHz için elde edilen sinüzoidal çıkış sinyali

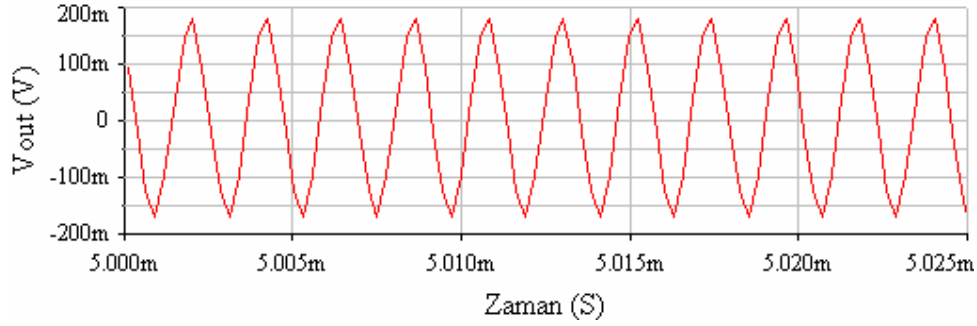
Şekil 3.55'deki devredeki eleman değerleri osilasyon frekansı 100 kHz olacak şekilde değiştirilirse Şekil 3.57'deki çıkış grafiği elde edilir.



Şekil 3.57. LM741 Osilatör devresinde $f=100$ kHz için elde edilen sinüzoidal çıkış sinyali

Şekil 3.57 incelendiğinde elde edilen çıkış sinyalinin frekans değerinin artmasına bağlı olarak üçgen dalgaya yaklaştığı ve kazanç değerinin azaldığı görülmektedir.

Eğer sinüzoidal osilatör devresinin osilasyon frekansı artırılmak istenirse Şekil 3.55'deki devrenin eleman değerleri değiştirilebilir. Osilasyon frekansı 500 kHz olan sinüzoidal osilatörün çıkış sinyalini gösteren grafik Şekil 3.58'de verilmiştir.



Şekil 3.58. LM741 Osilatör devresinde $f=500$ kHz için elde edilen sinüzoidal çıkış sinyali

Şekil 3.58 incelendiğinde 500 kHz için opamp ile elde edilen sinüzoidal osilatör devresinde çıkış geriliminin 100 mV seviyelerine düştüğü görülmektedir. Aynı zamanda devre eleman değerleri osilasyon frekansı 1 MHz olacak şekilde değiştirildiğinde devrenin osilasyon sağlamadığı yani çıkışında sinyal oluşturmadığı gözlemlenmiştir. Tablo 3.2’de, Şekil 3.55’deki devrede uygulanan bazı eleman değerleri için elde edilen frekans ve çıkış gerilim değerleri verilmiştir.

Tablo 3.2. LM741 Opampli osilatör devresinden elde edilen frekans ve çıkış gerilimi değerleri

$R_1(k\Omega)$	C	$V_o(V)$	$f_o(kHz)$
10	1 pF	0	0
10	10 pF	0	0
10	33 pF	0.170	500
10	100 pF	0.505	136
10	1 nF	3.148	18
10	10 nF	3.9	3.9
10	100 nF	4.086	0.447
10	1 uF	4.062	0.05
10	10 uF	0	0

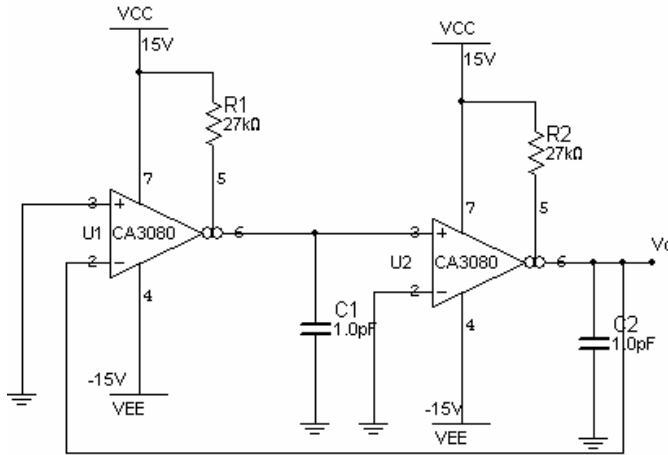
Tablo 3.2’den görüleceği üzere seçilen C kondansatör değeri arttıkça elde edilen sinyalin frekans değeri hesaplandığında (3.34), bu değer azalış gösterdiği gözlemlenmektedir. LM741 entegresi ile gerçekleştirilen sinüzoidal osilatör devresinde, frekans değerinin artmasının, üretilen sinüzoidal sinyalinin genliğini düşürdüğü gözlemlenmiştir.

3.6.2. Bipolar CA3080 OTA kullanarak gerçekleştirilen sinüzoidal osilatör devresi

Sinüzoidal osilatörler iletişim ve kontrol sistemleri bakımından önemli rol oynarlar. Bu osilatörlerin birçoğunun osilasyon frekansı OTA'ların geçiş iletkenliği ve topraklanmış kapasitelerle değiştirilebilmektedir. Üstelik frekans ve osilasyon durumu her birine ayrı ayrı bağlıdır. Bu yüzden osilasyon frekansı osilasyon durumuyla değiştirilemez [10].

OTA-C Sinüzoidal osilatör devrelerinin en önemli özelliği tümleşik devrelerde kullanılabilmesi ve sadece kapasiteler yardımıyla kontrol edilebilir olmasıdır. OTA-C Sinüzoidal osilatörlerin osilasyon frekansları g_m değerinin dışarıdan uygulanan I_{abc} akımı ile ayarlanması sebebiyle de önemli bir özelliğe sahiptirler.

Şekil 3.59'da bir OTA-C alçak geçiren filtre devresinden türetilmiş sinüzoidal osilatör devresi verilmiştir.



Şekil 3.59. CA3080 OTA kullanan osilatör multisim devre şeması

İdeal durumda devrenin,

$$\frac{V_o(s)}{V_i(s)} = H(s) \text{ gerilim transfer fonksiyonu} \quad (3.35)$$

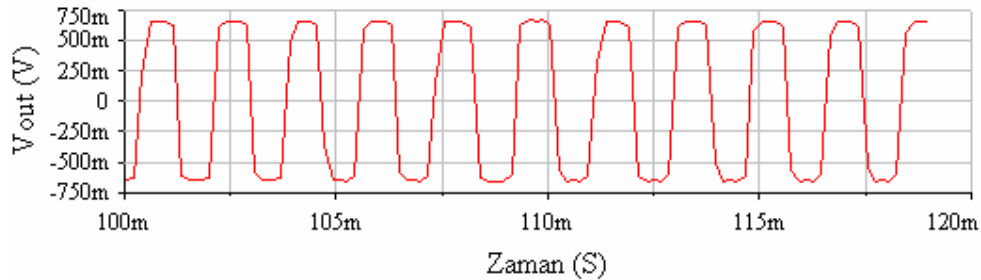
$$H(s) = \frac{g_{m1}g_{m2}}{s^2C_1C_2 + g_{m1}g_{m2}} = \frac{g_{m1}g_{m2}/C_1C_2}{s^2 + g_{m1}g_{m2}/C_1C_2} \quad (3.36)$$

olarak elde edilir. Osilasyon frekansı payda polinomundan

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g_{m1}g_{m2}}{C_1C_2}} \quad (3.37)$$

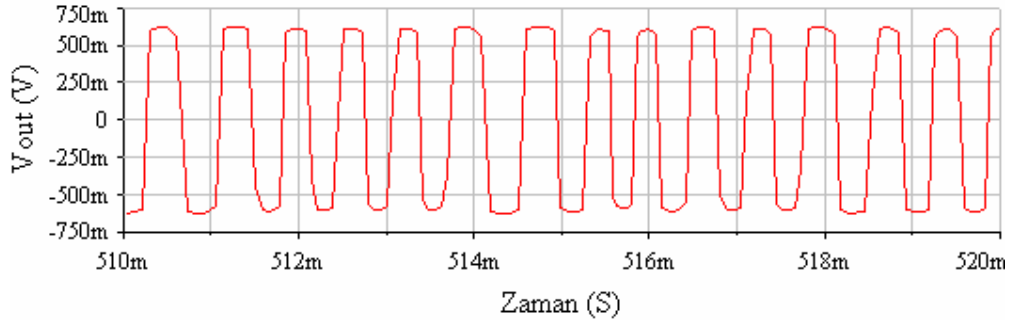
olarak bulunur.

Şekil 3.59'daki devrede eleman değerleri $g_{m1}=g_{m2}= 20\text{mS}$, $C_1=10\text{nF}$ ve $C_2=100\text{nF}$ olarak seçildiğinde ve bu değerler formülde (3.37) yerine yazıldığında osilasyon frekans değerinin 100 kHz olduğu görülmektedir. Bu devreye ait çıkış grafiği Şekil 3.60'da verilmiştir.



Şekil 3.60. CA3080 OTA kullanan ve osilasyon frekansı 100 kHz olan osilatör devresi çıkış sinyali

Şekil 3.60 incelendiğinde çıkış sinyalinin 600 mV civarında olduğu görülmektedir. Şekil 3.59'daki devrenin eleman değerleri osilasyon frekansı 1 MHz olacak şekilde değiştirildiğinde ($g_{m1}=g_{m2}= 20\text{mS}$, $C_1=1\text{nF}$ ve $C_2=10\text{nF}$) ve oluşan devre Multisim ortamında kurulum simüle edildiğinde Şekil 3.61'de görülen çıkış sinyali elde edilir.



Şekil 3.61. CA3080 OTA kullanan ve osilasyon frekansı 1 MHz olan osilatör devresi çıkış sinyali

Bipolar CA3080 OTA elemanı ile gerçekleştirilen sinüzoidal osilatör devresinde eleman değerleri değiştirilip farklı osilasyon frekanslarında (10 kHz, 100kHz, 1 MHz gibi) sinyaller elde edilmiştir. Frekans değeri yükseldikçe elde edilen çıkış sinyallerinin genliklerinde azalma meydana gelmiştir. Opamp ile gerçekleştirilen osilatör devresinde ise düşük osilasyon frekansı değerlerinde çıkış sinyali elde edilmesine rağmen yüksek frekans değerlerinde (1 MHz gibi) çıkış sinyali elde edilememiştir.

İşlemsel geçiş iletkenliği kuvvetlendiricisi, giriş büyüklüğü gerilim, çıkışı büyüklüğü akım olan bir yapıdır. Dolayısıyla, bu yapı gerilim kontrollü akım kaynağı (VCCS) olarak davranmaktadır. İdeal OTA için çıkış direnci sonsuz, çıkış akımının salınabileceği aralık sonsuz, band genişliği sonsuz ve eğimin değiştirilebileceği aralık sonsuz olurken, pratikte bu değerlere ulaşmak olanaksızdır. Bu nedenle, ideal şartlara olabildiğince yaklaşılmaya çalışılır. Osilatör devrelerinde en baskın ideallsizlik bileşenleri, sonlu çıkış direnci ve sonlu band genişliğinin b ve Ω_0 büyüklüklerine etkisidir.

BÖLÜM 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında opamp elemanları kullanılarak yapılan yükselteç, filtre ve osilatör devre tasarımlarının bir başka aktif eleman olan OTA kullanarak da tasarlanabileceği karşılaştırmalı biçimde gösterilmiştir.

Bu çalışmada opampli devrelerinin simülasyonunda Multisim LM741 modeli kullanılmıştır. OTA devre tasarımlarında ve simülasyonlarında ise Bipolar CA3080 modeli kullanılmıştır. İlk olarak tasarımda kullanılacak olan aktif elemanlarının öz eğrileri bu elemanların içyapılarının Multisim programında oluşturulmasıyla elde edilmiştir. Bu bölümde CMOS elemanı ile oluşturulan OTA yapısının çıkış akım değerinin V_{gg} gerilim değeri ile ayarlanabilir olmasının, Bipolar OTA elemanlarının dezavantajı olan düşük fark gerilim değeri sorununu ortadan kaldırdığı gözlemlenmiştir.

İkinci aşamada LM741 entegresi ile tasarlanan yükselteç, filtre ve osilatör devrelerinin kazanç - bant genişliği grafikleri Multisim simülatöründe elde edilmiştir. Üçüncü aşama olarak da LM741 entegresi ile gerçekleştirilen tasarımlar OTA elemanını temsil eden Bipolar CA3080 entegresi kullanılarak tasarlanmış ve elde edilen devrelerin Multisim simülatöründe kazanç-bant genişliği grafikleri çıkarılmıştır. OTA elemanı ile gerçekleştirilen devrelerin opamp elemanına oranla daha yüksek bant genişliğine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Opamp elemanının düşük frekans değerleri için olumlu sonuçlar verebildiği ancak yüksek frekans değeri gerektiren uygulamalarda olumsuz sonuçlar verdiği görülmüştür.

OTA ile gerçekleştirilen devre tasarımlarında çıkış işaretinin gm/C değerine bağlı olması istenilen bir durumdur ancak özellikle Bipolar CA3080 ile gerçekleştirilen entegratör için eleman değerlerinin çok iyi ayarlanması gerekmektedir.

Sonuç olarak opamp ile gerçekleştirilebilen devrelerin OTA elemanı ile de gerçekleştirilebildiği ve daha yüksek kazanç-bant genişlikleri elde edildiği tespit edilmiştir.

Yapılan çalışmalarda Bipolar CA3080 OTA elemanı kullanılarak tasarım yapılmıştır. OTA elemanının performansını geçiş iletkenliği, kontrol akımı ve girişe bağlanan diyot çifti etkilemektedir. Bu parametrelerin etkileri ayrıca araştırılabilir.

OTA ile gerçekleştirilmiş devrelerden eviren yükselteç ile elde edilen çıkış grafiklerinde 1–2 mV civarında istenmeyen DC bileşen etkisi olduğu gözlemlenmiştir ve bu etkinin kaynağı üzerinde durulabilir. Ayrıca piyasaya yeni çıkan BOTA (Balanced OTA) devre elemanları ile piyasada OTA elemanını temsil eden entegre yapılarının performans karşılaştırmaları yapılabilir.

Bu tez çalışmasının devamı olarak Bipolar CA3080 entegresi ile gerçekleştirilen devre tasarımları CMOS OTA yapıları kullanılarak veya Bipolar LM13700 OTA elemanı kullanılarak elde edilecek sonuçların avantajları ve dezavantajları incelenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] AN6668 Application Note, “*Applications of the CA3080 and CA3080A High Performance Operational Transconductance Amplifiers*”, H.A. Wittlinger, Intersil Corporation.
- [2] ANDAY F., ACAR C., KUNTMAN H., “*On the Realization of OTA-C Filters*”, International Journal of Circuit Theory and Applications, Vol. 211, pp. 331-341, 1993
- [3] ERDAL C., TOKER A., ACAR C., “*Ota-C Based Proportional-Integral-Derivative (PID) Controller and Calculating Optimum Parameter Tolerances*”, İstanbul 2001
- [4] FERİKOĞLU, A., “*Elektronik Devreler*”, Değişim Yayınları, İstanbul 2004
- [5] GEIGER R.L., & SANCHEZ-SINENCIO E., “*Active Filter Design Using Operational Transconductance Amplifiers*”, Mayıs 1985
- [6] GRATZ, A., “*Operational Transconductance Amplifier*”, Stromecko
- [7] HAN G. and SANCHEZ-SINENCO E., “*CMOS Transconductance Multipliers*”, Aralık 1998
- [8] KOCATEPE M., “*Lineer Olmayan Diferansiyel Denklemlerin Analizi*”, Sakarya 2006
- [9] MARSTON, R., “*Understanding And Using OTA ICs*”, Nuts Volts 2003
- [10] NACAROĞLU A., & ERÇELEBİ E., “*Effects of Parasitic Elements on Oscillation Frequency of OTA-C Sinusoidal Oscillators*”, Gaziantep 1999
- [11] SANCHEZ-SINENCO E., “*Operational Transconductance Amplifier-Based Nonlinear Function Syntheses*”, Aralık 1989
- [12] SWAMY M.N.S., RAUT R., TANG Z., “*Generation of New Ota-C Oscillator Structures Using Network Transposition*”, Canada 2004

ÖZGEÇMİŞ

Berkay Çelik, 08.04.1980 de Ankara'da doğdu. İlk ve orta eğitimini Şereflikoçhisar'da, lise eğitimini Ankara'da tamamladı. 1998 yılında Ankara Gazi Anadolu Teknik Lisesi, Bilgisayar Bölümünden mezun oldu. 1999 yılında başladığı Kocaeli Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Bilgisayar Öğretmenliği bölümünden 2003 yılında mezun oldu. 2003 yılında Sakarya Akyazı Ticaret Meslek Lisesi'ne Bilgisayar Öğretmeni olarak atandı. Şu anda aynı okulda Bilgisayar Öğretmeni olarak görev yapmaktadır.