

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÜÇÜNCÜ KUŞAK AKIM TAŞIYICILAR VE
UYGULAMALARI

142937

142937

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Müh. Merih YILDIZ
(504001374)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 24 Aralık 2002
Tezin Savunulduğu Tarih : 13 Ocak 2003

Tez Danışmanı :

Doç.Dr. M. Sait TÜRKÖZ

Diğer Jüri Üyeleri

Prof.Dr. Hakan KUNTMAN (İ.T.Ü.)

Yard. Doç. Dr. Shahram MINAEI (D.Ü.)

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
TEZ YERLEŞİMİ

OCAK 2003

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın ortaya çıkmasında değerli yardımlarını esirgemeyen sayın hocalarım Doç. Dr. M.Sait Türköz'e, Yard. Doç Dr. Shahram Minaei'ye ve Prof. Dr. Hakan Kuntman'a teşekkür ediyorum.

Ocak 2003

MerihYILDIZ



İÇİNDEKİLER	
KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	x
ÖZET	xi
SUMMARY	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Giriş ve Çalışmanın Amacı	1
2. AKIM TAŞIYICILAR VE AKIM AYNALARI	3
2.1. Akım Aynaları	3
2.2. Akım Taşıyıcılar	6
2.3. Birinci Kuşak Akım Taşıyıcılar(CCI)	8
2.4. İkinci Kuşak Akım Taşıyıcılar(CCII)	9
2.5. Üçüncü Kuşak Akım Taşıyıcılar(CCIII)	10
2.5.1. Geleneksel CCIII DC Akım Performansları ve Frekans Cevabı	
İncelenmesi	12
2.5.1.1. DC Karakteristikleri	14
2.5.1.2. AC Karakteristikleri	16
2.6. İkinci Kuşak Akım Taşıyıcı Kullanılarak Gerçekleştirilmiş Üçüncü Kuşak Akım Taşıyıcı (CCIII) Devreleri	19
3. İYİLEŞTİRİLMİŞ ÜÇÜNCÜ KUŞAK AKIM TAŞIYICI	22
3.1. Üçüncü Kuşak Kaskod Akım Taşıyıcı	22
3.1.1. DC Karakteristikleri	23
3.1.2. AC Karakteristikleri	25
3.2. Üçüncü Kuşak İyileştirilmiş Wilson Akım Taşıyıcı (CCIII)	29
3.2.1. DC Karakteristikleri	30
3.2.2. AC Karakteristikleri	32
3.3. İAGKAA Kaskod Üçüncü Kuşak Akım Taşıyıcı	36
3.3.1. DC Karakteristikleri	37
3.3.2. AC Karakteristikleri	39
3.4. Yüksek Salınım Aralıklı Kaskod Üçüncü Kuşak Akım Taşıyıcı	42
3.4.1. DC Karakteristikleri	43
3.4.2. AC Karakteristikleri	45
3.5. YÇDAA Kaskod Üçüncü Kuşak Kaskod Akım Taşıyıcı	48
3.5.1. DC Karakteristikleri	49
3.5.2. AC Karakteristikleri	51

4. ÜÇÜNCÜ KUŞAK AKIM TAŞIYICI İLE FİLTRE TASARIMI	56
4.1. Kullanılan Filtre Yapıları	56
4.1.1. Yüksek Geçiren Filtre Yapısı	56
4.1.2. Alçak Geçiren Filtre Yapısı	57
4.1.3. Tüm Geçiren Filtre Yapısı	59
5. SONUÇLAR	62
KAYNAKLAR	63
EKLER	65
ÖZGEÇMİŞ	70



KISALTMALAR

CCI	: Birinci Kuşak Akım Taşıyıcı
CCII	: İkinci Kuşak Akım Taşıyıcı
CCIII+	: Pozitif Üçüncü Kuşak Akım Taşıyıcı
CCIII-	: Negatif Üçüncü Kuşak Akım Taşıyıcı
DC	: Doğru Akım
AC	: Alternatif Akım
İAGKAA	: İyileştirilmiş aktif geribeslemeli kaskod akım aynası
YÇDAA	: Yüksek çıkış dirençli akım aynası



TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Transistor Boyutları	19
Tablo 3.1. Üçüncü Kuşak Akım Taşıyıcı Devreleri Çıkış Dirençleri.....	54



ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 : Basit akım aynası.....	3
Şekil 2.2 : İyileştirilmiş Wilson akım aynası.....	4
Şekil 2.3 : Kaskod akım aynası.....	4
Şekil 2.4 : İyileştirilmiş aktif geribeslemeli kaskod akım aynası.....	5
Şekil 2.5 : Yüksek çıkış dirençli akım aynası.....	6
Şekil 2.6 : Yüksek Salınım Aralıklı Akım Aynası.....	6
Şekil 2.7 : Birinci Kuşak akım taşıyıcı.....	8
Şekil 2.8 : İkinci Kuşak akım taşıyıcı	9
Şekil 2.9 : Üçüncü Kuşak akım taşıyıcı.....	11
Şekil 2.10 : Geleneksel üçüncü kuşak akım taşıyıcı.....	13
Şekil 2.11 : CCIII devresi X ve Y uçları Arasındaki çekirdek gösterimi.....	13
Şekil 2.12 : V_X-V_Y DC karakteristiği.....	14
Şekil 2.13 : I_X-I_Y DC Karakteristiği.....	14
Şekil 2.14 : I_Z-I_X DC Karakteristiği.....	15
Şekil 2.15 : $I_{Z+} I_X$ DC Karakteristiği.....	15
Şekil 2.16 : V_X-V_Y frekans Karakteristiği.....	16
Şekil 2.17 : I_X-I_Y frekans Karakteristiği.....	16
Şekil 2.18 : I_X-I_Z- frekans Karakteristiği.....	17
Şekil 2.19 : I_X-I_{Z+} frekans Karakteristiği.....	17
Şekil 2.20 : Z_X empedansı frekans Karakteristiği.....	17
Şekil 2.21 : Z_Y empedansı frekans Karakteristiği.....	18
Şekil 2.22 : $Z-$ empedansı frekans Karakteristiği.....	18
Şekil 2.23 : Z_+ empedansı frekans Karakteristiği.....	18
Şekil 2.24 : Yükselme hızı Karakteristiği.....	19
Şekil 2.25 : Geleneksel Üçüncü Kuşak Akım Taşıyıcı.....	20
Şekil 2.26 : Geliştirilmiş Üçüncü Kuşak Akım Taşıyıcı.....	20
Şekil 2.27 : CCII yapıları ile gerçekleşen Üçüncü Kuşak Akım Taşıyıcı.....	21
Şekil 3.1 : Kaskod Üçüncü Kuşak akım taşıyıcı.....	23
Şekil 3.2 : V_X-V_Y DC Karakteristiği.....	23
Şekil 3.3 : I_X-I_Y DC Karakteristiği.....	24
Şekil 3.4 : I_Z-I_X DC Karakteristiği.....	24
Şekil 3.5 : $I_{Z+}-I_X$ DC Karakteristiği.....	25
Şekil 3.6 : V_X-V_Y frekans Karakteristiği.....	25
Şekil 3.7 : I_X-I_Y frekans Karakteristiği.....	26
Şekil 3.8 : I_X-I_Z- frekans Karakteristiği.....	26
Şekil 3.9 : I_X-I_{Z+} frekans Karakteristiği.....	27
Şekil 3.10 : Z_X empedansı frekans Karakteristiği.....	27
Şekil 3.11 : Z_Y empedansı frekans Karakteristiği.....	27
Şekil 3.12 : $Z-$ empedansı frekans Karakteristiği.....	28
Şekil 3.13 : Z_+ empedansı frekans Karakteristiği.....	28
Şekil 3.14 : Yükselme hızı Karakteristiği.....	29

Şekil 3.15 : İyileştirilmiş Wilson üçüncü kuşak akım taşıyıcı.....	30
Şekil 3.16 : V_X-V_Y DC Karakteristiği.....	31
Şekil 3.17 : I_X-I_Y DC Karakteristiği.....	31
Şekil 3.18 : I_Z-I_X DC Karakteristiği.....	32
Şekil 3.19 : $I_{Z+}-I_X$ DC Karakteristiği.....	32
Şekil 3.20 : V_X-V_Y frekans Karakteristiği.....	33
Şekil 3.21 : I_X-I_Y frekans Karakteristiği.....	33
Şekil 3.22 : I_X-I_Z frekans Karakteristiği.....	33
Şekil 3.23 : I_X-I_{Z+} frekans Karakteristiği.....	34
Şekil 3.24 : Z_X empedansı frekans Karakteristiği.....	34
Şekil 3.25 : Z_Y empedansı frekans Karakteristiği.....	35
Şekil 3.26 : Z empedansı frekans Karakteristiği.....	35
Şekil 3.27 : Z_+ empedansı frekans Karakteristiği.....	35
Şekil 3.28 : Yükselme hızı Karakteristiği.....	36
Şekil 3.29 : İAGKAA üçüncü kuşak akım taşıyıcı.....	37
Şekil 3.30 : V_X-V_Y DC Karakteristiği.....	38
Şekil 3.31 : I_X-I_Y DC Karakteristiği.....	38
Şekil 3.32 : I_Z-I_X DC Karakteristiği.....	38
Şekil 3.33 : $I_{Z+}-I_X$ DC Karakteristiği.....	39
Şekil 3.34 : V_X-V_Y frekans Karakteristiği.....	39
Şekil 3.35 : I_X-I_Y frekans Karakteristiği.....	39
Şekil 3.36 : I_X-I_Z frekans Karakteristiği.....	40
Şekil 3.37 : I_X-I_{Z+} frekans Karakteristiği.....	40
Şekil 3.38 : Z_X empedansı frekans Karakteristiği.....	41
Şekil 3.39 : Z_Y empedansı frekans Karakteristiği.....	41
Şekil 3.40 : Z empedansı frekans Karakteristiği.....	41
Şekil 3.41 : Z_+ empedansı frekans Karakteristiği.....	42
Şekil 3.42 : Yükselme hızı Karakteristiği.....	42
Şekil 3.43 : Yüksek Salınım Aralıklı Kaskod üçüncü kuşak akım taşıyıcı.....	43
Şekil 3.44 : V_X-V_Y DC Karakteristiği.....	44
Şekil 3.45 : I_X-I_Y DC Karakteristiği.....	44
Şekil 3.46 : I_Z-I_X DC Karakteristiği.....	44
Şekil 3.47 : $I_{Z+}-I_X$ DC Karakteristiği.....	45
Şekil 3.48 : V_X-V_Y frekans Karakteristiği.....	45
Şekil 3.49 : I_X-I_Y frekans Karakteristiği.....	46
Şekil 3.50 : I_X-I_Z frekans Karakteristiği.....	46
Şekil 3.51 : I_X-I_{Z+} frekans Karakteristiği.....	46
Şekil 3.52 : Z_X empedansı frekans Karakteristiği.....	47
Şekil 3.53 : Z_Y empedansı frekans Karakteristiği.....	47
Şekil 3.54 : Z empedansı frekans Karakteristiği.....	47
Şekil 3.55 : Z_+ empedansı frekans Karakteristiği.....	48
Şekil 3.56 : Yükselme hızı Karakteristiği.....	48
Şekil 3.57 : YÇDAA Kaskod üçüncü kuşak akım taşıyıcı.....	49
Şekil 3.58 : V_X-V_Y DC Karakteristiği.....	50
Şekil 3.59 : I_X-I_Y DC Karakteristiği.....	50
Şekil 3.60 : I_Z-I_X DC Karakteristiği.....	50
Şekil 3.61 : $I_{Z+}-I_X$ DC Karakteristiği.....	51
Şekil 3.62 : V_X-V_Y frekans Karakteristiği.....	51
Şekil 3.63 : I_X-I_Y frekans Karakteristiği.....	52
Şekil 3.64 : I_X-I_Z frekans Karakteristiği.....	52

Şekil 3.65 : I_X-I_{Z+} frekans Karakteristiği.....	53
Şekil 3.66 : Z_X empedansı frekans Karakteristiği.....	53
Şekil 3.67 : Z_Y empedansı frekans Karakteristiği.....	53
Şekil 3.68 : Z_- empedansı frekans Karakteristiği.....	53
Şekil 3.69 : Z_+ empedansı frekans Karakteristiği.....	54
Şekil 3.70 : Yükselme hızı Karakteristiği.....	54
Şekil 4.1 : Yüksek Geçiren Filtre Devresi.....	56
Şekil 4.2 : Yüksek Geçiren Filtre Devresi Frekans Karaktesitiği.....	57
Şekil 4.3 : Alçak Geçiren Filtre Devresi.....	58
Şekil 4.4 : Alçak Geçiren Filtre Devresi Frekans Karakteristiği.....	58
Şekil 4.5 : Gerilim Modlu Tüm Geçiren Filtre Devresi.....	59
Şekil 4.6 : Gerilim Modlu Tüm Geçiren Filtre Devresi.....	60
Şekil 4.7 : Akım Modlu Tüm Geçiren Filtre Devresi.....	60



SEMBOL LİSTESİ

R_o	: Çıkış Direnci
I_o	: Çıkış Akımı
I_i	: Giriş Akımı
V_{ϕ}	: Çıkış Gerilimi
V_g	: Giriş Gerilimi
I_{ϕ}	: Filtre Çıkış Akımı
I_g	: Filtre Giriş Akımı
r_o	: Transistorun Çıkış Direnci
g_m	: MOS Transistorun Eğimi
r_{ds}	: MOS Transistorun Çıkış Direnci
k	: Kazanç katsayısı
V_X	: Akım Taşıyıcı X kapısındaki Gerilim
V_Y	: Akım Taşıyıcı Y kapısındaki Gerilim
V_Z	: Akım Taşıyıcı Z kapısındaki Gerilim
I_X	: Akım Taşıyıcı X kapısındaki Akımı
I_Y	: Akım Taşıyıcı Y kapısındaki Akımı
I_Z	: Akım Taşıyıcı Z kapısındaki Akımı
CM	: Akım Aynası
W/L	: Kanal Genişliğinin Kanal Boyuna Oranı
f_{3db}	: 3 dB Düşme Frekansı
ω_o	: Kutup Açısız Frekansı
Q	: Değer Katsayısı
f_o	: Kutup Frekansı
V_{DD}	: Pozitif Besleme gerilimi
V_{SS}	: Negatif Besleme gerilimi
G	: İletkenlik

ÜÇÜNCÜ KUŞAK AKIM TAŞIYICILAR VE UYGULAMALARI

ÖZET

Bu çalışmada, 1995 yılında A. Fabre tarafından yayınlanan bir makale ile tanıtılan üçüncü kuşak akım taşıyıcı elemanı incelenmiş ve yüksek başarımlı üçüncü kuşak akım taşıyıcı devreleri tasarlanmıştır. Tasarlanan geliştirilmiş üçüncü kuşak CMOS akım taşıyıcı devreler ile alçak geçiren, yüksek geçiren ve tüm geçiren filtre tasarımları yapılmıştır.

İkinci bölümde, önce genel olarak çeşitli akım aynaları, birinci kuşak, ikinci kuşak ve geleneksel üçüncü kuşak CMOS akım taşıyıcılar hakkında genel bilgi verildi. Geleneksel üçüncü kuşak akım taşıyıcı simülasyonu SPICE programı yardımı ile yapıldı. Bu simülasyon sonuçları AC ve DC karakteristiklerinin incelenmesinde kullanıldı. Bölümün sonunda ise ikinci kuşak akım taşıyıcı yapıları kullanılarak gerçekleştirilmiş olan bir üçüncü kuşak akım taşıyıcı gerçekleştirildi.

Üçüncü bölümde, geleneksel üçüncü kuşak akım taşıyıcı devresinden yola çıkılarak beş adet yeni iyileştirilmiş CMOS üçüncü kuşak akım taşıyıcı devresi gerçekleştirildi. Bu bölümde gerçekleştirilen üçüncü kuşak akım taşıyıcılar ikinci bölümde incelenen akım aynaları kullanılarak tasarlanmıştır. Daha sonra SPICE programı yardımı ile AC ve DC karakteristikleri ve frekans cevapları simülasyon sonuçları incelendi. İyileştirilmiş üçüncü kuşak akım taşıyıcı devreleri geleneksel üçüncü kuşak akım taşıyıcı devresi ile karşılaştırıldı. Ayrıca bu üçüncü kuşak CMOS akım taşıyıcı devreleri kendi aralarında da AC ve DC performansları karakteristikleri ve frekans cevapları açısından da karşılaştırıldı.

Dördüncü bölümde, tek kaskod üçüncü kuşak akım taşıyıcı kullanılarak alçak geçiren, yüksek geçiren ve tüm geçiren filtre uygulamaları yapıldı. Alçak geçiren ve yüksek geçiren filtre simülasyonları SPICE programı yardımı ile test edildi. Önerilen filtre devrelerinin frekans grafikleri incelendi.

Son bölümde ise bu çalışmanın neden önem taşıdığı ve tasarlanan yeni üçüncü kuşak akım taşıyıcıların literatürdeki yerinden ve uygulamalarından bahsedildi.

THIRD GENERATION CURRENT CONVEYORS AND APPLICATIONS

SUMMARY

In this thesis, a new third generation current conveyor which is proposed by A. Fabre in 1995 is investigated, and high performance third generation current conveyors are designed. Then low pass, high pass and all pass filters are designed using single high performance third generation current conveyors.

In the second section, general information is given about current mirrors, first generation and second generation CMOS current conveyors. Then the traditional third generation current conveyor is investigated. AC and DC characteristics of the traditional CMOS third generation current conveyor are investigated by using SPICE simulation program. At the end of this section, the new third generation current conveyor is realized using two second generation current conveyors.

In the third section, five new high performance CMOS third generation current conveyors are designed based on the structure of the traditional third generation current conveyor. The third generation current conveyors which are investigated in this section are designed by the current mirrors given in section two. Then AC, DC characteristics and frequency response of the proposed third generation current conveyors are investigated. The proposed high performance third generation current conveyors are compared with the traditional third generation current conveyor. Moreover the proposed high performance third generation current conveyors are compared from AC and DC performance point of view with each other.

In the fourth section, low pass, high pass and all pass filters are designed by using single cascade high performance third generation current conveyor. Low pass and high pass filters are tested using SPICE simulation program. Frequency responses of the proposed filters are investigated.

In the last section, the main advantages and importance of the proposed third generation current conveyors and their application in scientific literature is discussed.

1. GİRİŞ

Akım taşıyıcı elemanı, ilk olarak Smith ve Sedra tarafından 1968 yılında sunulmuştur [1]. 1970 yılında aynı kişiler ikinci kuşak akım taşıyıcı olarak adlandırdıkları yeni bir devre elemanı tanımlamışlardır [2]. Akım taşıyıcı elemanı aktif devre sentezindeki önemi son otuz yılda yapılmış çalışmalarla ortaya çıkmış olan dört uçlu bir devre elemanıdır. Ancak önerildiği dönemi takip eden ilk on yılda, bu elemanın o dönemde pek çok uygulamada kullanılmakta olan işlemsel kuvvetlendiriciye göre üstünlüğünü ortaya koyacak pratiğe uygun bir gerçeklemesi önerilememiştir. Bu durum, akım taşıyıcı elemanın seksenli yılların başlarına kadar kavramsal bir eleman olarak değerlendirilmesine neden olmuştur. Ancak tümdevre teknolojisinde bu dönemden sonra ortaya çıkan yenilikler sayesinde, akım taşıyıcının tümdevre içinde de kolaylıkla gerçekleştirilebileceği anlaşılmıştır. Gerçekten de aktif devre sentezinde çok yararlı olan pek çok devre bloğu, akım taşıyıcı elemanı ile örneğin işlemsel kuvvetlendirici ile olduğundan daha kolaylıkla gerçekleştirilebilmektedir. Sözelimi parametre eşleme şartından bağımsız olarak iki ucu serbest endüktans elemanını gerçekleyen eşdeğer bir devre işlemsel kuvvetlendirici elemanı ile gerçekleştirilmezken, böyle bir devre akım taşıyıcılar kullanılarak verilebilmiştir.

Akım taşıyıcı elemanının devre tasarımında bu kadar yaygın olarak kullanılmasının önemli bir nedeni de, akım taşıyıcının birim kazançlı kontrollü kaynaklardan oluşmasıdır. Bu durum, akım taşıyıcının basit ve geniş bantlı bir iç yapıyla gerçekleştirilmesine imkan vermektedir. Bu özellik sayesinde, akım taşıyıcının tanım bağıntıları, işlemsel kuvvetlendiricisinde olduğunun aksine, çok büyük gerilim kazançlı devrelere ihtiyaç duyulmadan gerçekleştirilebilmektedir. Gerçekten de, işlemsel kuvvetlendiricinin tanım bağıntılarını gerçeklemek için, çok yüksek gerilim kazancı sağlayan bloklara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu ise, işlemsel kuvvetlendiricinin kullanıldığı devrelerin kararlılığını sağlamak amacıyla, bu elemanın çalışabildiği frekans bandının sınırlandırılmasını zorunlu kılmaktadır. Ancak akım taşıyıcının tanım bağıntılarını açık çevrimde çalışan düşük kazançlı devre bloklarıyla

gerçekleştirmek mümkün olduğundan, bu blokların çalışabildiği frekans bandını özellikle sınırlandırmaya gerek duyulmamaktadır. İşte bu nedenle, akım taşıyıcı elemanı işlemsel kuvvetlendiriciye göre daha basit ve daha geniş bantlı bir i yapıyla gerçekleştirilebilmektedir.

İkinci bölümde de açıklanacağı gibi, birinci, ikinci ve üçüncü kuşak akım taşıyıcı olarak adlandırılan ve tanım bağıntıları birbirinden çok az fark eden  tür akım taşıyıcı elemanı bulunmaktadır.



2. AKIM TAŞIYICILAR VE AKIM AYNALARI

Akım taşıyıcı, akımın çok farklı empedans seviyelerindeki iki kapı arasında taşıdığı üç kapılı aktif bir devre olarak tanımlanabilir. Akım taşıyıcıların yapısında akım aynaları önemli bir rol oynamaktadır; bu nedenle öncelikle akım aynalarından bahsedilecektir.

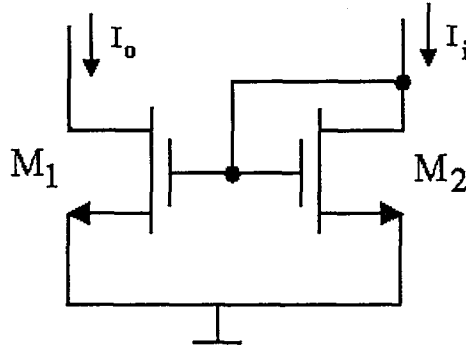
2.1 Akım Aynaları

Akım aynaları genellikle işaret işleme ve analog devre tasarımında kullanılır. Bu da akım aynalarını önemli analog elektronik bloklar arasına sokmaktadır. Özellikle akım modlu devrelerde akım aynaları gürültü performansına ve frekans cevabına etki etmektedir. Bu bölümde, özellikle üçüncü bölümdeki geliştirilmiş akım taşıyıcılarda kullanılan ve geleneksel akım taşıyıcıda kullanılan akım aynalarından bahsedilecektir [3].

Şekil 2.1’de basit akım aynası gösterilmiştir. Basit akım aynası çıkış direnci,

$$R_o = r_{o1} \quad (2.1)$$

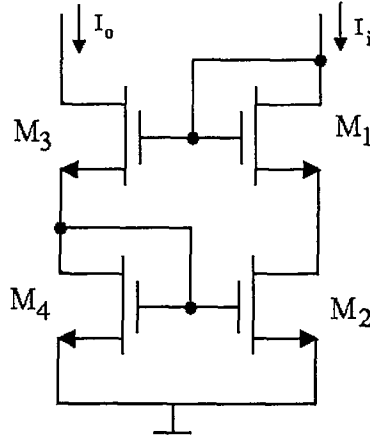
ifadesi ile verilir [4].



Şekil 2.1 Basit Akım Aynası.

Basit akım aynası akım modlu devrelerde ve analog uygulamalarda yeterli yüksek çıkış direnci ve iyi frekans cevabı sağlamadığı için diğer akım aynaları kullanılmıştır.

Şekil 2.2’de iyileştirilmiş Wilson Akım aynası gösterilmiştir.



Şekil 2.2 İyileştirilmiş Wilson Akım Aynası.

İyileştirilmiş Wilson akım aynası çıkış direnci,

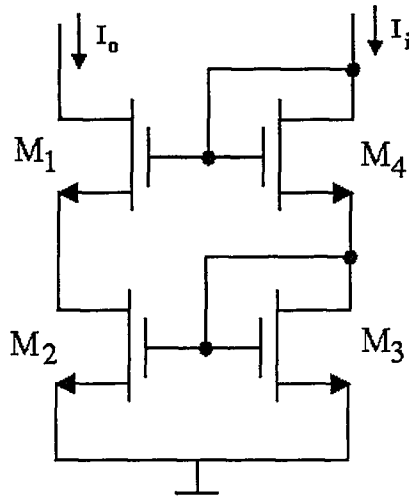
$$R_o = r_{o2} g_{m2} r_{o3} \quad (2.2)$$

ifadesi ile verilir [4]. Burada kullanılan geliştirilmiş Wilson akım aynası yüksek çıkış empedansı ve yüksek frekans cevabı sağlamaktadır. Ancak düşük gerilimlerde kararsız çalışmaktadır.

İyileştirilmiş Wilson akım aynasına bir alternatif olarak hem yüksek çıkış empedansı sağlayan hem de düşük gerilimlerde de kararlı çalışan kaskod akım aynası kullanılmıştır. Şekil 2.3’de kaskod akım aynası gösterilmiştir. Kaskod akım aynası çıkış direnci,

$$R_o = r_{o3} (1 + g_{m3} r_{o3}) \quad (2.3)$$

biçimindedir [4].



Şekil 2.3 Kaskod Akım Aynası.

Çıkış empedansının arttırılması ve giriş akımı ile çıkış akımının uyuşma oranının iyileştirilmesi amacı ile İAGKAA kullanılmıştır. Şekil 2.4'de İAGKAA gösterilmiştir[5]. Fakat çıkış empedansında yeterli iyileşme sağlanmış, ancak giriş ve çıkış akımı uyumu için iyi bir sonuç elde edilememiştir. İAGKAA çıkış direnci,

$$R_o = g_{m7} g_{m9} r_{ds2} r_{ds9} r_{ds7} \quad (2.4)$$

dir.

Çıkış akımı ile giriş akım uyumu ve çıkış empedansında iyi sonuç elde edilmiş olan YÇDAA kullanılmıştır. Şekil 2.5'de YÇDAA gösterilmiştir. YÇDAA çıkış direnci,

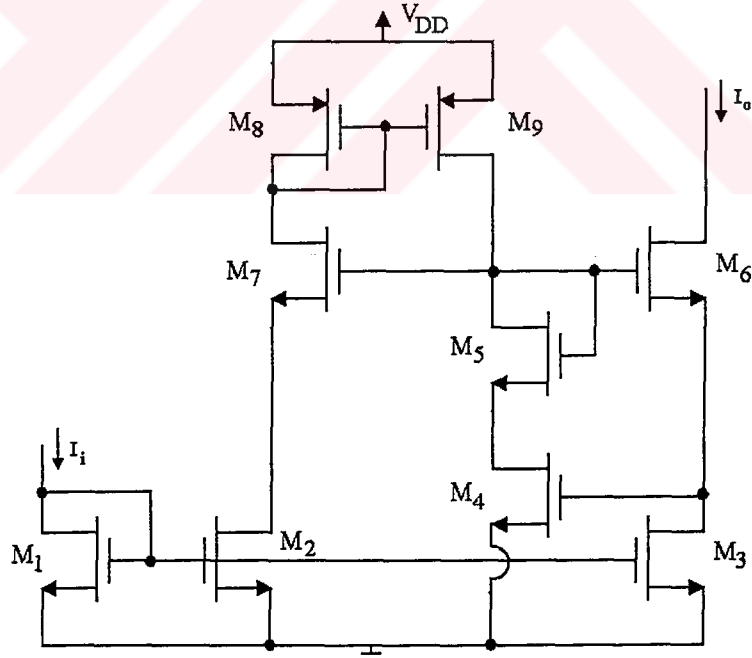
$$R_o = \frac{g_{m10}}{g_{d10}} \frac{1}{g_{d2}} \frac{g_{m4}}{g_{d4}} \frac{g_{m5}}{g_{d5}} \frac{g_{m6}}{g_{d6}} \quad (2.5)$$

bağıntısı ile hesaplanır [6].

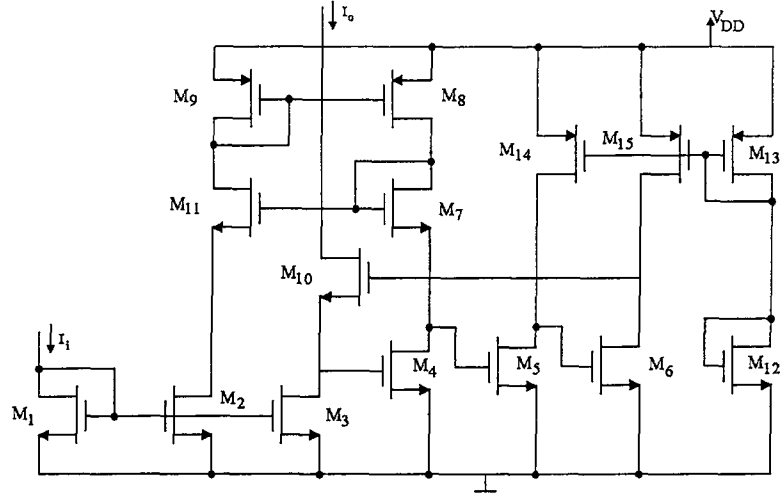
Şekil 2.6'de yüksek salınım aralıklı akım aynası gösterilmiştir. Uygulanan bu akım aynasında yüksek çıkış direnci elde edilmesinin yanında çıkış geriliminde de iyileşmeler sağlanmıştır. Yüksek salınım aralıklı akım aynası çıkış direnci,

$$R_o = r_{o2} g_{m1} r_{o1} \quad (2.6)$$

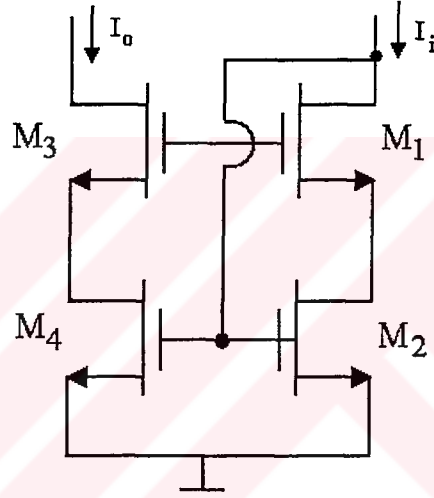
olarak hesaplanabilir [7].



Şekil 2.4 İyileştirilmiş Aktif Geribeslemeli Kaskod Akım Aynası.



Şekil 2.5 Yüksek Çıkış Dirençli Akım Aynası.



Şekil 2.6 Yüksek Salınım Aralıklı Akım Aynası.

Bölümün devamında akım taşıyıcılarından ve akım aynalarının akım taşıyıcıdaki görevlerinde bahsedilmiştir. Üçüncü bölümde yukarıda bahsedilen akım aynalarının geleneksel üçüncü kuşak akım taşıyıcıya uygulanışları, üçüncü kuşak akım taşıyıcı devrelerdeki iyileşmeler ve gelişmeler incelenmiştir. Dördüncü bölümde üçüncü kuşak akım taşıyıcı devreler ile yapılan uygulama devresi incelenmiştir.

2.2 Akım Taşıyıcılar

Akım taşıyıcı, 1968 yılında Smith ve Sedra tarafından tanıtılmış, 1970 yılında yine Smith ve Sedra tarafından yapısı değiştirilerek daha fonksiyonel ve çok yönlü bir hale getirilmiş aktif bir elemandır .

Akım taşıyıcı kavramının ortaya çıktığı yıllarda, elektronik endüstrisinde ilk kez monolitik işlemsel kuvvetlendiricilerin tasarımı konusundaki çalışmalara henüz

başlanmış. İşlemsel kuvvetlendirici kavramının pek çok analog devre tasarımcının zihninde yer etmiş olması, akım taşıyıcıların getirdiği yararların ve işlemsel kuvvetlendiricilere göre olan üstünlüklerinin anlaşılmasını engellemiştir. Bu durum akım taşıyıcıların yaygın bir şekilde kullanılmasını geciktirmiştir. Sonradan tasarımcıların işlemsel kuvvetlendiricilerle yapılan bütün uygulamalarının akım taşıyıcılarla yapılabileceğini göstermeleri ve bu konuda çalışmalar yapmaları, akım taşıyıcıların yararlarının ve üstünlüklerinin anlaşılmasına neden olmuştur. Bu çalışmalar sonucunda, akım taşıyıcılarla gerçekleştirilen devrelerin önemli avantajları ortaya çıkmıştır. Örneğin: küçük veya büyük işaretlerde, geniş bir frekans bandında, daha yüksek gerilim kazancı sağlamaları, enstrümantasyon kuvvetlendiricilerinin geliştirilmesinde oldukça başarılı olmaları bu avantajlardan bazıları olarak verilebilir.

Akım taşıyıcılar, ilk ortaya atılışlarından bu yana uzunca bir süre geçmiş olmasına rağmen, ancak son yıllarda büyük ölçüde önem kazanmışlardır. Türev alıcı devre, entegral alıcı devre gibi işlem blokların, osilatör yapıları, süzgeç devreleri gibi işlemsel kuvvetlendirici ile gerçekleştirilen blokların akım taşıyıcılı alternatifleri ve bu alternatiflerin tümleştirilmeye uygun şekilde gerçekleştirilmesine yönelik topolojiler üzerine yayınlar hızla artmaktadır. Son yıllarda akım taşıyıcının tümdevre olarak piyasaya çıkması bu ilginin bir göstergesidir [8].

Elektronik teknolojisinde, gerilim modlu devrelerin akım modlu devrelere karşı olan ezici üstünlüğü bu devrelerin sınırlı çalışma bandı genişliği nedeniyle zayıflama göstermeye başlamıştır.

Gerilim modlu devrelerde yüksek değerli direnç elemanları ve kaçak kapasiteler göreceli olarak düşük frekans değerinde bir baskın kutup yaratmakta bu da çalışma bandını sınırlamaktadır. Bu baskın kutbun sonucunda bir devrede kazanç-band genişliği çarpımı sabittir gibi literatürde yaygın olarak kullanılan yerleşmiş bir sonuç çıkmıştır. Gerilim modlu devreler için özel bir durum olan bu sonuç, bütün devrelere özgü genel bir kural gibi kabul görmüştür.

Akım modlu devrelerde genel olarak düğüm empedansları düşük ve gerilim salınımları küçüktür. Büyük gerilim salınımları için olan parazitik kapasitelerin dolma boşalma süreleri ve bunun getirdiği zaman sabiti ve dolayısıyla yükselme eğimi problemi minimumdur. Bunlara ek olarak, akım modlu devrelerin yapısı CMOS teknolojisiyle tümleştirmeye de elverişli olmaları, elektronik sistem tasarımında gittikçe yaygınlaşarak kullanılmalarında başlıca nedenlerini oluşturmaktadır.

Aktif devre bloğu olarak akım taşıyıcı elemanı, yüksek frekanslardaki performansı, yüksek doğrusalığa ve geniş dinamik çalışma aralığı ile ön plana çıkmaktadır. Bazı

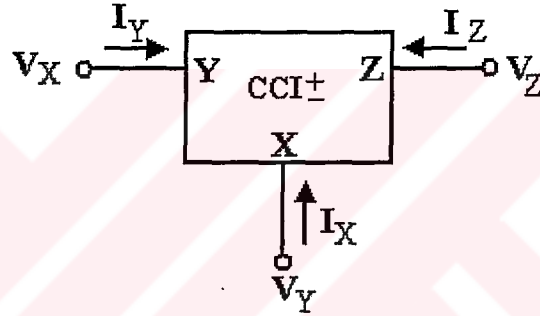
işlem bloklarının CCII ile gerçekleştirilenleri tamamen bir ucu topraklı kapasite ve dirençler içerdiklerinden tümleştirilmeye daha elverişlidirler. Bu özellikleri de bu işlem bloklarının işlemsel kuvvetlendiricilerle gerçekleştirilen karşılıklarına göre ilave bir üstünlük sağlamaktadır.

2.3 Birinci Kuşak Akım Taşıyıcı (CCI)

1968 yılında Smith ve Sedra tarafından tanıtilan birinci kuşak akım taşıyıcı elemanı matematiksel olarak,

$$\begin{bmatrix} I_Y \\ V_X \\ I_Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & \pm 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_Y \\ I_X \\ V_Z \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

ile tanımlanır ve Şekil 2.7'deki sembol ile gösterilmektedir [7].



Şekil 2.7 Birinci Kuşak Akım Taşıyıcı.

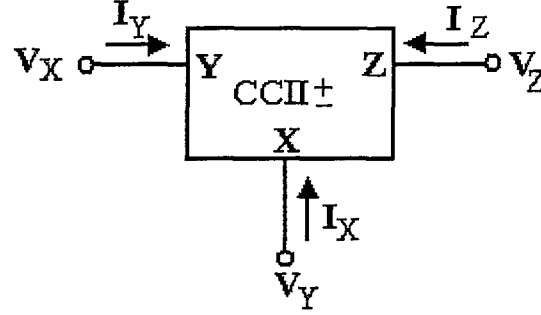
Tanım bağıntısı uyarınca, Y giriş ucuna ilişkin V_Y gerilimi, X ucuna ilişkin V_X gerilimine eşit, benzer şekilde, I_X giriş akımı, I_Y akımına eşittir. Bunlara ek olarak I_X akımı, I_Z çıkış akımına da eşit olmaktadır. Görüldüğü gibi V_X gerilimi, I_X akımından bağımsız olarak V_Y gerilim tarafından, benzer şekilde I_Y akımı da, V_Y geriliminden bağımsız olarak I_X akımı tarafından belirlenir. Birinci kuşak akım taşıyıcı, $I_Z = I_X$ olması halinde pozitif birinci kuşak akım taşıyıcı (CCI+), $I_Z = -I_X$ olması halinde negatif birinci kuşak akım taşıyıcı (CCI-) adını alır.

Birinci kuşak akım taşıyıcı ile yapılan ilk uygulamalardan biri, akım taşıyıcı ile negatif empedans çeviricisinin elde edilmesidir.

Birinci kuşak akım taşıyıcılarda, kuvvetli distorsiyonlar, çıkış empedansı kısıtlamaları ve temel akım hatalarına bağlı doğruluk sınırlamaları bulunmaktadır. Bu durum, çalışmalarını daha doğru tasarımlar elde etmek için, temel akım hatalarını kompanze ederek çıkış direncini geliştirme konularına doğru yönlendirmiştir. Böylece 1970 yılında, birinci kuşak akım taşıyıcıların geliştirilmesi ile ikinci kuşak akım taşıyıcılar(CCII) elde edilmiştir.

2.4 İkinci Kuşak Akım Taşıyıcı (CCII)

Şekil 2.8'deki sembol ile gösterilen ikinci kuşak akım taşıyıcılar, uygun devre yapılarında, analog işaret işleme fonksiyonlarından pek çoğunu gerçekleştiren, çok yönlü dört uçlu elemanlardır [9].



Şekil 2.8 İkinci Kuşak Akım Taşıyıcı.

CCII'nin tanım bağıntısı,

$$\begin{bmatrix} I_Y \\ V_X \\ I_Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & \pm 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_Y \\ I_X \\ V_Z \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

biçiminde verilebilir. Buna göre, V_X gerilimi V_Y gerilimine eşittir. Çıkış akımı I_Z 'de I_X akımına eşit olmaktadır. I_Y giriş akımı sıfır olduğundan, Y terminali sonsuz giriş empedansı gösterir. Bu nedenle, ikinci kuşak akım taşıyıcılar, empedans uyumlaştırıcı devreye gerek kalmadan kaskat yapıda bağlanabilirler. (2.8) eşitliğindeki (-) veya (+) işareti aktif elemanın tipini belirler. Eğer işaret (+) ise eleman pozitif ikinci kuşak akım taşıyıcı (CCII+), (-) ise negatif ikinci kuşak akım taşıyıcı (CCII-) olarak adlandırılır.

Birinci ve ikinci kuşak akım taşıyıcıların devre modelleri veya tanım bağıntıları incelendiğinde, aralarındaki benzerlikler ve farklılıklar kolayca anlaşılmaktadır. CCII'nin CCI'den farklı olan tek yanı Y girişine ilişkin akımın sıfır olmasıdır. Yani bu uç açık devre gibi davranmaktadır. Bu da CCII'yi CCI'den daha farklı, daha esnek ve kullanışlı yapan bir özelliktir.

Bazı özellikleri nedeniyle ikinci kuşak akım taşıyıcıların, diğer aktif elemanların yerine kullanılması bir seçenek olarak ortaya çıkmıştır. Örneğin, geribesleme, işlemsel kuvvetlendiricilerde yüksek gerilim kazancı sağlamak için kullanılan bir yöntemdir. Ancak, bunun çok önemli bir sakıncası vardır. İşlemsel kuvvetlendirici ile gerçekleştirilen bir gerilim kuvvetlendiricinin band genişliği, yüksek gerilim

kazançlarında kazanç-band genişliği çarpımı sabit kalacak şekilde azalır. İkinci kuşak akım taşıyıcılarla elde edilen gerilim kuvvetlendiricilerde ise kazanç band genişliğinden bağımsızdır. Sonuç olarak, bir akım taşıyıcılı devre, işlemsel kuvvetlendirici ile oluşturulan eşdeğer devreye göre daha büyük band genişliği ve daha yüksek gerilim kazancı sağlar.

CCII'nın ilk geniş uygulama alanı, kontrollü kaynaklar, empedans çeviriciler ve jirator gibi aktif devre sentezinde kullanılan elemanların gerçekleştirilmesidir. Ayrıca, ikinci kuşak akım taşıyıcıların basit analog hesaplama fonksiyonlarını yerine getirmek üzere akım kuvvetlendirici, akım entegral alıcı, akım toplayıcı ve ağırlıklı akım toplayıcı gibi uygulamaları da bulunmaktadır.

CCII'nin gerçekleştirilmesinde işlemsel kuvvetlendiriciler ve bipolar transistörlerle devre kurulmasına dayanan tasarım yöntemleri bulunmaktadır. Bu yöntemler, ilkesel olarak tümleştirmeye uygun olsalar bile, özellikle işlemsel kuvvetlendiriciden yararlanılmasına yönelik olanlar, gerçekleştirme açısından ekonomik değildir. Bunun başlıca nedeni, her işlemsel kuvvetlendirici için kırmık üzerinde ayrı bir alana gereksinime duyulmasıdır. Son yıllarda, karmaşık yapıdaki sistemlerin küçük boyutta gerçekleştirilmesini sağlayan CMOS teknolojisinin hızlı gelişimi sonucunda, analog fonksiyonları gerçekleştiren ve akım taşıyıcıları da kapsayan CMOS devrelerin geniş çapta gerçekleştirilmesi mümkün kılınmıştır.

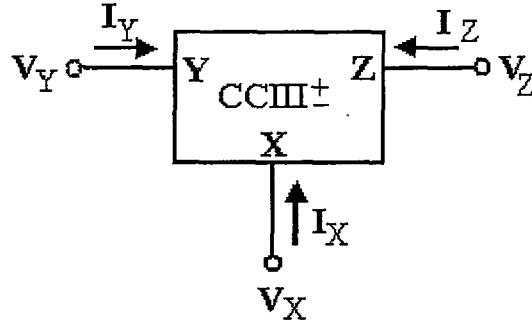
Akım taşıyıcıların tümdevre olarak gerçekleştirilmesi konusundaki çalışmalar halen devam etmektedir.

2.5 Üçüncü Kuşak CMOS Akım Taşıyıcı

1995 yılında Fabre tarafından tanıtılan [14] üçüncü kuşak akım taşıyıcı elemanı matematiksel olarak,

$$\begin{bmatrix} I_Y \\ V_X \\ I_Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & \pm 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_Y \\ I_X \\ V_Z \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

biçiminde tanımlanmakta ve Şekil 2.9'daki sembol ile gösterilmektedir [10].



Şekil 2.9 Üçüncü Kuşak Akım Taşıyıcı.

Tanım bağıntısı uyarınca, Y giriş ucuna ilişkin V_Y gerilimi, X ucuna ilişkin V_X gerilimine, benzer şekilde, I_X giriş akımı, I_Y akımına değer olarak eşit fakat CCI yapısından farklı olarak yönü terstir. Buna ek olarak I_X akımı, I_Z çıkış akımına da eşit olmaktadır. Görüldüğü gibi V_X gerilimi, I_X akımından bağımsız olarak V_Y gerilimi tarafından, benzer şekilde I_Y akımı, V_Y gerilimden bağımsız olarak I_X akımı tarafından belirlenir. Böylece eleman, X ucundan görünürde kısa devre giriş karakteristiği ve Y ucunda da görünürde açık devre karakteristiği gösterir. Üçüncü kuşak akım taşıyıcı, $I_Z=I_X$ olması halinde pozitif üçüncü kuşak akım taşıyıcı (CCIII+), $I_Z=-I_X$ olması halinde de negatif üçüncü kuşak akım taşıyıcı (CCIII-) adını alır.

Yeni ortaya çıkan bu akım taşıyıcının literatüre daha önceden geçmiş olan CCI ve CCII elemanlarından üstünlüğü, X ucundaki çıkış akımı toprağa doğru olmayan yapılarda ortaya çıkmaktadır. Toprağa doğru akan akımlarda bu akımı yansıtıp geçen akımı tespit etmek kolaylıkla mümkün olmakla birlikte çıkış akımı toprağa doğru akmadığı zaman bunu yapmak kolay olmamaktadır. Fakat CCIII yapısında akımlar arasındaki $I_Y=-I_X$ ilişkisi toprağa akmayan akımların tespit edilmesinde kolaylık sağlamaktadır. Ölçülmek istenen akımın yönünü de değiştirmeden bu akımı sezip Z ucundan bunu dışarı yansıtarak buradaki akım hakkında bilgi alınmasını sağlamaktadır.

CCIII yapısının ilk CMOS gerçekleştirilmesi 1995 yılında Piovaccari tarafından yapılmıştır. Bu devre için yapılan analizlerde oldukça iyi performans ortaya koyduğu görülmüştür.

Üçüncü kuşak akım taşıyıcı ile yapılan ilk uygulamalardan biri, admitans ve empedans fonksiyonlarını gerçekleştiren devreler olmuştur. Empedans fonksiyonu birer tane CCIII+ ve CCIII- ile 3 adet empedanstan oluşan devre bloğuyla gerçekleştirilmiştir. Bu devre blokları kullanılarak üçüncü dereceden yüksek-geçiren filtre devresi kurulmuştur.

Başka bir çalışmada da, bir CCIII-, 2 tane çift akım çıkışlı OTA elemanı ve 2 tane bir ucu topraklanmış kapasite kullanılarak, alçak-geçiren, yüksek-geçiren, band-geçiren, band-söndüren ve tüm-geçiren filtre yapılarını gerçekleştiren bir devre sunulmuştur[3].

Literatürde CCIII elemanı kullanılarak akım modlu alçak-geçiren, yüksek-geçiren, band-geçiren, band-söndüren ve tüm-geçiren filtre yapılarını gerçekleştiren bir devre sunulmuştur. Ayrıca dördüncü bölümde üçüncü kuşak akım taşıyıcı ile tasarlanmış filtrelerden bahsedilmiştir.

Akım taşıyıcılar ve birim kazançlı kuvvetlendiriciler özellikle işaret işleme ve aktif network sentezi uygulamalarında analog devre tasarımcıları tarafından tercih edilmektedir. Son olarak bu bloğun üçüncü kuşağı Fabre ve arkadaşları tarafından önerilmiştir [4]. Üçüncü kuşak akım taşıyıcılar kazancı bir olan akım kontrollü akım kaynağı gibi de düşünülebilir. Bu tip akım taşıyıcılar çok fonksiyonlu filtrelerde, endüktans simülasyonu ve tüm geçiren bölümlerin gerçekleşmesinde yarar sağlar. Bu sonuçlar için CCIII yapısında yüksek başarımlı akım aynaları kullanılır; böylece kaskat bağlantı içinde önemli olan yüksek çıkış direnci elde edilir.

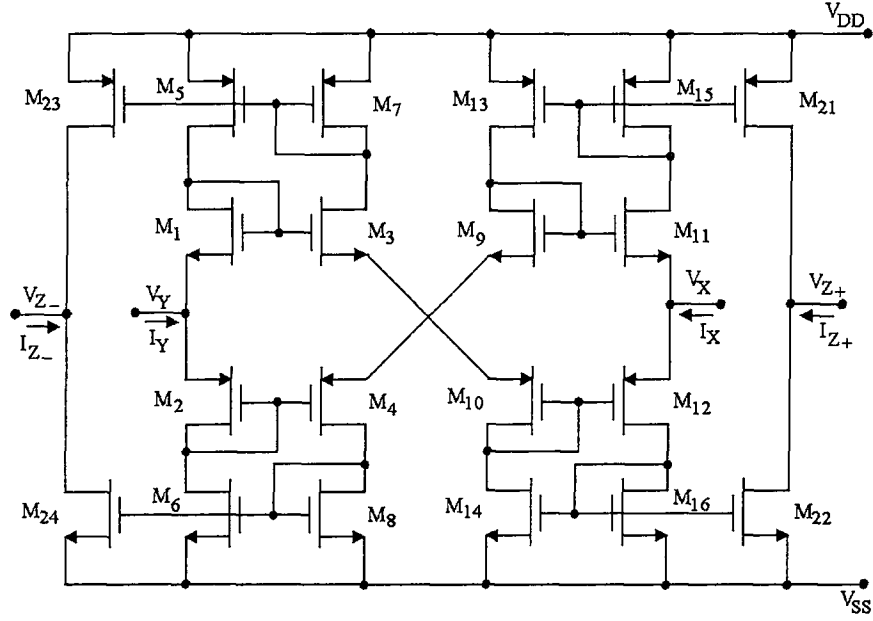
CCIII devrelerinin en önemli özelliği düşük kazanç hatası (yüksek doğruluk), yüksek lineerlik ve geniş frekans cevabı, CCIII elemanının Z uçundaki yüksek çıkış direnci uygulamalarda kaskat bağlantı için dışarıdan ek aktif elemana ihtiyaç duyulmamasını sağlamaktadır. Ne yazık ki geleneksel CCIII devresinde kullanılan basit akım aynaları, DC ve AC performansların düşük çıkmasına sebep olmuştur. Çalışmanın devamında geleneksel üçüncü kuşak akım taşıyıcının DC ve AC performansları incelenmiş ve Üçüncü bölümde de incelenmiş olan iyileştirilmiş üçüncü kuşak akım taşıyıcı devrelerinin DC ve AC performansları ile karşılaştırılmıştır.

2.5.1 Geleneksel Üçüncü Kuşak Akım taşıyıcı DC Akım Performansları ve Frekans Cevabı İncelenmesi

Şekil 2.10'da geleneksel üçüncü kuşak akım taşıyıcı devresi gösterilmektedir [11]. Basit akım aynaları (M_6, M_8), (M_5, M_7), (M_{14}, M_{16}) ve (M_{13}, M_{15}) yapılandırılmıştır. Akım, X ve Y uçlarından Z_+ ve Z_- uçlarındaki $M_{21}-M_{22}$ ve $M_{23}-M_{24}$ çıkış transistörlerine taşınır. Bu devrenin önemli bir avantajı, yapısının basit olmasıdır. Z_+ çıkış ucu direnci teorik olarak

$$R_{OZ+} = r_{ds21} // r_{ds22} \quad (2.10)$$

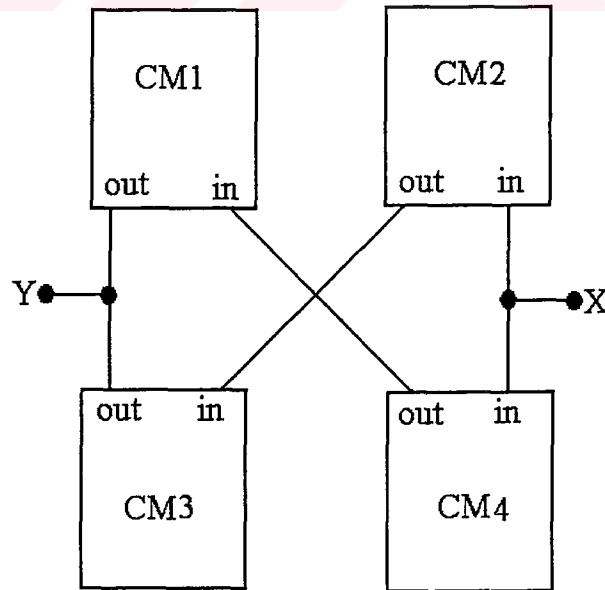
bağıntısı ile hesaplanır.



Şekil 2.10 Geleneksel Üçüncü Kuşak Akım Taşıyıcı.

Buradaki r_{dsi} i'inci transistorun çıkış direncini gösterir. Z. çıkış ucu direnci de aynı şekilde hesaplanabilir. Geleneksel CCIII devresinin önemli bir dezavantajı ise R_{oz} çıkış direncinin fazla yüksek olmaması.

Yapısal olarak üçüncü kuşak akım taşıyıcının çekirdeği şekil 2.11'deki gibi gösterilebilir. Bu Devrelerde kullanılan CCIII proses parametreleri EK A'da verilmiştir.

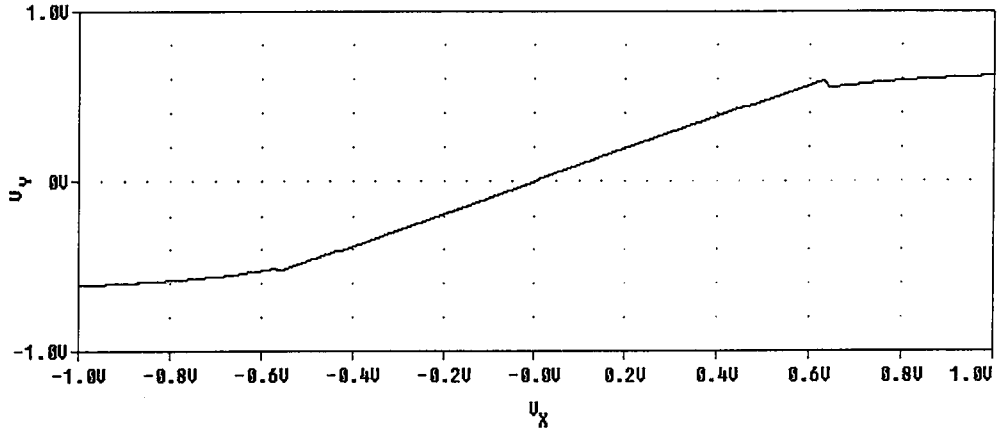


Şekil 2.11 CCIII Devresi X ve Y Uçları Arasındaki Çekirdek Gösterimi.

Uygulamanın devamında gerçekleştirilmiş olan geliştirilmiş üçüncü kuşak akım taşıyıcı devreleri Şekil 2.11'deki akım aynalarının değiştirilmesi ile elde edilmiştir.

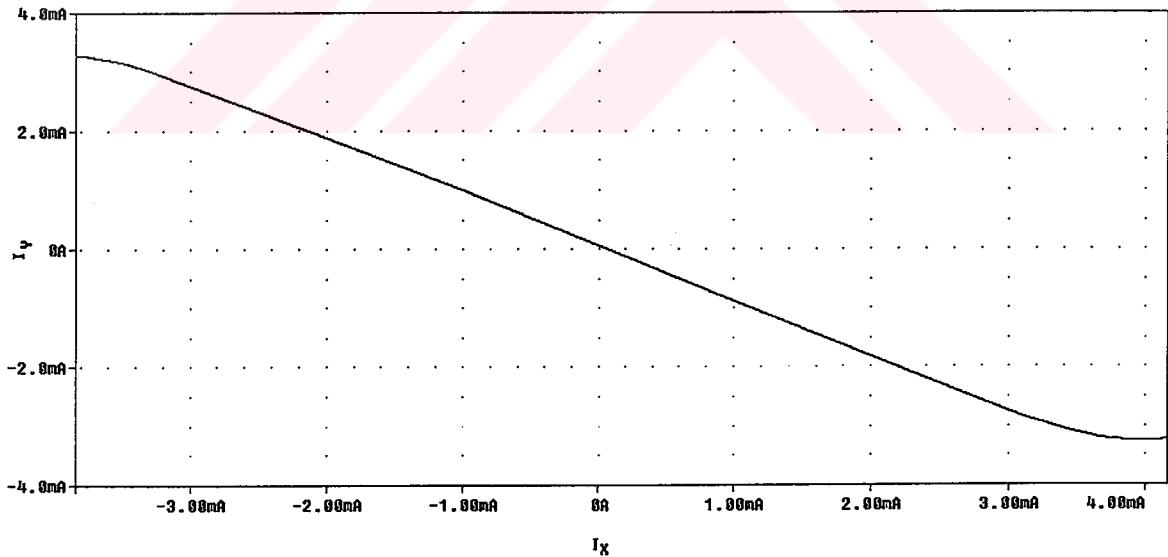
2.5.1.1 DC Karakteristikleri

Şekil 2.12'de V_Y - V_X karakteristiği gösterilmiştir.



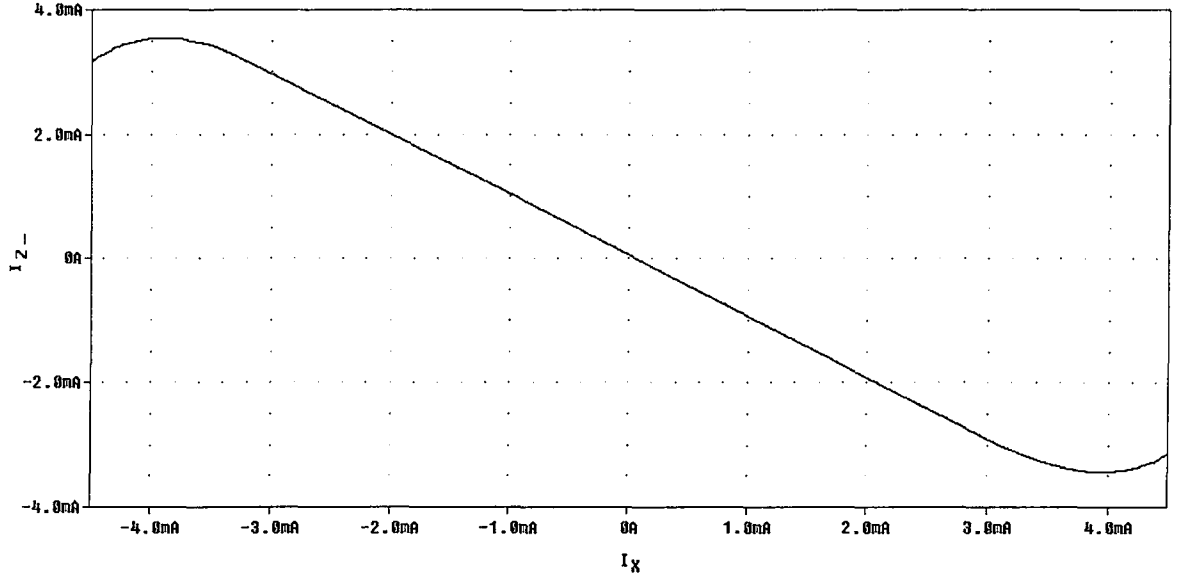
Şekil 2.12 V_X - V_Y DC Karakteristiği.

Şekil 2.12'de gösterilen V_Y - V_X karakteristiğinden devrenin, -0.4 V ile 0.6 V arasında lineer çalıştığı görülmektedir. Şekil 2.13'de I_Y - I_X karakteristiği gösterilmiştir.



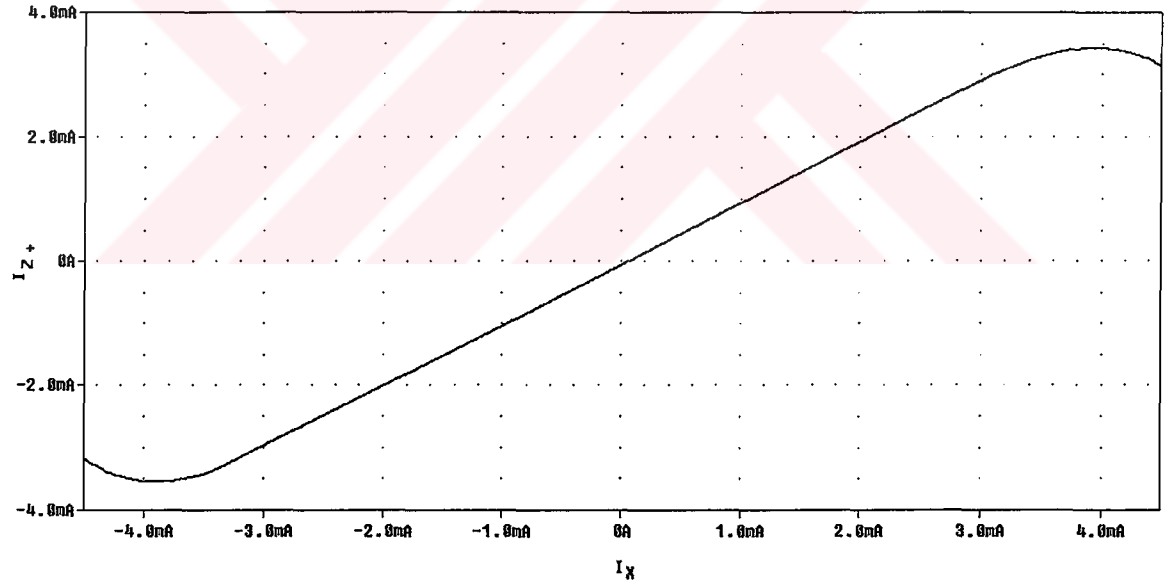
Şekil 2.13 I_X - I_Y DC Karakteristiği.

Şekil 2.13'de gösterilen I_Y - I_X karakteristiğinde devre akım değerleri -1.0 mA ile 1.0mA arasında lineer çalışmaktadır. 2mA'de ise %10 hata ile I_X - I_Y akımını takip etmektedir. Şekil 2.14'de I_X - I_Z karakteristiği gösterilmiştir.



Şekil 2.14 I_X - I_{Z-} DC Karakteristiği.

Şekil 2.14’de gösterilen I_X - I_{Z-} karakteristiği devre akım değerleri -1.0 mA ile 1.0mA arasında lineer çalışmaktadır. 2mA’de ise %10 hata ile I_X - I_{Z-} akımını takip etmektedir. Şekil 2.15’de I_X - I_{Z+} karakteristiği gösterilmiştir.

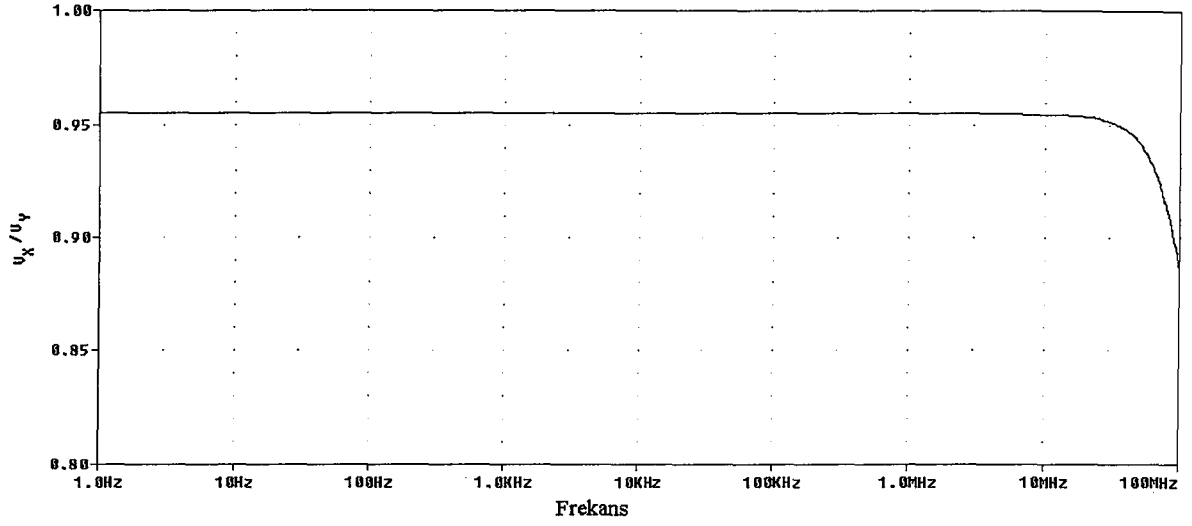


Şekil 2.15 I_X - I_{Z+} DC Karakteristiği.

Şekil 2.15’de gösterilen karakteristikte -1.0 mA ile 1.0mA arasında lineer çalışmaktadır. 2mA’de ise %10 hata ile I_X - I_{Z+} akımını takip etmektedir.

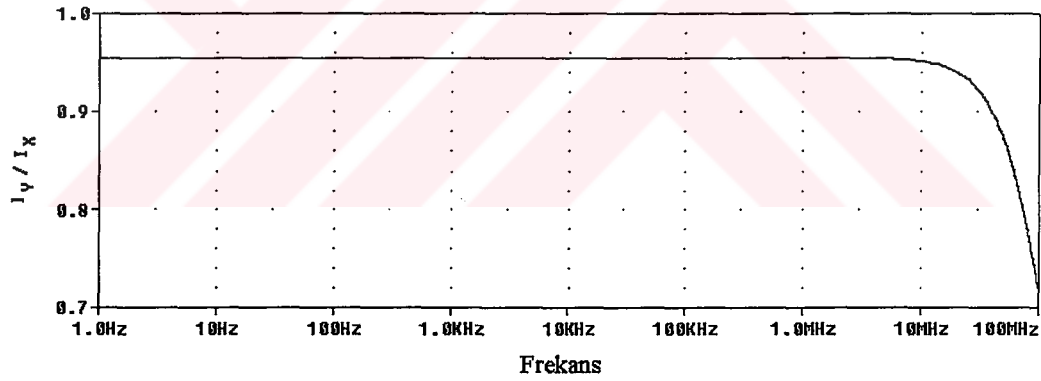
2.5.1.2 AC Karakteristikleri

Şekil 2.16'da V_X/V_Y frekans karakteristiği gösterilmiştir.



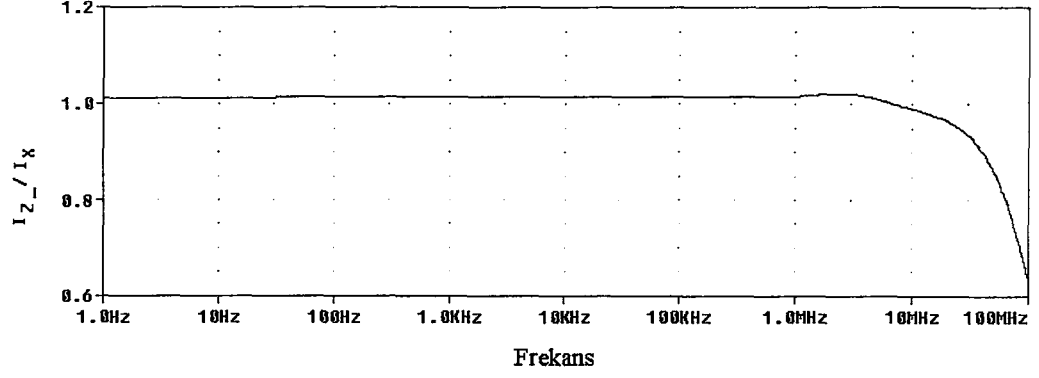
Şekil 2.16 V_X-V_Y Frekans Karakteristiği.

Şekil 2.16'da gösterilen V_X/V_Y frekans karakteristiği V_X/V_Y oranı 0.96 olarak bulunmuştur. Şekil 2.17'de I_Y/I_X frekans karakteristiği gösterilmiştir



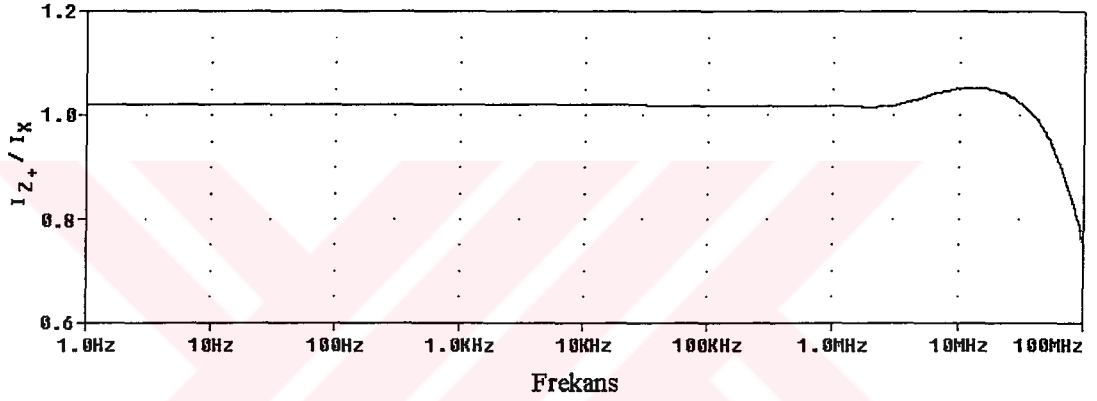
Şekil 2.17 I_X-I_Y Frekans Karakteristiği.

Şekil 2.17'de gösterilen I_Y/I_X frekans karakteristiğinde I_Y/I_X oranı 0.96 olarak bulunmuştur. Şekil 2.18'de I_Z/I_X frekans karakteristiği gösterilmiştir.



Şekil 2.18 I_Z-I_Z- Frekans Karakteristiği.

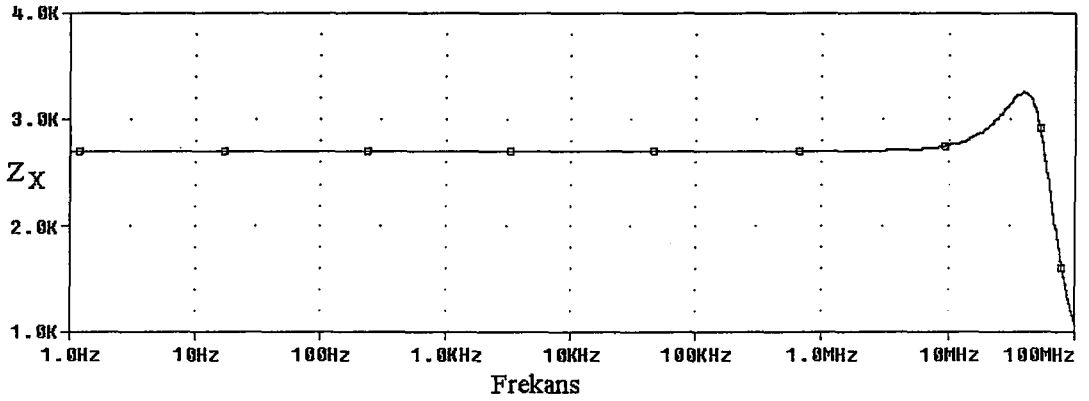
Şekil 2.18’de gösterilen I_Z/I_X frekans karakteristiğinde I_Z/I_X oranı 1.02 olarak bulunmuştur. Şekil 2.19’da I_Z+/I_X frekans karakteristiği gösterilmiştir.



Şekil 2.19 I_X-I_Z+ Frekans Karakteristiği.

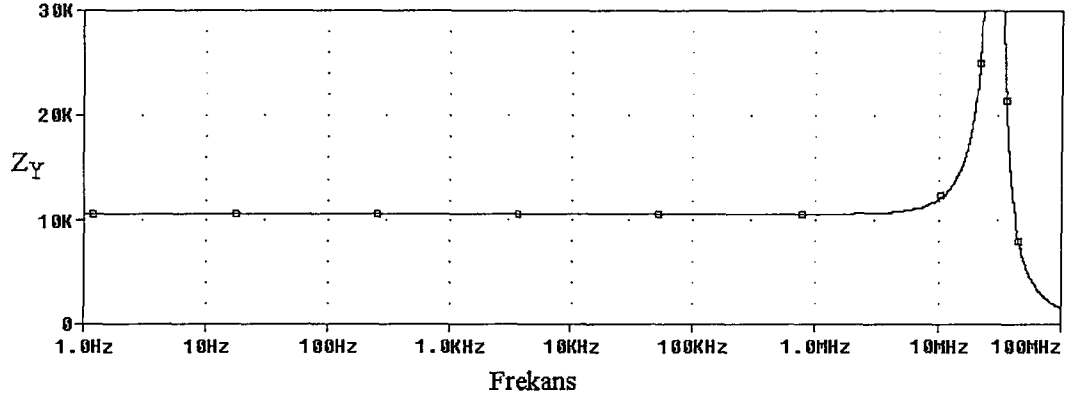
Şekil 2.19’da gösterilen I_Z+/I_X frekans karakteristiğinde I_Z+/I_X oranı 1.02 olarak bulunmuştur.

Geleneksel üçüncü kuşak akım taşıyıcını X,Y,Z. ve Z_+ uçlarından görülen empedans karakteristikleri sırasıyla Şekil 2.20,2.21,2.22 ve 2.23’de gösterilmiştir.



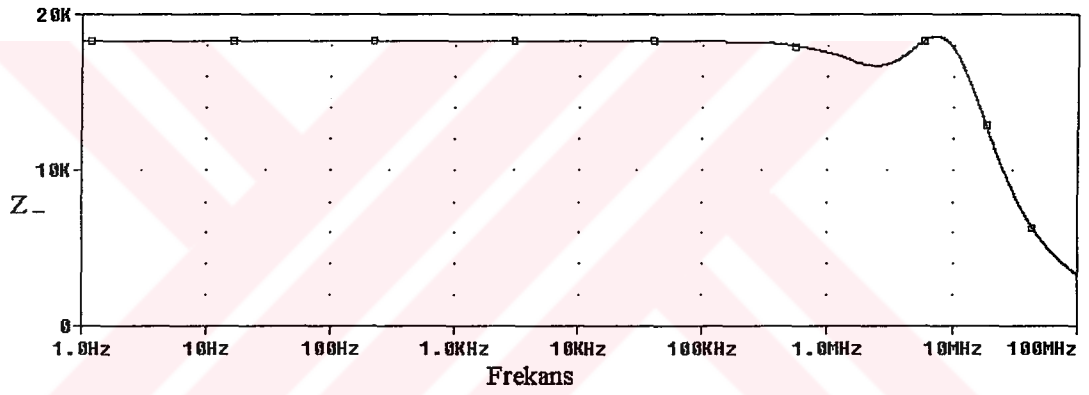
Şekil 2.20 Z_X Empedansı Frekans Karakteristiği.

Şekil 2.20’de Z_X empedansı frekans karakteristiği verilmiştir, düşük frekanslarda $2.7k\Omega$ olan giriş direnci yüksek frekanslarda düşüş göstermektedir.



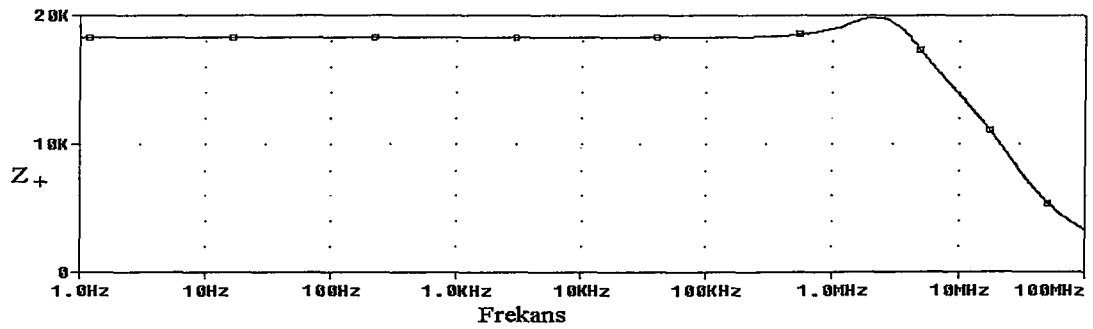
Şekil 2.21 Z_Y Empedansı Frekans Karakteristiği.

Şekil 2.21’de Z_Y empedansı frekans karakteristiği verilmiştir, düşük frekanslarda $11k\Omega$ olan giriş direnci yüksek frekanslarda düşüş göstermektedir.



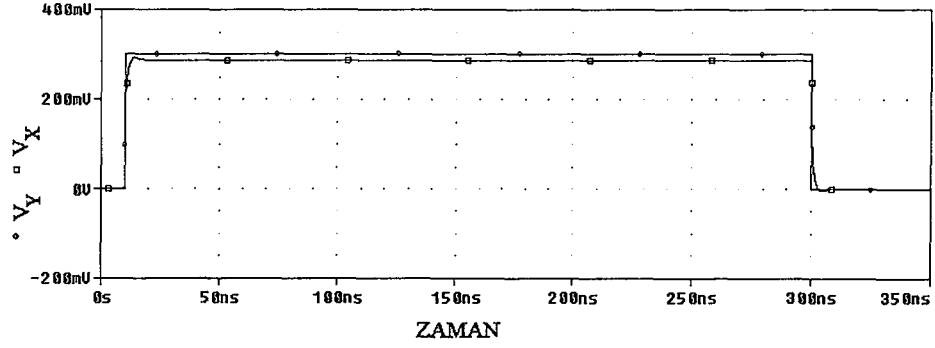
Şekil 2.22 Z_- Empedansı Frekans Karakteristiği.

Şekil 2.22’de Z_- empedansı frekans karakteristiği verilmiştir, düşük frekanslarda $18k\Omega$ olan çıkış direnci yüksek frekanslarda düşüş göstermektedir.



Şekil 2.23 Z_+ Empedansı Frekans Karakteristiği.

Şekil 2.23’de Z_+ empedansı frekans karakteristiği verilmiştir, düşük frekanslarda $19k\Omega$ olan çıkış direnci yüksek frekanslarda düşüş göstermektedir. Şekil 2.24’de yükselme hızı grafiği gösterilmiştir.



Şekil 2.24 Yükselme Hızı Karakteristiği.

Şekil 2.24’de tepe değeri 0.3v 16.6MHz step fonksiyon girişi için çıkışın girişi %0.1 hata ile yakalaması için geçen süre yükselen kenarda 15ns ve düşen kenarda 14ns olarak bulunmuştur. Tablo 2.1’de geleneksel üçüncü kuşak akım taşıyıcıda kullanılan transistor boyutları verilmiştir.

Tablo 2.1 Transistor Boyutları.

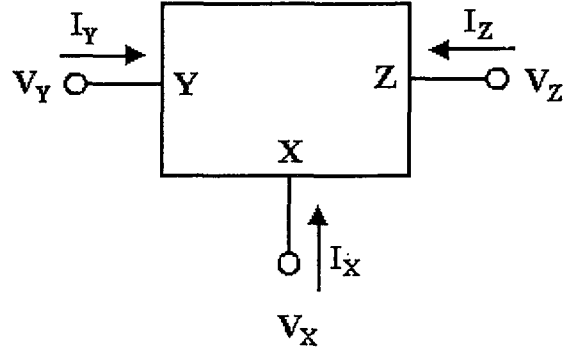
Transistorlar	Genişlik (µm)	Uzunluk (µm)
M ₁ , M ₂ , M ₃ , M ₄ , M ₇ , M ₈ , M ₁₃ , M ₁₄ , M ₁₅ , M ₁₆ , M ₁₉ , M ₂₀ , M ₂₆ , M ₂₇ , M ₃₀ , M ₃₂	240	2.4
M ₅ , M ₆ , M ₉ , M ₁₀ , M ₁₁ , M ₁₂ , M ₁₇ , M ₁₈ , M ₂₁ , M ₂₂ , M ₂₃ , M ₂₄ , M ₂₅ , M ₂₈ , M ₂₉ , M ₃₁	720	2.4

2.6 İkinci Kuşak Akım Taşıyıcı Kullanılarak Gerçekleştirilmiş Geliştirilmiş Üçüncü Kuşak Akım Taşıyıcı Devreleri

Geleneksel üçüncü kuşak akım taşıyıcıyı şekil 2.25’deki gibi gösterebiliriz. Tanım bağıntısı,

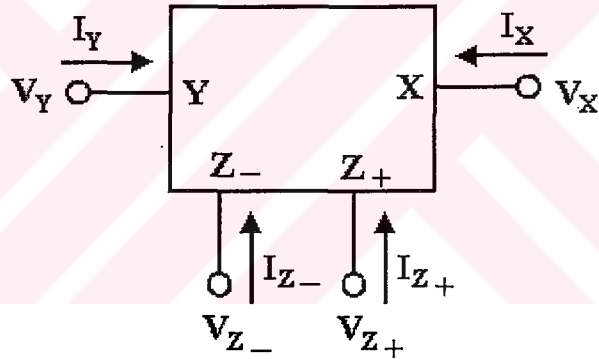
$$\begin{bmatrix} I_Y \\ V_X \\ I_Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & \pm k & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_Y \\ I_X \\ V_Z \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

matrisi ile ifade edilebilir.



Şekil 2.25 Geleneksel Üçüncü Kuşak Akım Taşıyıcı.

Bu denklemdeki $k=1$ ve pozitif için, evirmeyen üçüncü kuşak akım taşıyıcı (CCIII+) ve negatif olması durumunda ise eviren üçüncü kuşak akım taşıyıcı (CCIII-) şeklinde adlandırılır. Bu denkleme göre X ve Y uçları arasındaki gerilim kazancı (+1) olmaktadır. X ve Z uçları arasındaki akım kazancı ($\pm k$), X ve Y uçları arasındaki akım kazancı ise -1'dir. Geliştirilmiş üçüncü kuşak akım taşıyıcı devresi Şekil2.26.'da gösterilmiştir [12].

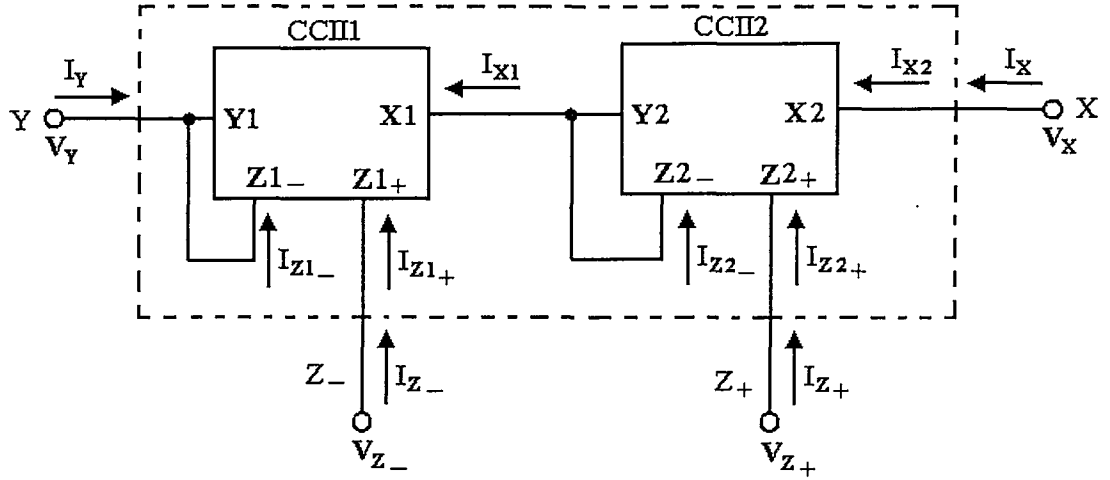


Şekil 2.26 Geliştirilmiş Üçüncü Kuşak Akım Taşıyıcı.

Şekil 2.27'de ikinci kuşak akım taşıyıcı devreleri kullanılarak gerçekleştirilmiş üçüncü kuşak akım taşıyıcı devresi gösterilmektedir. Gerçekleştirilen bu devre ile yeni tasarım imkanları sunulmaktadır. CCII yapıları ile gerçeklenen üçüncü kuşak akım taşıyıcı devresi Şekil2.27' da gösterilmiştir. Gerçekleştirilmiş olan üçüncü kuşak akım taşıyıcısı,

$$\begin{bmatrix} I_Y \\ V_X \\ I_{Z-} \\ I_{Z+} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_Y \\ I_X \\ V_{Z-} \\ V_{Z+} \end{bmatrix} \quad (2.12)$$

ifadesi ile tanımlanır.



Şekil 2.27 CCII Yapıları ile Gerçeklenen Üçüncü Kuşak Akım Taşıyıcı.

Üçüncü kuşak akım taşıyıcı çift çıkışlı pozitif ve negatif tip ikinci kuşak akım taşıyıcı kullanılarak da gerçekleştirilebilir. Şekil 2.27’de çift çıkışlı iki pozitif ikinci kuşak akım taşıyıcı (CCII+) kullanılarak gerçekleştirilen üçüncü kuşak akım taşıyıcı gösterilmiştir. Bu yeni üçüncü kuşak akım taşıyıcı devresi, geleneksel üçüncü kuşak akım taşıyıcı ile gerçekleştirilemeyecek devrelerin yapılmasına olanak sağlarken filtre tasarımında yeni imkanlar sunmuştur.

3. İYİLEŞTİRİLMİŞ ÜÇÜNCÜ KUŞAK CMOS AKIM TAŞIYICILARI

Akım modlu devreler son zamanların güncel uygulamaları ile gündemdedir. Gerilim modlu devrelere alternatif olarak akım taşıyıcı yapıların belirli özelliklerinin üstünlüğü nedeniyle uygulamalarda akım modlu devreler tercih sebebi olmuştur. Bu özellikler, akım taşıyıcı yapılarının bant genişliklerinin ve lineerliklerinin gerilim modlu işlemsel kuvvetlendiricilerden daha iyi olmasından dolayıdır. Üçüncü kuşak taşıyıcılar (CCIII) kazancı bir olan akım kontrollü akım kaynağı olarak tanımlanabilir. Akım taşıyıcılar ve birim kazançlı kuvvetlendiriciler özellikle işaret işleme ve aktif network sentezi uygulamalarında analog devre tasarımcıları tarafından tercih edilmektedir. Bu tip akım taşıyıcılar çok fonksiyonlu filtrelerde, endüktans simülasyonu ve tüm geçiren bölümlerin gerçekleştirilmesinde yarar sağlar. Bu sonuçlar için CCIII yapısında yüksek başarımlı akım aynaları kullanılır. Böylece kaskod bağlantı içinde önemli olan yüksek çıkış direnci elde edilir. CCIII devrelerinin en önemli özelliği düşük kazanç hatası (yüksek doğruluk), yüksek lineerlik ve geniş frekans cevabıdır. CCIII elemanının Z uçundaki yüksek çıkış direnci, uygulamalarda kaskod bağlantı için dışarıdan ek aktif elemana ihtiyaç duyulmamasını sağlamaktadır. Ne yazık ki geleneksel CCIII devresinde kullanılan basit akım aynaları DC ve AC performansların düşük çıkmasına sebep olmaktadır. Çalışmanın devamında ikinci bölümde incelenmiş olan geleneksel üçüncü kuşak akım taşıyıcının DC ve AC performansları bu bölümde incelenmiş olan iyileştirilmiş üçüncü kuşak akım taşıyıcı devrelerinin DC ve AC performansları ile karşılaştırılmıştır.

İyileştirilmiş üçüncü kuşak CMOS akım taşıyıcı devrelerinin DC akım performansları ve frekans cevabı, akım ve gerilim kazançları açısından bölüm 3.'ün devamında incelenmiştir. Bu devrelerde kullanılan CCIII proses parametreleri EK A'da ve simülasyon kodları EK B'de verilmiştir.

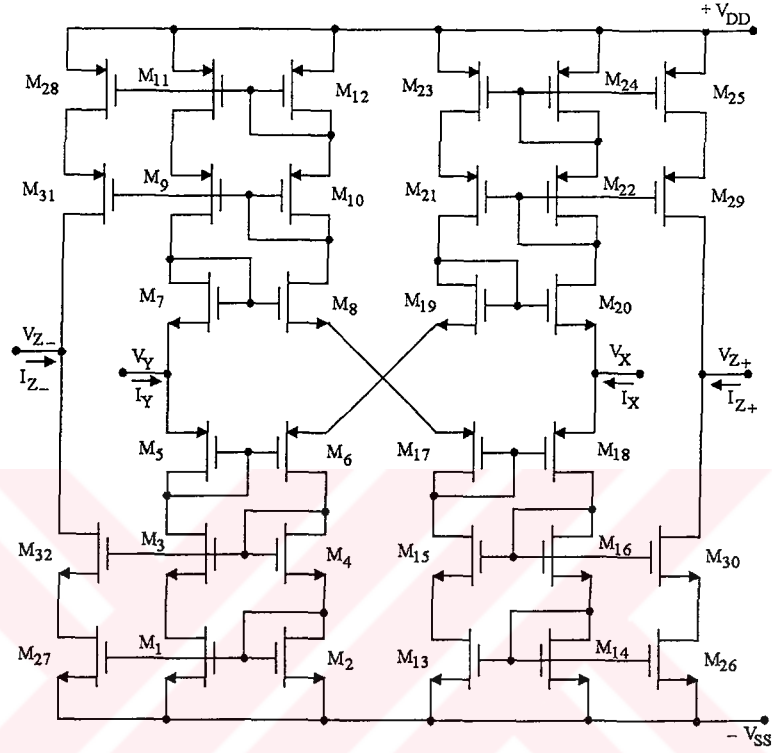
3.1 Kaskod Üçüncü Kuşak Akım Taşıyıcı

Şekil 3.1'de kaskod üçüncü kuşak akım taşıyıcı devresi gösterilmektedir. Şekil 3.1'de görüldüğü gibi X-Y, X-Z+ ve Y-Z- uçlarında kaskod akım aynaları kullanılarak akım lineerliği artırılmıştır. Z₊ ucu çıkış direnci,

$$R_{oz+} \cong (r_{ds26} r_{rd30} g_{m30}) // (r_{ds29} r_{rd25} g_{m29}) \quad (3.1)$$

ile hesaplanabilir.

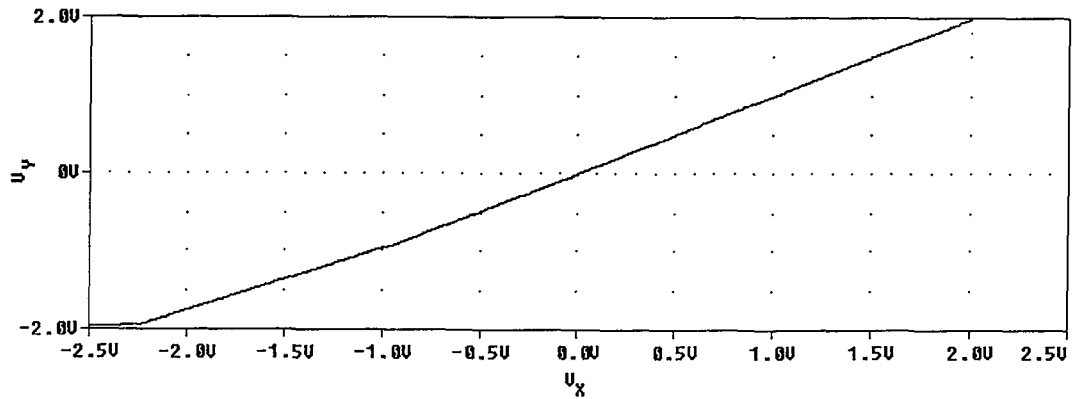
(2.10) ve (3.1) ifadelerinde verilmiş olan çıkış dirençleri karşılaştırıldığında kaskod CCIII yapısının daha iyi bir sonuç verdiği görülmektedir. Her ne kadar kaskod CCIII devresinin çıkış direnci geleneksel devreye göre artmış olsa da uygulama için yeterli değildir.



Şekil 3.1 Kaskod Üçüncü Kuşak Akım Taşıyıcı.

3.1.1 DC Karakteristikleri

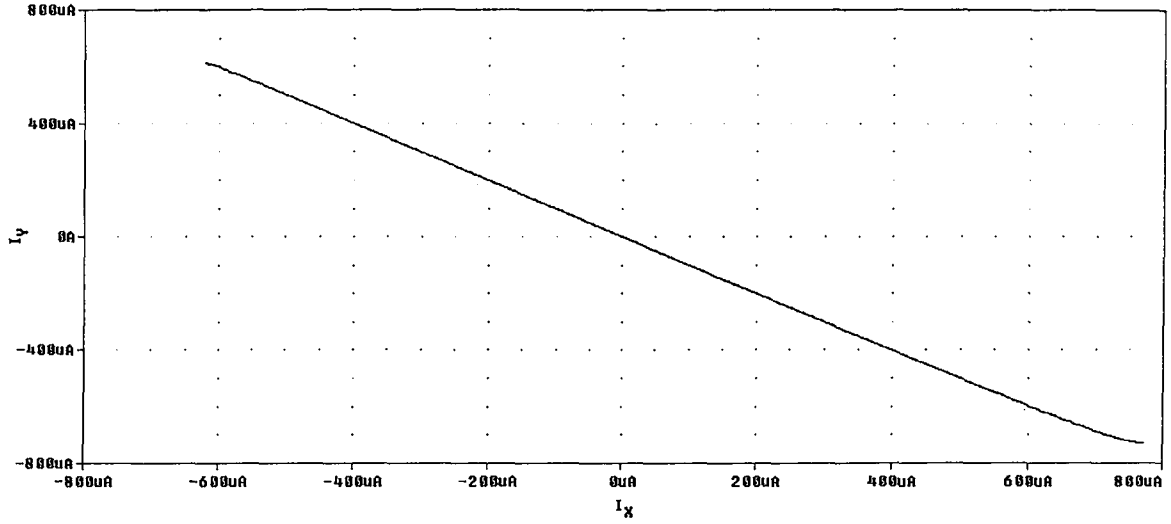
Şekil 3.2’de V_X-V_Y karakteristiği gösterilmiştir.



Şekil 3.2 V_X-V_Y DC Karakteristiği.

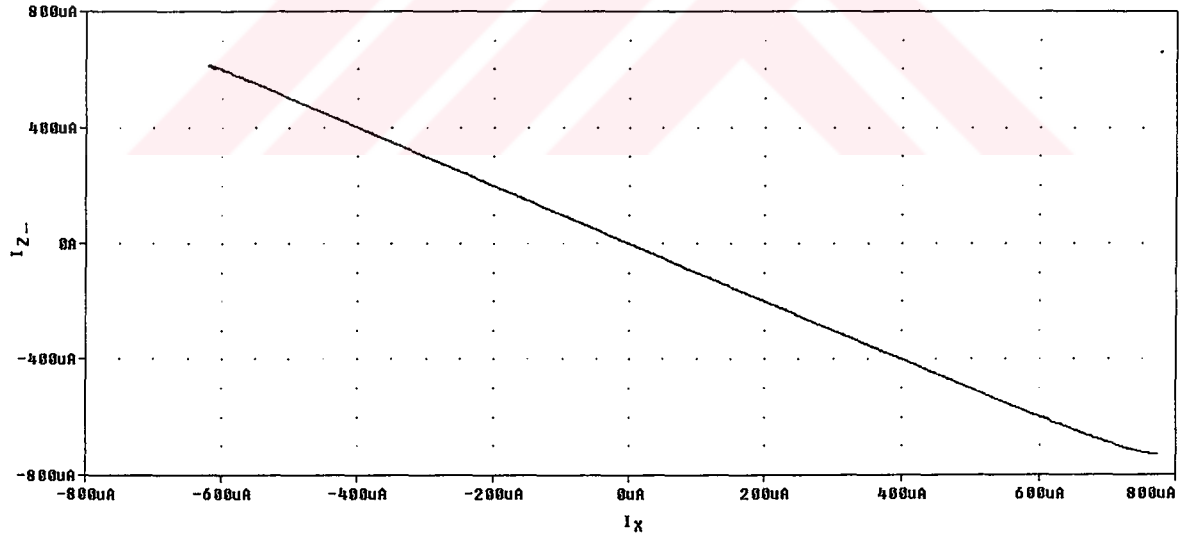
Burada elde edilen V_X-V_Y eğrisinde geleneksel üçüncü kuşak akım taşıyıcıya göre lineerlik bölgesinde belirgin bir artış sağlanmıştır. Simülasyon ölçümleri yapılırken Z

uçları topraklandı, X ve Y uçlarındaki gerilim oranları gözlemlendi. Şekil 3.3’de I_X - I_Y karakteristiği gösterilmiştir.



Şekil 3.3 I_X - I_Y DC Karakteristiği.

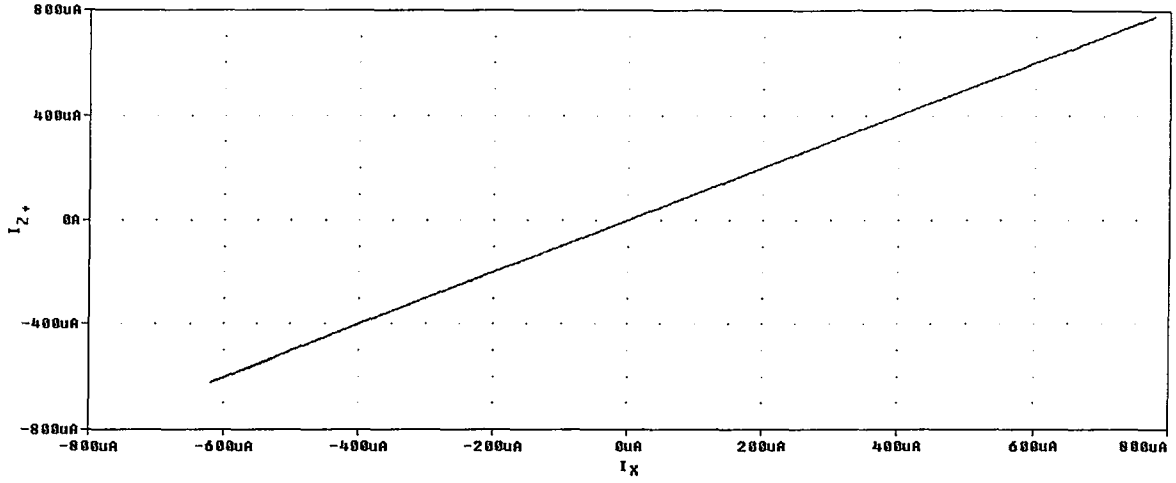
Şekil 3.3’de gösterilen I_X - I_Y karakteristiğinde I_X - I_Y akımını -600 μA ile 700 μA arasında lineer olarak takip etmektedir. Simülasyon ölçümü yapılırken Z uçları topraklandı, X giriş ucuna akım kaynağı bağlandı ve ölçüm gerçekleştirildi. Şekil 3.4’de I_X - I_Z karakteristiği gösterilmiştir.



Şekil 3.4 I_X - I_Z DC Karakteristiği.

Şekil 3.4’de gösterilen I_X - I_Z karakteristiğinde I_X - I_Z akımını -600 μA ile 800 μA arasında lineer olarak takip etmektedir. Simülasyon ölçümü yapılırken Z_+ ve Y uçları topraklandı, X giriş ucuna akım kaynağı bağlandı ve ölçüm gerçekleştirildi.

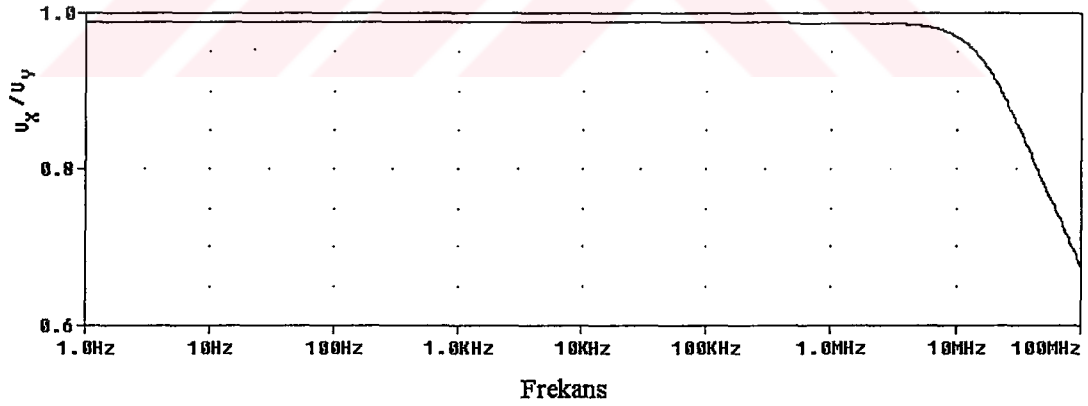
Şekil 3.5’de I_X - I_{Z+} karakteristiği gösterilmiştir. I_X - I_{Z+} akımını $-600\mu A$ ile $800\mu A$ arasında lineer olarak takip etmektedir. Simülasyon ölçümü yapılırken Z. ve Y uçları topraklandı, X giriş ucuna akım kaynağı bağlandı ve ölçüm gerçekleştirildi.



Şekil 3.5 I_X - I_{Z+} DC Karakteristiği.

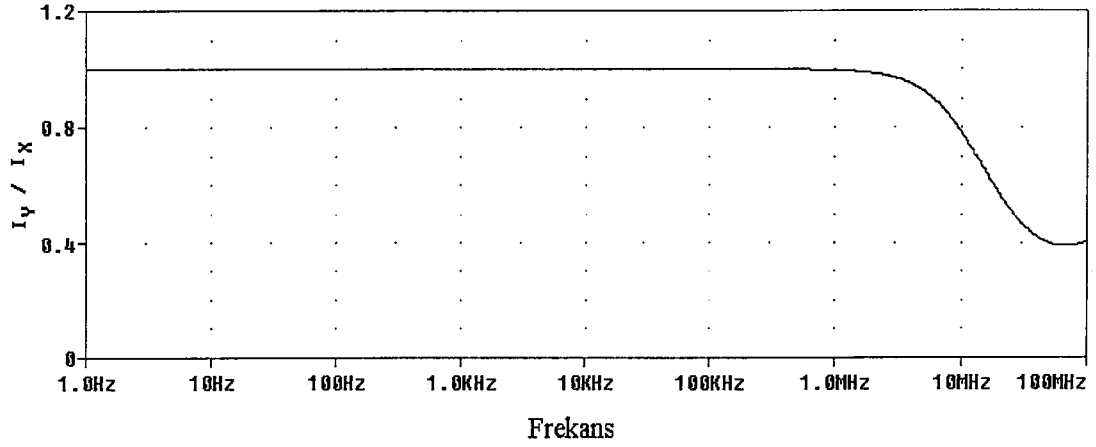
3.1.2 AC Karakteristikleri

Şekil 3.6’da V_Y/V_X frekans karakteristiği gösterilmiştir. V_X/V_Y frekans karakteristiğinde 1’e çok yakın bir değer elde edilmiştir. V_X/V_Y oranının f_{3db} frekansı 89 MHz olarak ölçülmüştür. Simülasyon ölçümü yapılırken Z uçları topraklandı, Y giriş ucuna sinüs gerilim kaynağı bağlandı ve ölçüm gerçekleştirildi.



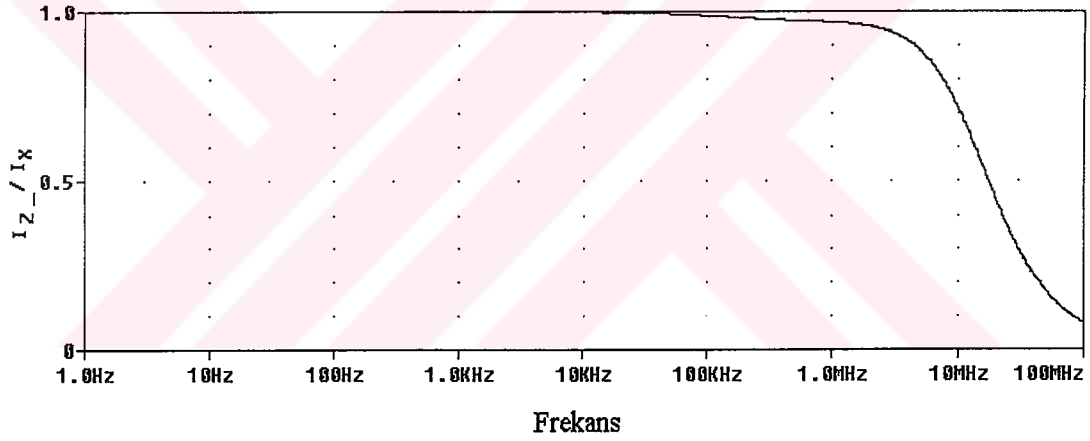
Şekil 3.6 V_X - V_Y Frekans Karakteristiği.

Şekil 3.7’de I_Y/I_X frekans karakteristiği gösterilmiştir. I_Y/I_X frekans karakteristiğinde 1’e çok yakın bir değer elde edilmiştir. I_Y/I_X oranının f_{3db} frekansı 6 MHz olarak ölçülmüştür. Simülasyon ölçümü yapılırken Z ve Y uçları topraklandı, X giriş ucuna akım kaynağı bağlandı ve ölçüm gerçekleştirildi.



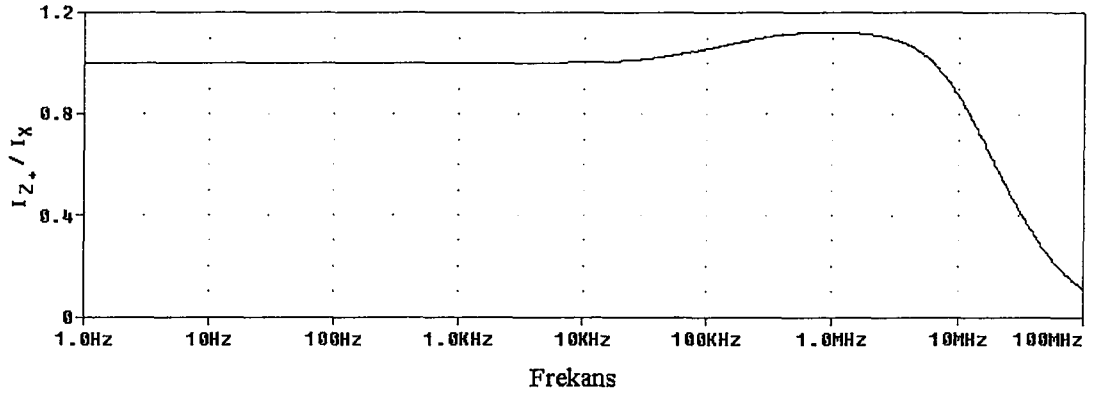
Şekil 3.7 I_X - I_Y Frekans Karakteristiği.

Şekil 3.8’de I_Z/I_X frekans karakteristiği gösterilmiştir. I_Z/I_X frekans karakteristiğinde 1’e çok yakın bir değer elde edilmiştir. I_Z/I_X oranının f_{3db} frekansı 14MHz olarak ölçülmüştür. Simülasyon ölçümü yapılırken Z ve Y uçları topraklandı, X giriş ucuna akım kaynağı bağlandı ve ölçüm gerçekleştirildi.



Şekil 3.8 I_X - I_Z Frekans Karakteristiği.

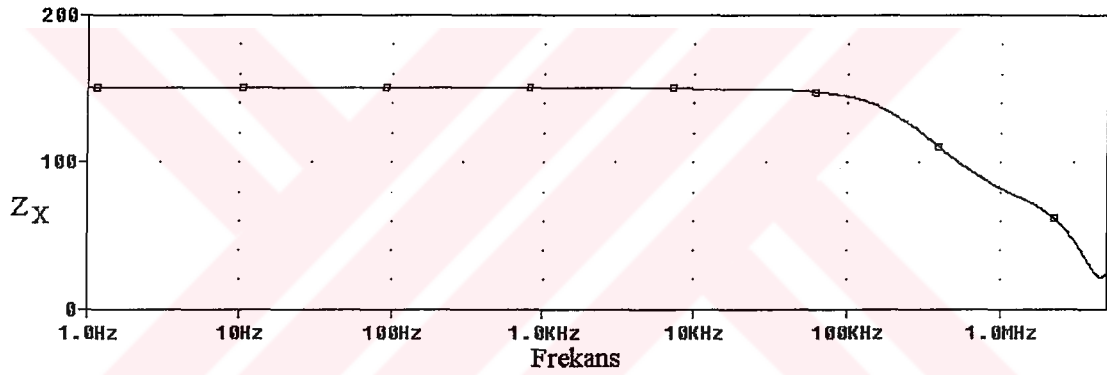
Şekil 3.9’da I_{Z+}/I_X frekans karakteristiği gösterilmiştir. I_{Z+}/I_X frekans karakteristiğinde 1’e çok yakın bir değer elde edilmiştir. I_{Z+}/I_X oranının f_{3db} frekansı 24MHz olarak ölçülmüştür. Simülasyon ölçümü yapılırken Z_+ ve Y uçları topraklandı, X giriş ucuna akım kaynağı bağlandı ve ölçüm gerçekleştirildi.



Şekil 3.9 I_X - I_{Z+} Frekans Karakteristiği.

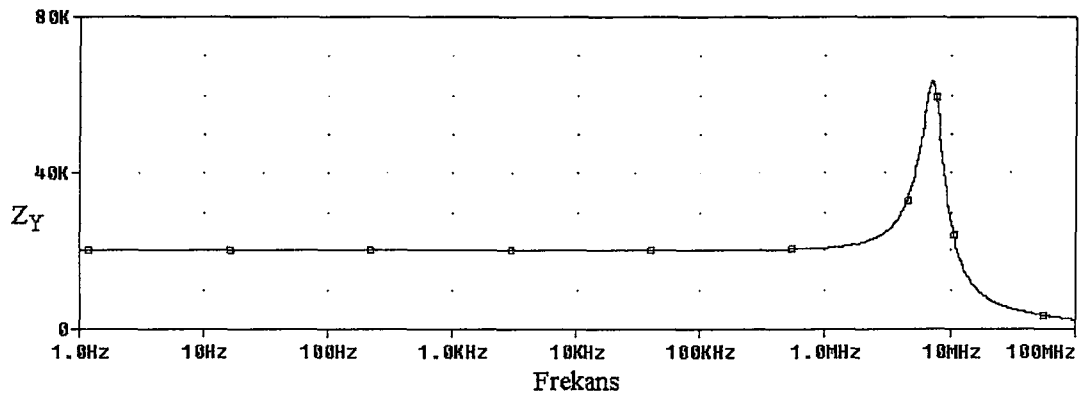
Şekil 3.7,3.8 ve 3.9'daki frekans eğrilerinde elde edilen sonuçlar geleneksel üçüncü kuşak akım taşıyıcıya göre daha iyi sonuç vermektedir.

Kaskod üçüncü kuşak akım taşıyıcını X,Y,Z. ve Z_+ uçlarından görülen empedans karakteristikleri Şekil 3.10,3.11,3.12 ve 3.13'de verilmiştir.



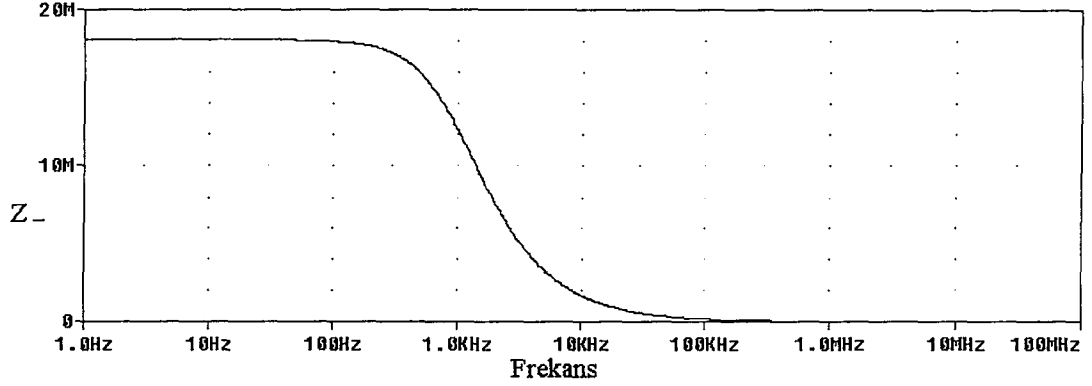
Şekil 3.10 Z_X Empedansı Frekans Karakteristiği.

Şekil 3.10'da Z_X empedansı frekans karakteristiği verilmiştir.Düşük frekanslarda 150Ω olan giriş empedansı yüksek frekanslarda düşüş göstermektedir. Simülasyon ölçümü yapılırken Z uçları topraklandı, Y ucuna 3kΩ'luk direnç bağlandı X giriş ucuna 1Volt sinüs gerilimi uygulandı ve ölçüm gerçekleştirildi.



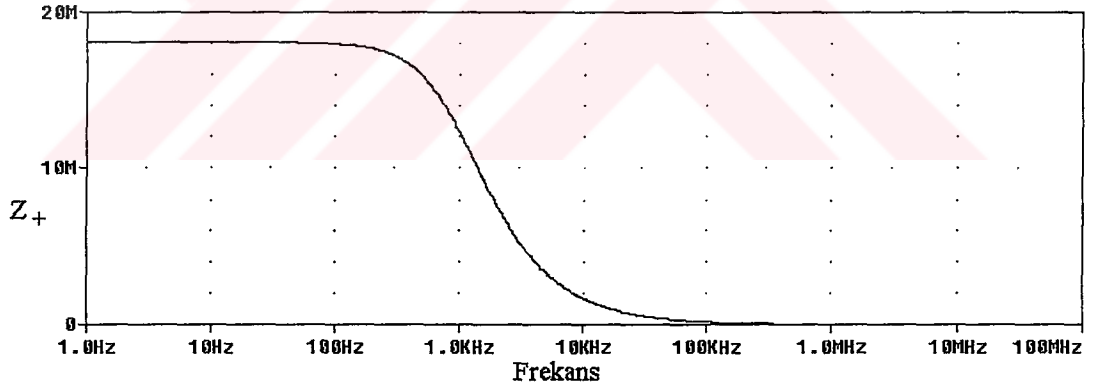
Şekil 3.11 Z_Y Empedansı Frekans Karakteristiği.

Şekil 3.11'de Z_Y giriş empedansı frekans karakteristiği verilmiştir. Düşük frekanslarda $20k\Omega$ olan empedans frekans karakteristiği $10MHz$ 'de bir tepe yapıp düşmektedir. Simülasyon ölçümü yapılırken Z uçları topraklandı, X ucuna $10k\Omega$ 'luk direnç bağlandı Y giriş ucuna 1V sinüs gerilimi uygulandı ve ölçüm gerçekleştirildi.



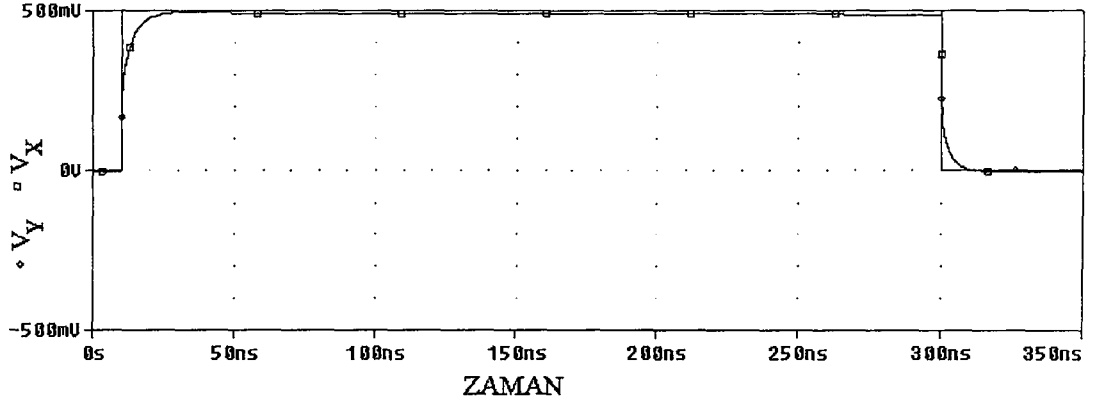
Şekil 3.12 Z- Empedansı Frekans Karakteristiği.

Şekil 3.12'de Z_- empedansı frekans karakteristiği verilmiştir. Düşük frekanslarda $18M\Omega$ civarında olan Z_- empedansı $50kHz$ gibi fazla yüksek olmayan bir değerde düşmektedir. Simülasyon ölçümü yapılırken Z_+ ve Y uçları topraklandı, X ucuna $20k\Omega$ 'luk direnç bağlandı Z_- giriş ucuna 1V sinüs gerilimi uygulandı ve ölçüm gerçekleştirildi.



Şekil 3.13 Z_+ Empedansı Frekans Karakteristiği.

Şekil 3.13'de Z_+ empedansı frekans karakteristiği verilmiştir. Düşük frekanslarda $17M\Omega$ civarında olan Z_+ empedansı $50kHz$ gibi fazla yüksek olmayan bir değerde düşmektedir. Simülasyon ölçümü yapılırken Z_- ve Y uçları topraklandı, X ucuna $20k\Omega$ 'luk direnç bağlandı Z_+ giriş ucuna 1V sinüs gerilimi uygulandı ve ölçüm gerçekleştirildi. Şekil 3.14'de yükselme hızı grafiği verilmiştir.



Şekil 3.14 Yükselme Hızı Karakteristiği.

Şekil 3.14’de tepe değeri 0.5v 16.6MHz step fonksiyon girişi için çıkışın girişi %0.1 hata ile yakalaması için geçen süre yükselen kenarda 17ns ve düşen kenarda 16ns olarak bulunmuştur. Simülasyon ölçümü yapılırken Z uçları topraklandı, X ucu açık bırakıldı. Y giriş ucuna tepe değeri 0.3V olan darbe işareti uygulandı ve ölçüm gerçekleştirildi.

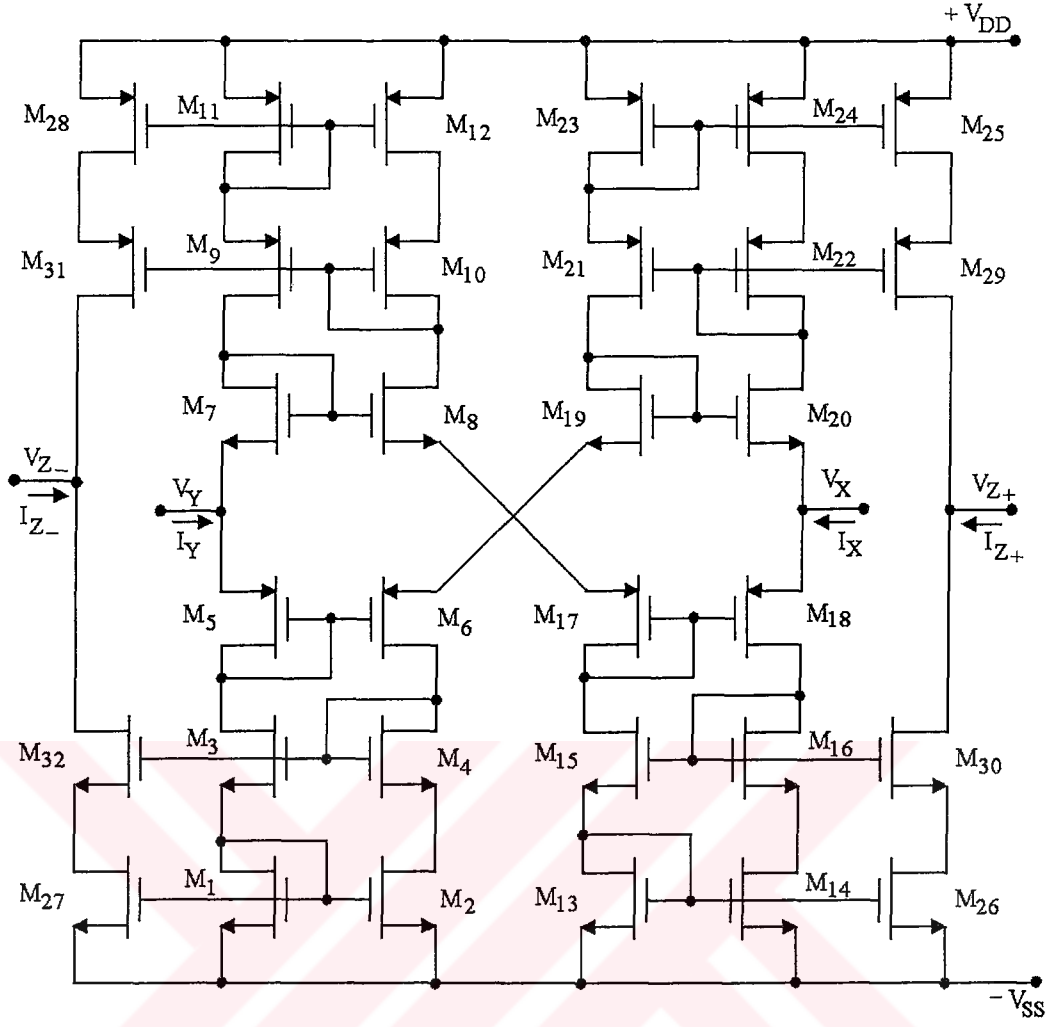
3.2 İyileştirilmiş Wilson Üçüncü Kuşak Akım Taşıyıcı

Şekil 3.15’de İyileştirilmiş Wilson üçüncü kuşak akım taşıyıcı devresi gösterilmektedir. Şekil 3.15’de görüldüğü gibi X-Y, X-Z+ ve Y-Z- uçlarında iyileştirilmiş Wilson akım aynaları kullanılarak akım lineerliği arttırılmıştır. Z+ ucu çıkış direnci,

$$R_{oz+} \cong \left[r_{ds30} (1 + r_{ds14} g_{m30}) \right] // \left[r_{ds29} (1 + r_{ds24} g_{m29}) \right] \quad (3.2)$$

ile hesaplanabilir.

(2.10) ve (3.2)’de verilmiş olan çıkış dirençleri karşılaştırıldığında iyileştirilmiş Wilson CCIII yapısının daha iyi bir sonuç verdiği görülmektedir. Her ne kadar iyileştirilmiş Wilson CCIII devresinin çıkış direnci geleneksel devreye göre artmış olsa da uygulama için yeterli değildir.

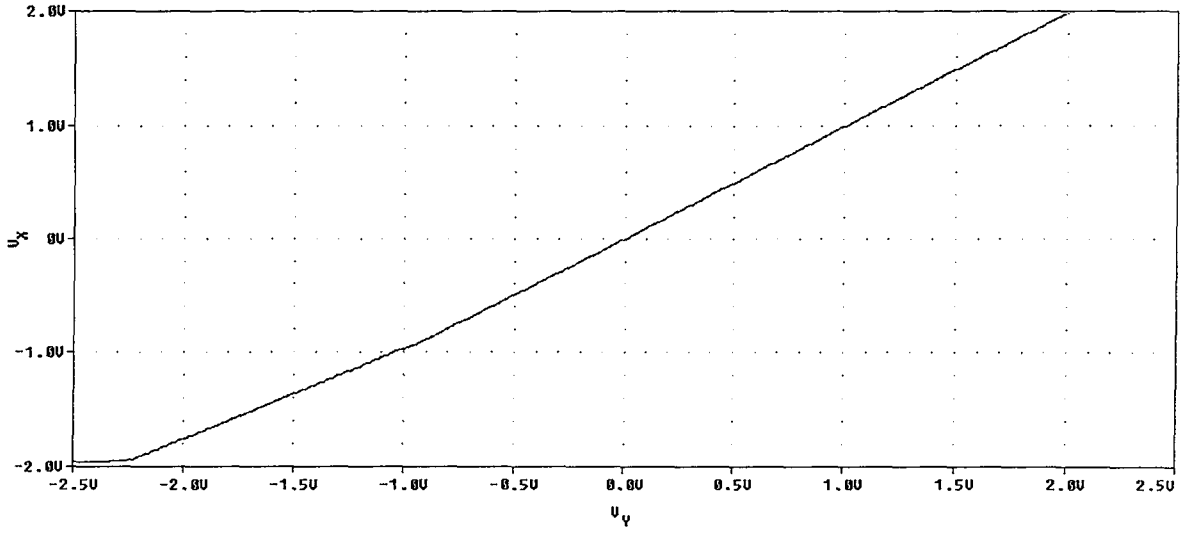


Şekil 3.15 İyileştirilmiş Wilson Üçüncü Kuşak Akım Taşıyıcı.

Bölüm 3.2.1’de gerçekleştirilen DC ve AC karakteristiklerin simülasyon değerlerinin elde edilmesi için kullanılan ölçüm yöntemleri kaskod üçüncü kuşak akım taşıyıcıda her ölçüm sonunda anlatıldığı şekilde uygulanmıştır.

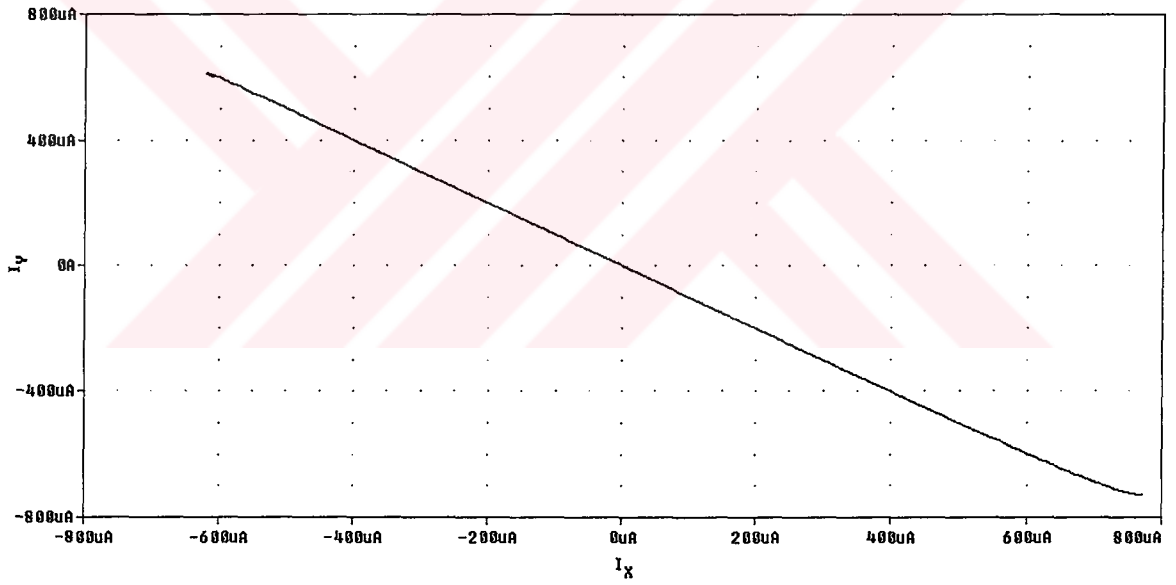
3.2.1 DC Karakteristikleri

Şekil 3.16’da V_X-V_Y karakteristiği gösterilmiştir. Burada elde edilen V_X-V_Y eğrisinde geleneksel üçüncü kuşak akım taşıyıcıya göre lineerlik bölgesinde belirgin bir artış sağlanmıştır.



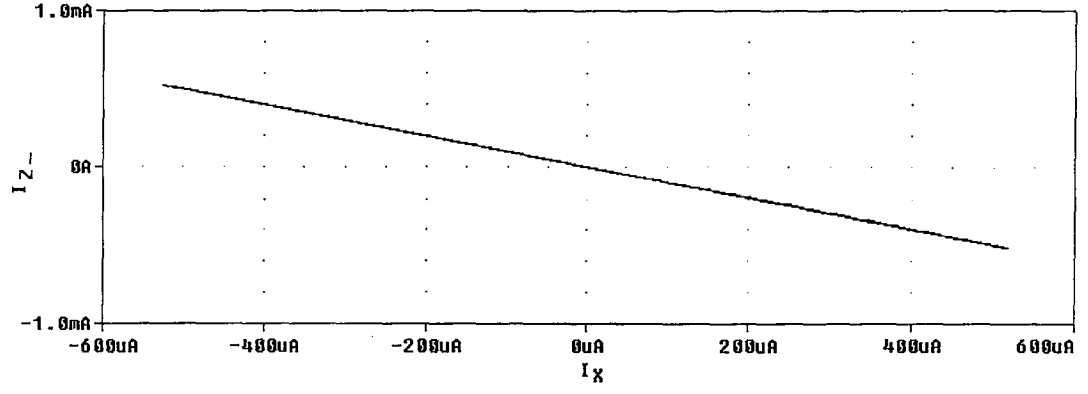
Şekil 3.16 V_X - V_Y DC Karakteristiği.

Şekil 3.17’de I_X - I_Y karakteristiği gösterilmiştir. I_X - I_Y akımını $-600\mu A$ ile $700\mu A$ arasında lineer olarak takip etmektedir.



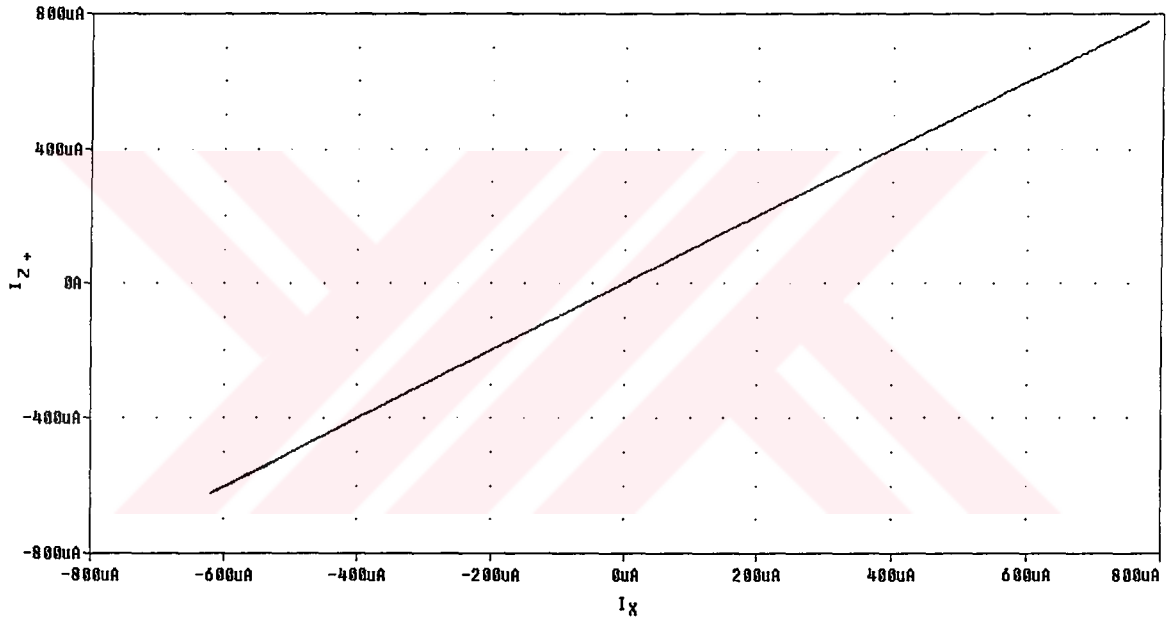
Şekil 3.17 I_X - I_Y DC Karakteristiği.

Şekil 3.18’de I_X - I_{Z_-} karakteristiği gösterilmiştir. I_X - I_{Z_-} akımını $-600\mu A$ ile $800\mu A$ arasında lineer olarak takip etmektedir.



Şekil 3.18 I_X - I_{Z-} DC Karakteristiği.

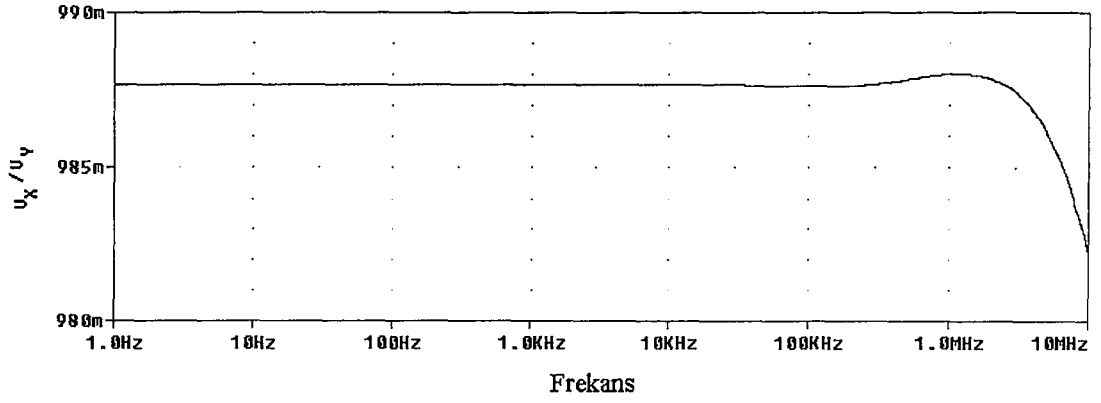
Şekil 3.19'de I_X - I_{Z+} karakteristiği gösterilmiştir. I_X - I_{Z+} akımını -600uA ile 800uA arasında lineer olarak takip etmektedir.



Şekil 3.19 I_X - I_{Z+} DC Karakteristiği.

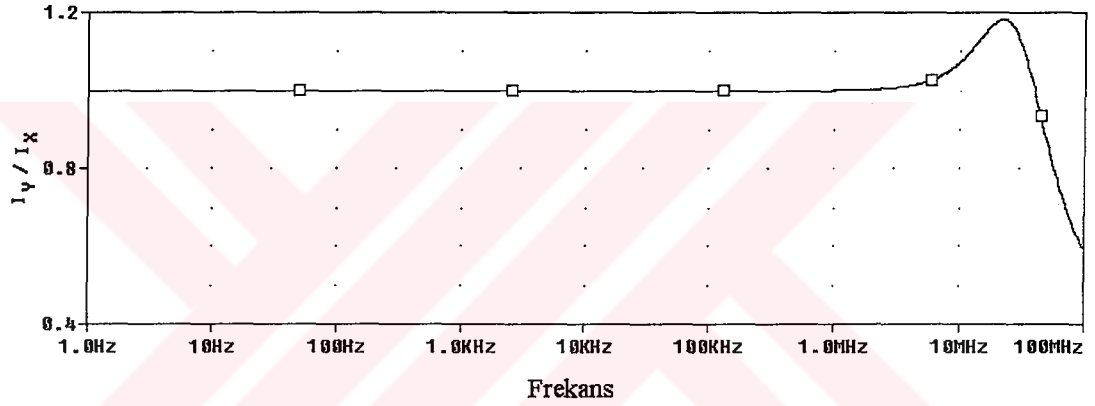
3.2.2 AC Karakteristikleri

Şekil 3.20'de V_Y/V_X frekans karakteristiği gösterilmiştir. V_X/V_Y frekans karakteristiğinde 1'e çok yakın bir değer elde edilmiştir. V_X/V_Y oranının f_{-3dB} frekansı 4MHz olarak ölçülmüştür.



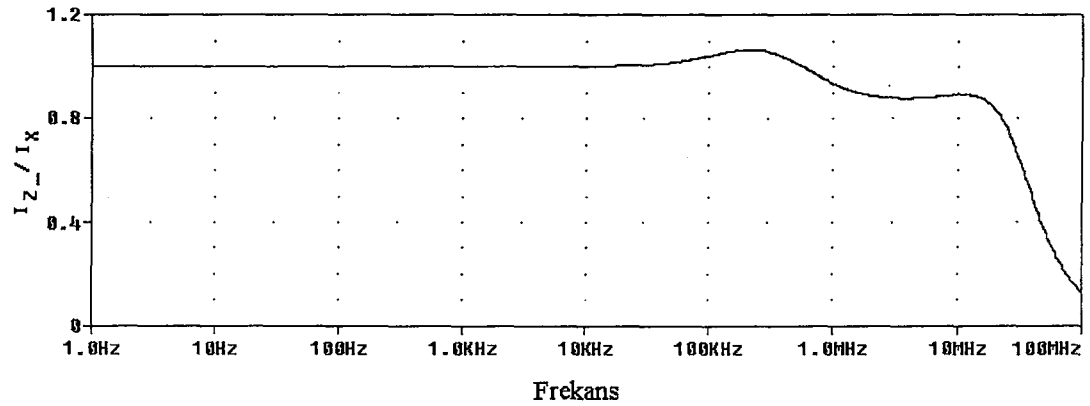
Şekil 3.20 V_X-V_Y Frekans Karakteristiği.

Şekil 3.21’de I_Y/I_X frekans karakteristiği gösterilmiştir. I_Y/I_X frekans karakteristiğinde 1’e çok yakın bir değer elde edilmiştir. I_Y/I_X oranının f_{3db} frekansı 69MHz olarak ölçülmüştür.



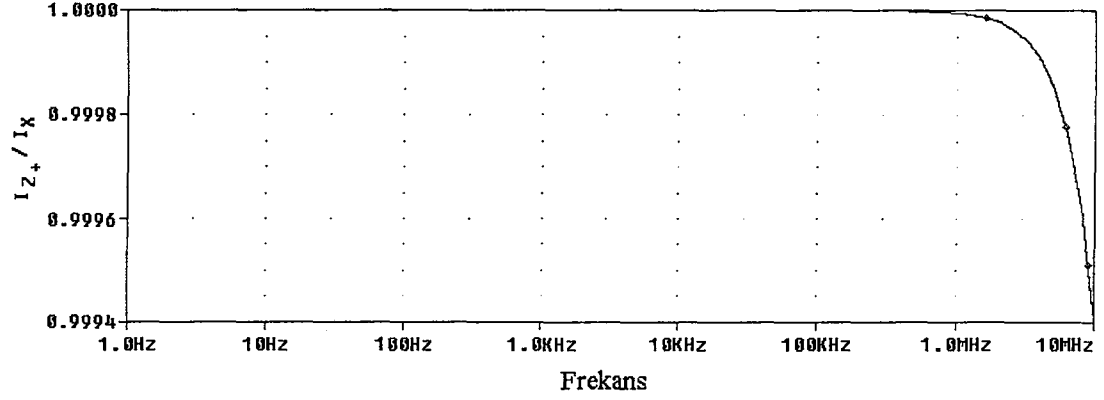
Şekil 3.21 I_X-I_Y Frekans Karakteristiği.

Şekil 3.22’de I_Z/I_X frekans karakteristiği gösterilmiştir. I_Z/I_X frekans karakteristiğinde 1’e çok yakın bir değer elde edilmiştir. I_Z/I_X oranının f_{3db} frekansı 28MHz olarak ölçülmüştür.



Şekil 3.22 I_X-I_Z Frekans Karakteristiği.

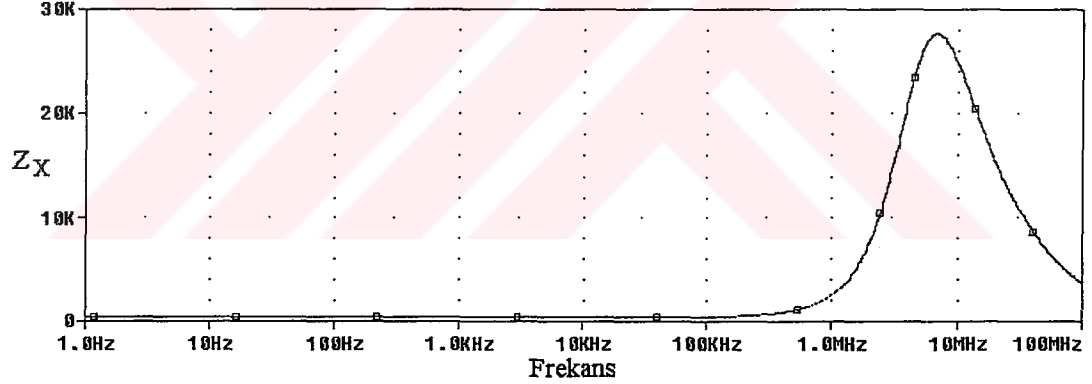
Şekil 3.23’de I_{Z+}/I_X frekans karakteristiği gösterilmiştir. I_{Z+}/I_X frekans karakteristiğinde 1’e çok yakın bir değer elde edilmiştir. I_{Z+}/I_X oranının f_{-3db} frekansı 28MHz olarak ölçülmüştür.



Şekil 3.23 I_X - I_{Z+} Frekans Karakteristiği.

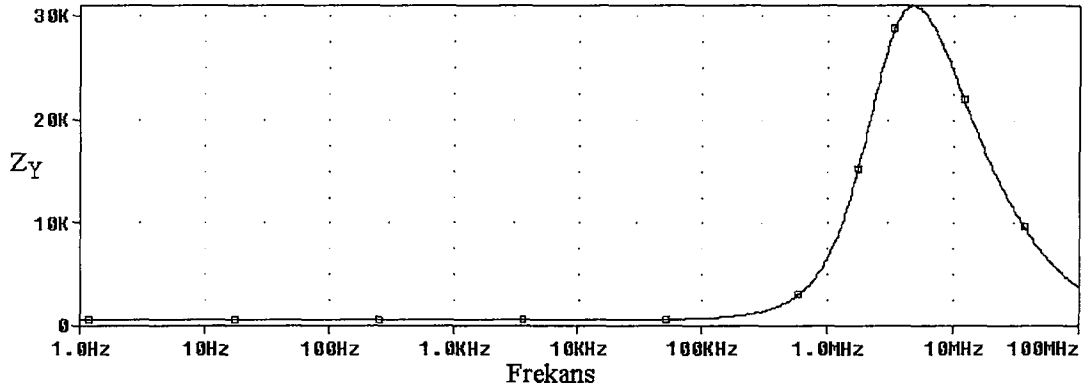
Şekil 3.21,3.22 ve 3.23’deki frekans eğrilerinde elde edilen sonuçlar geleneksel üçüncü kuşak akım taşıyıcıya göre daha iyi sonuç vermektedir.

İyileştirilmiş Wilson üçüncü kuşak akım taşıyıcını X,Y,Z₋ ve Z₊ uçlarından görülen empedans karakteristikleri Şekil 3.24,3.25,3.26 ve 3.27’de verilmiştir.



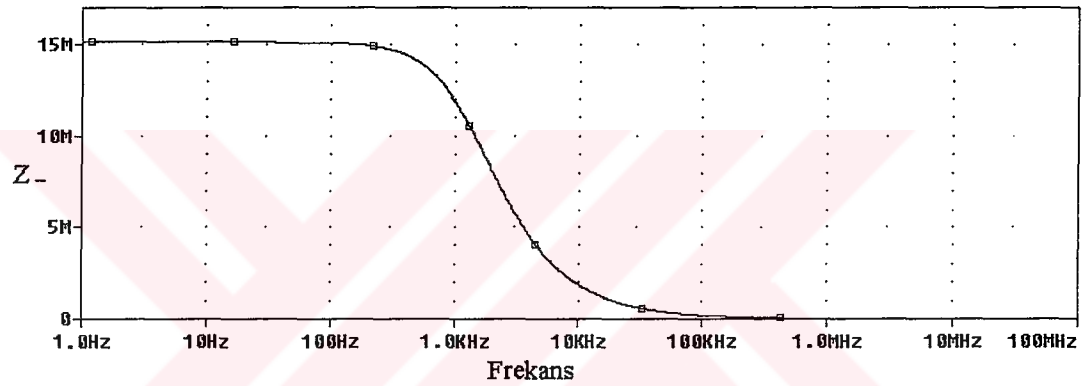
Şekil 3.24 Z_X Empedansı Frekans Karakteristiği.

Şekil 3.24 Z_X empedansı frekans karakteristiği verilmiştir, Z_X empedansı düşük frekanslarda 460Ω olarak belirlenmiş, 1MHz frekansından sonra artış göstermiştir.



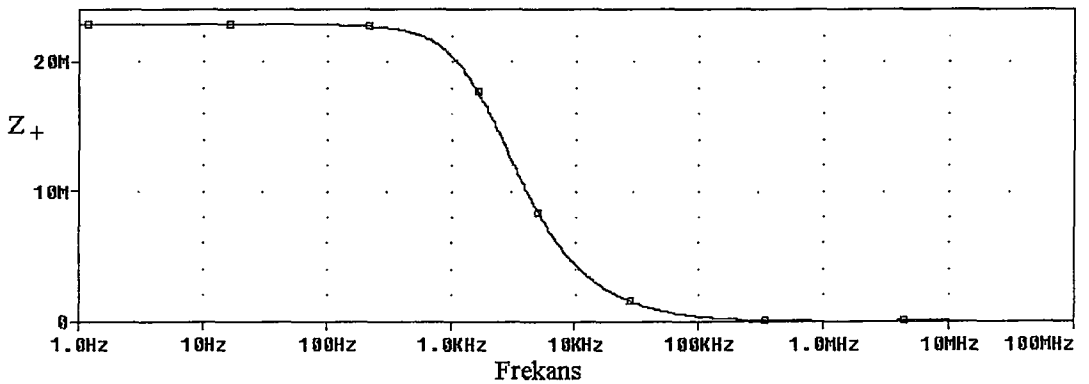
Şekil 3.25 Z_Y Empedansı Frekans Karakteristiği.

Şekil 3.25 Z_Y empedansı frekans karakteristiği verilmiştir, Z_Y empedansı düşük frekanslarda 600Ω olarak belirlenmiş, 1MHz frekansından sonra artış göstermiştir.



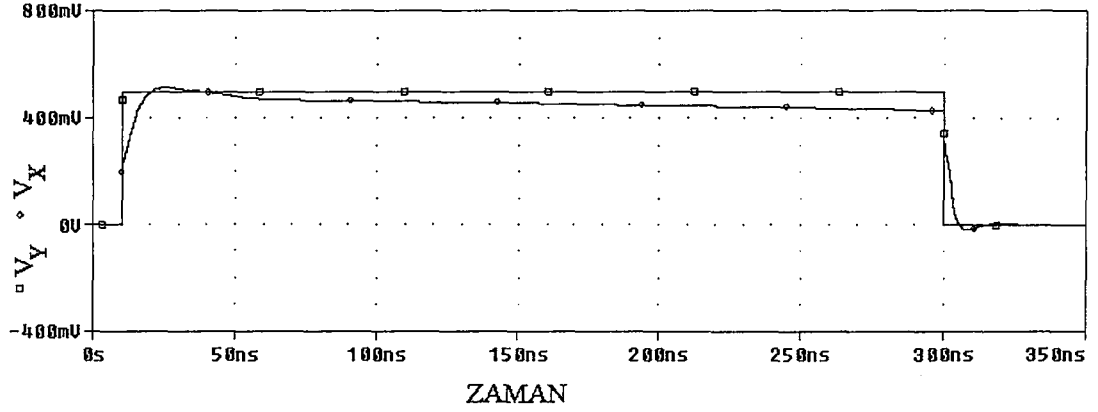
Şekil 3.26 Z₋ Empedansı Frekans Karakteristiği.

Şekil 3.26'da Z₋ empedansı frekans karakteristiği verilmiştir, Z₋ empedansı düşük frekanslarda 15MΩ olarak belirlenmiş ancak 50MHz frekansından sonra düşüş göstermiştir.



Şekil 3.27 Z₊ Empedansı Frekans Karakteristiği.

Şekil 3.27'de Z₊ empedansı frekans karakteristiği verilmiştir, Z₊ empedansı düşük frekanslarda 22MΩ olarak belirlenmiş ancak 50MHz frekansından sonra düşüş göstermiştir. Şekil 3.28'de yükselme hızı grafiği gösterilmiştir.



Şekil 3.28 Yükselme Hızı Karakteristiği.

Şekil 3.28’de tepe değeri 0.5v 16.6MHz step fonksiyon girişi için çıkışın girişi %0.1 hata ile yakalaması için geçen süre yükselen kenarda 17ns ve düşen kenarda 16ns olarak bulunmuştur.

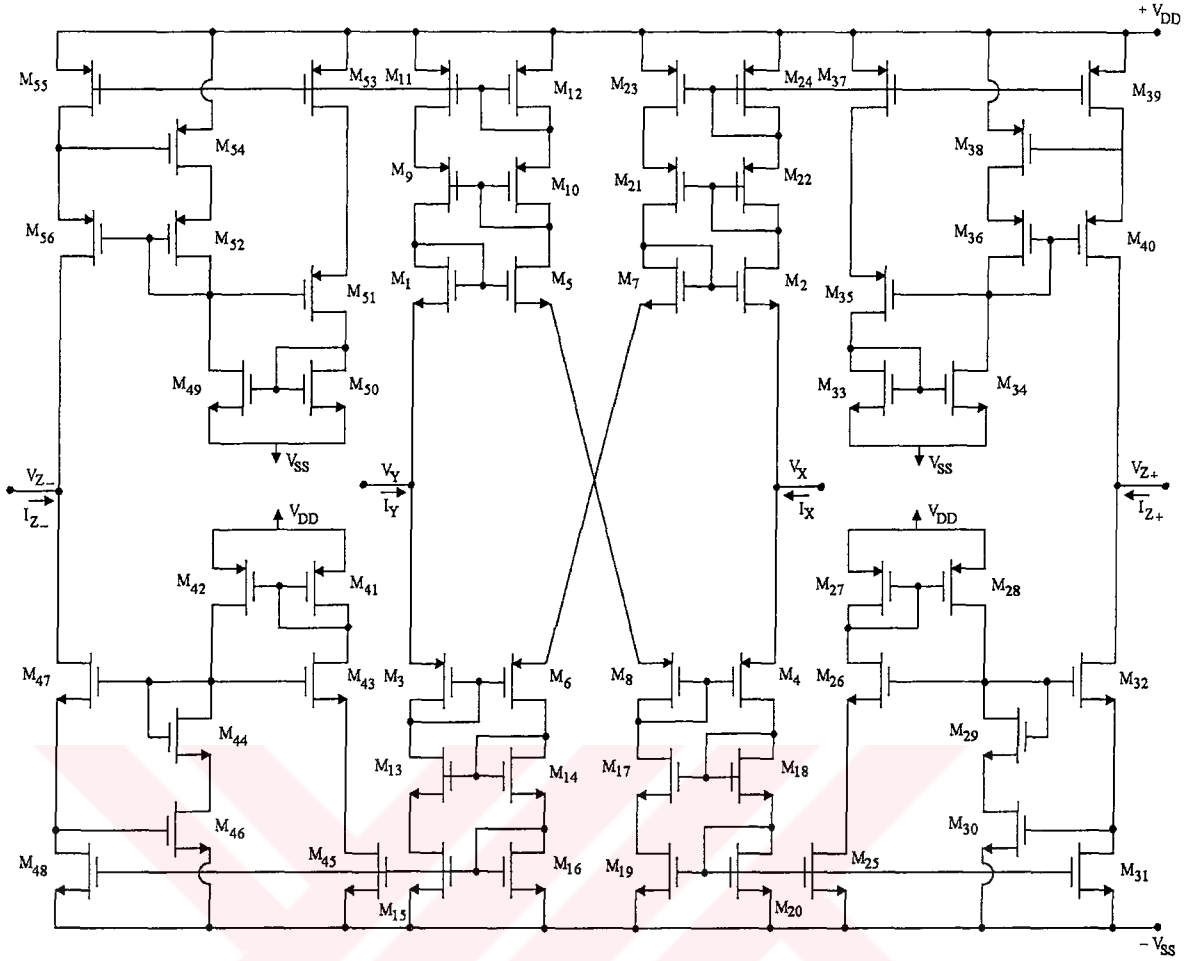
3.3 İAGKAA Kaskod Üçüncü Kuşak Akım Taşıyıcı

Çıkış direncinin arttırılması için akım taşıyıcının çıkış katlarında geliştirilmiş aktif geribeslemeli akım aynalarının (İAGKAA) [6] kullanıldığı yeni bir CCIII devresi önerilmiştir. Önerilen devre Şekil 3.29’de gösterilmiştir. (M_9 - M_{12}), (M_{21} - M_{24}), (M_{13} - M_{16}) ve (M_{17} - M_{20}) transistorlarını içeren kaskod akım aynaları ile akım X ucundan Y ucuna taşınmaktadır. İAGKAA yapısının Z+ çıkış ucu (M_{25} - M_{32}), (M_{33} - M_{40}) ve Z- çıkış ucu ise (M_{41} - M_{48}), (M_{49} - M_{56}) transistorlarını içermektedir. Bu akım aynasının en önemli avantajı çıkış iletkenliğinin ve geribesleme kapasitesinin standart akım aynasına göre 100 kat daha düşük olmasıdır. Önerilen devrenin çıkış direnci, kullanılan transistor sayısı artmış olmasına rağmen geleneksel CCIII ve kaskod akım taşıyıcıdan daha yüksektir. Şekil 3.29’da verilmiş olan devrenin çıkış direnci teorik olarak,

$$R_{oz+} = [g_{m32} g_{m30} r_{ds31} r_{ds32} (r_{ds30} // r_{ds28})] // [g_{m32} g_{m38} r_{ds39} r_{ds40} (r_{ds38} // r_{ds34})] \quad (3.3)$$

ile hesaplanır.

Önerilmiş olan üçüncü kuşak akım taşıyıcı CCIII devresinin çıkış direnci (3.3) denkleminde görüldüğü gibi kaskod CCIII devresine göre daha yüksektir.

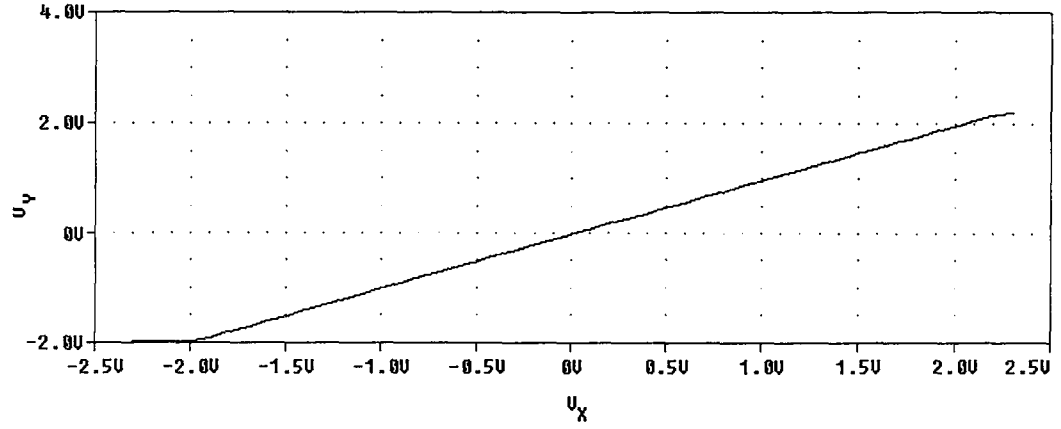


Şekil 3.29 İAGKAA Kaskod Üçüncü Kuşak Akım Taşıyıcı.

Bölüm 3.3.1’de gerçekleştirilen DC ve AC karakteristiklerin simülasyon değerlerinin elde edilmesi için kullanılan ölçüm yöntemleri kaskod üçüncü kuşak akım taşıyıcıda her ölçüm sonunda anlatıldığı şekilde uygulanmıştır.

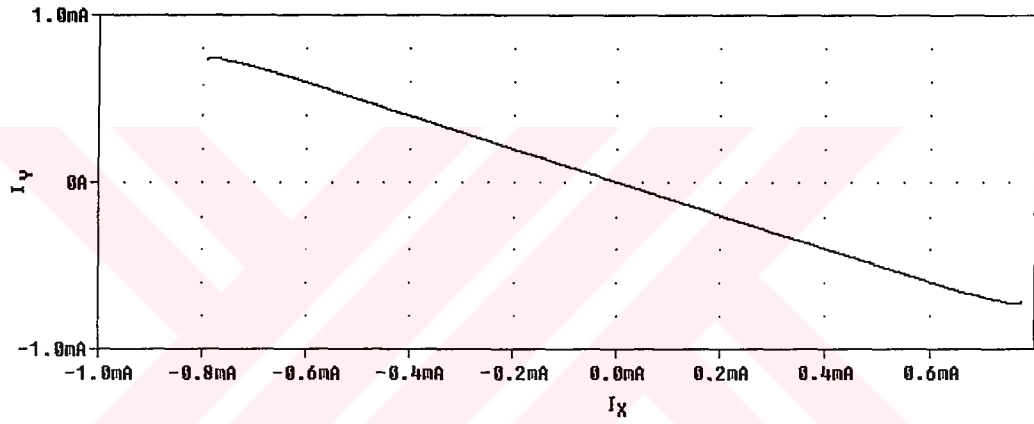
3.3.1 DC Karakteristikleri

Şekil 3.30’da V_X-V_Y karakteristiği gösterilmiştir. Bu eğride elde edilen sonuçta V_X-V_Y karakteristiğinin lineerlik bölgesinde kaskod üçüncü kuşak akım taşıyıcıya göre belirgin bir artış sağlanmamasına karşılık V_X ’in V_Y ’yi takip etme toleransında belirgin bir artış gözlenmiştir. -2.0 V ile 2.3V arasında lineer çalışmaktadır.



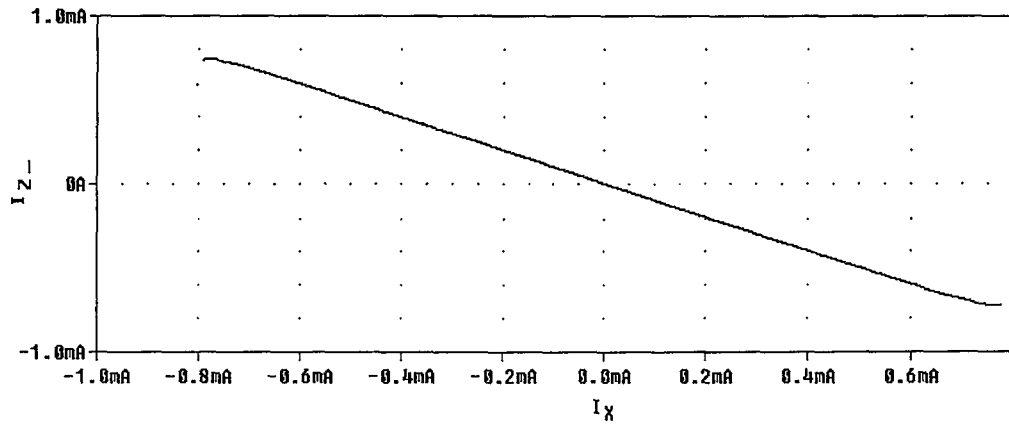
Şekil 3.30 V_X - V_Y DC Karakteristiği.

Şekil 3.31’de I_X - I_Y karakteristiği gösterilmiştir. I_X - I_Y karakteristiği -0.8mA ile 0.75mA arasında lineer çalışmaktadır.



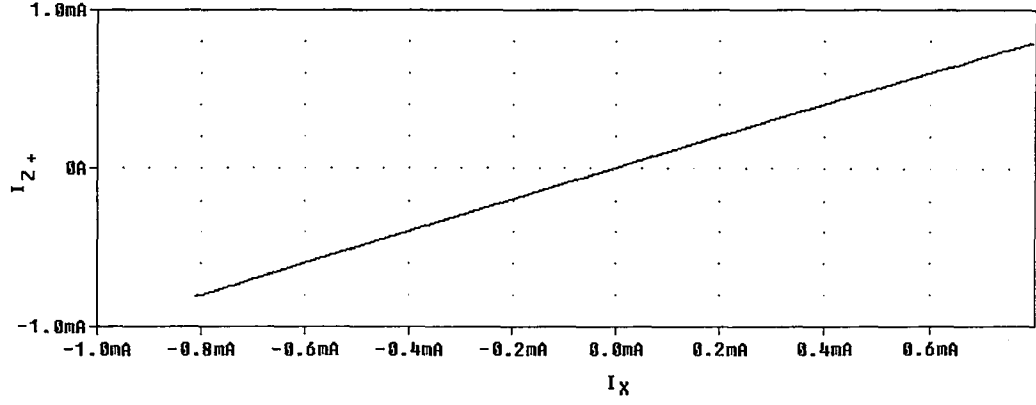
Şekil 3.31 I_X - I_Y DC Karakteristiği.

Şekil 3.32’de I_X - I_Z karakteristiği gösterilmiştir. I_X - I_Z karakteristiği -0.8mA ile 0.75mA arasında lineer çalışmaktadır.



Şekil 3.32 I_X - I_Z DC Karakteristiği.

Şekil 3.33’de I_X - I_{Z+} karakteristiği gösterilmiştir. I_X - I_{Z+} karakteristiği -0.8mA ile 0.75mA arasında lineer çalışmaktadır.

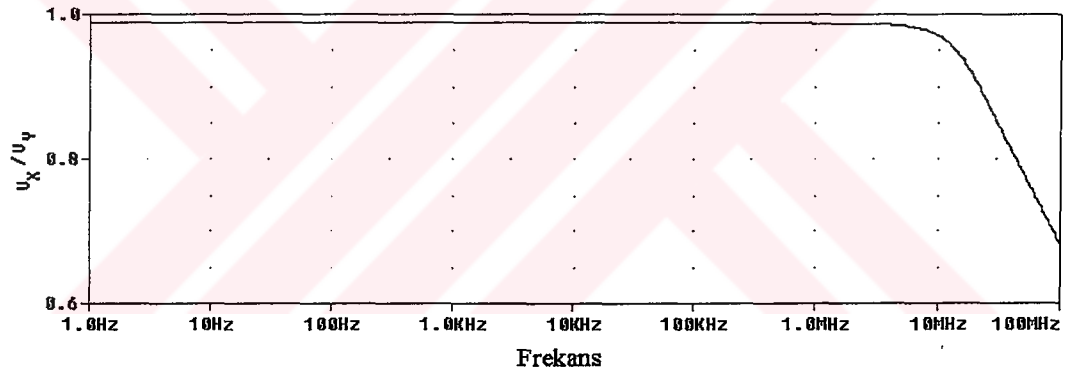


Şekil 3.33 I_X - I_{Z+} DC Karakteristiği.

Şekil 3.31, 3.32 ve 3.33’de elde edilen grafiklerin lineerlik bölgesi, kaskod üçüncü kuşak akım taşıyıcıya oranla daha fazladır.

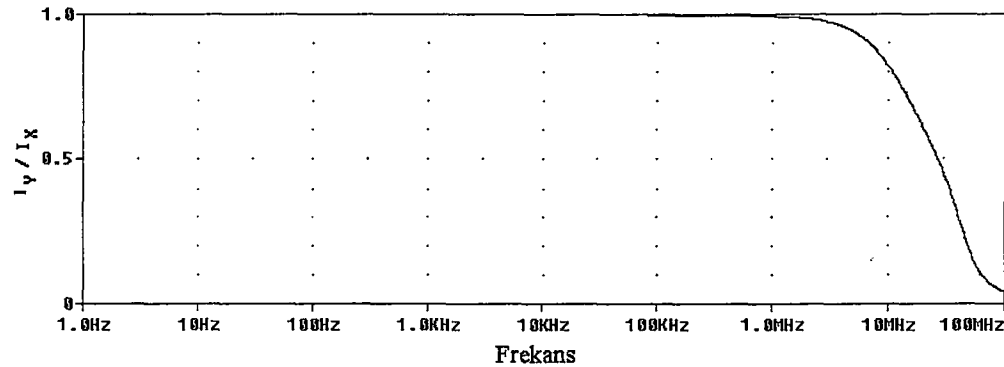
3.3.2 AC Karakteristikleri

Şekil 3.34’de V_Y/V_X frekans karakteristiği gösterilmiştir. V_X/V_Y oranının f_{3db} frekansı 93MHz olarak ölçülmüştür.



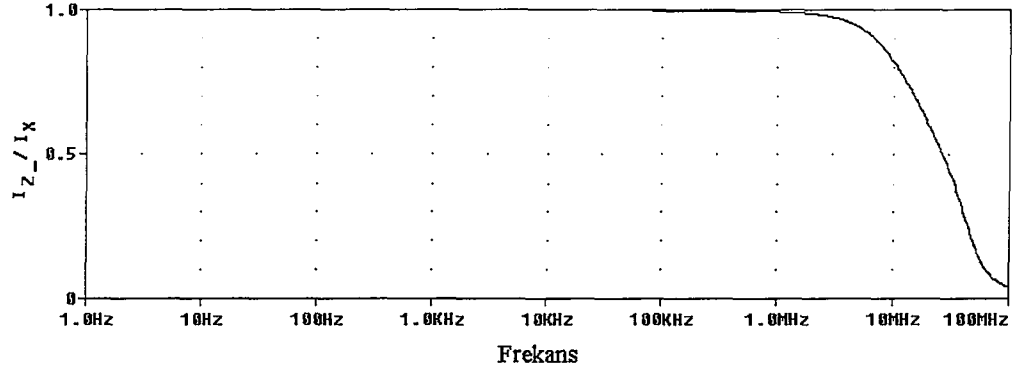
Şekil 3.34 V_X - V_Y Frekans Karakteristiği.

Şekil 3.35’de I_Y/I_X frekans karakteristiği gösterilmiştir. I_Y/I_X frekans karakteristiğinde 1’e çok yakın bir değer elde edilmiştir. I_Y/I_X oranının f_{3db} frekansı 15MHz olarak ölçülmüştür.



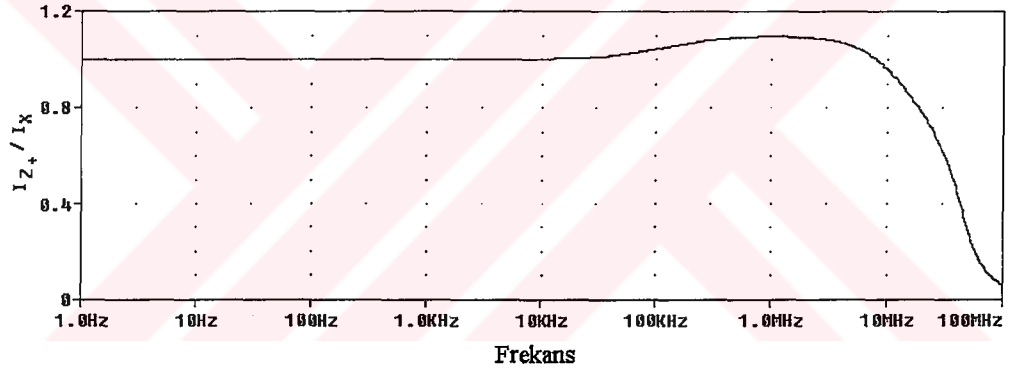
Şekil 3.35 I_X - I_Y Frekans Karakteristiği.

Şekil 3.36’da I_Z/I_X frekans karakteristiği gösterilmiştir. I_Z/I_X frekans karakteristiğinde 1’e çok yakın bir değer elde edilmiştir. I_Z/I_X oranının f_{3db} frekansı 15MHz olarak ölçülmüştür.



Şekil 3.36 I_X - I_Z Frekans Karakteristiği.

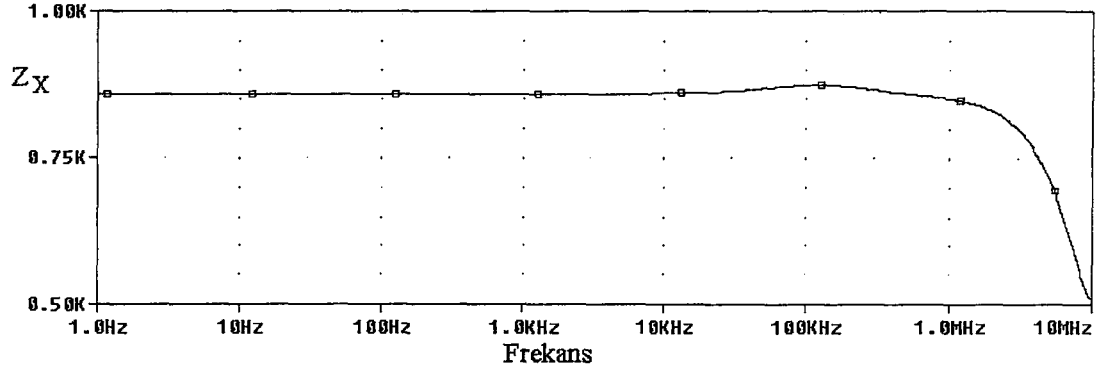
Şekil 3.37’de I_{Z+}/I_X frekans karakteristiği gösterilmiştir. I_{Z+}/I_X frekans karakteristiğinde 1’e çok yakın bir değer elde edilmiştir. I_{Z+}/I_X oranının f_{3db} frekansı 15MHz olarak ölçülmüştür.



Şekil 3.37 I_X - I_{Z+} Frekans Karakteristiği.

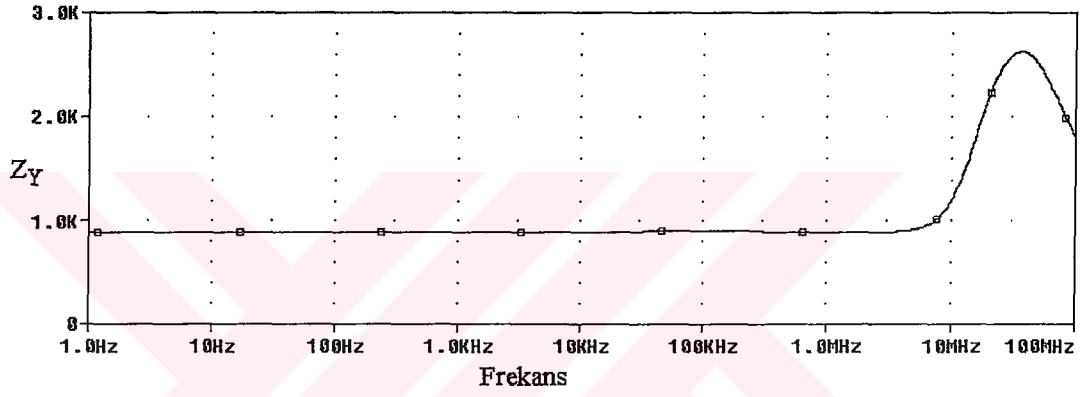
Şekil 3.35, 3.36 ve 3.37’de elde edilen frekans cevabı kaskod devresine oranla daha iyi sonuç vermektedir. Şöyle ki , Kaskod üçüncü kuşak akım taşıyıcı devresinde akım frekans eğrileri 1MHz’den sonra düşmeye başlamasına rağmen İAGKAA de 10MHz’den sonra düşmeye başlamıştır.

İAGKAA Kaskod üçüncü kuşak akım taşıyıcısını X,Y,Z. ve Z_+ uçlarından görülen empedans karakteristikleri Şekil 3.38,3.39,3.40 ve 3.41’de verilmiştir.



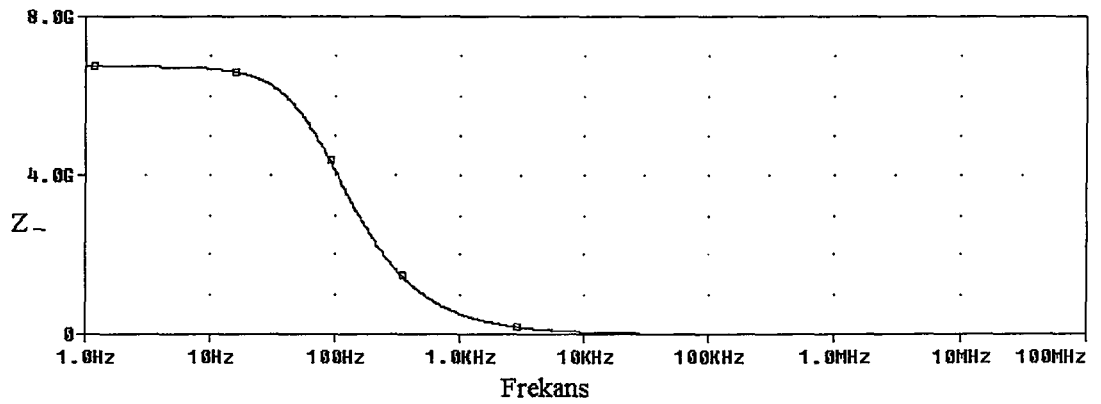
Şekil 3.38 Z_X Empedansı Frekans Karakteristiği.

Şekil 3.38’de Z_X empedansı frekans karakteristiği verilmiştir, düşük frekanslarda 860Ω olan Z_X empedansı yüksek frekanslarda düşüş göstermektedir.



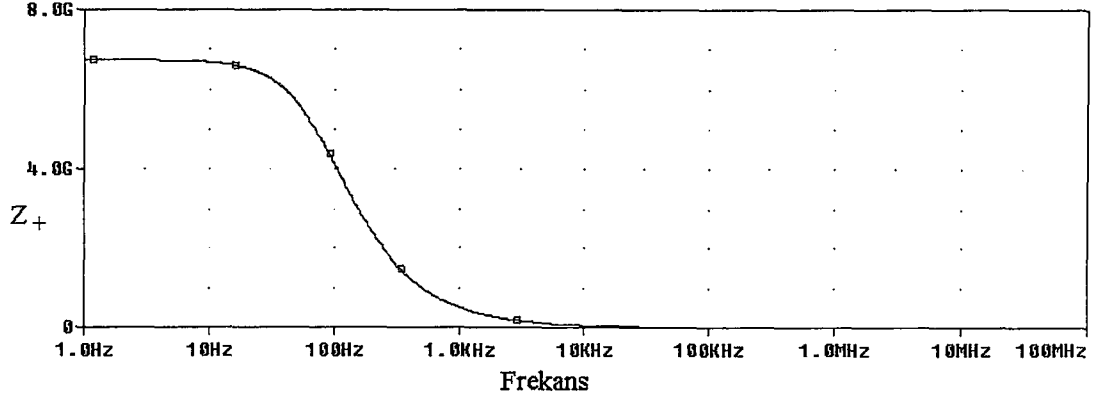
Şekil 3.39 Z_Y Empedansı Frekans Karakteristiği.

Şekil 3.39’da Z_Y empedansı frekans karakteristiği verilmiştir, düşük frekanslarda 900Ω olan Z_Y empedansı 10MHz’den sonra yükselmektedir.



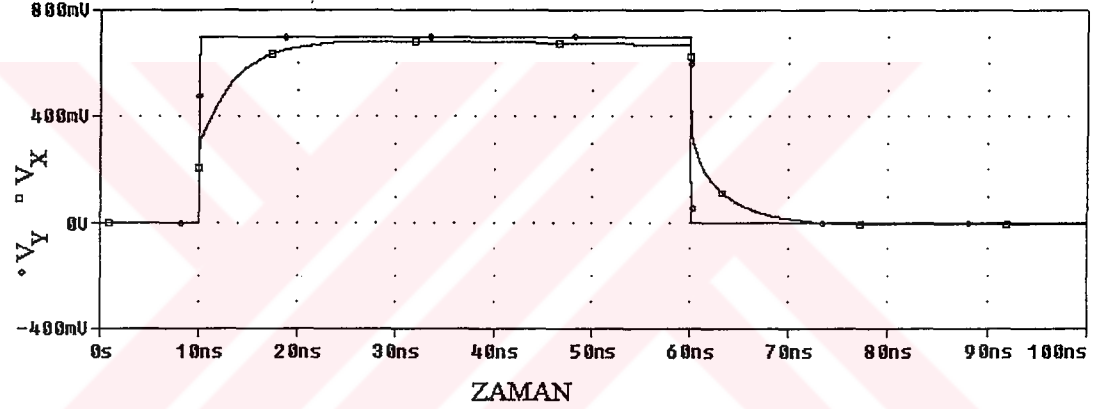
Şekil 3.40 Z_- Empedansı Frekans Karakteristiği.

Şekil 3.40’da Z_- empedansı frekans karakteristiği verilmiştir, düşük frekanslarda $6G\Omega$ olan Z_- empedansı yüksek frekanslarda düşüş göstermektedir.



Şekil 3.41 Z_+ Empedansı Frekans Karakteristiği.

Şekil 3.41’de Z_+ empedansı frekans karakteristiği verilmiştir, düşük frekanslarda $6.6G\Omega$ olan Z_+ empedansı yüksek frekanslarda düşüş göstermektedir. Şekil 3.42’de yükselme hızı grafiği karakteristiği gösterilmiştir.



Şekil 3.42 Yükselme Hızı Karakteristiği.

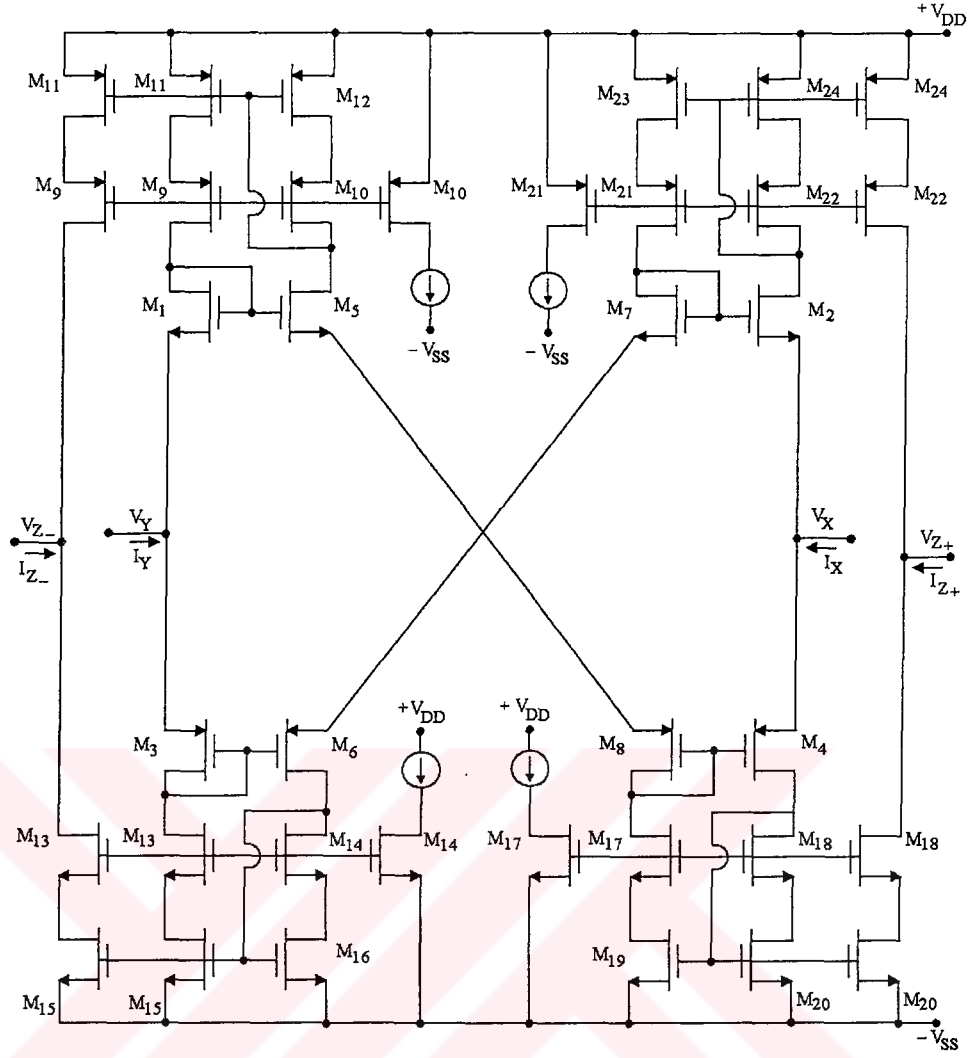
Şekil 3.42’de tepe değeri 0.7v 16.6MHz step fonksiyon girişi için çıkışın girişi %0.1 hata ile yakalaması için geçen süre yükselen kenarda 13ns ve düşen kenarda 12ns olarak bulunmuştur.

3.4 Yüksek Salınım Aralıklı Kaskod Üçüncü Kuşak Akım Taşıyıcı

Şekil 3.43’de Yüksek Salınım Aralıklı kaskod üçüncü kuşak akım taşıyıcı devresi gösterilmektedir [13]. Bu devre kullanılan akım aynalarının en büyük avantajı çıkış direncinin basit akım aynasına göre çok büyük olmasıdır. Şekil 3.43’de uygulanan devrenin çıkış direnci,

$$R_{oz+} \cong (g_{m18}r_{o20}r_{o18}) // (g_{m22}r_{o24}r_{o22}) \quad (3.4)$$

ile verilir.

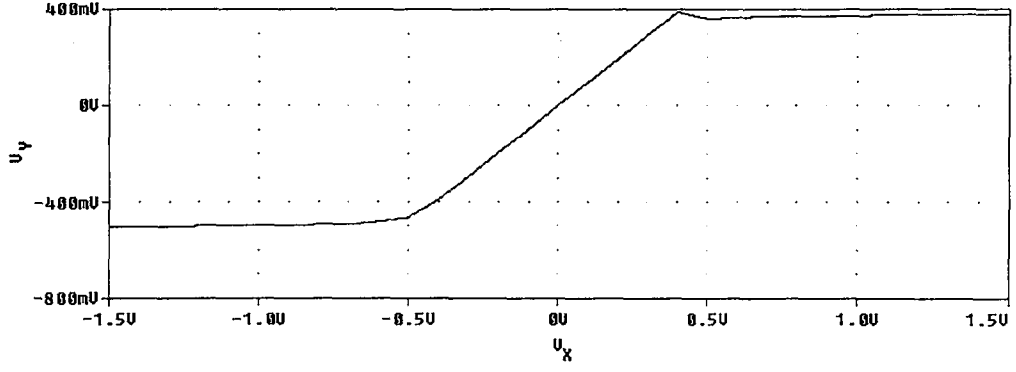


Şekil 3.43 Yüksek Salınım Aralıklı Kaskod Üçüncü Kuşak Akım Taşıyıcı.

Bölüm 3.4.1’de gerçekleştirilen DC ve AC karakteristiklerin simülasyon değerlerinin elde edilmesi için kullanılan ölçüm yöntemleri kaskod üçüncü kuşak akım taşıyıcıda her ölçüm sonunda anlatıldığı şekilde uygulanmıştır.

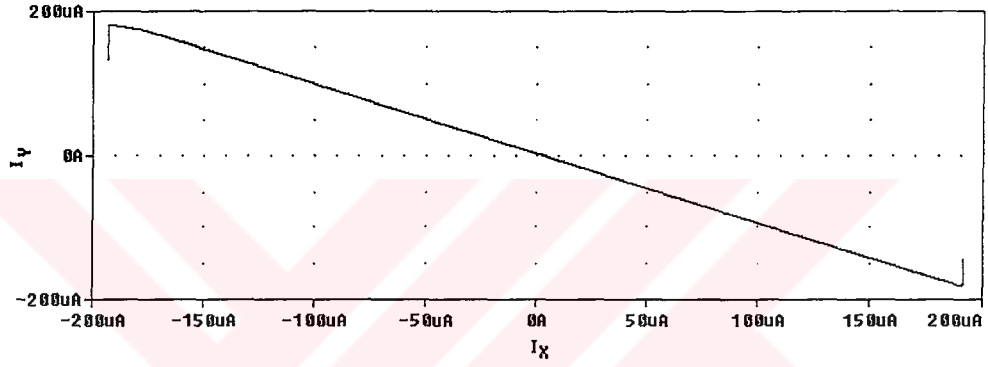
3.4.1 DC Karakteristikleri

Şekil 3.44’de V_X - V_Y karakteristiği gösterilmiştir. Bu eğride elde edilen sonuçta V_X - V_Y karakteristiğinin lineerlik bölgesinde kaskod üçüncü kuşak akım taşıyıcıya göre belirgin bir artış sağlanmamasına karşılık V_X ’in V_Y ’yi takip etme toleransında belirgin bir artış gözlenmiştir. -0.5 V ile 0.5V arasında lineer çalışmaktadır.



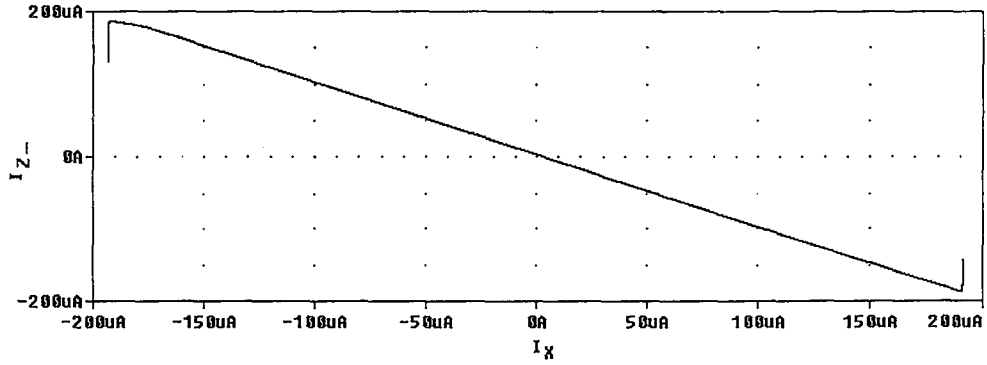
Şekil 3.44 V_X-V_Y DC Karakteristiği.

Şekil 3.45’de I_X-I_Y karakteristiği gösterilmiştir. I_X-I_Y karakteristiği -190µA ile 200µA arasında lineer çalışmaktadır.



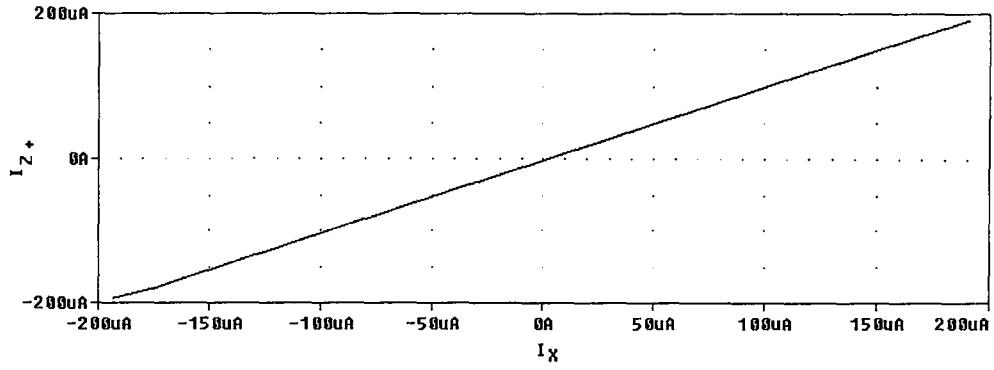
Şekil 3.45 I_X-I_Y DC Karakteristiği.

Şekil 3.46’da I_X-I_{Z-} karakteristiği gösterilmiştir. I_X-I_{Z-} karakteristiği -190µA ile 200µA arasında lineer çalışmaktadır.



Şekil 3.46 I_X-I_{Z-} DC Karakteristiği.

Şekil 3.47’de I_X-I_{Z+} karakteristiği gösterilmiştir. I_X-I_{Z+} karakteristiği -190µA ile 200µA arasında lineer çalışmaktadır.

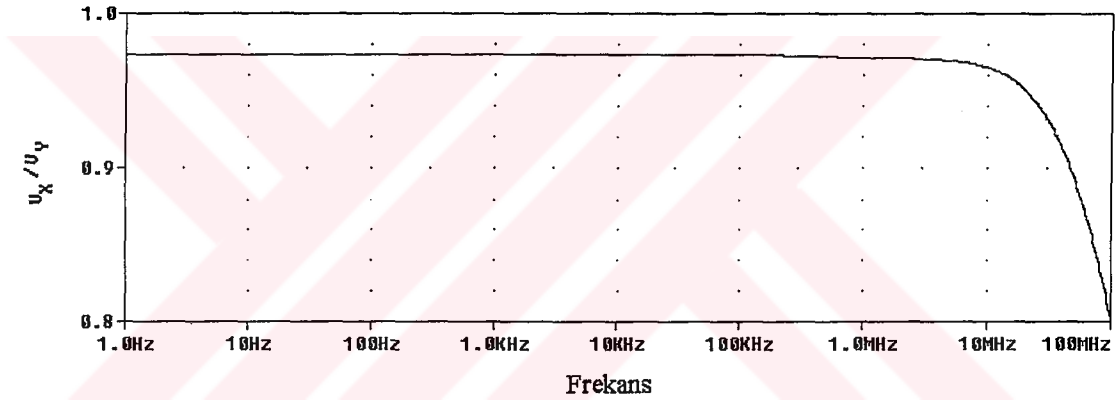


Şekil 3.47 I_X - I_{Z+} DC Karakteristiği.

Şekil 3.45, 3.46 ve 3.47’de elde edilen grafiklerin lineerlik bölgesi, kaskod üçüncü kuşak akım taşıyıcıya oranla daha fazladır.

3.4.2 AC Karakteristikleri

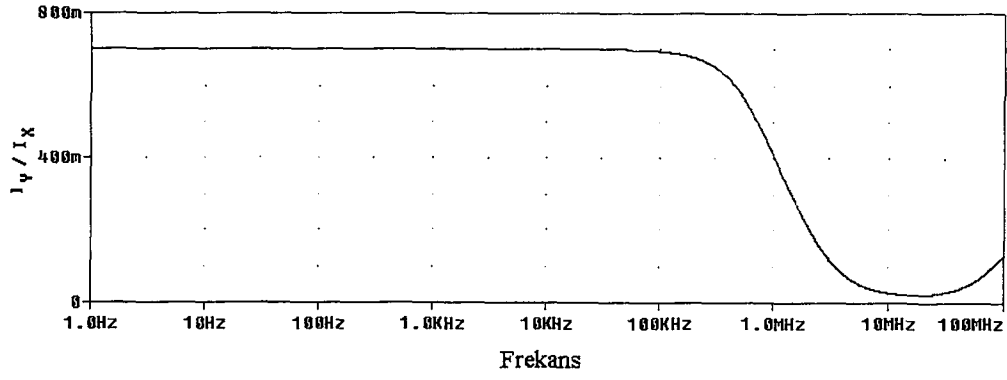
Şekil 3.48’de V_Y/V_X frekans karakteristiği gösterilmiştir.



Şekil 3.48 V_X - V_Y Frekans Karakteristiği.

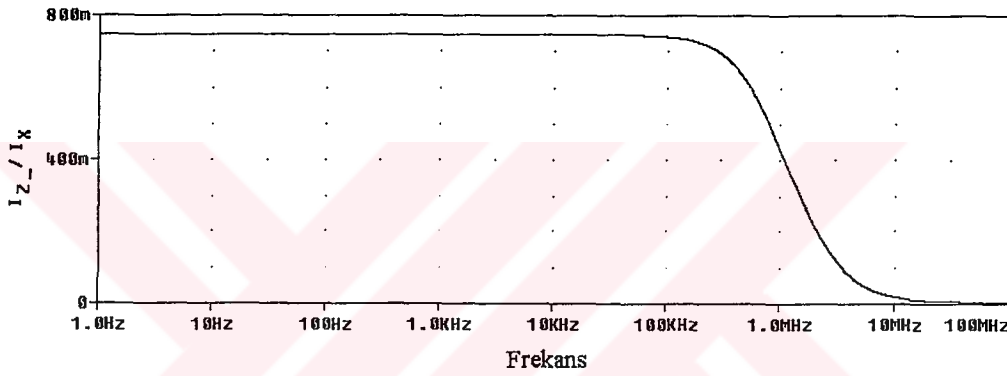
V_X/V_Y oranı kaskod akım taşıyıcının frekans karakteristiği karşılaştırıldığında, 10MHz gibi yüksek bir frekanstan sonra 1 değerinin altına düştüğü görülmektedir, oysaki kaskod akım taşıyıcıda bu değer 1MHz den sonra düşmeye başlamıştır. V_X/V_Y oranının f_{3db} frekansı 190MHz olarak ölçülmüştür.

Şekil 3.49’da I_Y/I_X frekans karakteristiği gösterilmiştir. I_Y/I_X frekans karakteristiğinde 1’e çok yakın bir değer elde edilmiştir. I_Y/I_X oranının f_{3db} frekansı 800kHz olarak ölçülmüştür.



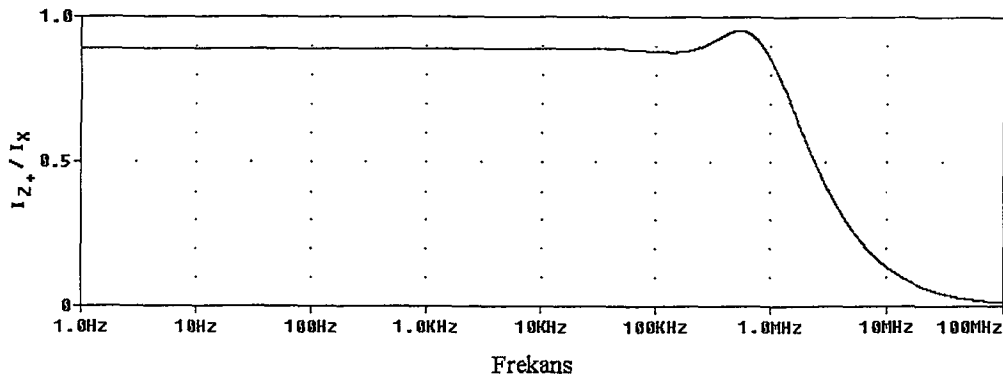
Şekil 3.49 I_X - I_Y Frekans Karakteristiği.

Şekil 3.50’de I_Z/I_X frekans karakteristiği gösterilmiştir. I_Z/I_X frekans karakteristiğinde 1’e çok yakın bir değer elde edilmiştir. I_Z/I_X oranının f_{3db} frekansı 780kHz olarak ölçülmüştür.



Şekil 3.50 I_X - I_{Z-} Frekans Karakteristiği.

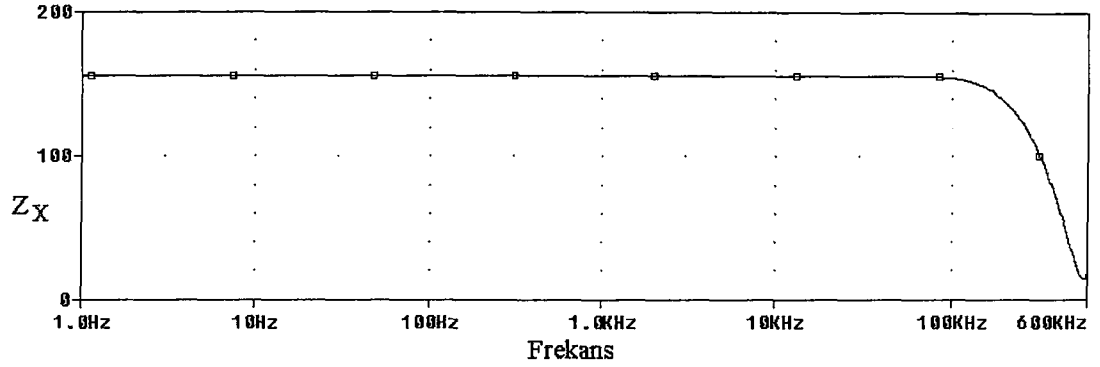
Şekil 3.51’de I_{Z+}/I_X frekans karakteristiği gösterilmiştir. I_{Z+}/I_X frekans karakteristiğinde 1’e çok yakın bir değer elde edilmiştir. I_{Z+}/I_X oranının f_{3db} frekansı 800kHz olarak ölçülmüştür.



Şekil 3.51 I_X - I_{Z+} Frekans Karakteristiği.

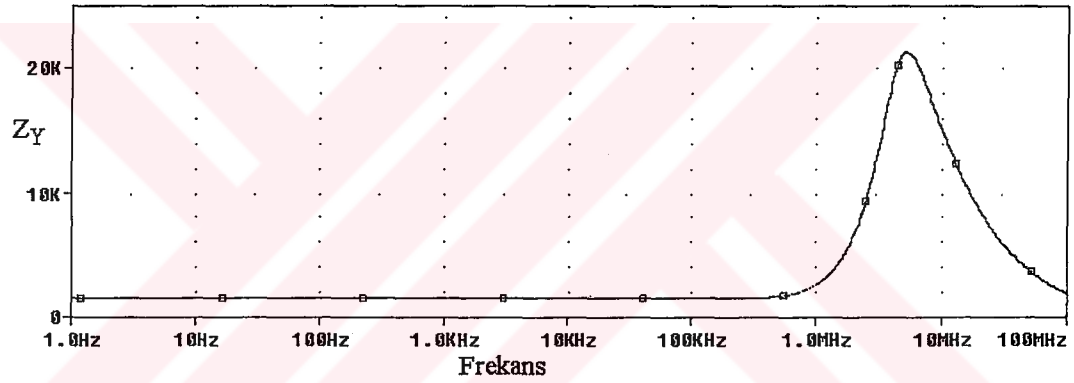
Şekil 3.49, 3.50 ve 3.51’de elde edilen frekans cevabı kaskod devresine oranla daha iyi sonuç vermektedir. Şöyle ki , Kaskod üçüncü kuşak akım taşıyıcı devresinde akım frekans eğrileri 1MHz’den sonra düşmeye başlamasına rağmen İAGKAA de

10MHz'den sonra düşmeye başlamıştır.Yüksek salınım aralıklı Kaskod üçüncü kuşak akım taşıyıcını X,Y,Z- ve Z+ uçlarından görülen empedans karakteristikleri Şekil 3.52,3.53,3.54 ve 3.55'de verilmiştir.



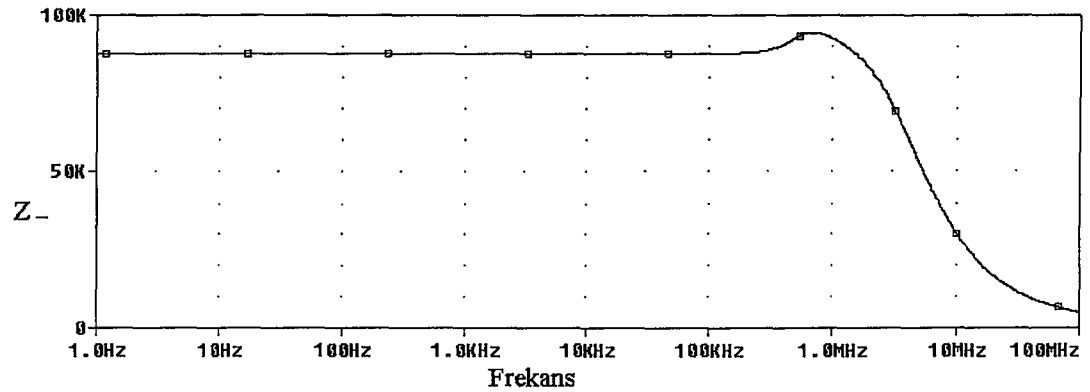
Şekil 3.52 Z_X Empedansı Frekans Karakteristiği.

Şekil 3.52'de Z_X empedansı frekans karakteristiği verilmiştir, düşük frekanslarda 180Ω olan Z_X empedansı 100kHz'den sonra düşmeye başlamaktadır.



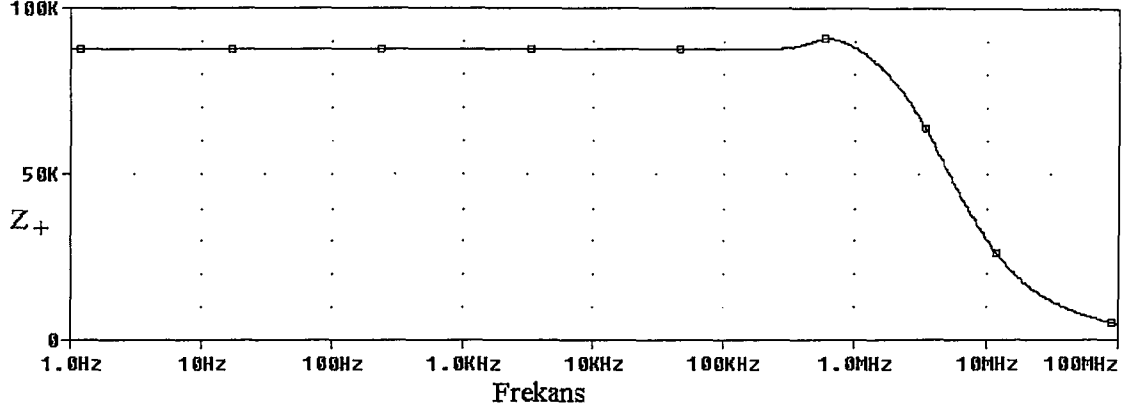
Şekil 3.53 Z_Y Empedansı Frekans Karakteristiği.

Şekil 3.53'de Z_Y empedansı frekans karakteristiği verilmiştir, düşük frekanslarda $1.5k\Omega$ olan Z_Y empedansı 1MHz'den sonra yükselmeye başlamaktadır.



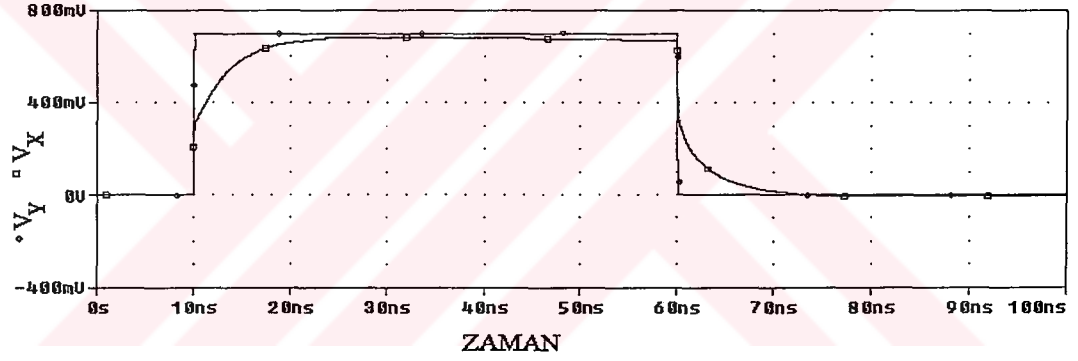
Şekil 3.54 Z_- Empedansı Frekans Karakteristiği.

Şekil 3.54’de Z_- empedansı frekans karakteristiği verilmiştir, düşük frekanslarda $90k\Omega$ olan Z_- empedansı 1MHz’den sonra düşmeye başlamaktadır.



Şekil 3.55 Z_+ Empedansı Frekans Karakteristiği.

Şekil 3.55’de Z_+ empedansı frekans karakteristiği verilmiştir, düşük frekanslarda $90k\Omega$ olan Z_+ empedansı 1MHz’den sonra düşmeye başlamaktadır. Şekil 3.56’da yükselme hızı karakteristiği gösterilmiştir.



Şekil 3.56 Yükselme Hızı Karakteristiği.

Şekil 3.56’da tepe değeri 0.7v 16.6MHz step fonksiyon girişi için çıkışın girişi %0.1 hata ile yakalaması için geçen süre yükselen kenarda 18ns ve düşen kenarda 15ns olarak bulunmuştur.

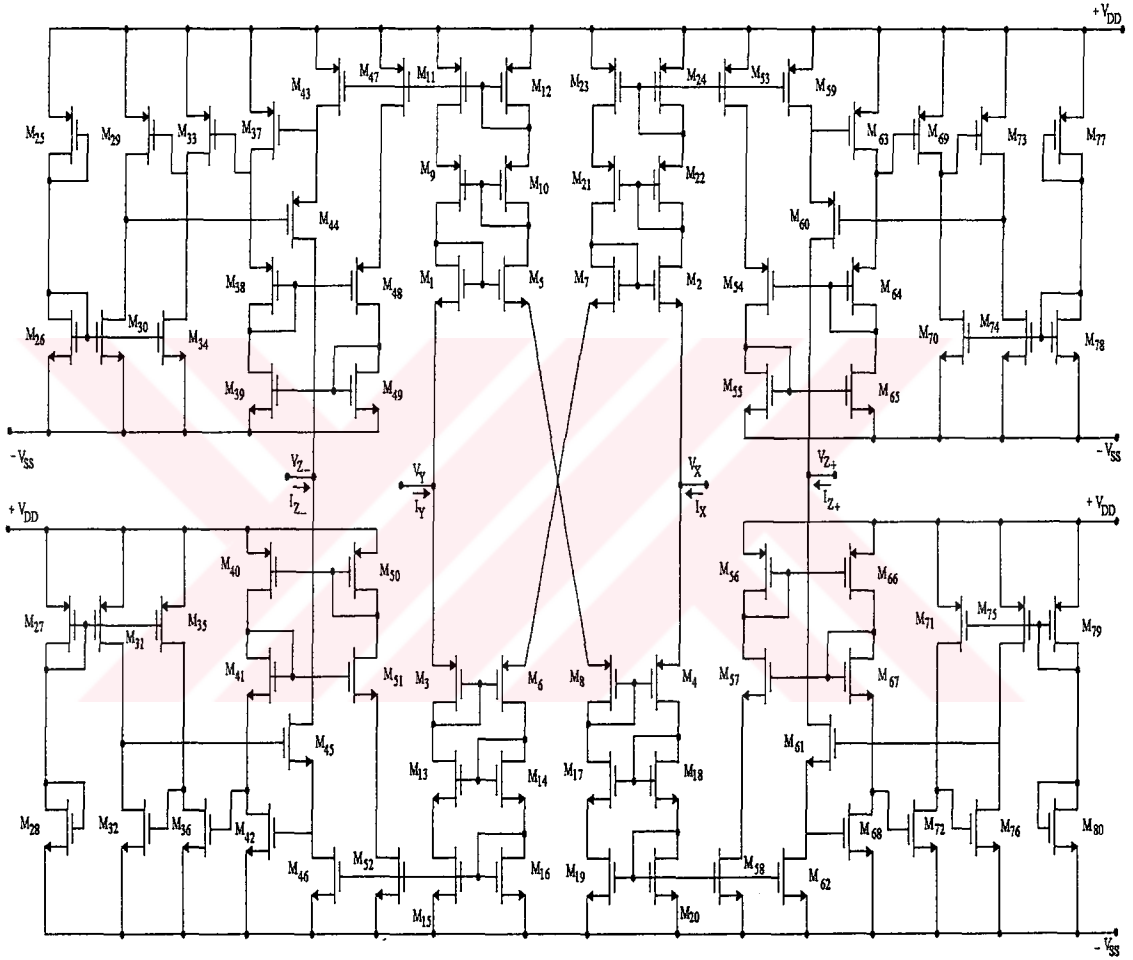
3.5 YÇDAA Kaskod Üçüncü Kuşak Akım Taşıyıcı

Şekil 3.57’de YÇDAA Kaskod üçüncü kuşak akım taşıyıcı devresi gösterilmektedir [14]. YÇDAA çıkış direnci (3.5) ifadesinden de görüldüğü gibi IAFFCM akım aynasından daha yüksek bir değer vermektedir. Ayrıca bu devrede kullanılan akım aynasının giriş ve çıkış akımlarının değerlerinde birbirini oldukça yakındır.

Şekil 3.57’de verilen devrenin çıkış direnci,

$$R_{oz+} \cong \left[\left(\frac{g_{m61}}{g_{d61}} \right) \left(\frac{1}{g_{d62}} \right) \left(\frac{g_{m68}}{g_{d68}} \right) \left(\frac{g_{m72}}{g_{d72}} \right) \left(\frac{g_{m76}}{g_{d76}} \right) \right] // \left[\left(\frac{g_{m60}}{g_{d60}} \right) \left(\frac{1}{g_{d59}} \right) \left(\frac{g_{m63}}{g_{d63}} \right) \left(\frac{g_{m69}}{g_{d69}} \right) \left(\frac{g_{m73}}{g_{d73}} \right) \right] \quad (3.5)$$

bağıntısı ile hesaplanır.

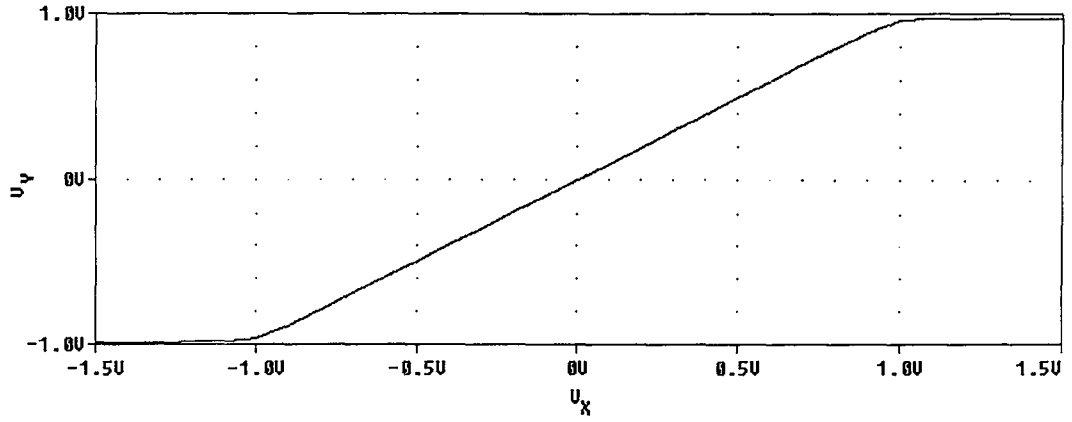


Şekil 3.57 YCDAA Kaskod Üçüncü Kuşak Akım Taşıyıcı.

Bölüm 3.5.1’de gerçekleştirilen DC ve AC karakteristiklerin simülasyon değerlerinin elde edilmesi için kullanılan ölçüm yöntemleri kaskod üçüncü kuşak akım taşıyıcıda her ölçüm sonunda anlatıldığı şekilde uygulanmıştır.

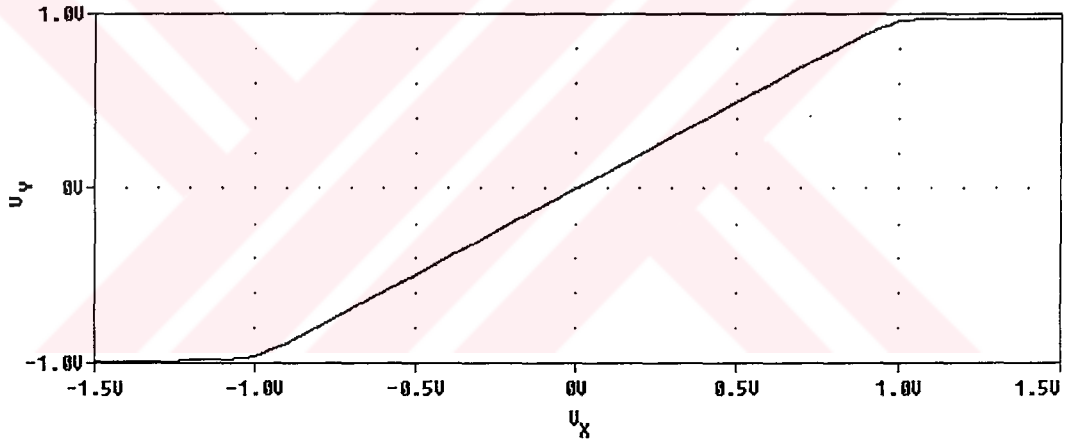
3.5.1 DC Karakteristikleri

Şekil 3.58’de V_X - V_Y karakteristiği gösterilmiştir.



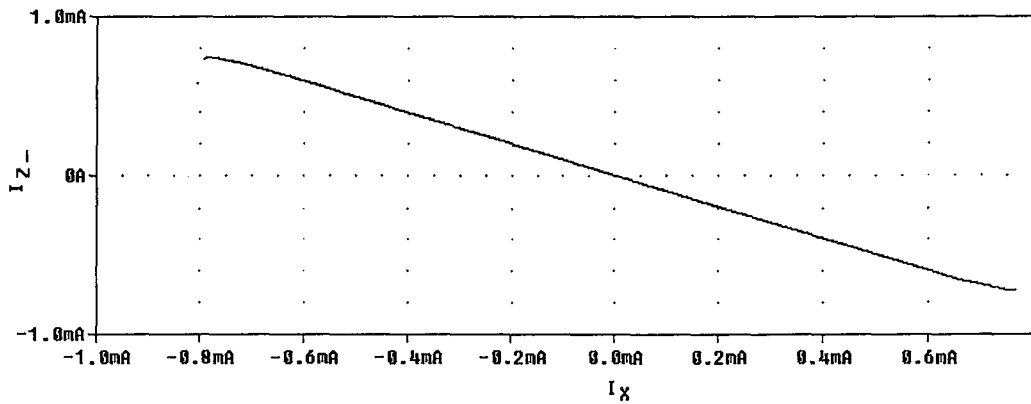
Şekil 3.58 V_X-V_Y DC Karakteristiği.

Bu eğride elde edilen sonuçta V_X-V_Y karakteristiğinin lineerlik bölgesinde kaskod üçüncü kuşak akım taşıyıcıya göre belirgin bir artış sağlanmamasına karşılık V_X 'in V_Y 'yi takip etme toleransında belirgin bir artış gözlenmiştir. V_X-V_Y karakteristiği -1.0V ile 1.0V arasında lineer çalışmaktadır. Şekil 3.59'da I_X-I_Y karakteristiği gösterilmiştir. I_X-I_Y karakteristiği -0.8mA ile 0.75mA arasında lineer çalışmaktadır.



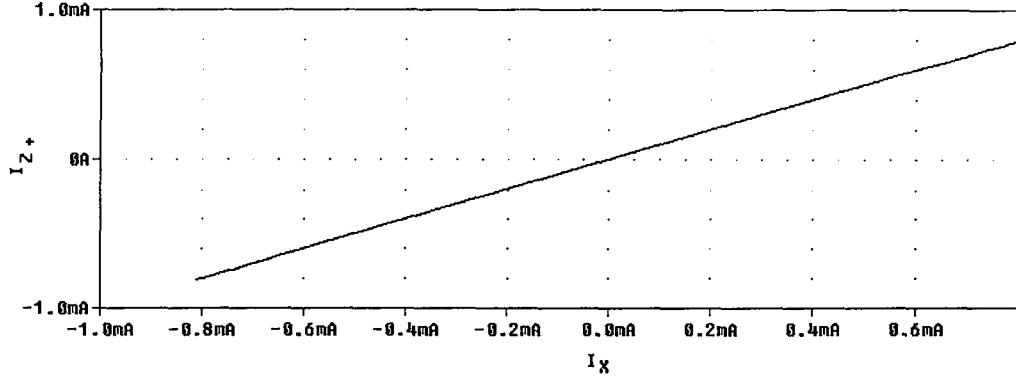
Şekil 3.59 I_X-I_Y DC Karakteristiği.

Şekil 3.60'da I_X-I_Z karakteristiği gösterilmiştir. I_X-I_Z karakteristiği -0.8mA ile 0.75mA arasında lineer çalışmaktadır.



Şekil 3.60 I_X-I_Z DC Karakteristiği.

Şekil 3.61’de I_X-I_{Z+} karakteristiği gösterilmiştir. I_X-I_{Z+} karakteristiği -0.8mA ile 0.75mA arasında lineer çalışmaktadır.

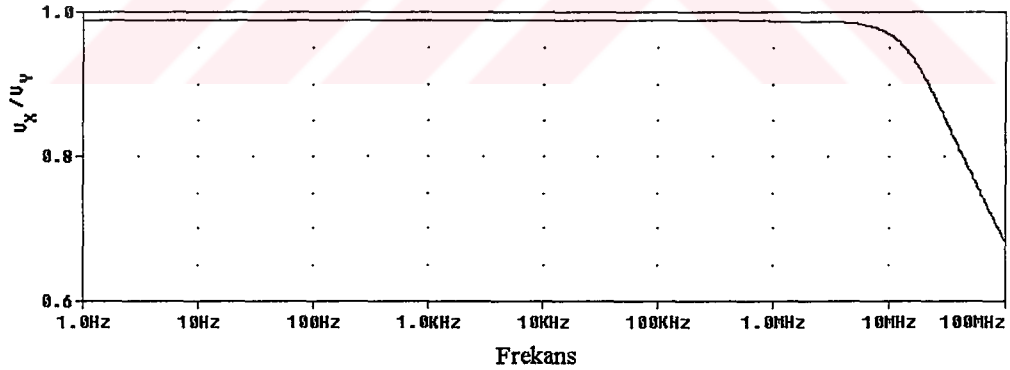


Şekil 3.61 I_X-I_{Z+} DC Karakteristiği.

Şekil 3.59, 3.60 ve 3.61’de elde edilen grafiklerin lineerlik bölgesi, kaskod üçüncü kuşak akım taşıyıcıya oranla daha fazladır.

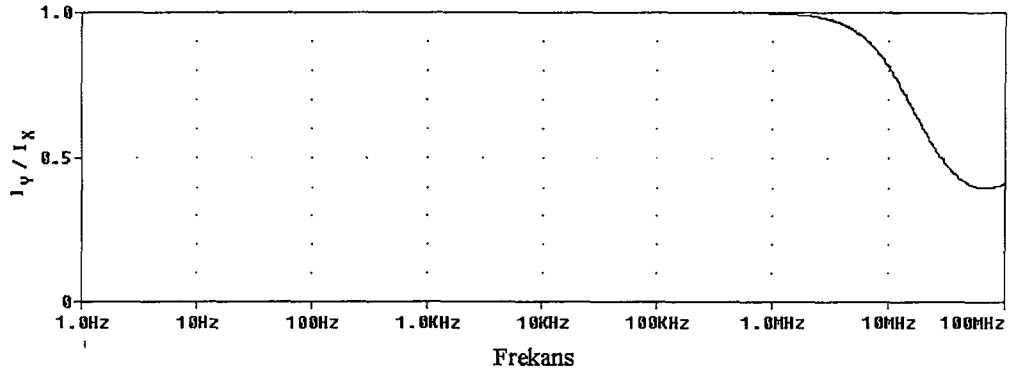
3.5.2 AC Karakteristikleri

Şekil 3.62’de V_X/V_Y frekans karakteristiği gösterilmiştir. V_X/V_Y oranı kaskod akım taşıyıcının frekans karakteristiği karşılaştırıldığında, 10MHz gibi yüksek bir frekanstan sonra 1 değerinin altına düştüğü görülmektedir. Oysaki kaskod akım taşıyıcıda bu değer 1MHz den sonra düşmeye başlamıştır. V_X/V_Y oranının f_{3db} frekansı 90MHz olarak ölçülmüştür.



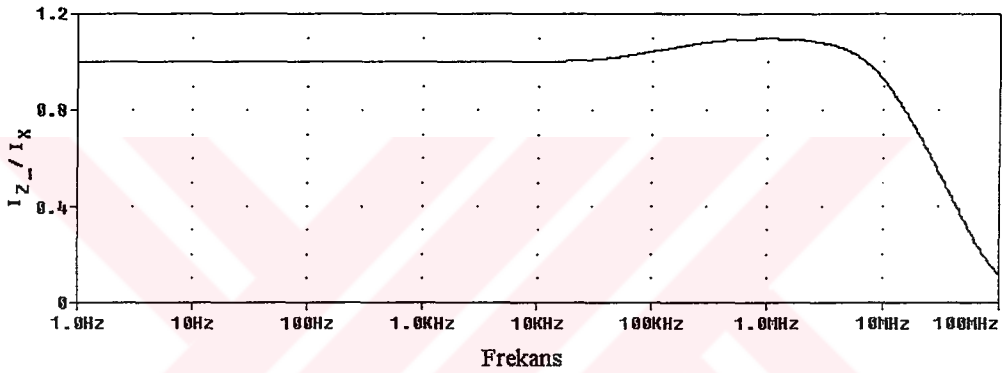
Şekil 3.62 V_X-V_Y Frekans Karakteristiği.

Şekil 3.63’de I_Y/I_X frekans karakteristiği gösterilmiştir. I_Y/I_X frekans karakteristiğinde 1’e çok yakın bir değer elde edilmiştir. I_Y/I_X oranının f_{3db} frekansı 15MHz olarak ölçülmüştür.



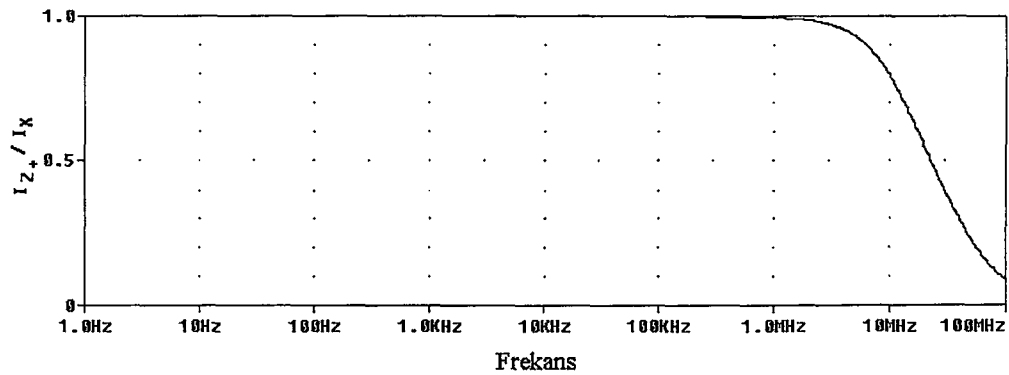
Şekil 3.63 I_X - I_Y Frekans Karakteristiği.

Şekil 3.64'de I_Z/I_X frekans karakteristiği gösterilmiştir. I_Z/I_X frekans karakteristiğinde 1'e çok yakın bir değer elde edilmiştir. I_Z/I_X oranının f_{3db} frekansı 20MHz olarak ölçülmüştür.



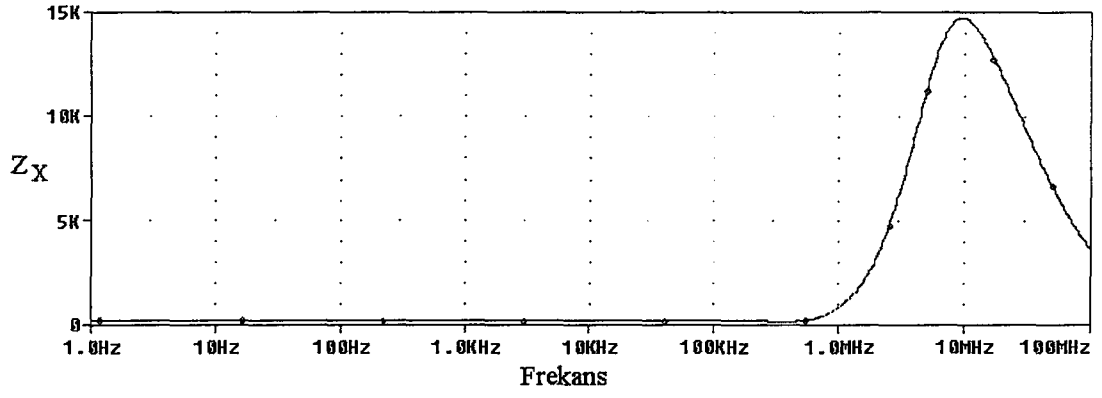
Şekil 3.64 I_X - I_Z Frekans Karakteristiği.

Şekil 3.65'de I_{Z+}/I_X frekans karakteristiği gösterilmiştir. I_{Z+}/I_X frekans karakteristiğinde 1'e çok yakın bir değer elde edilmiştir. I_{Z+}/I_X oranının f_{3db} frekansı 14MHz olarak ölçülmüştür.



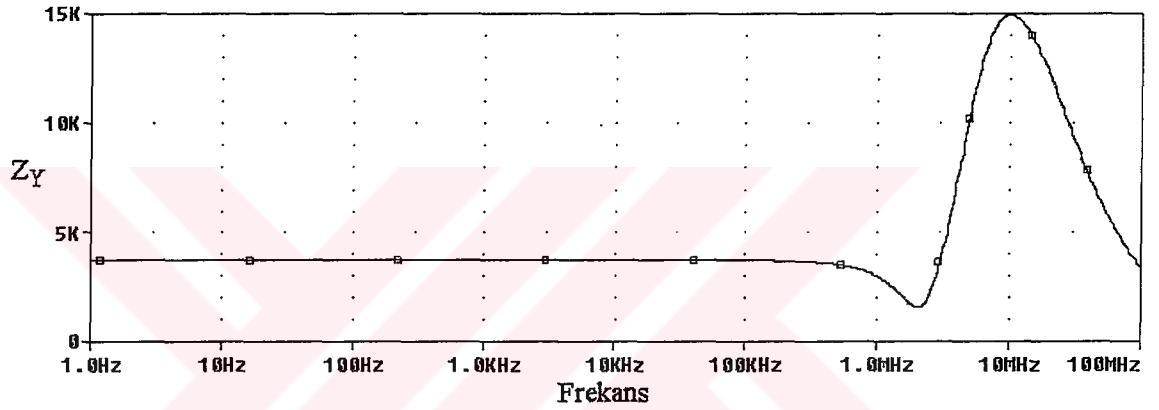
Şekil 3.65 I_X - I_{Z+} Frekans Karakteristiği.

YÇDAA Kaskod üçüncü kuşak akım taşıyıcını X,Y,Z₋ ve Z₊ uçlarından görülen direnç karakteristikleri Şekil 3.66,3.67,3.68 ve 3.69'da verilmiştir.



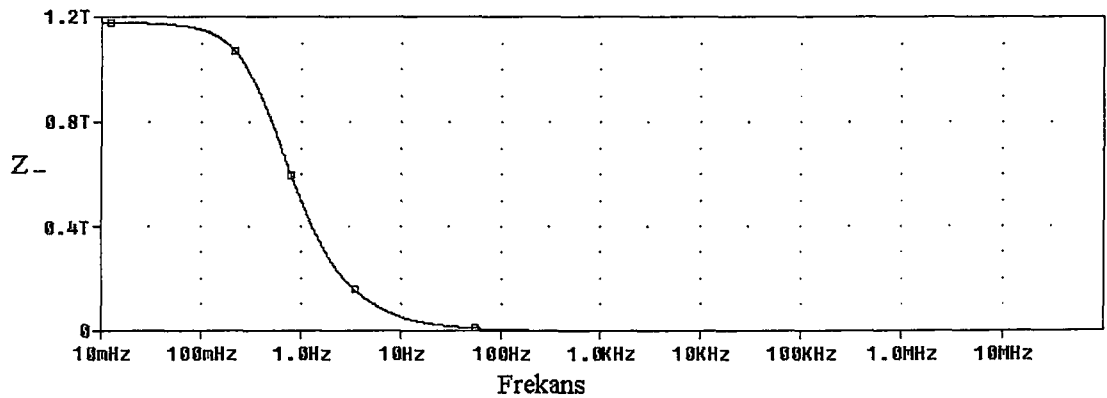
Şekil 3.66 Z_X Empedansı Frekans Karakteristiği.

Şekil 3.66'da Z_X giriş direnci frekans karakteristiği verilmiştir, düşük frekanslarda 200Ω olan giriş direnci 1MHz'den sonra yükselmeye başlamaktadır.



Şekil 3.67 Z_Y Empedansı Frekans Karakteristiği.

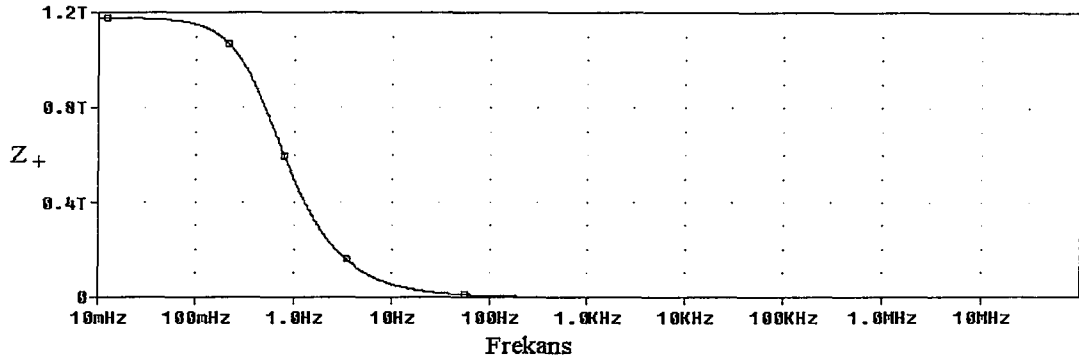
Şekil 3.67'de Z_Y giriş direnci frekans karakteristiği verilmiştir, düşük frekanslarda $3.7k\Omega$ olan giriş direnci 1MHz'den sonra yükselmeye başlamış ve 10MHz'de tepe yaparak düşmeye başlamıştır.



Şekil 3.68 Z_- Empedansı Frekans Karakteristiği.

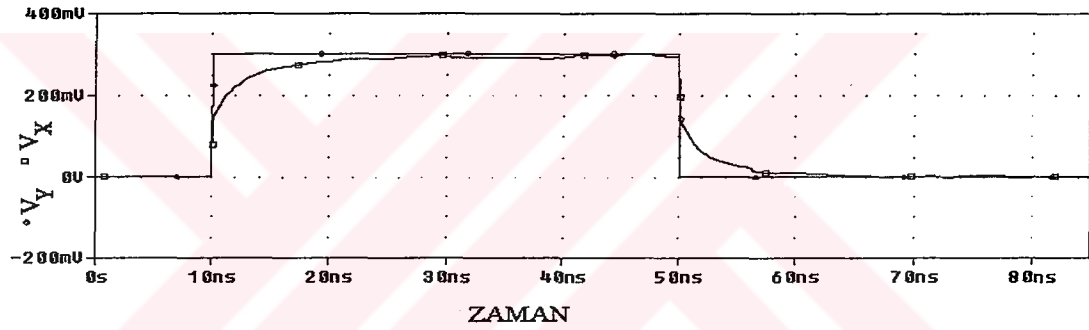
Şekil 3.68'de Z_- çıkış direnci frekans karakteristiği verilmiştir, düşük frekanslarda $1.1T\Omega$ olan giriş direnci 1kHz'den sonra düşmeye başlamaktadır. Burada Z_- çıkış

uçlarında düşük frekanslarda çok yüksek çıkış direnci elde edilmesine rağmen çok yüksek olmayan frekanslarda çıkış direncinde düşme olmuştur.



Şekil 3.69 Z_+ Empedansı Frekans Karakteristiği.

Şekil 3.69'da Z_+ çıkış direnci frekans karakteristiği verilmiştir, düşük frekanslarda $1.1T\Omega$ olan giriş direnci $1kHz$ 'den sonra düşmeye başlamaktadır. Şekil 3.70'de yükselme hızı karakteristiği gösterilmiştir.



Şekil 3.70 Yükselme Hızı Karakteristiği.

Şekil 3.70'de tepe değeri $0.3V$ $16.6MHz$ step fonksiyon girişi için çıkışın girişi $\%0.1$ hata ile yakalaması için geçen süre yükselen kenarda $19ns$ ve düşen kenarda $16ns$ olarak bulunmuştur. Tablo 3.1'de geleneksel üçüncü kuşak akım taşıyıcı devresi ile geliştirilmiş üçüncü kuşak akım taşıyıcı devrelerinin çıkış dirençleri verilmiştir.

Tablo 3.1 Üçüncü Kuşak Akım Taşıyıcı Devreleri Çıkış Dirençleri.

	$Z_x(\Omega)$	$Z_y(\Omega)$	$Z_+(\Omega)$	$Z_-(\Omega)$
Geleneksel CCIII	2.7k	10 k	20k	18k
Kaskod CCIII	150	20k	18M	17M
İyileştirilmiş Wilson CCIII	460	600	22M	15M
Yüksek Salınım Aralıklı CCIII	200	1.5k	90k	90k
İAGKAA-Kaskod CCIII	860	900	6G	6.7G
YÇDAA Kaskod CCIII	200	3.7k	1.1T	7T

Tablo 3.1’de verilmiş olan çıkış ve giriş dirençleri düşük frekanslarda simülasyon sonucu elde edilmiş değerlerdir. Simülasyonda Z_X giriş direnci ölçülürken Z çıkış uçları topraklanmış Y ucu ise açık bırakılmış ve X ucundan 1V sinüs gerilim uygulanmıştır.

Tablo 3.1’deki simülasyon sonuçları da göz önüne alınarak iyileştirilmiş üçüncü kuşak akım taşıyıcı giriş ve çıkış dirençlerinde geleneksel üçüncü kuşak akım taşıyıcı devresine göre iyileşmeler olduğu görülmektedir. Böylece beş adet yüksek başarılı yeni CMOS üçüncü kuşak akım taşıyıcı devrelerinin simülasyon sonuçları incelenmiştir. Dördüncü bölümde kaskod üçüncü kuşak akım taşıyıcı ile gerçekleştirilen filtre devreleri incelenmiştir.



4. ÜÇÜNCÜ KUŞAK AKIM TAŞIYICI İLE FİLTRE TASARIMI

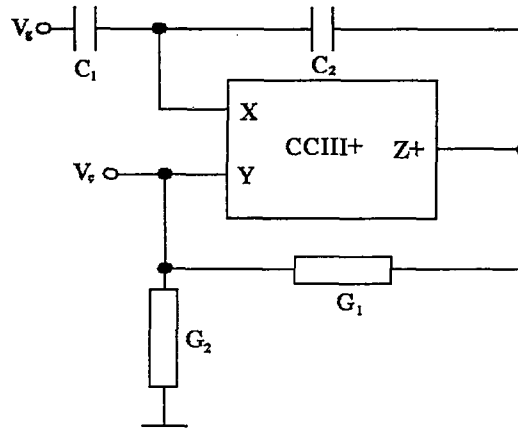
Süzgeç devreleri belirli frekanslardaki işaret bileşenlerini geçiren ve geri kalan frekans aralığındaki işaretleri mümkün olduğu kadar zayıflatan yapılardır [15]. Bu bölümde anlatılan süzgeç yapıları tasarlanırken [16,17] 'den yararlanılmıştır.

4.1 Kullanılan Filtre Yapıları

Bu bölümde verilen süzgeç yapıları bölüm 3'de geliştirilmiş olan kaskod üçüncü kuşak akım taşıyıcı ile gerçekleştirilen alçak geçiren ve yüksek geçiren filtre tasarımlarıdır. Ayrıca birde akım modlu ve gerilim modlu tüm geçiren filtre tasarımı [18] incelenmiştir. Bu Devrelerde kullanılan CCIII proses parametreleri EK A'da verilmiştir.

4.1.1 Yüksek Geçiren Filtre Yapısı

Yüksek geçiren filtre yapıları filtrenin kesim frekansına kadar olan işaretleri geçiren, kesim frekansından düşük frekanslı işaretleri ise olabildiğince zayıflatan devrelerdir. Bu bağlamda Şekil 4.1'de bir adet CCIII devresi, iki kapasite ve iki direnç kullanılarak gerçekleştirilen alçak geçiren filtre yapısı verilmiştir.



Şekil 4.1 Yüksek Geçiren Filtre Devresi.

Devre analizinden transfer fonksiyonu,

$$\frac{V_g}{V_g} = \frac{s^2}{s^2 + 2s \frac{G_2}{C_1} + \frac{G_1 G_2}{C_2 C_1}} \quad (4.1)$$

bulunur.

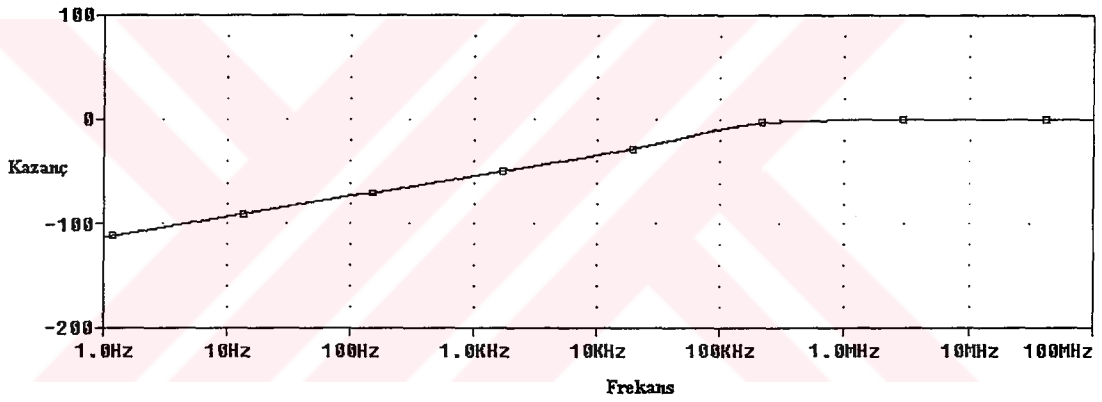
Buradan,

$$\omega_o = \sqrt{\frac{G_1 G_2}{C_1 C_2}} \quad (4.2)$$

$$\frac{\omega_o}{Q} = 2 \frac{G_2}{C_1} \quad (4.3)$$

şeklinde olur.

Şekil 4.1'deki alçak geçiren süzgeç yapısı için $Q = 0.707$, $f_o = 217\text{kHz}$, $C_1 = 10\text{nF}$, $C_2 = 5\text{nF}$, $R_1 = R_2 = 100\Omega$ olarak seçilmiştir. Şekil 4.2'de yüksek geçiren filtre frekans karakteristiği gösterilmiştir.



Şekil 4.2 Yüksek Geçiren Filtre Devresi Frekans Karakteristiği.

4.1.2 Alçak Geçiren Süzgeç Yapısı

Alçak geçiren filtre yapıları filtrenin kesim frekansına kadar olan işaretleri geçiren, kesim frekansından yüksek frekanslı işaretleri ise olabildiğince zayıflatan devrelerdir. Bu bağlamda Şekil 4.3'de bir adet CCIII devresi, iki kapasite ve iki direnç kullanılarak gerçekleştirilen alçak geçiren filtre yapısı verilmiştir. Devre analizinden transfer fonksiyonu,

$$\frac{V_g}{V_g} = \frac{G_1 G_2}{s^2 + 2s \frac{G_2}{C_1} + \frac{G_1 G_2}{C_2 C_1}} \quad (4.4)$$

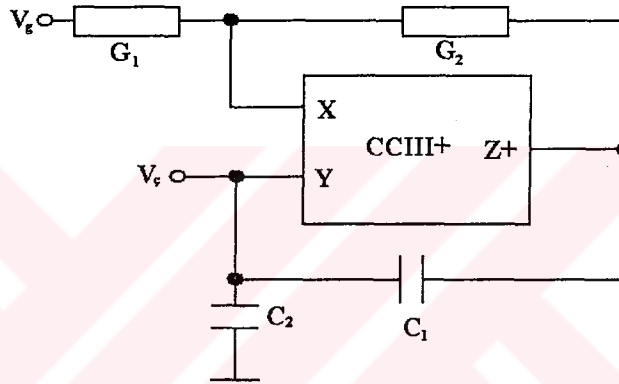
ile verilebilir.

Buradan,

$$\omega_o = \sqrt{\frac{G_1 G_2}{C_1 C_2}} \quad (4.5)$$

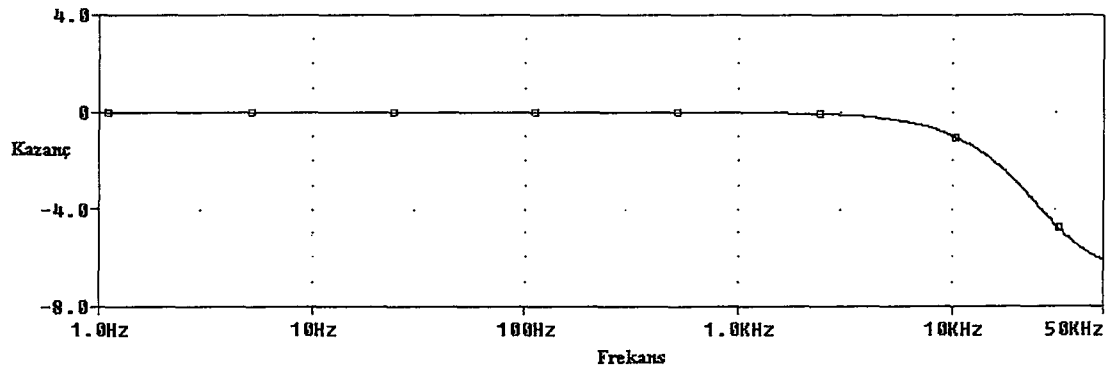
$$\frac{\omega_o}{Q} = 2 \frac{G_2}{C_1} \quad (4.6)$$

şeklinde olur.



Şekil 4.3 Alçak Geçiren Filtre Devresi.

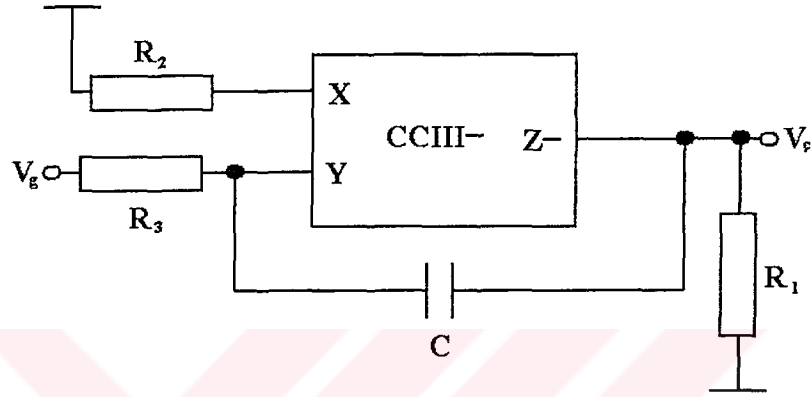
Şekil 4.3'deki alçak geçiren süzgeç yapısı için $Q = 0.707$, $f_o = 22.7\text{kHz}$, $C_1 = 100\text{nF}$, $C_2 = 10\text{nF}$, $R_1 = 500\Omega$ ve $R_2 = 100\Omega$ olarak seçilmiştir. Şekil 4.4'de alçak geçiren filtre frekans karakteristiği gösterilmiştir.



Şekil 4.4 Alçak Geçiren Filtre Frekans Karakteristiği.

4.1.3 Tüm Geçiren Filtre Yapısı

Çalışmanın bu kısmında bölüm 2’de incelenen geleneksel akım taşıyıcı kullanılarak gerçekleştirilen tüm geçiren filtre devresi incelenmiştir [13]. Şekil 4.5’de geleneksel üçüncü kuşak akım taşıyıcı, bir kapasite elemanı ve üç direnç kullanılarak gerçekleştirilen gerilim modlu tüm geçiren filtre yapısı gösterilmiştir. Şekil 4.6’da geleneksel üçüncü kuşak akım taşıyıcı, bir kapasite elemanı ve bir direnç kullanılarak gerçekleştirilen akım modlu tüm geçiren filtre yapısı gösterilmiştir.



Şekil 4.5 Gerilim Modlu Tüm Geçiren Filtre Devresi [13].

Şekil 4.5’de verilen devrenin transfer fonksiyonu hesaplanırsa,

$$\frac{V_g}{V_g} = K \frac{s - \frac{1}{R_1 C}}{s + \frac{a}{R_1 C}} \quad (4.7)$$

olur.

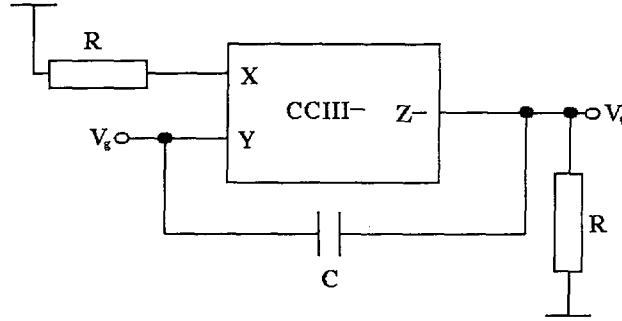
Burada $K = R_2 / (R_2 + R_3)$ ve $a = (R_1 + R_3) / (R_2 + R_3)$. (4.7) ifadesinde verilmiş olan $R_1 = R_2 = R$ alınır, transfer fonksiyonu,

$$\frac{V_g}{V_g} = K \frac{s - \frac{1}{RC}}{s + \frac{1}{RC}} \quad (4.8)$$

şeklini alır.

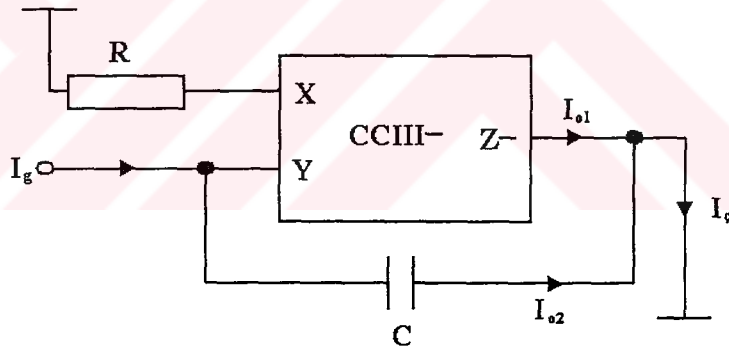
(4.8) ifadesinden verilmiş olan ifadenin şekil 4.5’de verilen devrenin K kazançlı tüm geçiren filtre fonksiyonunu sağladığı görülmektedir.

Diğer bir gerilim modlu tüm geçiren filtre devresi ise $R_3=0$ alınarak elde edilir. Bu durumda gerçekleştirilen devrede iki direnç ve bir kapasite elemanı kullanılmıştır. Filtre kazancı $K=1$ olarak bulunur. Devrenin transfer fonksiyonu (4.8) denkleminde verildiği şekildedir. Şekil 4.6'da gerilim modlu tüm geçiren filtre devresi gösterilmiştir.



Şekil 4.6 Gerilim Modlu Tüm Geçiren Filtre Devresi [13].

Şekil 4.7'de üçüncü kuşak akım taşıyıcı ile gerçekleştirilen akım modlu tüm geçiren filtre gösterilmiştir. Şekil 4.7'deki devre Şekil 4.5'de verilen devrede $R_2=R_2=0$ yapılarak ve giriş ucuna gerilim yerine akım uygulanarak elde edilmiştir.



Şekil 4.7 Akım Modlu Tüm Geçiren Filtre [13].

Şekil 4.7'de gerçekleştirilen devrede bir kapasite elemanı ve bir direnç kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen devrenin transfer fonksiyonu,

$$\frac{I_o}{I_g} = \frac{s - \frac{1}{RC}}{s + \frac{1}{RC}} \quad (4.9)$$

ifadesi ile verilir.

Şekil 4.7'de verilen devre için,

$$\frac{I_{o1}}{I_g} = \frac{-\frac{1}{RC}}{s + \frac{1}{RC}} \quad (4.10)$$

$$\frac{I_{o2}}{I_g} = \frac{s}{s + \frac{1}{RC}} \quad (4.11)$$

denklemleri yazılabilir. Burada (4.10) ifadesi alçak geçiren filtre transfer fonksiyonunu ve (4.11) ifadesi de yüksek geçiren filtre transfer fonksiyonunu göstermektedir. Şekil 4.7'den de görüldüğü gibi $I_\phi = I_{o1} + I_{o2}$ olmaktadır, dolayısıyla devrenin transfer fonksiyonu (4.9) ifadesindeki gibi gösterilmektedir.

Bu bölümde CMOS üçüncü kuşak akım taşıyıcı ile gerçekleştirilmiş filtre tasarımları incelenmiştir.



5. SONUÇLAR

Bu çalışmada geleneksel üçüncü kuşak akım taşıyıcı, geliştirilmiş üçüncü kuşak akım taşıyıcı devreleri ve üçüncü kuşak akım taşıyıcı ile gerçekleştirilen yüksek geçiren, alçak geçiren ve tüm geçiren filtre uygulamaları incelenmiştir.

Akım taşıyıcı birim kazançlı kontrollü kaynaklardan oluşmaktadır. Bu durum, akım taşıyıcının basit ve geniş bantlı bir iç yapıyla gerçekleştirilmesine imkan vermektedir. Bu sayede akım taşıyıcının tanım bağıntıları, işlemsel kuvvetlendiricisinde olduğunun aksine çok büyük gerilim kazançlı devrelere ihtiyaç duymadan gerçekleştirilebilir. Gerçektende işlemsel kuvvetlendiricinin tanım bağıntılarını gerçeklemek için çok yüksek gerilim kazancı sağlayan bloklara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu ise, işlemsel kuvvetlendiricinin kullanıldığı devrelerin kararlılığını sağlamak amacıyla, bu elemanın çalışabildiği frekans bandının sınırlandırılmasını zorunlu kılmaktadır. Ancak akım taşıyıcının tanım bağıntılarını açık çevrimde çalışan düşük kazançlı devre bloklarıyla gerçekleştirmek mümkün olduğundan, bu blokların çalışabildiği frekans bandını özellikle sınırlandırmaya gerek duyulmamaktadır. Bu nedenle, akım taşıyıcı elemanı işlemsel kuvvetlendiriciye göre daha basit ve daha geniş bantlı bir iç yapı ile gerçekleştirilebilmektedir.

Diğer taraftan, birinci ve ikinci kuşak akım taşıyıcılar konusunda da genel bir inceleme yapılmıştır, ayrıca literatürde birinci ve ikinci kuşak akım taşıyıcılar kullanılarak gerçekleştirilmiş bir çok devre bulunmaktadır. Bu devrelerin başında analog devreler ve yüksek başarılı sinyal işleme devreleri gelmektedir. Bu çalışmada gerçekleştirilmiş olan üçüncü kuşak akım taşıyıcı yapıları analog devre tasarımı ve yüksek başarılı sinyal işleme devrelerinin tasarımında büyük fayda sağlayacağı görülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] **Smith K.C. ve Sedra A.S.**, 1968. The current conveyor-a new circuit building block, *IEEE Proc.*, **56**, 1368-1369.
- [2] **Smith K.C. ve Sedra A.S.**, 1970. A Second generation current conveyor and its applications, *IEEE trans.*, **CT-17**, 132-134.
- [3] **Kuntman H.**, 1997. Analog Mos Tümdevre Tekniği, İ.T.Ü Elektrik-Elektronik Fakültesi Matbası, İstanbul.
- [4] **Alves L.N. ve Aguiar R.L.**, 2002. Frequency Behaviour of classical Current Mirrors, *IEEE Proc*, **44**, 189-192.
- [5] **Zeki A. ve Kuntman H.**, 1997. Accurate and high output impedance current mirror suitable for CMOS current output stages, *Electronics Letters*, **33**, 1042-1043.
- [6] **Zeki A. ve Kuntman H.**, 1998. Accurate active feedback CMOS cascode current mirror improved output swing, *Intenational J. Electronics Letters*, **84**, 335-343.
- [7] **Crawley P.J. ve Roberts G. W.**, 1992. High Swing Mos current mirror with arbitrarily high output resistance, *Electronics Letters*, **28**, 361-362.
- [8] **Dişçigil M.**, 2000. İkinci Kuşak Eviren Akım Taşıyıcılarla Tasarlanan Osilatörler, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [9] **Sedra A.S., Roberts G.W. ve Gohh F.**, 1990. The current conveyor: history, progress and new results, *IEE Proc.*, **137**, 78-87.
- [10] **Fabre A.**, 1995. Third-generation current conveyor: a new helpful active element, *Electronics Letters*, **31**, 338-339.
- [11] **Piovaccari A.**, 1995. CMOS integrated thid generation current conveyor, *Electronics Letters*, **31**, 1228-1229.
- [12] **Kuntman H., Çiçekoğlu O. ve Özoğuz S.**, 2002. A modified third generation current conveyor, its characterization and applications, *Frequenz*, **1-2**, 47-54.
- [13] **Minaei S., Yıldız M., Kuntman H. ve Türköz M. S.**, 2002. Yeni Yüksek Başarımli CMOS Üçüncü Kuşak Akım Taşıyıcı (CCIII), *Eleco 2002, Elektrik-Elektronik Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, Bursa*, 108-112.
- [14] **Minaei S., Yıldız M., Kuntman H. ve Türköz M. S.**, 2002. High Performance CMOS Realization of the Third Generation Current Conveyor (CCIII), *45. IEEE MWSCAS, Tulsa, Oklahoma*, **1**, 307-310.
- [15] **Sedra A.S.**, 1998. Microelectronic Circuits, Fourth Edition, New York Oxford University Press, New York.

- [16] **Wang H.Y. ve Lee C.T.**, 2000. Systematic synthesis of R-L and C-D immittances using single CCIII, *International. J. Electronics*, **87**, 293-301.
- [17] **Horng J.W, Weng R., Lee M.H. ve Chang C.W.**, 1997. Universal active current filter using two multiple current output OTAs and one CCIII, *INT. J. Electronics*, **82**, 241-247.
- [18] **Maheshwari S. ve Khan I.A.**, 2001. Novel first order all-pass sections using a single CCIII, *International. J. Electronics*, **88**, 773-778.



EK A

1.2 micron MIETEC parametreleri.

NMOS Parametreleri

LEVEL=2 UO=515 VTO=0.736 NFS=0.452E12 TOX=23.8E-9 NSUB=3.33E16
UCRIT=28.7E4 UEXP=0.251 VMAX=77.3E3 RSH=25.5 XJ=175E-9 LD=50E-9
DELTA=0 PB=0.96 JS=10E-6 NEFF=5.25 CJ=360E-6 MJ=430E-3 CJSW=2.5E-10
MJSW=0.190 CGSO=290E-12 CGDO=290E-12 CGBO=170E-12 KF=0.101E-25
AF=1.33 WD=0.398E-6

PMOS Parametreleri

LEVEL=2 UO=175 VTO=-0.751 NFS=1.3E12 TOX=23.8E-9 NSUB=1.8E16
UCRIT=21.6E4 UEXP=0.268 VMAX=54E3 RSH=46 XJ=56E-9 LD=43E-9
DELTA=0.798 PB=0.97 JS=20E-6 NEFF=3.09 CJ=340E-6 MJ=0.530 CJSW=2.2E-
10 MJSW=0.2 CGSO=290E-12 CGDO=290E-12 CGBO=170E-12 KF=0.390E-27
AF=1.29 WD=0.448E-6

EK B

SPICE DEVRE SİMÜLASYON KODLARI

1.Geleneksel Üçüncü Kuşak Akım Taşıyıcı Devresi

M1 3 3 4 4 MN W=240U L=2.4U
M2 5 5 4 4 MP W=720U L=2.4U
M3 2 3 9 9 MN W=240U L=2.4U
M4 6 5 10 10 MP W=720U L=2.4U
M5 3 2 1 1 MP W=720U L=2.4U
M6 5 6 8 8 MN W=240U L=2.4U
M7 2 2 1 1 MP W=720U L=2.4U
M8 6 6 8 8 MN W=240U L=2.4U
M9 11 11 10 10 MN W=240U L=2.4U
M10 14 14 9 9 MP W=720U L=2.4U
M11 12 11 13 13 MN W=240U L=2.4U
M12 15 14 13 13 MP W=720U L=2.4U
M13 11 12 1 1 MP W=720U L=2.4U
M14 14 15 8 8 MN W=240U L=2.4U
M15 12 12 1 1 MP W=720U L=2.4U
M16 15 15 8 8 MN W=240U L=2.4U
M21 16 12 1 1 MP W=720U L=2.4U
M22 16 15 8 8 MN W=240U L=2.4U
M23 7 2 1 1 MP W=720U L=2.4U
M24 7 6 8 8 MN W=240U L=2.4U

2.Kaskod Üçüncü Kuşak Akım Taşıyıcı Devresi

M1 8 12 3 3 MN W=240U L=2.4U
M2 12 12 3 3 MN W=240U L=2.4U
M3 7 11 8 8 MN W=240U L=2.4U
M4 11 11 12 12 MN W=240U L=2.4U
M5 7 7 6 6 MP W=720U L=2.4U
M6 11 7 14 14 MP W=720U L=2.4U
M7 5 5 6 6 MN W=240U L=2.4U
M8 10 5 13 13 MN W=240U L=2.4U
M9 5 10 4 4 MP W=720U L=2.4U
M10 10 10 9 9 MP W=720U L=2.4U
M11 4 9 1 1 MP W=720U L=2.4U
M12 9 9 1 1 MP W=720U L=2.4U
M13 18 22 3 3 MN W=240U L=2.4U
M14 22 22 3 3 MN W=240U L=2.4U
M15 17 21 18 18 MN W=240U L=2.4U
M16 21 21 22 18 MN W=240U L=2.4U
M17 17 17 13 13 MP W=720U L=2.4U
M18 21 17 23 23 MP W=720U L=2.4U

M19 16 16 14 14 MN W=240U L=2.4U
M20 20 16 23 23 MN W=240U L=2.4U
M21 16 20 15 15 MP W=720U L=2.4U
M22 20 20 19 19 MP W=720U L=2.4U
M23 15 19 1 1 MP W=720U L=2.4U
M24 19 19 1 1 MP W=720U L=2.4U
M25 26 19 1 1 MP W=720U L=2.4U
M26 27 22 3 3 MN W=240U L=2.4U
M27 60 12 3 3 MN W=240U L=2.4U
M28 50 9 1 1 MP W=720U L=2.4U
M29 24 20 26 26 MP W=720U L=2.4U
M30 24 21 27 27 MN W=240U L=2.4U
M31 2 10 50 50 MP W=720U L=2.4U
M32 2 11 60 60 MN W=240U L=2.4U

3.İyileştirilmiş Wilson Üçüncü Kuşak Akım Taşıyıcı Devresi

M1 12 12 3 3 MN W=240U L=2.4U
M2 8 12 3 3 MN W=240U L=2.4U
M3 7 11 12 12 MN W=240U L=2.4U
M4 11 11 8 8 MN W=240U L=2.4U
M5 7 7 6 6 MP W=720U L=2.4U
M6 11 7 14 14 MP W=720U L=2.4U
M7 5 5 6 6 MN W=240U L=2.4U
M8 10 5 13 13 MN W=240U L=2.4U
M9 5 10 9 9 MP W=720U L=2.4U
M10 10 10 4 4 MP W=720U L=2.4U
M11 9 9 1 1 MP W=720U L=2.4U
M12 4 9 1 1 MP W=720U L=2.4U
M13 22 22 3 3 MN W=240U L=2.4U
M14 18 22 3 3 MN W=240U L=2.4U
M15 17 21 22 22 MN W=240U L=2.4U
M16 21 21 18 18 MN W=240U L=2.4U
M17 17 17 13 13 MP W=720U L=2.4U
M18 21 17 23 23 MP W=720U L=2.4U
M19 16 16 14 14 MN W=240U L=2.4U
M20 20 16 23 23 MN W=240U L=2.4U
M21 16 20 19 19 MP W=720U L=2.4U
M22 20 20 15 15 MP W=720U L=2.4U
M23 19 19 1 1 MP W=720U L=2.4U
M24 15 19 1 1 MP W=720U L=2.4U
M25 26 19 1 1 MP W=720U L=2.4U
M26 27 22 3 3 MN W=240U L=2.4U
M27 60 12 3 3 MN W=240U L=2.4U
M28 50 9 1 1 MP W=720U L=2.4U
M29 24 20 26 26 MP W=720U L=2.4U
M30 24 21 27 27 MN W=240U L=2.4U
M31 2 10 50 50 MP W=720U L=2.4U
M32 2 11 60 60 MN W=240U L=2.4U

4.Yüksek Salınım Aralıklı Kaskod Üçüncü Kuşak Akım Taşıyıcı Devresi

M1 3 2 1 1 MP W=720U L=2.4U
M2 5 4 3 3 MP W=720U L=2.4U
M3 5 6 7 7 MN W=240U L=2.4U
M4 7 14 8 8 MN W=240U L=2.4U
M5 9 2 1 1 MP W=720U L=2.4U
M6 10 4 9 9 MP W=720U L=2.4U
M7 10 10 11 11 MN W=240U L=2.4U
M8 12 12 11 11 MP W=720U L=2.4U
M9 12 6 13 13 MN W=240U L=2.4U
M10 13 14 8 8 MN W=240U L=2.4U
M11 15 2 1 1 MP W=720U L=2.4U
M12 2 4 15 15 MP W=720U L=2.4U
M13 2 10 16 16 MN W=240U L=2.4U
M14 14 12 17 17 MP W=720U L=2.4U
M15 14 6 18 18 MN W=240U L=2.4U
M16 18 14 8 8 MN W=240U L=2.4U
M17 4 4 1 1 MP W=720U L=2.4U
M18 6 6 8 8 MN W=240U L=2.4U
M19 19 19 1 1 MP W=720U L=2.4U
M20 20 20 8 8 MN W=240U L=2.4U
M21 22 21 1 1 MP W=720U L=2.4U
M22 23 19 22 22 MP W=720U L=2.4U
M23 23 23 17 17 MN W=240U L=2.4U
M24 24 24 16 16 MP W=720U L=2.4U
M25 24 20 25 25 MN W=240U L=2.4U
M26 25 28 8 8 MN W=240U L=2.4U
M27 26 21 1 1 MP W=720U L=2.4U
M28 21 19 26 26 MP W=720U L=2.4U
M29 21 23 27 27 MN W=240U L=2.4U
M30 28 24 27 27 MP W=720U L=2.4U
M31 28 20 29 29 MN W=240U L=2.4U
M32 29 28 8 8 MN W=240U L=2.4U
M33 30 21 1 1 MP W=720U L=2.4U
M34 31 19 30 30 MP W=720U L=2.4U
M35 31 20 32 32 MN W=240U L=2.4U
M36 32 28 8 8 MN W=240U L=2.4U

5. İAGKAA Kaskod Üçüncü Kuşak Akım Taşıyıcı Devresi

M1 22 9 8 8 MN W=240U L=2.4U
M2 9 9 8 8 MN W=240U L=2.4U
M3 20 21 22 22 MN W=240U L=2.4U
M4 21 21 9 9 MN W=240U L=2.4U
M5 20 20 19 19 MP W=720U L=2.4U
M6 21 20 24 24 MP W=720U L=2.4U
M7 18 18 19 19 MN W=240U L=2.4U
M8 17 18 23 23 MN W=240U L=2.4U
M9 18 17 16 16 MP W=720U L=2.4U

M10 17 17 2 2 MP W=720U L=2.4U
M11 16 2 1 1 MP W=720U L=2.4U
M12 2 2 1 1 MP W=720U L=2.4U
M13 32 33 8 8 MN W=240U L=2.4U
M14 33 33 8 8 MN W=240U L=2.4U
M15 30 31 32 32 MN W=240U L=2.4U
M16 31 31 33 33 MN W=240U L=2.4U
M17 30 30 23 23 MP W=720U L=2.4U
M18 31 30 45 45 MP W=720U L=2.4U
M19 29 29 24 24 MN W=480U L=2.4U
M20 28 29 45 45 MN W=240U L=2.4U
M21 29 28 27 27 MP W=720U L=2.4U
M22 28 28 26 26 MP W=720U L=2.4U
M23 27 26 1 1 MP W=720U L=2.4U
M24 26 26 1 1 MP W=720U L=2.4U
M25 3 2 1 1 MP W=720U L=2.4U
M26 5 4 3 3 MP W=720U L=2.4U
M27 5 6 7 7 MN W=240U L=2.4U
M28 7 9 8 8 MN W=240U L=2.4U
M29 10 3 1 1 MP W=720U L=2.4U
M30 4 4 10 10 MP W=720U L=2.4U
M31 4 11 8 8 MN W=240U L=2.4U
M32 6 6 13 13 MN W=240U L=2.4U
M33 13 7 8 8 MN W=240U L=2.4U
M34 14 2 1 1 MP W=720U L=2.4U
M35 11 4 14 14 MP W=720U L=2.4U
M36 11 11 8 8 MN W=240U L=2.4U
M37 12 12 1 1 MP W=720U L=2.4U
M38 12 6 15 15 MN W=240U L=2.4U
M39 15 9 8 8 MN W=240U L=2.4U
M40 6 12 1 1 MP W=720U L=2.4U
M41 34 26 1 1 MP W=720U L=2.4U
M42 36 35 34 34 MP W=720U L=2.4U
M43 36 36 8 8 MN W=240U L=2.4U
M44 37 37 1 1 MP W=720U L=2.4U
M45 37 38 39 39 MN W=240U L=2.4U
M46 39 33 8 8 MN W=240U L=2.4U
M47 41 40 1 1 MP W=720U L=2.4U
M48 35 35 41 41 MP W=720U L=2.4U
M49 35 36 8 8 MN W=240U L=2.4U
M50 38 37 1 1 MP W=720U L=2.4U
M51 38 38 42 42 MN W=240U L=2.4U
M52 42 44 8 8 MN W=240U L=2.4U
M53 40 26 1 1 MP W=720U L=2.4U
M54 43 35 40 40 MP W=720U L=2.4U
M55 43 38 44 44 MN W=240U L=2.4U
M56 44 33 8 8 MN W=240U L=2.4U

ÖZGEÇMİŞ

Merih Yıldız 1978 Zonguldak doğumlu. Lise eğitimini Kadıköy Anadolu Lisesinde tamamlamıştır. 2000 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümünden mezun olmuştur. 2000-2001 yılları arasında Nortel Networks Netaş firmasında saha destek mühendisi olarak çalışmıştır. 2001 yılından beri Doğuş Üniversitesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümünde araştırma görevlisi olarak çalışmaya devam etmektedir.



T.C. YÜCEERİŞİM KURULU
DOKÜMANETASYON