

YENİ FTFN YAPILARI VE UYGULAMALARI

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Müh. Mustafa SAYGINER
(504041216)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 22 Aralık 2006
Tezin Savunulduğu Tarih : 30 Ocak 2007**

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Hakan KUNTMAN

Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Ali ZEKİ

Doç.Dr. Oğuzhan ÇİÇEKOĞLU (B.Ü.)

OCAK 2007

ÖNSÖZ

Bu yüksek lisans çalışmasında danışmanım olarak bana yol gösteren, akademik çalışmalarımı sürekli daha ileriye götürmem konusunda destek veren değerli hocam Prof. Dr. Hakan KUNTMAN'a ve lisans ve yüksek lisans eğitimimde emeği geçen tüm hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Her zaman maddi ve manevi destekleriyle yanımda olan aileme ve tüm sevdiklerime de şükranlarımı sunarım.

Ocak 2007

Mustafa SAYGINER

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	ivii
ÖZET	x
SUMMARY	xii
1. GİRİŞ	1
1.1 Akım Modlu Çalışma	2
1.2 Akım Modlu Çalışma İle Daha Geniş Band Genişliği	2
1.3 Akım Modlu Çalışmada Daha Düşük Besleme Gerilimi Kullanımı	3
1.4 Akım Modlu Devrelerde Doğrusallık ve Dinamik Çalışma Aralığı	3
1.5 Akım Modlu Yapıların Topolojik Basitliği	4
2. EVRENSEL AKTİF ELEMAN	5
2.1 Nulör Kavramı ve Evrensel Aktif Eleman	5
2.2 Evrensel İşlemsel Kuvvetlendiriciler	7
2.3 Evrensel İşlemsel Kuvvetlendiricilerin Nulör Eşdeğerleri	9
3. DÖRT UÇLU YÜZEN NULÖR (FTFN) ELEMANI	11
3.1 Dört Uçlu Yüzen Nulör Elemanı ve Uç Denklemleri	11
3.2 FTFN Gerçekleştirme Yöntemleri	13
3.2.1 Akım Taşıyıcılarla FTFN Gerçekleştirilmesi	13
3.2.2 İşlemsel Kuvvetlendirici ve Akım Aynaları Kullanılarak FTFN Gerçekleştirilmesi	14
3.2.3 Tümdevre Yapısıyla FTFN Gerçekleştirilmesi	15
4. YÜKSEK PERFORMANSLI YENİ CMOS FTFN YAPILARI	16
4.1 Yüksek Geçiş İletkenli Yeni Bir CMOS FTFN Gerçeklemesi	16
4.2 Yüksek Geçiş İletkenli Yeni Bir CMOS FTFN Gerçeklemesi İçin SPICE Benzetim Sonuçları	18
4.3 Basit Yapılı Bir CMOS FTFN Gerçeklemesi	22
4.4 Basit Yapılı CMOS FTFN Gerçeklemesi SPICE Benzetim Sonuçları	24
5. UYGULAMA DEVRELERİ	28
5.1 Bitişik Dönüşüm Yöntemiyle Gerilim Modlu Yapıların Akım Modlu Karşılıklarının Bulunması	28
5.2 Birinci Dereceden Tüm Geçiren Süzgeç Uygulaması	29
5.3 Topraklanmış Endüktans Ve Kapasite Çarpma Devresi	35
5.4 3. Dereceden Chebyshev Yüksek Geçiren Süzgeç Uygulaması	35
5.5 Tek Aktif Elemanlı Akım Modlu 4. Dereceden Alçak Geçiren Filtre Uygulaması	43
5.6 Video Bandı Uygulamaları İçin 4. Dereceden Akım Modlu Alçak Geçiren Eliptik Süzgeç Gerçeklemesi	46

6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	52
KAYNAKLAR	53
ÖZGEÇMİŞ	57

KISALTMALAR

FTFN	: Four Terminal Floating Nullor
OTA	: Operational Transconductance Amplifier
CCII	: Second Generation Current Conveyor
OFA	: Operational Floating Amplifier
COA	: Current Operational Amplifier
OPAMP	: Operational Amplifier
SPICE	: Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis
SCSM	: Supply Current Sensing Method
ITU	: International Telecommunication Union
OMA	: Operational Mirrored Amplifier
OTRA	: Operational Transresistance Amplifier
CFB	: Current Feedback
OFC	: Operational Floating Conveyor
CMOS	: Complementary Metal-Oxide Semiconductor
AC	: Alternative Current
DC	: Direct Current
AGS	: Alçak Geçiren Süzgeç
BGS	: Band Geçiren Süzgeç
YGS	: Yüksek Geçiren Süzgeç

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1 Dokuz evrensel işlemsel kuvvetlendirici	8
Tablo 4.1 Yüksek başarımlı CMOS FTFN için tranzistor boyutları.....	18
Tablo 4.2 Yüksek g_m Değerli FTFN İçin Başarım Parametreleri.....	22
Tablo 4.3 Basit CMOS FTFN yapısında kullanılan tranzistor boyutları	23
Tablo 4.4 Basit CMOS FTFN Yapısı için başarım parametreleri.....	26
Tablo 5.1 3. dereceden Chebyshev süzgeç pasif eleman değerleri.....	40
Tablo 5.2 3. dereceden Chebyshev süzgeç için benzetimde kullanılan pasif eleman değerleri.....	42
Tablo 5.3 4. dereceden alçak geçiren süzgeç için kullanılan pasif eleman değerleri	44

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1	: İki kapılı yapı.....	6
Şekil 2.2	: Nulör yapısı.....	6
Şekil 2.3	: Dokuz işlemsel kuvvetlendiriciye ilişkin sembolik gösterim.....	9
Şekil 2.4	: İşlemsel kuvvetlendirici (OPAMP) nulör eşdeğeri.....	10
Şekil 2.5	: Akım taşıyıcı (CCII-) nulör eşdeğeri	10
Şekil 2.6	: OTA nulör eşdeğeri.....	10
Şekil 3.1	: FTFN elemanı sembolik gösterimi.....	11
Şekil 3.2	: FTFN nulör eşdeğeri.....	12
Şekil 3.3	: Akım taşıyıcılar kullanarak FTFN gerçekleştirilmesi.....	13
Şekil 3.4	: İki adet AD844 elemanı kullanılarak FTFN elde edilmesi.....	14
Şekil 3.5	: Besleme akımı algılama yöntemiyle FTFN oluşturulması.....	14
Şekil 4.1	: Yüksek geçiş iletkenliği için önerilen yapı.....	16
Şekil 4.2	: Gerçekleştirilen yüksek geçiş iletkenli CMOS FTFN yapısı.....	17
Şekil 4.3	: Yapıya ilişkin DC geçiş karakteristiği.....	19
Şekil 4.4	: CMOS FTFN yapısına ilişkin gm-frekans ilişkisi.....	19
Şekil 4.5	: W ucu çıkış empedansı.....	20
Şekil 4.6	: Z ucu çıkış empedansı.....	21
Şekil 4.7	: Basit CMOS FTFN gerçekleştirilmesi.....	22
Şekil 4.8	: Basit CMOS FTFN yapısına ait geçiş iletkenliği – frekans karakteristiği.....	25
Şekil 4.9	: Basit CMOS FTFN yapısına ait DC geçiş karakteristiği.....	25
Şekil 4.10	: Basit CMOS FTFN yapısına ait Z ucu çıkış empedansı.....	27
Şekil 4.11	: Basit CMOS FTFN yapısına ait W ucu çıkış empedansı.....	27
Şekil 5.1	: Önerilen birinci dereceden tüm geçiren süzgeç yapısı.....	29
Şekil 5.2	: Önerilen birinci tip tüm geçiren süzgeç için ideal, benzetim ve gerçek ölçme cevapları.....	32
Şekil 5.3	: Önerilen ikinci tip tüm geçiren süzgeç için ideal, benzetim ve gerçek ölçme cevapları.....	33
Şekil 5.4	: Birinci tip tüm geçiren süzgeç yapısına ilişkin 10 Hz giriş işareti ve çıkış işareti osiloskop görüntüsü.....	34
Şekil 5.5	: Birinci tip tüm geçiren süzgeç yapısına ilişkin 5.5 MHz giriş işareti ve çıkış işareti osiloskop görüntüsü.....	34
Şekil 5.6	: 18 KHz’de 90 Derecelik Faz Kaymaları İçin Deneysel Olarak Gözlenen Toplam Harmonik Distorsiyon Değerleri	35
Şekil 5.7	: Topraklanmış endüktans ve kapasite çarpma devresi için sembolik gösterim.....	36
Şekil 5.8	: Topraklanmış endüktans ve kapasite çarpma devresi önerilen yapı.....	36

Şekil 5.9	: Topraklanmış endüktans yapısına ilişkin elde edilebilen 10 μ H, 1 μ H ve 100nH endüktans değerleri ve frekans davranışları.....	38
Şekil 5.10	: Kapasite çarpma yapısına ilişkin başarımlar.....	39
Şekil 5.11	: 3. dereceden Chebyshev yüksek geçiren süzgeç uygulaması için temel RLC yapısı.....	40
Şekil 5.12	: 3. dereceden Chebyshev yüksek geçiren süzgeç FTFN uygulaması.....	41
Şekil 5.13	: 3. dereceden Chebyshev yüksek geçiren süzgeç için başarımın ideal ve benzetim ile karşılaştırılması.....	41
Şekil 5.14	: 3. dereceden Chebyshev yüksek geçiren süzgeç için 10 MHz giriş işareti ve çıkış işareti.....	43
Şekil 5.15	: 4. dereceden gerilim modlu tek aktif elemanlı alçak geçiren süzgeç yapısı.....	44
Şekil 5.16	: Akım modlu 4. dereceden alçak geçiren süzgeç.....	45
Şekil 5.17	: Akım modlu 4. dereceden alçak geçiren süzgeç için başarımlar.....	46
Şekil 5.18	: Akım Modlu 4. Dereceden Eliptik Süzgeç Yapısı.....	46
Şekil 5.19	: Akım Modlu 2. Dereceden Çentik Süzgeç Yapısı.....	47
Şekil 5.20	: Akım Modlu 2. Dereceden Çentik Süzgeç Karakteristiği	48
Şekil 5.21	: Akım Modlu 2. Dereceden Alçak Geçiren Süzgeç Yapısı	48
Şekil 5.22	: Akım Modlu 2. Dereceden Alçak Geçiren Süzgeç Karakteristiği	49
Şekil 5.23	: Akım Modlu 4. Dereceden Alçak Geçiren Eliptik Süzgeç Frekans Karakteristiği.....	49
Şekil 5.24	: Akım Modlu 4. Dereceden Alçak Geçiren Eliptik Süzgeç Faz Karakteristiği	50
Şekil 5.25	: 4. Dereceden Alçak Geçiren Eliptik Süzgeç Grup Gecikmesi- Frekans Karakteristiği	51
Şekil 5.26	: Süzgeç İçin Büyük İşaret Davranışı	51

SEMBOL LİSTESİ

$R_1, R_2, R_3, \dots$	: Dirençler
$C_1, C_2, C_3, \dots$	: Kapasite
f_o	: Kesim frekansı
i	: Akım
v	: Gerilim
t	: Zaman
$M_1, M_2, M_3, \dots$	: Tranzistorlar
V_{DD}, V_{SS}	: Besleme gerilimleri
V_o	: Çıkış gerilimi
A_v	: Açık çevrim gerilim kazancı
A_i	: Açık çevrim akım kazancı
g_m	: Geçiş iletkenliği
r_m	: Geçiş direnci
R_{in}	: Giriş direnci
r_o	: Çıkış direnci
W	: Tranzistor kanal genişliği
L	: Tranzistor kanal boyu
V_{En}	: Early gerilimi
β	: Akım kazancı
α	: Gerilim kazancı
ε_v	: Gerilim izleme hatası
ε_i	: Akım izleme hatası
μ	: mikrometre ($\times 10^{-6}$ m)

YENİ FTFN YAPILARI VE UYGULAMALARI

ÖZET

Aktif devre sentezi üzerine yapılan çalışmalar, gelişen teknolojiyle beraber evrensel aktif elemanların tümleştirilmesi sonucunda oldukça hız kazanmıştır. Gene günümüzde akım modlu yapılara duyulan ilgi, kullanılan aktif elemanların akım modlu çalışmaya uygun yapıda olmasını gerekli kılmıştır.

Bu tez kapsamında, dört uçlu yüzen nulör olarak isimlendirilen FTFN elemanına ilişkin tümleştirilebilir CMOS iç yapıları, literatürde bulunan yapıların çok üzerinde yüksek geçiş iletkenliği gösterecek şekilde tasarlanmış, devrelerin başarımları SPICE benzetim ortamında gösterilmiştir.

Gene FTFN elemanı uygulamaları üzerine bir takım çalışmalar gerçekleştirilmiştir. FTFN elemanı kullanılarak gerçekleştirilebilen birinci dereceden tüm geçiren süzgeç yapısı gerçek ölçme sonuçlarıyla beraber tanıtılmış, topraklanmış endüktans ve kapasite çarpma devreleri aynı topolojik yaklaşımda elde edilmiştir. Üçüncü dereceden yüksek geçiren Chebyshev tipi bir süzgeç yapısında da önerilen topraklanmış endüktans yapısı için başarımlar gösterilmiştir.

Devre sentezi açısından gerilim modlu yapıların akım modlu karşılıklarının bulunmasında kullanılabilen bitişik devre dönüşümü, özellikle aktif elemanlara ilişkin nulör eşdeğerleri göz önüne alındığında oldukça kullanışlı bir yöntemdir. FTFN elemanının, dört ucu da yüzen bir nulör oluşu bitişik devre dönüşümü açısından kolaylıklar sağlamaktadır.

Bitişik devre dönüşümü kullanılarak gerilim modlu dördüncü dereceden tek aktif elemanlı alçak geçiren bir süzgeç yapısı ve video bandı uygulamalarında kullanılabilecek türden 4. dereceden alçak geçiren eliptik bir süzgeç akım modlu olarak FTFN elemanı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

NEW FTFN STRUCTURES AND ITS APPLICATIONS

SUMMARY

Researches on the active network synthesis by using universal active elements are increasing as a result of the developing integrated circuit technology. Moreover, it is needed to pay more attention to the circuit structures because of the growing interest on the design of current mode circuits.

In this thesis, studies have been performed on the CMOS integrated circuit topology of the four terminal floating nullor. Transconductances of the proposed FTFN's have been designed to be higher than the recently published structures in the literature. The performances of the circuits are shown by using SPICE simulation program.

Moreover, some application circuits using FTFNs have also been proposed in this thesis. A first order all pass filter with the simulations and experimentally measured results, a grounded inductance simulation and a capacitor multiplier in the same circuit topology have been proposed. There is also a third order high pass Chebyshev filter realisation using the proposed grounded inductance simulation with the performance success.

When taking the nullor equivalent of the active elements, a very useful network transformation method named "adjoint network transformation" could be used to transform voltage-mode circuits to current mode equivalents. As a result of having four floating terminals, FTFN is almost the most suitable active element for the adjoint network transformation.

By using the adjoint network transformation method, a voltage mode fourth order low pass filter with a single operational amplifier is transformed into the current-mode equivalent using FTFN as the active element. There is also another example of current-mode 4th-order low-pass elliptic filter realization which can be applied in the video applications.

1. GİRİŞ

Günümüzde elektronik devre uygulamalarında özellikle hızla gelişen teknoloji ile beraber çok geniş ölçekli tümdevre tasarımı konularında oldukça çok sayıda çalışma yapılmakta, sayısal devreler ve sistemler üzerine her geçen gün ilave gelişmeler eklenmektedir. Yoğun olarak gerçekleştirilen tümleştirme çalışmalarında aynı alan üzerine sığdırılabilen tranzistor sayısının gün geçtikçe arttırılmasıyla ve birbirinden farklı görevleri yerine getiren elektronik sistem ve blokların aynı kırımcı içerisinde bulundurma gereksinimiyle beraber karma – sayısal ve analog yapı bloklarının birlikte mümkün olabilir en iyi şekilde güvenilir ve kararlı çalışmaları için araştırmalar hali hazırda devam etmektedir.

Sayısal çok geniş ölçekli tümdevre tasarımı ve teknolojisinin lokomotifini CMOS teknolojisi oluşturmaktadır. Sahip olduğu düşük güç tüketimi ve yoğun olarak tümleştirilmeye elverişli olmasıyla beraber üretim maliyetlerinin de görece düşük oluşundan dolayı mühendislik uygulamaları ile akademik çalışmaların oldukça önemli bir kısmını CMOS teknolojisi ve uygulamaları kapsamaktadır.

Aynı kırımcı içerisinde hem analog hem de sayısal yapı bloklarının yer alması, gerek çalışma şartları, gerekse de tasarım zorluğu açısından yoğun ilgi isteyen analog tasarımın CMOS yapı bloklarıyla gerçekleştirilmesi, bu konuda çok sayıda bilimsel çalışma yapılmasına neden olmuştur. Özellikle yüksek frekans uygulamalarıyla yüksek hız gereksinimi duyan özel amaçlı bir takım sistemlerin dışında kalan ve tümleştirilme yoluna gidilen uygulamaların önemli bir kısmı artık CMOS analog yapı blokları olarak sayısal sistemlerle beraber aynı kırımcı içerisinde işlev görmektedir.

Analog devre tasarımı açısından tarihi gelişime bakıldığında, geleneksel olarak işaret işlemenin devredeki gerilim büyüklükleri ile gerçekleştirildiği görülmektedir. Gerilim modlu çalışma, gerilim boyutundaki bir giriş işaretinin çalışma bloğuna girişten dahil olup, üzerinde amaca uygun bir işaret işlemenin gerilim büyüklükleri üzerinden gerçekleştirilerek çıkışta uygun bir yük bloğuna girişte olduğu gibi gene gerilim büyüklüğü cinsinden verilmesinden ibarettir.

Özellikle günümüzde insanoğlunun artan ihtiyaçları ve beklentileriyle beraber elektronik olarak sunulan hizmetlerin ve ürünlerin de çok daha üstün ve gelişmiş özellikler sunabilmesi önemli bir gereklilik olmuştur. Başta bilgisayar sistemleri ve

veri iletişimi olmak üzere hızla gelişen haberleşme teknolojileri ve askeri teknolojiler yüksek hızlarda kararlı ve güvenilir çalışmalara gereksinim duymaktadırlar.

Araştırmacılar bu şartlara uygun koşulları gerçekleştirebilecek yapı ve blokları tasarlamak, gereksinim duyulan hızlara ulaşmak için yoğun çalışmalar içersindedirler.

Tarihi gelişimi içersinde gerilim modlu çalışmaların yanında günümüzde akım modlu devrelerin tasarımına olan ilginin gitgide arttığı görülmektedir. Özellikle akım modlu devrelerin gerilim modlu devrelere göre daha yüksek band genişliği, daha büyük dinamik aralık ve yüksek yükselme eğimi gibi olanaklar sunabilmesi akım modlu yapılara olan ilginin nedenini açıklamaktadır.

Literatürde bugüne kadar akım modlu çalışmaya uygun birçok aktif blok tanıtılmıştır. Geçiş işlemsel iletkenliği kuvvetlendiricisi – *Operational Transconductance Amplifier (OTA)* ve İkinci kuşak akım taşıyıcı – *Second Generation Current Conveyor (CCII)* akım modlu çalışmalar arasında üzerinde en çok durulan ve araştırılan yapı bloklarıdır.

Bu çalışmada ise gene akım modlu çalışma için uygun olan ve literatürde Dört uçlu yüzen nullör – *Four Terminal Floating Nullör (FTFN)* adıyla bilinen aktif yapı bloğu için yeni ve yüksek performanslı CMOS tümdevre yapılarıyla beraber FTFN elemanı için birtakım yeni uygulama yapıları tanıtılacaktır.

1.1 Akım Modlu Çalışma

Akım modlu çalışmanın gerilim modlu çalışmaya göre bazı üstünlükleri bulunmaktadır. Akım modlu devreler daha geniş band genişlikleri sunabilmesi – daha hızlı çalışabilmeleri, düşük gerilimli uygulamalar için uygunluğu, doğrusallıklarının daha iyi olmaları ve dinamik çalışma aralıklarının genişliği ile devre topolojilerinin basitlikleri gibi önemli artılar sunmaktadırlar [1, 2]

1.2 Akım Modlu Çalışma ile Daha Geniş Band Genişliği

Akım modlu devrelerin daha hızlı çalışabilmelerine olanak sağlayan faktör, aslında dikkate alınan büyüklüğün akım boyutunda olmasıyla ilgili bir durumdur. İşlenen işaretin akım boyutunda olması, devrede bulunan düğümlerin düşük empedanslı olmasını ve dolayısıyla iletilen işaretin akım boyutunda kalmasına neden olacaktır. Bu sebepten ötürü de devrede bulunan düşük empedanslı düğümler kutup frekanslarının yüksek frekanslarda yer almasına neden olacaktır. Böylece gerilim modlu yapılara nazaran görece daha geniş band genişliklerine ulaşılabilecektir.

Özellikle yüksek frekanslı bir takım uygulamalar açısından devre topolojilerinin akım modlu çalışmaya uygun olarak düşük empedanslı düğümlerden oluşturulmasının sebebi de bahsedilen akım boyutlu işaretin korunmasına yöneliktir. Artan hız da, bu durumun doğal bir sonucudur.

1.3 Akım Modlu Çalışmada Daha Düşük Besleme Gerilimi Kullanımı

Akım modlu devrelerde işlenen işaretin akım boyutunda olması ve düşük empedanslı düğümler üzerinden iletilmesi sonucunda düğüm gerilimlerinin görece düşük tutulabilmesine imkan sağlayacaktır. Besleme geriliminden bağımsız olarak düşük düğüm gerilim değerlerinde bile akım işaretinin iletimi söz konusu olacaktır. Gerilim modlu bir yapı göz önüne alındığında düğüm gerilimlerinin salınım aralıkları besleme gerilimi değerleriyle sınırlı kalacaktır.

Sayısal ve analog yapıların birlikte kullanıldığı karma yapıli devrelerde besleme gerilimi değerleri özellikle sayısal yapıların gün geçtikçe daha küçük besleme gerilimlerine ihtiyaç duyar hale getirilmesiyle düşmektedir. Bu açıdan bakıldığında karma modlu yapılarda analog kısımların daha düşük besleme gerilimi değerleriyle çalışabilmelerini zorunlu kılmaktadır.

Bu açıdan bakıldığında, akım modlu yapıların özellikle düşük besleme gerilimi ihtiyacı açısından artan gereksinimlere karşılık verme noktasında olduğu görülebilecektir.

1.4 Akım Modlu Devrelerde Doğrusallık ve Dinamik Çalışma Aralığı

Gerilim modlu kuvvetlendirici yapıları incelendiğinde kazancın büyük olmasının bir sonucu olarak kuvvetlendirici yapıların açık çevrimde çalıştırılmaları sonucunda dar bir doğrusallık bölgesinde kuvvetlendirmenin gerçekleştiğini görmekteyiz. Bu şekilde bir çalışma sonucunda büyük genlikli işaretler girişe uygulandığı takdirde çıkışta büyük distorsiyona sahip çıkış işareti görülecektir. Gerilim modlu yapılarda açık çevrimde çalışma, bu özellikleri itibariyle özel uygulamalar dışında kullanılmamaktadır. Uygun bir geri besleme yoluyla yapılarda doğrusallaştırmaya gidilmektedir.

Akım modlu yapılarda kazancın düşük tutulmasıyla birlikte açık çevrimde çalışmaya uygunluk ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle açık çevrimde giriş çıkış karakteristikleri incelendiğinde akım modlu çalışmanın daha geniş bir doğrusallığa sahip olacağı görülecektir.

1.5 Akım Modlu Yapıların Topolojik Basitliği

Gerilim modlu yapılarda gereksinim duyulan yüksek kazancı elde edebilmek genellikle üç ya da daha fazla sayıda kazanç katının kullanılmasını gerektirmektedir. Gene aynı yapılarda yüksek empedanslı düğüm gereksinimi için özellikle kaskod yapıların kullanımını ve dolayısıyla kullanılan aktif eleman sayısını-devre karmaşıklığını- arttırmaktadır.

Akım modlu yapılar ise düşük empedanslı düğümleri için kaskod yapı gereksinimi duymayacaktır. Literatür incelendiğinde akım modlu yapıların genel olarak çok daha az eleman ihtiyacı duyduğunu görmekteyiz.

2. EVRENSEL AKTİF ELEMAN

1954 yılında Tellegen, herhangi bir doğrusal ya da doğrusal olmayan sürücü yapıdaki bir devreye ilişkin empedans ya da transfer fonksiyonunun minimum sayıda elemanla gerçekleştirilmesi üzerine çalışmalar yapmıştır [3]. Sonuç olarak da tek aktif eleman kullanarak ve uygun sayıda pasif eleman ile bu durumun gerçekleştirilebileceğini göstermiştir. Sadece tek bir aktif elemana ihtiyaç duyulması, o aktif eleman için evrensel aktif eleman ifadesinin kullanılmasına neden olmuştur.

Tanım gereği bulunan iki uçlu evrensel aktif elemanın giriş gerilim ve akım değerleri sıfır, çıkış akım ve gerilim değerleri ise herhangi bir değerde bulunabilecektir.

İşlemsel kuvvetlendiriciler negatif geribeslemeli olarak kararlı bir şekilde kullanılabilirler. Bu durumdan hareketle işlemsel kuvvetlendiriciler için evrensel aktif eleman tanımını kullanmak mümkün olmuştur [4]. Bir diğer deyişle, eğer uygun sayıda ve topolojide pasif elemanların varlığında herhangi bir doğrusal (örneğin filtre) ya da doğrusal olmayan (örneğin osilatör) transfer fonksiyonuna işlemsel kuvvetlendirici dışında başka herhangi bir aktif elemanın kullanımına gerek kalmayacaktır.

İşlemsel kuvvetlendiriciler dışında başka evrensel aktif elemanlar da kapı karakteristikleri göz önünde bulundurulduğunda tanımlanabilecektir. Bunlar arasında akım geribeslemeli işlemsel kuvvetlendirici (CFB Opamp), ikinci kuşak akım taşıyıcı (CCII) ve geçiş işlemsel iletkenliği kuvvetlendiricisi (OTA) sayılabilir [4].

2.1 Nulör Kavramı ve Evrensel Aktif Eleman

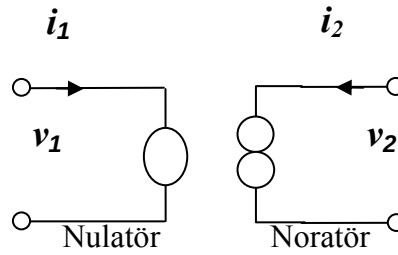
Tellegen'in bahsettiği evrensel aktif eleman kavramı için Şekil 2.1'de gösterilen iki kapılı bir blok yapı incelenebilir. Uçlara ilişkin akım gerilim bağıntıları (2.1)'de verilen matrisel eşitlik ile gösterilebilecektir.

$$\begin{bmatrix} v_a \\ i_a \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_b \\ -i_b \end{bmatrix} \quad (2.1)$$



Şekil 2.1: İki Kapılı Kapı

Tellegen'in ardından 1964 senesinde Carlin tarafından nulör kavramı ortaya atılmıştır [5]. Nulör, Şekil 2.2'de gösterildiği gibi nulatör ve noratör olarak isimlendirilen iki uçlu iki kavramsal yapının bir araya gelmesiyle ortaya çıkmaktadır.



Şekil 2.2: Nulör Yapısı

Nulatör elemanı, uçları arasında gerilim farkının sıfır olduğu ve eleman uçlarından akan akımın gene sıfır olduğu bir yapıdır.

Noratör yapısında ise eleman uç gerilimleri ve uçlardan akan akım herhangi bir değerde olabilir [6].

Nulatör ve noratör yapılarının bir araya gelmesiyle ortaya çıkan nulör elemanı, uygulanan geribesleme fonksiyonları ile birlikte doğrusal ve doğrusal olmayan birçok fonksiyonu gerçekleştirebilecektir. Nulör elemanı temel alınarak gerçekleştirilebilecek yapılara ilk örnek işlemsel kuvvetlendirici yapısı olabilir. Bir işlemsel kuvvetlendirici girişinde fark kuvvetlendirici kısım ortak işareti iyi bir şekilde bastırırken, nulatör yapısına eşdeğer olacaktır. Tek çıkış ucu da noratör elemanının bir ucunun topraklanmasıyla beraber geribesleme yolunda kullanılabilecek bir halde bulunacaktır [7].

Evrensel aktif elemanlar literatürde genel olarak dört uçlu olarak yer almaktadır. Özel olarak bu uçların topraklanmış ya da iki ucu birleştirilmiş olarak bulunmasıyla özelleşmiş aktif elemanlar elde edilebilir [8].

2.2 Evrensel İşlemsel Kuvvetlendiriciler

Dört uçlu nulör yapısının tanım bağıntıları temel alındığında doğrudan gerçekleştirilmesi mümkün değildir. Nulör yapısı için verilen tanım bağıntıları incelendiğinde uçlara ilişkin empedans bağıntılarının tanımlı olmadığı görülecektir.

Giriş uçlarına ilişkin tanımlı olabilecek üç farklı durum mevcuttur. Bunlar; her iki ucun da yüksek empedanslı olması, uçlardan birinin yüksek, diğerinin düşük empedanslı olması ya da her iki ucunda düşük empedanslı olarak gerçekleştirilmesidir.

Giriş için tanımlanan bu durum benzer bir biçimde çıkış uçları için de gerçekleştirilebilir. Sonuç olarak giriş ve çıkış için gerçek olabilecek tüm durumlar göz önünde bulundurulduğunda toplam dokuz farklı evrensel kuvvetlendirici yapısının gerçekleştirilebileceği görülmektedir.

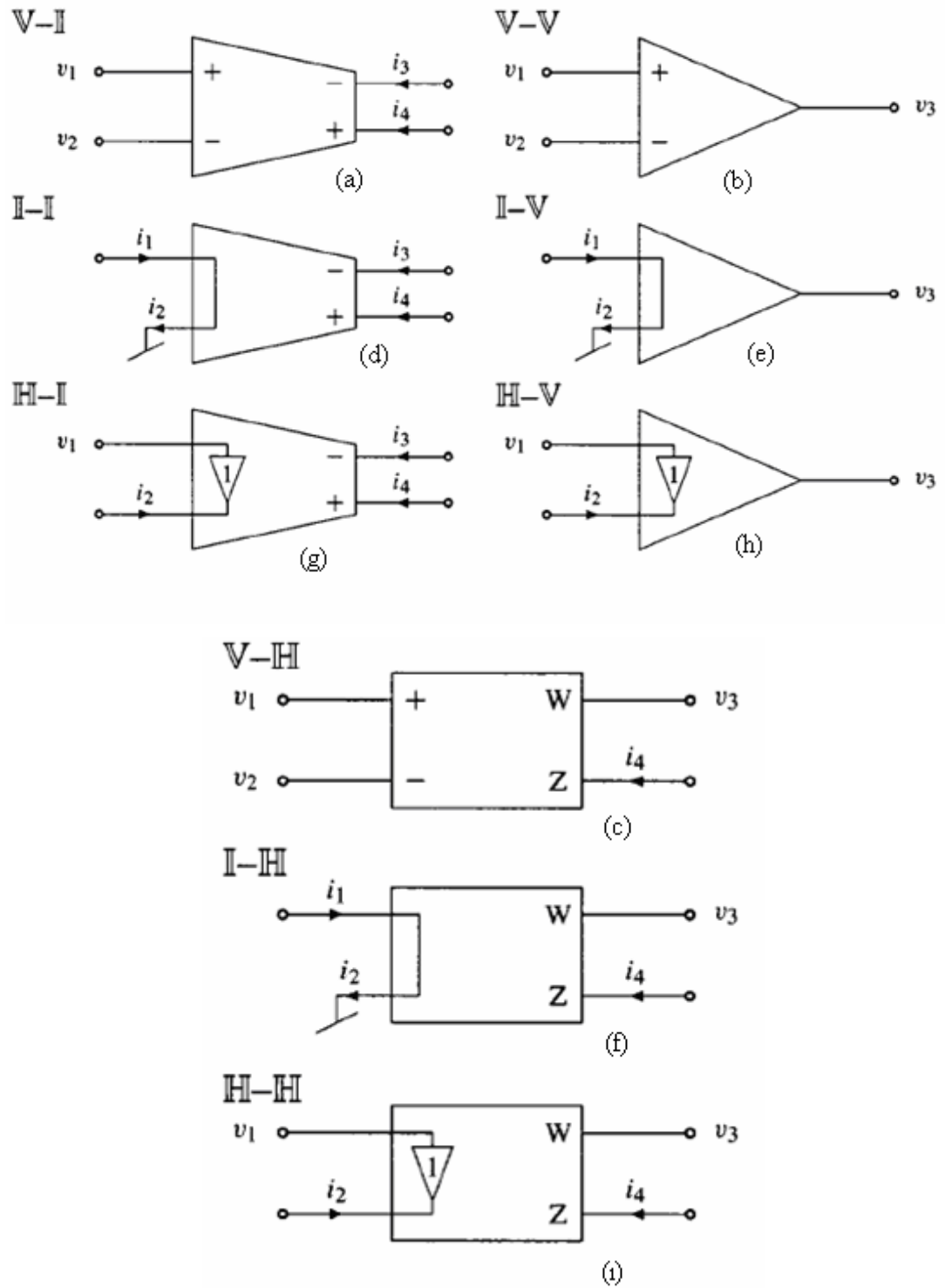
Tüm durumlara ilişkin özet, Tablo 2.1’de verilmiştir. Gene özet tabloya ilişkin verilenlerin sembolik gösterimleri Şekil 2.3’te verilmiştir [4].

Tablo 2.1’de verilen Gerilim-V, Akım-I ve Hibrit-H giriş ve çıkış modlarına uygun kombinasyonların hepsi için literatürde çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Tablo 2.1’de görülen A_v ve A_i kazanç fonksiyonları çok büyük olduklarında işlevsel olacaktır. Bu sebeple bu yapılar içersinde yüksek kazanç sağlayabilen katlara ihtiyaç duyulacaktır. Bu durum geçiş işlemsel iletkenliği kuvvetlendiricisi (OTA) için geçerli değildir. Eğer çıkış sonsuz dirençli çıkış uçlarından biri giriş uçlarından birisine bağlanırsa çevrim kazancı $g_m R_{in}$ olacaktır. Burada g_m OTA’nın geçiş iletkenliği ve R_{in} de giriş direnci olacaktır.

Tümdevre yapılarında yüksek giriş direnci elde etmek çoğu zaman kolaylıkla sağlanabilmektedir. OTA’nın işlevsel olabilmesi ise bu durumda g_m değerinin düşük tutulabilmesiyle mümkün olacaktır.

Tablo 2.1: Dokuz Evrensel İşlemsel Kuvvetlendirici

Sınıfı	Kazanç Fonksiyonu	İşlemsel Özelliği	Literatür Adı	Sembol
V-I	$i_3 = g_m(v_1 - v_2)$	$g_m R_{in} \rightarrow \infty$	Geçiş işlemsel iletkenliği Kuvvetlendiricisi – <i>Operational Transconductance Amplifier</i> (OTA)	(a)
V-V	$v_3 = A_v(v_1 - v_2)$	$A_v \rightarrow \infty$	İşlemsel Kuvvetlendirici – <i>Operational Amplifier</i> (OPAMP)	(b)
V-H	$v_3 = A_v(v_1 - v_2)$	$A_v \rightarrow \infty$	Yüzen İşlemsel Kuvvetlendirici – <i>Operational Floating Amplifier</i> (OFA)	(c)
I-I	$i_3 = A_i i_1$	$A_i \rightarrow \infty$	Akım İşlemsel Kuvvetlendirici – <i>Current Operational Amplifier</i> (COA)	(d)
I-V	$v_3 = r_m i_1$	$r_m / R_{in} \rightarrow \infty$	Geçiş Direnci Kuvvetlendiricisi – <i>Operational Transresistance Amplifier</i> (OTRA)	(e)
I-H	$v_3 = r_m i_1$	$r_m / R_{in} \rightarrow \infty$	Yüzen OTRA – <i>Floating OTRA</i>	(f)
H-I	$i_3 = A_i i_2$	$A_i \rightarrow \infty$	Akım Geribeslemeli OTA – <i>Current Feedback</i> (CFB OTA)	(g)
H-V	$v_3 = r_m i_2$	$r_m / R_{in} \rightarrow \infty$	Akım Geribeslemeli OPAMP – <i>Current Feedback OPAMP</i>	(h)
H-H	$v_3 = r_m i_2$	$r_m / R_{in} \rightarrow \infty$	Yüzen İşlemsel Taşıyıcı – <i>Operational Floating Conveyor</i> (OFC)	(i)

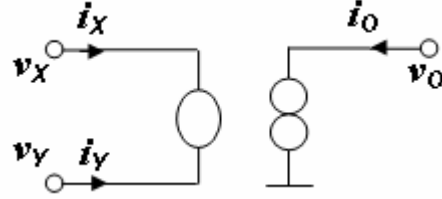


Şekil 2.3: Dokuz İşlemsel Kuvvetlendiriciye İlişkin Sembolik Gösterimler

2.3 Evrensel İşlemsel Kuvvetlendiricilerin Nulör Eşdeğerleri

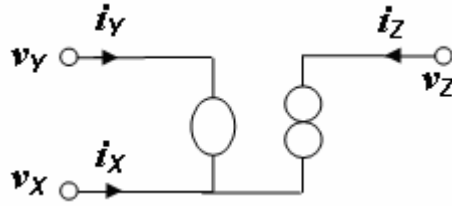
Dört uçlu nulör yaklaşımın evrensel kuvvetlendirici yapılarını ifade edebileceğini göstermek mümkündür. İşlemsel kuvvetlendiriciler (OPAMP) için nulör eşdeğerde iki uçlu norator yapısının bir ucu topraklanmış olacaktır. Böylece dört uçlu olan yapı

üç uçlu olarak işlemsel kuvvetlendiriciyi temsil edecektir. Bilindiği gibi çıkış geriliminin sonlu (pratikte doymasız) kaldığı varsayımıyla işlemsel kuvvetlendiricilerde giriş uçları gerilim farkı sıfır ve giriş uçlarından akan akım gene sıfır olarak düşünülür. Bu durum nulör yapıda nulatör tanım bağıntılarına denk gelmektedir. Gene bir ucu topraklanmış olan noratör yapısında tanım gereği herhangi bir değer alabilen uç gerilim ve akım değerleri gene işlemsel kuvvetlendiricide çıkış ucu tanımına uygun düşecektir. Nulör yapının işlemsel kuvvetlendiriciyi temsil edecek şekilde düzenlenmiş hali Şekil 2.4'te gösterilmiştir.



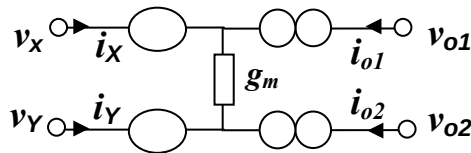
Şekil 2.4: İşlemsel Kuvvetlendirici (OPAMP) Nulör Eşdeğeri

Benzer bir nulör gerçekleştirme negatif tipli akım taşıyıcı elemanı için de gerçekleştirilebilecektir. Buna göre noratör yapısında uçlardan biri nulatöre bağlanacaktır. Böylece Şekil 2.5'de verildiği gibi nulatör uçlarından kısa devre edilmiş olan uçtan akım akacak ve giriş uçları gerilimi aynı zamanda eş olacaklardır.



Şekil 2.5: Akım Taşıyıcı (CCII-) Nulör Eşdeğeri

Geçiş işlemsel iletkenliği kuvvetlendiricisi (OTA) için nulör eşdeğeri iki adet nulör ve geçiş iletkenliğini tanımlayabilmek için bir g_m iletkenliğinin yapıya katılması ile gerçekleştirilir.



Şekil 2.6: OTA Nulör Eşdeğeri

3. DÖRT UÇLU YÜZEN NULÖR (FTFN) ELEMANI

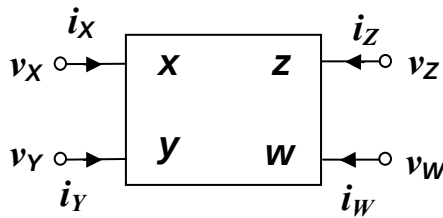
İdeal kuvvetlendirici tanımı ilk olarak Tellegen tarafından 1954 yılında ortaya atılmıştır [3]. Buna göre ideal bir kuvvetlendirici iki kapılı tanım bağıntıları için V_1 , I_1 giriş gerilim ve akımı, V_2 , I_2 çıkış gerilim ve akımı olmak üzere $V_1=0$, $I_1=0$ ve V_2 , I_2 çıkış akım ve gerilimleri de herhangi bir değerde olabilecektir. Bu durumda kuvvetlendirici girişten çıkışa sonsuz güç kazancı sağlayabilecektir. Carlin de 1964'te bu ideal kuvvetlendirici için nulör tanımını kullanmıştır [5]. Girişinde bir nulatör ve çıkışta bir noratör elemanı ile oluşturulan nulör elemanı için tanım gereği giriş gerilimi ve giriş akım değeri sıfır ve çıkışta bulunan noratör için çıkış akım ve gerilim değerleri herhangi bir değerde bulunabilecektir.

3.1 Dört Uçlu Yüzen Nulör Elemanı ve Uç Denklemleri

Dört uçlu yüzen nulör – *Four Terminal Floating Nullor* (FTFN) elemanı dört ucu da yüzen bir nulör elemanına karşılık gelmektedir. FTFN elemanı ayrıca literatürde yüzen işlemsel kuvvetlendirici - *Operational Floating Amplifier* (OFA) olarak da bilinmektedir [9].

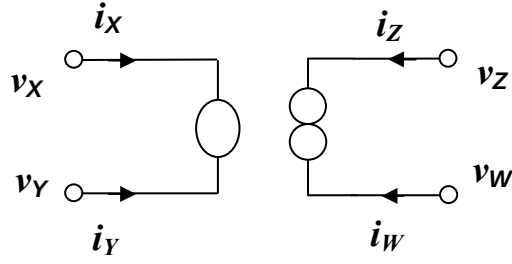
Son yıllarda başta akım modlu yapılarda olmak üzere literatürde gerçekleştirilen yapıların bir kısmında dört ucu yüzen nulör – *Four Terminal Floating Nullor* (FTFN) yapısının kullanılmaya başlandığı görülmektedir.

FTFN elemanı sembolik gösterim Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1: FTFN Elemanı Sembolik Gösterimi

Benzer şekilde FTFN elemanına ilişkin nulör gösterim de Şekil 3.2'de verildiği gibi olacaktır. Dikkat edilirse FTFN elemanı uçları yüzer bir şekilde girişte nulatör, çıkışta noratör ile oluşturulan bir nulör elemanıdır.



Şekil 3.2: FTFN Nulör Eşdeğeri

FTFN elemanına ilişkin tanım bağıntıları ise (3.1)'de gösterildiği gibi olacaktır. Buna göre FTFN elemanı giriş uçları akımları sıfır ve giriş uç gerilimleri birbirine eşit olacaktır. Çıkışta da çıkış I_Z ve I_W akımları birbirine eş olacaktır.

$$\begin{aligned} I_X &= I_Y = 0 \\ V_X &= V_Y \end{aligned} \quad (3.1)$$

$$I_Z = I_W \quad (\text{Pozitif FTFN})$$

$$I_Z = -I_W \quad (\text{Negatif FTFN})$$

FTFN elemanına ilişkin uç akım gerilim bağıntılarında idealsizlikleri de göstermek gerektiğinde (3.2)'de verildiği gibi uç bağıntıları yeniden düzenlenebilir.

$$\begin{aligned} I_Z &= \alpha I_W \\ V_X &= \beta V_Y \\ \beta &= 1 - \varepsilon_v \\ \alpha &= 1 - \varepsilon_i \end{aligned} \quad (3.2)$$

Bağıntılarda görünen ε_v ve ε_i sırasıyla gerilim ve akım izleme hatalarını göstereceklerdir.

FTFN elemanı için X ve Y uçları giriş empedansı klasik işlemsel kuvvetlendiricilerde olduğu gibi sonsuz, çıkış W ve Z uçları empedansları ise herhangi bir değerde olabilmektedir. Genellikle akım çıkışı alındığı durumlar için çıkış empedansları yüksek tutulmak durumundadır.

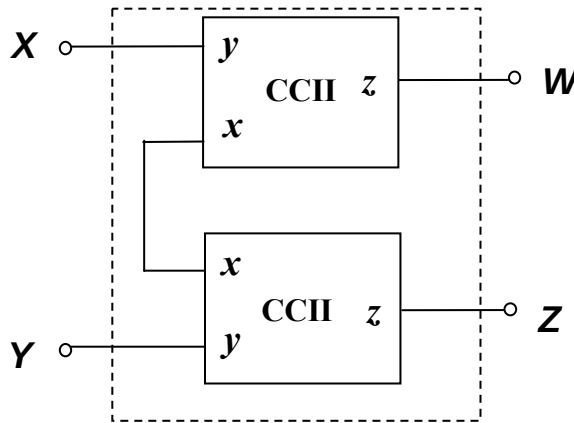
3.2 FTFN Gerçekleştirme Yöntemleri

Literatürde FTFN elemanını gerçekleştirmek için çeşitli öneriler sunulmuştur. Bunlardan en çok bilinenler: akım taşıyıcı kullanarak FTFN gerçekleştirilmesi, işlemsel kuvvetlendirici ve akım aynaları kullanarak FTFN gerçekleştirilmesi ve tektaş yapıda CMOS ya da bipolar teknolojisini kullanarak FTFN gerçekleştirilmesi sayılabilir.

3.2.1 Akım Taşıyıcılarla FTFN Gerçekleştirilmesi

Kaskod olarak bağlanmış iki adet akım taşıyıcı yapıyla FTFN elemanı gerçekleştirilebilecektir. Buna göre akım taşıyıcıların akım girişi olan X uçları kısa devre edilip, Y uçları FTFN elemanının giriş uçları olacaktır. Gene akım taşıyıcıların çıkış uçları da FTFN için yüksek empedanslı akım çıkış uçları olacaktır.

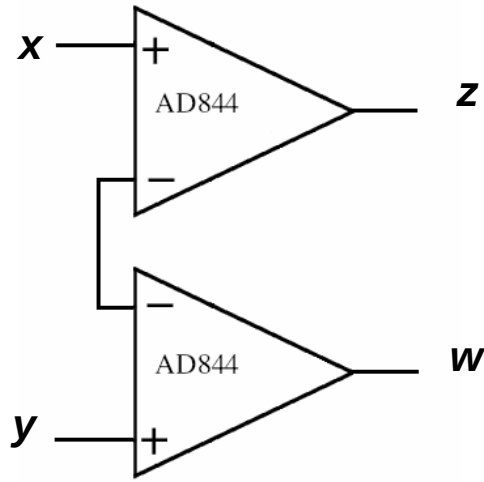
İlgili yapı aşağıda Şekil 3.3’de gösterilmiştir.



Şekil 3.3: Akım Taşıyıcılar Kullanarak FTFN Gerçekleştirilmesi

Akım taşıyıcı kullanılarak FTFN gerçekleştirilmesine özel bir örnek, Analog Devices firması tarafından üretilen AD844 isimli tümdevre yapısıdır. AD844 elemanı, akım geribeslemeli bir işlemsel kuvvetlendiricidir. Akım kazancı 1 olduğundan diğer bir tanımlama yapılacak olursa birim kazançlı bir akım taşıyıcı ve gerilim tamponunun birleştirildiği bir devredir [10].

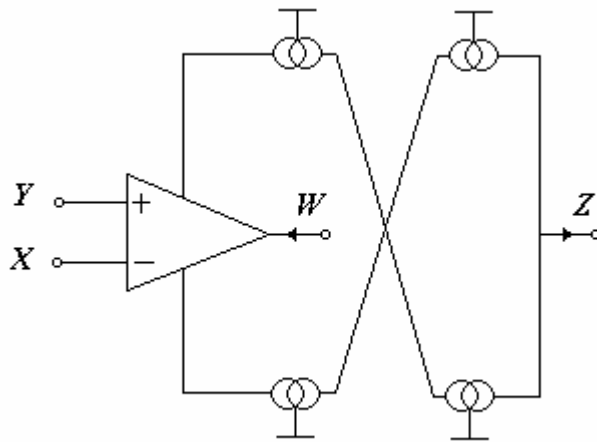
AD844 tümdevre yapısını kullanarak FTFN gerçekleştirmek, Yukarıda Şekil 3.3’de gösterilen akım taşıyıcılarla FTFN gerçekleştirmeye benzemektedir. Kaskod bağlı iki adet AD844 elemanının düşük empedanslı girişlerinin kısa devre edilmesiyle geriye kalan yüksek empedanslı uçlar FTFN elemanının giriş uçları olacaktır. Buna göre AD844 elemanı yardımıyla elde edilen FTFN yapısı Şekil 3.4’te verildiği gibi olur.



Şekil 3.4: İki Adet AD844 Elemanı Kullanılarak FTFN Elde Edilmesi

3.2.2 İşlemsel Kuvvetlendirici ve Akım Aynaları Kullanılarak FTFN Gerçekleştirilmesi

FTFN elemanını gerçekleştirmek için kullanılabilecek bir diğer yol da bir işlemsel kuvvetlendirici ve akım aynaları kullanmaktır. Literatürde OMA (Operational Mirrored Amplifier) olarak da bilinen bu yöntemde, işlemsel kuvvetlendiricinin besleme geriliminden çektiği akımın çıkışta verdiği akıma eşdeğer olduğu kabulüyle gerçekleştirilir. Bu kabul yapılırken, girişten gelen akım değerinin çok küçük olduğu kabul edilmekte ve iç yapıda kullanılan kutuplama akım değerlerinin ihmal edileceği düşünülmüştür [11]. Besleme akımı algılama yöntemi – Supply current sensing method (SCSM) olarak da bilinen bu yöntem ile, işlemsel kuvvetlendiricinin besleme akımı akım aynaları kullanılarak sezilecek ve FTFN yapısında işlemsel kuvvetlendirici çıkışıyla beraber diğer FTFN çıkışını oluşturacaktır.



Şekil 3.5: Besleme Akımı Algılama Yöntemiyle FTFN Oluşturulması

Şekil 3.5’te besleme akımı algılama yöntemi kullanılarak FTFN oluşturulması bir adet işlemsel kuvvetlendirici ve akım aynaları kullanılarak gösterilmiştir.

Besleme akımı algılama yöntemi kullanılarak elde edilen FTFN yapısının bazı dezavantajları bulunmaktadır. Bu şekilde gerçekleştirilen bir yapıda geri besleme kullanılmak istendiğinde yalnızca işlemsel kuvvetlendirici çıkışı uygun olacaktır. Akım aynası çıkışı olan FTFN çıkış ucu ise geri besleme yapılmaya uygun olmayacaktır. Bunun dışında besleme akımı algılama yöntemi kullanılarak FTFN oluşturulmasının bir diğer dezavantajı da oluşturulan yapıda performans özelliklerinin kullanılan işlemsel kuvvetlendiricinin performans özellikleriyle sınırlı kalmasıdır. Ayrıca bu yöntemde besleme akımını sezmek için kullanılan akım aynaları, düşük besleme gerilimli yapılar için gerilim salınım aralığı üzerinde oldukça kısıtlayıcı bir durum oluşturacaktır [7].

3.2.3 Tümdevre Yapısıyla FTFN Gerçekleştirilmesi

Günümüze tümdevre teknolojisinde ve tasarımında geline nokta, FTFN elemanın tektaş olarak doğrudan bir biçimde oluşturulabilmesine olanak sağlamaktadır. Literatüre bakıldığında tümdevre olarak tasarımı gerçekleştirilmiş birçok FTFN devresi görmek mümkündür. Özellikle CMOS teknolojisinin kullanıldığı yüksek performanslı FTFN gerçekleştirilmesinin birçok araştırmacı tarafından incelendiğini görmekteyiz [12-15].

Tümdevre yapısında FTFN elemanın elde edilebilmesi, tasarımcının daha nitelikli ve işlevsel FTFN gerçekleştirmesine olanak sağlayabilecektir.

Bu tez kapsamında da CMOS teknolojisi kullanılarak yeni FTFN yapıları tanıtılacaktır. Gerçekleştirilen tasarımlara ilişkin tasarım metodolojisi incelenecek, benzetim sonuçları SPICE ortamında bulunacak elde edilen yapıların performansları uygun uygulama yapıları üzerinde benzetimi gerçekleştirilerek gösterilecektir.

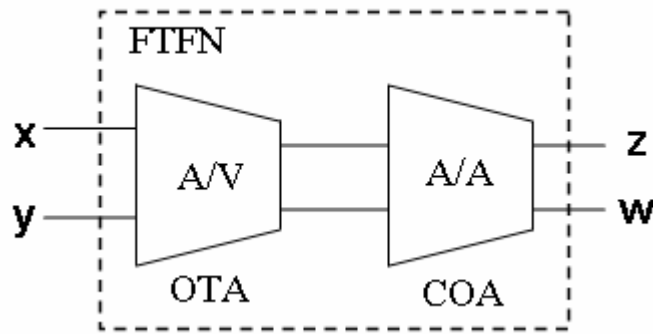
4. YÜKSEK PERFORMANSLI YENİ CMOS FTFN YAPILARI

Daha önce de belirtildiği gibi, tümdevre üzerinde gerçekleştirilecek FTFN yapılarının diğer FTFN gerçeklemelerine göre üstünlükleri olacaktır. Bu tez kapsamında iki adet yeni CMOS FTFN elemanı tanıtılacaktır. Yapılara ilişkin AC ve DC karakteristikler SPICE ortamında gerçekleştirilen benzetim sonuçlarıyla birlikte verilecek ve yapıların performansları uygun uygulama ortamlarında test edilecektir.

4.1 Yüksek Geçiş İletkenli Yeni Bir CMOS FTFN Gerçeklemesi

FTFN elemanı diğer bir tanımlama gereği, geçiş iletkenliği değeri sonsuz olan bir çift çıkışlı geçiş işlemsel iletkenliği kuvvetlendiricisi (OTA) gibi düşünülebilir. Burada FTFN elemanını OTA elemanından ayıran en önemli özelliği, geçiş iletkenliği değerinin idealde sonsuz, pratikte ise çok büyük olmasıdır. Bu durum göz önüne alındığında, tasarımı gerçekleştirilmek istenen FTFN elemanının mümkün olan en büyük geçiş iletkenliği değerine sahip olabilmesi hedeflenmektedir.

Geçiş iletkenliği değerini büyük tutabilmek için önerilen topolojik bir yaklaşım aşağıda Şekil 4.1’de gösterilmiştir.

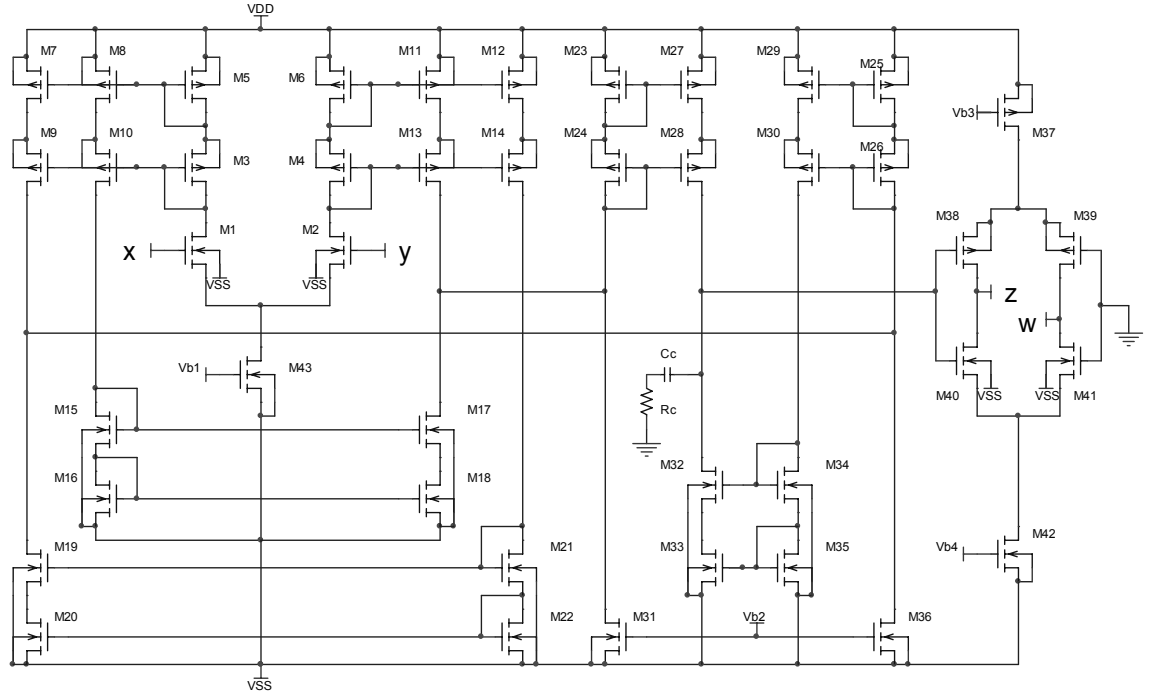


Şekil 4.1: Yüksek Geçiş İletkenliği İçin Önerilen Yapı

Şekil 4.1’de gösterildiği gibi tasarımda izlenen yol; bir OTA katının belli bir geçiş iletkenliği değerinin kaskad bağlı bir akım işlemsel kuvvetlendiricisi (COA) ile yüksek g_m değerlerine çıkarılması esasına dayanmaktadır. Buna FTFN tanımına göre görece düşük kalan geçiş iletkenliği değeri, akım işlemsel kuvvetlendiricisinin akım

kazancıyla çarpılarak çıkıştan büyük değerli g_m değerlerine ulaşabilmek mümkün olmaktadır.

Şekil 4.1’de tanımlanan basit modele ilişkin olarak tasarımı gerçekleştirilen CMOS yapı ise Şekil 4.2’de verilmiştir. Buna göre devrede görülen M1-M22 tranzistorları ile çok bilinen simetrik kaskod OTA yapısı çift çıkış elde edilecek şekilde iç içe gerçekleştirilmiştir. Devrede görülen M23-M42 tranzistorlarının oluşturduğu COA yapısı [16] ile de OTA bloğunun sağladığı g_m değeri çok daha yüksek değerlere yükseltilerek FTFN performansı arttırılmaktadır.



Şekil 4.2: Gerçekleştirilen Yüksek Geçiş İletkenli CMOS FTFN Yapısı

Devrede görülen C_c kompanzasyon kapasitesinin bağlı olduğu düğüm yüksek empedanslı bir düğüm olup baskın kutup burada oluşmaktadır. Düğümün empedansı ise

$$r_{o32}(1 + g_{m32}r_{o33}) // r_{o28}(1 + g_{m28}r_{o27}) \quad (4.1)$$

olacaktır. Devre yapısı incelendiğinde M1-M22 tranzistorları ile çok bilinen simetrik kaskod OTA yapısının çıkış uçları yüksek empedanslı uçlar olup bu uçların bağlandığı COA yapısı giriş uçları düşük empedansta tutulmuşlardır. Bu uçlar için giriş empedansları yaklaşık olarak o uçta bulunan diyot bağlamalı tranzistorlara bakıldığında görülen direnç değerine esit olacaktır.

$$r_{inCOA} \approx \frac{2}{g_m} \quad (4.2)$$

4.2 Yüksek Geçiş İletkenli Yeni Bir CMOS FTFN Gerçeklemesi İçin SPICE Benzetim Sonuçları

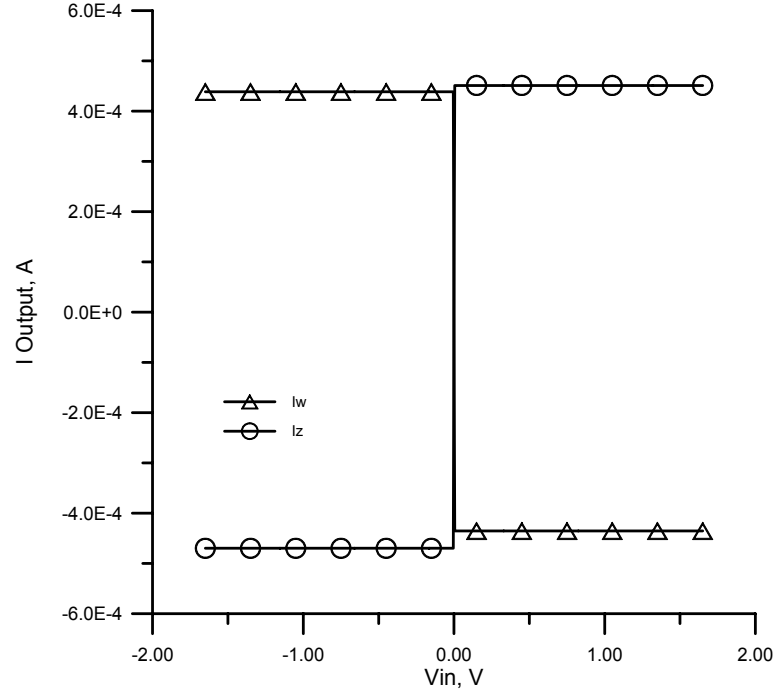
Önerilen devre 0.35 μ m AMS BSIM3v3 SPICE parametreleri kullanılarak tasarlanmıştır. Besleme gerilimleri $\pm 1.65V$ olup devrede kullanılan tranzistörlerle ilişkin boyutlar ise Tablo 4.1’de verilmiştir. C_C kompanzasyon kapasitesi 4pF ve R_C direnci 18k Ω olarak belirlenmiştir.

Yapıda kullanılan kutuplama gerilimleri $V_{b1}=V_{b2}=-1V$, $V_{b3}=0.5V$ $V_{b4}=-0.8V$ olacak şekildedir. Toplam güç tüketimi 6.1mW olarak gerçekleşmiştir.

Tablo 4.1: Yüksek Başarımlı CMOS FTFN için tranzistör boyutları

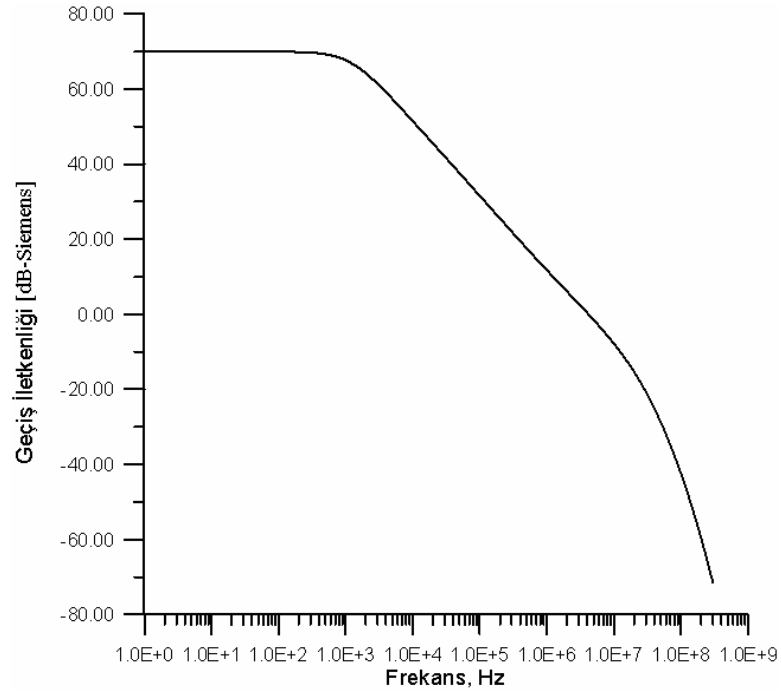
Tranzistör Adı	L [μ m]	W [μ m]
M1-M2	0.6	5
M3-M6	0.6	1.2
M7-M14	0.6	50
M15-M22	0.6	212
M23-M26	0.7	4
M27-M30	0.7	20
M31 ve M36	0.7	3
M32-M35	0.7	7
M37	0.7	78
M38-M39	0.6	150
M40-M41	0.6	120
M42	0.7	50
M43	2	18

Yapıya ilişkin DC geçiş karakteristiği z ve w uçları için aşağıda şekil 4.3'te verilmiştir. şekil 4.3 incelendiğinde yapının çıkış akımı salınımının $\pm 450\mu\text{A}$ civarında olacağını söyleyebilmekteyiz.



şekil 4.3: Yapıya İlişkin DC Geçiş Karakteristiği

Oluşturulan CMOS FTFN yapısına ilişkin geçiş iletkenliği-frekans karakteristiği ise şekil 4.4'te gösterildiği gibidir.

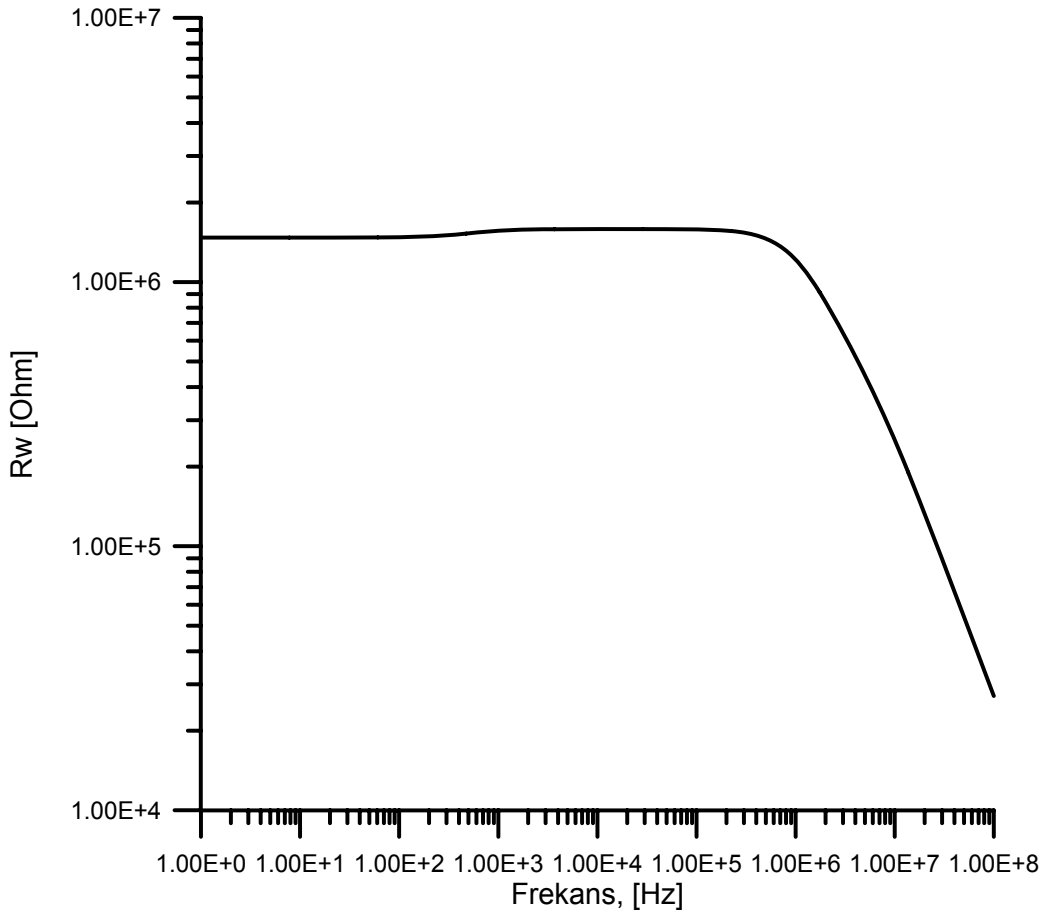


şekil 4.4: CMOS FTFN Yapısına İlişkin g_m -Frekans İlişkisi

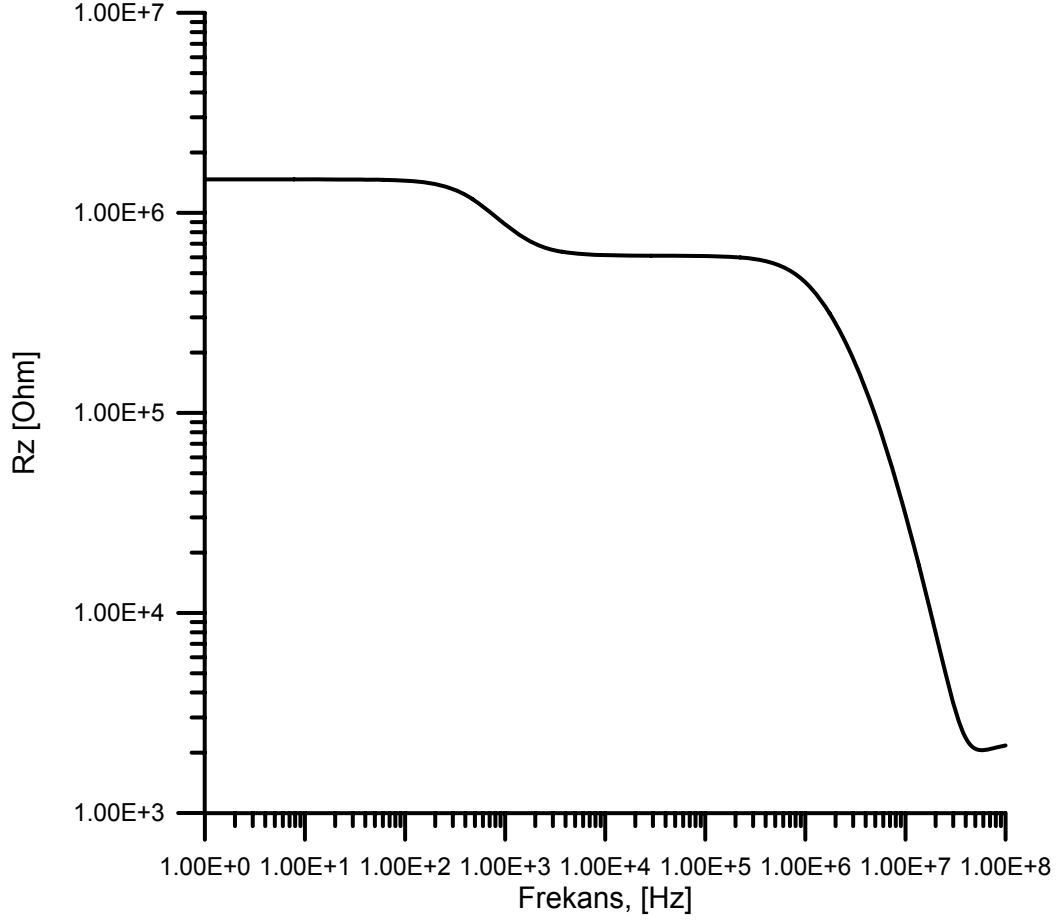
Görüldüğü gibi oluşturulan yapı ile oldukça yüksek değerli g_m değerleri elde edilebilmektedir. Gene geniş bir frekans bandı içerisinde g_m değeri FTFN performansı açısından birçok uygulama için yeterli sayılabilecek değerlerde olmaktadır. Geçiş iletkenliği için birim kazancın ($1 A/V$) olduğu frekans bandı 4.5MHz olmaktadır.

Bilindiği gibi nulör elemanı için çıkış akım ve gerilimi noratörden ötürü tanımlı olmamaktadır. Çıkış empedansları da bu tanım gereği herhangi bir değerde bulunabilecektir. Burada tasarımı gerçekleştirilen FTFN için ise yüksek empedanslı bir çıkış öngörülmüştür. Çıkış katını oluşturan M37-M42 tranzistorları Arbel ve Goldminz [17] tarafından önerilmiş olan yüzen akım kaynağıdır (Floating Current Source). Yapı aslında karşılıklı olarak bağlanmış iki evirici yapısının analog olarak kullanılması ve bunların iki akım kaynağı tranzistor tarafından beslenmesi prensibine dayanmaktadır.

Çıkış W ve Z uçlarından bakıldığında görülen empedans-frekans karakteristiği Şekil 4.5 ve Şekil 4.6’da verilmiştir.



Şekil 4.5: W Ucu Çıkış Empedansı



Şekil 4.6: Z Ucu Çıkış Empedansı

SPICE benzetim sonuçları verilen yüksek performanslı CMOS FTFN için Şekil 4.3'te verilen geçiş iletkenliği – frekans karakteristiği, tasarımın oldukça büyük değerli geçiş iletkenliği değerlerine ulaşabildiğini göstermektedir. Yaklaşık 70dB görülen geçiş iletkenliği değeri literatürde bulunan tüm FTFN gerçekleştirmelerinden daha büyük görülmektedir. Açık çevrim geçiş iletkenliği için band genişliği, birinci kutbun geldiği yerde yaklaşık 1KHz olmaktadır. Gene geçiş iletkenliği için birim kazanç band genişliği ise yaklaşık 4.5 MHz olmaktadır.

Elde edilen yapıya ilişkin performansın sınanması ise bölüm 5'de uygulama yapıları verildiğinde gösterilecektir.

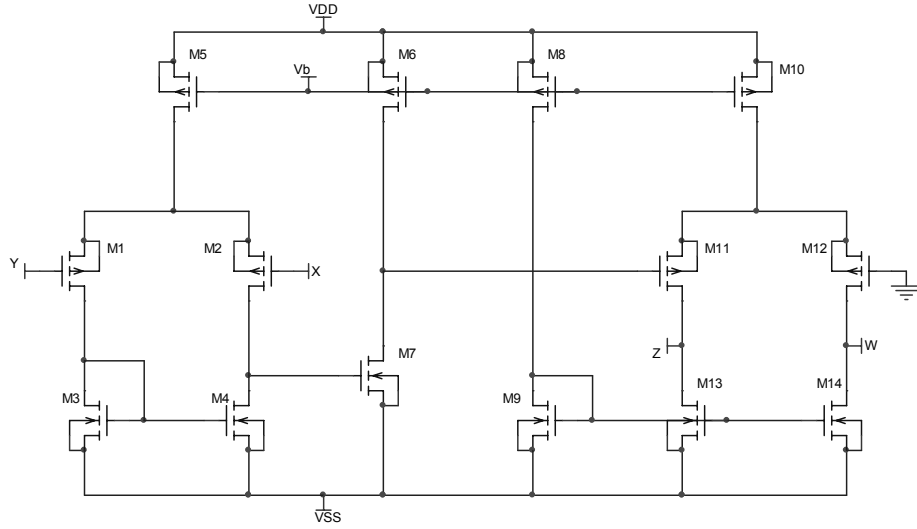
Gene gerçekleştirilen yüksek performanslı CMOS FTFN yapısı için başarımlar parametreleri aşağıda Tablo 4.2'de verildiği gibi olacaktır. Buna göre tasarımı yapılan FTFN elemanının özellikle yüksek geçiş iletkenliği değeri göz önüne alındığında bir FTFN elemanından beklenen yüksek başarımları gösterebildiği söylenebilmektedir.

Tablo 4.2: Yüksek g_m Değerli FTFN İçin Başarım Parametreleri

		Birim
Geçiş iletkenliği değeri	3000	A/V
Birim g_m band genişliği	4.5	MHz
Besleme gerilimleri	± 1.65	V
W ucu çıkış empedansı	1.2	M Ω
Z ucu çıkış empedansı	1.2	M Ω
Çıkış akımı salınım aralığı	± 450	μ A
C_C kompanzasyon kapasitesi	4	pF
Sıfırlama Direnci	18	K Ω
Güç tüketimi	6.1	mW

4.3 Basit Yapılı Bir CMOS FTFN Gerçeklemesi

Gerçeklenen bir diğer CMOS FTFN yapısı da burada verilecektir. Yapısı itibariyle basit bir topolojiye sahip olan bu devre, giriş ve çıkışta fark kuvvetlendirici bloklarını barındırmaktadır. Performans özellikleri açısından değerlendirildiğinde de FTFN elemanının sahip olması gereken özellikleri yerine getirmektedir. Yapının transistör düzeyi devre topolojisi Şekil 4.7’de verilmektedir.

**Şekil 4.7:** Basit CMOS FTFN Gerçekleştirilmesi

0.35 μ m AMS BSIM3v3 SPICE parametreleri kullanılarak tasarlanan CMOS FTFN yapısında besleme gerilimleri ± 1.65 V olup devrede kullanılan transistörlere ilişkin boyutlar da Tablo 4.3’de gösterilmiştir. Yapıda kullanılan V_b kutuplama gerilimi 0.6V olacak şekildedir. Toplam güç tüketimi 1.68mW olarak gerçekleştirilmiştir.

Tablo 4.3: Basit CMOS FTFN Yapısında Kullanılan Tranzistor Boyutları

Tranzistor Adı	L [μm]	W [μm]
M1-M2	0.7	20
M3-M4	1	15
M5	1.2	20
M6	0.7	2
M7	1	4.3
M8	0.7	17
M9	1.2	4
M10	1.2	180
M11-M12	0.7	30
M13-M14	1.2	12

Giriş G_m katının geçiş iletkenliği ifadesi yazılacak olursa;

$$G_m = \sqrt{2K_p' I_B \left(\frac{W}{L} \right)_1} \quad (4.3)$$

şeklinde olacaktır. Burada W/L oranı giriş tranzistorları için boyut oranı olup doğrudan G_m geçiş iletkenliğini etkilemektedir. Benzer biçimde I_B kutuplama akımı da G_m ifadesinin kontrol edilebilmesinde önemli bir parametre olmaktadır.

Giriş katının çıkış empedansına bakacak olursak,

$$R_{Giriş} = \frac{r_{o2}}{2} = \frac{V_{En} L_1}{I_B} \quad (4.4)$$

ifadesiyle tanımlanabileceğini söyleyebiliriz. V_{En} ile gösterilen terim, NMOS tranzistorlara ait Early gerilim değeri olacaktır.

(4.3) ve (4.4)'deki değerlerin kullanılmasıyla ilk kata ilişkin kazanç ifadesini yazacak olursak;

$$A_{v,giriş} = G_m R_{OUT} = V_{En} \sqrt{\frac{2K'_n W_1 L_1}{I_B}} = \frac{g_{m1}}{g_{o2} + g_{o4}} \quad (4.5)$$

eşitliğini elde ederiz. Burada G_m ifadesini V_{GS} gerilimi cinsinden yeniden yazarak;

$$A_{v,giriş} = \frac{V_{En} L_1}{V_{GS1} - V_T} \quad (4.6)$$

şeklinde de gösterebiliriz. M7 tranzistoru çıkışı bilinen basit bir eviren kazanç katıdır. Kazancı da,

$$A_{vM7} = \frac{g_{m7}}{g_{o6} + g_{o7}} \quad (4.7)$$

şeklinde gösterilebilecektir. Çıkış katı ise klasik fark kuvvetlendirici katı olacaktır. Kazancı da (4.8) denkleminde verildiği gibi olacaktır.

$$A_{v,çıkış} = \frac{r_o}{2r_{e11,12}} \quad (4.8)$$

r_o ile gösterilen direnç M13 ve M14 tranzistorları çıkış direnci olacaktır. Sonuç olarak da toplam gerilim kazancı için

$$A_{vo} = \frac{g_{m1}}{g_{o2} + g_{o4}} \cdot \frac{g_{m7}}{g_{o6} + g_{o7}} \cdot \frac{r_o}{2r_{e11,12}} \quad (4.9)$$

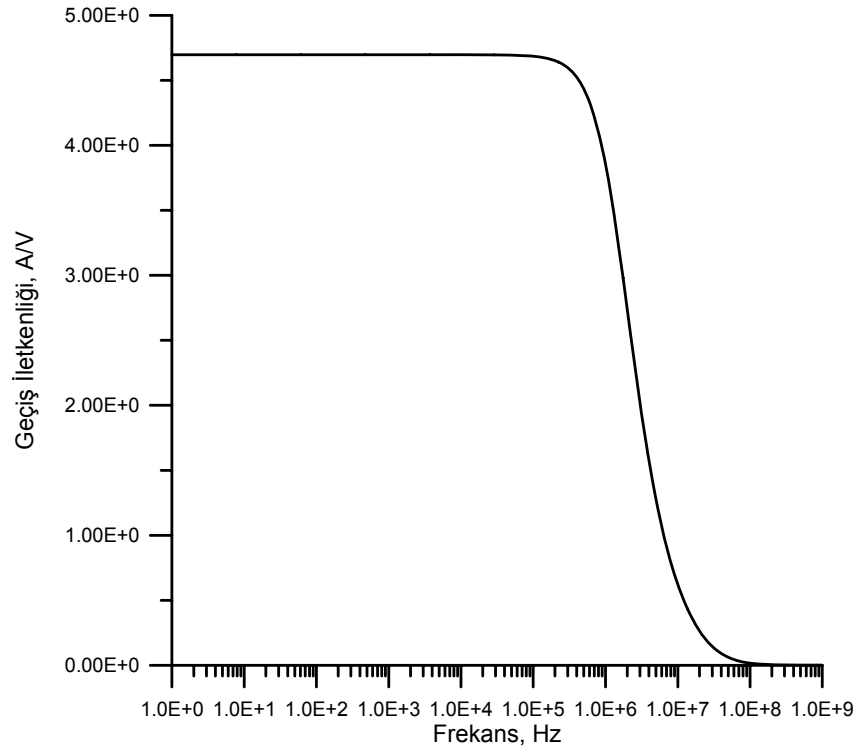
ifadesini elde edebiliriz.

4.4 Basit Yapılı CMOS FTFN Gerçeklemesi İçin SPICE Benzetim Sonuçları

Basit yapılı CMOS FTFN elemanı için benzetim sonuçları bu kısımda verilecektir. Yapıda kullanılan tranzistorlar için 0.35μm AMS BSIM3v3 SPICE parametreleri kullanılmıştır.

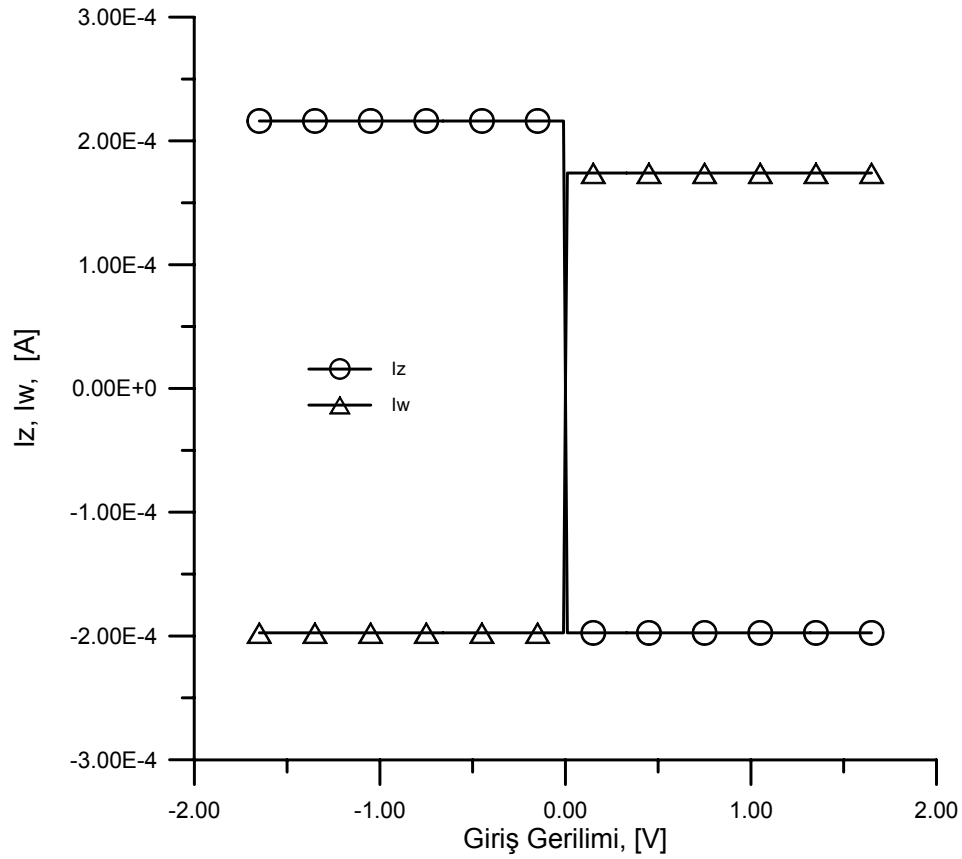
Önerilen devreye ilişkin geçiş iletkenliği – frekans karakteristiği Şekil 4.8’de gösterilmiştir. Yapı yaklaşık 4.7 A/V değerinde bir geçiş iletkenliğini 1MHz civarına kadar koruyabilmektedir. Bu performansı ile de önerilen basit CMOS FTFN yapısının literatürdeki birçok yapıya göre yüksek bir performans gösterdiğini söyleyebilmekteyiz.

Tez kapsamında önerilen yapılara ilişkin daha önceden literatürde yer almış devrelerle performans kıyaslaması bu bölümde verilecektir.



Şekil 4.8: Basit CMOS FTFN Yapısına Ait Geçiş İletkenliği – Frekans Karakteristiği

Basit CMOS FTFN yapısına ilişkin DC geçiş karakteristiği de aşağıda Şekil 4.9’da gösterilmiştir.



Şekil 4.9: Basit CMOS FTFN Yapısına Ait DC Geçiş Karakteristiği

Yapı DC geçiş karakteristiğinden de görüldüğü üzere yaklaşık olarak $\pm 200\mu A$ aralığında bir çıkış akımı akıtılabilecektir. ıkış katının yüksek akım çıkışı verebilecek uygunlukta bir yapı ile tasarlanmasıyla elbette çıkış akım salınımının artırılabilmesi söz konusu olabilecektir.

ıkış katında kullanılan fark kuvvetlendiricisi için W ve Z uçları çıkış empedansı ifadeleri sırasıyla (4.10) ve (4.11) denkleminde gösterildiğı gibi olacaktır.

$$r_{oz} = \frac{1}{g_{o11} + g_{o13}} \quad (4.10)$$

$$r_{ow} = \frac{1}{g_{o12} + g_{o14}} \quad (4.11)$$

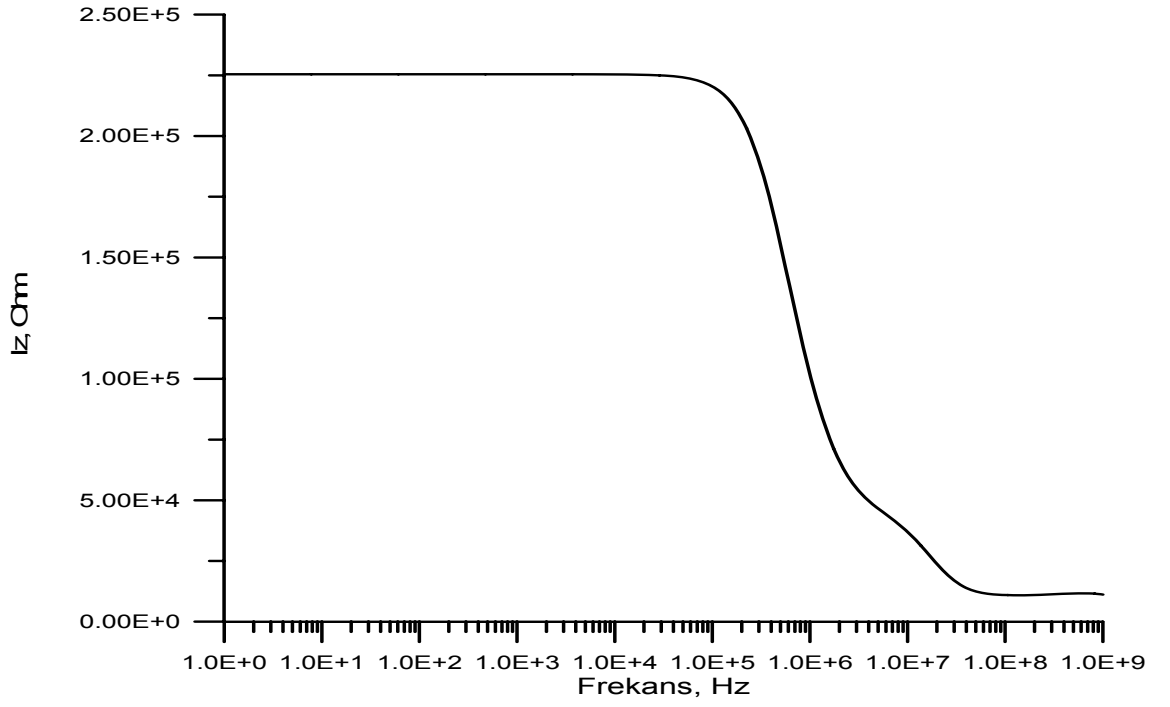
Gerçekleştirilen yüksek performanslı CMOS FTFN yapısı için başarımlar parametreleri aşığıda Tablo 4.4’de verildiğı gibi olacaktır. Buna göre tasarımı yapılan FTFN elemanın 4.7A/V değıerli geçiş iletkenliğı değıerine sahip olduğunu görebilmekteyiz.

Tablo 4.4: Basit CMOS FTFN Yapısı İçin Başarımlar Parametreleri

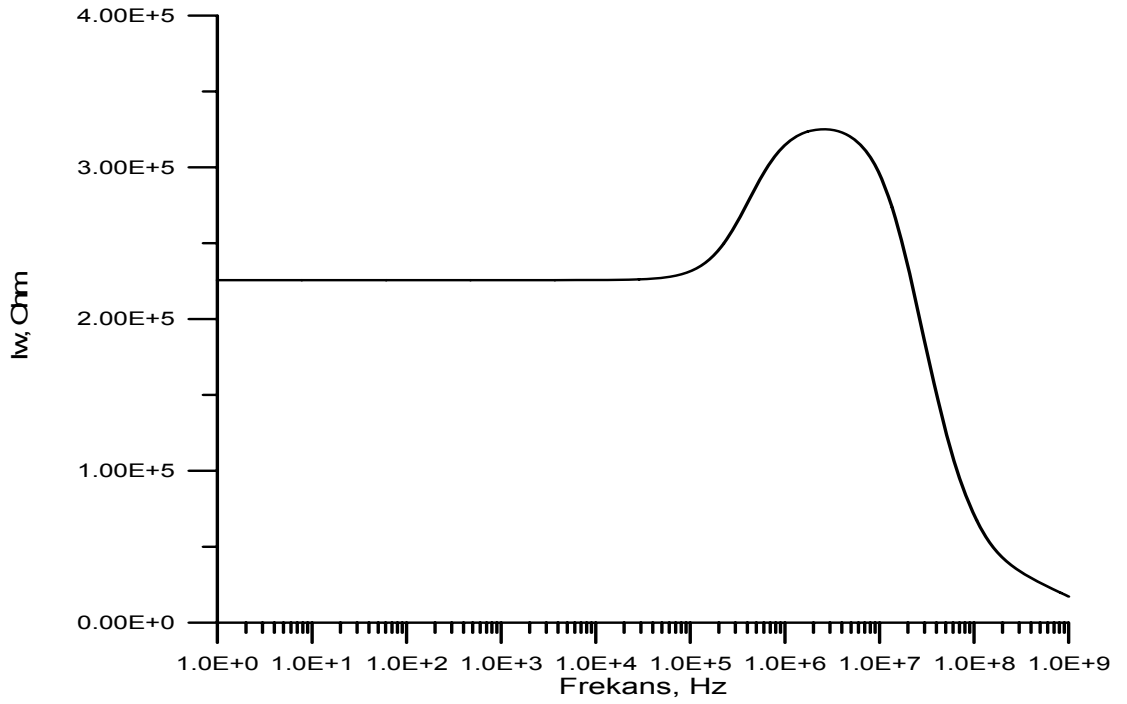
		Birim
Geçiş iletkenliğı değıeri	4.7	A/V
Birim g_m band genişliğı	6.5	MHz
Besleme gerilimleri	± 1.65	V
W ucu çıkış empedansı	225	K Ω
Z ucu çıkış empedansı	225	K Ω
ıkış akımı salınım aralığı	± 200	μA
Güç tüketimi	1.68	mW

Basit CMOS FTFN yapısına ait Z ve W uçlarından görülen çıkış empedansları ise sırasıyla Şekil 4.10 ve Şekil 4.11’de verilmiştir.

Grafikler incelendiğinde çıkış empedanslarının her iki uç için de yaklaşık olarak 225K Ω değıerinde olduğunu görebilmekteyiz. Karakteristiklerde görülen bozulmalar devrenin çıkış ofset dengesizliğinin bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır.



Şekil 4.10: Basit CMOS FTFN Yapısına Ait Z Ucu Çıkış Empedansı



Şekil 4.11: Basit CMOS FTFN Yapısına Ait W Ucu Çıkış Empedansı

5. UYGULAMA DEVRELERİ

Dört uçlu yüzen nulör elemanı kullanılarak gerçekleştirilen çok sayıda uygulama devresi literatürde tanıtılmıştır. Buna göre FTFN elemanı kullanılarak gerçekleştirilen kuvvetlendiriciler [18], akım modlu filtreler [19], sinusoidal osilatörler [20, 21], yüzen empedans-admitans yapıları [22] literatür çalışmalarına örnek olarak verilebilir.

Bu tez kapsamında da FTFN elemanını kullanarak gerçekleştirilebilecek uygulamalara yeni örnekler verilecektir. Bununla birlikte ek devre yöntemi kullanılarak gerilim modlu yapıların akım modlu karşılıklarının bulunması üzerine de filtre yapıları kullanılarak uygulamalar geliştirilecektir.

5.1 Bitişik Dönüşüm Yöntemiyle Gerilim Modlu Yapıların Akım Modlu Karşılıklarının Bulunması

Aktif elemanlara ilişkin nulör modeli kullanılarak, bitişik dönüşüm yöntemiyle (Adjoint Transformation Method) gerilim modlu devre yapılarından, akım modlu karşılıklarına dönüşüm gerçekleştirilebilmektedir [23-25]. Bu bölümde nulör modelinin evrensel aktif elemanların karşılığı olarak kullanılması ve basit bir dönüşüm yöntemiyle gerilim modlu yapılardan akım modlu karşılıklarının bulunması üzerinde durulacaktır.

Bitişik dönüşüm yöntemi kullanılarak gerilim modlu yapılardan akım modlu karşılıklarının elde edilmesi aşağıda anlatıldığı gibi özetlenebilecektir.

Buna göre gerilim modlu yapıda,

- (i) Öncelikle tüm aktif elemanlar nulör eşdeğerleri ile yer değiştirilir.
- (ii) Nulör eşdeğerinde noratör ile nulatör çifti karşılıklı olarak yer değiştirilir.
- (iii) Devrede bulunan pasif elemanlarla ilgili herhangi bir işlemde bulunulmaz.
- (iv) Gerilim modlu yapıda giriş gerilimi kısa devre edilerek yeni yapı için buradan akan akım çıkış akımı olarak kabul edilir.

(v) Çıkış gerimine akım kaynağı bağlanarak buranın giriş akımı olması sağlanır.

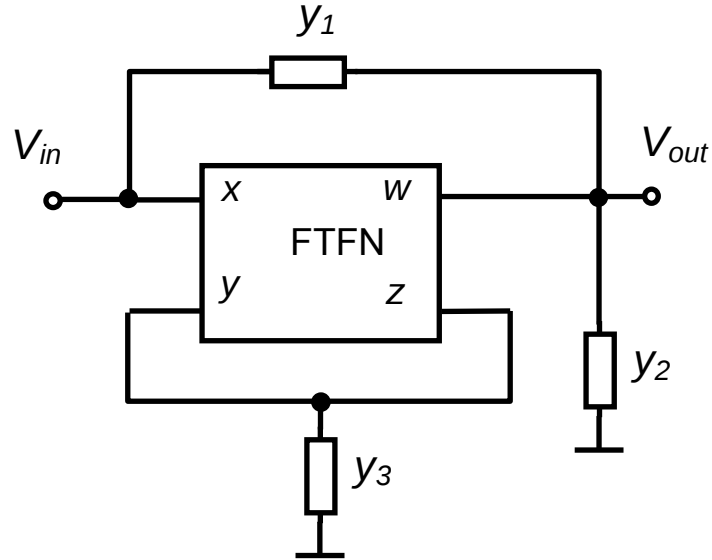
Dönüşüm sonucunda, ilk devrenin düğüm admitans matrisi, elde edilen devrenin düğüm admitans matrisinin transpozuna eşit olur ve böylece sonsuz giriş empedanslı ve sıfır çıkış empedanslı gerilim modlu kuvvetlendirici yapısından, sıfır giriş empedanslı ve sonsuz çıkış empedanslı akım kuvvetlendiricisine geçilmiş olunur [26-27].

5.2 Birinci Dereceden Tüm Geçiren Süzgeç Uygulaması

Tüm geçiren süzgeç devreleri analog uygulamalarda sıkça kullanılan önemli bloklardan biridir. Osilatör devrelerinde, yüksek dereceli filtreler için faz düzelticilerde ve benzer çeşitli uygulamalarda kullanım alanı bulmaktadır.

Bu çalışmada FTFN elemanının kullanılmasıyla elde edilebilen birinci derecen tüm geçiren bir filtre yapısı önerilmiştir. Yapı, uygun pasif elemanların seçimiyle iki farklı tipte birinci dereceden tümgeçiren filtre uygulaması olarak karşımıza çıkmaktadır.

Önerilen filtre yapısı aşağıda Şekil 5.1’de gösterilmektedir. Buna göre ikisi topraklı olmak üzere üç adet pasif devre elamı ile bir FTFN elemanına ihtiyaç duyulmaktadır. Yapıda kullanılan pasif elemanlar admitans formunda gösterilmektedir. Gene önerilen yapı gerilim modlu olup yapılan hesaplamalar, benzetim sonuçları ve ölçmeler, gerilim modunda gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.1: Önerilen Birinci Dereceden Tüm Geçiren Süzgeç Yapısı

Şekil 5.1’de önerilen tüm geçiren yapıya ilişkin transfer fonksiyonu (5.1) denkleminde verildiği gibi olacaktır.

$$T(s) = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{y_1 - y_3}{y_1 + y_2} \quad (5.1)$$

Verilen transfer fonksiyonu incelendiğinde, yapının iki çeşit tüm birinci dereceden tüm geçiren süzgeç özelliği gösterdiği görülmektedir. Elde edilen süzgeç yapıları ve ilgili transfer fonksiyonları aşağıda özetlenmiştir.

(i) Birinci tip tüm geçiren süzgeç yapısı:

Pasif eleman seçimi: $y_1 = G_1$, $y_2 = sC_2$ ve $y_3 = sC_3$, ($C_2=C_3$)

İlgili transfer fonksiyonu:

$$T_1(s) = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{G_1 - sC_3}{G_1 + sC_2} \quad (5.2)$$

(ii) İkinci tip tüm geçiren süzgeç yapısı:

Pasif eleman seçimi: $y_1 = sC_1$, $y_2 = G_2$ ve $y_3 = G_3$, ($G_2=G_3$)

İlgili Transfer Fonksiyonu:

$$T_2(s) = \frac{V_{out}}{V_{in}} = -\frac{G_3 - sC_1}{G_2 + sC_1} \quad (5.3)$$

Yukarıda tanıtılan birinci ve ikinci tip tüm geçiren süzgeç yapılarına ilişkin faz cevapları da aşağıda sırasıyla (5.4) ve (5.5) denklemleriyle verilmiştir. Verilen denklemlerin eldesinde aynı tip olan pasif elemanların aynı değerlerde oldukları varsayımı yapılmıştır.

$$\varphi_1(\omega) = -2 \arctan(\omega CR) \quad (5.4)$$

$$\varphi_2(\omega) = 180^\circ - 2 \arctan(\omega CR) \quad (5.5)$$

Gerilim modunda gerçekleştirilen yapının akım modlu bir benzeri de tek tip olarak Higashimura ve Fukui tarafından nulör eşdeğerleri kullanılarak akım modlu olarak gerçekleştirilen ve aktif eleman olarak akım taşıyıcının (CCII) kullanıldığı bir örnekten elde edilmiştir [28].

Önerilen yapı için FTFN elemanının ideallsizlikleri de göz önüne alınabilir. FTFN için uç bağıntıların ideal olmama durumuna göre yeniden ele alınmasıyla ilgili eşitlikler aşağıda verildiği gibi yeniden yazılabilir.

$$\begin{aligned}
V_x &= \beta V_y, \\
I_z &= \alpha I_w \\
I_x &= I_y = 0
\end{aligned} \tag{5.6}$$

Bağıntılarda yer alan β ve α ifadeleri elemana ilişkin gerilim ve akım kazançları olacaktır ve bu ifadeler $\alpha = 1 - \varepsilon_i$ $\beta = 1 - \varepsilon_v$ şeklinde yeniden düzenlenebilecektir. $|\varepsilon_i| \ll 1$, $|\varepsilon_v| \ll 1$ şeklinde verilecek olan duruma göre ε_i akım izleme hatası ve ε_v gerilim izleme hatası olarak isimlendirilebileceklerdir.

Yukarıda tanımlanan ideal olmama durumları göz önüne alındığı takdirde önerilen yapıya ilişkin transfer fonksiyonlarını yeniden düzenlemek mümkün olabilecektir.

Buna göre önerilen birinci ve ikinci tip birinci dereceden tüm geçiren süzgece ilişkin yeniden düzenlenen transfer fonksiyonları aşağıda (5.7) ve (5.8)'de sırasıyla verildiği gibi olacaktır. Denklemlerde $C_2=C_3$ ve $G_2=G_3$ olacaktır.

$$T_1(s) = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{G_1 - \frac{1}{\beta\alpha} sC_3}{G_1 + sC_2} \tag{5.7}$$

$$T_2(s) = \frac{V_{out}}{V_{in}} = -\frac{\frac{1}{\beta\alpha} G_3 - sC_1}{G_2 - sC_1} \tag{5.8}$$

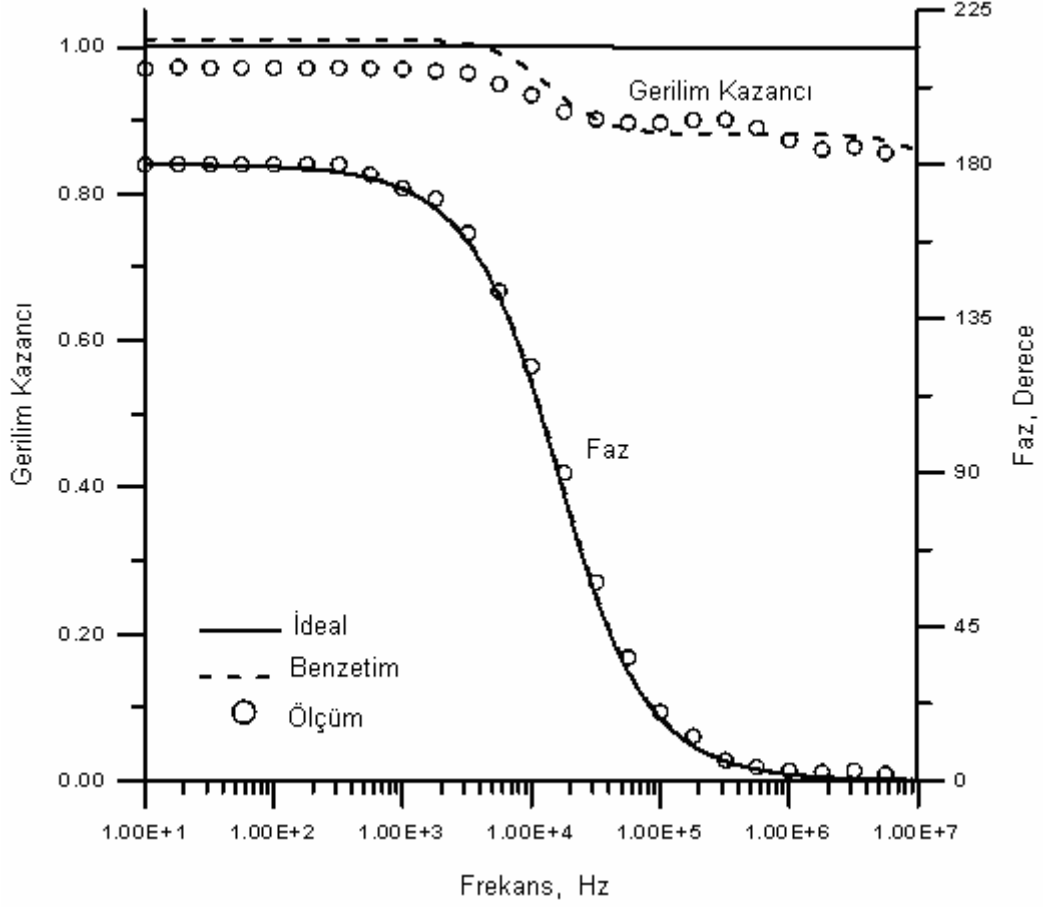
Yukarıda denklemlerde de görüldüğü üzere ideal olmama etkilerini düşük tutabilmek için yapıda $1/(\beta\alpha)$ ifadesinin bire yakın olması gerekeceği açıktır.

Önerilen birinci dereceden süzgeç yapısına ilişkin benzetim ve ölçüm sonuçları ideal hal ile birlikte verilecektir. Benzetim sonuçları için FTFN gerçekleştirilmesinde, devrede bulunan AD844 elemanına ilişkin SPICE makromodeli kullanılmıştır.

Gerçek ölçmeler için de AD844 elemanı ile FTFN gerçekleştirilmesi uygulanmıştır. Buna göre birinci tip tüm geçiren süzgeç yapısına ilişkin ideal, benzetim ve gerçek ölçme değerlerini veren sonuçlar aşağıda Şekil 5.2'de gösterilmiştir. Grafikte gerilim kazancını veren sol düşey eksen desibel olarak gösterilmemiş, gerçek kazanç değerinde bırakılmıştır.

Birinci tipe ait olan bu sonuçlardan görüldüğü gibi ideal durum ile benzetim ve gerçek ölçme değerleri büyük oranda tutarlılık göstermektedir.

Yapının faz cevabı incelendiğinde, fazın düşük frekanslar bölgesinde 180 derece olduğunu ve kutup frekansı sonrasında 0 dereceye kaydığını görebilmekteyiz.



Şekil 5.2: Önerilen Birinci Tip Tüm Geçiren Süzgeç İçin İdeal, Benzetim ve Gerçek Ölçme Cevapları

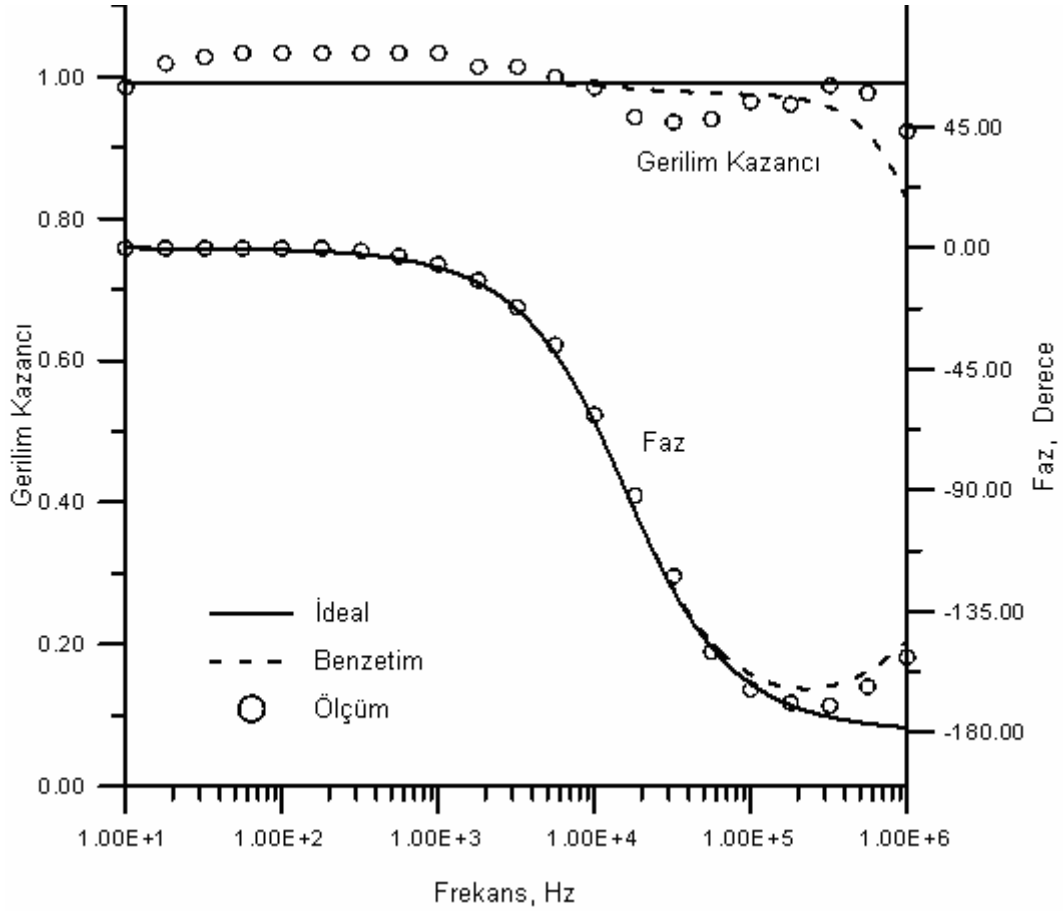
Gene kullanılan pasif elemanlar $R_1=10k\Omega$, $C_2=C_3=1nF$ olacak şekilde seçilmişlerdir. Bu durumda kutup frekansı da $f_c=15.9$ KHz olacaktır.

Aşağıda Şekil 5.3'te ise önerilen ikinci tip tüm geçiren süzgeç yapısına ilişkin frekans cevabı verilmiştir. Gene burada elde edilen benzetim ve ölçme sonuçlarının ideal frekans cevabıyla aynı karakterde olduğu söylenebilmektedir.

Bu yapıda ise $C_1=1nF$, $R_2=R_3=10k\Omega$ olacak şekilde pasif elemanlar belirlenmişlerdir. Bu durumda oluşacak kutup frekansı da $f_c=15.9$ KHz olacaktır.

Sonuç olarak Şekil 5.1'de önerilen genel süzgeç topolojisine ilişkin elde edilen birinci ve ikinci tip filtrelerin benzetim ve gerçek ölçme değerlerinin ideal durum sonuçlarına uygun olduklarını görmekteyiz.

İkinci tip tüm geçiren yapıda faz cevabının ilk tipin aksine düşük frekanslarda 0 dereceden kutup frekansından sonra yüksek frekanslarda yaklaşık olarak 180 dereceye döndüğünü görebilmekteyiz.

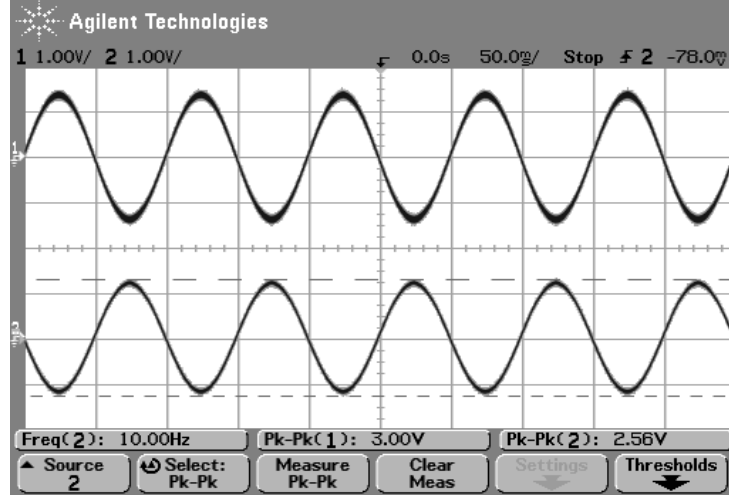


Şekil 5.3: Önerilen İkinci Tip Tüm Geçiren Süzgeç İçin İdeal, Benzetim ve Gerçek Ölçme Cevapları

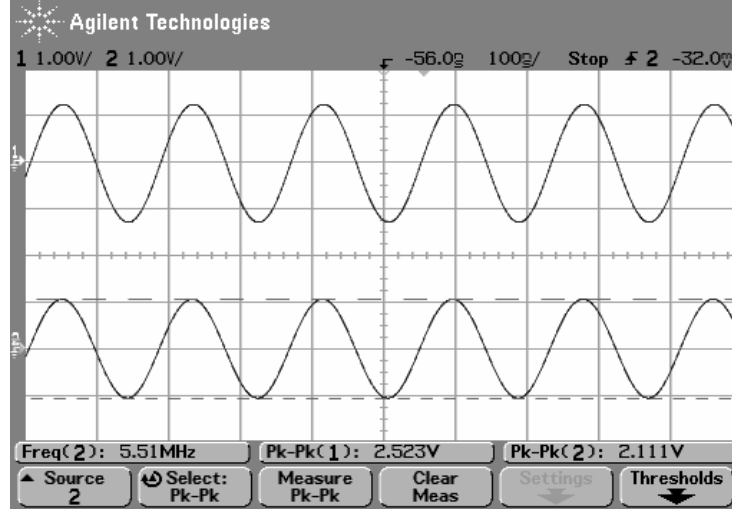
Her iki yapının da gerçekleştirilmesinde kullanılan AD844 elemanları Analog Devices firmasından sağlanmış olup, besleme gerilimleri için $\pm 10V$ 'luk besleme düzenleri kullanılmıştır.

Yapılara ilişkin zaman domenli ölçme sonuçları aşağıda Şekil 5.4 ve Şekil 5.5'te birinci tip tüm geçiren yapılar için sırasıyla 10 Hz ve 5.5 MHz giriş frekansları için verilmiştir.

Osiloskop görüntüleri incelendiğinde çıkış işaretinin frekans cevabına uygun olacak şekilde uygun faz cevabı gösterdiğini söyleyebilmekteyiz.



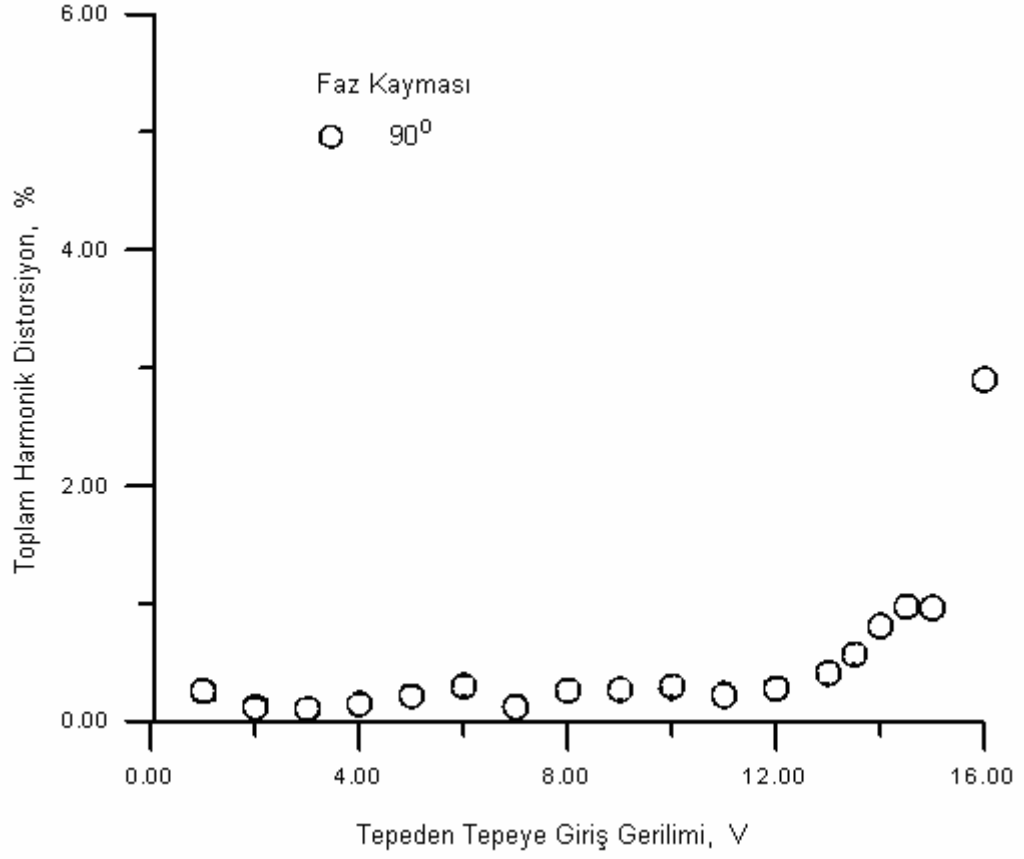
Şekil 5.4: Birinci Tip Tüm Geçiren Süzgeç Yapısına İlişkin 10 Hz Giriş İşareti ve Çıkış İşareti Osiloskop Görüntüsü



Şekil 5.5: Birinci Tip Tüm Geçiren Süzgeç Yapısına İlişkin 5.5 Mhz Giriş İşareti ve Çıkış İşareti Osiloskop Görüntüsü

Gene önerilen süzgeç yapısına ilişkin incelenmesi düşünülen bir diğer büyüklük de süzgecin büyük işaret davranışı olacaktır. Buna uygun olarak da gerçekleştirilen süzgecin toplam harmonik distorsiyonu için ölçmeler gerçekleştirilmiştir.

Aşağıda Şekil 5.6’da verilen toplam harmonik distorsiyon – tepeden tepeye giriş gerilimi grafikleri süzgeç yapısında 18KHz giriş frekansı için 90 derecelik faz kayması gerçekleştirildiği durum için gösterilmiştir. Süzgeç için verilen sonuçlardan da gösterilebileceği gibi yapının büyük işaret davranışı açısından iyi bir performans gösterdiği söylenebilir. Toplam harmonik distorsiyon değeri geniş bir giriş işareti aralığı içerisinde 90 ve 120 derecelik faz kaymaları için %1’in altında kalmaktadır.



Şekil 5.6: 18 KHz’de 90 Derecelik Faz Kaymaları İçin Deneysel Olarak Gözlenen Toplam Harmonik Distorsiyon Değerleri

Sonuç olarak da bir adet FTFN elemanı ve üç adet pasif eleman kullanılarak birinci dereceden tüm geçiren süzgeç yapısı elde edilmiştir. Yapıda kullanılan pasif elemanların uygun şekilde seçilmesiyle de birinci derecen bu süzgeç yapısı için iki tip alt süzgeçlerin elde edilebileceği gösterilmiştir.

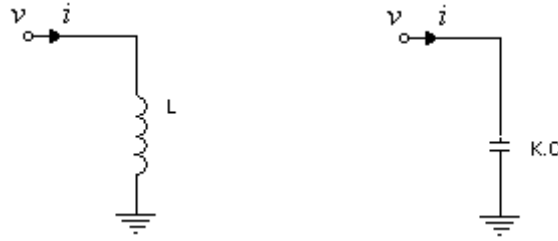
5.3 Topraklanmış Endüktans ve Kapasite Çarpma Devresi

FTFN elemanı kullanılarak elde edilebilecek bir diğer uygulama da iki adet FTFN ve pasif elemanların kullanılmasıyla gerçekleştirilebilen topraklanmış endüktans ve kapasite çarpma devresi olacaktır. Özellikle aktif devre sentezi açısından bakıldığında endüktans elemanının elektronik olarak benzetiminin yapılabilmesi önemlidir. Endüktans elemanlarının fiziksel olarak kapladıkları alanlar göz önüne alındığında özellikle tümdevre yapı blokları içerisinde kullanım gerekliliği zorunlu olduğunda endüktans elemanının çeşitli yollarla gerçekleştirilebilmesi ihtiyacı olacaktır.

Literatürde çeşitli evrensel aktif elemanların kullanıldığı endüktans benzetimleri oldukça fazla sayıda mevcuttur. Bu tez kapsamında tanıtımını yapacağımız endüktans benzetimi de FTFN elemanının kullanılmasıyla gerçekleştirilecektir.

Endüktans benzetimi için önerilen topolojinin, pasif elemanların uygun seçilmesiyle aynı zamanda bir kapasite çarpma devresi olarak da gerçekleştirilebileceği gösterilecektir. Buna göre gene tümdevre yapılarında kırmık üzeri kapladıkları alanlar itibariyle oldukça yer kaplayan kapasitelerin yüksek değerde elde edilebilmeleri açısından gene önemli olan kapasite çarpma devreleri için bu tezde FTFN kullanılmasıyla elde edilen bir örnek sunulacaktır. Her iki yapı için de SPICE benzetimleri gerçekleştirilecek ve yapılara ilişkin başarımlar değerlendirilecektir.

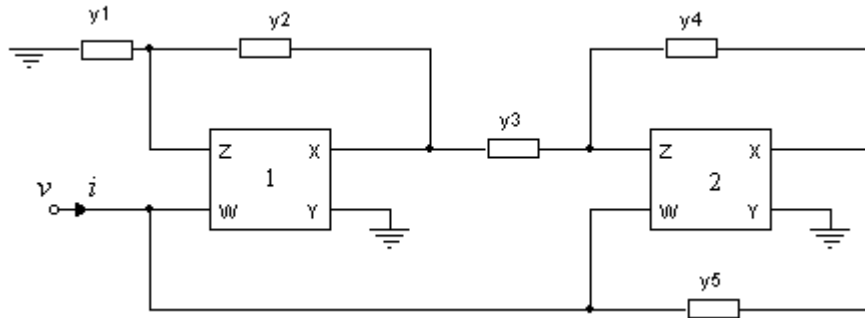
Aşağıda Şekil 5.7’de benzetimi yapılan topraklanmış endüktans ve kapasite çarpma devreleri sembolik olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.7: Topraklanmış Endüktans Ve Kapasite Çarpma Devresi İçin Sembolik Gösterim

Topraklanmış endüktans ve kapasite çarpma devresi için önerilen FTFN tabanlı yapı aşağıda Şekil 5.8’de verilmiştir. Yapıda iki adet FTFN elemanı ve beş adet pasif eleman kullanılmıştır.

Devrede gerilim ve akımlar cinsinden devre denklemleri yazılırsa;



Şekil 5.8: Topraklanmış Endüktans ve Kapasite Çarpma Devresi Önerilen Yapı

$$\begin{aligned}
I_{z1} &= V_{z1}(y_1 + y_2) \\
I_{z2} &= V_{z2}(y_3 + y_4) \\
V_{z2}y_4 &= -v \cdot y_5 \\
i &= I_{z1} + I_{z2} - (-v \cdot y_5)
\end{aligned} \tag{5.9}$$

Sonuç olarak da giriş i akımı ile v gerilimi için (5.10) ile verilen anmitans ifadesi elde edilebilir;

$$\frac{i}{v} = \frac{y_1 y_3 y_5}{y_2 y_4} \tag{5.10}$$

Admitans ifadesinde bulunan $y_2 = sC_2$ olarak kapasite biçiminde seçilir ve diğer pasif elemanlar için direnç elemanı uygun görülürse yapı için empedans ifadesi yazıldığında aşağıdaki eşdeğer denklem elde edilecektir.

$$Z(s) = \frac{v}{i} = s \cdot L_{E\delta} = s \cdot \frac{R_1 R_3 R_5}{R_4} C_2 \tag{5.11}$$

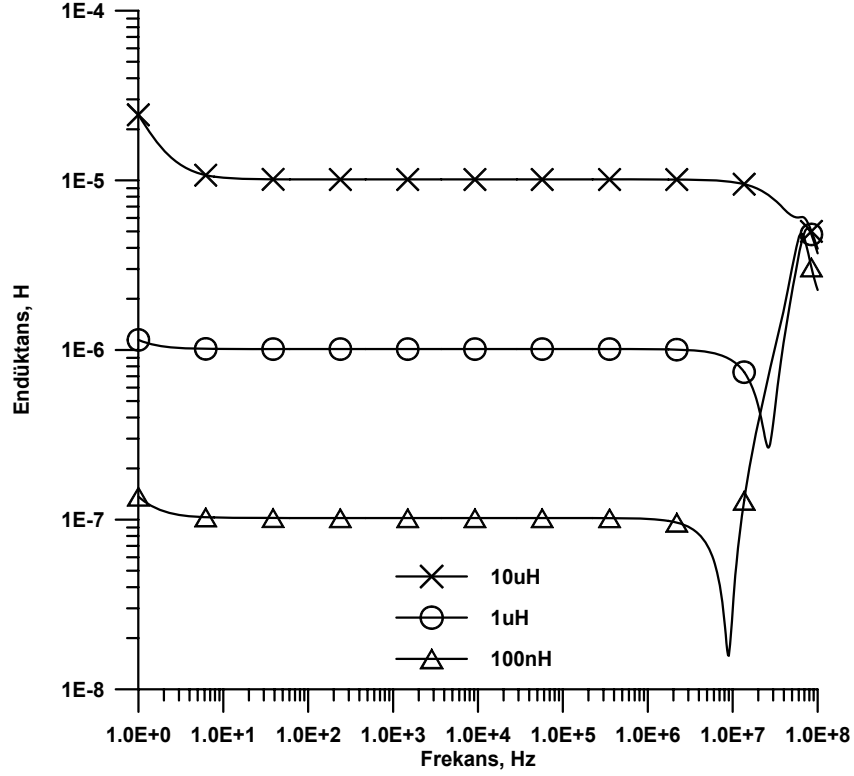
(5.11) denkleminde de görüldüğü üzere uygun pasif elemanları seçilerek elde edilen yapı ile topraklanmış endüktans benzetimi gerçekleştirilebilmektedir. Yapıda $L_{E\delta}$ ifadesi;

$$L_{E\delta} = \frac{R_1 R_3 R_5}{R_4} C_2 \tag{5.12}$$

Şeklinde tanımlanabilecektir. Aktif eleman değerlerinin ayarlanabilir olmasıyla birlikte yapıda istenen endüktans değeri elde edilebilecektir. Aşağıda uygun pasif eleman değerlerinin verilmesiyle elde edilen üç farklı endüktans için endüktans değerlerinin frekansla değişim grafikleri Şekil 5.9’da verilmiştir.

Yapıda kullanılan FTFN elemanı için gene tez kapsamında tasarımı gerçekleştirilen ve Şekil 4.2’de gösterilen yüksek performanslı FTFN elemanı kullanılmıştır.

Şekil 5.8’de verilen topraklanmış endüktans ve kapasite çarpma devresi için sıradaki inceleme kapasite çarpmaya yönelik olan kısmı içerecektir. Daha önce de belirtildiği gibi yüksek kapasite değerlerinin eldesi fiziksel olarak geniş alanların kullanılmasını gerektirmektedir. Elektronik olarak gerçekleştirilebilir ve değeri kontrol edilebilir bir kapasite bu anlamda oldukça işlevsel olacaktır.



Şekil 5.9: Topraklanmış Endüktans Yapısına İlişkin Elde Edilebilen 10uH, 1uH ve 100nH Endüktans Değerleri ve Frekans Davranışları

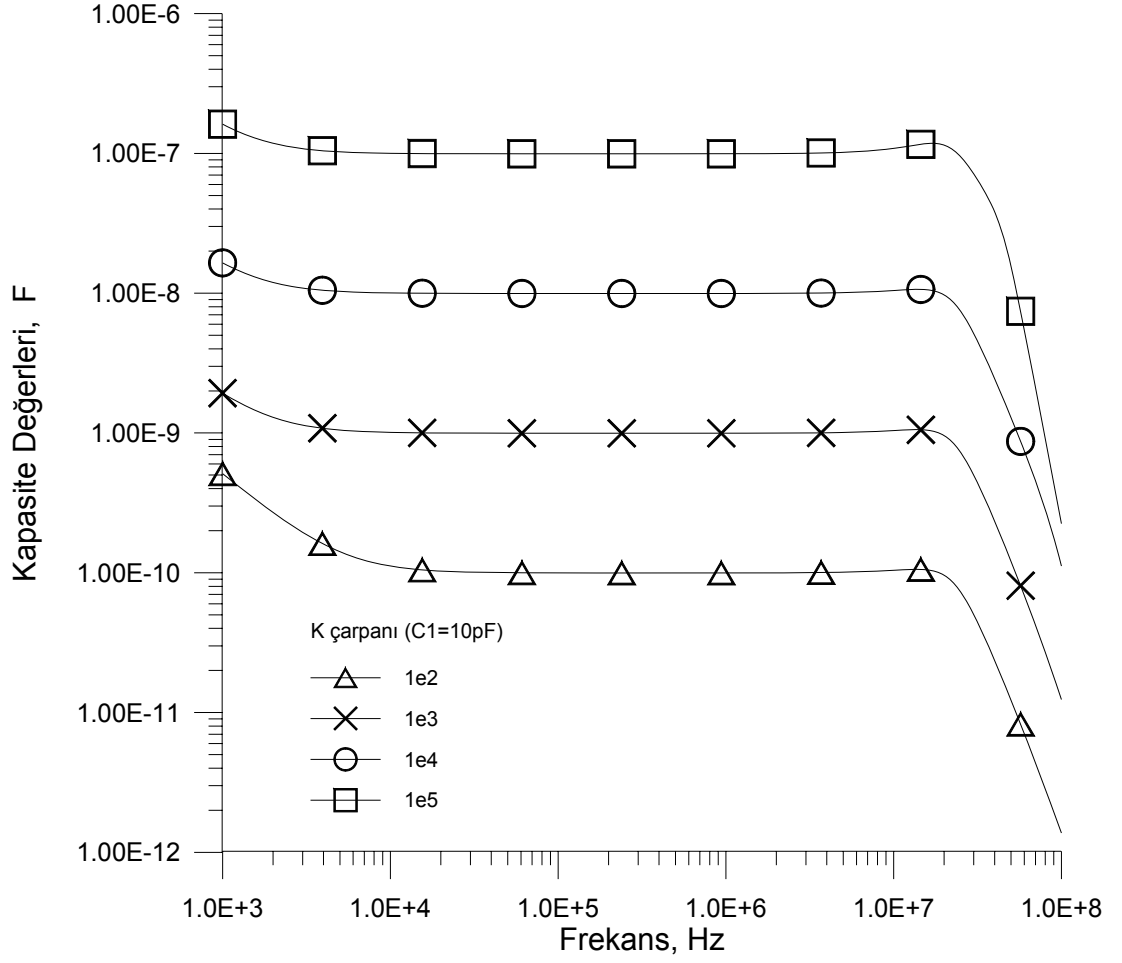
Buna göre Şekil 5.8’de verilen topraklanmış endüktans ve kapasite çarpma devresi için, $y_I = sC_I$ şeklinde kapasite olarak tanımlandığında ve devrede geriye kalan tüm diğer tüm pasif elemanlar direnç olarak gerçekleştirildiğinde yapı için girişten görülen empedans ifadesi (5.13) denklemiyle gösterildiği gibi olacaktır. Buna göre yapıda empedans fonksiyonu kapasitif bir davranış gösterecektir.

$$Z(s) = \frac{v}{i} = \frac{1}{s \cdot KC_1} = \frac{1}{s \cdot \frac{R_2 R_4}{R_3 R_5} C_1} \quad (5.13)$$

$K.C_1$ olarak ifade edilen eşdeğer kapasitede K çarpma katsayısı ise,

$$K = \frac{R_2 R_4}{R_3 R_5} \quad (5.14)$$

olarak elde edilecektir. Buna göre uygun direnç elemanı değerleri seçilmesiyle C_I kapasitesi K katsayısıyla çarpılacaktır. Kapasite çarpma devresinin başarımının gözlenebilmesi için ilgili yapı SPICE ortamında test edilmiştir. K çarpanının $10^2 - 10^5$ aralığında 10’un katları şeklinde arttırılması ile devrenin kapasitif davranışı aşağıda Şekil 5.10’da grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.10: Kapasite Çarpma Yapısına İlişkin Başarım

5.4 3. Dereceden Chebyshev Yüksek Geçiren Süzgeç Uygulaması

FTFN elemanı için bir diğer süzgeç uygulaması 3. dereceden seçilen bir Chebyshev yüksek geçiren süzgeç uygulaması olacaktır. Elektronik süzgeç yapıları işaret işleme uygulamaları başta olmak üzere elektroniğin gelişimine paralel olarak sürekli üzerinde çalışma yapılan konulardan biri olmuştur.

Temel pasif elemanlardan yola çıkılarak elde edilen süzgeç yapılarında pasif elemanların elektronik olarak elde edilebilmeleri özellikleri kullanılarak ilgili süzgeç fonksiyonlarının tümleştirilmeye uygun hale getirilmeleri başlıca araştırma sebeplerinden biri olmaktadır.

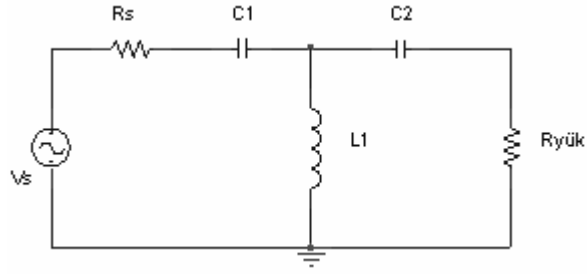
Daha önce önerilen topraklanmış endüktans yapısı da bu bölümde gerçekleştirilmek istenen süzgeç yapısında endüktans elemanının benzetimi için kullanılacaktır.

3. dereceden Chebyshev yüksek geçiren süzgeç uygulaması için göz önünde bulundurulacak büyüklükler şu şekilde verilebilir:

- 50Ω giriş çıkış empedansı
- 0.01dB dalgalılık
- 5 MHz kesim frekansı

Gerçekleştirilen süzgecin video bandı uygulamaları için de uygun olacağı düşünülebilir.

Süzgece ilişkin temel RLC yapısı aşağıda Şekil 5.11’da gösterileceği gibi olacaktır.



Şekil 5.11: 3. Dereceden Chebyshev Yüksek Geçiren Süzgeç Uygulaması İçin Temel RLC Yapısı

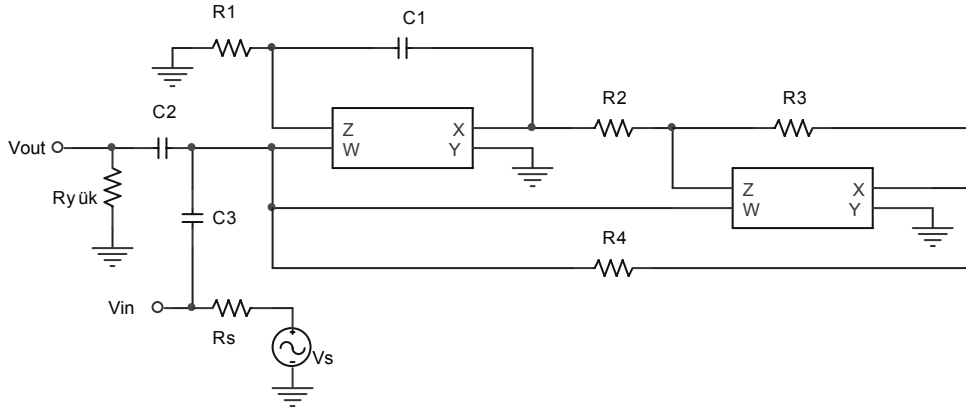
Yukarıdaki temel RLC yapısı incelendiğinde yapıda topraklanmış olarak endüktans elemanının bulunduğu görülmektedir. Devrenin istenen başarım koşullarını yerine getirebilmesi için pasif devre elemanlarının seçilmesi işlemi için Ansoft Designer programının filtre tasarım aracı kullanılmıştır.

İlgili başarım büyüklüklerini sağlayan devre eleman değerleri Tablo 5.1’de verilmiştir.

Devrede endüktansı gerçekleştirmek üzere daha önce tanıtımı yapılan topraklanmış endüktans benzetimi kullanılacaktır. Buna göre süzgece ilişkin tüm devre yapısı aşağıda Şekil 5.12’de gösterildiği gibi olacaktır.

Tablo 5.1: 3. Dereceden Chebyshev Pasif Eleman Değerleri

Pasif Elemanlar	Değerler
R_S	$50\ \Omega$
$R_{Yük}$	$50\ \Omega$
C_1	1 nF
C_2	1 nF
L	$1.64\ \mu H$

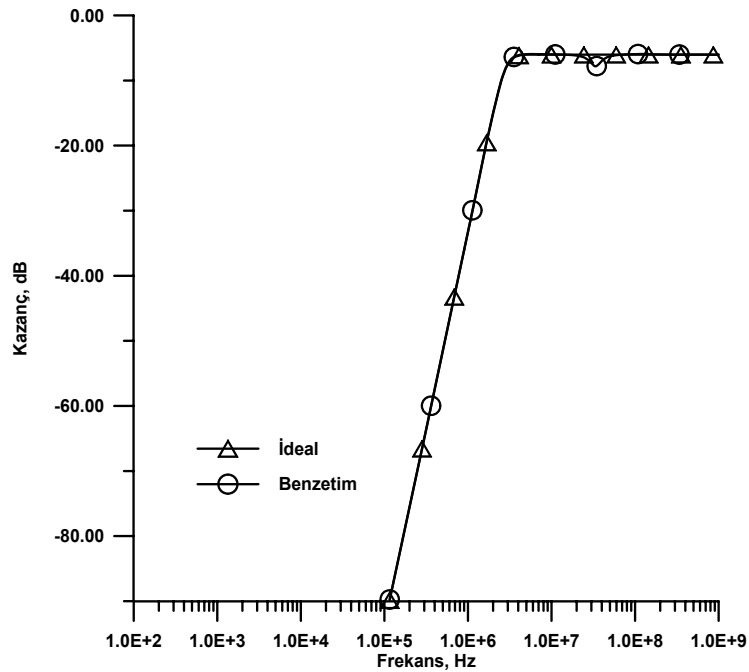


Şekil 5.12: 3. Dereceden Chebyshev Yüksek Geçiren Süzgeç FTFN Uygulaması

Yapının davranışının gözlenebilmesi için SPICE ortamında benzetimi yapılmış ve aşağıda Şekil 5.13'te verildiği şekilde süzgeç karakteristiği elde edilmiştir.

Grafikten de görüldüğü gibi önerilen topraklanmış yapının 3. dereceden Chebyshev yüksek geçiren süzgeç yapısında kullanılmasıyla beraber süzgeç için karakteristiklerin ideal endüktans kullanıldığı durum ile hemen hemen aynı başarıyı gösterdiğini görebilmekteyiz.

Buna göre de FTFN ile endüktans benzetiminin 3. dereceden Chebyshev yüksek geçiren süzgeç yapısıyla benzetimi yapılarak başarıyla test edildiğini de görebilmekteyiz.



Şekil 5.13: 3. Dereceden Chebyshev Yüksek Geçiren Süzgeç İçin Başarımın İdeal Ve Benzetim İle Karşılaştırılması

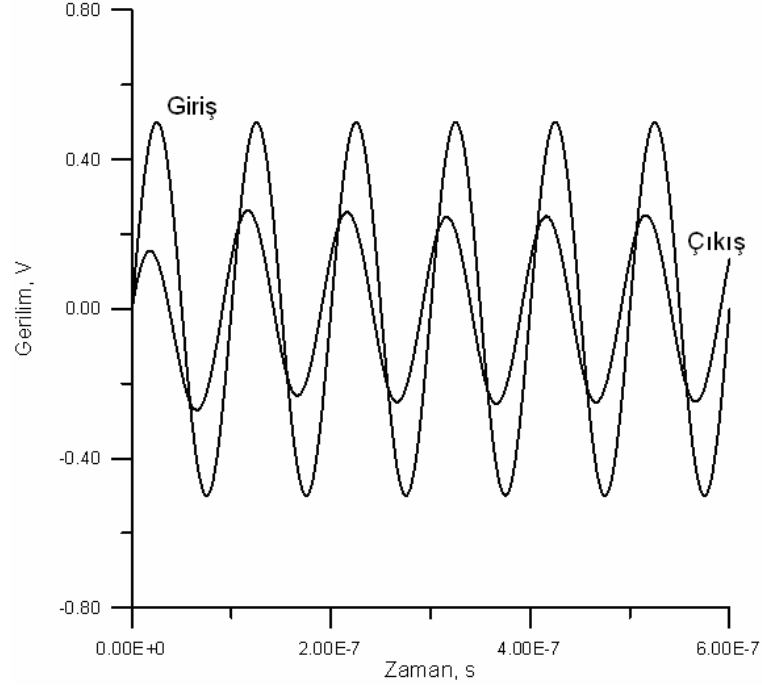
Şekil 5.12’de verilen yapıya ilişkin kullanılan pasif eleman değerleri de aşağıda Tablo 5.2’de özetlenmiştir.

Süzgecin zaman domenı cevabının incelenebilmesi için girişten 10 MHz frekanslı tepeden tepeye 1V genlikli sinüsoidal bir giriş işareti uygulanmış ve çıkıştan işaretin gerilim dalga şekli gözlenmiştir. Şekil 5.14 ile verilen bu durum, süzgecin geçirme bandı işersinde başarılı bir şekilde çalıştığını göstermektedir.

Sonuç olarak söylenebilir ki, FTFN elemanı kullanılarak elde edilen topraklanmış endüktans elemanının bir uygulaması olarak gerçekleştirilen 3. dereceden 0.01dB dalgalırlıklı ve 5 MHz kesim frekanslı bir süzgeç yapısı başarıyla gerçekleştirilebilmiştir.

Tablo 5.2: 3. Dereceden Chebyshev Süzgeci İçin Benzetimde Kullanılan Pasif Eleman Değerleri

Pasif Elemanlar	Değerler
R_S	50 Ω
$R_{Yük}$	50 Ω
C_1	100 pF
C_2	1 nF
C_3	1 nF
R_1	1k
R_2	1k
R_3	600k
R_4	10k

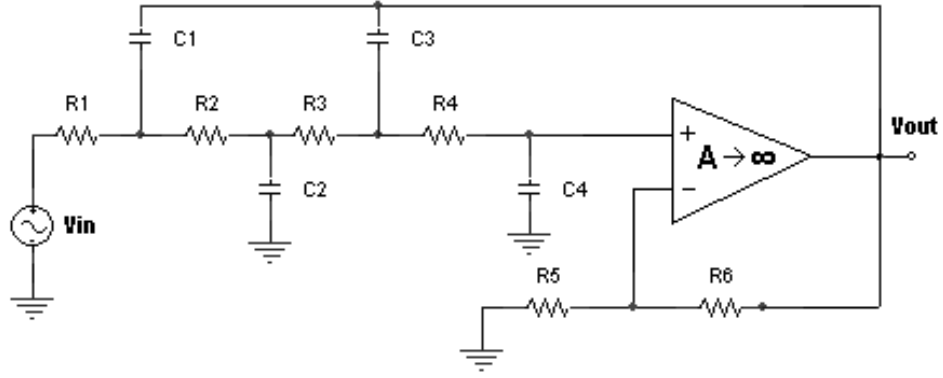


Şekil 5.14: 3. Dereceden Chebyshev Yüksek Geçiren Süzgeç İçin 10 Mhz Giriş İşareti ve Çıkış İşareti

5.5 Tek Aktif Elemanlı Akım Modlu 4. Dereceden Alçak Geçiren Filtre Uygulaması

Şekil 4.2’de önerilen yüksek performanslı FTFN yapısının başarımlı açısından sınanması için özellikle yüksek geçiş iletkenliği gerektiren bir uygulamanın seçilmesi faydalı olacaktır. Bu duruma uygun bir yapı için Jurisic ve Moschytz’in gerilim modunda çalışan 4. dereceden alçak geçiren süzgecin [29] bitişik devre yöntemiyle akım-moduna dönüştürülüp FTFN ile gerçekleştirilmesi öngörülmüştür. Moschytz’in önerdiği gerilim modlu yapı Şekil 5.15’te gösterilmiştir. İlgili eleman değerleri yine Tablo 5.3’te verilmiştir. Bitişik devre yöntemine uygun olarak dönüştürülecek devrede,

- (i) Öncelikle işlemsel kuvvetlendirici nulör eşdeğeri ile yer değiştirilir.
- (ii) Nulör eşdeğerinde noratör ile nulatör çifti karşılıklı olarak yer değiştirilir.
- (iii) Devrede bulunan pasif elemanlarla ilgili herhangi bir işlemde bulunulmaz.
- (iv) Gerilim modlu yapıda giriş gerilimi kısa devre edilerek yeni yapı için buradan akan akım çıkış akımı olarak kabul edilir.
- (v) Çıkış gerimine akım kaynağı bağlanarak buranın giriş akımı olması sağlanır.



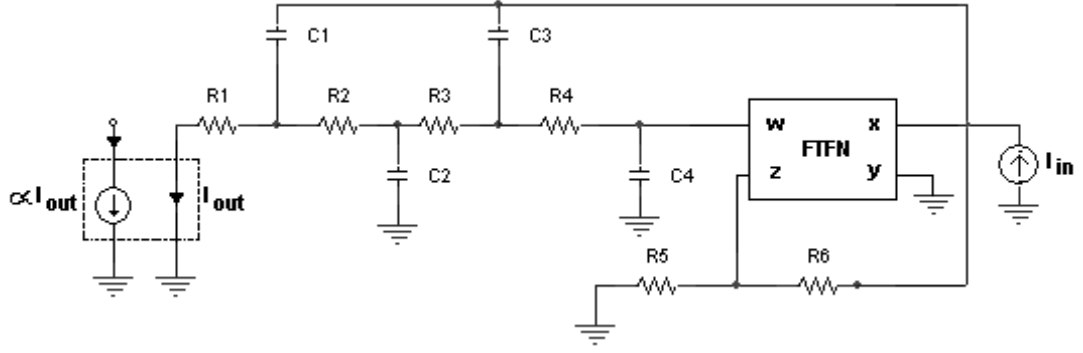
Şekil 5.15: 4. Dereceden Gerilim Modlu Tek Aktif Elemanlı Alçak Geçiren Süzgeç Yapısı

Dönüşüm sonucunda, ilk devrenin düğüm admitans matrisi, elde edilen devrenin düğüm admitans matrisinin transpozuna eşit olur ve böylece sonsuz giriş empedanslı ve sıfır çıkış empedanslı gerilim modlu kuvvetlendirici yapısından, sıfır giriş empedanslı ve sonsuz çıkış empedanslı akım kuvvetlendiricisine geçilmiş olunur [30,31].

Tablo 5.3: 4. Dereceden Alçak Geçiren Süzgeç İçin Kullanılan Pasif Eleman Değerleri

Pasif Elemanlar	Değerler
R_1	15.6 k Ω
R_2	49.93 k Ω
R_3	79.56 k Ω
R_4	2.65 k Ω
R_5 - R_6	1 k Ω
C_1 - C_4	10pF

Bitişik devre yönteminin uygulanması sonucunda FTFN kullanılarak elde edilen yeni akım modlu yeni yapı, çıkış akımının süzülerek elde edilebileceği haliyle Şekil 5.16’da gösterilmiştir.



Şekil 5.16: Akım Modlu 4. Dereceden Alçak Geçiren Süzgeç

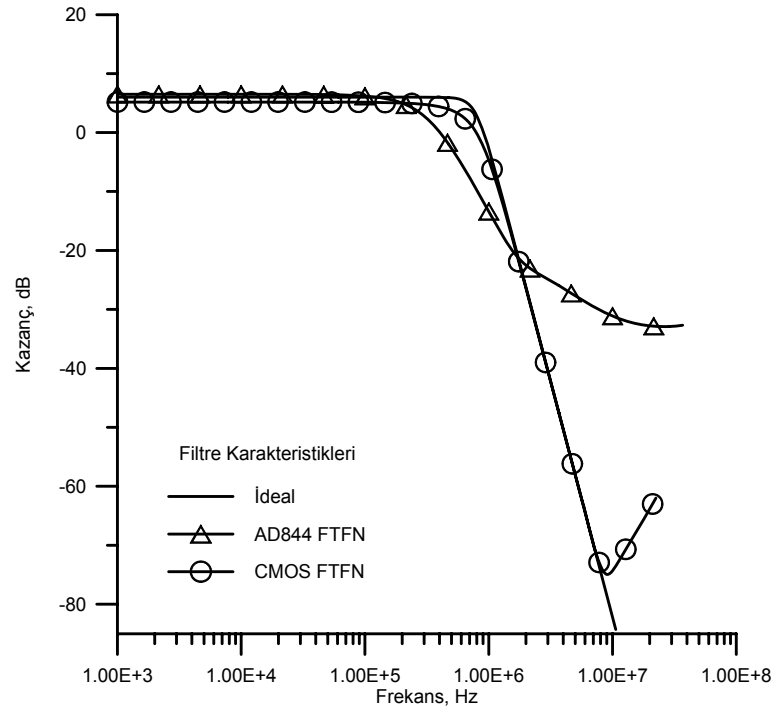
Yapıda kullanılan pasif eleman değerleri aynen korunmaktadır. Gerilim modlu yapıdan akım modlu yapıya geçilmesiyle birlikte gerilim modlu yapıda çıkış düğümü artık akım modlu yapı için akım girişi olacağından devrenin SPICE benzetimi yapılırken girişte AC akım kaynağı kullanılmıştır.

Çıkış için göz önünde bulundurulacak akım ise R_1 direnci üzerinden akan akım olacaktır. Bu akımın sezip-kuvvetlendirilip kullanılmasıyla yapı akım modlu olarak 4. dereceden alçak geçiren süzgeç karakteristiği gösterecektir. İlgili akım modlu yapı için süzgeç başarımı aşağıda Şekil 5.17’de verilmektedir. Grafikte 4. dereceden alçak geçiren filtreye ilişkin önerilen CMOS yapı için verilen başarımla birlikte klasik AD844 ile FTFN gerçekleştirilmesi de verilmiştir.

Dikkat edilirse klasik AD844 gerçekleştirilmesinin performansı ile bu süzgeç yapısını istenen başarımda gerçekleştirmek mümkün olamamaktadır. Sonuç olarak ancak çok yüksek geçiş iletkenliği başarımıyla bu uygulama devresini istenen koşullarda başarılı bir şekilde FTFN elemanı ile uygulamak mümkün olabilmektedir.

Bölüm 4.1’de tanıtımı yapılan çok yüksek geçiş iletkenlikli CMOS FTFN yapısının kullanılabileceği bir yapı için burada dönüşümü yapılan uygulama güzel bir örnek teşkil etmektedir. Bu uygulama için kullanılan FTFN elemanı için geçiş iletkenliği parametrik olarak değiştirilip benzetimler yapıldığında gözlenen sonuç, ancak çok yüksek geçiş iletkenliği değerleri için süzgeç karakteristiğinin istenen – beklenen bir yapıda gözüktüğünü göstermektedir. Özellikle süzgeç frekans karakteristiğinde kazancın düştüğü etek kısmında bozulmanın kabul edilebilir bir dB değerine kadar görülmemesi için çok yüksek geçiş iletkenliği değerine kullanılan FTFN elemanı için ihtiyaç duyulacaktır.

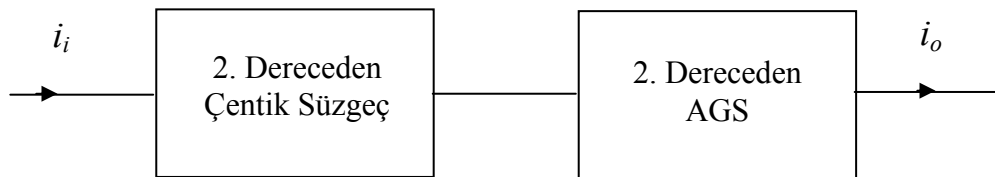
Şekil 5.17’de görüldüğü gibi AD844 elemanı için bu durumu gerçekleştirmek mümkün olamamaktadır.



Şekil 5.17: Akım Modlu 4. Dereceden Alçak Geçiren Süzgeç İçin Başarım

5.6 Video Bandı Uygulamaları İçin 4. Dereceden Akım Modlu Alçak Geçiren Eliptik Süzgeç Gerçeklemesi

FTFN elemanının kullanılmasıyla gerçekleştirilebilecek bir diğer uygulama da video bandı uygulamaları için uygulanabilir akım modlu 4. dereceden eliptik bir süzgeç tasarımı olacaktır. Yapıda Şekil 5.18’de gösterilen temel yaklaşım göz önünde bulundurulacaktır.



Şekil 5.18: Akım Modlu 4. Dereceden Eliptik Süzgeç Yapısı

Buna göre gerçekleştirilecek yapıda 2. dereceden çentik bir süzgeç ile 2. dereceden alçak geçiren süzgeç yapıları kaskad bağlanarak sonuç olarak 4. dereceden bir alçak geçiren süzgeç yapısı oluşturulacaktır. 4. dereceden eliptik süzgeç için transfer fonksiyonu 5.15 denkleminde verildiği gibi olacaktır.

$$T(s) = K \frac{s^2 + (w_z / Q_z)s + w_z^2}{s^2 + (w_p / Q_p)s + w_p^2} \quad (5.15)$$

İlgili transfer fonksiyonunda $w_p / Q_p \approx 0$ koşulu altında transfer fonksiyonu 5.16'da verildiği gibi olacaktır.

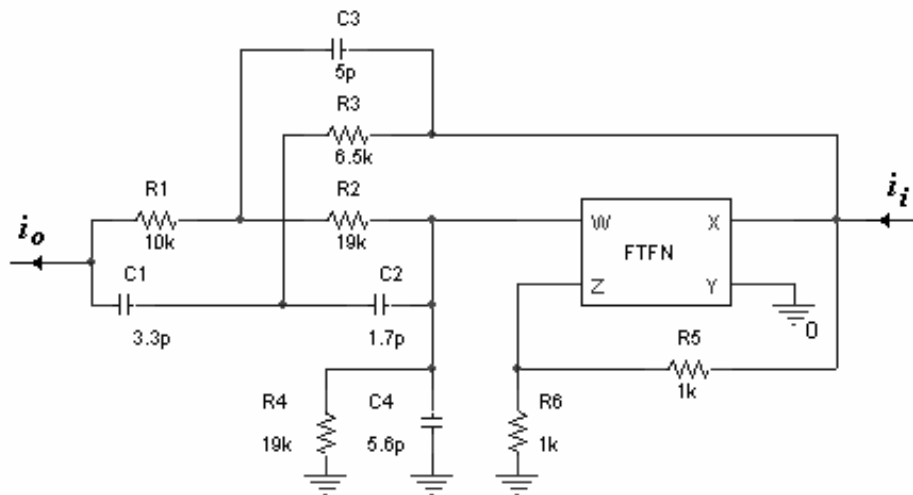
$$T(s) = K \frac{s^2 + w_z^2}{s^2 + (w_p / Q_p)s + w_p^2} \quad (5.16)$$

T(s) transfer fonksiyonu çift T-devresi, simetrik çift T-devresi ya da wien köprüsü gibi devrelerle elde edilebilir. Şekil 5.18'de verilen yapıya uygun gerçekleştirilecek süzgeç için transfer fonksiyonu da 5.17'de verildiği gibi olacaktır.

$$T(s) = \frac{i_o}{i_i}(s) = K \frac{s^2 + w_{z1}^2}{s^2 + (w_{p1} / Q_{p1})s + w_{p1}^2} \cdot \frac{w_{p2}^2}{s^2 + (w_{p2} / Q_{p2})s + w_{p2}^2} \quad (5.17)$$

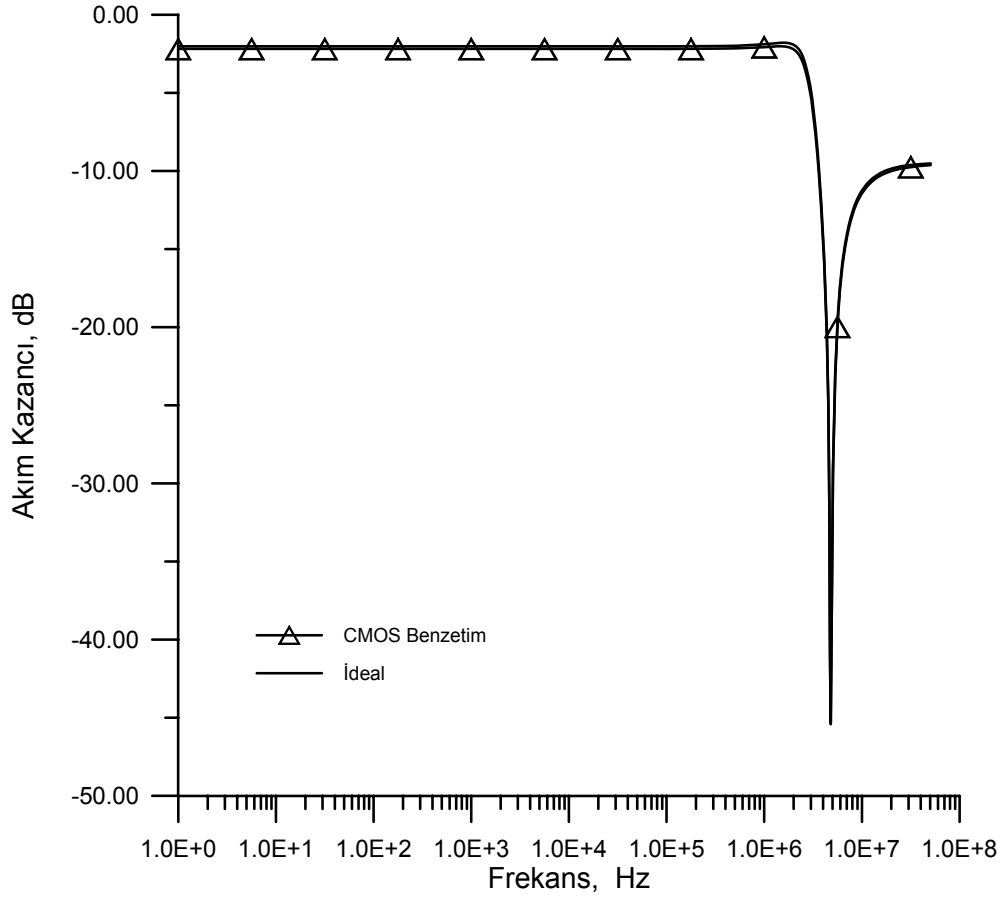
Uygulaması yapılacak süzgece ilişkin parametreler: $f_{z1} = 4.83MHz$, $f_{p1} = 3.46MHz$, $Q_{p1} = 3.418$, $f_{p2} = 2.65MHz$ ve $Q_{p2} = 0.675$ olacak şekilde gerçekleştirilecektir.

FTFN elemanı kullanılarak çentik süzgecin akım modlu gerçekleştirilmesi Şekil 5.19'da verildiği gibi olacaktır. Burada gerçekleştirilen yapıda çift-T yapısı kullanılmıştır [32].



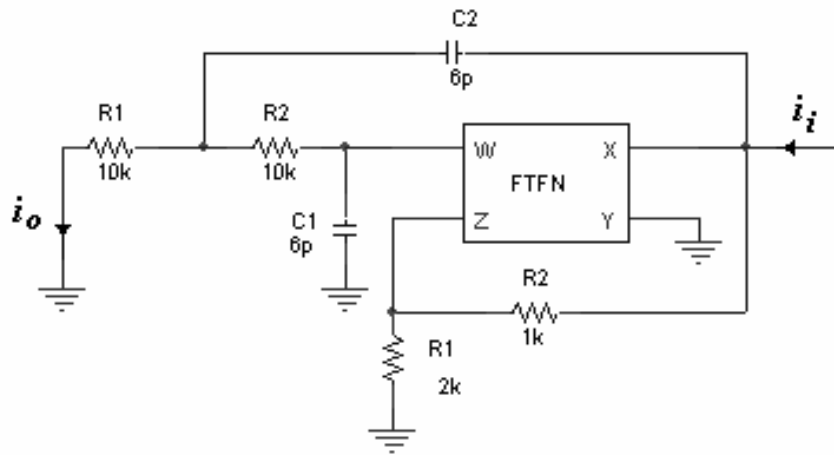
Şekil 5.19: Akım Modlu 2. Dereceden Çentik Süzgeç Yapısı

Gerçeklenen yapıda pasif eleman değerleri tümleştirmeye uygun büyüklüklerde seçilmiştir. Kullanılan en büyük kapasite değeri 5.6 pF olmaktadır. İlgili çentik süzgece ilişkin ideal ve CMOS gerçekleştirme benzetim sonuçları Şekil 5.20'de gösterildiği gibi olacaktır. Görüldüğü gibi yapının ideal davranışa uygun bir karakteristik gösterdiği söylenebilmektedir.



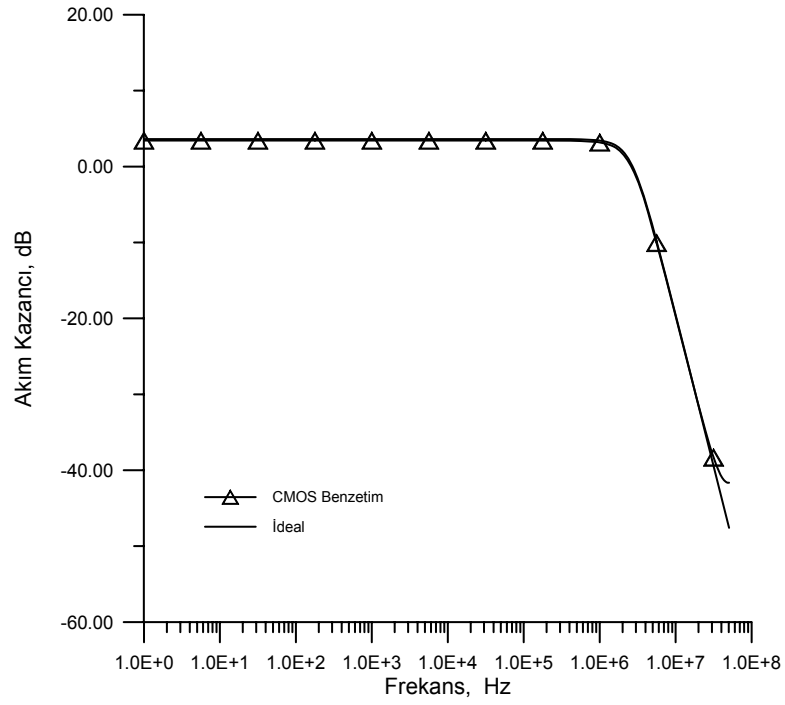
Şekil 5.20: Akım Modlu 2. Dereceden Çentik Süzgeç Karakteristiği

Benzer biçimde 5.17 denkleminde görülen 2. dereceden alçak geçiren süzgeç için akım modlu FTFN gerçekleştirilmesi de gene Şekil 5.21’de gösterildiği gibi uygulanabilir.



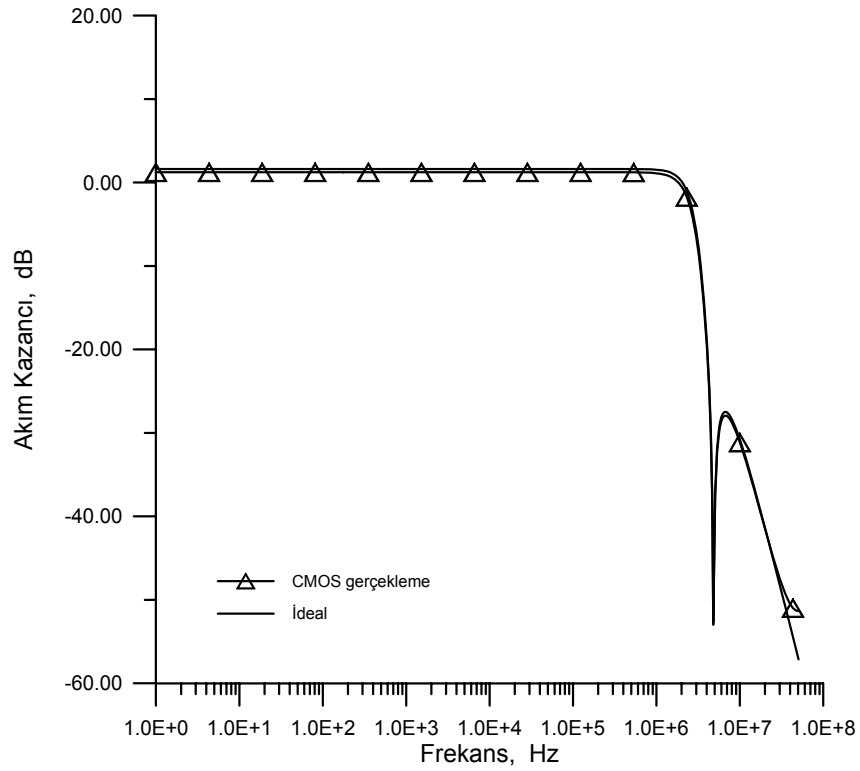
Şekil 5.21: Akım Modlu 2. Dereceden Alçak Geçiren Süzgeç Yapısı

Alçak geçiren süzgeç için ideal ve CMOS benzetim sonuçlarının birlikte verildiği durum Şekil 5.22’de verilen frekans karakteristiğinde gösterilmiştir.



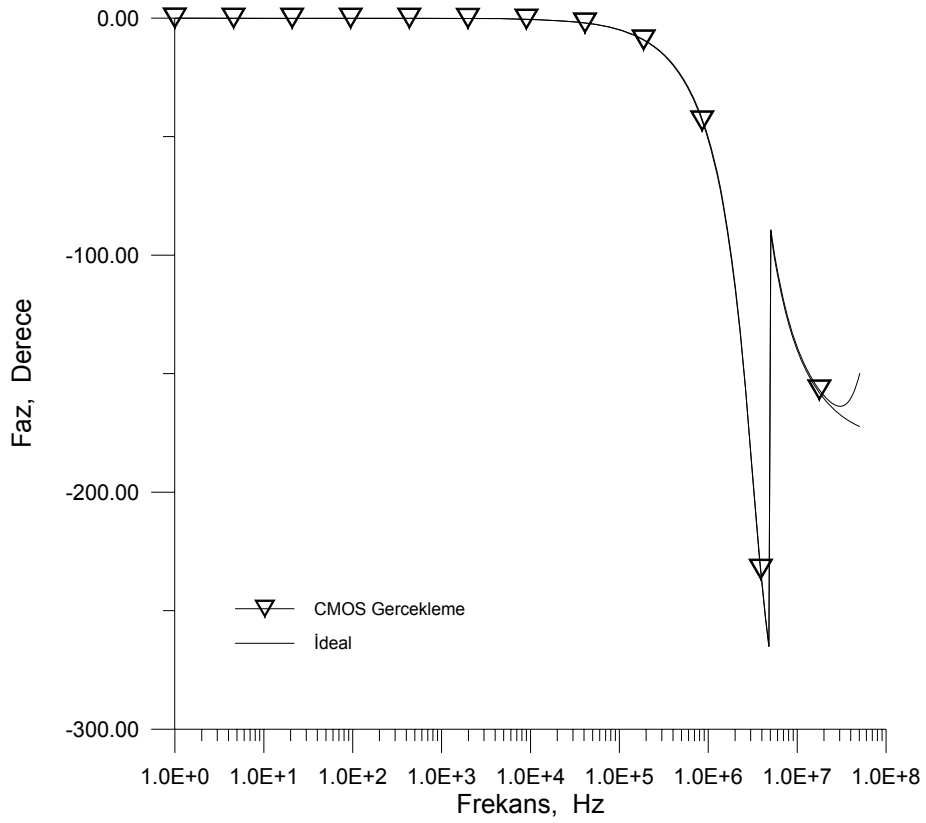
Şekil 5.22: Akım Modlu 2. Dereceden Alçak Geçiren Süzgeç Karakteristiği

Sonuç olarak Şekil 5.18’de verilen genel blok yapıya uygun olarak kaskad bağlanan çentik ve alçak geçiren süzgeçlerin birlikte oluşturduğu eliptik süzgecin frekans karakteristiği Şekil 5.23’de gösterildiği gibi olacaktır.



Şekil 5.23: Akım Modlu 4. Dereceden Alçak Geçiren Eliptik Süzgeç Frekans Karakteristiği

Gerçeklenen süzgece ilişkin faz cevabı da ideal durumdaki haliyle birlikte Şekil 5.24’de gösterilmiştir. Gene söylenebilir ki süzgeç yapısı için faz cevabı da ideal durumdaki faz yanıtı ile uyumlu bir davranış göstermektedir.

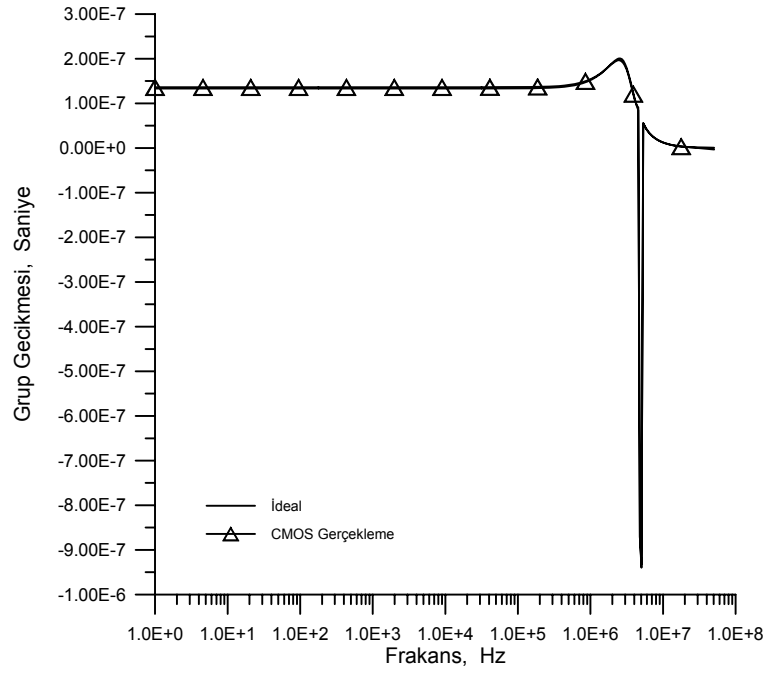


Şekil 5.24: Akım Modlu 4. Dereceden Alçak Geçiren Eliptik Süzgeç Faz Karakteristiği

Özellikle video bandı uygulamaları için kullanışlı olabilecek bu türden süzgeçlerin bir diğer önemli parametresi de grup gecikmesi olacaktır. Genellikle geçirme bandı içerisinde bir kaç nanosaniye mertebesindeki grup gecikmeleri kabul edilebilir sınırlar içerisinde kalacaktır.

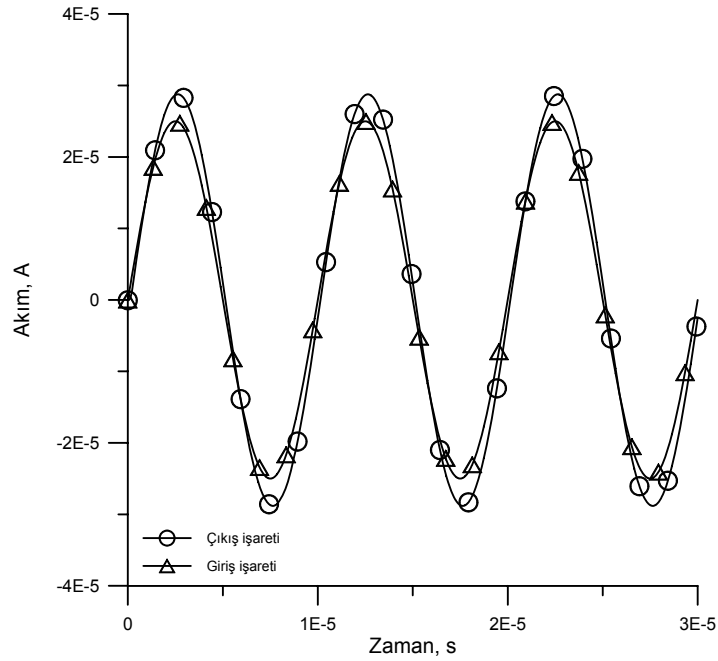
Örneğin ITU 601 standardı olan ve video bandı uygulamaları için tanımlanmış bir durumda grup gecikmesinin 5ns’den küçük olması beklenmektedir.

İlgili 4. dereceden alçak geçiren eliptik süzgeç için de grup gecikmesi-frekans karakteristiği Şekil 5.25’te gösterilmiştir. Buna göre alçak geçiren süzgecin geçirme bandı içerisindeki grup gecikmesinin neredeyse sabit olduğu ve beklenen standart değerleri kolaylıkla sağlayabileceği görülmektedir.



Şekil 5.25: Akım Modlu 4. Dereceden Alçak Geçiren Eliptik Süzgeç Grup Gecikmesi-Frekans Karakteristiği

Süzgece ilişkin büyük işaret davranışını veren 50 μ A tepeden tepeye genlikli giriş sinüzoidal işaretinin süzgeç çıkışı Şekil 5.26’da gösterilmiştir.



Şekil 5.26: Süzgeç İçin Büyük İşaret Davranışı

Sonuç olarak video bandı uygulamalarında kullanılabilecek türden 4. dereceden alçak geçiren eliptik bir süzgeç akım modlu olarak FTFN elemanı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada literatürde daha önce tanıtımı yapılmış olan dört uçlu yüzen nulör – FTFN elemanına ilişkin yeni iç yapı ve uygulamalar tanıtılmıştır. Öncelikle aktif devre sentezinin temel yapı taşları olan evrensel aktif elemanlara ilişkin bir genel değerlendirmede bulunulmuş, ardından da FTFN elemanı tanım bağıntıları ve gerçekleştirme yöntemlerinden bahsedilmiştir.

FTFN elemanı literatürde hemen hemen birçok yerde aktif devre sentezi açısından en uygun eleman olarak gösterilmektedir. Elemana ilişkin nulör eşdeğeri üzerinden yapılan ve tüm uçların yüzer ve bağımsız olmasıyla ilgili olarak varılan bu yargının aslında elemanın uygulama yapıları içerisinde geri beslemeden bağımsız olarak açık çevrimde çalıştırılmayacağı göz önüne alındığında çok da doğru olmadığı görülmektedir. Sadece FTFN elemanının sağlayabileceği bir transfer fonksiyonunu göstermek de mümkün gözükmemektedir.

Günümüzde elektronik devrelerin tümleştirmesinin yoğun bir şekilde uygulamalarda önem kazandığı düşünüldüğünde FTFN elemanının da CMOS teknolojisiyle istenen çalışma koşullarını sağlayacak şekilde kırmık içerisinde gerçekleştirilebileceği önceden beri düşünülmüştür. Literatürde önerilen çeşitli FTFN elemanları göz önünde bulundurulduğunda bunlara ilişkin geçiş iletkenliği parametrelerinin en iyi durumlarda birkaç yüz mA/V mertebesinde olduğu görülmektedir. Bu çalışmada FTFN elemanının en önemli başarımlar parametresi olan geçiş iletkenliği değerinin oldukça yüksek değerlerde sağlanabilmesi için bir iç yapı önerilmiştir. Yaklaşık 3000 A/V değerli bir geçiş iletkenliğine sahip CMOS FTFN yapısının 0.35µm teknolojisinde benzetimi yapılarak başarımlarını gösterilmiştir. Gene kısmen daha basit yapıda bir CMOS FTFN yapısı 4.7A/V değerinde geçiş iletkenliği değeri gösterecek şekilde uygulanmıştır.

Yüksek performanslı önerilen iç yapıların dışında FTFN elemanının kullanılmasıyla gerçekleştirilebilen yeni uygulamalara da yer verilmiştir. Bu amaçla tek FTFN kullanılarak gerilim modlu olarak birinci dereceden tüm geçiren süzgeç iki tip olarak elde edilmiştir. Bunun dışında iki adet FTFN elemanı ile pasif elemanların birlikte kullanıldığı endüktans benzetimi yapılmış, gene aynı topolojide uygun pasif elemanlarla kapasite çarpma devresinin de oluşturulabileceği gösterilmiştir.

Endüktans benzetiminin bir R-L-C devresi uygulamasında kullanılarak 3. dereceden yüksek geçiren Chebyshev süzgeç uygulaması da başarıyla gerçekleştirilmiştir.

Özellikle gerilim modlu yapıların akım modlu eşdeğerlerinin bulunmasında aktif elemanların nulör eşdeğerlerinin kullanılması ve uygun dönüşümlerin yapılması esasına dayanan bitişik devre dönüşümü yöntemiyle tek aktif eleman kullanılarak gerçekleştirilen gerilim modlu 4. dereceden alçak geçiren bir süzgeç yapısının akım modlu eşdeğeri elde edilerek FTFN elemanı ile gerçekleştirilmesi sağlanmıştır. Yüksek geçiş iletkenliğine sahip bir FTFN ile başarımın gerçekleştirilebileceği bu devrenin bölüm 4.1’de önerilen iç yapı ile benzetimi SPICE ortamında yapılarak önerilen iç yapının yüksek başarımı gösterilmiştir. Son olarak da video bandı uygulamalarında kullanılabilecek türden 4. dereceden alçak geçiren eliptik bir süzgeç akım modlu olarak FTFN elemanı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] **Wilson, B.** 1990. Recent development in current conveyors and current mode circuits. *EE Proceedings*, vol. **137**, Pt. G., pp.63-77
- [2] **Toumazou, C., Lidgey, F.J. and Haigh, D.** 1990. *Analog IC design: the current-mode approach*. (Peter Peregrinus, Exeter, UK)
- [3] **Tellegen, B. D. H.**, 1954. La recherche pour una série complète d'éléments de circuit ideaux nonlinéaires, *Rendiconti del Seminario Matematico e Fisico di Milano*, vol. **25**, pp. 134–144.
- [4] **Schmid, H.**, 2000. Approximating the universal active element, *IEEE Transactions On Circuits and Systems: Analog And Digital Signal Processing*, Vol. **47**, No.11, pp. 1160-1169.
- [5] **Carlin, H. J.**, 1964. Singular network elements, *IEEE Trans. Circuit Theory*, **13**, pp.67-72.
- [6] **Tellegen, B. D. H.**, 1966. On nullators and norators, *IEEE Trans. Circuit Theory*, **13**, pp.466-469.
- [7] **Çam, U.**, 2000. *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [8] **Carlosena, A., Cabeza, R. and Serrano, L.**, 1994. On the search for a “universal” active element. *Circuits and Systems, ISCAS '94., IEEE International Symposium 30 May-2 Jun.* Vol. **5** pp.779-782.
- [9] **Huijsing, J. H.**, 1990. Operational Floating Amplifier (OFA), *IEE Proc.* part **G**, 137, pp. 131-136
- [10] **Kiranatho, B.**, 2000. FTFN elemanı ve uygulamaları, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [11] **Abuelma'atti, M.T. and Al-Zaher, H.A.**, 1999. Universal two-input two-output current-mode active biquad using FTFNs, *International Journal of Electronics*, Vol. **86**, No.2, pp.181-188
- [12] **Çam, U., Toker, A. ve Kuntman, H.**, 2000. CMOS FTFN realisation based on translinear cells, *Electronics Letters* Volume **36**, Issue **15**, pp.1255 – 1256.

- [13] **Al-Zaher, H.A. and Ismail, M.**, 2002. A CMOS Fully Balanced Four-Terminal Floating Nullor, *IEEE Transactions On Circuits And Systems-I: Fundamental Theory And Applications*, Vol. **49**, No.4 pp. 413-425.
- [14] **Çam, U., Toker A. ve Kuntman H.**, 2000. CMOS FTFN realisation based on translinear cells, *Electronics Letters*. Vol.36, pp.1255-1256.
- [15] **Çam, U. ve Kuntman, H.**, 1999. CMOS four terminal floating nullor design using a simple approach, *Microelectronics Journal* **30**, pp.1187–1194
- [16] **Uygur, A. ve Kuntman, H.**, 2003. Yüksek başarılı bir CMOS işlemsel kuvvetlendirici gerçekleştirilmesi ve aktif süzgeç tasarımına uygulanması, *Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Müh. 10. Ulusal Kongresi Bildiri Kitabı*, Cilt II, pp.259-262.
- [17] **Arbel, A. and Goldminz, L.**, 1992. Output stage for current-feedback amplifiers, theory and applications, *Analog Integrated Circuits and Signal Processing*, **2**, pp.243-255.
- [18] **Huijsing, J. H.**,1990. Operational floating amplifier, *IEE Proceedings*, vol.**137**, Pt.G., pp.131-136.
- [19] **Çam, U., Çiçekoğlu, O. ve Kuntman, H.**, 1999. A new four terminal floating nullor based single-input three output current-mode multifunction filter, *Microelectronics Journal*, vol.**30**, no.**2**, pp.115-118
- [20] **Bhaskar, D.R.**, 1999. Single resistance controlled sinusoidal oscillator using single FTFN, *Electronics Letters*, vol.**35**, p.190.
- [21] **Liu, S. L.**, 1997. Single-resistance-controlled sinusoidal oscillator using two FTFNs, *Electronics Letters*, vol.**33**, pp.1185-1186.
- [22] **Senani, R.**, 1987. A novel application of four-terminal floating nullor, *Proceedings of the IEEE*, vol.**75**, pp.1544-1546.
- [23] **Papazoğlu, C. A. ve Karybakas, C. A.**, 1998. A Transformation to Obtain CCII- Based Adjoint of Op-Amp-Based Circuits, *IEEE Transactions on Circuit Systems-II: Analog and Digital Signal Processing*, **45**, **9**, pp.894-898.
- [24] **Uzunhisarcıklı, E. ve Alçı, M.**, 2002. Voltaj ve Akım Modlu devreleri Birbirine Dönüştürme Yöntemi ve Osilatör Uygulamaları, *Elektrik, Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu ve Fuarı, ELECO 2002*. pp.38-39.

- [25] **Roberts, G. W. and Sedra, A. S.**, 1992. A General Class of Current Amplifier-Based Biquadratic Filter Circuits, *IEEE Transaction on Circuit and Systems-I: Fundamental Theory and Applications*, **39**, pp.257-263.
- [26] **Svoboda, J. A.**, 1989. Current Conveyors Operational Amplifiers and Nullors, *Proceedings of the IEE*, **136**, pp.317-322.
- [27] **Alçı, M. ve Uzunhisarcıklı, E.**, 1997. UAE'lerin Gelişimi Ve Bir BGS Devresinin Voltaj ve Akım Modunda FTFN ile Gerçekleştirilmesi. *Elektrik, Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği 7. Ulusal Kongresi*, 8-12 Eylül. pp.38-39.
- [28] **Higashimura, M. and Fukui, Y.**, 1992. Realization of immittance function using a single FTFN and its application to filters. *ISCAS'92. Proceedings.*, 1992 IEEE International Symposium on Vol **2**, pp.851-854.
- [29] **Jurisic, D., Moschytz, G.S. and Mijat, N.**, 2004. Low-sensitivity, low-power 4th order low-pass active-RC allpole filter using impedance tapering Electrotechnical Conference, *MELECON 2004. Proceedings of the 12th IEEE Mediterranean*, vol **1**, pp.107-110.
- [30] **Svoboda J. A.**, 1989. Current Conveyors Operational Amplifiers and Nullors, *Proceedings of the IEE*, **136**, pp. 317-322.
- [31] **Maxim-Dallas Semiconductor.** 2004. Active Video Filters application notes.
http://www.maxim-ic.com/appnotes.cfm/an_pk/3172
- [32] **Kuntman H.**, 1978. Aktif RC filtreleriyle PCM kanal filtresi gerçekleştirilmesi ve kalın film tekniğine uygulanması, Rapor 78.07. İTÜ Elektrik Fakültesi, Yüksek Frekans Tekniği Kürsüsü.

ÖZGEÇMİŞ

19 Ocak 1981 Adapazarı doğumlu olan Mustafa Saygıner, ilk ve orta öğrenimini Ezine'de, lise öğrenimini ise Çanakkale Y. Dil Ağırlıklı İbrahim Bodur Lisesi'nde tamamlamıştır. Eğitimine İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Fakültesi'nde devam ederek, 2004 yılında Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği programından mezun olmuştur. Aynı yıl başladığı İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik Mühendisliği Yüksek Lisans programını sürdürmekte ve 2005 yılında başladığı Elektronik Ana Bilim Dalı, araştırma görevliliğine devam etmektedir. İlgilendiği konular arasında bipolar ve CMOS analog tümdevre tasarımı ile yüksek frekans elektroniği bulunmaktadır.