

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HALKA REZONATÖR YAPILARININ KULLANILDIĞI TAMAMEN OPTİK
BUTTERWORTH VE CHEBYSHEV FİLTRELERİN TASARIMI**

YUSUF HACISALİHOĞLU

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRONİK VE HABERLEŞME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ELEKTRONİK PROGRAMI**

**DANIŞMAN
YRD. DOÇ. DR. N. ÖZLEM ÜNVERDİ**

İSTANBUL, 2011

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HALKA REZONATÖR YAPILARININ KULLANILDIĞI TAMAMEN OPTİK
BUTTERWORTH VE CHEBYSHEV FİLTRELERİN TASARIMI**

YUSUF HACISALİHOĞLU

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRONİK VE HABERLEŞME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ELEKTRONİK PROGRAMI**

**DANIŞMAN
YRD. DOÇ. DR. N. ÖZLEM ÜNVERDİ**

İSTANBUL, 2011

ÖNSÖZ

Çalışmalarım boyunca bilgisi ve tecrübeleri ile beni yönlendiren ve bilimsel çalışmalara teşvik eden çok kıymetli Hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. N. Özlem ÜNVERDİ'ye, desteğini hiç eksik etmeyen değerli Hocam Sayın Ar. Gör. Mehmet ÜNAL'a, manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan çok değerli ailem ve nişanlım Bedriye KARAMAN'a, yüksek lisans eğitimim süresince beni anlayışla karşılayan iş arkadaşlarıma ve müdürlerime teşekkürü bir borç bilirim.

Ağustos, 2011

Yusuf HACISALİHOĞLU

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	VII
KISALTMA LİSTESİ.....	VIII
ŞEKİL LİSTESİ.....	IX
ÇİZELGE LİSTESİ	XV
ÖZET	XVIII
ABSTRACT.....	XX

BÖLÜM 1

GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	4
1.3 Bulgular	5

BÖLÜM 2

SAYISAL FİLTRELER	6
2.1 Sonsuz Darbe Cevaplı (IIR) Filtreler	7
2.2 Temel IIR Filtre Yapıları.....	8
2.2.1 Direkt Form IIR Filtre Yapısı	8
2.2.2 Kaskad Form IIR Filtre Yapısı.....	9
2.3 IIR Filtrenin Kutupları ve Sıfırları.....	11
2.4 IIR Filtrenin Transfer Fonksiyonu.....	12
2.5 Sayısal Filtre Yaklaşımları.....	13
2.5.1 Butterworth Filtre Yaklaşımı.....	14
2.5.2 Chebyshev Filtre Yaklaşımı	15
2.5.2.1 Birinci Tip Chebyshev Filtre Yaklaşımı	15
2.5.2.2 İkinci Tip (Ters) Chebyshev Filtre Yaklaşımı	17
2.6 Analog Filtrelerden IIR Filtrelerin Tasarımı.....	19

BÖLÜM 3

OPTİK FİBER KUPLÖRLER VE OPTİK REZONATÖRLER	21
3.1 Optik Kuplörler	21
3.1.1 Kuplör Mod Teorisi.....	23
3.1.1.1 Modların Uzay Domeninde Kuplajı.....	23
3.1.1.2 Modların Zaman Domeninde Kuplajı.....	26
3.1.1.3 Modların Frekans Domeninde Kuplajı	27
3.1.2 Propagasyon Sabitinin Değişimi	28
3.1.3 Kuplaj Katsayıları.....	29
3.2 Optik Rezonatörler	30

BÖLÜM 4

BUTTERWORTH FİLTRE UYGULAMALARI	33
4.1 Tüm Kutup ve Tüm Sıfır Bloklarının Optik Fiber Kuplörlerle Oluşturulması.....	33
4.2 Blok Yapıları Kullanılarak Butterworth Filtre Karakteristiklerinin Elde Edilmesi	41
4.2.1 Alçak Geçiren Butterworth Filtreler	41
4.2.1.1 Önerilen Kaskad Sistemin Transfer Fonksiyonuna Dönüştürülmesi	44
4.2.1.2 Butterworth Alçak Geçiren Filtrenin Tasarım Parametrelerinin Belirlenmesi.....	46
4.2.2 Yüksek Geçiren Butterworth Filtreler	56
4.2.3 Band Geçiren Butterworth Filtreler	65

BÖLÜM 5

CHEBYSHEV FİLTRE UYGULAMALARI	70
5.1 Tüm Kutup ve Tüm Sıfır Bloklarının Optik Kuplörlerle Oluşturulması.....	70
5.1.1 Kutupların Transfer Fonksiyonunu Gerçekleştiren Rezonatör Yapısı	71
5.1.2 Sıfırların Transfer Fonksiyonunu Gerçekleştiren Rezonatör Yapısı	74
5.2 Blok Yapıları Kullanılarak Chebyshev Filtre Karakteristiklerinin Elde Edilmesi	76
5.2.1 Birinci Tip Chebyshev Filtreler	78
5.2.1.1 Alçak Geçiren Birinci Tip Chebyshev Filtreler	78
5.2.1.2 Yüksek Geçiren Birinci Tip Chebyshev Filtreler	85
5.2.1.3 Band Geçiren Birinci Tip Chebyshev Filtreler ($\omega_c = 0.2 - 0.8$)	91
5.2.1.4 Band Geçiren Birinci Tip Chebyshev Filtre ($\omega_c = 0.3 - 0.7$).....	103
5.2.2 İkinci Tip Chebyshev Filtreler	115
5.2.2.1 Alçak Geçiren İkinci Tip Chebyshev Filtreler.....	115
5.2.2.2 Yüksek Geçiren İkinci Tip Chebyshev Filtreler	122
5.2.2.3 Band Geçiren İkinci Tip Chebyshev Filtreler ($\omega_c = 0.2 - 0.8$)	128
5.2.2.4 Band Geçiren İkinci Tip Chebyshev Filtre ($\omega_c = 0.3 - 0.7$)	140

BÖLÜM 6

SONUÇLAR.....	152
KAYNAKLAR.....	153
EK-A.....	155
EK-B.....	158
ÖZGEÇMİŞ.....	162

SİMGE LİSTESİ

a_k	Filtre katsayısı
b_k	Filtre katsayısı
ω_p	Geçirme bandının kenar frekansı
ω_s	Durdurma bandının kenar frekansı
ω_c	3 dB kesim frekansı
δ	Durdurma bandındaki dalgalanmanın maksimum genlik değeri
ε	Geçiş bandı dalgacık genliğini kontrol eden parametre
N	Filtre derecesi
M	Payda polinomu derecesi
H	Transfer fonksiyonu
K	Kuplaj katsayısı
a	Diğer kuplaj katsayısı
γ	Kuplaj kaybı
γ_c	Diğer kuplaj kaybı
α	Transmisyon hattındaki zayıflama sabiti
λ	Dalgaboyu
L	İletim hattının uzunluğu
K_n	Dalga vektörü
ω	Açısal frekans
$\emptyset$	Faz kayması
β	Yayılm sabiti
n_0	Kırılma indisi
c	Boşluktaki ışık hızı
φ	Zamanla değişen belirsiz faz dalgalanması

KISALTMA LİSTESİ

WDM	Wavelength Division Multiplexing (Dalgaboyu Bölmeli Çoğullama)
DWDM	Dence Wavelength Division Multiplexing (Yoğun Dalgaboyu Bölmeli Çoğullama)
DRA	Distributed Raman Amplifier (Dağılmış Raman Kuvvetlendirici)
EDFA	Erbium Doped Fiber Amplifier (Erbiyum Katkılı Fiber Kuvvetlendirici)
CMOS	Complementary Metal Oxide Semiconductor (Bütünleyici Metal Oksit Yarıiletken)
FFT	Fast Fourier Transform (Hızlı Fourier Dönüşümü)
IIR	Infinite Impulse Response (Sonsuz Darbe Cevabı)
VLSI	Very Large Scale Integration (Çok Büyük Çapta Tümleşme)
AG	Alçak Geçiren
YG	Yüksek Geçiren
BG	Band Geçiren
AGBF	Alçak Geçiren Butterworth Filtre
YGBF	Yüksek Geçiren Butterworth Filtre
BGBF	Band Geçiren Butterworth Filtre
AGCF	Alçak Geçiren Chebyshev Filtre
YGCF	Yüksek Geçiren Chebyshev Filtre
BGCF	Band Geçiren Chebyshev Filtre
H_{az}	All Zero Transfer Function (Tüm Sıfır Transfer Fonksiyonu)
H_{ap}	All Pole Transfer Function (Tüm Kutup Transfer Fonksiyonu)

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1	Direkt form IIR filtre yapısı..... 9
Şekil 2.2	Birbirinden farklı eşdeğer kaskad yapılar 10
Şekil 2.3	Üçüncü dereceden IIR filtrenin kaskad formda gerçekleştirilmesi..... 10
Şekil 2.4	Alçak geçiren filtrenin genlik cevabının karesi 13
Şekil 2.5	N=2, 3, 4, ve 5. dereceden Butterworth filtreler için genlik cevabının normalize frekans ile değişimi 15
Şekil 2.6	Bilineer dönüşüm..... 20
Şekil 3.1	2x2 Optik fiber kuplörün blok şeması..... 22
Şekil 3.2	Üç dB kuplör sinyal girişi ve çıkışları 22
Şekil 3.3	Rezonatör çeşitleri: (a) Düzlem ayna rezonatör (b) Ring rezonatör (c) Küresel ayna rezonatör (d) Optik fiber rezonatör 31
Şekil 4.1	Transfer fonksiyonunun bir kutbunu gerçekleştiren yapı 33
Şekil 4.2	Kompleks eşlenikli kutupların gerçekleştirilmesi için gereken ek yapı 37
Şekil 4.3	Karmaşık eşlenikli sıfırların transfer fonksiyonunu gerçekleştiren yapı.... 37
Şekil 4.4	Transfer fonksiyonunun bir sıfırını gerçekleştiren yapı..... 38
Şekil 4.5	Alçak geçiren Butterworth filtrenin blokları (N=2)..... 41
Şekil 4.6	Alçak geçiren Butterworth filtrenin blokları (N=3)..... 49
Şekil 4.7	Alçak geçiren Butterworth filtrenin blokları (N=4)..... 50
Şekil 4.8	Alçak geçiren Butterworth filtrenin blokları (N=5)..... 51
Şekil 4.9	Alçak geçiren Butterworth filtrenin blokları (N=6)..... 52
Şekil 4.10	Alçak geçiren Butterworth filtrenin normalize genliğinin normalize frekansa göre değişimi (N=2, 3, 4, 5 ve 6) 54
Şekil 4.11	Alçak geçiren Butterworth filtrenin faz cevabının normalize frekansa göre değişimi (N=2, 3, 4, 5 ve 6) 54
Şekil 4.12	Alçak geçiren Butterworth filtrenin grup gecikmesinin normalize frekansa göre değişimi (N=2, 3, 4, 5 ve 6) 55

Şekil 4.13	Alçak geçiren Butterworth filtrenin faz gecikmesinin normalize frekansa göre değişimi (N=2, 3, 4, 5 ve 6)	55
Şekil 4.14	Yüksek geçiren Butterworth filtrenin blokları (N=2)	56
Şekil 4.15	Yüksek geçiren Butterworth filtrenin blokları (N=3)	58
Şekil 4.16	Yüksek geçiren Butterworth filtrenin blokları (N=4)	59
Şekil 4.17	Yüksek geçiren Butterworth filtrenin blokları (N=5)	60
Şekil 4.18	Yüksek geçiren Butterworth filtrenin blokları (N=6)	61
Şekil 4.19	Yüksek geçiren Butterworth filtrenin normalize genliğinin normalize frekansa göre değişimi (N=2, 3, 4, 5 ve 6)	63
Şekil 4.20	Yüksek geçiren Butterworth filtrenin faz cevabının normalize frekansa göre değişimi (N=2, 3, 4, 5 ve 6)	63
Şekil 4.21	Yüksek geçiren Butterworth filtrenin grup gecikmesinin normalize frekansa göre değişimi (N=2, 3, 4, 5 ve 6)	64
Şekil 4.22	Yüksek geçiren Butterworth filtrenin faz gecikmesinin normalize frekansa göre değişimi (N=2, 3, 4, 5 ve 6)	64
Şekil 4.23	Band geçiren Butterworth filtrenin açık blok şeması (N=4)	65
Şekil 4.24	Band geçiren Butterworth filtrenin kaskad yapısı (N=4)	66
Şekil 4.25	Band geçiren Butterworth filtrenin kaskad yapısı (N=5)	66
Şekil 4.26	Band geçiren Butterworth filtrenin kaskad yapısı (N=6)	66
Şekil 4.27	Band geçiren Butterworth filtrenin kaskad yapısı (N=7)	66
Şekil 4.28	Band geçiren Butterworth filtrenin kaskad yapısı (N=8)	66
Şekil 4.29	Band geçiren Butterworth filtrenin kaskad yapısı (N=9)	66
Şekil 4.30	Band geçiren Butterworth filtrenin kaskad yapısı (N=10)	67
Şekil 4.31	Band geçiren Butterworth filtrenin kaskad yapısı (N=11)	67
Şekil 4.32	Band geçiren Butterworth filtrenin kaskad yapısı (N=12)	67
Şekil 4.33	Band geçiren Butterworth filtrenin normalize genliğinin normalize frekansa göre değişimi (N=4-12)	67
Şekil 4.34	Band geçiren Butterworth filtrenin faz cevabının normalize frekansa göre değişimi (N=4-12)	68
Şekil 4.35	Band geçiren Butterworth filtrenin grup gecikmesinin normalize frekansa göre değişimi (N=4-12)	68
Şekil 4.36	Band geçiren Butterworth filtrenin faz gecikmesinin normalize frekansa göre değişimi (N=4-12)	69
Şekil 5.1	Kutupların transfer fonksiyonunu gerçekleştiren rezonatör yapısı.....	71
Şekil 5.2	Sıfırların transfer fonksiyonunu gerçekleştiren rezonatör yapısı.....	74
Şekil 5.3	Kaskad bağlı alçak geçiren veya yüksek geçiren Chebyshev filtrenin açık blok şeması (N=3)	78

Şekil 5.4	Alçak geçiren birinci tip Chebyshev filtre blokları (N=3)	78
Şekil 5.5	Alçak geçiren birinci tip Chebyshev filtre blokları (N=4)	79
Şekil 5.6	Alçak geçiren birinci tip Chebyshev filtre blokları (N=5)	80
Şekil 5.7	Alçak geçiren birinci tip Chebyshev filtre blokları (N=6)	81
Şekil 5.8	Alçak geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin normalize genliğinin normalize frekansa göre değişimi (N=3, 4, 5 ve 6)	83
Şekil 5.9	Alçak geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin fazının normalize frekansa göre değişimi (N=3, 4, 5 ve 6)	83
Şekil 5.10	Alçak geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin grup gecikmesinin normalize frekansa göre değişimi (N=3, 4, 5 ve 6)	84
Şekil 5.11	Alçak geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin faz gecikmesinin normalize frekansa göre değişimi (N=3, 4, 5 ve 6)	84
Şekil 5.12	Yüksek geçiren birinci tip Chebyshev filtre blokları (N=3)	85
Şekil 5.13	Yüksek geçiren birinci tip Chebyshev filtre blokları (N=4)	86
Şekil 5.14	Yüksek geçiren birinci tip Chebyshev filtre blokları (N=5)	87
Şekil 5.15	Yüksek geçiren birinci tip Chebyshev filtre blokları (N=6)	88
Şekil 5.16	Yüksek geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin normalize genliğinin normalize frekansa göre değişimi (N=3, 4, 5 ve 6)	89
Şekil 5.17	Yüksek geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin faz cevabının normalize frekansa göre değişimi (N=3, 4, 5 ve 6)	90
Şekil 5.18	Yüksek geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin grup gecikmesinin normalize frekansa göre değişimi (N=3, 4, 5 ve 6)	90
Şekil 5.19	Yüksek geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin faz gecikmesinin normalize frekansa göre değişimi (N=3, 4, 5 ve 6)	91
Şekil 5.20	Alçak geçiren birinci tip Chebyshev filtre blokları (N=3) ($\omega_c = 0.8$)	92
Şekil 5.21	Alçak geçiren birinci tip Chebyshev filtre blokları (N=4) ($\omega_c = 0.8$)	93
Şekil 5.22	Alçak geçiren birinci tip Chebyshev filtre blokları (N=5) ($\omega_c = 0.8$)	94
Şekil 5.23	Alçak geçiren birinci tip Chebyshev filtre blokları (N=6) ($\omega_c = 0.8$)	95
Şekil 5.24	Yüksek geçiren birinci tip Chebyshev filtre blokları (N=3) ($\omega_c = 0.2$)	96
Şekil 5.25	Yüksek geçiren birinci tip Chebyshev filtre blokları (N=4) ($\omega_c = 0.2$)	97
Şekil 5.26	Yüksek geçiren birinci tip Chebyshev filtre blokları (N=5) ($\omega_c = 0.2$)	98
Şekil 5.27	Yüksek geçiren birinci tip Chebyshev filtre blokları (N=6) ($\omega_c = 0.2$)	99
Şekil 5.28	Band geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin kaskad yapısı (N=6)	100
Şekil 5.29	Band geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin kaskad yapısı (N=7)	100
Şekil 5.30	Band geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin kaskad yapısı (N=8)	100
Şekil 5.31	Band geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin kaskad yapısı (N=9)	100
Şekil 5.32	Band geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin kaskad yapısı (N=10)	100

Şekil 5.33	Band geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin kaskad yapısı (N=11)	100
Şekil 5.34	Band geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin kaskad yapısı (N=12)	100
Şekil 5.35	Band geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin genlik cevabının normalize frekansa göre değişimi ($\omega_c = 0.2, 0.8$) (N=6-12)	101
Şekil 5.36	Band geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin faz cevabının normalize frekansa göre değişimi ($\omega_c = 0.2, 0.8$) (N=6-12)	101
Şekil 5.37	Band geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin grup gecikmesinin normalize frekansa göre değişimi ($\omega_c = 0.2, 0.8$) (N=6-12)	102
Şekil 5.38	Band geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin faz gecikmesinin normalize frekansa göre değişimi ($\omega_c = 0.2, 0.8$) (N=6-12)	102
Şekil 5.39	Alçak geçiren birinci tip Chebyshev filtre blokları (N=3) ($\omega_c = 0.7$)	103
Şekil 5.40	Alçak geçiren birinci tip Chebyshev filtre blokları (N=4) ($\omega_c = 0.7$)	104
Şekil 5.41	Alçak geçiren birinci tip Chebyshev filtre blokları (N=5) ($\omega_c = 0.7$)	105
Şekil 5.42	Alçak geçiren birinci tip Chebyshev filtre blokları (N=6) ($\omega_c = 0.7$)	106
Şekil 5.43	Yüksek geçiren birinci tip Chebyshev filtre blokları (N=3) ($\omega_c = 0.3$)	107
Şekil 5.44	Yüksek geçiren birinci tip Chebyshev filtre blokları (N=4) ($\omega_c = 0.3$)	108
Şekil 5.45	Yüksek geçiren birinci tip Chebyshev filtre blokları (N=5) ($\omega_c = 0.3$)	109
Şekil 5.46	Yüksek geçiren birinci tip Chebyshev filtre blokları (N=6) ($\omega_c = 0.3$)	110
Şekil 5.47	Band geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin kaskad yapısı (N=6)	112
Şekil 5.48	Band geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin kaskad yapısı (N=7)	112
Şekil 5.49	Band geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin kaskad yapısı (N=8)	112
Şekil 5.50	Band geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin kaskad yapısı (N=9)	112
Şekil 5.51	Band geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin kaskad yapısı (N=10)	112
Şekil 5.52	Band geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin kaskad yapısı (N=11)	112
Şekil 5.53	Band geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin kaskad yapısı (N=12)	112
Şekil 5.54	Band geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin genlik cevabının normalize frekansa göre değişimi ($\omega_c = 0.3, 0.7$) (N=6-12)	113
Şekil 5.55	Band geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin faz cevabının normalize frekansa göre değişimi ($\omega_c = 0.3, 0.7$) (N=6-12)	113
Şekil 5.56	Band geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin grup gecikmesinin normalize frekansa göre değişimi ($\omega_c = 0.3, 0.7$) (N=6-12)	114
Şekil 5.57	Band geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin faz cevabının normalize frekansa göre değişimi ($\omega_c = 0.3, 0.7$) (N=6-12)	114
Şekil 5.58	Kaskad bağlı alçak geçiren ve yüksek geçiren Chebyshev ikinci tip filtre açık blok şeması (N=3)	115
Şekil 5.59	Alçak geçiren ikinci tip Chebyshev filtre blokları (N=3) ($\omega_c = 0.5$)	115
Şekil 5.60	Alçak geçiren ikinci tip Chebyshev filtre blokları (N=4) ($\omega_c = 0.5$)	116

Şekil 5.61	Alçak geçiren ikinci tip Chebyshev filtre blokları ($N=5$) ($\omega_c = 0.5$).....	117
Şekil 5.62	Alçak geçiren ikinci tip Chebyshev filtre blokları ($N=6$) ($\omega_c = 0.5$).....	118
Şekil 5.63	Alçak geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin genlik cevabının normalize frekansa göre değişimi ($N=3, 4, 5$ ve 6) ($\omega_c = 0.5$).....	120
Şekil 5.64	Alçak geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin faz cevabının normalize frekansa göre değişimi ($N=3, 4, 5$ ve 6) ($\omega_c = 0.5$).....	120
Şekil 5.65	Alçak geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin grup gecikmesinin normalize frekansa göre değişimi ($N=3, 4, 5$ ve 6) ($\omega_c = 0.5$).....	121
Şekil 5.66	Alçak geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin faz gecikmesinin normalize frekansa göre değişimi ($N=3, 4, 5$ ve 6) ($\omega_c = 0.5$).....	121
Şekil 5.67	Yüksek geçiren ikinci tip Chebyshev filtre blokları ($N=3$) ($\omega_c = 0.5$)	122
Şekil 5.68	Yüksek geçiren ikinci tip Chebyshev filtre blokları ($N=4$) ($\omega_c = 0.5$)	123
Şekil 5.69	Yüksek geçiren ikinci tip Chebyshev filtre blokları ($N=5$) ($\omega_c = 0.5$)	124
Şekil 5.70	Yüksek geçiren ikinci tip Chebyshev filtre blokları ($N=6$) ($\omega_c = 0.5$)	125
Şekil 5.71	Yüksek geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin genlik cevabının normalize frekansa göre değişimi ($N=3, 4, 5$ ve 6) ($\omega_c = 0.5$).....	126
Şekil 5.72	Yüksek geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin faz cevabının normalize frekansa göre değişimi ($N=3, 4, 5$ ve 6) ($\omega_c = 0.5$).....	127
Şekil 5.73	Yüksek geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin grup gecikmesinin normalize frekansa göre değişimi ($N=3, 4, 5$ ve 6) ($\omega_c = 0.5$).....	127
Şekil 5.74	Yüksek geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin faz gecikmesinin normalize frekansa göre değişimi ($N=3, 4, 5$ ve 6) ($\omega_c = 0.5$).....	128
Şekil 5.75	Alçak geçiren ikinci tip Chebyshev filtre blokları ($N=3$) ($\omega_c = 0.8$).....	129
Şekil 5.76	Alçak geçiren ikinci tip Chebyshev filtre blokları ($N=4$) ($\omega_c = 0.8$).....	130
Şekil 5.77	Alçak geçiren ikinci tip Chebyshev filtre blokları ($N=5$) ($\omega_c = 0.8$).....	131
Şekil 5.78	Alçak geçiren ikinci tip Chebyshev filtre blokları ($N=6$) ($\omega_c = 0.8$).....	132
Şekil 5.79	Yüksek geçiren ikinci tip Chebyshev filtre blokları ($N=3$) ($\omega_c = 0.2$)	133
Şekil 5.80	Yüksek geçiren ikinci tip Chebyshev filtre blokları ($N=4$) ($\omega_c = 0.2$)	134
Şekil 5.81	Yüksek geçiren ikinci tip Chebyshev filtre blokları ($N=5$) ($\omega_c = 0.2$)	135
Şekil 5.82	Yüksek geçiren ikinci tip Chebyshev filtre blokları ($N=6$) ($\omega_c = 0.2$)	136
Şekil 5.83	Band geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin kaskad yapısı ($N=6$)	137
Şekil 5.84	Band geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin kaskad yapısı ($N=7$)	137
Şekil 5.85	Band geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin kaskad yapısı ($N=8$)	137
Şekil 5.86	Band geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin kaskad yapısı ($N=9$)	137
Şekil 5.87	Band geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin kaskad yapısı ($N=10$)	137
Şekil 5.88	Band geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin kaskad yapısı ($N=11$)	137
Şekil 5.89	Band geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin kaskad yapısı ($N=12$)	137

Şekil 5.90	Band geçiren 2.Tip Chebyshev filtrenin genlik cevabının normalize frekansa göre değişimi ($\omega_c = 0.2, 0.8$) (N=6-12)	138
Şekil 5.91	Band geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin faz cevabının normalize frekansa göre değişimi ($\omega_c = 0.2, 0.8$) (N=6-12)	138
Şekil 5.92	Band geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin grup gecikmesinin normalize frekansa göre değişimi ($\omega_c = 0.2, 0.8$) (N=6-12)	139
Şekil 5.93	Band geçiren 2.Tip Chebyshev filtrenin faz gecikmesinin normalize frekansa göre değişimi ($\omega_c = 0.2, 0.8$) (N=6-12)	139
Şekil 5.94	Alçak geçiren ikinci tip Chebyshev filtre blokları (N=3) ($\omega_c = 0.7$).....	140
Şekil 5.95	Alçak geçiren ikinci tip Chebyshev filtre blokları (N=4) ($\omega_c = 0.7$).....	141
Şekil 5.96	Alçak geçiren ikinci tip Chebyshev filtre blokları (N=5) ($\omega_c = 0.7$).....	142
Şekil 5.97	Alçak geçiren ikinci tip Chebyshev filtre blokları (N=6) ($\omega_c = 0.7$).....	143
Şekil 5.98	Yüksek geçiren ikinci tip Chebyshev filtre blokları (N=3) ($\omega_c = 0.3$)	144
Şekil 5.99	Yüksek geçiren ikinci tip Chebyshev filtre blokları (N=4) ($\omega_c = 0.3$)	145
Şekil 5.100	Yüksek geçiren ikinci tip Chebyshev filtre blokları (N=5) ($\omega_c = 0.3$)	146
Şekil 5.101	Yüksek geçiren ikinci tip Chebyshev filtre blokları (N=6) ($\omega_c = 0.3$)	147
Şekil 5.102	Band geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin kaskad yapısı (N=6)	149
Şekil 5.103	Band geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin kaskad yapısı (N=7)	149
Şekil 5.104	Band geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin kaskad yapısı (N=8)	149
Şekil 5.105	Band geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin kaskad yapısı (N=9)	149
Şekil 5.106	Band geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin kaskad yapısı (N=10)	149
Şekil 5.107	Band geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin kaskad yapısı (N=11)	149
Şekil 5.108	Band geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin kaskad yapısı (N=12)	149
Şekil 5.109	Band geçiren Chebyshev filtrenin genlik cevabının normalize frekansa göre değişimi ($\omega_c = 0.3, 0.7$) (N=6-12)	150
Şekil 5.110	Band geçiren Chebyshev filtrenin faz cevabının normalize frekansa göre değişimi ($\omega_c = 0.3, 0.7$) (N=6-12)	150
Şekil 5.111	Band geçiren Chebyshev filtrenin grup gecikmesinin normalize frekansa göre değişimi ($\omega_c = 0.3, 0.7$) (N=6-12)	151
Şekil 5.112	Band geçiren Chebyshev filtrenin faz cevabının normalize frekansa göre değişimi ($\omega_c = 0.3, 0.7$) (N=6-12).....	151

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 4.1	Alçak geçiren Butterworth filtrenin sistem parametreleri (N=2)..... 49
Çizelge 4.2	Alçak geçiren Butterworth filtrenin sistem parametreleri (N=3)..... 50
Çizelge 4.3	Alçak geçiren Butterworth filtrenin sistem parametreleri (N=4)..... 51
Çizelge 4.4	Alçak geçiren Butterworth filtrenin sistem parametreleri (N=5)..... 52
Çizelge 4.5	Alçak geçiren Butterworth filtrenin sistem parametreleri (N=6)..... 53
Çizelge 4.6	Yüksek geçiren Butterworth filtrenin sistem parametreleri (N=2) 58
Çizelge 4.7	Yüksek geçiren Butterworth filtrenin sistem parametreleri (N=3) 59
Çizelge 4.8	Yüksek geçiren Butterworth filtrenin sistem parametreleri (N=4) 60
Çizelge 4.9	Yüksek geçiren Butterworth filtrenin sistem parametreleri (N=5) 61
Çizelge 4.10	Yüksek geçiren Butterworth filtrenin sistem parametreleri (N=6) 62
Çizelge 5.1	Alçak geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.5$) (N=3)..... 79
Çizelge 5.2	Alçak geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.5$) (N=4)..... 80
Çizelge 5.3	Alçak geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.5$) (N=5)..... 81
Çizelge 5.4	Alçak geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.5$) (N=6)..... 82
Çizelge 5.5	Yüksek geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.5$) (N=3)..... 85
Çizelge 5.6	Yüksek geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.5$) (N=4)..... 86
Çizelge 5.7	Yüksek geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.5$) (N=5)..... 87
Çizelge 5.8	Yüksek geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.5$) (N=6)..... 88

Çizelge 5.9	Alçak geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.8$) (N=3).....	92
Çizelge 5.10	Alçak geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.8$) (N=4).....	93
Çizelge 5.11	Alçak geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.8$) (N=5).....	94
Çizelge 5.12	Alçak geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.8$) (N=6).....	95
Çizelge 5.13	Yüksek geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.2$) (N=3).....	96
Çizelge 5.14	Yüksek geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.2$) (N=4).....	97
Çizelge 5.15	Yüksek geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.2$) (N=5).....	98
Çizelge 5.16	Yüksek geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.2$) (N=6).....	99
Çizelge 5.17	Alçak geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.7$) (N=3).....	104
Çizelge 5.18	Alçak geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.7$) (N=4).....	105
Çizelge 5.19	Alçak geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.7$) (N=5).....	106
Çizelge 5.20	Alçak geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.7$) (N=6).....	107
Çizelge 5.21	Yüksek geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.3$) (N=3).....	108
Çizelge 5.22	Yüksek geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.3$) (N=4).....	109
Çizelge 5.23	Yüksek geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.3$) (N=5).....	110
Çizelge 5.24	Yüksek geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.3$) (N=6).....	111
Çizelge 5.25	Alçak geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.5$) (N=3).....	116
Çizelge 5.26	Alçak geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.5$) (N=4).....	117
Çizelge 5.27	Alçak geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.5$) (N=5).....	118
Çizelge 5.28	Alçak geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.5$) (N=6).....	119

Çizelge 5.29	Yüksek geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.5$) (N=3).....	122
Çizelge 5.30	Yüksek geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.5$) (N=4).....	123
Çizelge 5.31	Yüksek geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.5$) (N=5).....	124
Çizelge 5.32	Yüksek geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.5$) (N=6).....	125
Çizelge 5.33	Alçak geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.8$) (N=3).....	129
Çizelge 5.34	Alçak geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.8$) (N=4).....	130
Çizelge 5.35	Alçak geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.8$) (N=5).....	131
Çizelge 5.36	Alçak geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.8$) (N=6).....	132
Çizelge 5.37	Yüksek geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.2$) (N=3).....	133
Çizelge 5.38	Yüksek geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.2$) (N=4).....	134
Çizelge 5.39	Yüksek geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.2$) (N=5).....	135
Çizelge 5.40	Yüksek geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.2$) (N=6).....	136
Çizelge 5.41	Alçak geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.7$) (N=3).....	141
Çizelge 5.42	Alçak geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.7$) (N=4).....	142
Çizelge 5.43	Alçak geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.7$) (N=5).....	143
Çizelge 5.44	Alçak geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.7$) (N=6).....	144
Çizelge 5.45	Yüksek geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.3$) (N=3).....	145
Çizelge 5.46	Yüksek geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.3$) (N=4).....	146
Çizelge 5.47	Yüksek geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.3$) (N=5).....	147
Çizelge 5.48	Yüksek geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.3$) (N=6).....	148

HALKA REZONATÖR YAPILARININ KULLANILDIĞI TAMAMEN OPTİK BUTTERWORTH VE CHEBYSHEV FİLTRELERİN TASARIMI

Yusuf HACISALİHOĞLU

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. N. Özlem ÜNVERDİ

Bu çalışmada, optik fiber hattında herhangi bir elektriksel dönüşüm yapılmadan pasif bir eleman olan optik kuplör yardımıyla elde edilen halka rezonatör yapıları ile tamamen optik filtreler tasarlanmıştır. Tasarım için gerekli olan parametreler geliştirilen programlar ile hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar grafiksel olarak sunulmuştur.

Birinci Bölümde iletişim teknolojilerinde önemli bir yere sahip olan optik haberleşmenin tarihçesi anlatılmıştır. İkinci Bölümde sayısal filtreler konusu incelenmiş ve z-domeninde Butterworth, birinci tip ve ikinci tip Chebyshev filtrelerin transfer fonksiyonunun belirlenme metodu açıklanmıştır. Üçüncü Bölümde, optik kuplörler ve optik rezonatörlerin karakteristik özellikleri incelenmiştir.

Dördüncü Bölümde, Butterworth filtreler tasarlanmıştır. Tasarım için gerekli olan halka rezonatör yapıları önerilmiş ve transmisyon hatları ile kuplör ilişkileri teorilerine göre analitik olarak hesaplanarak kutup ve sıfır blokları elde edilmiştir. Elde edilen blokların kaskad olarak bağlanması ile alçak geçiren, yüksek geçiren ve band geçiren Butterworth filtreler tasarlanmıştır. Beşinci Bölümde, birinci tip ve ikinci tip Chebyshev filtreler tasarlanmıştır. Tasarım için gerekli olan ve Butterworth filtre tasarımında önerilen halka rezonatör yapılarından farklı olarak iki farklı halka rezonatör yapısı daha önerilmiştir. Bu yapılar da transmisyon hatları ile kuplör ilişkileri teorilerine göre analitik olarak hesaplanarak kutup ve sıfır blokları belirlenmiştir. Elde edilen yeni

bloklar kaskad olarak bağlanarak alçak geçiren, yüksek geçiren ve band geçiren birinci tip ve ikinci tip Chebyshev filtreler tasarlanmıştır. Dördüncü ve Beşinci Bölümler’de, Butterworth ve Chebyshev filtrelerin tasarım parametreleri belirlemiş ve her filtre için genlik cevabı, faz cevabı, grup gecikmesi ve faz gecikmesi bulunmuştur. Alçak geçiren, yüksek geçiren ve band geçiren filtrelerin geçirme ve durdurma bandları ile geçiş bölgesindeki davranışları gösterilmiştir. Chebyshev filtrelerin dalgalanma özelliğinin, birinci tip Chebyshev filtrelerde geçirme bandında ikinci tip Chebyshev filtrelerde durdurma bandında olduğu, elde edilen filtrelerde görülmüştür. Altıncı Bölüm’de ise tamamen optik olan filtre tasarımları değerlendirilerek sonuçlar yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: İletişim teknolojileri, optik haberleşme, optik fiber, optik kuplör, optik halka rezonatör, optik Butterworth filtre, optik birinci tip ve ikinci tip Chebyshev filtre

ABSTRACT

FULL OPTICAL REALIZATION OF BUTTERWORTH AND CHEBYSHEV OPTICAL FILTERS USING RING RESONATOR STRUCTURES

Yusuf HACISALİHOĞLU

Department of Electronics and Communications Engineering

MSc. Thesis

Advisor: Assist. Prof. Dr. N. Özlem ÜNVERDİ

In this study, full-optical filters are designed using ring resonator structures which are obtained by a passive element optical coupler without any electrical conversion in optical fiber line. The required parameters for the design are calculated by an improved program and the obtained results are presented graphically.

In chapter one, history of optical communication which has an important place in communication technologies is presented. In chapter two, digital filters subject is investigated and on z-domain, determining method of the transfer functions of Butterworth, first type and second type Chebyshev filters is explained. In chapter three, the characteristic properties of optical couplers and resonators are investigated.

In chapter four, Butterworth filters are analyzed and designed. Ring resonator structures for the design are suggested and the pole and zero blocks are obtained analytically according to transmission lines and coupler relations theory by suggested. By attaching of obtained blocks cascading, low pass, high pass and band pass Butterworth filters are designed. In chapter five, first type and second type Chebyshev filters are designed. Here, two different ring resonator structures which are different from the structures on the design of Butterworth filter are suggested. The pole and zero blocks are determined analytically according to transmission lines and coupler

relations theory. By attaching new blocks cascading, low pass, high pass and band pass first type and second type Chebyshev filters are designed. In chapter four and chapter five, the design parameters of Butterworth and Chebyshev filters are determined and for the each filter, the normalized magnitude response, the phase response, the group delay and the phase delay are found. The behaviors of low pass, high pass and band pass filters on the pass band, stop band and transition band regions are shown. By the obtained filters, it is shown that fluctuation property on Chebyshev filters is placed on the pass band region of first type Chebyshev filters and on the stop band region of second type Chebyshev filters. In chapter six, the full optical filter realizations are evaluated and the results are commented.

Key words: Communication technology, optical communication, optical fiber, optical coupler, optical ring resonator, optical Butterworth filter, optical first type and second type Chebyshev filters

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Optik haberleşmenin tarihçesi günümüzden çok öncelere dayanır. 1880 yılında A. Graham Bell, “Photophone” olarak isimlendirdiği optik telefon sisteminin patentini almıştır. Aynı zamanlarda, W. Wheeler, içi kaplanmış ışık borusunu kullanarak ışığı yönlendiren deneyler yapmıştır. Ancak optik haberleşmede o yılların haberleşme tekniklerine göre iletim problemleri yaşanmıştır. Zamanla optik haberleşmedeki iletim problemleri çözülmüştür. Buna rağmen haberleşme sistemlerine uyum göstermesi uzun bir süreç gerektirmiştir. Bunun nedeni, çekirdek bölgesini çevreleyen kılıf bölgesi kavramının zamanla oluşmasına dayanmaktadır.

1895’te, Fransız mühendis H. S. Rene, bükülmüş cam borulardan yararlanarak görüntüleri aktarmaya yarayan bir sistem tasarımını gerçekleştirmiştir. Bu olay, ilk televizyon denemesi olarak belirtilebilir. Optik fiberler, bu tarihlerden sonra biraz daha gelişim göstermiştir. 1920’li yıllarda, J. L. Baird İngiltere’de ve W. Hansell ABD’de içi boş boru veya saydam çubukların içerisinden görüntü veya faks bilgisinin iletilmesi fikrinin patentini almıştır. A. Heel ve H. H. Hopkins’in 1954 yılında İngiltere’deki Nature gazetesinde demeç vermiştir. H. H. Hopkins, üzeri başka bir camla kaplanmamış fiber kablo içinde ışığın iletimini üzerinde durmuş, A. Heel ise, fiber kablonun üzerine kırılma indisi daha düşük olan bir cam kaplamanın dış etkenlerden ve diğer fiber kablolardan etkilenmesini azaltacağını bulmuştur. O günlerde fiberlerle ilgili en büyük sorun, ışığın fiber boru içinde yol alırken sinyalin azalmasına dayanır. Bu sorunu çözen önemli icat A.

Heel tarafından yapılarak A.B.D’li optik fizikçisi B. O’Brien tarafından desteklenmiştir. İlk tasarlanan fiberlerin dış kabukları bulunmayıp sadece cam hava ara yüzü ile yansıma gerçekleştirilmiştir. A. Heel, bu fiberi saydam ve kırılma indisi daha düşük olan bir madde ile kaplamıştır. Bu olay toplam yansıma yüzeyini gürültüden korumuştur ve fiberler arasındaki çapraz karışmayı önemli derecede azaltmıştır. Bir sonraki aşama, cam örtü fiberlerin L. Curtiss tarafından geliştirilmesidir.

1960’da, cam fiberler, metre başına bir dB zayıflamaktaydı. Bu optik fiber kablo, ışığı vücuda cerrahi müdahale olmaksızın, erişilemeyen bölgelere iletmekte ve incelenen bölgenin görüntüsünü doktora getirmekte kullanılmıştır. Daha sonraları optik fiberlerden lazer tedavisinde de yararlanılmıştır. A. L. Schawlow ve C. H. Townes, kızılötesi ve görünür spektrumdaki lazer işlevi ile ilgili yayın yapmıştır. Daha sonra görünür spektrumda ilk lazer cihazı yakut maddesinden yapılmıştır. İlk başarılı optik lazer A. Maiman tarafından yapılmıştır. Bu optik lazer, cilalanmış alüminyum bir boşlukta bulunan spiral bir flaş tüpünün içindeki yakut kristali içermekteydi. Yakut silindiri, üçüncü bir ısığın dalga boyunun içine paralel olarak sonları cilalandığı zaman, optik olarak Fabry-Perot bir boşluk oluşturmaktaydı. Yakutun her iki ucu da buharlaşmış gümüş ile kaplanmıştı. Uçlardan bir tanesi, radyasyonun bir kısmının ısın olarak çıkabilmesi için daha düşük yansıma katsayısına sahip olarak yapılmıştı. 1950’lerin sonu 1960’ların başında bir RF (Radyo Frekans) jeneratörünün optik eşdeğerini sağlayan lazerin keşfi, teknolojiyi optik haberleşmeye yöneltmiştir. Optik haberleşme üzerinde ciddi çalışmalar sürekli dalga üreten helyum neon lazerinin üretilmesiyle başlamıştır. Hava milimetrik dalgalara göre optik dalga boylarında daha saydam olmuştur.

1961 yılında E. Snitzer, fiberlerden sadece bir dalga kılavuzu modunda ışığı taşımıştır. Bununla birlikte her metre başında halen 1 dB kaybedildiği için sadece insan vücudu için kullanılabilmiştir. Fakat uzak mesafe haberleşme sistemlerinde kilometre başına 10 veya 20 dB’den fazla kayıp olmaması gerektiği için halen yeterli değildi. Standart Telekomünikasyon Laboratuvarları’nda, C. K. Kao fiberlerdeki kayıpların silis camın kendisiyle değil, bu cama yapılan katkılarla ilişkili olduğunu bulmuştur. C. K. Kao ve İngiliz Postanesi’nin optik fiber haberleşmesi ile ilgili yaptıkları araştırmalar sonucu, 1970 yılının Eylül ayında 633 nm helyum neon özelliğinde tek modlu fiberleri 20

dB/km'nin altında imal ettikleri duyurulmuştur. Bu kablo, bakır kabloya göre 65.000 kat daha fazla bilgiyi binlerce kilometre uzaklığa iletebilmekteydi. Corning şirketinin çalışmaları, optik fiber haberleşmesinin gelişmesine yol açan önemli bir gelişme olmuştur. Aynı yıllarda, Bell Laboratuvarları ve Loffe Fizik Enstitüsü'nde bir proje grubu, ilk yarı iletken diyot lazerlerin oda sıcaklığında sürekli dalga yayabilmesini sağlamıştır. Sonraki yıllarda, fabrikasyon metotları ve fiberlerin daha düşük zayıflamaya uğradığı dalgaboylarına kayılması ile fiber kayıpları ciddi derecede azalmıştır.

1975'de, Amerika Birleşik Devletleri Hükümeti, Cheyenne Mountain'da bulunan NORAD karargahındaki bilgisayarları elektronik gürültüyü azaltmak amacıyla fiber kablo kullanarak birbirlerine bağlamaya karar vermiştir. 1977 yılındaki ilk nesil telefon alanındaki denemelerde fiberler 850 nm galyum-alüminyum-arsenit lazer diyotun ürettiği ışığın gönderilmesi için kullanılmıştır. 2 km uzunluğundaki fiber telefon iletişim hattı Chicago'da 672 ses kanalıyla kullanılmaya başlanmıştır. Bu ilk nesil sistemler, ışığı birkaç kilometrede tekrarlayıcı olmadan taşıyabilmekteydi, fakat yaklaşık olarak fiberde 2dB/km kayıp mevcuttu. İkinci nesil, sonraları 1.3 μ m yayılan yeni InGaAsP lazerler ile belirmiştir. Fiber kayıpları, bu sistemle 0.5 dB/km'e kadar düşmekte olup darbe saçılması 850 nm'den düşük durumdaydı.

Optik fiberde oluşan kayıp günümüzde 0.1 - 0.2 dB/km civarına kadar düşürülmüştür. İlk transatlantik fiber kablo için donanım geliştirilmesi, tek mod sistemlerin mümkün olduğunu göstermiştir. Böylece 1980'li yılların başında uzak mesafe telefon haberleşmesi yeniden düzenlenince, taşıyıcılar ulusal temel sistemleri 1300 nm kaynaklı tek modlu fiber ile inşa etmiştir. Bu teknoloji diğer telekomünikasyon uygulamalarına yayılmıştır ve çoğu fiber sistemi için standart olarak kabul edilmiştir.

Son yıllarda yaşanan teknolojik gelişmelere rağmen, haberleşme şebekelerinin band genişliğinin artırılmasına yönelik talepleri karşılama sorunu, modern iletişiminin en önemli alt yapı problemi olmaya devam etmektedir. Bilgisayar maliyetlerinin düşmesi ile bilgi çağına dahil olan küresel katılımlar sonucu, müşteri sayıları aşırı bir şekilde artan şebeke servis sağlayıcılar ve online servisler hızla çoğalmaktadır. Gelecekte, çok daha fazla sayıda insan, günlük ihtiyaçlarını karşılamak ve üstlendikleri görevleri yerine

getirmek için, online servislerde çok daha fazla zaman harcayacaktır. Gelişen teknoloji ile bilgisayarlar da çok daha hızlı çalışacaktır. Günümüzde, yüksek kapasite ve performansından dolayı optik fiber haberleşme sistemleri, tüm bu gelişmelere altyapı hazırlayabilecek en iyi aday olarak görülmektedir. Optik fiber altyapısının sürekli gelişmesi ve kurulu ya da kurulacak haberleşme sistemleri için yeni teknik ve teknolojilerin kullanılması, yakın kuşak iletişim servislerinin ihtiyaçlarını büyük ölçüde karşılayacağı düşünülmektedir. Dalgaboyu paylaşımlı çoklama (WDM) ve yoğun dalgaboyu paylaşımlı çoklama (DWDM) yapılı şebekeler, kurulu optik kablolarda çok büyük bir yatırım yapmaksızın şebekenin taşıma kapasitesini kademeli yükselten, oldukça ilgi çekici bir seçenek olarak ortaya çıkmaktadır. Tek bir dalgaboyu yerine giderek artan sayıda dalgaboyu taşıyan WDM/DWDM sistemler, 1990'lı yılların hemen başında kurulu fiber kablolar ile işletilmeye başlanmıştır.

Optik haberleşme sistemlerinde, son 15 yılda önemli gelişmeler yaşanmıştır. Optik fiber iletişimindeki en büyük adım, erbiyum katkılı optik fiber kuvvetlendirici (EDFA) ve dağıtılmış raman kuvvetlendiricilerinin (DRA) keşfinden sonra gelmiştir. EDFA ve DRA'ların geniş banttaki kazancına bağlı olarak, WDM kanallar eş zamanlı kuvvetlendirilebilmekte ve uzun mesafe boyunca iletilebilmektedir. Optik haberleşmenin gelişmesi optik ağları ve optik ağlarda kullanılan optik devre elemanlarını önemli kılmıştır [1, 2].

İletim ortamında optik fiber dışında, optik kuvvetlendirici, optik filtre, optik kuplör, optik sensör, optik modülatör, optik rezonatör, optik modülatör, optik sirkülatör ve optik izolatör gibi optik devre elemanları kullanılmaktadır.

1.2 Tezin Amacı

Bu tezde, optik devre elemanlarından optik kuplörler kullanılarak rezonatör yapısı ve farklı tipte yapılar elde edilerek optik filtre tasarımları gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan rezonatör yapısı ve diğer yapılar transmisyon hatları ve kuplör ilişkileri denklemlerine göre analitik olarak ayrıntılı biçimde çözülmüş ve elde edilmek istenen filtre karakteristiğine ulaşmak için kullanılan elemanların değerleri tasarlanan programda

hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler uygulanabilirlik açısından farklı varyasyonlar biçiminde açıklanmıştır.

Optik fiber hattında herhangi bir elektriksel dönüşüm yapılmadan pasif bir eleman olan optik fiber kuplör yardımıyla elde edilen halka rezonatör yapıları ile tamamen optik filtrelerin tasarlanması amaçlanmıştır.

1.3 Bulgular

Birinci tip ve ikinci tip Chebyshev filtrelerin transfer fonksiyonunun halka rezonatörler yardımıyla analitik olarak belirlenmesi ve optik modülatörlerin optik rezonatör devresine entegrasyonu sonucunda farklı normalize kesim frekanslarında tamamen optik birinci tip ve ikinci tip Chebyshev filtrelerin tasarlanması üzerine hesaplama teknikleri geliştirilmiştir.

BÖLÜM 2

SAYISAL FİLTRELER

Sinyal filtreleme, veri iletişimi, biyomedikal sistemler, askeri ve sivil elektronik sistemler, endüstriyel uygulamalar gibi içerisinde değişik sinyal işleme yöntemlerinin bulunduğu sistemlerde yaygın bir biçimde kullanılır. Genel anlamda, bir sinyalin seçilen filtre karakteristiğine göre istenen frekans bileşenlerine ayrılması (gürültü gibi) ve sinyalin genel yapısının (kazanç, genlik, faz ve grup gecikmesi vb.) geliştirilmesi olarak tanımlanır [3, 4].

Filtreler ilk olarak geniş anlamda 19. ve 20. yüzyıllarda, pasif elemanlar olan direnç, bobin ve kapasitörler kullanılarak tasarlanmış ve o zamanki telefon ağlarında kullanılmışlardır. Daha sonra bipolar transistörler içeren ve aktif devre elemanı olan işlemsel kuvvetlendiriciler geliştirilmiştir. Böylelikle gerçekleştirilen aktarım işlevine kazanç elemanını eklememize olanak tanınmıştır. 20. yüzyılın ikinci yarısında anahtarlı kapasitör filtresi olarak adlandırılan, içerisinde sadece kapasitör ve CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor, Bütünleyici Metal Oksit Yarıiletken) işlemsel kuvvetlendiriciler içeren filtreler geliştirilmiştir. Bu filtrenin özelliği direnç ve bobin içermemesi ve tüm devrenin VLSI (Very Large Scale Integration, Çok Geniş Ölçekli Tümeleşim) teknolojisiyle üretilmesidir. Bu teknoloji ile analog sinyallerden belirli zaman aralıklarında örnekler alınıp işlenebilir hale getirilebilmiştir [5]. Böylelikle sayısal filtre kavramı ilk defa sayısal sinyal işleme ile birlikte gündeme gelmiştir. Sayısal sinyal işlemede iki temel buluştan söz edilir. İlki, Nyquist Shannon'un Örnekleme Teoremi, diğeri ise Cooley-Tukey'in Hızlı Fourier Dönüşümü'dür (FFT). Shannon Teoremi, özet

olarak, band genişliği sınırlı olan sürekli sinyalin içerdiği en büyük frekansın iki katında örneklenmesi koşulu ile sayısallaştırılmasından sonra, kayba uğramadan tekrar sürekli biçime dönüştürülebileceğini söyler. Hızlı Fourier Dönüşümü ise, Ayrık Fourier Dönüşümü'nün bilgisayar ortamında hızlı hesaplanmasını sağlayan algoritma olarak tanımlanabilir [6].

2.1 Sonsuz Darbe Cevaplı (IIR) Filtreler

Darbe cevapları sonsuz süreye sahip olan filtreler, sonsuz darbe cevaplı filtreler olarak adlandırılırlar. IIR (Infinite Impulse Response, Sonsuz Darbe Cevabı) filtrelerin en temel özelliği, geri besleme katı içermeleridir. Bu nedenle bu filtreler, geri beslemeli (recursive) filtreler olarak da bilinirler. IIR filtrelerin darbe cevapları sonsuz sürelidir, girişine bir darbe uygulandığında geri beslemeli yapılarından dolayı sonsuz sayıda sıfırdan farklı çıkış elde edilir. Ayrıca, geri beslemeli yapılarından dolayı IIR filtrelerin çıkışı, geçmişteki çıkış ve giriş değerlerine bağlıdır. Bir sayısal IIR filtrelerin transfer fonksiyonu,

$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{\sum_{k=0}^N b_k z^{-k}}{\sum_{k=0}^M a_k z^{-k}} \quad (2.1)$$

ile karakterize edilir. Burada, a_k ve b_k filtre katsayılarını, N ve M ise sırasıyla pay ve payda polinomlarının derecelerini temsil etmektedir.

IIR filtre için verilmiş olan transfer fonksiyonu incelendiğinde bu sistemin, karmaşık düzlemdeki konumları b_k katsayıları tarafından tanımlanan N adet sıfırlarının ve karmaşık düzlemdeki konumları a_k katsayıları tarafından tanımlanan M adet kutuplarının olduğu görülmektedir. İstenen karakteristikleri sağlayabilecek bir IIR filtre tasarımı için, sistem kutupları ve sıfırları karmaşık düzlemde en uygun şekilde yerleştirilmelidir. IIR filtre tasarımında en önemli parametre, tasarlanan sistemin kararlılığıdır. IIR filtrelerin kararlı olabilmesi için, sistemin bütün kutuplarının karmaşık düzlemde birim dairenin içersine yerleşmiş olması gerekmektedir. Birim dairenin

üzerine ya da dışına yerleşmiş olan kutuplar sistem kararsızlığına yol açarlar. Bir sistemin bütün kutuplarının birim dairenin içerisine yerleşmiş olması demek, o sistemin darbe cevabının mutlak değerce toplanabilir olmasını ifade eder. Bir başka deyişle sistemin kararlı olabilmesi için,

$$\sum_{n=0}^{\infty} |h[n]| < \infty \quad (2.2)$$

koşulunun sağlanması gerekir.

Eğer sistemin bütün kutupları birim dairenin içerisinde ise, $h[n]$ darbe cevabının bütün terimlerinin değerleri üstel olarak sıfıra yaklaşır ve mutlak değerce toplanabilir olur. Eğer birim dairenin üzerinde veya dışında kutuplar olursa, darbe cevabı mutlak değerce toplanabilir olmayan en az bir terim içereceği için tasarlanan sistem kararsız olur. IIR filtrelerin minimum fazlı olarak tasarlanabilmesi için de, filtrenin bütün sıfırlarının birim daire içerisine veya üzerine yerleşecek şekilde tasarlanması gerekir. Sonuç olarak, minimum fazlı ve kararlı bir IIR filtre tasarlamak için tasarlanacak sistemin bütün kutuplarının karmaşık düzlemde birim daire içerisine ve sıfırlarının birim dairenin içerisine ya da üzerine yerleşmiş olması gerekir.

2.2 Temel IIR Filtre Yapıları

Genellikle iki farklı yapıda gerçekleştirilebilen IIR sayısal filtreler gerek pratik uygulamalarda ve gerekse literatürde, basit ve etkin yapılarından dolayı, direkt form ve kaskad form gerçekleştirmeler çok yaygın olarak kullanılır.

2.2.1 Direkt Form IIR Filtre Yapısı

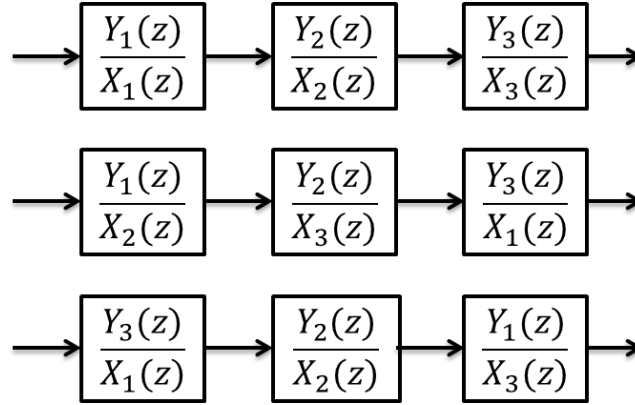
Genel bir geri beslemeli filtre yapısı gerçekleştirilirken, girişin o andaki ve geçmişteki değerleri pay polinomunun katsayıları olan b_k katsayıları ile çarpılır. Benzer şekilde, çıkışın geçmişteki değerleri de payda polinomunun katsayıları olan a_k katsayıları ile çarpılırlar. N. dereceden bir IIR filtre $2(N+1)$ katsayı ile karakterize edilir ve tasarımı için

2.2.2 Kaskad Form IIR Filtre Yapısı

Örneğin transfer fonksiyonu $H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)}$ şeklinde olan bir filtreyi kaskad formda ifade edersek,

biçiminde gösterilir. Görüldüğü gibi, kaskad form gerçeklemede filtre daha düşük dereceli blokların çarpımı şeklinde ifade edilmektedir. Burada, çarpanların derecelerini

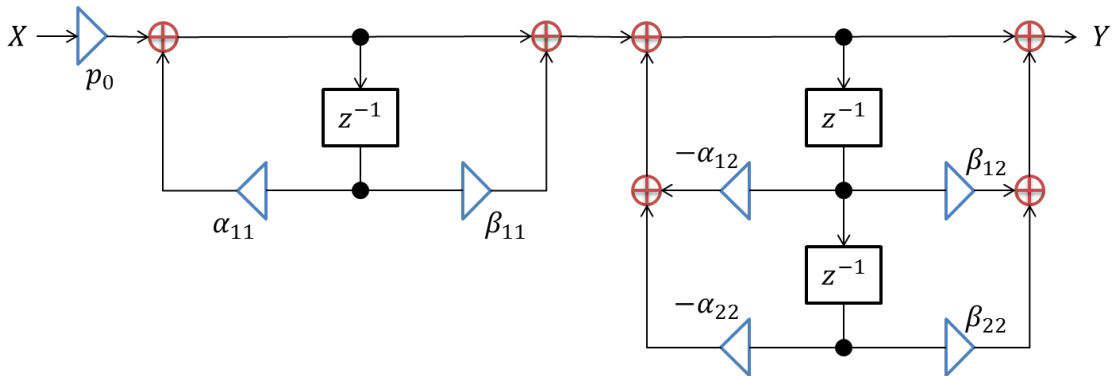
ve yerlerini değiştirmek suretiyle farklı türlerde kaskad yapılar elde edilebilir. Üçüncü dereceden bir filtre için birbirine eşdeğer olan farklı kaskad yapılar Şekil 2.2’de yer almaktadır.



Şekil 2.2 Birbirinden farklı eşdeğer kaskad yapılar

Kaskad formda gerçekleştirme yapılırken, polinomlar genelde birinci dereceden veya ikinci dereceden çarpanlarına ayrılırlar. Bu durumda, transfer fonksiyonu (2.4) formunda ifade edilebilir.

$$H(z) = p_0 \left(\frac{1 + \beta_{11}z^{-1}}{1 + \alpha_{11}z^{-1}} \right) \left(\frac{1 + \beta_{12}z^{-1} + \beta_{22}z^{-2}}{1 + \alpha_{12}z^{-1} + \alpha_{22}z^{-2}} \right) \quad (2.4)$$



Şekil 2.3 Üçüncü dereceden IIR filtrenin kaskad formda gerçekleştirilmesi

2.3 IIR Filtrenin Kutupları ve Sıfırları

IIR filtrelerin transfer fonksiyonu denklem (2.1) ile karakterize edilmiştir. Bu eşitlik incelendiğinde, filtrenin karmaşık düzlemde N adet sıfırının, M adet kutbunun olduğu görülmektedir. Sistem kutuplarının ve sıfırlarının karmaşık düzlemdeki yerleşimleri frekans cevabını doğrudan etkiler. Birim dairenin üzerine yerleştirilmiş olan sıfırlar yerleştirildikleri frekansın tamamen bastırılmasını, birim daireye yakın konumlara yerleştirilmiş olan sıfırlar ise yerleştirildikleri frekans değerinde ve yakınındaki frekanslarda yüksek bir zayıflama sağlarlar. Bu nedenle, durdurma bandındaki sıfırların birim dairenin üzerine veya birim daireye yakın konumlara yerleştirilmesi önerilir. Orjine yakın olarak yerleştirilmiş sıfırlar ise, bulundukları frekanslarda ve yakın frekans değerlerinde çok düşük zayıflatmaya neden olurlar. Dolayısıyla geçirme bandındaki sıfırların orjine yakın konumlara yerleştirilmeleri istenir. Bununla birlikte, IIR filtre tasarımındaki en önemli parametre, sistem kararlılığıdır. Sistem kararlılığı ise, filtre kutuplarının karmaşık düzlemdeki yerleşimleri ile belirlenir.

Bir IIR filtrenin kararlı olabilmesi için, bütün kutuplarının karmaşık düzlemde birim daire içerisine yerleşmiş olması gerekir. Kompleks düzlemde kutupları birim dairenin üzerine ya da dışına yerleşmiş olan sistemler kararsız sistemlerdir ve uygulamada kullanılmazlar.

Birim daireye yakın konumlara yerleştirilmiş olan kutuplar, yerleştirildikleri frekans değerinde ve yakınındaki frekanslarda yüksek bir kuvvetlendirme sağlarlar. Bu nedenle geçirme bandındaki kutupların birim daireye yakın konumlara yerleştirilmesi istenir. Herhangi bir frekans değerindeki frekans cevabı genliğinin düşürülmesi isteniyorsa, bu frekans noktasına ve yakınındaki frekanslara hiçbir kutup yerleştirilmemelidir.

Aynı noktada bulunan bir kutup ve bir sıfır, birbirinin etkisini dengeler. Çünkü bir noktadaki kutbun etkisi aynı noktadaki sıfırın etkisinin tam tersidir. Diğer taraftan, karmaşık düzlemde birim dairenin merkezine yerleştirilmiş olan kutup ve sıfırların genlik cevabı üzerinde hiçbir etkisi yoktur, bu kutup ve sıfırların birim daire üzerindeki bütün noktalara mesafeleri eşittir. Merkeze yerleştirilmiş olan kutup ve sıfırlar, faz cevabına doğrusal bir faz katkısı sağlarlar.

2.4 IIR Filtrenin Transfer Fonksiyonu

Bir sistemin girişı ile çıkışı arasındaki ilişki, o sistemin transfer fonksiyonu ile doğrudan tanımlanmaktadır. Bir başka ifade ile, transfer fonksiyonu, bir sistemin transfer karakteristiklerini tanımlayan bir ifadedir. M. dereceden doğrusal sabit katsayılı fark denklemi,

$$\sum_{k=0}^M a_k y[n-k] = \sum_{k=0}^N b_k x[n-k] \quad (2.5)$$

şeklinde gösterir. Fark denkleminin her iki tarafının da z-dönüşümü alındığında

$$\sum_{k=0}^M a_k Y(z) z^{-k} = \sum_{k=0}^N b_k X(z) z^{-k} \quad (2.6)$$

ifadesi elde edilir. Bu ifadeden yararlanılarak, transfer fonksiyonu,

$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{\sum_{k=0}^N b_k z^{-k}}{\sum_{k=0}^M a_k z^{-k}} \quad (2.7)$$

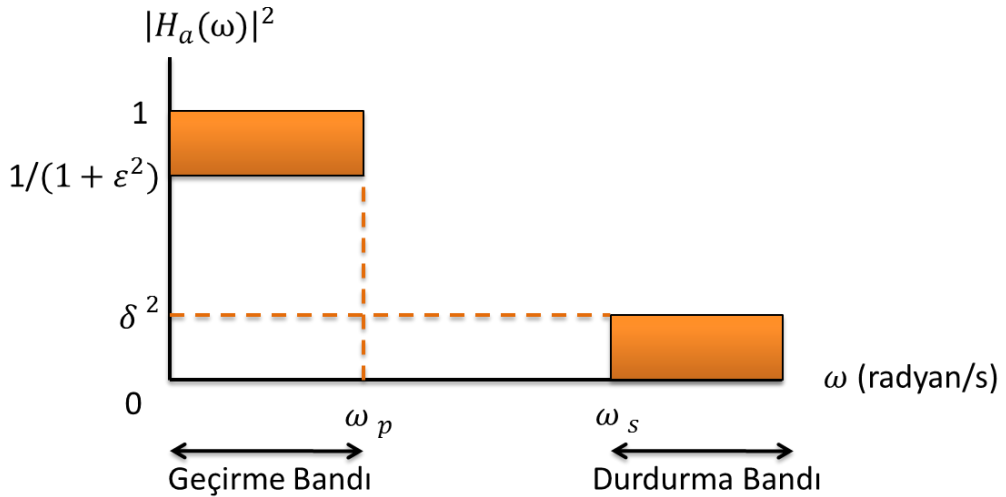
formunda yazılır.

H(z) transfer fonksiyonunda, pay polinomunun kökleri sistemin sıfırları ve payda polinomunun kökleri ise sistemin kutupları olarak adlandırılır. Optimum bir tasarım için, sistemin kutupları ve sıfırları karmaşık düzleme optimum şekilde yerleştirilmelidir [7].

2.5 Sayısal Filtre Yaklaşımları

IIR filtreleri tasarlamak için iki genel yöntem mevcuttur. Bu yaklaşımlardan en yaygını, bir analog IIR tasarlamak ve sonra analog filtre tasarlamamanın tekniği daha gelişmiş olduğu için eşdeğer bir sayısal filtreye onu haritalandırmaktır. Bu filtreleri ayrık zamanlı domene ilişkilendirmek üzere optimal yolların ele alınması daha iyi olur. Ayrıca analog filtrelerin tasarımını kolaylaştıran faydalı tasarım yöntemleri olduğundan IIR filtre tasarımı için bu yöntem görece olarak basittir. IIR filtreleri tasarlamak üzere ikinci yöntem, doğrusal ve doğrusal olmayan denklem kümelerini çözmek için bir bilgisayar kullanımını gerektiren algoritmik tasarım prosedürü kullanmaktır. Bu yöntemler diğer tipteki sınırlayıcıların işin içine katıldığı filtreleri tasarlamak için veya analog filtre tipinin var olmadığı keyfi frekans cevap karakteristiklerine sahip sayısal filtrelerin tasarımında kullanılabilir.

İdeal bir alçak geçiren analog filtrenin genlik cevabının karesinin verildiği Şekil 2.4'te ω_p geçirme bandının kenar frekansını ve ω_s ise durdurma bandının kenar frekansını ifade etmektedir. δ , durdurma bandındaki dalgalanmanın maksimum genlik değeridir. ε geçiş bandı dalgacık genliğini kontrol eden bir parametredir, buna göre geçiş bandının dalgalanma genliğinin minimum değeri $\frac{1}{\sqrt{1+\varepsilon^2}}$ olarak verilir [8].



Şekil 2.4 Alçak geçiren filtrenin genlik cevabının karesi

2.5.1 Butterworth Filtre Yaklaşımı

Butterworth filtrelerde geçiş bandında ve durdurma bandında dalgalanma yoktur. Fonksiyon tekdüze olarak azalır. Diğer filtrelerden farklı olarak, derecesi arttığında durdurma bandındaki sert düşüş dışında frekans genlik eğrisinde şeklini korur. Butterworth filtre, Chebyshev filtreye göre daha geniş geçiş bölgesine (transition region) sahip olduğundan, durdurma bandı özelliklerinin doğru olarak uygulanabilmesi için yüksek derecelere ihtiyaç duyar. Chebyshev filtreye göre daha doğrusal bir frekans tepkisine sahiptir. Aktarım işlevi aşağıdaki işlem basamaklarıyla bulunur. N. dereceden Butterworth filtrenin transfer fonksiyonu,

$$H_a(s) = \begin{cases} \prod_{i=1}^{\frac{N}{2}} \frac{1}{\left(\frac{s}{\omega_c}\right)^2 - 2\operatorname{Re}(s_i)\left(\frac{s}{\omega_c}\right) + 1} & , N = \text{Çift ise} \\ \frac{1}{\frac{s}{\omega_c} + 1} \prod_{i=1}^{\frac{(N-1)}{2}} \frac{1}{\left(\frac{s}{\omega_c}\right)^2 - 2\operatorname{Re}(s_i)\left(\frac{s}{\omega_c}\right) + 1} & , N = \text{Tek ise} \end{cases} \quad (2.8)$$

ile verilir. Burada $s_i = e^{j(1+\frac{2i-1}{N})\frac{\pi}{2}}$ 'dir.

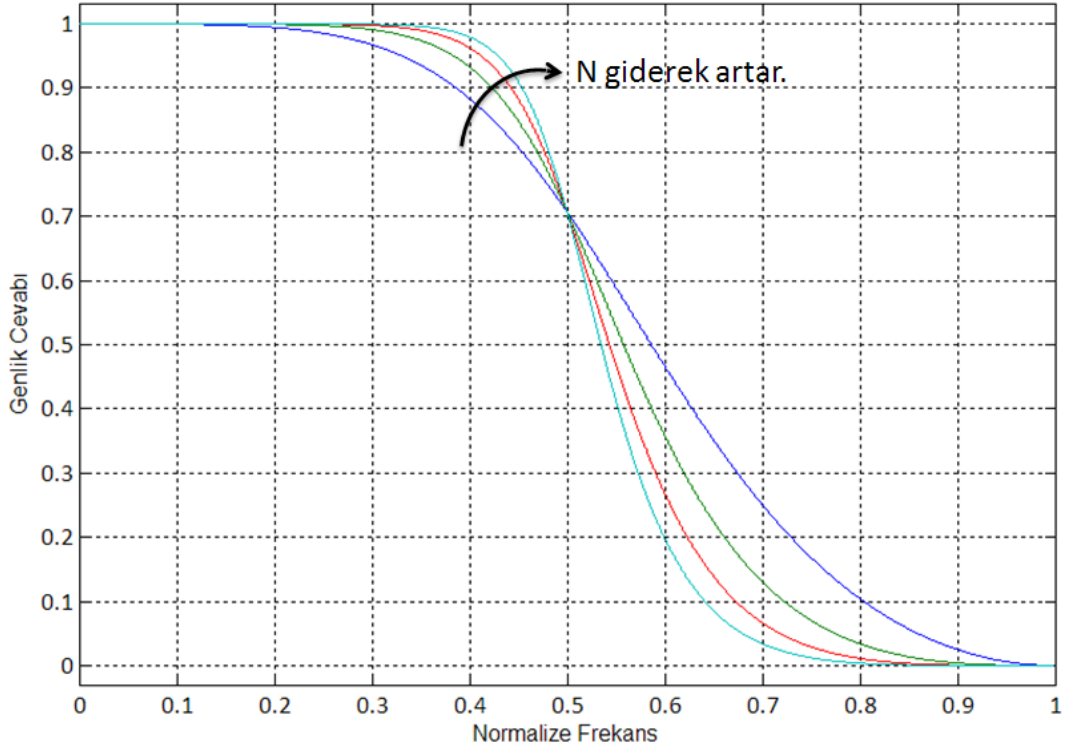
Bir alçak geçiren Butterworth filtre,

$$|H_a(j\omega)|^2 = \frac{1}{1 + \left(\frac{j\omega}{j\omega_c}\right)^{2N}} \quad (2.9)$$

Eşitliği ile verilen karesel büyüklüğe sahip bir tüm kutuplu filtredir.

Burada, N parametresi, filtrenin derecesidir (sistem fonksiyonundaki kutup sayısı) ve ω_c , 3 dB kesim frekansıdır. Butterworth filtrenin frekans cevabı (ω) artması ile ve filtre

derecesi artarken geçiş bandı daralır. Butterworth filtrenin bu özelliği Şekil 2.5'te gösterilmiştir.



Şekil 2.5 N=2, 3, 4, ve 5. dereceden Butterworth filtreler için genlik cevabının normalize frekans ile değişimi

Butterworth filtrenin kutupları $s = \omega_c s_i$ ve $s = \omega_c s_i^*$ ($i=1, \dots, \frac{N}{2}$, N çift ise) veya ($i=1, \dots, \frac{N-1}{2}$, N tek ise) noktalarında bulunmaktadır. s^* , s 'in karmaşık eşleniğini gösterir. N tek ise $s = -\omega_c$ noktasında bir diğer kutup bulunur. Tüm kutuplar, s düzleminin sol yarısında ve yarıçapı ω_c olan çember üzerinde yerleşirler. Bunun sonucunda denklem (2.8) eşitliğinde verilen filtrelerin kararlı olduğu görülür.

2.5.2 Chebyshev Filtre Yaklaşımı

Bu bölümde Chebyshev birinci tip ve ikinci tip filtre yapıları incelenmiştir.

2.5.2.1 Birinci Tip Chebyshev Filtre Yaklaşımı

Bir Chebyshev filtresi aynı zamanda bir tüm kutup filtredir. N. dereceden Chebyshev filtrenin transfer fonksiyonu,

$$H_a(s) = C \prod_{i=1}^N \frac{1}{(s - p_i)} \quad (2.10)$$

ile verilir.

$$C = \begin{cases} -\prod_{i=1}^N P_i & , N = \text{Tek ise} \\ (1 + \varepsilon^2)^{-\frac{1}{2}} \prod_{i=1}^N P_i & , N = \text{Çift ise} \end{cases} \quad (2.11)$$

$$P_i = -\omega_p \sinh(\emptyset) \sin\left(\frac{2i-1}{2N}\pi\right) + j\omega_p \cosh(\emptyset) \cos\left(\frac{2i-1}{2N}\pi\right) \quad (2.12)$$

ve

$$\emptyset = \frac{1}{N} \ln \left[\frac{1 + (1 + \varepsilon^2)^{\frac{1}{2}}}{\varepsilon} \right] \quad (2.13)$$

dir.

Transfer fonksiyonunun mutlak değerinin karesi,

$$|H_a(\omega)|^2 = \frac{1}{1 + \varepsilon^2 T_N^2\left(\frac{\omega}{\omega_p}\right)} \quad (2.14)$$

şeklinde verilmiştir. $T_N(x)$ birinci tip N. dereceden Chebyshev polinomudur. Yani,

$$T_0(x) = 1 \quad (2.15)$$

$$T_1(x) = x \quad (2.16)$$

ve

$$T_{n+1}(x) = 2xT_n(x) - T_{n-1}(x) \quad n \geq 1 \quad (2.17)$$

dir.

C'nin maksimum değeri 1'dir; bununla birlikte, her zaman pozitif bir sabittir. Kutuplar sol yarı düzlemde küçük yarı çapı $\omega_p \sinh(\emptyset)$ ve büyük yarıçapı $\omega_p \cosh(\emptyset)$ ve merkezi orjinde olan elips üzerinde yer alırlar. Eğer N tek ise, bir kutup hariç tüm kutuplar karmaşık eşlenik çiftidirler. Özellikle $p_i = p_{N-i+1}^*$ (i=1,2...N/2 veya (N-1)/2)'dir.

Filtre derecesi, ε , δ , ω_s , ω_p 'nin bilinmesiyle hesaplanabilecek

$$N \geq \frac{\cosh^{-1} \left[\frac{(\delta^{-2} - 1)^{\frac{1}{2}}}{\varepsilon} \right]}{\cosh^{-1} \left(\frac{\omega_s}{\omega_p} \right)} = \frac{\log \left\{ \left[\frac{(\delta^{-2} - 1)^{\frac{1}{2}}}{\varepsilon} \right] + \left[\frac{(\delta^{-2} - 1)}{\varepsilon^2} - 1 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}}{\log \left\{ \left(\frac{\omega_s}{\omega_p} \right) + \left[\left(\frac{\omega_s}{\omega_p} \right)^2 - 1 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}} \quad (2.18)$$

eşitsizliklerini sağlamalıdır.

2.5.2.2 İkinci Tip (Ters) Chebyshev Filtre Yaklaşımı

Birinci tip Chebyshev filtre yaklaşımında genlik cevabının geçiş bandında dalgalanmalar bulunurken, ikinci tip Chebyshev filtre yaklaşımında ise genlik cevabının durdurma bandında dalgalanmalar meydana gelmektedir. İkinci tip Chebyshev filtrenin genlik cevabının karesi,

$$|H_a(\omega)|^2 = \frac{1}{1 + \frac{(\delta^{-2} - 1)}{T_N^2 \left(\frac{\omega_s}{\omega} \right)}} \quad (2.19)$$

ile verilir. $T_N^2(\mp 1) = 1$ olduğu için denklem (2.19) eşitliği $|H_a(\omega)|^2 = \delta^2$ sonucunu verir ve (2.19) eşitliğinin bazı örneklerini gösterir. N tek ise $H_a(\infty) = 0$, N çift ise, $H_a(\infty) = \delta$ olduğuna dikkat edilmesi gerekir.

Transfer fonksiyonu,

$$H_a(s) = \begin{cases} C \prod_{i=1}^N \frac{(s - q_i)}{(s - p_i)} & , N \text{ çift ise} \\ \frac{C}{\left(s - p_{\frac{N+1}{2}}\right)} \prod_{i=1}^N \frac{(s - q_i)}{(s - p_i)} & , N \text{ tek ise} \end{cases} \quad (2.20)$$

dir. Burada,

$$C = \begin{cases} \prod_{i=1}^N \frac{p_i}{q_i} & , N \text{ çift ise} \\ -p_{\frac{N+1}{2}} \prod_{\substack{i=1 \\ i \neq \frac{N+1}{2}}}^N \frac{p_i}{q_i} & , N \text{ tek ise} \end{cases} \quad (2.21)$$

$$p_i = \frac{\omega_s}{\alpha_i^2 + \beta_i^2} (\alpha_i - j\beta_i) \quad (2.22)$$

$$q_i = \frac{j\omega_s}{\cos\left(\frac{2i-1}{2N}\pi\right)} \quad (2.23)$$

$$\alpha_i = -\sinh(\emptyset) \sin\left(\frac{2i-1}{2N}\pi\right) \quad (2.24)$$

$$\beta_i = \cosh(\emptyset) \cos\left(\frac{2i-1}{2N}\pi\right) \quad (2.25)$$

$$\emptyset = \frac{1}{N} \cosh^{-1}(\delta^{-1}) = \frac{1}{N} \ln [\delta^{-1} + (\delta^{-2} - 1)^{1/2}] \quad (2.26)$$

dir. Bu durumda, transfer fonksiyonunun genliğinin karesi,

$$|H_a(\omega)|^2 = \frac{1}{1 + \varepsilon^2 \frac{T_N^2\left(\frac{\omega_s}{\omega_p}\right)}{T_N^2\left(\frac{\omega_s}{\omega}\right)}} \quad (2.27)$$

olarak ifade edilir.

Sıfırların s düzleminin sanal ekseninde olduğuna dikkat edilmelidir. Filtre derecesi N birinci tip Chebyshev filtresinde olduğu gibi denklem (2.18) eşitliğindeki şartı sağlamalıdır. (2.27) eşitliğinde ikinci tip Chebyshev filtrenin genlik cevabının karesinin bir diğer formu verilmiştir [9].

2.6 Analog Filtrelerden IIR Filtrelerin Tasarımı

Bir analog prototipten sayısal bir filtrenin tasarımı $h_\alpha(t)$ 'den $h(n)$ 'e veya $H_\alpha(s)$ 'den $H(z)$ dönüşümü gereklidir. s düzleminde z düzlemine bir ilişkilendirme,

$$H(z) = H_\alpha(s)|_{s=m(z)} \quad (2.28)$$

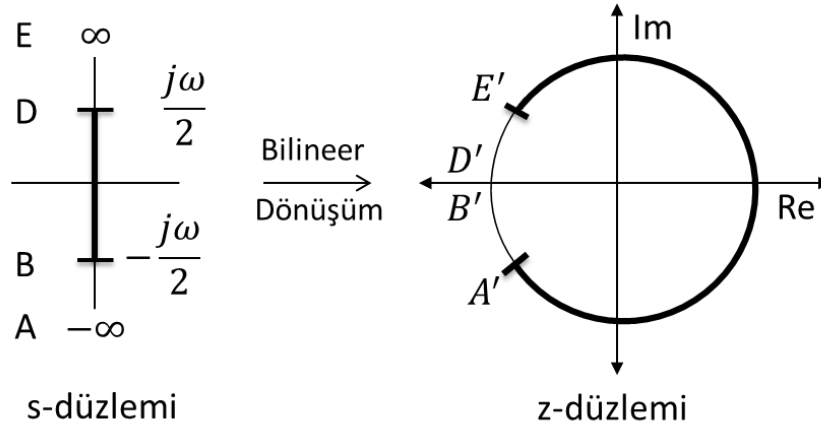
yapısında yazılabilir. Burada $m(z)$ ilişkilendirme fonksiyonudur. Analog filtreleri sayısal filtrelere ilişkilendirmek için birçok yaklaşım kullanılmaktadır ancak yaygın olarak kullanılan yaklaşım bilineer dönüşüm yöntemidir. Bilineer dönüşüm,

$$s = \frac{2}{T_s} \frac{1 - z^{-1}}{1 + z^{-1}} \quad (2.29)$$

eşitliğinde tanımlanan s-düzleminde z-düzlemine bir ilişkilendirmedir. Bir sistem fonksiyonu olan $H_\alpha(s)$ ile belirli bir analog filtreden, sayısal bir filtre

$$H(z) = H_\alpha\left(\frac{2}{T_s} \frac{1 - z^{-1}}{1 + z^{-1}}\right) \quad (2.30)$$

ile tasarlanır.



Şekil 2.6 Bilineer dönüşüm

Bu yöntemde dikkat edilmesi gereken bir husus vardır. s -düzleminde $s=j\omega$ ekseninin $[-\frac{\omega}{2}, +\frac{\omega}{2}]$ arasında kalan kısmı, yapılan dönüşüm işlemi sonucunda z düzleminde birim çemberin tümüne karşılık gelmediğinden, $-\frac{\omega}{2}$ ile $+\frac{\omega}{2}$ arasındaki B - D bölgesi, B' - D' bölgesine sıkışmaktadır. Bu durum *çarpılma etkisi* olarak adlandırılmaktadır. Bu etki, verilen frekans giriş karakteristiğine ön çarpılma formülü olan,

$$\omega = \frac{2}{T} \tan\left(\frac{\Omega T_s}{2}\right) \quad (2.31)$$

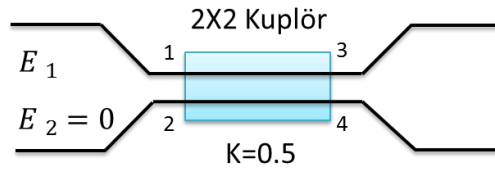
uygulanması ile ortadan kaldırılabilir. Bu durumda Şekil 2.6'da görüldüğü gibi B - D bölgesi, z düzleminde $z = -1$ noktasında yani E' veya A' noktasında birleşirler. Bilineer dönüşümü sol yarı s -düzlemini birim dairenin izine haritalayan ve $j\omega$ eksenini birebir tarzda birim daire üzerine haritalayan rasyonel bir fonksiyondur. s -düzleminde sağ yarı düzlem bölgesi, z düzleminde $z=1$ birim çemberi dışındaki noktalara karşı düşmektedir. s -düzleminde sanal eksen üzerindeki noktalar $z=1$ birim çemberi üzerine karşı düşmektedir. s -düzleminde sol yarı düzlem bölgesi, z düzleminde $z=1$ birim çemberi içindeki noktalara karşı düşmektedir. Sonuç olarak analog filtrenin geçirme ve durdurma bandına ait özellikler, sayısal filtrenin bu bantlarında görülecektir. Ayrıca kararlı analog filtreler, kararlı sayısal filtrelere dönüşecektir [6, 8].

OPTİK FİBER KUPLÖRLER VE OPTİK REZONATÖRLER

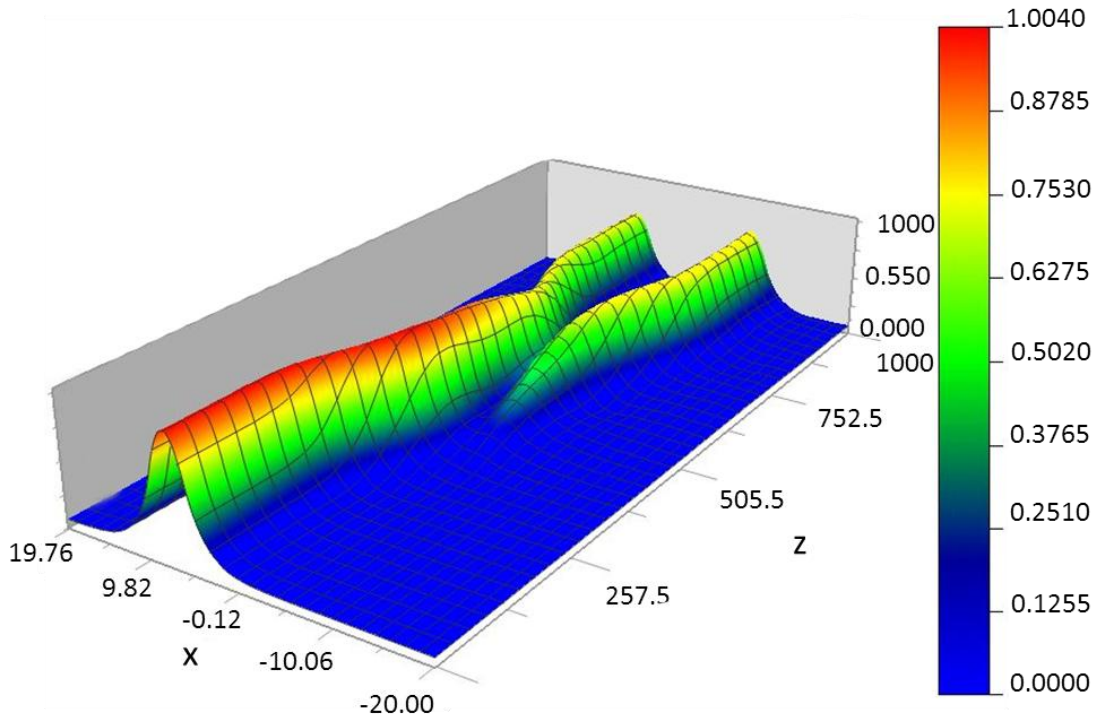
3.1 Optik Kuplörler

Optik dalga kılavuzları arasındaki uzaklık, çalışma dalgaboyuna göre çok küçük olduğu zaman, kılavuzlar birbirlerini elektromagnetik olarak etkiler. Bir kılavuzda propagasyon yapan modun alan uzantısının diğer kılavuzdaki modun etki alanına ulaşması, kuplaja neden olur. Kuplaj, farklı kılavuzlardaki modlar arasında olabildiği gibi aynı kılavuz içindeki modlar arasında da olabilir. Optik fiber kuplörler, optik ağlarda kullanılan en önemli elemanlar arsında yer alır. Bu devre elemanları, ışığı diğerlerinden ayırmanın yanı sıra birçok fiberdeki ışığı tek bir fiberde toplayabilirler. Optik fiber kuplörler farklı dalgaboyundaki ışığı ileten fiberlerin içerisindeki ışığı bir optik fiberde toplama özelliğine sahiptirler. Bu metot dalga boyu bölmeli çoğullama (Wavelength Division Multiplexing, WDM) olarak bilinir ve bir fiber içine iki kanal birleştirmek için mükemmel bir yoldur. Ayrıca optik fiber kuplörler, ışığı tek bir fiberde toplamanın yanı sıra, fiberdeki ışığı diğerlerinden ayırabilirler, bu yönetime de demultiplexing denir. Optik fiber kuplörler, elektriksel bir dönüşüm yapmayan pasif devre elemanları grubunda yer alır ve bir işlem yapmadan sadece içlerinden ışığı geçirirler. Aktif elemanlar ise aktif cihazlardır, lazerler, optik modülatörler, anahtarlar (switchler) ve optik kuvvetlendiriciler bu tip cihazlara örnek olabilirler. Her bir çekirdek bölgesi dış bölgeden izole edilmiştir ve optik fiber kuplör içinde çekirdek yarıçapı, çekirdek bölgelerinin birbirine olan yakınlığını artırmak için daha ince yapılır. Tek modlu dalga kılavuzu olarak ve yeterli uzunlukta yapılan optik fiber kuplörlerde ışığın % 100'ü diğer çekirdeğe transfer olabilir. Kuplaj uzunluğu yeterli miktarda ise, ışık geri yansır. Işığın

diğer optik fibere transfer olması ve tekrar geri dönmesi için gerekli olan uzunluğa *kuplaj uzunluğu* adı verilir. Pratik olarak bakılacak olursa, kuplaj uzunlukları birkaç milimetre veya daha altına inmiş durumdadırlar. Kuplaj uzunluğu aynı zamanda kullanılan sinyalin dalgaboyuna da bağlıdır. Dalgaboyunun fazla olması, daha küçük kuplaj uzunluğu olması anlamına gelir. Optik fiber kuplör kullanırken belirli oranlarda sinyallerin ayrılması istendiğinde kuplaj uzunluğu doğrudan bir önem teşkil eder. Seçilen kuplaj uzunluğuna göre ortaya bir kuplaj oranı çıkmaktadır. Kuplörün davranış karakteristiğini daha iyi göstermek amacıyla ideal kuplörlerden olan ve 3 dB kuplör (kuplaj katsayısı 0.5) olarak bilinen kuplör yapısı, OptiBPM 9.0 programında hazırlanmış ve simülasyon sonucu Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1 2x2 Optik fiber kuplörün blok şeması



Şekil 3.2 Üç dB kuplör sinyal girişi ve çıkışları

İdeal doğrultu ve yıldız kuplörleri dalga boyuna duyarsız elemanlardır. Dalga boyu bölmeli çoğullamalı optik fiber kuplörler ise dalga boyu seçici kuplörlerdir. Doğrultu kuplörleri sıklıkla çift yönlü transmisyon sistemlerinde kullanılır. Ayrıca, optik fiber kuplörler birçok iletim ve ölçüm sistemlerinde optik sinyalleri karıştırmak ve dallandırmak için kullanılır. Yıldız kuplörler, yerel ağ bağlantıları (LAN) ve video dağıtım sistemlerinde yer alır. Bu bölümde doğrultu kuplörleri analiz edilmiştir.

3.1.1 Kuplör Mod Teorisi

Kuplör Mod Teorisi, anahtarlama ve modülasyon devrelerindeki doğrultu kuplörleri, optik sensörler, filtreler, kuplör elektrik devreleri gibi birçok alanda yaygın biçimde kullanılır. Kuplör Mod Teorisi'ne göre sistemi oluşturan elemanlar veya bölümler birbirinden izole edilir. Zayıf kuplaj altında her bir bölümün ayrı ayrı analizinden sonra orijinal kompleks sistem aynı şekilde zayıf kuplaj altında incelenir. Zayıfça kuplajlama durumunda iki dalga kılavuzu arasındaki etkileşim fazla değildir ve Kuplör Mod Teorisi'ne uygulandığında oldukça doğru sonuçlar verir. Kuplör Mod Teorisi'ne göre modlar arasındaki kuplaj mekanizması uzay, zaman ve frekans domenlerinde incelenebilir [15, 16].

3.1.1.1 Modların Uzay Domeninde Kuplajı

+z yönünde ilerleyen ve zamana göre değişimi $e^{j\omega t}$ olan iki modun propagasyon sabitleri β_1 ve β_2 olmak üzere genlik fonksiyonları,

$$a_1(z) = a_0 e^{-j\beta_1 z} \quad (3.1)$$

$$a_2(z) = a_0 e^{-j\beta_2 z} \quad (3.2)$$

şeklinde ifade edilir. Burada, a_0 katsayıdır. z yönünde değişim,

$$\frac{da_1}{dz} = -j\beta_1 a_1 \quad (3.3)$$

$$\frac{da_2}{dz} = -j\beta_2 a_2 \quad (3.4)$$

şeklinde kuple denklemlerdir. Bu iki optik fiber, birbirini etkileyecek şekilde çok yakın olduğu zaman yukarıdaki eşitlikler yerine,

$$\frac{da_1}{dz} = -j\beta_1 a_1 + c_{12} a_2 \quad (3.5)$$

$$\frac{da_2}{dz} = -j\beta_2 a_2 + c_{21} a_1 \quad (3.6)$$

kuple denklemleri kullanılır. Burada,

$c_{11} = -j\beta_1$ öz kuplaj katsayısıdır.

c_{12} : Birim uzunlukta II. optik fiberin I. optik fiber üzerindeki etkisini ifade eden kuplaj katsayısı

c_{21} : Birim uzunlukta I. optik fiberin II. optik fiber üzerindeki etkisini ifade eden kuplaj katsayısı

$c_{22} = -j\beta_2$ öz kuplaj katsayısıdır.

Zayıf kuplaj kabulü ile c_{12} ve c_{21} , β_1 ve β_2 değerlerine göre çok küçüktür ve z 'den bağımsızdır [12].

İkiden fazla modun kuplajı için kuple denklem,

$$\frac{da_i}{dz} = -j\beta_i a_i + \sum_{i \neq k} c_{ik} a_k \quad (3.7)$$

şeklinde genelleştirilebilir. Kayıpsız optik dalga kılavuzunda,

$$|a_1(z)|^2 = 1 - |a_2(z)|^2 \quad (3.8)$$

$$|a_2(z)|^2 = F_{12} \sin^2 \left(\frac{|c_{12}|}{(F_{12})^{1/2}} z \right) \quad (3.9)$$

dir. F_{12} transfer faktörü olup

$$F_{12} = \frac{1}{1 + \left(\frac{\beta_1 - \beta_2}{2|c_{12}|} \right)^2} \quad (3.10)$$

olarak açılabilir. Eşitlikten anlaşıldığı gibi $\beta_1 = \beta_2$ olduğu durumda maksimum güç transferi gerçekleşmektedir. $|F_{12}| \ll 1$ olduğu zaman kuplaj etkisi çok küçüktür. Modlar arasındaki güç korunumu, kuple mod yaklaşımına göre,

$$\frac{dP}{dz} = 0 \quad (3.11)$$

şeklindedir. Kuple mod denklemindeki kuplaj katsayıları arasındaki ilişkiyi bulmak için ,

$$\frac{d}{dz} [|a_1(z)|^2 + |a_2(z)|^2] = 2\text{Re}[(c_{12} + c_{21}^*)a_1^*a_2] \quad (3.12)$$

ifadesinden faydalanılmıştır. Modların grup hızları aynı doğrultuda ise,

$$c_{12} = -c_{21}^* \quad (3.13)$$

modların hızları farklı doğrultuda ise,

$$c_{12} = c_{21}^* \quad (3.14)$$

dir.

3.1.1.2 Modların Zaman Domeninde Kuplajı

Optik fiberde a_1 ve a_2 modlarının zamana göre değişimler $e^{j\omega_1 t}$ ve $e^{j\omega_2 t}$ olduğunda,

$$\frac{da_1}{dt} = j\omega_1 a_1 \quad (3.15)$$

$$\frac{da_2}{dt} = j\omega_2 a_2 \quad (3.16)$$

olur. Zayıf kuplaj koşulunda ve kaybın sıfır olduğu ortamda (3.15) ve (3.16) eşitlikleri,

$$\frac{da_1}{dt} = j\omega_1 a_1 + c_{12} a_2 \quad (3.17)$$

$$\frac{da_2}{dt} = j\omega_2 a_2 + c_{21} a_1 \quad (3.18)$$

şeklindedir. Burada,

$c_{11} = j\omega_1$ öz kuplaj katsayısı

c_{12} : Birim zamanda a_2 ve a_1 modları arasındaki kuplaj katsayısı

c_{21} : Birim zamanda a_1 ve a_2 modları arasındaki kuplaj katsayısı

$c_{22} = j\omega_2$ öz kuplaj katsayısıdır.

Maksimum kuplaj $\omega_1 = \omega_2$ durumundadır. İki den fazla modun kuplajı için kuplaj denklemleri,

$$\frac{da_i}{dt} = -j\omega_i a_i + \sum_{i \neq k} c_{ik} a_k \quad (3.19)$$

şeklinde genelleştirilebilir.

Enerji korunumuna göre,

$$\frac{dW}{dt} = \frac{d}{dt} [|a_1(t)|^2 + |a_2(t)|^2] = 0 \quad (3.20)$$

dir. Kuplaj katsayıları arasında

$$c_{12} = -c_{21}^* \quad (3.21)$$

bağlantısı bulunur.

3.1.1.3 Modların Frekans Domeninde Kuplajı

Optik fiberlerde a_1 ve a_2 modlarının zamana göre değişimleri $e^{j\omega_1 t}$ $e^{j\omega_2 t}$ olduğunda,

$$\frac{da_1}{d\omega} = jt_1 a_1 \quad (3.22)$$

$$\frac{da_2}{d\omega} = jt_2 a_2 \quad (3.23)$$

olur. Zayıf kuplaj koşulunda ve kaybın sıfır olduğu ortamda (3.22) ve (3.23) eşitlikleri,

$$\frac{da_1}{d\omega} = jt_1 a_1 + c_{12} a_2 \quad (3.24)$$

$$\frac{da_2}{d\omega} = jt_2 a_2 + c_{21} a_1 \quad (3.25)$$

şeklindedir. Burada,

$c_{11} = jt_1$ öz kuplaj katsayısı

c_{12} : Gözlemlenen frekansta a_2 ve a_1 modları arasındaki kuplaj katsayısı

c_{21} : Gözlemlenen frekansta a_1 ve a_2 modları arasındaki kuplaj katsayısı

$c_{21} = jt_2$ öz kuplaj katsayısıdır.

İkiden fazla modun kuplajı için kuple denklem,

$$\frac{da_i}{d\omega} = -jt_i a_i + \sum_{i \neq k} c_{ik} a_k \quad (3.26)$$

şeklinde genelleştirilebilir. Kuplaj katsayıları arasında (4.21) eşitliğindeki bağlantı mevcuttur.

3.1.2 Propagasyon Sabitinin Değişimi

(4.5) ve (4.6) eşitliklerindeki propagasyon sabitlerinin aynı olduğu kabul edildiğinde,

$$\beta_1 = \beta_2 = \beta \quad (3.27)$$

olur ve kuple mod eşitlikleri,

$$\frac{da_1}{dz} = j\beta_1 a_1 + c_{12} a_2 \quad (3.28)$$

$$\frac{da_2}{dz} = j\beta_2 a_2 + c_{21} a_1 \quad (3.29)$$

olarak yazılır. Buradan,

$$a_1 = M_1 e^{[z(\sqrt{c_{12}c_{21}} - j\beta)]} + M_1 e^{[-z(\sqrt{c_{12}c_{21}} - j\beta)]} \quad (3.30)$$

$$a_2 = M_1 \left(\frac{c_{21}}{c_{12}}\right)^{\frac{1}{2}} e^{[z(\sqrt{c_{12}c_{21}} - j\beta)]} - M_1 \left(\frac{c_{12}}{c_{21}}\right)^{\frac{1}{2}} e^{[-z(\sqrt{c_{12}c_{21}} - j\beta)]} \quad (3.31)$$

olarak bulunur.

$z=0$ için M_1 ve M_2 katsayıları,

$$M_1 = \left[a_1(0) + \left(\frac{c_{21}}{c_{12}}\right)^{\frac{1}{2}} a_2(0) \right] \quad (3.32)$$

$$M_2 = \left[a_1(0) - \left(\frac{c_{12}}{c_{21}} \right)^{\frac{1}{2}} a_2(0) \right] \quad (3.33)$$

dir. Kuplaj etkisiyle propagasyon sabitinde

$$\Delta\beta = j(c_{12}c_{21})^{\frac{1}{2}} \quad (3.34)$$

değişimi meydana gelir. $\Delta\beta$ kuple iki modun propagasyon sabitlerinde, kuplajın durumuna göre artma veya azalma şeklinde meydana gelen değişimdir. Kuple kılavuzlar kayıplı ve kayıpsız olmasına göre $\Delta\beta$ farklı değerler alır. $\Delta\beta$, kılavuzlar, kayıpsız ise reel, kayıplı ise kompleks değer alır [13].

3.1.3 Kuplaj Katsayıları

Pertürbasyon Teorisi, düzlemsel yapıdaki katmanlı optik dalga kılavuzlarının ve silindirik yapıdaki optik dalga kılavuzlarının karşılıklı etkileşmelerinde kullanılan önemli bir teoridir. Burada amaç, matematiksel ifadeleri basit formlara indirgemektir. Pertürbasyon Teorisi'nin uygulandığı kuple kılavuzlarda alan ifadeleri,

$$E = aE_1 + bE_2 + E_0 \quad (3.35)$$

$$H = aH_1 + bH_2 + H_0 \quad (3.36)$$

şeklinde dir. a ve b, Pertürbasyon Teorisi yardımıyla bulunan katsayılar E_0 ve H_0 pertürbasyon terimleridir. Alan ifadeleri matematiksel olarak basite indirgendikten sonra uygulanan Maxwell denklemleri sonucu propagasyon sabiti,

$$\Delta\beta = \pm \frac{\omega\epsilon_0}{4P} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} (n_{II}^2 - n_3^2) E_2^* E_1 dx dy \quad (3.37)$$

olarak bulunur. (3.34) ve (3.37) eşitlikleri ile propagasyon doğrultusundan bağımsız olan,

$$|c_{12}| = \frac{\omega \varepsilon_0}{4P} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} (n_I^2 - n_3^2) E_1^* E_2 dx dy \quad (3.38)$$

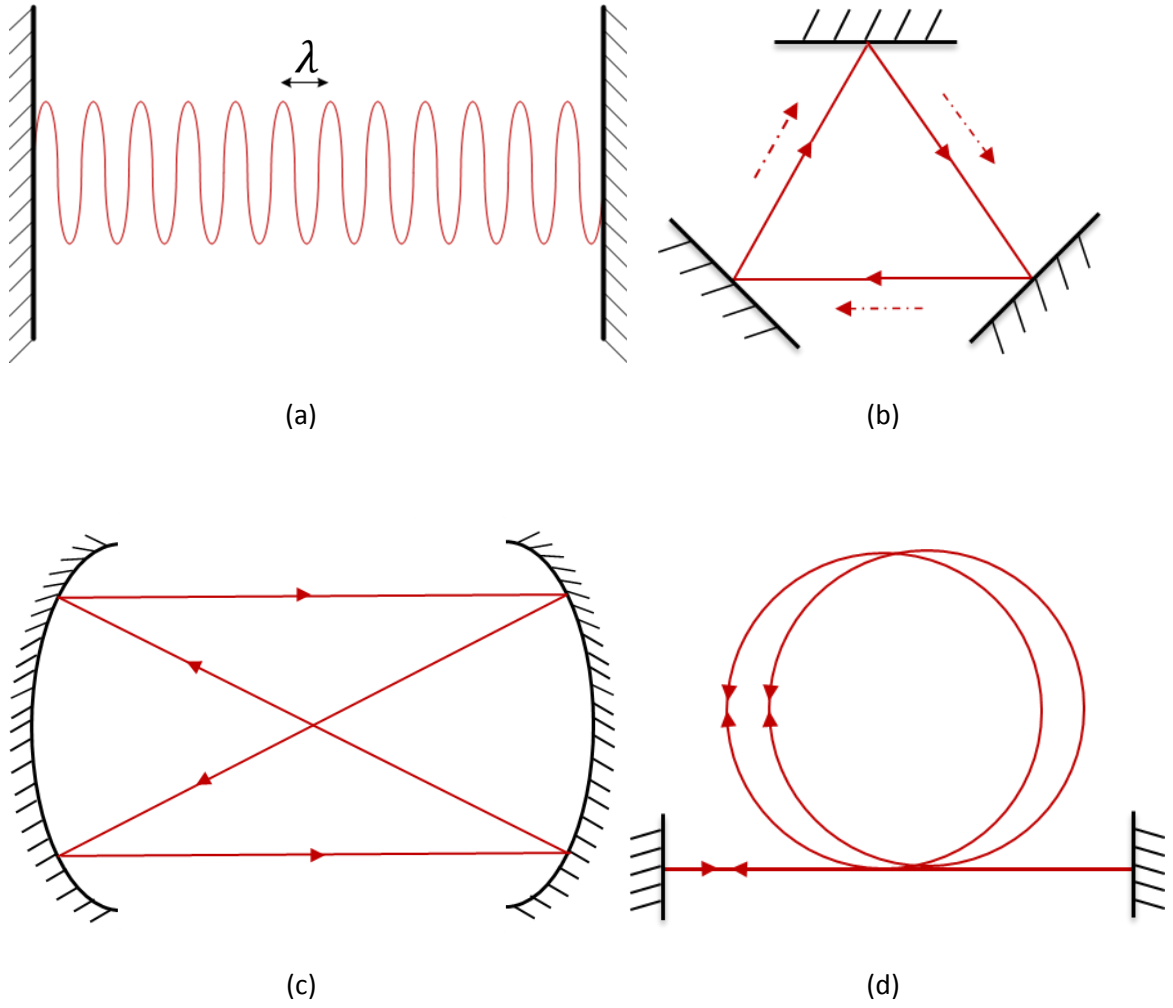
$$|c_{21}| = \frac{\omega \varepsilon_0}{4P} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} (n_{II}^2 - n_3^2) E_2^* E_1 dx dy \quad (3.39)$$

kuplaj katsayıları elde edilir.

3.2 Optik Rezonatörler

Bir optik rezonatör bir elektronik rezonans devresinin optik kopyası gibidir; ışığı belli bir rezonans frekansında sınırlandırır ve saklar. Bu durum geri besleme içeren optik yayma sistemi gibi algılanabilir. Işık, bu sistem içinde kaçmadan yansımalarla devam eder. Basit bir rezonatör, ışığın aralarında çok küçük bir kayıpla yansındıkları iki paralel düzlem ayna olarak ifade edilebilir. Rezonatörler aynı zamanda optik elektronik rezonans devresindeki optik bir sayıcı parça gibidir. Konfigürasyon tarafından belirlenen rezonans frekanslarında ışığı hapseder ve saklar bu durum optik haberleşme sisteminde geri besleme işlemi olarak görülebilir. Işık, rezonatör içinde dolaşır ya da tekrar tekrar yansır.

Çeşitli optik rezonatör konfigürasyonları Şekil 3.3,'te verilmiştir. Bu yapılar arasında en basit optik rezonatör Fabry-Parrot'tur, sadece iki paralel düzlem aynadan oluşur ve ışık bu düzlem aynalar arasında küçük kayıplarla tekrar tekrar yansır. Diğer ayna konfigürasyonları ise; küresel aynalar, halkalı yapılar, dikdörtgen kesitli iki boyutlu ve üç boyutlu oyuklardır.



Şekil 3.3 Rezonatör çeşitleri: (a) Düzlem ayna rezonatör (b) Ring rezonatör (c) Küresel ayna rezonatör (d) Optik fiber rezonatör

Fiber halka rezonatörler ve entegre optik halka rezonatörler geniş bir alanda kullanıma sahiptirler. Dielektrik rezonatörler aynalar boyunca uzanan iki adet düşük kayıplı dielektrik malzeme arasındaki sınırdaki tam iç yansımayı kullanırlar. Hapsedilmiş ışınlar rezonatör içine alınır ki bu ışınların gelme açısı kritik açıdan daha büyük olmalıdır. Bu şekilde rezonatör dışına kırılma önlenir. Mikro disklerde, mikro toroidlerde ve mikro kürelerde ışık yansıyarak çevrim yapar ki bunlar fısıldayan galeri modları olarak bilinir. Periyodik dielektrik yapılardan biri dağılmış bragg yansıtıcılarıdır. Geleneksel Fabry-Perot rezonatörlerdeki aynaların görevini yerine getirirler. Bu yapılarda da geri besleme sağlanır. İki boyutlu kusurlu fotonik kristaller mikro oyuk yapmak için kullanılmaktadırlar. Bir optik rezonatör iki adet anahtar parametre ile karakterize

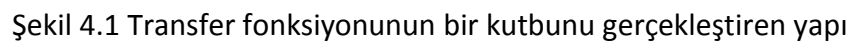
edilir. Birincisi *modal hacim* (V), hapsedilmiş optik mod tarafından oluşturulan hacimdir. İkincisi ise optik periyodun saklama süresine oranı olan *kalite faktörüdür* (Q).

Bu parametreler rezonatördeki uzaysal ve geçici ışık hapsediciliğinin derecesini gösterirler. Geçici hapsediciliğin arttırılması düşük kayıplı malzemeler ve düşük sızıntılı konfigürasyonlar kullanılarak gerçekleştirilirken uzaysal hapsediciliğin geliştirilmesi çeşitli geometrilerdeki mikro rezonatörlerin geliştirilmesi ile başılır.

Optik rezonatörler frekans seçicilikleri nedeni ile optik filtrelerde ve spektrum analizörlerde kullanılırlar. Bu tezde, optik halka rezonatörler, optik filtre tasarımında etkin bir biçimde kullanılmıştır. Onların en çok kullanıldığı yer lazer ışığının oluşturulabildiği kaplardır. Lazerde, optik rezonatör içinde ışığın kuvvetlendirildiği bir ortam mevcuttur. Optik rezonatör, üretilen lazer huzmesinin frekans ve uzaysal dağılımını belirler. Ayrıca optik rezonatörler enerji depolama yeteneklerinden dolayı lazer enerji darbeleri üretmek içinde kullanılırlar [14].

Ayrık zamanlı filtrelerin oluşturulması için, istenen yapıdaki filtre karakteristiğinin transfer fonksiyonunun elde edilmesi gerekir. Ayrık zamanlı filtrelerin oluşturulmasında kullanılan transfer fonksiyonu, optik fiber kuplörler ile oluşturulan optik rezonatör yapılarının bir araya gelmesiyle elde edilmiştir.

Ulaşılmak istenen transfer fonksiyonunun bir kutbunu oluşturmak için Şekil 4.1'deki yapı önerilir. Önerilen yapıda, E_1 sinyal girişini, E_7 ise sinyal çıkışını belirtmektedir.



33

kuvvetlendiriciyi ve dalga vektörünü, n_0 çekirdek bölgesinin kırılma indisini, λ ise dalgaboyunu ifade etmek üzere,

$$E_4 = \sqrt{1 - \gamma_1} [\sqrt{1 - K_1} E_1 - j\sqrt{K_1} E_2] \quad (4.1)$$

$$E_3 = \sqrt{1 - \gamma_1} [\sqrt{1 - K_1} E_2 - j\sqrt{K_1} E_1] \quad (4.2)$$

$$E_5 = E_3 e^{\frac{-\alpha L_{35}}{2}} e^{-jK_n L_{35}} \quad (4.3)$$

$$E_7 = \sqrt{1 - \gamma_2} [\sqrt{1 - K_2} E_6 - j\sqrt{K_2} E_5] \quad (4.4)$$

$$E_8 = \sqrt{1 - \gamma_2} [\sqrt{1 - K_2} E_5 - j\sqrt{K_2} E_6] \quad (4.5)$$

$$E_9 = E_8 e^{\frac{-\alpha L_{89}}{2}} e^{-jK_n L_{89}} \quad (4.6)$$

$$E_{12} = \sqrt{1 - \gamma_3} [\sqrt{1 - K_3} E_{10} - j\sqrt{K_3} E_9] \quad (4.7)$$

$$E_{11} = \sqrt{1 - \gamma_3} [\sqrt{1 - K_3} E_9 - j\sqrt{K_3} E_{10}] \quad (4.8)$$

$$E_2 = E_{12} e^{\frac{-\alpha L_{12,2}}{2}} e^{-jK_n L_{12,2}} G_{OA} \quad (4.9)$$

dır. Analizde E_6 ve $E_{10}=0$ kabul edilmiştir. Bunun sonucunda,

$$E_7 = \sqrt{1 - \gamma_2} (-j\sqrt{K_2} E_5) \quad (4.10)$$

$$E_8 = \sqrt{1 - \gamma_2} (\sqrt{1 - K_2} E_5) \quad (4.11)$$

$$E_{12} = \sqrt{1 - \gamma_3} (-j\sqrt{K_3} E_9) \quad (4.12)$$

$$E_{11} = \sqrt{1 - \gamma_3} (\sqrt{1 - K_3} E_9) \quad (4.13)$$

eşitlikleri elde edilmiş ve (4.9) eşitliği (4.2) eşitliğinde yerine yazılarak,

$$E_3 = \sqrt{1 - \gamma_1} \left[\sqrt{1 - K_1} \left(E_{12} e^{\frac{-\alpha L_{12,2}}{2}} e^{-jK_n L_{12,2}} \right) - j\sqrt{K_1} E_1 \right] \quad (4.14)$$

eşitliği bulunur. (4.12) eşitliği (4.14) eşitliğinde yerine kullanılarak,

$$E_3 = \sqrt{1 - \gamma_1} \left[\sqrt{1 - K_1} \left(\sqrt{1 - \gamma_3} (-j\sqrt{K_3} E_9) e^{\frac{-\alpha L_{12,2}}{2}} e^{-jK_n L_{12,2}} \right) - j\sqrt{K_1} E_1 \right] \quad (4.15)$$

eşitliği elde edilir. (4.11) eşitliği (4.6) eşitliğinde yerine yazılarak,

$$E_9 = \sqrt{1 - \gamma_2} (\sqrt{1 - K_2} E_5) e^{\frac{-\alpha L_{89}}{2}} e^{-jK_n L_{89}} \quad (4.16)$$

eşitliğine ulaşılmıştır. (4.16) eşitliğinden (4.15) eşitliğinde yararlanılarak,

$$E_3 = \sqrt{1 - \gamma_1} \left[\sqrt{1 - K_1} (-j\sqrt{K_3} \sqrt{1 - \gamma_2} (\sqrt{1 - K_2} E_5) e^{\frac{-\alpha L_{89}}{2}} e^{-jK_n L_{89}}) e^{\frac{-\alpha L_{12,2}}{2}} e^{-jK_n L_{12,2}} \right] - j\sqrt{K_1} E_1 \quad (4.17)$$

eşitliği elde edilir. (4.10) eşitliği (4.3) eşitliğinde yazılarak,

$$E_3 = \frac{E_7}{\sqrt{1 - \gamma_2} (-j\sqrt{K_2} E_5) e^{\frac{-\alpha L_{35}}{2}} e^{-jK_n L_{35}}} \quad (4.18)$$

eşitliği bulunur. (4.18) eşitliği (4.17) eşitliğinde kullanılarak,

$$\frac{E_7}{\sqrt{1 - \gamma_2} (-j\sqrt{K_2} E_5) e^{\frac{-\alpha L_{35}}{2}} e^{-jK_n L_{35}}} = \sqrt{1 - \gamma_1} \left[\sqrt{1 - K_1} (-j\sqrt{K_3} \sqrt{1 - \gamma_2} \left(\sqrt{1 - K_2} \frac{E_7}{\sqrt{1 - \gamma_2} (-j\sqrt{K_2})} \right) e^{\frac{-\alpha L_{89}}{2}} e^{-jK_n L_{89}}) e^{\frac{-\alpha L_{12,2}}{2}} e^{-jK_n L_{12,2}} \right] - j\sqrt{K_1} E_1 \quad (4.19)$$

eşitliği elde edilir. Bu eşitlik düzenlendiğinde,

$$\frac{E_7}{\sqrt{1-\gamma_2}(-j\sqrt{K_2}E_5)e^{\frac{-\alpha L_{35}}{2}}e^{-jK_n L_{35}}} = \left[-j\sqrt{1-\gamma_1}\sqrt{1-\gamma_2}\sqrt{1-\gamma_3}\sqrt{1-K_1}\sqrt{1-K_2} \right. \\ \left. \sqrt{K_3}e^{\frac{-\alpha L_{89}}{2}}e^{jK_n L_{89}}e^{\frac{-\alpha L_{12,2}}{2}}e^{-jK_n L_{12,2}}G_{OA} \right] \frac{E_7}{\sqrt{1-\gamma_2}(-j\sqrt{K_2})} - j\sqrt{1-\gamma_1}\sqrt{K_1}E_1 \quad (4.20)$$

ve transfer fonksiyonunu ifade eden $\frac{E_7}{E_1}$ fonksiyonu,

$$\frac{E_7}{E_1} = \frac{-\sqrt{K_1 K_2 (1-\gamma_1)(1-\gamma_2)}e^{\frac{-\alpha L_{35}}{2}}e^{-jK_n L_{35}}}{1+j\sqrt{K_3(1-K_1)(1-K_2)(1-\gamma_1)(1-\gamma_2)(1-\gamma_3)}G_{OA}e^{\frac{-\alpha L_{89}}{2}}e^{-jK_n L_{89}}} \\ \frac{1}{e^{\frac{-\alpha L_{12,2}}{2}}e^{-jK_n L_{12,2}}e^{\frac{-\alpha L_{35}}{2}}e^{-jK_n L_{35}}} \quad (4.21)$$

olarak elde edilir. Rezonatör halkasının toplam uzunluğu, üç parçanın toplanmasıyla,

$$L_{35} + L_{89} + L_{12,2} = L \quad (4.22)$$

elde edilir. Analizde,

$$e^{-jK_n L_{35}} e^{-jK_n L_{89}} e^{-jK_n L_{12,2}} = e^{-jK_n L} = z^{-1} \quad (4.23)$$

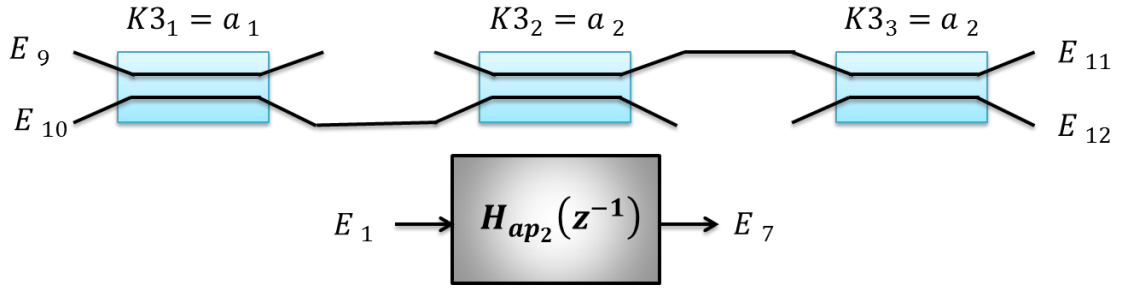
$$e^{\frac{-\alpha L_{35}}{2}} e^{\frac{-\alpha L_{89}}{2}} e^{\frac{-\alpha L_{12,2}}{2}} = e^{\frac{-\alpha L}{2}} \quad (4.24)$$

eşitlikleri ve z transformu değişkeni $z^{-1} = e^{-jK_n L}$ ifadesi dikkate alınmış ve L_{35} uzunluğu L 'ye göre çok küçük olduğundan ihmal edilmiştir. Böylece H_{ap_1} transfer fonksiyonu,

$$H_{ap_1}(z^{-1}) = \frac{E_7}{E_1} = \frac{-\sqrt{K_1 K_2 (1-\gamma_1)(1-\gamma_2)}}{1+j\sqrt{K_3(1-K_1)(1-K_2)(1-\gamma_1)(1-\gamma_2)(1-\gamma_3)}G_{OA}e^{\frac{-\alpha L}{2}}z^{-1}} \quad (4.25)$$

formunda bulunmuştur.

Karmaşık eşlenikli kutuplar oluşturabilmek için, 3 numaralı kuplör Şekil 4.2'deki üçlü kuplör yapısı ile değiştirilmiştir [15].

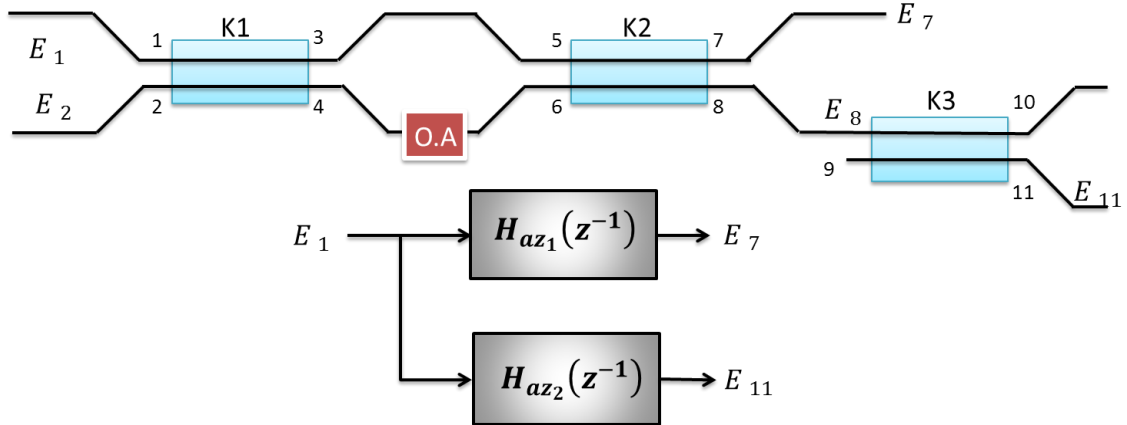


Şekil 4.2 Kompleks eşlenikli kutupların gerçekleştirilmesi için gereken ek yapı

$H_{ap_1}(z^{-1})$ transfer fonksiyonu olan (4.25) eşitliğinden farklı olarak, K_3 kuplaj katsayısı yerine $a_1 a_2 a_3$ kuplaj katsayıları ve $(1 - \gamma_3)$ zayıflama sabiti yerine de $(1 - \gamma_{c1,p2})(1 - \gamma_{c2,p2})(1 - \gamma_{c3,p2})$ katsayıları getirilmiştir. Değiştirilen bu yapı sonucunda $H_{ap_2}(z^{-1})$ transfer fonksiyonu,

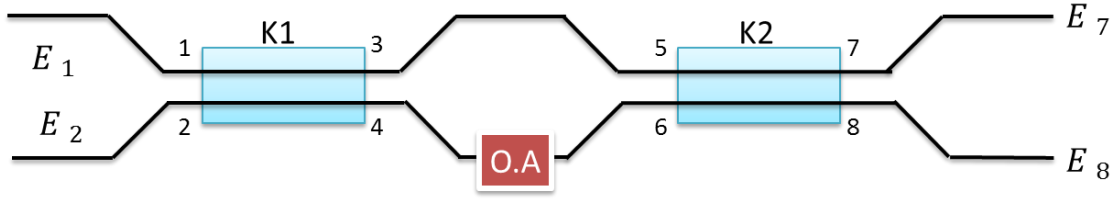
$$H_{ap_2}(z^{-1}) = \frac{-\sqrt{K_1 K_2 (1-\gamma_1)(1-\gamma_2)}}{1 + j\sqrt{a_1 a_2 a_3 (1-K_1)(1-K_2)(1-\gamma_1)(1-\gamma_2)(1-\gamma_3)} G_{OA} e^{\frac{-\alpha L}{2}} z^{-1}} \quad (4.26)$$

olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.3 Karmaşık eşlenikli sıfırların transfer fonksiyonunu gerçekleştiren yapı

Transfer fonksiyonu oluşturulurken, çıkış E_7 'den alınıp H_{az_1} yapısı elde edilmiştir. Bu durumda Şekil 4.4'te yer alan K_3 kuplörü kullanılmamıştır.



Şekil 4.4 Transfer fonksiyonunun bir sıfırını gerçekleştiren yapı

H_{az_1} yapısının transfer fonksiyonunu elde etmek için kuplör ilişkileri ve iletim hatları denklemleri yazılır.

$$E_3 = \sqrt{1 - \gamma_1} [\sqrt{1 - K_1} E_2 - j\sqrt{K_1} E_1] \quad (4.27)$$

$$E_4 = \sqrt{(1 - \gamma_1)} [\sqrt{1 - K_1} E_1 - j\sqrt{K_1} E_2] \quad (4.28)$$

$$E_5 = E_3 e^{\frac{-\alpha L_{35}}{2}} e^{-jK_n L_{35}} \quad (4.29)$$

$$E_6 = E_4 e^{\frac{-\alpha L_{46}}{2}} e^{-jK_n L_{46}} G_{O.A.} \quad (4.30)$$

$$E_7 = \sqrt{1 - \gamma_2} [\sqrt{1 - K_2} E_5 - j\sqrt{K_2} E_6] \quad (4.31)$$

$$E_8 = \sqrt{1 - \gamma_2} [\sqrt{1 - K_2} E_6 - j\sqrt{K_2} E_5] \quad (4.32)$$

tir. Analizde, başlangıç değeri olarak $E_2 = 0$ alınmış, istenen sonuca ulaşabilmek için matematiksel bir manipülasyon yapılmıştır. K_1 kuplörünün kuplaj katsayısının 0.5 olması öngörülmüş ve E_3 ile E_4 çıkışları birbirine eşit olmuş ve sonuç olarak E_3 ile E_4 yer değiştirilmiştir:

$$E_3 = -j\sqrt{1 - \gamma_1} \sqrt{K_1} E_1 \quad (4.33)$$

$$E_4 = \sqrt{1 - \gamma_1} \sqrt{1 - K_1} E_1 \quad (4.34)$$

(4.33) eşitliği (4.29) eşitliğinde yerine yazılarak,

$$E_5 = -j\sqrt{1-\gamma_1}\sqrt{K_1}E_1 e^{\frac{-\alpha L_{35}}{2}} e^{-jK_n L_{35}} \quad (4.35)$$

eşitliği elde edilir. (4.34) eşitliği (4.30) eşitliğinde kullanılarak,

$$E_6 = \sqrt{1-\gamma_1}\sqrt{1-K_1}E_1 e^{\frac{-\alpha L_{46}}{2}} e^{-jK_n L_{46}} G_{O.A} \quad (4.36)$$

eşitliği elde edilmiştir. (4.35) eşitliği ve (4.36) eşitliği, (4.31) eşitliğinde yerine yazılarak,

$$E_7 = \sqrt{1-\gamma_2} \left[\sqrt{1-K_2} \left(-j\sqrt{1-\gamma_1}\sqrt{K_1}E_1 e^{\frac{-\alpha L_{35}}{2}} e^{-jK_n L_{35}} \right) - j\sqrt{K_2} \left(\sqrt{1-\gamma_1}\sqrt{1-K_1}E_1 e^{\frac{-\alpha L_{46}}{2}} e^{-jK_n L_{46}} G_{O.A} \right) \right] \quad (4.37)$$

eşitliği elde edilir ve buradan,

$$\begin{aligned} \frac{E_7}{E_1} = & -j\sqrt{(1-\gamma_1)(1-\gamma_2)} \left[\sqrt{K_1(1-K_2)} e^{\frac{-\alpha L_{35}}{2}} e^{-jK_n L_{35}} \right. \\ & \left. + \sqrt{K_2(1-K_1)} G_{O.A} e^{\frac{-\alpha L_{46}}{2}} e^{-jK_n L_{46}} \right] \end{aligned} \quad (4.38)$$

eşitlikleri bulunur. Burada, L_{35} uzunluğu, L_{46} 'ya göre oldukça küçük olduğu için ihmal edilmiştir. z-transformu değişkeni $z^{-1} = e^{-jK_n L_{46}}$ olarak alınmış ve böylece H_{az_1} transfer fonksiyonu,

$$H_{az_1} = j\sqrt{(1-\gamma_1)(1-\gamma_2)} \left[\sqrt{K_1(1-K_2)} + \sqrt{K_2(1-K_1)} G_{O.A} e^{\frac{-\alpha L_{46}}{2}} z^{-1} \right] \quad (4.39)$$

formunda elde edilir.

$H_{az_2}(z^{-1})$ ifadesini bulmak için

$$E_{10} = \sqrt{1-\gamma_3} [\sqrt{1-K_3}E_8 - j\sqrt{K_2}E_9] \quad (4.40)$$

$$E_{11} = \sqrt{1-\gamma_3} [\sqrt{1-K_3}E_9 - j\sqrt{K_2}E_8] \quad (4.41)$$

ek formüller yazılır. Burada $E_9 = 0$ kabul edildiğinden (4.41) eşitliği,

$$E_{11} = -j\sqrt{1-\gamma_3}\sqrt{K_3}E_8 \quad (4.42)$$

olarak bulunur. (4.35) ve (4.36) eşitlikleri, (4.42) eşitliğinde yerine yazılarak,

$$E_8 = \sqrt{1-\gamma_2} \left[\sqrt{1-K_2} \left(\sqrt{1-\gamma_1}\sqrt{1-K_1}E_1 e^{\frac{-\alpha L_{46}}{2}} e^{-jK_n L_{46}} G_{O.A} \right) - j\sqrt{K_2} \left(-j\sqrt{1-\gamma_1}\sqrt{K_1}E_1 e^{\frac{-\alpha L_{35}}{2}} e^{-jK_n L_{35}} \right) \right] \quad (4.43)$$

eşitliğine ulaşılır. (4.43) eşitliğinden (4.42) eşitliğinde yararlanılarak,

$$E_{11} = -j\sqrt{1-\gamma_3}\sqrt{K_3}\sqrt{1-\gamma_2} \left[\sqrt{1-K_2} \left(\sqrt{1-\gamma_1}\sqrt{1-K_1}E_1 e^{\frac{-\alpha L_{46}}{2}} e^{-jK_n L_{46}} G_{O.A} \right) - j\sqrt{K_2} \left(-j\sqrt{1-\gamma_1}\sqrt{K_1}E_1 e^{\frac{-\alpha L_{35}}{2}} e^{-jK_n L_{35}} \right) \right] \quad (4.44)$$

eşitliği elde edilir ve bu ifadeden (4.44) transfer fonksiyonunu ifade eden $\frac{E_{11}}{E_7}$ ifadesi,

$$H_{az_2} = \frac{E_{11}}{E_7} \quad (4.45)$$

$$H_{az_2} = j\sqrt{K_3(1-\gamma_1)(1-\gamma_2)(1-\gamma_3)} \left[\sqrt{K_1 K_2} - \sqrt{(1-K_1)(1-K_2)} G_{O.A} e^{\frac{-\alpha L_{46}}{2}} z^{-1} \right] \quad (4.46)$$

olarak bulunur.

Böylece optik fiber kuplörlerden oluşan ve optik filtre tasarımı için gerekli olan dört ayrı blok H_{az_1} , H_{az_2} , H_{ap_1} ve H_{ap_2} tüm kutup ve tüm sıfır yaklaşımı ile elde edilmiştir.

4.2 Blok Yapıları Kullanılarak Butterworth Filtre Karakteristiklerinin Elde Edilmesi

4.2.1 Alçak Geçiren Butterworth Filtreler

Şekil 4.5'te görülen alçak geçiren Butterworth filtrenin transfer fonksiyonu,

$$H_{AG}^{(2)} = H_{az_{1,1}} H_{az_{1,2}} H_{ap_1} H_{ap_2}, \quad (4.47)$$

olarak ifade edilir.

$H_{AG}^{(2)}$ için kullanılan parametrelerin yazım şekli,

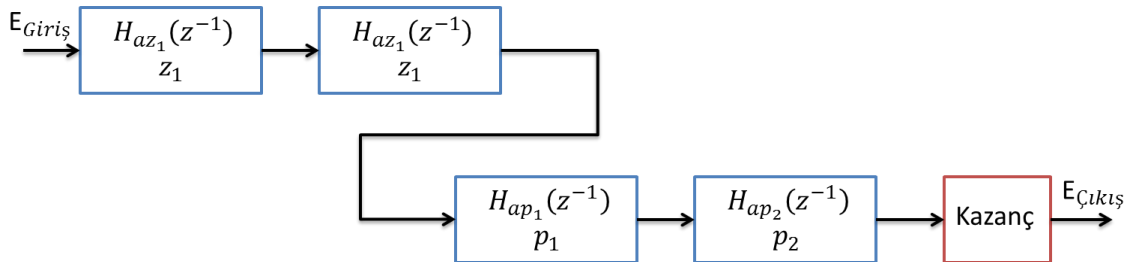
$$H_{az_{1,1}} \rightarrow K_{1,z11}, K_{2,z11}, \gamma_{1,z11}, \gamma_{2,z11}, G_{OA,z11}, \alpha_{z11}, L_{46,z11}$$

$$H_{ap_1} \rightarrow K_{1,p1}, K_{2,p1}, K_{3,p1}, \gamma_{1,p1}, \gamma_{2,p1}, \gamma_{3,p1}, G_{OA,p1}, \alpha_{p1}, L_{p1}$$

$$H_{ap_2} \rightarrow K_{1,p2}, K_{2,p2}, K_{3,p2}, \gamma_{1,p2}, \gamma_{2,p2}, \gamma_{3,p2}, a_1, a_2, a_3$$

$$\gamma_{c1,p2}, \gamma_{c2,p2}, \gamma_{c3,p2}, G_{OA,p2}, \alpha_{p2}, L_{p2}$$

dir. Burada, K, γ, α, L , ve G_{OA} sırasıyla, kuplaj katsayılarını, kuplaj kayıplarını, iletim hattında ilerleyen sinyalin zayıflama katsayısını, transmisyon hattının uzunluğunu ve optik kuvvetlendiricinin kazancını ifade etmektedir.



Şekil 4.5 Alçak geçiren Butterworth filtrenin blokları (N=2)

Değerlerin belirlenmesi aşamasına geçilmeden önce, sistem parametrelerinin belirlenmesini kolaylaştırmak amacıyla elde edilen bloklar basitleştirilerek çeşitli katsayılarla ifade edilirler.

H_{az_1} : transfer fonksiyonuna ait bir adet sıfırın birim çember üzerindeki yerleşimini belirlemektedir.

$$H_{az_1}(z^{-1}) = -j\sqrt{(1-\gamma_{1,z11})(1-\gamma_{2,z11})}\left[\sqrt{K_{1,z11}(1-K_{2,z11})} + \sqrt{K_{2,z11}(1-K_{1,z11})}G_{OA,z11}e^{\frac{-\alpha_{z11}\cdot L_{46,z11}}{2}}z^{-1}\right] \quad (4.48)$$

$H_{az_1}(z^{-1})$ bloğunun transfer fonksiyonu basit bir forma (4.49) indirgenmiş ve bu fonksiyon sadece b_1 ve b_2 katsayısına sahip bir eşitlik halini almıştır.

$$H_{az_1}(z^{-1}) = -jb_1 - jb_2z^{-1} \text{ ise, } -j(b_1 + b_2z^{-1}) \quad (4.49)$$

Burada,

$$b_1 = \sqrt{(1-\gamma_{1,z11})(1-\gamma_{2,z11})K_{1,z11}(1-K_{2,z11})} \quad (4.50)$$

ve

$$b_2 = \sqrt{(1-\gamma_{1,z11})(1-\gamma_{2,z11})K_{1,z11}(1-K_{2,z11})}G_{OA,z22}e^{-\alpha_{z211}\cdot L_{46,z11}} \quad (4.51)$$

dir.

H_{ap_1} : Karmaşık eşlenikli kutupların bir tanesinin birim çember üzerindeki yerlerini belirlemektedir.

$$H_{ap_1}(z^{-1})$$

$$= \frac{-\sqrt{K_{1,p1}K_{2,p1}(1-\gamma_{1,p1})(1-\gamma_{2,p2})}}{1+j\sqrt{K_{3,p1}(1-K_{2,p1})(1-K_{1,p1})(1-\gamma_{1,p1})(1-\gamma_{2,p1})(1-\gamma_{3,p1})} G_{OA,p1} e^{-\alpha_{p1}L_{p1}z^{-1}}} \quad (4.52)$$

$H_{ap_1}(z^{-1})$ bloğunun transfer fonksiyonu da basit bir fonksiyon (4.53) formuna indirgenir ve c_1 ile c_2 katsayılarına sahip bir eşitlik halini alır.

$$H_{ap_1}(z^{-1}) = \frac{-c_1}{1+jc_2z^{-1}} \quad (4.53)$$

Burada,

$$c_1 = \sqrt{K_{1,p1}K_{2,p1}(1-\gamma_{1,p1})(1-\gamma_{2,p1})} \quad (4.54)$$

ve

$$c_2 = \sqrt{K_{3,p1}(1-K_{2,p1})(1-K_{1,p1})(1-\gamma_{1,p1})(1-\gamma_{2,p1})(1-\gamma_{3,p1})} G_{OA,p1} e^{\frac{-\alpha_{p1}L_{p1}}{2}} \quad (4.55)$$

dir.

H_{ap_2} : Bu blokta, ilk elde edilen H_{ap_1} 'in karmaşık eşleniğinin birim çember üzerindeki yerini belirlemektedir.

$$H_{ap_2}(z^{-1}) = \frac{-\sqrt{K_{1,p2}K_{2,p2}(1-\gamma_{1,p2})(1-\gamma_{2,p2})}}{1-j\sqrt{(1-\gamma_{c1,p2})(1-\gamma_{c2,p2})(1-\gamma_{c3,p2})a_1a_2a_3(1-K_{2,p2})(1-K_{1,p2})(1-\gamma_{1,p2})(1-\gamma_{2,p2})}} \quad (4.56)$$

$$\frac{1}{G_{OA,p2} e^{\frac{-\alpha_{p2}L_{p2}}{2}} z^{-1}}$$

Benzer şekilde, $H_{ap_2}(z^{-1})$ bloğunun da transfer fonksiyonu basit bir fonksiyon formuna indirgenmiş ve c_3 ile c_4 katsayılarına sahip bir eşitlik halini almıştır.

$$H_{ap_2}(z^{-1}) = \frac{-c_3}{1-jc_4z^{-1}} \quad (4.57)$$

Burada,

$$c_3 = \sqrt{K_{1,p2}K_{2,p2}(1 - \gamma_{1,p2})(1 - \gamma_{2,p2})} \quad (4.58)$$

ve

$$c_4 = \sqrt{(1 - \gamma_{c1,p2})(1 - \gamma_{c2,p2})(1 - \gamma_{c3,p2})a_1a_2a_3(1 - K_{1,p2})(1 - K_{2,p2})}$$

$$(1 - \gamma_{1,p2})(1 - \gamma_{2,p2})G_{OA,p2} e^{\frac{-\alpha_{p2}L_{p2}}{2}} \quad (4.59)$$

dir.

4.2.1.1 Önerilen Kaskad Sistemin Transfer Fonksiyonuna Dönüştürülmesi

Bu Bölüm’de, 4.2.1 Bölümü’nde elde edilen basit katsayılar ile hedeflenen transfer fonksiyonu yapısı elde edilmiştir. Burada, ideal ortamlarda ideal davranış sergileyen transfer fonksiyonu karakteristikleri baz alınarak, bu fonksiyonlar bloklar içerisinde yer alan sistemlerin parametrelerinin belirlenmesi ile elde edilmiştir. Bu kısımda, önerilen kaskad sistemin transfer fonksiyonuna dönüştürülmesi işlemi için ikinci dereceden alçak geçiren Butterworth filtre, örnek olması açısından ayrıntılı biçimde ele alınarak oluşturulmuştur. Diğer filtrelerde benzer şekilde elde edilebilmektedir. İkinci dereceden alçak geçiren Butterworth filtrenin transfer fonksiyonu,

$$H_{AG}^{(2)}(z^{-1}) = H_{az_1}H_{az_1}H_{ap_1}H_{ap_2} \quad (4.60)$$

dir. Kaskad olarak çarpılan bloklar, basit katsayılar ile açık olarak yazılarak,

$$H_{AG}^{(2)}(z^{-1}) = (-jb_1 - jb_2z^{-1})(-jb_1 - jb_2z^{-1}) \frac{(-c_1)}{(1+jc_2z^{-1})} \frac{(-c_3)}{(1-jc_4z^{-1})} \quad (4.61)$$

ifadesi elde edilir. (4.61) eşitliği düzenlenerek,

$$H_{AG}^{(2)}(z^{-1}) = \frac{-c_1 c_3 b_2^2 z^{-2} - 2c_1 c_3 b_1 b_2 z^{-1} - c_1 c_3 b_1^2}{c_2 c_4 z^{-2} + (j c_2 - j c_4) z^{-1} + 1} \quad (4.62)$$

$$H_{AG}^{(2)}(z^{-1}) = \frac{c_1 c_3 (j b_2^2 z^{-1} + j b_1^2)^2}{c_2 c_4 z^{-2} + (j c_2 - j c_4) z^{-1} + 1} \quad (4.63)$$

eşitliği elde edilir. (4.63) eşitliğinin pay kısmındaki karmaşık sayı ifadesi olan j 'nin karesi alınıp,

$$H_{AG}^{(2)}(z^{-1}) = \frac{-c_1 c_3 (b_2^2 z^{-1} + b_1^2)^2}{c_2 c_4 z^{-2} + (j c_2 - j c_4) z^{-1} + 1} \quad (4.64)$$

dışarıya (-) olarak çıkartılmıştır. İkinci dereceden alçak geçiren Butterworth filtrenin ideal transfer fonksiyonu,

$$H_{AG}^{(2)}(z^{-1}) = \frac{-0,1049 - 0,2098z^{-1} - 0,01049z^{-2}}{1 + 0,171561z^{-2}} \quad (4.65)$$

dir. (4.66) eşitliğindeki ifadenin 0 olması kutupların kompleks eşlenikli olmasını sağlamıştır.

$$j(c_2 - c_4) = 0 \quad \text{olduğu için,} \quad (4.66)$$

$$H_{AG}^{(2)}(z) = \frac{-0,1049(1+z)^2}{0,171561+z^2} \quad (4.67)$$

transfer fonksiyonu baz alınarak,

$$c_2 = c_4 \quad (4.68)$$

eşitliği elde edilmiştir, bu eşitlik yerine yazıldığında,

$$H_{AG}^{(2)}(z^{-1}) = \frac{-c_1 c_3 (b_2^2 + b_1^2 z)^2}{c_2 c_4 + z^2} \quad (4.69)$$

sonucuna ulaşılmıştır.

Oldukça basitleşen katsayılara (4.67) eşitliği baz alınarak değerler verilmiş ve filtre karakteristiği pasif elemanlar olan optik fiber kuplörler yardımıyla ve optik halka rezonatör yapısının etkisiyle oluşturulmuştur.

4.2.1.2 Butterworth Alçak Geçiren Filtrenin Tasarım Parametrelerinin Belirlenmesi

Önerilen blokların transfer fonksiyonuna dönüşmesi için, basitleştirilmiş yöntemler ile sırasıyla değerler verilerek katsayılar elde edilmiştir. Bu da istenen transfer fonksiyonunun elde edilmesini sağlamıştır. (4.61) eşitliğindeki pay kısmı ele alınarak, $(-jb_1 - jb_2z^{-1})(-jb_1 - jb_2z^{-1})$ ifadelerinden 2 ayrı sıfır elde edilmiştir. Bu ifadeler sıfıra eşitlendiğinde,

$$(-jb_1 - jb_2z^{-1}) = 0 \quad (4.70)$$

$$z = -\frac{b_2}{b_1} \quad (4.71)$$

eşitliği elde edilmiştir. İkinci dereceden alçak geçiren Butterworth filtrenin sıfırları z- domeninde reel eksenin -1 noktasındadır. Buna göre,

$$z = -\frac{b_2}{b_1} = -1 \quad (4.72)$$

$$b_1 = b_2 \quad (4.73)$$

eşitliğine ulaşılır, b_1 ve b_2 katsayılarının içerdiği parametrelere hesaplama açısından ve gerçekleştirilebilir olması bakımından ilgili değerler (4.74, 75) eşitliklerinde verilmiştir. (4.61) eşitliğinde pay kısmının ekstra çarpanları olan c_1 ve c_2 sadece genlik kısmına etki etmektedir.

$$\gamma_{1,p1} = \gamma_{2,p1} = \gamma_{1,p2} = \gamma_{2,p2} = \gamma_{1,z11} = \gamma_{2,z11} = 0.1 \quad (4.74)$$

ve

$$K_{1,z11} = K_{2,z11} = 0.5 \quad (4.75)$$

olarak verilmiştir. (4.61) eşitliğinin payda kısmı dikkate alındığında ise, birbirinin kompleks eşleniği olan iki ayrı kutup elde edilecektir. Kutup denklemleri,

$$(1 + jc_2z^{-1})(1 - jc_4z^{-1}) \quad (4.76)$$

dir. Bu denklemler sıfıra eşitlendiğinde,

$$(1 + jc_2z^{-1}) = 0 \quad (4.77)$$

$$(1 - jc_4z^{-1}) = 0 \quad (4.78)$$

$$z = -jc_2 \quad (4.79)$$

$$z = jc_4 \quad (4.80)$$

eşitlikleri elde edilir. Burada, kompleks eşlenikli ve sanal eksen üzerinde 2 ayrı kök elde edilmiştir. Ayrıca c_2 ve c_4 ifadelerinin birbirine eşit oldukları, (4.68) eşitliğinde gösterilmiştir. Bunun sonucunda c_2 ve c_4 katsayılarının içerdiği parametrelere hesaplama açısından ve gerçekleştirilebilir olması bakımından ilgili değerler (4.83, 88) eşitliklerinde verilmiştir. Burada,

$$c_2 = \sqrt{K_{3,p1}(1 - K_{2,p1})(1 - K_{1,p1})(1 - \gamma_{1,p1})(1 - \gamma_{2,p1})(1 - \gamma_{3,p1})}$$

$$G_{OA,p1} e^{\frac{-\alpha_{p1}L_{p1}}{2}} = 0.4142 \quad (4.81)$$

ve

$$c_4 = \sqrt{(1 - \gamma_{c1,p2})(1 - \gamma_{c2,p2})(1 - \gamma_{c3,p2})a_1a_2a_3(1 - K_{1,p2})(1 - K_{2,p2})}$$

$$\sqrt{(1 - \gamma_{1,p2})(1 - \gamma_{2,p2})}G_{OA,p2} e^{\frac{-\alpha_{p2}L_{p2}}{2}} = 0.4142 \quad (4.82)$$

dir. (4.81, 82) eşitliklerindeki sonuçlara ulaşabilmek için (4,83-89) eşitliklerindeki değerler seçilmiştir.

$$K_{1,p1} = K_{2,p1} = 0.3 \quad (4.83)$$

$$K_{1,p2} = K_{2,p2} = 0.3 \quad (4.84)$$

$$K_{3,p1} = K_{3,p2} = 0.4803 \quad (4.85)$$

$$\gamma_{3,p1} = 0.1 \quad (4.86)$$

kabul edildiğinde,

$$\gamma_{c1,p2} = \gamma_{c2,p2} = \gamma_{c3,p2} = 0.0345 \quad (4.87)$$

değerleri elde edilmiştir

$$K_{3,p1} = a_1 a_2 a_3 = 0.4803 \quad (4.88)$$

kabul edildiğinde,

$$a_1 = a_2 = a_3 = 0.7831 \quad (4.89)$$

değerleri elde edilmiştir.

(4.68) eşitliğinden yola çıkarak $c_2 c_4$ ifadesi yerine,

$$c_2^2 = c_4^2 = 0.171561 \quad (4.90)$$

kullanılabilir.

$$\left[\sqrt{K_{3,p1}(1 - K_{2,p1})(1 - K_{1,p1})(1 - \gamma_{1,p1})(1 - \gamma_{2,p1})(1 - \gamma_{3,p1})} G_{OA,p1} e^{\frac{-\alpha_{p1} L_{p1}}{2}} \right]^2$$

$$= c_2^2 = 0.171561 \quad (4.91)$$

veya

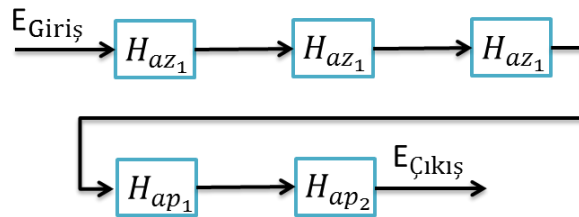
$$\left[\sqrt{(1 - \gamma_{c1,p2})(1 - \gamma_{c2,p2})(1 - \gamma_{c3,p2})a_1 a_2 a_3 (1 - K_{1,p2})(1 - K_{2,p2})} \right. \\ \left. \sqrt{(1 - \gamma_{1,p2})(1 - \gamma_{2,p2})G_{OA,p2} e^{\frac{-\alpha_{p2} L_{p2}}{2}}} \right]^2 = c_4^2 = 0,171561 \quad (4.92)$$

Böylece (4.61) eşitliğinin paydasındaki sabit katsayı elde edilmiştir. Çizelge 4.1’de oluşturulan ikinci dereceden alçak geçiren Butterworth filtrenin, sistem parametreleri toplu olarak verilmiştir.

Çizelge 4.1 Alçak geçiren Butterworth filtrenin sistem parametreleri (N=2)

Fonksiyon	Kuplaj ve Kayıp Katsayıları	Sıfır ve Kutuplar
H_{az_1}	$K_{1,z11}, K_{2,z11} = 0.5 \quad \gamma_{1,z11}, \gamma_{2,z11} = 0.1$	$z_1 = -1$
H_{ap_1}	$K_{1,p1}, K_{2,p1} = 0.3 \quad K_{3,p1} = 0.4803$ $\gamma_{1,p1}, \gamma_{2,p1}, \gamma_{3,p1} = 0.1$	$p_1 = j0.4142$
H_{ap_2}	$K_{1,p2}, K_{2,p2} = 0.3 \quad K_{3,p2} = 0.4803$ $\gamma_{1,p2}, \gamma_{2,p2}, \gamma_{3,p2} = 0.1 \quad a_1, a_2, a_3 = 0.7831$ $\gamma_{1c,p2}, \gamma_{2c,p2}, \gamma_{3c,p2} = 0.0345$	$p_1 = -j0.4142$

Benzer hesaplamalar N=3, 4, 5 ve 6. dereceden alçak geçiren Butterworth filtreler için de yapılmış ve hesaplanan değerler sırasıyla Çizelge 4.2, Çizelge 4.3, Çizelge 4.4, Çizelge 4.5’te verilmiştir. Alçak geçiren tüm Butterworth filtreler için $G_{OA}=1$, $\alpha=10^{-5}$ Np/m ve $L=10\mu m$ değerleri seçilmiştir.



Şekil 4.6 Alçak geçiren Butterworth filtrenin blokları (N=3)

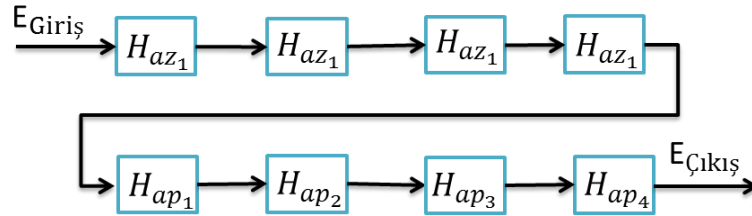
N=3 için yapılan analizde,

$$H_{AG}^{(3)}(z^{-1}) = \frac{j0.5263(1+z^{-1})^3}{1+0.3337z^{-2}} \quad (4.93)$$

transfer fonksiyonu dikkate alınmış, istenen yapıyı oluşturmak için sistemdeki parametreler belirlenerek sonuçlar Çizelge 4.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2 Alçak geçiren Butterworth filtrenin sistem parametreleri (N=3)

Fonksiyon	Kuplaj ve Kayıp Katsayıları	Sıfır ve Kutuplar
H_{az_1}	$K_{1,z11}, K_{2,z11} = 0.5 \quad \gamma_{1,z11}, \gamma_{2,z11} = 0.1$	$z_1 = -1$
H_{ap_1}	$K_{1,p1}, K_{2,p1} = 0.2 \quad K_{3,p1} = 0.7146$ $\gamma_{1,p1}, \gamma_{2,p1}, \gamma_{3,p1} = 0.1$	$p_1 = j0.5774$
H_{ap_2}	$K_{1,p2}, K_{2,p2} = 0.2 \quad K_{3,p2} = 0.7146$ $\gamma_{1,p2}, \gamma_{2,p2}, \gamma_{3,p2} = 0.1 \quad a_1, a_2, a_3 = 0.8940$ $\gamma_{1c,p2}, \gamma_{2c,p2}, \gamma_{3c,p2} = 0.0345$	$p_1 = -j0.5774$



Şekil 4.7 Alçak geçiren Butterworth filtrenin blokları (N=4)

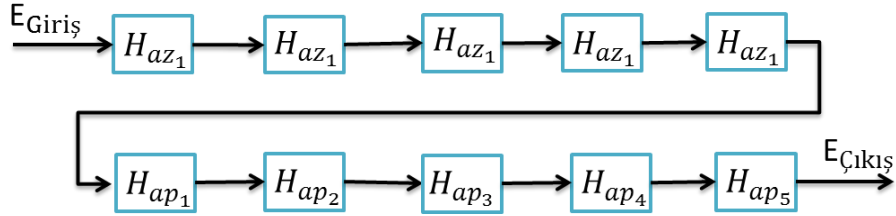
N=4 için yapılan analizde,

$$H_{AG}^{(4)}(z^{-1}) = \frac{(3.069 \times 10^{-3})(1+z^{-1})^4}{1+0.48590z^{-2}+0.01766z^{-4}} \quad (4.94)$$

transfer fonksiyonu dikkate alınmış, istenen yapıyı oluşturmak için sistemdeki parametreler belirlenerek sonuçlar Çizelge 4.3’te gösterilmiştir.

Çizelge 4.3 Alçak geçiren Butterworth filtrenin sistem parametreleri (N=4)

Fonksiyon	Kuplaj ve Kayıp Katsayıları	Sıfır ve Kutuplar
H_{az_1}	$K_{1,z11}, K_{2,z11} = 0.5 \quad \gamma_{1,z11}, \gamma_{2,z11} = 0.1$	$z_1 = -1$
H_{ap_1}	$K_{1,p1}, K_{2,p1} = 0.2 \quad K_{3,p1} = 0.9570$ $\gamma_{1,p1}, \gamma_{2,p1}, \gamma_{3,p1} = 0.1$	$p_1 = j0.6682$
H_{ap_2}	$K_{1,p2}, K_{2,p2} = 0.2 \quad K_{3,p2} = 0.9570$ $\gamma_{1,p2}, \gamma_{2,p2}, \gamma_{3,p2} = 0.1 \quad a_1, a_2, a_3 = 0.9855$ $\gamma_{1c,p2}, \gamma_{2c,p2}, \gamma_{3c,p2} = 0.0345$	$p_1 = -j0.6682$
H_{ap_3}	$K_{1,p1}, K_{2,p1} = 0.7 \quad K_{3,p1} = 0.6030$ $\gamma_{1,p1}, \gamma_{2,p1}, \gamma_{3,p1} = 0.1$	$p_1 = j0.1989$
H_{ap_4}	$K_{1,p2}, K_{2,p2} = 0.2 \quad K_{3,p2} = 0.6030$ $\gamma_{1,p2}, \gamma_{2,p2}, \gamma_{3,p2} = 0.1 \quad a_1, a_2, a_3 = 0.8448$ $\gamma_{1c,p2}, \gamma_{2c,p2}, \gamma_{3c,p2} = 0.0345$	$p_1 = -j0.1989$



Şekil 4.8 Alçak geçiren Butterworth filtrenin blokları (N=5)

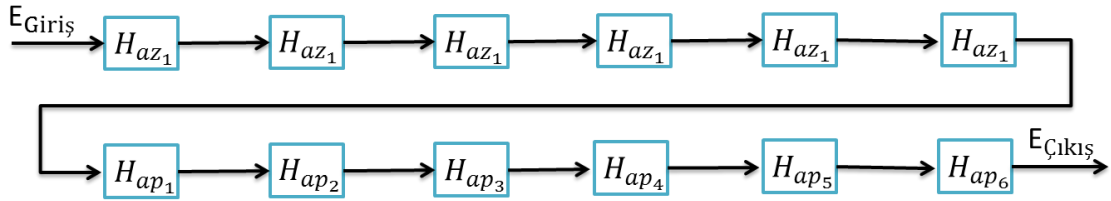
N=5 için yapılan analizde,

$$H_{AG}^{(5)}(z^{-1}) = \frac{(-j4.97 \times 10^{-4})(1+z^{-1})^5}{1+0.6334z^{-2}+0.0577z^{-4}} \quad (4.95)$$

transfer fonksiyonu dikkate alınmış, istenen yapıyı oluşturmak için sistemdeki parametreler belirlenerek sonuçlar Çizelge 4.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.4 Alçak geçiren Butterworth filtrenin sistem parametreleri (N=5)

Fonksiyon	Kuplaj ve Kayıp Katsayıları	Sıfır ve Kutuplar
H_{az_1}	$K_{1,z11}, K_{2,z11} = 0.5 \quad \gamma_{1,z11}, \gamma_{2,z11} = 0.1$	$z_1 = -1$
H_{ap_1}	$K_{1,p1}, K_{2,p1} = 0.1 \quad K_{3,p1} = 0.7365$ $\gamma_{1,p1}, \gamma_{2,p1}, \gamma_{3,p1} = 0.04$	$p_1 = j0.7265$
H_{ap_2}	$K_{1,p2}, K_{2,p2} = 0.1 \quad K_{3,p2} = 0.7365$ $\gamma_{1,p2}, \gamma_{2,p2}, \gamma_{3,p2} = 0.04 \quad a_1, a_2, a_3 = 0.9031$ $\gamma_{1c,p2}, \gamma_{2c,p2}, \gamma_{3c,p2} = 0.0135$	$p_1 = -j0.7265$
H_{ap_3}	$K_{1,p1}, K_{2,p1} = 0.5 \quad K_{3,p1} = 0.4772$ $\gamma_{1,p1}, \gamma_{2,p1}, \gamma_{3,p1} = 0.04$	$p_1 = j0.3249$
H_{ap_4}	$K_{1,p2}, K_{2,p2} = 0.5 \quad K_{3,p2} = 0.4772$ $\gamma_{1,p2}, \gamma_{2,p2}, \gamma_{3,p2} = 0.04 \quad a_1, a_2, a_3 = 0.7815$ $\gamma_{1c,p2}, \gamma_{2c,p2}, \gamma_{3c,p2} = 0.0135$	$p_1 = -j0.3249$



Şekil 4.9 Alçak geçiren Butterworth filtrenin blokları (N=6)

N=6 için yapılan analizde,

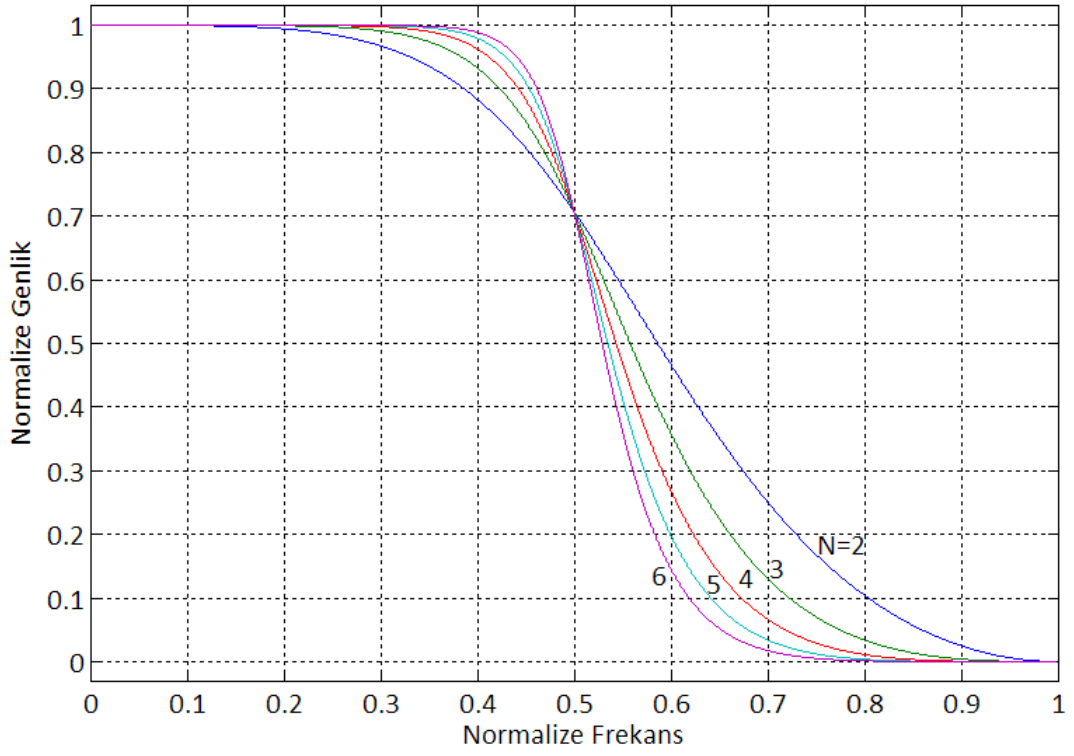
$$H_{AG}^{(6)}(z^{-1}) = \frac{(1.34 \times 10^{-3})(1+z^{-1})^6}{1+0.7776z^{-2}+0.1141z^{-4}+0.0017z^{-6}} \quad (4.96)$$

transfer fonksiyonu dikkate alınmış, istenen yapıyı oluşturmak için sistemdeki parametreler belirlenerek sonuçlar Çizelge 4.5'te gösterilmiştir.

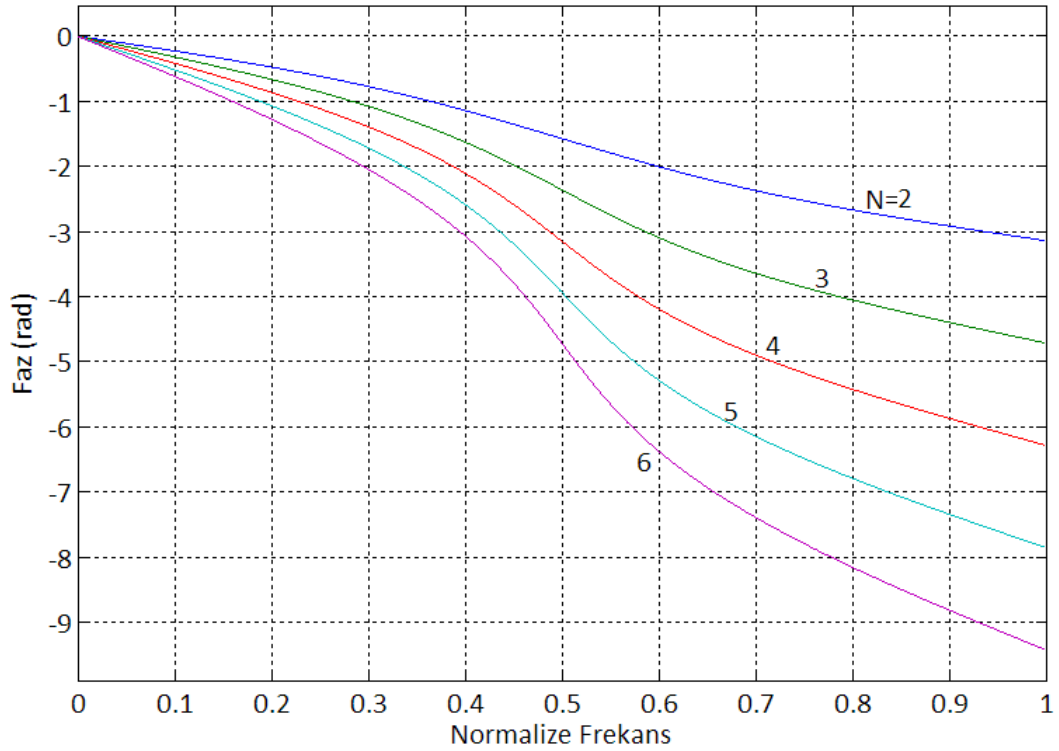
Çizelge 4.5 Alçak geçiren Butterworth filtrenin sistem parametreleri (N=6)

Fonksiyon	Kuplaj ve Kayıp Katsayıları	Sıfır ve Kutuplar
H_{az_1}	$K_{1,z11}, K_{2,z11} = 0.5 \quad \gamma_{1,z11}, \gamma_{2,z11} = 0.1$	$z_1 = -1$
H_{ap_1}	$K_{1,p1}, K_{2,p1} = 0.1 \quad K_{3,p1} = 0.8215$ $\gamma_{1,p1}, \gamma_{2,p1}, \gamma_{3,p1} = 0.04$	$p_1 = j0.7673$
H_{ap_2}	$K_{1,p2}, K_{2,p2} = 0.1 \quad K_{3,p2} = 0.8215$ $\gamma_{1,p2}, \gamma_{2,p2}, \gamma_{3,p2} = 0.04 \quad a_1, a_2, a_3 = 0.9031$ $\gamma_{1c,p2}, \gamma_{2c,p2}, \gamma_{3c,p2} = 0.0135$	$p_2 = -j0.7673$
H_{ap_3}	$K_{1,p1}, K_{2,p1} = 0.8 \quad K_{3,p1} = 0.5948$ $\gamma_{1,p1}, \gamma_{2,p1}, \gamma_{3,p1} = 0.1$	$p_3 = j0.1317$
H_{ap_4}	$K_{1,p2}, K_{2,p2} = 0.8 \quad K_{3,p2} = 0.5948$ $\gamma_{1,p2}, \gamma_{2,p2}, \gamma_{3,p2} = 0.1 \quad a_1, a_2, a_3 = 0.8410$ $\gamma_{1c,p2}, \gamma_{2c,p2}, \gamma_{3c,p2} = 0.0345$	$p_4 = -j0.1317$
H_{ap_5}	$K_{1,p1}, K_{2,p1} = 0.3 \quad K_{3,p1} = 0.4803$ $\gamma_{1,p1}, \gamma_{2,p1}, \gamma_{3,p1} = 0.1$	$p_5 = j0.4142$
H_{ap_6}	$K_{1,p2}, K_{2,p2} = 0.3 \quad K_{3,p2} = 0.4803$ $\gamma_{1,p2}, \gamma_{2,p2}, \gamma_{3,p2} = 0.1 \quad a_1, a_2, a_3 = 0.7831$ $\gamma_{1c,p2}, \gamma_{2c,p2}, \gamma_{3c,p2} = 0.0345$	$p_6 = -j0.4142$

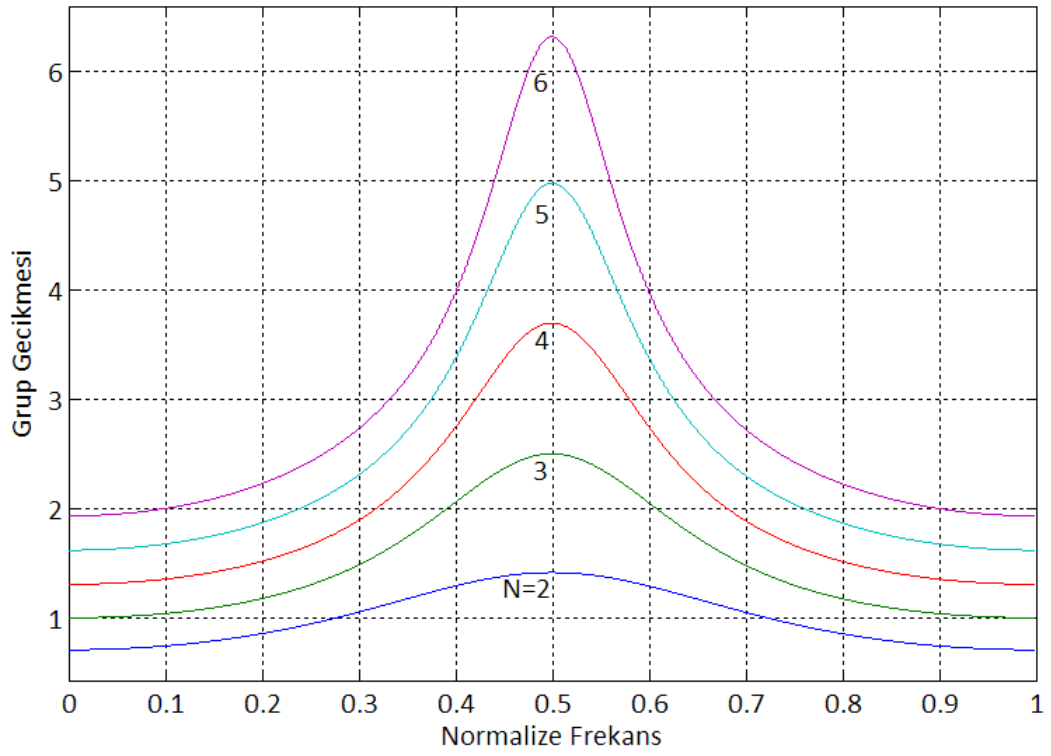
Bu değerler ile oluşturulan normalize kesim frekansı 0.5 olan, N=2, 3, 4, 5 ve 6. dereceden alçak geçiren Butterworth filtreler için, genlik cevabı, faz cevabı, grup gecikmesi ve faz gecikmesi grafikleri, sırasıyla Şekil 4.10, Şekil 4.11, Şekil 4.12, Şekil 4.13'te gösterilmiştir. Altıncı dereceden alçak geçiren Butterworth filtrenin oluşturulmasında kullanılan Matlab kodları Ek-A'da verilmiştir.



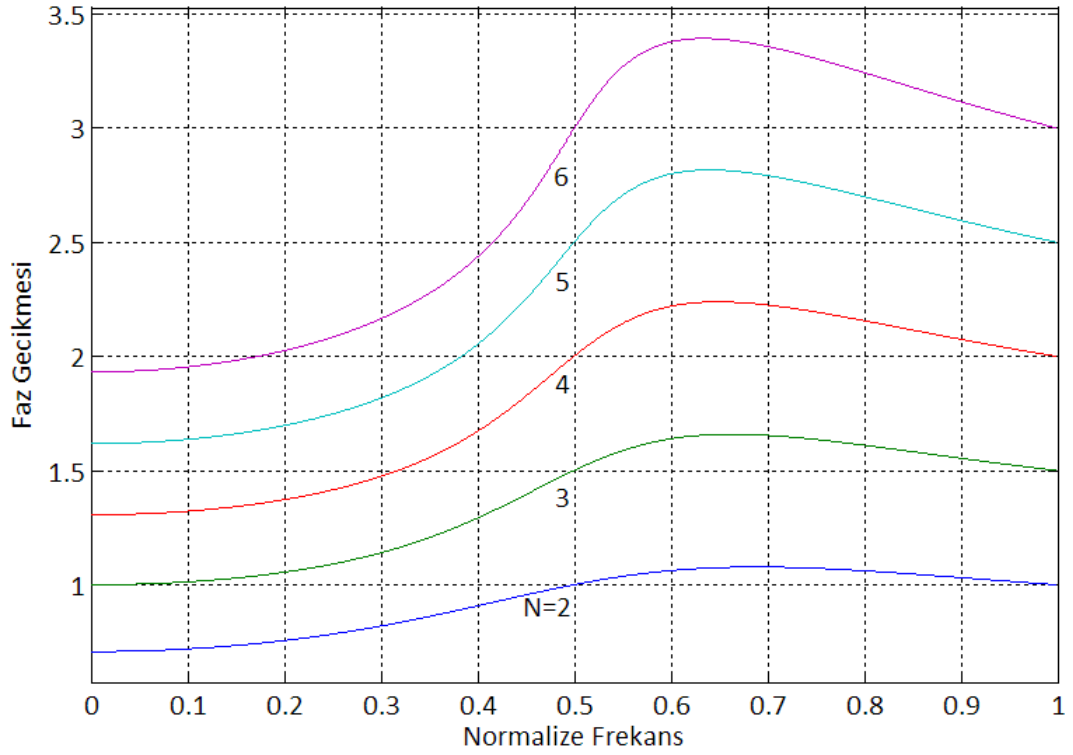
Şekil 4.10 Alçak geçiren Butterworth filtrenin normalize genliğinin normalize frekansa göre değişimi ($N=2, 3, 4, 5$ ve 6)



Şekil 4.11 Alçak geçiren Butterworth filtrenin faz cevabının normalize frekansa göre değişimi ($N=2, 3, 4, 5$ ve 6)



Şekil 4.12 Alçak geçiren Butterworth filtrenin grup gecikmesinin normalize frekansa göre değişimi (N=2, 3, 4, 5 ve 6)



Şekil 4.13 Alçak geçiren Butterworth filtrenin faz gecikmesinin normalize frekansa göre değişimi (N=2, 3, 4, 5 ve 6)

4.2.2 Yüksek Geçiren Butterworth Filtreler

Şekil 4.14'te gösterilen yüksek geçiren Butterworth filtrenin transfer fonksiyonu,

$$H_{YG}^{(2)} = H_{az_2,1} H_{az_2,2} H_{ap_1} H_{ap_2} \text{Kazanç} \quad (4.97)$$

olarak ifade edilir.

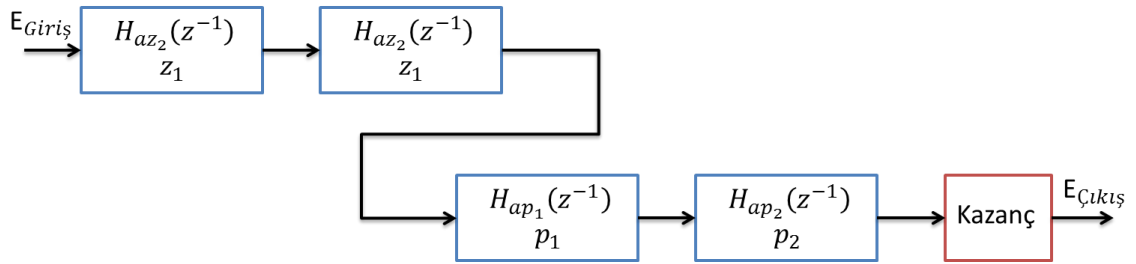
$H_{YG}^{(2)}$ için kullanılan yazım şekli aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$H_{az_2} \rightarrow K_{1,z12}, K_{2,z12}, \gamma_{1,z12}, \gamma_{2,z12}, G_{OA,z12}, \alpha_{z12}, L_{46,z12}$$

$$H_{ap_1} \rightarrow K_{1,p1}, K_{2,p1}, K_{3,p1}, \gamma_{1,p1}, \gamma_{2,p1}, \gamma_{3,p1}, G_{OA,p1}, \alpha_{p1}, L_{p1}$$

$$H_{ap_2} \rightarrow K_{1,p2}, K_{2,p2}, K_{3,p2}, \gamma_{1,p2}, \gamma_{2,p2}, \gamma_{3,p2}, a_1, a_2, a_3$$

$$\gamma_{c1,p2}, \gamma_{c2,p2}, \gamma_{c3,p2}, G_{OA,p2}, \alpha_{p2}, L_{p2}$$



Şekil 4.14 Yüksek geçiren Butterworth filtrenin blokları (N=2)

$$H_{az_2} = \frac{E_{11}}{E_7} = j\sqrt{K_3(1-\gamma_1)(1-\gamma_2)(1-\gamma_3)}[\sqrt{K_1K_2} - \sqrt{(1-K_1)(1-K_2)}G_{O.A}e^{\frac{-\alpha L_{A6}}{2}}z^{-1}] \quad (4.98)$$

$H_{az_2}(z^{-1})$ bloğunun transfer fonksiyonu basit bir forma indirgenmiş ve bu fonksiyon sadece b_3 ile b_4 katsayısına sahip bir eşitlik halini almıştır:

$$H_{az_2}(z^{-1}) = jb_3 - jb_4z^{-1} \text{ ise, } j(b_3 - b_4z^{-1}) \text{ olur.} \quad (4.99)$$

olur. Burada,

$$b_3 = \sqrt{K_{1,z21}K_{2,z21}K_{3,z21}(1 - \gamma_{1,z21})(1 - \gamma_{2,z21})(1 - \gamma_{3,z21})} \quad (4.100)$$

ve

$$b_4 = \sqrt{K_{3,z21}(1 - K_{2,z21})(1 - K_{1,z21})(1 - \gamma_{1,z21})(1 - \gamma_{2,z21})(1 - \gamma_{3,z21})} \\ \cdot G_{OA,z22} \cdot e^{-\alpha_{z211} \cdot L_{46,z11}} \quad (4.101)$$

dir. Her bloğun basitleştirilmiş transfer fonksiyonu kaskad olarak çarpılarak,

$$H_{YG}^2(z^{-1}) = j(b_3 - b_4z^{-1})j(b_3 - b_4z^{-1}) \frac{(-c_1)}{(1+jc_2z^{-1})} \frac{(-c_3)}{(1-jc_4z^{-1})} \quad (4.102)$$

eşitliği elde edilmiştir. Bu eşitlik düzenlenerek,

$$H_{YG}^{(2)}(z^{-1}) = \frac{-c_1c_3b_4^2z^{-2}+2c_1c_3b_1b_2z^{-1}-c_1c_3b_3^2}{c_2c_4z^{-2}+(jc_2-jc_4)z^{-1}+1} \quad (4.103)$$

$$H_{YG}^{(2)}(z^{-1}) = \frac{c_1c_3(jb_2^2z^{-1}-jb_1^2)^2}{c_2c_4z^{-2}+(jc_2-jc_4)z^{-1}+1} \quad (4.104)$$

eşitliğine ulaşılmıştır. (4.104) eşitliğinin pay kısmındaki karmaşık ifade olan j'nin karesi alınıp,

$$H_{YG}^{(2)}(z^{-1}) = \frac{-c_1c_3(b_2^2z^{-1}-b_1^2)^2}{c_2c_4z^{-2}+(jc_2-jc_4)z^{-1}+1} \quad (4.105)$$

dışarıya (-) olarak çıkartılmıştır. İkinci dereceden alçak geçiren Butterworth filtrenin ideal transfer fonksiyonu,

$$H_{YG}^{(2)}(z^{-1}) = \frac{-0.1049(1+z^{-1})^2}{1+0.171561z^{-2}} \quad (4.106)$$

dir.

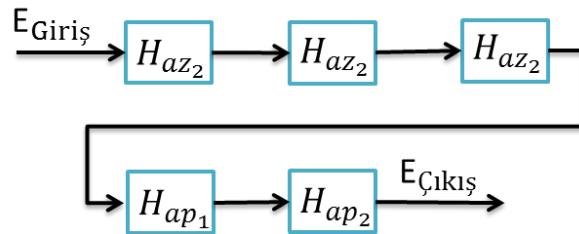
$$H_{YG}^{(2)}(z^{-1}) = \frac{-0,1049 + 0,2098z^{-1} - 0,01049z^{-2}}{1 + 0,171561z^{-2}} \quad (4.107)$$

Basitleşen katsayılara, (4.107) eşitliğinde yer alan transfer fonksiyonu baz alınarak değerler verilmiştir. Değer verme yöntemi, Bölüm 4.2.1'deki ikinci dereceden alçak geçiren Butterworth filtredeki yöntem ile aynıdır. Oluşturulan ikinci dereceden yüksek geçiren Butterworth filtrenin sistem parametreleri Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Benzer hesaplamalar N=3, 4, 5 ve 6. dereceden yüksek geçiren Butterworth filtreler için de yapılmış ve hesaplanan değerler sırasıyla Çizelge 4.6, Çizelge 4.7, Çizelge 4.8, Çizelge 4.9'da verilmiştir. Yüksek geçiren tüm Butterworth filtreler için $G_{OA}=1$, $\alpha=10^{-5}$ Np/m ve $L=10\mu m$ değerleri seçilmiştir.

Çizelge 4.6 Yüksek geçiren Butterworth filtrenin sistem parametreleri (N=2)

Fonksiyon	Kuplaj ve Kayıp Katsayıları	Sıfır ve Kutuplar
H_{az_2}	$K_{1,z11}, K_{2,z11} = 0.5 \quad K_{3,z11} = 1$ $\gamma_{1,z11}, \gamma_{2,z11} = 0.1 \quad \gamma_{3,z11} = 0$	$z_1 = 1$
H_{ap_1}	$K_{1,p1}, K_{2,p1} = 0.3 \quad K_{3,p1} = 0.4803$ $\gamma_{1,p1}, \gamma_{2,p1}, \gamma_{3,p1} = 0.1$	$p_1 = j0.4142$
H_{ap_2}	$K_{1,p2}, K_{2,p2} = 0.3 \quad K_{3,p2} = 0.4803$ $\gamma_{1,p2}, \gamma_{2,p2}, \gamma_{3,p2} = 0.1 \quad a_1, a_2, a_3 = 0.7831$ $\gamma_{1c,p2}, \gamma_{2c,p2}, \gamma_{3c,p2} = 0.0345$	$p_1 = -j0.4142$



Şekil 4.15 Yüksek geçiren Butterworth filtrenin blokları (N=3)

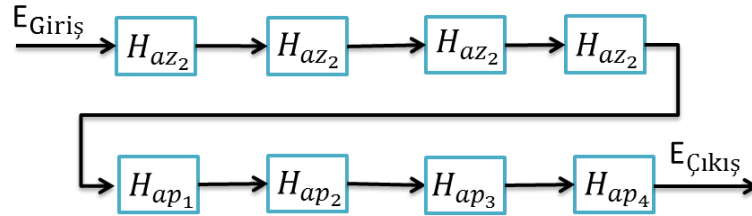
N=3 için yapılan analizde,

$$H_{YG}^{(3)}(z^{-1}) = \frac{j0.5263(1-z^{-1})^3}{1+0.3337z^{-2}} \quad (4.108)$$

transfer fonksiyonu dikkate alınmış, istenen yapıyı oluşturmak için sistemdeki parametreler belirlenerek sonuçlar Çizelge 4.7’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.7 Yüksek geçiren Butterworth filtrenin sistem parametreleri (N=3)

Fonksiyon	Kuplaj ve Kayıp Katsayıları	Sıfır ve Kutuplar
H_{az_1}	$K_{1,z11}, K_{2,z11} = 0.5 \quad \gamma_{1,z11}, \gamma_{2,z11} = 0.1$	$z_1 = 1$
H_{ap_1}	$K_{1,p1}, K_{2,p1} = 0.2 \quad K_{3,p1} = 0.7146$ $\gamma_{1,p1}, \gamma_{2,p1}, \gamma_{3,p1} = 0.1$	$p_1 = j0.5774$
H_{ap_2}	$K_{1,p2}, K_{2,p2} = 0.2 \quad K_{3,p2} = 0.7146$ $\gamma_{1,p2}, \gamma_{2,p2}, \gamma_{3,p2} = 0.1 \quad a_1, a_2, a_3 = 0.8940$ $\gamma_{1c,p2}, \gamma_{2c,p2}, \gamma_{3c,p2} = 0.0345$	$p_1 = -j0.5774$



Şekil 4.16 Yüksek geçiren Butterworth filtrenin blokları (N=4)

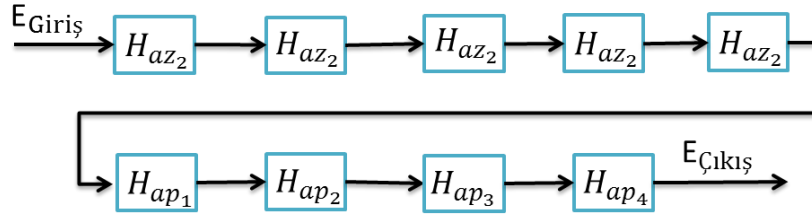
N=4 için yapılan analizde,

$$H_{YG}^{(4)}(z^{-1}) = \frac{(3.069 \times 10^{-3})(1-z^{-1})^4}{1+0.48590z^{-2}+0.01766z^{-4}} \quad (4.109)$$

transfer fonksiyonu dikkate alınmış, istenen yapıyı oluşturmak için sistemdeki parametreler belirlenerek sonuçlar Çizelge 4.8’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.8 Yüksek geçiren Butterworth filtrenin sistem parametreleri (N=4)

Fonksiyon	Kuplaj ve Kayıp Katsayıları	Sıfır ve Kutuplar
H_{az_1}	$K_{1,z11}, K_{2,z11} = 0.5 \quad \gamma_{1,z11}, \gamma_{2,z11} = 0.1$	$z_1 = 1$
H_{ap_1}	$K_{1,p1}, K_{2,p1} = 0.2 \quad K_{3,p1} = 0.9570$ $\gamma_{1,p1}, \gamma_{2,p1}, \gamma_{3,p1} = 0.1$	$p_1 = j0.6682$
H_{ap_2}	$K_{1,p2}, K_{2,p2} = 0.2 \quad K_{3,p2} = 0.9570$ $\gamma_{1,p2}, \gamma_{2,p2}, \gamma_{3,p2} = 0.1 \quad a_1, a_2, a_3 = 0.9855$ $\gamma_{1c,p2}, \gamma_{2c,p2}, \gamma_{3c,p2} = 0.0345$	$p_1 = -j0.6682$
H_{ap_3}	$K_{1,p1}, K_{2,p1} = 0.7 \quad K_{3,p1} = 0.6030$ $\gamma_{1,p1}, \gamma_{2,p1}, \gamma_{3,p1} = 0.1$	$p_1 = j0.1989$
H_{ap_4}	$K_{1,p2}, K_{2,p2} = 0.2 \quad K_{3,p2} = 0.6030$ $\gamma_{1,p2}, \gamma_{2,p2}, \gamma_{3,p2} = 0.1 \quad a_1, a_2, a_3 = 0.8448$ $\gamma_{1c,p2}, \gamma_{2c,p2}, \gamma_{3c,p2} = 0.0345$	$p_1 = -j0.1989$



Şekil 4.17 Yüksek geçiren Butterworth filtrenin blokları (N=5)

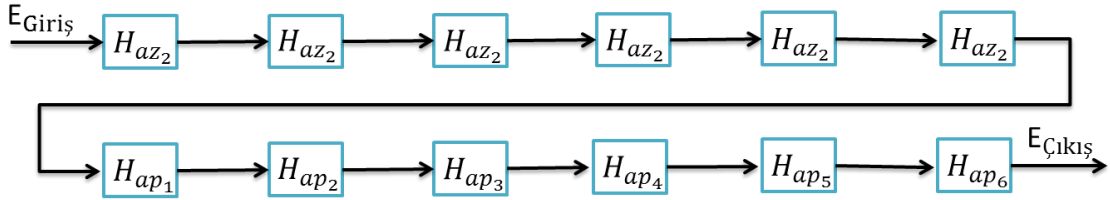
N=5 için yapılan analizde,

$$H_{YG}^{(5)}(z^{-1}) = \frac{(-j4.97 \times 10^{-4})(1-z^{-1})^5}{1+0.6334z^{-2}+0.0577z^{-4}} \quad (4.110)$$

transfer fonksiyonu dikkate alınmış, istenen yapıyı oluşturmak için sistemdeki parametreler belirlenerek sonuçlar Çizelge 4.9’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.9 Yüksek geçiren Butterworth filtrenin sistem parametreleri (N=5)

Fonksiyon	Kuplaj ve Kayıp Katsayıları	Sıfır ve Kutuplar
H_{az_1}	$K_{1,z11}, K_{2,z11} = 0.5 \quad \gamma_{1,z11}, \gamma_{2,z11} = 0.1$	$z_1 = 1$
H_{ap_1}	$K_{1,p1}, K_{2,p1} = 0.1 \quad K_{3,p1} = 0.7365$ $\gamma_{1,p1}, \gamma_{2,p1}, \gamma_{3,p1} = 0.04$	$p_1 = j0.7265$
H_{ap_2}	$K_{1,p2}, K_{2,p2} = 0.1 \quad K_{3,p2} = 0.7365$ $\gamma_{1,p2}, \gamma_{2,p2}, \gamma_{3,p2} = 0.04 \quad a_1, a_2, a_3 = 0.9031$ $\gamma_{1c,p2}, \gamma_{2c,p2}, \gamma_{3c,p2} = 0.0135$	$p_1 = -j0.7265$
H_{ap_3}	$K_{1,p1}, K_{2,p1} = 0.5 \quad K_{3,p1} = 0.4772$ $\gamma_{1,p1}, \gamma_{2,p1}, \gamma_{3,p1} = 0.04$	$p_1 = j0.3249$
H_{ap_4}	$K_{1,p2}, K_{2,p2} = 0.5 \quad K_{3,p2} = 0.4772$ $\gamma_{1,p2}, \gamma_{2,p2}, \gamma_{3,p2} = 0.04 \quad a_1, a_2, a_3 = 0.7815$ $\gamma_{1c,p2}, \gamma_{2c,p2}, \gamma_{3c,p2} = 0.0135$	$p_1 = -j0.3249$



Şekil 4.18 Yüksek geçiren Butterworth filtrenin blokları (N=6)

N=6 için yapılan analizde,

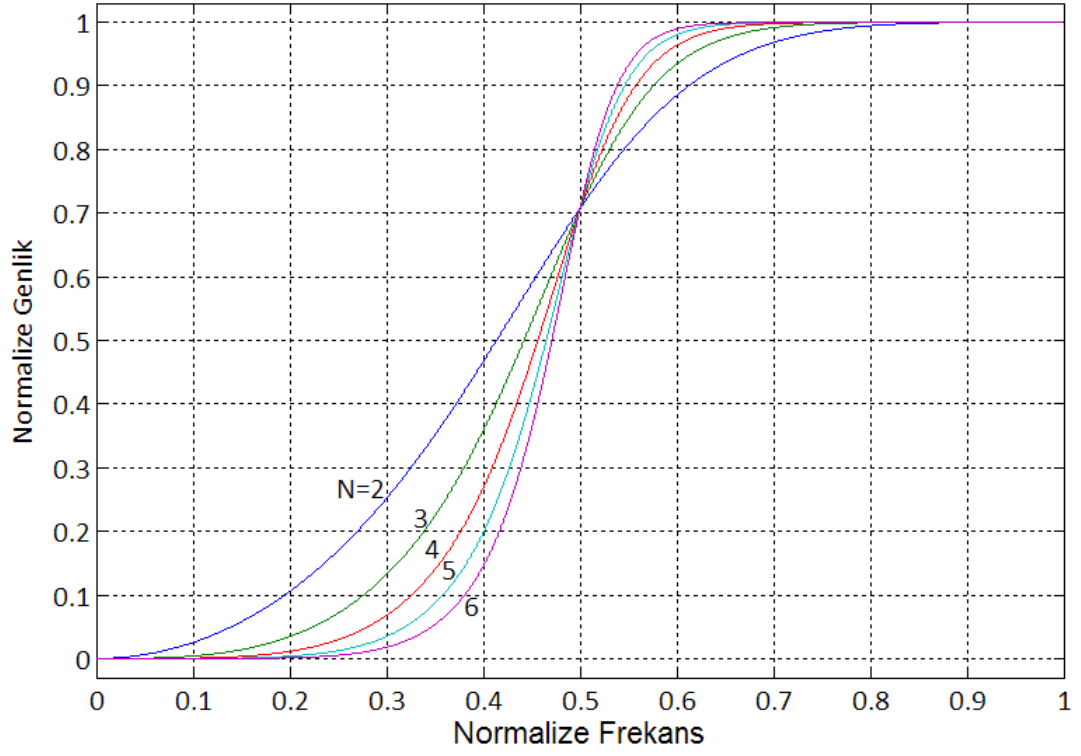
$$H_{YG}^{(6)}(z^{-1}) = \frac{(1.34 \times 10^{-3})(1-z^{-1})^6}{1+0.7776z^{-2}+0.1141z^{-4}+0.0017z^{-6}} \quad (4.111)$$

transfer fonksiyonu dikkate alınmış, istenen yapıyı oluşturmak için sistemdeki parametreler belirlenerek sonuçlar Çizelge 4.10'de gösterilmiştir.

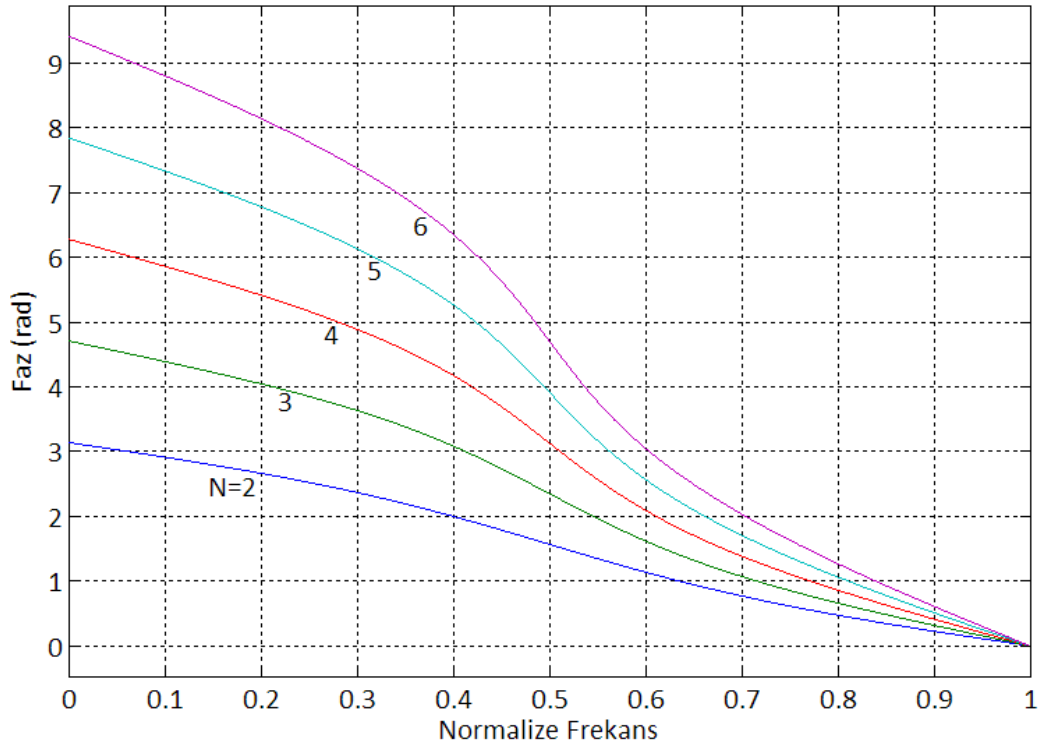
Çizelge 4.10 Yüksek geçiren Butterworth filtrenin sistem parametreleri (N=6)

Fonksiyon	Kuplaj ve Kayıp Katsayıları	Sıfır ve Kutuplar
H_{az_1}	$K_{1,z11}, K_{2,z11} = 0.5 \quad \gamma_{1,z11}, \gamma_{2,z11} = 0.1$	$z_1 = 1$
H_{ap_1}	$K_{1,p1}, K_{2,p1} = 0.1 \quad K_{3,p1} = 0.8215$ $\gamma_{1,p1}, \gamma_{2,p1}, \gamma_{3,p1} = 0.04$	$p_1 = j0.7673$
H_{ap_2}	$K_{1,p2}, K_{2,p2} = 0.1 \quad K_{3,p2} = 0.8215$ $\gamma_{1,p2}, \gamma_{2,p2}, \gamma_{3,p2} = 0.04 \quad a_1, a_2, a_3 = 0.9031$ $\gamma_{1c,p2}, \gamma_{2c,p2}, \gamma_{3c,p2} = 0.0135$	$p_1 = -j0.7673$
H_{ap_3}	$K_{1,p1}, K_{2,p1} = 0.8 \quad K_{3,p1} = 0.5948$ $\gamma_{1,p1}, \gamma_{2,p1}, \gamma_{3,p1} = 0.1$	$p_1 = j0.1317$
H_{ap_4}	$K_{1,p2}, K_{2,p2} = 0.8 \quad K_{3,p2} = 0.5948$ $\gamma_{1,p2}, \gamma_{2,p2}, \gamma_{3,p2} = 0.1 \quad a_1, a_2, a_3 = 0.8410$ $\gamma_{1c,p2}, \gamma_{2c,p2}, \gamma_{3c,p2} = 0.0345$	$p_1 = -j0.1317$
H_{ap_5}	$K_{1,p1}, K_{2,p1} = 0.3 \quad K_{3,p1} = 0.4803$ $\gamma_{1,p1}, \gamma_{2,p1}, \gamma_{3,p1} = 0.1$	$p_1 = j0.4142$
H_{ap_6}	$K_{1,p2}, K_{2,p2} = 0.3 \quad K_{3,p2} = 0.4803$ $\gamma_{1,p2}, \gamma_{2,p2}, \gamma_{3,p2} = 0.1 \quad a_1, a_2, a_3 = 0.7831$ $\gamma_{1c,p2}, \gamma_{2c,p2}, \gamma_{3c,p2} = 0.0345$	$p_1 = -j0.4142$

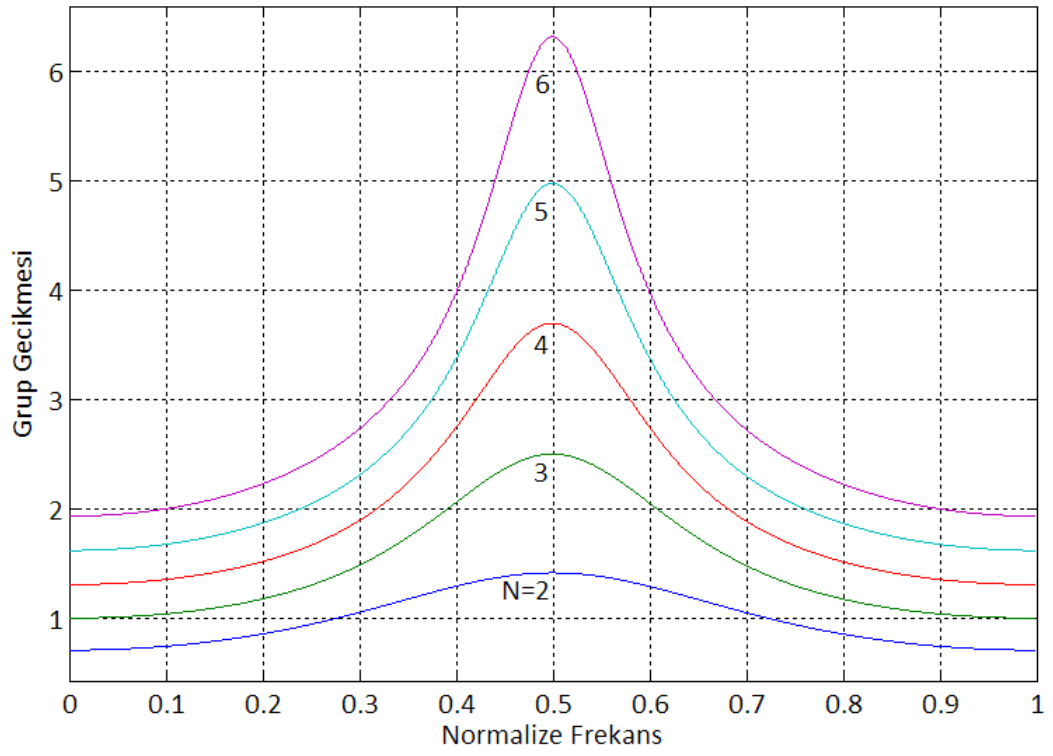
Bu değerler ile oluşturulan normalize kesim frekansı 0.5 olan, N=2, 3, 4, 5 ve 6. dereceden yüksek geçiren Butterworth filtreler için, genlik cevabı, faz cevabı, grup gecikmesi ve faz gecikmesi grafikleri, sırasıyla Şekil 4.19, Şekil 4.20, Şekil 4.21, Şekil 4.22’de gösterilmiştir.



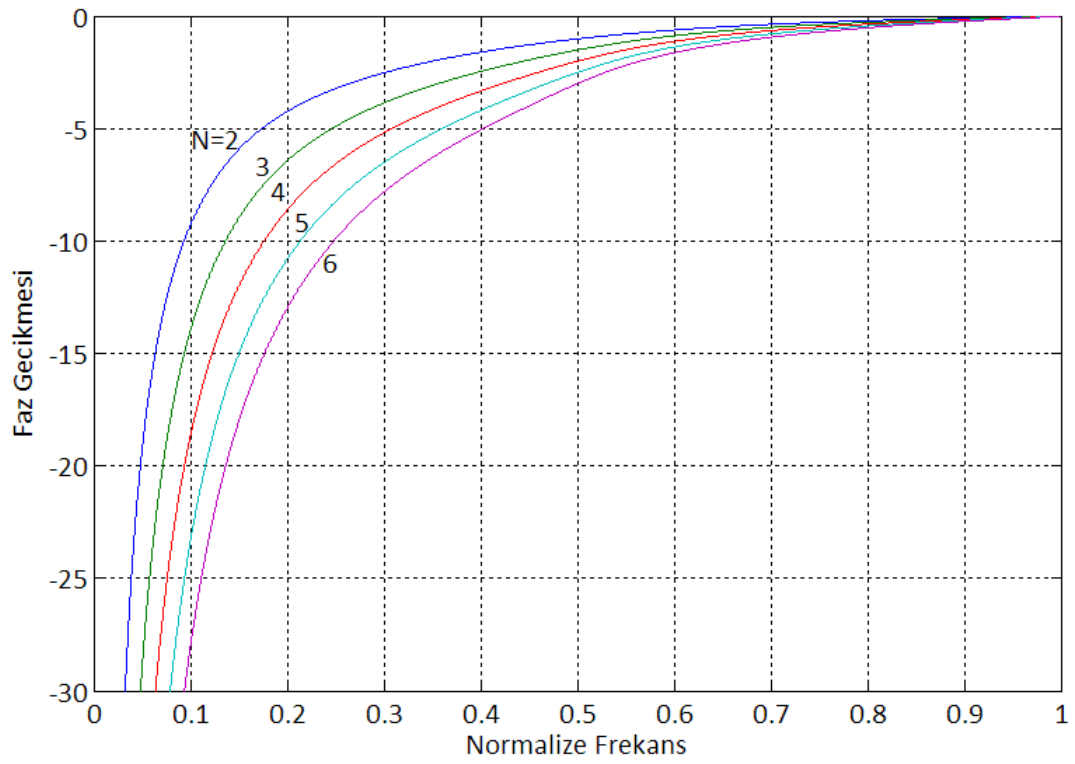
Şekil 4.19 Yüksek geçiren Butterworth filtrenin normalize genliğinin normalize frekansa göre değişimi ($N=2, 3, 4, 5$ ve 6)



Şekil 4.20 Yüksek geçiren Butterworth filtrenin faz cevabının normalize frekansa göre değişimi ($N=2, 3, 4, 5$ ve 6)



Şekil 4.21 Yüksek geçiren Butterworth filtrenin grup gecikmesinin normalize frekansa göre değişimini (N=2, 3, 4, 5 ve 6)



Şekil 4.22 Yüksek geçiren Butterworth filtrenin faz gecikmesinin normalize frekansa göre değişimini (N=2, 3, 4, 5 ve 6)

4.2.3 Band Geçiren Butterworth Filtreler

Band geçiren Butterworth filtrelerin transfer fonksiyonu,

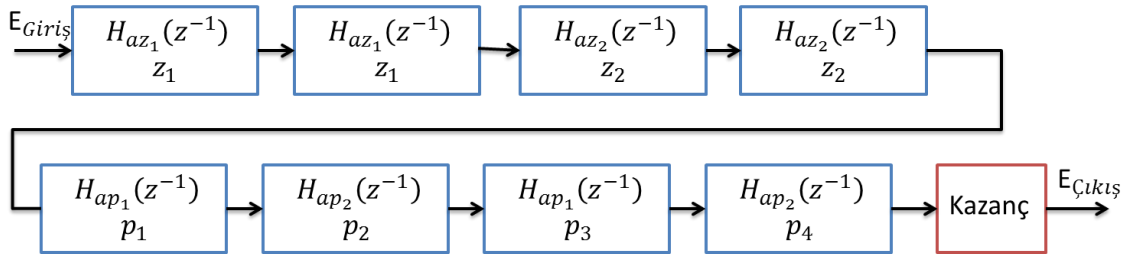
$$H_{BG}^{(n)}(z^{-1}) = H_{AG}^{(m)}(z^{-1})H_{YG}^{(l)}(z^{-1}), \quad n = m + l \quad (4.112)$$

ile ifade edilir. Buradan hareketle,

$$H_{BG}^{(4)}(z^{-1}) = H_{AG}^{(2)}(z^{-1})H_{YG}^{(2)}(z^{-1}) \quad (4.113)$$

$$H_{BG}^{(4)}(z^{-1}) = H_{az_{1,1}}H_{az_{1,2}}H_{az_{2,1}}H_{az_{2,2}}H_{ap_1}H_{ap_2}H_{ap_1}H_{ap_2} \quad (4.114)$$

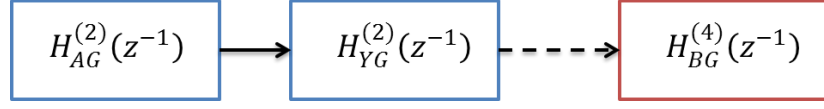
eşitlikleri elde edilir. (4.114) eşitliği Şekil 4.23'te açık blok şeması olarak gösterilmiştir.



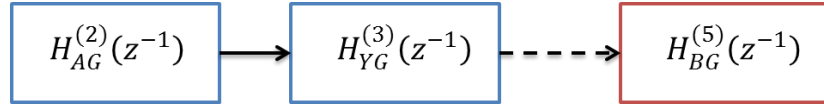
Şekil 4.23 Band geçiren Butterworth filtrenin açık blok şeması (N=4)

4.2.1 Bölümü ve 4.2.2 Bölümü'nde oluşturulmuş, normalize kesim frekansı 0.5 olan alçak geçiren ve yüksek geçiren Butterworth filtre blokları kaskad olarak birleştirilerek band geçiren Butterworth filtre karakteristiği elde edilmiştir. N=4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 ve 12. dereceden band geçiren Butterworth filtrelerin kaskad yapılarını gösteren blok şemaları sırasıyla Şekil 4.24, Şekil 4.25, Şekil 4.26, Şekil 4.27, Şekil 4.28, Şekil 4.29, Şekil 4.30, Şekil 4.31 ve Şekil 4.32'de verilmiştir. Band geçiren Butterworth filtrelerin sistem parametreleri, daha önce hesaplanmış olan alçak ve yüksek geçiren Butterworth filtrelerdeki değerlerdir. Bu değerlerle oluşturulan genlik, faz, grup gecikmesi ve faz gecikmesi grafikleri sırasıyla Şekil 4.33, Şekil 4.34, Şekil 4.35, Şekil 4.36'da görülmektedir. Butterworth filtrelerin normalize kesim frekansları 0.5 olarak

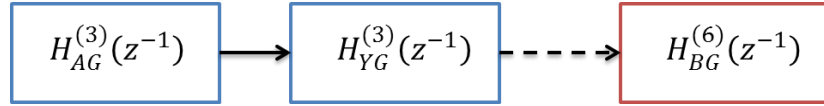
belirlenmiştir. Tüm band geçiren Butterworth filtreler için $G_{OA}=1$, $\alpha=10^{-5}\text{Np/m}$ ve $L=10\mu\text{m}$ değerleri seçilmiştir.



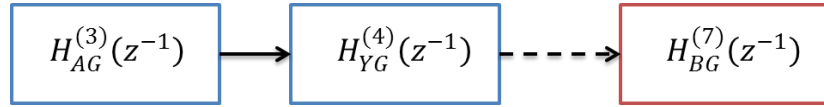
Şekil 4.24 Band geçiren Butterworth filtrenin kaskad yapısı (N=4)



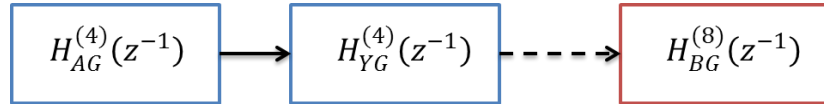
Şekil 4.25 Band geçiren Butterworth filtrenin kaskad yapısı (N=5)



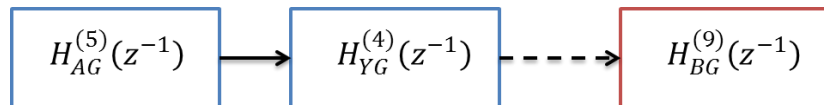
Şekil 4.26 Band geçiren Butterworth filtrenin kaskad yapısı (N=6)



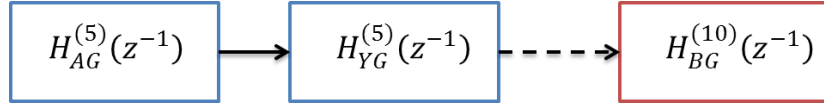
Şekil 4.27 Band geçiren Butterworth filtrenin kaskad yapısı (N=7)



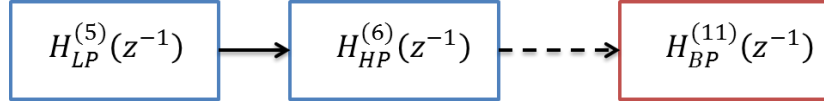
Şekil 4.28 Band geçiren Butterworth filtrenin kaskad yapısı (N=8)



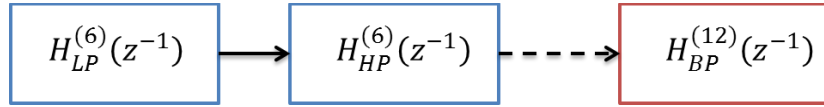
Şekil 4.29 Band geçiren Butterworth filtrenin kaskad yapısı (N=9)



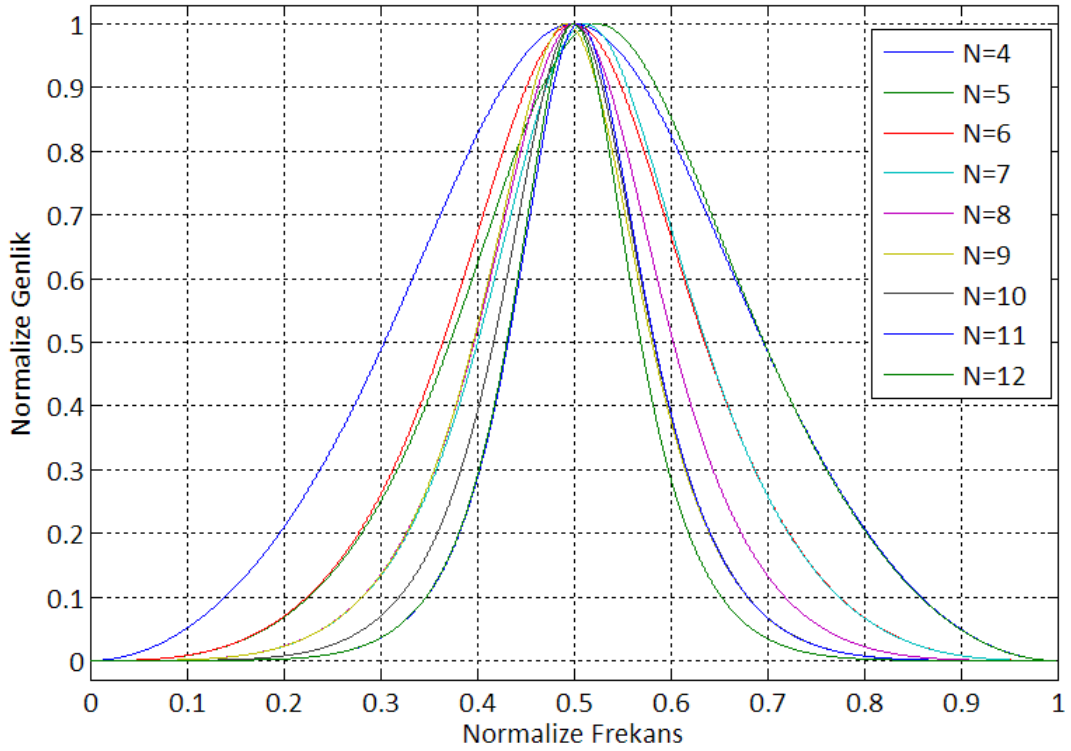
Şekil 4.30 Band geçiren Butterworth filtrenin kaskad yapısı (N=10)



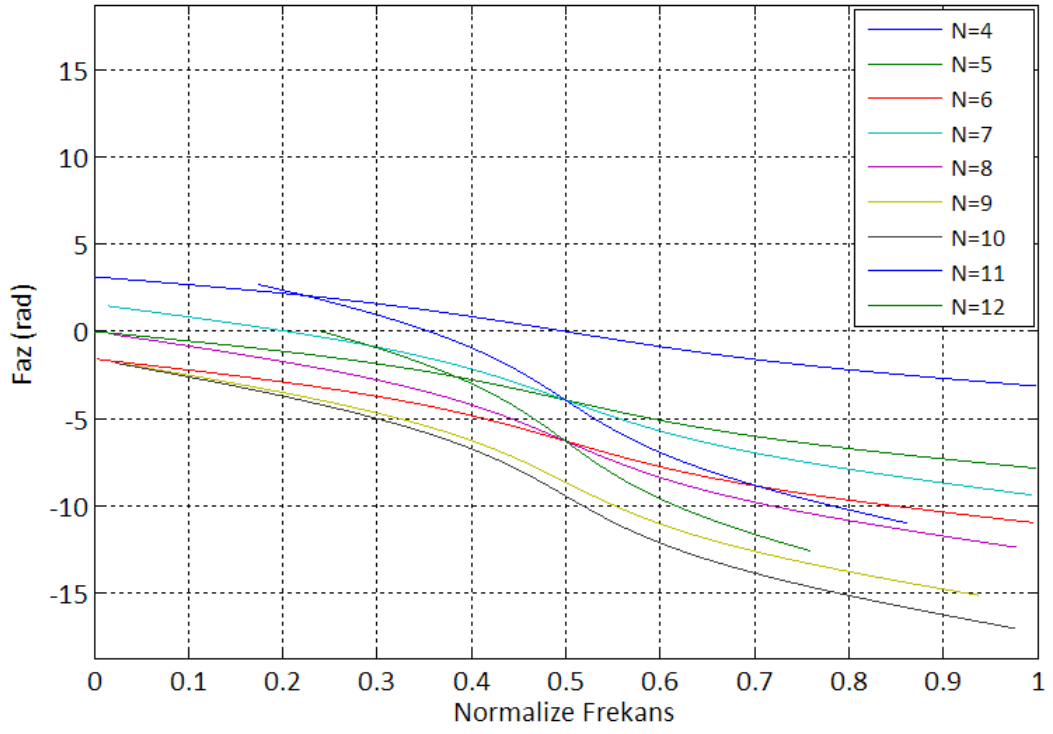
Şekil 4.31 Band geçiren Butterworth filtrenin kaskad yapısı (N=11)



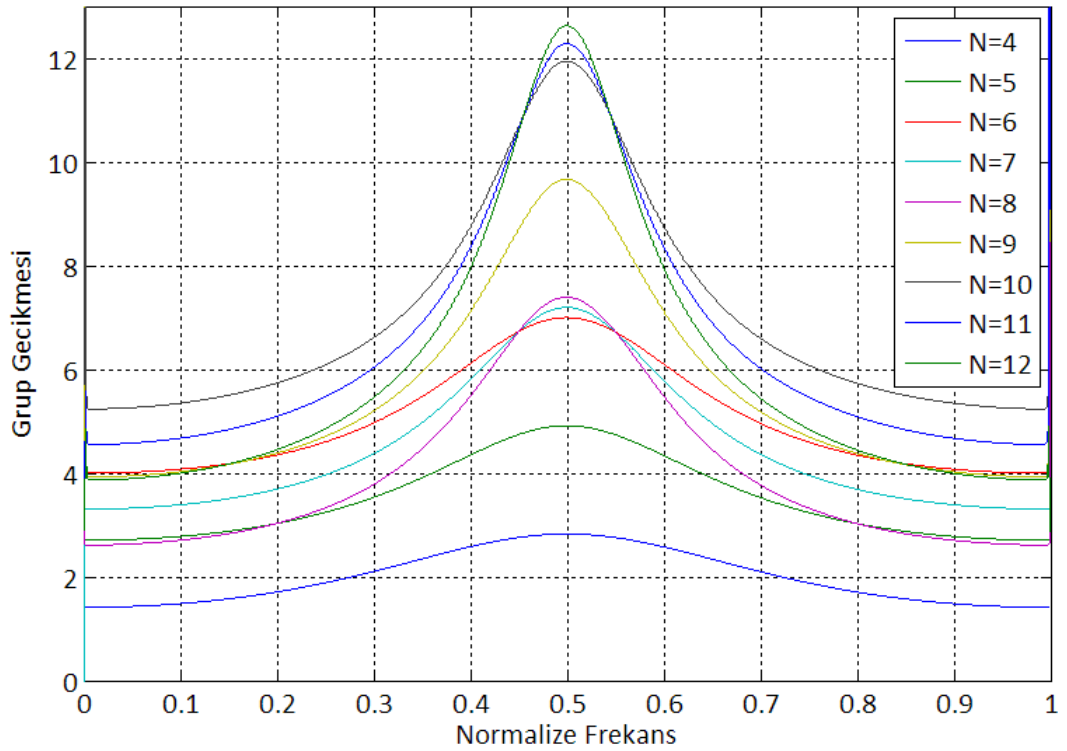
Şekil 4.32 Band geçiren Butterworth filtrenin kaskad yapısı (N=12)



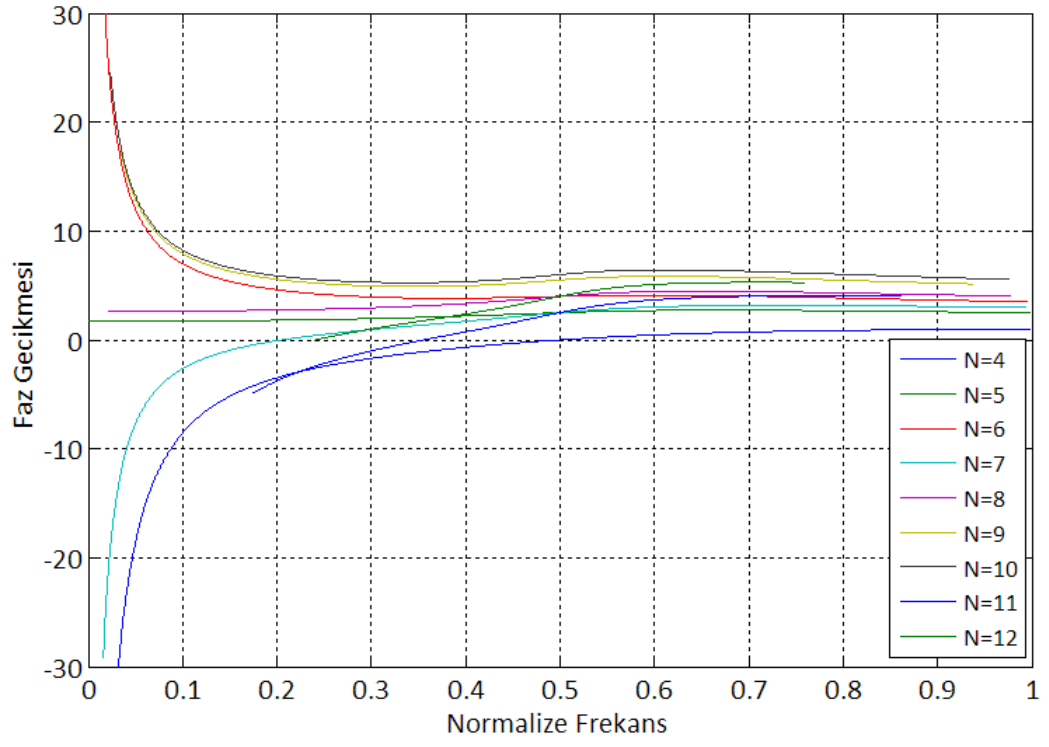
Şekil 4.33 Band geçiren Butterworth filtrenin normalize genliğinin normalize frekansa göre değişimi (N=4-12)



Şekil 4.34 Band geçiren Butterworth filtrenin faz cevabının normalize frekansa göre değişimi (N=4-12)



Şekil 4.35 Band geçiren Butterworth filtrenin grup gecikmesinin normalize frekansa göre değişimi (N=4-12)



Şekil 4.36 Band geçiren Butterworth filtrenin faz gecikmesinin normalize frekansa göre değişimi (N=4-12)

CHEBYSHEV FİLTRE UYGULAMALARI

Chebyshev filtre tasarımı, Butterworth filtreler gibi farklı bir durum ortaya çıkmış ve Butterworth filtrelerde kullanılmayan ϕ faz kayması Chebyshev filtrelerde etkin olarak kullanılmıştır. Bu durumun nedeni Chebyshev filtrelerin transfer fonksiyonlarının karakteristik özelliklerinin Butterworth filtreler gibi farklı olmasına dayanır. Chebyshev filtre tasarımı, rezonatörlerin içerisine eklenen modülatör yapılarının etkisiyle faz, istenilen değere getirilip istenen transfer fonksiyonu elde edilmiştir.

5.1 Tüm Kutup ve Tüm Sıfır Bloklarının Optik Kuplörlerle Oluşturulması

Chebyshev filtrelerin transfer fonksiyonlarını elde etmek için kullanılabilecek olan iki ayrı blok yani optik halka rezonatör yapıları Şekil 5.1 ve Şekil 5.2’de verilmiştir.

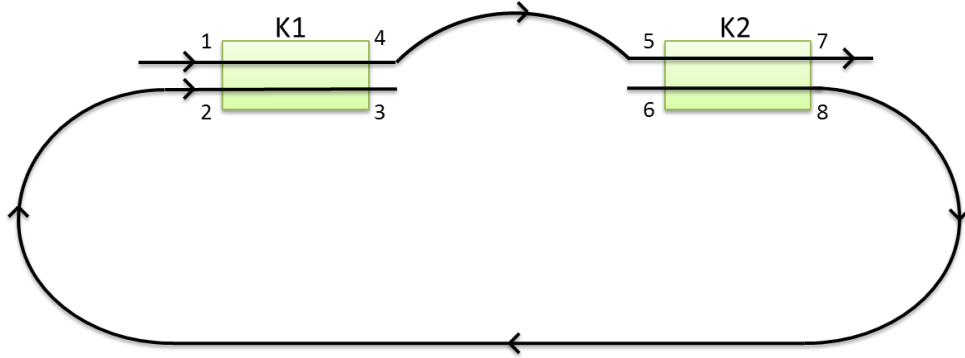
Analizde kullanılan eşitlikler içerisinde, $E_{1,2,3..}$ iletilen sinyallerin elektrik alanını, $K_{1,2,3..}$ kuplaj katsayılarını, $\gamma_{1,2,3..}$ kuplaj kayıplarını, α iletim hattında ilerleyen sinyalin zayıflama katsayısını, L iletim hattının uzunluğunu, $\beta = \frac{n_f \omega}{c}$ kılavuzlanmış temel modun yayılım sabitini, n_f efektif kırılma indisini, ω açısal frekansı, c boşluktaki ışık hızını ve ϕ ise iletim sonundaki faz kaymasını ifade etmektedir.

ϕ faz kaymasını fiziksel olarak gerçekleştirmek için optik faz modülatörü kullanılması gerekir. İki kuplör arasındaki fiber hatta bu yapı eklenerek, hedeflenen faz kayması sağlanmış olur. Optik faz modülatörlerinin çalışma prensibi oldukça basittir. Tipik olarak 1 metreden daha düşük tek modlu bir optik fibere piezoelektrik malzeme

eklenir ve elektrik alan uygulanarak plastik kılıf içerisinde gerilme oluşturulur. Bunun sonucunda optik fiberin içerisinde iletilmekte olan sinyalin fazı değişir. Optik dalga, iletim hattında yayılırken, $E_0 e^{j[\omega_0 t + \varphi(t) + \epsilon]}$ olarak ifade edilir. Burada, E_0 genlik katsayısını, ω_0 açısal optik merkez frekansını, $\varphi(t)$ zamanla değişen belirsiz faz dalgalanmasını ve ϵ ise kuplörün faz kaymasını gösterir. Optik faz modülatöründen geçen bir sinyalin çıkışı ise $E_0 e^{j[\omega_0 t + \varphi(t) + \epsilon + \phi(t)]}$ 'dir. Optik faz modülatörünün çalışma frekans aralığı oldukça geniştir. 10 Hz'ten, MHz'lere kadar ulaşabilmektedir, hatta 40 GHz'lere kadar ulaşan elektro-optik faz modülatörleri mevcuttur. Bu modülatörler optik rezonatörler ile çalışmak için uygun çalışma frekans aralığına sahiptir [21-23].

5.1.1 Kutupların Transfer Fonksiyonunu Gerçekleştiren Rezonatör Yapısı

Kutupların oluşturulması için, önerilen rezonatör yapısına ait olan transfer fonksiyonu karakteristiklerinin elde edilmesi gerekir ve Şekil 5.1'de verilen rezonatör yapısının analitik çözümleri transmisyon hatları ve kuplör ilişkileri teorilerine göre düzenlenmiştir [15-20].



Şekil 5.1 Kutupların transfer fonksiyonunu gerçekleştiren rezonatör yapısı

$$E_4 = \sqrt{1 - \gamma_1} [\sqrt{1 - K_1} E_1 - j \sqrt{K_1} E_2] \quad (5.1)$$

$$E_3 = \sqrt{1 - \gamma_1} [\sqrt{1 - K_1} E_2 - j \sqrt{K_1} E_1] \quad (5.2)$$

$$E_5 = E_4 \sqrt{G_{45}} e^{-\alpha L_{45}} e^{j\phi_{45}} e^{-j\beta L_{45}} \quad (5.3)$$

$$E_7 = \sqrt{1 - \gamma_2} [\sqrt{1 - K_2} E_5 - j\sqrt{K_2} E_6] \quad (5.4)$$

$$E_8 = \sqrt{1 - \gamma_2} [\sqrt{1 - K_2} E_6 - j\sqrt{K_2} E_5] \quad (5.5)$$

$$E_2 = E_8 \sqrt{G_{82}} e^{-\alpha L_{82}} e^{j\phi_{82}} e^{-j\beta L_{82}} \quad (5.6)$$

$$E_6 = 0 \quad (5.7)$$

dır. (5.8) eşitliği (5.5) ve (5.6)'da yerine yazılarak,

$$E_7 = \sqrt{1 - \gamma_2} \sqrt{1 - K_2} E_5 \quad (5.8)$$

ve

$$E_8 = \sqrt{1 - \gamma_2} [-j\sqrt{K_2} E_5] \quad (5.9)$$

eşitlikleri elde edilmiştir. (5.1) eşitliği (5.3) eşitliğinde kullanılarak,

$$E_5 = \sqrt{1 - \gamma_1} [\sqrt{1 - K_1} E_1 - j\sqrt{K_1} E_2] \sqrt{G_{45}} e^{-\alpha L_{45}} e^{j\phi_{45}} e^{-j\beta L_{45}} \quad (5.10)$$

eşitliği ve (5.9) eşitliği (5.6) eşitliğinde kullanılarak,

$$E_2 = -j\sqrt{1 - \gamma_2} \sqrt{K_2} E_5 \sqrt{G_{82}} e^{-\alpha L_{82}} e^{j\phi_{82}} e^{-j\beta L_{82}} \quad (5.11)$$

eşitliği bulunmuştur. (5.8) eşitliğinden E_5 ifadesi çekilerek,

$$E_5 = \frac{E_7}{\sqrt{1 - \gamma_2} \sqrt{1 - K_2}} \quad (5.12)$$

eşitliği elde edilmiştir. (5.12) eşitliği (5.11) eşitliğinde kullanılarak,

$$E_2 = \frac{-j\sqrt{1-\gamma_2}\sqrt{K_2}E_7\sqrt{G_{82}}e^{-\alpha L_{82}}e^{j\phi_{82}}e^{-j\beta L_{82}}}{\sqrt{1-\gamma_2}\sqrt{1-K_2}} \quad (5.13)$$

eşitliği bulunmuştur.

$$\frac{E_7}{\sqrt{1-\gamma_2}\sqrt{1-K_2}} = \sqrt{1-\gamma_1} \left[\sqrt{1-K_1}E_1 - j\sqrt{K_1} \left(\frac{-j\sqrt{1-\gamma_2}\sqrt{K_2}E_7\sqrt{G_{82}}e^{-\alpha L_{82}}e^{j\phi_{82}}e^{-j\beta L_{82}}}{\sqrt{1-\gamma_2}\sqrt{1-K_2}} \right) \right]$$

$$\sqrt{G_{45}}e^{-\alpha L_{45}}e^{j\phi_{45}}e^{-j\beta L_{45}} \quad (5.14)$$

$$t_{45} = \left(\sqrt{G_{45}}e^{-\alpha L_{45}} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (5.15)$$

ve

$$t_{82} = \left(\sqrt{G_{82}}e^{-\alpha L_{82}} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (5.16)$$

olarak alınmıştır. Eşitlik (5.15) ve eşitlik (5.16)'daki t_{45} ve t_{82} parametreleri, kazanç ve kaybın tek parametreye indirgenmesini sağlamıştır. z-tansformu değişkeni,

$$z^{-1} = e^{-j\beta L} \quad (5.17)$$

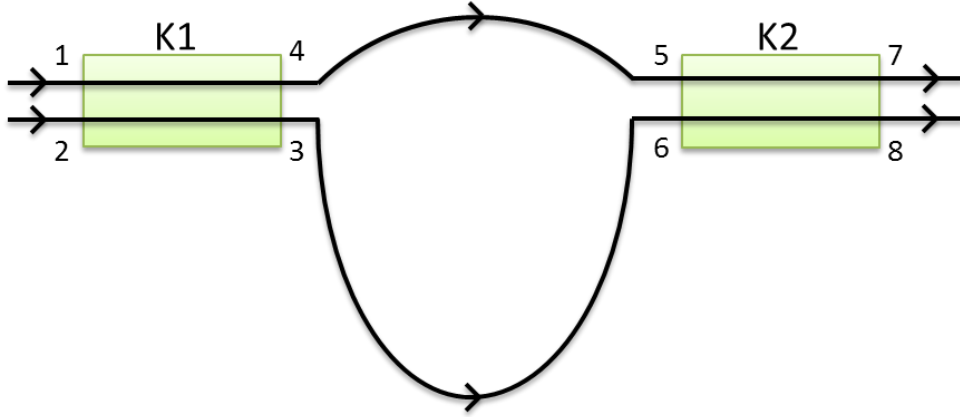
ifadesidir. Bunun sonucunda transfer fonksiyonunun kutuplarını oluşturan yapı elde edilmiştir.

$$\frac{E_7}{E_1} = H_{ap_1}(z^{-1}) = \frac{\sqrt{(1-\gamma_1)(1-\gamma_2)(1-K_1)(1-K_2)t_{45}}e^{j\phi_{45}}}{1+\sqrt{(1-\gamma_1)(1-\gamma_2)K_1K_2t_{82}}e^{j(\phi_{82}+\phi_{45})}z^{-1}} \quad (5.18)$$

formunda elde edilmiştir.

5.1.2 Sıfırların Transfer Fonksiyonunu Gerçekleştiren Rezonatör Yapısı

Sıfırların oluşturulması için, önerilen rezonatör yapısına ait olan transfer fonksiyonu karakteristiklerinin elde edilmesi gerekir ve Şekil 5.2’de verilen rezonatör yapısının analitik çözümleri transmisyon hatları ve kuplör ilişkileri teorilerine göre düzenlenmiştir [15-20].



Şekil 5.2 Sıfırların transfer fonksiyonunu gerçekleştiren rezonatör yapısı

$$E_3 = \sqrt{(1 - \gamma_1)} [\sqrt{1 - K_1} E_2 - j\sqrt{K_1} E_1] \quad (5.19)$$

$$E_4 = \sqrt{1 - \gamma_1} [\sqrt{1 - K_1} E_1 - j\sqrt{K_1} E_2] \quad (5.20)$$

$$E_5 = E_4 \sqrt{G_{45}} e^{-\alpha L_{45}} e^{j\phi_{45}} e^{-j\beta L_{45}} \quad (5.21)$$

$$E_6 = E_3 \sqrt{G_{36}} e^{-\alpha L_{36}} e^{j\phi_{36}} e^{-j\beta L_{36}} \quad (5.22)$$

$$E_7 = \sqrt{1 - \gamma_2} [\sqrt{1 - K_2} E_5 - j\sqrt{K_2} E_6] \quad (5.23)$$

ve

$$E_8 = \sqrt{1 - \gamma_2} [\sqrt{1 - K_2} E_6 - j\sqrt{K_2} E_5] \quad (5.24)$$

dir. Başlangıç değeri olarak,

$$E_2 = 0 \quad (5.25)$$

alınmıştır. Bu değer yerine yazıldığında,

$$E_3 = -j\sqrt{1-\gamma_1}\sqrt{K_1}E_1 \quad (5.26)$$

ve

$$E_4 = \sqrt{1-\gamma_1}\sqrt{1-K_1}E_1 \quad (5.27)$$

ifadeleri elde edilmiştir.

(5.26) eşitliği (5.22) eşitliğinde yerine yazılarak,

$$E_6 = -j\sqrt{1-\gamma_1}\sqrt{K_1}E_1\sqrt{G_{36}}e^{-\alpha L_{36}}e^{j\phi_{36}}e^{-j\beta L_{36}} \quad (5.28)$$

ve (5.27) eşitliği (5.18) eşitliğinde yerine kullanılarak,

$$E_5 = \sqrt{1-\gamma_1}\sqrt{1-K_1}E_1\sqrt{G_{45}}e^{-\alpha L_{45}}e^{j\phi_{45}}e^{-j\beta L_{45}} \quad (5.29)$$

eşitliği bulunmuştur. (5.28) ve (5.29) eşitliklerinden (5.23) eşitliğinde yararlanılarak,

$$\begin{aligned} E_7 = & \sqrt{1-\gamma_2}[\sqrt{1-K_2}(\sqrt{1-\gamma_1}\sqrt{1-K_1}E_1\sqrt{G_{45}}e^{-\alpha L_{45}}e^{j\phi_{45}}e^{-j\beta L_{45}}) \\ & -j\sqrt{K_2}(-j\sqrt{1-\gamma_1}\sqrt{K_1}E_1\sqrt{G_{36}}e^{-\alpha L_{36}}e^{j\phi_{36}}e^{-j\beta L_{36}})] \end{aligned} \quad (5.30)$$

eşitliği elde edilmiştir.

$$t_{45} = (\sqrt{G_{45}}e^{-\alpha L_{45}})^{\frac{1}{2}} \quad (5.31)$$

ve

$$t_{36} = (\sqrt{G_{36}}e^{-\alpha L_{36}})^{\frac{1}{2}} \quad (5.32)$$

olarak alınmıştır. Eşitlik (5.31) ve eşitlik (5.32)'deki t_{45} ve t_{82} parametreleri, kazanç ve kaybın tek parametreye indirgenmesini sağlamıştır. Bunun sonucunda transfer fonksiyonunun sıfırlarını oluşturan yapı,

$$H_{az_1}(z^{-1}) = \frac{E_7}{E_1} = \sqrt{(1-\gamma_1)(1-\gamma_2)(1-K_1)(1-K_2)t_{45}} e^{j\phi_{45}} - \sqrt{(1-\gamma_1)(1-\gamma_2)K_1K_2t_{36}} e^{j\phi_{36}} z^{-1} \quad (5.33)$$

olarak bulunmuştur.

5.2 Blok Yapıları Kullanılarak Chebyshev Filtre Karakteristiklerinin Elde Edilmesi

İstenen transfer fonksiyonuna ulaşabilmek için H_{ap_1} (Tüm Kutup Transfer Fonksiyonu, All Pole Transfer Function) daha sade bir hale getirilip istenen değerlere ulaşılmıştır.

$$H_{ap_1}(z^{-1}) = \frac{\sqrt{(1-\gamma_1)(1-\gamma_2)(1-K_1)(1-K_2)t_{45}} e^{j\phi_{45}}}{1 + \sqrt{(1-\gamma_1)(1-\gamma_2)K_1K_2t_{82}} e^{j(\phi_{82}+\phi_{45})} z^{-1}} = \frac{k_1}{1+k_2z^{-1}} \quad (5.34)$$

Burada,

$$k_1 = \sqrt{(1-\gamma_1)(1-\gamma_2)(1-K_1)(1-K_2)t_{45}} e^{j\phi_{45}} \quad (5.35)$$

ve

$$k_2 = \sqrt{(1-\gamma_1)(1-\gamma_2)K_1K_2t_{82}} e^{j(\phi_{82}+\phi_{45})} \quad (5.36)$$

dir. Eşitlik (5.34)'ün payda kısmının kökü,

$$z = -k_2 \quad (5.37)$$

olarak bulunmuştur ve bu ifade kutbun yerini belirtmektedir. (5.34) eşitliğindeki ϕ_{45} faz kayması tüm kutup blokları için 0 kabul edilmiştir. $\phi_{45} = 0$ kabul edildiğinde, $e^{j\phi_{45}} = \cos\phi_{45} + j\sin\phi_{45} = 1$ olmaktadır. H_{ap_1} ifadesi, paydaya yani köklere etki etmek amacıyla önerildiğinden pay kısmında sanal (imajiner) bir etkinin ortaya çıkmaması için

$\emptyset_{45} = 0$ kabul edilmiştir. Ayrıca bu kabul optik kuplör parametrelerinin seçiminde oldukça kolaylık sağlamaktadır. Elde edilmek istenen kutup eşitlik (5.37)'de olduğu gibi belirlenmiştir. Bu kutup değerini oluştururken $\emptyset_{45}$ sıfır seçildiği için $e^{j(\emptyset_{82})}$ ifadesi kullanılır. Çizelgelerde kutuplar için verilen faz kayması $\emptyset_{82}$ 'nin radyan olarak karşılığıdır.

İstenen transfer fonksiyonuna ulaşabilmek için benzer şekilde H_{az_1} (Tüm Sıfır Transfer Fonksiyonu, All Zero Transfer Function) daha sade bir hale getirilip istenen değerlere ulaşılmıştır.

$$H_{az_1}(z^{-1}) = s_1 - s_2 z^{-1} \quad (5.38)$$

Burada,

$$s_1 = \sqrt{(1 - \gamma_1)(1 - \gamma_2)(1 - K_1)(1 - K_2)t_{45}} e^{j\emptyset_{45}} \quad (5.39)$$

ve

$$s_2 = \sqrt{(1 - \gamma_1)(1 - \gamma_2)K_1 K_2 t_{36}} e^{j\emptyset_{36}} \quad (5.40)$$

dir. Eşitlik (5.40)'ın kökü,

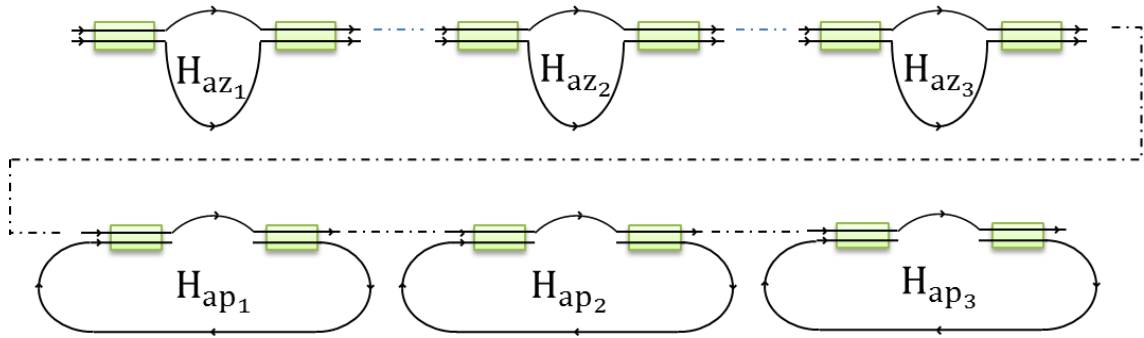
$$z = \frac{s_2}{s_1} \quad (5.41)$$

olarak bulunmuştur. (5.32) eşitliğindeki $\emptyset_{45}$ faz kayması tüm sıfır blokları için 0 kabul edilmiştir. Elde edilmek istenen sıfır, (5.41) eşitliğinde olduğu gibi belirlenmiştir. Bu sıfır değerini oluştururken $\emptyset_{45}$ sıfır seçildiği için $e^{j(\emptyset_{36})}$ ifadesi kullanılmıştır. Çizelgelerde sıfırlar için verilen faz kayması $\emptyset_{36}$ 'nın radyan olarak karşılığıdır.

5.2.1 Birinci Tip Chebyshev Filtreler

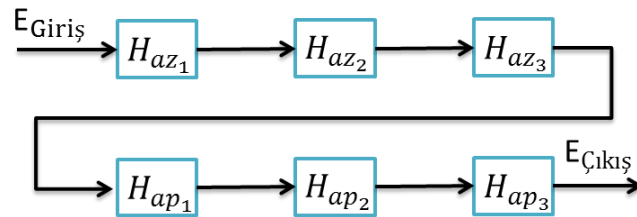
5.2.1.1 Alçak Geçiren Birinci Tip Chebyshev Filtreler

Bu Bölüm’de yapılan analizde bütün blok yapılarında bulunan optik kuplörlerin zayıflama katsayıları γ_1 ve γ_2 değerleri 0.1 olarak seçilmiştir. Benzer şekilde, tüm sıfır blokları için $\emptyset_{45}$ ve tüm kutup blokları için diğer $\emptyset_{45}$ faz kaymaları 0 olarak kabul edilmiştir. Üçüncü dereceden alçak geçiren veya yüksek geçiren Chebyshev filtrenin kaskad bağlı kutup ve sıfır blokları Şekil 5.3’te verilmiştir. Bu yapı tüm blokların kaskad olarak biraraya gelmesini göstermektedir. Açık blok şeması diğer filtre yapıları için benzer şekilde ifade edildiğinden tekrar çizilmeyecektir.



Şekil 5.3 Kaskad bağlı alçak geçiren veya yüksek geçiren Chebyshev filtrenin açık blok şeması (N=3)

N=3 için alçak geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin sıfır ve kutup bloklarının kaskad bağlantı şeması Şekil 5.4’te görülmektedir.



Şekil 5.4 Alçak geçiren birinci tip Chebyshev filtre blokları (N=3)

N=3 için yapılan analizde, alçak geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin transfer fonksiyonu,

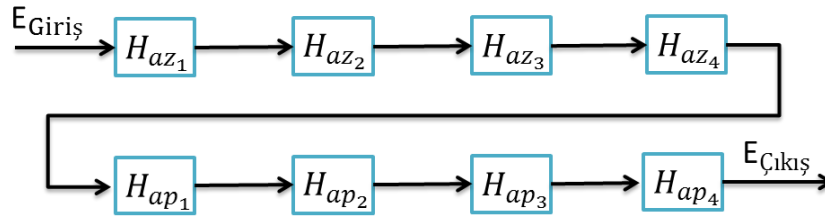
$$H_{AG}^{(3)}(z^{-1}) = \frac{0.1589(1+z^{-1})^3}{1-0.1269z^{-1}+0.5238z^{-2}-0.1257z^{-3}} \quad (5.42)$$

dikkate alınarak, istenen yapıyı oluşturmak için sistemdeki parametreler belirlenmiş ve sonuçlar Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1 Alçak geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.5$) (N=3)

Fonksiyon	Kuplaj ve Genlik Katsayıları	Faz Açısı (rad)	Sıfırlar ve Kutuplar
H_{ap_1}	$K1 = K2 = 0.8220 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 4.7819$	$z = -0.0514+j0.7381$
H_{ap_2}	$K1 = K2 = 0.8220 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 1.5013$	$z = -0.0514-j0.7381$
H_{ap_3}	$K1 = K2 = 0.2552 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = \pi$	$z = 0.2296$
H_{az_1}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = \pi$	$z = -1$
H_{az_2}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = \pi$	$z = -1$
H_{az_3}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = \pi$	$z = -1$

N=4 için alçak geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin sıfır ve kutup bloklarının kaskad bağlantı şeması Şekil 5.5’te görülmektedir.



Şekil 5.5 Alçak geçiren birinci tip Chebyshev filtre blokları (N=4)

N=4 için yapılan analizde, alçak geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin transfer fonksiyonu,

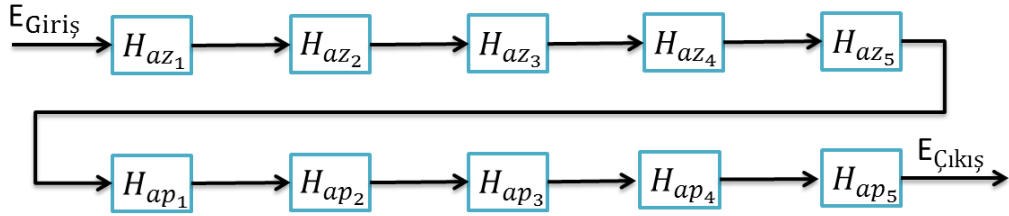
$$H_{AG}^{(4)}(z^{-1}) = \frac{0.0673(1+z^{-1})^4}{1-0.5316z^{-1}+0.9101z^{-2}-0.4023z^{-3}+0.1642z^{-4}} \quad (5.43)$$

dikkate alınarak, istenen yapıyı oluşturmak için sistemdeki parametreler belirlenmiş ve sonuçlar Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.2 Alçak geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.5$) (N=4)

Fonksiyon	Kuplaj ve Genlik Katsayıları	Faz Açısı (rad)	Sıfırlar ve Kutuplar
H_{ap_1}	$K1 = K2 = 0.5344 \quad t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 4.0597$	$z = 0.2921+j0.3821$
H_{ap_2}	$K1 = K2 = 0.5344 \quad t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 2.2235$	$z = 0.2921-j0.3821$
H_{ap_3}	$K1 = K2 = 0.9350 \quad t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 4.7436$	$z = -0.0263+j0.8419$
H_{ap_4}	$K1 = K2 = 0.9350 \quad t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 1.5396$	$z = -0.0263-j0.8419$
H_{az_1}	$K1 = K2 = 0.5 \quad t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = \pi$	$z = -1$
H_{az_2}	$K1 = K2 = 0.5 \quad t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = \pi$	$z = -1$
H_{az_3}	$K1 = K2 = 0.5 \quad t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = \pi$	$z = -1$
H_{az_4}	$K1 = K2 = 0.5 \quad t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = \pi$	$z = -1$

N=5 için alçak geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin sıfır ve kutup bloklarının kaskad bağlantı şeması Şekil 5.6'da görülmektedir.



Şekil 5.6 Alçak geçiren birinci tip Chebyshev filtre blokları (N=5)

N=5 için yapılan analizde, alçak geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin transfer fonksiyonu,

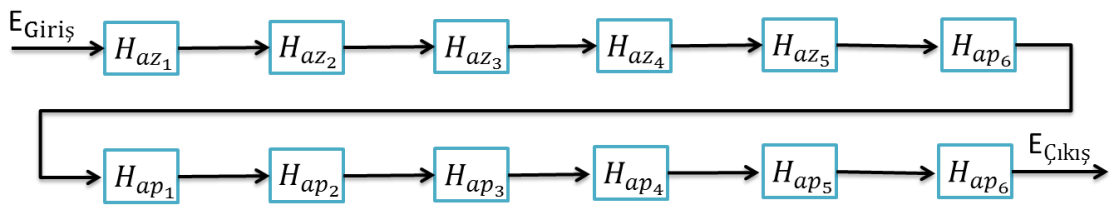
$$H_{AG}^{(5)}(z^{-1}) = \frac{0.0282(1+z^{-1})^5}{1-0.9437z^{-1}+1.4400z^{-2}-0.9629z^{-3}+0.5301z^{-4}-0.1620z^{-5}} \quad (5.44)$$

dikkate alınarak, istenen yapıyı oluşturmak için sistemdeki parametreler belirlenmiş ve sonuçlar Çizelge 5.3'te verilmiştir.

Çizelge 5.3 Alçak geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.5$) (N=5)

Fonksiyon	Kuplaj ve Genlik Katsayıları	Faz Açısı (rad)	Sıfırlar ve Kutuplar
H_{ap_1}	$K1 = K2 = 0.9949 \quad t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 4.7300$	$z = -0.0158+j0.8952$
H_{ap_2}	$K1 = K2 = 0.9949 \quad t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 1.5531$	$z = -0.0158-j0.8952$
H_{ap_3}	$K1 = K2 = 0.73 \quad t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 4.3160$	$z = 0.2536+j0.6060$
H_{ap_4}	$K1 = K2 = 0.73 \quad t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 1.9671$	$z = 0.2536-j0.6060$
H_{ap_5}	$K1 = K2 = 0.52 \quad t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = \pi$	$z = 0.4680$
H_{az_1}	$K1 = K2 = 0.5 \quad t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = \pi$	$z = -1$
H_{az_2}	$K1 = K2 = 0.5 \quad t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = \pi$	$z = -1$
H_{az_3}	$K1 = K2 = 0.5 \quad t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = \pi$	$z = -1$
H_{az_4}	$K1 = K2 = 0.5 \quad t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = \pi$	$z = -1$
H_{az_5}	$K1 = K2 = 0.5 \quad t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = \pi$	$z = -1$

N=6 için alçak geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin sıfır ve kutup bloklarının kaskad bağlantı şeması Şekil 5.7’de görülmektedir.



Şekil 5.7 Alçak geçiren birinci tip Chebyshev filtre blokları (N=6)

N=6 için yapılan analizde, alçak geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin transfer fonksiyonu,

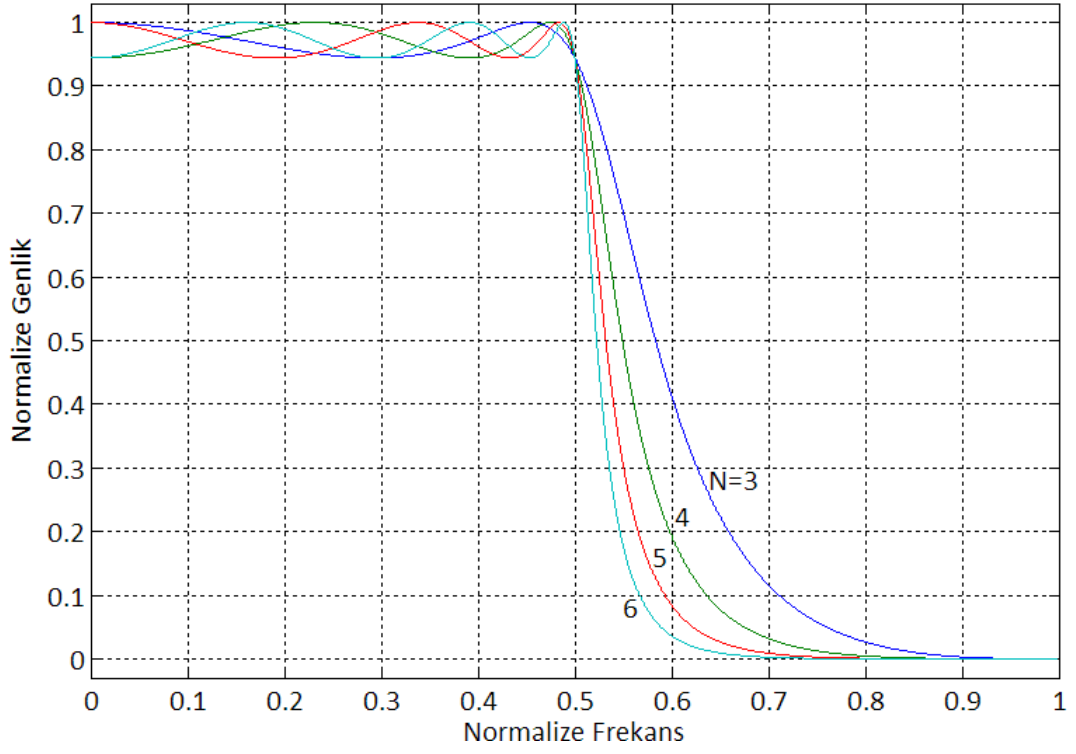
$$H_{AG}^{(6)}(z^{-1}) = \frac{0.0117(1+z^{-1})^6}{1-1.3568z^{-1}+2.1347z^{-2}-1.8511z^{-3}+1.2978z^{-4}-0.5937z^{-5}+0.1650z^{-6}} \quad (5.45)$$

dikkate alınarak, istenen yapıyı oluşturmak için sistemdeki parametreler belirlenmiş ve sonuçlar Çizelge 5.4'te verilmiştir.

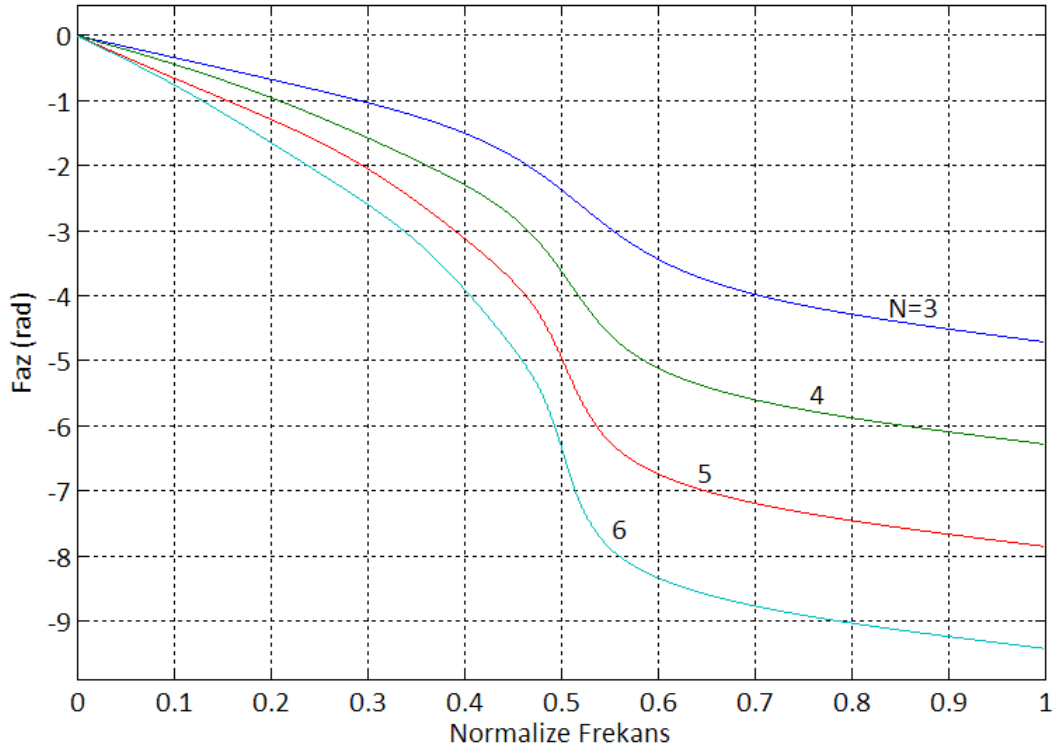
Çizelge 5.4 Alçak geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.5$) (N=6)

Fonksiyon	Kuplaj ve Genlik Katsayıları	Faz Açısı (rad)	Sıfırlar ve Kutuplar
H_{ap_1}	$K1 = K2 = 0.6406 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 3.7116$	$z = 0.4854+j0.3112$
H_{ap_2}	$K1 = K2 = 0.6406 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 2.5751$	$z = 0.4854-j0.3112$
H_{ap_3}	$K1 = K2 = 0.8452 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 4.4415$	$z = 0.2035+j0.7330$
H_{ap_4}	$K1 = K2 = 0.8452 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 1.8416$	$z = 0.2035-j0.7330$
H_{ap_5}	$K1 = K2 = 0.5144 \ t_{45} = t_{82} = 2$	$\emptyset_{82} = 4.7238$	$z = -0.0105+j0.9259$
H_{ap_6}	$K1 = K2 = 0.5144 \ t_{45} = t_{82} = 2$	$\emptyset_{82} = 1.5593$	$z = -0.0105-j0.9259$
H_{az_1}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = \pi$	$z = -1$
H_{az_2}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = \pi$	$z = -1$
H_{az_3}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = \pi$	$z = -1$
H_{az_4}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = \pi$	$z = -1$
H_{az_5}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = \pi$	$z = -1$
H_{az_6}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = \pi$	$z = -1$

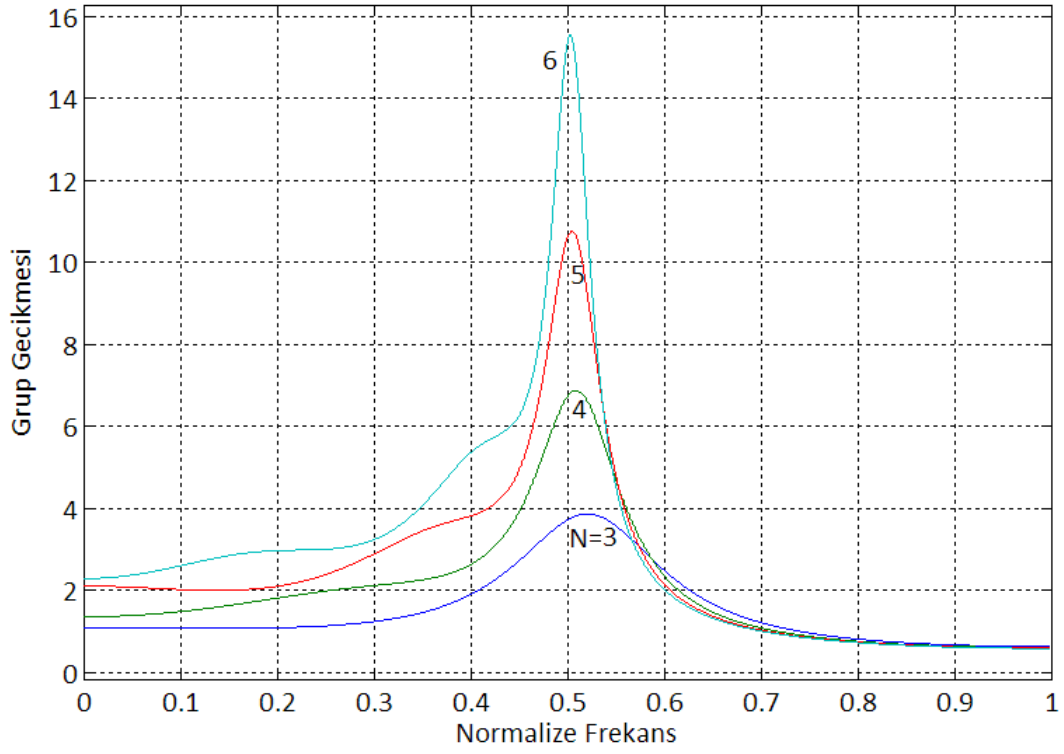
Bu değerler ile oluşturulan normalize kesim frekansı 0.5 olan, N=3, 4, 5 ve 6. dereceden alçak geçiren birinci tip Chebyshev filtreler için, genlik cevabı, faz cevabı, grup gecikmesi ve faz gecikmesi grafikleri, sırasıyla Şekil 5.8, Şekil 5.9, Şekil 5.10 ve Şekil 5.11'de gösterilmiştir. Şekil 5.8'de görüldüğü gibi geçirme bandında birinci tip Chebyshev filtrenin dalgalama özelliği söz konusudur. 6. dereceden alçak geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin oluşturulmasında kullanılan Matlab kodları Ek-B'de verilmiştir.



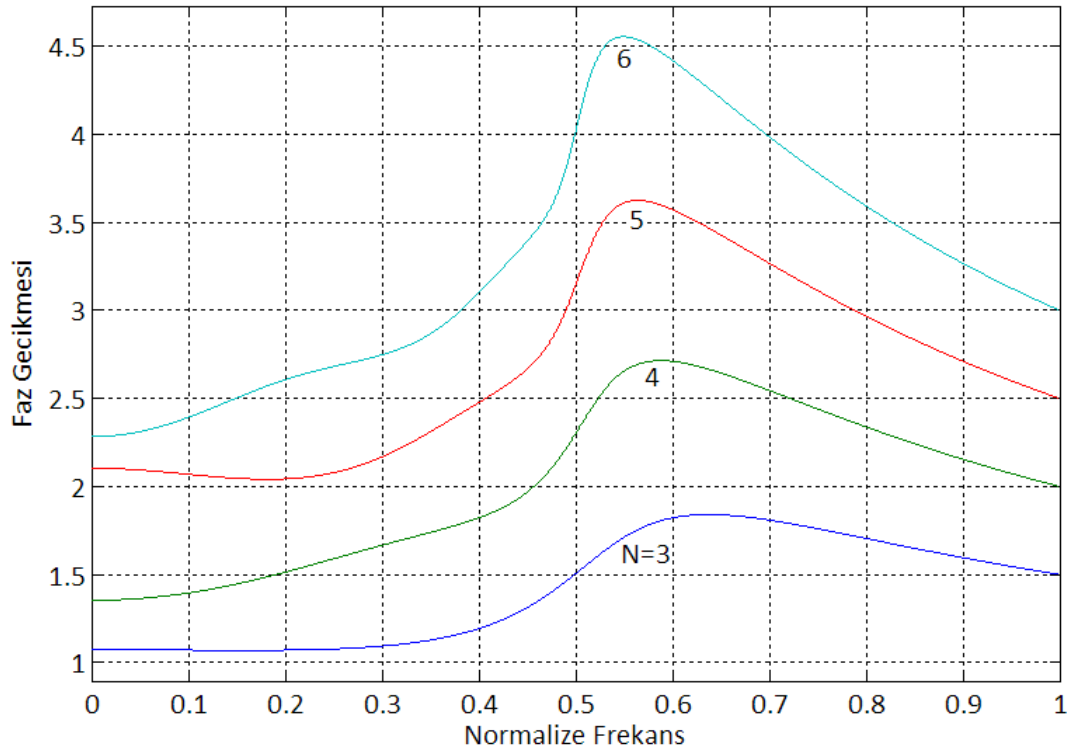
Şekil 5.8 Alçak geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin normalize genliğinin normalize frekansa göre değişimi (N=3, 4, 5 ve 6)



Şekil 5.9 Alçak geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin fazının normalize frekansa göre değişimi (N=3, 4, 5 ve 6)



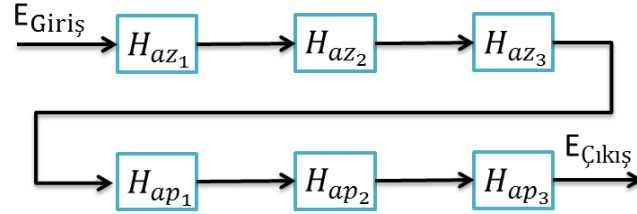
Şekil 5.10 Alçak geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin grup gecikmesinin normalize frekansa göre değişimi (N=3, 4, 5 ve 6)



Şekil 5.11 Alçak geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin faz gecikmesinin normalize frekansa göre değişimi (N=3, 4, 5 ve 6)

5.2.1.2 Yüksek Geçiren Birinci Tip Chebyshev Filtreler

N=3 için yüksek geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin sıfır ve kutup bloklarının kaskad bağlantı şeması Şekil 5.12’de görülmektedir.



Şekil 5.12 Yüksek geçiren birinci tip Chebyshev filtre blokları (N=3)

N=3 için yapılan analizde, yüksek geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin transfer fonksiyonu,

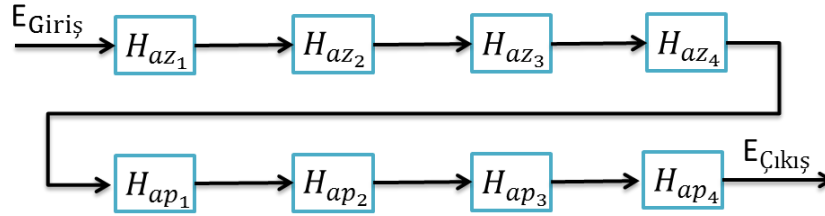
$$H_{YG}^{(3)}(z^{-1}) = \frac{0.1589(1-z^{-1})^3}{1+0.1269z^{-1}+0.5238z^{-2}+0.1257z^{-3}} \quad (5.46)$$

dikkate alınarak, istenen yapıyı oluşturmak için sistemdeki parametreler belirlenmiş ve sonuçlar Çizelge 5.5’te verilmiştir.

Çizelge 5.5 Yüksek geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.5$) (N=3)

Fonksiyon	Kuplaj ve Genlik Katsayıları	Faz Açısı (rad)	Sıfırlar ve Kutuplar
H_{ap_1}	$K1 = K2 = 0.8220 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\phi_{82} = 4.6428$	$z = 0.0514+j0.7381$
H_{ap_2}	$K1 = K2 = 0.8220 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\phi_{82} = 1.6403$	$z = 0.0514-j0.7381$
H_{ap_3}	$K1 = K2 = 0.2552 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\phi_{82} = 0$	$z = -0.2296$
H_{az_1}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\phi_{36} = 0$	$z = 1$
H_{az_2}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\phi_{36} = 0$	$z = 1$
H_{az_3}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\phi_{36} = 0$	$z = 1$

N=4 için yüksek geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin sıfır ve kutup bloklarının kaskad bağlantı şeması Şekil 5.13'te görülmektedir.



Şekil 5.13 Yüksek geçiren birinci tip Chebyshev filtre blokları (N=4)

N=4 için yapılan analizde, yüksek geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin transfer fonksiyonu,

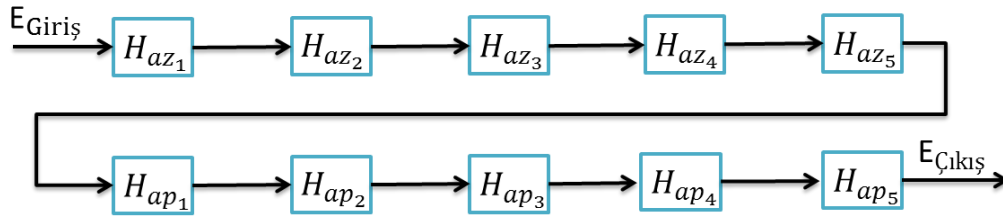
$$H_{YG}^{(4)}(z^{-1}) = \frac{0.0673(1-z^{-1})^4}{1+0.5316z^{-1}+0.9101z^{-2}+0.4023z^{-3}+0.1642z^{-4}} \quad (5.47)$$

dikkate alınarak, istenen yapıyı oluşturmak için sistemdeki parametreler belirlenmiş ve sonuçlar Çizelge 5.6'da verilmiştir.

Çizelge 5.6 Yüksek geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.5$) (N=4)

Fonksiyon	Kuplaj ve Genlik Katsayıları	Faz Açısı (rad)	Sıfırlar ve Kutuplar
H_{ap_1}	$K1 = K2 = 0.5344 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\phi_{82} = 5.3651$	$z = -0.2921+j0.3821$
H_{ap_2}	$K1 = K2 = 0.5344 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\phi_{82} = 0.9181$	$z = -0.2921-j0.3821$
H_{ap_3}	$K1 = K2 = 0.9350 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\phi_{82} = 4.6812$	$z = 0.0263+j0.8419$
H_{ap_4}	$K1 = K2 = 0.9350 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\phi_{82} = 1.6020$	$z = 0.0263-j0.8419$
H_{az_1}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\phi_{36} = 0$	$z = 1$
H_{az_2}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\phi_{36} = 0$	$z = 1$
H_{az_3}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\phi_{36} = 0$	$z = 1$
H_{az_4}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\phi_{36} = 0$	$z = 1$

N=5 için yüksek geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin sıfır ve kutup bloklarının kaskad bağlantı şeması Şekil 5.14'te görülmektedir.



Şekil 5.14 Yüksek geçiren birinci tip Chebyshev filtre blokları (N=5)

N=5 için yapılan analizde, yüksek geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin transfer fonksiyonu,

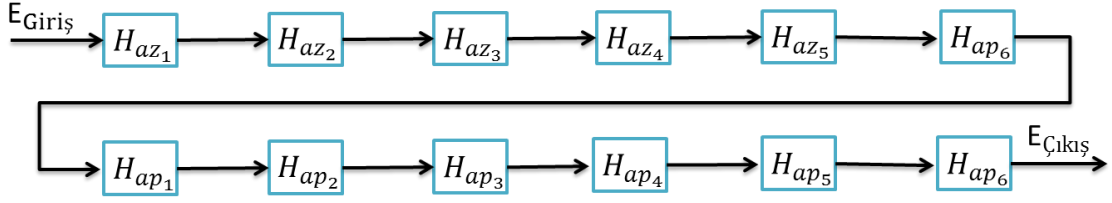
$$H_{YG}^{(5)}(z^{-1}) = \frac{0.0282(1-z^{-1})^5}{1+0.9437z^{-1}+1.4400z^{-2}+0.9629z^{-3}+0.5301z^{-4}+0.1620z^{-5}} \quad (5.48)$$

dikkate alınarak, istenen yapıyı oluşturmak için sistemdeki parametreler belirlenmiş ve sonuçlar Çizelge 5.7'da verilmiştir.

Çizelge 5.7 Yüksek geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.5$) (N=5)

Fonksiyon	Kuplaj ve Genlik Katsayıları	Faz Açısı (rad)	Sıfırlar ve Kutuplar
H_{ap1}	$K1 = K2 = 0.9949 \quad t_{45} = t_{82} = 1$	$\phi_{82} = 4.6947$	$z = 0.0158+j0.8952$
H_{ap2}	$K1 = K2 = 0.9949 \quad t_{45} = t_{82} = 1$	$\phi_{82} = 1.5884$	$z = 0.0158-j0.8952$
H_{ap3}	$K1 = K2 = 0.73 \quad t_{45} = t_{82} = 1$	$\phi_{82} = 5.1087$	$z = -0.2536+j0.6060$
H_{ap4}	$K1 = K2 = 0.73 \quad t_{45} = t_{82} = 1$	$\phi_{82} = 1.1744$	$z = -0.2536-0.6060$
H_{ap5}	$K1 = K2 = 0.52 \quad t_{45} = t_{82} = 1$	$\phi_{82} = 0$	$z = -0.4680$
H_{az1}	$K1 = K2 = 0.5 \quad t_{45} = t_{36} = 1$	$\phi_{36} = 0$	$z = 1$
H_{az2}	$K1 = K2 = 0.5 \quad t_{45} = t_{36} = 1$	$\phi_{36} = 0$	$z = 1$
H_{az3}	$K1 = K2 = 0.5 \quad t_{45} = t_{36} = 1$	$\phi_{36} = 0$	$z = 1$
H_{az4}	$K1 = K2 = 0.5 \quad t_{45} = t_{36} = 1$	$\phi_{36} = 0$	$z = 1$
H_{az5}	$K1 = K2 = 0.5 \quad t_{45} = t_{36} = 1$	$\phi_{36} = 0$	$z = 1$

N=6 için yüksek geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin sıfır ve kutup bloklarının kaskad bağlantı şeması Şekil 5.15'te görülmektedir.



Şekil 5.15 Yüksek geçiren birinci tip Chebyshev filtre blokları (N=6)

N=6 için yapılan analizde, yüksek geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin transfer fonksiyonu,

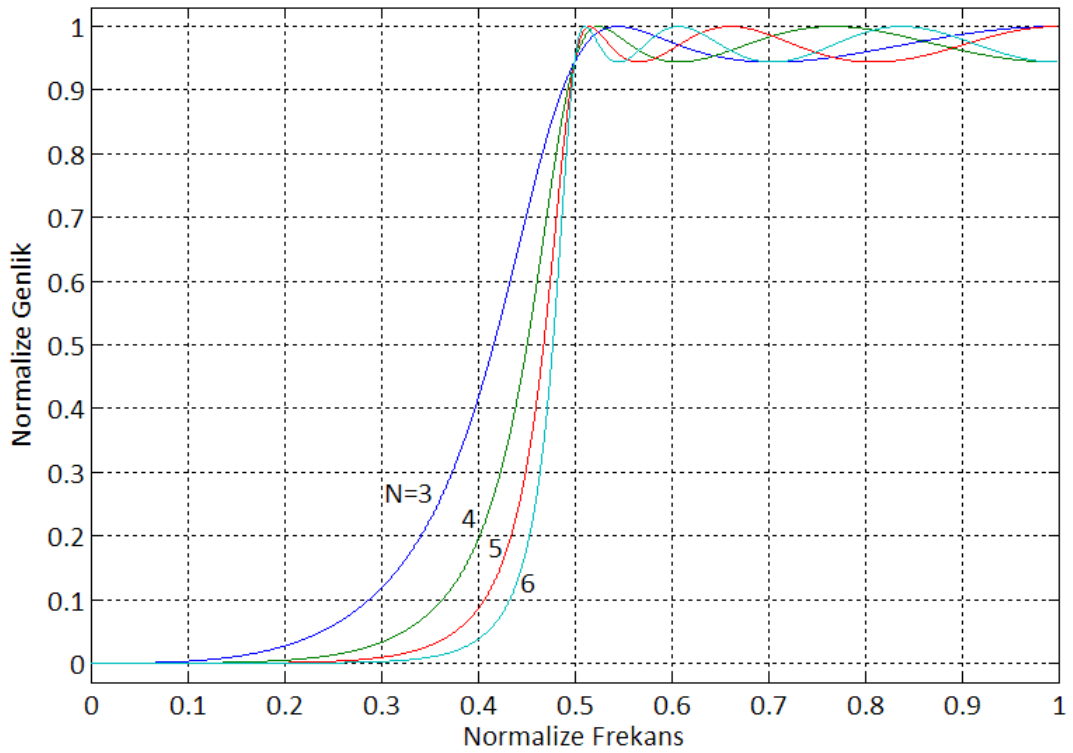
$$H_{YG}^{(6)}(z^{-1}) = \frac{0.0117(1-z^{-1})^6}{1+1.3568z^{-1}+2.1347z^{-2}+1.8511z^{-3}+1.2978z^{-4}+0.5937z^{-5}+0.1650z^{-6}} \quad (5.49)$$

dikkate alınarak, istenen yapıyı oluşturmak için sistemdeki parametreler belirlenmiş ve sonuçlar Çizelge 5.8'de verilmiştir.

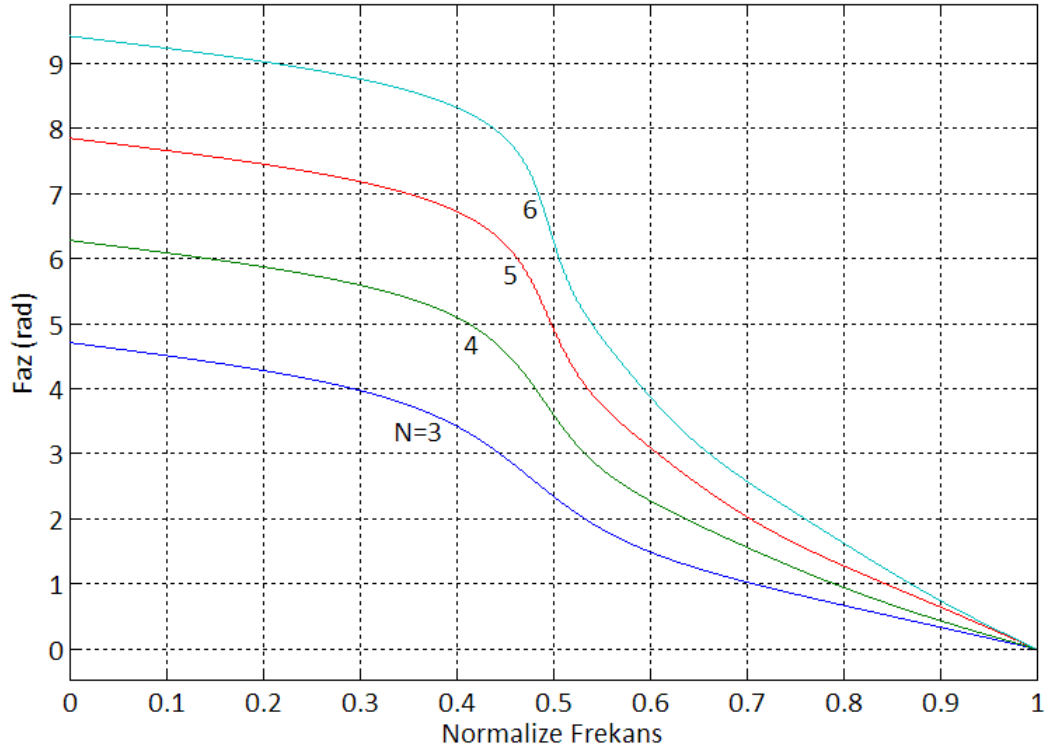
Çizelge 5.8 Yüksek geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.5$) (N=6)

Fonksiyon	Kuplaj ve Genlik Katsayıları	Faz Açısı (rad)	Sıfırlar ve Kutuplar
H_{ap_1}	$K1 = K2 = 0.6406 \quad t_{45} = t_{82} = 1$	$\phi_{82} = 5.7131$	$z = -0.4854+j0.3112$
H_{ap_2}	$K1 = K2 = 0.6406 \quad t_{45} = t_{82} = 1$	$\phi_{82} = 0.5701$	$z = -0.4854-j0.3112$
H_{ap_3}	$K1 = K2 = 0.8452 \quad t_{45} = t_{82} = 1$	$\phi_{82} = 4.9832$	$z = -0.2035+j0.7330$
H_{ap_4}	$K1 = K2 = 0.8452 \quad t_{45} = t_{82} = 1$	$\phi_{82} = 1.3000$	$z = -0.2035-j0.7330$
H_{ap_5}	$K1 = K2 = 0.5144 \quad t_{45} = t_{82} = 2$	$\phi_{82} = 4.7009$	$z = 0.0105+0.9259$
H_{ap_6}	$K1 = K2 = 0.5144 \quad t_{45} = t_{82} = 2$	$\phi_{82} = 1.5822$	$z = 0.0105-0.9259$
H_{az_1}	$K1 = K2 = 0.5 \quad t_{45} = t_{36} = 1$	$\phi_{36} = 0$	$z = 1$
H_{az_2}	$K1 = K2 = 0.5 \quad t_{45} = t_{36} = 1$	$\phi_{36} = 0$	$z = 1$
H_{az_3}	$K1 = K2 = 0.5 \quad t_{45} = t_{36} = 1$	$\phi_{36} = 0$	$z = 1$
H_{az_4}	$K1 = K2 = 0.5 \quad t_{45} = t_{36} = 1$	$\phi_{36} = 0$	$z = 1$
H_{az_5}	$K1 = K2 = 0.5 \quad t_{45} = t_{36} = 1$	$\phi_{36} = 0$	$z = 1$
H_{az_6}	$K1 = K2 = 0.5 \quad t_{45} = t_{36} = 1$	$\phi_{36} = 0$	$z = 1$

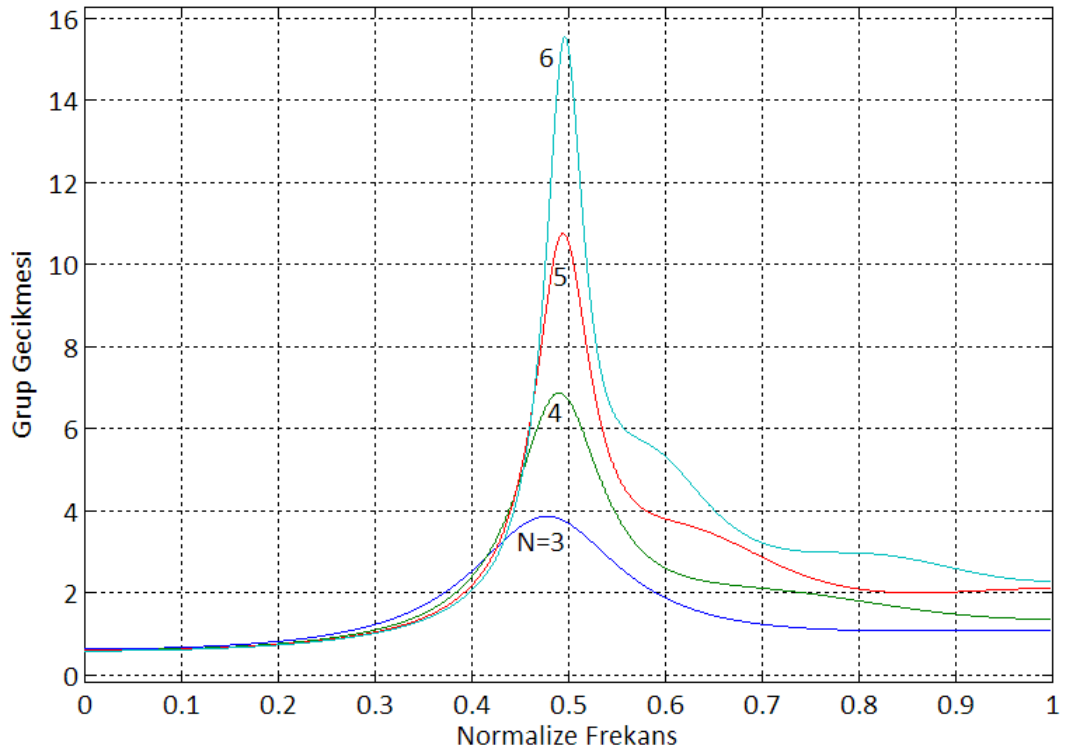
Bu değerler ile oluşturulan normalize kesim frekansı 0.5 olan, $N=3, 4, 5$ ve 6. dereceden yüksek geçiren birinci tip Chebyshev filtreler için, genlik cevabı, faz cevabı, grup gecikmesi ve faz gecikmesi grafikleri, sırasıyla şekil 5.16, şekil 5.17, şekil 5.18 ve şekil 5.19’da gösterilmiştir. şekil 5.16’da görüldüğü gibi geçirme bandında birinci tip Chebyshev filtrenin dalgalama özelliği söz konusudur.



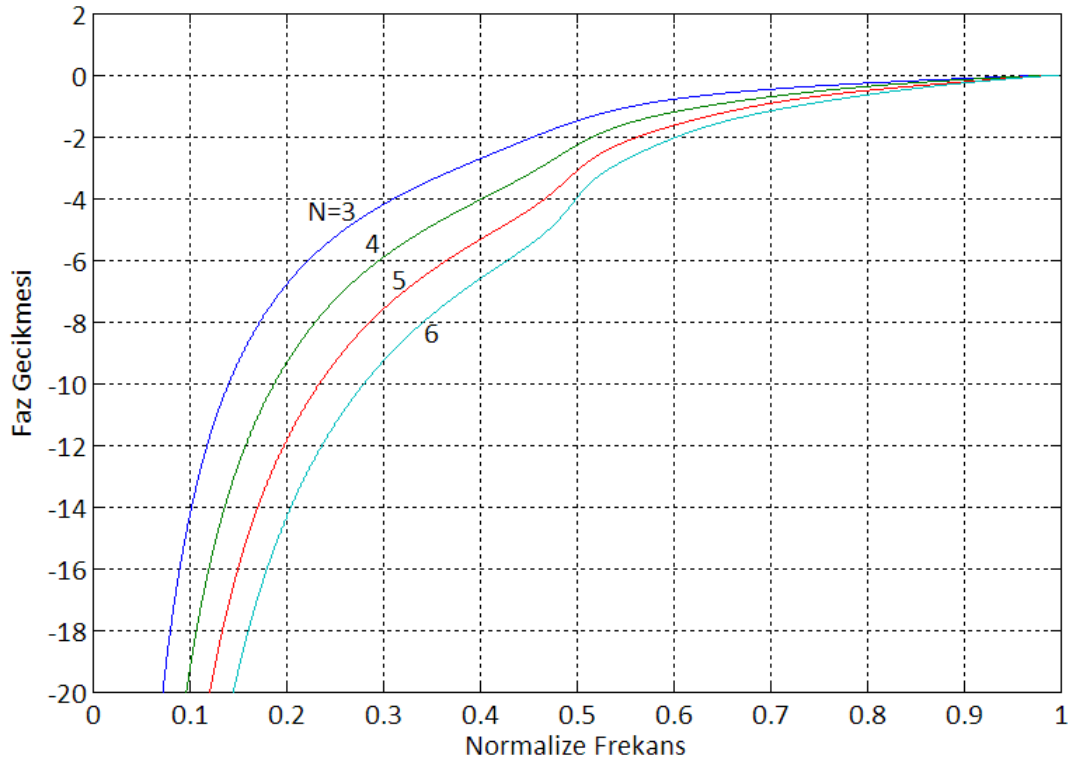
şekil 5.16 Yüksek geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin normalize genliğinin normalize frekansa göre değişimi ($N=3, 4, 5$ ve 6)



Şekil 5.17 Yüksek geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin faz cevabının normalize frekansa göre değişimi (N=3, 4, 5 ve 6)



Şekil 5.18 Yüksek geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin grup gecikmesinin normalize frekansa göre değişimi (N=3, 4, 5 ve 6)



Şekil 5.19 Yüksek geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin faz gecikmesinin normalize frekansa göre değişimi (N=3, 4, 5 ve 6)

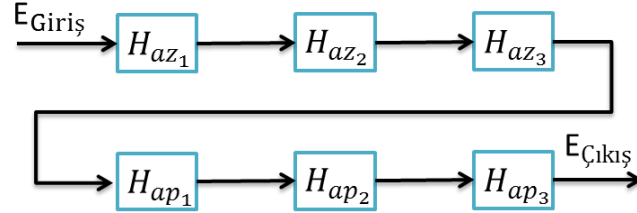
5.2.1.3 Band Geçiren Birinci Tip Chebyshev Filtreler ($\omega_c = 0.2 - 0.8$)

Band geçiren filtre karakteristiklerinin elde edilmesi için kesim frekanslarının uygun olarak seçilmesi gerekmektedir. İki farklı normalize frekans varyasyonu dikkate alınarak oluşturulan filtrelerin sistem parametreleri, normalize kesim frekansları farklı olduğu için Bölüm 5.2.2.1 ve Bölüm 5.2.2.2’de elde edilen alçak geçiren ve yüksek geçiren birinci tip Chebyshev filtrelerden farklıdır.

N=3, 4, 5 ve 6. dereceden, normalize kesim frekansı 0.2 olarak seçilen yüksek geçiren birinci tip Chebyshev filtreler ve N=3, 4, 5 ve 6. dereceden, normalize kesim frekansı 0.8 olarak seçilen alçak geçiren birinci tip Chebyshev filtrelerin sistem parametreleri Çizelge 5.9 ve Çizelge 5.16 arasındaki çizelgelerde verilmiştir. N=6, 7, 8, 9, 10, 11 ve 12. dereceden birinci tip band geçiren Chebyshev filtre Şekil 5.28 ve Şekil 5.34 arasında kalan şekillerde gösterildiği gibi alçak geçiren birinci tip Chebyshev filtre ile yüksek geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin kaskad olarak birleştirilmesiyle elde edilmiştir. Normalize kesim frekansı 0.2 ve 0.8 olan band geçiren birinci tip Chebyshev filtreler için

genlik cevabı, faz cevabı, grup gecikmesi ve faz gecikmesi grafikleri, sırasıyla Şekil 5.35, Şekil 5.36, Şekil 5.37 ve Şekil 5.38’de gösterilmiştir.

N=3 için alçak geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin sıfır ve kutup bloklarının kaskad bağlantı şeması Şekil 5.20’de görülmektedir.



Şekil 5.20 Alçak geçiren birinci tip Chebyshev filtre blokları (N=3) ($\omega_c = 0.8$)

N=3 için yapılan analizde, alçak geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin transfer fonksiyonu,

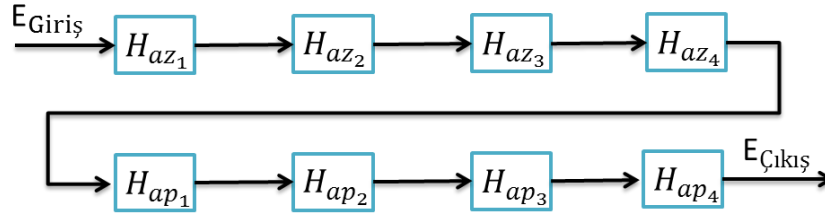
$$H_{AG}^{(3)}(z^{-1}) = \frac{0.5182(1+z^{-1})^3}{1+1.7456z^{-1}+1.1723z^{-2}+0.2281z^{-3}} \quad (5.50)$$

dikkate alınarak, istenen yapıyı oluşturmak için sistemdeki parametreler belirlenmiş ve sonuçlar Çizelge 5.9’da verilmiştir.

Çizelge 5.9 Alçak geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.8$) (N=3)

Fonksiyon	Kuplaj ve Genlik Katsayıları	Faz Açısı (rad)	Sıfırlar ve Kutuplar
H_{ap_1}	$K1 = K2 = 0.9425 \quad t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 5.7135$	$z = -0.7143+j0.4575$
H_{ap_2}	$K1 = K2 = 0.9425 \quad t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 0.5696$	$z = -0.7143-j0.4575$
H_{ap_3}	$K1 = K2 = 0.3522 \quad t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 0$	$z = -0.3169$
H_{az_1}	$K1 = K2 = 0.5 \quad t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = \pi$	$z = -1$
H_{az_2}	$K1 = K2 = 0.5 \quad t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = \pi$	$z = -1$
H_{az_3}	$K1 = K2 = 0.5 \quad t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = \pi$	$z = -1$

N=4 için alçak geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin sıfır ve kutup bloklarının kaskad bağlatı şeması 5.21’de görülmektedir.



Şekil 5.21 Alçak geçiren birinci tip Chebyshev filtre blokları (N=4) ($\omega_c = 0.8$)

N=4 için yapılan analizde, alçak geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin transfer fonksiyonu,

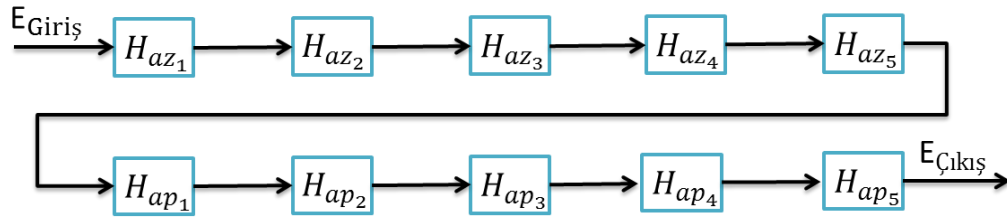
$$H_{AG}^{(4)}(z^{-1}) = \frac{0.3784(1+z^{-1})^4}{1+2.1739z^{-1}+2.0922z^{-2}+0.9383z^{-3}+0.2085z^{-4}} \quad (5.51)$$

dikkate alınarak, istenen yapıyı oluşturmak için sistemdeki parametreler belirlenmiş ve sonuçlar Çizelge 5.10’da verilmiştir.

Çizelge 5.10 Alçak geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.8$) (N=4)

Fonksiyon	Kuplaj ve Genlik Katsayıları	Faz Açısı (rad)	Sıfırlar ve Kutuplar
H_{ap_1}	$K1 = K2 = 0.5595 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 5.4545$	$z = -0.3403+j0.3711$
H_{ap_2}	$K1 = K2 = 0.5595 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 0.8287$	$z = -0.3403-j0.3711$
H_{ap_3}	$K1 = K2 = 0.5038 \ t_{45} = t_{82} = 2$	$\emptyset_{82} = 5.6796$	$z = -0.7466+j0.5147$
H_{ap_4}	$K1 = K2 = 0.5038 \ t_{45} = t_{82} = 2$	$\emptyset_{82} = 0.6036$	$z = -0.7466-j0.5147$
H_{az_1}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = \pi$	$z = -1$
H_{az_2}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = \pi$	$z = -1$
H_{az_3}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = \pi$	$z = -1$
H_{az_4}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = \pi$	$z = -1$

N=5 için alçak geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin sıfır ve kutup bloklarının kaskad bağlantı şeması 5.22’de görülmektedir.



Şekil 5.22 Alçak geçiren birinci tip Chebyshev filtre blokları (N=5) ($\omega_c = 0.8$)

N=5 için yapılan analizde, alçak geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin transfer fonksiyonu,

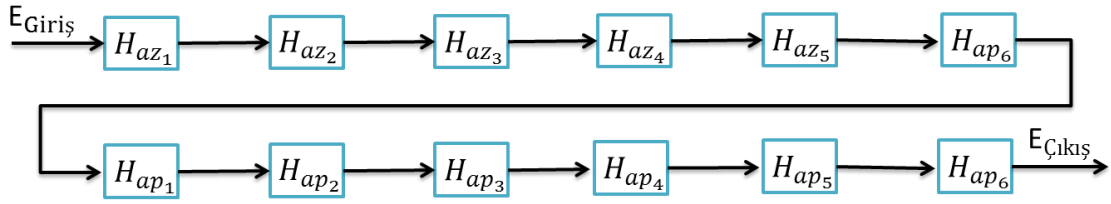
$$H_{AG}^{(5)}(z^{-1}) = \frac{0.2775(1+z^{-1})^5}{1+2.5474z^{-1}+2.9948z^{-2}+1.7780z^{-3}+0.5346z^{-4}+0.0243z^{-5}} \quad (5.52)$$

dikkate alınarak, istenen yapıyı oluşturmak için sistemdeki parametreler belirlenmiş ve sonuçlar Çizelge 5.11’de verilmiştir.

Çizelge 5.11 Alçak geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.8$) (N=5)

Fonksiyon	Kuplaj ve Genlik Katsayıları	Faz Açısı (rad)	Sıfırlar ve Kutuplar
H_{ap_1}	$K1 = K2 = 0.0605 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 0$	$z = -0.0544$
H_{ap_2}	$K1 = K2 = 0.7912 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 5.4527$	$z = -0.4803+j0.5257$
H_{ap_3}	$K1 = K2 = 0.7912 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 0.8305$	$z = -0.4803-j0.5257$
H_{ap_4}	$K1 = K2 = 0.5212 \ t_{45} = t_{82} = 2$	$\emptyset_{82} = 5.6680$	$z = -0.7662+j0.5414$
H_{ap_5}	$K1 = K2 = 0.5212 \ t_{45} = t_{82} = 2$	$\emptyset_{82} = 0.6152$	$z = -0.7662-j0.5414$
H_{az_1}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = \pi$	$z = -1$
H_{az_2}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = \pi$	$z = -1$
H_{az_3}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = \pi$	$z = -1$
H_{az_4}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = \pi$	$z = -1$
H_{az_5}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = \pi$	$z = -1$

N=6 için alçak geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin sıfır ve kutup bloklarının kaskad bağlantı şeması 5.23'te görülmektedir.



Şekil 5.23 Alçak geçiren birinci tip Chebyshev filtre blokları (N=6) ($\omega_c = 0.8$)

N=6 için yapılan analizde, alçak geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin transfer fonksiyonu,

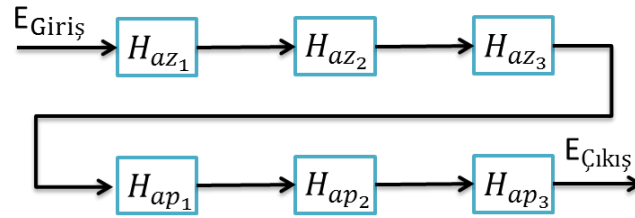
$$H_{AG}^{(6)}(z^{-1}) = \frac{0.2019(1+z^{-1})^6}{1+2.9468z^{-1}+4.1775z^{-2}+3.3260z^{-3}+1.6506z^{-4}+0.4861z^{-5}+0.1008z^{-6}} \quad (5.53)$$

dikkate alınarak, istenen yapıyı oluşturmak için sistemdeki parametreler belirlenmiş ve sonuçlar Çizelge 5.12'de verilmiştir.

Çizelge 5.12 Alçak geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.8$) (N=6)

Fonksiyon	Kuplaj ve Genlik Katsayıları	Faz Açısı (rad)	Sıfırlar ve Kutuplar
H_{ap_1}	$K1 = K2 = 0.4509 \quad t_{45} = t_{82} = 1$	$\phi_{82} = 4.9973$	$z = -0.1141+j0.3894$
H_{ap_2}	$K1 = K2 = 0.4509 \quad t_{45} = t_{82} = 1$	$\phi_{82} = 1.2859$	$z = -0.1141-j0.3894$
H_{ap_3}	$K1 = K2 = 0.9089 \quad t_{45} = t_{82} = 1$	$\phi_{82} = 5.5027$	$z = -0.5812+j0.5756$
H_{ap_4}	$K1 = K2 = 0.9089 \quad t_{45} = t_{82} = 1$	$\phi_{82} = 0.7805$	$z = -0.5812-j0.5756$
H_{ap_5}	$K1 = K2 = 0.5312 \quad t_{45} = t_{82} = 2$	$\phi_{82} = 5.6629$	$z = -0.7781+j0.5558$
H_{ap_6}	$K1 = K2 = 0.5312 \quad t_{45} = t_{82} = 2$	$\phi_{82} = 0.6203$	$z = -0.7781-j0.5558$
H_{az_1}	$K1 = K2 = 0.5 \quad t_{45} = t_{36} = 1$	$\phi_{36} = \pi$	$z = -1$
H_{az_2}	$K1 = K2 = 0.5 \quad t_{45} = t_{36} = 1$	$\phi_{36} = \pi$	$z = -1$
H_{az_3}	$K1 = K2 = 0.5 \quad t_{45} = t_{36} = 1$	$\phi_{36} = \pi$	$z = -1$
H_{az_4}	$K1 = K2 = 0.5 \quad t_{45} = t_{36} = 1$	$\phi_{36} = \pi$	$z = -1$
H_{az_5}	$K1 = K2 = 0.5 \quad t_{45} = t_{36} = 1$	$\phi_{36} = \pi$	$z = -1$
H_{az_6}	$K1 = K2 = 0.5 \quad t_{45} = t_{36} = 1$	$\phi_{36} = \pi$	$z = -1$

N=3 için yüksek geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin sıfır ve kutup bloklarının kaskad bağlanışı 5.24'te görülmektedir.



Şekil 5.24 Yüksek geçiren birinci tip Chebyshev filtre blokları (N=3) ($\omega_c = 0.2$)

N=3 için yapılan analizde, yüksek geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin transfer fonksiyonu,

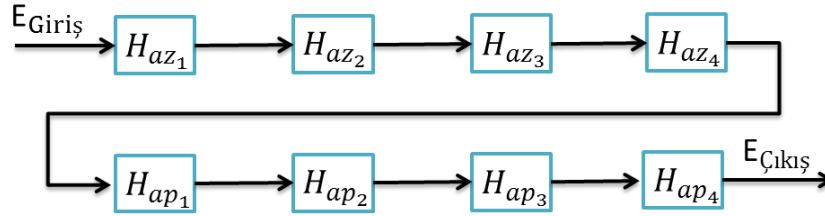
$$H_{YG}^{(3)}(z^{-1}) = \frac{0.5182(1-z^{-1})^3}{1-1.7456z^{-1}+1.1723z^{-2}-0.2281z^{-3}} \quad (5.54)$$

dikkate alınarak, istenen yapıyı oluşturmak için sistemdeki parametreler belirlenmiş ve sonuçlar Çizelge 5.13'te verilmiştir.

Çizelge 5.13 Yüksek geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.2$) (N=3)

Fonksiyon	Kuplaj ve Genlik Katsayıları	Faz Açısı (rad)	Sıfırlar ve Kutuplar
H_{ap_1}	$K1 = K2 = 0.9425 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\phi_{82} = 3.7112$	$z = 0.7143+j0.4575$
H_{ap_2}	$K1 = K2 = 0.9425 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\phi_{82} = 2.5719$	$z = 0.7143-j0.4575$
H_{ap_3}	$K1 = K2 = 0.3522 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\phi_{82} = \pi$	$z = 0.3169$
H_{az_1}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\phi_{36} = 0$	$z = 1$
H_{az_2}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\phi_{36} = 0$	$z = 1$
H_{az_3}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\phi_{36} = 0$	$z = 1$

N=4 için yüksek geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin sıfır ve kutup bloklarının kaskad bağlantı şeması 5.25'te görülmektedir.



Şekil 5.25 Yüksek geçiren birinci tip Chebyshev filtre blokları (N=4) ($\omega_c = 0.2$)

N=4 için yapılan analizde, yüksek geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin transfer fonksiyonu,

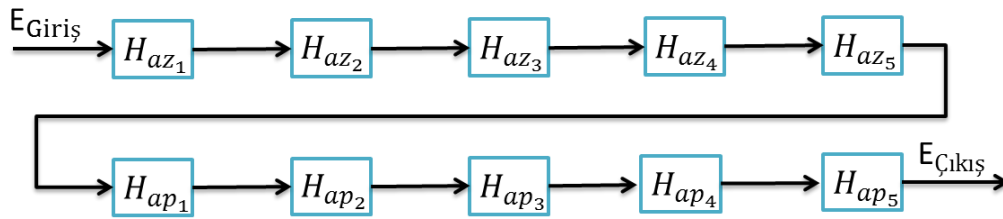
$$H_{YG}^{(4)}(z^{-1}) = \frac{0.3784(1-z^{-1})^4}{1-2.1739z^{-1}+2.0922z^{-2}-0.9383z^{-3}+0.2085z^{-4}} \quad (5.55)$$

dikkate alınarak, istenen yapıyı oluşturmak için sistemdeki parametreler belirlenmiş ve sonuçlar Çizelge 5.14'te verilmiştir.

Çizelge 5.14 Yüksek geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.2$) (N=4)

Fonksiyon	Kuplaj ve Genlik Katsayıları	Faz Açısı (rad)	Sıfırlar ve Kutuplar
H_{ap_1}	$K1 = K2 = 0.5595 \quad t_{45} = t_{82} = 1$	$\phi_{82} = 3.9703$	$z = 0.3403+j0.3711$
H_{ap_2}	$K1 = K2 = 0.5595 \quad t_{45} = t_{82} = 1$	$\phi_{82} = 2.3129$	$z = 0.3403-j0.3711$
H_{ap_3}	$K1 = K2 = 0.5038 \quad t_{45} = t_{82} = 2$	$\phi_{82} = 3.7452$	$z = 0.7466+j0.5147$
H_{ap_4}	$K1 = K2 = 0.5038 \quad t_{45} = t_{82} = 2$	$\phi_{82} = 2.5380$	$z = 0.7466-j0.5147$
H_{az_1}	$K1 = K2 = 0.5 \quad t_{45} = t_{36} = 1$	$\phi_{36} = 0$	$z = 1$
H_{az_2}	$K1 = K2 = 0.5 \quad t_{45} = t_{36} = 1$	$\phi_{36} = 0$	$z = 1$
H_{az_3}	$K1 = K2 = 0.5 \quad t_{45} = t_{36} = 1$	$\phi_{36} = 0$	$z = 1$
H_{az_4}	$K1 = K2 = 0.5 \quad t_{45} = t_{36} = 1$	$\phi_{36} = 0$	$z = 1$

N=5 için yüksek geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin sıfır ve kutup bloklarının kaskad bağlatı şeması 5.26’da görülmektedir.



Şekil 5.26 Yüksek geçiren birinci tip Chebyshev filtre blokları (N=5) ($\omega_c = 0.2$)

N=5 için yapılan analizde, yüksek geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin transfer fonksiyonu,

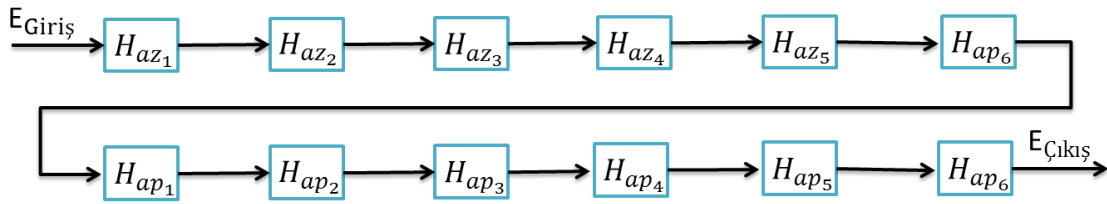
$$H_{YG}^{(5)}(z^{-1}) = \frac{0.2775(1-z^{-1})^5}{1-2.5474z^{-1}+2.9948z^{-2}-1.7780z^{-3}+0.5346z^{-4}-0.0243z^{-5}} \quad (5.56)$$

dikkate alınarak, istenen yapıyı oluşturmak için sistemdeki parametreler belirlenmiş ve sonuçlar Çizelge 5.15’te verilmiştir.

Çizelge 5.15 Yüksek geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.2$) (N=5)

Fonksiyon	Kuplaj ve Genlik Katsayıları	Faz Açısı (rad)	Sıfırlar ve Kutuplar
H_{ap_1}	$K1 = K2 = 0.0605 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = \pi$	$z = 0.0544$
H_{ap_2}	$K1 = K2 = 0.7912 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 3.9721$	$z = 0.4803+j0.5257$
H_{ap_3}	$K1 = K2 = 0.7912 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 2.3111$	$z = 0.4803+j0.5257$
H_{ap_4}	$K1 = K2 = 0.5212 \ t_{45} = t_{82} = 2$	$\emptyset_{82} = 3.7568$	$z = 0.7662+j0.5414$
H_{ap_5}	$K1 = K2 = 0.5212 \ t_{45} = t_{82} = 2$	$\emptyset_{82} = 2.5264$	$z = 0.7662+j0.5414$
H_{az_1}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = 0$	$z = 1$
H_{az_2}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = 0$	$z = 1$
H_{az_3}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = 0$	$z = 1$
H_{az_4}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = 0$	$z = 1$
H_{az_5}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = 0$	$z = 1$

N=6 için yüksek geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin sıfır ve kutup bloklarının kaskad bağlantı şeması 5.27’de görülmektedir.



Şekil 5.27 Yüksek geçiren birinci tip Chebyshev filtre blokları (N=6) ($\omega_c = 0.2$)

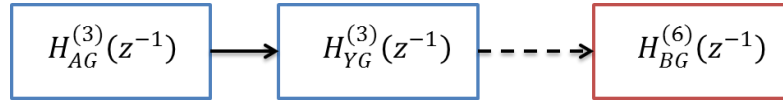
N=6 için yapılan analizde, yüksek geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin transfer fonksiyonu,

$$H_{YG}^{(6)}(z^{-1}) = \frac{0.2019(1-z^{-1})^6}{1-2.9468z^{-1}+4.1775z^{-2}-3.3260z^{-3}+1.6506z^{-4}-0.4861z^{-5}+0.1008z^{-6}} \quad (5.57)$$

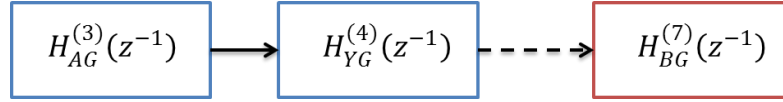
dikkate alınarak, istenen yapıyı oluşturmak için sistemdeki parametreler belirlenmiş ve sonuçlar Çizelge 5.16’da verilmiştir.

Çizelge 5.16 Yüksek geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.2$) (N=6)

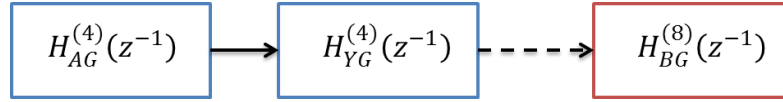
Fonksiyon	Kuplaj ve Genlik Katsayıları	Faz Açısı (rad)	Sıfırlar ve Kutuplar
H_{ap_1}	$K1 = K2=0.4509 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 4.4275$	$z = 0.1141+j0.3894$
H_{ap_2}	$K1 = K2=0.4509 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 1.8557$	$z = 0.1141-j0.3894$
H_{ap_3}	$K1 = K2=0.9089 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 3.9221$	$z = 0.5812+j0.5756$
H_{ap_4}	$K1 = K2=0.9089 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 2.3611$	$z = 0.5812-j0.5756$
H_{ap_5}	$K1 = K2=0.5312 \ t_{45} = t_{82} = 2$	$\emptyset_{82} = 3.7619$	$z = 0.7781+j0.5558$
H_{ap_6}	$K1 = K2=0.5312 \ t_{45} = t_{82} = 2$	$\emptyset_{82} = 2.5213$	$z = 0.7781-j0.5558$
H_{az_1}	$K1 = K2=0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = 0$	$z = 1$
H_{az_2}	$K1 = K2=0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = 0$	$z = 1$
H_{az_3}	$K1 = K2=0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = 0$	$z = 1$
H_{az_4}	$K1 = K2=0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = 0$	$z = 1$
H_{az_5}	$K1 = K2=0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = 0$	$z = 1$
H_{az_6}	$K1 = K2=0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = 0$	$z = 1$



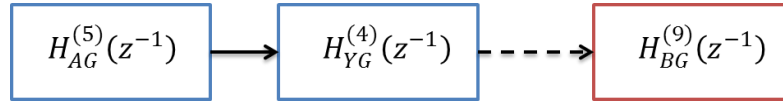
Şekil 5.28 Band geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin kaskad yapısı (N=6)



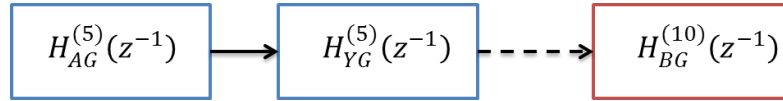
Şekil 5.29 Band geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin kaskad yapısı (N=7)



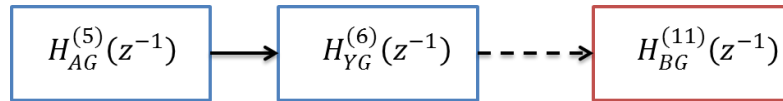
Şekil 5.30 Band geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin kaskad yapısı (N=8)



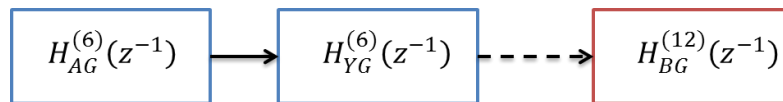
Şekil 5.31 Band geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin kaskad yapısı (N=9)



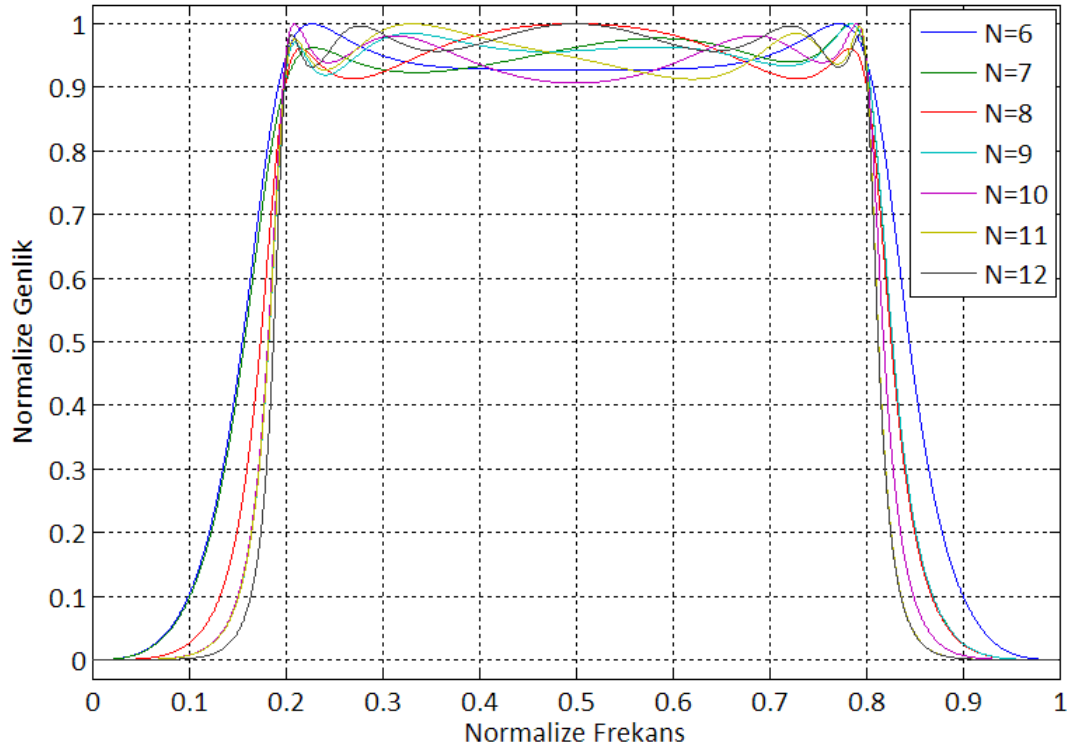
Şekil 5.32 Band geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin kaskad yapısı (N=10)



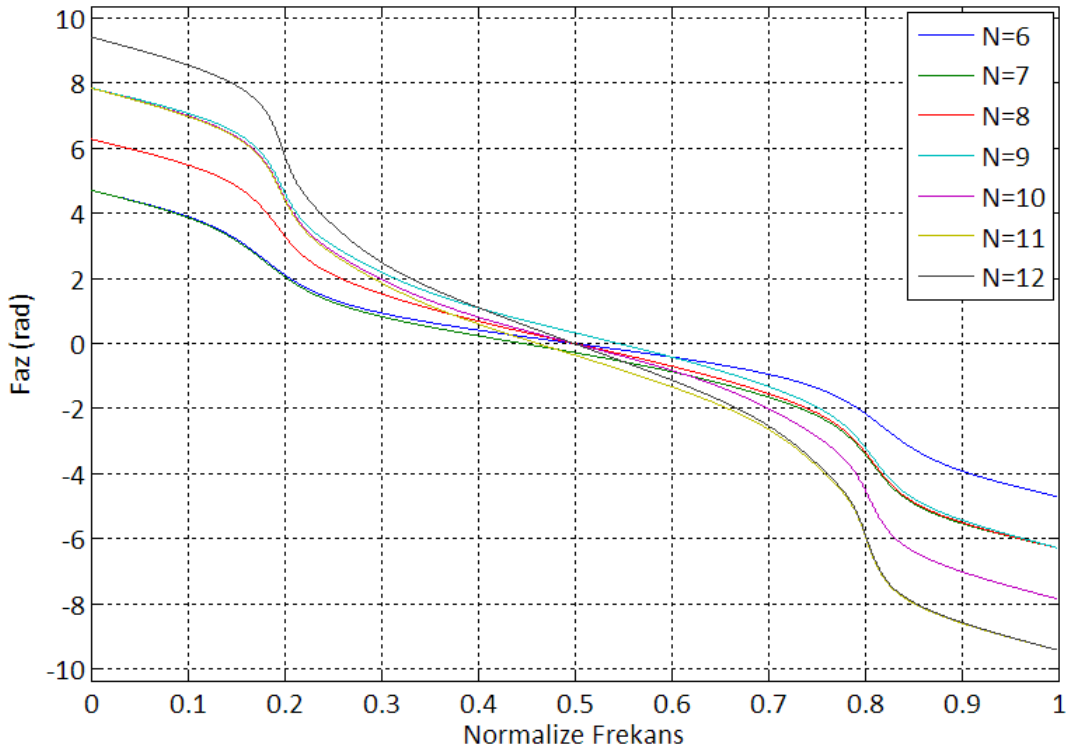
Şekil 5.33 Band geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin kaskad yapısı (N=11)



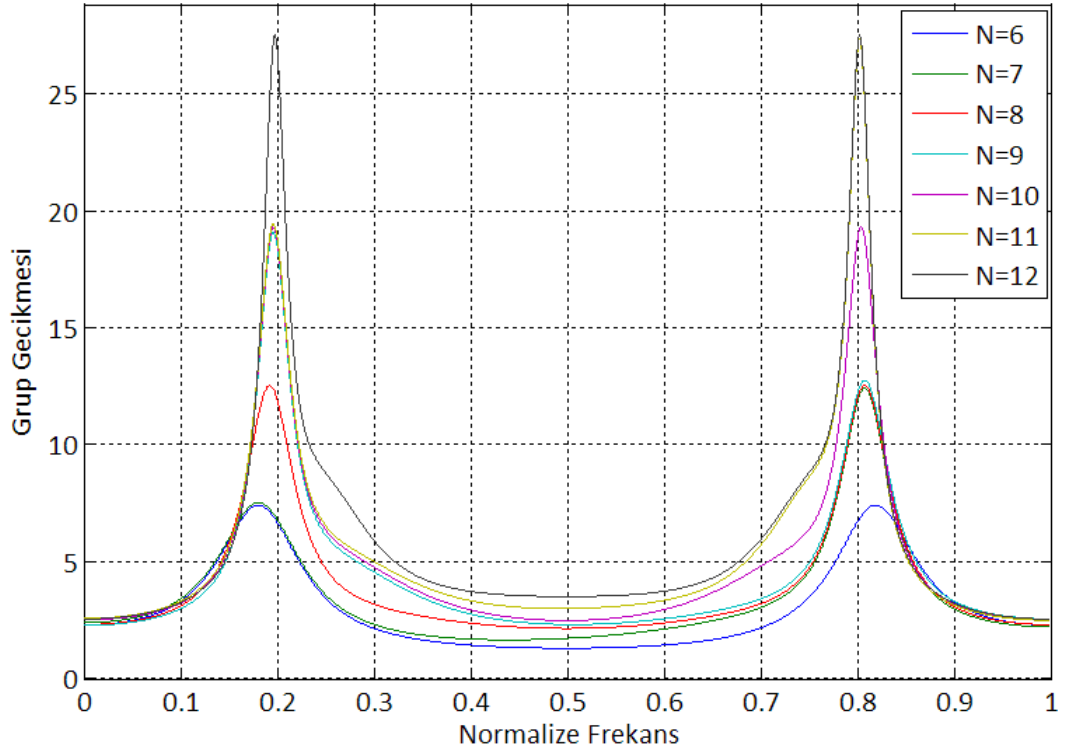
Şekil 5.34 Band geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin kaskad yapısı (N=12)



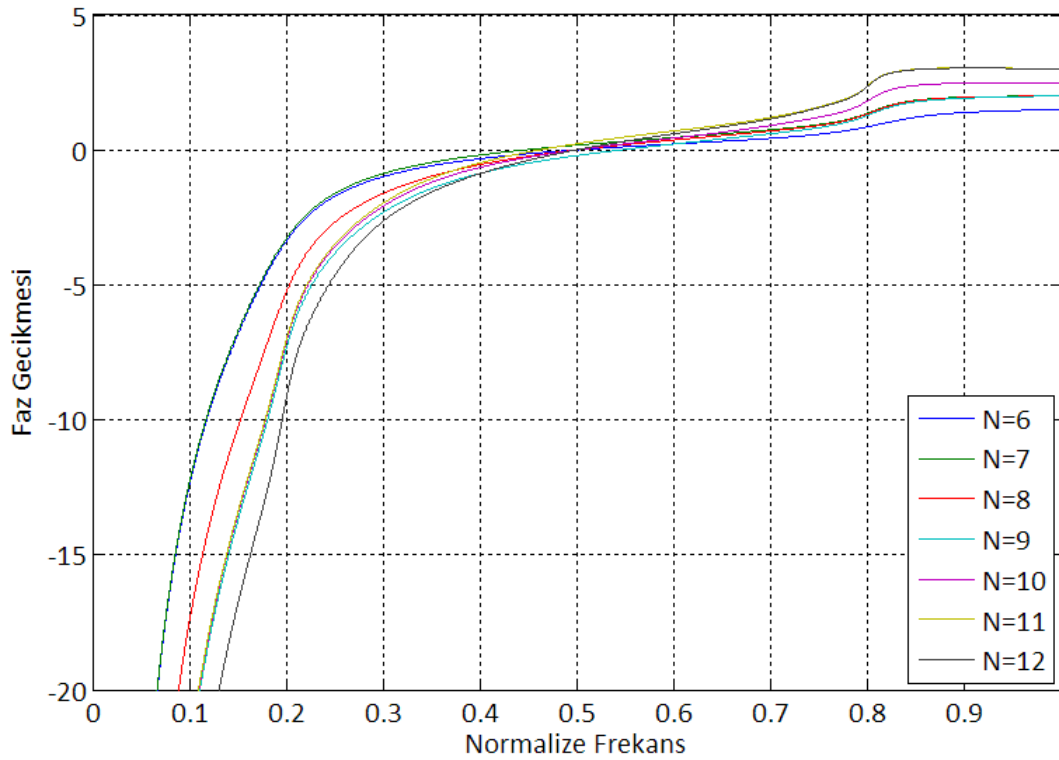
Şekil 5.35 Band geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin genlik cevabının normalize frekansa göre değişimi ($\omega_c = 0.2, 0.8$) (N=6-12)



Şekil 5.36 Band geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin faz cevabının normalize frekansa göre değişimi ($\omega_c = 0.2, 0.8$) (N=6-12)



Şekil 5.37 Band geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin grup gecikmesinin normalize frekansa göre değişimi ($\omega_c = 0.2, 0.8$) (N=6-12)

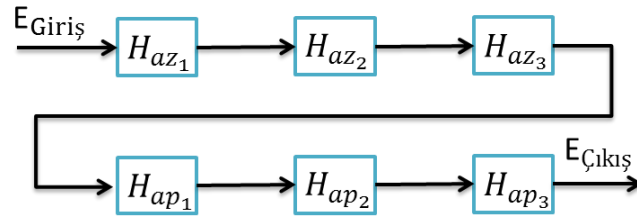


Şekil 5.38 Band geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin faz gecikmesinin normalize frekansa göre değişimi ($\omega_c = 0.2, 0.8$) (N=6-12)

5.2.1.4 Band Geçiren Birinci Tip Chebyshev Filtre ($\omega_c = 0.3 - 0.7$)

N=3, 4, 5 ve 6. dereceden, normalize kesim frekansı 0.3 olarak seçilen yüksek geçiren birinci tip Chebyshev filtreler ve N=3, 4, 5 ve 6. dereceden, normalize kesim frekansı 0.7 olarak seçilen alçak geçiren birinci tip Chebyshev filtrelerin sistem parametreleri Çizelge 5.17 ve Çizelge 5.24 arasındaki çizelgelerde verilmiştir. N=6, 7, 8, 9, 10, 11 ve 12. dereceden birinci tip band geçiren Chebyshev filtre Şekil 5.47 ve Şekil 5.53 arasında kalan şekillerde gösterildiği gibi alçak geçiren birinci tip Chebyshev filtre ile yüksek geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin kaskad olarak birleştirilmesiyle elde edilmiştir. Normalize kesim frekansı 0.3 ve 0.7 olan band geçiren birinci tip Chebyshev filtreler için genlik cevabı, faz cevabı, grup gecikmesi ve faz gecikmesi grafikleri, sırasıyla Şekil 5.54, Şekil 5.55, Şekil 5.56 ve Şekil 5.57’de gösterilmiştir.

N=3 için alçak geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin sıfır ve kutup bloklarının kaskad bağlantı şeması Şekil 5.39’da görülmektedir.



Şekil 5.39 Alçak geçiren birinci tip Chebyshev filtre blokları (N=3) ($\omega_c = 0.7$)

N=3 için yapılan analizde, alçak geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin transfer fonksiyonu,

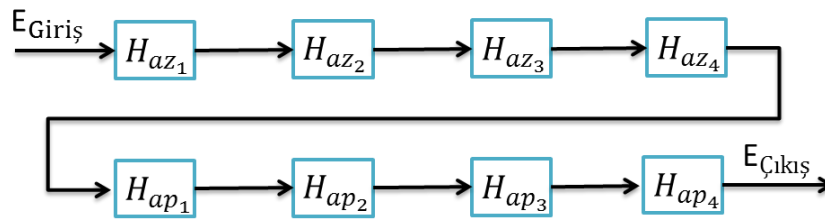
$$H_{AG}^{(3)}(z^{-1}) = \frac{0.3660(1+z^{-1})^3}{1+1.1287z^{-1}+0.7347z^{-2}+0.0648z^{-3}} \quad (5.58)$$

dikkate alınarak, istenen yapıyı oluşturmak için sistemdeki parametreler belirlenmiş ve sonuçlar Çizelge 5.17’de verilmiştir.

Çizelge 5.17 Alçak geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.7$) (N=3)

Fonksiyon	Kuplaj ve Genlik Katsayıları	Faz Açısı (rad)	Sıfırlar ve Kutuplar
H_{ap_1}	$K1 = K2 = 0.8813 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 5.4156$	$z = -0.5129 + j0.6050$
H_{ap_2}	$K1 = K2 = 0.8813 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 0.8676$	$z = -0.5129 - j0.6050$
H_{ap_3}	$K1 = K2 = 0.1144 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 0$	$z = -0.1029$
H_{az_1}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = \pi$	$z = -1$
H_{az_2}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = \pi$	$z = -1$
H_{az_3}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = \pi$	$z = -1$

N=4 için alçak geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin sıfır ve kutup bloklarının kaskad bağlantı şeması 5.40'ta görülmektedir.



Şekil 5.40 Alçak geçiren birinci tip Chebyshev filtre blokları (N=4) ($\omega_c = 0.7$)

N=4 için yapılan analizde, alçak geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin transfer fonksiyonu,

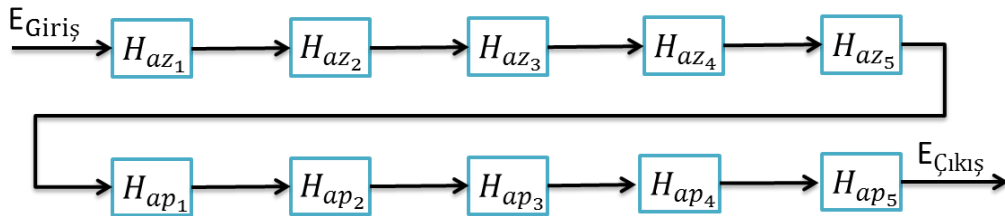
$$H_{AG}^{(4)}(z^{-1}) = \frac{0.2275(1+z^{-1})^4}{1+1.2554z^{-1}+1.1362z^{-2}+0.3295z^{-3}+0.1343z^{-4}} \quad (5.59)$$

dikkate alınarak, istenen yapıyı oluşturmak için sistemdeki parametreler belirlenmiş ve sonuçlar Çizelge 5.18'de verilmiştir.

Çizelge 5.18 Alçak geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.7$) (N=4)

Fonksiyon	Kuplaj ve Genlik Katsayıları	Faz Açısı (rad)	Sıfırlar ve Kutuplar
H_{ap_1}	$K1 = K2 = 0.4665 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 4.9343$	$z = -0.0924 + j0.4095$
H_{ap_2}	$K1 = K2 = 0.4665 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 1.3489$	$z = -0.0924 - j0.4095$
H_{ap_3}	$K1 = K2 = 0.9699 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 5.3725$	$z = -0.5353 + j0.6896$
H_{ap_4}	$K1 = K2 = 0.9699 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 0.9107$	$z = -0.5353 - j0.6896$
H_{az_1}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = \pi$	$z = -1$
H_{az_2}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = \pi$	$z = -1$
H_{az_3}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = \pi$	$z = -1$
H_{az_4}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = \pi$	$z = -1$

N=5 için alçak geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin sıfır ve kutup bloklarının kaskad bağlantı şeması 5.41’de görülmektedir.



Şekil 5.41 Alçak geçiren birinci tip Chebyshev filtre blokları (N=5) ($\omega_c = 0.7$)

N=5 için yapılan analizde, alçak geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin transfer fonksiyonu,

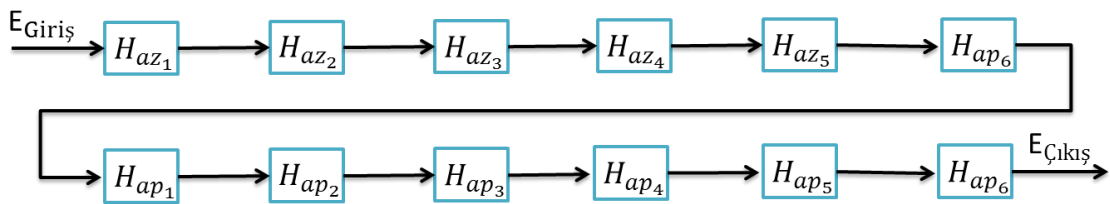
$$H_{AG}^{(5)}(z^{-1}) = \frac{0.1407(1+z^{-1})^5}{1+1.3521z^{-1}+1.4662z^{-2}+0.5264z^{-3}+0.2164z^{-4}-0.0598z^{-5}} \quad (5.60)$$

dikkate alınarak, istenen yapıyı oluşturmak için sistemdeki parametreler belirlenmiş ve sonuçlar Çizelge 5.19’da verilmiştir.

Çizelge 5.19 Alçak geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.7$) (N=5)

Fonksiyon	Kuplaj ve Genlik Katsayıları	Faz Açısı (rad)	Sıfırlar ve Kutuplar
H_{ap_1}	$K1 = K2 = 0.0605 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = \pi$	$z = 0.1688$
H_{ap_2}	$K1 = K2 = 0.7912 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 5.0409$	$z = -0.2098 + j0.6155$
H_{ap_3}	$K1 = K2 = 0.7912 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 1.2423$	$z = -0.2098 - j0.6155$
H_{ap_4}	$K1 = K2 = 0.5086 \ t_{45} = t_{82} = 2$	$\emptyset_{82} = 5.3578$	$z = -0.5507 + j0.7313$
H_{ap_5}	$K1 = K2 = 0.5086 \ t_{45} = t_{82} = 2$	$\emptyset_{82} = 0.9254$	$z = -0.5507 - j0.7313$
H_{az_1}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = \pi$	$z = -1$
H_{az_2}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = \pi$	$z = -1$
H_{az_3}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = \pi$	$z = -1$
H_{az_4}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = \pi$	$z = -1$
H_{az_5}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = \pi$	$z = -1$

N=6 için alçak geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin sıfır ve kutup bloklarının kaskad bağlantı şeması 5.42’de görülmektedir.



Şekil 5.42 Alçak geçiren birinci tip Chebyshev filtre blokları (N=6) ($\omega_c = 0.7$)

N=6 için yapılan analizde, alçak geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin transfer fonksiyonu,

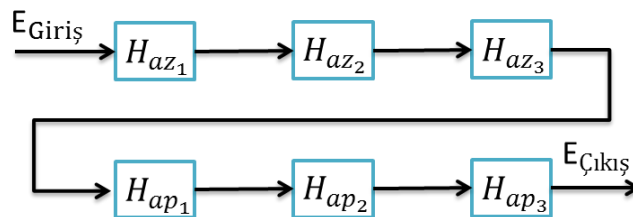
$$H_{AG}^{(6)}(z^{-1}) = \frac{0.0866(1+z^{-1})^6}{1+1.4529z^{-1}+1.8417z^{-2}+0.8844z^{-3}+0.5455z^{-4}+0.0555z^{-5}+0.0895z^{-6}} \quad (5.61)$$

dikkate alınarak, istenen yapıyı oluşturmak için sistemdeki parametreler belirlenmiş ve sonuçlar Çizelge 5.20’de verilmiştir.

Çizelge 5.20 Alçak geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.7$) (N=6)

Fonksiyon	Kuplaj ve Genlik Katsayıları	Faz Açısı (rad)	Sıfırlar ve Kutuplar
H_{ap_1}	$K1 = K2 = 0.4586 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 4.3557$	$z = 0.1441 + j0.3868$
H_{ap_2}	$K1 = K2 = 0.4586 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 1.9275$	$z = 0.1441 - j0.3868$
H_{ap_3}	$K1 = K2 = 0.8566 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 5.1262$	$z = -0.3100 + j0.7059$
H_{ap_4}	$K1 = K2 = 0.8566 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 1.1570$	$z = -0.3100 - j0.7059$
H_{ap_5}	$K1 = K2 = 0.5223 \ t_{45} = t_{82} = 2$	$\emptyset_{82} = 5.3513$	$z = -0.5606 + j0.7547$
H_{ap_6}	$K1 = K2 = 0.5223 \ t_{45} = t_{82} = 2$	$\emptyset_{82} = 0.9319$	$z = -0.5606 - j0.7547$
H_{az_1}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = \pi$	$z = -1$
H_{az_2}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = \pi$	$z = -1$
H_{az_3}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = \pi$	$z = -1$
H_{az_4}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = \pi$	$z = -1$
H_{az_5}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = \pi$	$z = -1$
H_{az_6}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = \pi$	$z = -1$

N=3 için yüksek geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin sıfır ve kutup bloklarının kaskad bağlantı şeması 5.43’te görülmektedir.



Şekil 5.43 Yüksek geçiren birinci tip Chebyshev filtre blokları (N=3) ($\omega_c = 0.3$)

N=3 için yapılan analizde, yüksek geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin transfer fonksiyonu,

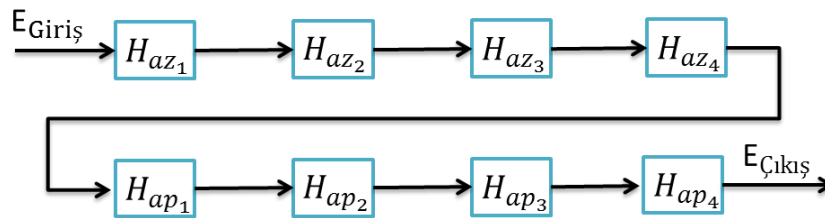
$$H_{YG}^{(3)}(z^{-1}) = \frac{0.3660(1-z^{-1})^3}{1-1.1287 z^{-1}+0.7347 z^{-2}-0.0648 z^{-3}} \quad (5.62)$$

dikkate alınarak, istenen yapıyı oluşturmak için sistemdeki parametreler belirlenmiş ve sonuçlar Çizelge 5.21’de verilmiştir.

Çizelge 5.21 Yüksek geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.3$) (N=3)

Fonksiyon	Kuplaj ve Genlik Katsayıları	Faz Açısı (rad)	Sıfırlar ve Kutuplar
H_{ap_1}	$K1 = K2 = 0.8813 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 4.0092$	$z = 0.5129 + j0.6050$
H_{ap_2}	$K1 = K2 = 0.8813 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 2.2740$	$z = 0.5129 - j0.6050$
H_{ap_3}	$K1 = K2 = 0.1144 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = \pi$	$z = 0.1029$
H_{az_1}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = 0$	$z = 1$
H_{az_2}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = 0$	$z = 1$
H_{az_3}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = 0$	$z = 1$

N=4 için yüksek geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin sıfır ve kutup bloklarının kaskad bağlantı şeması 5.44’te görülmektedir.



Şekil 5.44 Yüksek geçiren birinci tip Chebyshev filtre blokları (N=4) ($\omega_c = 0.3$)

N=4 için yapılan analizde, yüksek geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin transfer fonksiyonu,

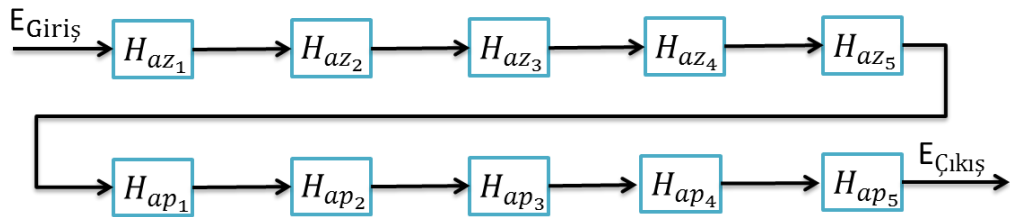
$$H_{YG}^{(4)}(z^{-1}) = \frac{0.2275(1-z^{-1})^4}{1-1.2554z^{-1}+1.1362z^{-2}-0.3295z^{-3}+0.1343z^{-4}} \quad (5.63)$$

dikkate alınarak, istenen yapıyı oluşturmak için sistemdeki parametreler belirlenmiş ve sonuçlar Çizelge 5.22’de verilmiştir.

Çizelge 5.22 Yüksek geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.3$) (N=4)

Fonksiyon	Kuplaj ve Genlik Katsayıları	Faz Açısı (rad)	Sıfırlar ve Kutuplar
H_{ap_1}	$K1 = K2 = 0.4665 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\phi_{82} = 4.4905$	$z = 0.0924 + j0.4095$
H_{ap_2}	$K1 = K2 = 0.4665 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\phi_{82} = 1.7927$	$z = 0.0924 - j0.4095$
H_{ap_3}	$K1 = K2 = 0.9699 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\phi_{82} = 4.0523$	$z = 0.5353 + j0.6896$
H_{ap_4}	$K1 = K2 = 0.9699 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\phi_{82} = 2.2309$	$z = 0.5353 - j0.6896$
H_{az_1}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\phi_{36} = 0$	$z = 1$
H_{az_2}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\phi_{36} = 0$	$z = 1$
H_{az_3}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\phi_{36} = 0$	$z = 1$
H_{az_4}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\phi_{36} = 0$	$z = 1$

N=5 için yüksek geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin sıfır ve kutup bloklarının kaskad bağlantı şeması 5.45’te görülmektedir.



Şekil 5.45 Yüksek geçiren birinci tip Chebyshev filtre blokları (N=5) ($\omega_c = 0.3$)

N=5 için yapılan analizde, yüksek geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin transfer fonksiyonu,

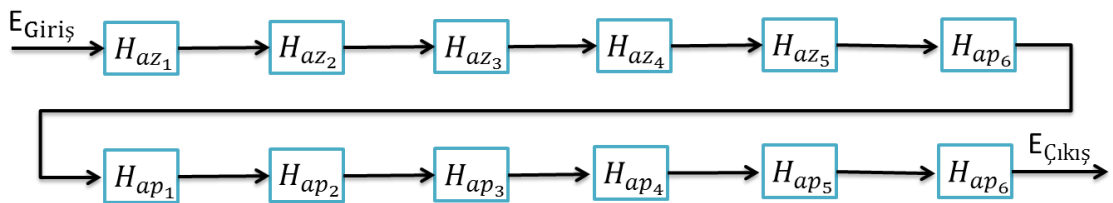
$$H_{YG}^{(5)}(z^{-1}) = \frac{0.1407(1-z^{-1})^5}{1-1.3521z^{-1}+1.4662z^{-2}-0.5264z^{-3}+0.2164z^{-4}+0.0598z^{-5}} \quad (5.64)$$

dikkate alınarak, istenen yapıyı oluşturmak için sistemdeki parametreler belirlenmiş ve sonuçlar Çizelge 5.23'te verilmiştir.

Çizelge 5.23 Yüksek geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.3$) (N=5)

Fonksiyon	Kuplaj ve Genlik Katsayıları	Faz Açısı (rad)	Sıfırlar ve Kutuplar
H_{ap_1}	$K1 = K2 = 0.0605 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\phi_{82} = 0$	$z = -0.1688$
H_{ap_2}	$K1 = K2 = 0.7912 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\phi_{82} = 4.3839$	$z = 0.2098 + j0.6155$
H_{ap_3}	$K1 = K2 = 0.7912 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\phi_{82} = 1.8993$	$z = 0.2098 - j0.6155$
H_{ap_4}	$K1 = K2 = 0.5086 \ t_{45} = t_{82} = 2$	$\phi_{82} = 4.0670$	$z = 0.5507 + j0.7313$
H_{ap_5}	$K1 = K2 = 0.5086 \ t_{45} = t_{82} = 2$	$\phi_{82} = 2.2162$	$z = 0.5507 - j0.7313$
H_{az_1}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\phi_{36} = 0$	$z = 1$
H_{az_2}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\phi_{36} = 0$	$z = 1$
H_{az_3}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\phi_{36} = 0$	$z = 1$
H_{az_4}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\phi_{36} = 0$	$z = 1$
H_{az_5}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\phi_{36} = 0$	$z = 1$

N=6 için yüksek geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin sıfır ve kutup bloklarının kaskad bağlantı şeması 5.46'da görülmektedir.



Şekil 5.46 Yüksek geçiren birinci tip Chebyshev filtre blokları (N=6) ($\omega_c = 0.3$)

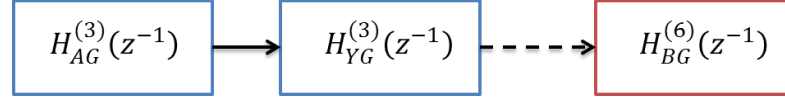
N=6 için yapılan analizde, yüksek geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin transfer fonksiyonu,

$$H_{YG}^{(6)}(z^{-1}) = \frac{0.0895(1-z^{-1})^6}{1-1.4529z^{-1}+1.8417z^{-2}-0.8844z^{-3}+0.5455z^{-4}-0.0555z^{-5}+0.0895z^{-6}} \quad (5.65)$$

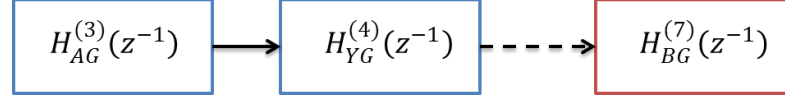
dikkate alınarak, istenen yapıyı oluşturmak için sistemdeki parametreler belirlenmiş ve sonuçlar Çizelge 5.24'te verilmiştir.

Çizelge 5.24 Yüksek geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.3$) (N=6)

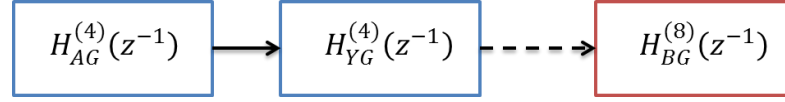
Fonksiyon	Kuplaj ve Genlik Katsayıları	Faz Açısı (rad)	Sıfırlar ve Kutuplar
H_{ap_1}	$K1 = K2 = 0.4586 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 5.0691$	$z = -0.1441 + j0.3868$
H_{ap_2}	$K1 = K2 = 0.4586 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 1.2141$	$z = -0.1441 - j0.3868$
H_{ap_3}	$K1 = K2 = 0.8566 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 4.2986$	$z = 0.3100 + j0.7059$
H_{ap_4}	$K1 = K2 = 0.8566 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 1.9846$	$z = 0.3100 - j0.7059$
H_{ap_5}	$K1 = K2 = 0.5223 \ t_{45} = t_{82} = 2$	$\emptyset_{82} = 4.0735$	$z = 0.5606 + j0.7547$
H_{ap_6}	$K1 = K2 = 0.5223 \ t_{45} = t_{82} = 2$	$\emptyset_{82} = 2.2097$	$z = 0.5606 - j0.7547$
H_{az_1}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = 0$	$z = 1$
H_{az_2}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = 0$	$z = 1$
H_{az_3}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = 0$	$z = 1$
H_{az_4}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = 0$	$z = 1$
H_{az_5}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = 0$	$z = 1$
H_{az_6}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = 0$	$z = 1$



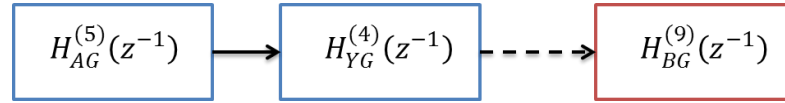
Şekil 5.47 Band geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin kaskad yapısı (N=6)



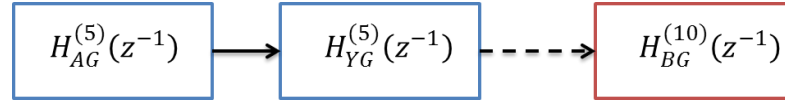
Şekil 5.48 Band geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin kaskad yapısı (N=7)



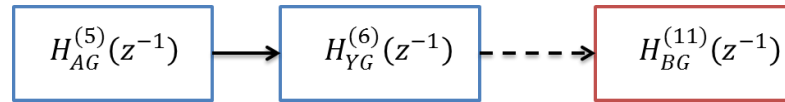
Şekil 5.49 Band geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin kaskad yapısı (N=8)



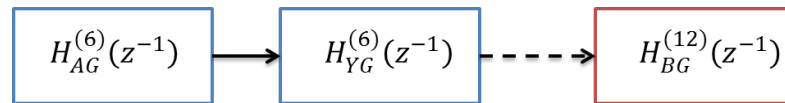
Şekil 5.50 Band geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin kaskad yapısı (N=9)



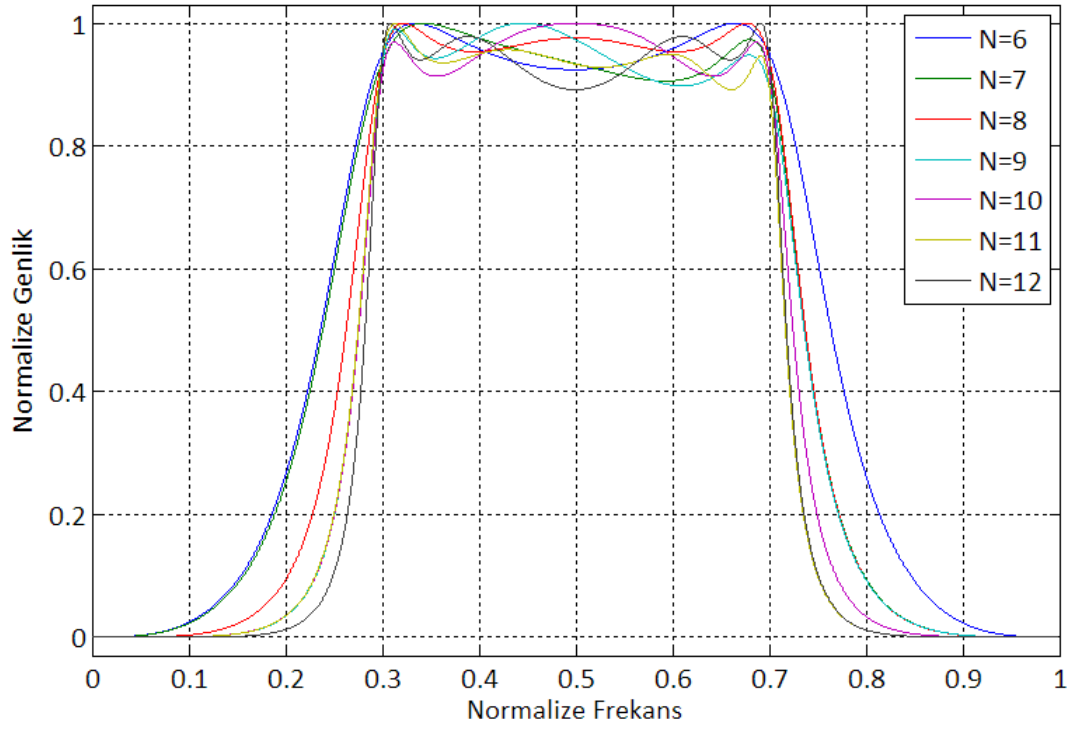
Şekil 5.51 Band geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin kaskad yapısı (N=10)



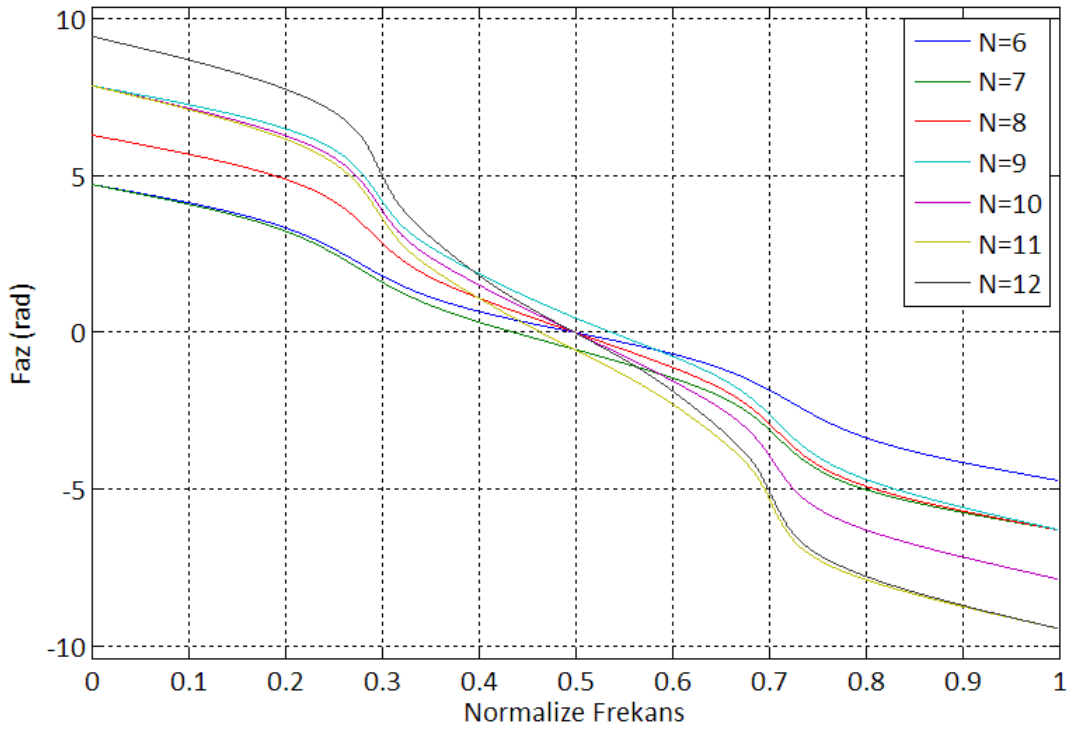
Şekil 5.52 Band geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin kaskad yapısı (N=11)



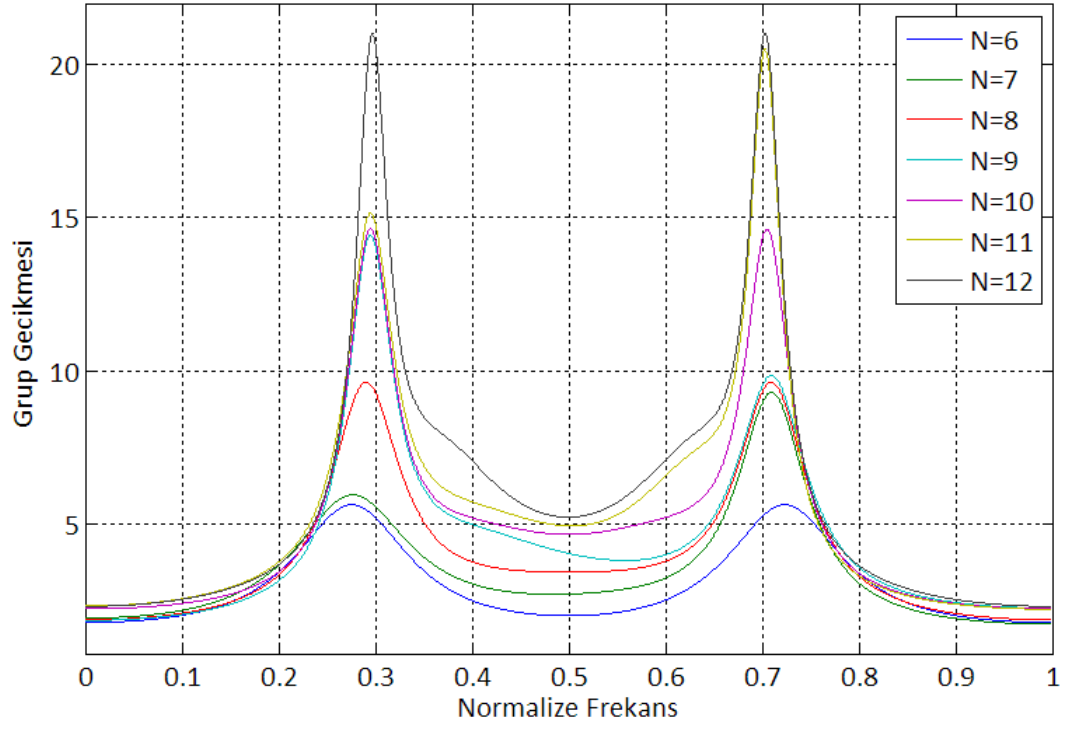
Şekil 5.53 Band geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin kaskad yapısı (N=12)



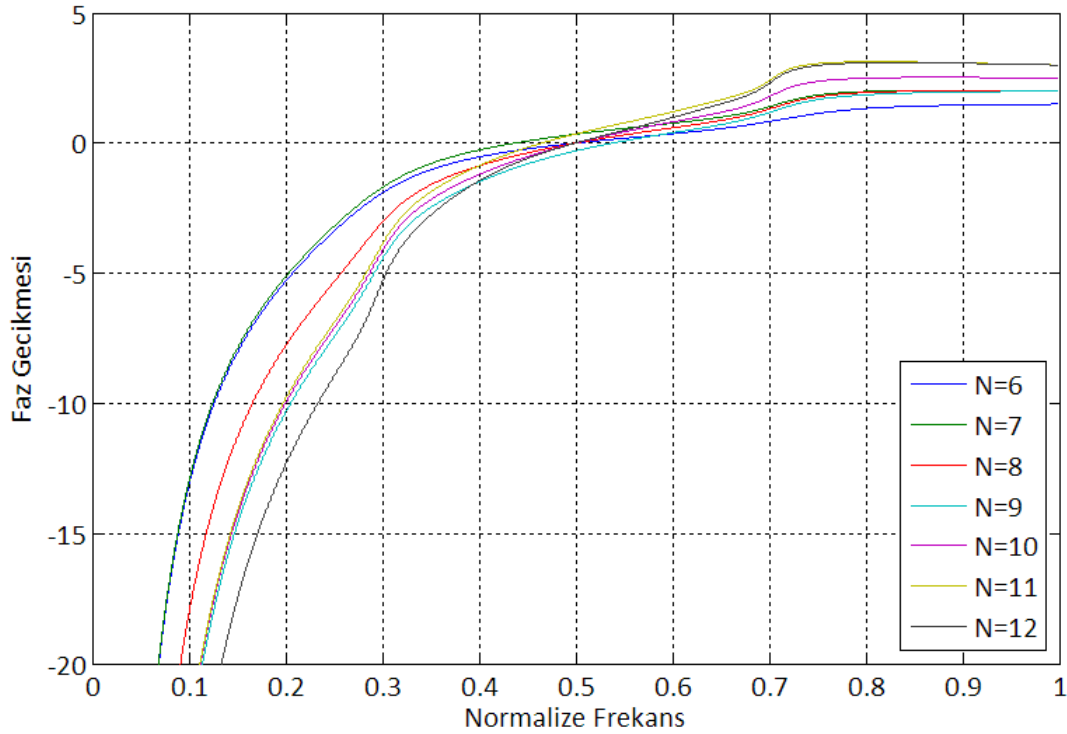
Şekil 5.54 Band geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin genlik cevabının normalize frekansa göre değişimi ($\omega_c = 0.3, 0.7$) (N=6-12)



Şekil 5.55 Band geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin faz cevabının normalize frekansa göre değişimi ($\omega_c = 0.3, 0.7$) (N=6-12)



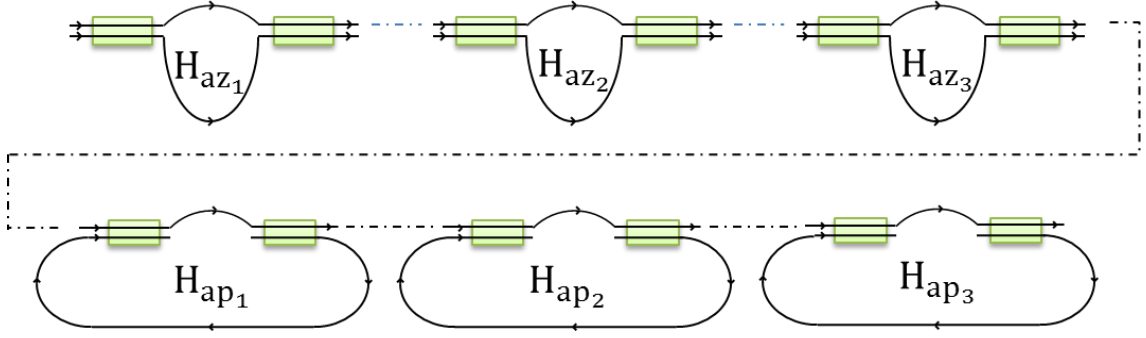
Şekil 5.56 Band geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin grup gecikmesinin normalize frekansa göre değişimi ($\omega_c = 0.3, 0.7$) (N=6-12)



Şekil 5.57 Band geçiren birinci tip Chebyshev filtrenin faz cevabının normalize frekansa göre değişimi ($\omega_c = 0.3, 0.7$) (N=6-12)

5.2.2 İkinci Tip Chebyshev Filtreler

Tüm blok yapılarında bulunan optik kuplörlerin zayıflama katsayıları γ_1 ve γ_2 değerleri 0.1 olarak ele alınmıştır. Benzer şekilde ϕ_{35} ve ϕ_{45} faz açıları, tüm kutup ve tüm sıfır bloklarında sıfır olarak seçilmiştir.

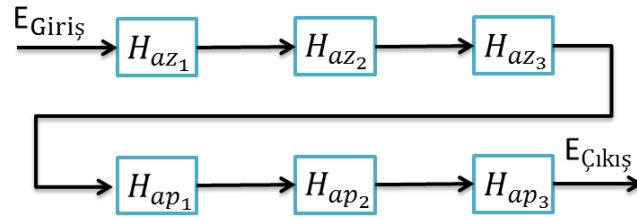


Şekil 5.58 Kaskad bağlı alçak geçiren ve yüksek geçiren Chebyshev ikinci tip filtre açık blok şeması (N=3)

Şekil 5.59'da gösterilen blok şemasının açık hali Şekil 5.58'de verilmiştir. Bu yapı tüm blokların kaskad olarak biraraya gelmesini göstermektedir. Açık blok şeması diğer filtre yapıları için benzer şekilde ifade edildiğinden tekrar tekrar çizilmeyecektir.

5.2.2.1 Alçak Geçiren İkinci Tip Chebyshev Filtreler

N=3 için alçak geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin sıfır ve kutup bloklarının kaskad bağlantı şeması Şekil 5.59'da görülmektedir.



Şekil 5.59 Alçak geçiren ikinci tip Chebyshev filtre blokları (N=3) ($\omega_c = 0.5$)

N=3 için yapılan analizde, alçak geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin transfer fonksiyonu,

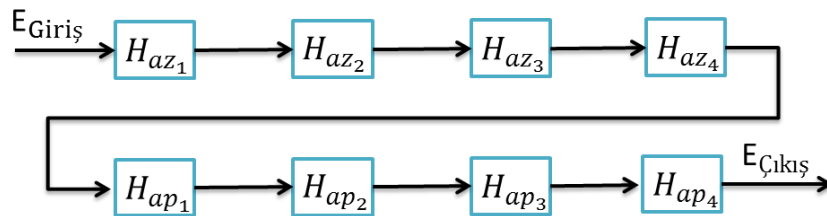
$$H_{AG}^{(3)}(z^{-1}) = \frac{0.1285(1+1.2857z^{-1}+1.2857z^{-2}+z^{-3})}{1-0.9200z^{-1}+0.5969z^{-2}-0.0897z^{-3}} \quad (5.66)$$

dikkate alınarak, istenen yapıyı oluşturmak için sistemdeki parametreler belirlenmiş ve sonuçlar Çizelge 5.25'te verilmiştir.

Çizelge 5.25 Alçak geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.5$) (N=3)

Fonksiyon	Kuplaj ve Genlik Katsayıları	Faz Açısı (rad)	Sıfırlar ve Kutuplar
H_{ap_1}	$K1 = K2 = 0.7489 \quad t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 4.1465$	$z = 0.3613+j0.5689$
H_{ap_2}	$K1 = K2 = 0.7489 \quad t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 2.1365$	$z = -0.3613-j0.5689$
H_{ap_3}	$K1 = K2 = 0.2192 \quad t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 3.1415$	$z = 0.1974$
H_{az_1}	$K1 = K2 = 0.5 \quad t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = \pi$	$z = -1$
H_{az_2}	$K1 = K2 = 0.5 \quad t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = 1.7141$	$z = -0.1429+j0.9897$
H_{az_3}	$K1 = K2 = 0.5 \quad t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = 4.5690$	$z = -0.1429-j0.9897$

N=4 için alçak geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin sıfır ve kutup bloklarının kaskad bağlantı şeması Şekil 5.60'ta görülmektedir.



Şekil 5.60 Alçak geçiren ikinci tip Chebyshev filtre blokları (N=4) ($\omega_c = 0.5$)

N=4 için yapılan analizde, alçak geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin transfer fonksiyonu,

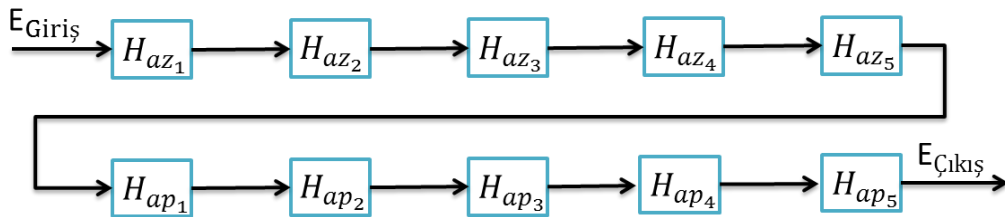
$$H_{AG}^{(4)}(z^{-1}) = \frac{0.1430(1+1.6471z^{-1}+2.2353z^{-2}+1.6471z^{-3}+z^{-4})}{1-0.5717z^{-1}+0.6924z^{-2}-0.0866z^{-3}+0.0428z^{-4}} \quad (5.67)$$

dikkate alınarak, istenen yapıyı oluşturmak için sistemdeki parametreler belirlenmiş ve sonuçlar Çizelge 5.26'da verilmiştir.

Çizelge 5.26 Alçak geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.5$) (N=4)

Fonksiyon	Kuplaj ve Genlik Katsayıları	Faz Açısı (rad)	Sıfırlar ve Kutuplar
H_{ap_1}	$K1 = K2 = 0.3028 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 4.5500$	$z = 0.0441+j0.2690$
H_{ap_2}	$K1 = K2 = 0.3028 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 1.7331$	$z = 0.0441-j0.2690$
H_{ap_3}	$K1 = K2 = 0.8428 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 4.3879$	$z = 0.2418+j0.7190$
H_{ap_4}	$K1 = K2 = 0.8428 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 1.8952$	$z = 0.2418-j0.7190$
H_{az_1}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = 2.4106$	$z = -0.7445+j0.6676$
H_{az_2}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = 3.8726$	$z = -0.7445-j0.6676$
H_{az_3}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = 1.6499$	$z = -0.0790+j0.9969$
H_{az_4}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = 4.6333$	$z = -0.0790-j0.9969$

N=5 için alçak geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin sıfır ve kutup bloklarının kaskad bağlantı şeması Şekil 5.61’de görülmektedir.



Şekil 5.61 Alçak geçiren ikinci tip Chebyshev filtre blokları (N=5) ($\omega_c = 0.5$)

N=5 için yapılan analizde, alçak geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin transfer fonksiyonu,

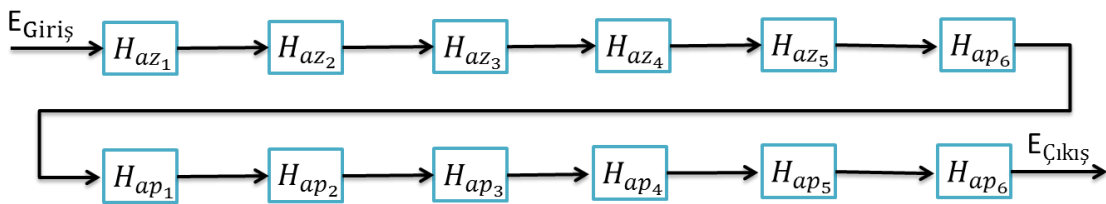
$$H_{AG}^{(5)}(z^{-1}) = \frac{0.1507(1+2.0732z^{-1}+3.1707z^{-2}+3.1707z^{-3}+2.0732z^{-4}+z^{-5})}{1-0.1815z^{-1}+0.8450z^{-2}+0.0598z^{-3}+0.1401z^{-4}+0.0185z^{-5}} \quad (5.68)$$

dikkate alınarak, istenen yapıyı oluşturmak için sistemdeki parametreler belirlenmiş ve sonuçlar Çizelge 5.27’de verilmiştir.

Çizelge 5.27 Alçak geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.5$) (N=5)

Fonksiyon	Kuplaj ve Genlik Katsayıları	Faz Açısı (rad)	Sıfırlar ve Kutuplar
H_{ap_1}	$K1 = K2 = 0.9153 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 4.5047$	$z = 0.1698+j0.8062$
H_{ap_2}	$K1 = K2 = 0.9153 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 1.7784$	$z = 0.1698-j0.8062$
H_{ap_3}	$K1 = K2 = 0.5163 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 4.7471$	$z = -0.0161+j0.4644$
H_{ap_4}	$K1 = K2 = 0.5163 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 1.5360$	$z = -0.0161-j0.4644$
H_{ap_5}	$K1 = K2 = 0.1398 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 0$	$z = -0.1259$
H_{az_1}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = \pi$	$z = -1$
H_{az_2}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = 2.0788$	$z = -0.4864+j0.8737$
H_{az_3}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = 4.2044$	$z = -0.4864-j0.8737$
H_{az_4}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = 1.6210$	$z = -0.0501+j0.9987$
H_{az_5}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = 4.6622$	$z = -0.0501-j0.9987$

N=6 için alçak geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin sıfır ve kutup bloklarının kaskad bağlantı şeması Şekil 5.62’de görülmektedir.



Şekil 5.62 Alçak geçiren ikinci tip Chebyshev filtre blokları (N=6) ($\omega_c = 0.5$)

N=6 için yapılan analizde, alçak geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin transfer fonksiyonu,

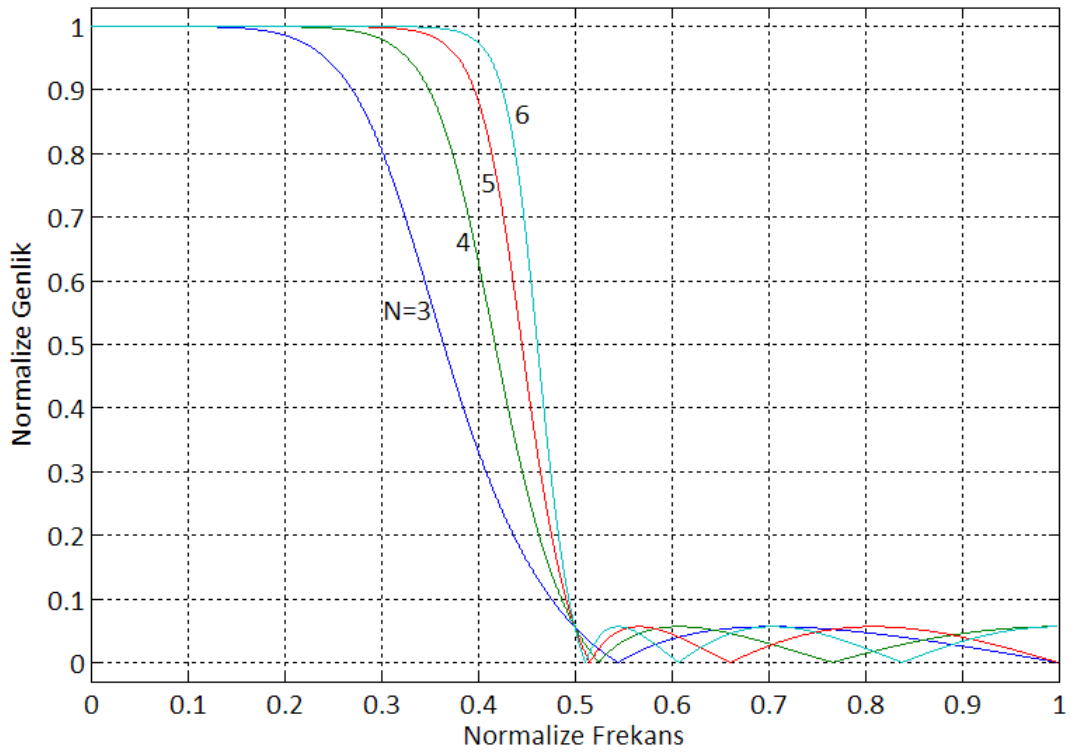
$$H_{AG}^{(6)}(z^{-1}) = \frac{0.1555(1+2.4848z^{-1}+4.3333z^{-2}+5.0505z^{-3}+4.3333z^{-4}+2.4848z^{-5}+z^{-6})}{1+0.2228z^{-1}+1.1181z^{-2}+0.3864z^{-3}+0.3587z^{-4}+0.1052z^{-5}+0.0249z^{-6}} \quad (5.69)$$

dikkate alınarak, istenen yapıyı oluşturmak için sistemdeki parametreler belirlenmiş ve sonuçlar Çizelge 5.28’de verilmiştir.

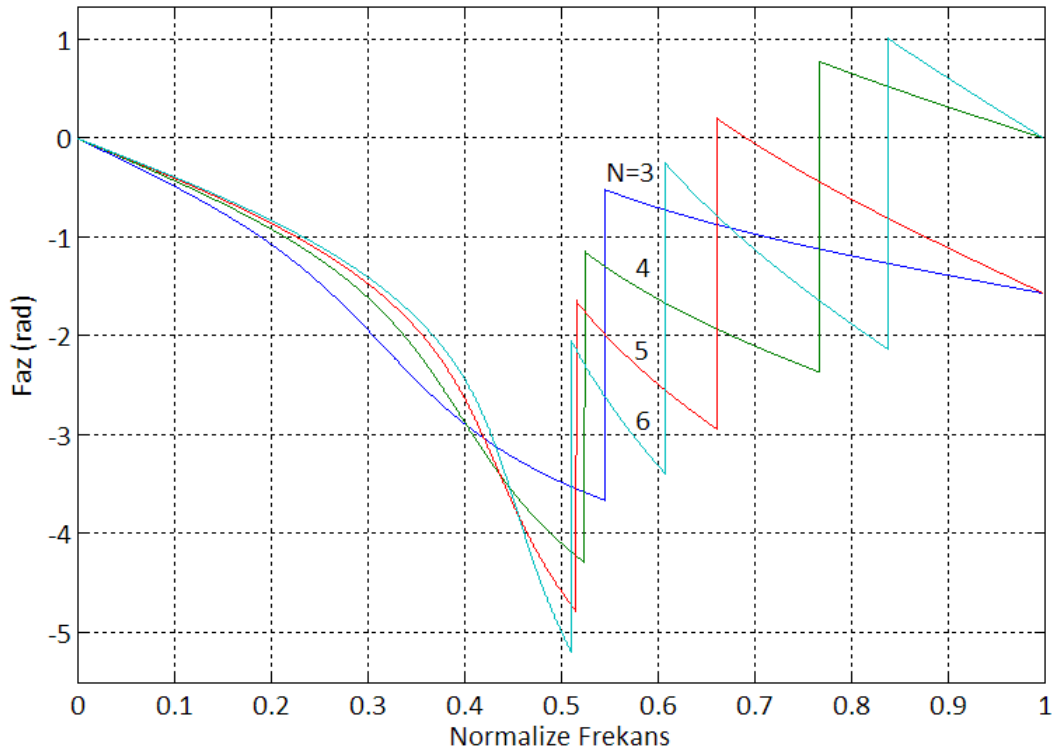
Çizelge 5.28 Alçak geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.5$) (N=6)

Fonksiyon	Kuplaj ve Genlik Katsayıları	Faz Açısı (rad)	Sıfırlar ve Kutuplar
H_{ap_1}	$K1 = K2 = 0.3365 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 5.4307$	$z = -0.1994+j0.2281$
H_{ap_2}	$K1 = K2 = 0.3365 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 0.8524$	$z = -0.1994-j0.2281$
H_{ap_3}	$K1 = K2 = 0.9649 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 4.5684$	$z = 0.1245+j0.8595$
H_{ap_4}	$K1 = K2 = 0.9649 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 1.7147$	$z = 0.1245-j0.8595$
H_{ap_5}	$K1 = K2 = 0.6671 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 4.7733$	$z = -0.0366+j0.5993$
H_{ap_6}	$K1 = K2 = 0.6671 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 1.5098$	$z = -0.0366-j0.5993$
H_{az_1}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = 2.6351$	$z = -0.8744+j0.4851$
H_{az_2}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = 3.6481$	$z = -0.8744-j0.4851$
H_{az_3}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = 1.6055$	$z = -0.0347+j0.9994$
H_{az_4}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = 4.6777$	$z = -0.0347-j0.9994$
H_{az_5}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = 1.9106$	$z = -0.3333+j0.9428$
H_{az_6}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = 4.3726$	$z = -0.3333-j0.9428$

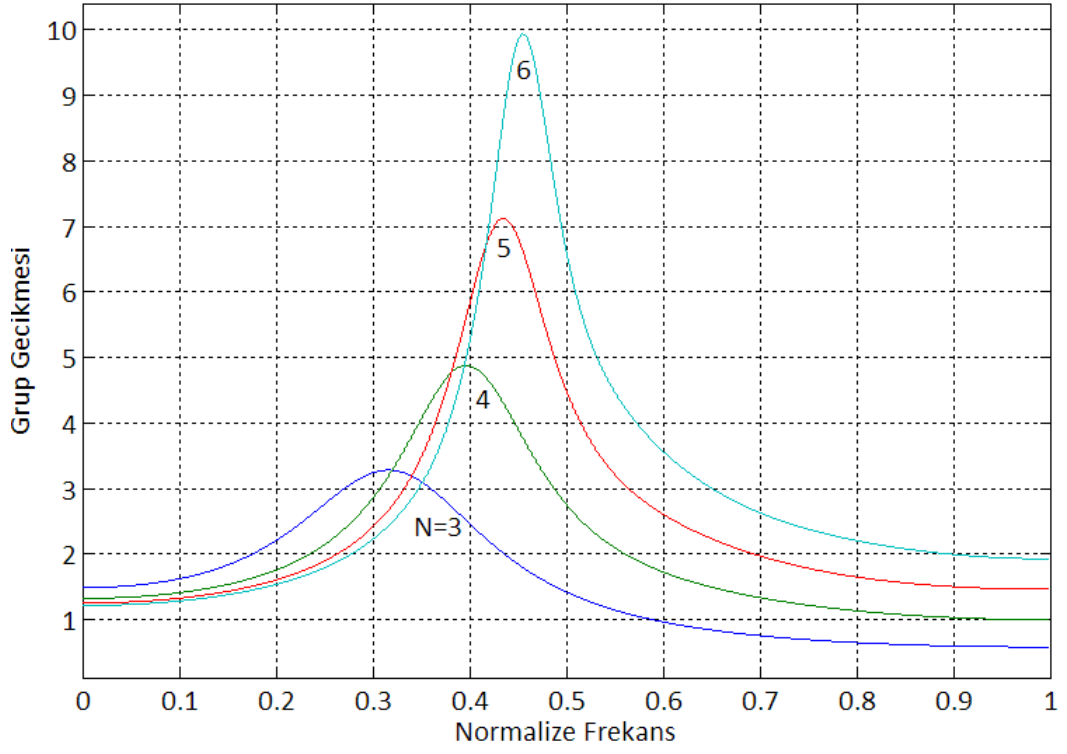
Bu değerler ile oluşturulan normalize kesim frekansı 0.5 olan, N=3, 4, 5 ve 6. dereceden alçak geçiren ikinci tip Chebyshev filtreler için, genlik cevabı, faz cevabı, grup gecikmesi ve faz gecikmesi grafikleri, sırasıyla Şekil 5.63, Şekil 5.64, Şekil 5.65 ve Şekil 5.66’da gösterilmiştir. Şekil 5.63’te görüldüğü gibi durdurma bandında ikinci tip Chebyshev filtrenin dalgalama özelliği söz konusudur.



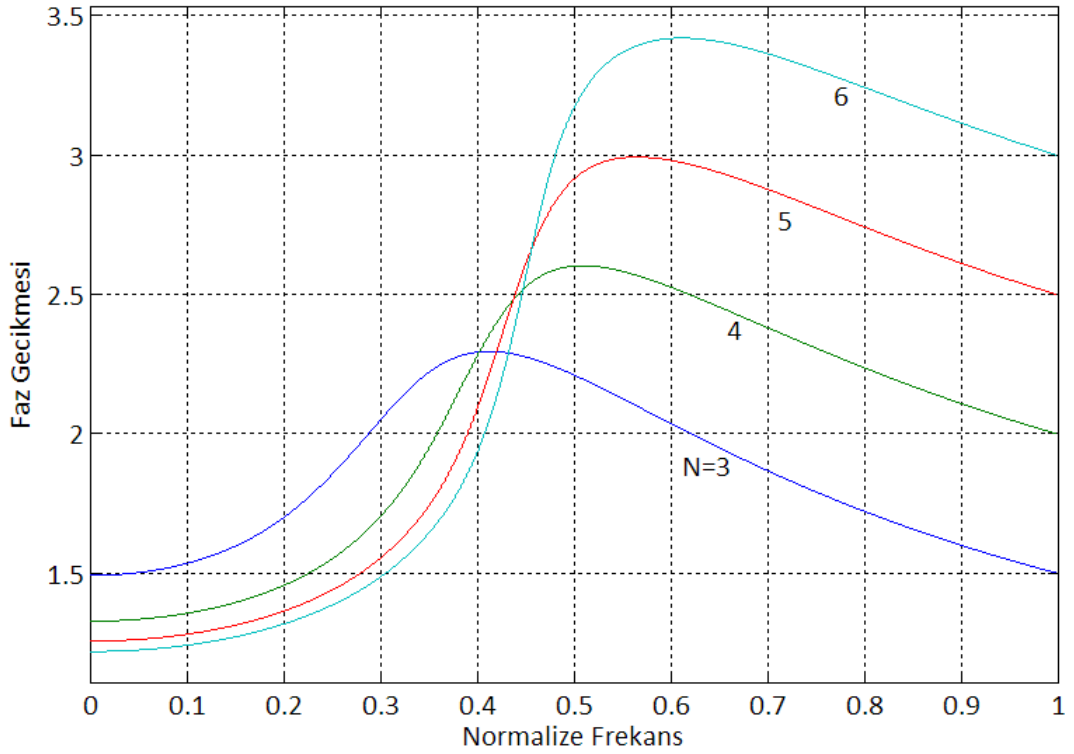
Şekil 5.63 Alçak geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin genlik cevabının normalize frekansa göre değişimi ($N=3, 4, 5$ ve 6) ($\omega_c = 0.5$)



Şekil 5.64 Alçak geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin faz cevabının normalize frekansa göre değişimi ($N=3, 4, 5$ ve 6) ($\omega_c = 0.5$)



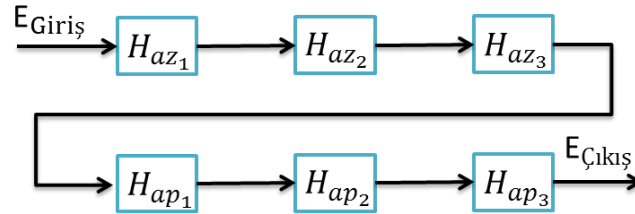
Şekil 5.65 Alçak geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin grup gecikmesinin normalize frekansa göre değişimi ($N=3, 4, 5$ ve 6) ($\omega_c = 0.5$)



Şekil 5.66 Alçak geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin faz gecikmesinin normalize frekansa göre değişimi ($N=3, 4, 5$ ve 6) ($\omega_c = 0.5$)

5.2.2.2 Yüksek Geçiren İkinci Tip Chebyshev Filtreler

N=3 için yüksek geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin sıfır ve kutup bloklarının kaskad bağlantı şeması Şekil 5.67’de görülmektedir.



Şekil 5.67 Yüksek geçiren ikinci tip Chebyshev filtre blokları (N=3) ($\omega_c = 0.5$)

N=3 için yapılan analizde, yüksek geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin transfer fonksiyonu,

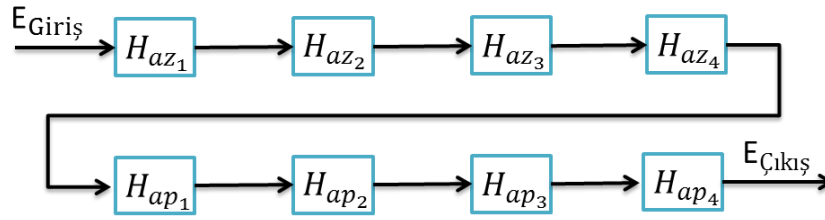
$$H_{YG}^{(3)}(z^{-1}) = \frac{0.1285(1 - 1.2857z^{-1} + 1.2857z^{-2} - z^{-3})}{1 + 0.9200z^{-1} + 0.5969z^{-2} + 0.0897z^{-3}} \quad (5.70)$$

dikkate alınarak, istenen yapıyı oluşturmak için sistemdeki parametreler belirlenmiş ve sonuçlar Çizelge 5.29’da verilmiştir.

Çizelge 5.29 Yüksek geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.5$) (N=3)

Fonksiyon	Kuplaj ve Genlik Katsayıları	Faz Açısı (rad)	Sıfırlar ve Kutuplar
H_{ap_1}	$K1 = K2 = 0.7488 \quad t_{45} = t_{82} = 1$	$\phi_{82} = 5.2781$	$z = -0.3613 + j0.5689$
H_{ap_2}	$K1 = K2 = 0.7488 \quad t_{45} = t_{82} = 1$	$\phi_{82} = 1.0050$	$z = -0.3613 - j0.5689$
H_{ap_3}	$K1 = K2 = 0.2192 \quad t_{45} = t_{82} = 1$	$\phi_{82} = 0$	$z = -0.1974$
H_{az_1}	$K1 = K2 = 0.5 \quad t_{45} = t_{36} = 1$	$\phi_{36} = 0$	$z = 1$
H_{az_2}	$K1 = K2 = 0.5 \quad t_{45} = t_{36} = 1$	$\phi_{36} = 1.4274$	$z = 0.1429 + j0.9897$
H_{az_3}	$K1 = K2 = 0.5 \quad t_{45} = t_{36} = 1$	$\phi_{36} = 4.8557$	$z = 0.1429 - j0.9897$

N=4 için yüksek geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin sıfır ve kutup bloklarının kaskad bağlantı şeması Şekil 5.68’de görülmektedir.



Şekil 5.68 Yüksek geçiren ikinci tip Chebyshev filtre blokları (N=4) ($\omega_c = 0.5$)

N=4 için yapılan analizde, yüksek geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin transfer fonksiyonu,

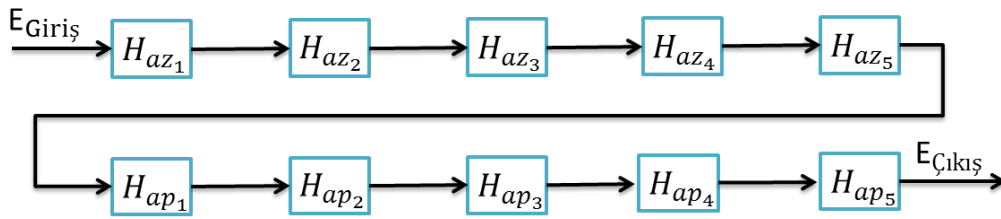
$$H_{YG}^{(4)}(z^{-1}) = \frac{0.1430(1 - 1.6471z^{-1} + 2.2353z^{-2} - 1.6471z^{-3} + z^{-4})}{1 + 0.5717z^{-1} + 0.6924z^{-2} + 0.0866z^{-3} + 0.0428z^{-4}} \quad (5.71)$$

dikkate alınarak, istenen yapıyı oluşturmak için sistemdeki parametreler belirlenmiş ve sonuçlar Çizelge 5.30’da verilmiştir.

Çizelge 5.30 Yüksek geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.5$) (N=4)

Fonksiyon	Kuplaj ve Genlik Katsayıları	Faz Açısı (rad)	Sıfırlar ve Kutuplar
H_{ap_1}	$K1 = K2 = 0.3028 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\phi_{82} = 4.8747$	$z = -0.0441 + j0.2690$
H_{ap_2}	$K1 = K2 = 0.3028 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\phi_{82} = 1.4084$	$z = -0.0441 - j0.2690$
H_{ap_3}	$K1 = K2 = 0.8428 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\phi_{82} = 5.0368$	$z = -0.2418 + j0.7190$
H_{ap_4}	$K1 = K2 = 0.8428 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\phi_{82} = 1.2464$	$z = -0.2418 - j0.7190$
H_{az_1}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\phi_{36} = 0.7310$	$z = 0.7445 + j0.6676$
H_{az_2}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\phi_{36} = 5.5522$	$z = 0.7445 - j0.6676$
H_{az_3}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\phi_{36} = 1.4917$	$z = 0.0790 + j0.9969$
H_{az_4}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\phi_{36} = 4.7915$	$z = 0.0790 - j0.9969$

N=5 için yüksek geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin sıfır ve kutup bloklarının kaskad bağlantı şeması Şekil 5.69'da görülmektedir.



Şekil 5.69 Yüksek geçiren ikinci tip Chebyshev filtre blokları (N=5) ($\omega_c = 0.5$)

N=5 için yapılan analizde, yüksek geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin transfer fonksiyonu,

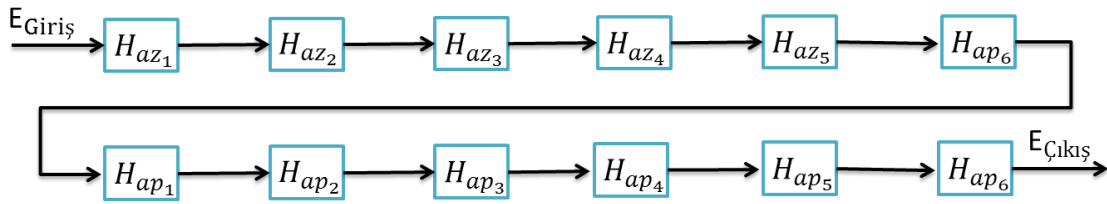
$$H_{YG}^{(5)}(z^{-1}) = \frac{0.1507(1 - 2.0732z^{-1} + 3.1707z^{-2} - 3.1707z^{-3} + 2.0732z^{-4} - z^{-5})}{1 + 0.1815z^{-1} + 0.8450z^{-2} - 0.0598z^{-3} + 0.1401z^{-4} - 0.0185z^{-5}} \quad (5.72)$$

dikkate alınarak, istenen yapıyı oluşturmak için sistemdeki parametreler belirlenmiş ve sonuçlar Çizelge 5.31'de verilmiştir.

Çizelge 5.31 Yüksek geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.5$) (N=5)

Fonksiyon	Kuplaj ve Genlik Katsayıları	Faz Açısı (rad)	Sıfırlar ve Kutuplar
H_{ap_1}	$K1 = K2 = 0.9153 \quad t_{45} = t_{82} = 1$	$\phi_{82} = 4.9200$	$z = -0.1698 + j0.8062$
H_{ap_2}	$K1 = K2 = 0.9153 \quad t_{45} = t_{82} = 1$	$\phi_{82} = 1.3632$	$z = -0.1698 - j0.8062$
H_{ap_3}	$K1 = K2 = 0.5163 \quad t_{45} = t_{82} = 1$	$\phi_{82} = 4.6776$	$z = 0.0161 + j0.4644$
H_{ap_4}	$K1 = K2 = 0.5163 \quad t_{45} = t_{82} = 1$	$\phi_{82} = 1.6055$	$z = 0.0161 - j0.4644$
H_{ap_5}	$K1 = K2 = 0.1398 \quad t_{45} = t_{82} = 1$	$\phi_{82} = \pi$	$z = 0.1259$
H_{az_1}	$K1 = K2 = 0.5 \quad t_{45} = t_{36} = 1$	$\phi_{36} = 0$	$z = 1$
H_{az_2}	$K1 = K2 = 0.5 \quad t_{45} = t_{36} = 1$	$\phi_{36} = 1.0628$	$z = 0.4864 + j0.8737$
H_{az_3}	$K1 = K2 = 0.5 \quad t_{45} = t_{36} = 1$	$\phi_{36} = 5.2204$	$z = 0.4864 - j0.8737$
H_{az_4}	$K1 = K2 = 0.5 \quad t_{45} = t_{36} = 1$	$\phi_{36} = 1.5206$	$z = 0.0501 + j0.9987$
H_{az_5}	$K1 = K2 = 0.5 \quad t_{45} = t_{36} = 1$	$\phi_{36} = 4.7625$	$z = 0.0501 - j0.9987$

N=6 için yüksek geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin sıfır ve kutup bloklarının kaskad bağlantı şeması Şekil 5.70'te görülmektedir.



Şekil 5.70 Yüksek geçiren ikinci tip Chebyshev filtre blokları (N=6) ($\omega_c = 0.5$)

N=6 için yapılan analizde, yüksek geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin transfer fonksiyonu,

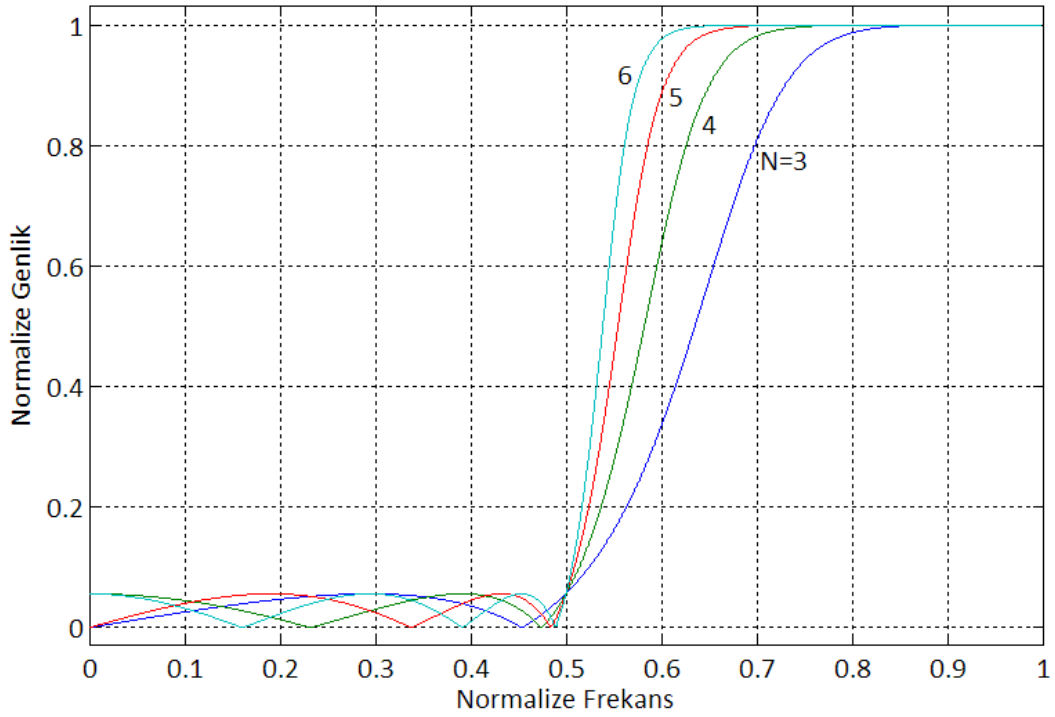
$$H_{YG}^{(6)}(z^{-1}) = \frac{0.1555(1-2.4848z^{-1}+4.3333z^{-2}-5.0505z^{-3}+4.3333z^{-4}-2.4848z^{-5}+z^{-6})}{1-0.2228z^{-1}+1.1181z^{-2}-0.3864z^{-3}+0.3587z^{-4}-0.1052z^{-5}+0.0249z^{-6}} \quad (5.73)$$

dikkate alınarak, istenen yapıyı oluşturmak için sistemdeki parametreler belirlenmiş ve sonuçlar Çizelge 5.32’de verilmiştir.

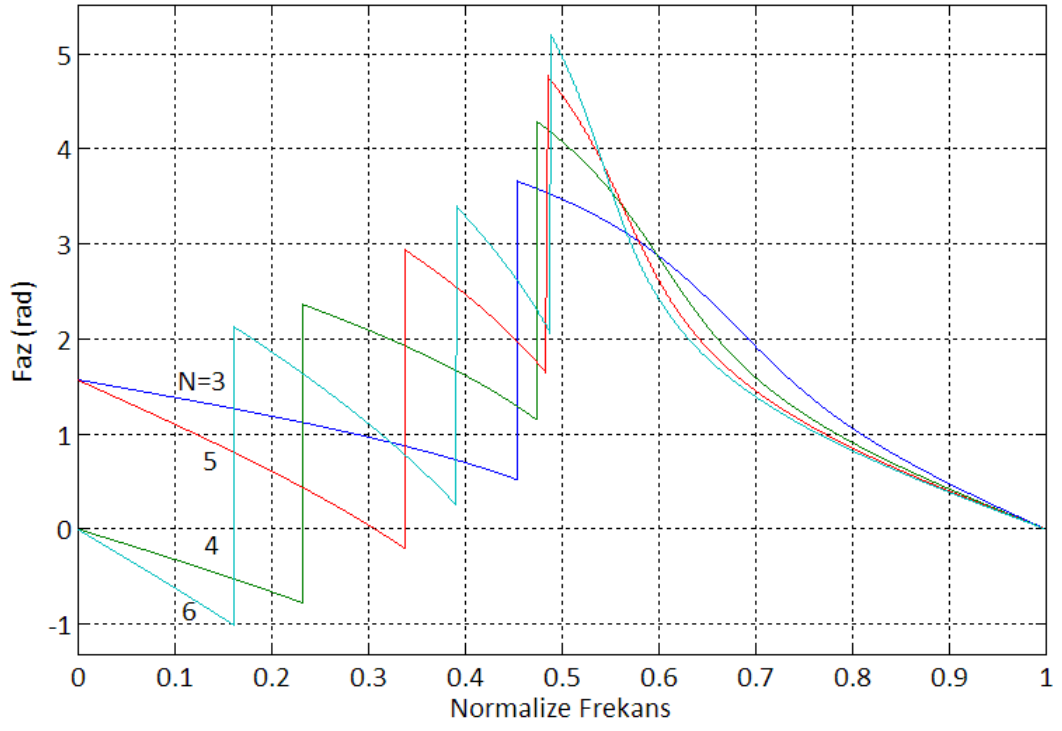
Çizelge 5.32 Yüksek geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.5$) (N=6)

Fonksiyon	Kuplaj ve Genlik Katsayıları	Faz Açısı (rad)	Sıfırlar ve Kutuplar
H_{ap_1}	$K1 = K2 = 0.3365 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 3.9940$	$z = 0.1994+j0.2281$
H_{ap_2}	$K1 = K2 = 0.3365 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 2.2892$	$z = 0.1994-j0.2281$
H_{ap_3}	$K1 = K2 = 0.9649 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 4.8563$	$z = -0.1245+j0.8595$
H_{ap_4}	$K1 = K2 = 0.9649 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 1.4269$	$z = -0.1245-j0.8595$
H_{ap_5}	$K1 = K2 = 0.6671 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 4.6514$	$z = 0.0366+j0.5993$
H_{ap_6}	$K1 = K2 = 0.6671 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 1.6317$	$z = 0.0366-j0.5993$
H_{az_1}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = 0.5065$	$z = 0.8744+j0.4851$
H_{az_2}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = 5.7767$	$z = 0.8744-j0.4851$
H_{az_3}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = 1.5361$	$z = 0.0347+j0.9994$
H_{az_4}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = 4.7471$	$z = 0.0347-j0.9994$
H_{az_5}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = 1.2310$	$z = 0.3333+j0.9428$
H_{az_6}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = 5.0522$	$z = 0.3333-j0.9428$

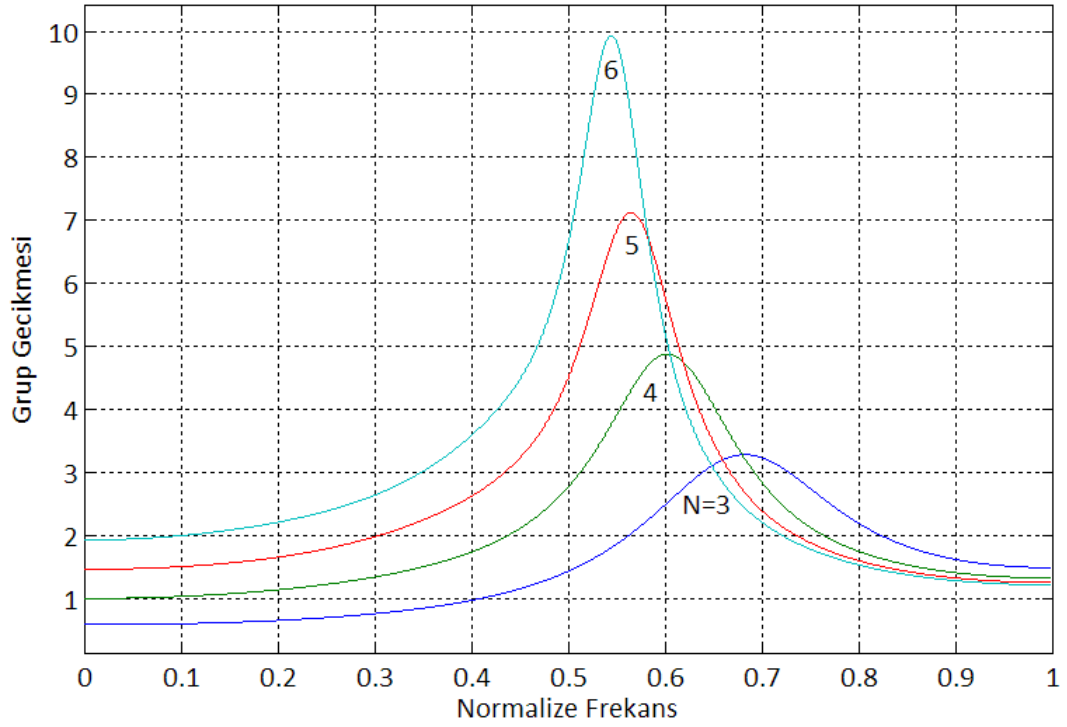
Bu değerler ile oluşturulan normalize kesim frekansı 0.5 olan, $N=3, 4, 5$ ve 6. dereceden yüksek geçiren ikinci tip Chebyshev filtreler için, genlik cevabı, faz cevabı, grup gecikmesi ve faz gecikmesi grafikleri, sırasıyla Şekil 5.71, Şekil 5.72, Şekil 5.73 ve Şekil 5.74'te gösterilmiştir. Şekil 5.71'de görüldüğü gibi durdurma bandında ikinci tip Chebyshev filtrenin dalgalama özelliği söz konusudur.



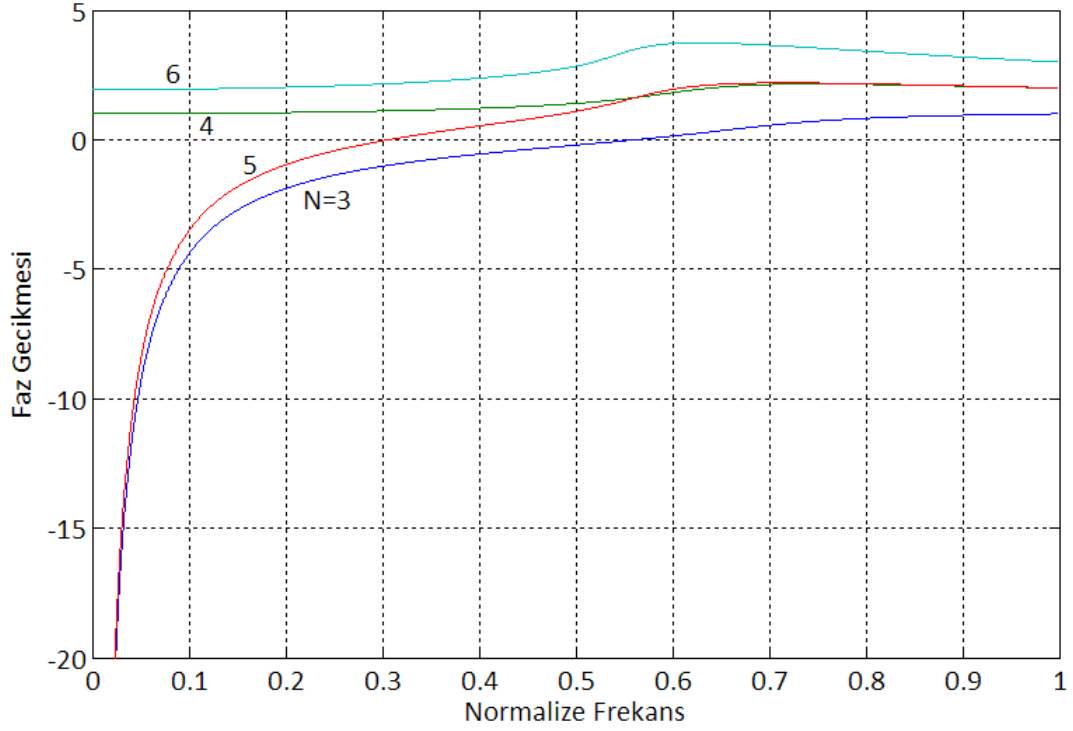
Şekil 5.71 Yüksek geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin genlik cevabının normalize frekansa göre değişimi ($N=3, 4, 5$ ve 6) ($\omega_c = 0.5$)



Şekil 5.72 Yüksek geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin faz cevabının normalize frekansa göre değişimi ($N=3, 4, 5$ ve 6) ($\omega_c = 0.5$)



Şekil 5.73 Yüksek geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin grup gecikmesinin normalize frekansa göre değişimi ($N=3, 4, 5$ ve 6) ($\omega_c = 0.5$)



Şekil 5.74 Yüksek geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin faz gecikmesinin normalize frekansa göre değişimi ($N=3, 4, 5$ ve 6) ($\omega_c = 0.5$)

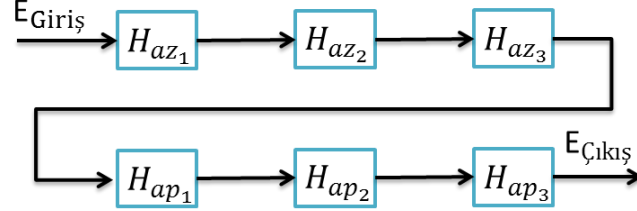
5.2.2.3 Band Geçiren İkinci Tip Chebyshev Filtreler ($\omega_c = 0.2 - 0.8$)

Band geçiren filtre karakteristiklerinin elde edilmesi için kesim frekanslarının uygun olarak seçilmesi gerekmektedir. İki farklı normalize frekans varyasyonu dikkate alınarak oluşturulan filtrelerin sistem parametreleri, normalize kesim frekansları farklı olduğu için Bölüm 5.2.2.1 ve Bölüm 5.2.2.2’de elde edilen alçak geçiren ve yüksek geçiren ikinci tip Chebyshev filtrelerden farklıdır.

$N=3, 4, 5$ ve 6 . dereceden, normalize kesim frekansı 0.2 olarak seçilen yüksek geçiren ikinci tip Chebyshev filtreler ve $N=3, 4, 5$ ve 6 . dereceden, normalize kesim frekansı 0.8 olarak seçilen alçak geçiren ikinci tip Chebyshev filtrelerin sistem parametreleri Çizelge 5.33 ve Çizelge 5.40 arasındaki çizelgelerde verilmiştir. $N=6, 7, 8, 9, 10, 11$ ve 12 . dereceden ikinci tip band geçiren Chebyshev filtre Şekil 5.83 ve Şekil 5.89 arasında kalan şekillerde gösterildiği gibi alçak geçiren ikinci tip Chebyshev filtre ile yüksek geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin kaskad olarak birleştirilmesiyle elde edilmiştir. Normalize kesim frekansı 0.2 ve 0.8 olan band geçiren ikinci tip Chebyshev filtreler için

genlik cevabı, faz cevabı, grup gecikmesi ve faz gecikmesi grafikleri, sırasıyla Şekil 5.90, Şekil 5.91, Şekil 5.92 ve Şekil 5.93’de gösterilmiştir.

N=3 için alçak geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin sıfır ve kutup bloklarının kaskad bağlantı şeması Şekil 5.75’te görülmektedir.



Şekil 5.75 Alçak geçiren ikinci tip Chebyshev filtre blokları (N=3) ($\omega_c = 0.8$)

N=3 için yapılan analizde, alçak geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin transfer fonksiyonu,

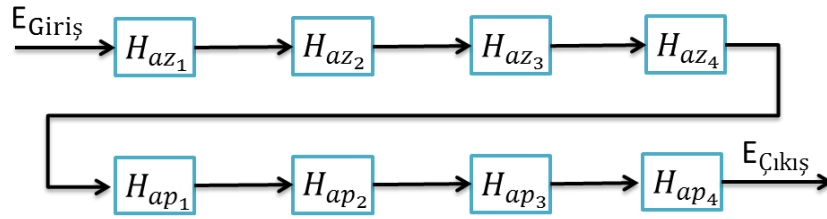
$$H_{AG}^{(3)}(z^{-1}) = \frac{0.4041(1+2.7065 z^{-1}+2.7065 z^{-2}+z^{-3})}{1+1.1096 z^{-1}+0.7257 z^{-2}+0.1600 z^{-3}} \quad (5.74)$$

dikkate alınarak, istenen yapıyı oluşturmak için sistemdeki parametreler belirlenmiş ve sonuçlar Çizelge 5.33’te verilmiştir.

Çizelge 5.33 Alçak geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.8$) (N=3)

Fonksiyon	Kuplaj ve Genlik Katsayıları	Faz Açısı (rad)	Sıfırlar ve Kutuplar
H_{ap_1}	$K1 = K2 = 0.3856 \quad t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 0$	$z = -0.3471$
H_{ap_2}	$K1 = K2 = 0.7545 \quad t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 5.3086$	$z = -0.3813 + j0.5619$
H_{ap_3}	$K1 = K2 = 0.7545 \quad t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 0.9746$	$z = -0.3813 - j0.5619$
H_{az_1}	$K1 = K2 = 0.5 \quad t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = \pi$	$z = -1$
H_{az_2}	$K1 = K2 = 0.5 \quad t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = 2.5930$	$z = -0.8533 + j0.5215$
H_{az_3}	$K1 = K2 = 0.5 \quad t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = 3.6902$	$z = -0.8533 - j0.5215$

N=4 için alçak geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin sıfır ve kutup bloklarının kaskad bağlantı şeması Şekil 5.76'da görülmektedir.



Şekil 5.76 Alçak geçiren ikinci tip Chebyshev filtre blokları (N=4) ($\omega_c = 0.8$)

N=4 için yapılan analizde, alçak geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin transfer fonksiyonu,

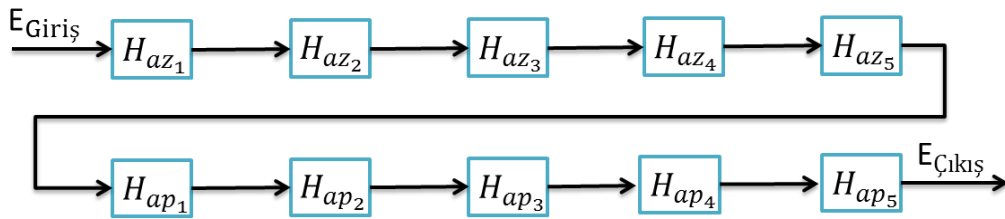
$$H_{AG}^{(4)}(z^{-1}) = \frac{0.4396(1+3.6084z^{-1}+5.2370z^{-2}+3.6084z^{-3}+z^{-4})}{1+2.1130z^{-1}+2.0625z^{-2}+0.9855z^{-3}+0.1934z^{-4}} \quad (5.75)$$

dikkate alınarak, istenen yapıyı oluşturmak için sistemdeki parametreler belirlenmiş ve sonuçlar Çizelge 5.34'te verilmiştir.

Çizelge 5.34 Alçak geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.8$) (N=4)

Fonksiyon	Kuplaj ve Genlik Katsayıları	Faz Açısı (rad)	Sıfırlar ve Kutuplar
H_{ap1}	$K1 = K2 = 0.6051 \quad t_{45} = t_{82} = 1$	$\phi_{82} = 5.8985$	$z = -0.5048 + j0.2044$
H_{ap2}	$K1 = K2 = 0.6051 \quad t_{45} = t_{82} = 1$	$\phi_{82} = 0.3847$	$z = -0.5048 - j0.2044$
H_{ap3}	$K1 = K2 = 0.8971 \quad t_{45} = t_{82} = 1$	$\phi_{82} = 5.4646$	$z = -0.5517 + j0.5895$
H_{ap4}	$K1 = K2 = 0.8971 \quad t_{45} = t_{82} = 1$	$\phi_{82} = 0.8186$	$z = -0.5517 - j0.5895$
H_{az1}	$K1 = K2 = 0.5 \quad t_{45} = t_{36} = 1$	$\phi_{36} = 2.8942$	$z = -0.9695 + j0.2449$
H_{az2}	$K1 = K2 = 0.5 \quad t_{45} = t_{36} = 1$	$\phi_{36} = 3.3890$	$z = -0.9695 - j0.2449$
H_{az3}	$K1 = K2 = 0.5 \quad t_{45} = t_{36} = 1$	$\phi_{36} = 2.5583$	$z = -0.8347 + j0.5507$
H_{az4}	$K1 = K2 = 0.5 \quad t_{45} = t_{36} = 1$	$\phi_{36} = 3.7248$	$z = -0.8347 - j0.5507$

N=5 için alçak geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin sıfır ve kutup bloklarının kaskad bağlantı şeması Şekil 5.77’de görülmektedir.



Şekil 5.77 Alçak geçiren ikinci tip Chebyshev filtre blokları (N=5) ($\omega_c = 0.8$)

N=5 için yapılan analizde, alçak geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin transfer fonksiyonu,

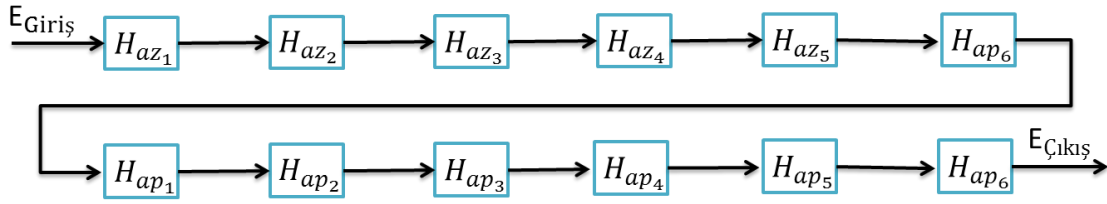
$$H_{AG}^{(5)}(z^{-1}) = \frac{0.4571(1+4.5106z^{-1}+8.5808z^{-2}+8.5808z^{-3}+4.5106z^{-4}+z^{-5})}{1+3.0692z^{-1}+4.2238z^{-2}+3.1377z^{-3}+1.2439z^{-4}+0.2090z^{-5}} \quad (5.76)$$

dikkate alınarak, istenen yapıyı oluşturmak için sistemdeki parametreler belirlenmiş ve sonuçlar Çizelge 5.35’te verilmiştir.

Çizelge 5.35 Alçak geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.8$) (N=5)

Fonksiyon	Kuplaj ve Genlik Katsayıları	Faz Açısı (rad)	Sıfırlar ve Kutuplar
H_{ap_1}	$K1 = K2 = 0.9705 t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 5.5338$	$z = -0.6394 + j0.5950$
H_{ap_2}	$K1 = K2 = 0.9705 t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 0.7494$	$z = -0.6394 - j0.5950$
H_{ap_3}	$K1 = K2 = 0.7526 t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 5.7901$	$z = -0.5966 + j0.3206$
H_{ap_4}	$K1 = K2 = 0.7526 t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 0.4931$	$z = -0.5966 - j0.3206$
H_{ap_5}	$K1 = K2 = 0.6635 t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 0$	$z = -0.5971$
H_{az_1}	$K1 = K2 = 0.5 t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = \pi$	$z = -1$
H_{az_2}	$K1 = K2 = 0.5 t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = 2.7642$	$z = -0.9296 + j0.3685$
H_{az_3}	$K1 = K2 = 0.5 t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = 3.5190$	$z = -0.9296 - j0.3685$
H_{az_4}	$K1 = K2 = 0.5 t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = 2.5422$	$z = -0.8257 + j0.5642$
H_{az_5}	$K1 = K2 = 0.5 t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = 3.7410$	$z = -0.8257 - j0.5642$

N=6 için alçak geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin sıfır ve kutup bloklarının kaskad bağlantı şeması Şekil 5.78’de görülmektedir.



Şekil 5.78 Alçak geçiren ikinci tip Chebyshev filtre blokları (N=6) ($\omega_c = 0.8$)

N=6 için yapılan analizde, alçak geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin transfer fonksiyonu,

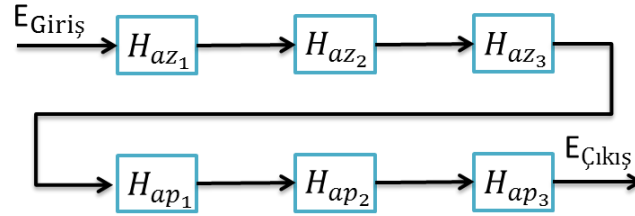
$$H_{AG}^{(6)}(z^{-1}) = \frac{0.4669(1+5.4127z^{-1}+12.7384z^{-2}+16.6493z^{-3}+12.7384z^{-4}+5.4127z^{-5}+z^{-6})}{1+4.0024z^{-1}+7.2013z^{-2}+7.3303z^{-3}+4.4176z^{-4}+1.4874z^{-5}+0.2180z^{-6}} \quad (5.77)$$

dikkate alınarak, istenen yapıyı oluşturmak için sistemdeki parametreler belirlenmiş ve sonuçlar Çizelge 5.36’da verilmiştir.

Çizelge 5.36 Alçak geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.8$) (N=6)

Fonksiyon	Kuplaj ve Genlik Katsayıları	Faz Açısı (rad)	Sıfırlar ve Kutuplar
H_{ap_1}	$K1 = K2 = 0.7470t_{45} = t_{82} = 1$	$\phi_{82} = 6.0770$	$z = -0.6580 + j0.1376$
H_{ap_2}	$K1 = K2 = 0.7470t_{45} = t_{82} = 1$	$\phi_{82} = 0.2062$	$z = -0.6580 - j0.1376$
H_{ap_3}	$K1 = K2 = 0.5061t_{45} = t_{82} = 2$	$\phi_{82} = 5.5709$	$z = -0.6895 + j0.5953$
H_{ap_4}	$K1 = K2 = 0.5061t_{45} = t_{82} = 2$	$\phi_{82} = 0.7123$	$z = -0.6895 - j0.5953$
H_{ap_5}	$K1 = K2 = 0.8471t_{45} = t_{82} = 1$	$\phi_{82} = 5.7426$	$z = -0.6537 + j0.3924$
H_{ap_6}	$K1 = K2 = 0.8471t_{45} = t_{82} = 1$	$\phi_{82} = 0.5406$	$z = -0.6537 - j0.3924$
H_{az_1}	$K1 = K2 = 0.5 t_{45} = t_{36} = 1$	$\phi_{36} = 2.5334$	$z = -0.8207 + j0.5714$
H_{az_2}	$K1 = K2 = 0.5 t_{45} = t_{36} = 1$	$\phi_{36} = 3.7498$	$z = -0.8207 - j0.5714$
H_{az_3}	$K1 = K2 = 0.5 t_{45} = t_{36} = 1$	$\phi_{36} = 2.9738$	$z = -0.9860 + j0.1670$
H_{az_4}	$K1 = K2 = 0.5 t_{45} = t_{36} = 1$	$\phi_{36} = 3.3094$	$z = -0.9860 - j0.1670$
H_{az_5}	$K1 = K2 = 0.5 t_{45} = t_{36} = 1$	$\phi_{36} = 2.6899$	$z = -0.8997 + j0.4365$
H_{az_6}	$K1 = K2 = 0.5 t_{45} = t_{36} = 1$	$\phi_{36} = 3.5933$	$z = -0.8997 - j0.4365$

N=3 için yüksek geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin sıfır ve kutup bloklarının kaskad bağlatı şeması Şekil 5.79'da görülmektedir.



Şekil 5.79 Yüksek geçiren ikinci tip Chebyshev filtre blokları (N=3) ($\omega_c = 0.2$)

N=3 için yapılan analizde, yüksek geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin transfer fonksiyonu,

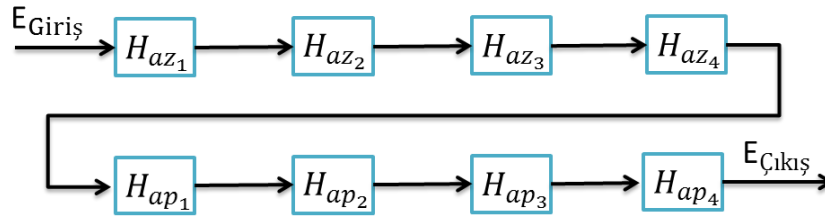
$$H_{YG}^{(3)}(z^{-1}) = \frac{0.4041(1 - 2.7065z^{-1} + 2.7065z^{-2} - z^{-3})}{1 - 1.1096z^{-1} + 0.7257z^{-2} - 0.1600z^{-3}} \quad (5.78)$$

dikkate alınarak, istenen yapıyı oluşturmak için sistemdeki parametreler belirlenmiş ve sonuçlar Çizelge 5.37'de verilmiştir.

Çizelge 5.37 Yüksek geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.2$) (N=3)

Fonksiyon	Kuplaj ve Genlik Katsayıları	Faz Açısı (rad)	Sıfırlar ve Kutuplar
H_{ap_1}	$K1 = K2 = 0.3856 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = \pi$	$z=0.3471$
H_{ap_2}	$K1 = K2 = 0.7545 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 4.1162$	$z=0.3813 + j0.5619$
H_{ap_3}	$K1 = K2 = 0.7545 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 2.1670$	$z=0.3813 - j0.5619$
H_{az_1}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = 0$	$z=1$
H_{az_2}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = 0.5486$	$z= 0.8533 + j0.5215$
H_{az_3}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = 5.7346$	$z= 0.8533 - j0.5215$

N=4 için yüksek geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin sıfır ve kutup bloklarının kaskad bağlantı şeması Şekil 5.80’de görülmektedir.



Şekil 5.80 Yüksek geçiren ikinci tip Chebyshev filtre blokları (N=4) ($\omega_c = 0.2$)

N=4 için yapılan analizde, yüksek geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin transfer fonksiyonu,

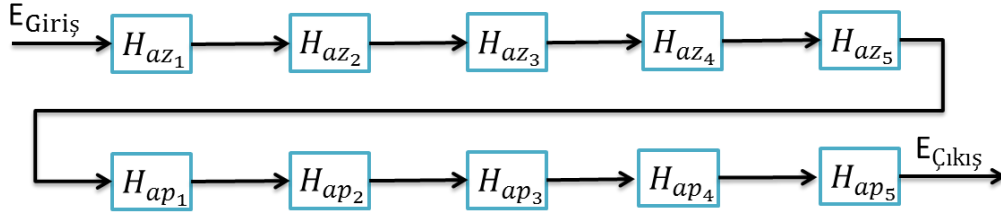
$$H_{YG}^{(4)}(z^{-1}) = \frac{0.4396(1 - 3.6084z^{-1} + 5.2370z^{-2} - 3.6084z^{-3} + z^{-4})}{1 - 2.1130z^{-1} + 2.0625z^{-2} - 0.9855z^{-3} + 0.1934z^{-4}} \quad (5.79)$$

dikkate alınarak, istenen yapıyı oluşturmak için sistemdeki parametreler belirlenmiş ve sonuçlar Çizelge 5.38’de verilmiştir.

Çizelge 5.38 Yüksek geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.2$) (N=4)

Fonksiyon	Kuplaj ve Genlik Katsayıları	Faz Açısı (rad)	Sıfırlar ve Kutuplar
H_{ap_1}	$K1 = K2 = 0.6051 \quad t_{45} = t_{82} = 1$	$\phi_{82} = 3.5263$	$z = 0.5048 + j0.2044$
H_{ap_2}	$K1 = K2 = 0.6051 \quad t_{45} = t_{82} = 1$	$\phi_{82} = 2.7569$	$z = 0.5048 - j0.2044$
H_{ap_3}	$K1 = K2 = 0.8971 \quad t_{45} = t_{82} = 1$	$\phi_{82} = 3.9602$	$z = 0.5517 + j0.5895$
H_{ap_4}	$K1 = K2 = 0.8971 \quad t_{45} = t_{82} = 1$	$\phi_{82} = 2.3230$	$z = 0.5517 - j0.5895$
H_{az_1}	$K1 = K2 = 0.5 \quad t_{45} = t_{36} = 1$	$\phi_{36} = 0.2474$	$z = 0.9695 + j0.2449$
H_{az_2}	$K1 = K2 = 0.5 \quad t_{45} = t_{36} = 1$	$\phi_{36} = 6.0358$	$z = 0.9695 - j0.2449$
H_{az_3}	$K1 = K2 = 0.5 \quad t_{45} = t_{36} = 1$	$\phi_{36} = 0.5833$	$z = 0.8347 + j0.5507$
H_{az_4}	$K1 = K2 = 0.5 \quad t_{45} = t_{36} = 1$	$\phi_{36} = 5.6999$	$z = 0.8347 - j0.5507$

N=5 için yüksek geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin sıfır ve kutup bloklarının kaskad bağlantı şeması Şekil 5.81’de görülmektedir.



Şekil 5.81 Yüksek geçiren ikinci tip Chebyshev filtre blokları (N=5) ($\omega_c = 0.2$)

N=5 için yapılan analizde, yüksek geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin transfer fonksiyonu,

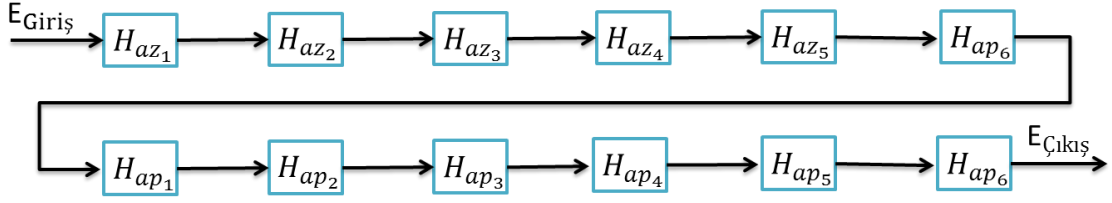
$$H_{YG}^{(5)}(z^{-1}) = \frac{0.4571(1 - 4.5106z^{-1} + 8.5808z^{-2} - 8.5808z^{-3} + 4.5106z^{-4} - z^{-5})}{1 - 3.0692z^{-1} + 4.2238z^{-2} - 3.1377z^{-3} + 1.2439z^{-4} - 0.2090z^{-5}} \quad (5.80)$$

dikkate alınarak, istenen yapıyı oluşturmak için sistemdeki parametreler belirlenmiş ve sonuçlar Çizelge 5.39’da verilmiştir.

Çizelge 5.39 Yüksek geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.2$) (N=5)

Fonksiyon	Kuplaj ve Genlik Katsayıları	Faz Açısı (rad)	Sıfırlar ve Kutuplar
H_{ap_1}	$K1 = K2 = 0.9705 t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 3.8910$	$z = 0.6394 + j0.5950$
H_{ap_2}	$K1 = K2 = 0.9705 t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 2.3922$	$z = -0.6394 - j0.5950$
H_{ap_3}	$K1 = K2 = 0.7526 t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 3.6347$	$z = 0.5966 + j0.3206$
H_{ap_4}	$K1 = K2 = 0.7526 t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 2.6485$	$z = 0.5966 - j0.3206$
H_{ap_5}	$K1 = K2 = 0.6635 t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = \pi$	$z = 0.5971$
H_{az_1}	$K1 = K2 = 0.5 t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = 0$	$z = 1$
H_{az_2}	$K1 = K2 = 0.5 t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = 0.3774$	$z = 0.9296 + j0.3685$
H_{az_3}	$K1 = K2 = 0.5 t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = 5.9058$	$z = 0.9296 - j0.3685$
H_{az_4}	$K1 = K2 = 0.5 t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = 0.5994$	$z = 0.8257 + j0.5642$
H_{az_5}	$K1 = K2 = 0.5 t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = 5.6838$	$z = 0.8257 - j0.5642$

N=6 için yüksek geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin sıfır ve kutup bloklarının kaskad bağlantı şeması Şekil 5.82’de görülmektedir.



Şekil 5.82 Yüksek geçiren ikinci tip Chebyshev filtre blokları (N=6) ($\omega_c = 0.2$)

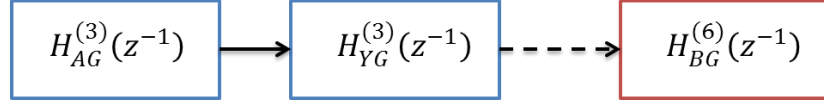
N=6 için yapılan analizde, yüksek geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin transfer fonksiyonu,

$$H_{YG}^{(6)}(z^{-1}) = \frac{0.4669(1-5.4127z^{-1}+12.7384z^{-2}-16.6493z^{-3}+12.7384z^{-4}-5.4127z^{-5}+z^{-6})}{1-4.0024z^{-1}+7.2013z^{-2}-7.3303z^{-3}+4.4176z^{-4}-1.4874z^{-5}+0.2180z^{-6}} \quad (5.81)$$

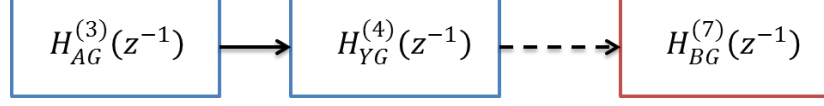
dikkate alınarak, istenen yapıyı oluşturmak için sistemdeki parametreler belirlenmiş ve sonuçlar Çizelge 5.40’ta verilmiştir.

Çizelge 5.40 Yüksek geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.2$) (N=6)

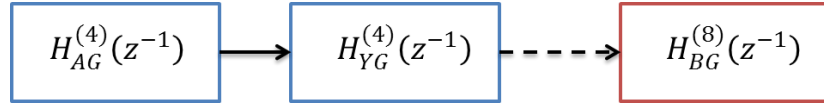
Fonksiyon	Kuplaj ve Genlik Katsayıları	Faz Açısı (rad)	Sıfırlar ve Kutuplar
H_{ap1}	$K1 = K2 = 0.7470t_{45} = t_{82} = 1$	$\phi_{82} = 3.3477$	$z = 0.6580 + j0.1376$
H_{ap2}	$K1 = K2 = 0.7470t_{45} = t_{82} = 1$	$\phi_{82} = 2.9354$	$z = 0.6580 - j0.1376$
H_{ap3}	$K1 = K2 = 0.5061t_{45} = t_{82} = 2$	$\phi_{82} = 3.8539$	$z = 0.6895 + j0.5953$
H_{ap4}	$K1 = K2 = 0.5061t_{45} = t_{82} = 2$	$\phi_{82} = 2.4293$	$z = 0.6895 - j0.5953$
H_{ap5}	$K1 = K2 = 0.8471t_{45} = t_{82} = 1$	$\phi_{82} = 3.6822$	$z = 0.6537 + j0.3924$
H_{ap6}	$K1 = K2 = 0.8471t_{45} = t_{82} = 1$	$\phi_{82} = 2.6010$	$z = 0.6537 - j0.3924$
H_{az1}	$K1 = K2 = 0.5 t_{45} = t_{36} = 1$	$\phi_{36} = 0.6082$	$z = 0.8207 + j0.5714$
H_{az2}	$K1 = K2 = 0.5 t_{45} = t_{36} = 1$	$\phi_{36} = 5.6750$	$z = 0.8207 - j0.5714$
H_{az3}	$K1 = K2 = 0.5 t_{45} = t_{36} = 1$	$\phi_{36} = 0.1678$	$z = 0.9860 + j0.1670$
H_{az4}	$K1 = K2 = 0.5 t_{45} = t_{36} = 1$	$\phi_{36} = 6.1154$	$z = 0.9860 - j0.1670$
H_{az5}	$K1 = K2 = 0.5 t_{45} = t_{36} = 1$	$\phi_{36} = 0.4517$	$z = 0.8997 + j0.4365$
H_{az6}	$K1 = K2 = 0.5 t_{45} = t_{36} = 1$	$\phi_{36} = 5.8315$	$z = 0.8997 - j0.4365$



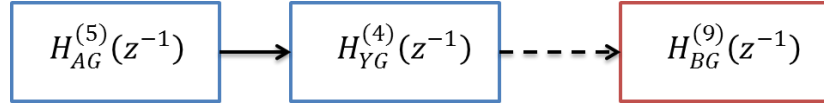
Şekil 5.83 Band geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin kaskad yapısı (N=6)



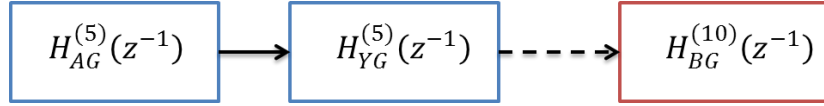
Şekil 5.84 Band geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin kaskad yapısı (N=7)



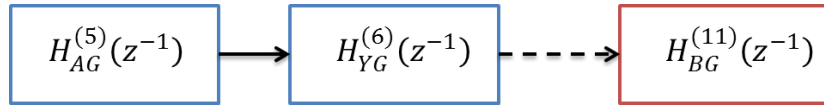
Şekil 5.85 Band geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin kaskad yapısı (N=8)



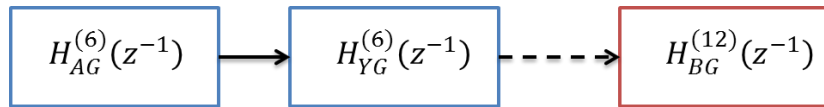
Şekil 5.86 Band geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin kaskad yapısı (N=9)



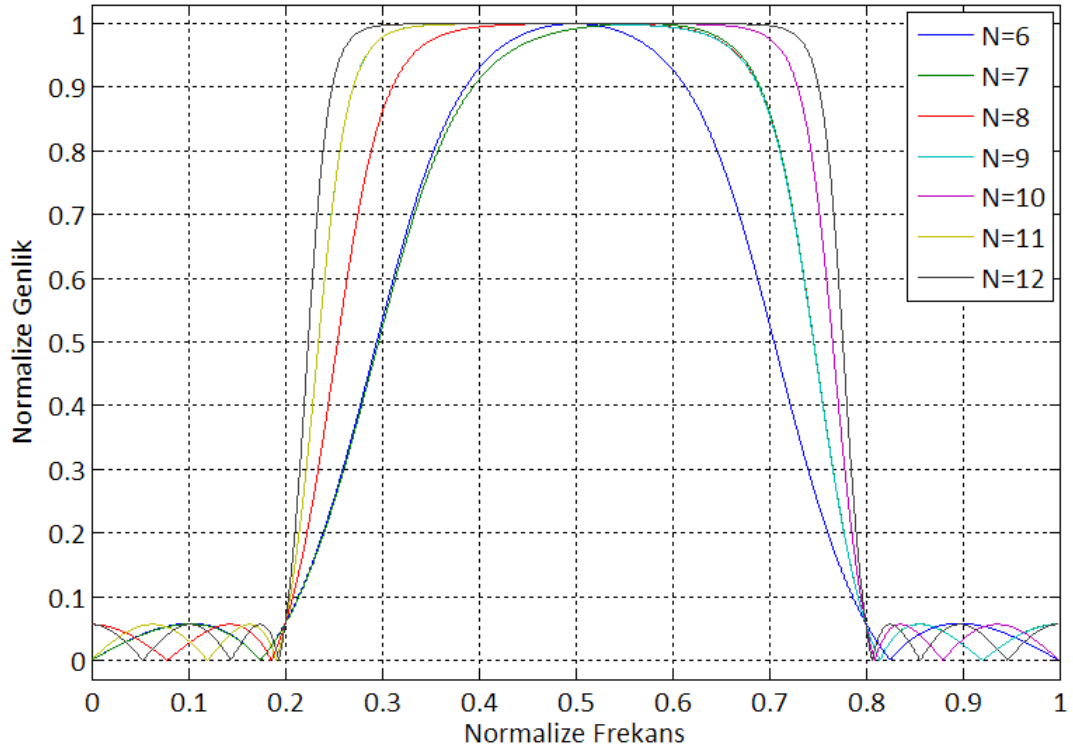
Şekil 5.87 Band geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin kaskad yapısı (N=10)



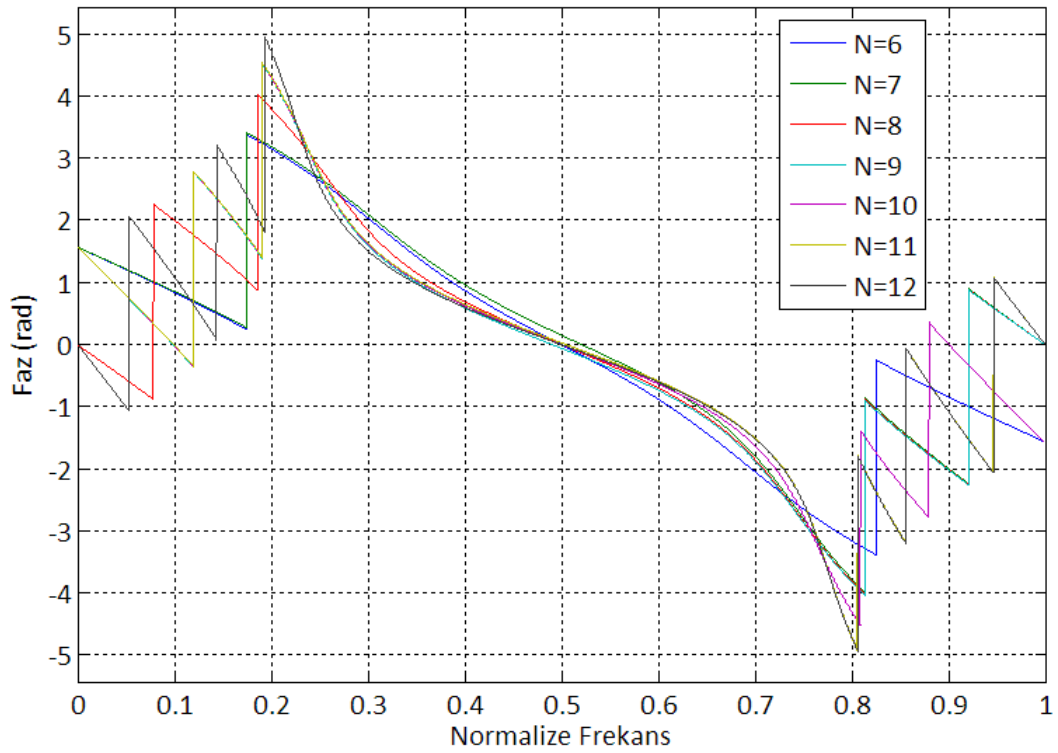
Şekil 5.88 Band geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin kaskad yapısı (N=11)



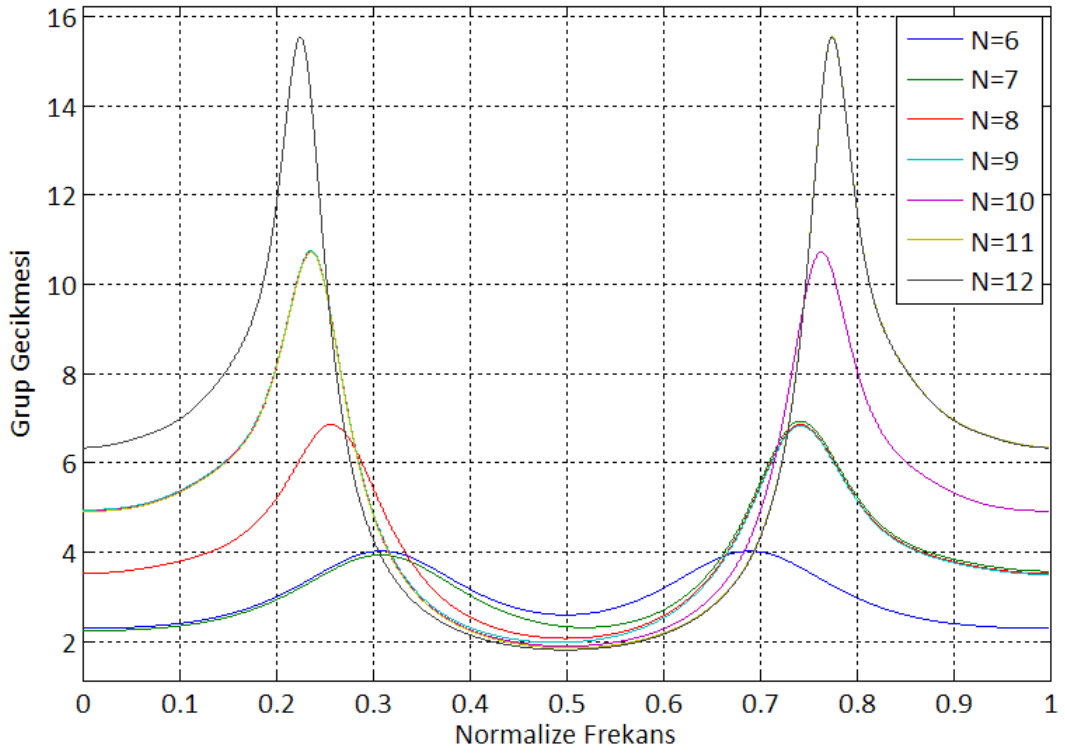
Şekil 5.89 Band geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin kaskad yapısı (N=12)



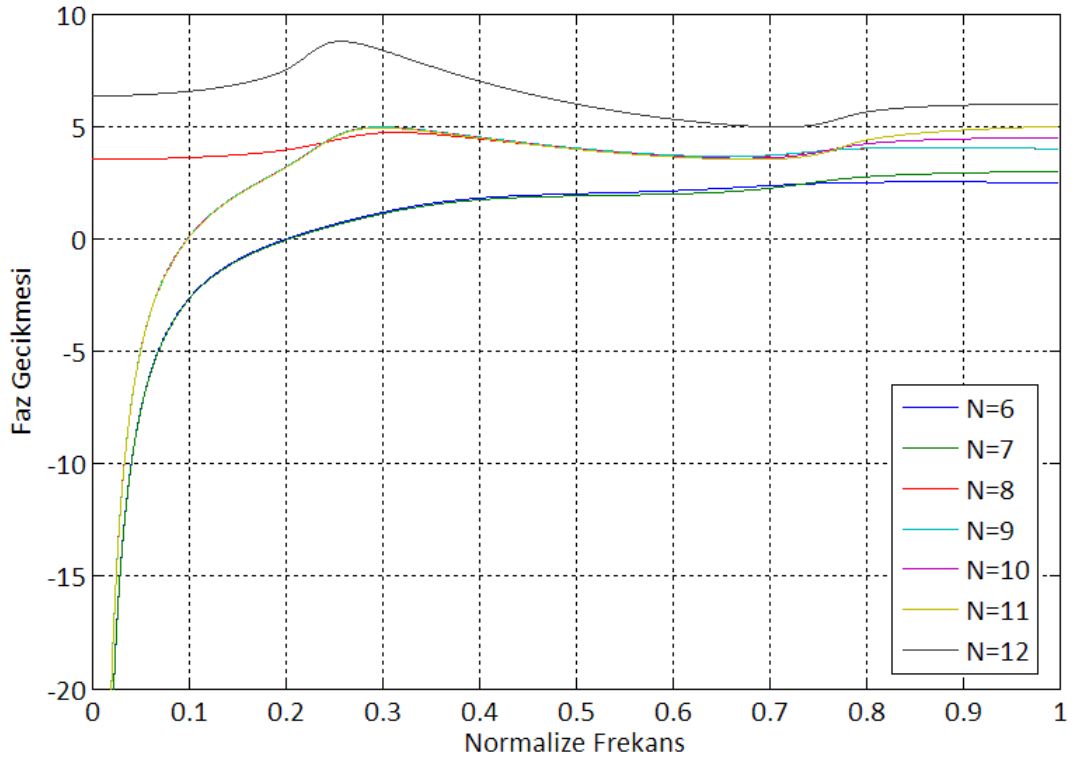
Şekil 5.90 Band geçiren 2.Tip Chebyshev filtrenin genlik cevabının normalize frekansa göre değişimi ($\omega_c = 0.2, 0.8$) (N=6-12)



Şekil 5.91 Band geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin faz cevabının normalize frekansa göre değişimi ($\omega_c = 0.2, 0.8$) (N=6-12)



Şekil 5.92 Band geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin grup gecikmesinin normalize frekansa göre değişimi ($\omega_c = 0.2, 0.8$) (N=6-12)

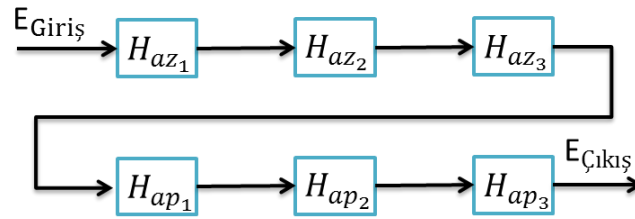


Şekil 5.93 Band geçiren 2.Tip Chebyshev filtrenin faz gecikmesinin normalize frekansa göre değişimi ($\omega_c = 0.2, 0.8$) (N=6-12)

5.2.2.4 Band Geçiren İkinci Tip Chebyshev Filtre ($\omega_c = 0.3 - 0.7$)

N=3, 4, 5 ve 6. dereceden, normalize kesim frekansı 0.3 olarak seçilen yüksek geçiren ikinci tip Chebyshev filtreler ve N=3, 4, 5 ve 6. dereceden, normalize kesim frekansı 0.7 olarak seçilen alçak geçiren ikinci tip Chebyshev filtrelerin sistem parametreleri Çizelge 5.41 ve Çizelge 5.48 arasındaki çizelgelerde verilmiştir. N=6, 7, 8, 9, 10, 11 ve 12. dereceden ikinci tip band geçiren Chebyshev filtre Şekil 5.102 ve Şekil 5.108 arasında kalan şekillerde gösterildiği gibi alçak geçiren ikinci tip Chebyshev filtre ile yüksek geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin kaskad olarak birleştirilmesiyle elde edilmiştir. Normalize kesim frekansı 0.3 ve 0.7 olan band geçiren ikinci tip Chebyshev filtreler için genlik cevabı, faz cevabı, grup gecikmesi ve faz gecikmesi grafikleri, sırasıyla Şekil 5.109, Şekil 5.110, Şekil 5.111 ve Şekil 5.112’de gösterilmiştir.

N=3 için alçak geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin sıfır ve kutup bloklarının kaskad bağlantı şeması Şekil 5.94’te görülmektedir.



Şekil 5.94 Alçak geçiren ikinci tip Chebyshev filtre blokları (N=3) ($\omega_c = 0.7$)

N=3 için yapılan analizde, alçak geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin transfer fonksiyonu,

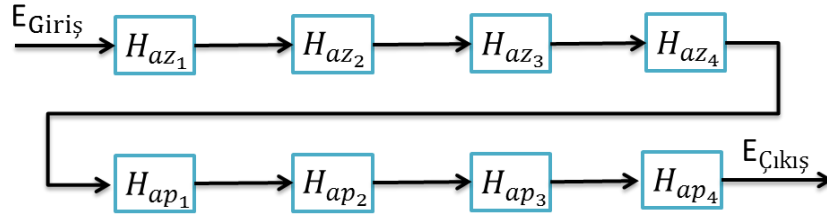
$$H_{AG}^{(3)}(z^{-1}) = \frac{0.2680(1+2.3481z^{-1}+2.3481z^{-2}+z^{-3})}{1+0.3160z^{-1}+0.4242z^{-2}+0.0545z^{-3}} \quad (5.82)$$

dikkate alınarak, istenen yapıyı oluşturmak için sistemdeki parametreler belirlenmiş ve sonuçlar Çizelge 5.41’de verilmiştir.

Çizelge 5.41 Alçak geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.7$) (N=3)

Fonksiyon	Kuplaj ve Genlik Katsayıları	Faz Açısı (rad)	Sıfırlar ve Kutuplar
H_{ap_1}	$K1 = K2 = 0.7025 \quad t_{45} = t_{82} = 1$	$\phi_{82} = 4.8550$	$z = -0.0898+j0.6258$
H_{ap_2}	$K1 = K2 = 0.7025 \quad t_{45} = t_{82} = 1$	$\phi_{82} = 1.4282$	$z = -0.0898-j0.6258$
H_{ap_3}	$K1 = K2 = 0.1514 \quad t_{45} = t_{82} = 1$	$\phi_{82} = 0$	$z = -0.1363$
H_{az_1}	$K1 = K2 = 0.5 \quad t_{45} = t_{36} = 1$	$\phi_{36} = \pi$	$z = -1$
H_{az_2}	$K1 = K2 = 0.5 \quad t_{45} = t_{36} = 1$	$\phi_{36} = 2.3105$	$z = -0.6740+j0.7387$
H_{az_3}	$K1 = K2 = 0.5 \quad t_{45} = t_{36} = 1$	$\phi_{36} = 3.9727$	$z = -0.6740-j0.7387$

N=4 için alçak geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin sıfır ve kutup bloklarının kaskad bağlantı şeması Şekil 5.95'te görülmektedir.



Şekil 5.95 Alçak geçiren ikinci tip Chebyshev filtre blokları (N=4) ($\omega_c = 0.7$)

N=4 için yapılan analizde, alçak geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin transfer fonksiyonu,

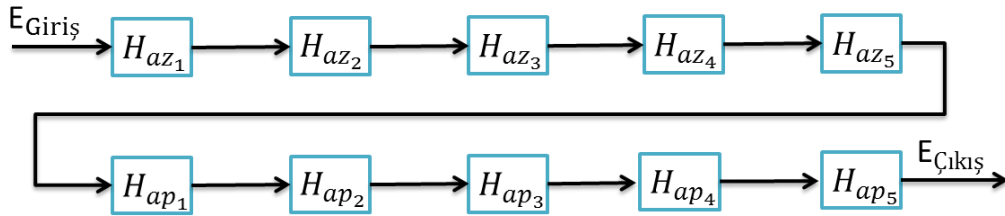
$$H_{AG}^{(4)}(z^{-1}) = \frac{0.2972(1+3.1279z^{-1}+4.3621z^{-2}+3.1279z^{-3}+z^{-4})}{1+1.1548z^{-1}+1.0663z^{-2}+0.4393z^{-3}+0.0896z^{-4}} \quad (5.83)$$

dikkate alınarak, istenen yapıyı oluşturmak için sistemdeki parametreler belirlenmiş ve sonuçlar Çizelge 5.42'de verilmiştir.

Çizelge 5.42 Alçak geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.7$) (N=4)

Fonksiyon	Kuplaj ve Genlik Katsayıları	Faz Açısı (rad)	Sıfırlar ve Kutuplar
H_{ap_1}	$K1 = K2 = 0.4367 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 5.6078$	$z = -0.3067+j0.2457$
H_{ap_2}	$K1 = K2 = 0.4367 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 0.6754$	$z = -0.3067-j0.2457$
H_{ap_3}	$K1 = K2 = 0.8460 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 5.0758$	$z = -0.2707+j0.7117$
H_{ap_4}	$K1 = K2 = 0.8460 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 1.2074$	$z = -0.2707-j0.7117$
H_{az_1}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = 2.2617$	$z = -0.6372+j0.7707$
H_{az_2}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = 4.0215$	$z = -0.6372-j0.7707$
H_{az_3}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = 2.7565$	$z = -0.9267+j0.3757$
H_{az_4}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = 3.5267$	$z = -0.9267-j0.3757$

N=5 için alçak geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin sıfır ve kutup bloklarının kaskad bağlantı şeması Şekil 5.96’da görülmektedir.



Şekil 5.96 Alçak geçiren ikinci tip Chebyshev filtre blokları (N=5) ($\omega_c = 0.7$)

N=5 için yapılan analizde, alçak geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin transfer fonksiyonu,

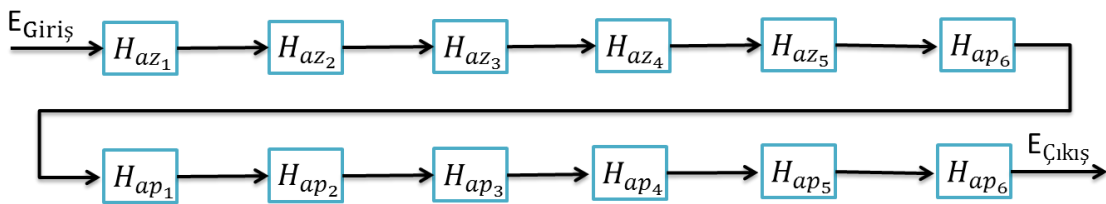
$$H_{AG}^{(5)}(z^{-1}) = \frac{0.3125(1+3.9101z^{-1}+6.9807z^{-2}+6.9807z^{-3}+3.9101z^{-4}+z^{-5})}{1+1.9766z^{-1}+2.2857z^{-2}+1.4999z^{-3}+0.5715z^{-4}+0.0976z^{-5}} \quad (5.84)$$

dikkate alınarak, istenen yapıyı oluşturmak için sistemdeki parametreler belirlenmiş ve sonuçlar Çizelge 5.43’te verilmiştir.

Çizelge 5.43 Alçak geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.7$) (N=5)

Fonksiyon	Kuplaj ve Genlik Katsayıları	Faz Açısı (rad)	Sıfırlar ve Kutuplar
H_{ap_1}	$K1 = K2 = 0.9303 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 5.1729$	$z = -0.3721+j0.7501$
H_{ap_2}	$K1 = K2 = 0.9303 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 1.1103$	$z = -0.3721-j0.7501$
H_{ap_3}	$K1 = K2 = 0.6298 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 5.4948$	$z = -0.3996+j0.4020$
H_{ap_4}	$K1 = K2 = 0.6298 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 0.7884$	$z = -0.3996-j0.4020$
H_{ap_5}	$K1 = K2 = 0.4812 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 0$	$z = -0.4331$
H_{az_1}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = \pi$	$z = -1$
H_{az_2}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = 2.5596$	$z = -0.8354+j0.5497$
H_{az_3}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = 3.7236$	$z = -0.8354-j0.5497$
H_{az_4}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = 2.2391$	$z = -0.6197+j0.7849$
H_{az_5}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = 4.0441$	$z = -0.6197-j0.7849$

N=6 için alçak geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin sıfır ve kutup bloklarının kaskad bağlantı şeması Şekil 5.97’de görülmektedir.



Şekil 5.97 Alçak geçiren ikinci tip Chebyshev filtre blokları (N=6) ($\omega_c = 0.7$)

N=6 için yapılan analizde, alçak geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin transfer fonksiyonu,

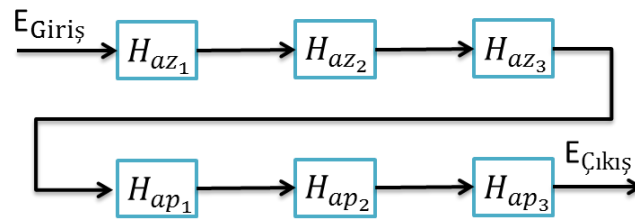
$$H_{AG}^{(6)}(z^{-1}) = \frac{0.3213(1+4.6921z^{-1}+10.2115z^{-2}+13.0144z^{-3}+10.2115z^{-4}+4.6921z^{-5}+z^{-6})}{1+2.7842z^{-1}+4.1066z^{-2}+3.6649z^{-3}+2.0605z^{-4}+0.6812z^{-5}+0.1032z^{-6}} \quad (5.85)$$

dikkate alınarak, istenen yapıyı oluşturmak için sistemdeki parametreler belirlenmiş ve sonuçlar Çizelge 5.44’te verilmiştir.

Çizelge 5.44 Alçak geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.7$) (N=6)

Fonksiyon	Kuplaj ve Genlik Katsayıları	Faz Açısı (rad)	Sıfırlar ve Kutuplar
H_{ap_1}	$K1 = K2 = 0.5952 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 5.9424$	$z = -0.5049+j0.1791$
H_{ap_2}	$K1 = K2 = 0.5952 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 0.3408$	$z = -0.5049-j0.1791$
H_{ap_3}	$K1 = K2 = 0.7547 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 5.4453$	$z = -0.4544+j0.5048$
H_{ap_4}	$K1 = K2 = 0.7547 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 0.8379$	$z = -0.4544-j0.5048$
H_{ap_5}	$K1 = K2 = 0.9812 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 5.2246$	$z = -0.4329+j0.7698$
H_{ap_6}	$K1 = K2 = 0.9812 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 1.0585$	$z = -0.4329-j0.7698$
H_{az_1}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = 2.2269$	$z = -0.6100+j0.7924$
H_{az_2}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = 4.0563$	$z = -0.6100-j0.7924$
H_{az_3}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = 2.8794$	$z = -0.9658+j0.2592$
H_{az_4}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = 3.4038$	$z = -0.9658-j0.2592$
H_{az_5}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = 2.4500$	$z = -0.7702+j0.6378$
H_{az_6}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = 3.8332$	$z = -0.7702-j0.6378$

N=3 için yüksek geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin sıfır ve kutup bloklarının kaskad bağlantı şeması Şekil 5.98’de görülmektedir.



Şekil 5.98 Yüksek geçiren ikinci tip Chebyshev filtre blokları (N=3) ($\omega_c = 0.3$)

N=3 için yapılan analizde, yüksek geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin transfer fonksiyonu,

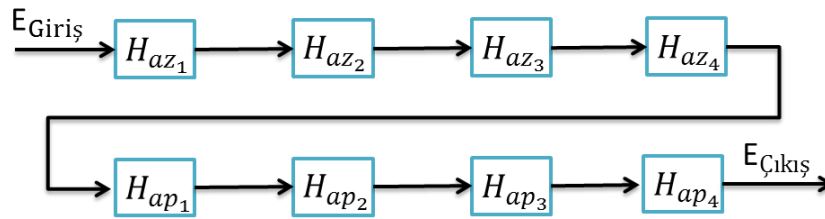
$$H_{YG}^{(3)}(z^{-1}) = \frac{0.2680(1-2.3481 z^{-1}+2.3481 z^{-2}-z^{-3})}{1-0.3160 z^{-1}+0.4242 z^{-2}-0.0545 z^{-3}} \quad (5.86)$$

dikkate alınarak, istenen yapıyı oluşturmak için sistemdeki parametreler belirlenmiş ve sonuçlar Çizelge 5.45'te verilmiştir.

Çizelge 5.45 Yüksek geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.3$) (N=3)

Fonksiyon	Kuplaj ve Genlik Katsayıları	Faz Açısı (rad)	Sıfırlar ve Kutuplar
H_{ap_1}	$K1 = K2 = 0.7025 \quad t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 4.5698$	$z = 0.0898+j0.6258$
H_{ap_2}	$K1 = K2 = 0.7025 \quad t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 1.7134$	$z = 0.0898-j0.6258$
H_{ap_3}	$K1 = K2 = 0.1514 \quad t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = \pi$	$z = 0.1363$
H_{az_1}	$K1 = K2 = 0.5 \quad t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = 0$	$z = 1$
H_{az_2}	$K1 = K2 = 0.5 \quad t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = 0.8311$	$z = 0.6740+j0.7387$
H_{az_3}	$K1 = K2 = 0.5 \quad t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = 5.4521$	$z = 0.6740-j0.7387$

N=4 için yüksek geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin sıfır ve kutup bloklarının kaskad bağlantı şeması Şekil 5.99'da görülmektedir.



Şekil 5.99 Yüksek geçiren ikinci tip Chebyshev filtre blokları (N=4) ($\omega_c = 0.3$)

N=4 için yapılan analizde, yüksek geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin transfer fonksiyonu,

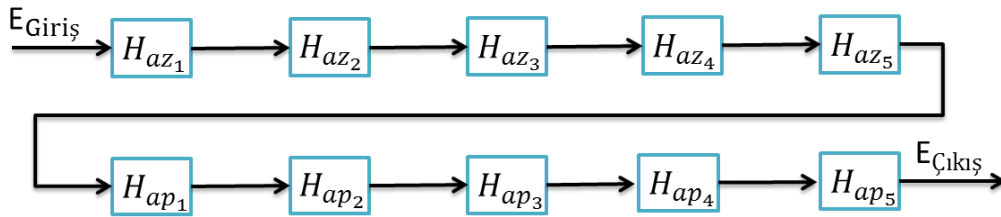
$$H_{YG}^{(4)}(z^{-1}) = \frac{0.2972(1-3.1279z^{-1}+4.3621z^{-2}-3.1279z^{-3}+z^{-4})}{1-1.1548z^{-1}+1.0663z^{-2}-0.4393z^{-3}+0.0896z^{-4}} \quad (5.87)$$

dikkate alınarak, istenen yapıyı oluşturmak için sistemdeki parametreler belirlenmiş ve sonuçlar Çizelge 5.46’da verilmiştir.

Çizelge 5.46 Yüksek geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.3$) (N=4)

Fonksiyon	Kuplaj ve Genlik Katsayıları	Faz Açısı (rad)	Sıfırlar ve Kutuplar
H_{ap_1}	$K1 = K2 = 0.4367 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\phi_{82} = 3.8170$	$z = 0.3067+j0.2457$
H_{ap_2}	$K1 = K2 = 0.4367 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\phi_{82} = 2.4662$	$z = 0.3067-j0.2457$
H_{ap_3}	$K1 = K2 = 0.8460 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\phi_{82} = 4.3490$	$z = 0.2707+j0.7117$
H_{ap_4}	$K1 = K2 = 0.8460 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\phi_{82} = 1.9342$	$z = 0.2707-j0.7117$
H_{az_1}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\phi_{36} = 0.8799$	$z = 0.6372+j0.7707$
H_{az_2}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\phi_{36} = 5.4033$	$z = 0.6372-j0.7707$
H_{az_3}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\phi_{36} = 0.3851$	$z = 0.9267+j0.3757$
H_{az_4}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\phi_{36} = 5.8980$	$z = 0.9267-j0.3757$

N=5 için yüksek geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin sıfır ve kutup bloklarının kaskad bağlantı şeması Şekil 5.100’de görülmektedir.



Şekil 5.100 Yüksek geçiren ikinci tip Chebyshev filtre blokları (N=5) ($\omega_c = 0.3$)

N=5 için yapılan analizde, yüksek geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin transfer fonksiyonu,

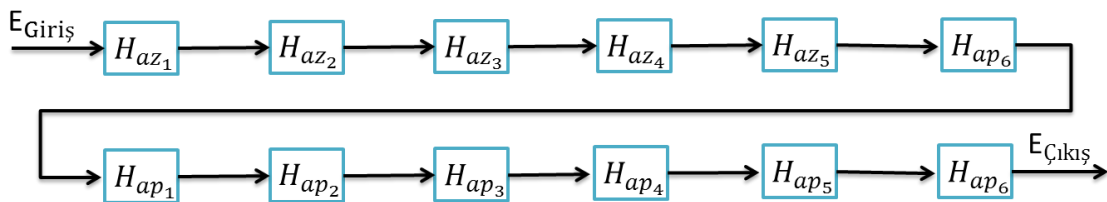
$$H_{YG}^{(5)}(z^{-1}) = \frac{0.3125(1-3.9101z^{-1}+6.9807z^{-2}-6.9807z^{-3}+3.9101z^{-4}-z^{-5})}{1-1.9766z^{-1}+2.2857z^{-2}-1.4999z^{-3}+0.5715z^{-4}-0.0976z^{-5}} \quad (5.88)$$

dikkate alınarak, istenen yapıyı oluşturmak için sistemdeki parametreler belirlenmiş ve sonuçlar Çizelge 5.47’de verilmiştir.

Çizelge 5.47 Yüksek geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.3$) (N=5)

Fonksiyon	Kuplaj ve Genlik Katsayıları	Faz Açısı (rad)	Sıfırlar ve Kutuplar
H_{ap_1}	$K1 = K2 = 0.9303 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 4.2519$	$z = 0.3721+j0.7501$
H_{ap_2}	$K1 = K2 = 0.9303 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 2.0313$	$z = 0.3721-j0.7501$
H_{ap_3}	$K1 = K2 = 0.6298 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 3.9300$	$z = 0.3996+j0.4020$
H_{ap_4}	$K1 = K2 = 0.6298 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 2.3532$	$z = 0.3996-j0.4020$
H_{ap_5}	$K1 = K2 = 0.4812 \ t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = \pi$	$z = 0.4331$
H_{az_1}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = 0$	$z = 1$
H_{az_2}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = 0.5820$	$z = 0.8354+j0.5497$
H_{az_3}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = 5.7012$	$z = 0.8354-j0.5497$
H_{az_4}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = 0.9025$	$z = 0.6197+j0.7849$
H_{az_5}	$K1 = K2 = 0.5 \ t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = 5.3807$	$z = 0.6197-j0.7849$

N=6 için yüksek geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin sıfır ve kutup bloklarının kaskad bağlantı şeması Şekil 5.101’de görülmektedir.



Şekil 5.101 Yüksek geçiren ikinci tip Chebyshev filtre blokları (N=6) ($\omega_c = 0.3$)

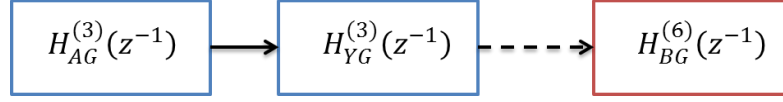
N=6 için yapılan analizde, yüksek geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin transfer fonksiyonu,

$$H_{YG}^{(6)}(z^{-1}) = \frac{0.3213(1-4.6921z^{-1}+10.2115z^{-2}-13.0144z^{-3}+10.2115z^{-4}-4.6921z^{-5}+z^{-6})}{1-2.7842z^{-1}+4.1066z^{-2}-3.6649z^{-3}+2.0605z^{-4}-0.6812z^{-5}+0.1032z^{-6}} \quad (5.89)$$

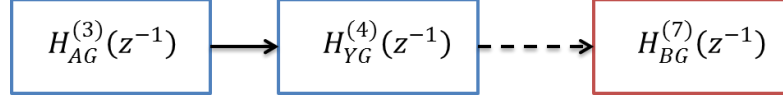
dikkate alınarak, istenen yapıyı oluşturmak için sistemdeki parametreler belirlenmiş ve sonuçlar Çizelge 5.48’de verilmiştir.

Çizelge 5.48 Yüksek geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin sistem parametreleri ($\omega_c = 0.3$) (N=6)

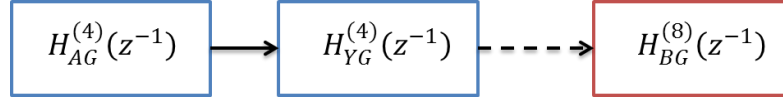
Fonksiyon	Kuplaj ve Genlik Katsayıları	Faz Açısı (rad)	Sıfırlar ve Kutuplar
H_{ap_1}	$K1 = K2 = 0.5952 \quad t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 3.4824$	$z = 0.5049+j0.1791$
H_{ap_2}	$K1 = K2 = 0.5952 \quad t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 2.8008$	$z = 0.5049-j0.1791$
H_{ap_3}	$K1 = K2 = 0.7547 \quad t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 3.9795$	$z = 0.4544+j0.5048$
H_{ap_4}	$K1 = K2 = 0.7547 \quad t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 2.3037$	$z = 0.4544-j0.5048$
H_{ap_5}	$K1 = K2 = 0.9812 \quad t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 4.2001$	$z = 0.4329+j0.7698$
H_{ap_6}	$K1 = K2 = 0.9812 \quad t_{45} = t_{82} = 1$	$\emptyset_{82} = 2.0831$	$z = 0.4329-j0.7698$
H_{az_1}	$K1 = K2 = 0.5 \quad t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = 0.9147$	$z = 0.6100+j0.7924$
H_{az_2}	$K1 = K2 = 0.5 \quad t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = 5.3685$	$z = 0.6100-j0.7924$
H_{az_3}	$K1 = K2 = 0.5 \quad t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = 0.2622$	$z = 0.9658+j0.2592$
H_{az_4}	$K1 = K2 = 0.5 \quad t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = 6.0209$	$z = 0.9658-j0.2592$
H_{az_5}	$K1 = K2 = 0.5 \quad t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = 0.6916$	$z = 0.7702+j0.6378$
H_{az_6}	$K1 = K2 = 0.5 \quad t_{45} = t_{36} = 1$	$\emptyset_{36} = 5.5916$	$z = 0.7702-j0.6378$



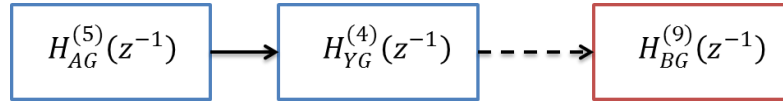
Şekil 5.102 Band geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin kaskad yapısı (N=6)



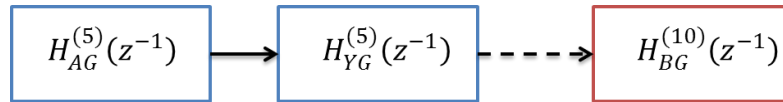
Şekil 5.103 Band geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin kaskad yapısı (N=7)



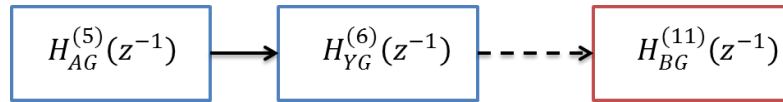
Şekil 5.104 Band geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin kaskad yapısı (N=8)



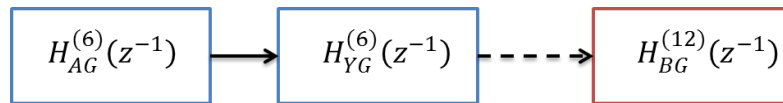
Şekil 5.105 Band geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin kaskad yapısı (N=9)



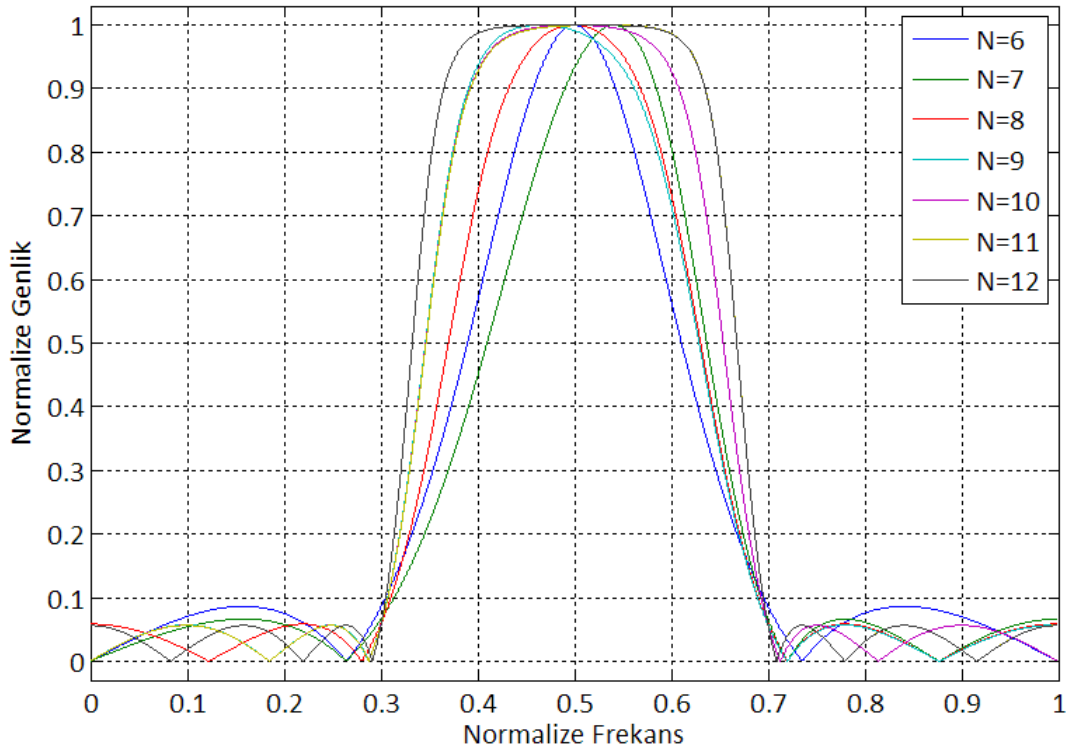
Şekil 5.106 Band geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin kaskad yapısı (N=10)



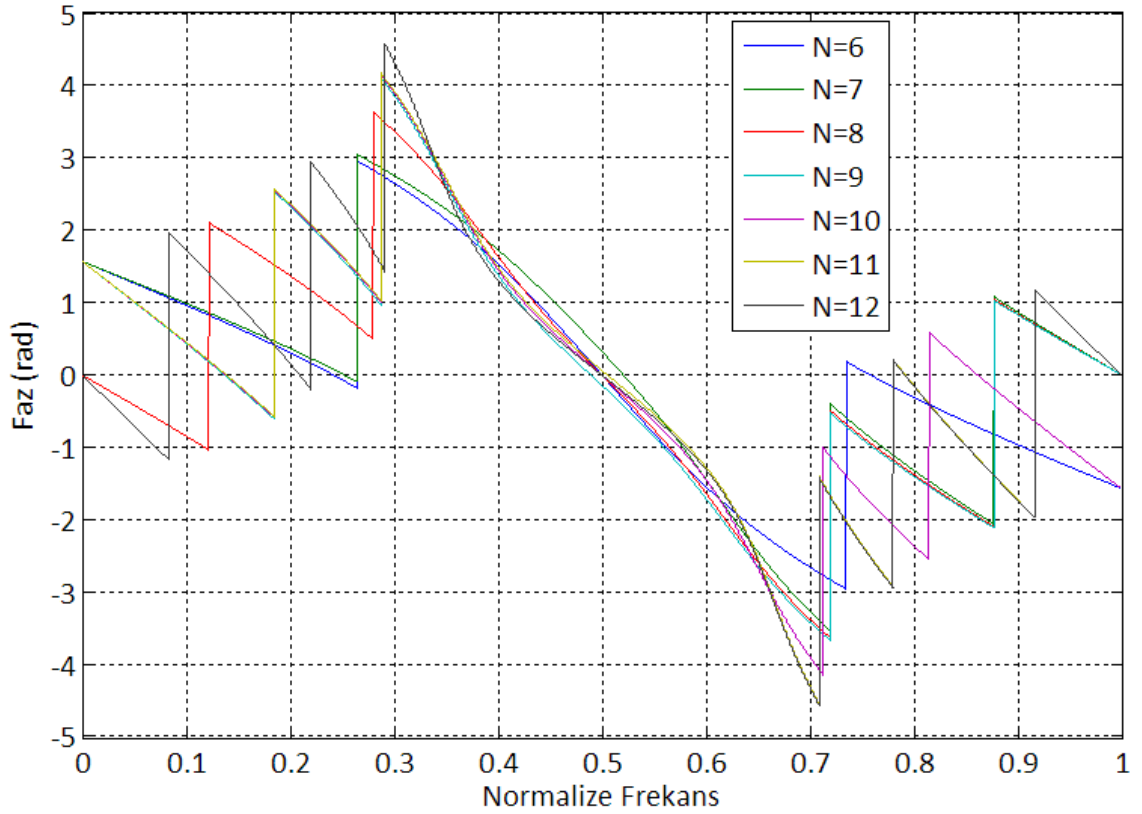
Şekil 5.107 Band geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin kaskad yapısı (N=11)



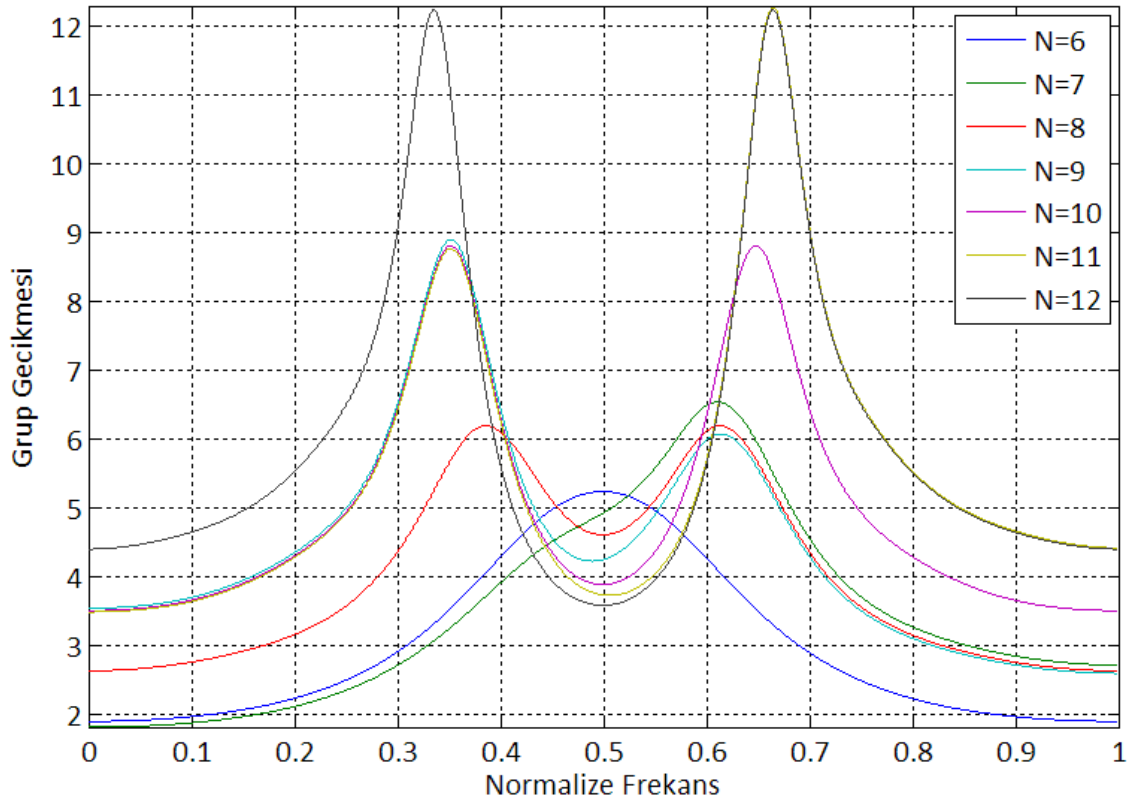
Şekil 5.108 Band geçiren ikinci tip Chebyshev filtrenin kaskad yapısı (N=12)



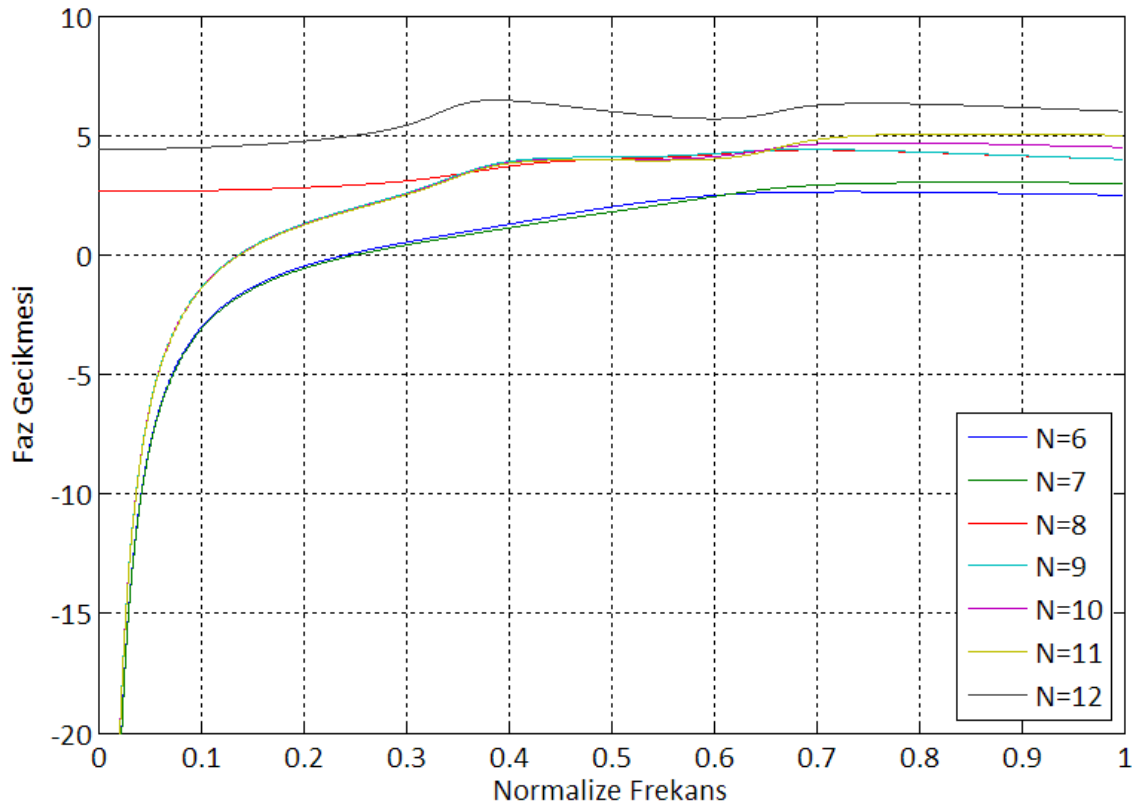
Şekil 5.109 Band geçiren Chebyshev filtrenin genlik cevabının normalize frekansa göre değişimi ($\omega_c = 0.3, 0.7$) (N=6-12)



Şekil 5.110 Band geçiren Chebyshev filtrenin faz cevabının normalize frekansa göre değişimi ($\omega_c = 0.3, 0.7$) (N=6-12)



Şekil 5.111 Band geçen Chebyshev filtrenin grup gecikmesinin normalize frekansa göre değişimi ($\omega_c = 0.3, 0.7$) (N=6-12)



Şekil 5.112 Band geçen Chebyshev filtrenin faz cevabının normalize frekansa göre değişimi ($\omega_c = 0.3, 0.7$) (N=6-12)

SONUÇLAR

Bu tezde, optik halka rezonatörün, frekans seçiciliği özelliğinden yararlanılarak optik filtre olarak kullanılması amaçlanmıştır. Optik filtrelerin transfer fonksiyonu karakteristiklerine sayısal filtrelerin z-domenindeki transfer fonksiyonları baz alınarak ulaşılmıştır. Optik kuplörlerle oluşturulan halka rezonatör yapıları, transmisyon hatları ve kuplör ilişkileri teorilerine göre analitik olarak ayrıntılı biçimde ele alınmış ve elde edilen sonuçlar transfer fonksiyonlarının oluşturulması için kullanılmıştır.

Analitik olarak elde edilmiş olan kutup ve sıfır blokları kullanılarak, farklı normalize kesim frekansları için alçak geçiren, yüksek geçiren ve band geçiren Butterworth, birinci tip Chebyshev ve ikinci tip Chebyshev filtreler tasarlanmıştır. Bütün filtreler için ilgili parametreler geliştirilen programlar yardımıyla hesaplanarak çizelgelerde verilmiş ve bu değerlerin sonucunda ortaya çıkan filtre karakteristikleri, genlik cevabı, faz cevabı, grup gecikmesi ve faz gecikmesi olarak gösterilmiştir.

Tezde optik fiber hattında herhangi bir elektriksel dönüşüm yapılmadan pasif bir eleman olan optik fiber kuplör yardımıyla elde edilen halka rezonatör yapıları ile tamamen optik filtreler tasarlanmıştır.

KAYNAKLAR

-
- [1] Türkmen Ö., (2005). Optik Dalga Kılavuzlarında Propagasyon Özelliklerinin İncelenmesi ve Optik Kuplör ile Optik Sensör Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
 - [2] Navroz İ., (2006). Uzun Mesafeli ve Yüksek Hızlı Fiberoptik Haberleşme Sistemlerinde Optik İzgara Tabanlı Dispersiyon Kompanzasyonu, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
 - [3] Sheno B. A., (2006). Introduction to Digital Signal Processing and Filter Design, John Wiley & Sons Inc, New Jersey.
 - [4] Thede L., (1996). Analog & Digital Filter Design Using C, Prentice Hall PTR Sleaford A, United Kingdom.
 - [5] Winder S., (2005). Analog ve Dijital Filtre Tasarımı, Bilişim Yayıncılık, İstanbul.
 - [6] Ağaoğlu E. A. (2008). Sayısal Süzgeç Tasarımı ve Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, Başkent Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
 - [7] Çetinkaya M. B., (2004). Genetik Algoritma Kullanarak Optimum Genlik Cevaplı ve Minimum Fazlı Sayısal Süzgeçlerin Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
 - [8] Monson H. H., (1999). Schaum's Sayısal İşaret İşleme, Nobel Yayın Dağıtım, İstanbul
 - [9] Chen W. K. ve diğerleri, (2006). Passive Active and Digital Filters, United States of America on Acid-Free Paper, Chicago.
 - [10] Ünverdi N. Ö., (1998). Düz ve Bükülmüş Optik Dalga Kılavuzlarının Karşılıklı Kuplajına Kılavuzlanmış Modların, Evanescent Alanların ve Sızıntılı Modların Etkisi, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
 - [11] Cheo P. K., (1990). Fiber Optics and Optoelectronics, Prentice-Hall, New Jersey.
 - [12] Marcuse D., (1974). Theory of Dielectric Optical Waveguides, Academic Press, New York.
 - [13] Yuen W. P., (1994). "On the Different Formulations of the Coupled Mode Theory for Parallel Dielectric Waveguides", J. Lightwave Tech, 12:82-85.
 - [14] Bahaa E. S. A., Malvin C. T., (1991). Fundamental of Photonic, John Wiley & Sons Inc, New York.

- [15] Ngo N. Q., Ninh L. N., (1994). "Novel Realization of Monolithic Butterworth-Type Low-Pass, High Pass and Band Pass Optical Filters Using Phase Modulated Fiber-Optic Interferometers", J. Lighthwave Technol, 12:827-841.
- [16] Rostami A., Rostami G., (2003). "Full Optical Analog to Digital (A/D) Converter Based On Nonlinear Kerr-Like Ring Resonators", Optics Communications, 228:39-48.
- [17] Ninh L. N., ve diğ erleri, (1996). "Realization of Butterworth-Type Optical Filters Using 3x3 Coupler Ring Resonators" IEE Proc. Optoelectron, 143 (2).
- [18] Yu. A, Siddiqui A. S., (1995). "Systematic Method for the Analysis of Optical Fiber Circuit", IEE Proc. Optoelectron, 142 (4).
- [19] Chew Y. H., ve diğ erleri, (1993). "Performance of Signal and Double-Ring Resonator Using 3 x 3 Optical Fiber Coupler" J. Lighthwave Technol, 11 (12).
- [20] Rostami A., Rostami G., (1994). "Full-Optical Realizationof Tunable Low Pass, High Pass and Band Pass Optical Filters Using Ring Resonators" Optics Communications, 240:133-151.
- [21] Imai M., Yano T., Motoi K., Odajima A., (1992). "Piezoelectrically Induced Optical Phase Modulation of Light in Single-Mode Fibers," IEEE J. Quantum Electron., 28:1901-1908.
- [22] Jarzynski J., (1984). "Frequency Response of a Single-Mode Optical Fiber Phase Modulators Utilizing a Piezoelectric Plastic Jacket," J. Appl. Phys., 55:3243-3250.
- [23] Ninh L. N., ve diğ erleri, (1993). "Graphical Representation and Analysis of the Z-Shaped Double-Coupler Optical Resonator," Lightwave Tech, 1:1782-1792.

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Butterworth Filtre %%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Alçak Geçiren Filtre Tasarımı (N=6) %%%%%%%%%%

```

```

clear all
clc

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Haz1 %%%%%%%%%%

```

```

K1z11=0.5;
K2z11=0.5;
gama1_z11=0.1;
gama2_z11=0.1;
alfa_z11=1e-5;
Goa_z11=1;
L46_z11=100e-6;

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Hap1 %%%%%%%%%%

```

```

K1p1=0.1;
K2p1=0.1;
K3p1=0.8215;
gama1_p1=0.04;
gama2_p1=0.04;
gama3_p1=0.04;
alfa_p1=1e-5;
Goa_p1=1;
L_p1=100e-6;

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Hap2 %%%%%%%%%%

```

```

K1p2=0.1;
K2p2=0.1;
K3p2=0.8215;
gama1_p2=0.04;
gama2_p2=0.04;
gama3_p2=0.04;
a1_p2=0.9366;
a2_p2=0.9366;
a3_p2=0.9366;
gamac1_p2=0.0135;
gamac2_p2=0.0135;
gamac3_p2=0.0135;
Goa_p2=1;
L_p2=100e-6;
alfa_p2=1e-5;

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Hap3 %%%%%%%%%%

```

```

K1p12=0.8;
K2p12=0.8;
K3p12=0.5948;

```



```
gama1_p12=0.1;
gama2_p12=0.1;
gama3_p12=0.1;
alfa_p12=1e-5;
Goa_p12=1;
L_p12=100e-6;
```

%% Hap4 %%%

```
K1p22=0.8;
K2p22=0.8;
K3p22=0.5948;
gama1_p22=0.1;
gama2_p22=0.1;
gama3_p22=0.1;
a1_p22=0.841;
a2_p22=0.841;
a3_p22=0.841;
gamac1_p22=0.0345;
gamac2_p22=0.0345;
gamac3_p22=0.0345;
Goa_p22=1;
L_p22=100e-6;
alfa_p22=1e-5;
```

%% Hap5 %%%

```
K1p13=0.3;
K2p13=0.3;
K3p13=0.4803;
gama1_p13=0.1;
gama2_p13=0.1;
gama3_p13=0.1;
alfa_p13=1e-5;
Goa_p13=1;
L_p13=100e-6;
```

%% Hap6 %%%

```
K1p23=0.3;
K2p23=0.3;
K3p23=0.4803;
gama1_p23=0.1;
gama2_p23=0.1;
gama3_p23=0.1;
a1_p23=0.7831;
a2_p23=0.7831;
a3_p23=0.7831;
gamac1_p23=0.0345;
gamac2_p23=0.0345;
gamac3_p23=0.0345;
Goa_p23=1;
L_p23=100e-6;
alfa_p23=1e-5;
```

%% Katsayilar %%%

```
c1=sqrt(K1p1*K2p1*(1-gama1_p1)*(1-gama2_p1));
c2=sqrt(K3p1*(1-K2p1)*(1-K1p1)*(1-gama1_p1)*(1-gama2_p1)*(1-gama3_p1))*Goa_p1*exp(-
    alfa_p1*L_p1/2);
c3=sqrt(K1p2*K2p2*(1-gama1_p2)*(1-gama2_p2));
c4=sqrt((1-gamac1_p2)*(1-gamac2_p2)*(1-gamac3_p2)*a1_p2*a2_p2*a3_p2*(1-K1p2)*(1-
    K2p2)*(1-gama1_p2)*(1-gama2_p2))*Goa_p2*exp(-alfa_p2*L_p2/2);

c12=sqrt(K1p12*K2p12*(1-gama1_p12)*(1-gama2_p12));
c22=sqrt(K3p12*(1-K2p12)*(1-K1p12)*(1-gama1_p12)*(1-gama2_p12)*(1-
    gama3_p12))*Goa_p1*exp(-alfa_p12*L_p12/2);
```

```

c32=sqrt(K1p22*K2p22*(1-gama1_p22)*(1-gama2_p22));
c42=sqrt((1-gamac1_p22)*(1-gamac2_p22)*(1-gamac3_p22)*a1_p22*a2_p22*a3_p22*(1-
K1p22)*(1-K2p22)*(1-gama1_p22)*(1-gama2_p22))*Goa_p22*exp(-alfa_p22*L_p22/2);

c13=sqrt(K1p13*K2p13*(1-gama1_p13)*(1-gama2_p13));
c23=sqrt(K3p13*(1-K2p13)*(1-K1p13)*(1-gama1_p13)*(1-gama2_p13)*(1-
gama3_p13))*Goa_p13*exp(-alfa_p13*L_p13/2);
c33=sqrt(K1p23*K2p23*(1-gama1_p23)*(1-gama2_p23));
c43=sqrt((1-gamac1_p23)*(1-gamac2_p23)*(1-gamac3_p23)*a1_p23*a2_p23*a3_p23*(1-
K1p23)*(1-K2p23)*(1-gama1_p23)*(1-gama2_p23))*Goa_p23*exp(-alfa_p23*L_p23/2);

b1=sqrt((1-gama1_z11)*(1-gama2_z11)*(K1z11)*(1-K2z11));
b2=sqrt((1-gama1_z11)*(1-gama2_z11)*(K2z11)*(1-K1z11))*Goa_z11*exp(-
alfa_z11*L46_z11/2);
%b3=sqrt(K1z21*K2z21*K3z21*(1-gama1_z21)*(1-gama2_z21)*(1-gama3_z21));
%b4=sqrt(K3z21*(1-K1z21)*(1-K2z21)*(1-gama1_z21)*(1-gama2_z21)*(1-
gama3_z21))*Goa_z21*exp(-alfa_z21*L_z21/2);

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Transfer Fonksiyonu Katsayıları %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

num1=(-c1)*(-c12)*(-c3)*(-c32)*(-c13)*(-c33)*conv([-1j*b1 -1j*b2],[-1j*b1 -1j*b2]);
num2=conv([-1j*b1 -1j*b2],[-1j*b1 -1j*b2]);
num3=conv([-1j*b1 -1j*b2],[-1j*b1 -1j*b2]);
num4=conv([num1],[num2]);
num5=conv([num3],[num4])

den1=conv([1 1j*c2],[1 -1j*c4]);
den2=conv([1 1j*c22],[1 -1j*c42]);
den3=conv([1 1j*c23],[1 -1j*c43]);
den4=conv([den1],[den2]);
den5=conv([den3],[den4])

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Alçak Geçiren Filtre Grafiği %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

fvtool(num5, den5)

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% 1. Tip Chebyshev %%%%%%%%%  
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Alçak Geçiren Filtre Tasarımı (N=6) %%%%%%%%%
```

```
clear all  
clc
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Haz1 %%%%%%%%%
```

```
K1z11=0.5;  
K2z11=0.5;  
gama1_z11=0.1;  
gama2_z11=0.1;  
fi36_z11=0;  
fi45_z11=pi;  
t36_z11=1;  
t45_z11=1;
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Haz2 %%%%%%%%%
```

```
K1z21=0.5;  
K2z21=0.5;  
gama1_z21=0.1;  
gama2_z21=0.1;  
fi36_z21=0;  
fi45_z21=pi;  
t36_z21=1;  
t45_z21=1;
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Haz3 %%%%%%%%%
```

```
K1z31=0.5;  
K2z31=0.5;  
gama1_z31=0.1;  
gama2_z31=0.1;  
fi36_z31=0;  
fi45_z31=pi;  
t36_z31=1;  
t45_z31=1;
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Haz4 %%%%%%%%%
```

```
K1z41=0.5;  
K2z41=0.5;  
gama1_z41=0.1;  
gama2_z41=0.1;  
fi36_z41=0;  
fi45_z41=pi;  
t36_z41=1;  
t45_z41=1;
```

%% Haz5 %%%

K1z51=0.5;
K2z51=0.5;
gama1_z51=0.1;
gama2_z51=0.1;
fi36_z51=0;
fi45_z51=pi;
t36_z51=1;
t45_z51=1;

%% Haz6 %%%

K1z61=0.5;
K2z61=0.5;
gama1_z61=0.1;
gama2_z61=0.1;
fi36_z61=0;
fi45_z61=pi;
t36_z61=1;
t45_z61=1;

%% Hap1 %%%

K1p1=0.6406;
K2p1=0.6406;
gama1_p1=0.1;
gama2_p1=0.1;
fi45_p1=0;
fi82_p1=3.7116;
t45_p1=1;
t82_p1=1;

%% Hap2 %%%

K1p2=0.6406;
K2p2=0.6406;
gama1_p2=0.1;
gama2_p2=0.1;
fi45_p2=0;
fi82_p2=2.5715;
t45_p2=1;
t82_p2=1;

%% Hap3 %%%

K1p3=0.8452;
K2p3=0.8452;
gama1_p3=0.1;
gama2_p3=0.1;
fi45_p3=0;
fi82_p3=4.4415;
t45_p3=1;
t82_p3=1;

%% Hap4 %%%

K1p4=0.8452;
K2p4=0.8452;
gama1_p4=0.1;
gama2_p4=0.1;
fi45_p4=0;
fi82_p4=1.8416;
t45_p4=1;
t82_p4=1;

%% Hap5 %%%

K1p5=0.5144;
K2p5=0.5144;
gama1_p5=0.1;
gama2_p5=0.1;
fi45_p5=0;
fi82_p5=4.7238;
t45_p5=1;
t82_p5=4;

%% Hap6 %%%

K1p6=0.5144;
K2p6=0.5144;
gama1_p6=0.1;
gama2_p6=0.1;
fi45_p6=0;
fi82_p6=1.5593;
t45_p6=1;
t82_p6=4;

%% Katsayılar %%%

k1=sqrt((1-K1p1)*(1-K2p1)*(1-gama1_p1)*(1-gama2_p1)*t45_p1)*exp(1j*fi45_p1);
k2=sqrt(K1p1*K2p1*(1-gama1_p1)*(1-gama2_p1)*t45_p1*t82_p1)*exp(1j*fi45_p1)*exp(1j*fi82_p1);
k3=sqrt((1-K1p2)*(1-K2p2)*(1-gama1_p2)*(1-gama2_p2)*t45_p2)*exp(1j*fi45_p2);
k4=sqrt(K1p2*K2p2*(1-gama1_p2)*(1-gama2_p2)*t45_p2*t82_p2)*exp(1j*fi45_p2)*exp(1j*fi82_p2);

s1=sqrt((1-gama1_z11)*(1-gama2_z11)*(1-K1z11)*(1-K2z11)*t45_z11)*exp(1j*fi45_z11);
s2=sqrt((1-gama1_z11)*(1-gama2_z11)*K2z11*K1z11*t36_z11)*exp(1j*fi36_z11);
s3=sqrt((1-gama1_z21)*(1-gama2_z21)*(1-K1z21)*(1-K2z21)*t45_z21)*exp(1j*fi45_z21);
s4=sqrt((1-gama1_z21)*(1-gama2_z21)*K2z21*K1z21*t36_z21)*exp(1j*fi36_z21);

k5=sqrt((1-K1p3)*(1-K2p3)*(1-gama1_p3)*(1-gama2_p3)*t45_p3)*exp(1j*fi45_p3);
k6=sqrt(K1p3*K2p3*(1-gama1_p3)*(1-gama2_p3)*t45_p3*t82_p3)*exp(1j*fi45_p3)*exp(1j*fi82_p3);
k7=sqrt((1-K1p4)*(1-K2p4)*(1-gama1_p4)*(1-gama2_p4)*t45_p4)*exp(1j*fi45_p4);
k8=sqrt(K1p4*K2p4*(1-gama1_p4)*(1-gama2_p4)*t45_p4*t82_p4)*exp(1j*fi45_p4)*exp(1j*fi82_p4);

s5=sqrt((1-gama1_z31)*(1-gama2_z31)*(1-K1z31)*(1-K2z31)*t45_z31)*exp(1j*fi45_z31);
s6=sqrt((1-gama1_z31)*(1-gama2_z31)*K2z31*K1z31*t36_z31)*exp(1j*fi36_z31);
s7=sqrt((1-gama1_z41)*(1-gama2_z41)*(1-K1z41)*(1-K2z41)*t45_z41)*exp(1j*fi45_z41);
s8=sqrt((1-gama1_z41)*(1-gama2_z41)*K2z41*K1z41*t36_z41)*exp(1j*fi36_z41);

k9=sqrt((1-K1p5)*(1-K2p5)*(1-gama1_p5)*(1-gama2_p5)*t45_p5)*exp(1j*fi45_p5);
k10=sqrt(K1p5*K2p5*(1-gama1_p5)*(1-gama2_p5)*t45_p5*t82_p5)*exp(1j*fi45_p5)*exp(1j*fi82_p5);
k11=sqrt((1-K1p6)*(1-K2p6)*(1-gama1_p6)*(1-gama2_p6)*t45_p6)*exp(1j*fi45_p6);
k12=sqrt(K1p6*K2p6*(1-gama1_p6)*(1-gama2_p6)*t45_p6*t82_p6)*exp(1j*fi45_p6)*exp(1j*fi82_p6);

s9=sqrt((1-gama1_z51)*(1-gama2_z51)*(1-K1z51)*(1-K2z51)*t45_z51)*exp(1j*fi45_z51);
s10=sqrt((1-gama1_z51)*(1-gama2_z51)*K2z51*K1z51*t36_z51)*exp(1j*fi36_z51);
s11=sqrt((1-gama1_z61)*(1-gama2_z61)*(1-K1z61)*(1-K2z61)*t45_z61)*exp(1j*fi45_z61);
s12=sqrt((1-gama1_z61)*(1-gama2_z61)*K2z61*K1z61*t36_z61)*exp(1j*fi36_z61);

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Transfer Fonksiyonu Katsayıları %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

num1=k1*k3*conv([s1 -s2],[s3 -s4]);
num2=k5*k7*conv([s5 -s6],[s7 -s8]);
num3=k9*k11*conv([s9 -s10],[s11 -s12]);
num4=conv([num1],[num2]);
num5=conv([num3],[num4]);

den1=conv([1 k2],[1 k4]);
den2=conv([1 k6],[1 k8]);
den3=conv([1 k10],[1 k12]);
den4=conv([den1],[den2]);
den5=conv([den3],[den4]);

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Alçak Geçiren Filtre Grafiği %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

fvtool(num5, den5)

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Yusuf HACISALİHOĞLU
Doğum Tarihi ve Yeri : 13.06.1986, Trabzon
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : yusufhacisalihoglu@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı	Yıldız Teknik Üniversitesi	-
Lisans	Elektrik-Elektronik Mühendisliği	Pamukkale Üniversitesi	2008
Lise	Fen-Matematik	Y.D.A. Süleyman Nazif Lisesi	2004

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2010 - ...	MTU Motor Türbin Sanayi	Mühendis

YAYINLARI

Bildiri

1. Unal M., Hacisalihoglu Y., Unverdi N. O., “The Investigation Of The Characteristic Properties of Erbium Ions for an Erbium Doped Fiber Amplifier”, Advances in Applied Physics and Materials Science Congress APMAS 2011, Antalya-Türkiye, Mayıs 2011.

2. Unal M., Hacisalihoglu Y., Ünverdi N. Ö., “Analysis of the Optical Gain Characteristic of a Semiconductor Optical Amplifier”, Advances in Applied Physics and Materials Science Congress APMAS 2011, Antalya-Türkiye, Mayıs 2011.
3. Ünal M., Hacisalihoglu Y., Ünverdi N. Ö., “Raman Kuvvetlendiricide Kazandın Düzleştirilmesi”, IEEE 19. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı SİU 2011, Antalya-Türkiye, Nisan 2011.
4. Ünal M., Hacisalihoglu Y., Ünverdi N. Ö., “Yarıiletken Optik Kuvvetlendiricinin Kazancını Etkileyen Parametrelerin İncelenmesi”, 12. Ulusal Optik, Elektro-Optik ve Fotonik Toplantısı FOTONİK 2010, İstanbul-Türkiye, Ekim 2010.
5. Ünal M., Hacisalihoglu Y., Ünverdi N. Ö., “Optik Kuvvetlendiricilerin Karşılaştırmalı Performans Analizi”, V. URSI - Türkiye’2010 Bilimsel Kongresi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi - Kuzey Kıbrıs Kampüsü, Güzel yurt, KKTC, 432-435, Ağustos 2010.
6. Ünal, M., Hacisalihoglu Y., "Zn_{0.72}Cd_{0.28}Se-ZnSe Tekli Lazer Diyotunun TE Modunda Elektrik ve Manyetik Alanlarının İncelenmesi", IEEE 18. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı SİU 2010, Diyarbakır-Türkiye , Nisan 2010.

Proje

1. Ünverdi N. Ö., Ünverdi N. A., Ünal M., Güre Ö., Hacisalihoglu Y., Büdeyri E., Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü, Kapsamlı Araştırma Projesi, Optik Doğrultu Kuplörlerinin Performans Analizi ve Optik Haberleşme Sistemlerindeki Uygulamaları, Proje No: 2011-04-03-KAPO2 (Proje başvurusu Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından kabul edilmiştir ve proje devam etmektedir.)
2. Avrupa Birliği Gençlik Projesi, Eylem 4.3. “Az Su Çok Hayat”. Denizli, Mayıs 2007.