

T.C.
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**KAOTİK MASKELENMİŞ SES SINYALİNİN FDM YÖNTEMİYLE
İLETİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: Ali Can ÇABUKER
DANIŞMAN: Doç. Dr. M. Nuri ALMALI

VAN-2019

T.C.
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**KAOTİK MASKELENMİŞ SES SİNYALİNİN FDM YÖNTEMİYLE
İLETİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: Ali Can ÇABUKER

VAN-2019

KABUL VE ONAY SAYFASI

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Doç.Dr. M. Nuri ALMALI danışmanlığında, Ali Can ÇABUKER tarafından sunulan "Kaotik Maskelenmiş Ses Sinyalinin FDM Yöntemiyle İletilmesi" isimli bu çalışma Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili hükümleri gereğince 26/07/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile başarılı bulunmuş ve yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan :Prof. Dr. Sabir RÜSTEMLİ

İmza:

Üye : Prof. Dr. Naci GENÇ

İmza:

Üye :Doç. Dr. M. Nuri ALMALI

İmza:

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun .16...108.../2019 tarih ve 2019/44-I..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.



TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

(İmza)

Ali Can ÇABUKER

ÖZET

KAOTİK MASKELENMİŞ SES SİNYALİNİN FDM YÖNTEMİYLE İLETİLMESİ

ÇABUKER, Ali Can

Yüksek Lisans Tezi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı : Doç. Dr. M. Nuri ALMALI

Ağustos 2019, 45 sayfa

Bu tez çalışmasında, kaotik bir sinyal yardımıyla maskelenmiş ses sinyali ile alıcı tarafta maskeyi kaldırmak için kullanılan ikinci bir kaotik sinyalin tek bir kanal üzerinde iletilerek ve alıcı tarafında maskeyi kaldırarak ses sinyalinin yeniden elde edilebileceği güvenli bir haberleşme sisteminin MATLAB simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Bu amaç doğrultusunda kaotik sinyalleri elde etmek için Sprot kaotik osilatör verileri tek bir kanaldan iletmek için Frekans Bölmeli Çoğullama (FDM) yöntemi kullanılmıştır. FDM yönteminde sinyalleri iletmek için çift yan bant genlik modülasyonu kullanılmıştır. Alıcı tarafında kaotik sinyallerin senkronizasyonu için PID ve PD kontrol yöntemleri karşılaştırılmıştır. FDM yöntemi ile tek bir kanaldan iletilen mesaj ve senkronizasyon sinyallerinin toplamından oluşan sinyal, bant geçiren 8. Dereceden Butterworth filtreleri kullanılarak ayrıştırılmıştır. Giriş ve çıkış sinyalleri arasındaki farkı bulmak için hata kareler ortalaması (HKO) yöntemi kullanılmıştır.

Yapılan çalışmanın sonucunda kaotik sinyallerin senkronizasyon işlemi için PD yönteminin HKO'sının PID'den daha düşük olduğu görülmüştür. Ayrıca giriş ve çıkıştaki ses sinyalinin HKO'sı, PD kontrolcüyle daha düşük olduğu gözlemlenmiş ve 0.098 olduğu hesaplanmıştır. Çıkışta elde edilen ses sinyali hatayı küçültmek için bant geçiren filtreden geçirilmiş ve HKO 0.037 olarak bulunmuştur. Sistemin simülasyon ortamında bir ses sinyalini maskeleyip tek bir kanal üzerinden iletilebileceği ve alıcı tarafından maskenin çözülerek orijinal ses sinyaline anlaşılır bir şekilde ulaşıldığı görülmüştür.

Anahtar kelimeler: DSB-AM, FDM, Güvenli haberleşme, PID, Sprot kaotik osilatör.



ABSTRACT

TRANSFER OF CHAOTIC MASKED AUDIO SIGNAL BY FDM METHOD

CABUKER, Ali Can

M. Sc. Thesis, Electrical-Electronics Engineering

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Mehmet Nuri ALMALI

August 2019, 45 pages

In this thesis, the MATLAB simulation of a secure communication system is realized by transmitting the masked audio signal with the help of a chaotic signal and a second chaotic signal used to remove the mask on the receiving side on a single channel and by removing the mask on the receiving side. For this purpose, the frequency division multiplexing (FDM) method was used to transmit Sprott chaotic oscillator data from a single channel to obtain chaotic signals. Double sideband amplitude modulation is used to transmit signals in FDM method. PID and PD control methods for the synchronization of chaotic signals on the receiver side were compared. The signal consisting of the sum of the message and synchronization signals transmitted from a single channel by the FDM method was separated using Bandpass 8th Degree Butterworth filters. In order to find the difference between input and output signals, mean square error (HKO) method was used.

As a result of the study, it was observed that the PD method for synchronization of chaotic signals was lower than the PID of the HKO. In addition, the HKO of the audio signal at the input and output was observed to be lower with the PD controller and was calculated to be 0.098. The audio signal obtained at the output was passed through a bandpass filter to reduce the error and the HKO was found to be 0.037. It has been found that in the simulation environment, the system can mask an audio signal and transmit it over a single channel and unmask the receiver by intelligently reaching the original audio signal.

Keywords: DSB-AM, FDM, Secure communication, PID, Sprott chaotic oscillator



ÖN SÖZ

Bu tez çalışmasında, her türlü ilgi ve yardımlarını esirgemeyen aileme ve danışman hocam Doç. Dr. M. Nuri ALMALI 'ya teşekkür ederim.

2019

Ali Can ÇABUKER



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
ÖN SÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR	xii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ	3
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	7
3.1. Materyal	7
3.1.1. Kaotik osilatör	7
3.1.2. Genlik modülatörü.....	9
3.1.3. Genlik demodülatörü	10
3.1.4. Filtreler	12
3.1.5. Aktif filtreler	12
3.1.6. Bant geçiren aktif filtreler.....	14
3.2. Yöntem	15
3.2.1. Gerçekleştirilen sistemin genel yapısı	15
3.2.2. FDM	16
3.2.3. Genlik modülasyonu.....	18
3.2.4. Genlik demodülasyonu	19
3.2.5. PID kontrol yöntemi	20
3.2.6. Hata kareler ortalaması yöntemi	21
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	23
4.1. Kaotik Sinyallerin Elde Edilmesi	23
4.2. Ses Sinyalinin Maskelenmesi	24
4.3. Mesaj Sinyallerinin Modülasyonu	26
4.4. Modülasyonlu Sinyallerin FDM Kanalından İletimi	27
4.5. FDM Kanalındaki Sinyallerin Ayrılması	29

	Sayfa
4.6. Mesaj Sinyallerinin Demodülasyonu	31
4.7. Senkronizasyon	32
4.8. Ses Sinyalinin Elde Edilmesi.....	37
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	41
KAYNAKLAR.....	43
ÖZ GEÇMİŞ.....	45



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Master Sprot kaotik osilatörün MATLAB Simulink modeli	8
Şekil 3.2. Slave Sprot kaotik osilatörün MATLAB Simulink modeli.....	9
Şekil 3.3. Genlik modülatörü MATLAB Simulink modeli	10
Şekil 3.4. Genlik demodülatörü MATLAB Simulink modeli	12
Şekil 3.5. Butterworth aktif filtresinin MATLAB bloğu.....	13
Şekil 3.6. Butterworth aktif filtresinin transfer fonksiyonları	13
Şekil 3.7. Bant geçiren aktif filtre MATLAB blok diyagramı	14
Şekil 3.8. Bant geçiren aktif filtre frekans-kazanç eğrisi	14
Şekil 3.9. FDM sisteminin verici bölümünün blok diyagramı	15
Şekil 3.10. FDM sisteminin alıcı bölümünün blok diyagramı	16
Şekil 3.11. Frekans bölmeli çoğullamanın verici bölümü.....	17
Şekil 3.12. Frekans bölmeli çoğullama koruma bandı frekans spektrumu.....	17
Şekil 3.13. Frekans bölmeli çoğullama alıcı bölümü	18
Şekil 3.14. Çift yan bant genlik modülasyonu	19
Şekil 3.15. FDM yönteminde demodülasyon işlemi	19
Şekil 3.16. PID kontrol yönteminin çalışma prensibi.....	21
Şekil 4.1. Xm kaotik sinyali	23
Şekil 4.2. Ym kaotik sinyali	23
Şekil 4.3. Zm kaotik sinyali.....	24
Şekil 4.4. Ses sinyalinin maskelenmesi MATLAB blok diyagramı.....	24

Şekil	Sayfa
Şekil 4.5. Ses sinyali.....	25
Şekil 4.6. Maskelenmiş ses sinyali	25
Şekil 4.7. Mesaj sinyallerinin modülasyon blok diyagramı	26
Şekil 4.8. Maskelenmiş ses sinyalinin modülasyonu	27
Şekil 4.9. Senkronizasyon sinyalinin modülasyonu	27
Şekil 4.10. FDM kanalının MATLAB simulink modeli	28
Şekil 4.11. FDM kanalından iletilen sinyal	28
Şekil 4.12. FDM kanalındaki sinyallerin ayrılması.....	29
Şekil 4.13. Maskelenmiş ses sinyalinin modülasyonu - FDM çıkışı.....	30
Şekil 4.14. Senkronizasyon sinyalinin modülasyonu -FDM çıkışı	30
Şekil 4.15. Demodülasyon işlemi MATLAB simulink modeli.....	31
Şekil 4.16. Maskelenmiş ses sinyalinin modülasyon öncesi ve demodülasyon sonrası	31
Şekil 4.17. Senkronizasyon sinyalinin modülasyon öncesi ve demodülasyon sonrası.....	32
Şekil 4.18. Oransal-türevsel-integral kontrolcünün MATLAB simulink modeli....	33
Şekil 4.19 PID kontrolcü tuning görüntüsü	33
Şekil 4.20 PID kontrolcü X_m ve X_s sinyallerinin eşlenmesi	34
Şekil 4.21. PID kontrolcü Y_m ve Y_s sinyallerinin eşlenmesi	34
Şekil 4.22. PID kontrolcü Z_m ve Z_s sinyallerinin eşlenmesi	35
Şekil 4.23. PI kontrolcü Tuning görüntüsü	35
Şekil 4.24. PD kontrolcü Tuning görüntüsü	36
Şekil 4.25. PD kontrolcü X_m ve X_s sinyallerinin eşlenmesi	36

Şekil	Sayfa
Şekil 4.26. PD kontrolcü Y_m ve Y_s sinyallerinin eşlenmesi	37
Şekil 4.27. PD kontrolcü Z_m ve Z_s sinyallerinin eşlenmesi	37
Şekil 4.28. Maskelenmiş ses sinyalinin deşifre işleminin MATLAB simulink modeli	38
Şekil 4.29. Sinüs sinyalinin sisteme giriş ve çıkışının karşılaştırılması	38
Şekil 4.30. Ses sinyalinin sistemden çıkışı	39
Şekil 4.31. Ses sinyalinin bant geçiren filtre çıkışı	39





SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklama

c(t)	Taşıyıcı Sinyal
f_c	Taşıyıcı Sinyalin Frekansı
f_m	Mesaj Sinyalinin Frekansı
K_p	Oransal Kontrol Parametresi
K_i	İntegral Kontrol Parametresi
K_d	Türevsel Kontrol Parametresi
m(t)	Mesaj Sinyali
s(t)	Modülasyon Sinyali (DSB-AM)
v(t)	Product Detector Çıkışı
Y_m	Y Master Kaotik Sinyali
Y_s	Y Slave Kaotik Sinyali
Z_m	Z Master Kaotik Sinyali
Z_s	Z Slave Kaotik Sinyali
X_m	X Master Kaotik Sinyali
X_s	X Slave Kaotik Sinyali

Kısaltmalar

Açıklama

AGF	Alçak Geçiren Filtre
BGF	Bant Geçiren Filtre
DSB-AM	Çift Yan Bant Genlik Modülasyonu
FDM	Frekans Bölmeli Çoğullama
PID	Oransal-İntegral-Türevsel Kontrolcü



1. GİRİŞ

Maskeleme, verileri güvenli hale getirir ve yetkili kişiler haricindekilerin anlayamayacağı başka bir biçime dönüştürür. Verilerin maskelenmesi ne kadar önemliyse hedef tarafında çözülmesi de bir o kadar önemlidir.

Kaotik işaretler düzensiz, periyodik olmayan ve hiçbir şekilde kendini tekrarlamayan işaretler olduğundan son yıllarda güvenli haberleşme sistemlerinde, mesaj sinyallerinin maskelenmesi için yaygın olarak kullanılmaktadır. Kaotik işaretlerin üretilmesinde Lorenz, Sprott, Arneodo vb. kaotik devrelerden faydalanılmaktadır.

Kaotik sinyallerin güvenli haberleşme sistemlerinde kullanılabilmesi için alıcı ve verici tarafında kullanılan kaotik sinyallerin senkronize edilmesi önemli bir konudur. Kaotik osilatörler arasındaki senkronizasyon işlemi gerçekleştirilmediğinde alıcı bölümünde anlamlı bilgi elde edilememektedir. Bu senkronizasyonu sağlamak için Oransal Türevsel İntegral (PID) kontrolcü yaygın olarak kullanılmaktadır.

PID kontrol yöntemi, Oransal kontrol için K_p , İntegral kontrolü için K_i ve Türevsel Kontrol için K_d parametrelerine sahiptir. Endüstriyel uygulamaların çoğunda kullanılabilen PID kontrol yöntemi parçalar halinde de kontrol sağlayabilmektedir. Örneğin PD veya PI kontrol şeklinde de tasarım yapılabilmektedir. PID kontrol doğası gereği çıkışa gelen sinyal ile referans sinyali karşılaştırır ve aralarındaki hatayı minimize etmeye çalışır. Uygulama kolaylığı sayesinde de sıklıkla tercih edilmektedir.

Yapılan çalışmada, ses sinyali kaotik osilatör kullanılarak üretilen bir sinyal ile maskelenmiştir. Maskelenen ses sinyali ile alıcı tarafta maskeyi çözmek için kullanılacak ikinci bir kaotik sinyal, frekans bölmeli çoğullama (FDM) yöntemiyle ikinci bir iletim kanalına ihtiyaç duyulmadan bir tek kanal üzerinden alıcı tarafa iletilmesi sağlanmıştır. FDM yönteminde mesaj sinyalleri taşınacakları frekans spektrumuna çift yan bant genlik modülasyonu kullanılarak yerleştirilmiştir. Aynı kanal üzerinde iletilen sinyallerin birbirlerine girişmesini engellemek ve sinyalleri taşımak için kullanılan frekanslar, arada koruma bandı oluşacak şekilde seçilmişlerdir.

FDM yöntemiyle tek kanaldan iletilen modüle edilmiş ses ve senkronizasyon sinyalleri, alıcı tarafında 8. dereceden bant geçiren filtreler kullanılarak ayrılmış ve ayrı iki sinyal haline getirilmiştir. Filtreler belirlenen frekans aralıklarında kazancı

yükseltirken, bu aralıkların dışında ise kazancı düşürerek istenmeyen sinyallerin yok edilmesini sağlamıştır.

Maskelenen ses sinyalini ve senkronizasyon sinyalini tekrar elde etmek için bant geçiren filtrelerden sonra sinyallere genlik demodülasyonu uygulanmıştır. Genlik demodülasyonu yapılırken, faz farkından kaynaklanabilecek hataları engellemek için senkron demodülatör kullanılmıştır.

Ortak iletim kanalından ayrılan senkronizasyon sinyaliyle, alıcı tarafında bulunan kaotik osilatördeki senkronizasyon sinyalinin eşlenmesini gerçekleştirebilmek amacıyla PID kontrol yöntemi kullanılmıştır. Yapılan çalışmada PID, PI ve PD kontrol yöntemleri uygulanarak özdeş iki kaotik osilatör arasındaki fark giderilmeye çalışılmıştır. Bu farkın giderilmesiyle şifrelenen ses sinyalinden kaotik sinyal sağlıklı bir şekilde çıkarılmış ve ses sinyali elde edilmiştir.

Bu çalışmanın ilerleyen kısımlarında öncelikle konuyla ilgili yapılan geçmiş çalışmalar sunulmuştur. Kullanılan materyaller ve yöntemler açıklanmış ve çalışma sonunda elde edilen bulgular ile sonuçlar verilmiştir.

2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ

Matematiğin bir dalı olan kaos teorisi, ilk ortaya çıktığı zamanlar mühendislik gibi uygulamalı bilim dallarında beklenen ilgiyi görmemiştir. Fakat daha sonraları bu konu Edward Lorenz tarafından ortaya atılan “Kelebek Etkisi” tanımıyla dünya çapında ilgi çekmeyi başarmıştır (Lorenz, 1963).

Kaos teorisinden yararlanılarak fiziksel olarak gerçekleştirilen kaotik sinyal üreticiden sonra (Chua, 1983), bu üreticinin haberleşme teknolojilerinde kullanılabileceğinin fark edilmesi, yeni bir çalışma alanı meydana getirdi (Hayes ve ark., 1993). Ardından bilgi sinyalinin şifrelenmesini sağlayacak yeni bir kaotik devre tasarımı ortaya çıkmıştır (Sprott, 2000).

Ses sinyallerinin maskelenmesi, iletilmesi ve çözülmesi için alıcı ve verici taraflarında özdeş kaotik osilatörlerin kullanılması ve bunların senkronize edilmesi gereklidir. Çünkü kaotik sinyal üreticileri sinyalimizi maskelerken sürekli olarak benzersiz ve tekrar etmeyen sinyaller üretmektedirler. (Pecora ve Carroll, 1990). Literatürde senkronizasyonun sağlanması için PID gibi kontrol yöntemleri ön plana çıkmaktadır (Chen ve ark., 2008).

Bu kontrol sağlanırken maskelenmiş sinyal ile birlikte senkronizasyonu sağlayacak ikinci bir kaotik sinyale ihtiyaç bulunmaktadır. Bu iki sinyalin tek bir kanaldan iletilmesi ise veri iletim ortamlarında kullanılan FDM yönteminin kaotik haberleşme sistemlerine eklenmesiyle gerçekleşmiştir (Danhui, 2010). Birlikte iletilen bu sinyallerin ayrıştırılması için yüksek dereceli alçak ve yüksek geçiren filtreler kullanılmalıdır (Korürek, 1996).

Karagozolu (1992), yaptığı çalışmada 4 farklı sinyali modülasyon tekniği yardımıyla farklı frekans bantlarına bindirerek tek bir kanaldan iletimini sağlamıştır. Tek kanal üzerinden elektrokardiyografik sinyali, elektromiyografi sinyali, kalp atım hızını, vücut sıcaklığı gibi bilgileri oluşturduğu telemetri sistemi sayesinde iletmıştır.

Pecora ve Carroll (1990), kaotik devrelerin senkronizasyonu üzerine yaptıkları çalışmada alıcı ve gönderici taraflarındaki sinyalleri senkronizasyonu gerçekleştiren devrelerin cevaplarını gözlemlemiştir. Ulaştıkları sonuçtan hareketle diğer devrelerinde senkronize edilebileceğini iddia etmişlerdir.

Dan-hui (2010), Frekans Bölmeli Çoğullama yöntemini Chua devresiyle oluşturulmuş güvenli haberleşme sisteminde sinyallerin tek bir kanaldan gönderilmesi üzerinde bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada çift yan bant genlik modülasyon (DSB-AM) tekniği kullanılmıştır. Sonrasında ise modüle edilen sinyaller filtreler yardımıyla birbirinden ayrıştırılmıştır.

Feng ve ark. (2008), çalışmalarında önerdikleri yöntemde Sliding Mode Control yöntemiyle kaotik sistemi senkronize etmişlerdir. Atan ve ark. (2016), yaptıkları çalışmada, kaotik haberleşmeyi mobil olarak Arduino kullanarak gerçekleştirmişler ve gönderdikleri mesajı şifreleyip tekrar çözmüşlerdir.

Hayes ve ark. (1993), yaptıkları çalışmada kaotik osilatörler haberleşme alanında kullanılmışlardır. Almalı ve Dikici (2016), farklı kaotik devreleri ses sinyalini verici tarafında maskelemek ve alıcı tarafında deşifre etmek için kullanmış ve devresini gerçekleştirmişlerdir. Alıcı ve verici tarafındaki ses sinyalleri karşılaştırılmış ve yüksek doğrulukla elde edilmiştir.

Uyaroğlu ve Pehlivan (2010), haberleşme uygulamalarında mesaj sinyalinin maskelenmesi ve Sprot kaotik osilatörlerin senkronizasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Atan ve ark. (2011), yaptıkları çalışmada kesir dereceli Oransal-Türevsel-İntegral kontrolcü kullanarak alıcı ve verici taraflarında bulunan kaotik osilatörleri senkronize etmişlerdir.

Johnson (1976), Introduction to Filter Theory kitabında yüksek dereceli alçak geçiren, yüksek geçiren ve bant geçiren filtre gibi filtreleri tanıtmış ve teorisinden bahsetmiştir.

Dhivya ve ark. (2015), elektrokardiyografik sinyali ve kaotik bir işareti modülatör kullanarak tek bir kanaldan iletilmesini sağlamıştır.

Li ve ark. (1999), güvenli haberleşme için dijital kaotik sistem oluşturmuş ve sistemdeki iki kaotik osilatörü senkronize etmişlerdir. Geleneksel analog kaotik haberleşme yöntemleriyle karşılaştırıldığında yüksek frekans verimliliği, gürültülere karşı yüksek kararlılık sağlamaktadır. Kullanılan dijital kaotik sistemde zaman bölmeli çoğullama yönteminden yararlanılmıştır. Böylelikle maskelenen mesaj sinyali ve senkronizasyon işleminde kullanılan kaotik sinyal aynı iletim kanalından gönderilmiştir.

Kurulan dijital sistemde ses sinyalinin analog-dijital dönüşümlerini yapabilmek için Darbe Kod Modülasyon (PCM) yöntemi kullanılmıştır.

Weinstein ve Ebert (1971), yaptıkları çalışmada frekans bölmeli çoğullama yöntemini ayrık zaman fourier dönüşümü kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Ayrık zaman fourier dönüşümünü modülasyon ve demodülasyon süreçlerinde kullanmışlardır. Ayrıca sinyallerin demodülasyonunu yapabilmek için senkron demodülatör kullanmışlardır.

Bao ve Zhu (2006), oluşturdukları çok aşamalı kaotik haberleşme sisteminde radyo frekans kanalları için kuadratik (dörtlü) genlik modülasyonu yöntemi kullanmışlardır. Kuadratik genlik modülasyonu aynı iki sinyali göndermek için kullanılmıştır. Senkronizasyon sinyalinin hem genliği hem de fazı sistemden geçerken bozulmaya uğramıştır.

Elkholy ve ark. (2016), oluşturdukları beş boyutlu hiper kaotik sistemde bilgi sinyali, güvenliği artırmak amacıyla önce bir hiper kaotik sinyalle ardından ikinci bir kaotik sinyalle toplanmıştır. Kullanılan hiper kaotik sistem FPGA ve ARM işlemcisinde kod yazılarak oluşturulmuştur. Bilgi sinyali daha sonra senkronize edilmiş verici hiper kaotik osilatörde deşifre edilmiştir.

Rao (2018), yaptığı çalışmada MATLAB simulink programında sinüs ve ses sinyallerinin çift yan bant genlik modülasyonlarını gerçekleştirmiştir. Bu çalışmayı yaparken analog-dijital veri dönüşümlerini uygulayarak sesin demodülasyon işleminden sonra audio bloğu üzerinden dinlenmesini sağlamıştır.

Schindeler ve ark. (2016), alan etkili transistörler (JFET) ile gerilim kontrollü yükselteç uygulaması gerçekleştirmişlerdir. Gerilim kontrollü yükselteçler genlik modülasyonu ve demodülasyonu işlemlerinde kullanılabilir. Genlik modülasyonu işlemi yapılırken mesaj sinyalinin bilgisi taşıyıcı sinyal üzerine aktarılır. Bu bilgi aktarma işlemi ise taşıyıcı sinyalin genliğinin kontrol edilmesiyle sağlanır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, MATLAB programının simulink modülleri kullanılarak bilgisayar ortamında bir ses sinyali kaotik osilatör kullanılarak maskelenmiştir. Maskelenmiş ses sinyali ile maskeyi kaldırmak için kullanılan kaotik sinyal FDM yöntemiyle tek bir kanaldan iletilmesi için verici tarafında modüle edilmiştir. Gerçekleştirilen modülasyon işleminden sonra modüleli sinyaller aynı iletim kanalından iletmek için toplanmıştır.

Toplanan sinyaller alıcı tarafında demodüle edilebilmeleri için bant geçiren filtrelerle ortak iletim kanalından ayrılmıştır. Demodülasyon işleminden sonra PID kontrolcü ile master ve slave kaotik osilatörler arasındaki fark giderilmiş ve maskelenen ses sinyalinden maskeleyiş işlemi için kullanılan kaotik sinyal çıkarılarak ses sinyali elde edilmiştir.

Bu işlemi gerçekleştirmek için kullanılan materyaller ve yöntemler aşağıda sırasıyla açıklanmıştır.

3.1. Materyal

3.1.1. Kaotik osilatör

Kaotik osilatörler, temelinde kaos teorisi bulunan elektronik devrelerdir (Lorenz,1963). Bu osilatörler ses sinyali ya da bilgi sinyalinin maskelenmesini sağlarlar. Oluşturulan elektronik devreler belirli bir matematiksel kurala göre çalışırlar.

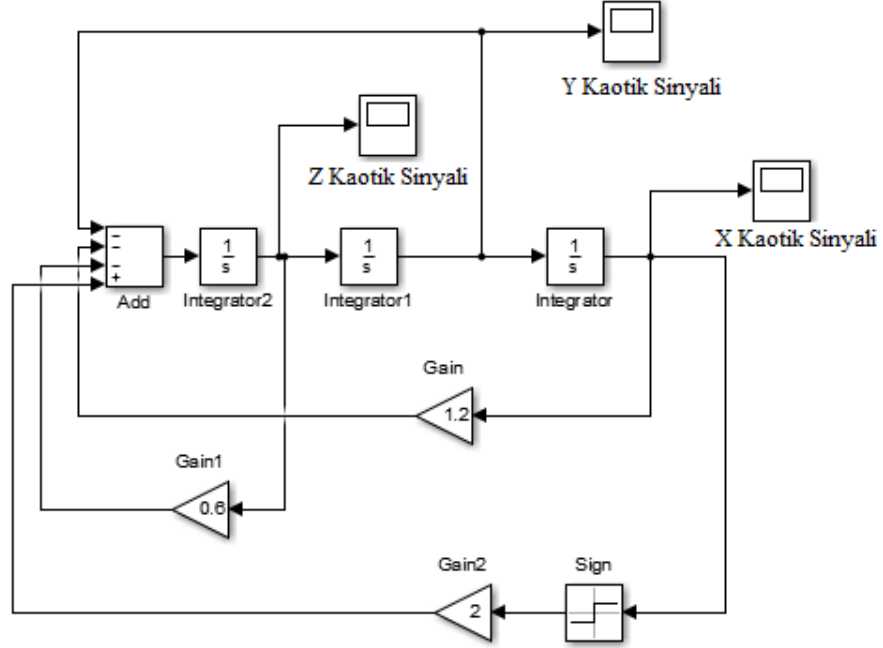
Matematiksel kuralda yapılacak en ufak bir değişiklik kaotik sinyalin bambaşka bir sonuç vermesine sebep olur (Chua,1983). Geliştirilen ilk kaotik osilatörden sonra değişik matematiksel kurallara uygun olarak farklı tür kaotik osilatörlerde ortaya konulmuştur. Bu çalışmada kullanılan Sprott kaotik osilatöre ait matematiksel model “Eş. 3.1”, “Eş.3.2” ve “Eş.3.3” te verilmiştir (Sprott, 2011).

$$\frac{dX_m}{dt} = Y_m \quad (3.1)$$

$$\frac{dY_m}{dt} = Z_m \quad (3.2)$$

$$\frac{dZ_m}{dt} = -1.2X_m - 0.6Z_m - Y_m + 2\text{sign}(X_m) \quad (3.3)$$

Yukarıda verilen Sprott kaotik osilatörün matematiksel eşitlikleri yardımıyla oluşturulan kaotik osilatörün MATLAB simulink modeli Şekil 3.1’de verilmiştir (Almalı ve Dikici, 2016).



Şekil 3.1. Master Sprott kaotik osilatörün MATLAB Simulink modeli.

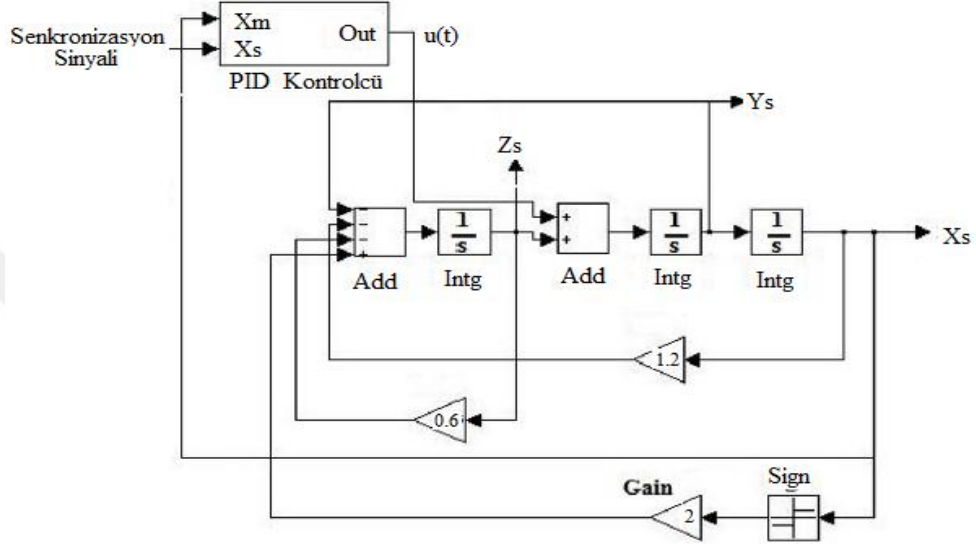
Şekil 3.1’de gösterilen Master kaotik osilatörün özdeşi olarak Slave kaotik osilatörün matematiksel ifadesi “Eş. 3.4”, “Eş. 3.5” ve “Eş.3.6” da verilmiştir.

$$\frac{dX_s}{dt} = Y_s \quad (3.4)$$

$$\frac{dY_s}{dt} = Z_s + u(t) \quad (3.5)$$

$$\frac{dZ_s}{dt} = -1.2X_s - 0.6Z_s - Y_s + 2\text{sign}(X_s) \quad (3.6)$$

“Eş. 3.5”te verilen $u(t)$ ifadesi master ve slave kaotik osilatörler arasındaki hatadır. Bu hata miktarı Slave kaotik osilatörün Z_s sinyaline eklenerek iki kaotik osilatörün eşlenmesi gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.2’de Slave kaotik osilatörün yapısı ve hatanın eklenmesi MATLAB simulink çizimi olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Slave Sprott kaotik osilatörün MATLAB Simulink modeli.

3.1.2. Genlik modülatörü

Çift yan bant genlik modülasyonu bir modülasyon türüdür. Frekans bölmeli çoğullama yönteminde, mesaj sinyalleri alt taşıyıcılar yardımıyla iletilmektedir. Alt taşıyıcı frekanslardan oluşan sinyaller frekans bandına yerleşirler (Dan-hui, 2010).

Genlik modülatörü devresi taşıyıcı sinyalin genliğini mesaj sinyalinin genliğine göre (kontrol sinyali) değiştirmesini sağlar. Bu şekilde taşıyıcı sinyal mesaj sinyalinin bilgisini üzerine almış olur.

Modülasyon işlemi “Eş. 3.7” , “Eş. 3.8” ve “Eş. 3.9” da matematiksel olarak ifade edilmiştir.

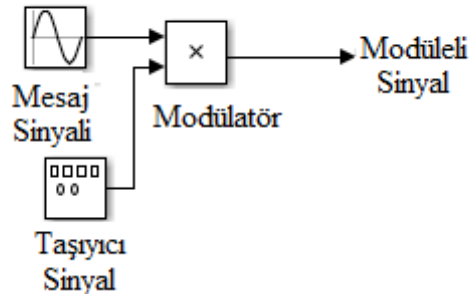
$$s(t) = m(t).c(t) \quad (3.7)$$

$$c(t): A. \cos(2\pi f_c t + \emptyset) \quad (3.8)$$

$$s(t) : A. \cos(2\pi f_c t + \emptyset) m(t) \quad (3.9)$$

Yukarıda verilen “Eş.3.7” de $c(t)$, taşıyıcı sinyalini, $m(t)$ mesaj sinyalini, \emptyset faz farkını ve $s(t)$ 'de bu iki sinyalin çarpılmasından elde edilen çift yan bant genlik modülasyonu sinyalini ifade eder.

Şekil 3.3’de mesaj sinyallerinin modülasyon işlemini gerçekleştiren genlik modülatörü devresinin MATLAB modeli verilmiştir.



Şekil 3.3. Genlik modülatörü MATLAB Simulink modeli.

3.1.3. Genlik demodülatörü

Genlik demodülatörü modüle edilmiş mesaj sinyallerini iletim işlemi gerçekleştirildikten sonra taşıyıcı sinyallerden ayırır. Demodülasyonda yöntem olarak Senkron demodülatör yöntemi kullanılmıştır (Pursley, 2002).

Senkron demodülatör yönteminde demodülatör iki parçadan oluşmaktadır. İlk parça Çarpım Detektörü (Product Detector)’dür. Çarpım Detektörü parçasında modüle edilmiş sinyal tekrar aynı taşıyıcı sinyal ile çarpılır. Çarpma işleminden sonra ikinci

parça olan alçak geçiren filtreden geçer. Alçak geçiren filtre yardımıyla yüksek frekanslı sinyaller süzülür. Böylelikle mesaj sinyali elde edilmiş olur.

Demodülasyon işlemi “Eş. 3.10” , “Eş. 3.11” ve “Eş. 3.12” de matematiksel olarak ifade edilmiştir.

$$s(t) = A \cdot \cos(2\pi f_c t + \emptyset) m(t) \quad (3.10)$$

$$c(t) = A \cdot \cos(2\pi f_c t + \emptyset) \quad (3.11)$$

Çarpım detektörünün çıkışı “Eş. 3.12” ve “Eş. 3.13” te alçak geçiren filtrenin çıkışı ise “Eş. 3.14” verilmiştir.

$$v(t) = s(t)c(t) \quad (3.12)$$

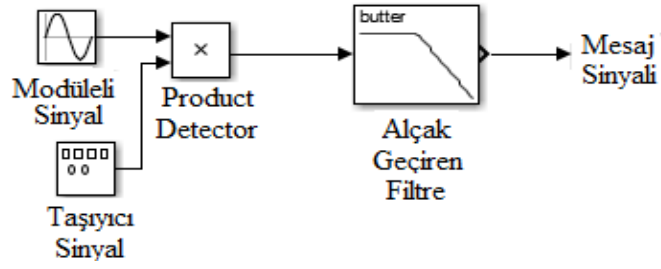
$$v(t) = \frac{A^2}{2} \cos\emptyset m(t) + \frac{A^2}{2} \cos(4\pi f_c t + \emptyset) m(t) \quad (3.13)$$

Alçak geçiren filtrenin çıkışı;

$$\frac{A^2}{2} \cos\theta m(t) , \theta = 0 \quad (3.14)$$

Alçak geçiren filtrenin çıkışı mesaj sinyalini vermektedir. “Eş. 3.14” de taşıyıcı frekanslı ifade elimine edilmiştir. Fakat taşıyıcı sinyal hem modülatör hemde demodülatörde aynı sinyal olduğundan faz farkı sıfırdır.

Böylelikle istenmeyen tüm frekans bileşenleri ortadan kaldırılarak istenilen mesaj sinyali elde edilmiştir. Alçak geçiren filtre yardımıyla oluşturulan demodülatörün MATLAB Simulink Modeli Şekil 3.4’te verilmiştir.



Şekil 3.4. Genlik demodülatörü MATLAB Simulink modeli.

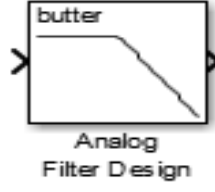
Şekil 3.4'te verilen modelde senkron demodülatör yöntemi ile demodülasyon işleminin sağlıklı bir şekilde yapılabilmesi için FDM kanalından gelebilecek tüm yüksek frekanslı sinyallerin ayrıştırılması gereklidir. Bu yüzden alçak geçiren filtre sisteme dahil edilmiştir.

3.1.4. Filtreler

Filtreler, alçak, yüksek, bant geçiren ve bant durduran olmak üzere dört çeşittir. Ayrıca bu filtreler aktif veya pasif filtreler olabilmektedirler. Filtrelerin kullanılmasındaki amaç sinyallerimizi birbirinden ayırmaktır. Sistemimizin sağlıklı bir şekilde çalışabilmesi için kullanmak istediğimiz frekans bandının geçmesine izin verirken istenmeyen frekanslardaki kazancın düşürmemiz gerekmektedir. Böylece istediğimiz frekans bandındaki sinyali elde etmiş oluruz.

3.1.5. Aktif filtreler

Aktif Filtreler, işlemsel yükselteç (op-amp) gibi aktif devre elemanına sahip filtrelerdir. Kesim frekansları kolay hesaplanabilir ve hesaplanan değerlerin uygulamada hata payları pasif filtrelere göre daha azdır. Şekil 3.5'te MATLAB Simulinkte kullandığımız yüksek dereceli ideal aktif filtre gösterilmiştir. MATLAB simulinkte analog filtre olarak MATLAB Butterworth, Chebyshev, Elliptic ve Bessel aktif filreleri bulunmaktadır. Şekil 3.5'te Butterworth aktif filtresinin MATLAB bloğu gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Butterworth aktif filtresinin MATLAB bloğu.

Aktif filtrelerin giriş empedansları çok yüksek, çıkış empedansları çok düşüktür. Bundan dolayı giriş ve çıkışta bulunan devre elemanları arasında etkilenme azdır. Belirlenen frekans aralığında bulunan sinyaller filtreleme işlemi yapılırken yükseltilerek çıkışa aktarılırlar. “Eş. 3.15” de Butterworth filtrenin genelleştirilmiş frekans cevabının matematiksel ifadesi gösterilmiştir.

$$H(j\omega) = \frac{1}{\sqrt{1 + \varepsilon^2 \left(\frac{\omega}{\omega_p}\right)^{2n}}} \quad (3.15)$$

“Eş. 3.15” de verilen ifadede n kullanılan filtrenin derecesini, ε maksimum geçiş bandı kazancını, ω ise açısal frekansını ifade etmektedir. Şekil 3.6’da normalize edilmiş Butterworth filtrenin s domeninde her bir filtre derecesi için transfer fonksiyonları verilmiştir.

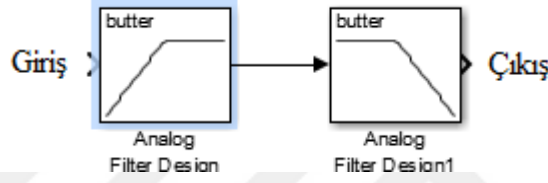
n	Factors of Polynomial $B_n(s)$
1	$(s + 1)$
2	$(s^2 + 1.4142s + 1)$
3	$(s + 1)(s^2 + s + 1)$
4	$(s^2 + 0.7654s + 1)(s^2 + 1.8478s + 1)$
5	$(s + 1)(s^2 + 0.6180s + 1)(s^2 + 1.6180s + 1)$
6	$(s^2 + 0.5176s + 1)(s^2 + 1.4142s + 1)(s^2 + 1.9319s + 1)$
7	$(s + 1)(s^2 + 0.4450s + 1)(s^2 + 1.2470s + 1)(s^2 + 1.8019s + 1)$
8	$(s^2 + 0.3902s + 1)(s^2 + 1.1111s + 1)(s^2 + 1.6629s + 1)(s^2 + 1.9616s + 1)$
9	$(s + 1)(s^2 + 0.3473s + 1)(s^2 + s + 1)(s^2 + 1.5321s + 1)(s^2 + 1.879s + 1)$
10	$(s^2 + 0.3129s + 1)(s^2 + 0.9080s + 1)(s^2 + 1.4142s + 1)(s^2 + 1.7820s + 1)(s^2 + 1.9754s + 1)$

Şekil 3.6. Butterworth aktif filtresinin transfer fonksiyonları.

Şekil 3.6’da verilen Butterworth aktif filtresinin transfer fonksiyonları MATLAB simulink programında filtrenin blok diyagramının kod bölümünde ifade edildiğinden tekrardan tasarım yapılmamıştır. Sadece blok üzerinde derece seçimi yapılarak simulasyon gerçekleştirilmiştir.

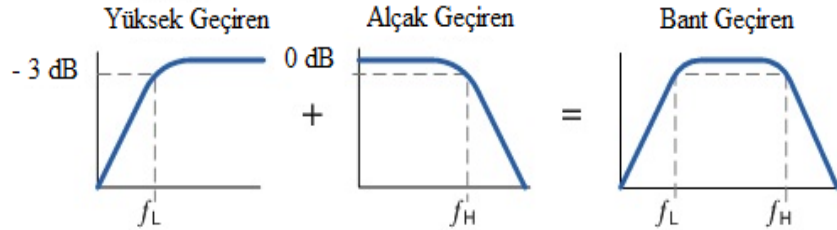
3.1.6. Bant geçiren aktif filtreler

Yüksek ve alçak geçiren filtrelerin kaskat bağlanması sonucu belirli frekans aralıklarındaki sinyallerin geçmesine izin veren filtrelerdir. Şekil 3.7’de Butterworth aktif filtreleriyle oluşturulan bant geçiren aktif filtre MATLAB bloğu gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Bant geçiren aktif filtre MATLAB blok diyagramı.

Bant geçiren filtreler yardımıyla belirli frekans aralıklarında bulunan sinyaller elde edilir. Böylelikle istenmeyen sinyaller filtre edilmiş olur. Şekil 3.7’de bant geçiren aktif filtrenin yüksek ve alçak geçiren filtrelerle kaskat bağlanmasıyla oluşan frekans-kazanç eğrisi gösterilmiştir.

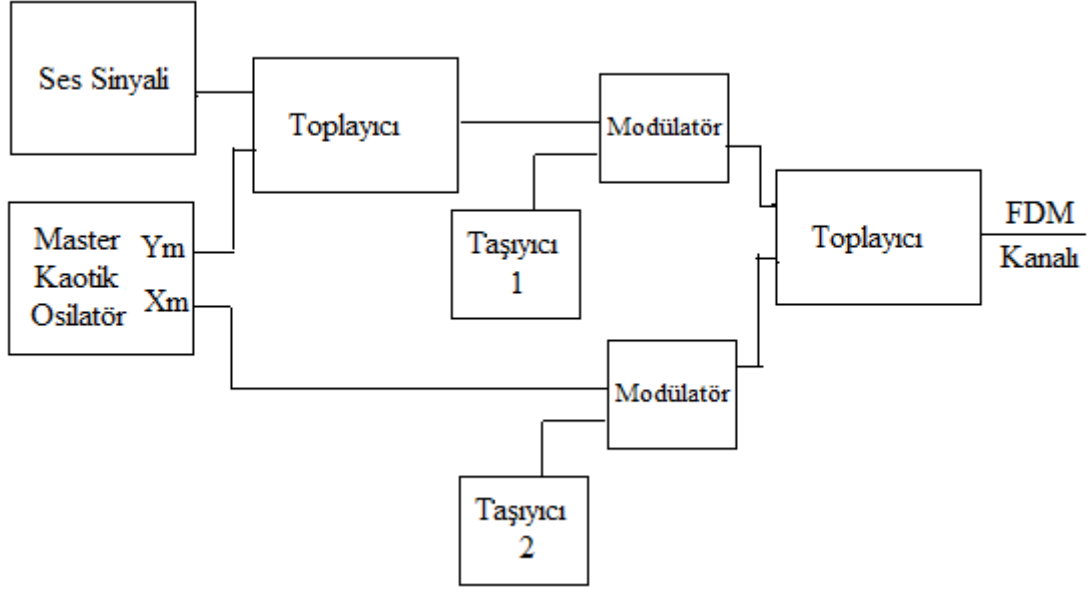


Şekil 3.8. Bant geçiren aktif filtre frekans-kazanç eğrisi.

3.2. Yöntem

3.2.1. Gerçekleştirilen sistemin genel yapısı

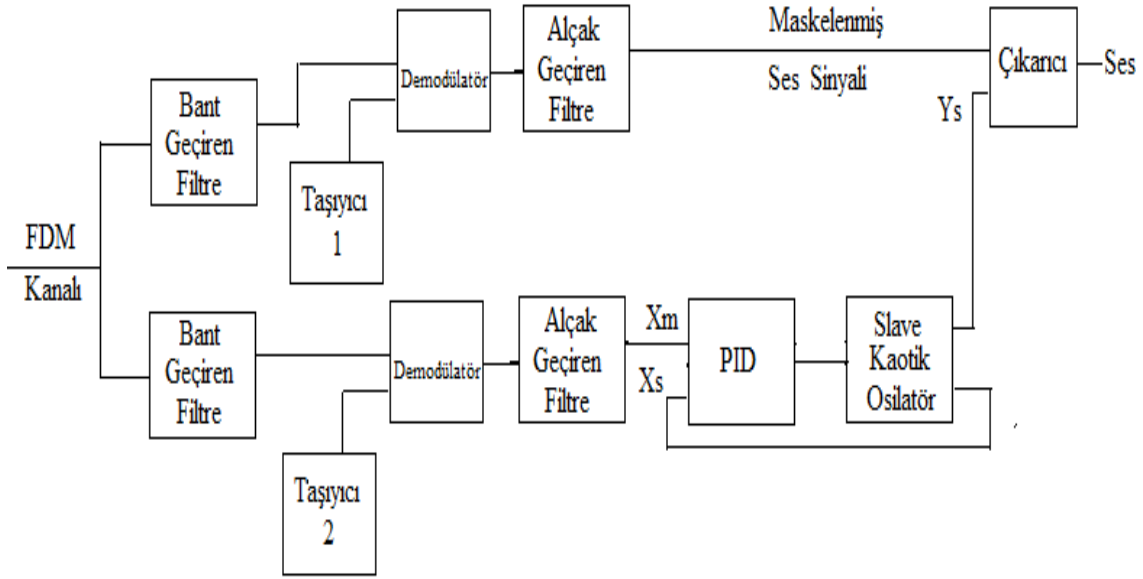
Frekans bölmeli çoğullama yöntemi kullanılarak oluşturulan haberleşme sisteminin verici bölümünün blok diyagramı Şekil 3.9'da gösterilmiştir.



Şekil 3.9. FDM sisteminin verici bölümünün blok diyagramı.

Şekil 3.9'de verilen frekans bölmeli çoğullama sisteminin alıcı bölümünde ses sinyali Ym kaotik sinyali ile maskelenmiştir. Master kaotik osilatörün Xm kanalı kaotik osilatörler arasındaki senkronizasyonu sağlamak için seçilmiştir.

Alıcı tarafında bulunan maskelenmiş sinyal ve senkronizasyon sinyali frekans spektrumu üzerine yerleşebilmesi için 8 kHz ve 13 kHz frekanslara sahip taşıyıcı sinyaller ile modüle edilmiştir. Modüle edilen maskelenmiş ses sinyali ile senkronizasyon sinyali toplanarak FDM kanalına verilir. Frekans bölmeli çoğullama sisteminin alıcı bölümü Şekil 3.10'da gösterilmiştir.



Şekil 3.10. FDM sisteminin alıcı bölümünün blok diyagramı.

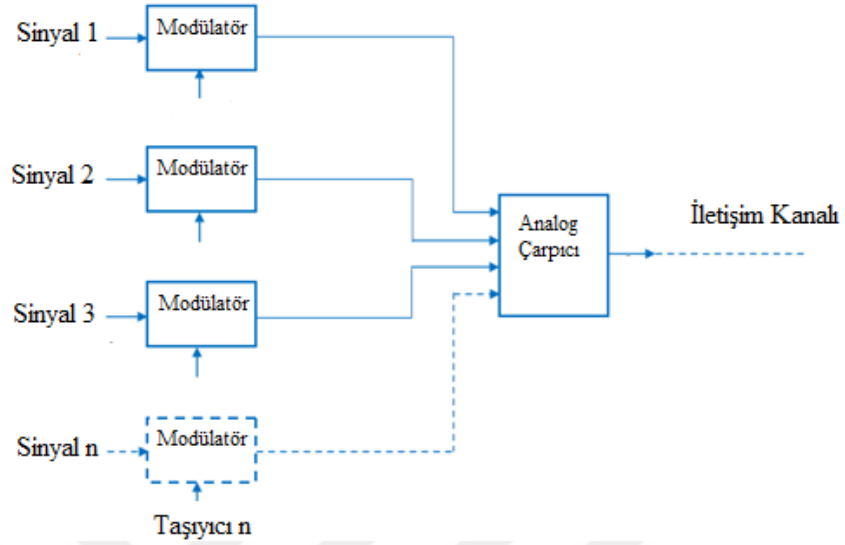
Frekans bölmeli çoğullama sisteminin alıcı bölümünde FDM kanalından gelen modüleli mesaj ve senkronizasyon sinyalleri bant geçiren filtreler yardımıyla ayrılmıştır. Bant geçiren filtreler yardımıyla ayrılan modüleli sinyaller demodülasyon işlemi için demodülatör ve 8. Dereceden alçak geçiren filtreden geçirilmiştir.

Demodülasyon işleminden sonra senkronizasyon sinyali master-slave kaotik osilatörler arasındaki farkı kaldırmak için PID devresine uygulanmıştır. İki kaotik osilatör arasındaki senkronizasyon sağlandıktan sonra orijinal mesaj sinyali Slave kaotik osilatör çıkışının, maskelenmiş mesaj sinyalinden çıkarılması ile elde edilmiştir. Tezin bundan sonraki aşamasında bu işlemler aşama aşama gerçekleştirilmiştir.

3.2.2. FDM (frekans bölmeli çoğullama)

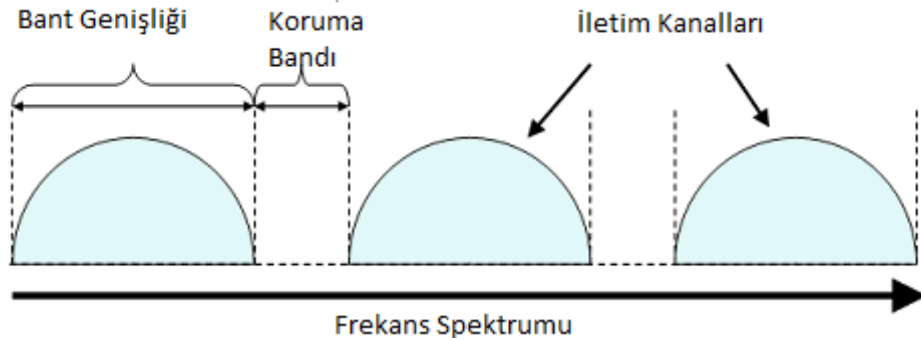
FDM, analog sinyalleri birleştiren bir analog çoklama tekniğidir. Bu teknikte, iletilecek bilgi sinyalleri farklı frekanslarda modüle edilerek iletilir. Dolayısıyla büyük paket iletimi, frekans seti kullanarak eşzamanlı olarak gerçekleşir. Böylece çok taşıyıcılı sistem oluşturulabilir (Hassan, 2016). Şekil 3.10'da frekans bölmeli

çoğullamaya ait blok diyagramı verilmiştir. Verilen blok diyagramı verici bölümüne aittir.



Şekil 3.11. Frekans bölmeli çoğullamanın verici bölümü (electronics post-frequency division multiplexing).

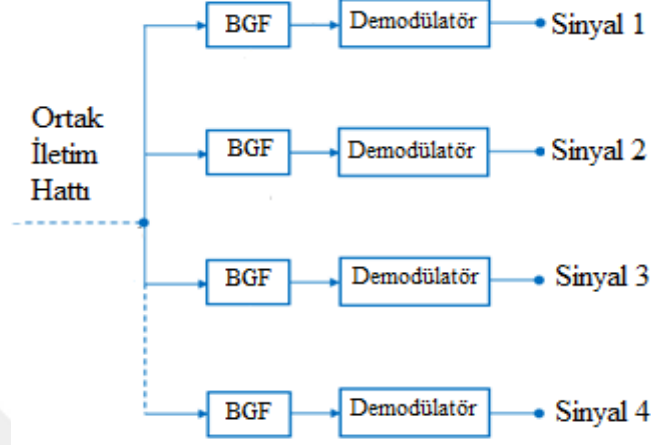
Şekil 3.11’de görüldüğü gibi farklı bilgi sinyalleri tek bir iletim kanalında iletilmek için farklı frekanslara sahip taşıyıcılar ile çarpılırlar. Bu sayede frekans spektrumunda yerleştirilirler. Bu yerleştirme işlemi yapılırken taşıyıcılar arasında belirli bir koruma bandı (guard band) oluşturulur. Bu fark uygulamada yaklaşık olarak 4 kHz olmalıdır. Şekil 3.12’de koruma bandına ait frekans spektrumu verilmiştir.



Şekil 3.12. Frekans bölmeli çoğullama koruma bandı frekans spektrumu.

Oluşturulan koruma bandı sayesinde kanalların birbirine girişimleri engellenmektedir (Naima ve ark., 2017). Sistem hassasiyetinin artırılması amacıyla

modülasyon devresinin çalışmasına bağlı olarak bu aralık artırılabilir. Şekil 3.13’de frekans bölmeli çoğullamanın alıcı bölümü gösterilmiştir.



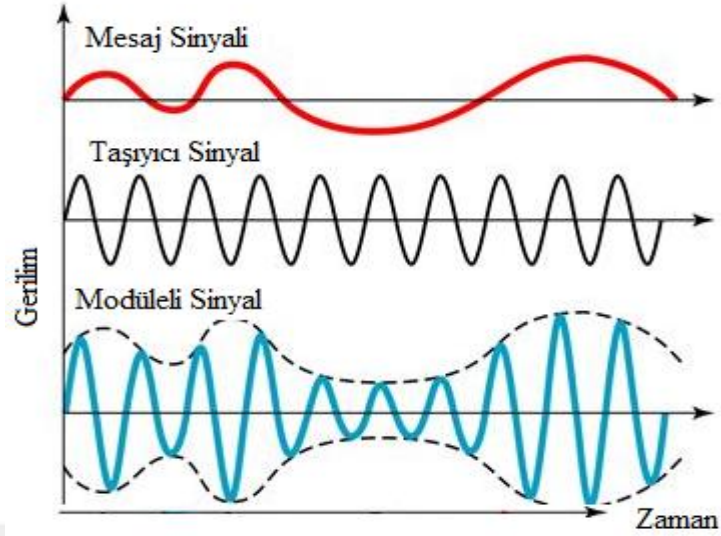
Şekil 3.13. Frekans bölmeli çoğullama alıcı bölümü (electronics post).

FDM sisteminin alıcı tarafından ise frekans spektrumuna yerleştirilmiş olan modüle edilmiş sinyallerin gidecekleri hedeflere uygun olarak, kendileri için oluşturulmuş belirli frekanslar için geçiş sağlayan yüksek dereceli aktif filtre devreleri kullanılmakta.

3.2.3. Genlik modülasyonu

Genlik modülasyonu, iletişim alanında kullanılan bir haberleşme tekniğidir. Mesaj sinyalinin frekansından daha yüksek bir frekansa sahip bir taşıyıcı sinyal yardımıyla modülasyon gerçekleştirilir. Modülasyonun temel anlamda yüksek frekanslı sinyal mesaj sinyaline bağlı olarak değişikliğe uğrayarak iletilmesidir.

Taşıyıcı sinyal mesaj sinyalinin özelliğine ve zaman içerisindeki değişimine bağlı olarak sürekli bir değişim geçirir. Genlik modülasyonu, FDM yönteminde iletilecek sinyallerin alt taşıyıcılar yardımıyla modüle edilmesini sağlar. Modüle edilen sinyaller tek bir kanaldan iletilir. Şekil 3.14’de taşıyıcı sinyalin mesaj sinyalinin bilgisini üzerine alması gösterilmiştir.

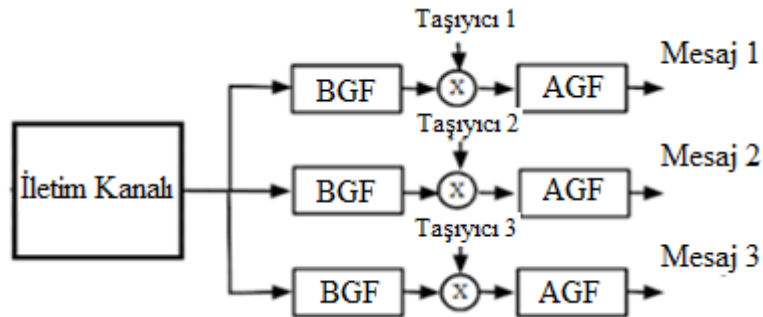


Şekil 3.14. Çift yan bant genlik modülasyonu (electronics post).

Yukarıdaki şekilde ilk sinyal mesaj ikincisi ise taşıyıcı sinyaldir. Bu iki sinyalle yapılan modülasyonun ardından genlik modülasyonu sinyali elde edilir.

3.2.4. Genlik demodülasyonu

Genlik Demodülasyonu taşıyıcı sinyalin modülasyon sinyalinden ayrıştırılmasına dayanır. Bunun sonucunda mesaj sinyali elde edilmiş olur. Tezimizde Demodülasyon işlemi öncesinde sinyalleri ayırmak için bir filtreleme yapılmıştır. Şekil 3.15’de FDM yönteminde demodülasyon işlemi blok diyagramında alıcı kısmında gösterilmiştir.



Şekil 3.15. FDM yönteminde demodülasyon işlemi (Chaparro ve Akan, 2018).

Demodülasyon işlemi yapılırken modülasyon işleminde kullanılan taşıyıcı sinyal tekrar kullanılmalıdır. Demodülasyon devresinin modülasyondan farkı devrenin sonuna bir alçak geçiren filtre eklenmesidir. Bu filtre yardımıyla yüksek frekanslı sinyali tamamen asıl sinyalimizden ayrılmaktadır.

“Eş. 3.11” de görüldüğü üzere demodülasyon işleminin sonucunda bir genlik değişimi olduğu görülmektedir. Bu genlik değişimi aktif filtreler yardımıyla tekrar alıcı tarafında düzeltilebilir. Bunun sebebi modülasyon işleminde negatif frekans spektrumunda ifade oluşmasıdır.

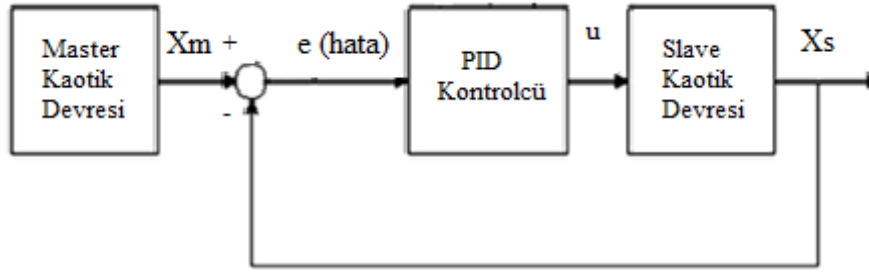
3.2.5. PID kontrol yöntemi

FDM yöntemiyle tek bir kanaldan iletimi sağlanan kaotik maskelenmiş ses sinyali ile senkronizasyon sinyali alıcı tarafında tekrar elde edildikten sonra verici ve alıcı kısımlarında bulunan kaotik osilatörler gerçek zamanlı çalıştıklarından dolayı senkronizasyona ihtiyaç duyarlar. Bu senkronizasyon PID kontrol yöntemi tarafından sağlanır. Bu yöntemle oluşturulan kontrolcüye PID kontrolcü denilir.

PID kontrolcüye ait ifade “Eş. 3.16” da verilmiştir.

$$u(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \cdot \int_0^t e(t) dt + K_d \cdot \frac{de(t)}{dt} \quad (3.16)$$

“Eş. 3.16” da $u(t)$ PID kontrolcünün çıkışı ve $e(t)$ ise master ve slave kaotik osilatörler arasındaki hatayı ifade etmektedir. K_p , K_i ve K_d PID kontrolcünün parametrelerini göstermektedir. $u(t)$ çıkışı Slave kaotik osilatör devresine giriş yaparak iki özdeş kaotik osilatörü senkronize eder. Şekil 3.16’da PID kontrolcünün çalışma prensibi gösterilmiştir.



Şekil 3.16. PID kontrol yönteminin çalışma prensibi (Hou, 2017).

3.2.6. Hata kareler ortalaması yöntemi

Yaptığımız çalışmada alıcı ve verici tarafındaki sinyallerin arasındaki farkı bulmak için hata kareler ortalaması (Mean Square Error-MSE) yöntemi kullanılmıştır. Ses dosyasının örnekleme sıklığı 44100 Hz alınmıştır.

Giriş ve çıkış sinyalleri arasındaki hata $e(t)$ ise hata kareler ortalaması “Eş. 3.17” ye göre hesaplanmıştır.

$$HKO = \frac{\sqrt{e(t)^2}}{n} \quad (3.17)$$

Bu işlemi gerçekleştirmek için ilgili sinyallerin sayısal değerleri MATLAB simülasyonunda workspace bloğu kullanılarak elde edilmiştir.

Sinyaller arasındaki hatayı aşağıda verilen MATLAB kodu ile hesaplanmıştır.

```
for i= 1: 11295592;
```

```
    i= i+1;
```

```
    toplam=0; toplam1=((Stçıkış-Stgiriş).^2);toplam=toplam1+toplam;
```

```
    sonuc=toplam/i;
```

```
end
```

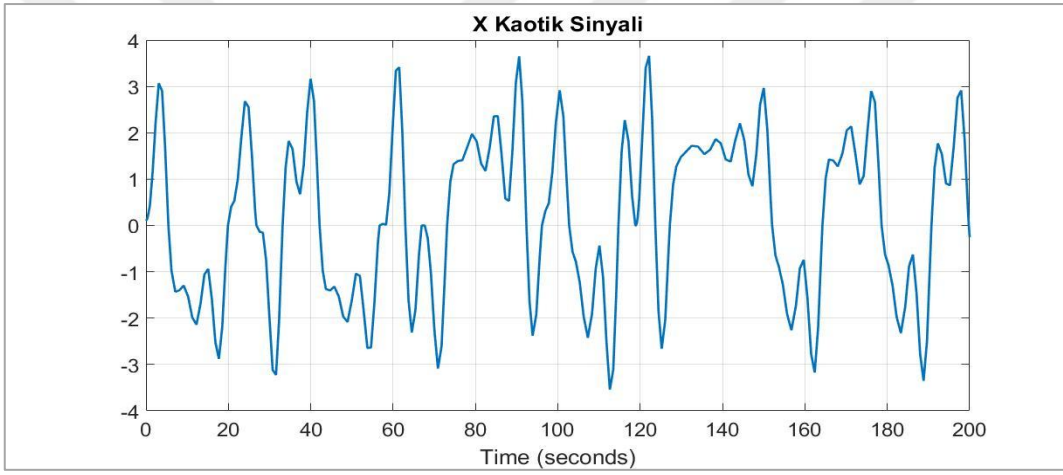
MATLAB kodu olarak yazılan ifade de Stçıkış ve Stgiriş HKO’su hesaplanacak ilgili sinyalin giriş ve çıkışını değerleridir. Oluşturulan for döngüsünde 11295592 değeri sinyaller için elde edilen sayısal değerlerin uzunluğudur.



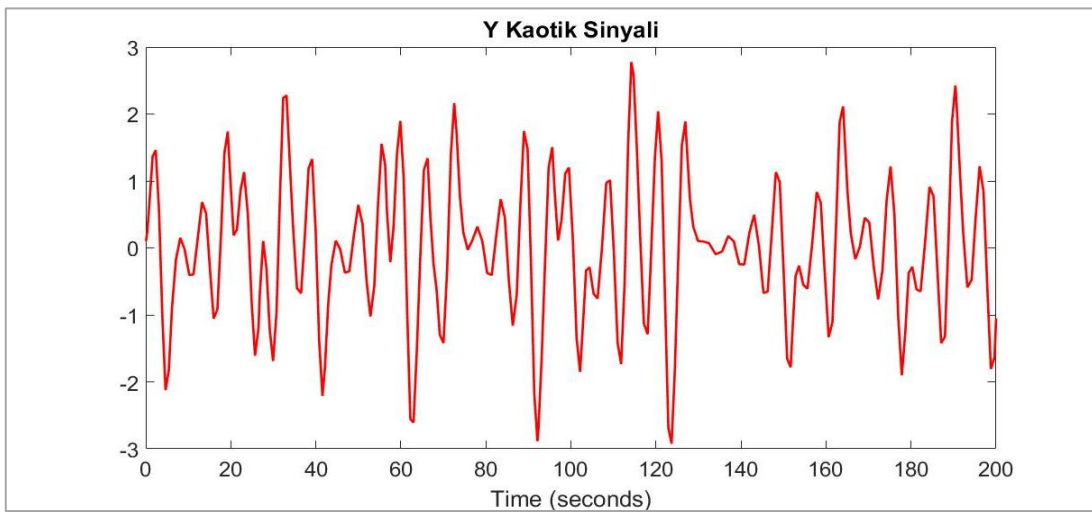
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Kaotik Sinyallerin Elde Edilmesi

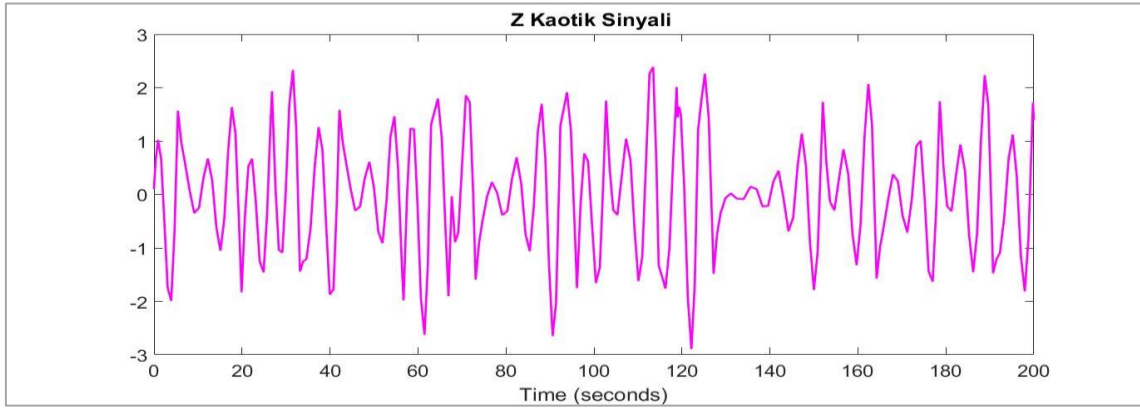
Kaotik osilatörün çizimini “Eş. 3.1”, “Eş. 3.2” ve “Eş. 3.3” te belirttiğimiz matematiksel ifadelerle göre MATLAB simulinkte master kaotik osilatörün simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Çizimini gerçekleştirdiğimiz devreden X_m , Y_m ve Z_m kaotik sinyalleri elde edilmiştir. Elde edilen kaotik sinyaller X_m , Y_m ve Z_m sırasıyla Şekil 4.1, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3’te gösterilmiştir.



Şekil 4.1. X_m kaotik sinyali.



Şekil 4.2. Y_m kaotik sinyali.

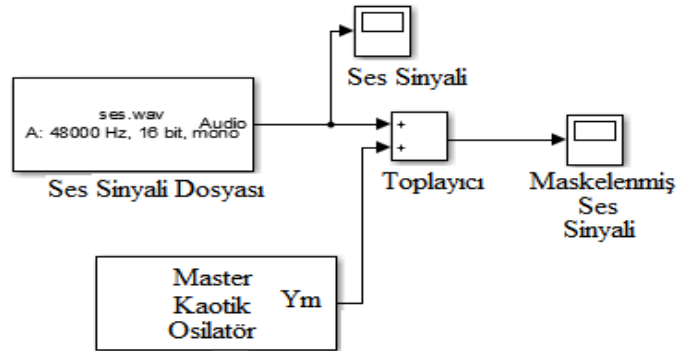


Şekil 4.3. Zm kaotik sinyali.

Elde edilen kaotik sinyallerden Ym kaotik sinyalini ses sinyalini maskelemek ve Xm kaotik sinyalini de Master ve Slave kaotik osilatörlerini senkronize etmek amacıyla kullanılmıştır. Şekil 4.1, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'te kaotik sinyallerin düzensiz, periyodik olmayan ve hiçbir şekilde kendini tekrarlamayan işaretler olduğu görülmüştür.

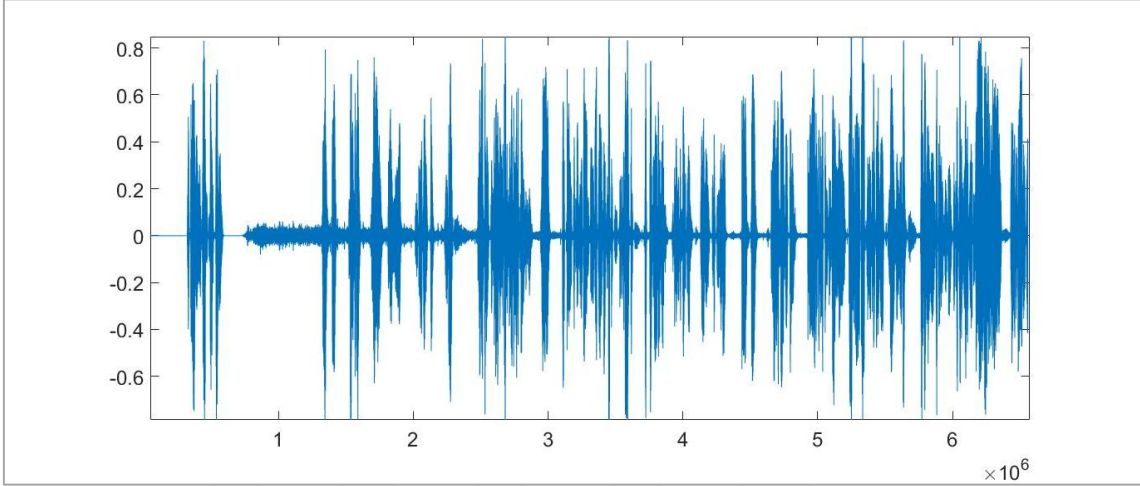
4.2. Ses Sinyalinin Maskelenmesi

Güvenli haberleşme gerçekleştirebilmek ve mesaj sinyallerini değişime uğratarak anlaşılabilir hale getirebilmek için kaotik sinyaller kullanılmıştır. Günlük konuşmada duyduğumuz ses sinyallerinin frekansı 300 Hz ile 3400 Hz arasında değişmektedir. Şekil 4.4'te ses sinyali güvenli hale getirmek için çizilen MATLAB simulink çizimi gösterilmiştir.

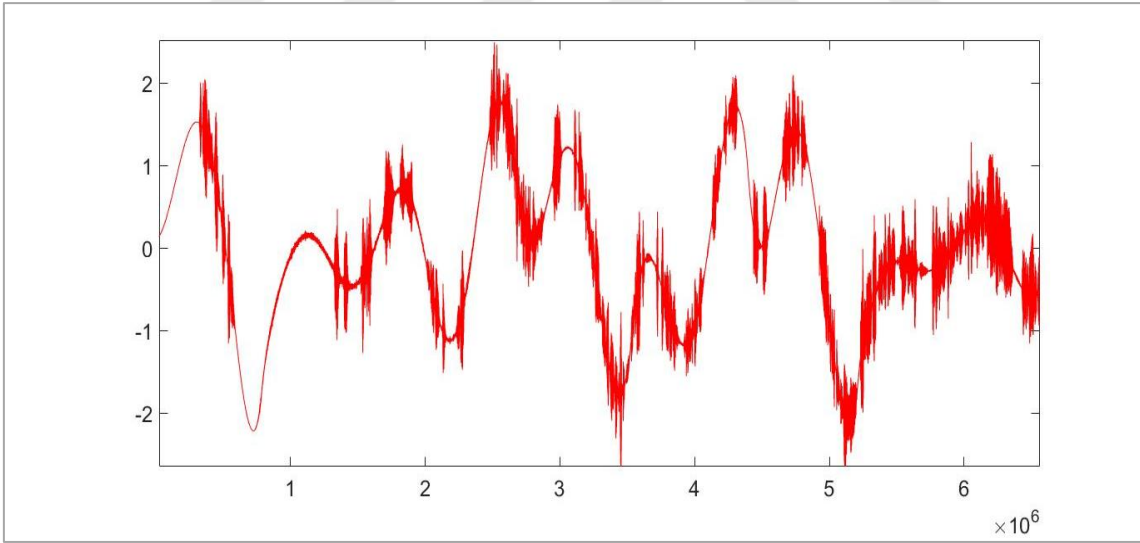


Şekil 4.4. Ses sinyalinin maskelenmesi MATLAB blok diyagramı.

Şekil 4.6'da gösterilen MATLAB simulink çiziminde ses sinyali dosyası .wav uzantılı olarak düzenlenmiştir. Şekil 4.2'te gösterilen kaotik osilatörde bulunan Ym sinyali ile ses sinyali maskelenmiştir. Şekil 4.5'de ses sinyali ve Şekil 4.6'da ise maskelenmiş ses sinyali gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Ses sinyali.

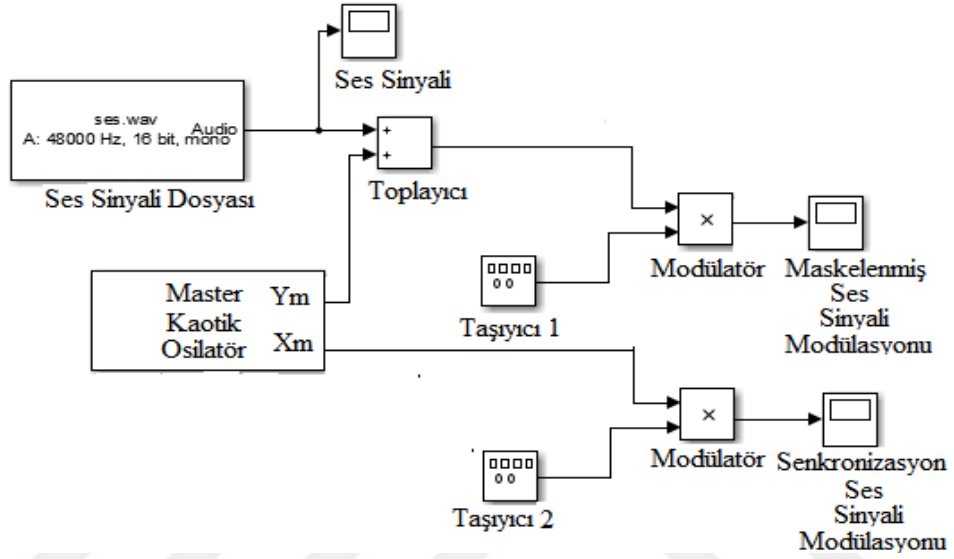


Şekil 4.6. Maskelenmiş ses sinyali.

Şekil 4.6'da görüldüğü gibi orijinal ses sinyali maskelendikten sonra tamamen farklı bir sinyal şekline dönüşmüştür.

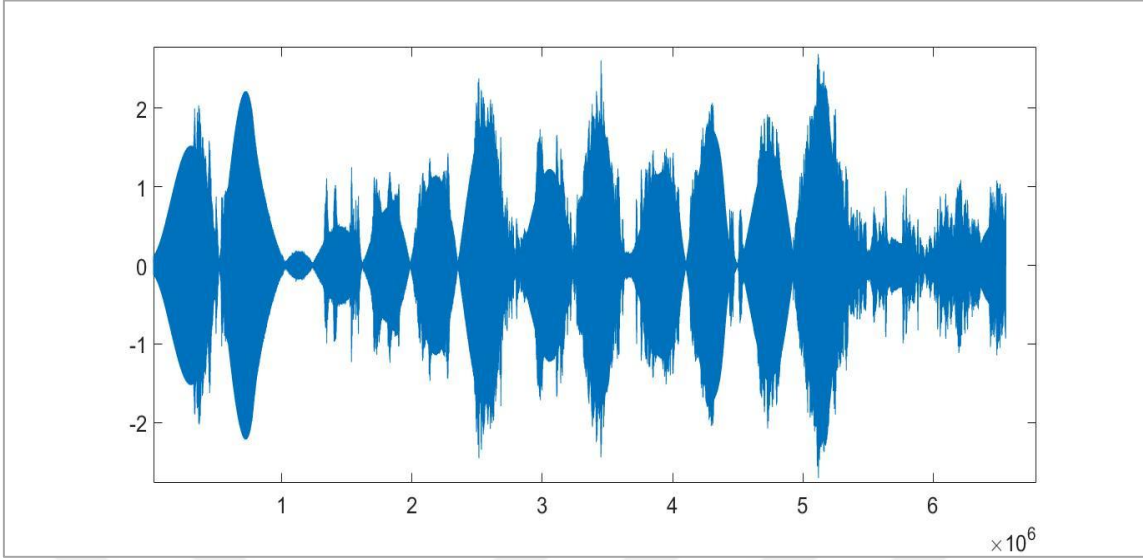
4.3. Mesaj Sinyallerinin Modülasyonu

Maskelenmiş ses sinyali ve senkronizasyon sinyali aynı iletim kanalından iletileceği için koruma bandına uygun olarak seçilen 8 kHz ve 13 kHz frekanslara sahip taşıyıcı sinyallerle çarpılarak modüle edilmiştir. Şekil 4.7’de mesaj sinyallerinin modülasyon işlemi için çizilen MATLAB simulink blok diyagramı gösterilmiştir.



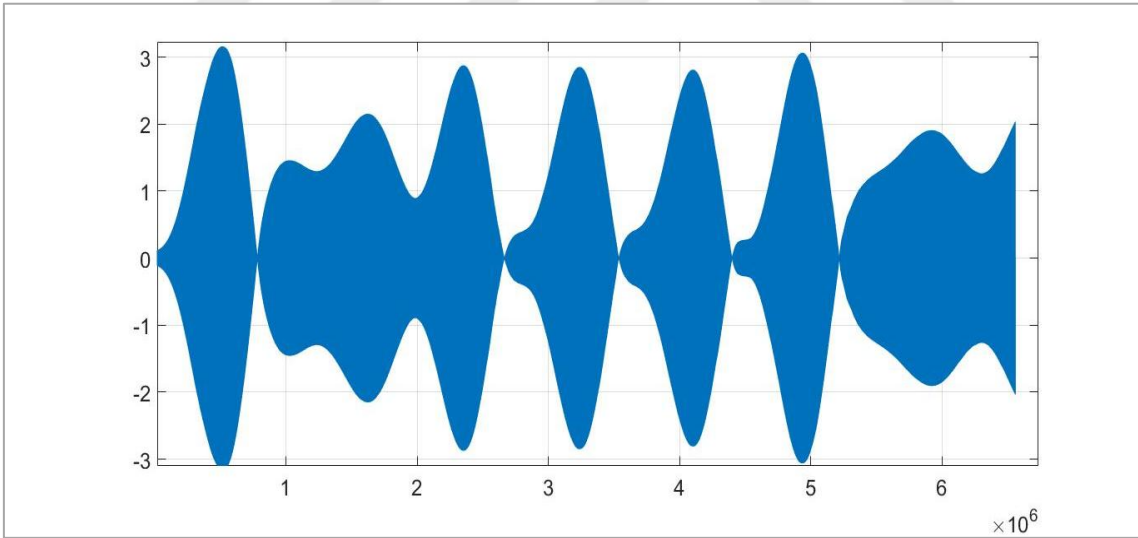
Şekil 4.7. Mesaj sinyallerinin modülasyon blok diyagramı.

Mesaj sinyallerinin modülasyon işlemi için maskelenmiş ses sinyali için 8 kHz ve senkronizasyon sinyali için ise 13 kHz taşıyıcı sinyalleri seçilmiştir. Şekil 4.8’de maskelenmiş ses sinyalinin modülasyonu gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Maskelenmiş ses sinyalinin modülasyonu.

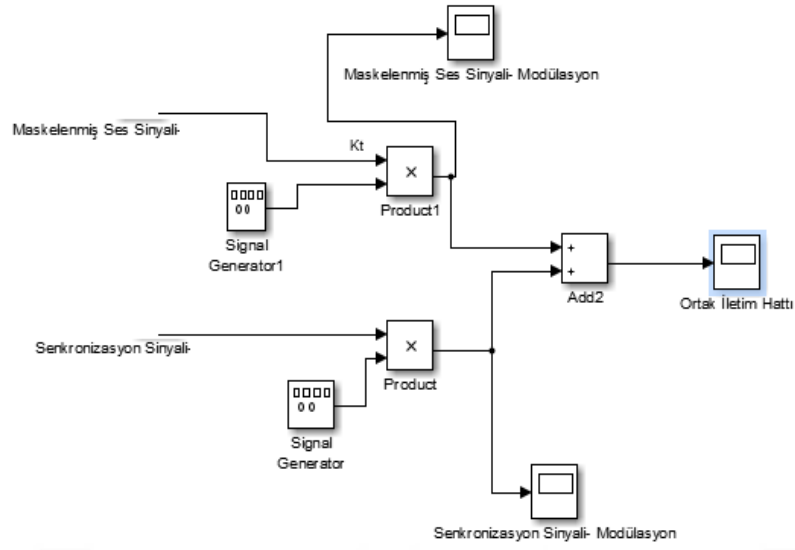
Frekans bölmeli çoğullama tekniğine uygun olarak gönderilen senkronizasyon sinyalinin modülasyonu Şekil 4.9’da gösterilmiştir.



Şekil 4.9. Senkronizasyon sinyalinin modülasyonu.

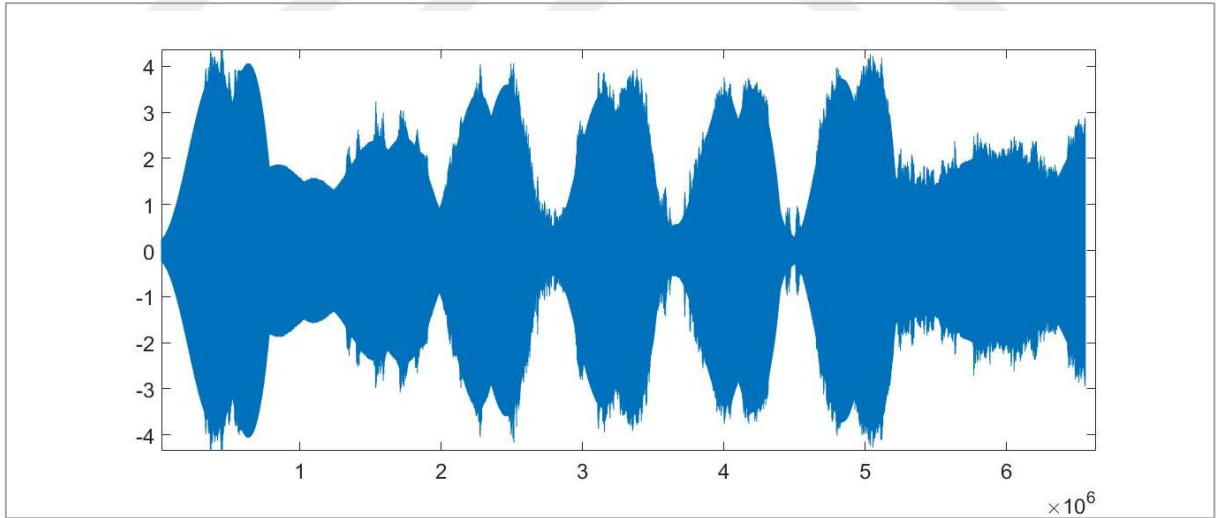
4.4. Modülasyonlu Sinyallerin FDM Kanalından İletimi

Ortak iletim kanalı frekans bölmeli çoğullama yöntemiyle modülasyonları gerçekleştirilen sinyallerin gönderildiği kanaldır. Şekil 4.10’da FDM kanalının MATLAB Simulinkte çizimi verilmiştir.



Şekil 4.10. FDM kanalının MATLAB simulink modeli.

Şekil 4.10’da verilen MATLAB simulink modelinde maskelenmiş ses sinyali 8 kHz ve senkronizasyon sinyali 13 kHz frekanslı taşıyıcı işaret ile modüle edildikten sonra tonlanarak FDM işlemi gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.11’de ise FDM işlemi sonucu elde edilen sinyal gösterilmiştir.



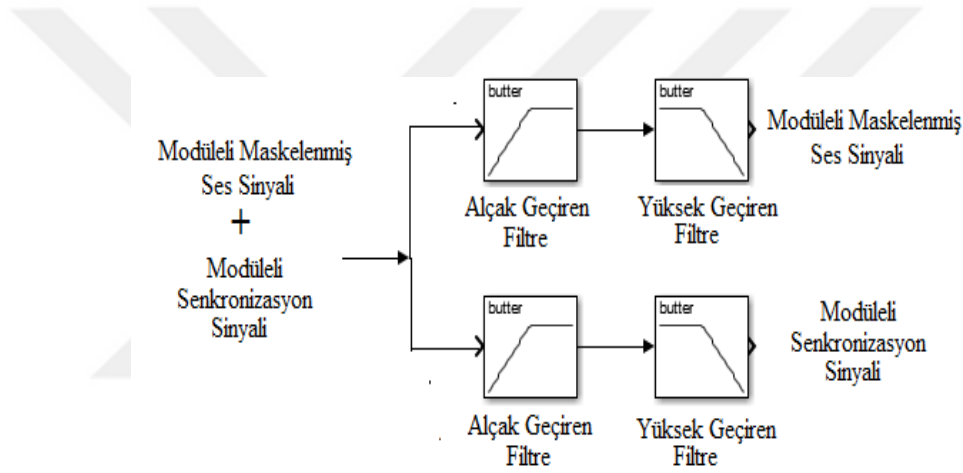
Şekil 4.11. FDM kanalından iletilen sinyal.

FDM kanalında görülen sinyallerle, iletilmesi istenen sinyallerin aynı olmadığı görülmüştür. Kaotik sinyallerde kendini tekrarlamayan sinyaller olduğundan geriye

dönük olarak çözümleme işlemi yapılamayacağı ve orijinal bilgi sinyaline ulaşılamacağı görülmüştür.

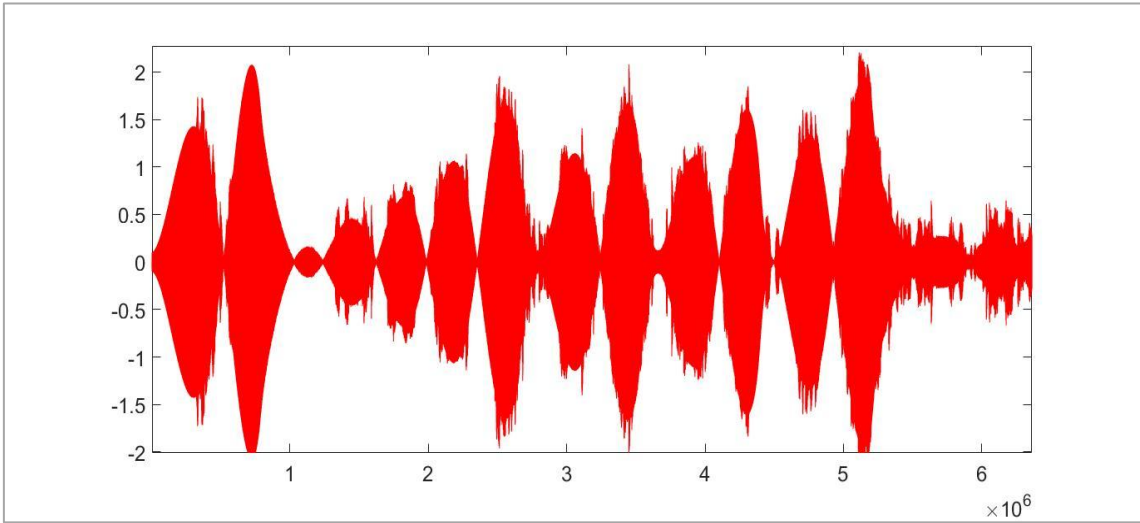
4.5. FDM Kanalındaki Sinyallerin Ayrılması

Koruma bandına uygun olarak seçilen taşıyıcı sinyallerle çarpılan mesaj sinyallerini ayırmak için bant geçiren filtreleri kullanılmıştır. Kullandığımız bant geçiren filtreler taşıyıcı sinyallerin frekanslarına uygun olarak alçak ve yüksek kesim noktalarında hassas olabilmeleri için yüksek dereceli olarak seçildi. Şekil 4.12’de FDM kanalındaki sinyalin ayrılması için hazırlanmış MATLAB Simulink bloğu verilmiştir.



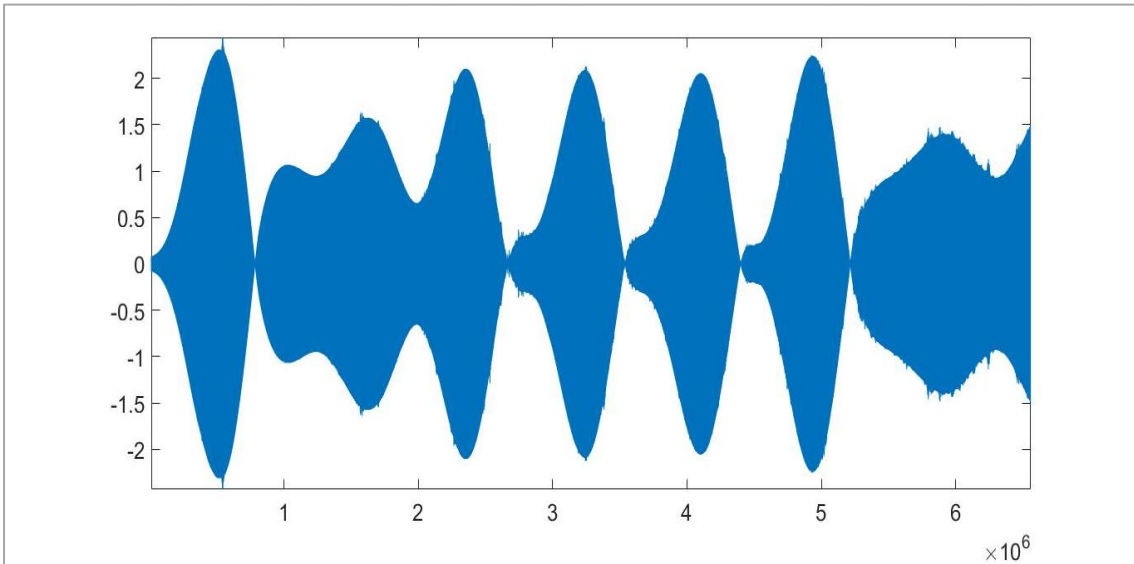
Şekil 4.12. FDM kanalındaki sinyallerin ayrılması.

FDM kanalındaki sinyal, modüle edilmiş sinyallerin toplanmasıyla oluşturulmuştur. Şekil 4.14’de gösterilen MATLAB çiziminde yüksek ve alçak geçiren 8. dereceden aktif Butterworth filtreler kaskat bağlanarak bant geçiren filtre gerçekleştirilmiştir. Bant geçiren filtrenin alt ve üst kesim frekansları sırasıyla 6 kHz ve 9 kHz seçilmiştir. Filter çıkışında maskelenmiş ses sinyalinin modüle edilmiş hali elde edilmiş ve bu sinyal Şekil 4.13’de gösterilmiştir.



Şekil 4.13. Maskelenmiş ses sinyali modülasyonu FDM çıkışı.

Benzer şekilde, FDM kanalından maskelenmiş ses sinyali ile birlikte iletilen senkronizasyon ses sinyalinin ayrılabilmesi için kesim frekansları 12 kHz-15 kHz aralığı seçilen bant geçiren filtre kullanılmıştır. Filtre çıkışında elde edilen senkronizasyon sinyalinin modüleli şekli Şekil 4.14 'de gösterilmiştir.

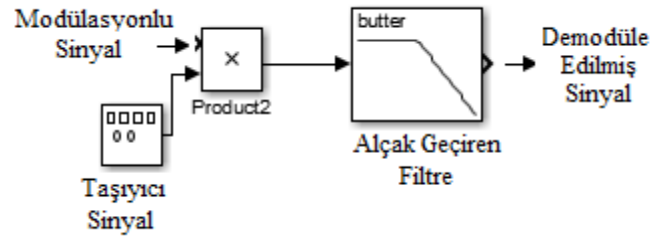


Şekil 4.14. Senkronizasyon sinyalinin modülasyonu FDM çıkışı.

Mesaj sinyalleri ayrıldıktan sonra demodülasyon işlemi gerçekleştirilmiştir.

4.6. Mesaj Sinyallerinin Demodülasyonu

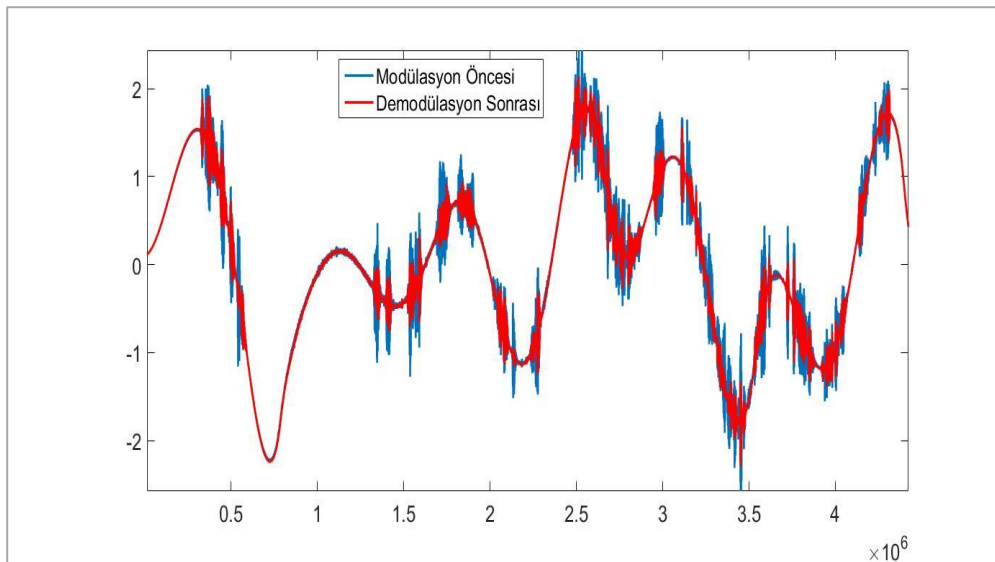
Bant geçiren filtreler yardımıyla ayrılan modüleli sinyallerin demodülasyonu senkron demodülatörlerle gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.15’de demodülasyon işleminin MATLAB Simulink Modeli gösterilmiştir. Demodülasyon işlemi senkron demodülatör mantığına dayanmaktadır.



Şekil 4.15. Demodülasyon işlemi MATLAB simulink modeli.

Demodülasyon işlemi için kullanılan taşıyıcı sinyalin frekansı, modülasyon işlemi yapılırken kullanılan sinyalin frekansıyla aynı değerde seçilmiştir.

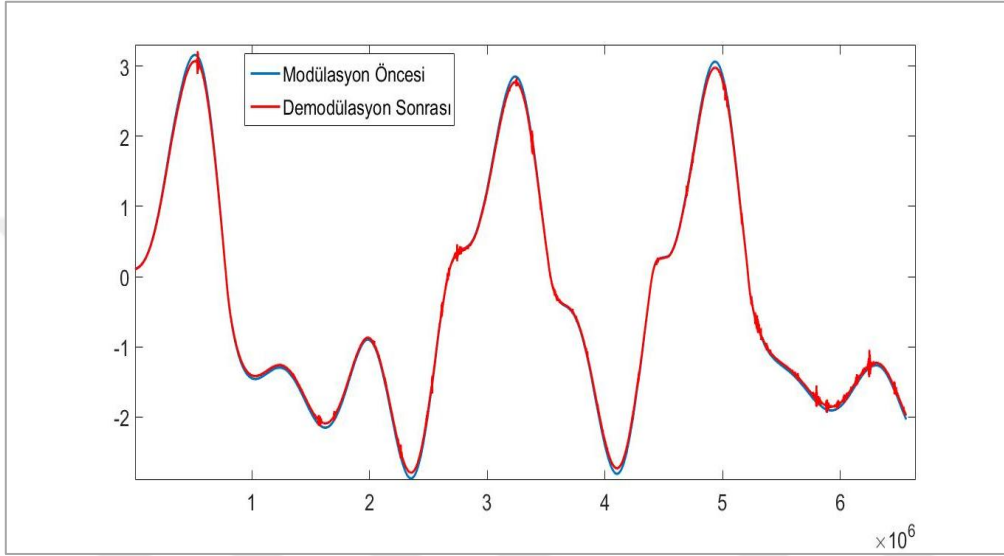
Şekil 4.15’de gösterilen Şekil 4.16’da maskelenmiş ses sinyalinin modülasyon öncesi demodülasyon sonrası karşılaştırması gösterilmiştir.



Şekil 4.16. Maskelenmiş ses sinyalinin modülasyon öncesi ve demodülasyon sonrası.

Burada demodülasyon işleminin doğruluğu kontrol edilmiştir. Maskelenmiş ses sinyalinin modülasyon öncesi ve demodülasyon sonrası elde edilen sinyaller arasındaki hata kareler ortalaması 0.0344 bulunmuştur

Şekil 4.17’de ise senkronizasyon sinyalinin modülasyondan öncesi ve demodülasyondan sonrası gösterilmiştir.

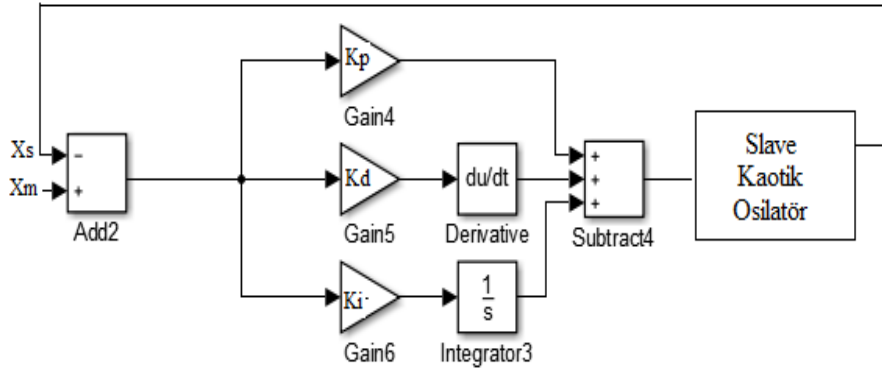


Şekil 4.17. Senkronizasyon sinyalinin modülasyon öncesi ve demodülasyon sonrası.

Şekil 4.17’de verilen senkronizasyon sinyalinin modülasyon öncesi ve demodülasyon sonrası arasındaki hata kareler ortalaması 1.10^{-5} bulunmuştur.

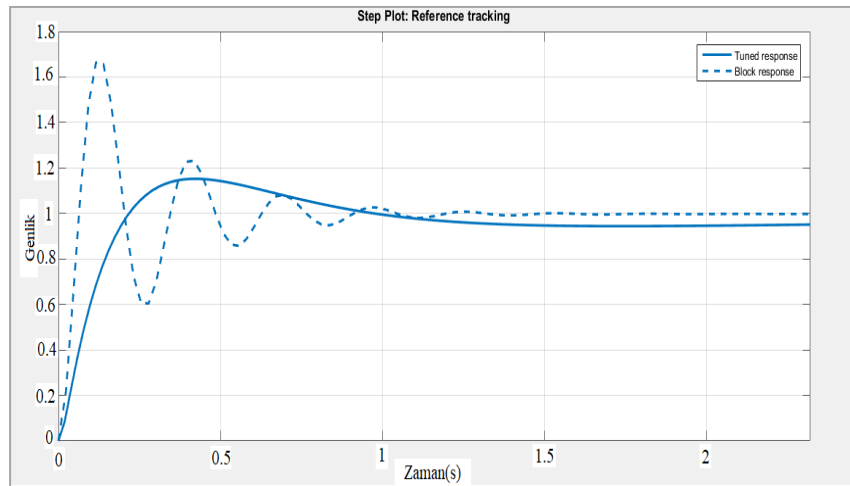
4.7. Senkronizasyon

MATLAB simulink modelleri çizilen Master ve Slave kaotik osilatörler gerçek zamanlı olarak senkronize edilmiştir. FDM sisteminden gelen X_m ile alıcı tarafında bulunan X_s kaotik sinyallerinin eşlenmesi için Denklem 13’te verilen PID kontrolcünün MATLAB simulink modeli Şekil 4.18’de gösterilmiştir.



Şekil 4.18. Oransal-türevsel-integral kontrolcünün MATLAB simulink modeli.

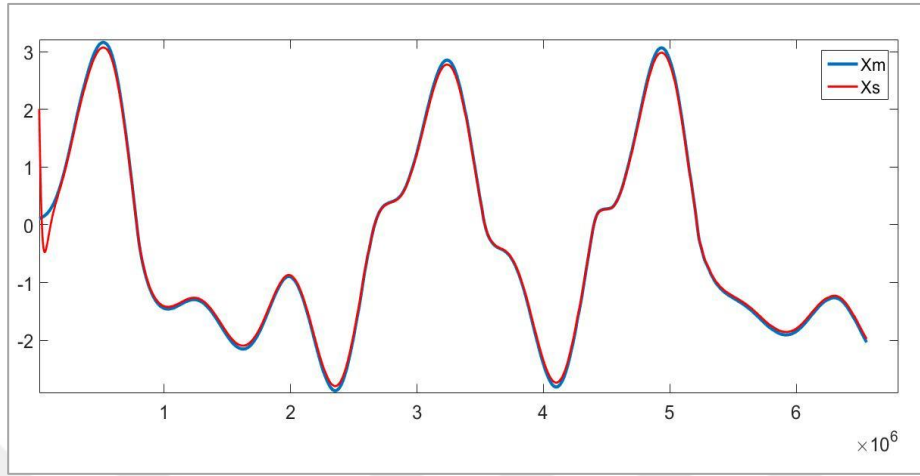
Şekil 4.18’de gösterilen MATLAB simulink modelindeki PID kontrolcü gerçek zamanlı olarak kapalı çevrim kontrol sağlamaktadır. Kaotik sinyallerin eşleşmesi yapılırken K_p , K_i ve K_d değerleri PID kontrolcü bloğu kullanılmıştır. PID kontrolcü bloğunda sisteme uygun değerlerin bulunabilmesi için MATLAB Simulinkte bulunan PID tuning seçeneği kullanılmıştır. PID tuning’den elde edilen değerler ; K_p : 21.12, K_i : 11,81 ve K_d : 7,65’dir. Şekil 4.19’da PID kontrolcünün tuning görüntüsü verilmiştir.



Şekil 4.19. PID kontrolcü tuning görüntüsü.

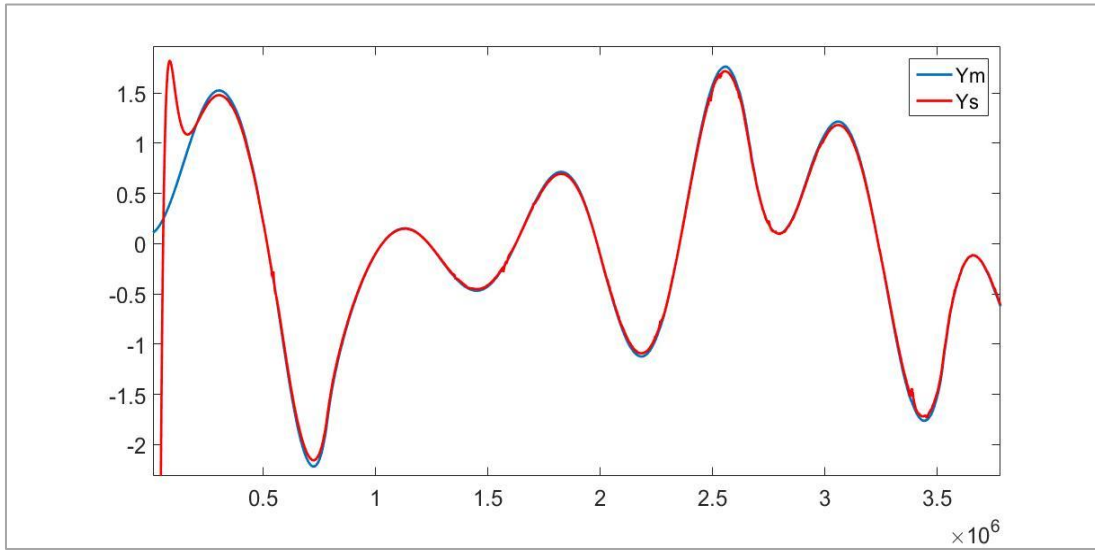
Şekil 4.19’da gösterildiği üzere PID kontrolcü tuning görüntüsünde sistemin kararlılığa ulaştığı görülmüştür. Sistemde her zaman kalıcı durum hatası

gözlenmektedir. Bu doğrultuda Şekil 4.20’de senkronizasyon sinyali X_m ile alıcı tarafında bulunan X_s kaotik sinyallerinin eşlenmesi gösterilmiştir.



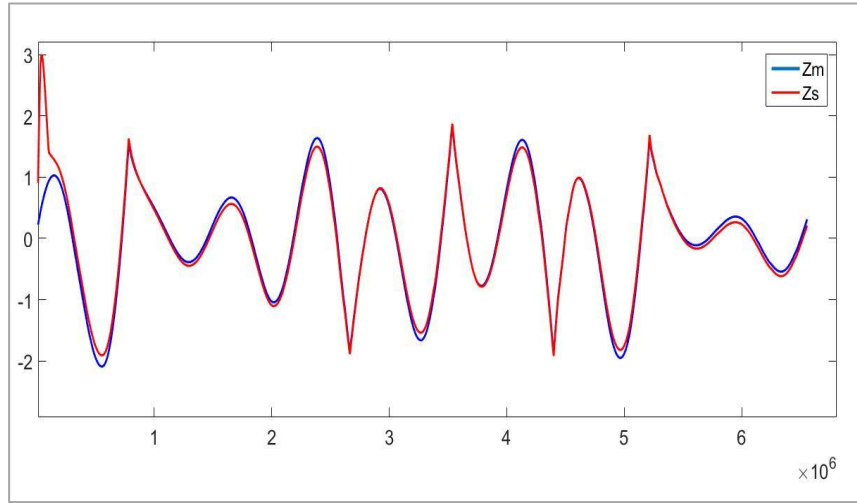
Şekil 4.20. PID kontrolcü X_m ve X_s sinyallerinin eşlenmesi.

Şekil 4.20’de verilen X_m ve X_s sinyallerinin oturma süresi 0.20 sn’dir. Şekil 4.21’de şifrelemede kullanılan Y_m ile deşifre işleminde kullanılan Y_s sinyalinin eşlenmesi gösterilmiştir.



Şekil 4.21. PID kontrolcü Y_m ve Y_s sinyallerinin eşlenmesi.

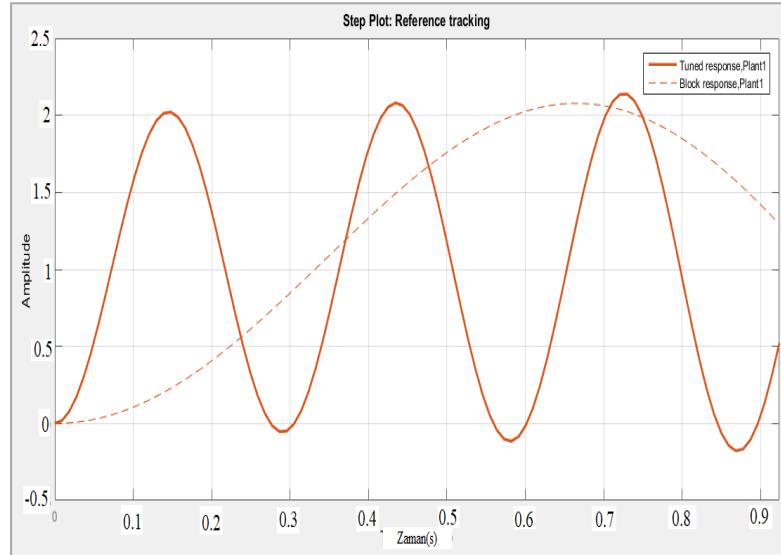
Şekil 4.22’de ise master ve slave kaotik osilatörlerin üçüncü kaotik sinyalleri Z_m ve Z_s sinyallerinin eşlenmesi gösterilmiştir.



Şekil 4.22. PID kontrolcü Zm ve Zs sinyallerinin eşlenmesi.

Şekil 4.22’de görüldüğü gibi Zm ve Zs sinyallerinin eşlenmesi süresi de 0.2 sn’de gerçekleşmiştir.

MATLAB simulinkte PID tuning’de PI ve PD kontrolcüler için de simulasyonlar gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.23’te PI kontrolcü için tuning görüntüsü verilmiştir.

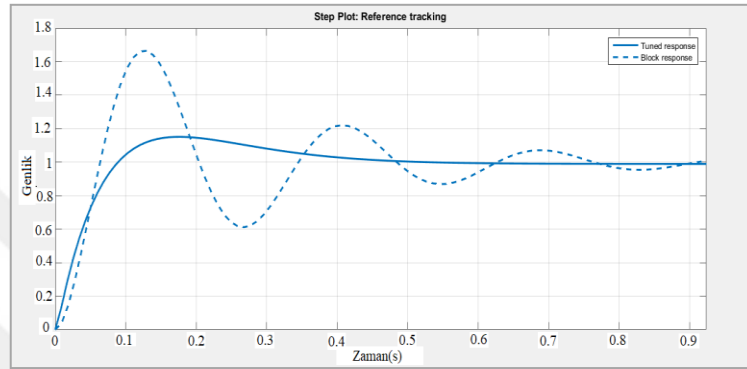


Şekil 4.23. PI kontrolcü tuning görüntüsü.

MATLAB’da PI kontrolcü için optimum değerler K_p : 467.4 ve K_i : 177 olarak bulunmuştur.

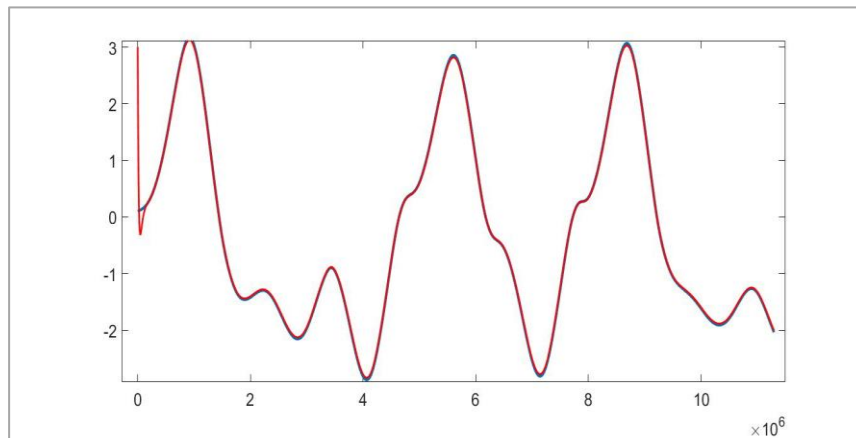
Şekil 4.23'te görüldüğü gibi PI kontrolcü için istenilen kararlılığın sağlanamadığı ve sistemin cevabıyla tuning cevabının örtüşmediği gözlenmiştir.

Son olarak PD kontrol için simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. PD kontrol için tuning değerleri K_p : 126.8 ve K_i : 20.54 bulunmuştur. Şekil 4.24'te PD kontrolcü için tuning görüntüsü verilmiştir.

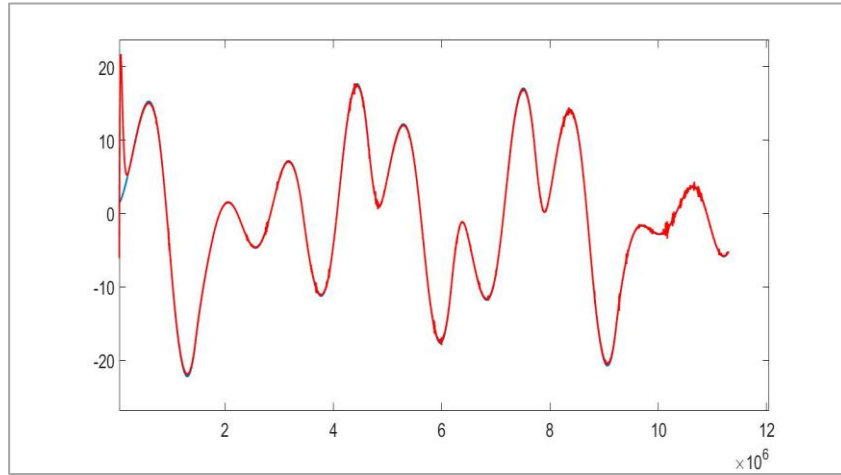


Şekil 4.24. PD kontrolcü tuning görüntüsü.

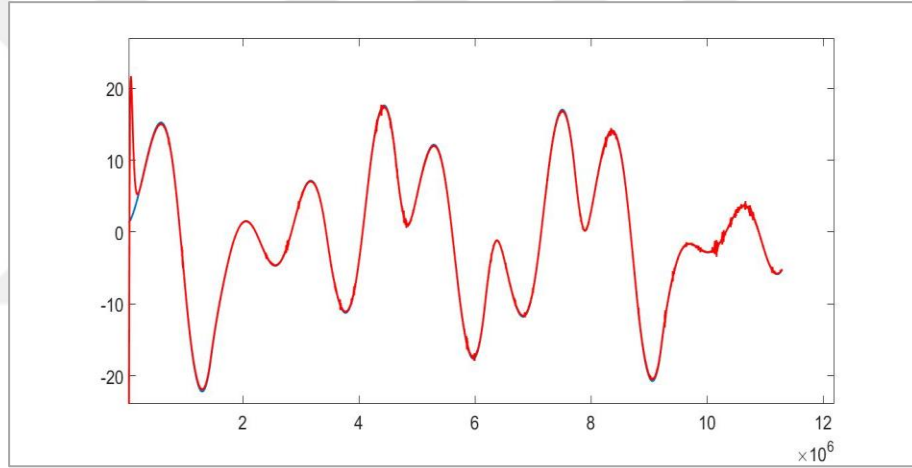
Şekil 4.24'te görüldüğü gibi PD kontrolcü içinde PID gibi kararlılık sağlandığı görülmüştür. PD kontrolcü ile X_m - X_s , Y_m - Y_s ve Z_m - Z_s sinyallerinin eşlenmesi sırasıyla Şekil 4.25-26-27'de verilmiştir.



Şekil 4.25 PD kontrolcü X_m ve X_s sinyallerinin eşlenmesi.



Şekil 4.26. PD kontrolcü Ym ve Ys sinyallerinin eşlenmesi.



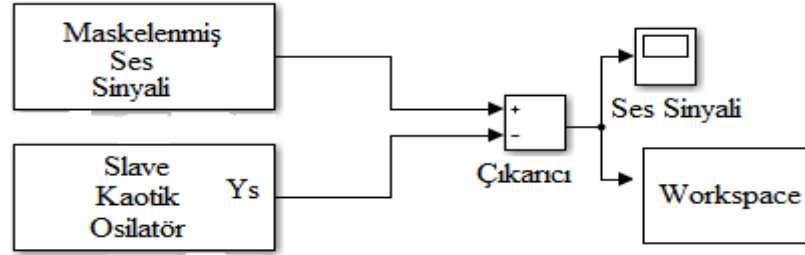
Şekil 4.27. PD Kontrolcü Zm ve Zs sinyallerinin eşlenmesi.

Şekil 4.25-26-27'de görüldüğü gibi kaotik sinyallerin eşlenmesi süresi de 0.15 sn'de gerçekleşmiştir.

4.8. Ses Sinyalinin Elde Edilmesi

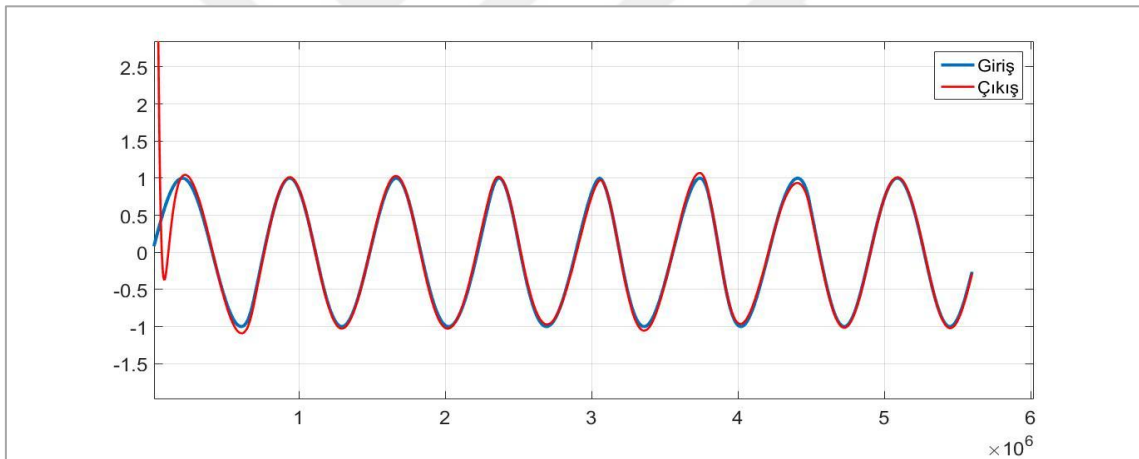
Kaotik osilatörlerin eşlenmesinden sonra mesaj sinyalinin elde edilebilmesi için Slave kaotik osilatörden alınan Ys sinyali maskelenmiş ses sinyalinden çıkarılmıştır. Sistemin çıktısını daha iyi gözlemleyebilmek için ses sinyalinden önce mesaj sinyali olarak sinüs sinyalini seçilmiştir. Şekil 4.28'de maskelenmiş ses sinyalinin deşifre

işleminin MATLAB simulink modeli gösterilmiştir. Senkronizasyon sağlamak için PID kontrolcü kullanılmıştır.



Şekil 4.28. Maskelenmiş ses sinyalinin deşifre işleminin MATLAB simulink modeli.

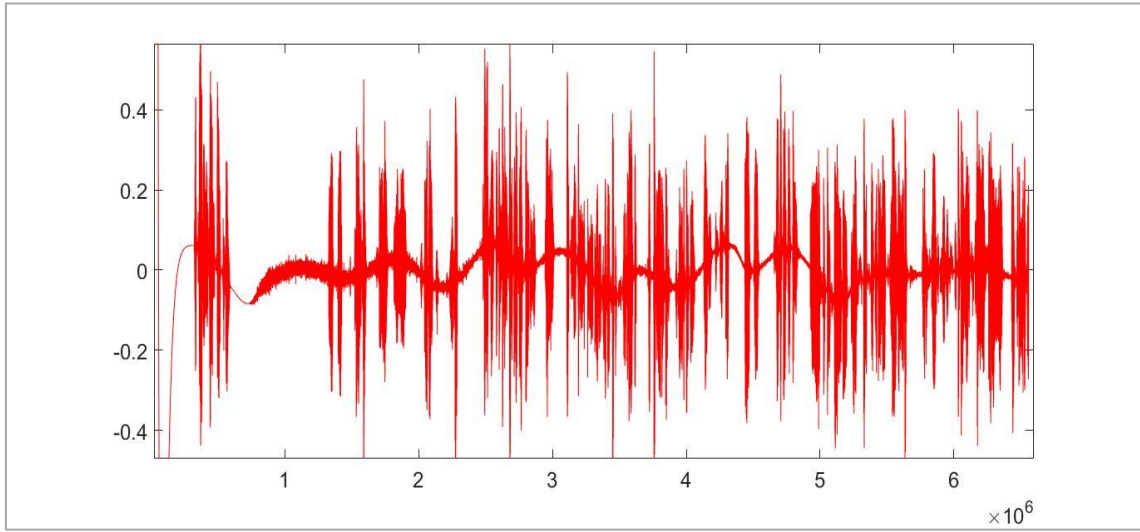
Şekil 4.29’da sinüs sinyalinin sisteme giriş ve çıkışının karşılaştırması gösterilmiştir.



Şekil 4.29. Sinüs sinyalinin sisteme giriş ve çıkışının karşılaştırması.

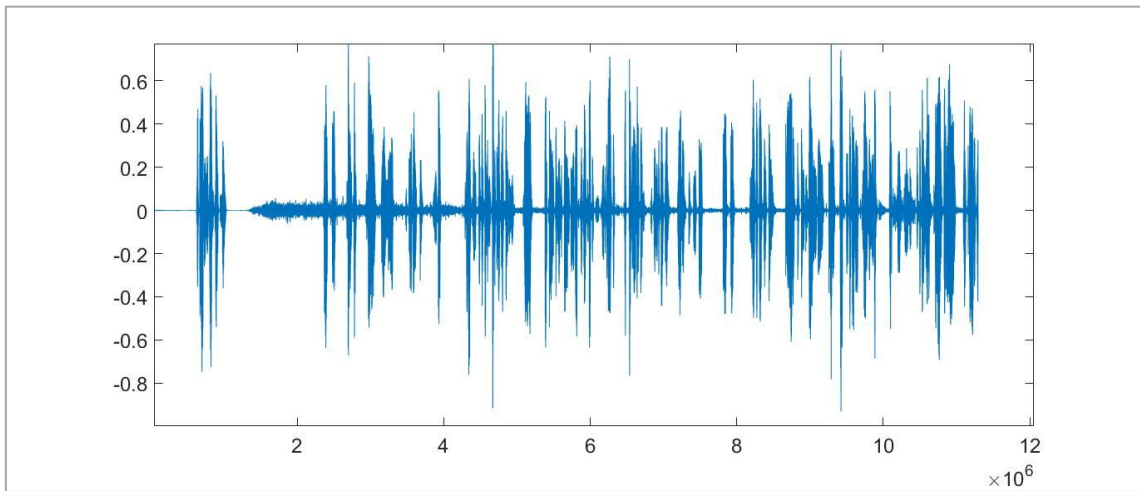
Şekil 4.29’da verilen sinüs sinyali için HKO $1,465 \cdot 10^{-4}$ olarak bulunmuştur. Ardından ses sinyali için deneme yapılmıştır. Kontrolcü olarak denenmiş olan PID, PD ve PI kontrolcülerinden PI’ın kararsız çalıştığı, PD’nin ise PID’den senkronizasyon süresi olarak 0.05 sn daha iyi olduğu gözlemlenmiştir.

Kaotik sinyaller arasındaki senkronizasyonu sağlamak için PID yerine PD kontrolcü kullanılmıştır. Şekil 4.30’da ses sinyalinin sistemden çıkışı gösterilmiştir.



Şekil 4.30. Ses sinyalinin sistemden çıkışı.

Şekil 4.30'da verilen ses sinyalinin çıkışı ile Şekil 4.5'te verilen ses sinyalinin girişi arasındaki hata PID için HKO yaklaşık olarak 0.10 iken PD için 0.098 olarak bulunmuştur. Gözlenen hataların çok yüksek olması modülasyon-demodülasyon ve filtreleme işlemlerinde kaynaklandığı görülmüştür. Hatayı küçültmek amacıyla ses sinyali alt ve üst kesim frekansı 250 Hz-3500 Hz olan bant geçiren filtreden geçirilerek tekrar elde edilmiştir. Şekil 4.31'de ses sinyalinin bant geçiren filtre çıkışı verilmiştir.



Şekil 4.31. Ses sinyalinin bant geçiren filtre çıkışı.

Şekil 4.31’de verilen çıkışta filtrelenen ses sinyali için ise hata 0.037465 olarak bulunmuştur. Bu hata değerleri 1 saniyelik veride 44100 Hz örnekleme miktarına göre hesaplanmıştır. Senkronizasyon sinyali için KHO’da 10^{-10} olarak bulunmuştur.

Danhui (2010), yaptığı çalışmada Chua kaotik osilatör modelini kullanarak kare dalga sinyali şifrelemiş ve bu şifreyi çözecek olan kaotik sinyali de aynı iletim kanalı içerisinde iletmıştır. İletim yöntemi olarak frekans bölmeli çoğullama yöntemi kullanmıştır. Bu çalışmadan farklı olarak tezimizde Sprott kaotik osilatör kullanılmış ve maskelenen ses sinyali ve senkronizasyon sinyali frekans bölmeli çoğullama yöntemiyle iletilmiştir. Görüldüğü üzere kare, sinüs sinyalleri gibi içerisinde daha az bileşen bulunduran sinyaller yerine ses gibi sinyallerin de kullanılabileceği görülmüştür.

Feng ve ark. (2008), yaptığı çalışmada kaotik bir sistemi kayan mod kontrol yöntemiyle senkronize etmişlerdir. Bu tez çalışmasında ise PID kontrolcü ve frekans bölmeli çoğullama yöntemiyle oluşturulan kaotik sistem senkronize edilmiştir. Senkronize edilen sistemde ses sinyalinin giriş ve çıkışları karşılaştırılmış ve çıkışta ses sinyali elde edilebilmiştir.

Schindeler ve ark. (2016), yaptıkları gerilim kontrollü yükselteç uygulaması ile genlik modülasyonu gerçekleştirmişlerdir. Gerilim kontrollü yükselteç devreleriyle simülasyon devrelerindeki modülasyon indeksi değerleri farklılık göstermektedir. Simülasyon devrelerinde ideal çalışma gerçekleştiğinden modülasyon indeksi uygulamaya göre daha rahat ayarlanabildiği görülmüştür.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, kaotik bir sinyal yardımıyla maskelenmiş ses sinyali ve sistemi senkronize edecek olan ikinci bir kaotik sinyalin tek bir kanal üzerinde iletimi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda Frekans Bölmeli Çoğullama (FDM) yöntemi kullanılmıştır. Kullandığımız yöntemde çift yan bant genlik modülasyonu kullanılarak sinyaller tek bir iletim kanalı içerisinde aktarılmıştır. Alıcı tarafında tek bir kanalla gönderilen ses ve senkronizasyon sinyali filtreler yardımıyla ayrılmış daha sonra demodüle edilerek iki farklı sinyale dönüştürülmüştür. Verici tarafında senkronizasyon için gönderilen master kaotik sinyal ile alıcı tarafta oluşturulan slave kaotik sinyal PID, PD ve PI kontrolcü kullanılarak senkronize edilmeye çalışılmıştır. Senkronize edilen slave kaotik osilatörün sesi maskelemek için kullanılan çıkışı maskelenmiş ses sinyalinden çıkarılarak orijinal ses sinyaline ulaşılmaya çalışılmıştır.

Kontrol yöntemi olarak PID kontrol yöntemi seçilmiştir. Seçilen kontrol yöntemi PI ve PD olarak iki parçalı şekil olarak da incelenmiştir. Yapılan çalışmada ses sinyali için PID kontrolcü kullanıldığında senkronizasyon süresinin 0.2 sn, senkronizasyon sinyali için HKO 10^{-10} ve çıkıştaki ses sinyali için bant geçiren filtre uygulandığında HKO 0.037465 uygulanmadığında ise 0.10 olarak hesaplanmıştır. Benzer şekilde PD kontrolcü kullanılarak yapılan çalışmada senkronizasyon süresi 0.15 sn, senkronizasyon sinyali için HKO 10^{-9} ve çıkıştaki ses sinyali için bant geçiren filtre uygulandığında HKO 0.0370 uygulanmadığında ise 0.098 olarak hesaplanmıştır. Fakat PI kontrol uygulandığında istenilen kararlılık sağlanmamış ve sistem kararsız olarak çalışmıştır.

Yapılan çalışmada ses sinyali yerine sinüs sinyali kullanıldığında giriş ve çıkış sinyalleri arasındaki HKO $1,465.10^{-4}$ olarak bulunmuştur.

Yukarda verilen sonuçlar değerlendirildiğinde ses sinyalinin senkronizasyonu için PID yerine PD kontrolcü kullanılmasının daha uygun olacağı ve çıkış ses sinyalinin bir bant geçiren filtreden geçirilerek iletim kanalından oluşacak gürültü vb. etkilerin ortadan kaldırılması için uygun olacağı görülmüştür.

Sinüs sinyali yerine ses sinyali kullanıldığında HKO'nun çok fazla arttığı gözlenmiştir. Tasarlanan sistemde kaotik osilatörler arasındaki fark az olmasına rağmen

ses sinyalindeki hatanın yüksek olmasının nedeni ses sinyalinin içerisindeki frekans bileşenlerinin fazla olması ve frekans bölmeli çoğullama sistemindeki filtrelerin sayısının fazlalığı ve derecelerinin yüksek olmasından kaynaklanmaktadır.

Ses sinyalinin sistemden çıkışı MATLAB simulink ortamında dinlenmiş ve anlaşılabilir olduğu görülmüştür.

Sistemin simülasyon ortamında bir ses sinyalini maskeleyip tek bir kanal üzerinden iletilebileceği ve alıcı tarafından maskenin çözülerek orijinal ses sinyaline anlaşılır bir şekilde ulaşıldığı görülmüştür. Bu sistemin gerçek ortamda gerçekleştirilmesi ve entegre haline getirilmesi durumunda şifreli görüşmelerin güvenli bir şekilde gerçekleştirileceği anlaşılmaktadır.



KAYNAKLAR

- Almalı, M. N., Dikici, Z., 2016. The simulation of sound signal masking with different chaotic oscillations and its circuit application. *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, **24**(5): 4284-4293.
- Atan, O., Almalı, M. N., Abdulrahman, B. A., 2017. Design of Chaotic Mobile Communication System Using Arduino. *International Journal of Scientific Research in Information Systems and Engineering (IJSRISE)*, **2**(2): 6-10.
- Atan, Ö., Türk, M., Tuntaş, R., 2011. PI λ D, μ ile senkronizasyon kontrolü ve kaotik haberleşme uygulaması. *TOK 2011 Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı*
- Bao, H., and Zhu, Y. S., 2006. The multi-stage chaotic secure communication system applied in radio frequency channel. *In 2006 International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing*, 1-4.
- Butterworth Filter Design https://www.electronics-tutorials.ws/filter/filter_8.html
- Chaparro, L., and Akan, A., 2018. Signals and Systems using MATLAB. *Academic Press. Frequency Division Multiplexing*, 416-418.
- Chen, H. C., Chang, J. F., Yan, J. J., Liao, T. L., 2008. EP-based PID control design for chaotic synchronization with application in secure communication. *Expert Systems with Applications*, **34**(2): 1169-1177.
- Dan-hui, W. U., 2010. Application research on frequency-division multiplexing to secret communication. *International Conference of Information Science and Management Engineering, Journal of Shaanxi University of Science & Technology (Natural Science Edition)*, **5**: 21.
- Dhivya, R., Premkumar, R., Nithyaa, A. N., 2015. Real time secured transmission of biosignal using chaotic communication system. *In Engineering and Technology (ICETECH), IEEE International Conference*.
- Elkholy M., Hennawy H.M. EL, Elkouny A., 2016 Real time implementation of secure communication system based on synchronization of hyper chaotic systems. *33rd National Radio Science Conference (NRSC 2016), Arab Academy for Science, Technology & Maritime Transport*, 159-167
- Feng, Y., Li, J., Yu, X., 2010. Multi-dimensional signals transmission via single channel for chaos synchronization. *In IECON 2010-36th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society*, 1150-1154.
- Feng, Y., Yu, X., Sun, L., 2008. Synchronization of uncertain chaotic systems using a single transmission channel. *Chaos, Solitons & Fractals*, **35**(4): 755-762.
- Frequency Division Multiplexing System <https://electronicspost.com/frequency-division-multiplexing-fdm-system/> 21.03.2019
- Godse A.P. and Bakshi U.A., 2009. *Communication Engineering*. Technical Publications.
- Hassan, E., 2016. Multi-carrier Communication Systems with Examples in MATLAB®: *A New Perspective*. CRC Press.
- Hayes, S., Grebogi, C., & Ott, E. 1993. Communicating with chaos. *Physical Review Letters*, **70** (20): 3031.
- Hou, Y. Y., 2017. Design and implementation of EP-based PID controller for chaos synchronization of Rikitake circuit systems. *ISA transactions*, **70**: 260-268.

- İşlemsel Yükseltecin Temelleri Operational Amplifier Basics https://www.electronics-tutorials.ws/opamp/opamp_1.html
- Johnson, D. E., 1976. *Introduction to filter theory*. Prentice Hall.
- Karagözoğlu, B., 1992. A multichannel biotelemetry system. In Biomedical Engineering Days, *Proceedings of the 1992 International*, 64-69.
- Korürek, M. , 1996. *Tıp Elektroniklerinde Tasarım İlkeleri*. 975-561-081-2. İ.T.Ü. , s.1579, İstanbul.
- Li, K., Liu, J., Yang, L., and He, Z., 1999. A robust chaotic digital secure communication scheme. *In 1999 IEEE Pacific Rim Conference on Communications, Computers and Signal Processing (PACRIM 1999). Conference Proceedings*. 491-494.
- Li, S. Y. and Ge, Z. M., 2011. Generalized synchronization of chaotic systems with different orders by fuzzy logic constant controller. *Expert Systems with Applications*, **38**(3): 2302-2310.
- Megep., 2012. *Osilatörler ve Filtre Devreleri*. Milli Eğitim Bakanlığı Mesleki Eğitim ve Öğretim Sistemlerinin Güçlendirilmesi Projesi. Elektrik-Elektronik Teknolojisi.
- Naima, S., Tarek, B. F., Fatima, D., 2017. Compromise between spectral efficiency and interference cancellation in OFDM system. *2017 International Conference on Engineering & MIS (ICEMIS). IEEE*, 1-7.
- Neag, M., Kovács, I., Onet, R., & Topa, M., 2011. A voltage-controlled amplifier based on Gm cells for multistandard OFDM integrated receivers. *In 2011 IEEE EUROCON-International Conference on Computer as a Tool* 1-4
- Pecora, L. M., Carroll, T. L., 1990. Synchronization in chaotic systems. *Physical review letters*, **64** (8): 821.
- Pursley, M. B., 2002. Analog communications. *In Reference Data for Engineers* **23**(1): 19-23.
- Rao R.P., 2018 Real Time Audio Signal Processing Through DSB-SC Using Simulink *IJSDR*, **3**(6) : 52-55
- Sahraian, M., and Kodiyalam, S., 2000. Tuning PID controllers using error-integral criteria and response surfaces based optimization. *Engineering Optimization*, **33**(2): 135-152.
- Schindeler, R., Cleveland, D., and Hashtrudi-Zaad, K., 2016. Experimental evaluation of computer-controlled variable gain analog amplifiers. *Analog Integrated Circuits and Signal Processing*, **86**(3): 449-458.
- Sprott, J. C., 2000. A new class of chaotic circuit. *Physics Letters A*, **266**(1):19-23.
- Uyaroğlu, Y., and Pehlivan, İ., 2010. Nonlinear Sprot94 Case A chaotic equation: Synchronization and masking communication applications. *Computers and Electrical Engineering*, **36**(6): 1093-1100.
- Weinstein, S., and Ebert, P., 1971. Data transmission by frequency-division multiplexing using the discrete Fourier transform. *IEEE transactions on Communication Technology*, **19**(5): 628-634.
- Wu, C. W., Yang, T., Chua, L. O., 1996. On adaptive synchronization and control of nonlinear dynamical systems. *International Journal of Bifurcation and Chaos*, **6**(03): 455-471.

ÖZ GEÇMİŞ

1993 yılında İstanbul'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Bursa'da tamamladı. 2011 yılında öğrenime başladığı Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nden 2015 yılında mezun oldu. 2016 yılında, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başlamıştır.



T.C.
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
LİSANSÜSTÜ TEZ ORJİNALLİK RAPORU

Tarih: 09/08/2019

Tez Başlığı / Konusu: **Kaotik Maskelenmiş Ses Sinyalinin FDM Yöntemiyle İletilmesi**

Yukarıda başlığı/konusu belirlenen tez çalışmamın Kapak sayfası, Giriş, Ana bölümler ve Sonuç bölümlerinden oluşan toplam 45 sayfalık kısmına ilişkin, 09/08/2019 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtreleme uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 6 (altı) dır.

Uygulanan filtreler aşağıda verilmiştir:

- Kabul ve onay sayfası hariç,
- Teşekkür hariç,
- İçindekiler hariç,
- Simge ve kısaltmalar hariç,
- Gereç ve yöntemler hariç,
- Kaynakça hariç,
- Alıntılar hariç,
- Tezden çıkan yayınlar hariç,
- 7 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç (Limit inatch size to 7 words)

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Lisansüstü Tez Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılmasına İlişkin Yönergeyi inceledim ve bu yönergede belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini bilgilerinize arz ederim.

Tarih ve İmza

09.08.2019

Ali Can Çabuker

Adı Soyadı : Ali Can ÇABUKER

Öğrenci No :159101125

Anabilim Dalı : Elektrik-Elektronik Mühendisliği

Programı : Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü

Statüsü : Y. Lisans

Doktora

DANIŞMAN ONAYI
UYGUNDUR

Doç. Dr. M. Nuri ALMALI

M. Nuri Almalı

ENSTİTÜ ANAYI
UYGUNDUR

Prof. Dr. Suat ÇENSOY
Enstitü Müdürü