



ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ
İLETİŞİM ve İLETİŞİM TEKNİĞİ DERSİ LABORATUARI

Lab 2: Frekans Modülatörü ve Demodülatörünün Tasarım ve Analizi

Deneye gelmeden önce föyün sonunda verilen **Laboratuvar Ön Çalışma Talimatları** kısmındaki soruları cevaplayınız. Cevaplarınızı bir A4 kağıdına yazıp deney sırasında teslim etmeniz gerekmektedir.

Ayrıca deney öncesi oluşturmanız istenen modelleri oluşturup hazırlıklı gelmeniz faydalı olacaktır.



ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ İLETİŞİM ve İLETİŞİM TEKNİĞİ DERSİ LABORATUARI

Amaç

- Açık Modülasyonu, Frekans Modülasyonu (FM) ve Demodülasyonunun teorik temellerini anlamak
- Sinüzoid ve bir müzik dosyasını kullanarak simulink ile FM modülasyonu yapıp modülasyonlu sinyali zaman ve frekansta analiz etmek.
- Simulinkteki FM'in üstüne eklemeli beyaz Gaussian kanalın (Additive Gaussian Channel (AWGN)) etkisini görmek.

1. Teorik Altyapı

Analog haberleşme sistemlerindeki ilk modülasyon tipi genlik modülasyonudur (GM). Genlik modülasyonu basit olması ve band genişliği etkinliği açısından avantajlara sahiptir. Genlik modülasyonunun dezavantajları ise

- Bilgi taşıyıcı sinyalin genliğinde taşındığından; doğrusal yükselteçlerin maliyeti, performansları, boyutları açısından GM'de iyi bir başarımla elde etmek zordur.
- Bilgi işareti 0'a yakın değerleri belli bir periyot (sessiz periyot) aldığında çift yan bant ve tek yan bant sistemlerde çok küçük bir taşıyıcı sinyal iletilir. Sinyalin olmadığı durumlarda gürültü daha baskındır.
- Geçişbandı (passband) band genişliği diğer modülasyon türlerine göre daha küçüktür.

Açık Modülasyonu

İlk deneyde sinüzoidal taşıyıcının genliğinin bilgi ile beraber nasıl değiştiğini inceledik. Açık modülasyonu ile büyük bir başarımla sağlanmaktadır. Bu tip modülasyonda taşıyıcının genliği sabit kalmaktadır. Açık modülasyonu gürültüye karşı daha iyi bir başarımla sağlamaktadır. *Faz modülasyonu* ve *Frekans modülasyonunun* her ikisi de birer açık modülasyonudur. Bu ikinci deneyde günlük hayatta en fazla karşılaşılan Frekans Modülasyonu yada FM'i inceleyeceğiz.

Frekans Modülasyonu

Açık modülasyonlu sinyal zaman domeninde aşağıdaki gibi gösterilir:

$$u(t) = A_c \cos[2\pi f_c t + \theta(t)] = \text{Re}\{A_c e^{j\theta(t)} e^{j2\pi f_c t}\} \quad (1)$$

Anlık Faz:

$$\phi(t) = 2\pi f_c t + \theta(t) \quad (2)$$

Modüle edilmiş sinyalin anlık frekansı:

$$f_i(t) = \frac{1}{2\pi} \frac{d}{dt} [2\pi f_c t + \theta(t)] = f_c + \frac{1}{2\pi} \frac{d}{dt} \theta(t) \quad (3)$$

Yukarıdaki denklemde $\frac{d}{dt} \theta(t)$ ifadesine faz kayması denilir. Taşıyıcının faz kayması bilgi sinyali $m(t)$ ile ilgilidir. Faz kayması $\frac{d}{dt} \theta(t) = k_f m(t)$ olursa yapılan modülasyon FM olur burada k_f frekans kayma sabitini göstermektedir. Bu durumda modülasyonlu sinyal aşağıdaki gibi olur.

$$u(t) = A_c \cos \left[2\pi f_c t + 2\pi k_f \int_{-\infty}^t m(\lambda) d\lambda \right] \quad (4)$$

FM dalgasının band genişliğini hesaplamak için aşağıda gösterilen Carson kuralı kullanılır:

$$B_t = 2W(1 + \beta) \quad (5)$$

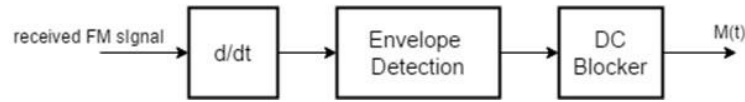
Yukarıdaki denklemde W bilgi sinyali $m(t)$ 'nin band genişliğini göstermektedir. β ise modülasyon indisidir ve FM için aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır:

$$\beta = \frac{k_f \max(|m(t)|)}{W} \quad (6)$$

Frekans Demodülasyonu

a. Türev Kullanarak Demodülasyon

Bir frekans ayırt edicisi (discriminator) teorik olarak FM sinyalinden bilgi sinyalini elde eder.



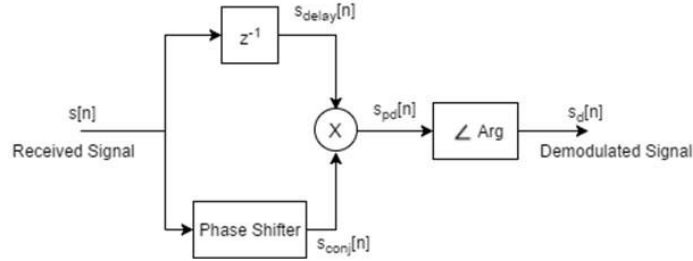
Şekil 1. Frekans ayırt edici

$$\frac{du(t)}{dt} = -A_c \left(2\pi f_c + 2\pi k_f m(t) \right) \sin \left[2\pi f_c t + 2\pi k_f \int_{-\infty}^t m(\lambda) d\lambda \right] \quad (7)$$

Türevi alınmış sinyal hem genlik hem de frekans modülasyonludur. Zarf $A_c \left(2\pi f_c + 2\pi k_f m(t) \right)$ bilgi sinyali ile doğrusal olarak ilişkilidir ve $\sin \left[2\pi f_c t + 2\pi k_f \int_{-\infty}^t m(\lambda) d\lambda \right]$ terimi yüksek frekanslı terimdir. Bundan dolayı $m(t)$, $\frac{du(t)}{dt}$ 'nin zarf deteksiyonu sonucunda elde edilebilir.

b. Non-Coherent FM Demodülasyonu

Complex Delay Line Frekans Demodülatörü olarak ta bilinir. Aşağıdaki bloklar kullanılarak gerçekleştirilir.



Şekil 2. Complex Delay Line Frekans Demodülatörü

Alınan FM sinyali hem karmaşık hem gerçel bileşenlere sahiptir. Sinyal aşağıdaki biçimdedir:

$$u(t) = A_c \cos(\omega_c t + \theta(t)) = A_c \cos(\omega_c t) \cos(\theta(t)) - A_c \sin(\omega_c t) \sin(\theta(t)) \quad (8)$$

Alınan sinyal birbirine dik olan $\cos(\omega_c t)$ ve $\sin(\omega_c t)$ taşıyıcıları ile taşınan iki ayrı kısımdan oluşmaktadır. Bu sebeple $\cos(\omega_c t)$ ile çarpılıp alçak geçiren filtreden geçirildiğinde $A_c \cos(\theta(t))$ benzer şekilde $\sin(\omega_c t)$ ile çarpılıp alçak geçiren süzgeçten geçirildiğinde $-A_c \sin(\theta(t))$ terimi elde edilebilir. Bu sebeple alınan RF demodülasyonu sonucunda temel bandda aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$s(t) = A_c e^{-j\theta(t)} \quad (9)$$

Complex Delay Line Frekans Demodülatörünün girişine $s(t)$ 'nin ayrık zamana dönüştürülmüş biçimi uygulandığında aşağıdaki sinyaller elde edilir.

$$s[n-1] = s_{delay}[n] = A_c e^{-j\theta[n-1]} \quad (10)$$

$$s^*[n] = s_{conj}[n] = A_c e^{j\theta[n]} \quad (11)$$

$$s_{pd}[n] = s_{conj}[n] * s_{delay}[n] = A_c^2 e^{j(\theta[n] - \theta[n-1])} \quad (12)$$

$$s_d[n] = \theta[n] - \theta[n-1] \quad (13)$$

Dikkat edilirse $s_d[n]$ ayrık zamanda $\theta[n]$ 'nin türevidir. Modülasyonda $\theta[n]$ bilgi işaretinin integrali alınarak elde edildiğinden $s_d[n]$ bilgi işaretinin demodüle edilmiş biçimi olacaktır.

c. PLL Demodülasyonu

PLL FM sinyalini geri beslemesinde bulunan gerilim kontrollü osilatör (VCO, voltage controlled oscillator) yardımı ile demodüle eder. Deney esnasında bu yöntem de kullanılacaktır.

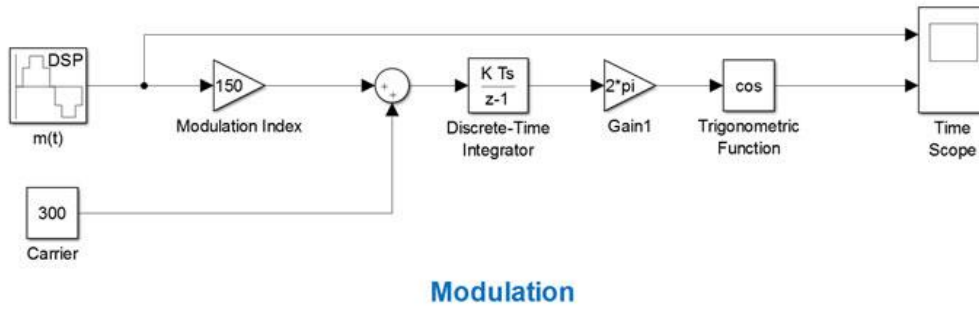
2. Frekans Modülasyonu ve Demodülasyonu için Simulink Modeli Oluşturulması

Frekans modülatörü ve demodülatörünün yapısı aşağıda açıklanmaktadır. İlk modeldeki FM yapısı teorik altyapıdaki ile oldukça benzerdir. İkinci modelde giriş sinyalinin dalga biçimi ile frekans değişimlerini gözlemleyeceksiniz.

Model-1

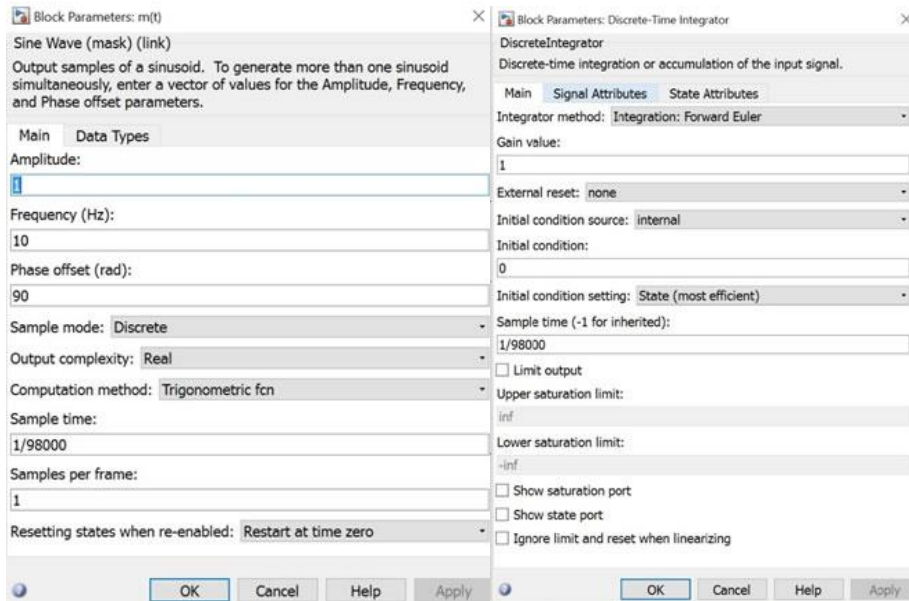
Frekans Modülasyonu

FM modülatörü için Simulink modeli aşağıdaki gibidir:



Şekil 3. FM Modülatörü için Blok Diyagramlar

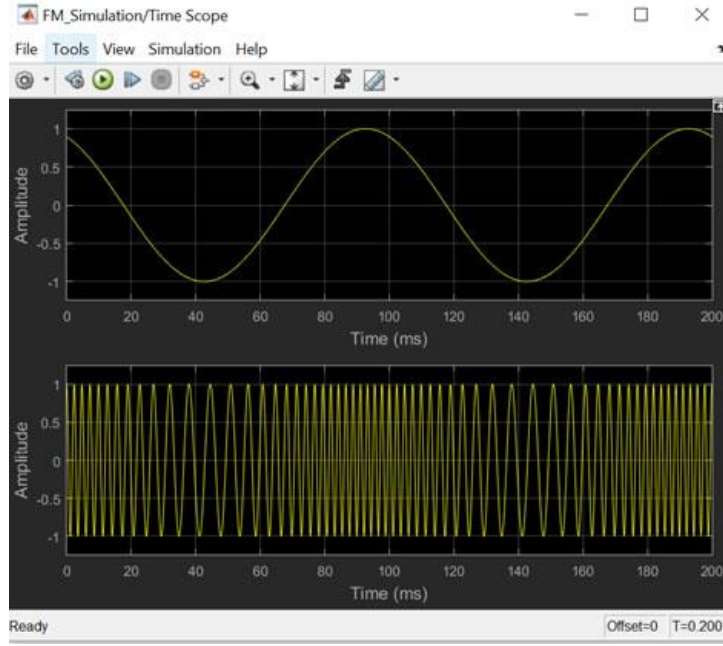
Blokların parametreleri aşağıdaki gibidir:



Şekil 4. FM Modülatörü Parametreleri

Simulasyon zamanını dalga biçimlerini daha hassas görebilmek için 0.2sn olarak ayarlayınız.

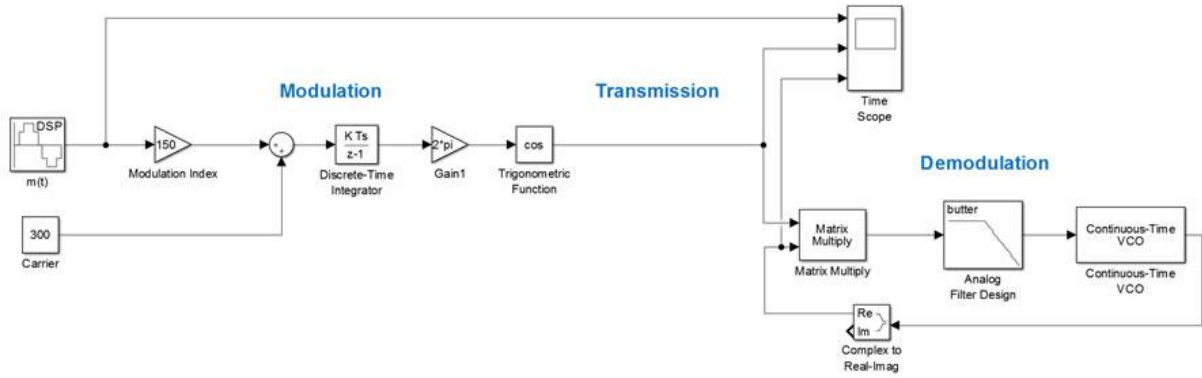
Time scope ta aşağıdakileri görmemiz gerekir.



Şekil 5. Time Scope

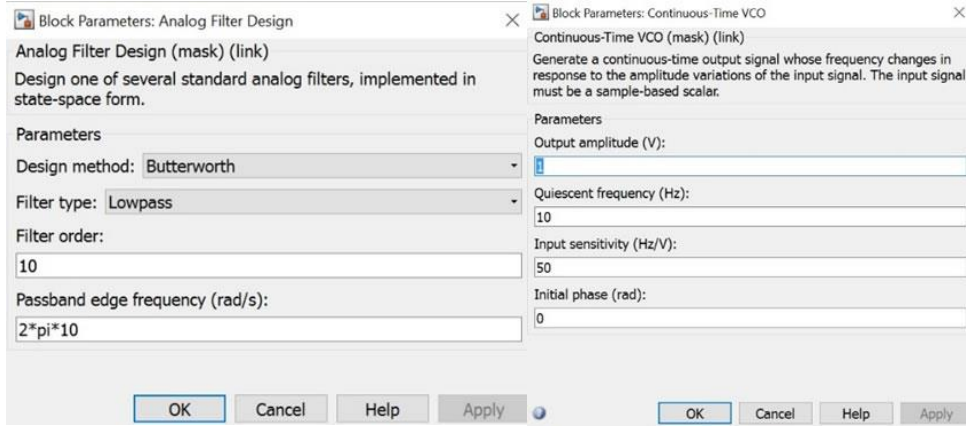
Frekans Modülatörü ve Demodülatörü

FM Modülatörü ve Demodülatörünün tam modeli aşağıdaki gibidir.



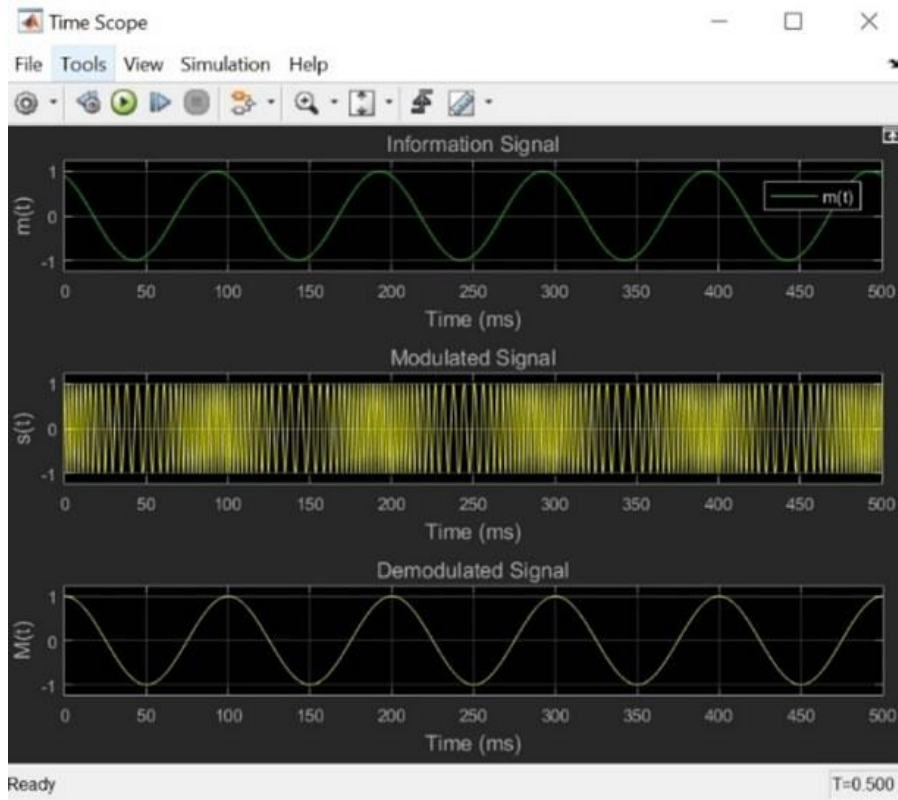
Şekil 6. FM Modülatör ve Demodülatörü (Model-1)

Aşağıda gösterilen biçimde filtre ve VCO parametrelerini ayarlamanız gerekir.



Şekil 7. Blok Parametreleri

Simülasyonu koşturun ve time scope ta aşağıdaki sinyalleri gözlemleyin.

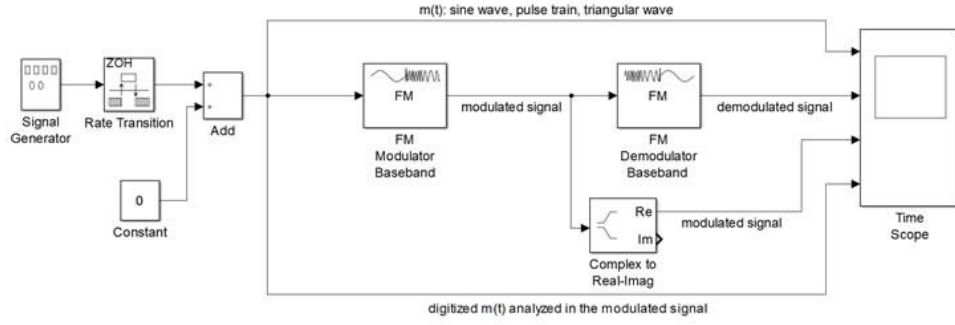


Şekil 8. Model-1 için Time-Scope Çıkışı

Görüldüğü gibi modüle edilen sinüzoidal işaret demodülasyon sonunda elde edilebilmektedir.

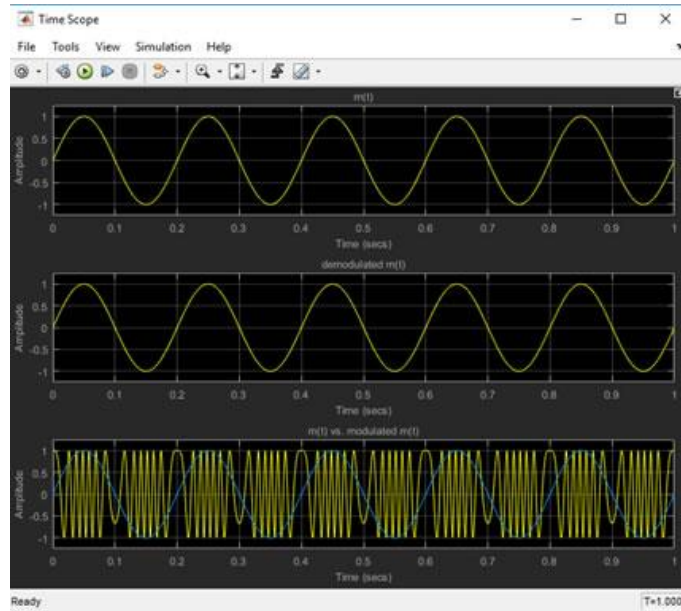
Model-2

Model-1’de FM’in teorik altyapısı hakkında bilgi sahibi oldunuz. İkinci modelde Simulink’in kendi içerisinde bulunan FM modülatör ve demodülatörü kullanılacaktır. Bu aşamada giriş için üç farklı dalga biçimi kullanılacaktır. Bunlar sinüs, kare dalga ve üçgen dalgadır. Böylece farklı girişlere karşın oluşan frekans değişimlerini gözlemleyeceğiz. Model-2 aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.



Şekil 9. FM Model-2

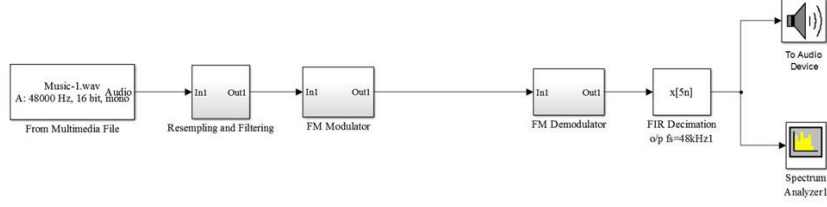
Sinyal üretici (signal generator) analog giriş olarak kullanılmaktadır. Bu bloğu kullanabilmek için sayısalı çevrilmesi gerekir. Hız dönüşüm bloğu (rate transition block (zero-order-hold, or ZOH)) analog bilgiyi örnekleme periyodu $T_s = \frac{1}{100 \times 10^3}$ 'tür. Girişi sinyalinin frekansını 5Hz (sinüs) olarak alıp modülatör ve demodülatörün frekans kayması (frequency deviation) 100Hz alınız. Öte yandan times scope'ta 3 adet düşey grafik görebilmek için vertical layout'u ayarlayınız. Time Scope'ta aşağıdaki grafiği görmelisiniz.



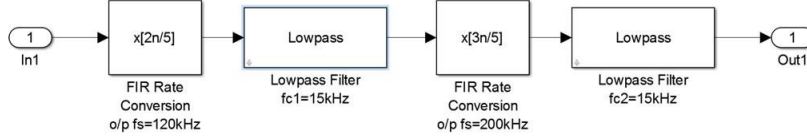
Şekil 10. Model-2 için Time Scope

3. Müzik İletimi için Simulinkte FM Modülatör ve Demodülatör Modeli Oluşturma

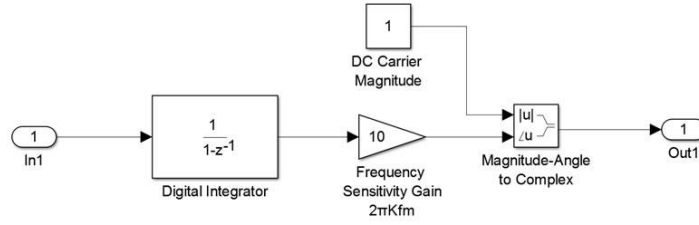
Bu kısımda FM modülatör ve demodülatörü müzik dosyasını kaynak göstererek kullanacağız. Bu kısımda sinüs dalgası yerine bir multimedya dosyası kullanıldığından DSP işlemlerine örnekleme hızını ayarlamak ve filtrelemek için ihtiyaç olacaktır. Model aşağıda gösterilmektedir.



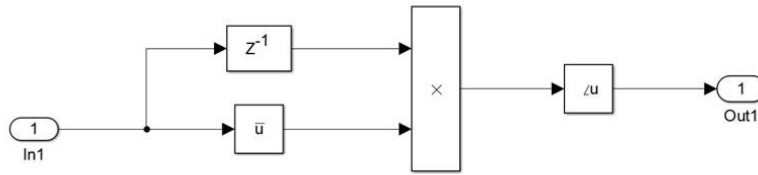
Şekil 11. Müzik İletimi Modeli



Şekil 12. Tekrar Örnekleme ve Filtreleme Modeli



Şekil 13. FM Modülör Bloğu



Şekil 14. Non-Coherent FM Demodülör Bloğu

4. Laboratuvar Öncesi Çalışma

Aşağıdaki sorulara cevap veriniz.

Bir $m(t)$ sinyalinin FM modülasyonuna tabi tutulduğunu varsayınız ve alıcıda alınan sinyalin aşağıdaki biçimde olsun.

$$s(t) = \cos \left[2\pi f_c t - \frac{1}{2\pi 100} k_f \cos(2\pi f_m t) \right]$$



ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ
İLETİŞİM ve İLETİŞİM TEKNİĞİ DERSİ LABORATUARI

- a. $m(t)$ Sinyalini bulunuz.
- b. $|M(f)|$ 'yi çizin ve enerjisini hesaplayınız. ($f_m = 100\text{Hz}$)
- c. FM sinyalinin band genişliğini hesaplayınız. ($f_m = 100\text{Hz}$, $k_f = 1000$)

5. Laboratuvar Görevleri

1. Aşağıdakileri yapınız.
 - a. Model-1'i oluşturunuz. Modülasyon aşamasını her adımı açıklayarak anlatınız.
 - b. Model-1 demodülatörü ona ekleyerek tamamlayınız. Modülasyon ve demodülasyonun nasıl yapıldığını açıklayınız.
2. Bir AWGN kanalı oluşturduğunuz modele ekleyin ve varyans değeri ile oynadığınızda modüle edilmiş sinyale ne olduğunu gözlemleyiniz. Sebebinin açıklayınız.
3. Model-2'yi oluşturunuz.
 - a. Time Scope ve Spectrum Analyzer'da gördüğünüz grafiklerden faydalanarak modülasyonun nasıl gerçekleştiğini açıklayınız.
 - b. Giriş sinyali olarak kare darbe dizisi kullanın. Bu amaçla signal generator'de square wave seçip genliğini 0.5 olarak ayarlayınız. Ayrıca bir Add bloğu ekleyip kaynağı ve sabit 0.5 değerini buna bağlayınız.

Simülasyonunuzu koşturup koşturup giriş sinyaline göre frekans değişimlerini açıklayınız.