



Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Haberleşme Laboratuvarı Deney Föyü ¹

Genlik Modülasyonu

Lab. Sorumlusu:

Hüseyin Çukur

Muhammet Ali Karabulut

Yasin Yıldırım

E-posta:

{hcukur , mali, ysnyldrm} @ yildiz.edu.tr

Lab Kuralları :

- Deney föyüne dikkatlice bireysel olarak çalışılması
- Föy içerisinde bulunan konu anlatımdaki kodların yazılması ve yorumlanması
- Araştırılması gereken kod veya konu varsa araştırılması
- Laboratuvara föy haricinde (flash, pc tablet vb.) herhangi bir aracın getirilmemesi
- Bilgisayar düzenine göre yerleştirilmesi
- Deney bitiminde bilgisayarların yeniden başlatılması
- Laboratuvara her hangi bir yiyecek ve içeceğin getirilmemesi

¹ETEX v0.1

1 Deneyin Amacı ve Çalışma Soruları

Giriş

Analog işaretlerin sayısal iletimi yönündeki genel eğilime rağmen, halen özellikle ses ve video yayıncılığında büyük oranda analog işaretlerin iletimi söz konusudur. Bir analog işaretin iletimi bu işaretin sinüzoidal taşıyıcı işaretin genlik, faz veya frekansı üzerinde meydana getirdiği değişim ile ele alınacaktır. Analog işaretin tekrar elde edilmesi için modüle edilmiş işaretlerin demodülasyonu için gerekli yöntemler de ayrıca tanımlanacaktır. Bu bölüm bilgi işaretinin, taşıyıcının genliğinin değiştirdiği genlik modülasyonlu sistemlere ayrılmıştır.

Çalışılması Gereken Konular

- Modülasyon kavramı, Genlik ve Frekans Modülasyonu arasındaki farklar
- Genlik modülasyonu türleri, demodülasyon kavramı ve demodülatör tasarımı

Önemli Bağlantılar ve Kaynaklar

* https://ocw.mit.edu/courses/electrical-engineering-and-computer-science/6-003-signals-and-systems-fall-2011/lecture-videos/MIT6_003F11_lec23.pdf
* <http://web.mit.edu/6.02/www/s2012/handouts/tutprobs/modulation.html>

- Kendi emeğinize ve çalışan arkadaşlarınızın emeğine saygı gösteriniz. Cevaplarınızı paylaşmayınız.
- Final sınavında iyi not alabilmek için soruları bireysel cevaplamalısınız.
- Kopyanın en büyük zararının kendinize olduğunu unutmayınız.
- Cevapları başkalarından 'almak' yerine konuları 'anlamaya' çalışınız.
- Başarılar dileriz...

2 Giriş

Modülasyon : Bilgi işaretinin, iletim kanalından verimli iletimi için, uygun biçime dönüştürülmesi işlemine denir. Modülasyon işlemi, taşıyıcı işaretin çeşitli parametrelerini (genlik, frekans, faz) bilgi işaretine bağlı olarak değiştirmektir.

Demodülasyon : Modüle edilen işaretin, alıcı tarafta yeniden bilgi işaretini elde etmek üzere dönüştürülmesine denir.

Modülasyon işlemi :

- Gürültü ve bozulmanın olumsuz etkilerini azaltır.
- Aynı iletim hattında birden çok bilgi yollama olanağı sağlar.
- Çevresel etkilerin ortaya çıkardığı pek çok sınırlayıcı etkiyi (anten tasarımı vb.) ortadan kaldırır.
- Farklı mesaj kaynaklarından gelen işaretlerin eşzamanlı iletimini (frekans bölmeli çoğullama tekniği kullanılarak) mümkün kılar.

Genel olarak bir modülatör, bilgi işareti $m(t)$ ile taşıyıcı $c(t)$ arasında $s(t) = f\{m(t), c(t)\}$ işlevi olarak tanımlanabilir. Fig. (1)'de modülasyon ve demodülasyon işlemlerinin genel blok şeması verilmiştir.

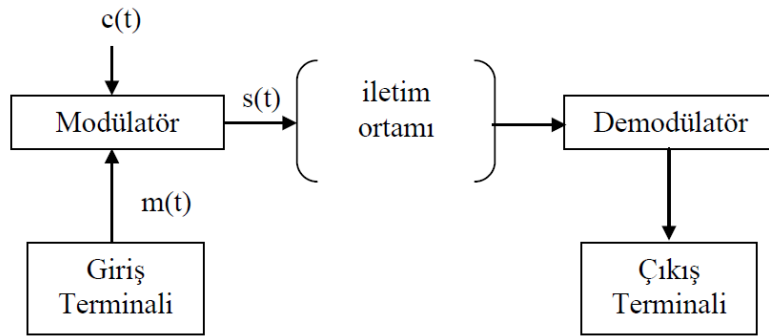


Figure 1: Modülasyon ve demodülasyon işlemlerinin genel blok şeması.

3 Genlik Modülasyonu

3.1 Çift Yanband Genlik Modülasyonu

Çift Yanband (Double Side Band - DSB) genlik modülasyonu,

$$s_{DSB}(t) = m(t)c(t) \quad (1)$$

eşitliği ile tanımlanır. Modüle edilmiş işaret, zaman bölgesinde iki işaretin çarpımı, frekans bölgesinde ise bu iki işaretin dönüşümlerinin katlanması (konvolüsyonu) olarak ifade edilir. Frekans bölgesinde hem üst, hem alt yanbandlar oluşur.

$$S_{DSB}(f) = M(f) * C(f) = \int_{-\infty}^{\infty} C(\lambda)M(f - \lambda)d\lambda \quad (2)$$

Bilgi işareti $m(t) = A_m \cos w_m t$ ve taşıyıcının $c(t) = A_c \cos w_c t$ iki yanlı frekans spektrumunda gösterimi ($f_c \gg f_m$ olmak üzere) Fig. (2)'de verilmiştir.

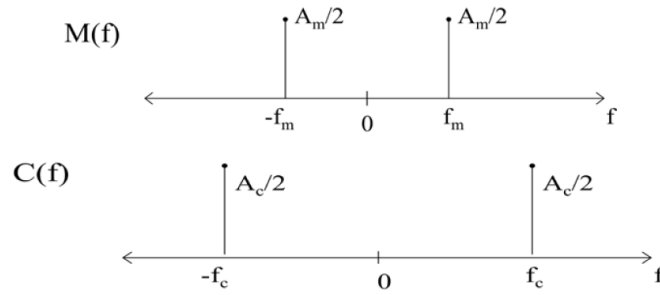


Figure 2: Bilgi işareti ve taşıyıcının frekans spektrumları.

Verilen $m(t)$ ve $c(t)$, (2) eşitliğinde yerine yazıldığında, Euler özdeşliğinden yararlanılarak sırasıyla

$$s_{DSB}(t) = A_m A_c \cos(w_m t) \cos(w_c t) = \frac{A_m A_c}{2} [\cos(w_c + w_m)t + \cos(w_c - w_m)t] \quad (3)$$

$$s_{DSB}(t) = \frac{A_m A_c}{4} [e^{j2\pi(f_c + f_m)t} + e^{-j2\pi(f_c + f_m)t} + e^{j2\pi(f_c - f_m)t} + e^{-j2\pi(f_c - f_m)t}] \quad (4)$$

elde edilir. $s(t)$ işaretinin frekans bölgesindeki karşılığı ise

$$S_{DSB}(f) = \frac{A_m A_c}{4} [\delta(f - f_c - f_m) + \delta(f + f_c + f_m) + \delta(f - f_c + f_m) + \delta(f + f_c - f_m)] \quad (5)$$

biçimindedir. Görüldüğü üzere $s_{DSB}(t)$ 'nin spektrumunda hiçbir taşıyıcı yoktur. Bu nedenle, bu modülasyon türü taşıyıcısı bastırılmış (suppressed carrier) çift yanband modülasyonu olarak da bilinir. DSB işaretin band genişliği $BW = 2f_m$ ' dir.

3.2 Taşıyıcılı Genlik Modülasyonu (AM)

DSB işaretine taşıyıcı eklenerek taşıyıcılı genlik modülasyonlu işaret elde edilir. Bu modülasyon türü sadece Genlik Modülasyonu (AM) olarak da adlandırılır. m_a , modülasyon indeksi (bilginin taşıyıcıyı ne oranda modüle ettiği oranı) olmak üzere AM işaret,

$$s_{AM}(t) = [1 + \mu_a m(t)] c(t) = c(t) + s_{DSB}(t) \quad (6)$$

eşitliği ile tanımlanır.

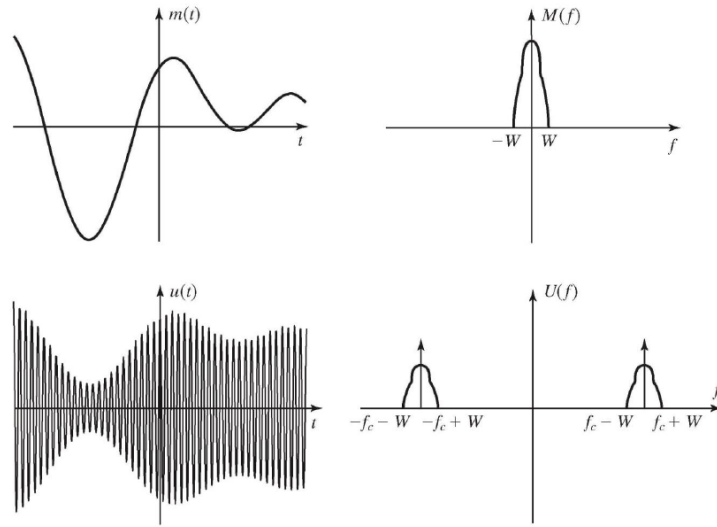


Figure 3: Zaman ve Frekans düzleminde geleneksel AM.

Genlik modülasyonunda en önemli kısıtlama bütün t değerleri için $1 + \mu_a m(t) \geq 0$ olmasıdır.

$m(t)$ bilgi işaretinin ortalama değeri 0, maksimum uzanımı 1 ise $0 \leq \mu_a \leq 1$ olmalıdır. Fig.(4)'de μ_a değişiminin AM işaret üzerindeki etkisi görülmektedir.

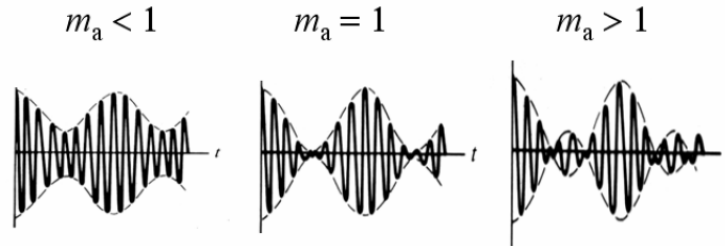


Figure 4: μ_a değişiminin AM işaret üzerindeki etkisi.

Eğer genlik modülasyonlu işaretin dalga şekli ya da maksimum uzanımı $A_c(max)$ ve minimum uzanımı $A_c(min)$ biliniyorsa

$$\mu_a = \frac{A_c(max) - A_c(min)}{A_c(max) + A_c(min)} \quad (7)$$

biçimindedir.

AM işaret için zaman ve frekans bölgesi ifadeleri sırasıyla

$$s_{AM}(t) = [1 + \mu_a m(t)]c(t) = c(t) + \mu_a m(t)c(t) \quad (8)$$

$$S_{AM}(f) = C(f) + \mu_a S_{DSB}(f) = \frac{\mu_a A}{2} [M(f + f_c) + M(f - f_c)] \quad (9)$$

biçimindedir. Buradanda görüleceği üzere AM işaretin band genişliği DSB işaretin band genişliği ile aynıdır ($BW_{AM} = 2fm$). Genlik modülasyonlu işaretin spektrumu ile DSB işaretin spektrumu arasındaki tek fark taşıyıcının varlığından kaynaklanmaktadır.

3.3 Tek Yanband Genlik Modülasyonu

DSB ve AM modülasyonu mesaj bant genişliğinin iki katı iletim bant genişliği gerektirmektedirler. Hem üst hem de alt yan bant bilgi işareti hakkında tüm bilgiyi içerdiğinden bilgi iletimi için yalnızca bir yan bant yeterlidir. Sadece bir yanband iletildiğinde modülasyon tek yanband modülasyonu (single sideband –SSB) olarak adlandırılır. SSB işareti matematiksel olarak

$$s_{SSB}(t) = A_c m(t) \cos(2\pi f_c t) \mp A_c \hat{m}(t) \sin(2\pi f_c t) \quad (10)$$

ifade edilir. Burada $\hat{m}(t)$, $m(t)$ işaretinin Hilbert dönüşümüdür, artı ve eksi işaretleri ise hangi yanbandın elde edileceğini belirler. Artı işareti altyanbandı, ve eksi işareti ise üst yan bandı işareteder. Hilbert dönüşümünün, dürtü tepkisi $h(t) = \frac{1}{\pi t}$ ve frekans tepkisi

$$H(f) = \begin{cases} -j, & f > 0 \\ j, & f < 0 \\ 0, & f = 0 \end{cases} \quad (11)$$

olan bir doğrusal süzgeç olarak davranır. Dolayısı ile SSB işareti $u(t)$ Fig(5).(a)'da gösterilen sistem konfigürasyonu kullanılarak üretilebilir. Fig(5).(b)'de gösterilen bir başka yöntemde ise ilk olarak DSB işaret üretilir ve sonrasında ise DSB işaretin alt veya üst yan bandlarından birini seçecek bir süzgeç kullanılır.

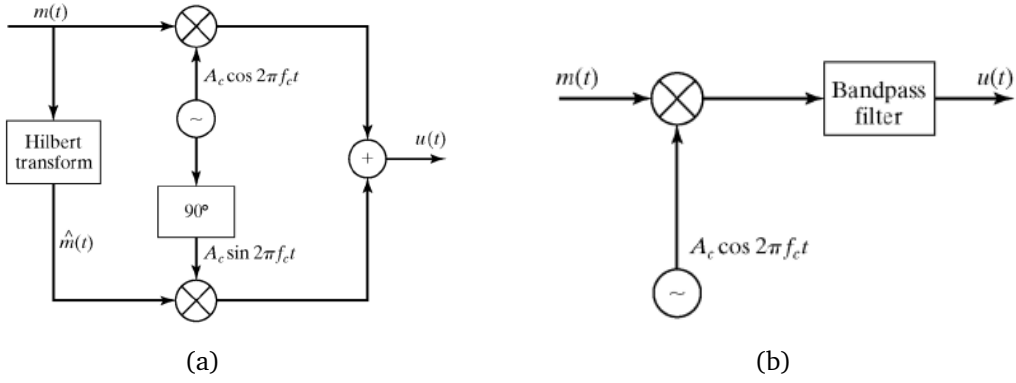


Figure 5: SSB işaretin, (a) Hilbert dönüşümü ile, (b) DSB işaretin bandlarından birisinin bastırılması ile üretimi.

4 Genlik Modülasyonlu İşaretin Demodülasyonu

Genel olarak, DSB ve SSB işaretlerin demodülasyonu için senkron demodülatör tasarımı iyi bir seçim iken, AM işaretlerin demodülasyonu için ise zarf seçici kullanılır.

4.1 Senkron (eş zamanlı) Demodülasyon

Alıcıda demodülasyon için kullanılan taşıyıcı frekansı, vericide kullanılan taşıyıcı frekansına senkronize edilmiştir. Modüle işaret, taşıyıcı ile çarpılır ve sonrasında alçak geçiren filtre ile geri kazanılabilir. Burada yapılacak çözümlerde, DSB yada SSB modüleli işaretin ideal (kanal bozulması ve gürültünün olmadığı) bir kanaldan iletildiği varsayılmaktadır. Bu durumda, (3) veya (10)'da üretilen işaretler, öncelikle lokal olarak üretilen $\cos(2\pi f_c t + \phi)$ şeklindeki bir sinüzoidal ile çarpılarak demodüle edildiğini varsayalım. Burada ϕ sinüzoidal işaretin faz büyüklüğüdür. Sonrasında ise oluşan işaret, bandgenişliği W olan ideal alçak geçiren bir süzgeçten geçirilir ve mesaj işareti tekrardan elde edilir. Örneğin DSB işaret için sırasıyla,

$$s_{DSB}(t)\cos(2\pi f_c t + \phi) = A_c m(t)\cos(2\pi f_c t)\cos(2\pi f_c t + \phi) \quad (12)$$

$$\frac{1}{2}A_c m(t)\cos(\phi) + \frac{1}{2}A_c m(t)\cos(4\pi f_c t + \phi) \quad (13)$$

denklemleri elde edilir. $W \ll f_c$ koşulu altında, mesaj işareti $m(t)$ 'nin frekans içeriği W ile sınırlı olduğu için, tasarlanacak bir alçak geçiren süzgeç ile $f = 0$ frekansı etrafında yerleşmiş işaret bileşenleri süzülebilir. Burada tasarlanacak süzgece ait çıkış

$$y_l = \frac{1}{2}A_c m(t)\cos(\phi) \quad (14)$$

olur. Bu sebeple, $\phi \neq 0$ olduğu durumlarda elde edilen işaretin genliği $\cos(\phi)$ ve gücü ise $\cos^2(\phi)$ ile orantılı olarak azalacaktır.

4.2 Asenkron Demodülasyon

Alıcıda üretilen taşıyıcı frekansı bilgisinin mevcut olmadığı ya da demodülasyon için kullanılan taşıyıcı frekansının vericinin taşıyıcı frekansından tamamen bağımsız olduğu durumlarda asenkron modülasyon söz konusudur. Ayrıca, senkron modülasyonun faz ve frekans hatalarından fazlaca etkilenmesi sebebiyle bu hatalardan etkilenmeyen bir demodülasyon türüne ihtiyaç duyulmuştur.

5 Ses İşareti İçin Modulasyon Örneği

Bu bölümde, modulasyon ve demodulasyon kavramlarının daha iyi anlaşılması için bir "karekod" ile verilen ses işareti üzerinde işlemler gerçekleştirilecektir. İlk olarak verilen ses dosyası okunur. Sonrasında sırasıyla genlik-zaman grafiği çizdirilir ve frekans analizi yapılır.

```

1 clear all, close all; clc
2 [x , Fs] = audioread('ses.wav');
3 Ts = 1/Fs;
4 t = [0:numel(x)-1]*Ts;
5 figure,plot(t,x),grid on
6 xlabel('Zaman [sn]'), ylabel('Genlik');
7 title(['x(t) Ses Isareti Fs: ',num2str(Fs)])
8 sound(x,Fs)
9 % < clear sound > % eger durdurmak isterseniz komutu secip F9'a basiniz.
10 %%Frekans analizi
11 X = fftshift(abs(fft(x)));
12 F = linspace(-Fs/2 , Fs/2 , numel(X));
13 figure,plot(F,X),grid on,xlim([-Fs/2 , Fs/2])
14 xlabel('Frekans [Hz]'), ylabel('Genlik [V]')

```

$x(t)$ işaretinin frekansını incelediğimizde tüm frekansa yayıldığını görürüz. Bu nedenle işareti band sınırlı $F < |Fc|$ yapabilmek için ön filtrelemeye ihtiyac vardır.

```

1 %% Basit filtre tasarimi
2 % frekans domeninde filtreleme yapmak = merkez frekansi etrafinda -Fc<F<Fc
3 % olan kismin alinmasi diger kisimlarin sifir yapılmasıdır. Bunun için F
4 % üzerinden bir kare isareti uretilebilir.
5 Fc = 1000;
6 H = zeros(numel(F),1);
7 for i = 1:numel(F)
8     if abs(F(i))<Fc
9         H(i) = 1;
10    end
11 end
12 figure,plot(F,X/max(X)),hold on,plot(F,H,'m','linewidth',2),grid on,
13 xlabel('Frekans [Hz]'), ylabel('Genlik [V]'),xlim([-Fs/2 , Fs/2])

```

Matlab'ta filtreleme frekans domeninde çarpma ile yapılacaktır. fft alındıktan sonra işaret merkeze $fftshift$ ile getirilmişti. şimdi H filtresi $fftshift$ ile X 'in orjinal yerine kaydırılacaktır.

```

1 X = abs(fft(x));
2 Hs = fftshift(H);

```

```

3 figure,plot(X/max(X)),hold on,plot(Hs,'m','linewidth',2),grid on,
4 xlabel('Frekans [Hz]'), ylabel('Genlik [V]')

```

Şimdi filtrelemeyi yapalım

```

1 y = ifft(Hs.*fft(x));

```

H_s ile $fft(x)$ aynı vektörel boyutta olmalıdır. Eger birisi $N \times 1$ diğeri $1 \times N$ olursa out of memory hatası alınabilir. Elde edilen y ifadesi complextir. Bu sebeple reel kısmı alınır.

```

1 yr = real(y);
3 Yr = fftshift(abs(fft(yr)));
4 X = fftshift(abs(fft(x)));
6 F = linspace(-Fs/2 , Fs/2 , numel(X));
7 figure,
8 subplot(211),plot(F,X),grid on,xlim([-Fs/2 , Fs/2])
9 xlabel('Frekans [Hz]'), ylabel('Genlik [V]')
10 subplot(212),plot(F,Yr,'r'),grid on,xlim([-Fs/2 , Fs/2])
11 xlabel('Frekans [Hz]'), ylabel('Genlik [V]')
13 sound(yr,Fs)

```

Artık band limitli bir işaretimiz var. Ancak elde ettiğimiz sesi dinlediğimizde yüksek frekanslı bileşenler gittiği için boğuk kalın tok bir ses dinleriz. Bu filtre örneği farklı kesim frekansları için tekrarlandığında

```

1 Fc = 5000;
2 H = zeros(numel(F),1);
4 H( abs(F)<= Fc ) = 1; % pratik kod yazimi
5 % Onemli Not: matlab indis olarak 0 kabul etmez ama logic 0 ve 1 kabul eder
7 Hs = fftshift(H);
8 y = ifft(Hs.*fft(x));
10 yr = real(y);
12 Yr = fftshift(abs(fft(yr)));
13 X = fftshift(abs(fft(x)));
15 F = linspace(-Fs/2 , Fs/2 , numel(X));
16 figure,

```

5 SES İŞARETİ İÇİN MODULASYON ÖRNEĞİ

```
17 subplot(211),plot(F,X/max(X)),grid on,xlim([-Fs/2 , Fs/2])
18 xlabel('Frekans [Hz]'), ylabel('Genlik [V]'),
19 hold on,plot(F,H,'g-','linewidth',2)

21 subplot(212),plot(F,Yr,'r'),grid on,xlim([-Fs/2 , Fs/2])
22 xlabel('Frekans [Hz]'), ylabel('Genlik [V]')

24 yr = yr/max(abs(yr));
25 % normalizasyon islemi cikis [-1 1 ] arasinda olsun istiyoruz

27 sound(yr,Fs)
```

$F_c = 5k$ ile nerdeyse orjinal sese benzer bir ses elde edebiliyoruz. Fakat frekans domeninde $5k$ sonrasında da hala veri var ve bunlar elemine edilebilir. Yani işaret frekans domeninde sıkıştırılarak nerdeyse yarı yarıya bir yer kazancı elde edilebilir. Nihayetinde elde edilen yr işaretinin DSB modülasyonunu ve sonrasında ise demodülasyonunu bulalım.

```
1 Fc = 3e3;
2 c = cos(2*pi*Fc*t)'; % taşıyıcı isaret
3 m = yr.*c;           % dsb modülasyon
4 s = m.*c;           % demodülasyon için module isareti lokal osilator ile carptik
```

Elde edilen module ve demodule işaretlerin frekans analizlerini bulup hem module hem de demodule işaretleri dinleyelim.

```
1 M = fftshift(abs(fft(m)));
2 S = fftshift(abs(fft(s)));
3 F = linspace(-Fs/2 , Fs/2 , numel(M));
4 figure,
5 subplot(311),plot(F,Yr),grid on,xlim([-Fs/2 , Fs/2])
6 xlabel('Frekans [Hz]'), ylabel('Genlik [V]'),

8 subplot(312),plot(F,M,'r'),grid on,xlim([-Fs/2 , Fs/2])
9 xlabel('Frekans [Hz]'), ylabel('Genlik [V]')

11 subplot(313),plot(F,S,'g-'),grid on,xlim([-Fs/2 , Fs/2])
12 xlabel('Frekans [Hz]'), ylabel('Genlik [V]')
13 % isaretleri dinleyelim...
14 sound(m,Fs) % Kapatmak için :: clear sound
15 sound(s,Fs) % Kapatmak için :: clear sound
```

Son olarak ise tekrardan orjinal işaret elde edilecektir. Hem modüle işaret hemde demodüle işaret için bu işlem yapıldığında, modüle işaret frekans bölgesinde alçak geçiren yerde bilgi barındırmadığı için anlamlı bir ses duyamayız. Demodüle işaret filtrelendiğinde ise orjinal sese çok yakın netlikte sesi tekrardan elde ederiz.

```

1 figure,plot(F,M/max(M),'r'),grid on,xlim([-Fs/2 , Fs/2])
2 xlabel('Frekans [Hz]'), ylabel('Genlik [V]'),
3 hold on,plot(F,H,'g-','linewidth',2)

5 m_recover = ifft(Hs.*fft(m));
6 m_recover = real(m_recover);    m_recover = m_recover/max(abs(m_recover));
7 sound(m_recover,Fs) % clear sound
8 %%
9 figure,plot(F,S/max(S),'r'),grid on,xlim([-Fs/2 , Fs/2])
10 xlabel('Frekans [Hz]'), ylabel('Genlik [V]'),
11 hold on,plot(F,H,'g-','linewidth',2)

13 s_recover = ifft(Hs.*fft(s));
14 s_recover = real(s_recover);    s_recover = s_recover/max(abs(s_recover));
15 sound(s_recover,Fs) % clear sound

```

Bu bölümde anlatılmaya çalışılan, gerçek ses örneği kullanılarak Matlab ortamında DSB gerçekleştirilmesine ait videoya ve kullanılan ses dosyasına Fig. (??)'daki QR kodlar taranarak ulaşılabilir.



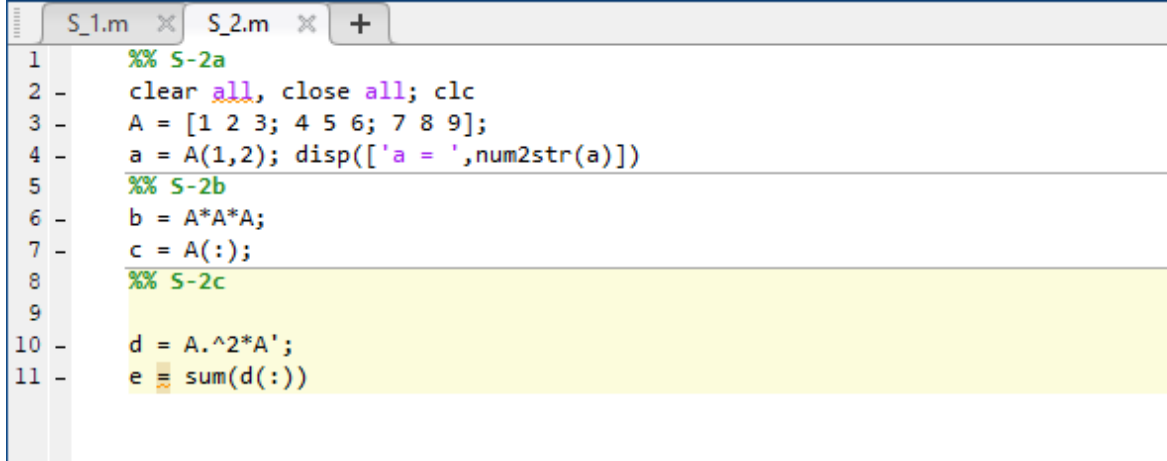
(a) Modüle edilen ses dosyasının orjinal içeriği (video)



(b) Gerçek ses örneği kullanılarak Matlab ortamında DSB gerçekleştirilmesi (video).

6 Deneyde Yapılacaklar

Deney kapsamında 4 soru bulunmaktadır. Her soru için mutlaka Şekil (6)'de gösterildiği gibi yeni sekme açılmalı ve **S_1** olarak isimlendirilmelidir. Sorular altında bulunan alt başlıklar için sekme sayfası %% ile bölümlere ayrılmalıdır ve **S_1a** olarak isimlendirilmelidir. *CTRL + ENTER* ile her bir bölüm bağımsız olarak çalıştırılabilir. **Soru altındaki şıkların cevabı kısa olsa bile mutlaka %% ile her şıkkı bölmeyi unutmayınız.**



```
1 %% S-2a
2 - clear all, close all; clc
3 - A = [1 2 3; 4 5 6; 7 8 9];
4 - a = A(1,2); disp(['a = ', num2str(a)])
5 %% S-2b
6 - b = A*A*A;
7 - c = A(:);
8 %% S-2c
9
10 - d = A.^2*A';
11 - e = sum(d(:))
```

Figure 6: Örnek çözüm sistematığı

6.1 Deney 1 (Çift Yanband Modülasyonu (DSB))

1A: Aşağıda (1a) deneyindeki kodu çalıştırınız. Title komutu olan yerlere gerekli başlıkları yazınız. Grafikleri yorumlayınız (10P).

1B: Aşağıda (1b) deneyinde giriş, taşıyıcı ve çıkış işaretlerinin eksen düzenli genlik spektrumlarını hesaplayan kodu yazınız. Üç işaretin genlik spektrumlarını subplot ile tek figure çizdiriniz. title komutu ile başlık yazınız. Grafikleri yorumlayınız (10P).

```

1 %% 1a) Cift Yanband Isareti (DSB) ve Yorumlanmasi
2 % Fs : Isareti MATLAB ortaminda analog gibi islemek icin
3 % kullanılan ornekleme frekansi (Fc'nin 100 kati)
4 % Fc : Tasiyicinin frekansi
5 close all,clear all,clc
6 Fs = 5000; Ts = 1/Fs;
7 Fc = 50;

9 A = 1;
10 t = -1:Ts:1;

12 input = A*exp(-5*t.^2); % bilgi isareti
13 carrier = A*cos(2*pi*Fc*t); % tasiyici
14 output = (input.*carrier);

16 figure,
17 subplot(311),plot(t,input),title('.....'),grid on
18 xlabel('Zaman [sn]'),ylabel('Genlik [V]')
19 subplot(312),plot(t,carrier),title('.....'),grid on
20 xlabel('Zaman [sn]'),ylabel('Genlik [V]')
21 subplot(313),plot(t,output),title('.....'),grid on
22 xlabel('Zaman [sn]'),ylabel('Genlik [V]')

24 %% 1b) Cift Yanband Isaretinin (DSB) Frekans Analizi

28 figure,
29 ...
30 title('Giris Isaretinin Genlik Spekt.')

32 ...
33 title('Tasiyici Isaretin Genlik Spekt.')

35 ...
36 title('Moduleli Isaretin Genlik Spekt.')
```

6.2 Deney 2 (Taşıyıcı Çift Yanband Modülasyonu (AM))

2A: Aşağıda (2a) deneyinde ki kodu çalıştırınız. Kod içerisinde “.....” ile eksik olan yerleri tamamlayınız. Title komutu olan yerlere gerekli başlıkları yazınız. Grafikleri yorumlayınız (10P).

2B: (2a) deneyinde “ ma ” parametresi [0.1, 0.5, 3] değerleri için ayrı ayrı kodu çalıştırınız. Çıkan grafikleri yorumlayınız (10P).

2C: (2b) deneyinde $ma = 1$ değeri için giriş, taşıyıcı ve çıkış işaretlerinin eksen düzenli genlik spektrumlarını hesaplayan kodu yazınız. Üç işaretin genlik spektrumlarını subplot ile tek figürde, $xlim[-3*F_c \ 3*F_c]$ ile grafiklerin x eksenini sınırlandırarak çizdiriniz. Her figür için gerekli başlık ve eksen isimlendirmelerini yapınız. Grafikleri yorumlayınız (10P).

```

1  %% 2a) Tasiyicili Genlik Modulasyonu (AM) ve Yorumlanmasi
2  close all,clear all,clc
3  Fs = 5000; Ts = 1/Fs;
4  Fc = 100; % tasiyici frekans — Hz
5  Fm = 10;
6  t = -1:Ts:1;
7  A = 1; ma = 1;
8  input = A*cos(2*pi*Fm*t); % bilgi isareti
9  carrier = cos(2*pi*Fc*t); % tasiyici
10 s_am = (1 + .....*.....).*.....;
11 figure,
12 subplot(311),plot(t,input),title('.....'),grid on
13 xlabel('Zaman [sn]'),ylabel('Genlik [V]')
14 subplot(312),plot(t,carrier),title('.....'),grid on
15 xlabel('Zaman [sn]'),ylabel('Genlik [V]')
16 subplot(313),plot(t, s_am),title('.....'),grid on
17 xlabel('Zaman [sn]'),ylabel('Genlik [V]'),xlim([-0.5 0.5])

19 %% 2b) Fourier Analizi
20 ??
21 ??
22 ??

```

6.3 Deney 3 (Tek Yan Bant Modülasyonu (SSB))

Kodda verilen mesaj işaretini ve taşıyıcıyı kullanarak,

3A: Hilbert dönüşümü ile

3B: DSB işaretin bandlarından birisinin bastırılması ile

SSB modülasyonunu gerçekleyiniz. Subplot ile hem altyanband hem de üstyanbanda ait genlik spektrumlarını aynı figure ekranında eksen düzenlenmiş şekilde çizdiriniz. Grafikleri yorumlayınız (20P).

```

1 close all,clear all,clc
2 Fs = 5000; Ts = 1/Fs;
3 Fc = 50; Fm = 10;
4 Am = 1; Ac=5; t = -1:Ts:1;
5 m = Am*cos(2*pi*Fm*t); %Message signal
6 c = Ac*cos(2*pi*Fc*t); %Carrier signal
7 %% 3a) Hilbert donusumu ile %Bolum 3.3 incelenmelidir
8 mhat = .....; %Hilbert transform of the message signal
9 %mhat = message isaretinin fazinin pi/2 kaydirilmis hali
10 usb = .....; %USB
11 lsb = .....; %LSB
12 %USB ve LSB isaretlerinin frekans analizi
13 ??
14 ??
15 ??
16 %% 3b) DSB isaretin bandlarından birisinin bastirilmesi ile
17 % Bolum 5'te verilen frekans domenindeki filtreleme benzeri bir filtreleme
   islemi gerceklestirmeniz beklenmektedir.
18 ??
19 ??

```


6.4 Deney 4 (Demodülasyon)

4A: (4a) kısmında ki kodu ayrı bir m-file' çalıştırınız. Senkron modülasyonu açıklayınız (5P).

4B: (4b)' de x işaretinin genlik spektrumunu hesaplayınız. (2b)' de elde ettiğiniz s_{am} işaretinin genlik spektrumu ile aynı figure ekranında eksen düzenlenmiş şekilde çizdiriniz. Grafikleri yorumlayınız (5P).

4C: Frekans domeninde ideal bir filtre tasarlayınız ve message işaretini tekrar elde ediniz (bkz.Bölüm 5). Tasarlanan filtrenin genlik spektrumunu ve filtre çıkışını gerekli tüm açıklamaları (label, title, vs.) yazarak çizdiriniz (10P).

4D: Ayrı bir m-file içerisinde (4a) kısmında bulunan l_o işaretinin F_c frekansını ($F_c + 20$) yaparak osilatörün senkron olmaması durumunda ki çıkışı gözlemleyiniz. (4c)'de elde ettiğiniz filtre ile süzme işlemini gerçekleştiriniz (10P).

```

1 %% 4a) Senkron Demodulasyon
2 close all;
3 lo = A*cos(2*pi*Fc*t); %lokal osilator
4 x = lo.* s_am;
5 figure,plot(t,x),grid on,title('Tasiyici Isareti Ile Carpma')
6 xlabel('Zaman [sn]'), ylabel('Genlik [V]')
7 %% 4b) X Isaretinin Frekans Analizi
8 ??
9 ??
10 ??
11 ??
12 %% 4c) Filtre tasarimi
13 ??
14 ??
15 ??
16 ??

```

Bu ders kapsamında Matlab'in hazır filtre tasarımında kullanılan filter, butter, freqz vs. gibi kodlar yardımıyla filtre tasarımı gerçekleştirilmeyecektir. Deney (4c)'deki filtreleme işleminin aynı zamanda aşağıdaki kod kümesi ile de yapılabileceğinin bilmesinde yarar vardır.

```

1 %% 4d) Filtre Tasarimi
2 fc = 2*(Fm/Fs); % Kesim frekansinin tespit edilmesi
3 f1 = 3*fc; % Filtre ideal olmadigi icin kesim frekansinin ayarlanmasi
4 f2 = 6*fc; % 40dB dusus frekansinin ayarlanmasi
5 [N,Wn] = buttord(f1,f2,1,40); % Verilen param. gore min. filtre tasarimi
6 [b,a] = butter(N,Wn); % Filtre katsayilarinin hesaplanmasi
7 [H,w] = freqz(b,a,ceil(length(x/2))); % Filtrenin olusturulmasi

```

```
8 F = Fs/2*(w/pi); % Cizim icin eksen ayarlamasi
9 figure,plot(F,abs(H)),grid on,xlim([0 20*Fm])
10 title('Tasarlanan AGF nin Genlik Spektrumu')
11 xlabel('Frekans [Hz]'),ylabel('Genlik [V]')
12 y=filter(b, a, x);
13 figure,plot(t,y),grid on,
14 title('Filtre Cikisi'),xlabel('Zaman [sn]'),ylabel('Genlik [V]')
```

DENEY SONU ∴

7 Araştırma Konusu

Veri Sıkıştırma: işaret işlemenin pratik alanda kullanıldığı önemli bir konudur. *Kayıplı* ve *Kayıpsız* olmak üzere iki farklı alt dalı olan veri sıkıştırma, özellikle haberleşme için oldukça hayati bir öneme sahiptir.

Herhangi bir $x(t)$ işareti, zaman domeninde tüm ekseni kaplasa bile (*dense*) farklı bir analiz domeninde aynı işaret seyrek (*sparse*) halde bulunabilir. Verinin ilgili analiz domeninde önemli bileşenleri tespit edilerek alıcıya sadece bu bilgiler gönderilir. Bu sayede veri sıkıştırılmış olarak daha az bit kullanımı ile transfer edilmiş olur. Buna etkili bir örnek olarak $x(t) = A \times \cos(2\pi \times F_0 \times t + \theta)$ işareti verilebilir. Bu işaret zaman domenindeki hali ile gönderilmek istense her örneğin alıcıya iletilmesi gerekir. Diğer taraftan işaretin *FD*'si alındıktan sonra sadece A , F_0 ve θ tespit edilip bu bilgiler karşı tarafa gönderildiğinde ters *FD* ile işaret yeniden elde edilebilir.

Veri sıkıştırma alanında yoğun olarak kullanılan *Discrete Cosine Transform (DCT)* *FD*'nin varyasyonlarından birisidir. Aşağıdaki uygulamada, MATLAB'ta bulunan *dct* ve *idct* komutları kullanılarak veri sıkıştırma örneği yapılmaktadır.

```

1 clear all, close all; clc
2 [x , Fs] = audioread('ses.wav');

4 DCT_X = dct(x);
5 figure,plot(DCT_X),grid on
6 title('Ses isaretinin DCT ile analizi')
7 xlabel('Indis') , ylabel('Normalize edilmemis genlik')

9 figure,
10 subplot(211),plot(x,'linewidth',1),grid on
11 title('Ses isaretinin zaman domenindeki gosterimi')
12 xlabel('indis'),ylabel('genlik')

14 subplot(212),plot(DCT_X,'r'),grid on
15 title('Ses isaretinin DCT ile analizi')
16 xlabel('Indis') , ylabel('Normalize edilmemis genlik')

19 %% isaretin baskin bileşenlerinin secilmesi
20 kesim_indisi = 20e4;
21 gonderilecek_olan_bilgi = DCT_X(1:kesim_indisi);
22 oran = 100*(1-numel(gonderilecek_olan_bilgi)/numel(x))

1 %% Kanal etkisinden dolayı gürültü
2 SNR = 25;
3 alicinin_aldigi_bilgi = awgn(gonderilecek_olan_bilgi,SNR,'measured');

5 alicinin_aldigi_bilgi = [alicinin_aldigi_bilgi ;...
```

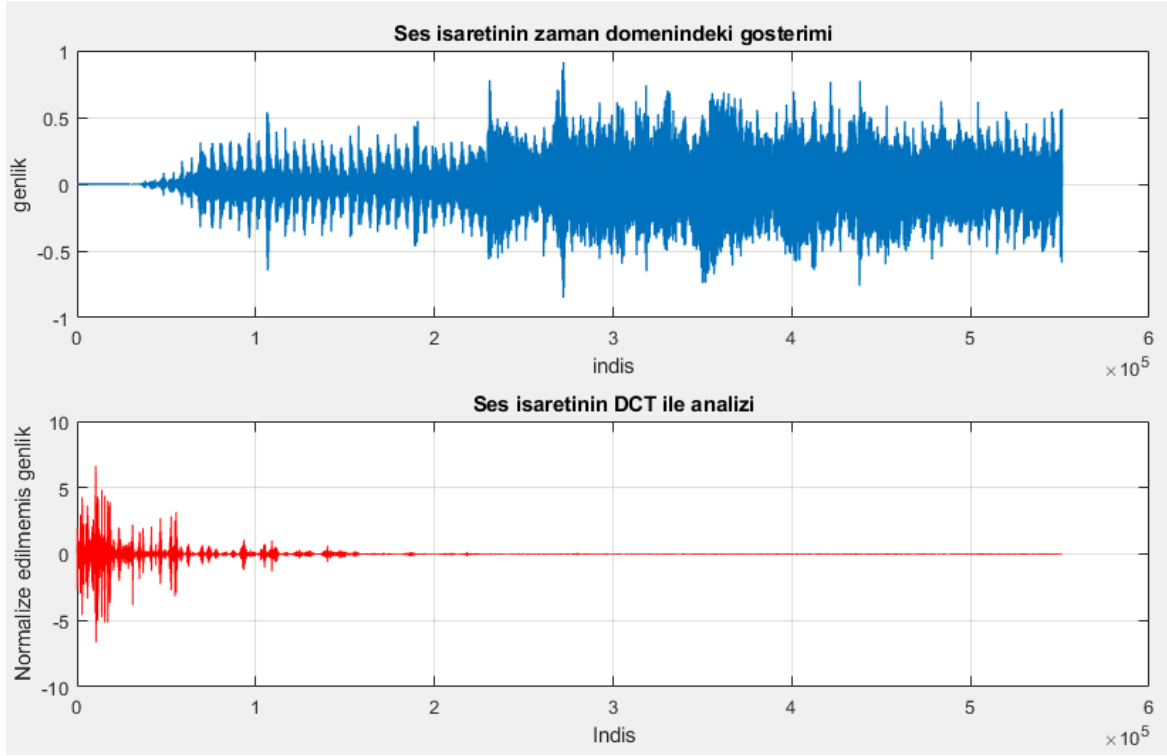


Figure 7: Ses işaretinin zaman ve DCT domenlerinde karşılaştırılması: İşaret zamanda tüm eksenı kaplarken DCT domeninde sadece ~ %20'lik bir yer tutmaktadır.

```

6         zeros(numel(DCT_X) - numel(alicinin_aldigi_bilgi),1)];
8 elde_edilen_ses      = idct(alicinin_aldigi_bilgi);
10 sound(elde_edilen_ses,Fs); % clear sound
11 figure,
12 subplot(211),plot(x,'linewidth',2),hold on,
13 plot(elde_edilen_ses,'—r'), grid on,
14 title(['İki isaretin karsilastirilmesi ', 'Veri Kazanci: ',num2str(oran)])
15 xlabel('indis'),ylabel('genlik')

17 subplot(212),plot(x,'linewidth',2),hold on,
18 plot(elde_edilen_ses,'—r'), grid on, xlim([2.25 2.35]*1e5)
19 xlabel('indis'),ylabel('genlik')

```

Sizlerde ilk olarak SNR değerini değiştirerek gürültünün ses üzerine olan bozucu etkisini ve ardından $SNR = 100$ (gürültüsüz gibi) olarak *kesim_indisi* parametresini değiştirip ses bileşenlerinin katkısını inceleyebilirsiniz. ♪ ♪

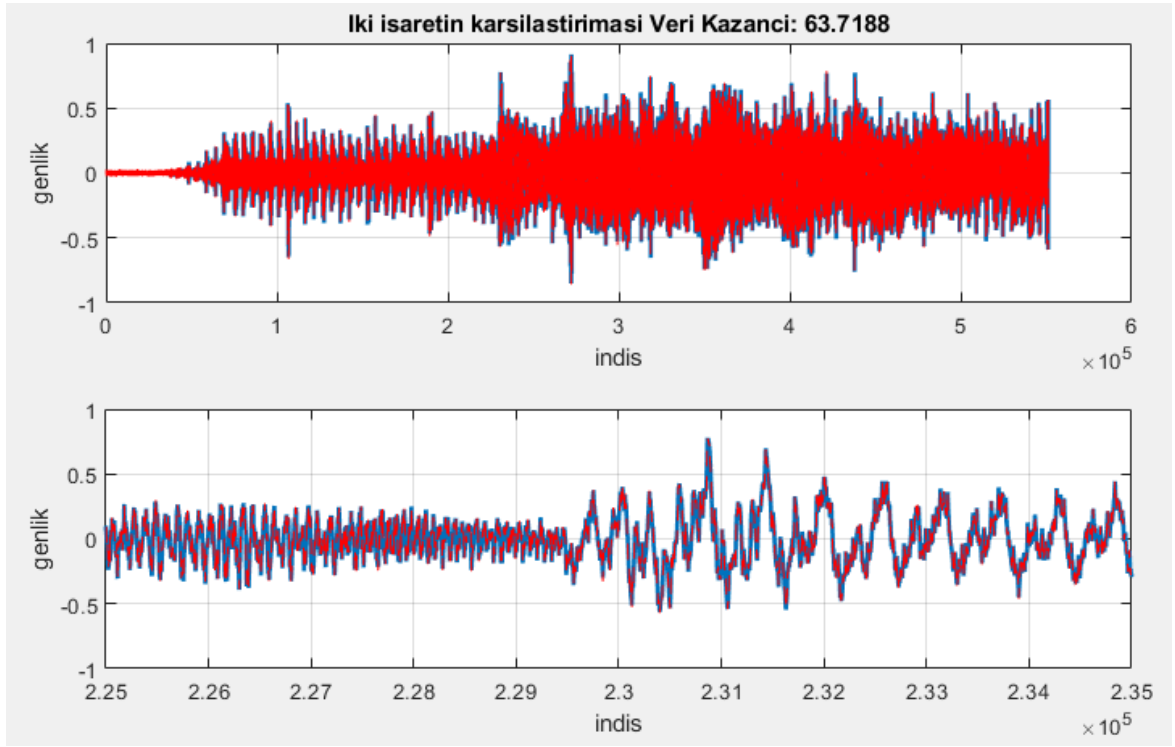


Figure 8: Sıkıştırılmış ses işareti ile orjinal işaretin karşılaştırılması