

**DÜZCE ÜNİVERSİTESİ**  
**MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ**  
**ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

**TEMEL HABERLEŞME SİSTEMLERİ TEORİK VE**  
**UYGULAMA LABORATUVARI**

**2. DENEY**

**GENLİK MODÜLASYONUNUN İNCELENMESİ-2**

**Arş. Gör. Osman DİKMEN**

## 2. GENLİK MODÜLASYONU (GM)

### 2.1 Teoriksel Giriş

Genlik modülasyonu tür olarak doğrusal bir modülasyondur. Genlik modülasyonu frekans izgesinin karakteristiklerine göre *Çift Yan Bant Modülasyon* ‘ÇYB’ (Double- Sideband ‘DSB’), *Tek Yan Bant Modülasyonu* ‘TYB’ (Single -Sideband), *Artık Yan Bant Modülasyonu* (Vestigial sideband VSB) olmak üzere üçe ayrılır.

Genlik modülasyonunda taşıyıcı  $c(t)$ ’nin genliği mesaj işareti  $m(t)$  ile doğrusal olarak ilişkilidir ve mesaj işareti (bilgi) taşıyıcının genliğinde gider. Bu modülasyon tipine doğrusal modülasyon da denir. Burada ÇYB, TYB modülasyon ve bu modülasyonların eşzaman demodülatör yapısı ile demodülasyonu gösterilecektir. Büyük Taşıyıcılı Genlik Modülasyonu asenkron olarak zarf alıcısıyla demodüle edilebilmektedir. Sistem senkronizasyona ihtiyaç duymadığı için daha ucuza gerçekleştirilebilir.

Genlik modülasyonunda kullanılan taşıyıcı işaret

$$x_c(t) = A_c \cos(\omega_c t)$$

şeklinde ifade edilebilir.

#### 2.1.1. Çift Yan Bant Modülasyon (ÇYB) :

##### *Çift Yan Bant Sinyallerin Üretimi:*

Bir çift yan bant modülasyonlu işaret, mesaj işareti  $m(t)$  ile taşıyıcı sinyal olan  $c(t)$ ’nin çarpılması ile elde edilir. Taşıyıcı işaret,

$$c(t) = A_c \cdot \cos(2\pi f_c t)$$

Şeklinde ifade edilir. Çift yan bant modülasyonlu işaret ise aşağıdaki biçimdedir.

$$\begin{aligned} x_{\text{ÇYB}}(t) &= m(t) \cdot c(t) \\ &= A_c \cdot m(t) \cdot \cos(2\pi f_c t) \quad f_c \gg f_m \end{aligned}$$

**Hatırlatma!**

**Fourier Dönüşümü Kuralları**

**Frekansta Kaydırma:** Zaman alanında bir sinyal  $e^{jw_0t}$  ile çarpılırsa frekans alanında bu sinyal  $w_0$  kadar kayar.

$$x(t)e^{jw_0t} \leftrightarrow X(w - w_0)$$

**İkililik:** Fourier dönüşümü alındıktan sonra zaman yerine frekans, frekans yerine zaman yazılması ile elde edilen ifade aşağıdaki gibidir.

$$X(t) = 2\pi x(-w)$$

**Birim darbe fonksiyonunun Fourier dönüşümü:**

$$\delta(t) \leftrightarrow 1$$

**Cıkarım:** Eğer birim darbe fonksiyonuna Fourier dönüşümünün ikililik kuralı uygulanırsa,

$$1 \leftrightarrow 2\pi\delta(w)$$

Elde edilir. Şimdi bu sinyali  $e^{jw_0t}$  ile çarparsak,

$$e^{jw_0t} \cdot 1 \leftrightarrow 2\pi\delta(w - w_0)$$

Elde ederiz. Dolayısıyla  $e^{jw_0t}$  sinyalinin Fourier dönüşümünü bulmuş olduk.

**Sonuç:**

$$e^{jw_0t} \leftrightarrow 2\pi\delta(w - w_0)$$

$w = 2\pi f$ ,  $w_0 = 2\pi f_0$  almır ve birim darbe fonksiyonun ölçekleme özelliği kullanılırsa;

$e^{j2\pi f_0 t} \leftrightarrow \delta(f - f_0)$  elde edilir.

Elde edilen çift yan bant işaretinin frekans analizini yapalım. Zaman alanında yapılan çarpma işleminin frekans alanında konvolüsyon almak anlamına geldiğini öğrenmiştik. O halde  $x_{ÇYB}(t)$  işaretinin Fourier dönüşümünü alarak frekans alanında konvolüsyon yapalım.

$$\cos(2\pi f_c t) = \frac{e^{j2\pi f_c t} + e^{-j2\pi f_c t}}{2}$$

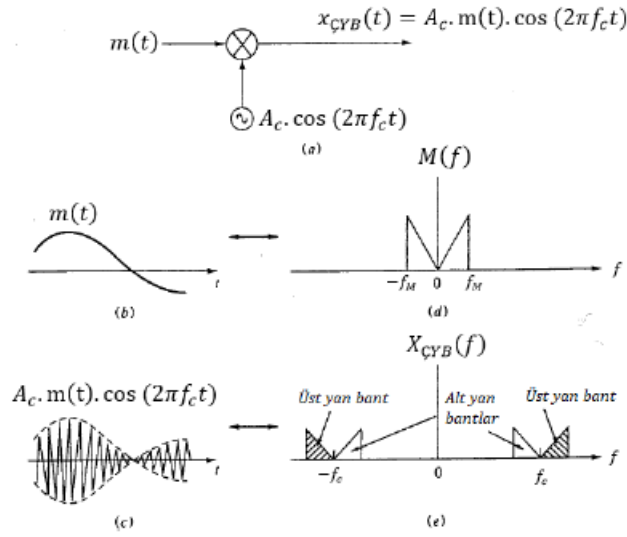
Olduğundan taşıyıcı işaretin Fourier dönüşümü;

$$A_c \cos(2\pi f_c t) \leftrightarrow \frac{A_c}{2} [\delta(f - f_c) + \delta(f + f_c)]$$

Biçiminde olur. Mesaj işareti olan  $m(t)$  sinyalinin Fourier dönüşümü de  $M(f)$  olursa çift yan bant modülasyonlu işaretin frekans alanındaki ifadesini konvolüsyon yardımıyla aşağıdaki gibi elde edebiliriz.

$$\begin{aligned} X_{ÇYB}(f) &= M(f) * \frac{A_c}{2} [\delta(f - f_c) + \delta(f + f_c)] \\ &= \frac{A_c}{2} [M(f - f_c) + M(f + f_c)] \end{aligned}$$

Çift yan bant modülasyonu grafik üzerinde aşağıda özetlenmiştir.



**Örnek:** Modüle edici mesaj sinyali  $m(t)$  aşağıdaki gibi sinüzoidal formda verilmiş olsun.

$$m(t) = a \cdot \cos(2\pi f_m t) \quad f_m \ll f_c$$

Çift yan bant genlik modülasyonu yapılması durumunda genlik spektrumu nasıl olur? Alt ve üst yan bant genlik spektrum grafiklerini ayrı ayrı çiziniz.

**Hatırlatma!**

$$\cos(A) \cdot \cos(B) = \frac{1}{2} \cdot [\cos(A + B) + \cos(A - B)]$$

**Çözüm:**

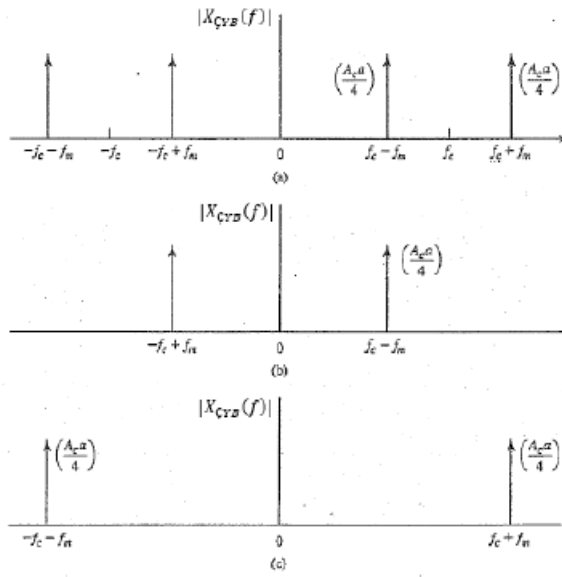
Çift yan modülasyonlu işaretin zaman alanındaki ifadesini yazalım,

$$x_{ÇYB}(t) = A_c \cdot a \cdot \cos(2\pi f_m t) \cdot \cos(2\pi f_c t)$$
$$= \frac{A_c \cdot a}{2} \cos(2\pi(f_c - f_m)t) + \frac{A_c \cdot a}{2} \cos(2\pi(f_c + f_m)t)$$

Bu işaretin Fourier dönüşümü alınırsa,

$$X_{ÇYB}(f) = \frac{A_c \cdot a}{4} [\delta(f - f_c + f_m) + \delta(f + f_c - f_m)] + \frac{A_c \cdot a}{4} [\delta(f - f_c - f_m) + \delta(f + f_c + f_m)]$$

Şeklinde elde edilir. Spektrumlar aşağıda verilmiştir.



### 2.1.2. Tek Yan Bant Modülasyon (TYB) :

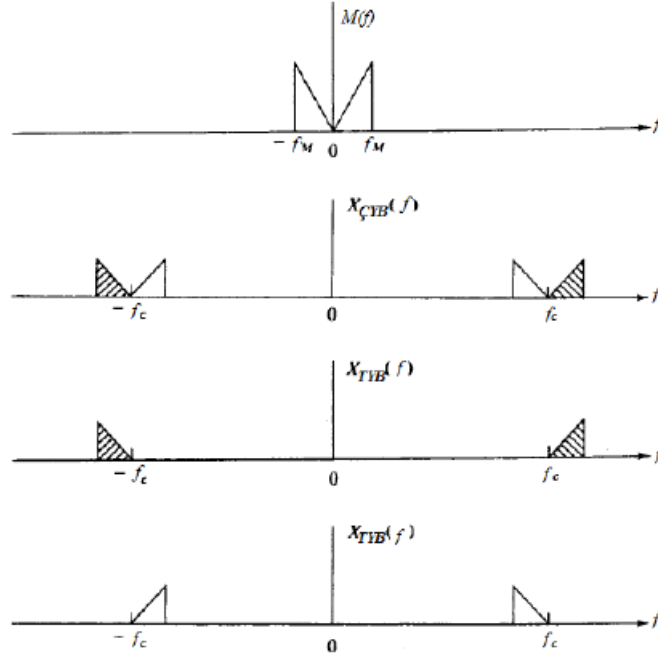
Genlik Modülasyonunda hem taşıyıcı hem de mesaj işaretinin alt ve üst yan bantlarının tamamı iletilmektedir. Mesaj işareti olmasa bile taşıyıcı her zaman vardır. Mesaj işaretinin tüm özelliği alt ya da üst yan bantta olmasına rağmen iki yan bantta iletilir. Bu durum güç ve bant sınırlı uygulamalarda problem oluşturacağından alt ya da üst yan banttan yalnızca biri ile iletişim yapılabilir. Sadece tek bir yan bantın iletildiği durumdaki modülasyon tipine TYB modülasyonu denir.

TYB işaretleri iki şekilde elde edilir.

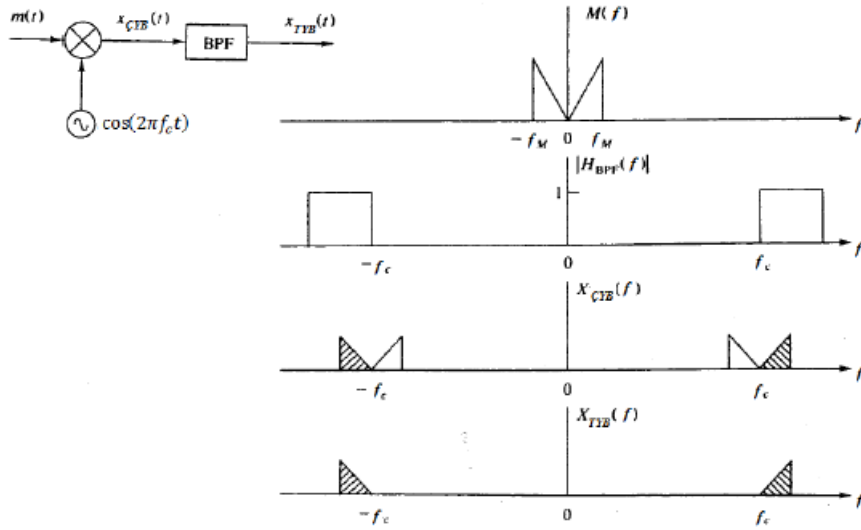
#### A. Frekans Ayrım (Eleme) Yöntemi

TYB işareti elde etmek için önce bir ÇYB işareti oluşturulur. Daha sonra bant geçiren bir filtre yardımıyla istenilen yan bant süzülür ve TYB işareti elde edilir. Bu yöntem "frekans

ayırım” yöntemi olarak bilinir. Ancak bu yöntem pratikte filtrenin kesim karakteristiği çok sert olması gerektiğinden kolay değildir.



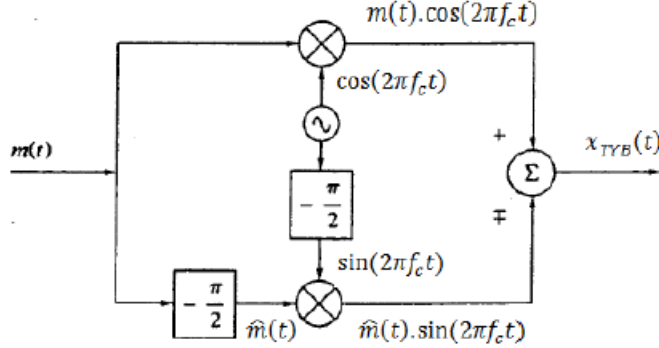
(a) Çift Yan Bant ve Tek Yan Bant Modüasyonlu İşaretlerin Spektrumu



(b) Bant Geçiren Filtre Kullanılarak Tek Yan Bant İşaretinin Üretimi

## B. Faz Kaydırma Yöntemi

Bu yöntemin blok şeması aşağıda verilmiştir.



Bu yöntemde, hem mesaj işaretinin hem de taşıyıcı işaretin fazı 90° kaydırılır ve çarpılır bu işaret çift yan bant modülasyonlu işaret (mesaj işareti ile taşıyıcının çarpımı) ile toplanarak tek yan bant modülasyonlu işaret elde edilir.

Tek yan bant genlik modülasyonunun matematiksel ifadesi aşağıdaki gibidir.

$$x_{TYB}(t) = m(t) \cdot \cos(2\pi f_c t) \pm \hat{m}(t) \cdot \sin(2\pi f_c t)$$

Toplama işlemi yapıldığında alt yan bant eldirirken, çıkarma işlemi yapılması durumunda üst yan bantlar elde edilir.

$$x_{ÜTYB}(t) = m(t) \cdot \cos(2\pi f_c t) - \hat{m}(t) \cdot \sin(2\pi f_c t)$$

$$x_{ATYB}(t) = m(t) \cdot \cos(2\pi f_c t) + \hat{m}(t) \cdot \sin(2\pi f_c t)$$

**Örnek:** Mesaj işareti sinüzoidal formda olsun,

$$m(t) = \cos(2\pi f_m t)$$

Tek yan bant genlik modülasyonunu yaparak alt tek yan bant ve üst tek yan bant işaretini elde ediniz.

**Hatırlatma!**

$$\cos(A \pm B) = \cos(A) \cdot \cos(B) \pm \sin(A) \cdot \sin(B)$$

**Çözüm:** Mesaj işaretinin ve taşıyıcı işaretin fazını 90° kaydıralım

$$\cos(2\pi f_m t) \xleftrightarrow{-\pi/2} \sin(2\pi f_m t)$$

$$\cos(2\pi f_c t) \xleftrightarrow{-\pi/2} \sin(2\pi f_c t)$$

Üst Tek Yan Bant İşareti

$$\begin{aligned} x_{ÜTYB}(t) &= \cos(2\pi f_m t) \cdot \cos(2\pi f_c t) - \sin(2\pi f_m t) \cdot \sin(2\pi f_c t) \\ &= \cos(2\pi(f_c - f_m)t) \end{aligned}$$

Alt Tek Yan Bant İşareti

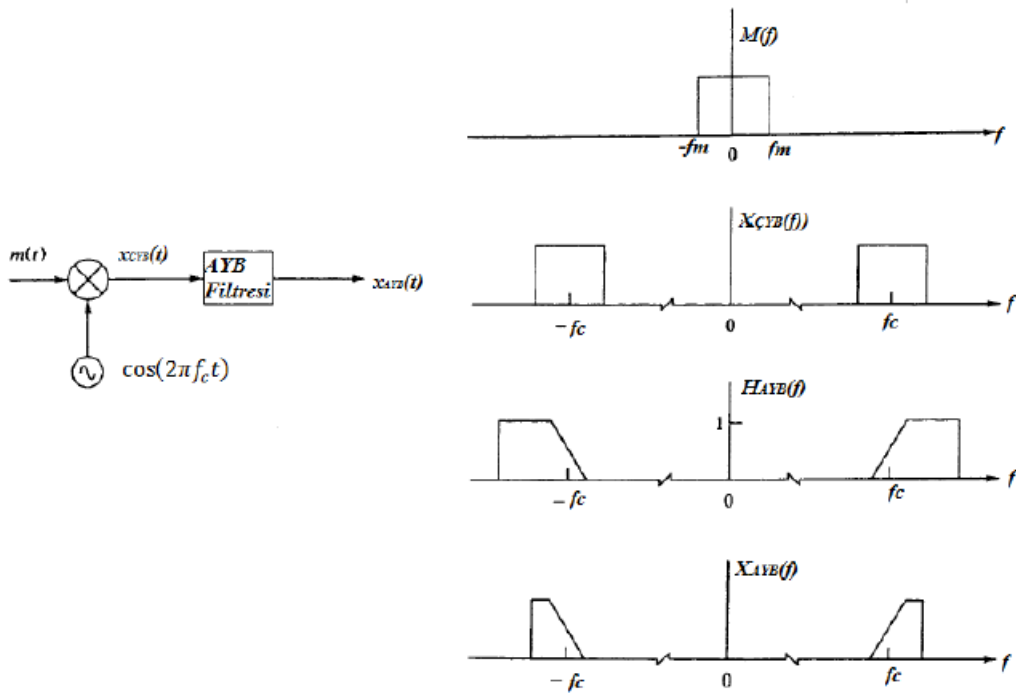
$$\begin{aligned} x_{ATYB}(t) &= \cos(2\pi f_m t) \cdot \cos(2\pi f_c t) + \sin(2\pi f_m t) \cdot \sin(2\pi f_c t) \\ &= \cos(2\pi(f_c + f_m)t) \end{aligned}$$

### 2.1.3 Artık Yan Bant Genlik Modülasyonu

Artık yan bant modülasyonu, çift yan bant modülasyonu ile tek yan bant modülasyonu arasında bir modülasyon türüdür. Çift yan bantta olduğu kadar bant genişliği kullanılmaz ve tek yan bantta olduğu gibi keskin kesim frekansı karakteristiğine sahip bir filtreye gerek yoktur. Bu işaretin üretilmesi için artık yan bant filtresi kullanılır.

Artık Yan Bant İşaretinin Üretimi:

AYB modülasyonlu işaretin üretimi için öncelikle çift yan bant modülasyonlu işaret üretilir ardından artık yan bant filtresinden geçirilerek modülasyonlu işaret elde edilir.





## Deneyin 1. Kısmı

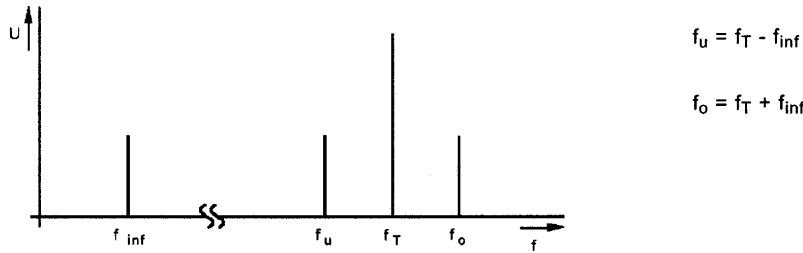
### 2.4 Genlik Modülasyonunun Spektrumu ve Bant genişliği

#### Genel

Sinüoidal, genlik modüledi salınımının spektrumu taşıyıcıya ek olarak daha düşük ve daha yüksek yan bant salınımları içerir. Bu yan bant salınımları modüle edilmiş sinyalin frekansına eşit bir uzaklıkla taşıyıcıdan ayrılırlar. Modülasyon frekansı genlik modülasyonlu sinyallerde artık bulunmaz. Eşit yan bant salınımlarının genliği modülasyon faktörüne bağlıdır. Taşıyıcı genliği daima modülasyon faktörü  $m = 1$  olduğu zamanki modülasyon genliği ile aynıdır. Her iki yan bantın genliklerinin toplamının taşıyıcı frekansına oranı modülasyon faktörünü verir veya kısaca:

$$m = \frac{\hat{u}_{LSB} + \hat{u}_{USB}}{\hat{u}_T}$$

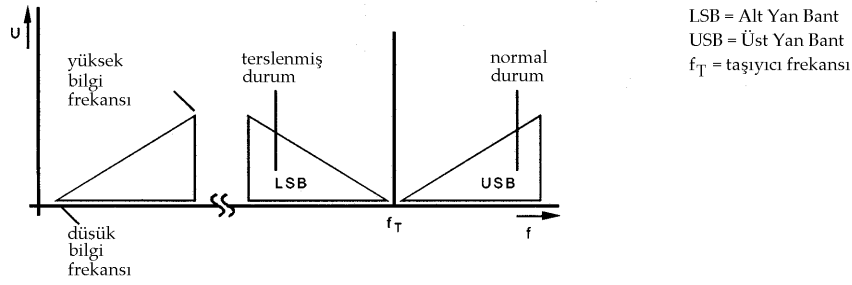
Spektrumdan modülasyon faktörünü bulma temel olarak daha küçük modülasyon faktörleri için kullanılır. Bozulmalar bu metotla kolaylıkla belirlenebilir.



Şekil 2.4.1

Eğer konuşma ve müzik sinyali iletilecekse tek bir frekansla değil bütün bir frekans spektrumuyla modüle edilirler. Orta, kısa ve uzun dalga menziline, iletici bant genişliği olabildiğince çok ileticiyi bağdaştırmak için 9 kHz'e sabitlenir. Telefonla haberleşmede 0.3'ten 3.4 kHz'e kadarlık bir frekans bandı konuşmanın yeterli kavranabilirliğini sağlamak için kullanılır.

Bu frekans bandı bir üçgen gibi gösterilir. Bu üçgen genlik dağılımını göstermez, fakat alçak ve yüksek frekansları belirler (Bakınız şekil 2.4.2).

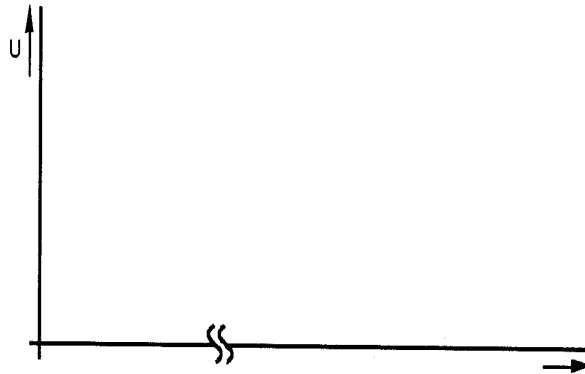


Şekil 2.4.2

### Görev

Şekil 2.4.2'yle aynı frekans spektrumunu çiziniz, sonuç frekanslarını ve gerekli bant genişliğini hesaplayınız.

Verilen değerler: mesaj bandının spektrumu = 0.3 ... 3.4 kHz, taşıyıcı frekansı  $f_T = 1$  MHz



Şekil 2.4.3

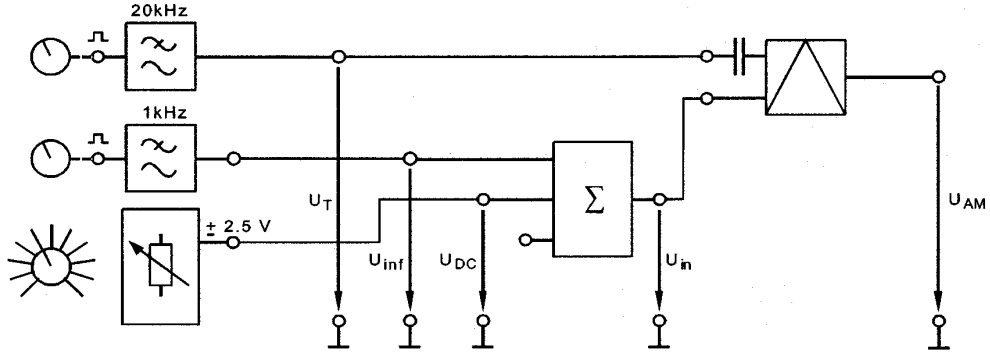
### Görev

Şekil 2.4.4'te gösterildiği gibi bir modülatörü kurunuz.  $U_{in}$  giriş gerilimini ve  $U_{AM}$  çıkış gerilimini aynı zamanda osiloskopta gösteriniz(Şekil 2.4.5'in ilk kısmıyla aynı).

DC gerilimini düşürdüğünde ne gözlemlersin?

Belirli DC gerilim değerleri için salınım grafiğini ve frekans spektrasını çiziniz. Ölçüm sonuçlarını yorumlayınız.

## Deney Düzeneği ve İşleyişi



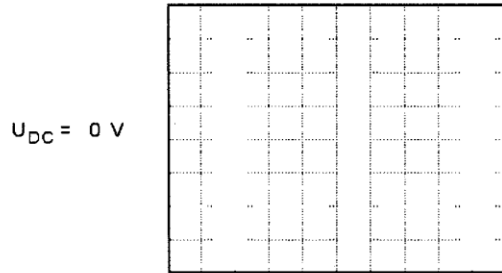
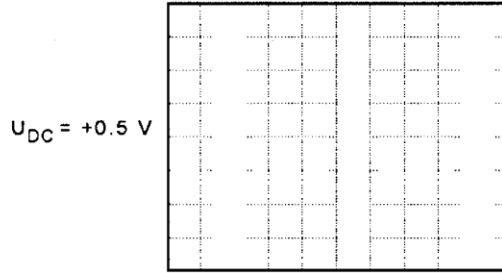
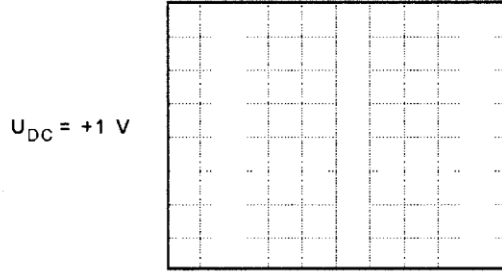
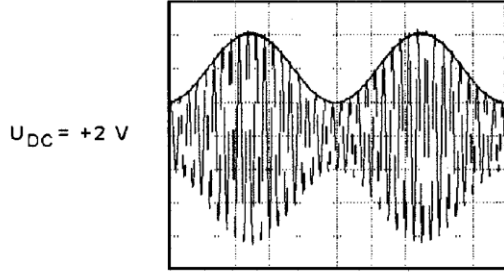
Şekil 2.4.4

Ayarlama Değerleri:

$$U_T \quad f = 20 \text{ kHz} \quad \hat{u} = 2 \text{ V}$$

$$U_{inf} \quad f = 1 \text{ kHz} \quad \hat{u} = 1 \text{ V}$$

**NOT: Osiloskop Ayarları:  $Y_1=1 \text{ V/div}$ .  $Y_2=1 \text{ V/div}$ .  $t = 0.2 \text{ ms/div}$ .**



**Şekil 2.4.5**

- Sorular :**
1. Modülasyon faktörü frekans spektrumundan nasıl belirlenebilir?
  2. Modülasyon faktörü %60 ve taşıyıcı 10 V'luk bir genliğe sahipse düşük yan-band salınımının genliği ne kadardır?

## Deneyin 2. Kısmı

### 2.5 Bastırılmış Taşıyıcılı GM-DSB

#### Genel

Taşıyıcı genliği DC ofsetsiz bir mesaj sinyaliyle bir çarpıcıda işleme sokulursa, bastırılmış taşıyıcılı bir genlik modülasyonu üretilir.

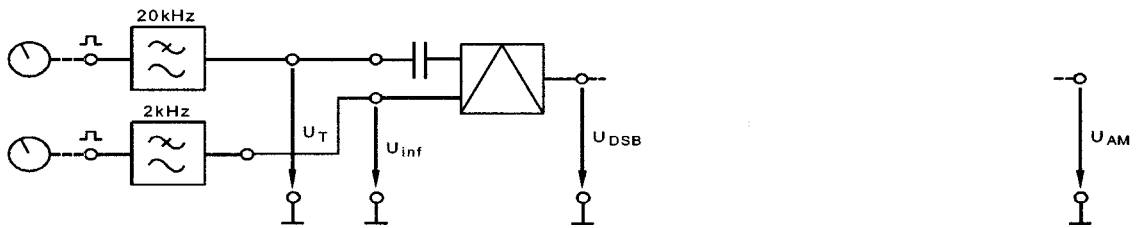
Çift yan bant metodu örneğin tek yan bant genlik modülasyonu için veya FM yayınındaki stereo ilaveli sinyal için ara bir oluşum gibi kullanılır.

Geçmişte, halka modülatörü temel olarak taşıyıcı-bastırılmış genlik modüleli sinyaller için kullanılmıştır. Çarpıcı içeren devreler bundan dolayı bazen aktif halka modülatörleri olarak bilinirler.

#### Görev

“Normal” bir GM’nin, bastırılmış taşıyıcılı çift yan bant GM’den meydana gelebildiğini gösteriniz. Çift yan bant sinyali üretimi verilmiştir, devrenin geri kalan kısmını kendiniz tasarlayınız.

#### Deney kurulumu



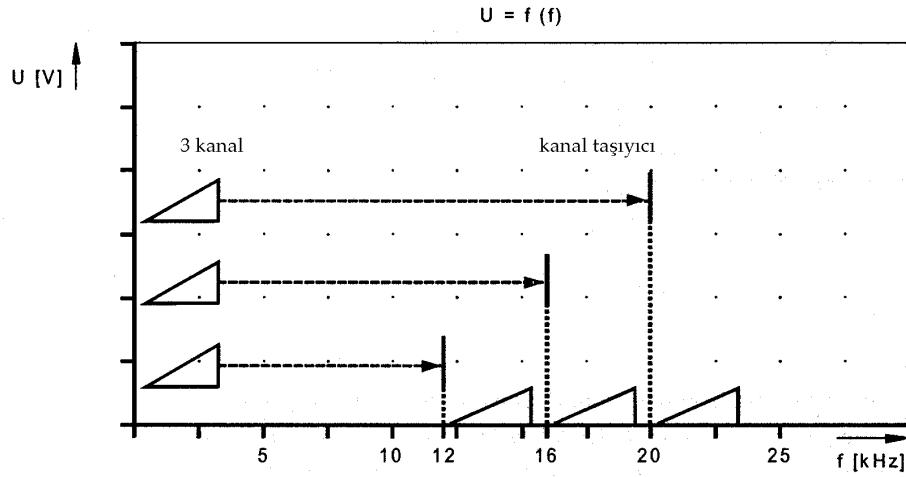
Şekil 2.5.1

## Deneyin 3. Kısmı

### 2.6 Tek Yan Bant Modülasyonu (SSB)

#### Genel

En basit ve yaygın GM sistemi, taşıyıcılı çift yan bant iletimidir. Her iki yan bant bilgi içerdiğinden, tek yan bantı filtre ederek ve taşıyıcıyı bastırarak güç ve bant genişliği korunabilir. Bu metot tek yan bant modülasyonu olarak bilinir ve yaygın olarak kullanılır(örneğin amatör radyo haberleşmesinde). Fakat ek yan bant modülasyonu sadece radyo haberleşmesinde kullanılmaz. PCM Teknolojisiyle tanışana kadar taşıyıcı frekanslı telefon iletimi(CF Teknolojisi) frekans ayırıcı çoklayıcı olarak bilinen tek hat üzerinden iletişim sağlayan en yaygın metottur.



Şekil 2.6.1

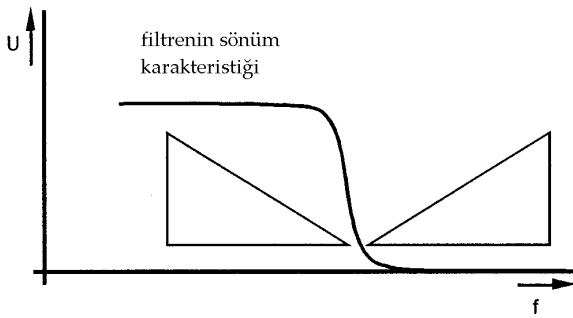
Şekil 2.6.1 taşıyıcı frekans telefon iletimi için üç kanallı ön grubun başlangıcını gösterir. Bu ön grubun dördü ilk ön grup içinde birleştirilir. Sonuç olarak 12 tek yan bant kanalları örneğin 60 ... 108 kHz frekans aralığına çok yakın olarak dizilir.

Tek yan bant modülasyonunu elde etmek için farklı metotlar mevcuttur:

#### 1.Filtre metodu

Bu metotta ilk olarak bastırılmış taşıyıcılı çift yan bant GM üretilir ve sonra bu yan bantların birisi bir filtre ile filtre edilir ve iletilir.

Modülasyon frekansı ne kadar küçük olursa sonuç yan bant frekansları taşıyıcıya o kadar yaklaşır. Filtre, alt ve üst yan bantlar arasındaki frekans boşluğu içindeki çok yüksekte düşük zayıflamaya değişmelidir. Taşıyıcı frekansı ne kadar büyük olursa bu o kadar zordur. (Bağıl uç fazlalığı olarak da bilinir.)



Eğer iletilecek frekans bandı 5 Hz - 10 kHz aralığındaysa, yan bantlar arasındaki frekans boşluğu sadece 10 Hz

genişliğindedir.

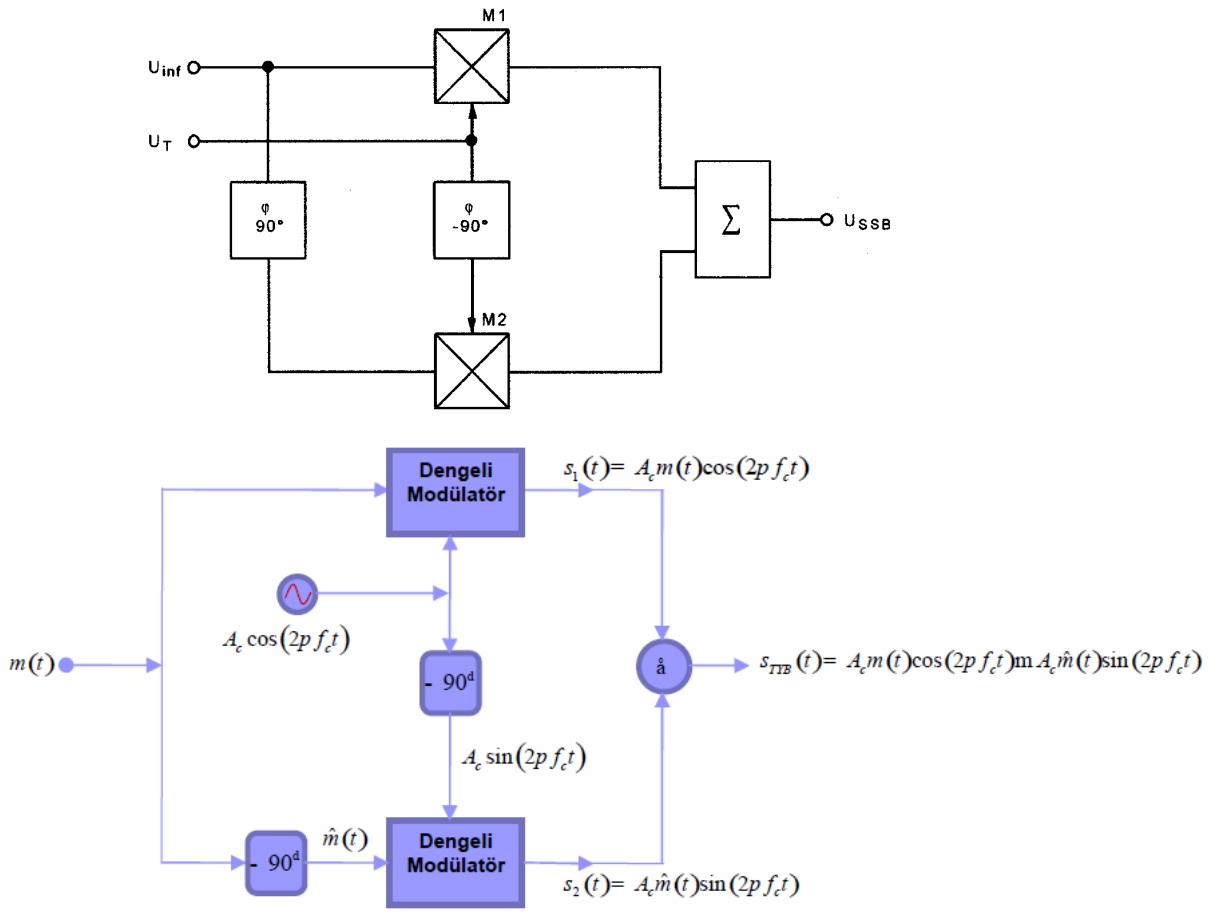
### Şekil 2.6.2

Bu problem çift dönüşümle düzeltilebilir. İlk iki yan bant ilk taşıyıcı frekans olan nispeten düşük frekansla üretilir. Nispeten düşük frekans kullanıldığından ötürü tek yan bant ayrılabilir: sonra bu yan bant yüksek frekansa dönüştürülür. Sadece biri yayılacak iki yan bant üretilir. Yan bantlar, tekli dönüştürmedeki yardımcı taşıyıcının frekansının iki katı büyüklüğündeki bir uzaklıkta oldukları için, filtreleme daha kolay yapılır.

## 2. Faz Metodu

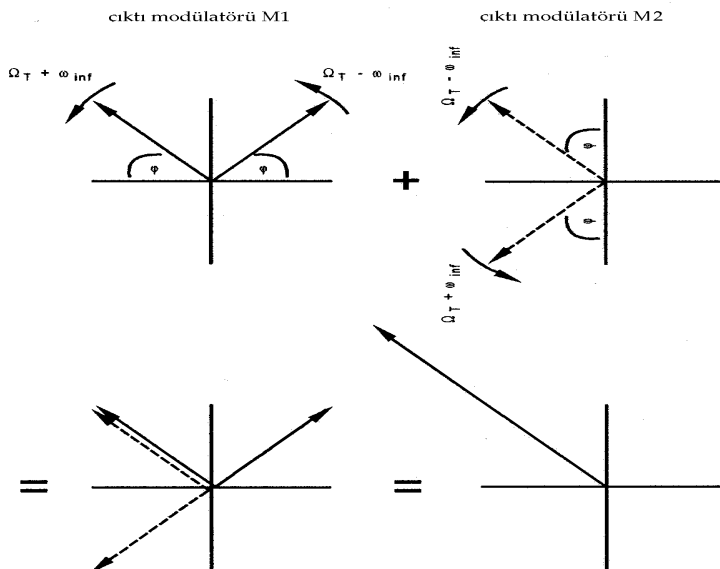
Burada, mesaj ve taşıyıcı iki halka modülatörüne veya çarpıcılara bir kez direk olarak ve bir kez  $90^\circ$  lik faz farkı ile beslenir. Tek yan bant iki modülatörün modülasyon çarpımlarının toplamıyla telafi edilir.

Prensip devre çizelgesi şekil 2.6.3'te gösterilir, işaretçi gösterimdeki faz metoduna göre tek yan bant prosedürleri şekil 2.6.4'te gösterilir.



Şekil 2.6.3: TYB modüleli sinyalin faz yöntemiyle elde edilişi

$$s_{TYB} = m(t) \cdot \cos(\omega_c t) \pm \hat{m}(t) \sin(\omega_c t)$$



Bu devre iletici filtresiz yapabilme avantajına sahiptir. Faz kaydırıcı, modülörün kritik bileşenlerini mesaj sinyali için

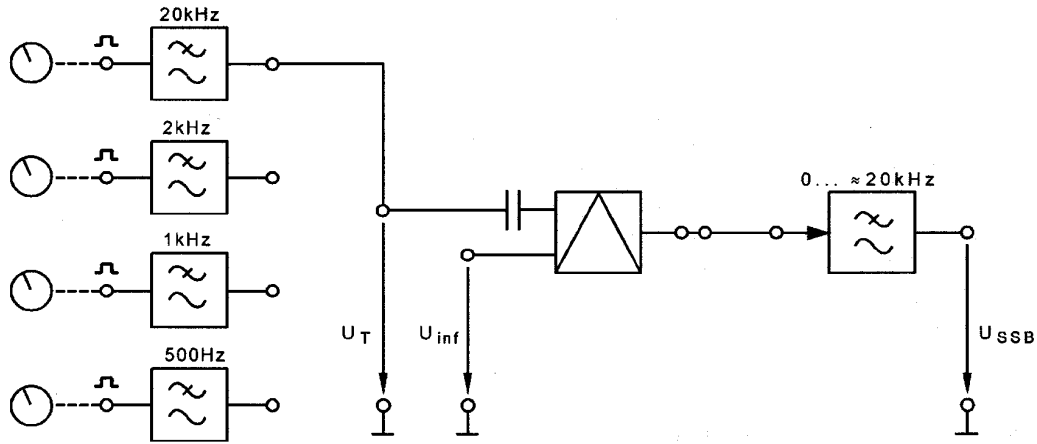


gösterir, çünkü bütün frekans bandındaki faz tam olarak  $90^\circ$  ile döndürülmelidir. Hatta ufak genlik ve faz hataları daha zayıf yan bant bastırmasına sebep olur. MODÜLASYON SET'nde yan bant modülasyonu filtre metodu ile gerçekleştirilir.

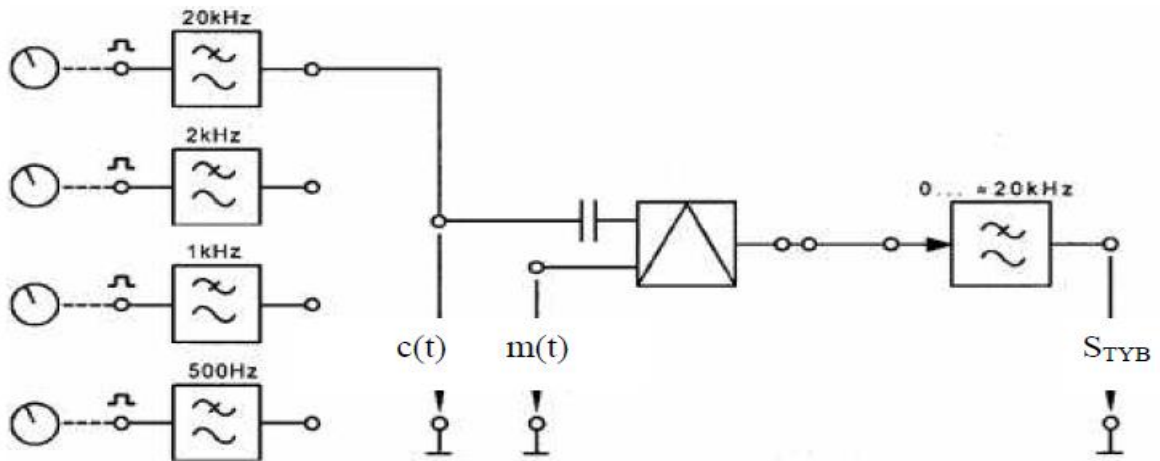
### Görev

Filtre metoduna göre tek yan bant modülatörü oluşturunuz. Çıkış sinyalini farklı bilgi frekanslarında osiloskopla inceleyiniz, yan bant bastırımını açıklayabilmek için eğer mümkünse yan bantların genliğini ölçünüz.

### Deney düzeneği ve işleyişi



Taşıyıcı ve mesaj sinyalinin görülmesi açısından yukarıda verilmiş şekil aşağıda verilmiş şekil ile aynıdır.



Şekil 2.6.5

Ayarlama değerleri:

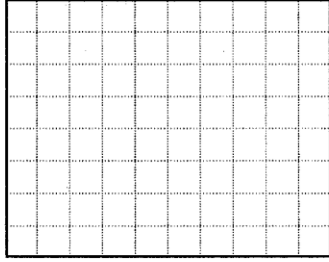
$$f_{inf} = 2 \text{ kHz}$$

$$\hat{u} = 2 \text{ V}$$

Osiloskoptaki  
ayarlama değerleri

$$Y = 0.5 \text{ V / div.}$$

$$t = 0.2 \text{ ms / div.}$$



Ayarlama değerleri:

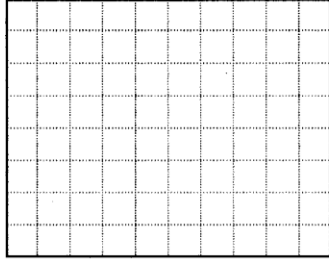
$$f_{inf} = 1 \text{ kHz}$$

$$\hat{u} = 2 \text{ V}$$

Osiloskoptaki  
ayarlama değerleri

$$Y = 0.5 \text{ V / div.}$$

$$t = 0.2 \text{ ms / div.}$$



Ayarlama değerleri:

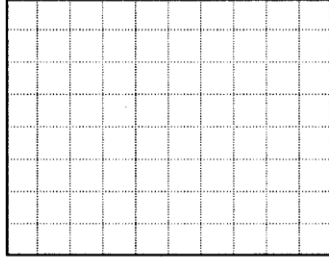
$$f_{inf} = 500 \text{ Hz}$$

$$\hat{u} = 2 \text{ V}$$

Osiloskoptaki  
ayarlama değerleri

$$Y = 0.5 \text{ V / div.}$$

$$t = 0.2 \text{ ms / div.}$$



Şekil 2.6.6