

EEM3006 - HABERLEŞME TEORİSİ

NIĞDE ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

EEM3006 - HABERLEŞME TEORİSİ

- ✓ **Dersin Öğretim Elemanı:** Yrd. Doç. Dr. Yasin KABALCI
- ✓ **Ders Görüşme Saati:** Çarşamba, 09:30-12:00
Çarşamba, 15:45-17:00
- ✓ **e-m@il:** yasinkabalcı@gmail.com
- ✓ **Ders Web Sayfası:** kabalci.wordpress.com

EEM3006 - HABERLEŞME TEORİSİ

HAFTALIK İÇERİK

Hafta	Konular
1	Giriş ve Temel Kavramlar
2	İşaretler ve Doğrusal Sistemler, Temel Kavramlar
3	İşaretler ve Doğrusal Sistemler, Fourier Analizi
4	İşaretler ve Doğrusal Sistemler, Süzgeç Tasarımı, Alçak geçiren ve Band geçiren İşaretler
5	Genlik Modülasyonu
6	Genlik Modülasyonu
7	Genlik Demodülasyonu
8	Açı Modülasyonuna Giriş  Ara Sınav (% 40)
9	Faz ve Frekans Modülasyonu
10	Açı Demodülasyonu
11	Olasılık ve Rastgele Süreçler
12	Olasılık ve Rastgele Süreçler
13	Analog İletişim Sistemleri Üzerinde Gürültünün Etkisi
14	Analog İletişim Sistemleri Üzerinde Gürültünün Etkisi  Final (% 60)

RTT1006-Haberleşme Sistemleri

İÇERİK

❖ GİRİŞ

- Haberleşme Sistemlerinin Elemanları
- Modülasyon, Modülasyon Türlerinin Sınıflandırılması

❖ SPEKTRAL ANALİZ ve DOĞRUSAL SİSTEMLERDEN İLETİM

- Fourier Serileri, Fourier Dönüşümü ve Özellikleri
- Enerji ve Güç Spektral Yoğunlukları
- Katlama İntegrali, Transfer Fonksiyonu
- Genlik ve Faz Bozulmaları, Süzgeçler

❖ GENLİK MODÜLASYONU (GM)

- Çift Yan Band (ÇYB) Modülasyonu ve Modülatör Yapıları
- Tek Yan Band (TYB) Modülasyonu ve Modülatör Yapıları
- Artık Yan Band (AYB) Modülasyonu
- GM İşaretlerin Demodülasyonu

❖ AÇI MODÜLASYONU

- Faz ve Frekans Modülasyonu (PM ve FM)
- FM İşaretlerin Üretimi ve Demodülasyonu
- Frekans Bölmeli Çoğullama

İÇERİK (devam)

- ❖ **OLASILIK ve RASTGELE SÜREÇLER**
 - Olasılık ve Rastgele Değişkenlerin İncelenmesi
 - Rastgele Süreçler
 - Gauss ve Beyaz Süreçler

- ❖ **ANALOG İLETİŞİM SİSTEMLERİ ÜZERİNDE GÜRÜLTÜNÜN ETKİSİ**
 - Genlik Modülasyon Sistemlerinde Gürültünün Etkisi
 - Açık Modülasyonu Üzerinde Gürültünün Etkisi
 - Analog Modülasyon Sistemlerinin Karşılaştırılması
 - Analog İletişim Sistemlerinde İletim Kayıpları ve Gürültünün Etkileri

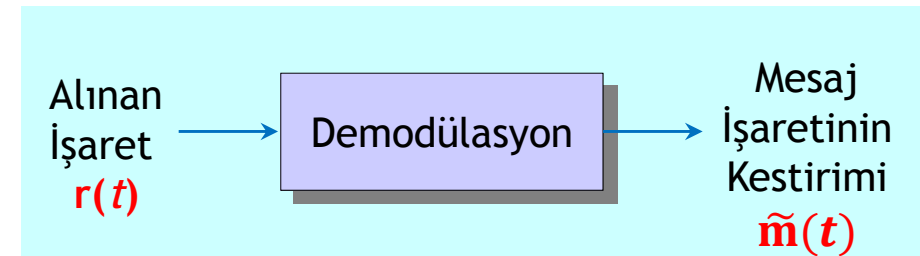
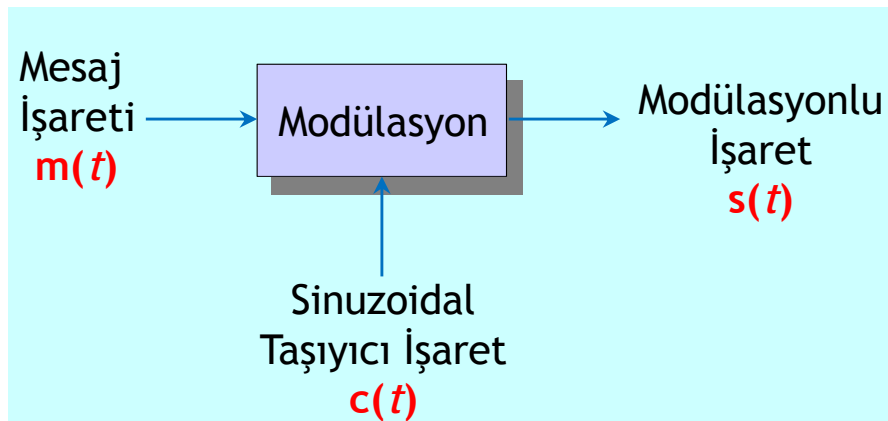
- ❖ **ÖRNEKLEME ve ANALOG DARBE MODÜLASYONU**
 - Örneklememe Teoremi
 - Darbe Genlik Modülasyonu (PAM) ve Zaman Bölmeli Çoğullama (TDM)
 - Darbe Zaman Modülasyonu Türleri (PDM, PPM)

3.BÖLÜM GENLİK MODÜLASYONU (GM) ve TÜRLERİ

- ❖ **Modülasyon**
- ❖ **Genlik Modülasyonu**
- ❖ **Çift Yan Bant Genlik Modülasyonu (ÇYB-GM)**
- ❖ **Taşıyıcısı Bastırılmış Çift Yan Bant Genlik Modülasyonu (TB-ÇYB GM)**

3.1. Modülasyon (Kiplenim) İşlemi Nedir?

- ✓ Bilgi (mesaj, bildiri) işaretinin, iletim kanalından verimli iletimi için uygun biçime dönüştürülmesi işlemine *modülasyon (kiplenim)* adı verilir.
- ✓ Periyodik bir işaretin (*taşıyıcı işaret, carrier signal*) herhangi bir özelliği mesaj işaretine (*modülasyon işareti, modulation signal*) bağlı olarak değiştirilirse elde edilen yeni işarete *modülasyonlu işaret (modulated signal)* denir.
- ✓ Modüle edilen işaretin alıcı tarafta yeniden bilgi işaretini elde etmek üzere dönüştürülmesine ise *demodülasyon (kip çözme) işlemi* adı verilir.



- ✓ Modülasyon işlemi, taşıyıcı işaretin çeşitli parametrelerini bilgi işaretine bağlı olarak değiştirilmesi işlemidir.

Lineer Modülasyon

- **Taşıyıcı genliği**, mesaj işaretine göre değiştirilirse → **Genlik Modülasyonu**

Üstel (Açı) Modülasyon

- **Taşıyıcı frekansı**, mesaj işaretine göre değiştirilirse → **Frekans Modülasyonu**
- **Taşıyıcı fazı**, mesaj işaretine göre değiştirilirse → **Faz Modülasyonu**

- ✓ Alıcı birime ulaşan işaret modülasyonlu işaretin gürültüye maruz kalmış halidir.
- ✓ Kanal gürültüsünün başarımı kullanılan modülasyon türüne göre değişebilmektedir.

Modülasyon İşlemi Neden Gereklidir?

✓ **Anten Boyutlarını Küçültmek:** Konuşma işaretleri doğrudan elektromanyetik dalgalarla ilettime uygun değildir, çünkü çok büyük bir anten boyutu gerektirir.

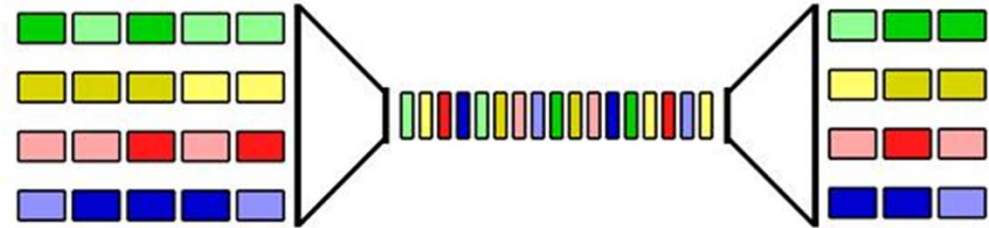
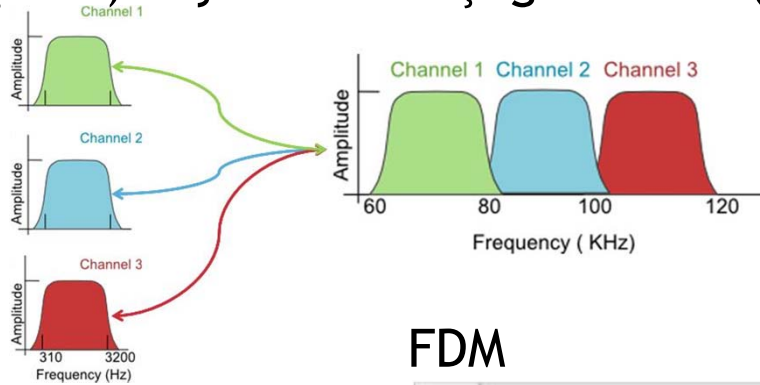
- Örneğin, konuşma işaretleri 300Hz – 3kHz arası frekans bandındadır. Bu frekanslara karşılık gelen dalga boyları $\lambda = \frac{c}{f}$ ifadesi kullanılarak 100 km ile 1000 km arasında bulunur. İyi bir iletim için anten boyu dalga boyunun 1/4'ü kadar olması gerektiği göz önünde bulundurulduğunda ise iletim için gerekli anten boyutunun 25 km ile 250 km arasında olacağı görülmektedir ve bunun gerçekleştirilmesi olanaksızdır.
- Bu yüzden konuşma işaretleri doğrudan elektromanyetik dalgalarla ilettime uygun değildir.

✓ **Gürültü ve Girişimi Azaltmak:** Yüksek frekanslı işaretler gürültü ve girişim etkilerine karşı düşük frekanslı işaretlere göre daha dayanıklıdır. Bu yüzden modülasyonun diğer bir yararı da gürültü etkilerini azaltmasıdır.

3.BÖLÜM

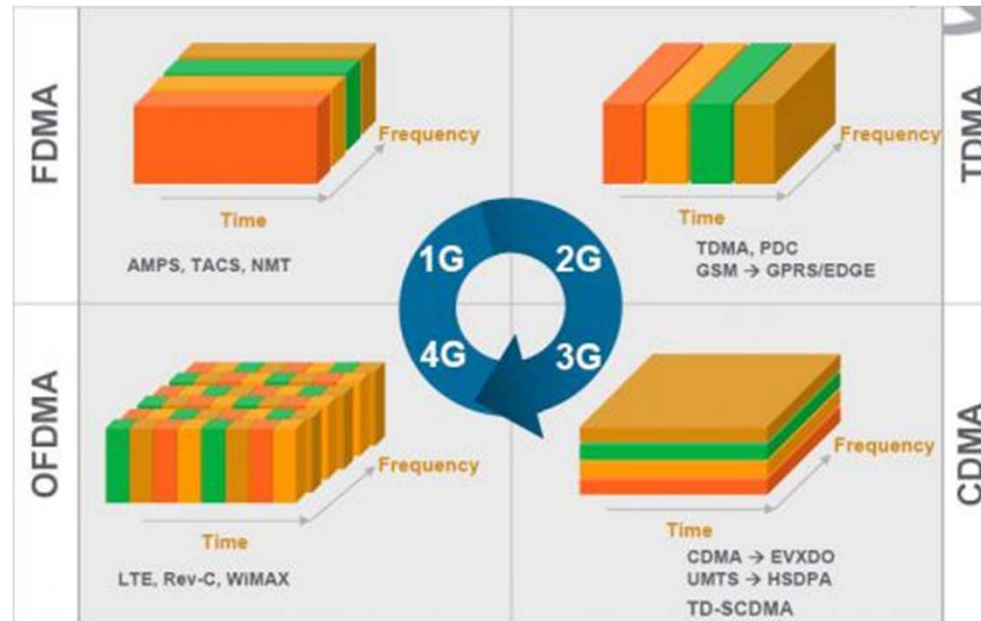
MODÜLASYON ve GEREKLİLİĞİ

✓ **Çoğullama Yapmak:** Çoğu zaman bir iletişim bağlantısından birden fazla mesaj işaretinin gönderilmesi istenir. Tek bir haberleşme kanalından aynı anda birçok bağımsız bilginin gönderilmesi işlemi **çoğullama (multiplexing)** olarak adlandırılır. Bu yolla gönderilen bilgiler alıcı tarafta uygun filtreler kullanılarak birbirlerinden ayrılarak alınabilirler. Örneğin zaman çoğullaması (TDM) veya frekans çoğullaması (FDM) gibi.



FDM

TDM



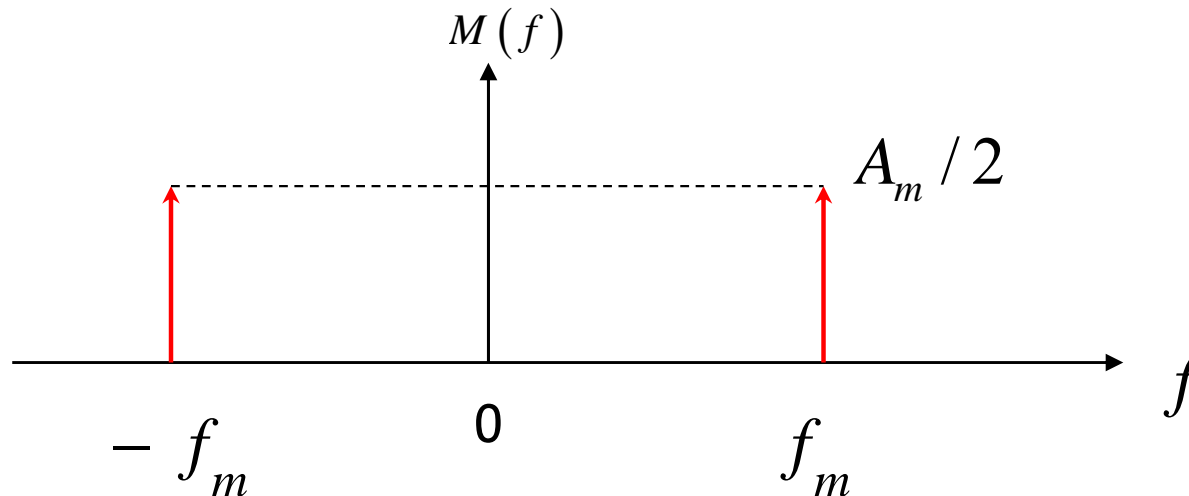
3.BÖLÜM

MODÜLASYON ve GEREKLİLİĞİ

✓ **Tüm Frekans Bandından Faydalanmak:** Modülasyon işlemi yardımıyla her bir vericinin frekansı kendisi için ayrılan frekans bölgesine kaydırılır. Böylece dünya genelindeki çoğu verici ve alıcı birbirinin yayını bozmadan çalışabilir.

✓ İşaret, bulunduğu frekandan başka bir frekansa sinüzoidal bir işaretle çarpılarak taşınabilmektedir. İletilmek istenen işaret,

$$\begin{aligned} v_m(t) &= A_m \cos(2\pi f_m t) = (A_m / 2)(e^{j\omega_m t} + e^{-j\omega_m t}) \\ &= (A_m / 2)(e^{j2\pi f_m t} + e^{-j2\pi f_m t}) \end{aligned}$$



$$v_c(t) = A_c \cos \omega_c = A_c \cos 2\pi f_c t$$

$$= (A_c / 2)(e^{j\omega_c t} + e^{-j\omega_c t}) = (A_c / 2)(e^{j2\pi f_c t} + e^{-j2\pi f_c t})$$

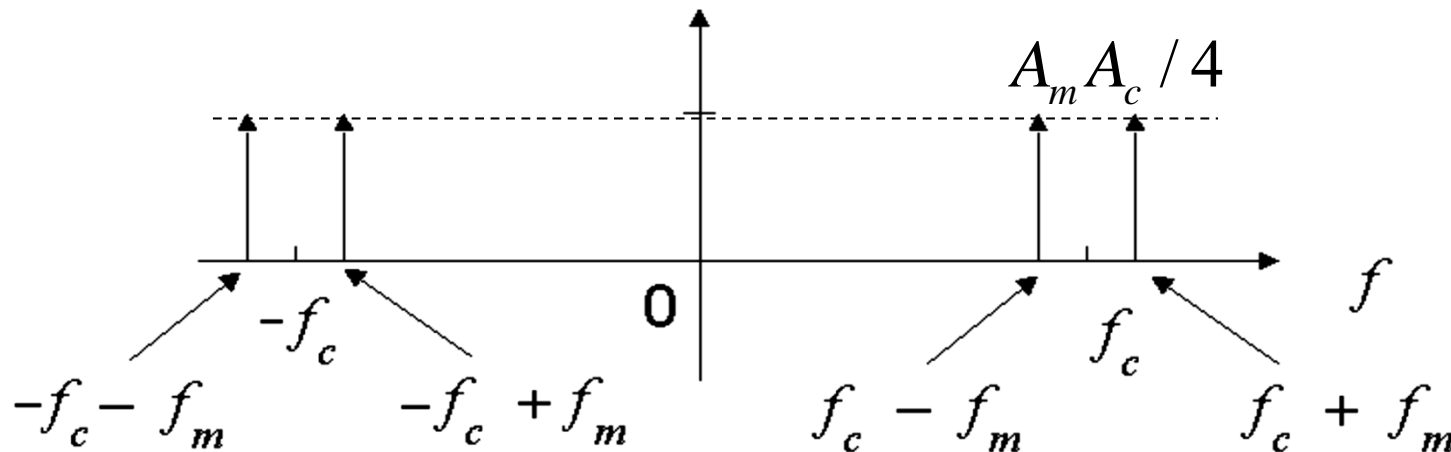
✓ Eğer mesaj işareti taşıyıcı işaret ile çarpılırsa,

$\cos \alpha \cos \beta = \frac{1}{2} \cos(\alpha + \beta) + \frac{1}{2} \cos(\alpha - \beta)$ özdeşliği kullanılarak

$v_m(t) \cdot v_c(t)$ hesaplanır.

$$v_m(t) \cdot v_c(t) = (A_m A_c / 2) [\cos(\omega_c + \omega_m)t + \cos(\omega_c - \omega_m)t]$$

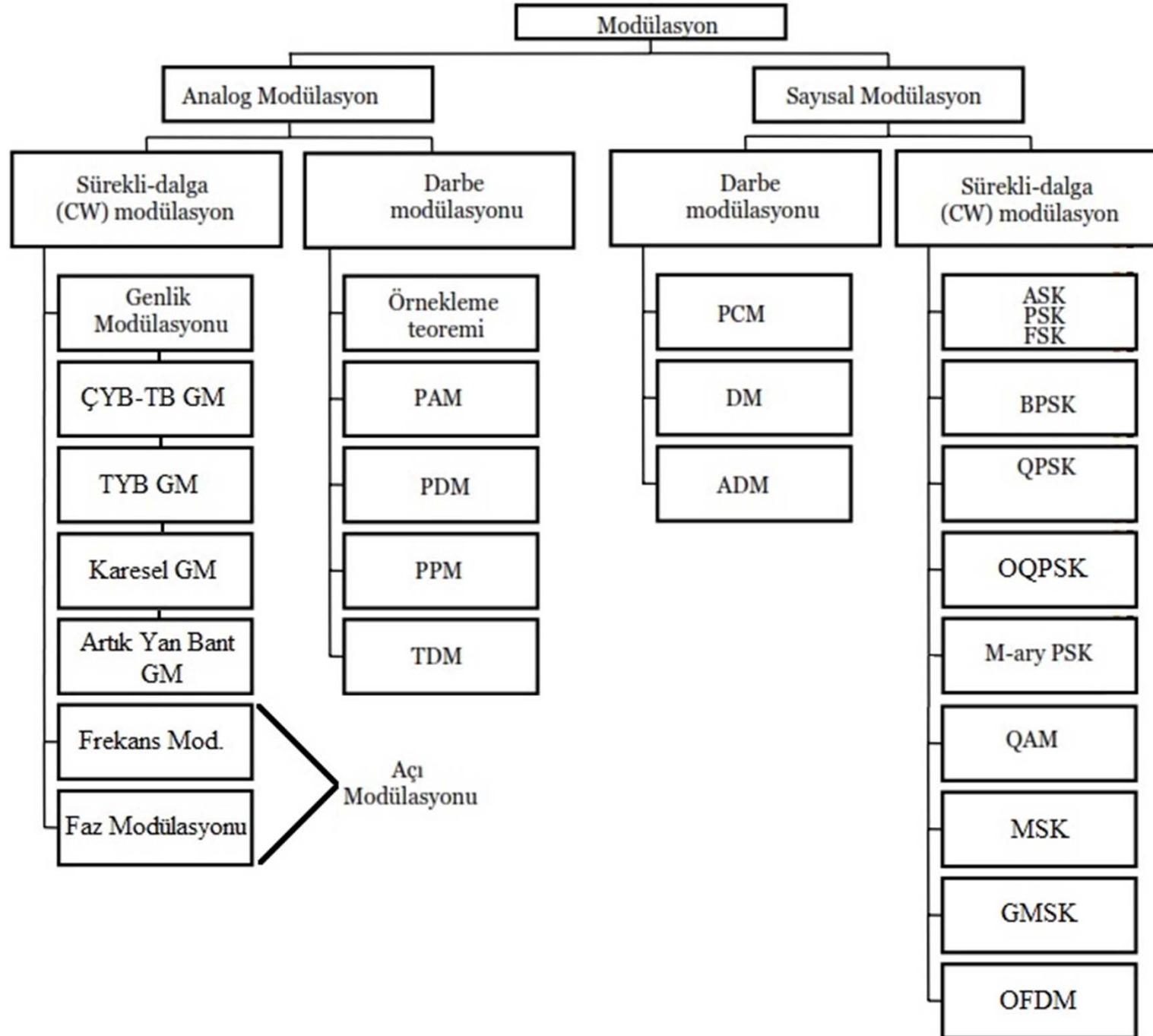
$$= (A_m A_c / 4) [e^{j(\omega_c + \omega_m)t} + e^{-j(\omega_c + \omega_m)t} + e^{j(\omega_c - \omega_m)t} + e^{-j(\omega_c - \omega_m)t}]$$



- ✓ **İletim Ortamına Uymak:** İletim ortamı koaksiyel kablo, transmision borusu, dalga kılavuzu, iyonosfer v.b. olabilir. Bu ortamlara uygun frekanslarda iletim yapabilmek için modülasyon yapılmalıdır.
- ✓ **Donanım Problemlerini Aşmak İçin:** Verici ve alıcıların çalışmaları işaretlerin özelliklerine bağlıdır. Bu yüzden uygun modülasyon seçilmesi ile bu aygıtların yapılması kolaylaştırılabilir. Bu ayrıca ekonomik bir etkidir.
- Örneğin uzay haberleşmesinde, uzaydaki iletişim sisteminin bilgi gönderip/alabilmesi için minimum güç harcaması istenir, çünkü bu sistemlere uzayda güç temini oldukça zor ve pahalı bir işlemdir. Dolayısıyla, uzaydaki iletişim sisteminin az enerji harcaması toplam sistem maliyetinin düşmesini sağlayacaktır.

3.BÖLÜM

MODÜLASYON ve GEREKLİLİĞİ



3.2. Genlik Modülasyonu

- ✓ Sinüzoidal taşıyıcı dalga şeklinin genliği temel bant işarete (mesaj işaretine) bağlı olarak değişir.
- ✓ Sinüzoidal bir taşıyıcı dalga şekli olan $c(t)$ işareti aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

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

burada A_c taşıyıcı işaretin genliğini, f_c taşıyıcı frekansını göstermektedir. Ayrıca taşıyıcı işaretin fazının sıfır olduğu kabul edilmektedir.

- ✓ **Çift Yan Band Genlik Modülasyonu (Double Side Band Amplitude Modulation, DSB-AM)** modülasyonu matematiksel olarak aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$\begin{aligned} s(t) &= A_c [1 + k_a m(t)] \cos(2\pi f_c t) \\ &= A_c \cos(2\pi f_c t) + A_c k_a m(t) \cos(2\pi f_c t) = \mathbf{c(t) + s_{DSB}(t)} \end{aligned}$$

burada $m(t)$ mesaj işaretini, k_a modülasyon indeksini (genlik hassasiyetini) göstermektedir.

✓ Modülasyonlu işaretin zarfı üzerinden temel band işaretin elde edilebilmesi için (demodülasyon işleminin gerçekleştirilmesi için) **iki gereksinime ihtiyaç vardır**. Bunlar:

- k_a modülasyon indeksinin değeri **tüm t zaman aralığı için** 1'den küçük olmalıdır.

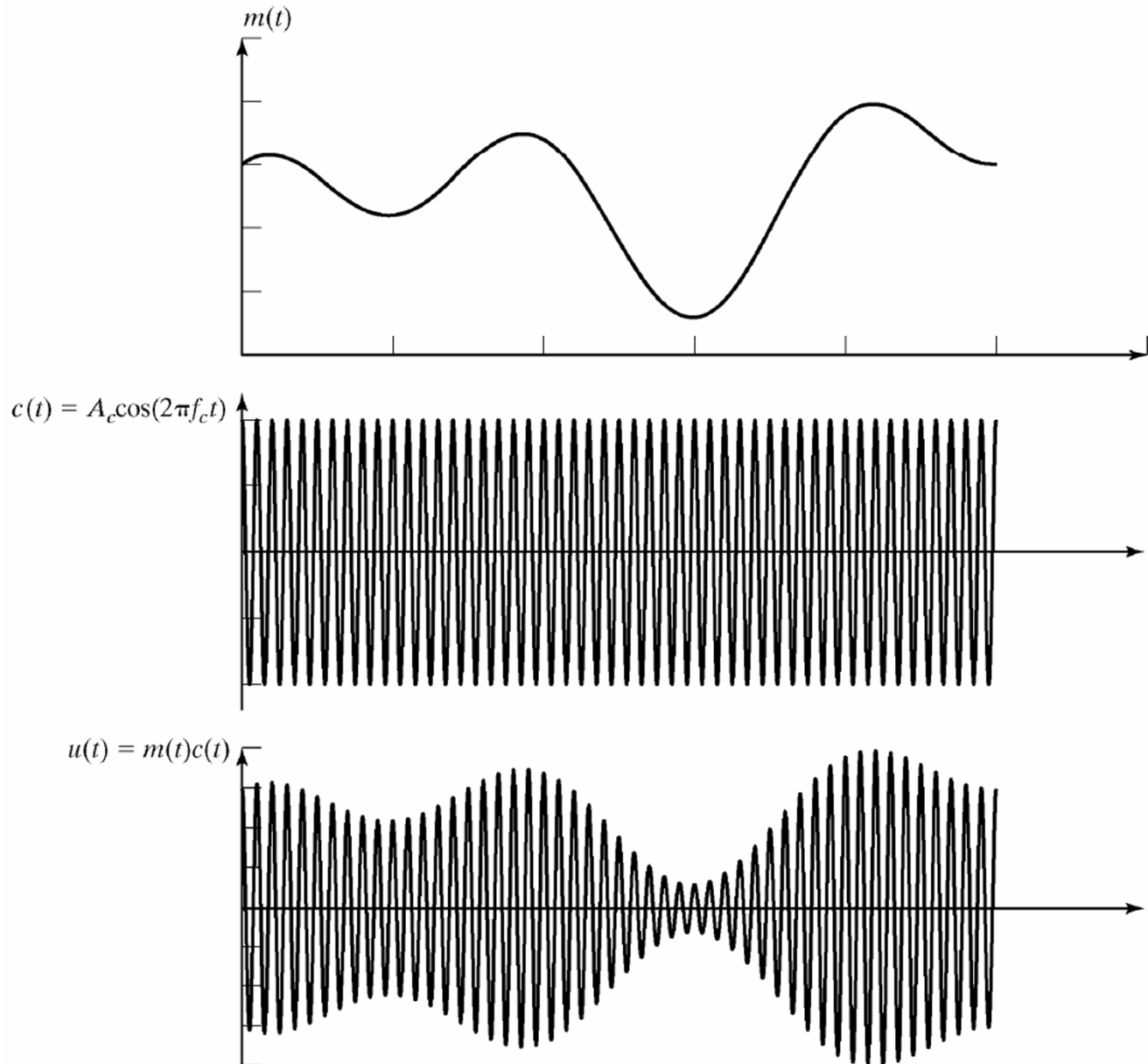
$$|k_a m(t)| < 1 \text{ tüm } t \text{ anları için}$$

Eğer bu şart sağlanmaz ise taşıyıcı işaret **aşırı modülasyona** uğramış olur ve modülasyonlu işarete **zarf distorsiyonu** oluşmasına yol açar.

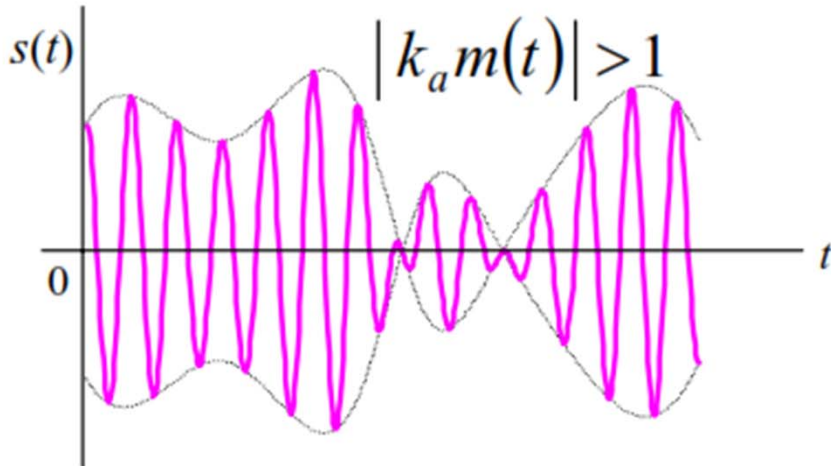
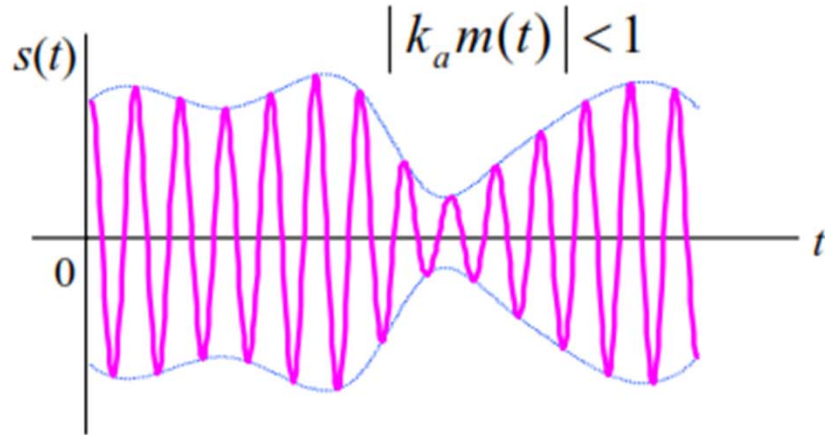
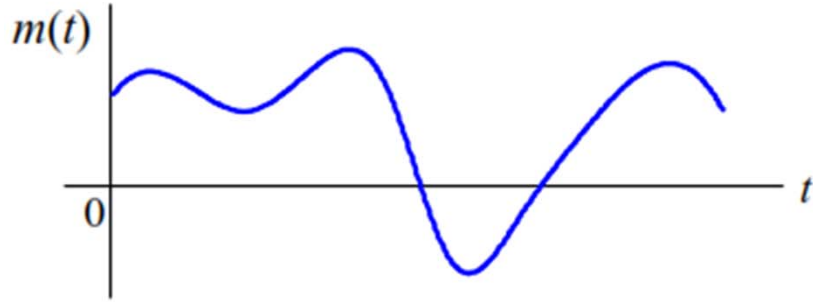
- Taşıyıcı işaret frekansı temel band işaretin en yüksek frekans değerinden çok daha büyük olmalıdır.

$$f_c \gg W$$

burada W mesaj işaretinin bant genişliğini göstermektedir.



Mesaj işareti, taşıyıcı ve ÇYB genlik modülasyonlu işaret örneği.



Modülasyon faktörü
Modülasyon yüzdesi

$$\mu = \max |k_a m(t)| \times 100$$

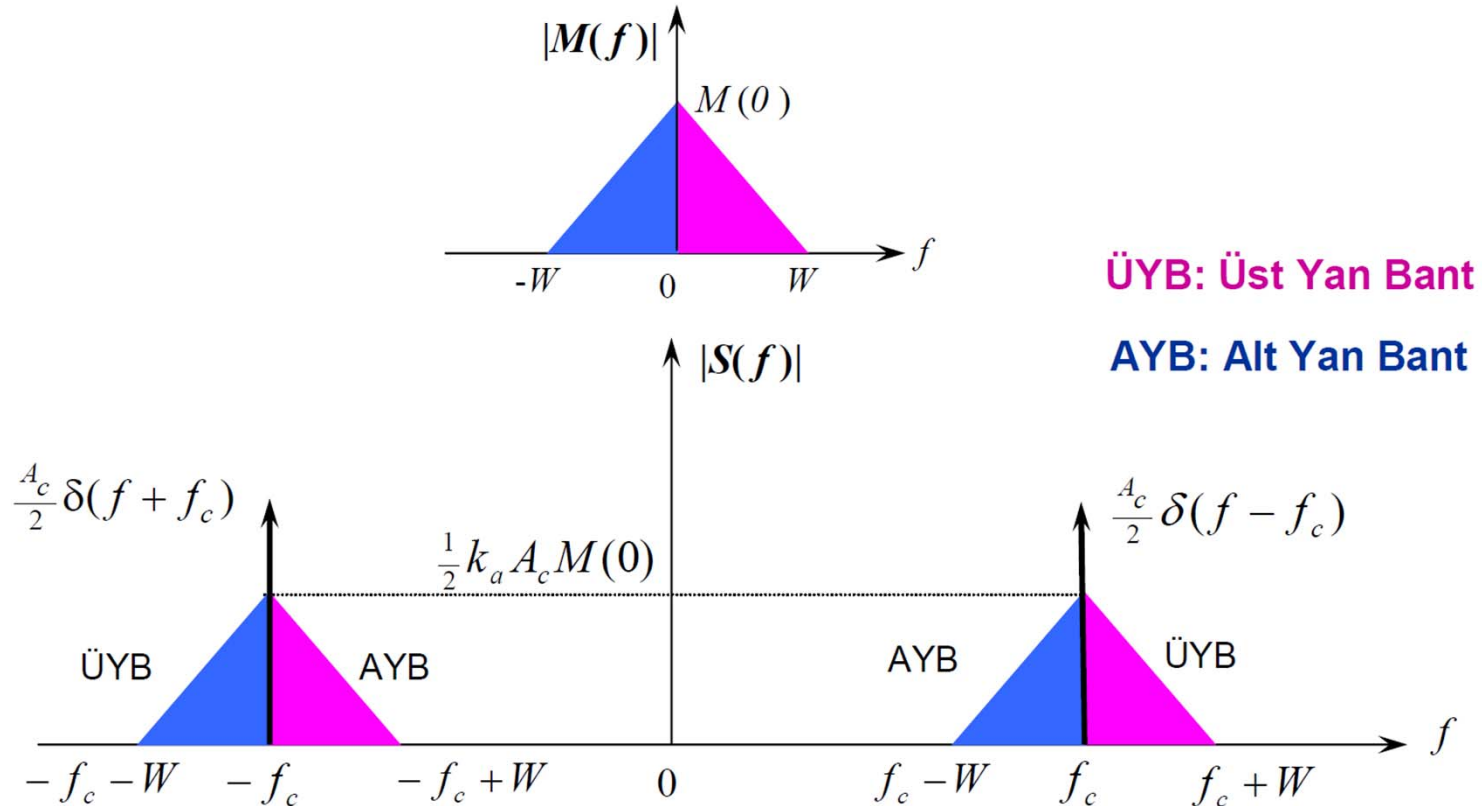
Aşırı modülasyon

$m(t)$ **geri elde edilemez !**

Genlik Modülasyonunda Spektrum

- ✓ Genlik modülasyonlu işaretin Fourier dönüşümü aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$S(f) = \frac{A_c}{2} [\delta(f - f_c) + \delta(f + f_c)] + \frac{k_a A_c}{2} [M(f - f_c) + M(f + f_c)]$$



- ✓ ÇYB-GM işaretin iletim bant genişliği

$$B_T = 2W$$

Genlik Modülasyonlu İşaretin Ortalama İletilen Gücü

✓ GM işaretin ortalama gücü aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$P = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} s^2(t) dt$$

$$P = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} A_c^2 [1 + k_a m(t)]^2 \cos^2(2\pi f_c t) dt$$

$$= \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} \frac{1}{2} A_c^2 [1 + 2k_a m(t) + k_a^2 m^2(t)] dt + \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} \frac{1}{2} A_c^2 [1 + 2k_a m(t) + k_a^2 m^2(t)] \cos(4\pi f_c t) dt$$

burada $f_c \gg W$ olduğundan ve ikinci integralin sonucunun sıfıra çok yakın olmasından dolayı

$$P = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} \frac{1}{2} A_c^2 [1 + 2k_a m(t) + k_a^2 m^2(t)] dt$$

olacaktır. Mesaj işaretinin ortalama değerinin sıfır olduğu kabul edilirse,

$$M(0) = \int_{-\infty}^{\infty} m(t) dt = 0$$

$$P = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} \frac{1}{2} A_c^2 [1 + k_a^2 m^2(t)] dt$$

$$= \frac{1}{2} A_c^2 + \frac{1}{2} A_c^2 k_a^2 \overline{m^2(t)}$$

$$P_c = \frac{1}{2} A_c^2$$

Taşıyıcı güç

$$2P_{SB} = \frac{1}{2} A_c^2 k_a^2 \overline{m^2(t)}$$

Yan bantlardaki toplam güç

$$E_{ff} = \frac{k_a^2 \overline{m^2(t)}}{1 + k_a^2 \overline{m^2(t)}} \times 100\%$$

Verim

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

$$k_a = \frac{A_c(\max) - A_c(\min)}{2A_c}$$

formülü ile hesaplanabilir.

3.BÖLÜM

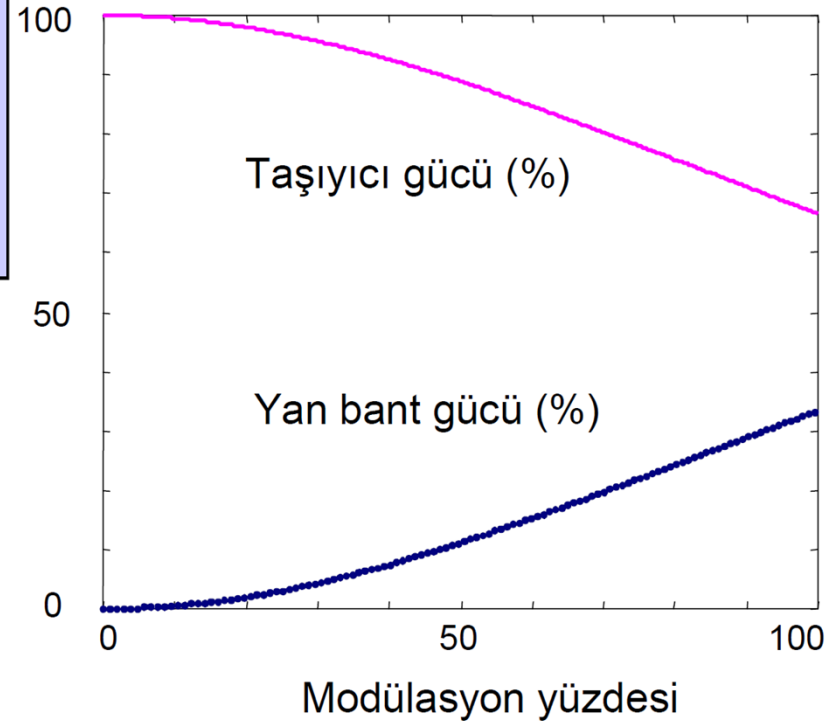
GENLİK MODÜLASYONU (GM) ve TÜRLERİ

Örnek: Mesaj işareti $m(t) = A_m \cos(2\pi f_m t)$ olan ÇYB-GM'lu bir sistemde $k_a = 1$, $A_m = 1$ için güç ve verim değerlerini hesaplayınız.

$$\begin{aligned}\overline{m^2(t)} &= \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} A_m^2 \cos^2(2\pi f_m t) dt \\ &= \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} A_m^2 \frac{1}{2} [1 + 2 \cos(4\pi f_m t)] dt \\ &= \frac{A_m^2}{2}\end{aligned}$$

✓ Ulaşılabilecek maksimum verim:

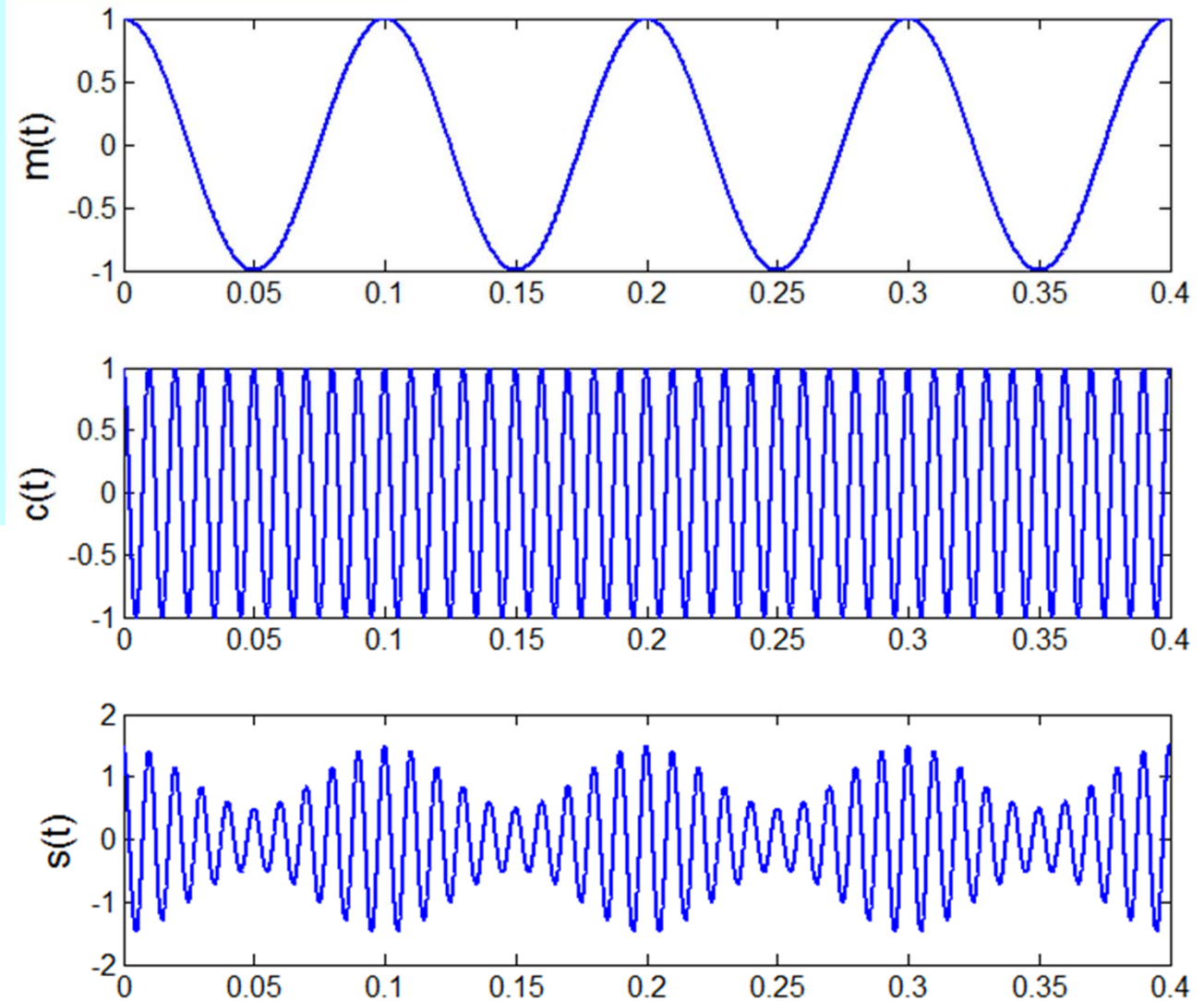
$$E_{ff} = \frac{\frac{A_m^2}{2}}{1 + \frac{A_m^2}{2}} \times 100\% \leq 33.33\%$$



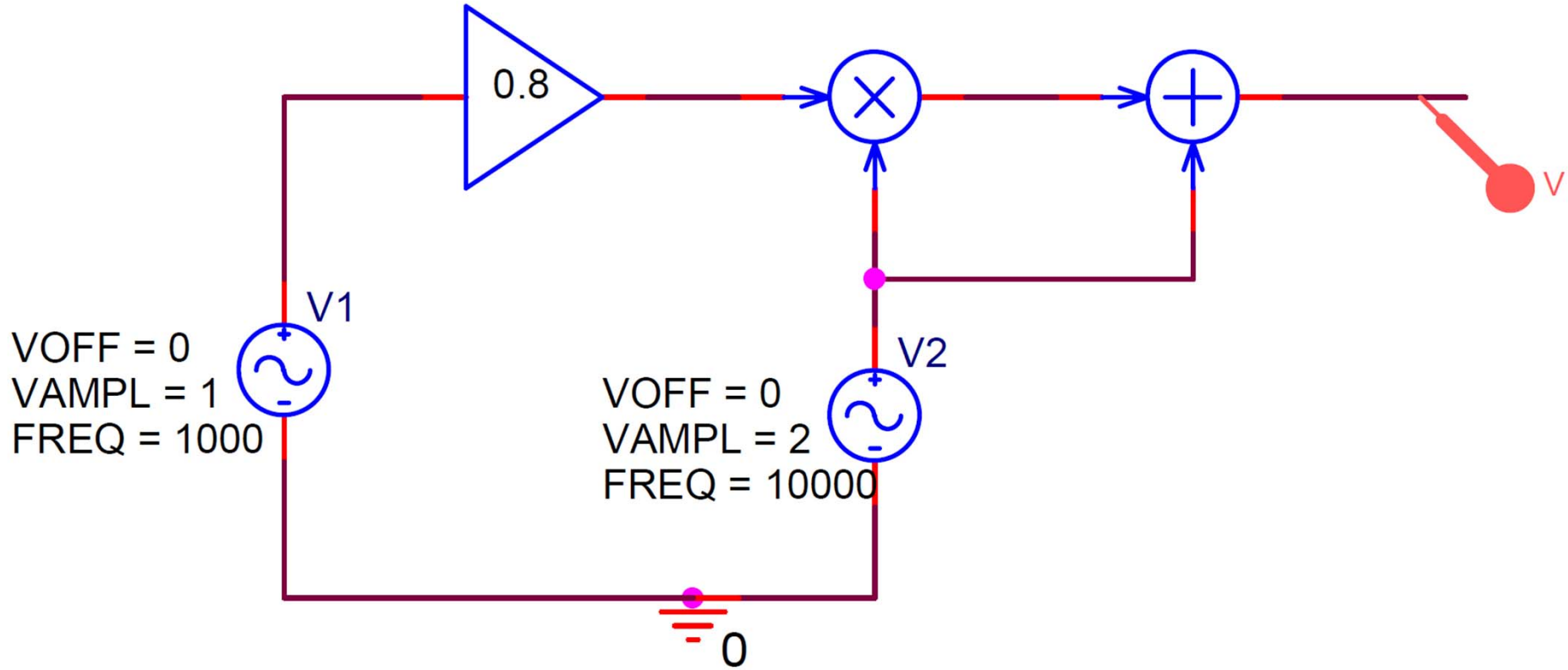
✓ Buradan, **taşıyıcıda harcanan gücün toplam gücün en az % 66.66'sı olduğu sonucuna varılmaktadır.**

ÇYB Genlik Modülasyonunun Matlab Kod Örneği:

```
t=0:0.0001:.4;  
y=cos(2*pi*10*t);  
subplot(3,1,1)  
plot(t,y)  
ylabel('m(t)')  
subplot(3,1,2)  
x=cos(2*pi*100*t);  
plot(t,x)  
ylabel('c(t)')  
s=1*(1+0.5*cos(2*pi*10*t))  
.*cos(2*pi*100*t);  
subplot(3,1,3)  
plot(t,s)  
ylabel('s(t)')
```



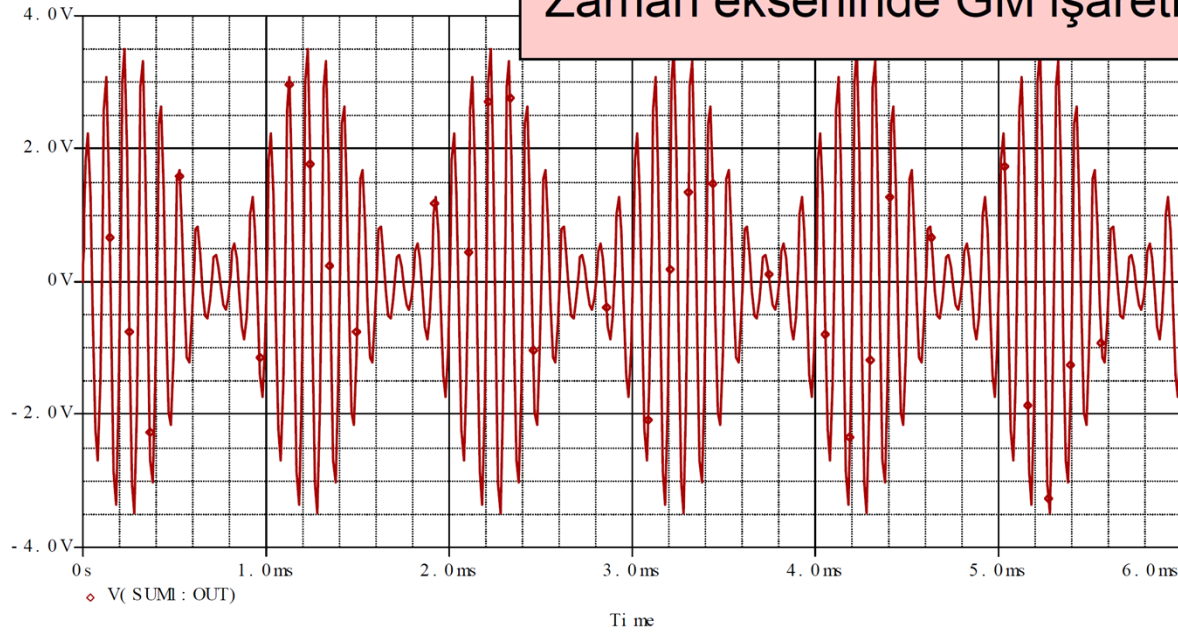
ÇYB Genlik Modülasyonunun PSPICE Örnekleri:



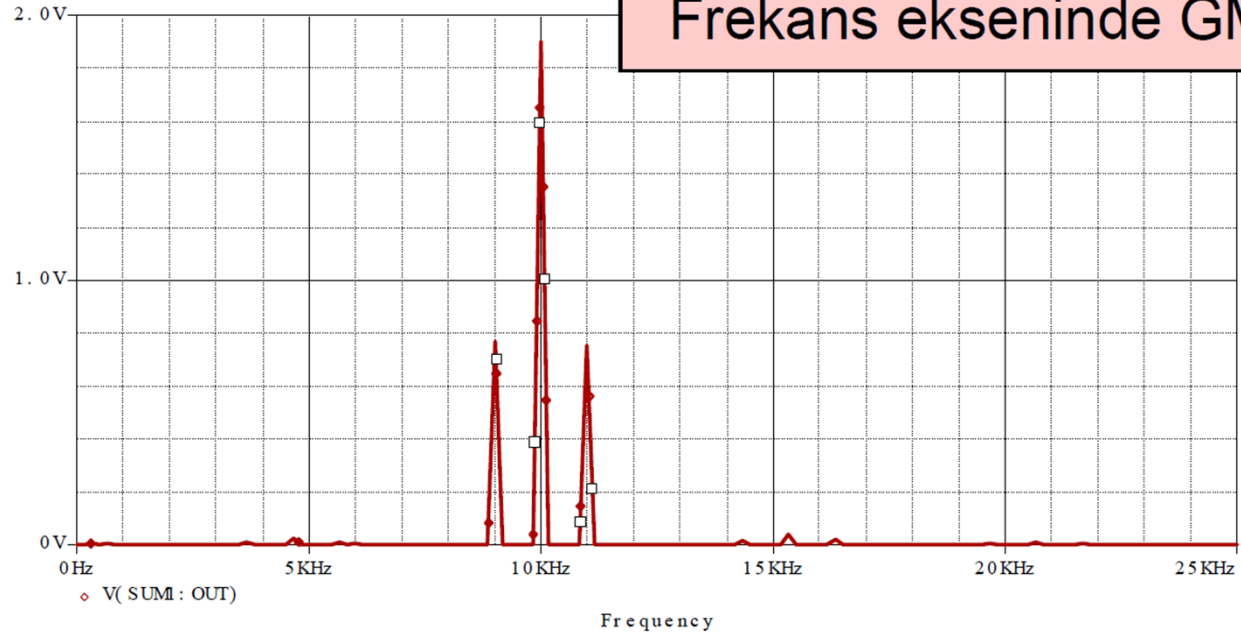
3.BÖLÜM

GENLİK MODÜLASYONU (GM) ve TÜRLERİ

Zaman ekseninde GM işareti

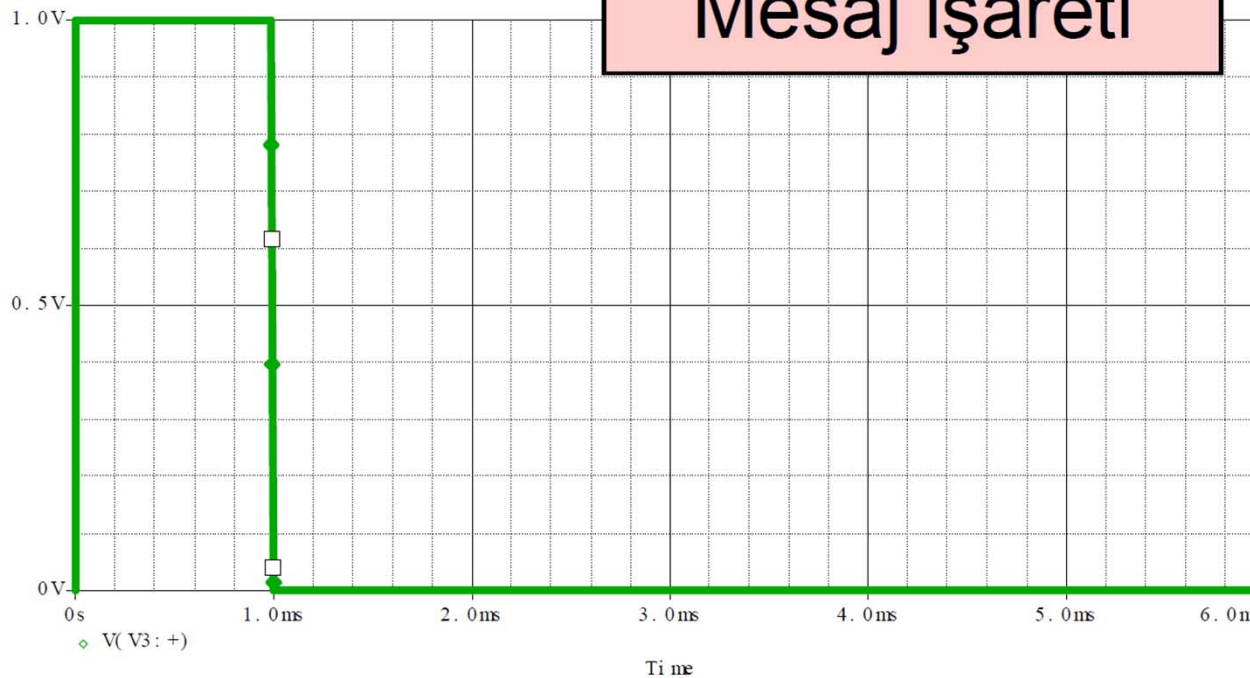
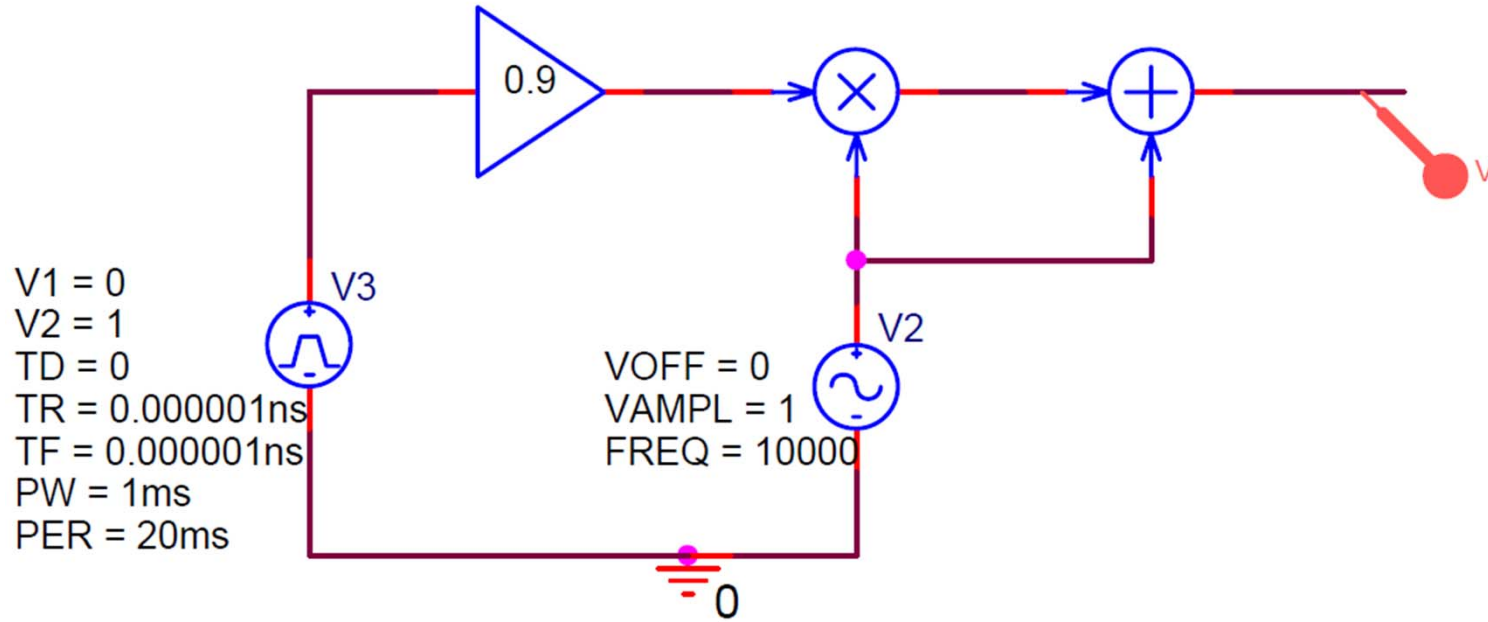


Frekans ekseninde GM işareti



3.BÖLÜM

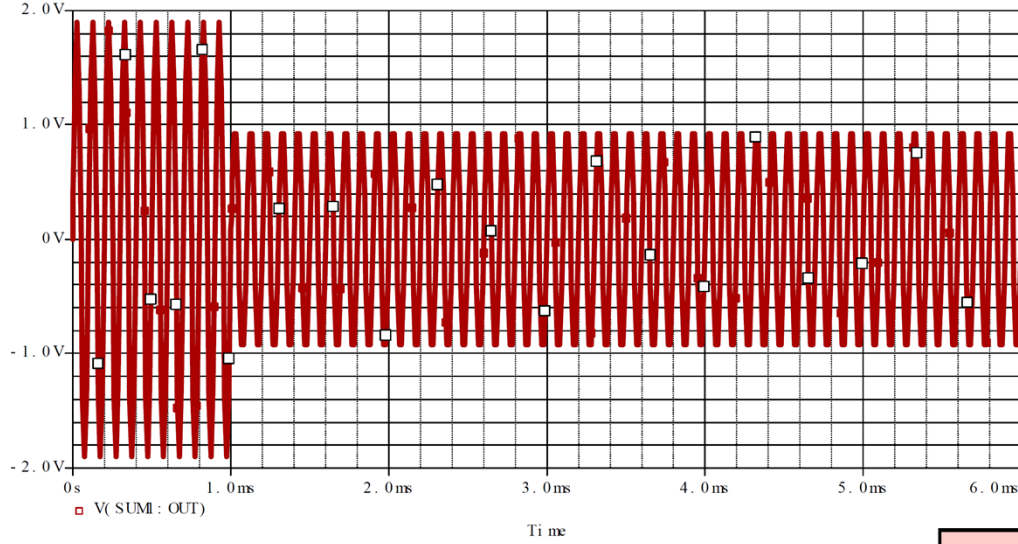
GENLİK MODÜLASYONU (GM) ve TÜRLERİ



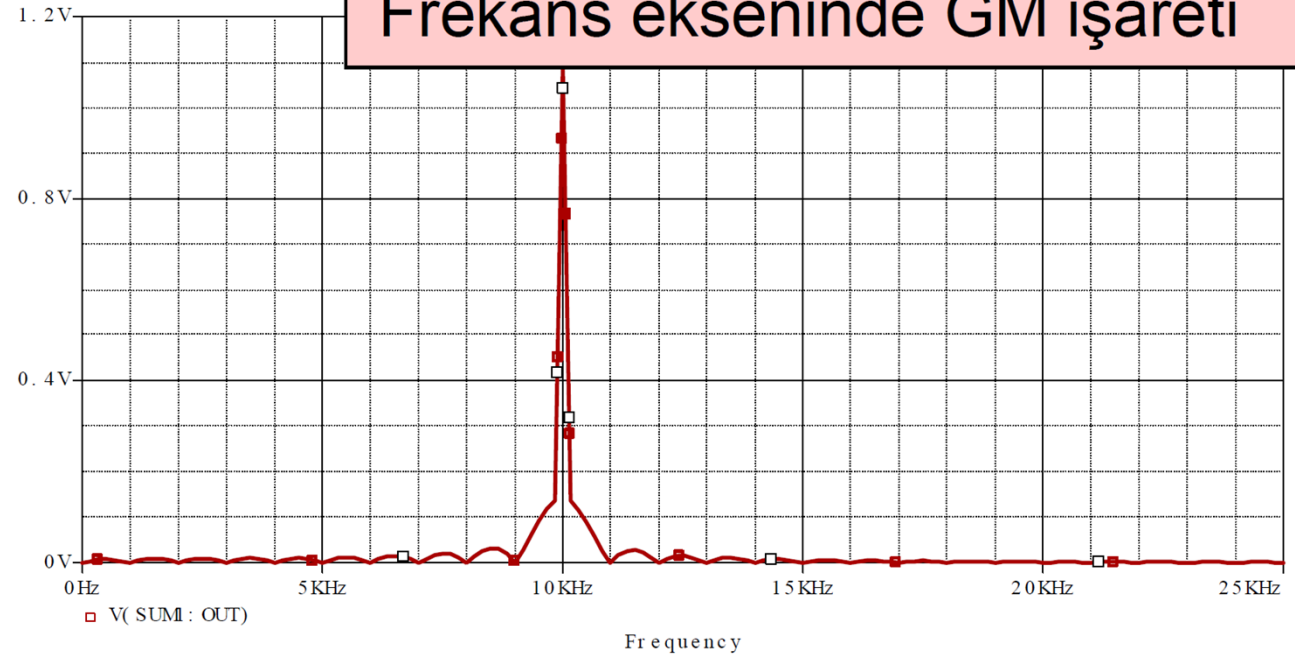
3.BÖLÜM

GENLİK MODÜLASYONU (GM) ve TÜRLERİ

Zaman ekseninde GM işareti

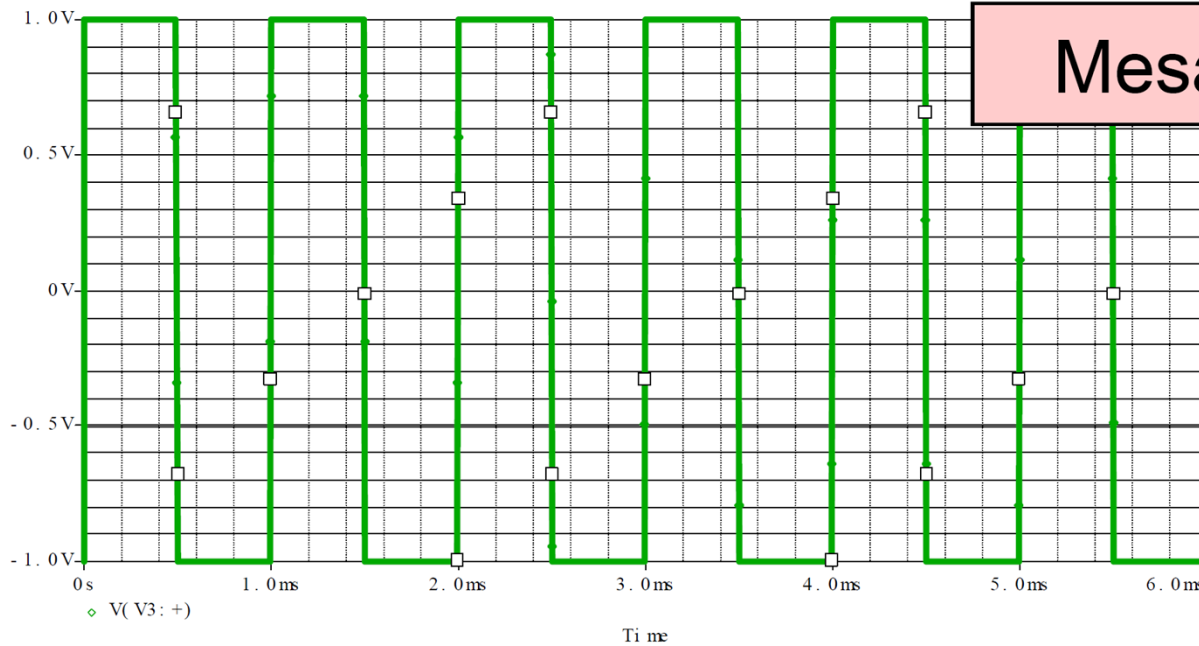
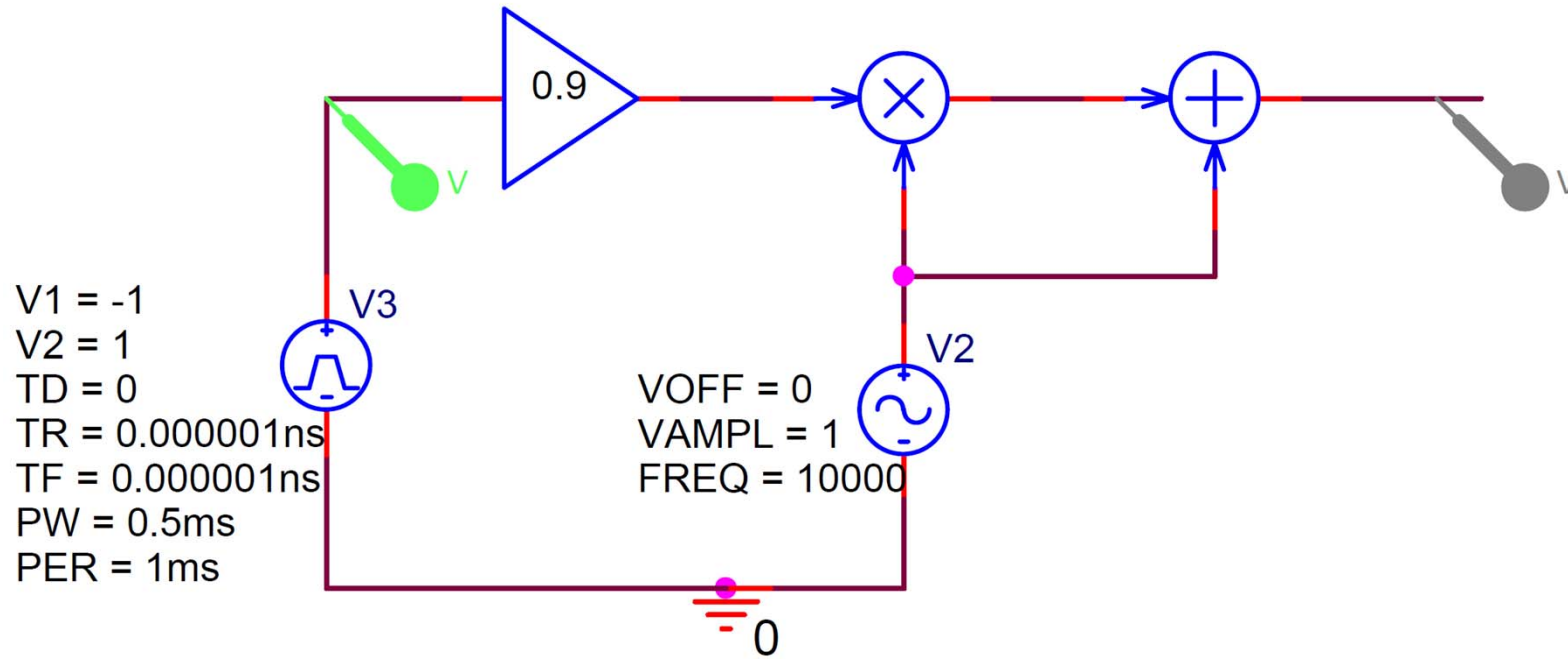


Frekans ekseninde GM işareti



3.BÖLÜM

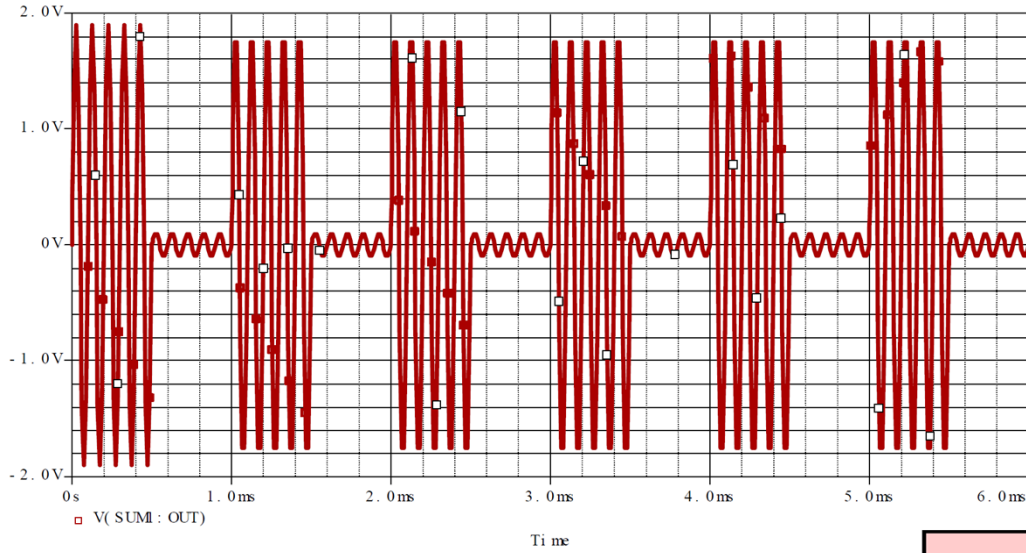
GENLİK MODÜLASYONU (GM) ve TÜRLERİ



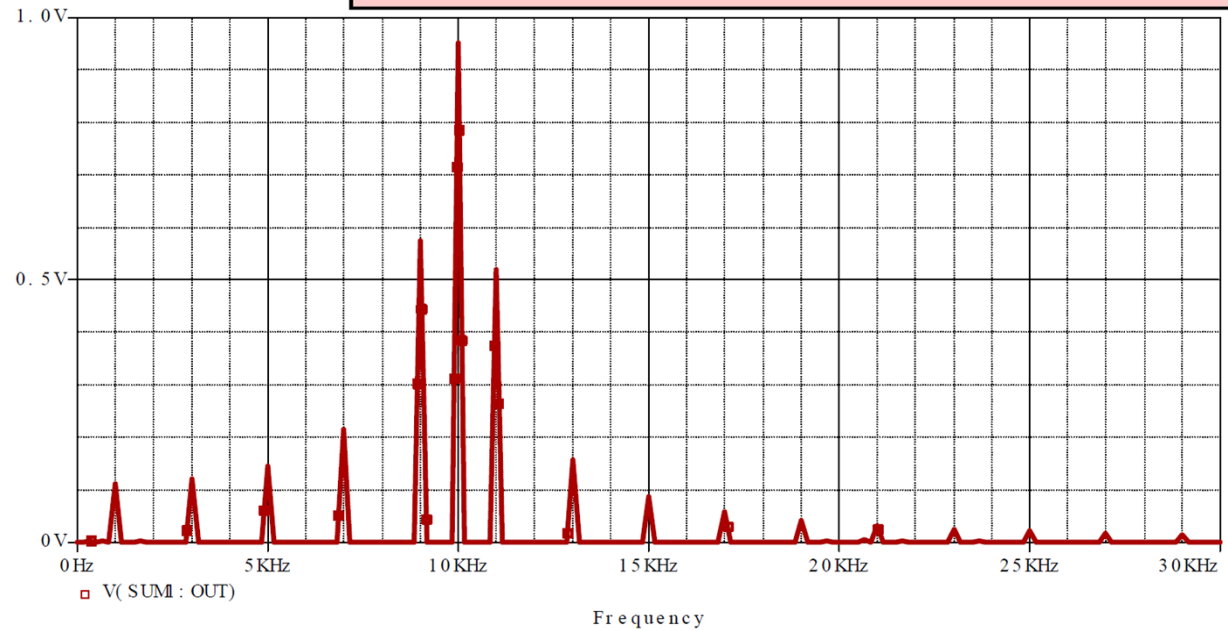
3.BÖLÜM

GENLİK MODÜLASYONU (GM) ve TÜRLERİ

Zaman ekseninde GM işareti



Frekans ekseninde GM işareti

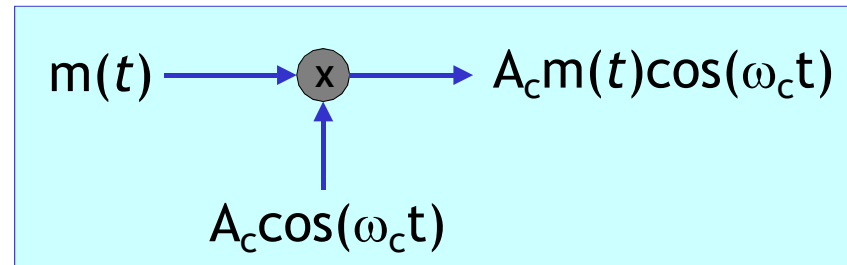


Taşıyıcısı Bastırılmış Çift Yan Bant Genlik Modülasyonu

(Double Sideband Suppressed Carrier (DSB-SC) Amplitude Modulation)

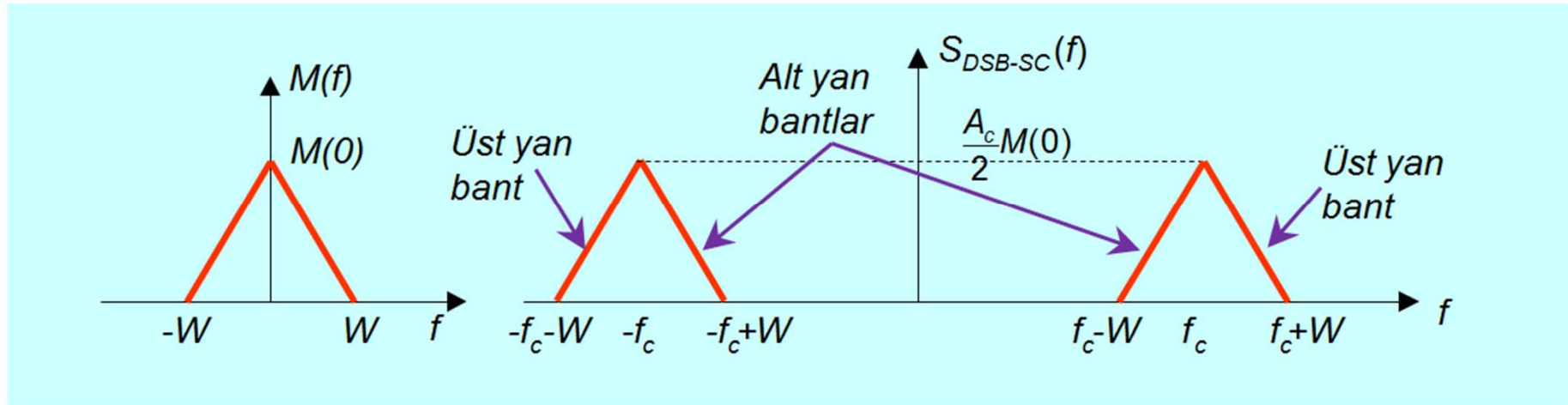
- ✓ ÇYB-GM'da toplam gücün büyük bir kısmının taşıyıcıda harcanıyor olması ve bu gücün iletişim açısından faydalı olmaması yeni modülasyon türlerinin araştırılmasına yol açmıştır.
- ✓ Bir $m(t)$ mesaj işareti, $A_c \cos(2\pi f_c t)$ taşıyıcı işaret ile direk çarpılarak taşıyıcısı bastırılmış çift yan bant dalga şekli elde edilebilmektedir.
- ✓ DSB-SC dalga şekli aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$s_{DSB-SC}(t) = A_c m(t) \cos(2\pi f_c t)$$



✓ DSB-SC genlik modülasyonu işaretin frekans eksenindeki ifadesi Fourier dönüşümü ile aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$S_{DSB-SC}(f) = \frac{A_c}{2} [M(f - f_c) + M(f + f_c)]$$



✓ DSB-SC işaretin iletim bant genişliği

$$B_T = 2W$$

3.BÖLÜM

GENLİK MODÜLASYONU (GM) ve TÜRLERİ

Örnek: Mesaj işaretinin $m(t) = A_m \cos(2\pi f_m t)$ ve taşıyıcı işaretin $c(t) = A_c \cos(2\pi f_c t)$ olduğunu varsayarak ÇYB-TB GM'lu dalga şeklinin spektrumunu çiziniz.

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

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

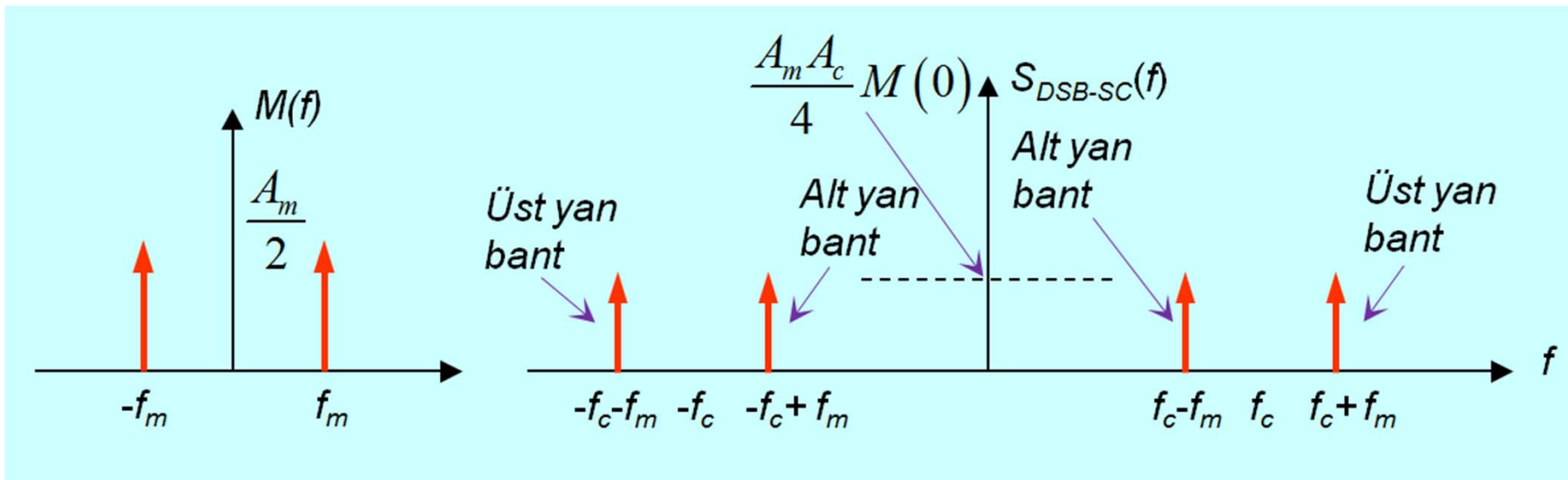
$$s_{DSB-SC}(t) = A_c A_m \cos(2\pi f_c t) \cos(2\pi f_m t)$$

$$f_c \gg f_m$$

$$s_{DSB-SC}(t) = \frac{A_m A_c}{2} [\cos(2\pi(f_c - f_m)t) + \cos(2\pi(f_c + f_m)t)]$$

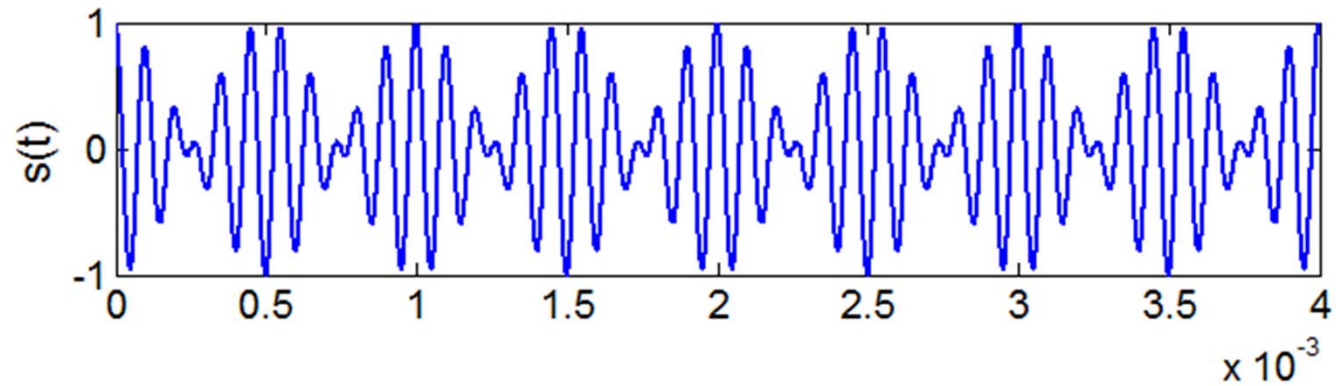
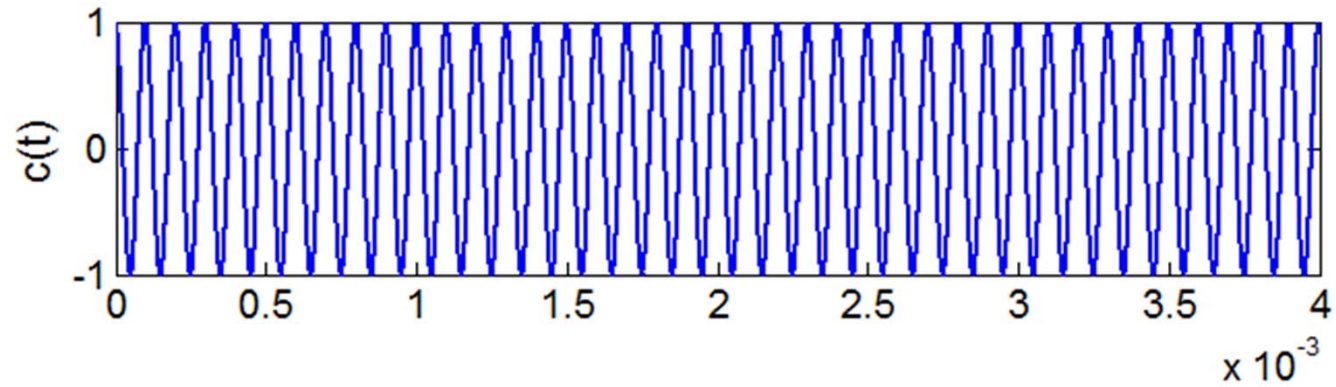
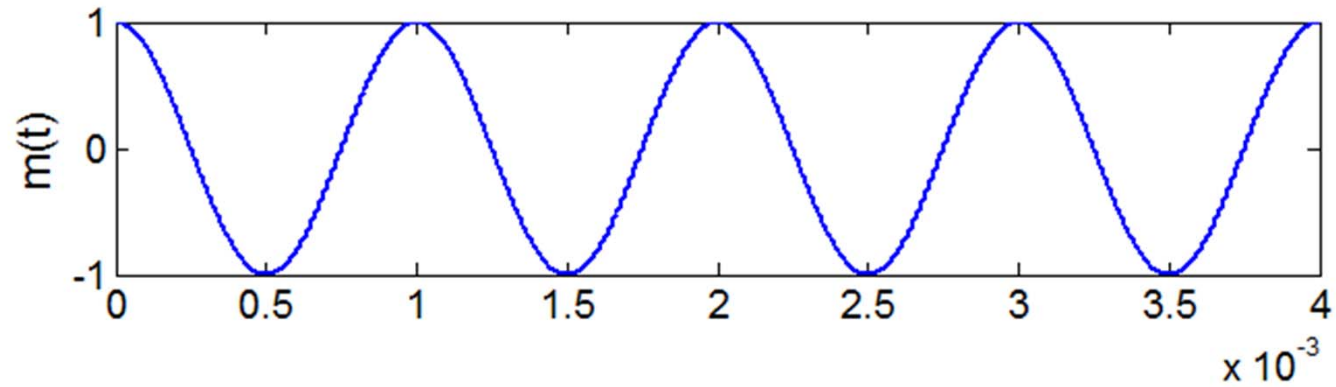
$$M(f) = \frac{A_m}{2} [\delta(f - f_m) + \delta(f + f_m)]$$

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

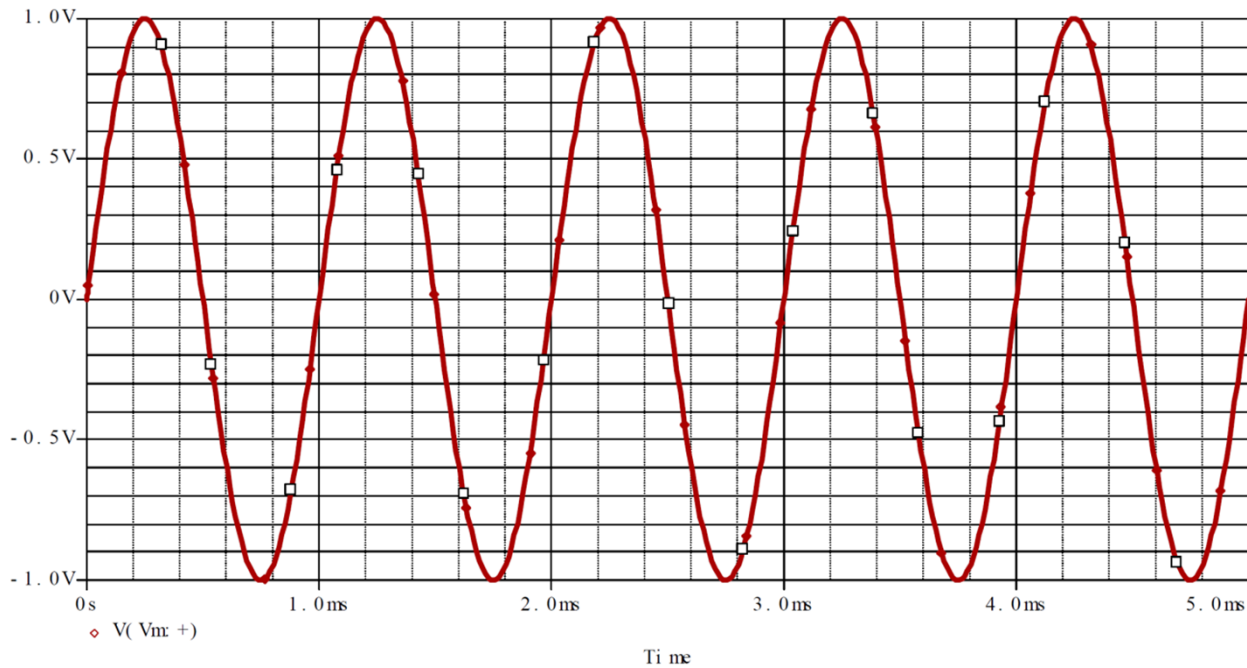
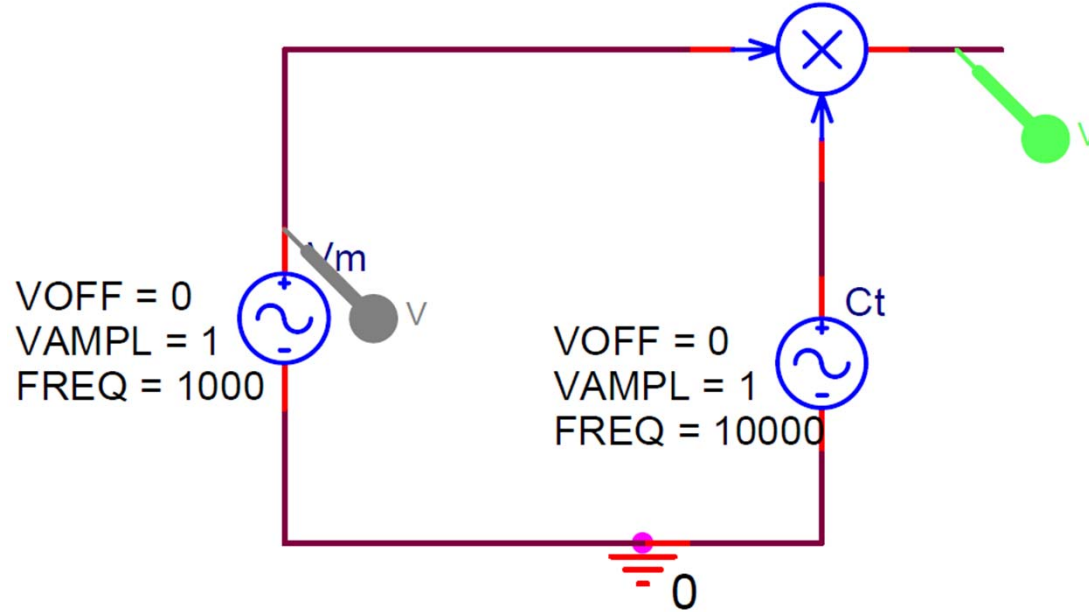


ÇYB-TB Genlik Modülasyonunun Matlab Kod Örneği:

```
>> t=0:0.0001e-3:4e-3;  
>> m=cos(2*pi*1000*t);  
>> subplot(3,1,1)  
>> plot(t,m)  
>> ylabel('m(t)')  
>> c=cos(2*pi*10000*t);  
>> subplot(3,1,2)  
>> plot(t,c)  
>> ylabel('c(t)')  
>> s=m.*c;  
>> subplot(3,1,3)  
>> plot(t,s)  
>> ylabel('s(t)')
```

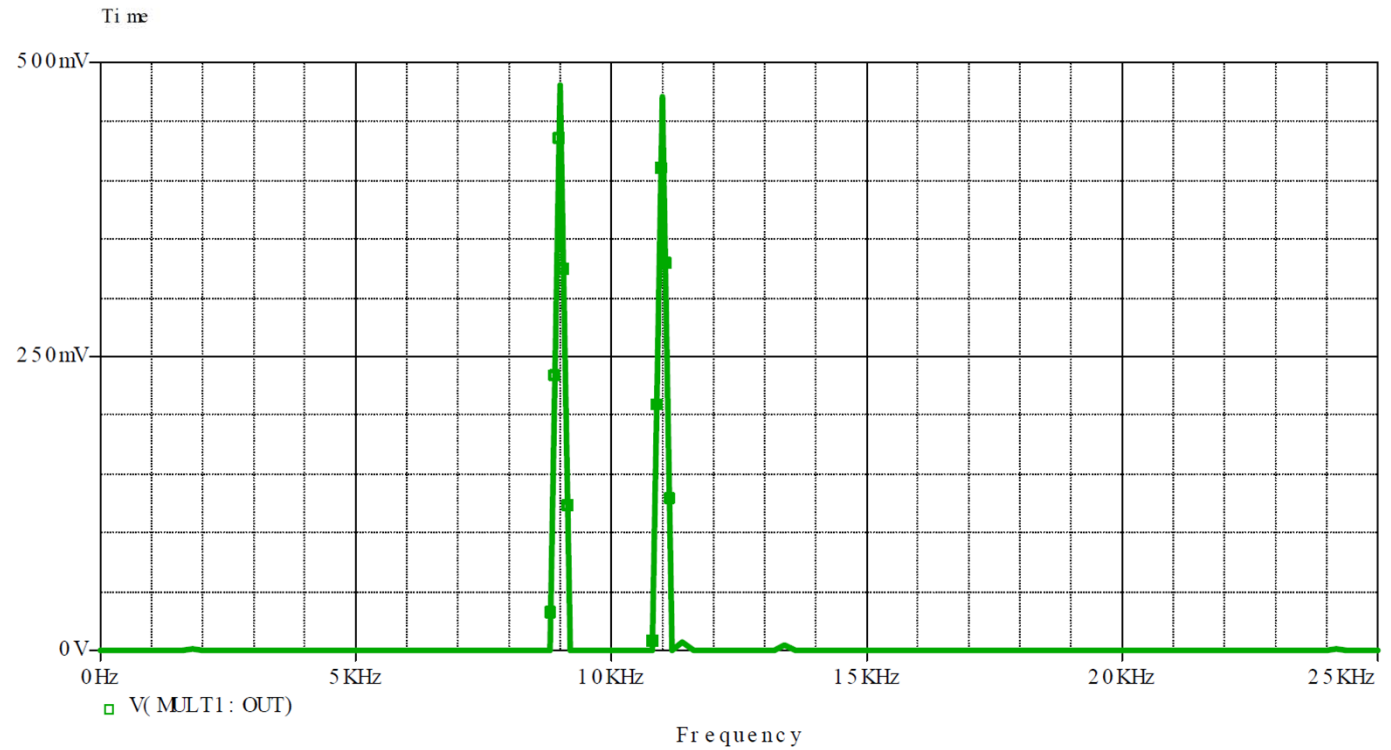
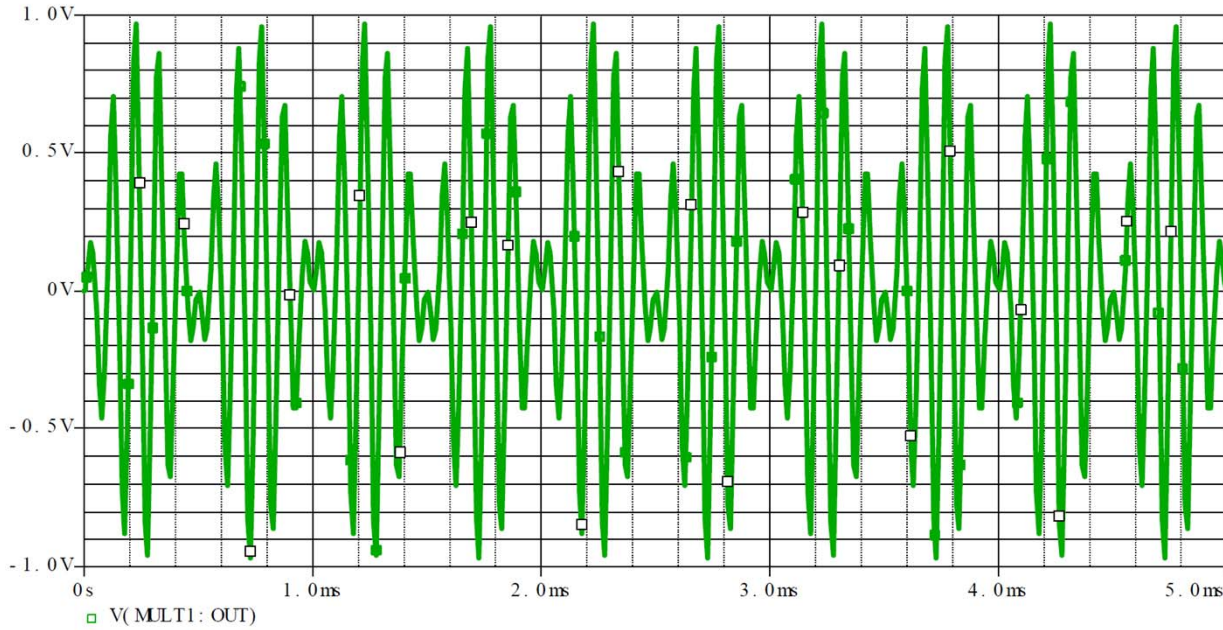


ÇYB-TB Genlik Modülasyonunun PSPICE Örnekleri:



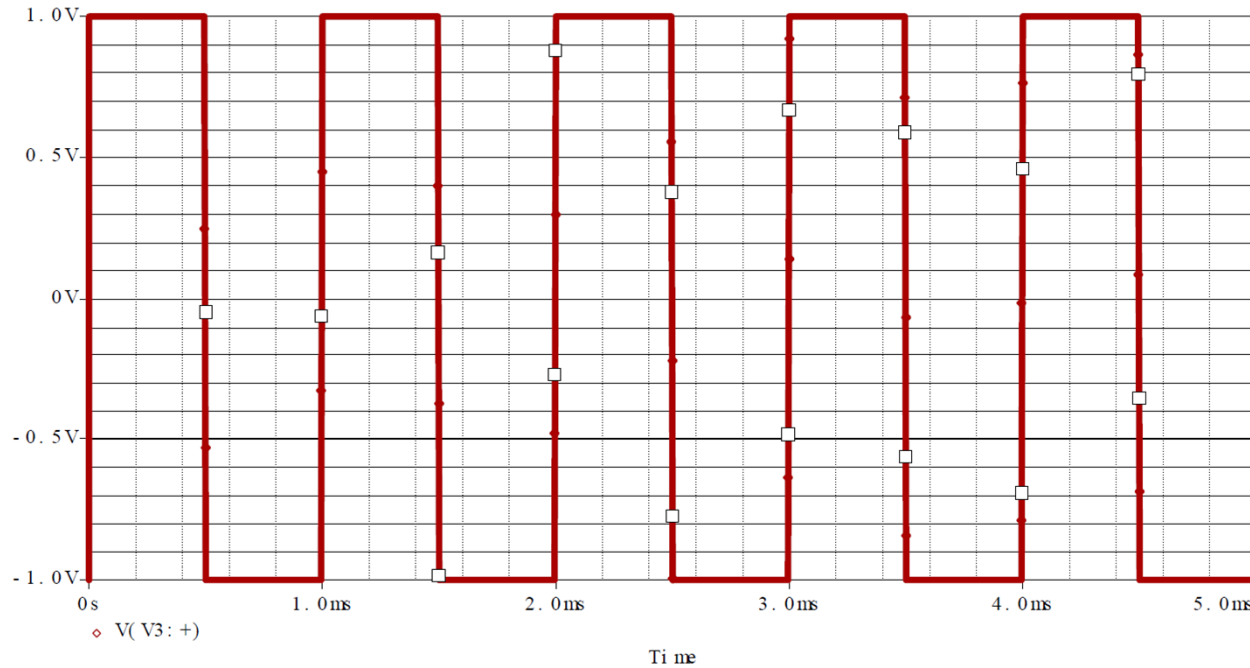
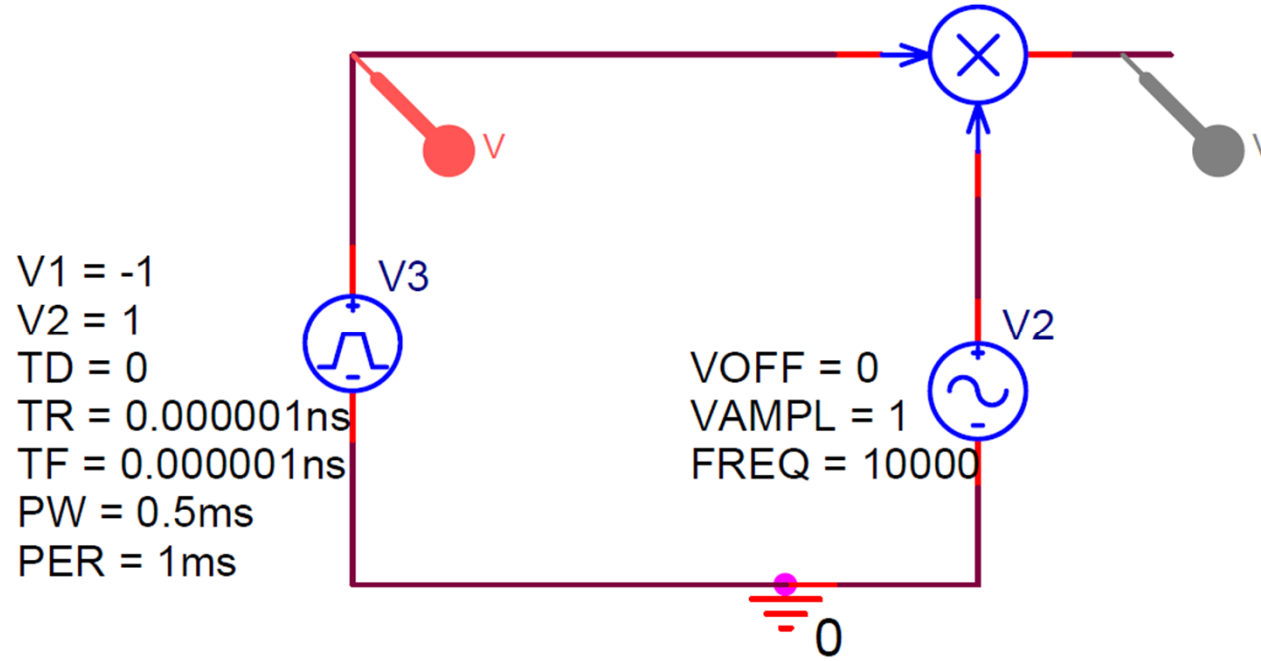
3.BÖLÜM

GENLİK MODÜLASYONU (GM) ve TÜRLERİ



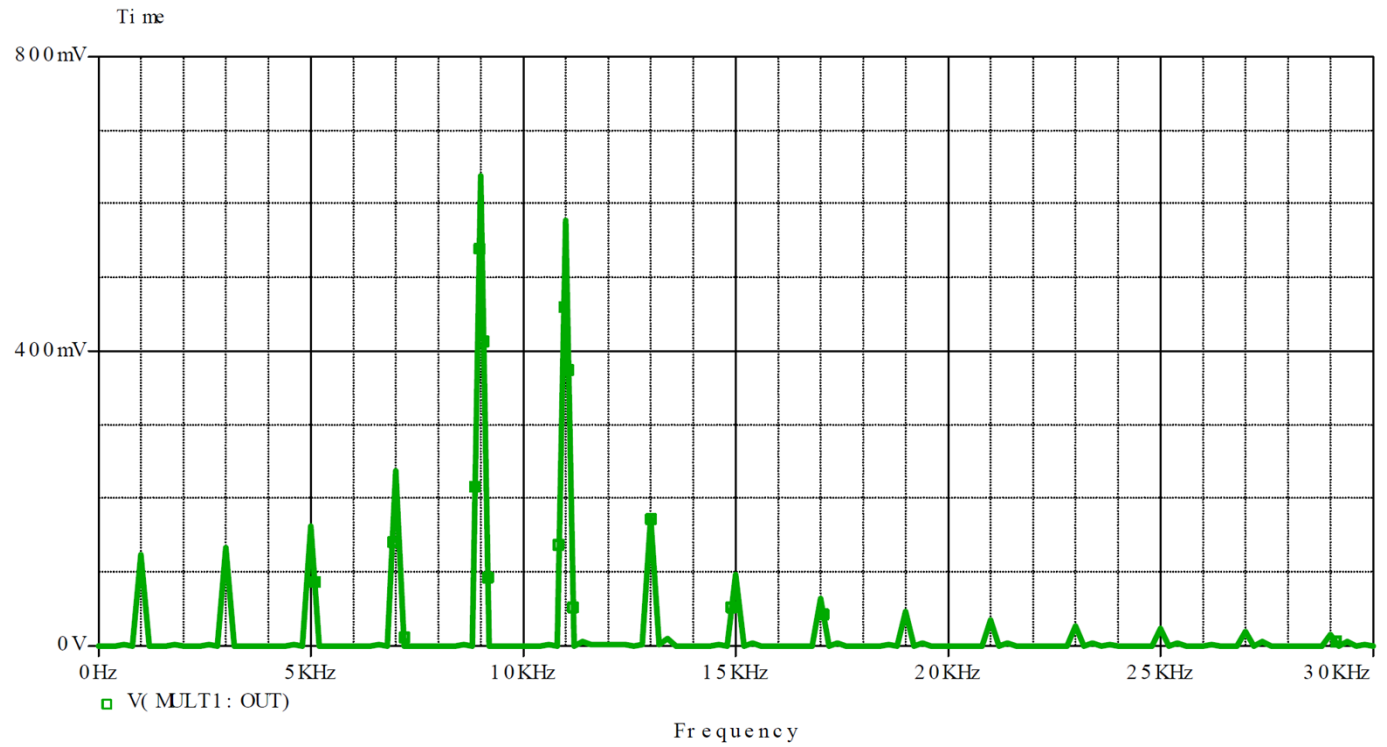
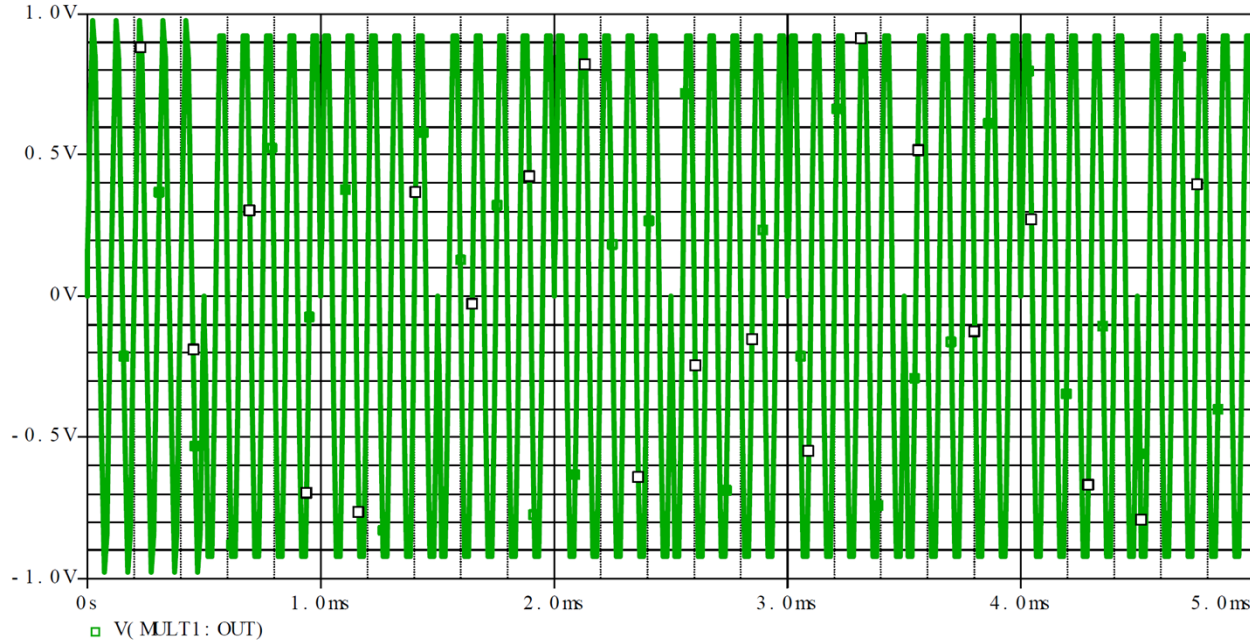
3.BÖLÜM

GENLİK MODÜLASYONU (GM) ve TÜRLERİ



3.BÖLÜM

GENLİK MODÜLASYONU (GM) ve TÜRLERİ



Örnek: Mesaj işaretinin $m(t) = 2\cos(2\pi 1000t)$ ve taşıyıcı işaretin $c(t) = 100\cos(2\pi 10000t)$ olduğunu varsayarak,

- DSB-SC'nin matematiksel ifadesini *zaman ekseninde* yazınız.
- DSB-SC'nin matematiksel ifadesini *frekans ekseninde* yazınız.
- Modülasyonlu işaretin iletim bant genişliğini hesaplayınız.

a. $s_{DSB-SC}(t)$ dalga şeklinin matematiksel eşitliği:

$$s_{DSB-SC}(t) = A_m A_c \cos(2\pi f_c t) \cos(2\pi f_m t) = 200 \cos(2\pi 1000t) \cos(2\pi 10000t)$$

Trigonometrik eşitlik kullanılırsa:

$$s_{DSB-SC}(t) = 100 \cos(2\pi 9000t) + 100 \cos(2\pi 11000t)$$

b. $\cos(2\pi f_c t) \Leftrightarrow \frac{1}{2} [\delta(f - f_c) + \delta(f + f_c)]$ olduğu hatırlanırsa,

$$S_{DSB-SC}(f) = 50 [\delta(f - 9000) + \delta(f + 9000)] + 50 [\delta(f - 11000) + \delta(f + 11000)]$$

c. İletim bant genişliği **2 kHz**'dir.

