



ELK 307

İletişim Kuramı-I

Nihat KABAOĞLU

Ders 4

Dersin İçeriği

- Genlik Modülasyonu
 - Çift Yan Bant Modülasyonu
 - Geniş Taşıyıcı
 - Taşıyıcısı Bastırılmış
 - Tek Yan Bant Modülasyonu
 - Artık Yan Bant Modülasyonu
- Dik Taşıyıcı Çoğullama
- Frekans Bölmeli Çoğullama



Kısım-4

Genlik Modülasyonu

Genlik Modülasyonu(GM)

- Modüle edilmiş sinyal, modüle eden bir sinyal ile (mesaj) modüle edilen bir sinyalden (taşıyıcı) elde edilir.

$$c(t) = A_c \cos(2\pi f_c t) \quad \text{Taşıyıcı sinyal}$$

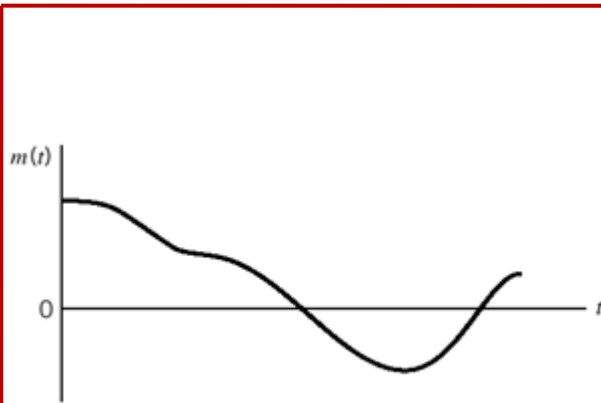
$$m(t) \quad \text{Mesaj sinyali}$$

$$s(t) = A_c [1 + k_a m(t)] \cos(2\pi f_c t) \quad \text{Modüle edilmiş sinyal}$$

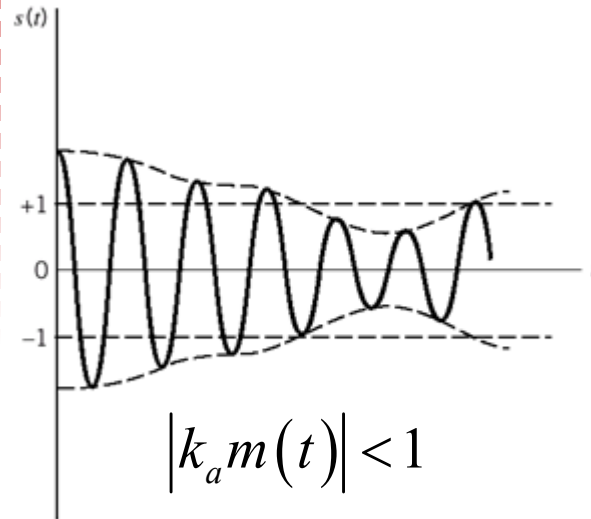
$$k_a \quad \text{Modülatör genlik duyarlılığı}$$

- W bantgenişlikli $m(t)$ sinyalinin yeniden elde edilebilmesi için $|k_a m(t)| < 1$ ve $f_c \gg W$ koşulunun sağlanması gereklidir.

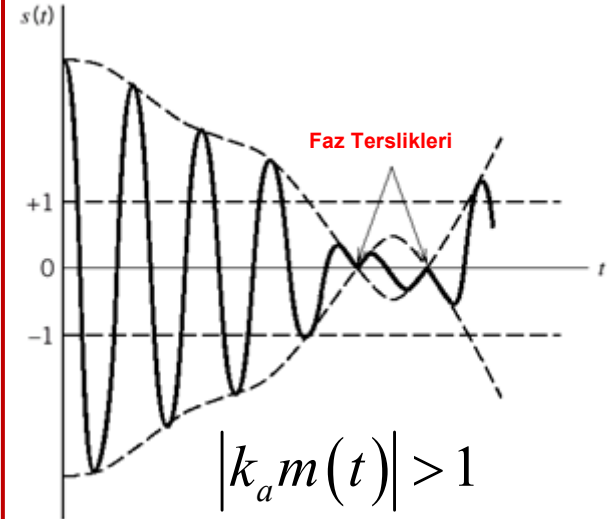
Genlik Modülasyonu(GM)



Bilgi Sinyali



Genlik Modüleli Sinyal



Genlik Modüleli Sinyal

Modülasyon
İndeksi

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

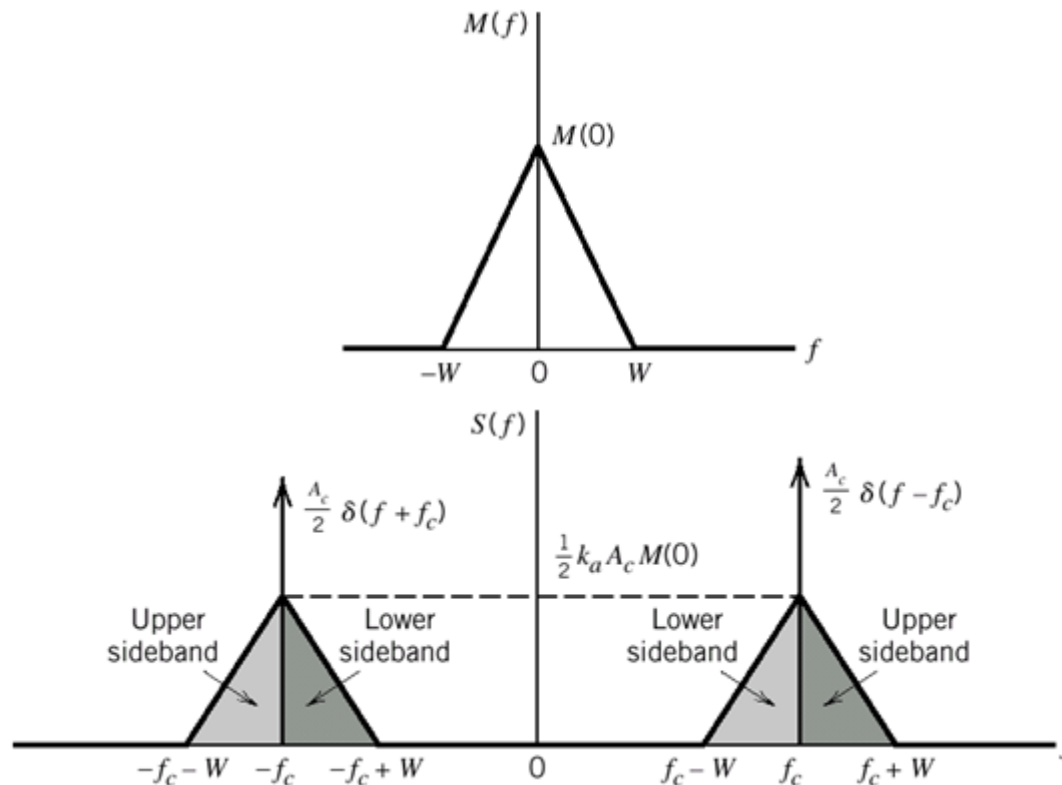
Modülasyon
Yüzdesi

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

DİKKAT!
Bu durumda, GM
sinyalde faz
tersliği oluşur.
Zarf Bozulması

Spektrum

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

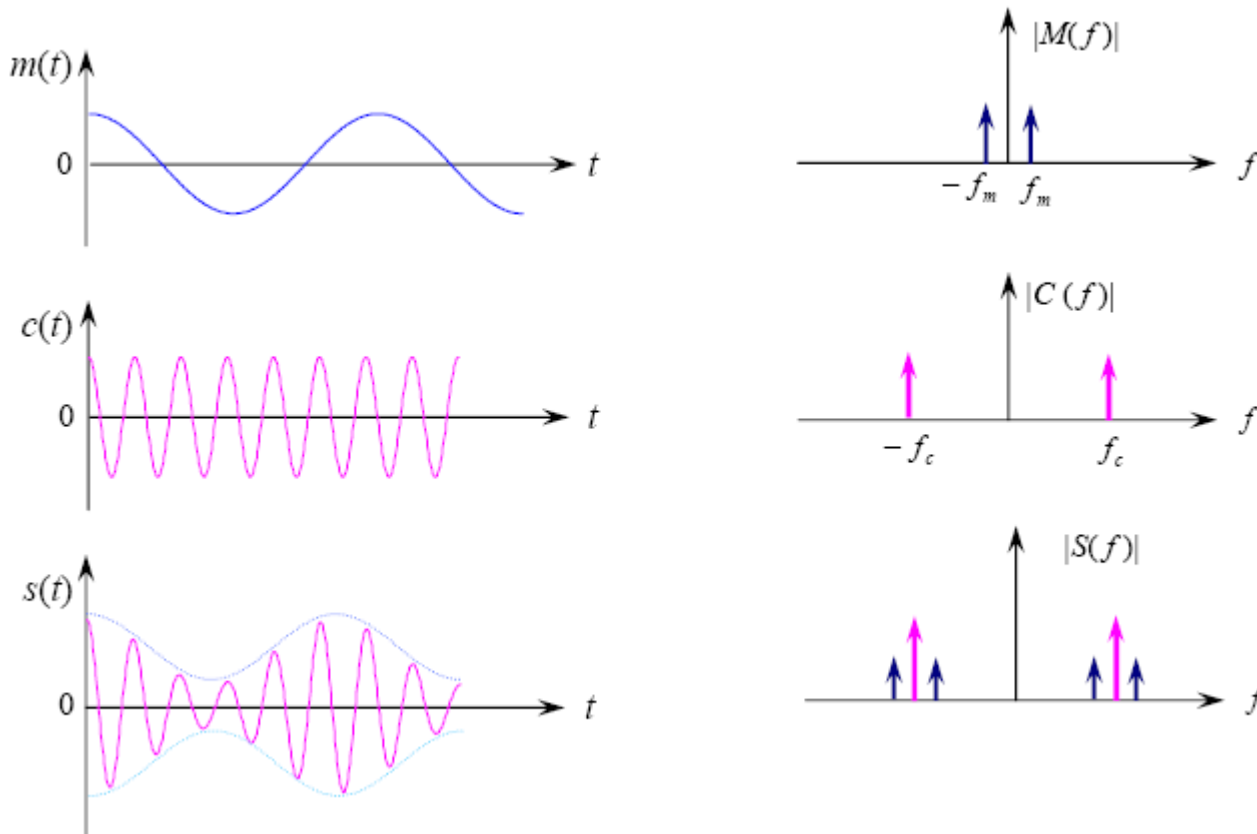


Çift Yanbantlı Geniş Taşıyıcılı Genlik Modülasyonu

Örnek: Ton Modülasyonu

$$m(t) = A_m \cos(2\pi f_m t) \quad s(t) = A_c [1 + k_a A_m \cos(2\pi f_m t)] \cos(2\pi f_c t)$$

$$s(t) = A_c \cos(2\pi f_c t) + \frac{1}{2} \mu A_c \cos[2\pi (f_c + f_m) t] + \frac{1}{2} \mu A_c \cos[2\pi (f_c - f_m) t]$$



Örneğe Devam

$$S(f) = \frac{1}{2} A_c [\delta(f - f_c) + \delta(f + f_c)] + \frac{1}{4} \mu A_c [\delta(f - f_c - f_m) + \delta(f + f_c + f_m)] \\ + \frac{1}{4} \mu A_c [\delta(f - f_c + f_m) + \delta(f + f_c - f_m)]$$

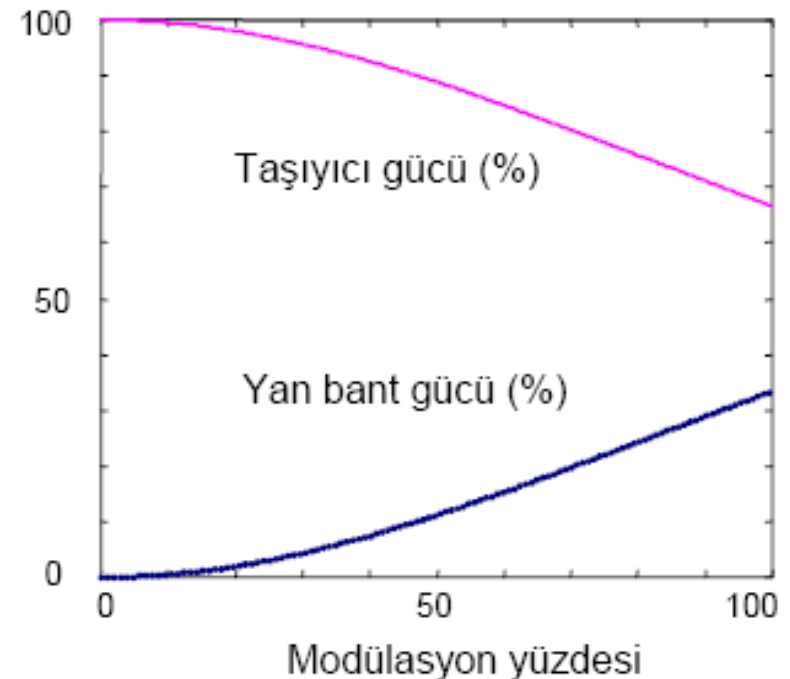
$$\frac{A_{\max}}{A_{\min}} = \frac{A_c (1 + \mu)}{A_c (1 - \mu)} \Rightarrow \mu = \frac{A_{\max} - A_{\min}}{A_{\max} + A_{\min}}$$

$$\text{Taşıyıcı Gücü} = \frac{1}{2} A_c^2$$

$$\text{Üst Yanbant Gücü} = \frac{1}{8} \mu^2 A_c^2$$

$$\text{Alt Yanbant Gücü} = \frac{1}{8} \mu^2 A_c^2$$

$$\text{Toplam Güç} = \frac{1}{4} A_c^2 (2 + \mu^2)$$



Genlik Modüleli Sinyallerin Üretimi

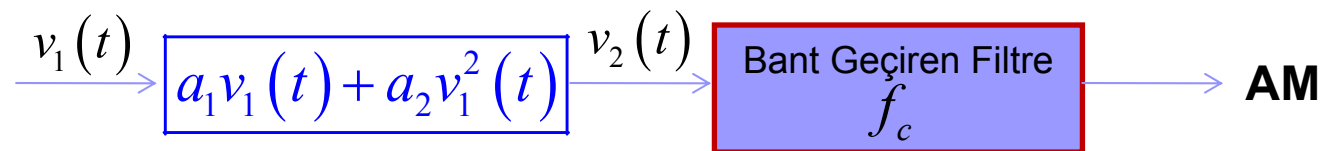
- Genlik modülasyonunda $f_c + f_m$ ve $f_c - f_m$ gibi yeni frekans bileşenlerinin ortaya çıktığı görüldü. Yeni frekans bileşenleri üretebilmek için genlik modüleli sinyal üreten elemanın ya *doğrusal olmayan* ya da *zamanla değişen* özelliği olmalıdır.
- *Doğrusal ve zamanla değişmeyen elemanlar yeni frekans bileşenleri üretemez.*

Genlik Modüleli Sinyallerin Üretimi

■ Kullanılan iki yöntem vardır:

- Kare Alma Yöntemi (Karesel Modülatör)
- Anahtarlama Yöntemi (Anahtarlama Modülatör)

■ Karesel Modülatör

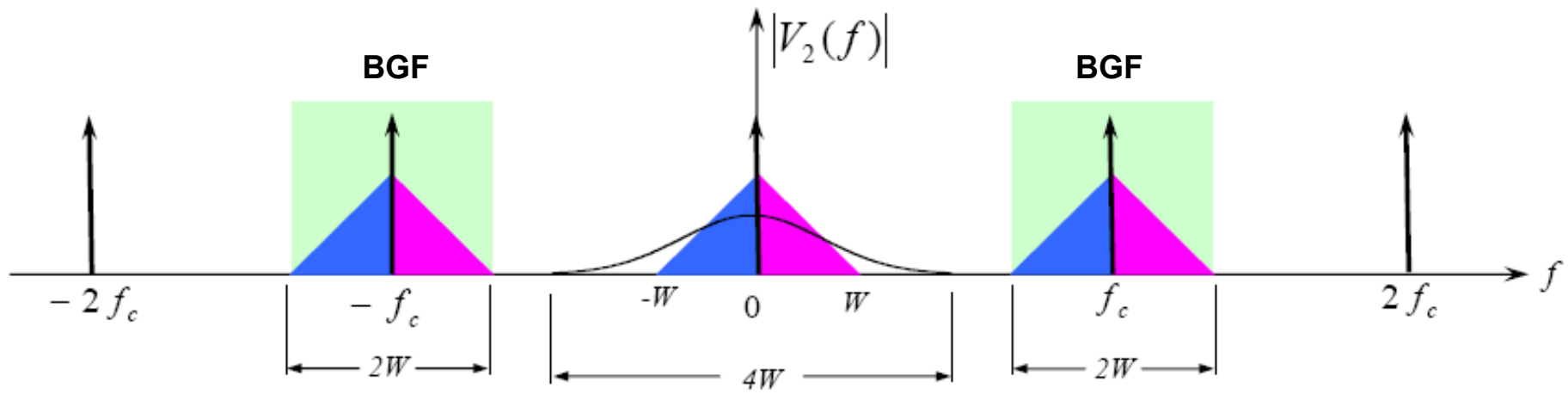
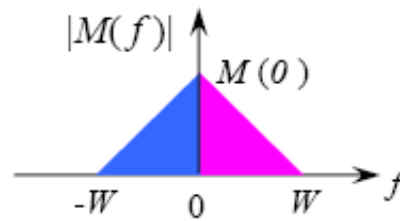


$$v_1(t) = A_c \cos(2\pi f_c t) + m(t)$$

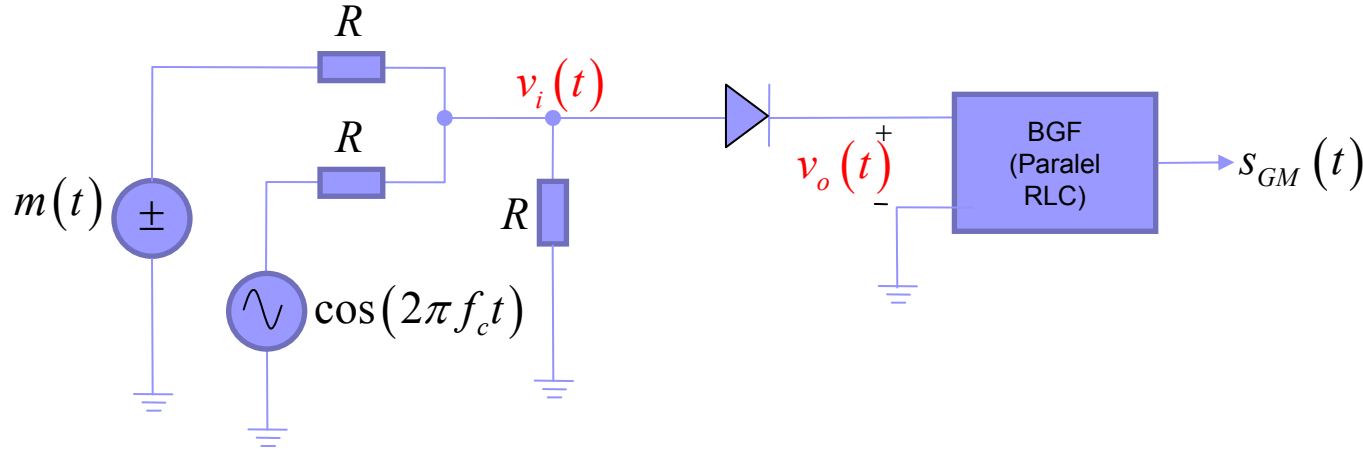
$$v_2(t) = a_1 v_1(t) + a_2 v_1^2(t)$$

$$v_2(t) = \underbrace{a_1 A_c \left[1 + \frac{2a_2}{a_1} m(t) \right] \cos(2\pi f_c t)}_{\text{Bant Geçiren Filtreden geçer.}} + \underbrace{a_1 m(t) + a_2 m^2(t) + a_2 A_c^2 \cos^2(2\pi f_c t)}_{\text{Bant Geçiren Filtre tarafından süzülür.}}$$

Karesel Modülatör



Karesel Modölatör Örneği



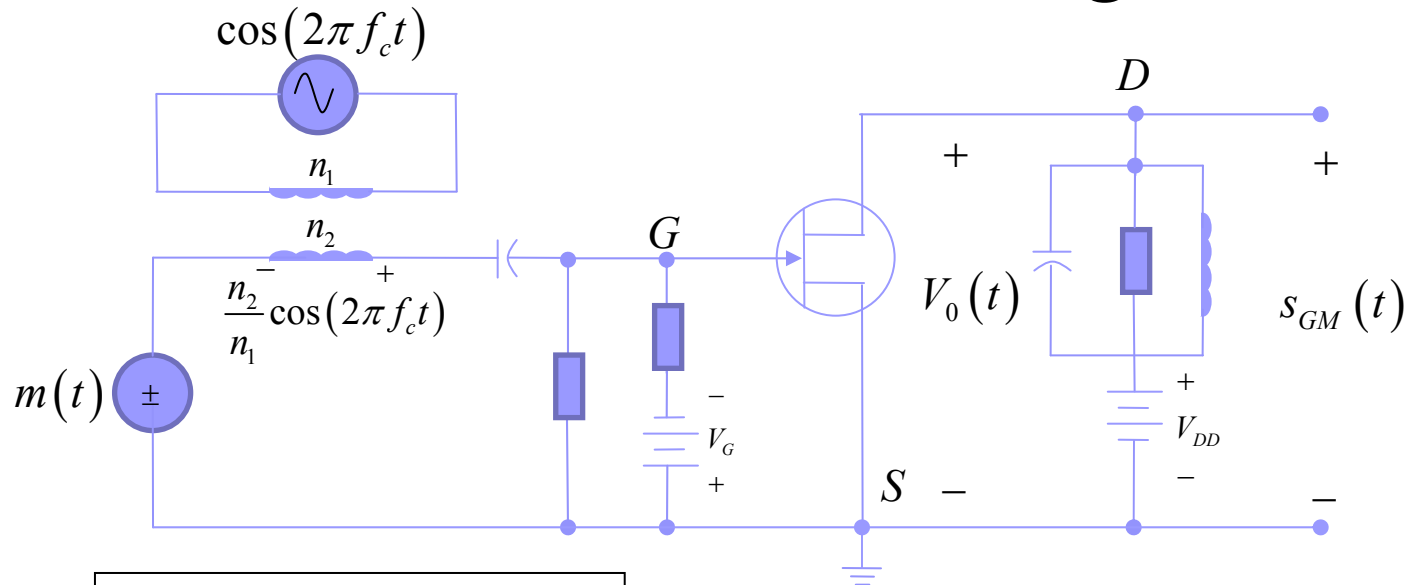
$$\frac{v_i(t) - m(t)}{R} + \frac{v_i(t) - \cos(2\pi f_c t)}{R} = \frac{v_i(t)}{R} \Rightarrow v_i(t) = m(t) + \cos(2\pi f_c t)$$

$$v_o(t) = a_1 v_i(t) + a_2 v_i^2(t) = a_1 (m(t) + \cos(2\pi f_c t)) + a_2 (m(t) + \cos(2\pi f_c t))^2$$

$$= \underbrace{a_1 m(t) + a_2 m^2(t) + \frac{a_2}{2} + \frac{a_2}{2} \cos(2\pi 2 f_c t)}_{\text{BGF tarafından süzölür}} + \underbrace{a_1 \left(1 + \frac{2a_2}{a_1} m(t) \right) \cos(2\pi f_c t)}_{\text{BGF'den geçer}}$$

$$s_{GM}(t) = a_1 \left(1 + \frac{2a_2}{a_1} m(t) \right) \cos(2\pi f_c t)$$

Karesel Modölatör Örneği



$$g_m = g_{m_0} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right)$$

$$V_{GS} = m(t) + \frac{n_2}{n_1} \cos(2\pi f_c t)$$

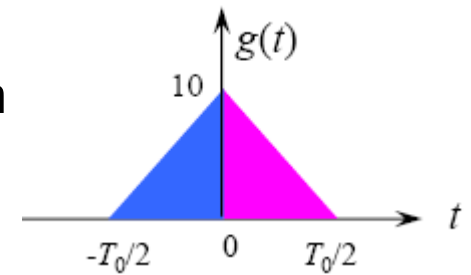
$$V_0(t) = -g_m V_{GS} r_d = -g_{m_0} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right) \left[m(t) + \frac{n_2}{n_1} \cos(2\pi f_c t) \right] r_d$$

$$V_0(t) = -g_{m_0} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right) V_{GS} r_d = -g_{m_0} V_{GS} r_d + \frac{g_{m_0}}{V_P} V_{GS}^2 r_d$$

$$= -g_{m_0} r_d \left[m(t) + \frac{n_2}{n_1} \cos(2\pi f_c t) \right] + \frac{g_{m_0}}{V_P} r_d \left[m(t) + \frac{n_2}{n_1} \cos(2\pi f_c t) \right]^2$$

Örnek

$m(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} g(t - nT_0)$ mesaj sinyali ile, modülasyon yüzdesi %25 ve taşıyıcı gücü 50 W olan bir AM sinyalini üretecek karesel modülatörü tasarlayınız.

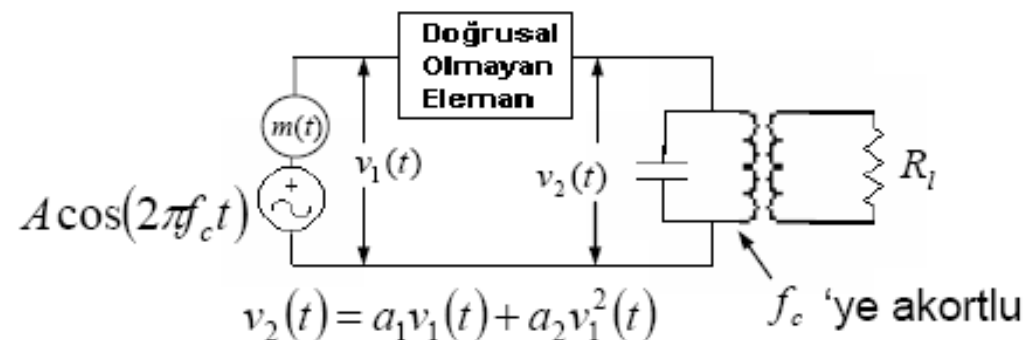


Karesel modülatör çıkışı : $v_2(t) = a_1 A \left[1 + \frac{2a_2}{a_1} m(t) \right] \cos(2\pi f_c t)$

$$\left. \begin{aligned} \mu = \max |k_a m(t)| &= 0.25 \\ 50 &= \frac{1}{2} A_c^2 \end{aligned} \right\} A_c = 10 \quad k_a = 0.025$$

Burada, $A_c = a_1 A \Rightarrow a_1 = \frac{A_c}{A}$

$$k_a = \frac{2a_2}{a_1} \Rightarrow a_2 = \frac{A_c}{2A} k_a$$



Örnek

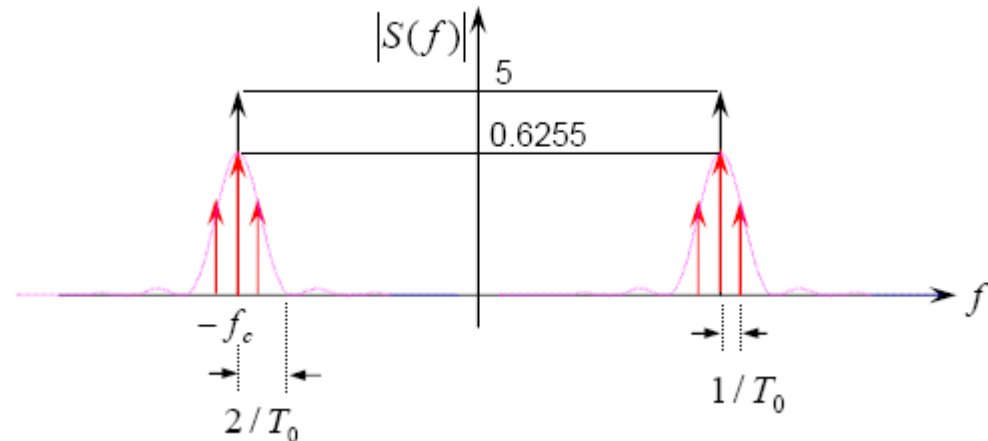
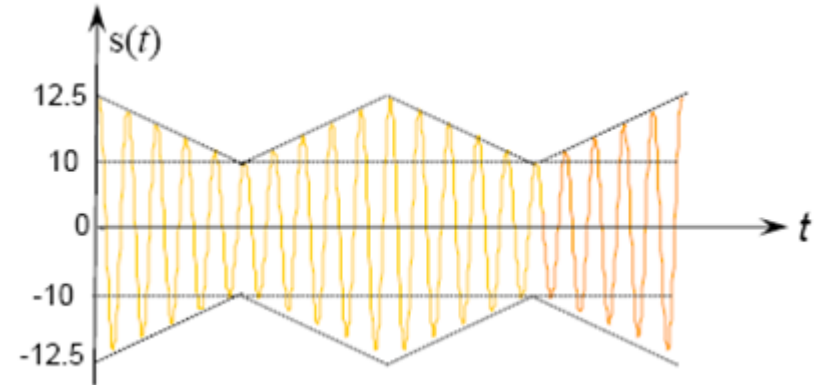
Bir önceki örnekte üretilen AM sinyalinin zaman bölgesindeki şeklini ve genlik spektrumunu sayısal değerleri ile çiziniz.

$$s(t) = 10[1 + 0.025m(t)] \cos(2\pi f_c t)$$

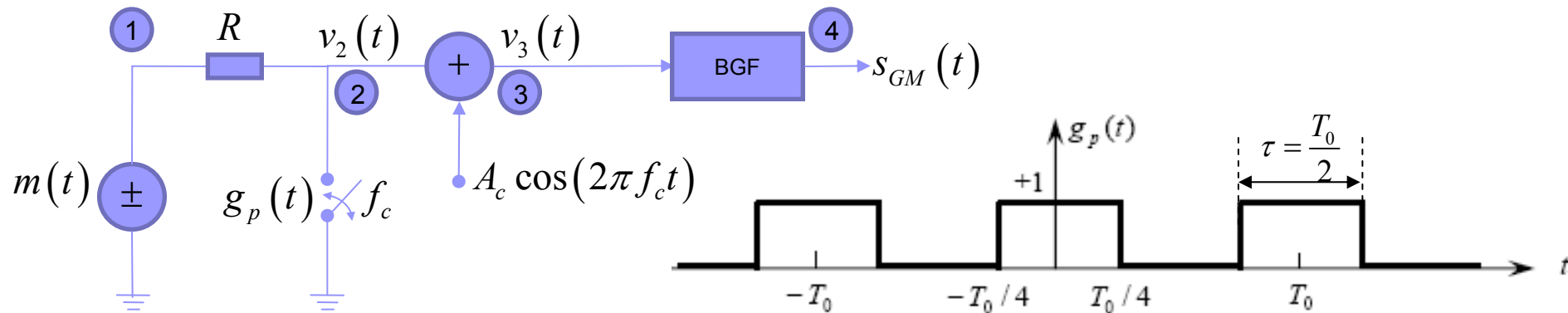
$$m(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} g(t - nT_0) \text{ sinyali periyodik olduğundan spektrumu ayırıktır.}$$

$$G(f) = 5T_0 \sin^2(f T_0/2)$$

$$M(f) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} 5 \sin^2\left(\frac{n}{2}\right) \delta\left(f - \frac{n}{T_0}\right)$$



Anahtarlama Modülatör



$$v_2(t) = m(t)g_p(t)$$

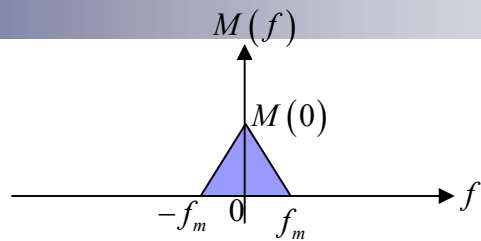
$$d = \frac{\tau}{T_0} = \frac{T_0/2}{T_0} = \frac{1}{2} \Rightarrow g_p(t) = \frac{1}{2} + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin(n\pi/2)}{n\pi/2} \cos(n2\pi f_c t)$$

$$= \underbrace{\frac{1}{2}m(t)}_{\text{Bilgi Sinyali}} + \underbrace{\frac{2}{\pi}m(t)\cos(2\pi f_c t) - \frac{2}{3\pi}m(t)\cos(2\pi 3f_c t) + \dots}_{\text{Taşıyıcı frekansı etrafındaki yanbantlar (çift yanbant terimi)}}$$

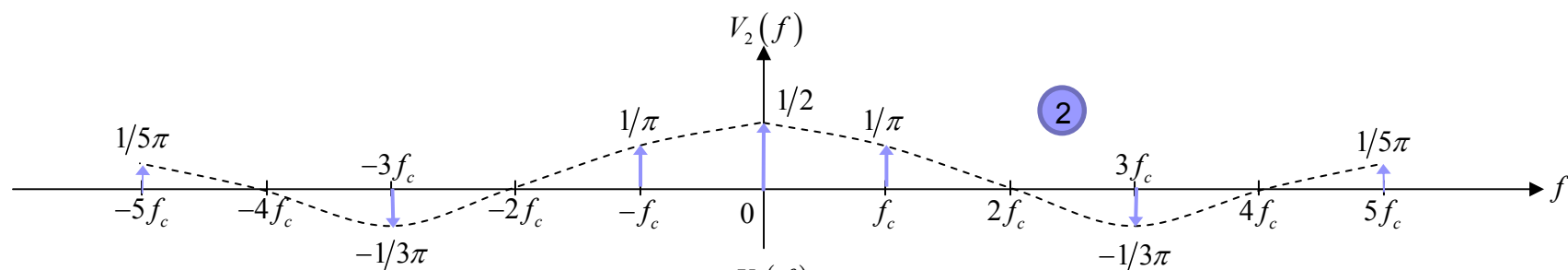
Tasıyıcının üçüncü harmoniği etrafındaki yanbantlar

$$v_3(t) = v_2(t) + A_c \cos(2\pi f_c t) = \frac{1}{2}m(t) + \frac{2}{\pi}m(t)\cos(2\pi f_c t) - \frac{2}{3\pi}m(t)\cos(2\pi 3f_c t) + \dots + A_c \cos(2\pi f_c t)$$

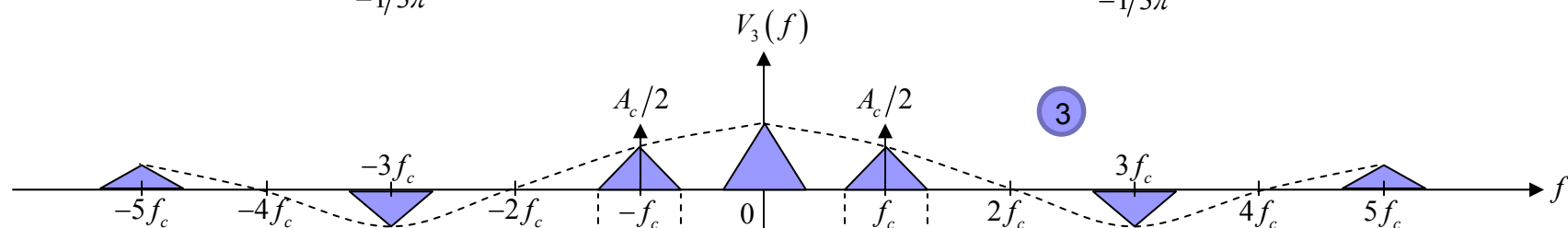
$$s_{GM}(t) = \frac{2}{\pi}m(t)\cos(2\pi f_c t) + A_c \cos(2\pi f_c t)$$



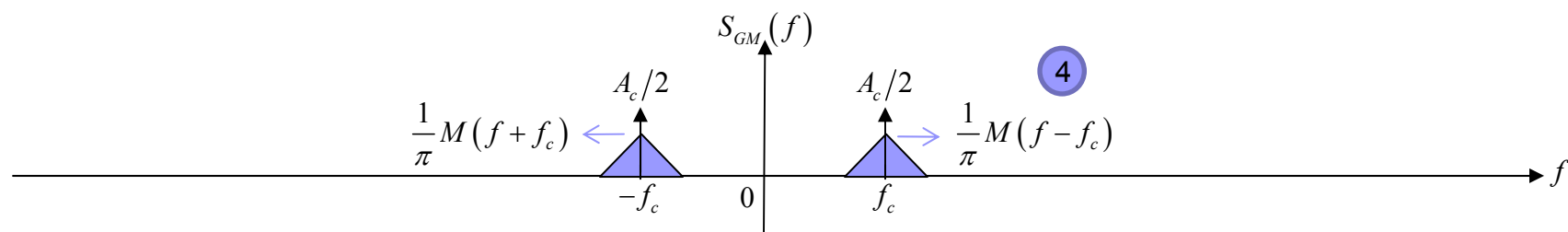
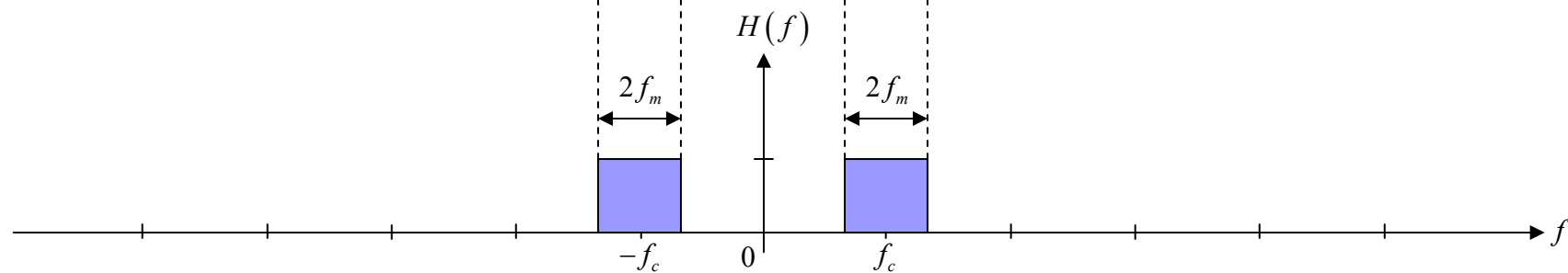
1



2

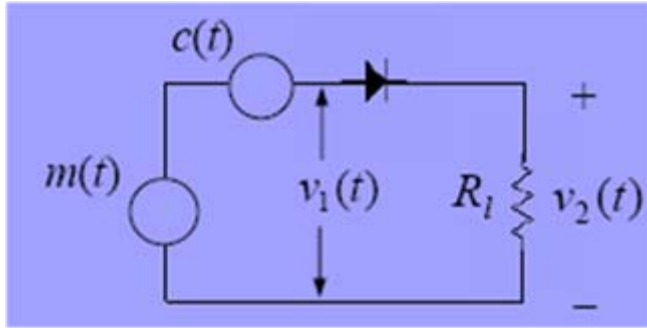


3



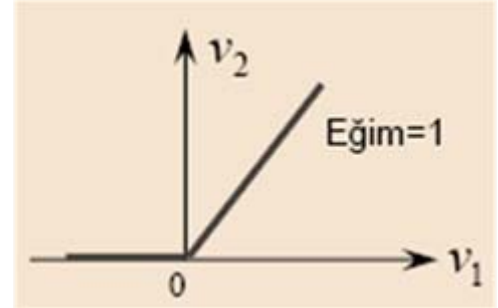
4

Anahtarlama Modülatör Örneği



$$v_2(t) \cong \begin{cases} v_1(t) & , \quad v_1(t) > 0 \\ 0 & , \quad v_1(t) < 0 \end{cases}$$

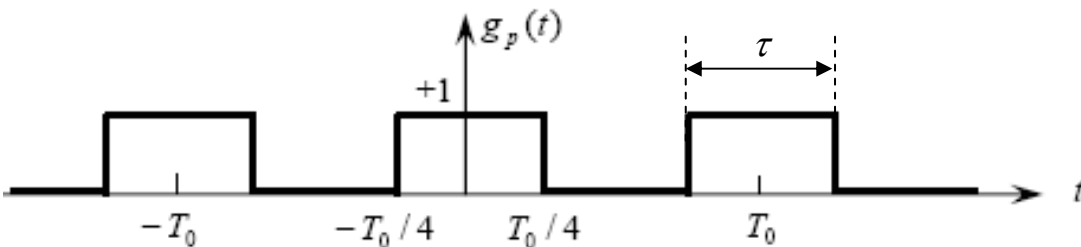
$$v_1(t) = A_c \cos(2\pi f_c t) + m(t)$$



Parçalı Doğrusal Modülatör

$$g_p(t) = \frac{d}{2} + 2d \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin(n\pi d)}{n\pi d} \cos(n2\pi f_c t)$$

$$d = \frac{\tau}{T_0} \quad \tau = \frac{T_0}{2}$$



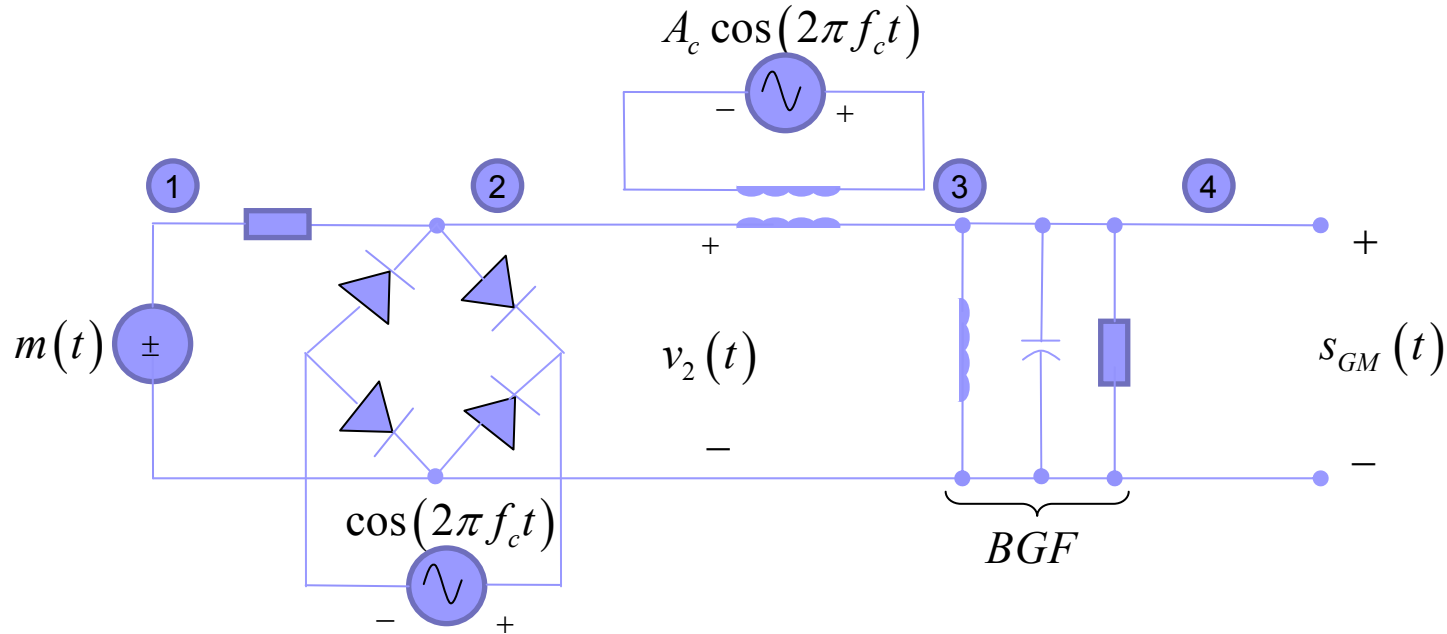
R_L direnci yerine merkez frekansı f_c olan, bantgenişliği ise $2f_m$ olan bir BGF kullanılırsa, ıkış aşağıdaki gibi olur.

$$v_2(t) = [A_c \cos(2\pi f_c t) + m(t)] g_p(t)$$

$$= \frac{A_c}{2} \left[1 + \frac{4}{\pi A_c} m(t) \right] \cos(2\pi f_c t)$$

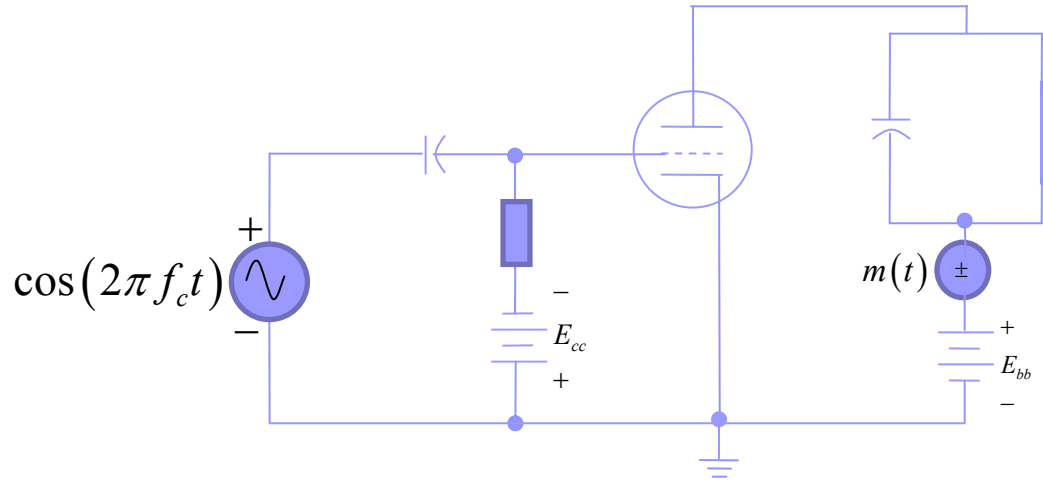
$$k_a = \frac{4}{\pi A_c}$$

Anahtarlama Modölatör Örneği



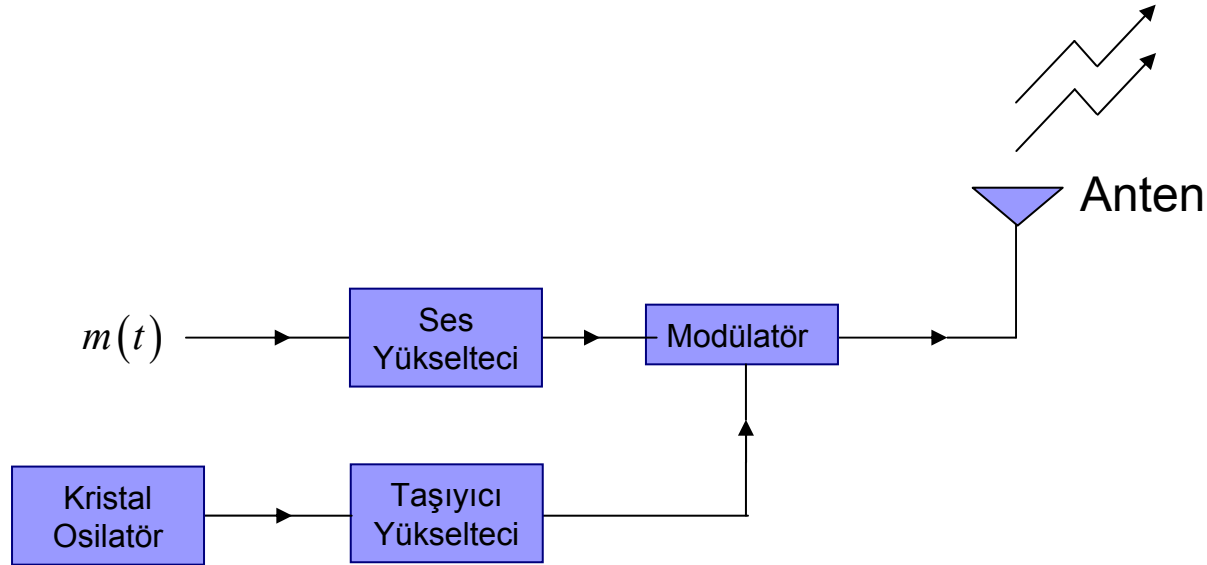
Bu devre basit bir anahtarlama modölatör devresidir. Burada anahtar olarak bir diyot köprüsü kullanılmıştır. Anahtarlamanın f_c Hz frekansında olabilmesi için diyot köprüsüne f_c Hz frekansında bir osilatör uygulanmıştır.

Akortlu Devre Modölatörü



Bu yöntem yüksek güç düzeylerinde genlik modüleli sinyal elde etmek için kullanılır. Bu modölatör, anodundan modülasyon verilen C sınıfı bir yükselteç olarak çalışır. Standart genlik modüleli vericilerde bu tür modölatörler yaygın olarak kullanılır. Triyot yerine pentot tüp ya da yüksek güçlü yarı iletken eleman kullanılabilir.

Genlik Modülasyonlu Bir Vericinin Blok Diyagramı



Yüksek düzeyli modülatör içeren bir genlik modülasyonlu vericinin blok diyagramı aşağıda verilmiştir. Taşıyıcı frekansının kararlı olabilmesi için taşıyıcı dalga kristal denetimli bir osilatör tarafından üretilir.

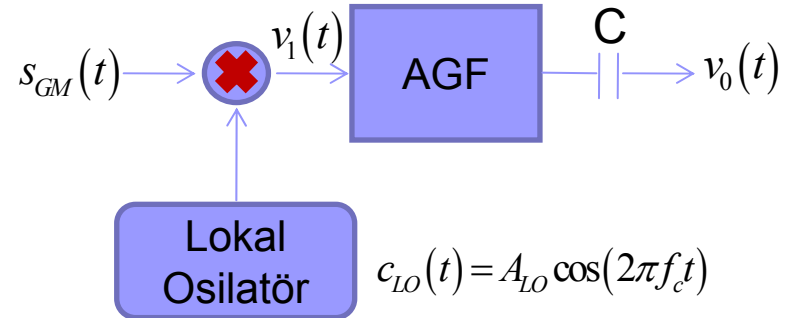
GM Sinyallerin Demodülasyonu

■ Genlik modülasyonunda demodülasyon iki yöntem kullanılarak yapılır.

□ Eşzamanlı Çözme

□ Zarf Çözümü

Eşzamanlı Çözme



$$v_1(t) = s_{GM}(t) A_{LO} \cos(2\pi f_c t)$$

$$\begin{aligned} v_1(t) &= \left\{ A_c [1 + \mu m(t)] \cos(2\pi f_c t) \right\} A_{LO} \cos(2\pi f_c t) = \frac{A_c A_{LO}}{2} [1 + \mu m(t)] [1 + \cos(2\pi 2f_c t)] \\ &= \frac{A_c A_{LO}}{2} + \frac{A_c A_{LO}}{2} \cos(2\pi 2f_c t) + \frac{A_c A_{LO}}{2} \mu m(t) + \frac{A_c A_{LO}}{2} \mu m(t) \cos(2\pi 2f_c t) \end{aligned}$$

$$v_0(t) = \mu \frac{A_c A_{LO}}{2} m(t)$$

GM Sinyallerin Demodülasyonu

Zarf Çözümü

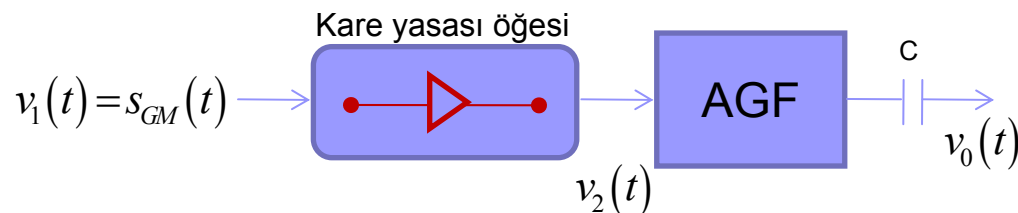
$$v_1(t) = s_{GM}(t) = A_c [1 + \mu m(t)] \cos(2\pi f_c t)$$

$$v_2(t) = a_1 v_1(t) + a_2 v_1^2(t)$$

$$= a_1 A_c [1 + \mu m(t)] \cos(2\pi f_c t) + \frac{1}{2} a_2 A_c^2 [1 + 2\mu m(t) + \mu^2 m^2(t)] [1 + \cos(4\pi f_c t)]$$

$$v_0(t) = a_2 A_c^2 \mu m(t) + \frac{a_2 A_c^2 \mu^2}{2} m^2(t) \longrightarrow \text{İkinci harmonik bozulması} \quad \text{Bozulma Oranı} = \frac{2}{\mu m(t)}$$

Dikkat!!! Bozulma oranı $k_a < 1$ yapılarak azaltılabilir!

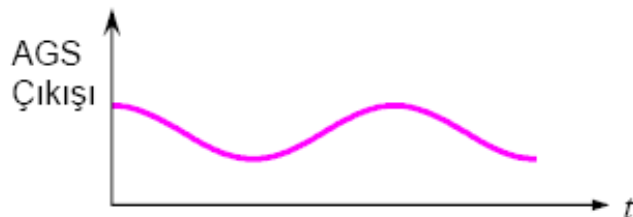
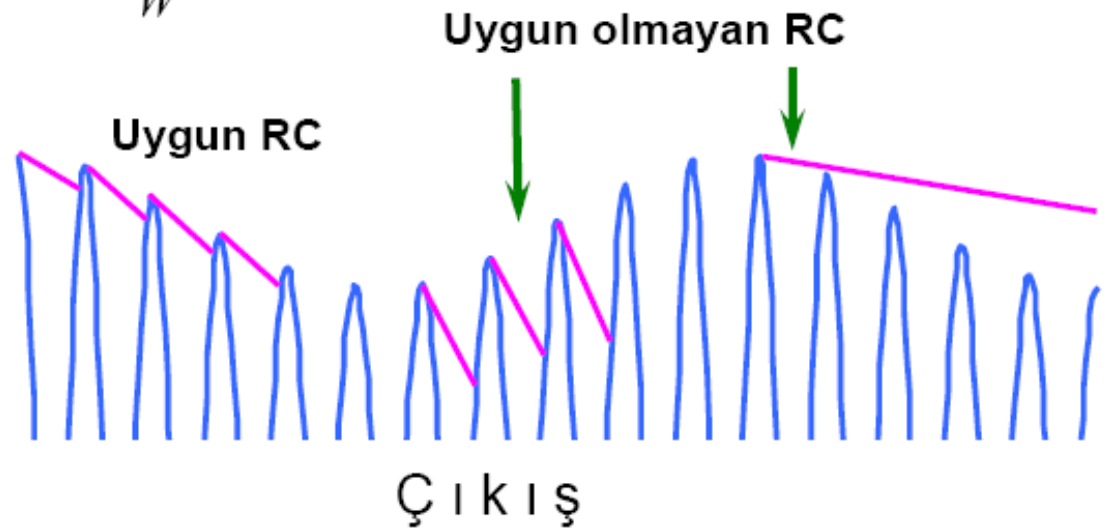
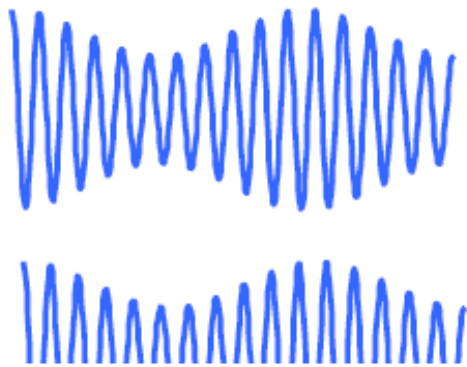
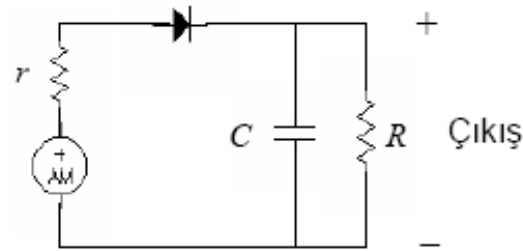


GM Sinyallerin Demodülasyonu

Zarf Takipçisi

Dolma zamanı $rC \ll \frac{1}{f_c}$

Boşalma zamanı $\frac{1}{f_c} \ll RC \ll \frac{1}{W}$

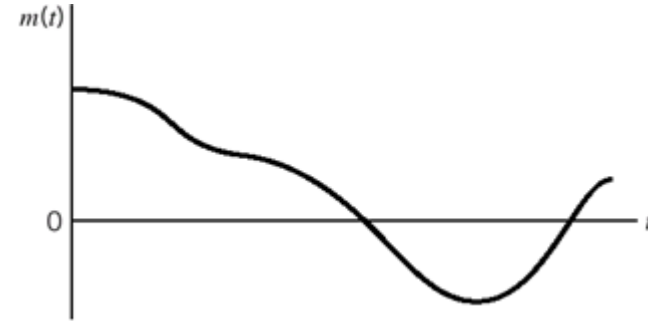


Taşıyıcısı Bastırılmış (TB) Genlik Modülasyonu

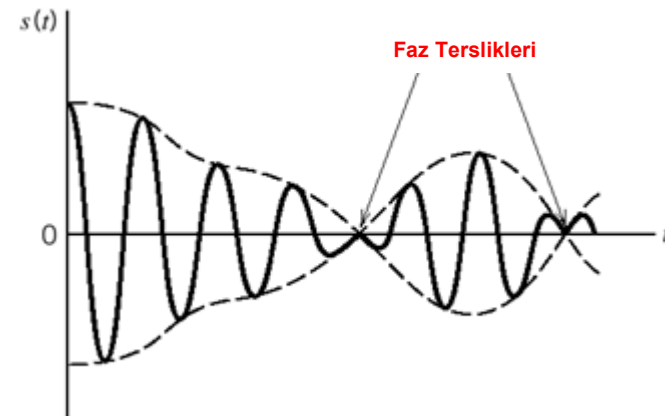
TB Genlik Modüleli sinyal
aşağıdaki yöntemlerle
üretilebilir:

1. **Çarpıcı Modülatör**
(Product Modulator)
2. **Anahtarlama Modülatörü**
(Switching Modulator)
ya da **Ring Modülatörü**
(Ring Modulator)
3. **Kare Yasası Modülatörü**
(Square Law Modulator)
4. **Dengeli Modülatör**
(Balanced Modulator)

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



Bilgi Sinyali

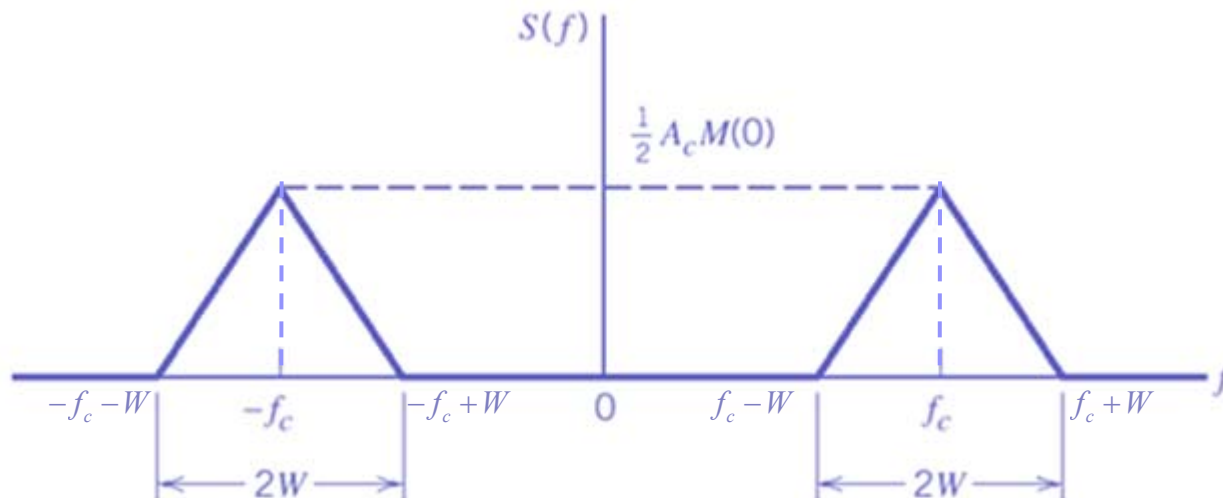
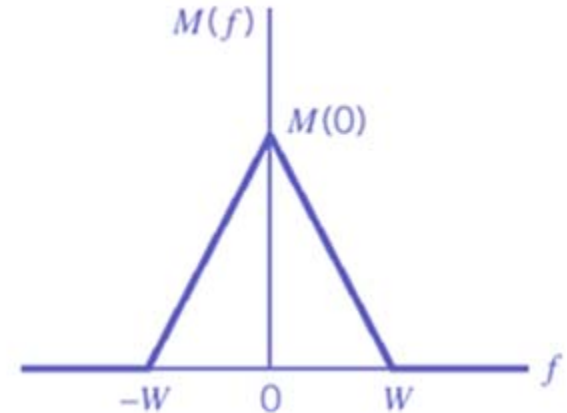


TB Genlik Modülasyonlu Sinyal

TB-ÇYB Genlik Modülasyonu

$$s(t) = A_c \cos(2\pi f_c t) m(t)$$

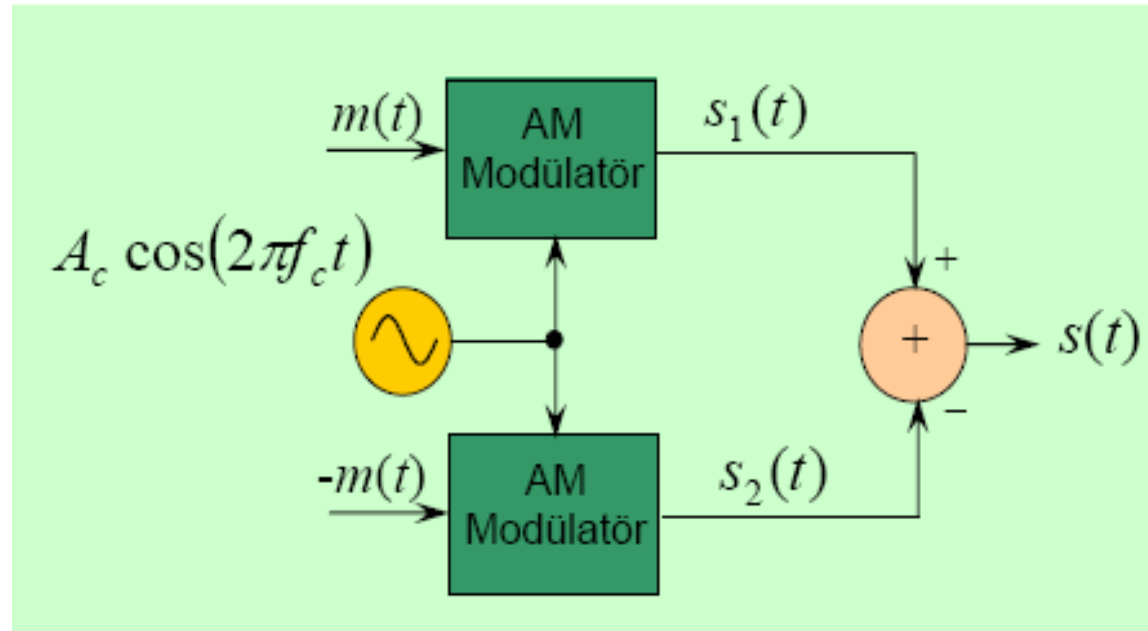
$$S(f) = \frac{1}{2} A_c [M(f - f_c) + M(f + f_c)]$$



TB-ÇYB GM Sinyallerin Üretimi

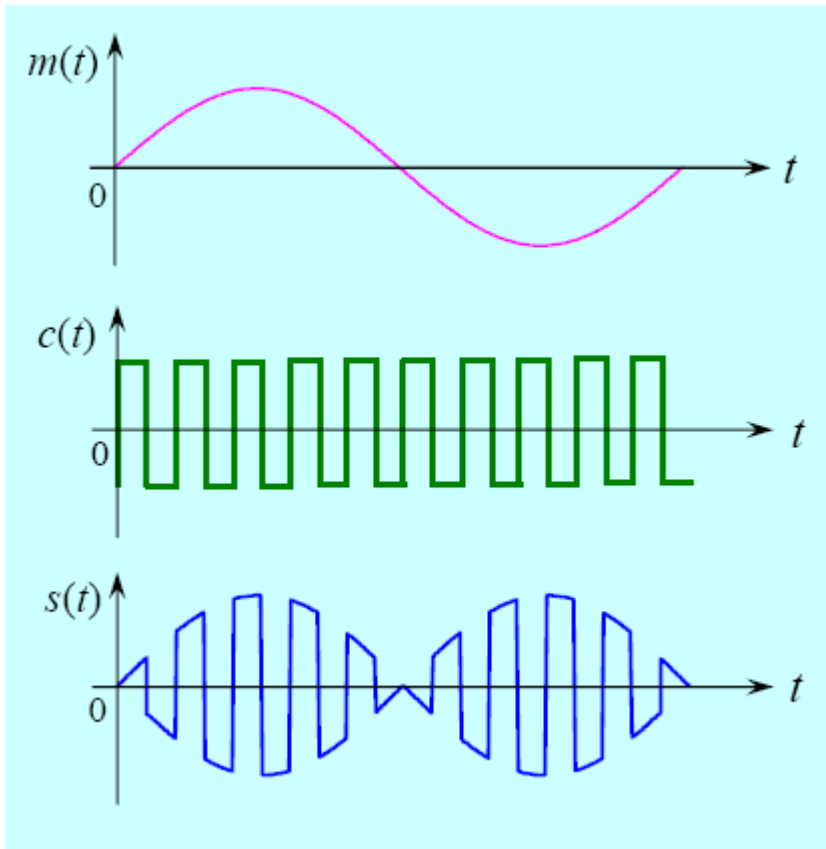
Dengeli Modülatör

$$\begin{aligned}s_1(t) &= A_c [1 + \mu m(t)] \cos(2\pi f_c t) \\ s_2(t) &= A_c [1 - \mu m(t)] \cos(2\pi f_c t) \\ s(t) &= s_1(t) - s_2(t) \\ &= 2\mu A_c \cos(2\pi f_c t) m(t)\end{aligned}$$

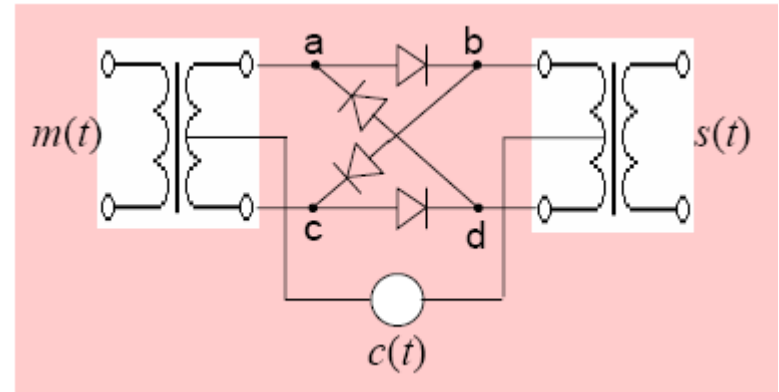


TB-ÇYB GM Sinyallerin Üretimi

Ring Modülatörü



$$s(t) = c(t)m(t)$$



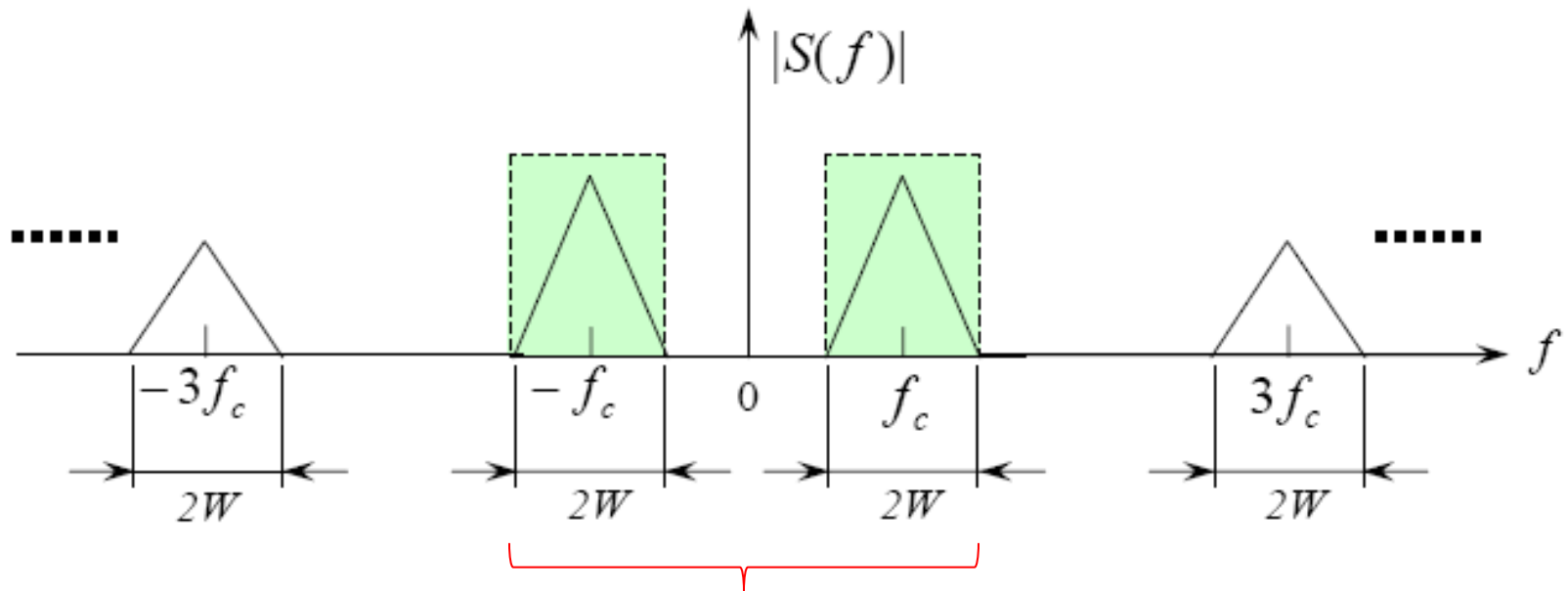
$$c(t) = \frac{d}{2} + 2d \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin(n\pi d)}{n\pi d} \cos(n2\pi f_c t)$$

$$s(t) = \left[\frac{d}{2} + 2d \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin(n\pi d)}{n\pi d} \cos(n2\pi f_c t) \right] m(t)$$

$$d = \frac{\tau}{T_0} \quad \text{ve} \quad \tau = \frac{T_0}{2} \Rightarrow d = \frac{1}{2} \text{ ' dir.}$$

Ring Modülatörü Çıkış Spektrumu

$$s(t) = \left[\frac{d}{2} + 2d \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin(n\pi d)}{n\pi d} \cos(n2\pi f_c t) \right] m(t)$$



$$\frac{4}{\pi} \cos(2\pi f_c t) m(t) \longrightarrow \text{Arzu edilen sinyal}$$

TB-ÇYB GM

Sinyallerin Demodülasyonu

$$\begin{aligned} v(t) &= A_{LO} \cos(2\pi f_c t + \phi) s(t) = A_c A_{LO} \cos(2\pi f_c t) \cos(2\pi f_c t + \phi) m(t) \\ &= \frac{1}{2} A_c A_{LO} \cos(4\pi f_c t + \phi) m(t) + \frac{1}{2} A_c A_{LO} \cos(\phi) m(t) \end{aligned}$$

