



ELK 307

İletişim Kuramı-I

Nihat KABAOĞLU

Ders 5

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

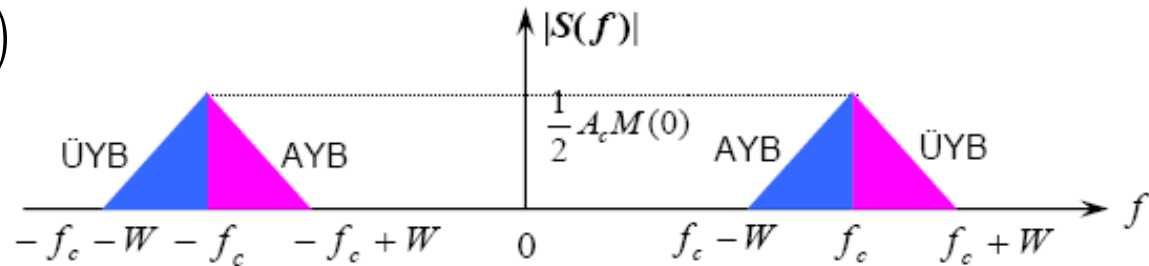
Genlik Modülasyonu

Tek Yan Bant(TYB) Modülasyonu

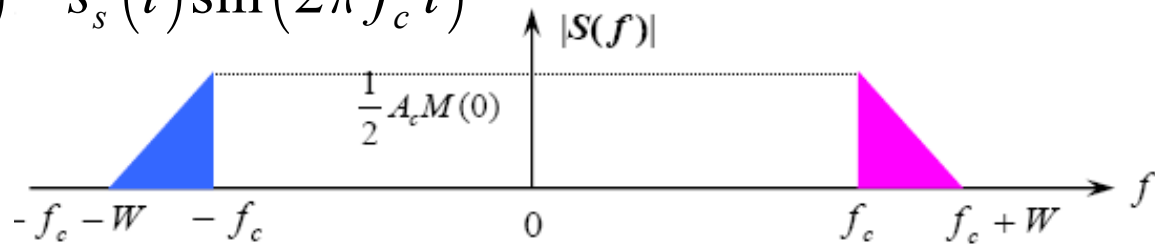
- TB-GM sinyalindeki yanbantlardan biri çıkarılırsa tek yanbant sinyali elde edilir.
- Bu sayede verici gücü ve bantgeniřlięi yarıya indirilir.
- Bantgeniřlięi az olması nedeniyle TYB modüleli sinyaller GM ve TB-GM sinyallerine oranla sönümleme (fading)' den daha az etkilenir.
- TYB modülasyonu, önemli miktarda alçak frekans bileřenleri olan sinyaller için uygun deęildir.
- TYB modülasyonu 2-25MHz arasında askeriye ve polis teşkilatında telsiz haberleşmesi için kullanılır.
- Alıcı yapısı karmaşık ve pahalı olduğundan radyo yayıncılığı için kullanılmaz.
- TYB sinyali iki yöntemle üretilir.
 - Süzgeç ya da Frekans Ayırma Yöntemi
 - Faz Kaydırma ya da Faz Ayırma Yöntemi

TYB Modülasyonu

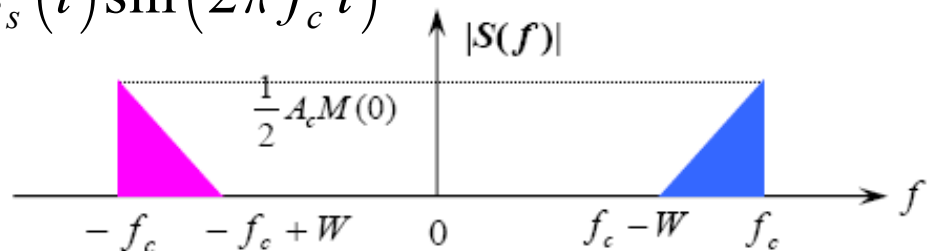
$$s(t) = m(t) \cos(2\pi f_c t)$$



$$s(t) = s_c(t) \cos(2\pi f_c t) - s_s(t) \sin(2\pi f_c t)$$



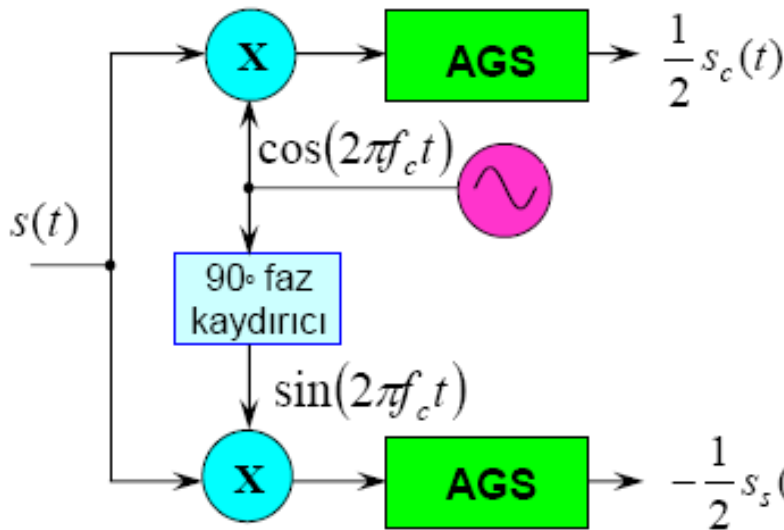
$$s(t) = s_c(t) \cos(2\pi f_c t) + s_s(t) \sin(2\pi f_c t)$$



TYB Modülasyonu

$$s(t) = s_c(t) \cos(2\pi f_c t) - s_s(t) \sin(2\pi f_c t)$$

$$s(t) = \frac{1}{2} A_c m(t) \cos(2\pi f_c t) - \frac{1}{2} A_c \hat{m}(t) \sin(2\pi f_c t)$$



$$S_c(f) = \begin{cases} S(f - f_c) + S(f + f_c) & , \quad -W \leq f \leq W \\ 0 & , \quad \text{diğer} \end{cases}$$

Eş Fazlı Bileşen

$$S_s(f) = \begin{cases} j[S(f - f_c) - S(f + f_c)] & , \quad -W \leq f \leq W \\ 0 & , \quad \text{diğer} \end{cases}$$

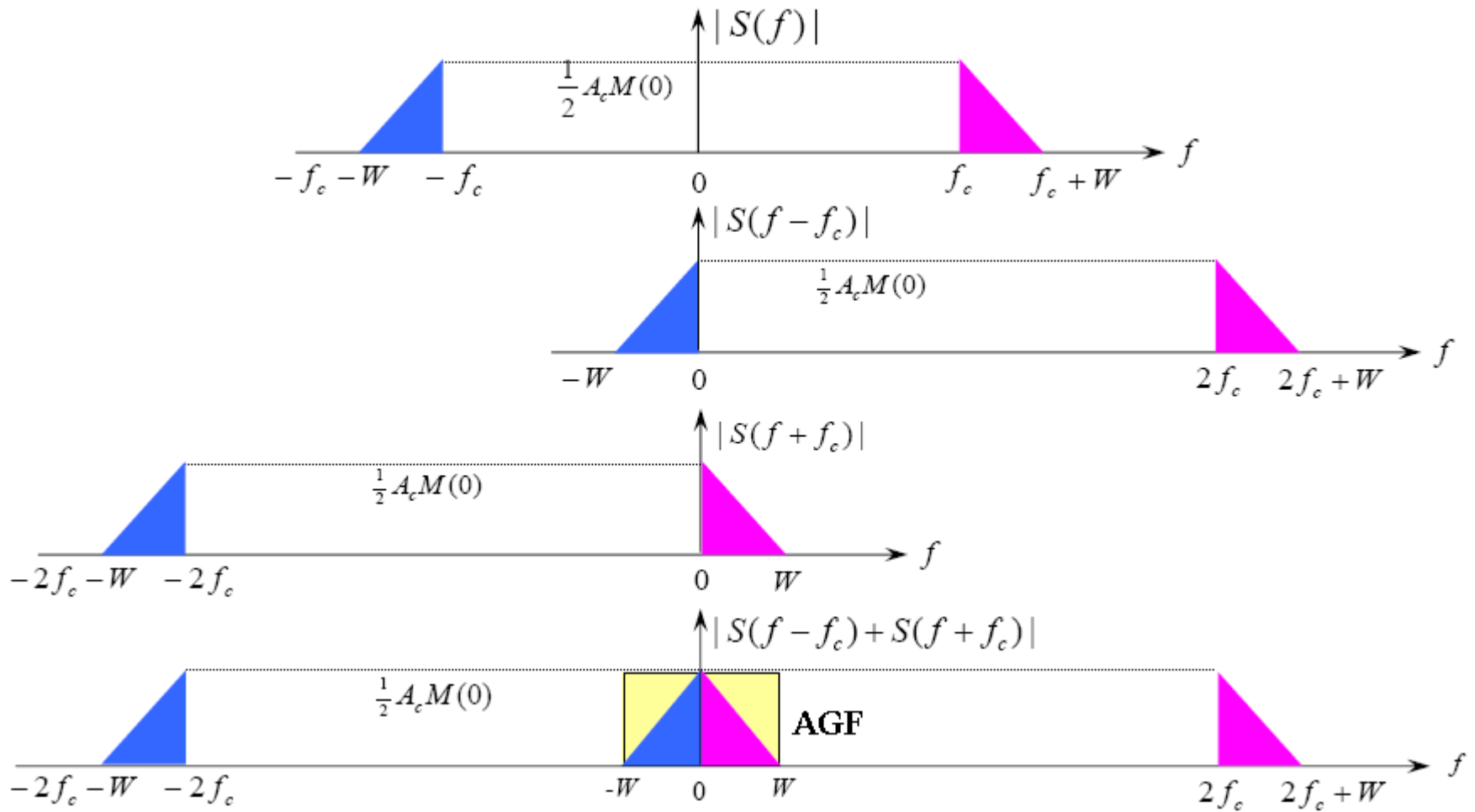
Dik Fazlı Bileşen

$$\begin{aligned} s(t) \cos(2\pi f_c t) &= s_c(t) \cos^2(2\pi f_c t) - s_s(t) \sin(2\pi f_c t) \cos(2\pi f_c t) \\ &= s_c(t) \left[\frac{1 + \cos(4\pi f_c t)}{2} \right] - \frac{s_s(t)}{2} \sin(4\pi f_c t) \end{aligned}$$



$$AGF \text{ Çıkışı} = \frac{1}{2} s_c(t)$$

TYB-GM Eş Fazlı Bileşen

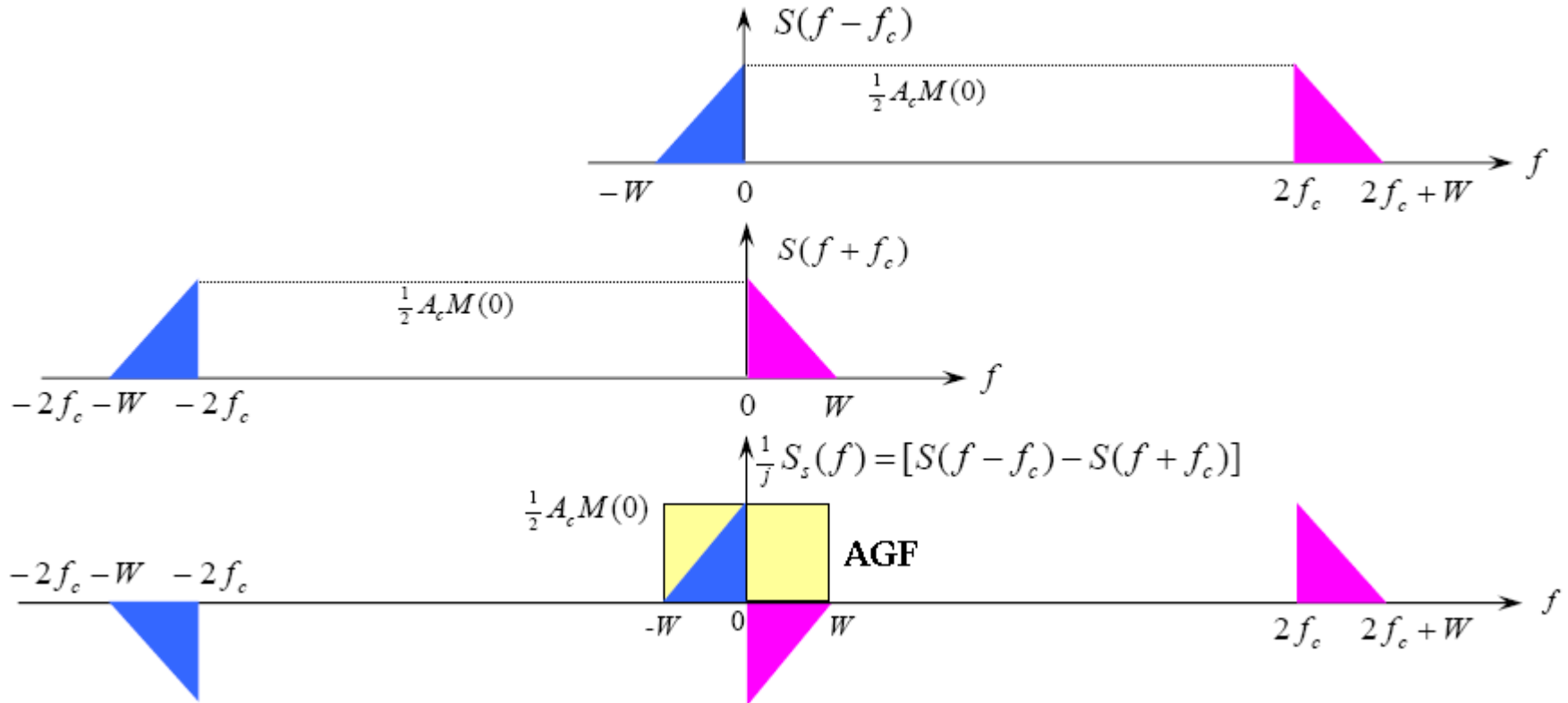


$$S_c(f) = \frac{1}{2} A_c M(f)$$



$$s_c(t) = \frac{1}{2} A_c m(t)$$

TYB-GM Dik Fazlı Bileşen



$$S_s(f) = \begin{cases} -\frac{j}{2}A_c M(f) & , f > 0 \\ 0 & , f = 0 \\ \frac{j}{2}A_c M(f) & , f < 0 \end{cases} = -\frac{j}{2}A_c \operatorname{sgn}(f)M(f)$$

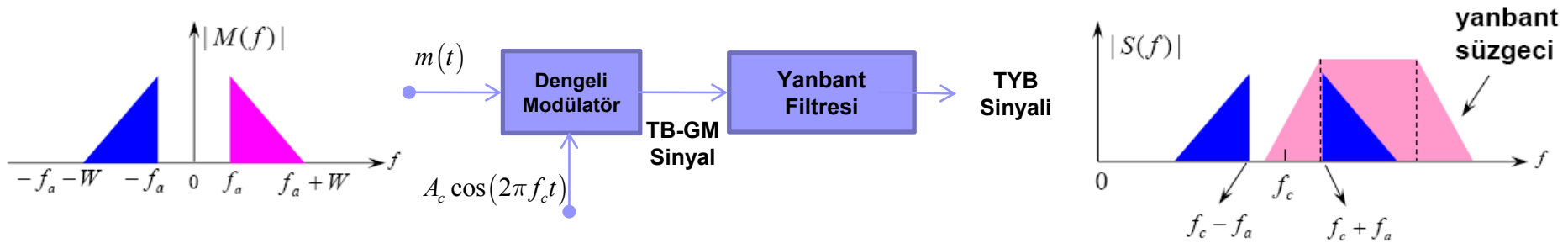


$$s_s(t) = \frac{1}{2}A_c m(t)$$

TYB Modüleli Sinyallerin Üretimi

Filtre Yöntemiyle TYB Sinyalinin Üretilmesi

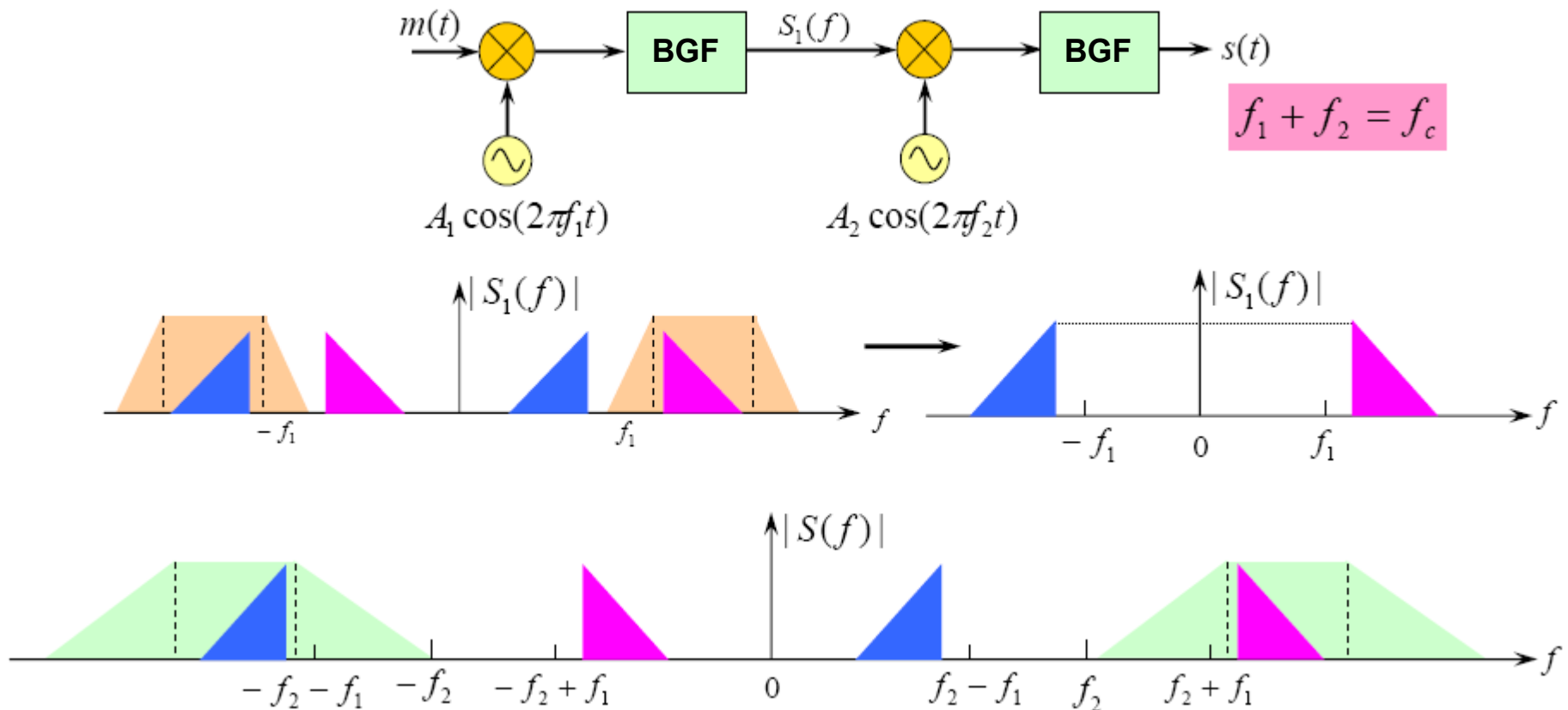
Bu yöntem TB-GM sinyaldeki yanbantlardan birinin filtre ile süzülerek bastırılması ilkesine dayanır ve faz kaydırma yöntemine göre daha basittir.



Keskin kesimli filtrelerin tasarımı alçak frekanslarda daha kolay olacağı için TYB sinyali bu frekanslarda üretildikten sonra yüksek frekanslara kaydırılır. Bu sayede, istenen frekans bileşenlerinden yeteri kadar uzakta bulunan, yüksek frekanslı, istenmeyen frekans bileşenlerini bastırmak için keskin kesimli olmayan filtreler yeterli olur. Yanbant filtresinin geçiş bandı istenilen yanbandı içine almalı ve geçiş bandı mesaj sinyalinin en küçük frekans bileşeninin en çok iki katı kadar olmalıdır.

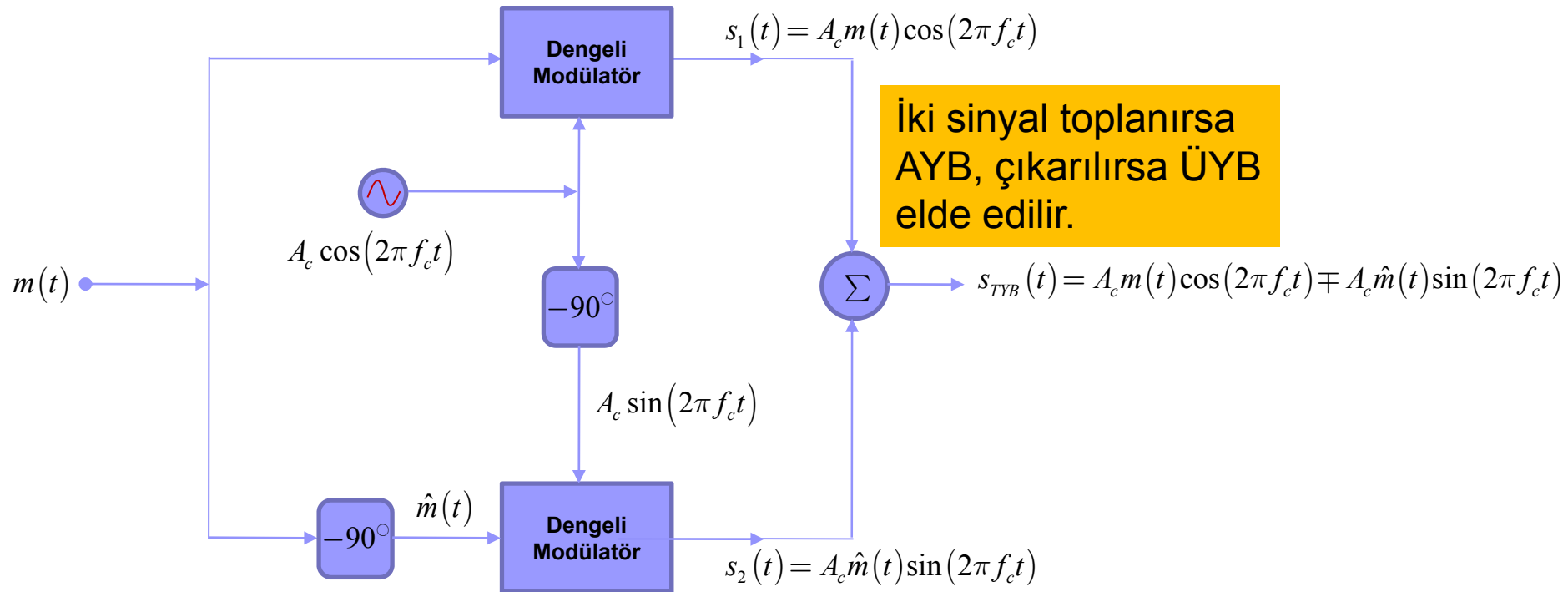
TYB Modüleli Sinyallerin Üretimi

Radio frekansında seçiciliği yüksek süzgeçler yapmak zor olduğundan modülasyon iki aşamada yapılır.



Tek Yan Bant(TYB) Modülasyonu

Faz Kaydırma Yöntemiyle TYB Sinyalinin Üretilmesi

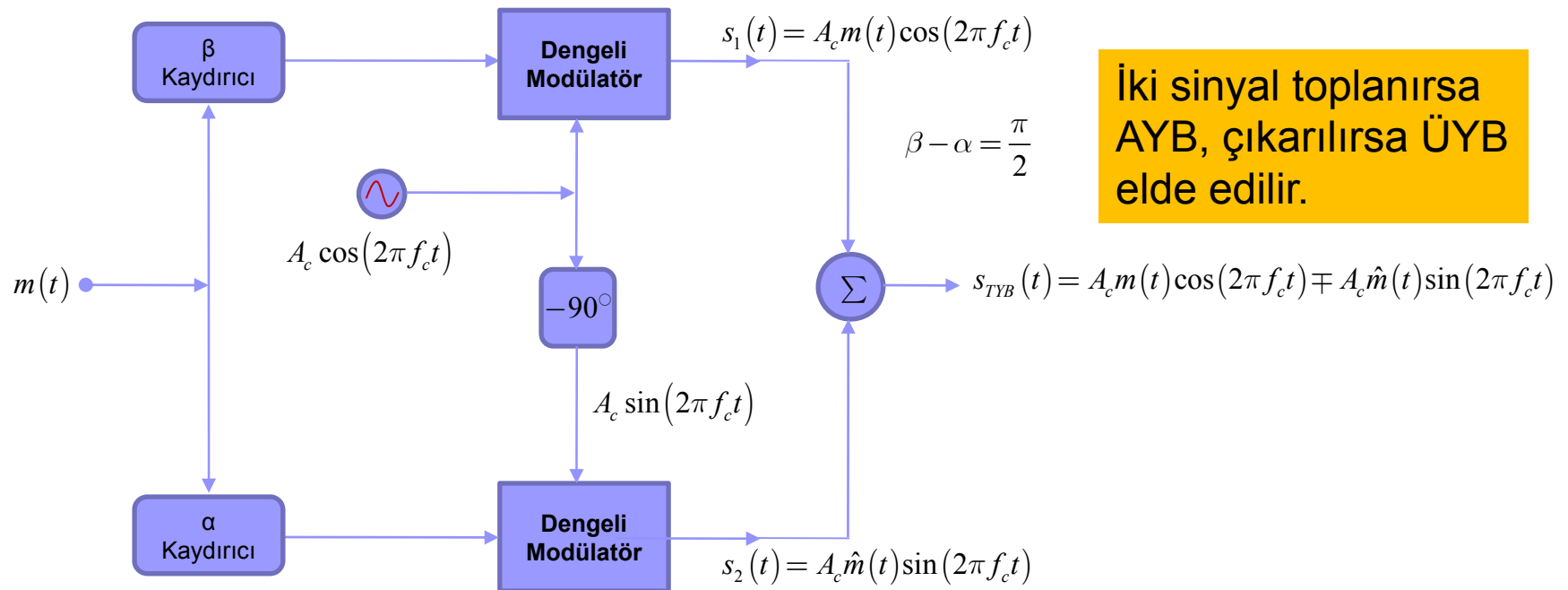


Hartley modülatörü olarak da bilinir.
U.S. patent 1666206, April 17, 1928

Tek Yan Bant(TYB) Modülasyonu

Faz Kaydırma Yöntemiyle TYB Sinyali Üretilmesi

İstenilen bant genişliği boyunca sabit faz kaydırıcı yapmak pratikte zor olduğundan, farkı 90° olan iki ayrı kaydırıcı devre kullanır.



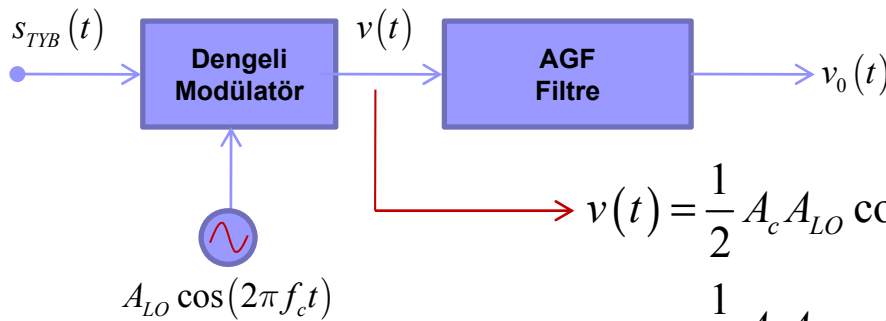
TYB Modüleli Sinyallerin Demodülasyonu

TYB modüleli sinyallerin demodülasyonu için iki yöntem uygulanabilir.

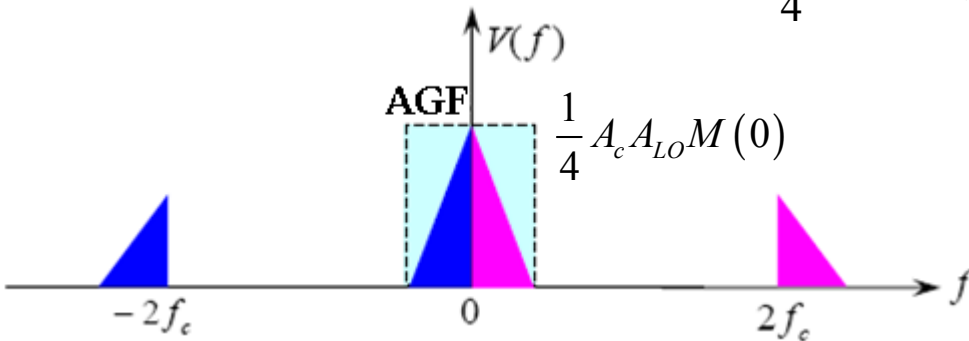
1. Eş Zamanlı Çözme

2. Zarf Çözümü

Eşzamanlı Çözme



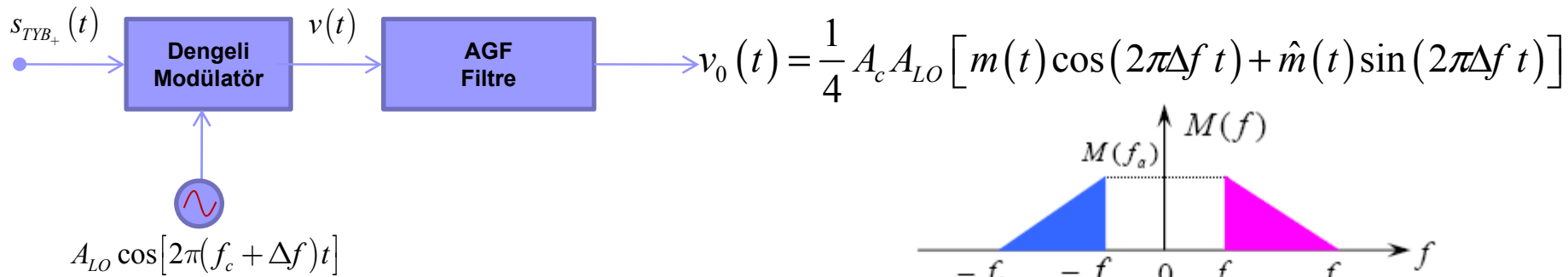
$$\begin{aligned} v(t) &= \frac{1}{2} A_c A_{LO} \cos(2\pi f_c t) [m(t) \cos(2\pi f_c t) - \hat{m}(t) \sin(2\pi f_c t)] \\ &= \frac{1}{4} A_c A_{LO} m(t) + \frac{1}{4} A_c A_{LO} [m(t) \cos(4\pi f_c t) - \hat{m}(t) \sin(4\pi f_c t)] \end{aligned}$$



$$\text{Çıkış Sinyali} = \frac{1}{4} A_c A'_c m(t)$$

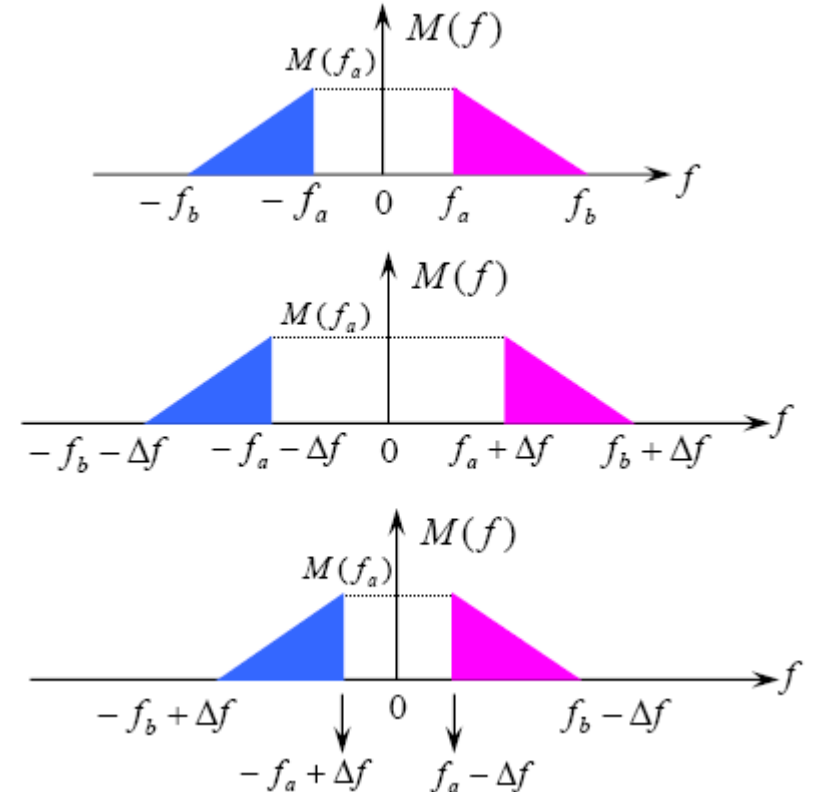
TYB Modüleli Sinyallerin Demodülasyonu

Demodülasyonda Δf kadar frekans hatası olması durumunda çıkış



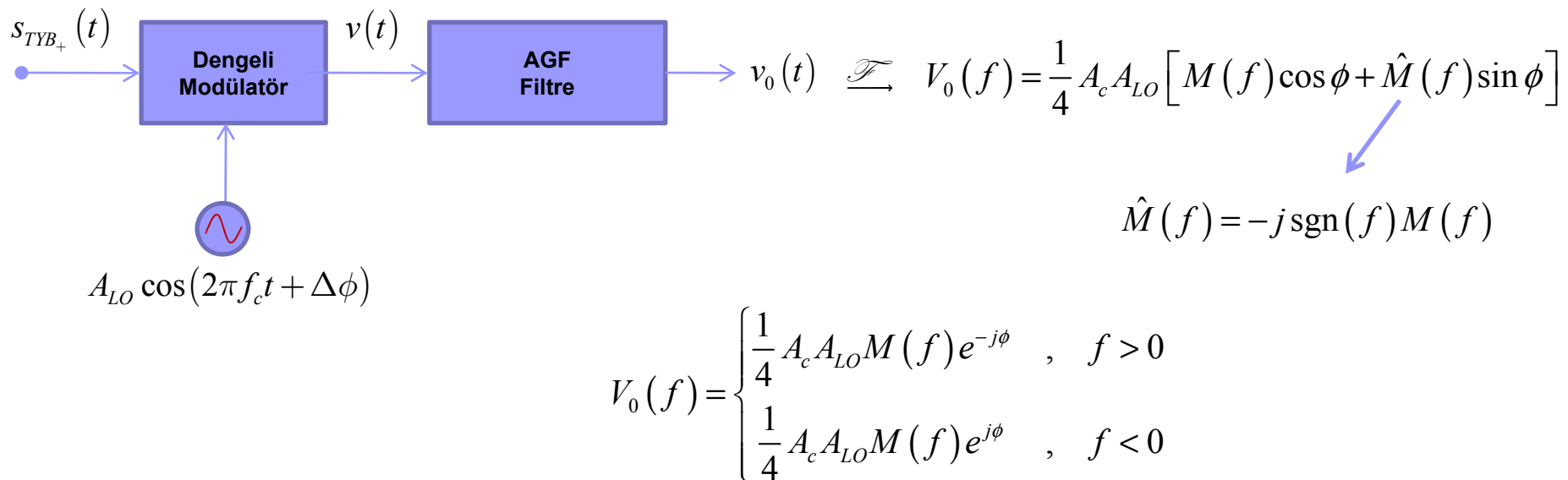
TYB_+ ve $\Delta f < 0$ veya TYB_- ve $\Delta f > 0$

TYB_+ ve $\Delta f > 0$ veya TYB_- ve $\Delta f < 0$



TYB Modüleli Sinyallerin Demodülasyonu

Demodülasyonda $\Delta\phi$ kadar faz hatası olması durumunda çıkış

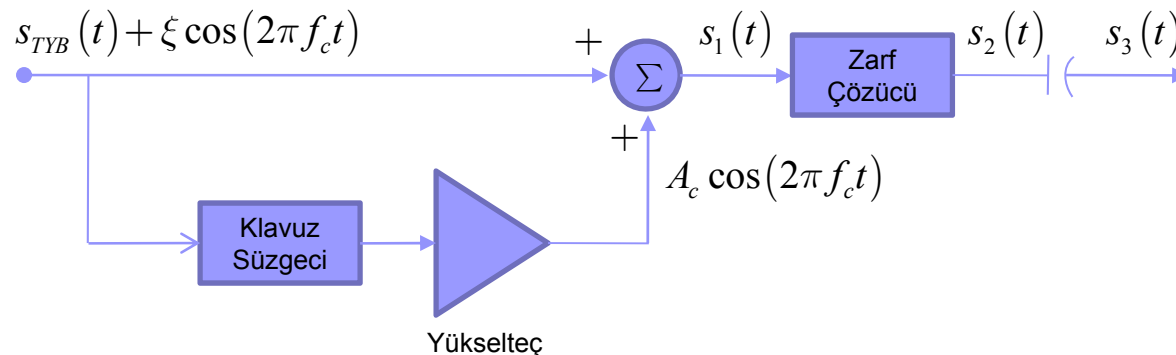


Donald Duck ses etkisi

TYB Modüleli Sinyallerin Demodülasyonu

Zarf Çözümü

Zarf çözümü için TYB modüleli sinyal ile büyük genlikli taşıyıcıya gerek vardır. Vericiden gönderilen pilot(klavuz) taşıyıcının alıcıda filtrelenip genliğinin yükseltilmesiyle elde edilir. Sonra da, TYB modüleli sinyal ile elde edilen bu büyük genlikli taşıyıcı zarf çözücüye uygulanarak TYB sinyali çözülür.



TYB Modüleli Sinyallerin Demodülasyonu

$$\begin{aligned} s_1(t) &= m(t) \cos(2\pi f_c t) + \hat{m}(t) \sin(2\pi f_c t) + (\xi + A_c) \cos(2\pi f_c t) \\ &= m(t) \cos(2\pi f_c t) + \hat{m}(t) \sin(2\pi f_c t) + A_c \cos(2\pi f_c t) \quad ; \quad (A_c \gg \xi \text{ olduğu için}) \end{aligned}$$

Bu sinyali tek bir sinüzoidal olarak şöyle ifade etmek mümkün: $s_1(t) = A(t) \cos[2\pi f_c t + \theta(t)]$

Burada zarf $A(t) = \sqrt{[A_c + m(t)]^2 + \hat{m}^2(t)}$

Taşıyıcı büyük değerli olduğundan

$$= \sqrt{A_c^2 + 2A_c m(t) + m^2(t) + \hat{m}^2(t)}$$

$$A_c \gg |m(t)| \quad \text{ve} \quad A_c \gg |\hat{m}(t)|$$

$$= A_c \sqrt{1 + 2 \frac{m(t)}{A_c} + \left[\frac{m(t)}{A_c} \right]^2 + \left[\frac{\hat{m}(t)}{A_c} \right]^2}$$

dir.

Bu nedenle kareli terimler çok küçük değerli olacağından ihmal edilebilir. Bu durumda,

büyük taşıyıcılı sinyalin zarfı aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$A(t) \cong A_c \sqrt{1 + 2 \frac{m(t)}{A_c}}$$

Binom açılımı yardımıyla şu ifadeye ulaşılır:

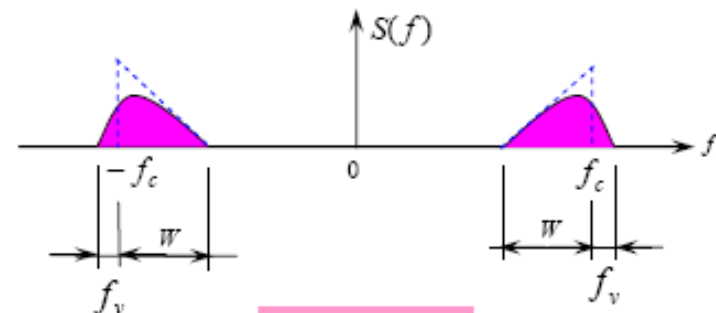
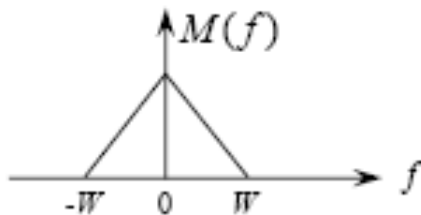
O halde zarf çözücü çıkışındaki sinyal budur.

$$A(t) \cong A_c \left[1 + \frac{m(t)}{A_c} \right] = A_c + m(t) = s_2(t)$$

Kondansatör çıkışındaki sinyal ise $s_3(t) = m(t)$ olarak bulunur.

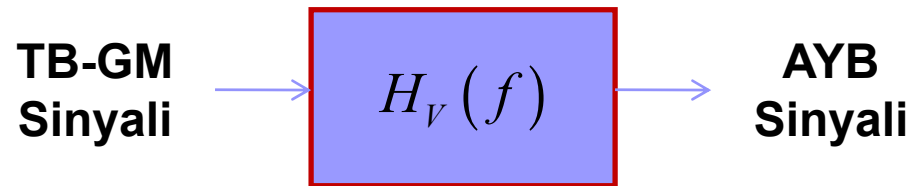
Artık Yanbant (AYB) Modülasyonu

- Bazı durumlarda yanbantlardan biri tamamen ayrılıp alınamaz. Dolayısıyla, TYB modülasyonu kullanılamaz. Bu tür sinyaller için AYB modülasyonu kullanılır.
- Yanbantlardan biri tamamen diğeri ise kısmen alınarak gönderilir.
- Bantgeniřliđi W ile $2W$ arasındadır.
- TB-GM ve TYB modülasyonları AYB modülasyonunun özel halleridir.
- Televizyon yayınlarında görüntü sinyali AYB modülasyonu ile iletilir.



$$B_T = W + f_v$$

Artık Yanbant Modülasyonu



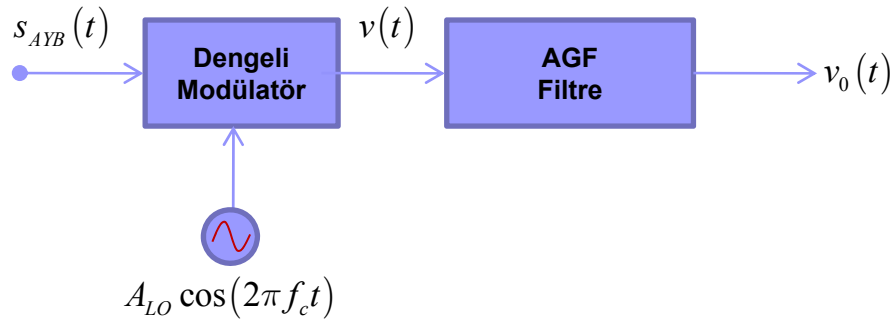
$$\frac{A_c}{2} [M(f - f_c) + M(f + f_c)]$$

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

AYB sinyalinin spektrumunu şekillendirecek süzgeç transfer fonksiyonu $H(f)$ ne olmalıdır?

Eşzamanlı demodülasyon altında, sezinleyici (AGF) çıkışındaki mesaj sinyalinin bozulmasız olarak elde edilebilmesi için $H_v(f)$ nin sağlaması gereken şart tespit edilir.

Artık Yanbant Modülasyonu



$$v(t) = A_{LO} \cos(2\pi f_c t) s_{AYB}(t)$$

$$V(f) = \frac{A_{LO}}{2} [S_{AYB}(f - f_c) + S_{AYB}(f + f_c)]$$

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

$$V(f) = \frac{A_c A_{LO}}{4} M(f) [H_V(f - f_c) + H_V(f + f_c)] + \frac{A_c A_{LO}}{4} [M(f - 2f_c) H_V(f - f_c) + M(f + 2f_c) H_V(f + f_c)]$$

$$V_0(f) = \frac{A_c A_{LO}}{4} M(f)$$

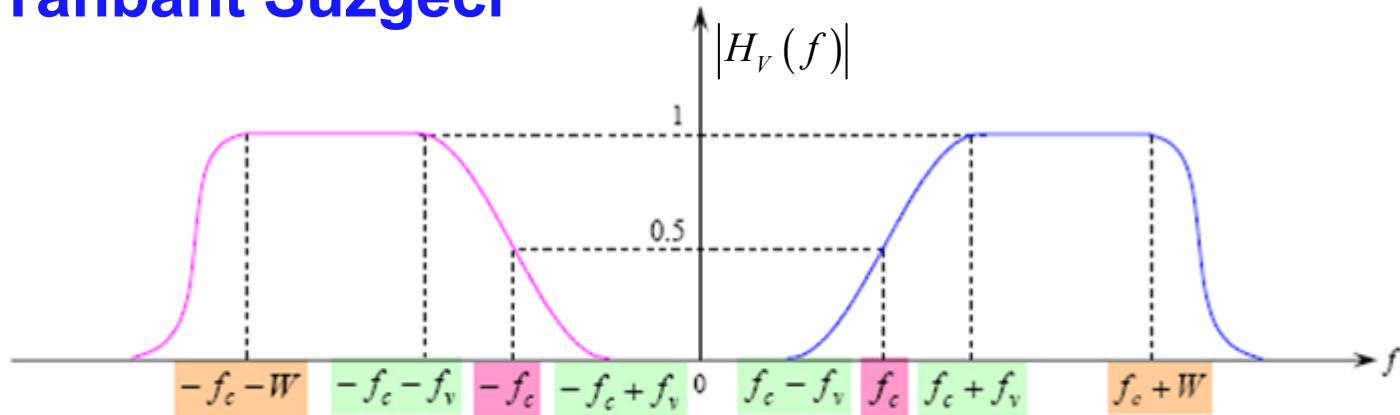
$$[H_V(f - f_c) + H_V(f + f_c)]$$

$m(t)$ 'de bozulma olmaması için sabit olmalıdır.

Öyle ki, $H_V(f - f_c) + H_V(f + f_c) = 2H_V(f_c)$ koşulu sağlanmalıdır.

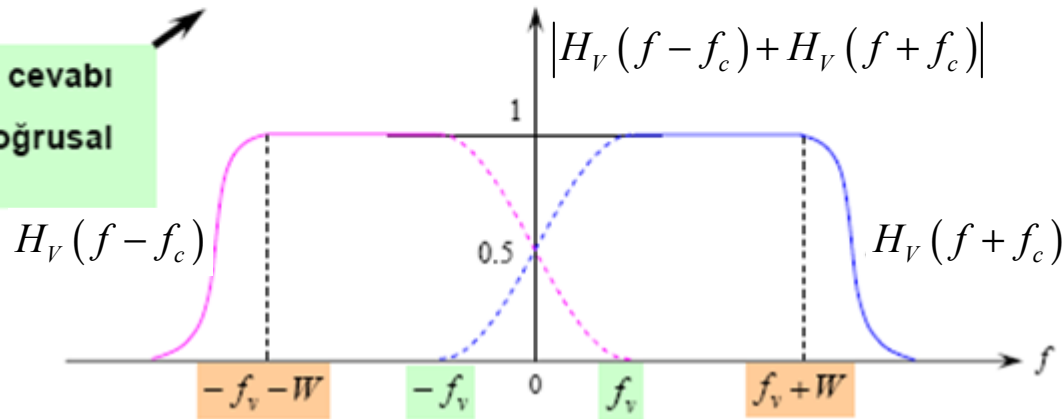
Artık Yanbant Modülasyonu

Artık Yanbant Süzgeci



Süzgecin faz cevabı f_c etrafında doğrusal olmalı.

Yani f_c noktasına göre tek simetri özelliğine sahip olmalı



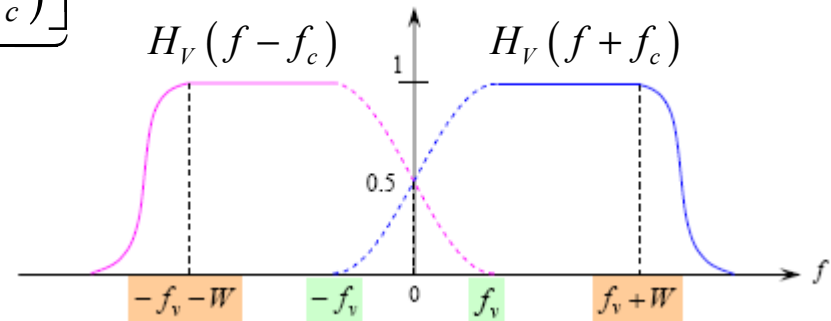
$$H_V(f - f_c) + H_V(f + f_c) = 2H_V(f_c) = 1$$

Artık Yanbant Modülasyonu

Zaman ifadesi $s_{AYB}(t) = \frac{1}{2} A_c m(t) \cos(2\pi f_c t) - \frac{1}{2} A_c m_s(t) \sin(2\pi f_c t)$

$$S_c(f) = \frac{1}{2} A_c M(f) \underbrace{\left[H_V(f - f_c) + H_V(f + f_c) \right]}_1$$

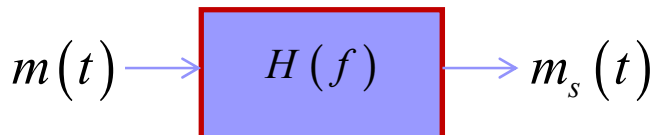
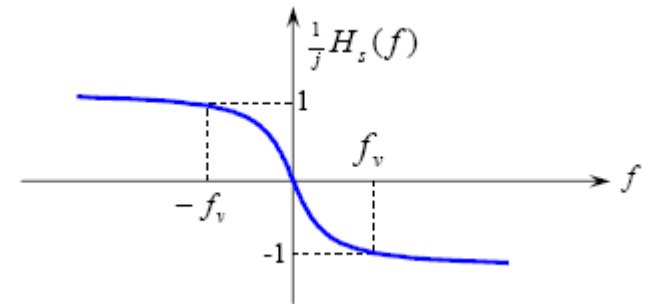
$$S_c(f) = \frac{1}{2} A_c M(f) \xrightarrow{\mathcal{F}^{-1}} s_c(t) = \frac{1}{2} A_c m(t)$$



$$S_s(f) = \frac{j}{2} A_c M(f) \underbrace{\left[H_V(f - f_c) + H_V(f + f_c) \right]}_1$$

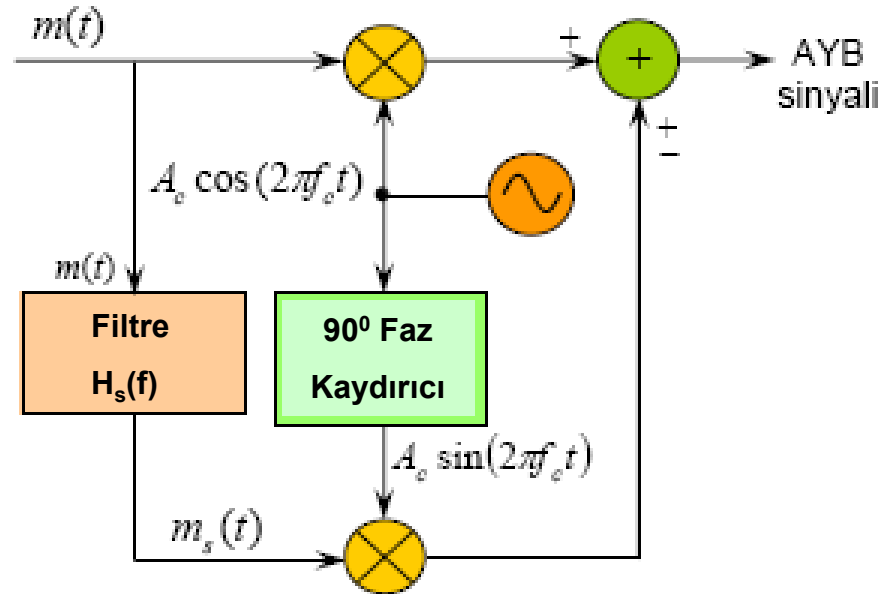
$$H_s(f) = j \left[H_V(f - f_c) - H_V(f + f_c) \right]$$

$$S_s(f) = \frac{1}{2} A_c \textcolor{brown}{M(f)} \textcolor{brown}{H_s(f)} \xrightarrow{\mathcal{F}^{-1}} s_s(t) = \frac{1}{2} A_c m_s(t)$$



AYB Modüleli Sinyallerin Üretimi

$$s_{AYB}(t) = \frac{1}{2} A_c m(t) \cos(2\pi f_c t) - \frac{1}{2} A_c m_s(t) \sin(2\pi f_c t)$$



$$S_{AYB}(f) = \frac{1}{2} [M(f - f_c) + M(f + f_c)] H_V(f)$$

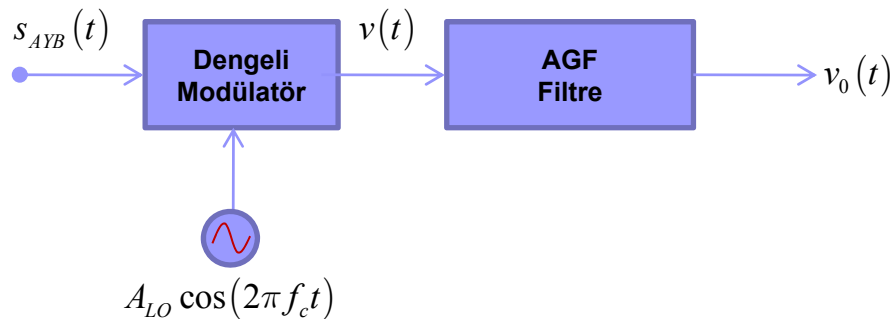
AYB Modüleli Sinyallerin Demodülasyonu

AYB modüleli sinyallerin demodülasyonu için iki yöntem de uygulanabilir.

1. Eş Zamanlı Çözme

2. Zarf Çözümü (Büyük Taşıyıcılı)

Eşzamanlı Çözme



$$v(t) = A_{LO} \cos(2\pi f_c t) s_{AYB}(t)$$

$$V(f) = \frac{A_{LO}}{2} [S_{AYB}(f - f_c) + S_{AYB}(f + f_c)]$$

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

$$V(f) = \frac{A_c A_{LO}}{4} M(f) [H_V(f - f_c) + H_V(f + f_c)] + \frac{A_c A_{LO}}{4} [M(f - 2f_c) H_V(f - f_c) + M(f + 2f_c) H_V(f + f_c)]$$

$$V_0(f) = \frac{A_c A_{LO}}{4} M(f)$$

AYB Modüleli Sinyallerin Demodülasyonu

Zarf Çözümü



Büyük taşıyıcılı AYB sinyalinin zaman alanı ifadesi:

$$\begin{aligned} s_{AYB}(t) &= [m(t)\cos(2\pi f_c t) - \hat{m}(t)\sin(2\pi f_c t)] \quad \text{ÜYB} \\ &+ \frac{1}{2}[g(t)\cos(2\pi f_c t) + \hat{g}(t)\sin(2\pi f_c t)] \quad \text{AYB'in bir kısmı} \\ &- \frac{1}{2}[g(t)\cos(2\pi f_c t) - \hat{g}(t)\sin(2\pi f_c t)] \quad \text{ÜYB'in bir kısmı} \\ &= \underbrace{m(t)\cos(2\pi f_c t) - \hat{m}(t)\sin(2\pi f_c t)}_{\text{TYB SİNYALİ (ÜYB)}} + \underbrace{\hat{g}(t)\sin(2\pi f_c t)}_{\text{ÇYB SİNYALİ}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} s_{AYB+BT}(t) &= s_{AYB}(t) + \text{Büyük Taşıyıcı} \\ &= m(t)\cos(2\pi f_c t) - \hat{m}(t)\sin(2\pi f_c t) + \hat{g}(t)\sin(2\pi f_c t) + \underbrace{A_c \cos(2\pi f_c t)}_{\text{BÜYÜK TAŞIYICI}} \\ &= [m(t) + A_c]\cos(2\pi f_c t) - [\hat{m}(t) - \hat{g}(t)]\sin(2\pi f_c t) \end{aligned}$$

AYB Modüleli Sinyallerin Demodülasyonu

Bu sinyali tek bir sinüzoidal olarak ifade edersek, zarfını şöyle yazabiliriz:

$$\begin{aligned} A(t) &= \sqrt{[A_c + m(t)]^2 + [\hat{m}(t) - \hat{g}(t)]^2} \\ &= \sqrt{A_c^2 + 2A_c m(t) + m^2(t) + \hat{m}^2(t) - 2\hat{m}(t)\hat{g}(t) + \hat{g}^2(t)} \\ &= A_c \sqrt{1 + 2\frac{m(t)}{A_c} + \left[\frac{m(t)}{A_c}\right]^2 + \left[\frac{\hat{m}(t)}{A_c}\right]^2 - 2\left[\frac{\hat{m}(t)}{A_c}\right]\left[\frac{\hat{g}(t)}{A_c}\right] + \left[\frac{\hat{g}(t)}{A_c}\right]^2} \end{aligned}$$

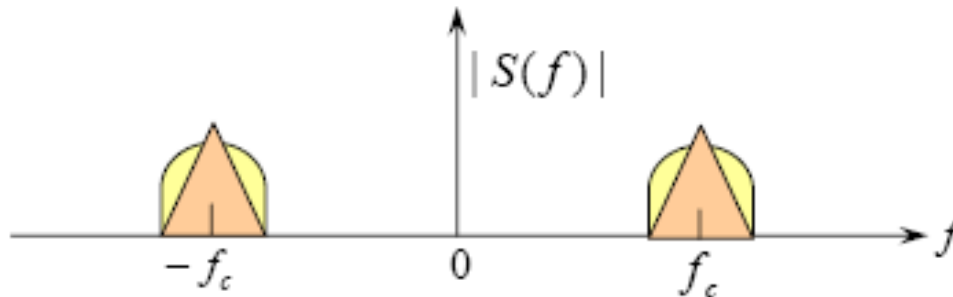
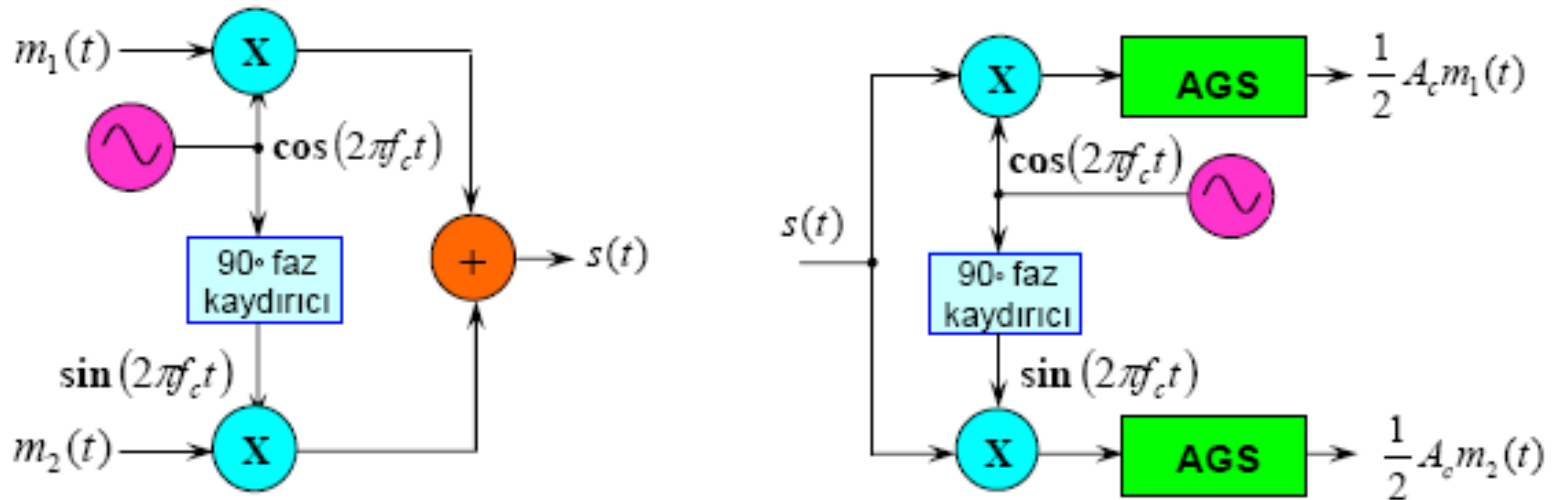
$A_c \gg |m(t)|$, $A_c \gg |\hat{m}(t)|$, $A_c \gg |\hat{g}(t)|$ olduğundan, zarf çözücü çıkışında

$$s_1(t) = A(t) \cong A_c \sqrt{1 + 2\frac{m(t)}{A_c}} = A_c \left[1 + \frac{m(t)}{A_c}\right] = A_c + m(t)$$

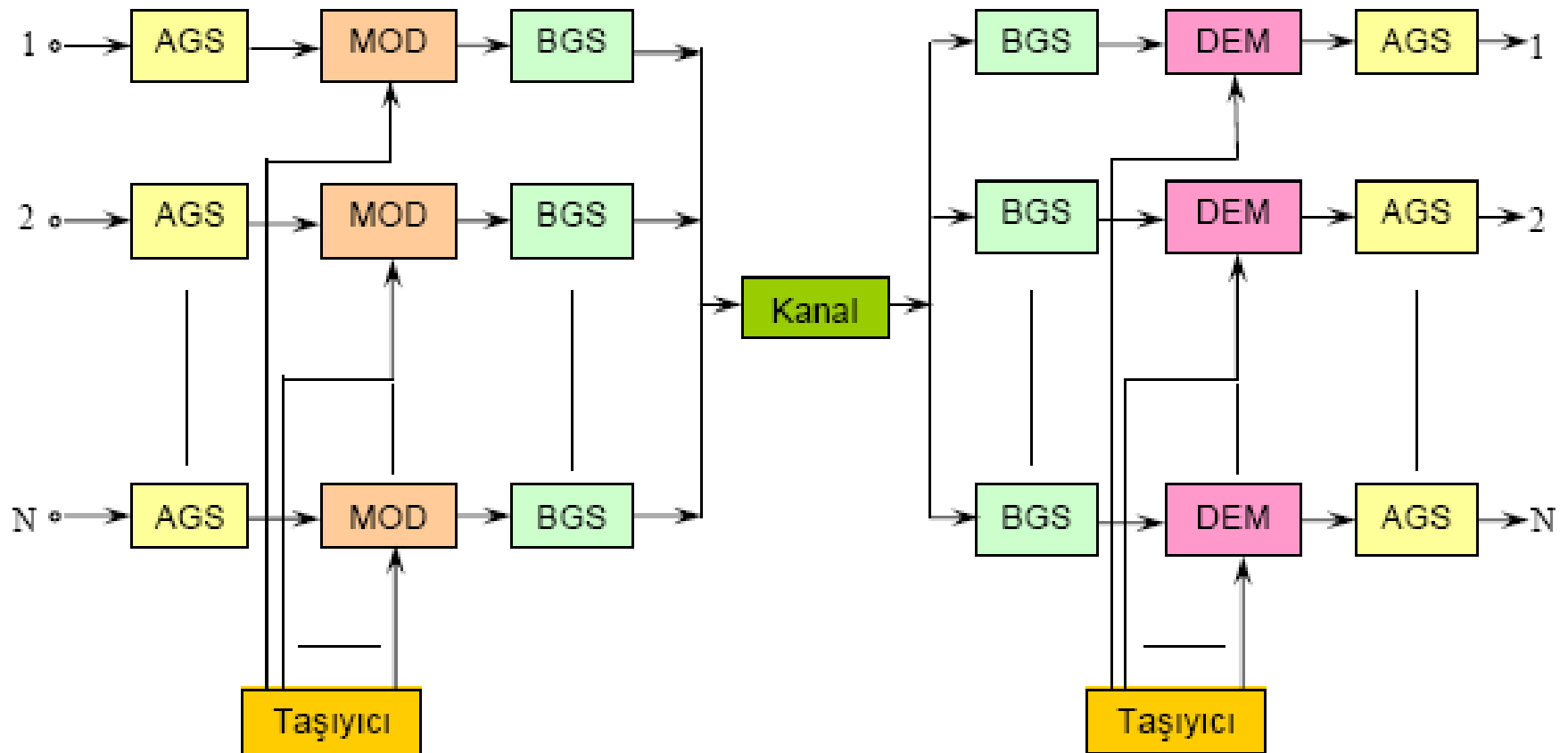
Tıkama kondansatöründen geçtikten sonra çözücü çıkışında $s_0(t) = m(t)$ elde edilir. Büyük taşıyıcı, TYB çözümünde olduğu gibi, kılavuz taşıyıcının filtreleneip yükseltilmesi ile elde edilebilir.

Dik Taşıyıcılı Çoğullama

$$s(t) = A_c m_1(t) \cos(2\pi f_c t) - A_c m_2(t) \sin(2\pi f_c t)$$



Frekans Bölmeli Çoğullama



Frekans Bölmeli Çoğullama

Örnek

