

BÖLÜM 3

FREKANS MODÜLASYONU

Bölümün Amacı

Öğrenci, Frekans modülasyonunu hatasız olarak analiz ederi analog haberleşmede frekans modülasyonunu kullanır.

Öğrenme Hedefleri

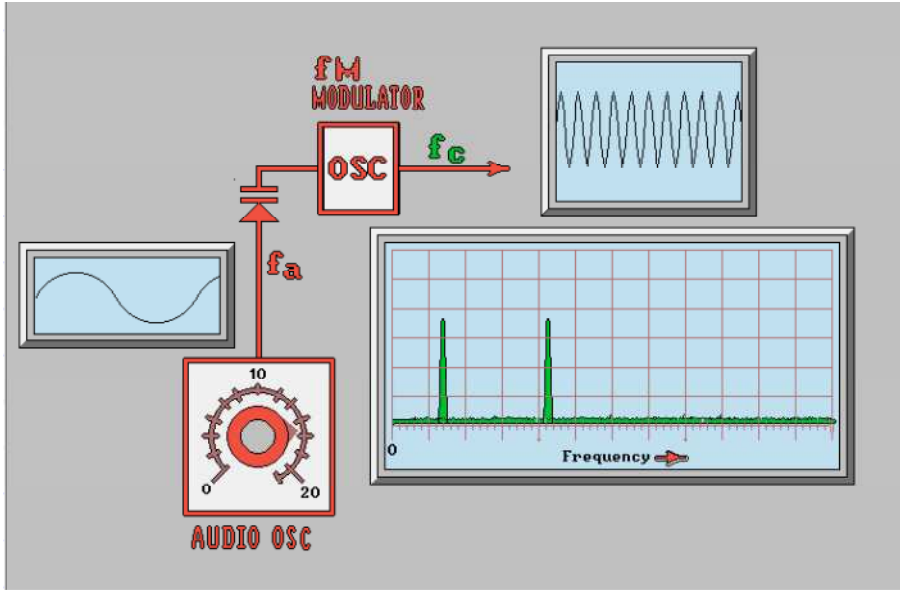
Öğrenci,

1. Frekans Modülasyon İhtiyacı
2. Frekans Modülasyonunun Üstünlükleri ve Sakıncaları
3. Frekans Modülasyonunda Bant Genişliği
4. PLL Faz Kilitli Döngü Faz Dedektörü kavramlarını açıklar.

3. FREKANS MODÜLASYONU

Sinüsoidal bir işaretin genliği, frekansı veya fazı değiştirilerek alçak frekanslı bir bilgi işaretinin modülasyona tabi tutulması mümkündür. Frekans ve fazın değiştirilmesi ile oluşan modülasyona açılı modülasyonu adı verilir. Açılı modülasyonunun kısa olarak tanımı; bir taşıyıcı dalganın açısının bilgi işaretine bağlı olarak ve belli bir referansa göre değişmesidir. Açılı modülasyonu faz ve frekans modülasyonu olmak üzere ikiye ayırılır. Bunların kısa olarak tanım ve özellikleri şöyledir: □

- Faz modülasyonu (PM): Bir taşıyıcı işaretinin fazının belli bir referansa göre bilgi işaretinin genliğine bağlı olarak değişmesidir. □
- Frekans modülasyonu (FM): Bir taşıyıcı işaretinin frekansının bilgi işaretinin genliğine bağlı olarak değişmesidir (Şekil 3.1).



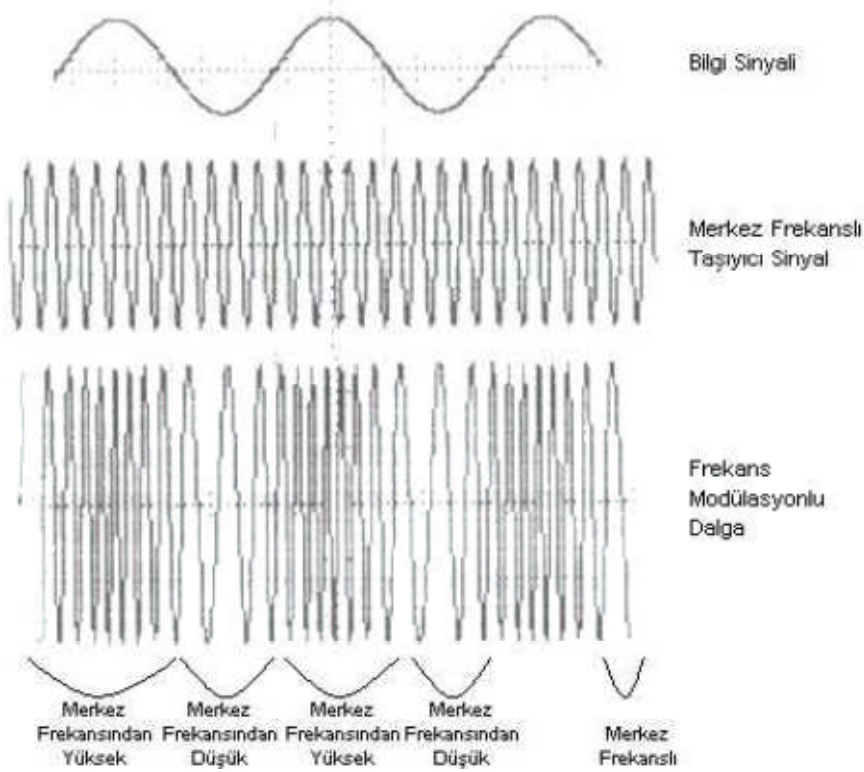
Şekil 3.1: Frekans modülasyonunun elde edilmesi

Faz modülasyonu haberleşme sistemlerindeki işaret iletiminde doğrudan kullanılmamasına rağmen, FM işaretinin nasıl oluşturulduğunu ve FM ile GM sistemlerindeki gürültü karakteristiklerinin karşılaştırılmasında faydalı olmaktadır. Bundan dolayı açılı modülasyonu olarak yalnız frekans modülasyonu kullanılır.

Frekans modülasyonu (FM), ilk olarak 1931 yılında GM modülasyonunun bir alternatifi olarak ortaya çıkmıştır

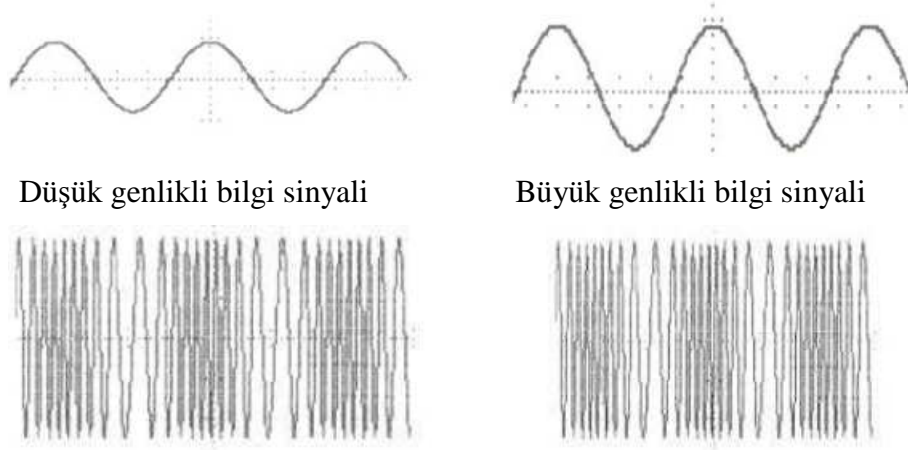
Frekans modülasyonu için iki önemli sinyal vardır. Bunlar, alçak frekanslı bilgi ve yüksek frekanslı taşıyıcı sinyalidir. Modüle edilmemiş taşıyıcının frekansına, merkez ya da sükûnet frekansı adı verilir. Örneğin, 3 KHz'lik bilgi sinyali ile 100 MHz'lik taşıyıcı, frekans modülasyonuna tabi tutulursa burada ki 100 MHz taşıyıcının merkez frekansıdır.

Modülasyon için gerekli olan sinyaller, Şekil 3.2'de bilgi ve merkez frekanslı taşıyıcı sinyali olarak gösterilmiştir. Modüle eden (bilgi) sinyalin (+) alternanslarında, taşıyıcının frekansı yükselir. Bu değer merkez frekansının üstündedir. Taşıyıcının en yüksek frekansı, bilgi sinyalinin (+) maksimum değerinde elde edilir. Bilgi sinyalinin (-) alternanslarında, taşıyıcının frekansı azalır. Bu değer merkez frekansının altındadır. En düşük taşıyıcı frekansı, bilgi sinyalinin (-) maksimum değerinde elde edilir. Modüle eden sinyalin genliği sıfırda taşıyıcı frekansı merkez frekansına eşittir.



Şekil 3.2: Frekans modülasyonda sinyaller

Şekil 3.3'te görüldüğü gibi frekans modülasyonlu dalganın frekansı bir akordeon misali merkez frekansının üstüne ve altına çıkar. Bir FM'li dalganın frekansı, modüle edensinyal genliğinin değişimine bağlı olarak merkez frekansının altında ve üstünde değerler alır. İşte taşıyıcı frekansının, modüle eden sinyalin (+) ve (-) tepe değerlerinin sebep olduğu frekans değişme miktarına “*frekans sapması (değişme miktarı, deviasyonu)*” denir. Modüle eden sinyalin genliği ne kadar büyük ise frekans modülasyonlu sinyalin, frekans değişme miktarı da o kadar fazladır. Örneğin, düşük genlikli modüle eden sinyal, 100 MHz'lik bir taşıyıcı frekansını 99,99 MHz ile 100,01 MHz arasında değiştiriyorsa buradaki frekans sapması ± 10 KHz'dir. Yani, taşıyıcının frekansı merkez frekansının 10 KHz üstüne ve 10 KHz altına düşer.



Şekil 3.3: Frekans sapmasının bilgi genliği ile ilişkisi

Aynı merkez frekanslı taşıyıcı sinyali, büyük genlikli modüle eden sinyalle modülasyona tabi tutulup taşıyıcı frekansını 99,95 MHz ile 100,05 MHz arasında değiştiriyorsa buradaki frekans sapması ± 50 KHz'dir. Frekans sapma değerlerine bakılarak bilgi sinyal genliği hakkında bilgi sahibi olunabilir.

Frekans modülasyonunda, askerî amaçla yayın yapan FM vericilerde ± 40 KHz, sivil amaçla yayın yapan FM vericilerde ise ± 75 KHz'lik frekans sapması kabul edilmiştir. FM yayını yapan vericilerin, frekans bantları dışında komşu kenar bant frekansları bulunabileceğinden istasyonlar arası karışıma sebebiyet verilmemesi için sivil amaçlı FM vericilerde ± 75 KHz (150 KHz)'lik bandın alt ve üst kısımlarında 25 'er KHz'lik emniyet bandı bırakılmıştır. Böylece bant genişliği 200 KHz'e çıkarılmıştır. Buna benzer bir şekilde, askerî amaçla yayın yapan vericilerde mevcut bant genişliğinin alt ve üst

kısımlarına 10'ar KHz'lik emniyet bandı ilave edilerek toplam 100 KHz'lik bir bant genişliği tahsis edilmiştir.

3.1 Frekans Modülasyon İhtiyacı

Yüksek güçlü vericiler yapıldığında sinyal/gürültü oranının iyi olması istenir. Genlik modülasyonlu vericilerde yüksek güçlerde sinyal/gürültü oranı problem olarak karşımıza çıkar. Bu problemden kurtulmak için frekans modülasyonu geliştirilmiştir. GM devrelerine göre FM devrelerinde farklı olarak limiter devreleri, PLL sentezör devreleri ve vurgu (emphasis) devreleri kullanılır. Frekans modülasyonunda taşıyıcı işaretin frekansı, bilgi işaretinin genliğine göre değişir.

3.2 Frekans modülasyonunun avantajları ve dezavantajları

Frekans modülasyonunun avantajları ve dezavantajları şunlardır.

1. Sinyal üzerine binen gürültü seviyesi kesilebildiği için ses kalitesi yüksektir

2. Frekans modülasyonunun gürültü bağıışıklığı genlik modülasyonundan daha iyidir.

3. FM in yakalama etkisi vardır. Bu etkiden dolayı istenmeyen sinyalleri kolaylıkla yok edebilir. Yakalama etkisi (Capture) :Aynı frekanstaki iki sinyalden hangisinin çıkış gücü fazla ise o sinyal alıcı tarafından alınır.

4. PLL sentezör devreleri kullanır

Dezavantajları ise;

1. FM çok büyük bant genişliği kullanır

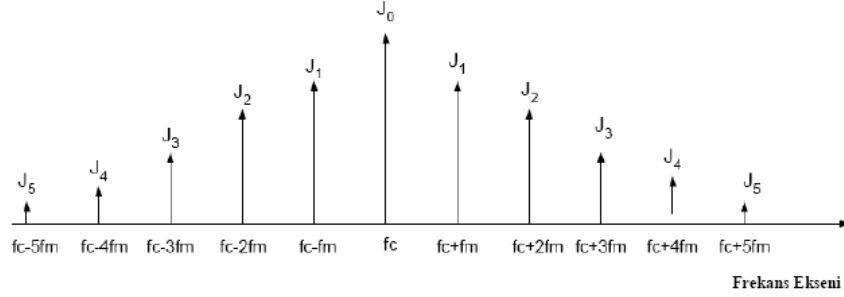
2. FM devreleri daha pahalıdır.

3.3. Frekans Modülasyonunda Bant Genişliği

Frekans modülasyonunda modüle edici her sinyal için bir çift yan bant oluşur. Bu da teorik olarak frekans modülasyonunda sonsuz sayıda yan bant oluşması anlamına gelir. Örneğin 10MHz.lik taşıyıcı sinyal 100 KHz lik bir sinyalle frekans modülasyonuna tabi tutulursa, 10100-9900 KHz, 10200-9800 KHz, 10300-9700 KHz gibi frekanslarda yan bant sinyalleri oluşur. Fakat frekans değişimi arttıkça yan bant sinyallerinin gücü azalır. Genliği, taşıyıcı sinyalin genliğinin %1'inden daha düşük olan yan bantlar ihmal edilir. Frekans

modülasyonunda ortalama ± 75 KHz. lik bant genişliği kullanılır. Bu bant genişliğinin altında yapılan FM yayınlara dar bant FM, üstünde yapılan yayınlara geniş bantlı FM denir.

Şekil 3.4'de bir FM sinyalinin frekans spektrumu gösterilmiştir.



Şekil 3.4: FM sinyali frekans spektrumu

Frekans modülasyonunda bant genişliğini bulmak için 2 formül kullanılır.

1. $BW = 2 * fm * \text{önemli bant sayısı (Tablo kuralı)}$
2. $BW = 2 * (\Delta f + fm)$ (CARSON Kuralı)

Önemli yan bant sayısı belirlenirken harmonik genliğine bakılır. Taşıyıcı genliğinin % 1 oranına kadar olan harmonik genlikler alınır. Geri kalan kısım alınmaz. Önemli yan bant sayısı belirlenirken aşağıda verilen tablo kullanılır. Tablo taşıyıcı genliği 1 Volt alınarak normalize hale getirilmiştir.

Mod. İnd.	J ₀ Taşıyıcı	J ₁ 1 st	J ₂ 2nd	J ₃ 3d	J ₄ 4th	J ₅ 5th	J ₆ 6th	J ₇ 7th	J ₈ 8th
0,0	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-
0,25	0,98	0,12	-	-	-	-	-	-	-
0,5	0,94	0,24	0,03	-	-	-	-	-	-
1,5	0,51	0,56	0,23	0,06	0,01	-	-	-	-
1	0,77	0,44	0,11	0,02	-	-	-	-	-
2	0,22	0,58	0,35	0,13	0,03	-	-	-	-
3	-0,26	0,34	0,49	0,31	0,13	0,04	0,01	-	-
4	-0,40	-0,07	0,36	0,43	0,28	0,13	0,05	0,02	-
5	-0,18	-0,33	0,05	0,36	0,39	0,26	0,13	0,05	0,02

Bessel Fonksiyonuna bağlı olarak elde edilen, modülasyon indisine bağlı yan bant ve taşıyıcı genliklerini gösterir tablo

Tablo 3.1: Modülasyon indisine bağlı yan bantlar.

➤ **Frekans modülasyonu temel formülleri**

$$v_c = V_c \sin 2\pi f_c t \text{ (Bilgi işareti)}$$

$$v_m = V_m \sin 2\pi f_m t \text{ (Taşıyıcı işareti)}$$

$$f_i = f_c + k v_m \text{ (Anlık frekans)}$$

$$f_i = f_c + k V_m \sin 2\pi f_m t$$

$$\Delta f = K V_m \max$$

$$F_i = f_c + \Delta f \sin 2\pi f_m t$$

v_c :fm modüleli işareti gösterebilir

$$v_c = V_c \sin [2\pi (f_c + \Delta f \sin 2\pi f_m t) t]$$

$$v_c = V_c \sin [2\pi f_c t - (\Delta f / f_m) \cos 2\pi f_m t]$$

$$\sin \cdot \sin = \cos \quad m_f = \text{mod. indisi}$$

$$v_c = V_c \sin (2\pi f_c t - m_f \cos 2\pi f_m t)$$

Taşıyıcı frekansının genliğe bağlı olarak değişmesine taşıyıcı salınımı C_s denir.

$$V_m = \text{Bilgi işaretinin genliği}$$

$K = 1 \text{ kHz} / 1 \text{ V}$ (Frekans sapma sabiti)

$m_f = \text{Modülasyon İndisi}$

$\Delta f = \text{Frekans Sapması}$

$f_m = \text{Bilgi işaretinin frekansı}$

$f_c = \text{Taşıyıcı sinyal frekansı olmak üzere;}$

$\Delta f = KVm_{\max}$

Taşıyıcı Salınması $C_s = 2\Delta f$

Bilgi genliği max. ise $f = f_c + \Delta f$

Bilgi genliği min. ise $f = f_c - \Delta f$

$$m_f = \frac{\Delta f}{f_m}$$

Yüzde modülasyon $M = (\Delta f_{\text{gerçek}} / f_{m_{\max}}) \times 100$ formülleriyle hesaplanır.

Örnek: Taşıyıcı frekansı $f_c = 104 \text{ MHz}$ frekans sapması $\Delta f = 100 \text{ KHz}$ ve bilgi sinyali 10 KHz ise taşıyıcının alacağı maksimum ve minimum frekans değerini, taşıyıcı salınmasını ve modülasyon indisini bulunuz.

Çözüm:

$f = f_c + \Delta f = 104,1 \text{ MHz}$ (Bilgi işaretinin genliği max. ise)

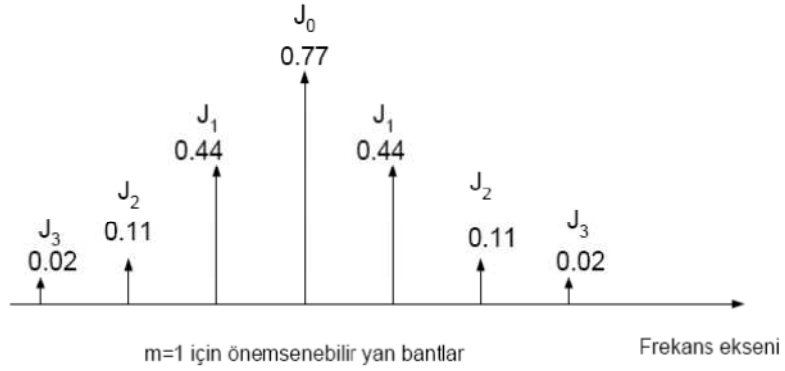
$f = f_c - \Delta f = 103,9 \text{ MHz}$ (Bilgi işaretinin genliği min. ise)

$C_s = 2\Delta f = 2 \times 100 = 200 \text{ KHz}$

$$m_f = \frac{\Delta f}{f_m} = \frac{100 \text{ KHz}}{20 \text{ KHz}} = 5$$

Örnek: Taşıyıcı genliği $V_c = 1 \text{ Volt}$ iken $m = 1$ için önemli yan bant genliklerini frekans ekseninde gösteriniz.

Çözüm:



Örnek: Bir FM sinyali için; taşıyıcı frekansı $f_c=100$ MHz, $m_f = 2$, $f_m = 3$ kHz verildiğine göre bant genişliğini bulunuz, frekans spektrumunu çiziniz.

Çözüm:

1. Tablo kuralına göre;

$$BW = 2 * f_m * \text{önemli yanbant sayısı} \quad BW = 2 * 3 * 4 = 24 \text{ kHz}$$

2. Carson kuralına göre; $BW = 2 * (\Delta f + f_m)$

$$m_f = \frac{\Delta f}{f_m}$$

$$\Delta f = m_f * f_m$$

$$\Delta f = 6$$

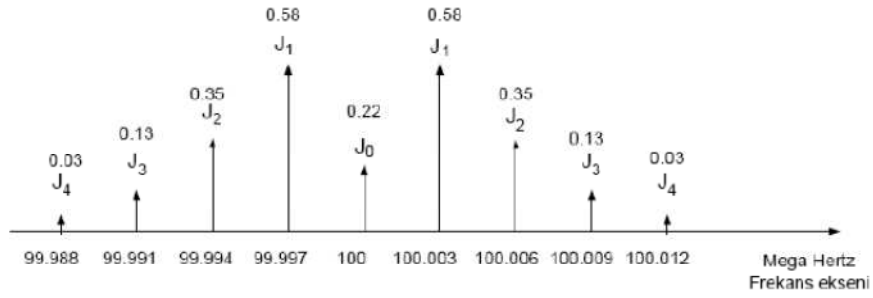
$$BW = 2 * (6 + 3) = 18 \text{ kHz}$$

Frekans Spektrumu

$$f_m = 3 \text{ kHz} = 0.003 \text{ MHz}$$

$$f_c + f_m = 100 + 0.003 = 100.003 \text{ MHz}$$

$$f_c - f_m = 100 - 0.003 = 99.997 \text{ MHz}$$



Örnek: Cep telefonları için frekans sapması 12 kHz ve bilgi frekansı(ses) 3 kHz olduğuna göre bant genişliğini bulunuz.

Çözüm:

$$\Delta F = 12 \text{ kHz}$$

$$f_m = 3 \text{ kHz}$$

$$BW = 2 * (\Delta f + f_m) \text{ CARSON Kuralı}$$

$$BW = 30 \text{ kHz}$$

Örnek. Aşağıda verilen sinyaller için spektrumda oluşacak olan frekansları çiziniz. Bant genişliğini bulunuz. Fm spektrumu çiziniz.

$$V_c = 5V \quad (\text{Taşıyıcı frekans genliği})$$

$$f_c = 100 \text{ MHz} \quad (\text{Taşıyıcı frekansı})$$

$$V_m = 5V \quad (\text{Bilgi işaret genliği})$$

$$f_m = 20 \text{ kHz} \quad (\text{Bilgi işaretinin frekansı})$$

$$K = 1 \text{ kHz} / 1V \quad (\text{Frekans sapma sabiti})$$

Çözüm:

K nın kullanılması:

$$\Delta f = KV_{m\max}$$

$K = 1 \text{ kHz} / 1\text{V}$ ise, $f_c = 100000 \text{ kHz}$. bilgi işaretinin genliğindeki 1 V artış taşıyıcı frekansını 1 kHz artırır ve taşıyıcı frekansı 100001 kHz olur.

Bilgi işaretinin genliğindeki 5 V artış, taşıyıcı frekansını 5 kHz artırır ve

$$f_c = 100.005 \text{ MHz olur.}$$

$$\Delta f = 1\text{kHz} * 5\text{v} / 1\text{V}$$

$$\Delta f = 5 \text{ kHz}$$

$$m_f = \frac{\Delta f}{f_m} = \frac{5}{20} \quad m_f = 0,25$$

Bessel fonksiyon grafiğinden veya tablodan $m_f = 0,25$ için bakılır

$$J_0 = 0,98$$

$$J_1 = 0,12$$

Taşıyıcı genliği 5 Volt alındığında tablo değerleri 5 ile çarpılır (Tablo , taşıyıcı genliği 1 V alınarak düzenlenmiştir.)

$$J_0 = 0,98*5 = 4.9\text{Volt}$$

$$J_1 = 0.12*5 = 0.6 \text{ Volt}$$

$$f_m = 20 \text{ kHz} = 0.020 \text{ MHz}$$

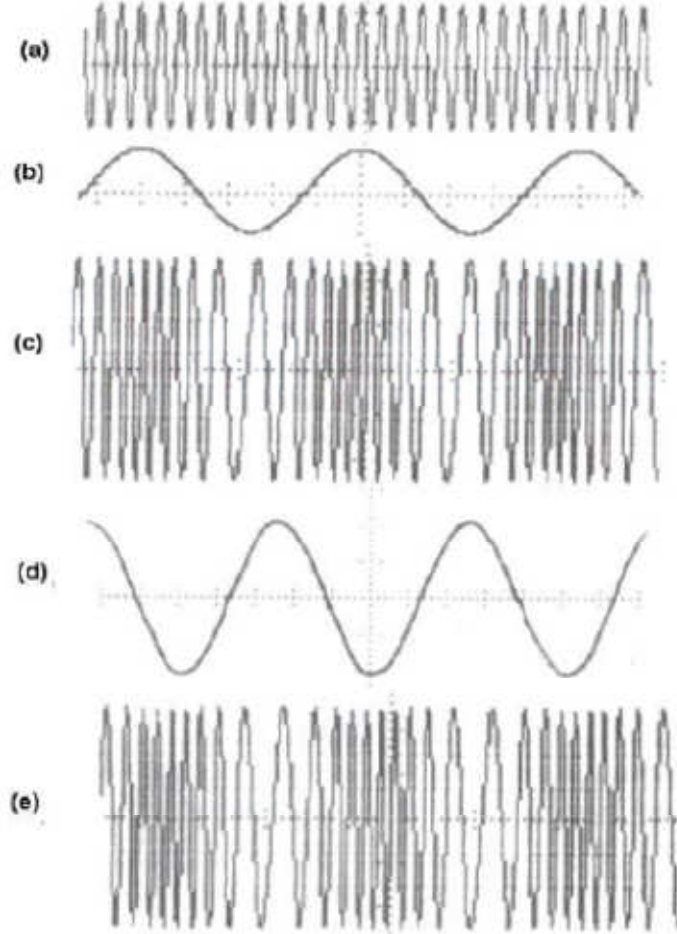
$$f_c+f_m = 100.02 \text{ MHz}$$

$$f_c-f_m=99.98 \text{ MHz}$$

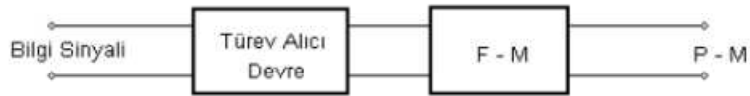
3.4. Faz Modülasyonu

Taşıyıcı sinyal fazının, bilgi sinyalinin genlik ve frekansına bağlı olarak değiştirilmesidir. Frekans modülasyonuna çok benzer. Bir taşıyıcının frekansı değiştirildiğinde fazı, fazı değiştirildiğinde de frekansı değişir. Bundan dolayı FM ile PM birbirine benzer. Modüle edici sinyale uygun olarak doğrudan değiştirilen, taşıyıcının frekansı olursa FM, modüle edici sinyale uygun olarak doğrudan değiştirilen taşıyıcının fazıysa PM meydana gelir. Şekil 3.4'te hem FM, hem de PM sinyal şekilleri gösterilmiştir, (b) şeklindeki modüle edici (bilgi) sinyalin ilk türevi (d) şeklinde olduğu gibi cosinüs dalgasıdır. Yani, sinüsün türevi cosinüs sinyalidir. Bu sinyal, sinüs sinyalinden 90° ileridedir, (d) şeklindeki türevi alınmış bilgi sinyalinin (-)

alternanslarında taşıyıcının frekansı artar, (+) alternanslarında ise taşıyıcının frekansı azalır.



Şekil 3.5. (a)Taşıyıcı sinyal, (b) Bilgi Sinyali, (c) Frekans modüledi sinyal , (d) Bilgi sinyalinin türevi . (e) Faz modüledi sinyal



Şekil 3.6 Faz modüledi sinyalin elde edilmesi

Faz modüledi sinyalin elde edilmesi için Şekil 3.5'teki blok diyagramda görüldüğü gibi bilgi sinyalinin türev alıcı devrede türevi alınır ve FM modülatöre uygulanır. FM modülatörün çıkışından PM

elde edilir. FM'de frekans sapması sözkonusu iken PM'de faz sapması söz konusudur.

3.5. FM Modülasyonlu bir Dalganın Ortalama Gücü

Açı modülasyonlu bir dalganın toplam gücü, modüle edilmemiş taşıyıcının gücüne eşittir. Dolayısıyla, açı modülasyonunda (AM'de böyle değildir) başlangıçta modüle edilmemiş taşıyıcıda bulunan güç taşıyıcıya ve yan bantlara dağılmıştır. Açı modülasyonlu bir dalganın rms gücü modüle edici sinyalden bağımsızdır ve modüle edilmemiş taşıyıcının rms gücüne eşittir. Modüle edilmemiş taşıyıcıdaki rms güç, matematiksel olarak şuna eşittir.

$$P_c = \frac{V_c^2}{2R} W_{rms} \quad (3-A)$$

Burada;

P_c = taşıyıcı gücü w rms

V_c = modüle edilmemiş taşıyıcı gerilimi (volt - tepe)

R = yük direnci

Ve buradan tepe gücü şu şekilde bulunur.

$$P_c = \frac{V_c^2}{R} \quad (3-B)$$

Ve açı modülasyonlu bir taşıyıcıdaki toplam rms güç şuna eşittir.

$$P_t = \frac{M_t^2}{R} \quad (3-C)$$

Yada

$$P_t = \frac{V_c^2}{R} \cos^2[w_c t + \theta(t)] \quad (3-D)$$

$$= \left\{ \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos^2[2w_c t + 2\theta(t)] \right\} \quad (3-E)$$

3-E denklemindeki ikinci terim, modüle edilmemiş taşıyıcı frekansının iki katı olan bir frekans ($2F_c$) çevresinde, sonsuz sayıda sinüzoidal tek frekanslı bileşenden oluşur. Dolayısıyla ikinci terimin ortalama değeri sıfırdır ve modülasyonlu dalganın rms gücü şuna eşittir.

$$P_c = \frac{V_c^2}{2R} W_{rms} \quad (3-F)$$

3-A ve 3-F denklemlerinin eşit olduğuna dikkat edelim. Bu, modülasyonlu taşıyıcının ortalama gücünün, modüle edilmemiş

taşıyıcının gücüne eşit olduğu anlamına gelir. Modülasyonlu taşıyıcı gücü, taşıyıcı ile yan frekansların güçlerinin toplamına eşittir. Dolayısıyla toplam modülasyonlu dalga gücü şuna eşittir:

$$P_t = P_1 + P_2 + P_3 + P_n \quad (3-G)$$

$$= \frac{V_c^2}{R} + \frac{2(V_1)^2}{R} + \frac{2(V_2)^2}{R} + \frac{2(V_3)^2}{R} + \frac{2(V_n)^2}{R} \quad (3-H)$$

P_c = Taşıyıcı Gücü

P_1 = Birinci Yan Bant Kümesindeki Güç

P_2 = İkinci Yan Bant Kümesindeki Güç

P_3 = Üçüncü Yan Bant Kümesindeki Güç

P_n = n'inci Yan Bant Kümesindeki Güç

Örnek. Modülasyon indeksi $m=1$, modüle edici sinyali $V(t) = V_a \sin(2\pi 1000t)$ ve modüle edilmemiş taşıyıcısı $V_c = 10 \sin(2\pi 500kt)$ olan bir FM modülatör ve koşullar için,

- tepe modüle edilmemiş taşıyıcı gücünü bulun (yük direnci $R_L = 50 \Omega$)
- Toplam tepe açılı modülasyonlu dalga gücünü bulun.

Çözüm:

- Değerleri $P_c = \frac{V_c^2}{R}$ (3-B) formülünde yerine koyarsak

$$P_c = \frac{10^2}{50} = 2 \text{ W Tepe}$$

- Değerleri $P_t = \frac{V_c^2}{R} + \frac{2(V_1)^2}{R} + \frac{2(V_2)^2}{R} + \frac{2(V_3)^2}{R} + \frac{2(V_n)^2}{R}$ (3-H) formülünde yerine koyarsak

$$\begin{aligned} P_t &= \frac{7.7^2}{50} + \frac{2(4.4)^2}{50} + \frac{2(1.1)^2}{50} + \frac{2(0.2)^2}{50} \\ &= 1.1858 + 0.7744 + 0.484 + 0.0016 \\ &= 2.0102 \text{ W tepe} \end{aligned}$$

(a) ve (b) şıklarının sonuçları birbirine tam olarak eşit değildir çünkü Bessel tablosunda verilen değerler yuvarlanmıştır. Ancak sonuçlar modülasyonlu dalgadaki gücün modüle edilmemiş taşıyıcıdaki güce eşit olduğunu gösterebilecek kadar birbirine yakındır.

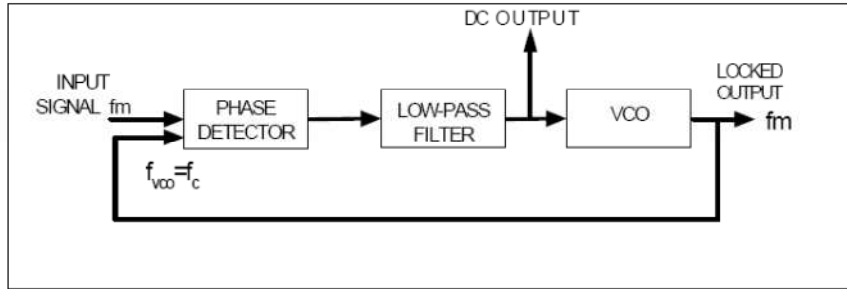
3.6. PLL Faz Kilitli Döngü Faz Dedektörü

Faz kilitlemeli döngü ile ilgili düşünceler ilk defa 1930'lu yıllarda ortaya atılmış ve konuyla ilgili temel kavramlar o sıralarda açıklanmıştır. Başlangıçta PLL devreleri karmaşık yapıda ve yüksek maliyetliyken entegre teknolojisinin gelişmesiyle daha kullanışlı hale gelmişlerdir. O zamandan beri PLL; haberleşmede, mesafe ölçüm tekniklerinde ve değişik enstürumantasyon uygulamalarında kullanılmaktadır.

Faz kilitlemeli döngülerin uygulamaları;

- FM,AM,PM modülasyon ve demodülasyonunda
- Frekans sentezleyicilerinde
- İzleme filtrelerinde(tracking filters)
- Frekans kaymalı anahtarlama
- Motor hız kontrolünde
- A/D çeviricilerde (bir VCO kullanılarak)
- Stereo/Ton dekoderlerinde
- Modemlerde
- Telemetre alıcı ve verici sistemlerinde
- Genişbantlı FM diskriminatörlerde
- Frekans çarpılmasında ve bölünmesinde
- Veri senkronize edicilerinde (data senkronizers)

Temel olarak PLL frekans geri beslemeli bir kapalı döngü kontrol sistemidir. Bir faz karşılaştırıcı (frekans katlayıcı), gerilim kontrollü bir osilatör, alçak geçiren bir filtre ve düşük kazançlı bir yükselteçten oluşur.



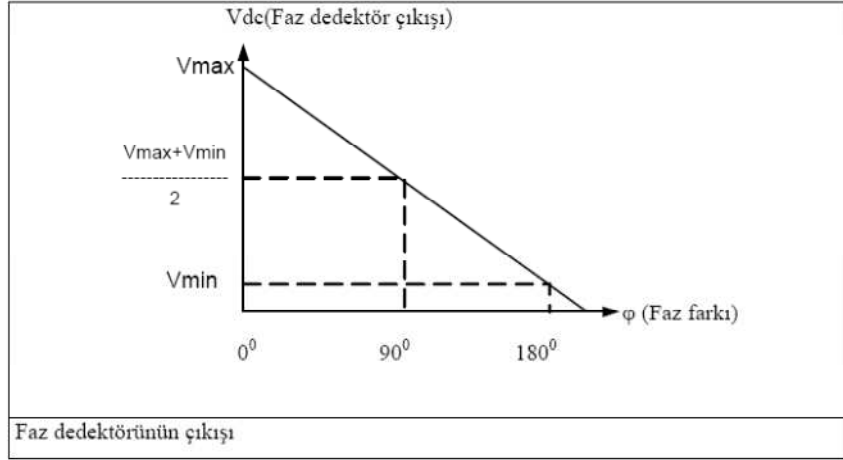
Şekil 3.7 PLL Faz dedektörü blok diyagramı

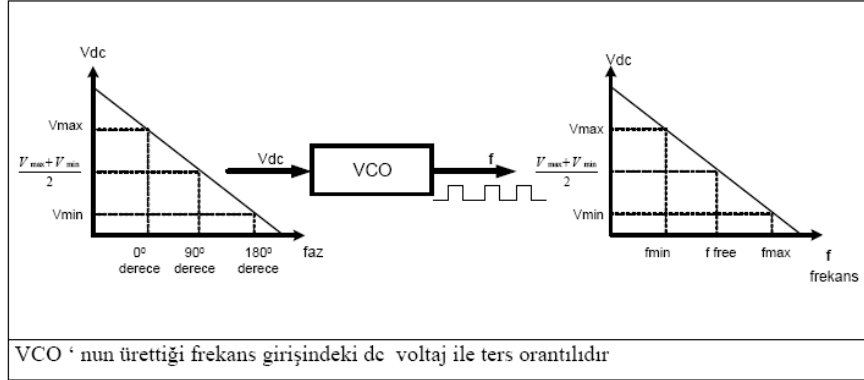
- **Faz karşılaştırıcı:** Çarpıcı devredir. Harici sinyal ve VCO'nun ürettiği sinyalin frekanslarını çarpar. Girişindeki iki işaret arasındaki frekans farkı ya da faz farkına orantılı olarak çıkışında DC gerilim üretir.
- **VCO: (Voltage controlled Oscillator):** Gerilim beslemeli olarak kararlı frekans üreten bir osilatördür. Filtre çıkışındaki DC voltaja göre VCO'nun ürettiği sinyalin frekans değeri değişir.
- **Alçak geçiren filtre:** Çarpıcı devre çıkışındaki toplam ve fark frekanslarından fark frekansı içeren bileşeni geçirir.

Filtre Çıkışı $V_{dc} = \frac{V_m \cdot V_c}{2} \cos 2\pi t (f_c - f_m)$ formülü ile hesaplanır.

Faz dedektör girişinde $f_c = f_m$ ise PLL kitlenir ve $\cos 0 = 1$ olacağından filtre çıkışı

$$V_{dc} = \frac{V_m \cdot V_c}{2} \text{ olur.}$$





Şekil 3.8 PLL Faz dedektörü DC gerilim-frekans tepkisi

Uygulamada Kullanılan Bazı PLL Entegreler:

LM565 from National (VCO serbest salınım frekansı: 300 KHz' den 500 KHz'e kadar)

LM565C from National (VCO serbest salınım frekansı: 250 KHz' den 500 KHz'e kadar)

NE560B from Signetic (VCO serbest salınım frekansı: 15 MHz' den 30 MHz'e kadar)

NE564 from Signetic (VCO serbest salınım frekansı: 45 MHz' den 50 MHz'e kadar)

74HC/HCT4046A /7046A (Philips High speed CMOS based 17 MHz' e kadar)