

## FREKANS MODÜLASYONU

### 5-1 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.

### 5.2 Frekans modülasyonunun avantajları ve dezavantajları

Avantajları:

1. Sinyal üzerine binen gürültü seviyesi kesilebildiği için ses kalitesi yüksektir
2. Frekans modülasyonunun gürültü bağışıklığı 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

1. FM çok büyük bant genişliği kullanır
2. FM devreleri daha pahalıdır.

### 5.3 FM Matematiği

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

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

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

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

$$\Delta f = K V_{m\max}$$

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

$v_c$  : 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.

$$\text{Taşıyıcı Salınması } C_s = 2\Delta f$$

$$\text{Bilgi genliği max ise } f = f_c + \Delta f$$

$$\text{Bilgi genliği min ise } f = f_c - \Delta f$$

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

$$m_f = \text{Mod. İndisi}$$

$$\Delta f = \text{Frekans Sap}$$

$$f_m = \text{Bilgi İşareti}$$

$$\text{Yüzde modülasyon } M = (\Delta f_{\text{gerçek}} / f_{m\max}) \times 100$$

**Örnek.** Taşıyıcı frekansı  $f_c = 108$  MHz. ve  $\Delta f = 1$  MHz (frekans sapması) ise taşıyıcının alacağı maksimum ve minimum frekans değerini bulunuz.

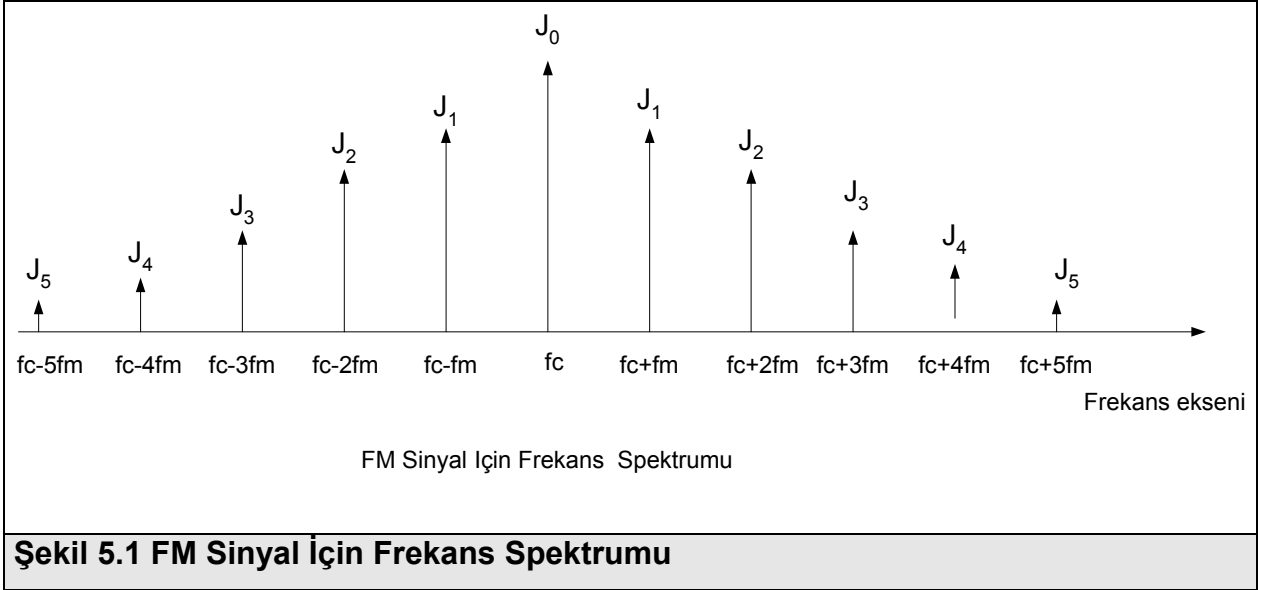
$$f = f_c + \Delta f = 109 \text{ MHz Bilgi işaretinin genliği max. ise}$$

$$f = f_c - \Delta f = 107 \text{ MHz Bilgi işaretinin genliği min. İse}$$

## 5.4 Frekans modülasyonunda bant genişliği

Bir FM sinyali sonsuz sayıda yan bant içerir. Bant genişliği hesaplanırken önemli yan bant sayısı hesaba katılır.

Aşağıdaki şekilde bir FM sinyalin frekans spektrumu gösterilmiştir.



**Şekil 5.1 FM Sinyal İçin Frekans Spektrumu**

Frekans modülasyonunda bant genişliğini bulmak için 2 formül kullanılır.

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

Önemli yanbant sayısı belirlerken 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.

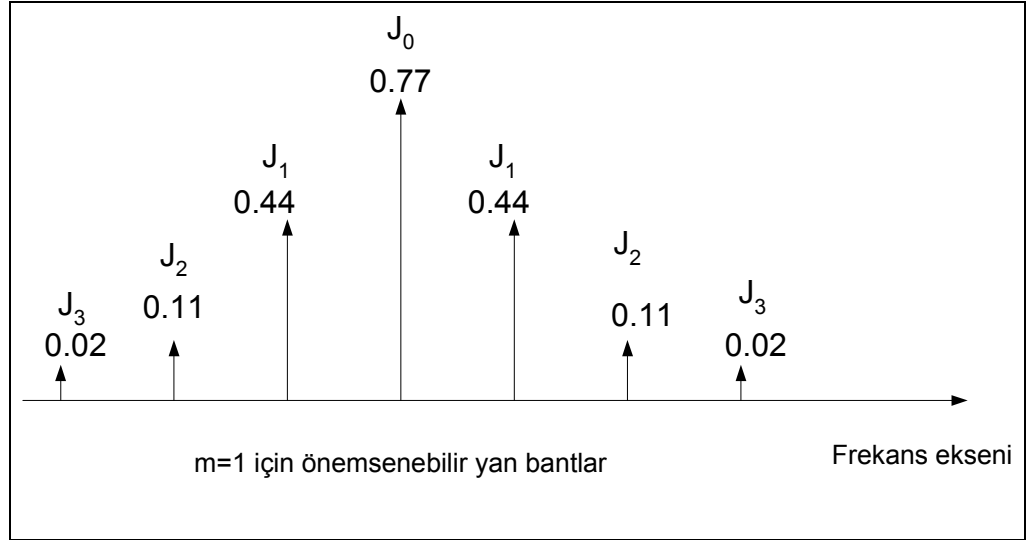
Tablo taşıyıcı genliği 1Volt alınarak normalize hale getirilmiştir.

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

**Örnek.**

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

**ÇÖZÜM****Örnek.**

Bir FM sinyal için ; taşıyıcı frekansı  $f_c=100\text{ MHz}$ ,  $m_f = 2$ ,  $f_m = 3\text{ kHz}$  verildiğine göre bant genişliğini bulunuz, frekans spektrumunu çiziniz.

**çözüm**

1. Tablo kuralına göre;  $BW = 2 * f_m * \text{önemli yanbant sayısı}$   $BW = 2 * 3 * 4 = 24\text{ kHz}$
2. Carson kuralına göre;  $BW = 2 * (\Delta f + f_m)$

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

$$\Delta f = m_f * f_m$$

$$\Delta f = 6$$

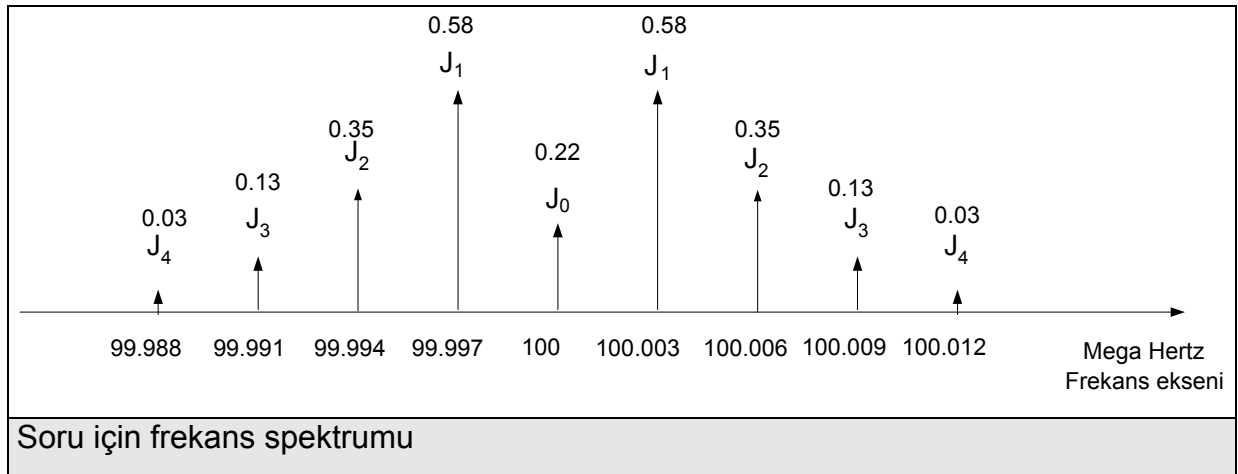
$$BW=2*(6+3)=18 \text{ kHz}$$

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**

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

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

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

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

**Örnek.**

Verilenler:

$$V_c = 5V$$

(Taşıyıcı frekans genliği)

$$f_c = 100 \text{ MHz}$$

(Taşıyıcı frekansı)

$$V_m = 5V$$

(Bilgi işaret genliği)

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

(Bilgi işaretinin frekansı)

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

İstenen: Spektrumda oluşacak olan frekansları çiziniz. Bant genişliğini bulunuz. Fm spektrumu çiziniz.

### çözüm

K nın kullanılması:

$$\Delta f = K V_{m\max}$$

$K = 1 \text{ kHz} / 1\text{V}$  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.

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

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

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

$$m_f = 0,25$$

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.)

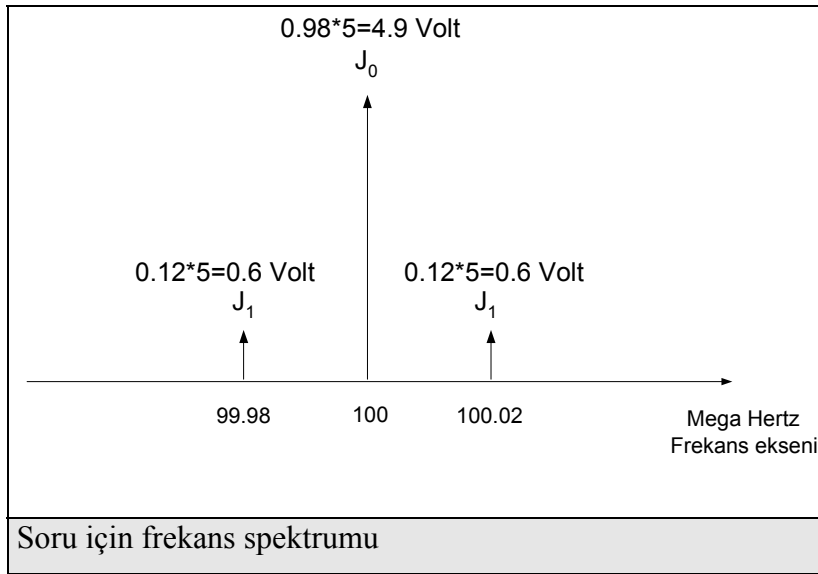
$$J_0 = 0,98 * 5 = 4.9\text{Volt}$$

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

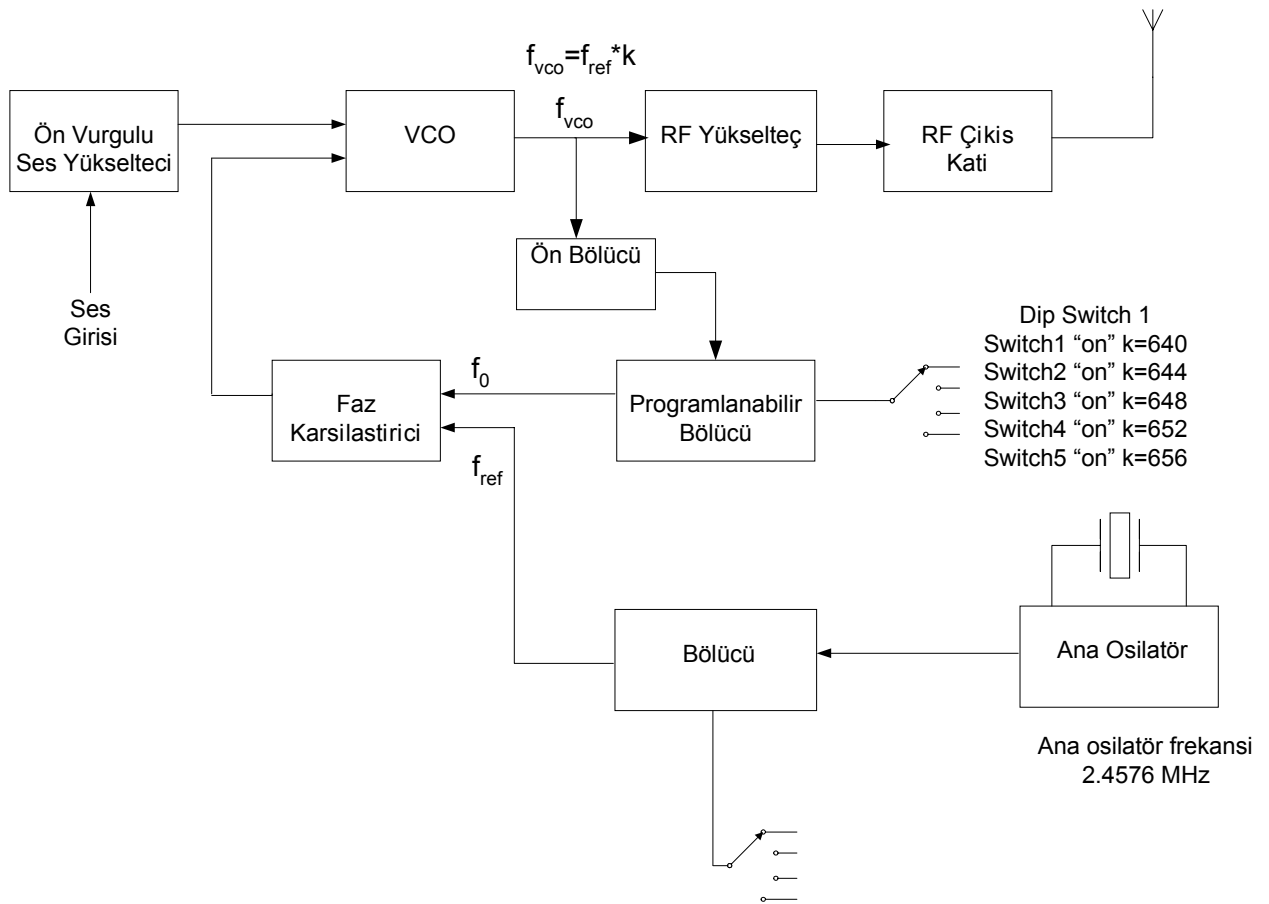
$$f_m = 20 \text{ kHz} = 0.020 \text{ MHz}$$

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

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

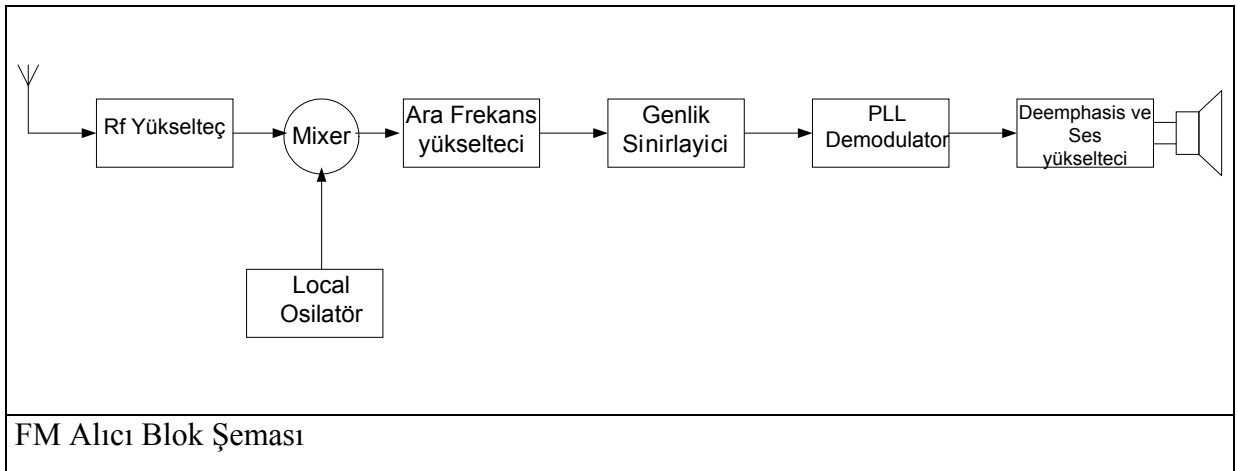
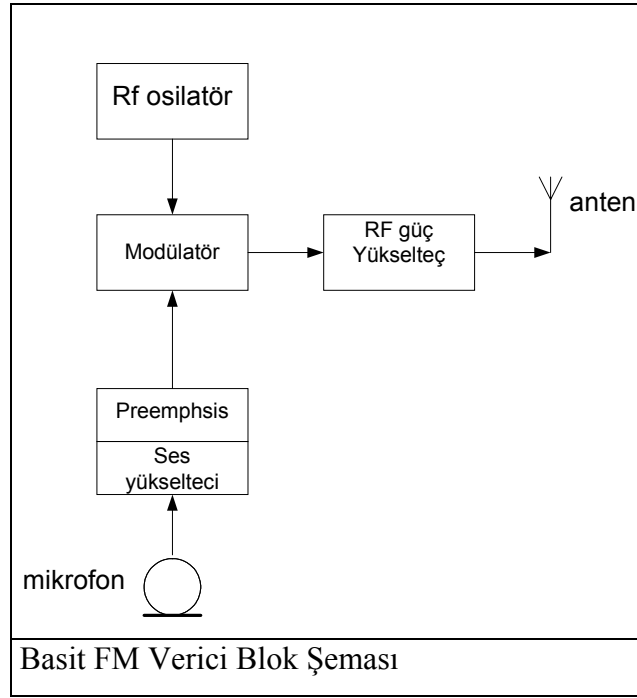


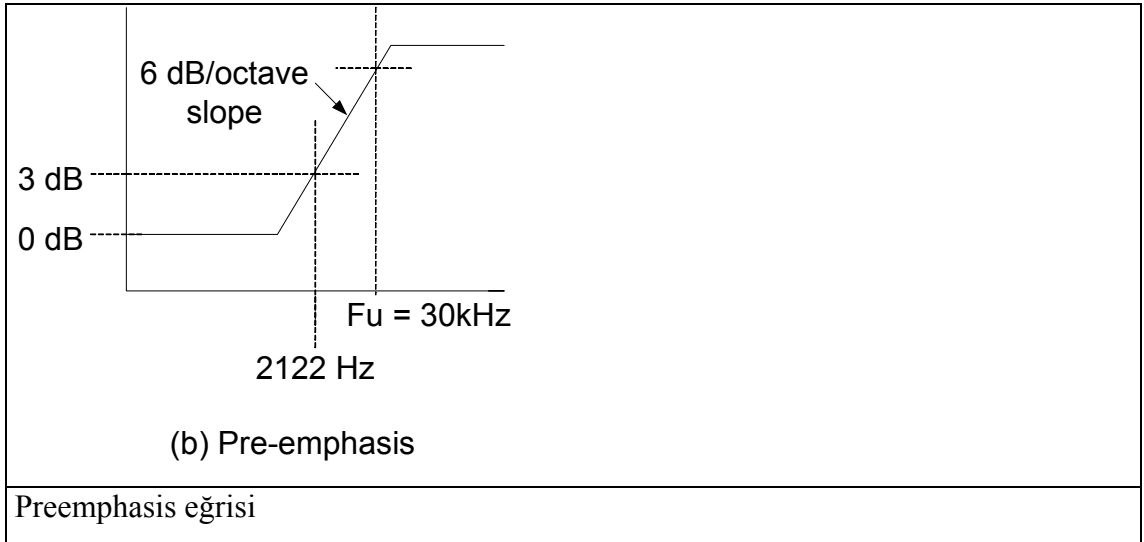
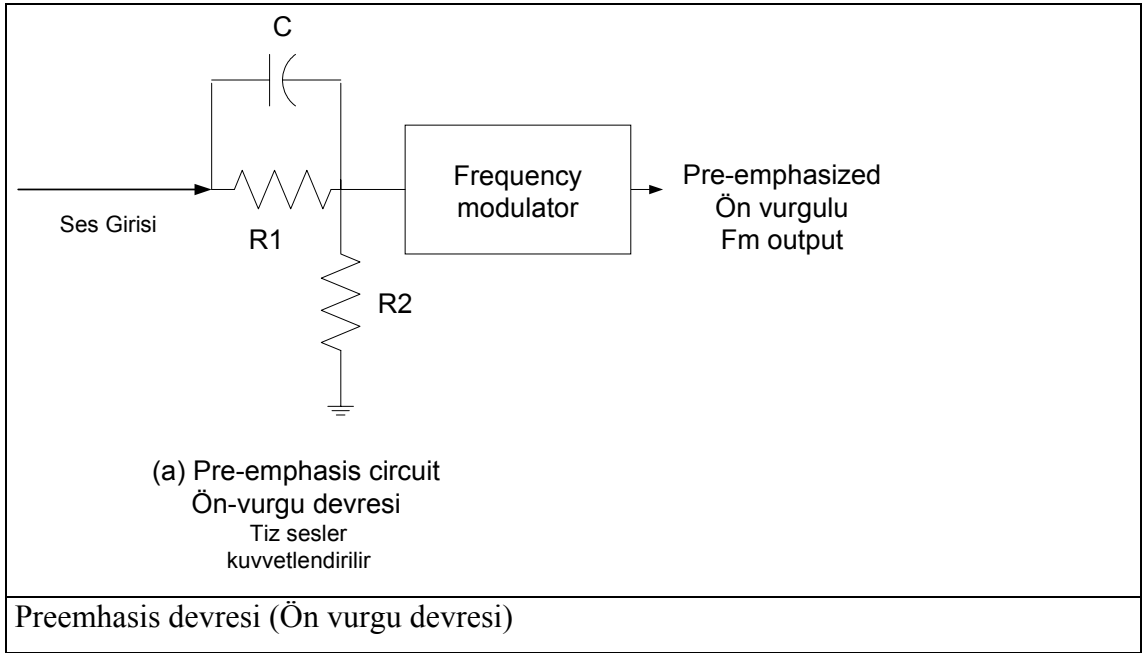
### 5-4 FREKANS MODÜLELİ VERİCİ BLOK ŞEMASI

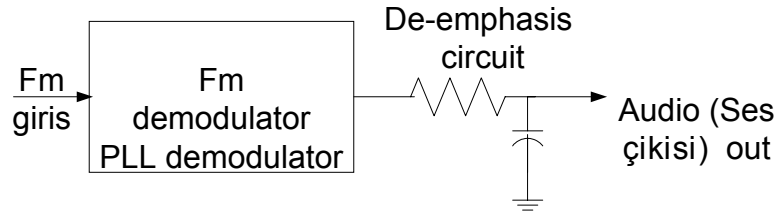


Dip Switch 2  
Switch1 "on" h=18 fref=2.4576/18=136.5 KHz  
Switch2 "on" h=17 fref=2.4576/17=144.56 KHz  
Switch3 "on" h=16 fref=2.4576/16=153.6 KHz  
Switch4 "on" h=15 fref=2.4576/15=163.84 KHz





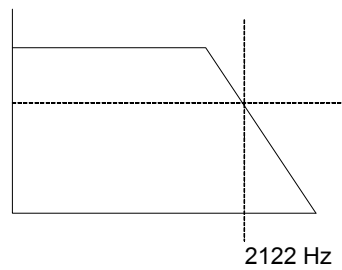




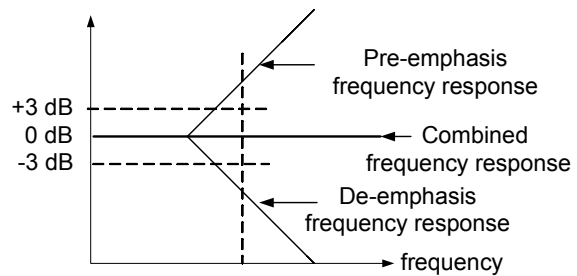
( c ) De-emphasis circuit

Tiz seslerdeki kuvvetlendirme kaldırılır

Deemphasis devresi



(d) De-emphasis curve

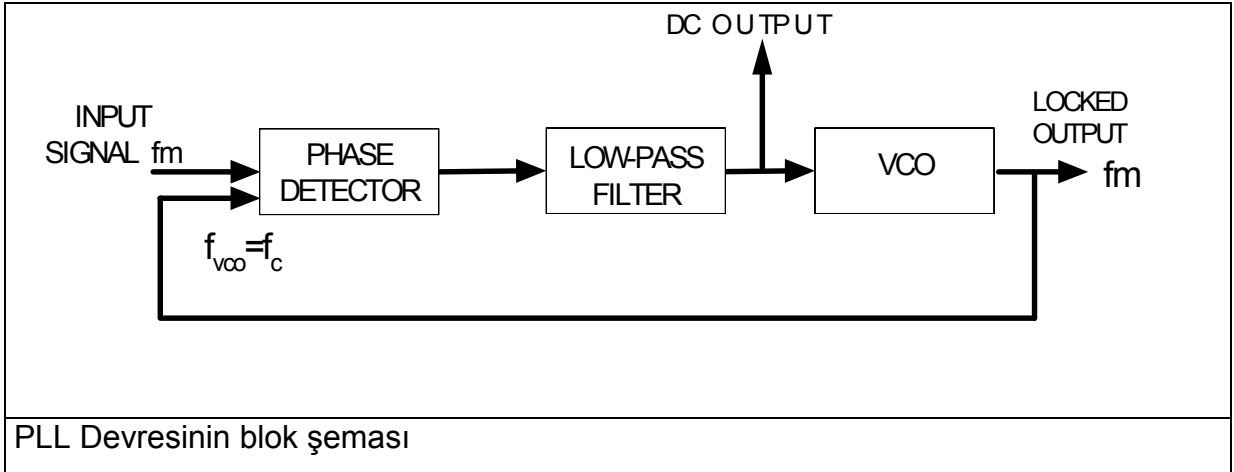


(e) Combined frequency response

Deemphasis eğrisi ve alıcıda alıcıda preemhaisin deemphasis ile yok edilmesi

### 5-5 PLL Faz Dedektörü

Faz dedektörleri ;fm sentezörlü vericilerde , fm alıcılarda demodülasyon işleminde , uydu takip devrelerinde , dar bant keskin filtre devrelerinde kullanılırlar.



**Faz dedektörü** :Çarpıcı devredir.f<sub>m</sub> ve f<sub>vco</sub> frekanslarını çarpır.Girişindeki iki işaret arasındaki frekans farkı ya da faz farkına orantılı olarak çıkışında dc voltaj üretir.

**Low pass filter**: Alçak geçiren filtre.Çarpıcı devre çıkışındaki toplam ve fark frekanslarından fark frekansı içeren bileşeni geçirir.

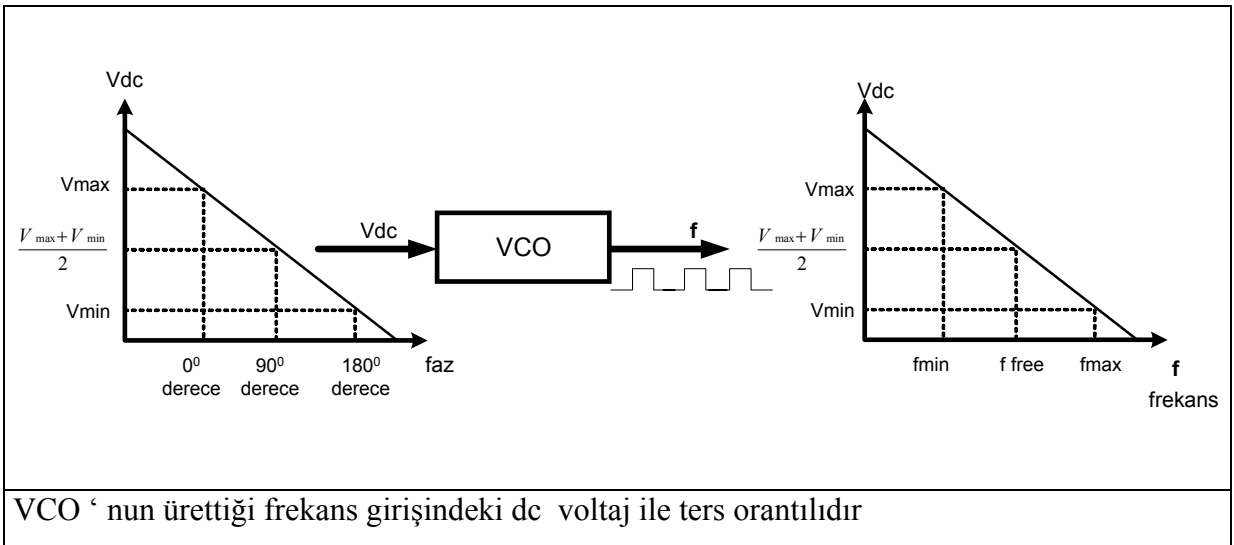
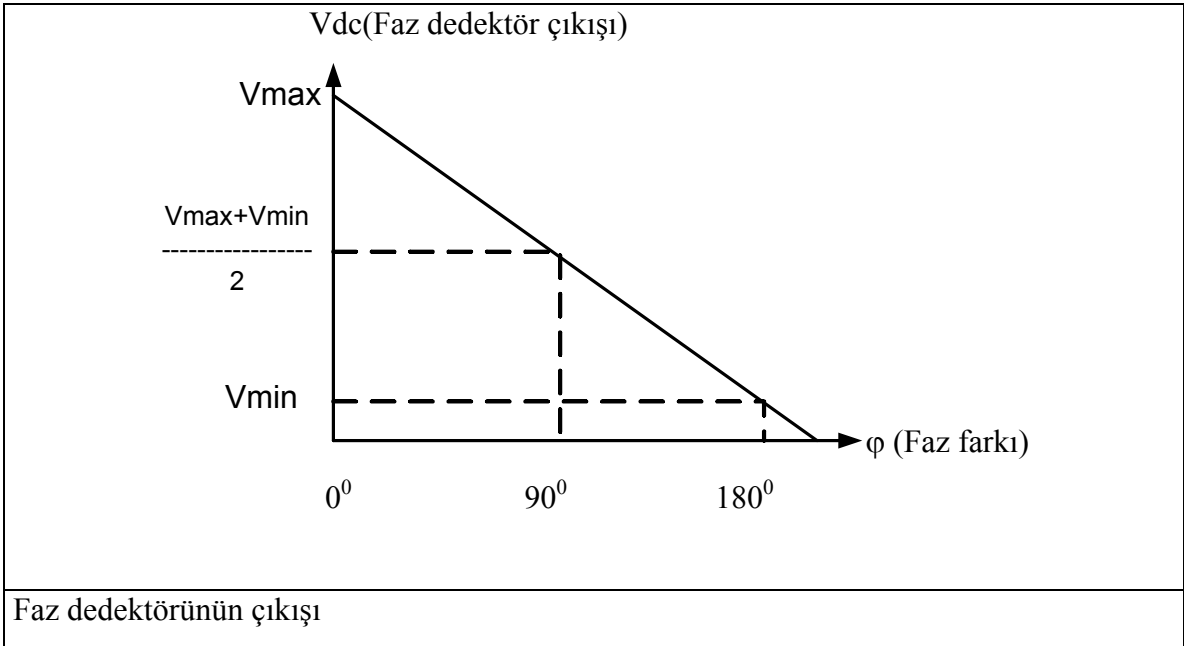
$$V_m \sin a * V_c \sin b = -\frac{1}{2} V_m * V_c [\cos(a + b) - \cos(a - b)]$$

$$V_m \sin 2\pi f_m t * V_c \sin 2\pi f_c t = \frac{V_m * V_c}{2} \cos 2\pi t(f_c - f_m) - \frac{V_m * V_c}{2} \cos 2\pi t(f_c + f_m)$$

$$\text{Filtre çıkışı} = V_{dc} = \frac{V_m * V_c}{2} \cos 2\pi t(f_c - f_m)$$

Faz dedektör girişinde f<sub>c</sub>=f<sub>m</sub> ise PLL kitlenir ve  $\cos 0 = 1$   $V_{dc} = \frac{V_m * V_c}{2}$  olur.

**VCO**: (Voltage controlled Oscillator) Serbest salınım frekansını üretir.Filtre çıkışındaki DC voltaja göre salınım yaptığı frekans değerini değiştirir.



## 5.6 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)

NE 560B from Signetic (VCO serbest salınım frekansı : 15 MHz' den 30 MHz'e kadar)

NE 564 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

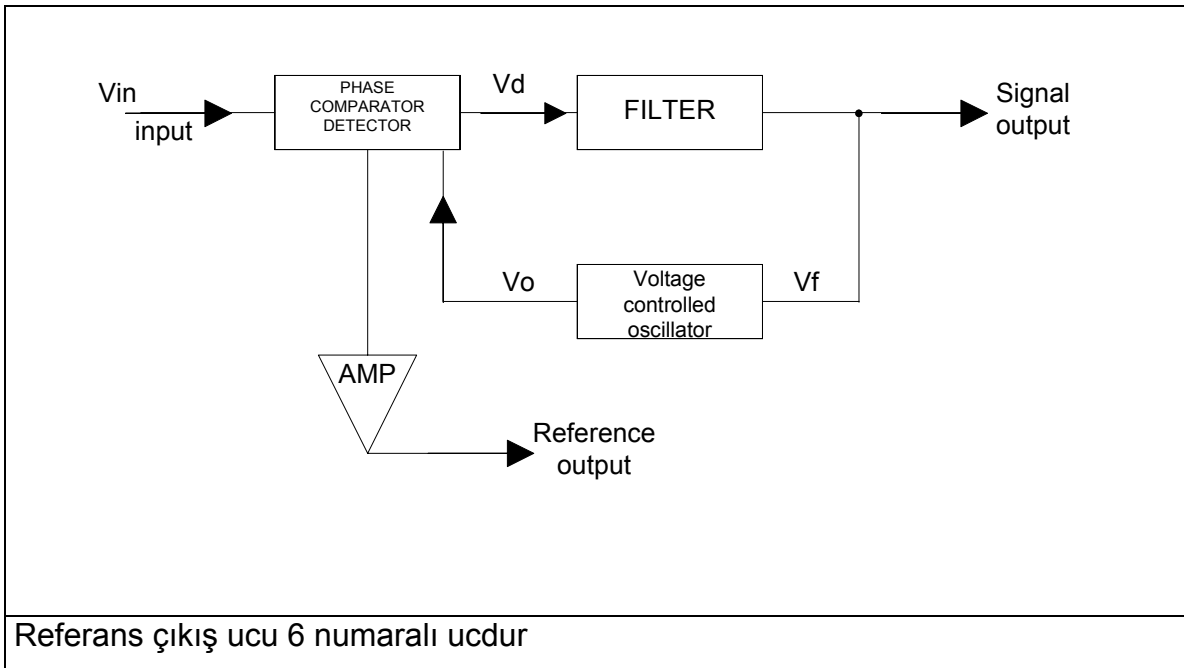
frekans bölücü olarak 74192 veya 7490 veya The more modern version of the TTL

74192, is the 74HC/HCT192

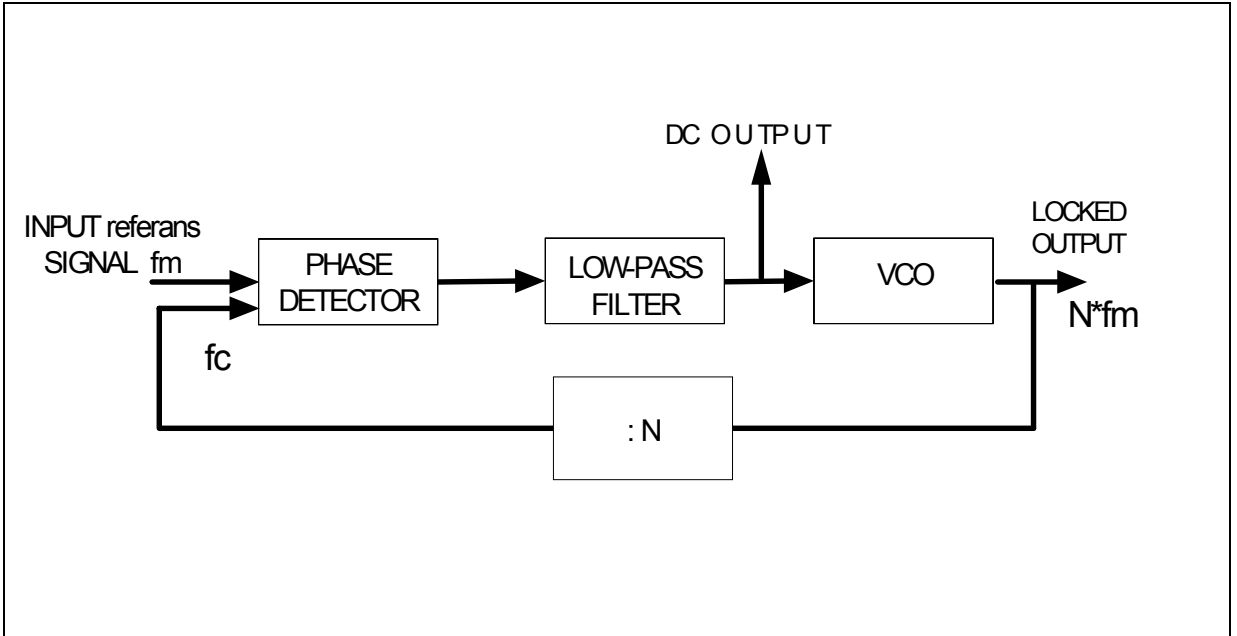
NE560-TO NE567 from signetics

MC4046 COS-MOS from MOTOROLA

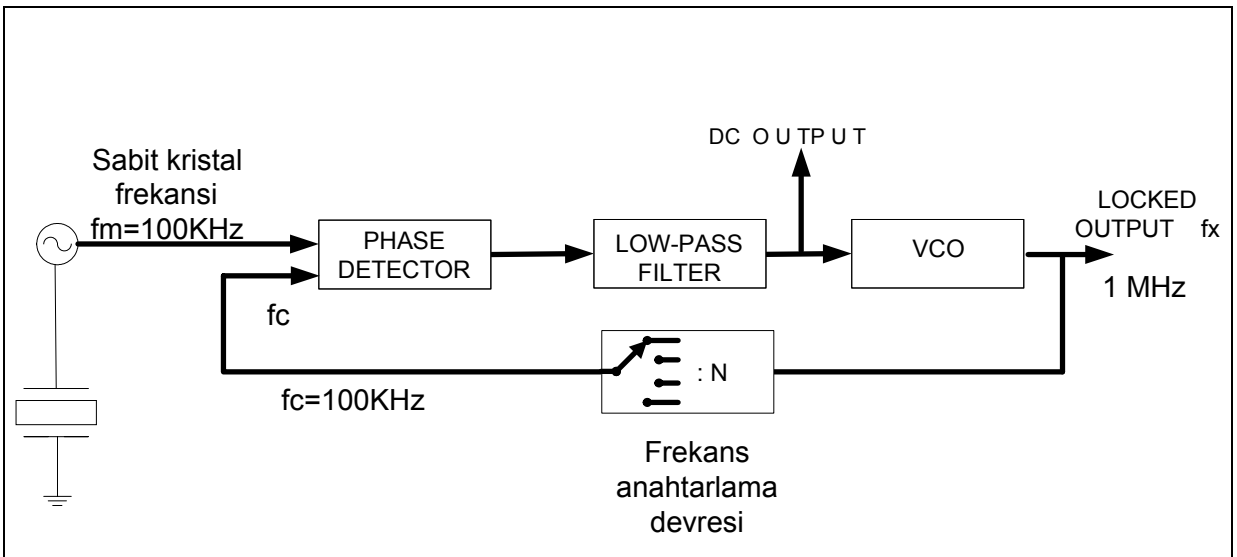
NTE989 from NTE ELECTRONICS



## 5-7 PLL Frekans Sentezör



PLL frekans sentezör devresinin blok şeması



PLL Frekans Sentezör

Kararlı referans osilatörünün frekansı frekans sentezleyici vericinin çıkış frekansları arasındaki artış adımlarını verir. Kanal 1 den Kanal 2 ye geçiş sırasında , frekans kararlı referans osilatörünün frekansı kadar artar.

### Sistemin Çalışması

- VCO nun başlağıçtaki serbest salınım frekansını 1 MHz alalım .Sistemin kitlemesi için  $N=10$  ve  $f_c=100$  KHz olması gereklidir.
- $N=11$  yapılırsa  $f_c=90,90$  KHz ve  $f_m > f_c$  dir.  
 $f_m$  nin  $f_c$  den büyük olması faz açısını büyütür. Faz açısı büyüyünce faz dedektör çıkışındaki  $V_{dc}$  küçülecek ve VCO çıkış frekansı yükselecektir. Sistem kitlendiğinde; VCO çıkışı 1,1 MHz ,  $N=11$  ve  $f_c=100$  KHz olur. Sistem kitlendiğinde  $f_m$  ve  $f_c$  işaretleri arasındaki faz farkı 90 derece olacaktır.
- $N=9$  yapılırsa  $f_c=111.11$  KHz ve  $f_m < f_c$  dir.  
 $f_m$  nin  $f_c$  den küçük olması faz açısını küçültür. Faz açısı küçülünce faz dedektör çıkışındaki  $V_{dc}$  büyüyecek VCO çıkış frekansı küçülecektir.. Sistem kitlendiğinde VCO çıkışı 900 KHz ,  $N=9$  ve  $f_c=100$  KHz olacaktır. Sistem kitlendiğinde  $f_m$  ve  $f_c$  işaretleri arasındaki faz farkı 90 derece olacaktır.
- N bölüm oranı neticesinde ortaya çıkan frekansın PLL devresinin capture yakalama frekansı içinde olmak zorundadır.
- N bölüm oranı değiştirilerek PLL devresinin capture yakalama frekansı içerisindeki herhangi bir frekans verici çıkışında elde edilebilir.