

# Bölüm 13 FSK Modülatörleri.

## 13.1 AMAÇ

1. Frekans Kaydırmalı Anahtarlama (FSK) modülasyonunun çalışma prensibinin anlaşılması.
2. FSK işaretlerinin ölçülmesi.
3. LM566 kullanarak bir FSK modülatörünün gerçekleştirilmesi.

## 13.2 TEMEL KAVRAMLARIN İNCELENMESİ

Dijital iletimde kullanılan tekrarlayıcılar(repeaters), dijital işaretleri tekrar üretebilir ve gürültü girişimine karşı işaretin dayanıklılığını artırabilir. Kodlama tekniklerinin kullanımı ile de dijital işaretlerin hata ayıklanması ve doğrulanması sağlanabilir. Ancak dijital işaretler sık sık bozulmalara maruz kalabilirler çünkü yüksek frekans bileşenleri uzun mesafeli iletimlerde kolaylıkla zayıflayabilmektedirler. Bu dezavantajı iyileştirmek için özel bir işlem(modülasyon) gereklidir. Frekans kaydırmalı anahtarlama(FSK) modülasyonu bir çeşit FM modülasyonudur. Modüle edilecek işaret(Dijital işaret), çıkışta, önceden belirlenmiş iki frekans arasında kaydırılır. Genellikle bu frekanslar “mark” ve “space” olarak adlandırılır. Fig. 13-1’de dijital işaretler ve FSK arasındaki ilişki gösterilmiştir.  $f_1$  FSK frekansı, high dijital giriş işaretine ve  $f_2$  FSK frekansı, low dijital giriş işaretine karşılık gelmektedir.

FSK tekniği, teletype bilgi iletimlerinde sıkca kullanılan bir tekniktir. FSK standartları yıllardır gelişmektedir. Telsiz için, 2124Hz frekansı “mark” yada 1, 2975Hz frekansı ise “space” yada 0’ı göstermektedir.

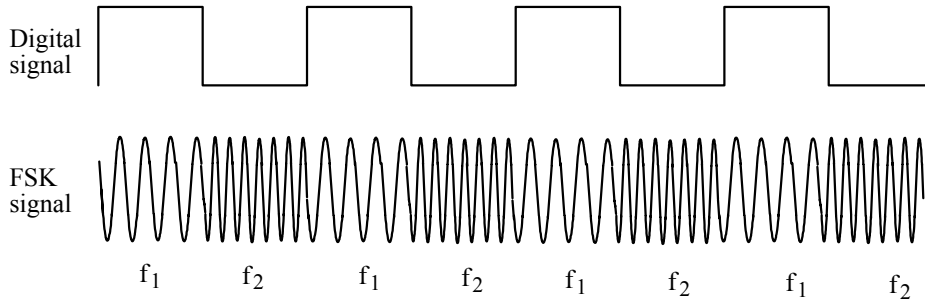


Fig. 13-1 Dijital ve FSK işaretler arasındaki ilişki.

Telefon ve iletim hatları üzerindeki data iletimi için, genellikle kullanılan frekanslar şunlardır;

Space = 1270Hz

Mark = 1070Hz

ve

Space = 2225Hz

Mark = 2025Hz

Dikkat edelim ki, FSK işaretlerin frekans farkı(gap) 200Hz'e eşittir.

FSK modülatörü, dijital işareti(kare dalga), giriş işaret seviyesine göre iki frekansa sahip bir analog işarete dönüştürmek için kullanılır. Bu deneyde, Space ve mark'ı göstermek için sırası ile 1070Hz ve 1270Hz frekanslarını kullanacağız. Gerilim kontrollü bir osilatör(VCO), bu iki frekansı kolaylıkla üretebilir. LM566 VCO kullanılarak gerçekleştirilen pratik bir FSK modülatörü Fig. 13-2'de gösterilmiştir. Böyle durumlarda, LM566'nın osilasyon frekansı şu şekilde bulunabilir;

$$f_o = \frac{2}{R_{10}C_5} \left( \frac{V_{cc} - V_{in}}{V_{cc}} \right)$$

$V_{cc}$ , LM566'nın besleme girişi olan 8. pine uygulanan gerilimdir.  $V_{in}$ , 5. pine uygulanan VCO kontrol gerilimidir.

Eğer  $V_{cc}$  sabit ise  $R_{10}$ ,  $C_5$  ve  $V_{in}$  için uygun değerler belirlenir. Bu değerler, LM566 çıkışında 1072Hz ve 1272Hz  $f_o$  çıkış frekansları elde etmek için belirlenir. Pratikte, kullanılan LM566 VCO'nun limitleri aşağıdaki gibidir;

$$2k\Omega \leq R_{10} \leq 20k\Omega$$

$$0.75 \leq V_{in} \leq V_{cc}$$

$$f_o \leq 500kHz$$

$$10V \leq V_{cc} \leq 24V$$

1070Hz ve 1270Hz frekanslarını üretmek için, dijital giriş seviyeleri, örnek olarak TTL 0V ve 5V seviyeleri uygun gerilim seviyelerine çevrilmelidir. Ve daha sonra VCO girişine uygulanmalıdır. Seviye kaydırıcı ( $Q_1$  ve  $Q_2$ ) bu amacı sağlar.  $Q_1$  bir NOT kapısı olarak davranır. Diğer bir deyişle,  $Q_1$  girişi

5V(high) olduğu zaman, Q<sub>1</sub> çıkışı low seviyesine yani aşağı yukarı 0.2V seviyesine düşer. Bu, Q<sub>2</sub>'nin kesime girmesini sağlar. Eğer Q<sub>1</sub> girişi low(0V) ise, Q<sub>1</sub> kapalıdır(OFF) ve çıkışı high(5V) seviyesine yükselir ve böylelikle Q<sub>2</sub> iletme geçer. Q<sub>2</sub> kapalı ise(OFF), VCO'nun giriş gerilimi aşağıdaki gibi verilir;

$$V_1 = \frac{VR_2}{VR_2 + R_6} V_{cc}$$

VCO çıkış frekansında f<sub>1</sub> olur. Q<sub>2</sub> iletme geçtiği zaman, VCO giriş gerilimi aşağıdaki gibidir;

$$V_2 = \frac{VR_1 // VR_2}{(VR_1 // VR_2) + R_6} V_{cc}$$

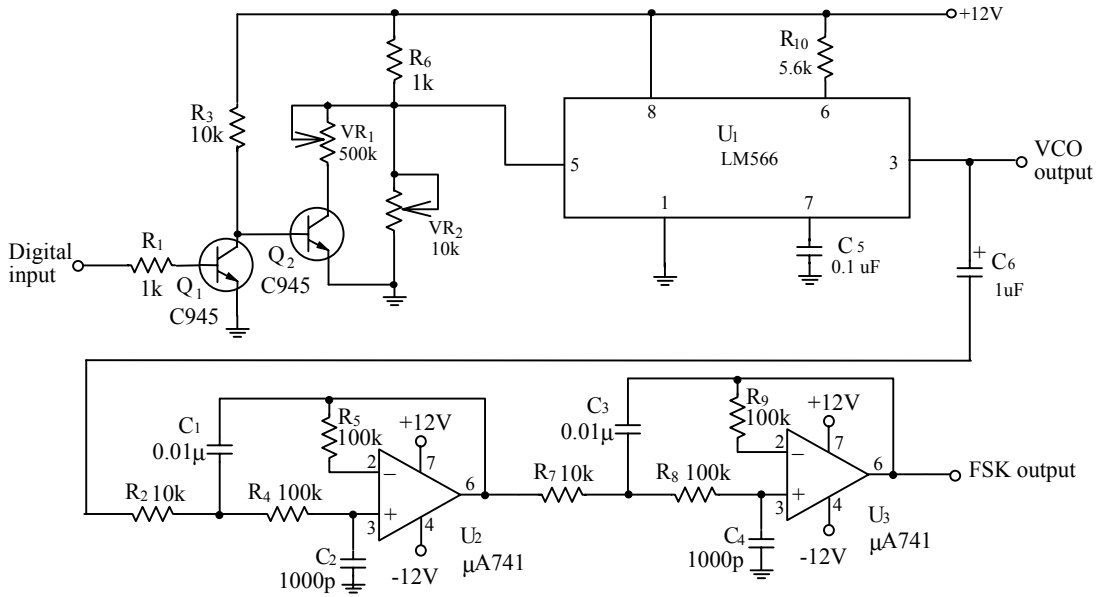


Fig. 13-2 FSK Modülâtör devresi.

Bu giriş gerilimine karşılık VCO çıkış frekansı  $f_2$  olur. Bu nedenle çıkış frekansları  $f_1=1270\text{Hz}$  ve  $f_2=1070\text{Hz}$ ,  $VR_1$  ve  $VR_2$  değerleri dikkatli bir şekilde ayarlanarak elde edilir.  $U_2$  ve  $U_3$ , ikinci dereceden alçak geçiren filtrelerdir. Bu iki filtre kaskat bağlanarak dördüncü dereceden bir alçak geçiren filtre elde edilir. Bu filtre LM566 VCO çıkışındaki yüksek frekanslı harmonik bileşenlerini süzmek için kullanılır ve dolayısıyla FSK modüleli işaret elde edilmiş olunur.

Eğer yukarıda bahsedilen FSK modüleli işaret bir anten kullanılarak iletilmek istenirse, FSK işaretini RF frekansları bandına taşımak için bir mixer kullanmak gerekir.

### 13.3 GEREKLİ EKİPMANLAR

1. KL-92001 Modülü
2. KL-94003 Modülü
3. Osiloskop

### 13.4 DENEYLER VE KAYITLAR

#### ***Deney 13-1 FSK Modülatörü***

- 1. FSK modülatör devresini KL-94003 modülü üzerine yerleştirin.
- 2. 5VDC gerilimi, dijital işaret girişine(I/P) bağlayın. Osiloskop kullanarak, LM566 çıkış(pin 3) frekansını gözlemleyin. 1070Hz frekansını elde etmek için VR2'yi ayarlayın. Sonucu Tablo 13-1'e kaydedin.
- 3. Osiloskop kullanarak, FSK çıkış işaretini gözlemleyin ve sonucu Tablo 13-1'e kaydedin.
- 4. Dijital işaret girişini(I/P) toprağa(0V) bağlayın. Osiloskop kullanarak, LM566 çıkış(pin 3) frekansını gözlemleyin. 1270Hz frekansını elde etmek için VR1'i ayarlayın. Sonucu Tablo 13-1'e kaydedin.
- 5. Osiloskop kullanarak, FSK çıkış işaretini gözlemleyin ve sonucu Tablo 13-1'e kaydedin.
- 6. İşaret üreticinin(signal generator) çıkışını TTL seviyesine frekansıda 200Hz olarak ayarlayın. Daha sonra işaret üreticinin çıkışını dijital işaret girişine(I/P) bağlayın. Osiloskop kullanarak, girişi, LM566 çıkışını(pin 3), ve FSK çıkış işaretlerini gözlemleyin ve Tablo 13-2'ye kaydedin.
- 7. İşaret üreticinin çıkış frekansını 5kHz olarak değiştirin. 6. adımı tekrarlayın.

Tablo 13-1

Giriş İşareti	LM566 (pin 3) Çıkış Dalga Şekli	FSK Çıkış Dalga Şekli
0V		
5V		

Tablo 13-2

Giriş Frekansı	200 Hz	5 kHz
Giriş Dalga Şekli		
LM566 (pin 3) Çıkış Dalga Şekli		
FSK Çıkış Dalga Şekli		

### 13.4 SORULAR

1. Q1, Q2 ve LM566'nın çalışma biçimlerini tanımlayınız.
2. VR1 ve VR2'nin görevlerini tanımlayınız.
3. Eğer giriş frekansı FSK frekansından daha yüksek ise, FSK modülatörü normal olarak çalışır mı?

# Bölüm 14 FSK Demodülatörleri

## 14.1 AMAÇ

1. Faz kilitlemeli çevrim(PLL) kullanarak frekans kaydırmalı anahtarlama detektörünün gerçekleştirilmesi.
2. OP AMP kullanarak bir gerilim karşılaştırıcının nasıl tasarlanacağını öğrenilmesi.

## 14.2 TEMEL KAVRAMLARIN İNCELENMESİ

Bölüm 13'de ifade edildiği gibi, uzun mesafe haberleşmeleri için dijital işaret, FSK modülatörü kullanılarak FSK işaretine çevrilir. Alınan FSK işaretten orijinal dijital işaretin tekrar elde edilmesi için bir FSK demodülatörü gereklidir. Faz kilitlemeli Çevrim(PLL), bu amaç için iyi bir seçimdir. Kısaca, PLL, giriş işaret frekansını ve fazını takip eden bir kontrol sistemidir. Son zamanlarda yaygın olarak, PLL, çeşitli analog haberleşme sistemlerinde demodülatör olarak kullanılmaktadır. Örnek olarak, AM demodülatörü, FM demodülatörü, frekans seçici ve renkli TV almalılarında chroma subcarrier acquisition olarak kullanılmaktadır. Benzer şekilde, bir çok dijital PLL yapıları geliştirilmiştir ve bu sayede dijital haberleşme sistemlerinde taşıyıcı işareti takip etmek yada bit senkronizasyon işaretini takip etmek mümkündür.

Temel olarak, bir PLL üç ana yapıdan oluşur; Faz detektörü(PD), Çevrim filtresi(LF) ve Gerilim kontrollü osilatör(VCO). Fig. 14-1'de PLL blok diyagramı görülmektedir.

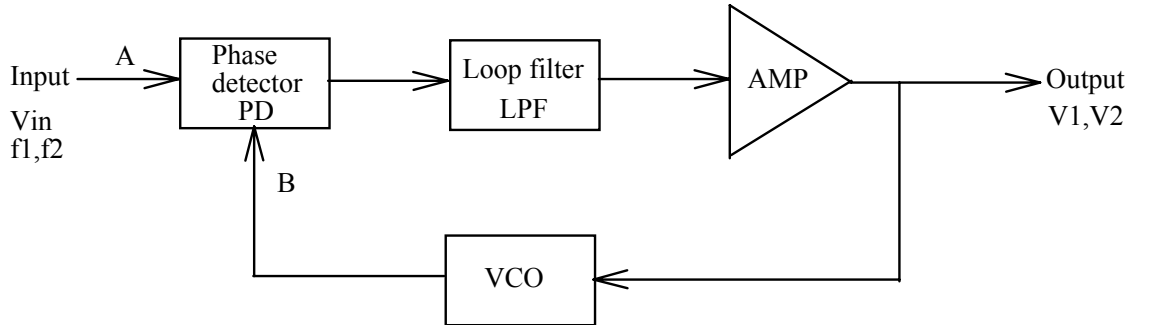


Fig. 14-1 PLL blok diyagramı.

Fig. 14-1'de gösterilen PLL blok diyagramını düşünelim. Eğer  $V_{in}$  girişindeki frekans değişirse, bu ani değişim sonucunda A ve B arasında bir faz değişimi oluşur ve bunun sonucu olarak çıkıştaki DC seviyede bir değişim meydana gelir. Seviyedeki bu kayma, VCO çıkışındaki frekansı değiştirecek ve kilitleme devam edecektir. Eğer PLL bir FSK demodülatörü olarak kullanılır ve girişe FSK işareti uygulanırsa,  $f_1$  ve  $f_2$  giriş frekanslarına karşılık sırası ile  $V_1$  ve  $V_2$  çıkış gerilimleri meydana gelecektir. Böylelikle, giriş frekansındaki bir değişim çıkışta DC seviyede bir değişime dönüşmektedir. PLL çıkışı,  $V_1$  ve  $V_2$  arasında bir referansa sahip gerilim karşılaştırıcısının girişine bağlandığı zaman, karşılaştırıcının çıkış işareti dijital işaret ya da FSK demodüle edilmiş işarettir.

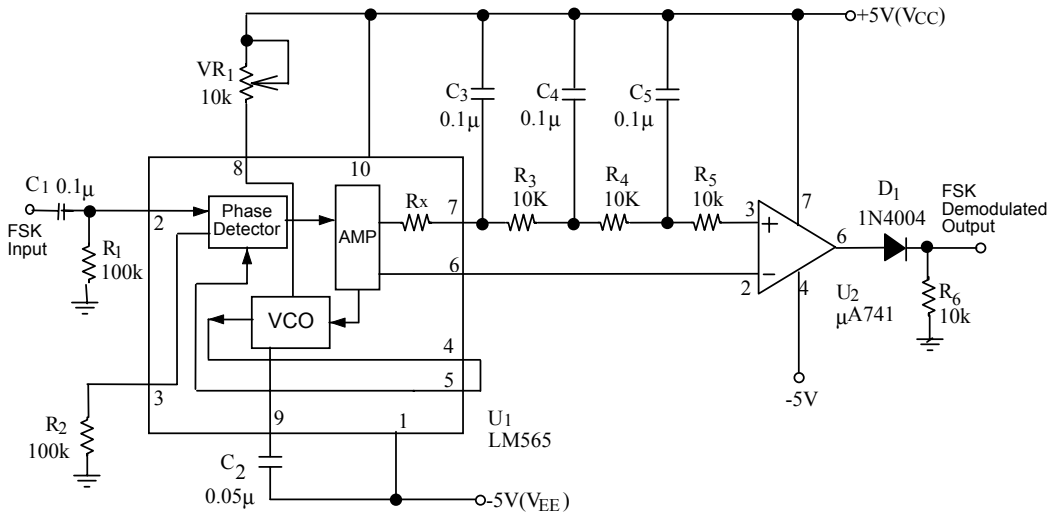


Fig. 14-2 FSK demodülatörü.

Bu deneyde, Fig. 14-2'de gösterildiği gibi bir FSK demodülatörünü gerçekleştirmek için LM565 PLL yapısını kullanmaktayız. LM565 PLL, faz detektörü, VCO ve 500kHz'in altında çalışan bir kuvvetlendirici içermektedir. Faz detektörü, çift dengeli modülatör olarak çalışmaktadır. VCO, bir integrator-Schmitt devresidir. +5V ve -5V beslemeler sırası ile  $V_{CC}$  (pin 10) ve  $V_{EE}$  (pin 1)'ye uygulanır. FSK işareti, faz detektörünün girişine uygulanır. Deneyimizde frekans çarpıcı gereksiz olduğundan dolayı, 4. ve 5. pinler birbirine bağlanır. Referans çıkışı (pin 6), U2 karşılaştırıcısına referans gerilimi sağlar.

İçerideki  $R_x$  kapasitesi ve dışarıdan bağlanan  $C_3$  kapasitesinin kombinasyonu çevrim filtresi olarak çalışır.  $VR_1$  ve  $C_2$  zamanlama elemanları, VCO'nun serbest çalışma frekansını belirler. LM565 ile tasarımda dikkate alınacak önemli parametreler aşağıdaki gibidir;



## Serbest Çalışma Frekansı

Girişte işaret olmadığı zaman, VCO'nun çıkış frekansına serbest çalışma frekansı  $f_o$  adı verilir. Fig. 14-2 devresinde, LM565'in serbest çalışma frekansı  $V_{R1}$  ve  $C_2$  zamanlama elemanları ile belirlenir ve aşağıdaki gibi bulunur;

$$f_o \approx \frac{1.2}{4V_{R1}C_2}$$

## Kilitlenme Aralığı

İlk olarak, PLL kilitli durumda ve VCO bir frekansta çalışıyor olsun. Eğer giriş frekansı  $f_i$ , VCO frekansı  $f_o$ 'dan uzakta ise kilitli olma durumu hala mevcut olabilir. Ne zaman ki giriş frekansı belli bir frekansa ulaştığında PLL kilitli olma durumunu kaybediyorsa,  $f_i$  ve  $f_o$  arasındaki frekans farkına çevrimin kilitlenme aralığı adı verilir. LM565'in kilitlenme aralığı aşağıdaki formül ile bulunabilir;

$$f_L = \frac{8f_o}{V_C} = \frac{8f_o}{V_{CC} - V_{EE}}$$

## Yakalama Aralığı

İlk olarak, çevrim kilitli olmasın ve VCO bir frekansta çalışıyor olsun. Eğer giriş frekansı  $f_i$ , VCO frekansı  $f_o$ 'a yakın ise kilitlenmeme durumu hala mevcut olabilir. Ne zaman ki giriş frekansı belli bir frekansa ulaştığında PLL kilitleniyorsa  $f_i$  ve  $f_o$  arasındaki frekans farkına çevrimin yakalama aralığı adı verilir.

LM565'in yakalama aralığı aşağıdaki formül ile bulunabilir;

$$f_C = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{2\pi \times f_L}{3.6 \times 10^3 \times C_2}}$$

Fig. 4-2 devresinde,  $R_3$ ,  $R_4$ ,  $R_5$ ,  $C_3$ ,  $C_4$ , ve  $C_5$  alçak geçiren filtre görevi görürler. Filtrenin amacı çıkıştaki salınımları azaltmak içindir. FSK demodüle edilmiş işaretin dijital seviyeleri TTL seviyelerine uyumludur.

### 14.3 GEREKLİ EKİPMANLAR

1. KL-92001 Modülü
2. KL-94003 Modülü
3. Osiloskop

### 14.4 DENEYLER VE KAYITLAR

#### ***Deney 14-1 FSK Demodülatörü***

- 1. FSK Demodülatör devresini KL-94003 modülü üzerine yerleştirin. Osiloskopun dikey girişini VCO çıkışına(T1) bağlayın. LM565'in serbest çalışma frekansını gözlemleyin ve 1770Hz frekansını elde etmek için VR1'i ayarlayın.
- 2. Giriş terminaline(I/P), 1070Hz, 2Vp-p sinüs işaret bağlayın. Osiloskopun dikey girişini DC aralığa ayarlayın. Çıkış dalga şeklini gözlemleyin ve sonucu Tablo 14-1'e kaydedin.
- 3. Giriş frekansını 1270Hz olarak değiştirin ve 2. adımı tekrarlayın.
- 4. FSK modülatör devresini KL-94003 modülü üzerinde tamamlayın. 150Hz TTL kare dalga işareti FSK modülatörünün girişine bağlayın.
- 5. FSK modülatör çıkışını FSK demodülatör girişine bağlayın. Osiloskop kullanarak, demodüle edilmiş çıkış işaretini gözlemleyin ve Tablo 14-2'ye kaydedin. Eğer demodüle edilmiş işaret elde edilemezse, FSK giriş frekansları 1070Hz ve 1270Hz'i kontrol edin.
- 6. FSK modülatörünün giriş frekansını 200Hz olarak değiştirin. Osiloskopun dikey girişini DC aralığa ayarlayın ve çıkış dalga şeklini gözlemleyin. Sonucu Tablo 14-2'ye kaydedin.

Tablo 14-1  
( $V_{in}=2V_{p-p}$ )

Giriş Frekansı	Giriş Dalga Şekli	Çıkış Dalga Şekli
1070 Hz		
1270 Hz		

Tablo 14-2

FSK Modölatörü (Fig.13-2) Giriş Frekans	FSK Demodölatörü Giriş Dalga Şekli	FSK Demodölatörü Çıkış Dalga Şekli
150Hz		
200Hz		

### 14.5 SORULAR

1. Fig. 14-2'deki LM565 devresinde bulunan VCO'nun serbest çalışma frekansını hangi elemanlar belirlemektedir.
2. Fig. 14-2'deki  $\mu$ A741'in kullanım amacı nedir?
3. LM565'in 6. pininin görevi nedir?
4. LM565 çıkışı ile karşılaştırıcı girişi arasındaki çok katlı alçak geçiren filtrenin amacı nedir?