



## Analog Haberleşme Laboratuvarı

### 7.FM MODÜLATÖRLERİ

#### 7.1 AMAÇ

1. Varaktör diyotun karakteristiğinin ve çalışma prensibinin incelenmesi
2. Gerilim kontrollü osilatörün(VCO) çalışma prensibinin anlaşılması.
3. Gerilim kontrollü osilatör ile bir frekans modülatörünün gerçekleştirilmesi.

#### 7.2 TEMEL KAVRAMLARIN İNCELENMESİ

##### Frekans Modülasyonun Çalışma Prensibi

Frekans modülasyonu(FM), taşıyıcı frekansın modüle edilecek işaretin genliğine göre değişmesi prensibidir. FM işareti aşağıdaki denklem ile ifade edilebilir;

$$x_{FM}(t) = A_c \cos \theta(t) = A_c \cos \left[ 2\pi f_c t + 2\pi f_\Delta \int x(\lambda) d\lambda \right] \quad (7-1)$$

Eğer  $x(\lambda) = A_m \cos(2\pi f_m \lambda)$  ise,

$$\begin{aligned} x_{FM}(t) &= A_c \cos \left[ 2\pi f_c t + \frac{f_\Delta A_m}{f_m} \sin(2\pi f_m t) \right] \\ &= A_c \cos [2\pi f_c t + \beta \sin(2\pi f_m t)] \end{aligned} \quad (7-2)$$

$\theta(t)$  = Anlık Modülasyon Frekansı

$f_c$  = Taşıyıcı Frekansı

$f_m$  = Modülasyon Frekansı

$\beta$  = Modülasyon İndeksi =  $A_m (f_\Delta / f_m)$

$x_{FM}(t)$ , FM işaretinin frekansı şu şekilde ifade edilebilir;

$$\begin{aligned} f &= \frac{1}{2\pi} \frac{d}{dt} \theta(t) = \frac{1}{2\pi} \frac{d}{dt} [2\pi f_c t + \beta \sin(2\pi f_m t)] \\ &= f_c - f_m \beta \cos(2\pi f_m t) \end{aligned} \quad (7-3)$$

(7-3) denkleminde, FM işaretinin frekansının, taşıyıcı işaretin merkez frekansı etrafında değiştiği görülmektedir. Taşıyıcı işaretin merkez frekansı etrafındaki bu frekans değişimi, modüle edilecek işaretin genliğine göre değişmektedir.

#### Varaktör Diyot

Varaktör diyot, başka bir deyişle akort diyotu(tuning diode), kapasitans değeri p-n jonksiyonu üzerindeki ters kutuplama gerilimi ile orantılı olan diyottur. Diyot üzerine uygulanan ters kutuplama gerilimi arttıkça depletion bölgesinin genişliği arttığından dolayı kapasitans değeri azalır. Tam tersi olarak, diyot üzerine uygulanan ters kutuplama gerilimi azaldıkça depletion bölgesinin genişliği daha da daralacağından dolayı kapasitans değeri artacaktır. Diyot üzerine bir AC gerilim uygulandığı takdirde, kapasite değeri gerilimin değişimi ile değişir.

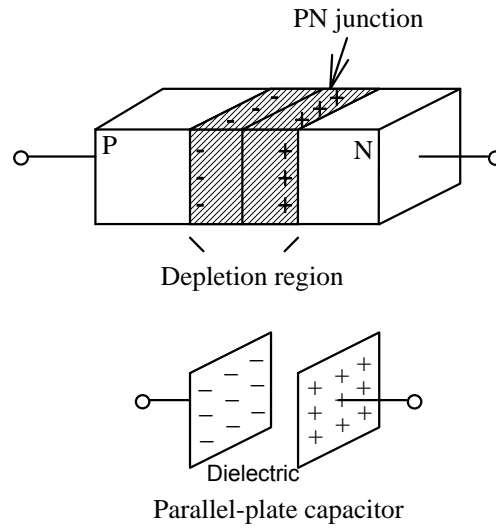


Fig. 7-1 Varaktör diyot ve kapasite arasındaki ilişki.

Fig. 7-1’de varaktör diyot ve genel bir kapasite arasındaki ilişki gösterilmiştir. Aslında, ters kutuplanmış bir varaktör diyot ile kapasite benzer yapılardır. p ve n yarıiletkenleri bir araya getirildiğinde azınlık taşıyıcıların difüzyonundan dolayı küçük bir depletion bölgesi oluşur. Pozitif yükler n jonksiyon tarafını, negatif yükler ise p jonksiyonu tarafını doldururlar. Bu, kapasite yapısına benzemektedir. İç jonksiyon kapasitesi değeri aşağıdaki kapasite formülü ile hesaplanabilir;

$$C = \frac{\epsilon A}{d} \quad (7-4)$$

$\epsilon = 11.8\epsilon_0 =$  dielektrik sabiti

$$\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}$$

A= Kapasitenin kesit alanı

d= Depletion bölgesinin kalınlığı

### Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği

Yukarıdaki formülden, eğer A sabit ise, varaktör kapasitesinin değerinin, depletion bölgesinin kalınlığı(veya plakalar arasındaki mesafe) ile ters orantılı olduğunu bilmekteyiz. Bu nedenle, küçük bir ters kutuplama gerilimi küçük bir depletion bölgesi ve büyük bir kapasitans oluşturacaktır. Diğer bir deyişle, ters kutuplama gerilimindeki artış, büyük bir depletion bölgesine ve küçük bir kapasitans değerine neden olacaktır.

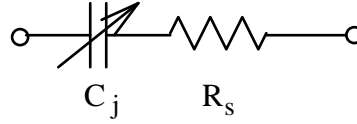


Fig. 7-2 Varaktör diyotun eşdeğer devresi.

Bir varaktör diyot, Fig. 7-2'de gösterildiği gibi birbirine seri bağlı bir direnç ve kapasite olarak düşünülebilir.  $C_j$ , p ve n jonksiyonları arasındaki jonksiyon kapasitesidir.  $R_s$ , gövde direnci ile kontak direncinin toplamıdır ve birkaç ohm mertebesindedir.

$R_s$  direnci, varaktör diyotun kalitesini belirleyen önemli bir parametredir.

Akort oranı(TR),  $V_2$  ters kutuplama gerilimine karşılık gelen kapasite değeri ile  $V_1$  ters kutuplama gerilimine karşılık gelen kapasite değeri arasındaki oran olarak tanımlanmıştır ve şu şekilde ifade edilir;

$$TR = \frac{C_{V2}}{C_{V1}} \quad (7-5)$$

TR= Akort oranı.

$C_{V1}$ =  $V_1$  gerilimindeki varaktör diyot kapasitansı.

$C_{V2}$ =  $V_2$  gerilimindeki varaktör diyot kapasitansı.

Deneylerimizde 1SV55 varaktör diyotu kullanılmaktadır ve temel karakteristikleri de şu şekildedir:

$C_{3V}$ = 42 pF (3V' daki varaktör diyot kapasitansı)

TR= 2.65 (3V ~ 30V ' da)

### MC1648 VCO Kullanılarak Frekans Modülatörü

Deneylerimizde, Fig. 7-3'de gösterilen, MC1648 VCO içeren frekans modülatörü gerçekleştirilecektir. Temel olarak, bu devre bir osilatör ve osilasyon frekansını belirleyen girişteki akort devresidir. Bu devredeki,  $C_2$  ve  $C_3$  kapasiteleri, gürültüyü süzmek için bypass kapasiteleridir. Yüksek bir frekansta(2.4MHz) çalışıldığı zaman, bu iki kapasitenin kapasitif reaktansı

### Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği

çok küçüktür ve pratik uygulamalar için ihmal edilebilir. Bu nedenle, Fig. 7-4'de gösterilen akort devresinin AC eşdeğeri bir LC rezonans yapısıdır.  $C_d$ , 1SV55( $C_d$ ) ile MC1648'in giriş kapasitesinin( $C_{in}$ ) paraleli olarak düşünülebilir.

$C_{in}$ 'nin değeri yaklaşık olarak 6 pF'dır. Eğer kaçak kapasiteleri ihmal edersek osilasyon frekansı aşağıdaki formül ile hesaplanabilir;

$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L(C_d + 6 \times 10^{-12})}} \text{ (Hz)} \quad (7-6)$$

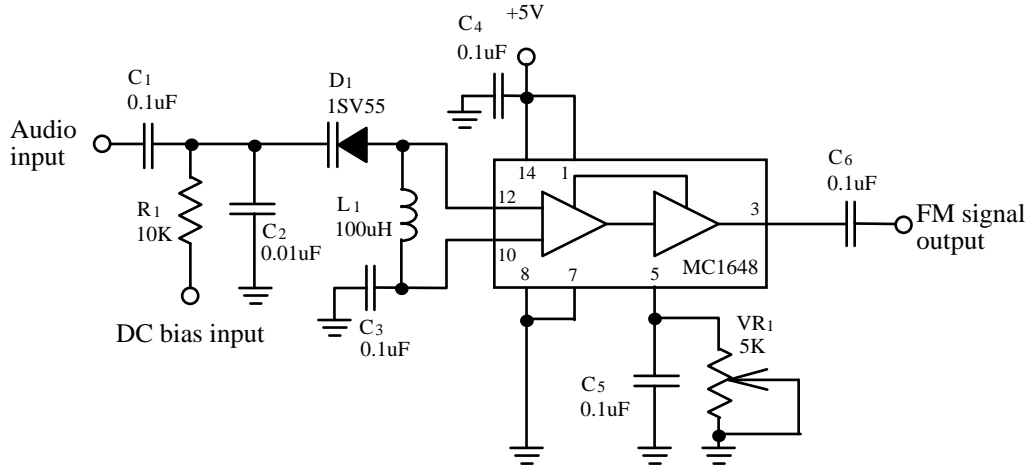


Fig. 7-3 MC1648 FM modülör devresi.

Yukarıda bahsedildiği gibi,  $D_1$  varaktör diyotunun  $C_d$  kapasitansı, ters kutuplama geriliminin değeri ile değişir. (7-6) denklemine göre,  $C_d$  kapasitansının değişimi osilasyon frekansının değişimine neden olacaktır. Fig. 7-3'deki devrede, küçük bir DC gerilim, büyük bir  $C_d$  kapasitansı ve küçük bir frekans çıkışı üretecektir. Diğer taraftan, DC gerilimindeki artış,  $C_d$  kapasitans değerini düşürecek ve yüksek bir frekans çıkışına neden olacaktır. Bu nedenle, DC gerilim sabit tutulur ve girişe bir ses işareti uygulanırsa, VCO çıkış işareti frekans modüleli bir işaret olacaktır.

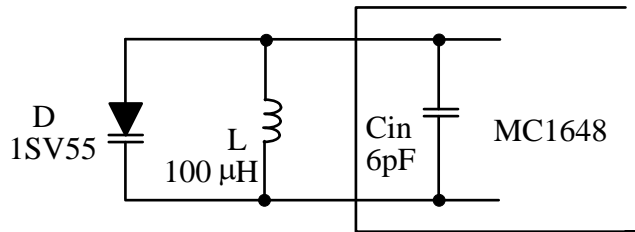


Fig. 7-4 Akort tank devresinin AC eşdeğer yapısı.

#### LM566 VCO Kullanılarak Frekans Modülatörü

Fig. 7-5, LM566 VCO(gerilim kontrollü osilatör) entegresi kullanılarak gerçekleştirilmiş bir frekans modülatörüdür. Eğer  $SW_1$  açık ise, bu devre tipik bir VCO' dur ve bu VCO' nun çıkış frekansı,  $C_3$ ,  $VR_1$  ve giriş ses geriliminin değerleri ile belirlenir. Eğer  $C_3$  ve  $VR_1$  değerleri sabit ise, çıkış frekansı 8. ve 5. pinler arasındaki gerilim farkı( $V_8-V_5$ ) ile doğrudan orantılıdır. Diğer bir deyişle, ses giriş gerilimindeki( $V_5$ ) bir artış, ( $V_8-V_5$ ) değerinde ve çıkış frekansında bir azalmaya sebep olur. Tam tersi olarak, ses giriş gerilimindeki( $V_5$ ) azalış çıkış frekansında artışa sebep olacaktır. Yukarıda irdelendiği gibi,  $C_3$  ve  $VR_1$  değerleri de aynı zamanda çıkış frekansını belirlemektedir.  $C_3$  ve  $VR_1$ 'in çarpımı ile ters orantılıdır. Yani,  $VR_1 \times C_3$  değeri büyüdükçe, çıkış frekansı azalmaktadır.

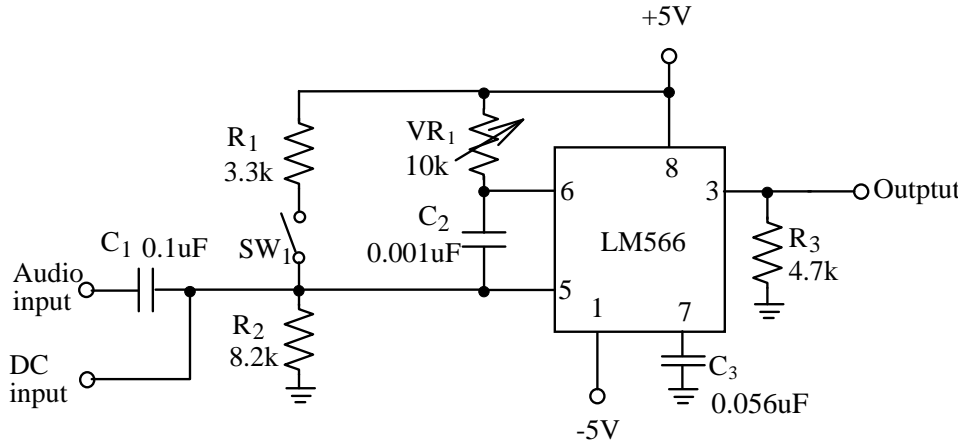


Fig. 7-5 LM566 Frekans modülatör devresi

Eğer  $SW_1$  kapatılırsa,  $R_1$  ve  $R_2$ 'den oluşan gerilim bölücü, ses girişine(5. pine) DC bir gerilim seviyesi sağlar.  $VR_1$  ayarlanarak, VCO'nun merkez frekansı  $f_0$  kolaylıkla ayarlanabilir. Bir ses işareti, ses girişine uygulandığı zaman çıkışta, uygulanan ses işaretinin genliği ile VCO merkez frekansı  $f_0$  etrafında değişen bir frekans üretecektir. Böylelikle, frekans modüli bir işaret elde edilir.



### 7.3 GEREKLİ EKİPMANLAR

1. KL-96001 Modülü
2. KL-93004 Modülü
3. Osiloskop
4. Spektrum Analizör

### 7.4 DENEYLER VE KAYITLAR

#### ***Deney 7-1 MC1648'in Karakteristik Ölçümleri***

- 1. MC1648 FM modülatör devresini KL-93004 modülü üzerine yerleştirin. Bobini  $L_1$  (100 $\mu$ H)'e ayarlamak için bağlantı konnektörünü J2'ye bağlayın.
- 2. DC besleme girişine(I/P2) 3VDC bağlayın. Osiloskop kullanarak çıkış dalga şeklini gözlemleyin. Çıkışta bir sinüs dalgası gözükene kadar VR<sub>1</sub>'i ayarlayın ve frekansı Tablo 7-1'e kaydedin.
- 3. İkinci adımı, Tablo 7-1'de listelenen diğer DC gerilimleri için tekrarlayın.
- 4. Tablo 7-1'deki sonuçları kullanarak Fig. 7-6'da gerilim-frekans eğrisini çizin.

#### ***Deney 7-2 MC1648 Frekans Modülatörü***

- 1. 5V'da ters kutuplanmış 1SV55 varaktörü ve  $L_1 = 100\mu\text{H}$  için J1 ve J2'ye bağlantı konnektörünü bağlayın. Bu koşullar altında, çıkış frekansı,  $f_o$  merkez frekansı olacaktır.
- 2. Ses girişine(I/P1), 2Vp-p, 3kHz'lik bir sinüs dalgası bağlayın. Osiloskop kullanarak çıkış dalga şeklini gözlemleyin. Çıkışta bir sinüs dalgası gözükene kadar VR<sub>1</sub>'i ayarlayın.
- 3. Spektrum analizör kullanarak çıkış spektrumunu gözlemleyin ve Tablo 7-2'ye kaydedin.
- 4. 5kHz ve 8kHz ses frekansları için 3. adımı tekrarlayın.



Not: Taşıyıcı işaret ile modüle edilmiş işaret arasındaki frekans farkı çok büyük olduğunda, osiloskop kullanarak zaman domeninde aşikar bir değişim gözlemlemek zor olabilir. Böyle durumlarda frekans analizörü kullanılması tavsiye edilir.

#### **Deney 7-3 LM566'nın Karakteristik Ölçümleri**

- 1. LM566 modülatör devresini KL-93004 modülü üzerine yerleştirin. Kapasiteyi  $C_3$  (0.056 $\mu$ F)'e ayarlamak için bağlantı konnektörünü J2'ye bağlayın.
- 2. DC gerilim girişine(5. pine) 3.6VDC gerilim bağlayın. 2kHz çıkış frekansı elde etmek için  $VR_1$ 'i ayarlayın. Bu frekans,  $f_o$  merkez frekansıdır.
- 3. Beşinci pindeki DC gerilimleri sırası ile 2.7V, 3V, 3.3V, 3.9V, 4.2V ve 4.5V olarak değiştirin. DC gerilim girişlerine göre çıkıştaki frekansları gözlemleyin. Sonuçları Tablo 7-3'e kaydedin.
- 4. Tablo 7-3'deki sonuçları kullanarak, Fig. 7-7'de gerilim-frekans eğrisini çizin.
- 5. J2'deki bağlantı konnektörünü söküp J3'e bağlayın. Bu,  $C_3$ (0.056 $\mu$ F) kapasitesini  $C_4$ (0.0056 $\mu$ F) kapasitesi olarak değişmesini sağlar.
- 6. DC gerilim girişine(5. pine) 3.6VDC gerilim bağlayın. 20kHz çıkış frekansı elde etmek için  $VR_1$ 'i ayarlayın. Bu frekans,  $f_o$  merkez frekansıdır.
- 7. Beşinci pindeki DC gerilimleri sırası ile 2.7V, 3V, 3.3V, 3.9V, 4.2V ve 4.5V olarak değiştirin. DC gerilim girişlerine göre çıkıştaki frekansları gözlemleyin. Sonuçları Tablo 7-4'e kaydedin.
- 8. Tablo 7-4'deki sonuçları kullanarak, Fig. 7-8'de gerilim-frekans eğrisini çizin.

#### **Deney 7-4 LM566 Frekans Modülatörü**

- 1. LM566 FM modülatör devresini KL-93004 modülü üzerine yerleştirin. Kapasiteyi  $C_4$  (0.0056 $\mu$ F)'e ayarlamak için bağlantı konnektörünü J1 ve J3'e bağlayın. 20kHz çıkış frekansı elde etmek için  $VR_1$ 'i ayarlayın.



- 2. 500mVp-p, 1kHz'lik sinüs dalgasını ses girişine(I/P1) bağlayın. Osiloskop kullanarak çıkış dalga şeklini(O/P) gözlemleyin ve sonucu Tablo 7-5'e kaydedin.
- 3. Ses frekanslarını 3kHz ve 5kHz olarak sırası ile değiştirin. Ses giriş işaretlerine karşılık gelen çıkış dalga şekillerini gözlemleyin ve sonuçları Tablo 7-5'e kaydedin.
- 4. Ses girişini, 1Vp-p, 1kHz sinüs işareti olarak değiştirin. Çıkış dalga şeklini gözlemleyin ve sonucu Tablo 7-6'ya kaydedin.
- 5. Ses frekanslarını 3kHz ve 5kHz olarak sırası ile değiştirin. Girişteki ses işaretlerine karşılık gelen çıkış dalga şekillerini gözlemleyin. Sonuçları Tablo 7-6'ya kaydedin.

Tablo 7-1

DC Besleme Girişi (V)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Çıkış Frekansı (MHz)												

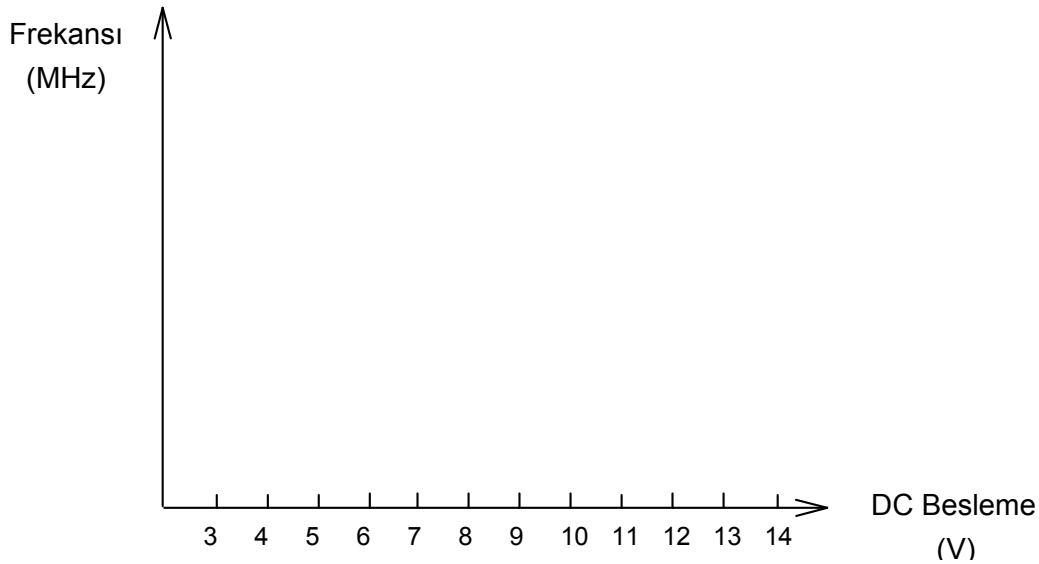


Fig. 7-6





Tablo 7-2  
( $V_m = 2V$ )

Giriş Frekansı	Giriş Dalga Şekli	Çıkış Spektrumu
3 kHz		
5 kHz		
8 kHz		

Tablo 7-3  
( $C_3 = 0.056\mu F$ ,  $f_0 = 2kHz$ )

Giriş Voltajı (V)	2.7	3	3.3	3.6	3.9	4.2	4.5
Çıkış Frekansı (KHz)							

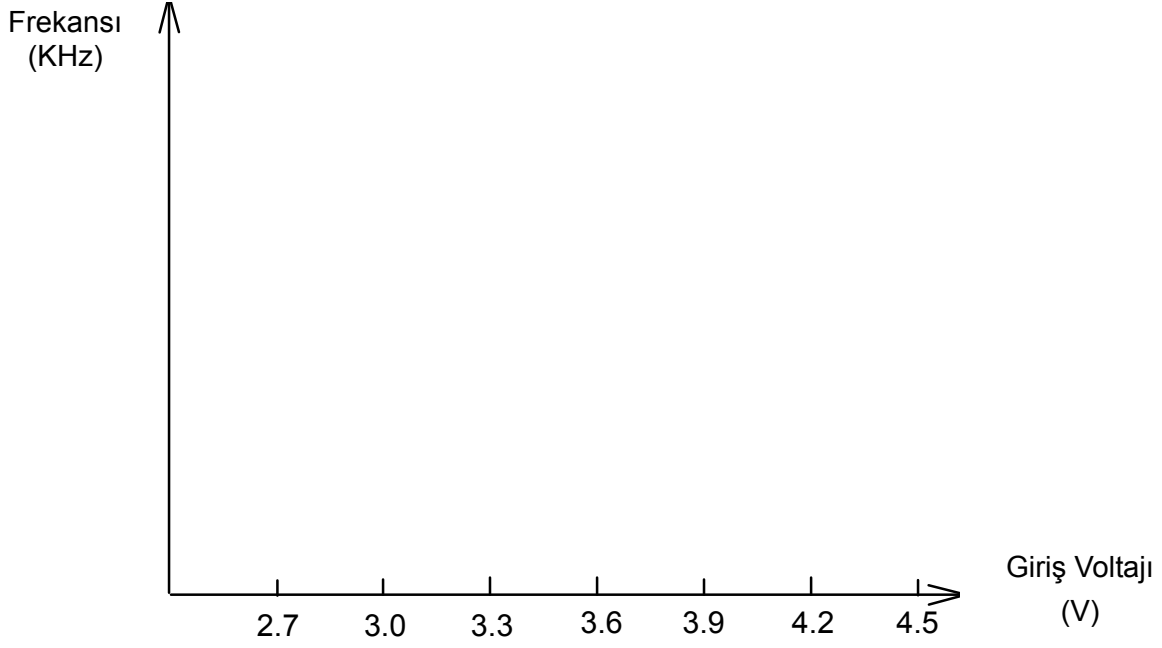


Fig.7-7

Tablo 7-4

( $C_3 = 0.0056\mu F$ ,  $f_0 = 20\text{kHz}$ )

Giriş Voltajı (V)	2.7	3	3.3	3.6	3.9	4.2	4.5
Çıkış Frekansı (KHz)							

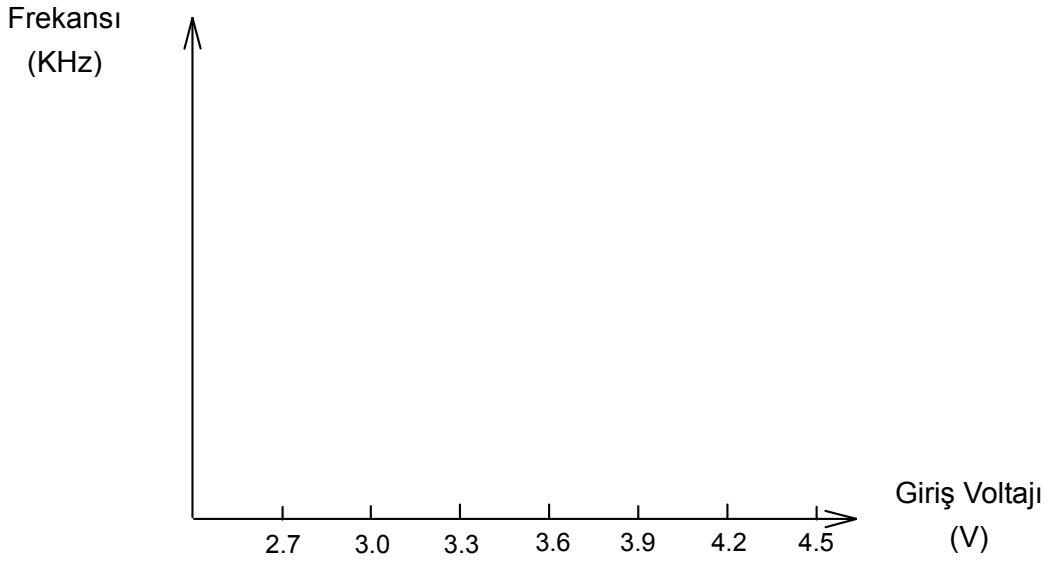


Fig.7-8



Tablo 7-5

( $V_m = 500\text{mV}_{p-p}$ ,  $C_3 = 0.0056\mu\text{F}$ ,  $f_0 = 20\text{kHz}$ )

Giriş Frekansı	Giriş Dalga Şekli	Çıkış Dalga Şekli
1 kHz		
3 kHz		
5 kHz		



Tablo 7-6

( $V_m = 1V_{p-p}$ ,  $C_3 = 0.0056\mu F$ ,  $f_0 = 20kHz$ )

Giriş Frekansı	Giriş Dalga Şekli	Çıkış Dalga Şekli
1 kHz		
3 kHz		
5 kHz		

## 7.5 SORULAR

1. Fig. 7-3'deki tank devresinde bobin değeri 80nH ve rezonans frekansının 100MHz olması istenirse, varaktör diyotun kapasite değeri ne olmalıdır?
2. Fig. 7-6'daki frekans-gerilim eğrisini inceleyin. Eğrinin hangi bölgesi frekans modülatörünü gerçekleştirmek için uygundur.
3. Fig. 7-5'deki devreyi tekrar gözden geçirin. SW1 kapalı olduğu zaman R1 ve R2'nin görevi nedir?