



Deney 6: OpAmp'lı Karşılaştırmalar ve Schmitt Tetikleme Devresi

1 Amaç

1. Karşılaştırmalı devrelerin çalışma prensiplerini anlamak.
2. Sıfır karşılaştırmalı giriş ve çıkış gerilimleri arasındaki ilişkiyi anlamak.
3. Pencere karşılaştırmalı devresinin çalışma prensibini anlamak.
4. Pencere karşılaştırmalı devresinin giriş ve çıkış gerilimlerini ölçmek.
5. Schmitt tetikleme devresinin çalışma prensibini anlamak.
6. Schmitt tetikleme devresinin giriş ve çıkış dalga şekillerini ölçmek.

2 Ön Hazırlık Soruları

1. Kazancı $A_V = 10^4$ olan bir OPAMP ± 12 V ile beslendiğinde, negatif geri besleme olmadan neden doğrusal yükselteç olarak kullanılamaz? Çıkışın doyuma gitmesi için eviren ve evirmeyen girişler arasındaki gerilim farkının yaklaşık kaç mV olması yeterlidir? (Doyum gerilimini ± 12 V alın.)
2. Şekil 6-4'teki referans karşılaştırmalı $V_{CC} = 12$ V, $R_1 = 20$ k Ω ve $R_2 = 10$ k Ω için V_T kaç voltur? $V_i = 6$ V ve $V_i = 2$ V için çıkış gerilimi V_O ne olur?
3. Şekil 6-13'teki devrede $V_{CC} = 12$ V ve $R_{22} = R_3 = R_{24} = 2.2$ k Ω için V_U ve V_L eşik gerilimlerini hesaplayın. $V_a = 6$ V iken V_b , V_c gerilimleri ve LED'in durumu ne olur?
4. Şekil 6-13'teki R_{25} , R_{26} ve R_{27} dirençleri, (6-3)'teki R_2 , R_3 ve R_4 dirençlerine karşılık gelir ($R_{25} = R_{26} = 10$ k Ω , $R_{27} = 22$ k Ω). Karşılaştırmalı çıkışları ± 12 V alındığında, giriş penceresinin içinde ve dışında V_O kaç voltur?
5. Şekil 6-15'teki Schmitt tetikleme devresinde $R_{19} = 2$ k Ω , $R_{20} = 100$ k Ω ve $V_R = 0$ (R_{19} toprağa bağlı) için, doyum gerilimini ± 12 V alarak V_U , V_L ve V_H değerlerini hesaplayın. Girişe 6 Vp-p'lik sinüzoidal bir işaret uygulandığında çıkış nasıl bir dalga şekli olur?

3 Temel Kavramlar

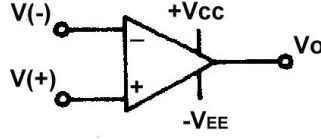
3.1 Karşılaştırmalı Devreler

OPAMP'ın, önceki deneylerde anlatılan negatif geri besleme uygulamalarına ek olarak, pozitif geri besleme uygulamaları da bulunmaktadır. Bu deneyde, sıklıkla kullanılan bazı devreler tanıtılacaktır.

İdeal OPAMP için $A_V \rightarrow \infty$ iken, ideal olmayan OPAMP için bu değer on binler mertebesinde. OPAMP, negatif geri besleme bağlantısı olmadan yükselteç olarak kullanılamaz. Yükseltme katsayısı 10000 olan bir yükselteç için $V_i = 10$ mV olduğunda $V_O = 10$ mV $\times$ 10000 = 100 V olmalıdır, ancak çıkış gerilimi besleme gerilimi $+V_{CC}$ ya da $-V_{EE}$ ile sınırlı olduğu için bu mümkün değildir. Aynı şekilde $V_i = 0.1$ V olduğunda $V_O = 0.1$ V $\times$ 10000 = 1000 V olmalıdır, ancak bu değer de besleme gerilimi ile sınırlı olduğu için mümkün değildir. Bu yükselteç, $+V_{CC}$ ya da $-V_{EE}$ çıkış vereceği için bozulmasız yükseltme işleminde kullanılamaz.

Negatif geri besleme bağlantısı olmayan OPAMP yükselteç olarak kullanılamaz, ancak Şekil 6-1'de gösterildiği gibi (çift besleme gerilimi ile) karşılaştırmalı olarak kullanılabilir.

Çıkış gerilimi, girişlerin durumuna göre şöyledir:

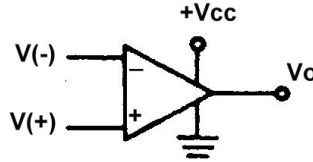


Şekil 6-1. Çift besleme gerilimli karşılaştırıcı.

- $V_{(+)} > V_{(-)}$ ise $V_O = +V_{CC}$
- $V_{(+)} = V_{(-)}$ ise $V_O = 0$ V
- $V_{(+)} < V_{(-)}$ ise $V_O = -V_{EE}$

Yukarıdaki üç şart arasında, ikincisini sağlamak çok zordur. OPAMP'ın A_V değeri çok büyük olduğu için, $V_{(+)}$ genliği $V_{(-)}$ 'ye tamamen eşit olmadıkça $V_O = 0$ V olmayacaktır. Ayrıca, OCL yükselteçlerin iç dengesizliğine benzer şekilde, OPAMP iç devreleri de dengeli olmayabilir ve bu da merkez nokta geriliminin 0 V olmamasına neden olur.

Tek besleme gerilimli karşılaştırıcı Şekil 6-2'de gösterilmiştir.



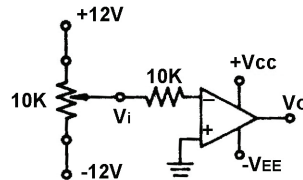
Şekil 6-2. Tek besleme gerilimli karşılaştırıcı.

Çıkış gerilimi, girişlerin durumuna göre şöyledir:

- $V_{(+)} > V_{(-)}$ ise $V_O = +V_{CC}$
- $V_{(+)} = V_{(-)}$ ise $V_O = V_{CC}/2$
- $V_{(+)} < V_{(-)}$ ise $V_O = 0$ V

Sıfır Karşılaştırıcı

Sıfır karşılaştırıcı ya da sıfır geçiş algılayıcı Şekil 6-3'te gösterilmiştir.



Şekil 6-3. Sıfır karşılaştırıcı.

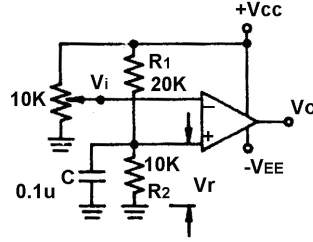
Sıfır karşılaştırıcıda $V_{(+)}$ veya $V_{(-)}$ girişi sıfır potansiyel olarak toprağa bağlanır ve daha sonra V_i sıfır potansiyel ile karşılaştırılır:

- $V_i > 0$ V ise $V_O = -V_{EE}$
- $V_i = 0$ V ise $V_O = 0$ V
- $V_i < 0$ V ise $V_O = +V_{CC}$

Şekil 6-3'te gösterilen 10 kΩ'luk direnç, OPAMP'ı korumak amacıyla, yüksek gerilimin (+12 V) doğrudan OPAMP'ın giriş ucuna uygulanmasını engellemek için kullanılmıştır.

Referans ile Karşılaştırıcı

Referans ile karşılaştırıcı Şekil 6-4'te gösterilmiştir.



Şekil 6-4. Referans ile karşılaştırıcı.

$V_{(+)}$ girişine uygulanan gerilim, R_1 ve R_2 'li gerilim bölücünden alınan sabit bir değerdir. Aşağıdaki bağıntılar V_r 'ye göre ifade edilmiştir:

- $V_i > V_r$ ise $V_o = -V_{EE}$
- $V_i = V_r$ ise $V_o = 0$ V
- $V_i < V_r$ ise $V_o = +V_{CC}$

3.2 Pencere Karşılaştırıcı

Şekil 6-5'te gösterildiği gibi, pencere karşılaştırıcı devresi, üstteki A_1 karşılaştırıcısı ve alttaki A_2 karşılaştırıcısı olmak üzere iki karşılaştırıcıdan oluşmaktadır ve aşağıdaki prensiplere sahiptir:

$$V_U = V_{CC} \frac{2R}{R + 2R} = \frac{2}{3} V_{CC} \quad (6-1)$$

$$V_L = V_{CC} \frac{R}{R + 2R} = \frac{1}{3} V_{CC} \quad (6-2)$$

Çıkışlar, giriş geriliminin değerine göre şöyledir:

- $V_i > V_U$ iken A_1 'in çıkışı -12 V ve A_2 'nin çıkışı +12 V olur.
- $V_L < V_i < V_U$ iken A_1 'in çıkışı +12 V ve A_2 'nin çıkışı +12 V olur.
- $V_i < V_L$ iken A_1 'in çıkışı +12 V ve A_2 'nin çıkışı -12 V olur.

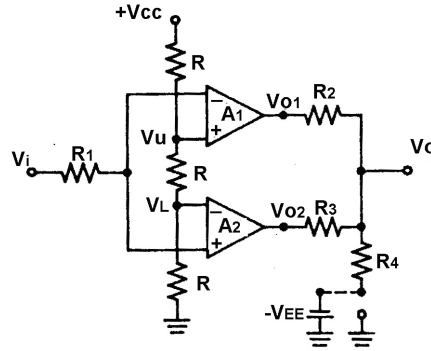
Eğer R_4 toprağa bağlanırsa, çıkış gerilimi şöyledir:

$$V_o = V_{O1} \left[\frac{R_3 \parallel R_4}{R_2 + (R_3 \parallel R_4)} \right] + V_{O2} \left[\frac{R_2 \parallel R_4}{R_3 + (R_2 \parallel R_4)} \right] \quad (6-3)$$

Burada V_{O1} üstteki karşılaştırıcının çıkışı, V_{O2} alttaki karşılaştırıcının çıkışıdır.

Eğer R_4 , negatif besleme gerilimine ($-V_{EE}$) bağlanırsa, çıkış gerilimi şöyledir:

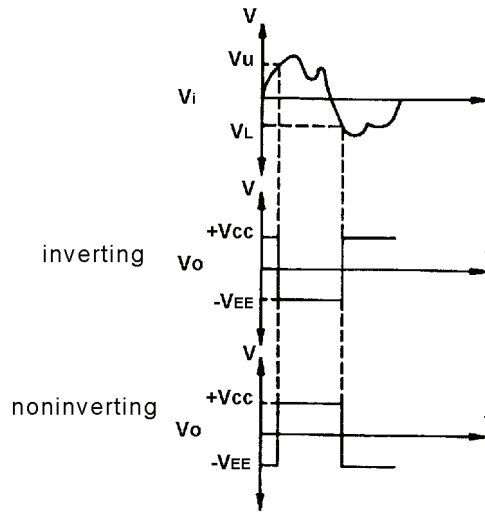
$$V_o = V_{O1} \left[\frac{R_3 \parallel R_4}{R_2 + (R_3 \parallel R_4)} \right] + V_{O2} \left[\frac{R_2 \parallel R_4}{R_3 + (R_2 \parallel R_4)} \right] + (-V_{EE}) \left[\frac{R_2 \parallel R_3}{R_4 + (R_2 \parallel R_3)} \right] \quad (6-4)$$



Şekil 6-5. Pencere karşılaştırıcı.

3.3 Schmitt Tetikleme Devresi

Dalga şekli biçimlendirme devresi olarak da adlandırılan Schmitt tetikleme devresinin temel konsepti, Şekil 6-6'daki giriş ve çıkış dalga şekilleri yardımıyla açıklanabilir.



Şekil 6-6. Schmitt tetikleme devresinin giriş ve çıkış dalga şekilleri.

- V_H = histerezis gerilimi
- $V_H = V_U - V_L$
- V_U = üst eşik gerilimi
- V_L = alt eşik gerilimi

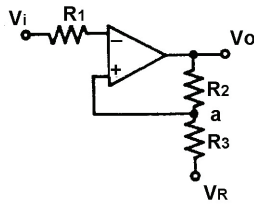
Şekil 6-7, yenileyici (regenerative) karşılaştırıcı olarak da adlandırılan, eviren Schmitt tetikleme devresini göstermektedir. $V_i > V_U$ iken $V_O = -V_{EE}$, $V_i < V_L$ iken $V_O = +V_{CC}$ 'dir. Yukarıdaki özellik sayesinde, çok yavaş değişen giriş gerilimi, dalga şekli aniden değişen bir çıkışa dönüştürülebilir. Ani değişim, V_U ve V_L eşik gerilim değerlerinde ortaya çıkacaktır.

Eşik gerilimleri aşağıdaki bağıntılarla verilir:

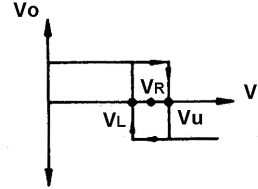
$$V_U = V_R + (V_O - V_R) \frac{R_3}{R_2 + R_3} \quad (6-5)$$

$$V_L = V_R - (V_O + V_R) \frac{R_3}{R_2 + R_3} \quad (6-6)$$

Bu bağıntılarda V_O , çıkışın doyum geriliminin (pozitif doyumda $+V_{CC}$, negatif doyumda $-V_{EE}$) mutlak değeridir.



(a) Devre

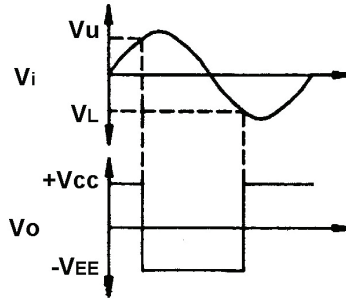


(b) Transfer karakteristiği

Şekil 6-7. Eviren Schmitt tetikleme devresi.

(a) Devre, (b) Transfer karakteristiği.

Şekil 6-7'deki (a) devresinin girişine sinüzoidal sinyal uygulanırsa, Şekil 6-8'de gösterildiği gibi, kare dalga çıkış elde edilir.



Şekil 6-8. Schmitt tetiklemenin giriş ve çıkış dalga şekilleri.

4 Gerekli Ekipmanlar

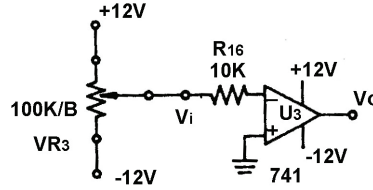
- KL-22001 Temel Elektrik Devreleri Deney Düzeneği
- KL-25009 İşlemsel Yükselteç Devre Modülü (4)
- Multimetre
- Osiloskop

5 Deneyin Yapılışı

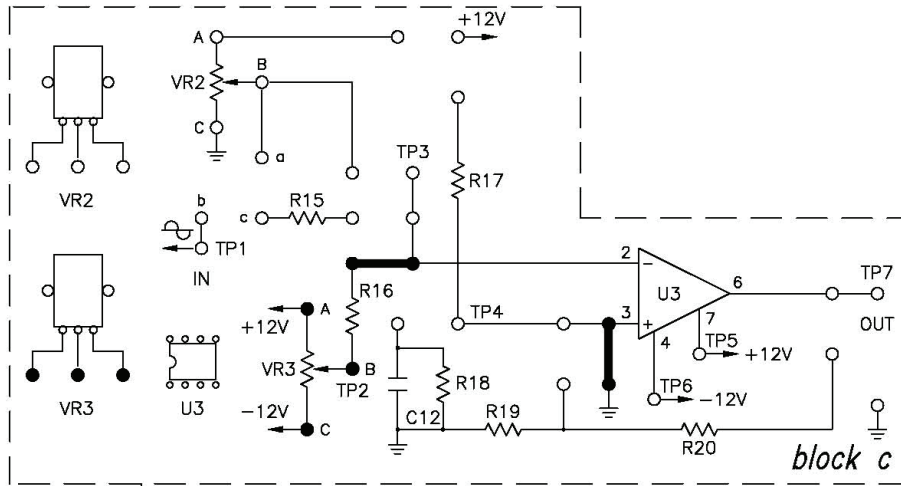
5.1 Sıfır Karşılaştırıcı

1. KL-25009 modülünü, KL-22001 Temel Elektrik Devreleri Deney Düzeneğinin üzerine koyun ve c bloğunu belirleyin.
2. Şekil 6-9'daki devre ve Şekil 6-10'daki bağlantı diyagramı yardımıyla gerekli bağlantıları yapın. Bağlantı kabloları yardımıyla VR₃'ü devreye bağlayın. KL-22001 Düzeneğindeki +12 VDC ve -12 VDC sabit güç kaynaklarını KL-25009 modülüne bağlayın.

3. VR_3 (100 k Ω) potansiyometresini, $V_i = +1.5$ V (TP2'de) olacak şekilde ayarlayın. OUT ucundaki V_o değerini ölçün ve Tablo 6-1'e kaydedin.
4. VR_3 (100 k Ω) potansiyometresini, $V_i = 0$ V (TP2'de) olacak şekilde ayarlayın. OUT ucundaki V_o değerini ölçün ve Tablo 6-1'e kaydedin.
5. VR_3 (100 k Ω) potansiyometresini, $V_i = -1.5$ V (TP2'de) olacak şekilde ayarlayın. OUT ucundaki V_o değerini ölçün ve Tablo 6-1'e kaydedin.



Şekil 6-9. Sıfır karşılaştırıcı.



Şekil 6-10. Bağlantı diyagramı (KL-25009 blok c).

Tablo 6-1. Sıfır karşılaştırıcının giriş ve çıkış gerilimleri.

V_i	V_o
+1.5 V	
0 V	
-1.5 V	

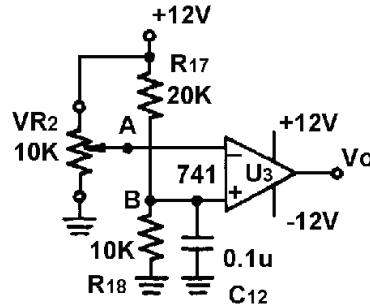
5.2 Referans ile Karşılaştırıcı

1. Şekil 6-11'deki devre ve Şekil 6-12'deki bağlantı diyagramı yardımıyla gerekli bağlantıları yapın. Bağlantı kabloları yardımıyla VR_2 'yi devreye bağlayın. KL-22001 Düzeneğindeki +12 VDC ve -12 VDC sabit güç kaynaklarını KL-25009 modülüne bağlayın.

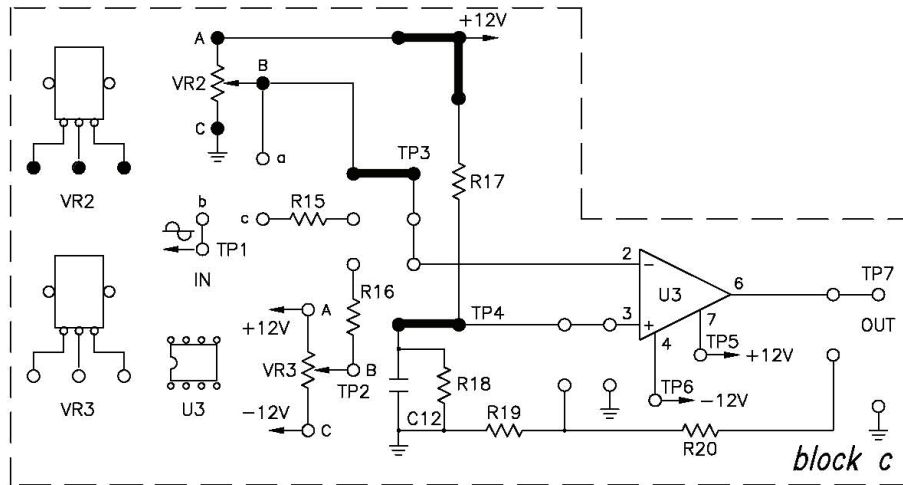
2. Multimetre (DCV kademesinde) kullanarak, TP4 ucundaki V_B gerilimini ölçün ve Tablo 6-2'ye kaydedin.
3. TP3 ucundaki V_A gerilimi, V_B 'den büyük olacak şekilde VR₂ (10 kΩ) potansiyometresini ayarlayın. V_A 'yı ve OUT ucundaki V_O çıkış gerilimini ölçün ve Tablo 6-2'ye kaydedin.
4. TP3 ucundaki V_A gerilimi, V_B 'ye eşit olacak şekilde VR₂ (10 kΩ) potansiyometresini ayarlayın. V_A 'yı ve OUT ucundaki V_O çıkış gerilimini ölçün ve Tablo 6-2'ye kaydedin.
5. TP3 ucundaki V_A gerilimi, V_B 'den küçük olacak şekilde VR₂ (10 kΩ) potansiyometresini ayarlayın. V_A 'yı ve OUT ucundaki V_O çıkış gerilimini ölçün ve Tablo 6-2'ye kaydedin.

Tablo 6-2. Referans ile karşılaştırıcının giriş ve çıkış gerilimleri.

	V_A	V_B	V_O
$V_A > V_B$			
$V_A = V_B$			
$V_A < V_B$			



Şekil 6-11. Referans ile karşılaştırıcı.



Şekil 6-12. Bağlantı diyagramı (KL-25009 blok c).

**Sonuçlar**

Teorik çıkış gerilimi $+V_{CC}$ ya da $-V_{EE}$ olmasına rağmen, yükleme etkisinden dolayı, gerçek ölçülen değer $+V_{CC}$ ya da $-V_{EE}$ değerinden biraz daha küçük olmaktadır. Diğer yandan zorlukla elde edilen $V_O = 0$ V durumunda, çift besleme gerilimi için gerçek ölçülen değer $+V_{CC}$ ya da $-V_{EE}$ olmaktadır. Tek güç kaynağı durumunda $V_{CC}/2$ zor bulunmaktadır, burada gerçek ölçüm değeri yaklaşık $+V_{CC}$ ya da 0 olmaktadır. Tek besleme gerilimi için zorlukla elde edilen $V_{CC}/2$ çıkışı durumunda da, gerçek ölçülen değer $+V_{CC}$ ya da 0 V olmaktadır.

5.3 Pencere Karşılaştırmacı

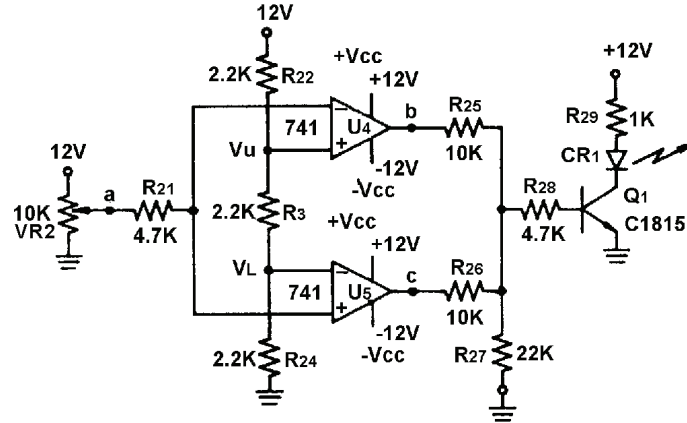
1. KL-25009 modülünü, KL-22001 Temel Elektrik Devreleri Deney Düzeneğinin üzerine koyun ve d bloğunu belirleyin. Şekil 6-13'teki devre ve Şekil 6-14'teki bağlantı diyagramı yardımıyla gerekli bağlantıları yapın. Bağlantı kabloları yardımıyla VR_2 'yi devreye bağlayın.
2. KL-22001 Düzeneğindeki +12 VDC ve -12 VDC sabit güç kaynaklarını KL-25009 modülüne bağlayın.
3. VR_2 (10 k Ω) potansiyometresini, V_a giriş gerilimi (TP1), $V_U = 8$ V üst eşik geriliminden daha büyük olacak şekilde ayarlayın.
4. Üstteki karşılaştırmacının V_b çıkış gerilimini (TP4) ve alttaki karşılaştırmacının V_c çıkış gerilimini (TP5) ölçün ve Tablo 6-3'e kaydedin. CR_1 LED'inin durumunu gözlemleyin ve kaydedin.
5. VR_2 (10 k Ω) potansiyometresini, V_a giriş gerilimi (TP1), $V_U = 8$ V üst eşik geriliminden daha küçük ancak $V_L = 4$ V alt eşik geriliminden daha büyük olacak şekilde ayarlayın.
6. 4. adımı tekrarlayın.
7. VR_2 (10 k Ω) potansiyometresini, V_a giriş gerilimi (TP1), $V_L = 4$ V alt eşik geriliminden daha küçük olacak şekilde ayarlayın.
8. 4. adımı tekrarlayın.

Tablo 6-3. Pencere karşılaştırmacının çıkış gerilimleri ve LED durumu.

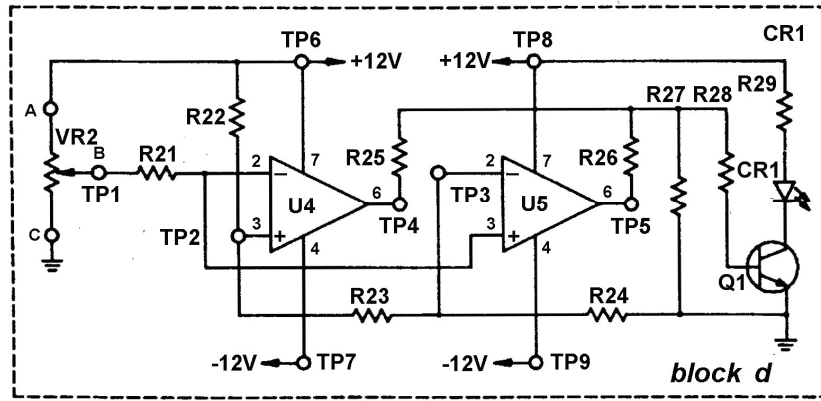
Giriş Durumu	V_b	V_c	LED
$V_a > V_U$			
$V_L < V_a < V_U$			
$V_a < V_L$			

Sonuçlar

Pencere karşılaştırmacı, yükün V_U ve V_L arasında çalışmasını sağlamak için, sıcaklık kontrol devresinde yaygın olarak kullanılır. Pratikte, $V_i < V_L$ veya $V_i > V_U$ iken gerilim çıkışını önlemek için, gerçek H ve L gerilim seviyeleri belirlenmelidir. $V_i < V_L$ ya da $V_i > V_U$ iken negatif V_O gerilimi ve $V_L < V_i < V_U$ iken pozitif V_O gerilimi oluşmasını sağlamak için, karşılaştırmacının çıkış gerilim bölücü kısmına genellikle bir negatif gerilim kaynağı bağlanır.



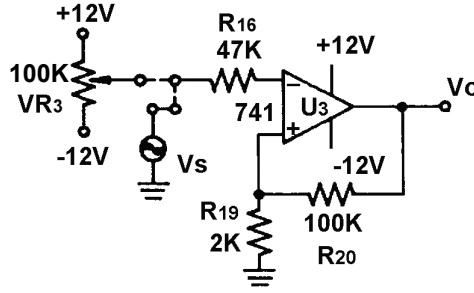
Şekil 6-13. Pencere karşılaştırıcı devresi.



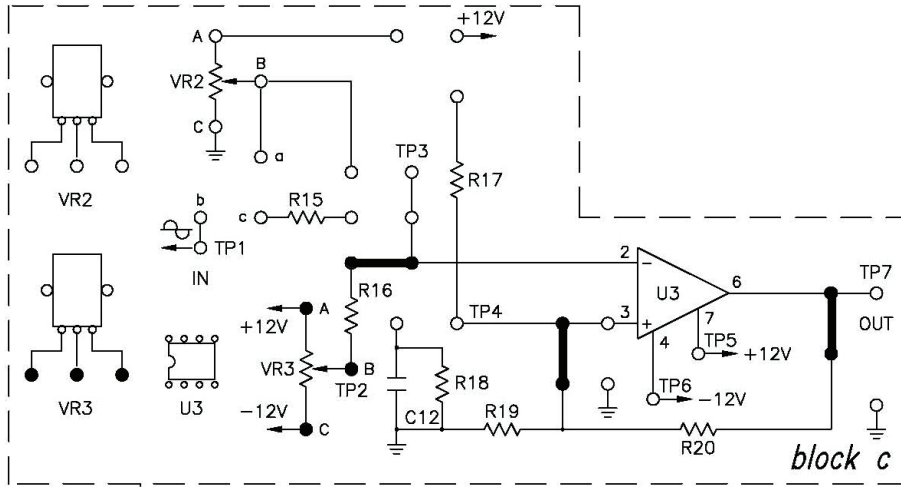
Şekil 6-14. Bağlantı diyagramı (KL-25009 blok d).

5.4 Schmitt Tetikleme Devresi

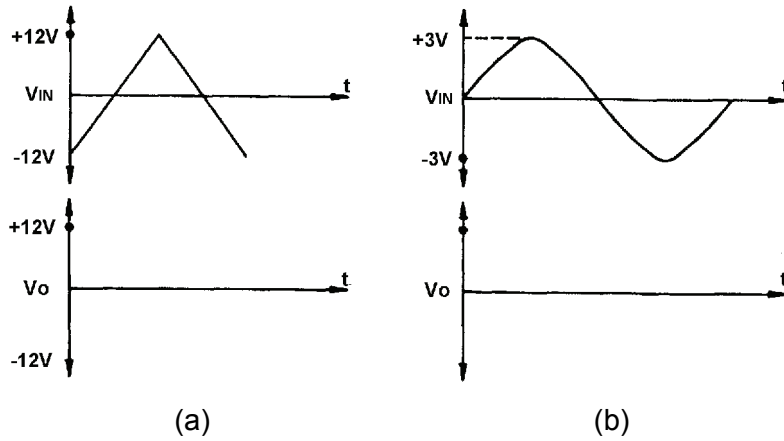
1. KL-25009 modülünü, KL-22001 Temel Elektrik Devreleri Deney Düzeneklerinin üzerine koyun ve c bloğunu belirleyin. Şekil 6-15'teki devre ve Şekil 6-16'daki bağlantı diyagramı yardımıyla gerekli bağlantıları yapın. Bağlantı kabloları yardımıyla VR₃'ü devreye bağlayın. KL-22001 Düzenekindeki +12 VDC ve -12 VDC sabit güç kaynaklarını KL-25009 modülüne bağlayın.
2. VR₃ (100 kΩ) potansiyometresini ayarlayarak, TP2 ucundaki V_{IN} giriş gerilimini -12 V'tan +12 V'a kadar değiştirin ve OUT (TP7) ucundaki V_O çıkış geriliminin yalnızca $+V_{CC}$ 'den $-V_{EE}$ 'ye değiştiğini gözleyin. Çıkış gerilimindeki değişimi Şekil 6-17'deki (a) grafiğine kaydedin. V_{IN} giriş gerilimini ölçün ve üst eşik gerilimi olarak kaydedin: $V_U = \dots\dots\dots$
3. VR₃ (100 kΩ) potansiyometresini ayarlayarak, TP2 ucundaki V_{IN} giriş gerilimini +12 V'tan -12 V'a kadar değiştirin ve OUT (TP7) ucundaki V_O çıkış geriliminin yalnızca $-V_{EE}$ 'den $+V_{CC}$ 'ye değiştiğini gözleyin. Çıkış gerilimindeki değişimi Şekil 6-17'deki (a) grafiğine kaydedin. V_{IN} giriş gerilimini ölçün ve alt eşik gerilimi olarak kaydedin: $V_L = \dots\dots\dots$
4. Bağlantı kablolarını çıkartarak VR₃'ü devre dışı bırakın. KL-22001 Düzenekindeki Fonksiyon Üreticini kullanarak, TP2 giriş ucuna 1 kHz, 6 Vp-p'lik sinüzoidal sinyal uygulayın. Osiloskop kullanarak, OUT (TP7) ucundaki V_O çıkış dalga şeklini ölçün ve Şekil 6-17'deki (b) grafiğine kaydedin.



Şekil 6-15. Schmitt tetikleme devresi.



Şekil 6-16. Bağlantı diyagramı (KL-25009 blok c).



Şekil 6-17. Schmitt tetikleme devresinin ölçülen çıkış dalga şekilleri.

Sonuçlar

Schmitt tetiklemede yer alan pozitif geri beslemeden dolayı çıkış gerilimi, durum değiştirme sonrasında daha kararlı olmaktadır. Tipik karşılaştırıcının dezavantajı, giriş gerilimi referans gerilime yakinken devrenin kararsız davranmasıdır. Pozitif geri besleme sayesinde, Schmitt tetikleyici çıkış geriliminin durum değiştirme noktası, V_U ve V_L olmak üzere iki noktaya ayrılmaktadır. Bu iki nokta, V_O 'nın içerisinde hiç değişmediği, $V_H = V_U - V_L$ histerezis bölgesini oluşturur.



Schmitt tetikleme devresi, zamanlama kontrolü, sıcaklık kontrolü, ölçme ve algılama ve dijital devrelerde düzensiz sinyalleri biçimlendirmede yaygın olarak kullanılmaktadır.

6 Deney Sonu Soruları

1. Şekil 6-9'daki sıfır karşılaştırıcının girişine sinüzoidal bir işaret uygulansaydı çıkış dalga şekli nasıl olurdu? Çıkış, girişe göre eviren mi yoksa evirmeyen mi davranır? Gerekçelendirin.
2. Tablo 6-1'de ve Tablo 6-2'de ölçtüğünüz çıkış gerilimleri neden tam olarak $+V_{CC}$ ve $-V_{EE}$ değildir? Yorumlayın.
3. Schmitt tetikleme devresinde ölçtüğünüz V_U ve V_L değerlerini (6-5) ve (6-6) bağıntılarıyla hesapladığınız değerlerle karşılaştırın. Histeresis gerilimi V_H kaç voltur? Fark varsa nedenlerini açıklayın.
4. Pencere karşılaştırıcıda R_4 toprağa bağlandığında ve $-V_{EE}$ 'ye bağlandığında, giriş gerilimi pencerenin dışına çıkınca V_O nasıl değişir? Hangi bağlantı V_O 'nun pencere içinde pozitif, dışında negatif olmasını sağlar?