



Deney 3: Çok Katlı Yükselteçler

1 Amaç

1. RC kuplajlı yükseltecin çalışma prensibini anlamak.
2. Doğrudan kuplajlı yükseltecin çalışma prensibini anlamak.
3. Transformatör kuplajlı yükseltecin çalışma prensibini anlamak.
4. RC, doğrudan ve transformatör kuplajlı yükselteçlerin her bir katının giriş ve çıkış dalga şekillerini ölçmek.

2 Ön Hazırlık Soruları

1. Kazançları A_{V1} ve A_{V2} olan iki katlı bir yükseltecin toplam gerilim kazancı A_V nasıl bulunur? Ortak emetörlü iki katın her biri 180° faz çevirdiğine göre $A_{V1} = -10$ ve $A_{V2} = -20$ için A_V değerini ve toplam fazı bulunuz.
2. RC kuplajlı yükselteçte C_2 kuplaj kondansatörünün ($10 \mu F$) 1 Hz ve 1 kHz 'teki kapasitif reaktansını hesaplayınız. Sonucu, kuplaj kondansatörünün DC ve AC işaretler karşısındaki davranışıyla ilişkilendirerek yorumlayınız.
3. Emetör by-pass kondansatörü (C_3) devreden çıkarılırsa ikinci katın gerilim kazancı neden azalır?
4. Doğrudan kuplajlı yükselteç, çok düşük frekanslı (DC'ye yakın) işaretleri neden yükseltebilir? Bu yöntemin kat sayısını sınırlayan temel sorun nedir?
5. Transformatör kuplajda sarım oranı $N_1/N_2 = 10$ ise 8Ω 'luk bir yük, birincil taraftan kaç Ω 'luk empedans olarak görünür? Tepeden tepeye 10 V 'luk çıkış geriliminde 8Ω 'luk yüke aktarılan çıkış gücü kaç W 'tır?

3 Temel Kavramlar

Çok katlı yükselteçler üç farklı tiptedir:

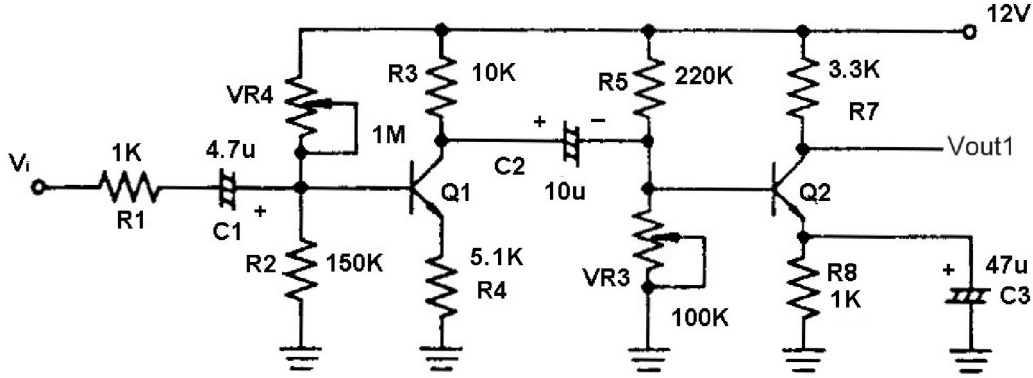
1. RC kuplajlı yükselteç
2. Transformatör kuplajlı yükselteç
3. Doğrudan kuplajlı yükselteç

3.1 RC Kuplajlı Yükselteç

Şekil 3-1, iki katlı RC kuplajlı yükselteç devresini göstermektedir. Birinci katın yükü R_3 direncidir ve C_2 kondansatörü, birinci katın çıkış sinyalini ikinci kata bağlamak için kullanılmaktadır.

Kuplaj Kondansatörünün İşlevi

C_2 kuplaj kondansatörü DC gerilim için açık devre gibi davranır ve DC bileşenler engellenmiş olur ($X_{C2} = 1/(2\pi f C_2)$ ve $f \approx 0$ olduğu için X_{C2} sonsuza yaklaşır). Diğer yandan C_2 , AC işaret için kısa devre gibi davranır, çünkü AC için f daha büyüktür ve buna uygun olarak X_C daha küçüktür. C_2 kondansatörünün değeri genellikle $2 \sim 50 \mu F$ aralığındadır. DC bileşenler bu kondansatörler tarafından yalıtıldığı için öngerilim devreleri



Şekil 3-1. İki katlı RC kuplajlı yükselteç.

birbirlerinden bağımsız olur.

Avantajları

1. Bu kuplaj türü basit ve ucuz olup küçük hacimli devre elde etmeye elverişlidir ve en yaygın kullanılan kuplajlama yöntemidir.
2. Bu kuplaj türünün frekans tepkisi mükemmeldir.
3. Bu kuplaj türünde gürültü ve manyetik indüksiyonun sebep olduğu vınlama daha düşüktür.

Dezavantajları

1. Düşük frekans bölgesindeki kuvvetlendirme kuplaj kondansatörü tarafından sınırlanır ($X_C = 1/(2\pi fC)$ olduğu için düşük frekansta çok büyük X_C , işaretin önemli derecede zayıflamasına yol açar).
2. Yük direnci büyük miktarda DC güç tüketeceğinden bu kuplaj türü yalnızca düşük güçte kuvvetlendirme ya da gerilim kuvvetlendirme için uygundur.
3. Bu kuplaj türünde verim düşüktür, çünkü birbirini takip eden katlardaki transistör empedanslarını eşleştirmek kolay değildir.

3.2 Doğrudan Kuplajlı Yükselteç

Şekil 3-2, iki katlı doğrudan kuplajlı yükselteç devresini göstermektedir. Önde gelen katın çıkışı, bir sonraki katın girişine doğrudan bağlanmıştır.

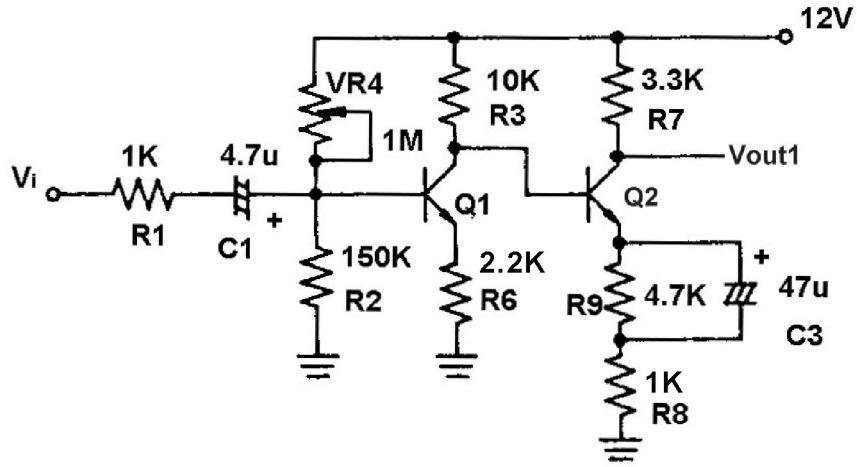
Doğrudan kuplaj yöntemi aşağıdaki iki prensibe uymak durumundadır:

1. DC öngerilimleme uyumlu olmalıdır.
2. Birbirini takip eden iki katın akım yönleri uyumlu olmalıdır.

Güç kaynağının gerilimi kararlı olmalıdır. Silisyum transistörler düşük sızıntı akımı ve yüksek kararlılık özelliklerine sahip olduğu için silisyum transistör kullanmak daha uygundur. Aksi takdirde ardışık katlar arasında zincirleme tepkimeler meydana gelerek devre bozulabilir.

Avantajları

1. Kuplaj devresinin kayıplarını azaltabilir.
2. L ve C elemanlarının neden olduğu faz kaymasını azaltabilir.



Şekil 3-2. İki katlı doğrudan kuplajlı yükselteç.

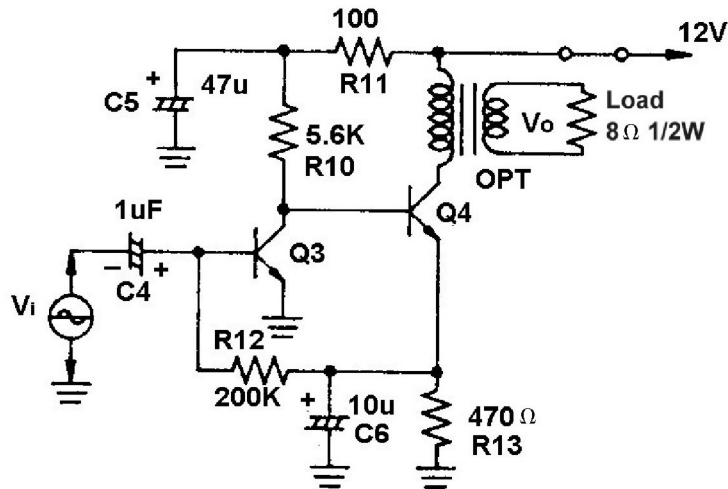
3. Bu kuplaj türü, L (X_L) ve C (X_C) etkisi olmadan alt frekansı neredeyse sıfır Hz'e kadar uzanan çok geniş bir frekans tepkisine sahiptir. Bundan dolayı bu devre, DC'ye yakın çok düşük frekanslı işaretleri kuvvetlendirmek için kullanılabilir.

Dezavantajları

1. Yükselteçteki ardışık kat sayısı sınırlanmalıdır. Çünkü sıcaklık değişimine bağlı olarak herhangi bir kattaki I_B değişimi, devrenin tamamında önemli ölçüde kararsızlığa neden olur.
2. Seçilen elemanların karakteristik değerleri mümkün olduğunca doğru olmalıdır. Aksi takdirde kolaylıkla gürültü ve güç zayıflaması ortaya çıkar.

3.3 Transformatör Kuplajlı Yükselteç

Şekil 3-3'te gösterildiği gibi transformatör, iki katın DC öngerilimlerini yalıtmak için kullanılırken aynı zamanda sinyal aktarıcı ve empedans uydurucu olarak da görev yapar.

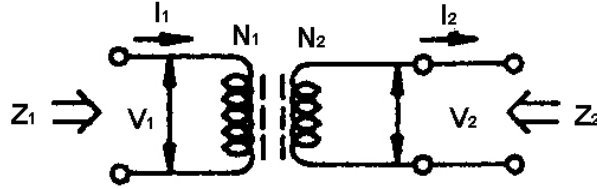


Şekil 3-3. Transformatör kuplajlı yükselteç.

Transformatörün temel karakteristikleri Şekil 3-4'te gösterilmiştir:

1. $V_1 / V_2 = N_1 / N_2$
2. $I_2 / I_1 = N_1 / N_2$
3. $Z_1 / Z_2 = (N_1 / N_2)^2$

Burada N_2/N_1 transformatörün sarım sayısı oranı, V_2/V_1 gerilim oranı, I_1/I_2 akım oranıdır.



Şekil 3-4. Transformatör.

Avantajları

1. Bu kuplaj türünde empedansları denkleştirmek kolaydır ve gerilim artırıcı ya da gerilim düşürücü olarak da görev yapabilir.
2. Bu kuplaj türü yüksek verim ve yüksek güç özelliklerine sahiptir.
3. Bu kuplaj türünde ardışık iki katın DC gerilim etkileşimlerini ortadan kaldırmak kolaydır.

Dezavantajları

1. Çıkış transformatörü kullanıldığı için RC kuplajlı yükseltece göre daha fazla yer kaplar.
2. Çıkış transformatörünün endüktif bir eleman olması ve bobinler arasında kondansatör bulunması nedeniyle frekans tepkisi zayıftır.
3. RC kuplajlı yükseltece göre daha pahalıdır.

4 Gerekli Ekipmanlar

- KL-22001 Temel Elektrik Devreleri Deney Düzeneği
- KL-25004 Çok Katlı Yükselteç Devre Modülü
- Osiloskop
- Multimetre (yalnız transformatör kuplajlı yükselteç deneyinde)

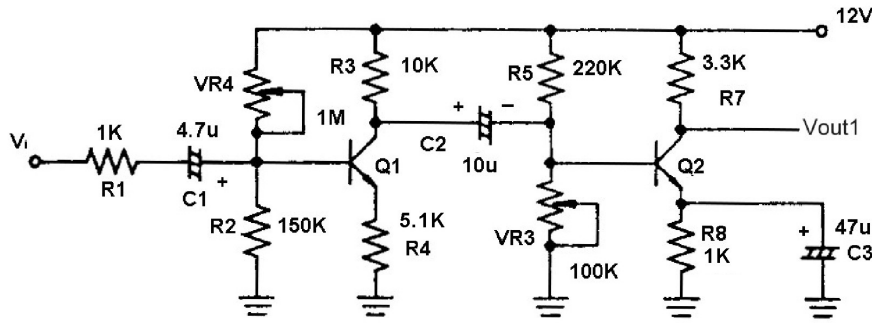
5 Deneyin Yapılışı

5.1 RC Kuplajlı Yükselteç

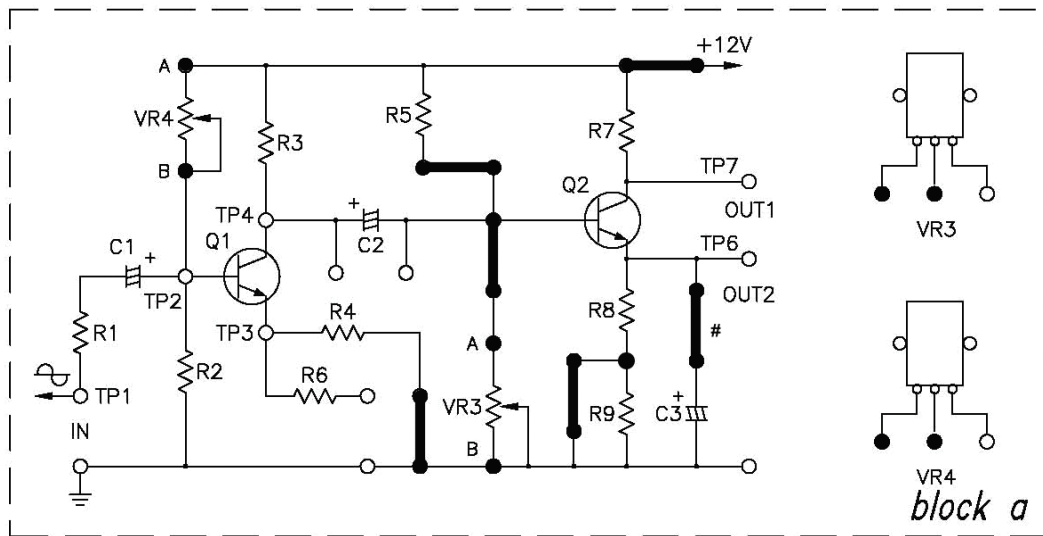
1. KL-25004 modülünü, KL-22001 Temel Elektrik Devreleri Deney Düzeneğinin üzerine koyun ve a bloğunun konumunu belirleyin.
2. Şekil 3-5'teki devre ve Şekil 3-6'daki bağlantı diyagramı yardımıyla gerekli bağlantıları yapın. Bağlantı kablolarını kullanarak VR₃ ve VR₄ potansiyometrelerini devreye bağlayın. KL-22001 Düzeneğindeki sabit 12 V DC güç kaynağını KL-25004 modülüne bağlayın.
3. Hem Q₁ kollektör gerilimi V_{C1} hem de Q₂ kollektör gerilimi V_{C2}, V_{CC}/2 = 6 V olacak şekilde VR₃ ve VR₄'ü ayarlayın.

4. KL-22001 Düzeneginin üzerindeki Fonksiyon Üreticini kullanarak IN ucuna 1 kHz'lik bir sinüzoidal işaret uygulayın. OUT1 çıkış ucuna osiloskop bağlayın.
5. Osiloskop ekranında görüntülenen çıkış dalga şekli bozulmayacak şekilde sinüzoidal sinyalin genliğini artırın.
6. Osiloskop kullanarak (AC bağlantıda) V_{IN} , V_{B1} , V_{C1} , V_{B2} ve V_{OUT1} dalga şekillerini ölçün ve Tablo 3-1'e kaydedin.
7. # ile işaretli klipsi kaldırarak C_3 (47 μ F) kondansatörünü devreden çıkarın ve 6. adımı tekrarlayın.
8. VR_4 (1 M Ω) potansiyometresini rastgele değiştirerek V_{B1} , V_{C1} , V_{B2} ve V_{OUT1} dalga şekillerinin değişip değişmediğini gözlemleyin.
9. Tablo 3-1'de C_3 'ün bağlı olduğu durumdaki sonuçları kullanarak aşağıdaki değerleri hesaplayın.

- (1) $A_{V1} = V_{O1} / V_{i1} = V_{C1} / V_{B1} = \dots\dots\dots$
- (2) $A_{V2} = V_{O2} / V_{i2} = V_{OUT1} / V_{B2} = \dots\dots\dots$
- (3) $A_V = A_{V1} \times A_{V2} = V_{OUT1} / V_{B1} = \dots\dots\dots$
- (4) $A_{Vs} = V_{OUT1} / V_{IN} = \dots\dots\dots$



Şekil 3-5. RC kuplajlı yükselteç.



Şekil 3-6. Bağlantı diyagramı (KL-25004 blok a).



Tablo 3-1. RC kuplajlı yükselteç dalga şekilleri.

C3 bağlı		C3 bağlı değil	
Dalga şekli	V_{pp}	Dalga şekli	V_{pp}
V_{IN}		V_{IN}	
$V_{B1} (V_{i1})$		$V_{B1} (V_{i1})$	
$V_{C1} (V_{o1})$		$V_{C1} (V_{o1})$	
$V_{B2} (V_{i2})$		$V_{B2} (V_{i2})$	
V_{OUT1}		V_{OUT1}	

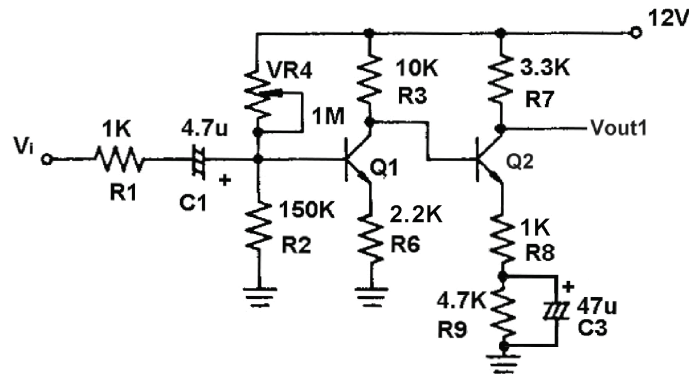
Sonuçlar

İki katlı RC kuplajlı yükselteç aşağıdaki özelliklere sahiptir:

- İkinci kattaki yükseltecin DC öngerilimlemesi, birinci kattaki yükseltecin DC öngerilimlemesindeki değişimden etkilenmez.
- Q_2 'nin emetör by-pass kondansatörü C_3 , ikinci yükseltecin gerilim kazancı A_{V2} 'yi doğrudan belirler. C_3 devreden çıkarıldığında negatif geri besleme ortaya çıktığı için A_{V2} değeri azalır.
- Alçak frekans bölgesinde kuplaj kondansatörünün kapasitif reaktansı büyük olduğu için RC kuplajlı yükseltecin alçak frekans tepkisi kötüdür.

5.2 Doğrudan Kuplajlı Yükselteç

1. KL-25004 modülünü, KL-22001 Temel Elektrik Devreleri Deney Düzeneklerinin üzerine koyun ve a bloğunun konumunu belirleyin. Şekil 3-7'deki devre ve Şekil 3-8'deki bağlantı diyagramı yardımıyla gerekli bağlantıları yapın. Bağlantı kablolarını kullanarak VR₄ potansiyometresini devreye bağlayın. KL-22001 Düzenekindeki sabit 12 V DC güç kaynağını KL-25004 modülüne bağlayın.
2. Q₁ kollektör gerilimi $V_{C1} = V_{CC}/2 = 6$ V olacak şekilde VR₄ (1 MΩ) potansiyometresini ayarlayın. $V_{BE1} = \dots\dots\dots$ ve $V_{BE2} = \dots\dots\dots$ DC gerilimlerini ölçün ve kaydedin.
3. KL-22001 Düzenekinin üzerindeki Fonksiyon Üretecini kullanarak IN ucuna 1 kHz'lik bir sinüzoidal işaret uygulayın. OUT1 çıkış ucuna osiloskop bağlayın.
4. Osiloskop ekranında görüntülenen çıkış dalga şekli bozulmayacak şekilde sinüzoidal sinyalin genliğini artırın.
5. Osiloskop kullanarak (AC bağlantıda) V_{B1} , V_{C1} , V_{B2} ve V_{C2} (V_{OUT1}) dalga şekillerini ölçün ve Tablo 3-2'ye kaydedin.
6. # ile işaretli klipsi kaldırarak C₃ (47 μF) kondansatörünü devreden çıkarın ve 5. adımı tekrarlayın.
7. C₃ (47 μF) kondansatörünü tekrar bağlayın ve VR₄ (1 MΩ) potansiyometresini rastgele değiştirerek V_{B1} , V_{C1} , V_{B2} ve V_{C2} (V_{OUT1}) dalga şekillerinin değişip değişmediğini gözlemleyin.
8. Tablo 3-2'de C₃'ün bağlı olduğu durumdaki sonuçları kullanarak aşağıdaki değerleri hesaplayın.
 - (1) $A_{V1} = V_{o1} / V_{i1} = V_{C1} / V_{B1} = \dots\dots\dots$
 - (2) $A_{V2} = V_{o2} / V_{i2} = V_{OUT1} / V_{B2} = \dots\dots\dots$
 - (3) $A_V = A_{V1} \times A_{V2} = V_{OUT1} / V_{B1} = \dots\dots\dots$
 - (4) $A_{VS} = V_{OUT1} / V_{IN} = \dots\dots\dots$
9. VR₄ (1 MΩ) potansiyometresini normal konumuna ayarlayın ($V_{C1} = V_{CC}/2 = 6$ V). Giriş sinyalinin frekansını Tablo 3-3'te listelendiği gibi 1 Hz ile 20 kHz arasında ayarlayın ve OUT1 ucundan her frekansa karşılık gelen çıkış gerilimini ölçün. A_V/A_{VO} değerlerini hesaplayarak Tablo 3-3'ü tamamlayın (A_{VO} , çıkışın maksimum olduğu A_V değeridir).
10. Tablo 3-3'teki sonuçları kullanarak Tablo 3-4'teki frekans tepkisi eğrisini çizin.



Şekil 3-7. Doğrudan kuplajlı yükselteç.

**Tablo 3-2.** Doğrudan kuplajlı yükselteç dalga şekilleri.

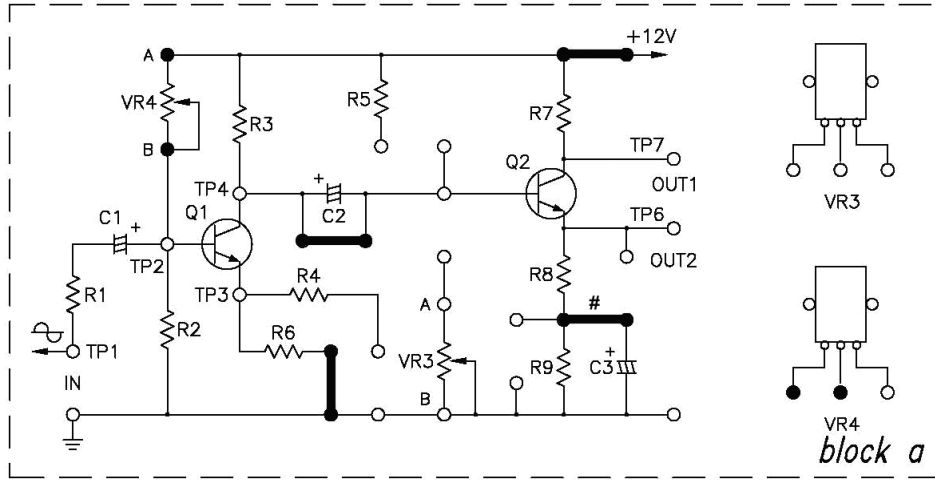
C3 bağlı		C3 bağlı değil	
Dalga şekli	V_{pp}	Dalga şekli	V_{pp}
V_{IN}		V_{IN}	
$V_{B1} (V_{i1})$		$V_{B1} (V_{i1})$	
$V_{C1} (V_{o1})$		$V_{C1} (V_{o1})$	
V_{OUT1}		V_{OUT1}	

Tablo 3-3. Doğrudan kuplajlı yükseltecin frekans ölçümleri.

Frekans	1 Hz	10 Hz	100 Hz	500 Hz	1 kHz	5 kHz	10 kHz	20 kHz
Kazanç								
A_V/A_{VO}								

Tablo 3-4. Doğrudan kuplajlı yükseltecin frekans tepkisi eğrisi.

A_V/A_{V0}	f
1 (0 dB)	
0.707 (-3 dB)	



Şekil 3-8. Bağlantı diyagramı (KL-25004 blok a).

Sonuçlar

İki katlı doğrudan kuplajlı yükselteç aşağıdaki özelliklere sahiptir:

1. İkinci kat yükseltecin DC öngerilimlemesi, birinci kat yükseltecin DC öngerilimlemesindeki değişimden doğrudan etkilenir.
2. Q_2 'nin emetör by-pass kondansatörü C_3 , ikinci yükseltecin gerilim kazancı A_{V2} 'yi doğrudan belirler. C_3 devreden çıkarıldığında negatif geri besleme ortaya çıktığı için A_{V2} değeri azalır.
3. Doğrudan kuplajlı yükseltecin frekans cevabı çok iyidir.



5.3 Transformatör Kuplajlı Yükselteç

1. KL-25004 modülünü, KL-22001 Temel Elektrik Devreleri Deney Düzeneklerinin üzerine koyun ve c bloğunun konumunu belirleyin. Şekil 3-9'daki devre ve Şekil 3-10'daki bağlantı diyagramı yardımıyla gerekli bağlantıları yapın. KL-22001 Düzenekindeki sabit 12 V DC güç kaynağını KL-25004 modülüne bağlayın.
2. KL-22001 Düzenekinin üzerindeki Fonksiyon Üretecini kullanarak IN ucuna 500 Hz'lik bir sinüzoidal işaret uygulayın. OUT çıkış ucuna (TP3-TP4) osiloskop bağlayın. TP3 ile TP4 arasına 8 Ω 'luk yük direnci (yapay yük) set üzerinde hazır olarak bağlıdır.
3. Osiloskop ekranında görüntülenen çıkış dalga şekli bozulmayacak şekilde sinüzoidal sinyalin genliğini artırın. V_{IN} giriş gerilimi ve V_{OUT} çıkış gerilimi dalga şekillerini ölçün ve Tablo 3-5'e kaydedin.
4. Aşağıdaki denklemi kullanarak maksimum çıkış gücünü hesaplayın:

$$P_{out} = \frac{V_{OUT(p-p)}^2}{8R_L} = \dots \dots W, \quad R_L = 8 \Omega$$

5. Giriş sinyalinin frekansını Tablo 3-6'da listelendiği gibi 1 Hz ile 20 kHz arasında ayarlayın ve OUT ucundan her frekansa karşılık gelen çıkış gerilimini ölçün. A_V/A_{VO} değerlerini hesaplayarak Tablo 3-6'yı tamamlayın (A_{VO} , çıkışın maksimum olduğu A_V değeridir).
6. Tablo 3-6'daki sonuçları kullanarak Tablo 3-7'deki frekans tepkisi eğrisini çizin.

Tablo 3-5. Transformatör kuplajlı yükselteç dalga şekilleri.

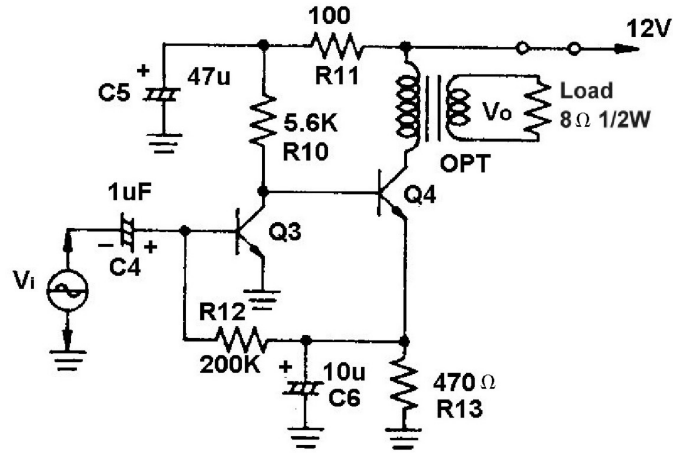
Dalga şekli	V_{pp}
V_{IN}	
V_{OUT}	

Tablo 3-6. Transformatör kuplajlı yükseltecin frekans ölçümleri.

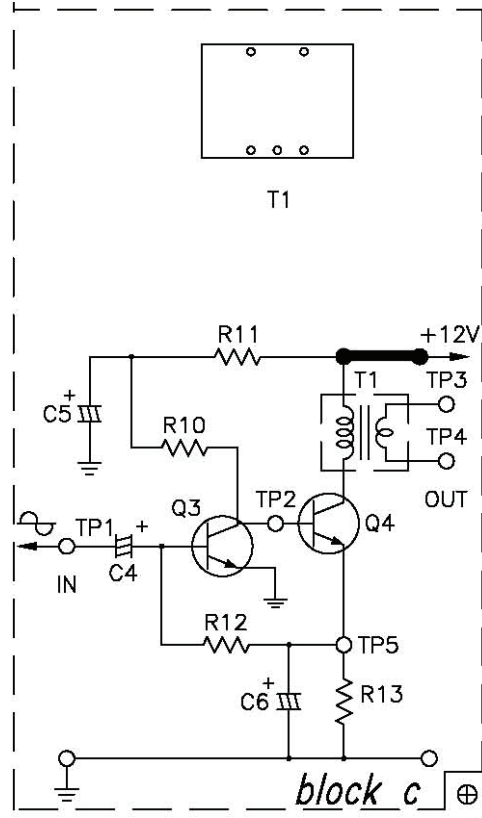
Frekans	1 Hz	10 Hz	100 Hz	500 Hz	1 kHz	5 kHz	10 kHz	20 kHz
Kazanç								
A_V/A_{VO}								

Tablo 3-7. Transformatör kuplajlı yükseltecin frekans tepkisi eğrisi.

A_V/A_{V0}	f
1 (0 dB)	
0.707 (-3 dB)	



Şekil 3-9. Transformatör kuplajlı yükselteç.



Şekil 3-10. Bağlantı diyagramı (KL-25004 blok c).

Sonuçlar

Transformatör kuplajlı yükselteç aşağıdaki özelliklere sahiptir:

1. Transformatör kullanıldığı için katlar arasında empedans uydurmak kolaydır.
2. Transformatör kuplajlı yükseltecin frekans cevabı zayıftır.

6 Deney Sonu Soruları

1. Doğrudan ve transformatör kuplajlı yükselteçlerin frekans tepkilerini (Tablo 3-4 ve Tablo 3-7) karşılaştırınız. Hangisinin alt kesim frekansı daha düşüktür ve bunun nedeni nedir? RC kuplajlı yükseltecin alçak frekans tepkisi bu ikisine göre nasıl olurdu?
2. C_3 kondansatörü devreden çıkarıldığında A_{V2} değişimini ölçümlerinize dayanarak yorumlayınız. Bu değişim beklentinizle uyumlu mu?
3. Ölçtüğünüz frekans tepkisi verilerinden ($A_V/A_{V0} = 0.707$ noktası) alt kesim frekansını belirleyiniz.
4. Transformatör kuplajlı yükselteç için hesapladığınız maksimum çıkış gücü, yük direnci ve sarım oranı bakımından nasıl yorumlanır?