



**BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN-EDEBİYAT FAKÜLTESİ
FİZİK BÖLÜMÜ**

**ELEKTRONİK LABORATUARI
DENEY KILAVUZU**



**Hazırlayan
Prof. Dr. Ali TEKE**

BALIKESİR, 2026

İÇİNDEKİLER

DENEY 1: Elektronik Laboratuvarı Tanıtımı ve Kullanım Talimatları

DENEY 2: Si ve Ge Diyotun Karakteristikleri

DENEY 3: Zener Diyotun ve LED'in Karakteristiğı

DENEY 4: Yarım ve Tam Dalga Doğrultucu Diyot Devreleri

DENEY 5: Yarım ve Tam Dalga Doğrultucu Süzgeç Devreleri

DENEY 6: Diyot Sınırlayıcı veya Kırpıcı Devreler

DENEY 7: Diyot Kenetleyici veya Tutturucu Devreler

DENEY 8: Bipolar Eklem Transistörlerinin (BJT) Karakteristikleri

DENEY 9: Bipolar Eklem Transistörlü Yükselteç Devreleri-1

DENEY 10: Bipolar Eklem Transistörlü Yükselteç Devreleri-2

DENEY 11: Alan Etkili Transistörlerinin (FET) Karakteristikleri

DENEY 12: Alan Etkili Transistörlü Yükselteç Devreleri-1

DENEY 13: Alan Etkili Transistörlü Yükselteç Devreleri-2

DENEY TAKİP ÇİZELGESİ

Öğrencinin Adı :.....

Öğrencinin Numarası :.....

Deney Adı	Tarih	Deney Onayı	Rapor Onayı
	//20....		
	//20....		
	//20....		
	//20....		
	//20....		
	//20....		
	//20....		
	//20....		
	//20....		
	//20....		
	//20....		
	//20....		
	//20....		
	//20....		

ELEKTRONİK LABORATUVARI KULLANIM TAAHHÜTNAMESİ VE ÖĞRENCİ BEYANI

1. GENEL SORUMLULUKLAR VE CİHAZ GÜVENLİĞİ

Elektronik Laboratuvarı bünyesinde bulunan tüm deney malzemelerinin korunması ve sürdürülebilir kullanımı noktasında aşağıdaki hususlar öğrencinin sorumluluğundadır:

- **Yetkisiz Müdahale:** Laboratuvar sorumlusunun onayı ve tarif ettiği şekil dışındaki hiçbir düğme, ayar vidası veya bağlantı noktasına müdahale edilmeyecektir.
- **Hatalı Kullanım ve Arıza:** Deney föyünde belirtilen talimatlara aykırı işlem yapılması, sisteme kapasitesinin üzerinde voltaj uygulanması veya fiziksel zorlama neticesinde oluşacak arıza, kırılma ve bozulmalardan doğrudan deneyi yapan öğrenci/öğrenci grubu sorumludur.
- **Maddi Sorumluluk:** Kullanıcı hatasından kaynaklanan ve cihazın işlevselliğini yitirmesine neden olan hasarlarda, üniversitenin ilgili disiplin ve taşınır mal yönetmeliği hükümleri saklı kalmak kaydıyla, zararın tazmini veya cihazın onarım maliyeti hususunda öğrenci yasal muhataptır.
- **Kayıp ve Eksik Parça:** Deney masasında bulunan taşınabilir parçaların kaybolması durumunda sorumluluk ilgili grup üyelerine aittir.

2. İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ (İSG) TAAHHÜDÜ

Laboratuvar ortamındaki potansiyel tehlikelere karşı (Yüksek gerilim, radyasyon, yüksek sıcaklık) kendimi ve çalışma arkadaşlarımı korumak adına:

- Güç kaynaklarını kontrolsüz bırakmayacağımı,
- Acil durumlarda tahliye planına ve laboratuvar sorumlusunun komutlarına harfiyen uyacağımı,
- Laboratuvar içerisinde kişisel koruyucu donanım (önlük vb.) kurallarına riayet edeceğimi beyan ederim.

3. AKADEMİK DÜRÜSTLÜK VE ETİK

Deney sırasında elde edilen verilerin orijinalliğini bozmayacağımı, başkasına ait verileri kullanmayacağımı ve raporlarımı tamamen kendi emeğimle (el yazısıyla) hazırlayacağımı taahhüt ederim.

4. KABUL VE ONAY

Aşağıda imzası bulunan ben, Elektronik Laboratuvarı'nda uygulanacak olan tüm idari kuralları, güvenlik talimatlarını ve cihaz kullanım prosedürlerini okudum, anladım. Kurallara aykırı davranışlarım veya dikkatsizliğim sonucunda laboratuvar envanterine verebileceğim her türlü maddi zararın sorumluluğunu ve hakkımda açılacak idari/disiplin soruşturmalarının sonuçlarını peşinen kabul ediyorum.

ÖĞRENCİ BİLGİLERİ

Adı Soyadı:

Öğrenci Numarası:

Tel: 0 (.....).....

Tarih: / / 20.....

İmza:

ELEKTRONİK LABORATUVARI GENEL ESASLARI VE GÜVENLİK REHBERİ

1. LABORATUVAR ÇALIŞMA KURALLARI

Laboratuvar ortamında akademik verimliliği ve güvenliği sağlamak adına aşağıdaki hususlara titizlikle uyulmalıdır:

- **Ön Hazırlık ve Denetim:** Öğrenciler deneye gelmeden önce ilgili deney föyünü okumalı ve teorik altyapıyı araştırmalıdır. Hazırlıksız olduğu tespit edilen öğrenciler, laboratuvar sorumlusu tarafından telafiye bırakılabilir. 2 deneyden fazla telafisi olan öğrenci Devamsızlıktan kalır.
- **Devamlılık:** Laboratuvar derslerine %80 devam zorunluluğu bulunmaktadır. Devamsızlık durumunda telafi imkânı sunulmayacaktır.
- **Cihaz Kullanım Protokolü:** Laboratuvara girildiğinde cihazlara izinsiz dokunulmamalı veya kurcalanmamalıdır. Deney düzeneği kurulduktan sonra, enerji verilmeden önce mutlaka sorumlu öğretim elemanına kontrol ettirilmelidir.
- **Çalışma Etiği:** Deney grupları içinde yardımlaşma esas olmakla birlikte, her öğrenci ölçüm ve hesaplamaları kendileri tarafından münferit (ayrı ayrı) olarak yapacaktır. Raporlarında gerekli iş ve işlemleri yapmayan, kurallara göre hazırlanmamış raporlar ile aşırı benzerlik bulunan öğrencilerin raporları İADE edilecektir. Takip eden hafta raporların teslim edilmesi gerekir. Raporu eksik olan öğrenciler ilgili deneyi yapmamış sayılacaktır.
- **Ortam Düzeni:** Laboratuvarda ve deneyler sırasında yüksek sesle konuşulmamalı, diğer grupların konsantrasyonu bozulmamalıdır. Cep telefonları kapalı veya sessiz konumda tutulmalıdır. Deney verilerinin alınması için gerekli malzemeler dışındakiler deney masasında yer almamalıdır.
- **Sonlandırma:** Deney bitiminde kullanılan tüm aletler kapatılmalı, kablolar düzenlenmeli ve çalışma masası kesinlikle temiz ve kullanıma hazır bırakılmalıdır. Deney sonunda arızalanan veya çalışmayan herhangi bir alet olması durumunda derhal deney sorumlusu öğretim elemanına bilgi verilmelidir. Bilgi verilmeden bırakılan veya kurallar dışında kullanıma bağlı olarak gelişen arıza veya cihaz bozulmalarında gerekli tamir veya değiştirme masrafları ilgili grubun tamamından tahsil edilecektir.

2. İŞ SAĞLIĞI ve GÜVENLİĞİ (İSG) ile ACİL DURUM

Elektronik Laboratuvarında; herhangi bir kaza, yangın veya elektrik kaçağı durumunda panik yapılmadan önce ana şalter kapatılmalı, ardından laboratuvar sorumlusunun talimatları doğrultusunda en yakın acil çıkış kapısı kullanılarak tahliye gerçekleştirilmelidir.

3. DENEY RAPORUNUN HAZIRLANMASI

Raporlar akademik yazım diline uygun, okunaklı tercihen el yazısı ile hazırlanmalıdır (Bilgisayar ortamında çizilen grafikler kabul edilebilir, ancak raporun tamamı bilgisayarda yazılmamalıdır).

DENEY 1: Elektronik Laboratuvarı Tanıtımı ve Kullanım Talimatları

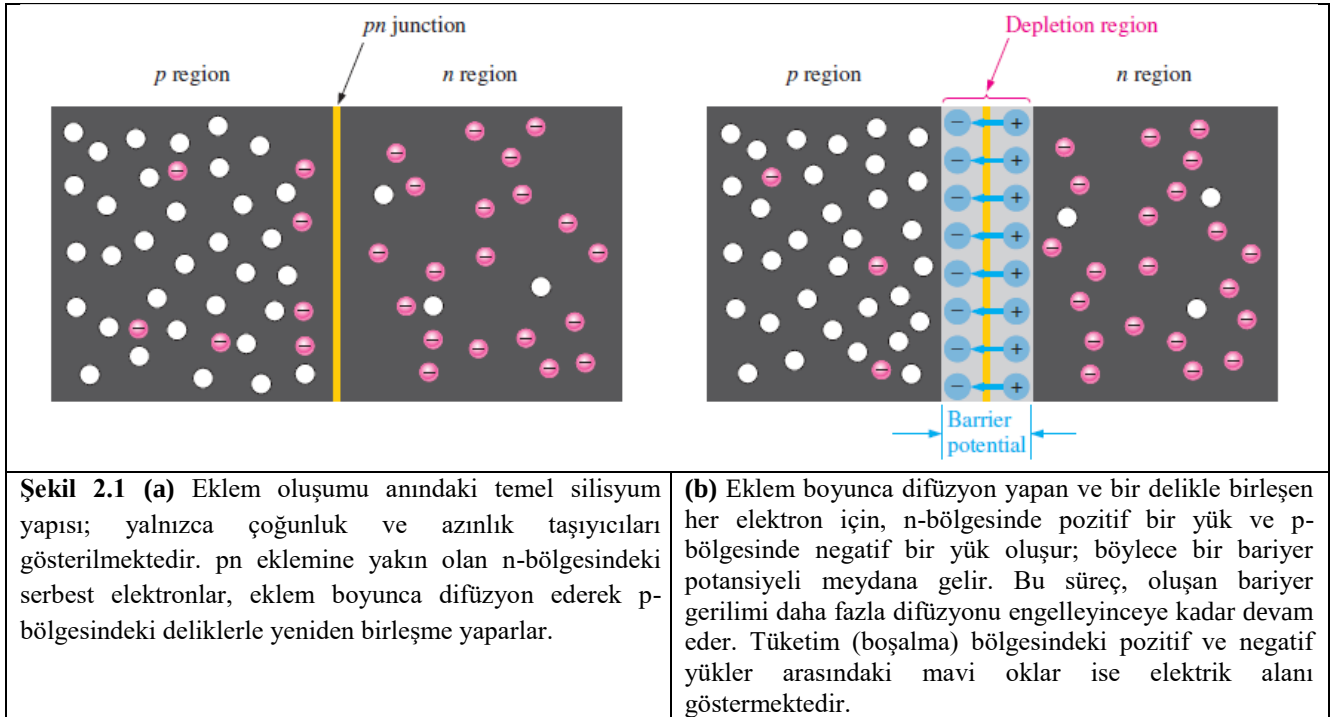
İlk hafta Elektronik Laboratuvarında Sunum Yapılacaktır.

DENEY 2: Si ve Ge Diyotun Karakteristikleri

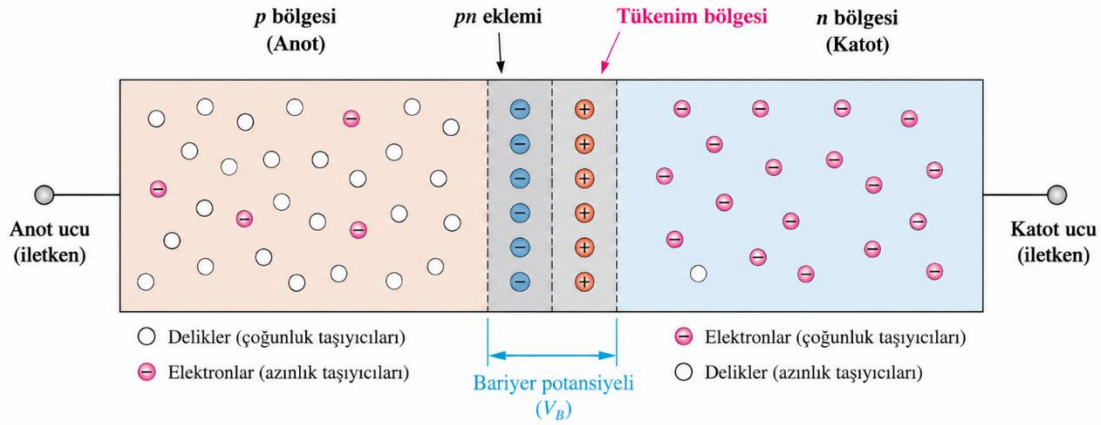
Genel Bilgiler

pn eklem diyotu, elektronik devrelerde en yaygın kullanılan yarı iletken devre elemanlarından biridir. Diyotlar, akımın yalnızca tek yönde geçmesine izin veren ve diğer yönde akımın geçmesini büyük ölçüde engelleyen devre elemanları olarak çalışır. Bu özellikleri sayesinde doğrultma, anahtarlama, sinyal işleme ve koruma devreleri gibi birçok uygulamada kullanılır.

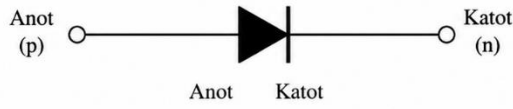
Diyotunun Yapısı ve Oluşumu: Şekil 2.1’de gösterildiği gibi *pn* eklem diyotu, *p*-tipi ve *n*-tipi yarı iletken malzemelerin bir araya getirilmesiyle oluşturulur. *p*-tipi yarı iletkende çoğunluk taşıyıcılar delikler (hole), *n*-tipi yarı iletken ise elektronlardır. Bu iki bölge birleştirildiğinde, elektronlar *n* bölgesinden *p* bölgesine; delikler ise *p* bölgesinden *n* bölgesine doğru hareket eder.



Bu yük taşıyıcı hareketi sonucunda eklem her iki tarafında serbest taşıyıcıların azaldığı bir **tüketim bölgesi** oluşur. Oluşan bu bölge, diyotun elektriksel davranışını belirleyen temel yapıdır. *p* bölgesine **anot** denir ve iletken bir uca bağlanır. *n* bölgesine ise **katot** denir ve ikinci bir iletken uca bağlanır. Sonuçta oluşan diyotun temel yapısı ve şematik sembolü Şekil 2.2’de gösterilmektedir.



(a) Diyotun temel yapısı

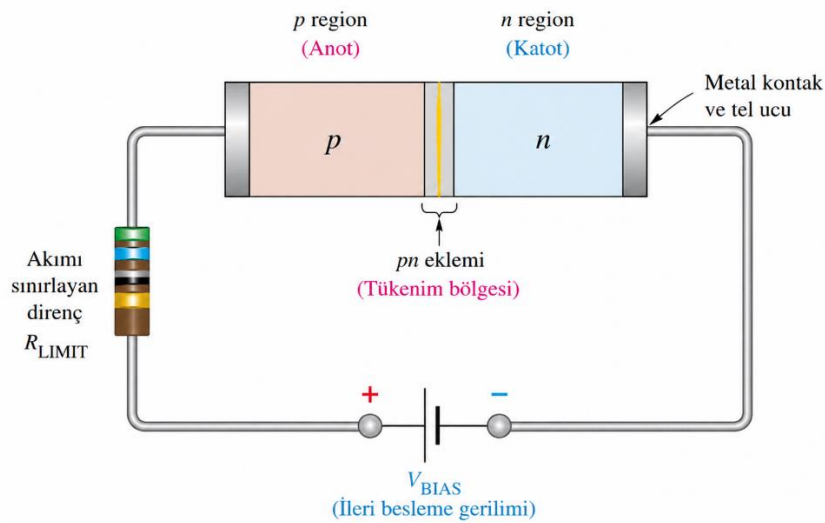


(b) Diyotun şematik sembolü

Şekil 2.2: Bir pn Eklem Diyotunun Yapısı ve Tüketim Bölgesi

Çalışma Mekanizması: Diyotun çalışma prensibi **ileri** ve **ters besleme** durumlarına dayanır.

İleri Besleme (Forward Bias): Bir diyotu beslemek demek diyotun iki ucu arasında bir potansiyel farkı uygulamak demektir. İleri besleme, pn ekleminden akım geçmesine izin veren durumdur. Şekil 2.3, bir diyotun uçlarına diyotu ileri besleme durumuna geçirecek şekilde bağlanmış bir DC voltaj kaynağını göstermektedir. Bu harici besleme voltajı V_{BIAS} 'ın negatif kutbu diyotun n bölgesine, pozitif kutbu ise p bölgesine bağlanır. Bu, ileri besleme için gerekli koşullardan biridir. İkinci koşul ise besleme voltajı değerinin **bariyer potansiyelinden** daha büyük ($V_{BIAS} \geq V_B$) olması gerektiğidir.

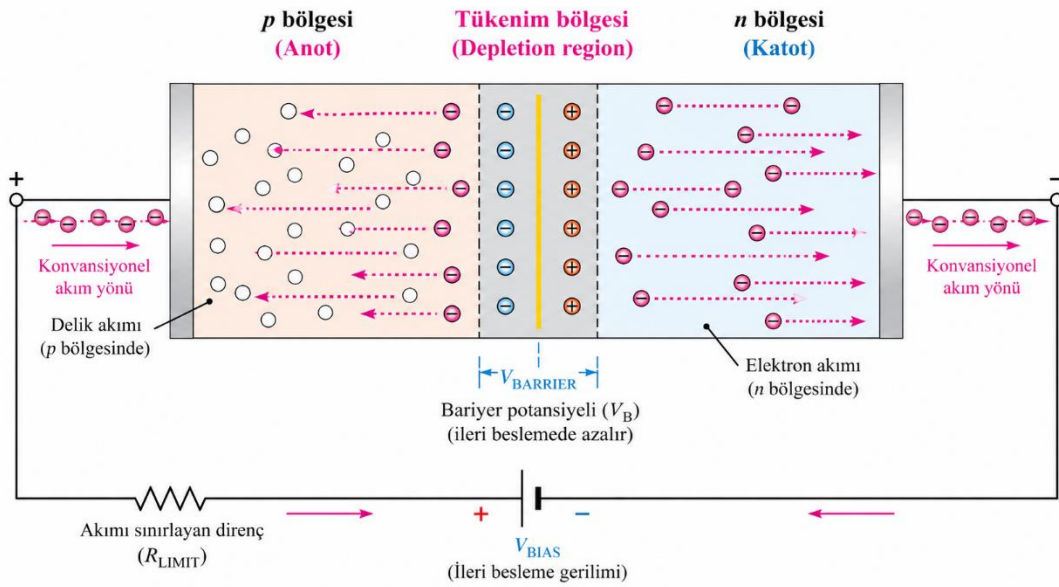


Şekil 2.3: İleri besleme durumu için bağlanmış bir diyot.

İleri beslemiş bir diyotta meydana gelen yük taşıyıcı hareketleri ve ilgili süreçlerin basit bir gösterimi Şekil 2.4'te verilmiştir. Aynı yüklü parçacıklar birbirini ittiği için, voltaj kaynağının negatif kutbu; n bölgesindeki çoğunluk taşıyıcıları olan serbest elektronları eklem düzlemine doğru iter. Bu serbest elektron akışına **elektron akımı** denir. Kaynağın negatif tarafı aynı zamanda dış bağlantı (iletken) üzerinden n bölgesine sürekli bir elektron akışı sağlar.

Besleme kaynağı, serbest elektronlara tüketim bölgesindeki bariyer potansiyelini aşabilecek kadar enerji kazandırır ve elektronların p bölgesine geçmesini sağlar. p bölgesine geçen bu iletim elektronları, enerjilerinin önemli bir kısmını kaybettikleri için hemen değerlik bandındaki deliklerle tekrar birleşme yaparlar. Elektronlar artık p bölgesinin değerlik bandındadır; çünkü bariyer potansiyelini aşarken çok fazla enerji kaybetmişlerdir ve iletim bandında kalamazlar.

Zıt yükler birbirini çektiğinden, besleme voltaj kaynağının pozitif tarafı değerlik elektronlarını p bölgesinin sol tarafına doğru çeker. p bölgesindeki delikler, bu değerlik elektronlarının hareket etmesi için bir ortam veya yol sağlar.



Şekil 2.4: İleri yönlü polarize edilmiş bir diyot, çoğunluk taşıyıcılarının akışını ve tükenme bölgesindeki bariyer potansiyelinden kaynaklanan voltajı göstermektedir.

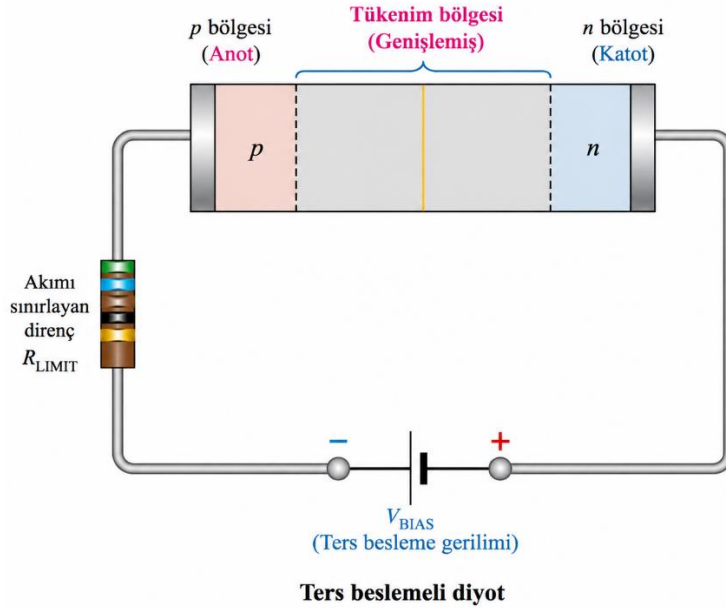
Değerlik elektronları sola doğru bir delikten diğerine hareket eder. p bölgesinin çoğunluk taşıyıcıları olan delikler ise etkin olarak (gerçekte değil) sağa, yani ekleme doğru hareket ediyormuş gibi görünür. Şekil 2.4'te bu durum gösterilmektedir. Deliklerin bu etkin akışına **delik akımı** denir. Delik akımı, aynı zamanda değerlik elektronlarının p bölgesi boyunca hareket etmesi sonucu oluşuyormuş gibi de düşünülebilir; delikler, bu elektronların akabilmesi için gerekli yolu sağlar.

Elektronlar p bölgesinden dış bağlantı (iletken) üzerinden çıkıp besleme kaynağının pozitif tarafına giderken, p bölgesinde arkalarında delikler bırakırlar. Aynı zamanda bu elektronlar, iletkende iletim

elektronu hâline gelirler.

Hatırlanacağı üzere, bir iletkende iletim bandı ile değerlik bandı çakışmıştır. Bu nedenle bir elektronun iletkende serbest elektron olması için gereken enerji, yarıiletkenine göre çok daha azdır. Ayrıca metalik iletkenlerin yapısında delikler bulunmaz. pn eklemine doğru etkin olarak hareket eden delikler sürekli olarak mevcut olduğundan, eklem üzerinden p bölgesine geçen sürekli elektron akışıyla tekrar birleşmeye devam ederler.

Ters Besleme: Ters besleme, diyottan akım geçişini büyük ölçüde engelleyen besleme durumudur. Şekil 2.5, bir diyotun uçlarına ters besleme oluşturacak yönde bağlanmış bir DC voltaj kaynağını göstermektedir. Bu harici besleme voltajı, ileri beslemede olduğu gibi yine V_{BIAS} olarak gösterilir. V_{BIAS} voltajının pozitif tarafının diyotun n bölgesine, negatif tarafının ise p bölgesine bağlandığına dikkat edin. Ayrıca tüketim bölgesinin, ileri besleme veya dengedeki duruma göre çok daha geniş gösterildiğine de dikkat edilmelidir.



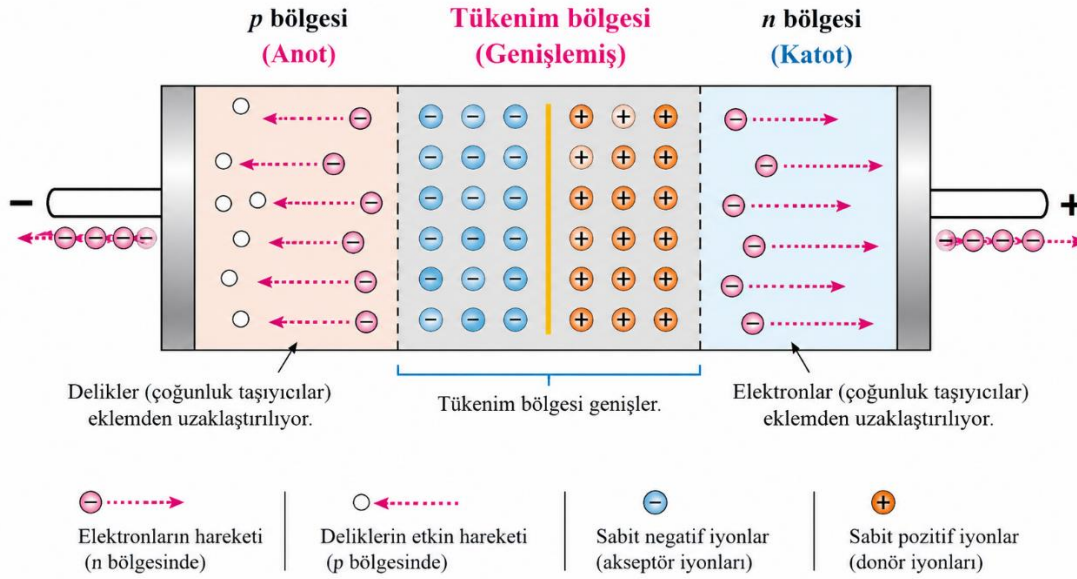
Şekil 2.5: Ters polarizasyon için bağlanmış bir diyot. Sınırlayıcı bir direnç gösterilmiştir, ancak ters polarizasyonda esasen akım olmadığı için bunun önemi yoktur.

Bir diyot ters beslendiğinde meydana gelen olaylar Şekil 2.6'de gösterilmektedir. Zıt yükler birbirini çektiği için, besleme voltaj kaynağının pozitif tarafı; n bölgesindeki çoğunluk taşıyıcıları olan serbest elektronları pn ekleminden uzağa doğru çeker. Elektronlar voltaj kaynağının pozitif tarafına doğru hareket ettikçe, tüketim bölgesinde ek delikler oluşur. Bunun sonucu olarak tüketim bölgesi genişler ve çoğunluk taşıyıcılarının sayısı azalır.

p bölgesinde ise, voltaj kaynağının negatif tarafındaki elektronlar değerlik elektronu olarak içeri girer ve delikten deliğe hareket ederek tüketim bölgesine doğru ilerler. Burada ek negatif yük oluştururlar. Bu da tüketim bölgesinin genişlemesine ve çoğunluk taşıyıcılarının azalmasına neden olur. Değerlik

elektronlarının bu akışı, deliklerin pozitif tarafa doğru çekiliyormuş gibi düşünülmesiyle de açıklanabilir.

Yük taşıyıcılarının başlangıçtaki akışı geçicidir ve ters besleme gerilimi uygulandıktan sonra yalnızca çok kısa bir süre devam eder. Tüketim bölgesi genişledikçe çoğunluk taşıyıcılarının kullanılabilirliği azalır. n ve p bölgelerinin daha büyük kısmı çoğunluk taşıyıcılarından yoksun hâle geldikçe, elektrik alanın şiddeti artar ve sonunda tükenim bölgesi üzerindeki potansiyel, besleme voltajına eşit olur. Bu noktada geçiş akımı neredeyse tamamen durur. Geriye yalnızca genellikle ihmal edilebilecek kadar küçük bir ters kaçak akım kalır.



Şekil 2.6: Ters besleme gerilimi uygulandıktan hemen sonraki kısa geçiş süresi boyunca diyot.

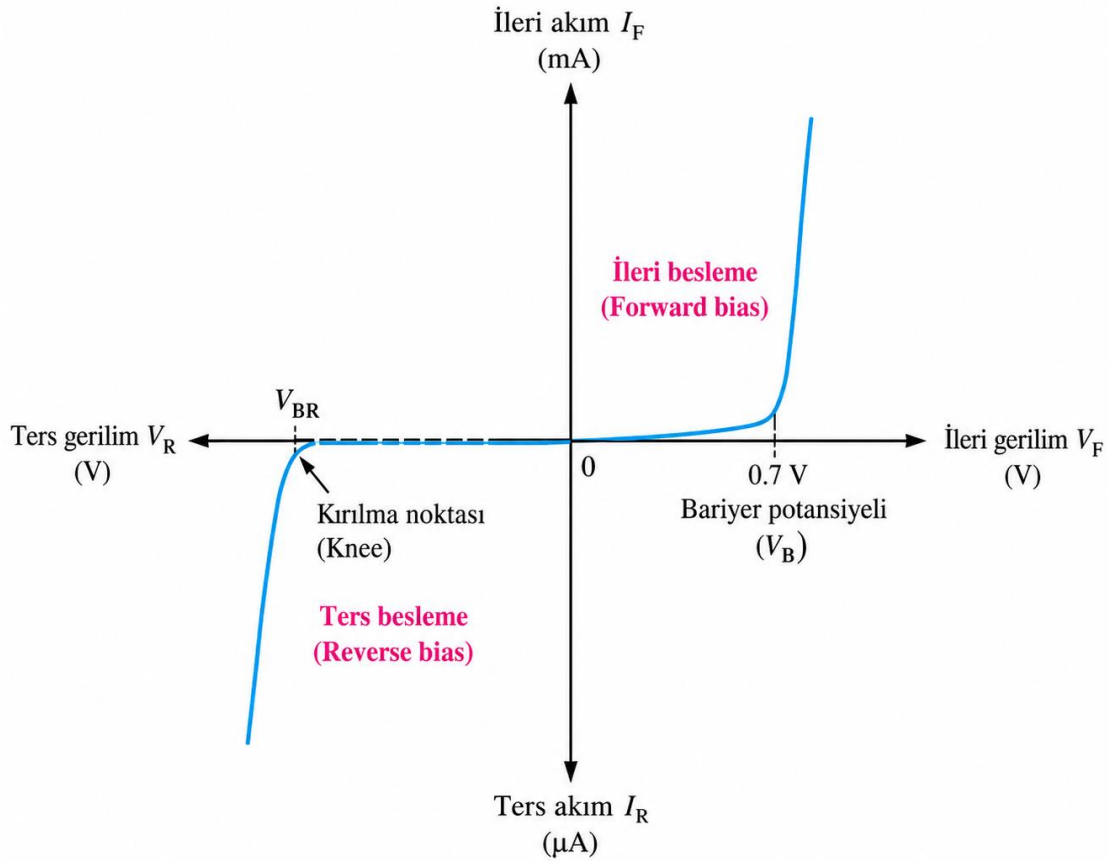
Geçiş akımı sona erdikten sonra ters besleme altında varlığını sürdüren son derece küçük olan bu akım, n ve p bölgelerinde termal olarak oluşan elektron-delik çiftleri nedeniyle meydana gelen azınlık taşıyıcılarından kaynaklanır. p bölgesindeki az sayıdaki serbest azınlık elektronu, negatif besleme voltajı tarafından pn eklemine doğru itilir. Bu elektronlar geniş tüketim bölgesine ulaştığında, enerji tepesinden aşağı düşer ve n bölgesindeki azınlık delikleriyle değerlik elektronu olarak birleşir. Daha sonra kaynağın pozitif terminaline doğru hareket ederek küçük bir delik akımı oluştururlar.

Ters Kırınım: Normalde ters akım o kadar küçüktür ki ihmal edilebilir. Ancak harici ters besleme voltajı, **kırınım voltajı** adı verilen bir değere yükseltirse, ters akım aniden ve çok büyük ölçüde artar. Bunun nedeni şudur:

Yüksek ters besleme voltajı, azınlık taşıyıcısı olan serbest elektronlara büyük miktarda enerji kazandırır. Bu elektronlar p bölgesi boyunca hızla hareket ederken atomlarla çarpışır ve yeterli enerjiye sahip olduklarından, değerlik bandındaki elektronları iletim bandına çıkarırlar.

Yeni oluşan iletim elektronları da yüksek enerjiye sahip olur ve aynı süreç tekrar eder. Eğer bir elektron, p bölgesi boyunca ilerlerken yalnızca iki elektronu bile değerlik yörüngesinden çıkarırsa, elektron sayısı çok hızlı şekilde katlanarak artar. Bu yüksek enerjili elektronlar tükenim bölgesinden geçerken, deliklerle birleşmek yerine n bölgesinden iletim elektronu olarak geçebilecek kadar enerjiye sahiptir.

I - V Karakteristiği: Bir diyotunun tipik akım-voltaj ($I - V$) karakteristiği Şekil 2.7’da gösterilmektedir.



**Diyotun akım-gerilim karakteristiği
(I - V eğrisi)**

Bir diyotun uçlarına ileri besleme voltajı uygulandığında, üzerinden bir akım geçer. Bu akıma **ileri akım** denir ve I_F ile gösterilir. Devrede kullanılan direnç, ileri akımı diyotun aşırı ısınmasına ve zarar görmesine neden olmayacak bir değerde sınırlamak için kullanılır.

İleri besleme voltajı $0 V$ ’tan başlayarak pozitif yönde artırıldığında neler olduğunu göstermektedir. Diyot üzerinde $0 V$ varken ileri akım oluşmaz. İleri besleme voltajı yavaş yavaş artırıldığında, ileri akım ve diyot üzerindeki voltaj da kademeli olarak artar. İleri besleme voltajının bir kısmı akımı sınırlayan direnç üzerinde düşer.

İleri besleme voltajı artırılıp diyot üzerindeki voltaj yaklaşık bariyer potansiyeline (Si için yaklaşık 0.7 V) ulaştığında, ileri besleme akım hızlı bir şekilde artmaya başlar. İleri besleme voltajını artırmaya devam ettiğinizde, akım çok hızlı şekilde artmaya devam eder; ancak diyot üzerindeki gerilim 0.7 V 'un üzerinde yalnızca yavaşça artar. Diyot voltajındaki bu küçük artış, yarıiletken malzemenin iç dinamik direnci üzerindeki voltaj düşümünden kaynaklanır.

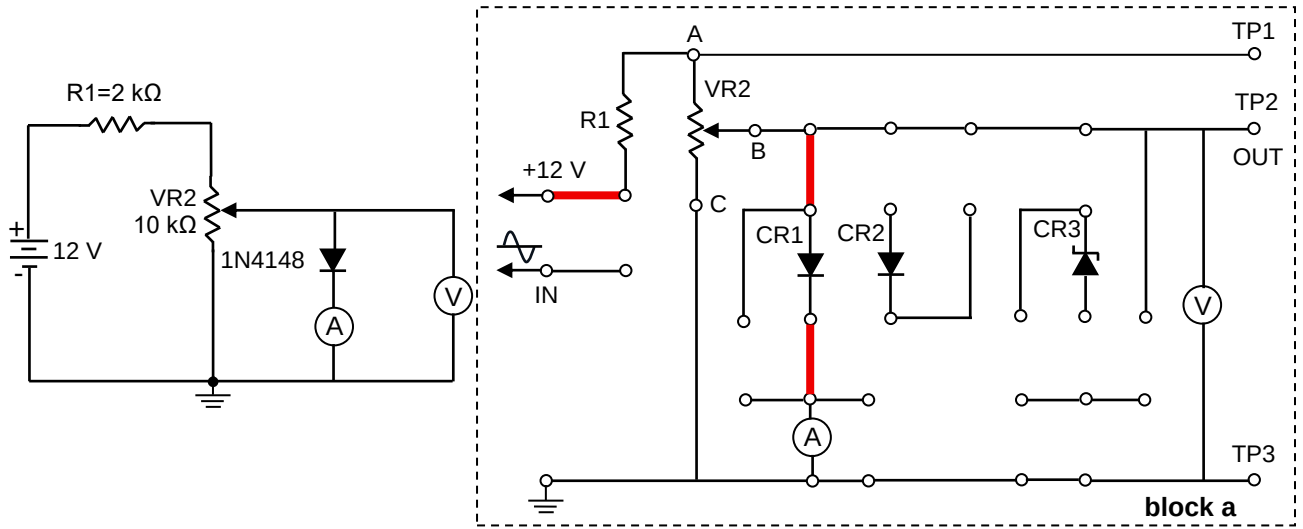
Bir diyotun uçlarına ters besleme voltajı uygulandığında, pn ekleminden yalnızca son derece küçük bir ters akım (I_R) geçer. Diyot üzerinde 0 V varken ters akım oluşmaz. Ters besleme voltajı yavaş yavaş artırıldığında, çok küçük bir ters akım oluşur ve diyot üzerindeki voltaj artar.

Uygulanan besleme voltajı, diyot üzerindeki ters voltaj (V_R) kırınım değerine (V_{BR}) ulaşacak kadar artırıldığında, ters akım hızla artmaya başlar. Besleme voltajını artırmaya devam ettiğinizde, akım çok hızlı şekilde artmaya devam eder; ancak diyot üzerindeki voltaj, V_{BR} değerinin üzerine yalnızca çok az miktarda çıkar. Bazı istisnalar dışında, kırınım bölgesi çoğu pn eklemli aygıt için normal çalışma modu değildir.

A- Silikon (Si) Diyotun Akım-Voltaj Karakteristikleri-Deneyin Yapılışı:

İleri Besleme Konfigürasyonu:

1. KL-23001 modülünü, KL-200 ana ünitesi üzerine yerleştirin ve **a-bloğunun** konumunu belirleyin.
 2. Şekilde gösterildiği gibi, kısa devre klipslerini kullanarak eşdeğer devreyi kurunuz.
- Bu devrede VR2, D1 diyotuna uygulanan gerilimi ayarlamak için kullanılmaktadır. R1 ise D1 diyotunu korumak amacıyla kullanılan akım sınırlama direncidir.
3. $+12\text{ V}$ pozitif güç kaynağını $V +$ terminaline uygulayın. Voltmetre ve ampermetreyi şekilde gösterildiği gibi bağlayın.
 4. VR2 ($10\text{ k}\Omega$) potansiyometresini çevirerek diyottan geçen ileri besleme akımını I_F , Tablo 2.1'de verilen değerlere ayarlayınız. Her akım değeri için voltmetrede okuduğunuz ileri besleme voltajı V_F değerlerini tabloya kaydedin.

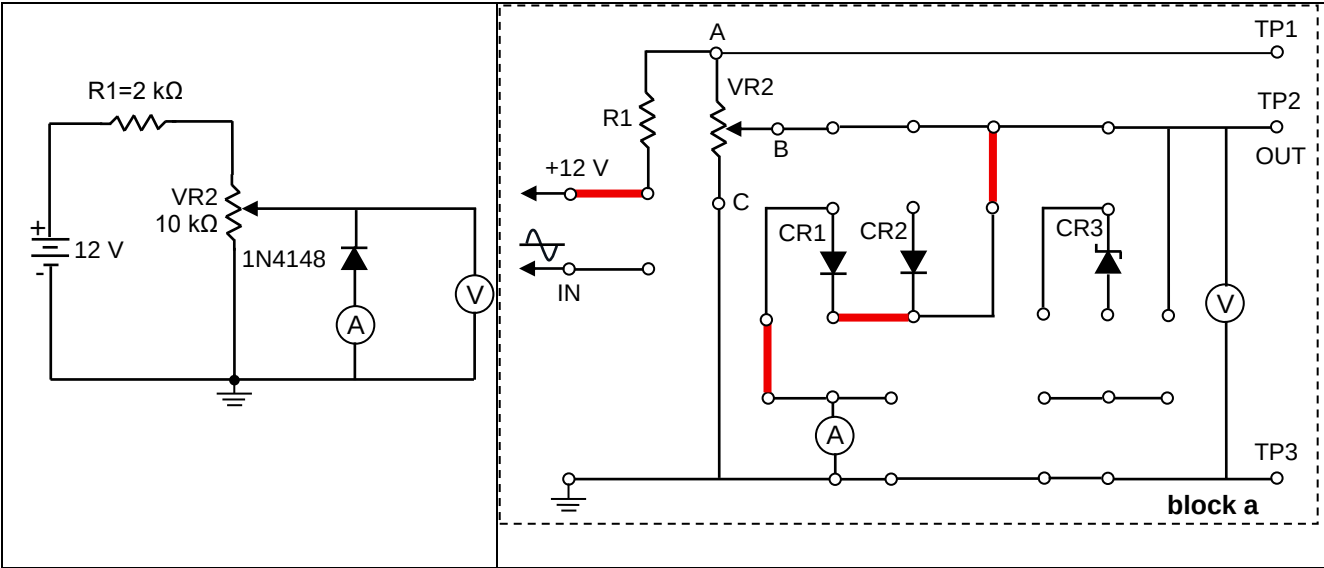


Tablo 2.1

$I_F (mA)$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
$V_F (V)$														

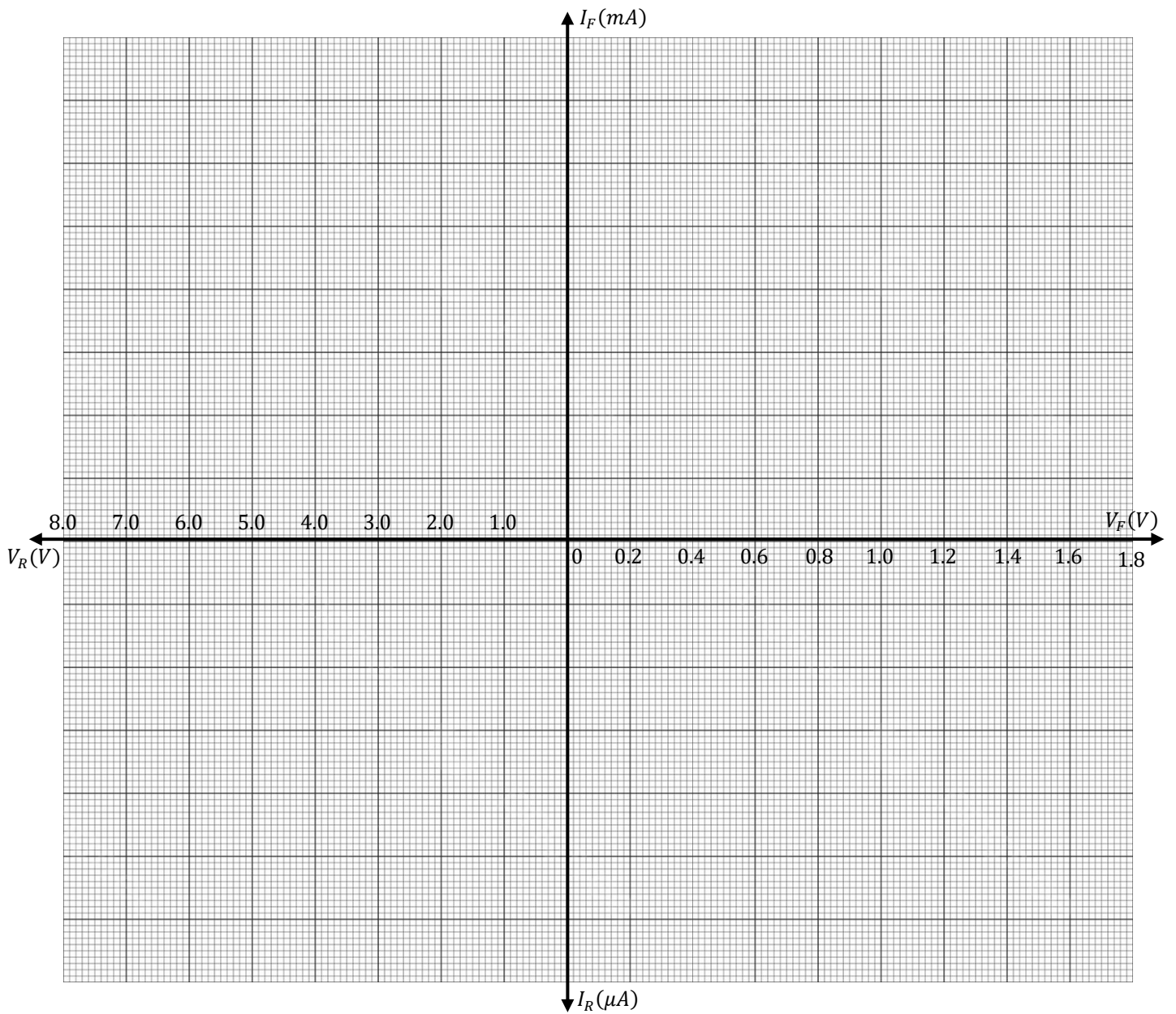
Ters Besleme Konfigürasyonu:

1. KL-23001 modülünü, KL-200 ana ünitesi üzerine yerleştirin ve **a-bloğunun** konumunu belirleyin.
2. Şekilde gösterildiği gibi, kısa devre klipslerini kullanarak eşdeğer devreyi kurunuz.
3. +12 V pozitif güç kaynağını V + terminaline uygulayın. Voltmetre ve ampermetreyi şekilde gösterildiği gibi bağlayın.
4. VR2 (10 kΩ) potansiyometresini çevirerek diyotun terminalleri arasındaki ters besleme voltajını V_R , Tablo 2.2’de verilen değerlere ayarlayınız. Her gerilim değeri için ampermetrede okuduğunuz ters besleme akımı I_R değerlerini tabloya kaydedin.
5. Bu iki tablodaki değerleri kullanarak akım-voltaj (I-V) grafiğini ölçekli bir şekilde çizin. Ölçüm noktalarını grafiğe yerleştirerek bu noktalardan geçen düzgün bir eğri çizin. Elde edilen eğri, D1 (CR1) diyotunun I-V karakteristik eğrisidir.



Tablo 2.2

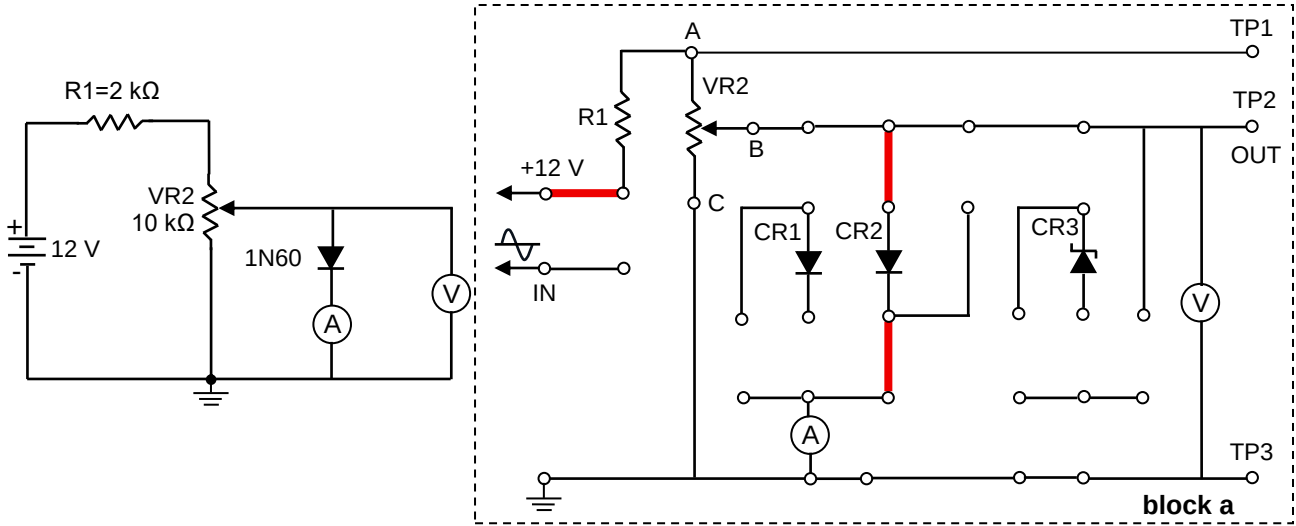
$V_R(V)$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$I_R(\mu A)$										



B- Germanyum (Ge) Diyotun Akım-Voltaj Karakteristikleri

İleri Besleme Konfigürasyonu:

1. KL-23001 modülünü, KL-200 ana ünitesi üzerine yerleştirin ve **a-bloğunun** konumunu belirleyin.
2. Şekilde gösterildiği gibi kısa devre klipsleri kullanarak eşdeğer devreyi kurun (ileri besleme konfigürasyonu).
3. +12 V pozitif güç kaynağını $V +$ terminaline uygulayın. Voltmetre ve ampermetreyi şekilde gösterildiği gibi bağlayın.
4. VR2 (10 k Ω) potansiyometresini çevirerek diyottan geçen ileri besleme akımını I_F , Tablo 2.3’de verilen değerlere ayarlayınız. Her akım değeri için voltmetrede okuduğunuz ileri besleme voltajı V_F değerlerini tabloya kaydedin.



Tablo 2.3

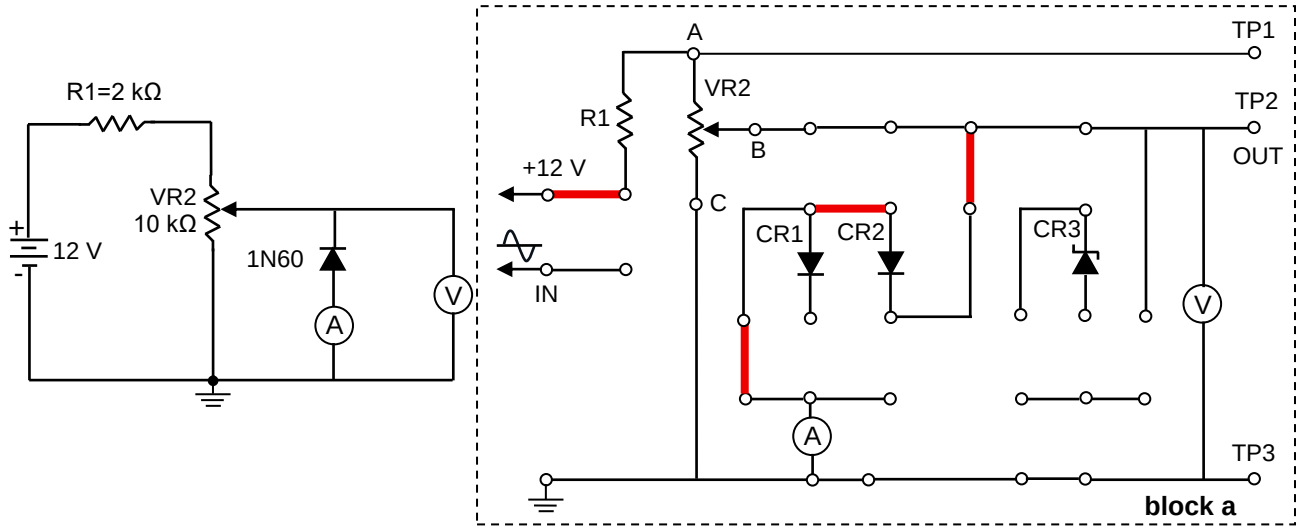
$I_F (mA)$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
$V_F (V)$														

Ters Besleme Konfigürasyonu:

1. KL-23001 modülünü, KL-200 ana ünitesi üzerine yerleştirin ve **a-bloğunun** konumunu belirleyin.
2. Şekilde gösterildiği gibi kısa devre klipsleri kullanarak eşdeğer devreyi kurun.
3. +12V pozitif güç kaynağını $V +$ terminaline uygulayın. Voltmetre ve ampermetreyi şekilde gösterildiği gibi bağlayın.

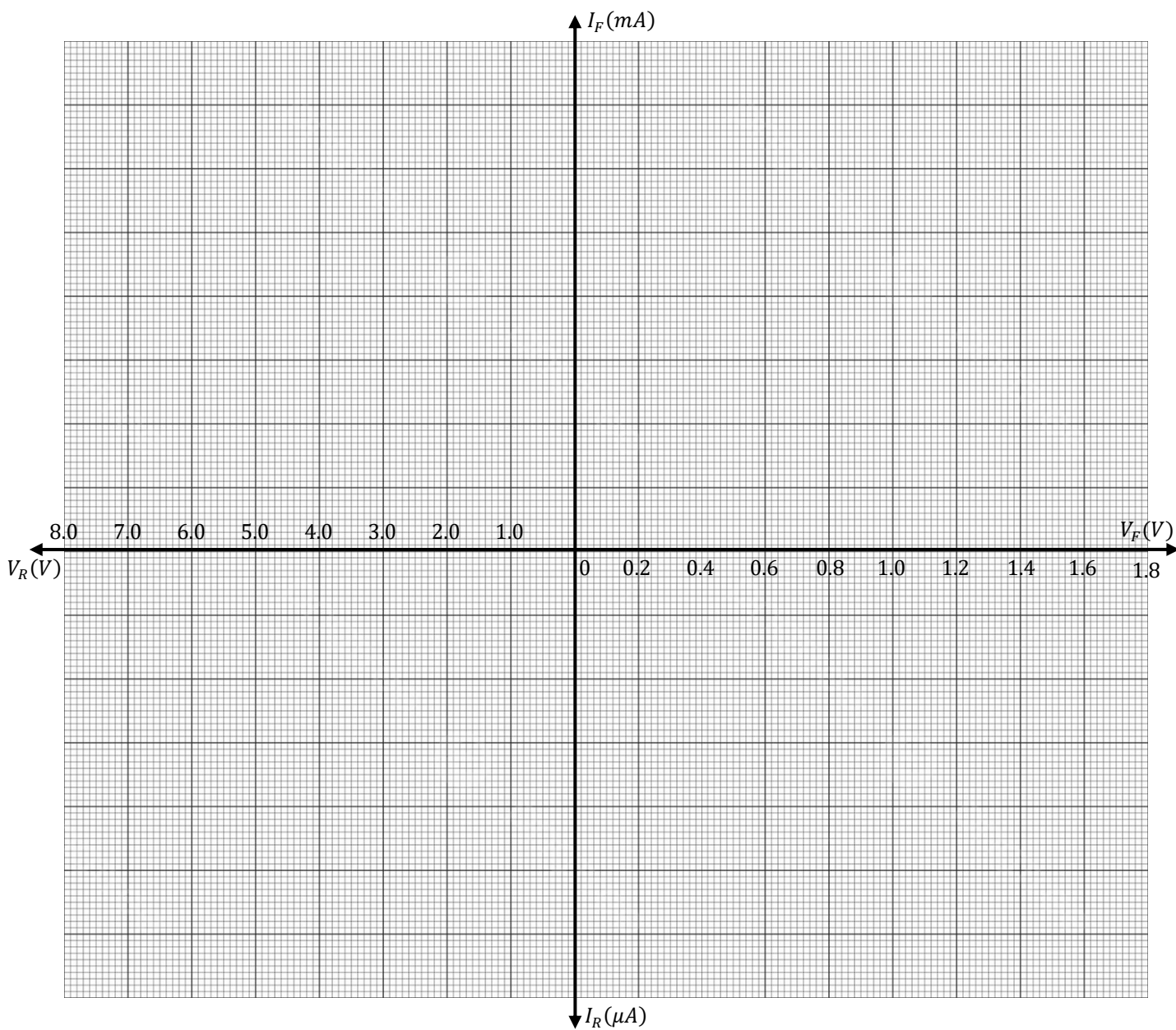
4. VR2 (10 k Ω) potansiyometresini çevirerek diyotun terminalleri arasındaki ters besleme voltajını V_R , Tablo 2.4’de verilen değerlere ayarlayınız. Her gerilim değeri için ampermetrede okuduğunuz ters besleme akımı I_R değerlerini tabloya kaydedin.

5. Bu iki tablodaki değerleri kullanarak akım-voltaj (I-V) grafiğini ölçekli bir şekilde çiziniz. Ölçüm noktalarını grafiğe yerleştirerek bu noktalardan geçen düzgün bir eğri çiziniz. Elde edilen eğri, D1 (CR1) diyotunun I-V karakteristik eğrisidir.



Tablo 2.4

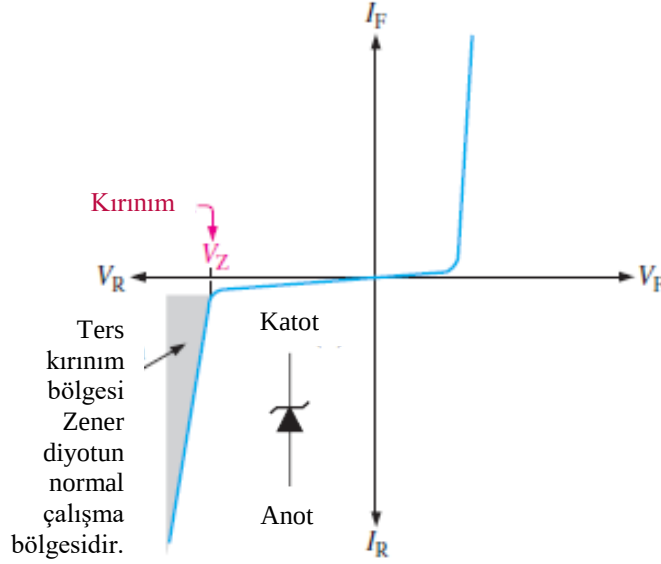
$V_R(V)$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$I_R(\mu A)$										



DENEY 3 : Zener Diyotun ve LED'in Karakteristikleri

Genel Bilgiler

Bir zener diyodun sembolü ve akım-voltaj (I-V) karakteristiği Şekil 3–1’de gösterilmektedir. Katodu temsil eden düz bir çizgi yerine, zener diyotta Z harfini (zener için) hatırlatan kırık/bükülmüş bir çizgi bulunur.



Şekil 3.1: Genel zener diyot V-I karakteristiği.

Bir zener diyot, ters kırınım bölgesinde çalışmak üzere tasarlanmış silisyum tabanlı bir *pn* eklemidir. Bir zener diyodun kırınım voltajı, üretim sırasında katkılama seviyesinin dikkatlice kontrol edilmesiyle belirlenir.

Bir diyot ters kırınım durumuna ulaştığında üzerinden geçen akım büyük ölçüde değişse bile uçları arasındaki voltaj neredeyse sabit kalır. İşte bu özellik, zener diyotun çalışma prensibinin temelini oluşturur. Şekil 3.1’de zener diyotların normal çalışma bölgesi taralı alan ile belirtilmiştir.

Zener Kırınımı: Zener diyotlar, ters kırınım bölgesinde çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Bir zener diyotta iki tür ters kırınım mekanizması bulunur: **çığ kırılması (avalanche breakdown)** ve **zener kırılması (zener breakdown)**.

Çığ kırınımı, hem doğrultucu diyotlarda hem de zener diyotlarda yeterince yüksek ters voltaj değerlerinde meydana gelir. Zener kırınımı ise daha düşük ters voltaj değerlerinde gerçekleşir. Düşük ters kırınım voltajlı zener diyot üretiminde genelde katkılama yoğunluğuna yüksek tutulur. Bu durum çok ince bir tüketim bölgesinin oluşmasına neden olur. Sonuç olarak tüketim bölgesi içerisinde çok güçlü bir elektrik alan meydana gelir. Zener kırınım voltajı V_Z civarında bu alan, elektronları değerlik bandından koparacak kadar güçlü hale gelir ve akım oluşur.

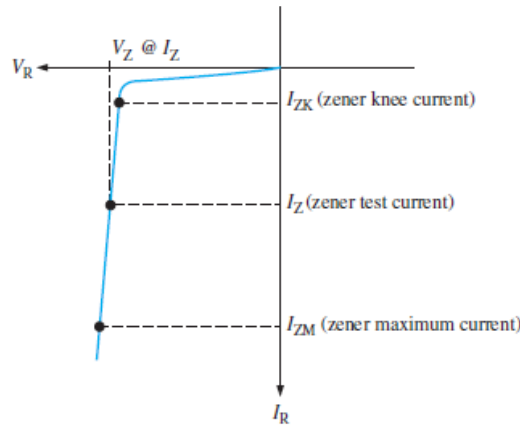
Yaklaşık 5 V'un altındaki kırınım voltajına sahip zener diyotlar ağırlıklı olarak zener kırınım bölgesinde çalışır. Yaklaşık 5 V'un üzerindeki diyotlar ise çoğunlukla çığ kırınım bölgesinde çalışır. Ancak her iki tür de genel olarak zener diyot olarak adlandırılır. Ticari olarak, kırılma gerilimleri 1 V'un altından 250 V'un üzerine kadar değışen ve toleransları %1 ile %20 arasında olan zener diyotlar bulunmaktadır.

Kırınım Karakteristikleri: Şekil 3.2, bir zener diyodun karakteristik eğrisinin ters kutuplama kısmını göstermektedir. Ters gerilim V_R arttırıldığında, ters akım I_R eğrinin “dirsek (knee)” noktasına kadar oldukça küçük kalır. Bu ters akıma aynı zamanda zener akımı I_Z denir.

Bu noktada kırınım etkisi başlar. Zenerin iç direnci, diğer adıyla zener empedansı Z_Z , ters akım hızla artarken azalmaya başlar. Dirsek noktasından sonra zener kırınım voltajı V_Z , zener akımı I_Z artsa bile büyük ölçüde sabit kalır; ancak küçük bir miktar artış gösterebilir.

Zener Regölasyonu: Zener diyodun uçları arasındaki ters besleme voltajı neredeyse sabit tutabilme yeteneği, onun en önemli özelliğidir. Kırınım bölgesinde çalışan bir zener diyot, düşük akımlı bir voltaj regölatörü gibi davranabilir. Çünkü belirli bir ters akım aralığında uçları arasındaki voltajı yaklaşık sabit tutar.

Gerilim regölasyonunun devam edebilmesi için minimum bir ters akım değeri olan I_{ZK} korunmalıdır. Şekil 3.2'de görüldüğü gibi ters akım eğrinin dirsek noktasının altına düştüğünde voltaj hızla azalır ve regölasyon kaybolur.



Şekil 3.2: Zener diyotun ters karakteristik eğrisi. V_Z genellikle test akımı olarak bilinen zener akımının bir değeri olarak belirtilir.

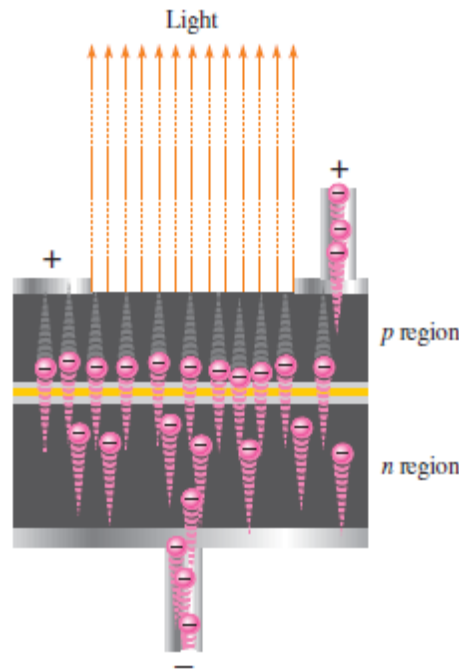
Işık Yayan Diyot (LED): Bir LED'in sembolü Şekil 3.3'de gösterilmektedir.



Şekil 3.3: Bir LED'in sembolü. İleri besleme yapıldığında, ışık yayar.

Işık yayan diyodun (LED) temel çalışma prensibi şu şekildedir: Aygıt ileri beslendiğinde, elektronlar n-tipi malzemeden pn eklemi üzerinden geçerek p-tipi malzemeye ulaşır ve buradadeşiklerle terar birleşir (rekombinasyon). Bu serbest elektronlar iletim bandında bulunur ve enerji seviyeleri değerklik bandındakideşiklerden daha yüksektir. Elektronlar iledeşikler arasındaki enerji farkı görünür ışığın enerjisine karşılık gelir.

Tekrar birleşme gerçekleştiğinde elektronlar enerjilerini foton biçiminde açığa çıkarır. Yayılan ışık genellikle tek renkli (monokromatik) olup, rengi kullanılan malzemenin bant aralığına ve diğer etkenlere bağlıdır. Bu süreç **elektrolüminesans** olarak adlandırılır ve Şekil 3.4'de gösterilmektedir. Katkılama işlemi sırasında çeşitli safsızlık atomları eklenerek yayılan ışığın dalga boyu belirlenir. Bazı LED'ler görünür bölgede bazıları ise daha uzun dalga boyuna sahip kızılötesi (IR) veya daha kısa dalga boyuna sahip mor ötesi (UV) bölgede de ışık yayarlar.



Şekil 3.4: İleri beslenmiş bir LED'de elektrolüminesans mekanizması.

LED'lerde Kullanılan Yarı İletken Malzemeler: İlk LED'lerde kullanılan yarı iletken malzeme galyum arsenit (**GaAs**) idi ve bu malzeme kızılötesi (IR) ışınım yayıyordu. İlk görünür kırmızı LED'ler, GaAs alt tabaka üzerinde galyum arsenit fosfit (**GaAsP**) kullanılarak üretildi. Daha sonra galyum fosfit (**GaP**) alt tabakası kullanılarak verim artırıldı; böylece daha parlak kırmızı LED'ler ve ayrıca turuncu LED'ler elde edildi. Daha sonraki aşamada açık yeşil ışık elde etmek için ışık yayıcı olarak GaP kullanıldı. Kırmızı ve yeşil çiplerin birlikte kullanılmasıyla sarı ışık üretilebildi.

İlk süper parlak kırmızı, sarı ve yeşil LED'ler galyum alüminyum arsenit fosfit (**GaAlAsP**) kullanılarak üretildi. 1990'ların başlarında ise indiyum galyum alüminyum fosfit (**InGaAlP**) tabanlı ultra parlak LED'ler kırmızı, turuncu, sarı ve yeşil renklerde piyasaya sunuldu.

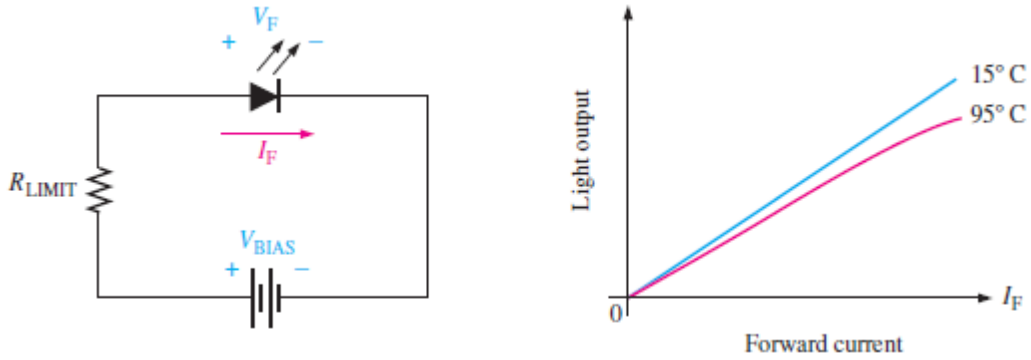
Silisyum karbür (**SiC**) kullanılarak üretilen mavi LED'ler ve galyum nitrürden (**GaN**) yapılan ultra parlak mavi LED'ler kullanıma sunulmuştur. Yeşil ve mavi ışık üreten yüksek şiddetli LED'ler

ayrıca indiyum galyum nitrür (**InGaN**) kullanılarak da üretilir.

Yüksek şiddetli beyaz LED'ler ise, floresan fosforlarla kaplanmış ultra parlak mavi GaN LED'lerden oluşturulur. Bu fosforlar mavi ışığı soğurur ve onu beyaz ışık olarak yeniden yayar.

LED Beslemesi (Biasing): Bir LED üzerindeki ileri yön gerilimi, silisyum diyotlardakine göre oldukça daha büyüktür. Kullanılan malzemeye bağlı olarak LED'ler için tipik maksimum ileri gerilim V_F değeri yaklaşık 1.2 V ile 3.2 V arasındadır. Bir LED'in ters kırılma gerilimi ise silisyum doğrultucu diyotlara göre çok daha düşüktür. Tipik olarak bu değer yaklaşık 3 V ile 10 V arasındadır.

LED, yeterli bir ileri akım uygulandığında ışık yayar. Bu durum Şekil 3.5(a)'da gösterilmektedir. Işık olarak yayılan çıkış gücü miktarı, ileri akımla doğru orantılıdır. Şekil 3.5(b)'de gösterildiği gibi, ileri akım I_F arttıkça ışık çıkışı da orantılı olarak artar. Işık çıkışı (hem ışık şiddeti hem de renk), ayrıca sıcaklığa da bağlıdır. Şekilde gösterildiği üzere sıcaklık arttığında ışık şiddeti azalır.

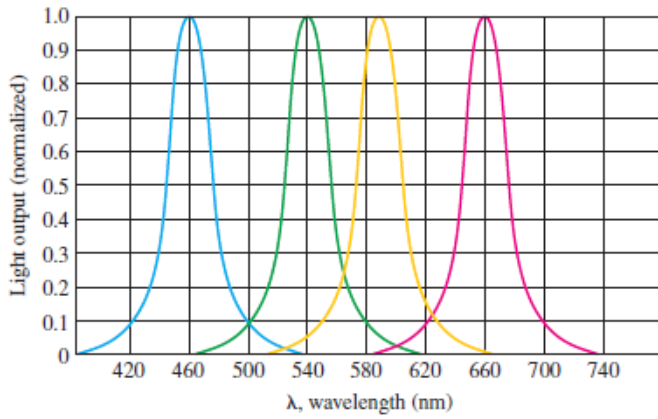


Şekil 3.5: Bir LED'in temel çalışma prensibi. (a) İleri besleme devresi (b) İki farklı sıcaklık için genel ışık çıkışı ve ileri akım ilişkisi

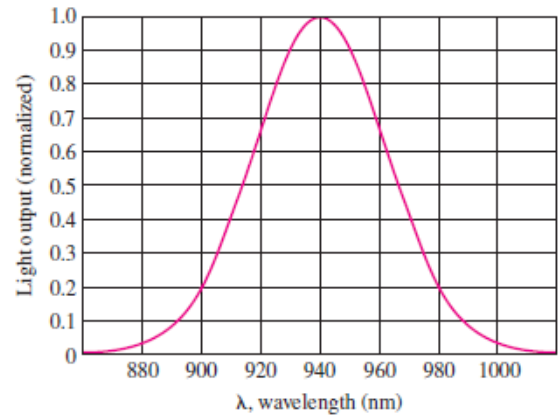
Işık Yayılımı: Bir LED, belirli bir dalga boyu aralığında ışık yayar. Bu durum Şekil 3.5'de verilen spektral çıkış eğrileri ile gösterilmektedir. Şeklin (a) kısmındaki eğriler, tipik görünür LED'ler için ışık çıkışının dalga boyuna göre değişimini göstermektedir. (b) kısmındaki eğri ise tipik bir kızılötesi (infrared) LED'e aittir. Dalga boyu λ nanometre (nm) cinsinden ifade edilir.

- Görünür kırmızı LED'in normalize edilmiş çıkışı yaklaşık 660 nm'de tepe verir.
- Sarı LED yaklaşık 590 nm'de,
- Yeşil LED yaklaşık 540 nm'de,
- Mavi LED ise yaklaşık 460 nm'de maksimum çıkış verir.

Kızılötesi LED'in çıkışı ise yaklaşık 940 nm'de tepe yapmaktadır.



(a) Visible light



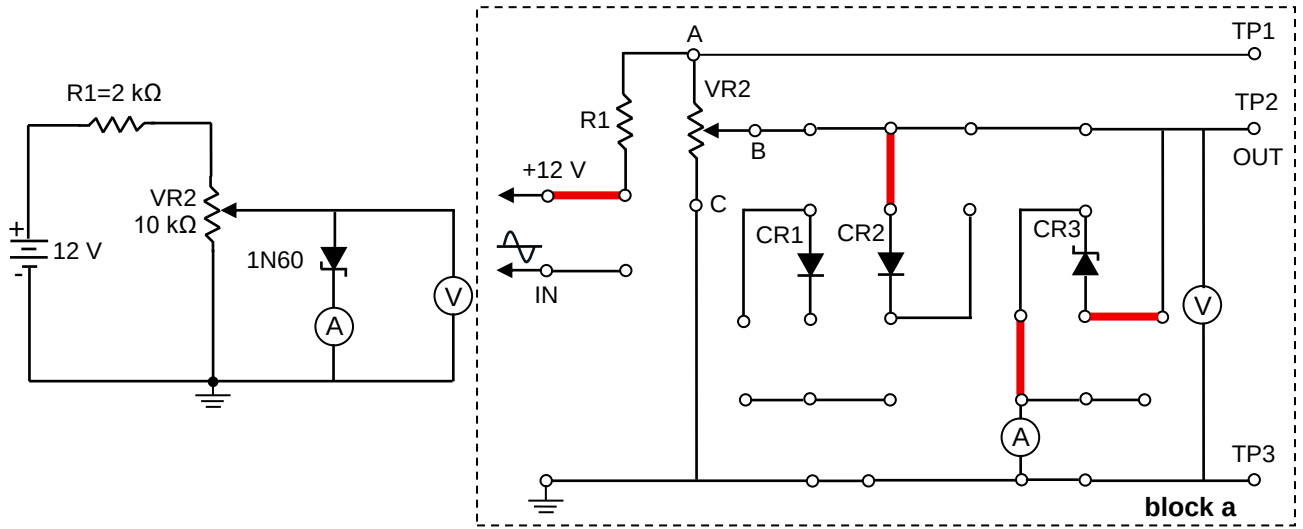
(b) Infrared (IR)

Şekil 3.5: LED'ler için tipik spektral çıkış eğrilerinin örnekleri.

A- Zener Diyotun ($V_Z = 3.8 V$) Akım-Voltaj Karakteristikleri-Deneyin Yapılışı:

İleri Besleme Konfigürasyonu:

1. KL-23001 modülünü, KL-200 ana ünitesi üzerine yerleştirin ve **a-bloğunun** konumunu belirleyin.
2. Şekilde gösterildiği gibi kısa devre klipsleri kullanarak eşdeğer devreyi kurun (ileri besleme konfigürasyonu).
3. $+12 V$ pozitif güç kaynağını $V +$ terminaline uygulayın. Voltmetre ve ampermetreyi şekilde gösterildiği gibi bağlayın.
4. VR2 ($10 k\Omega$) potansiyometresini çevirerek diyottan geçen ileri besleme akımını I_F , Tablo 3.5'de verilen değerlere ayarlayınız. Her akım değeri için voltmetrede okuduğunuz ileri besleme voltajı V_F değerlerini tabloya kaydedin.

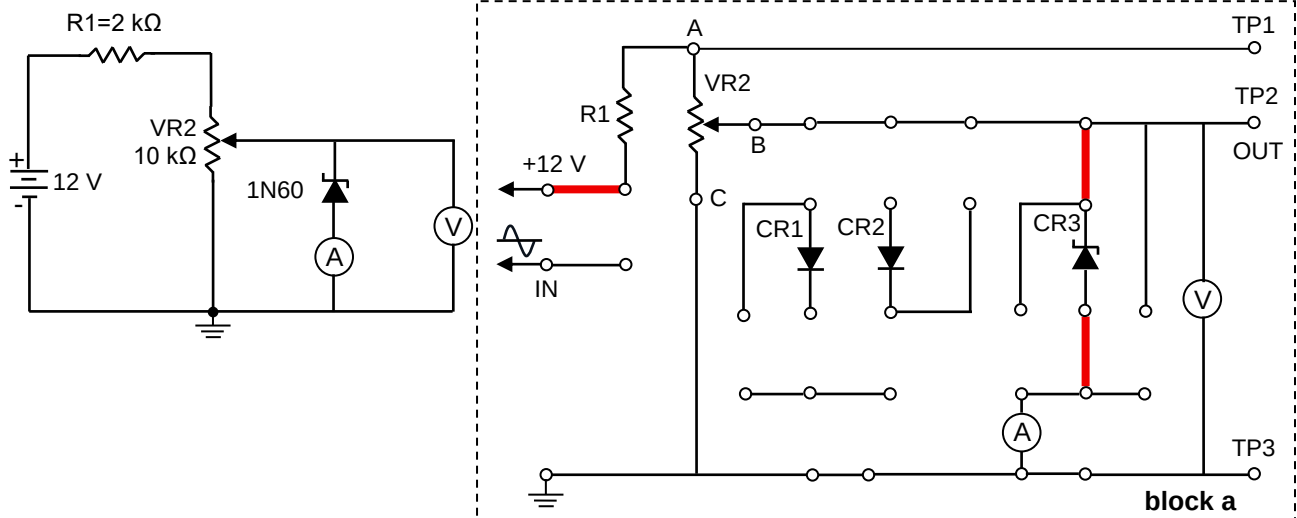


Tablo 3.5

$I_F (mA)$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
$V_F (V)$														

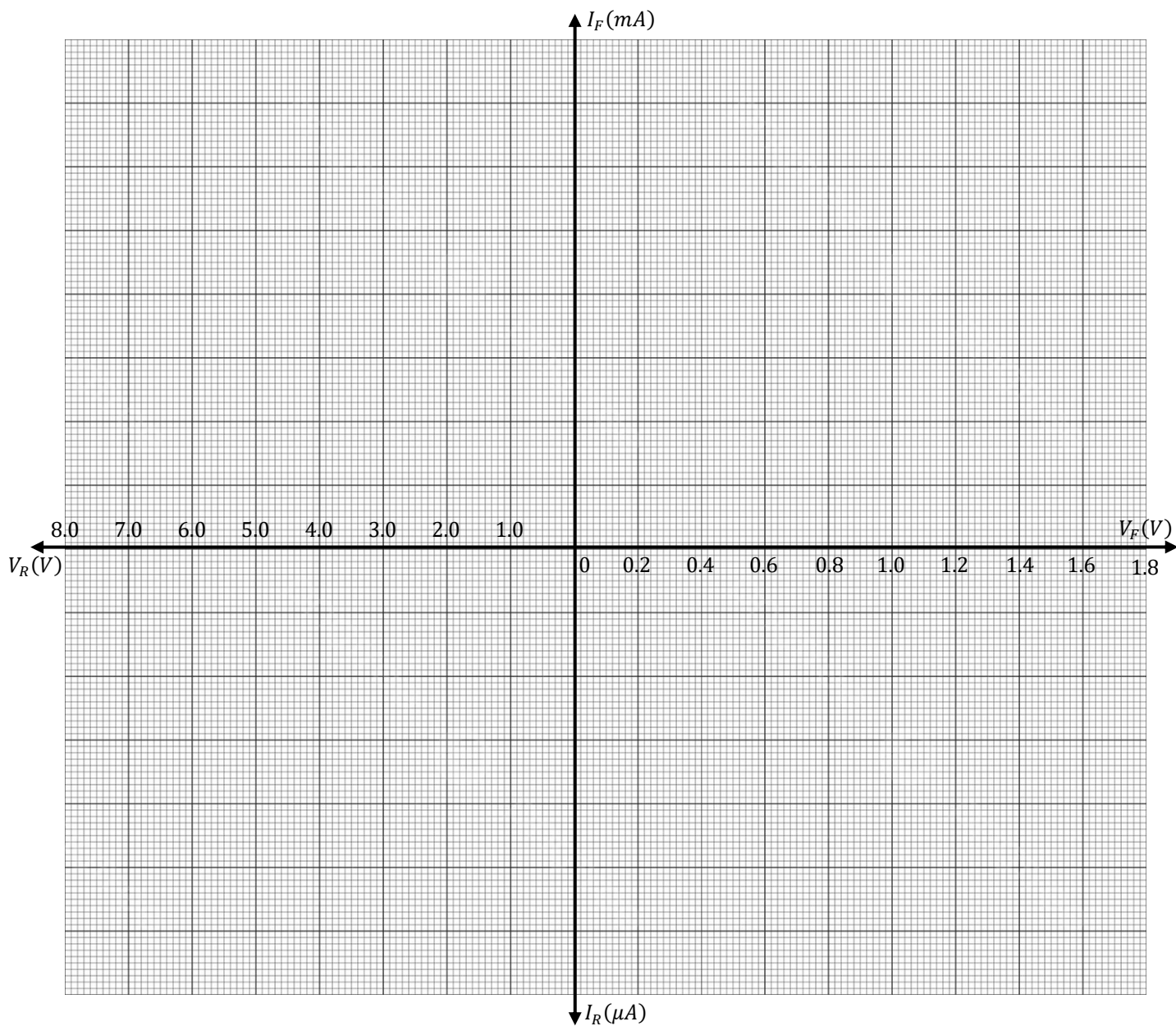
Ters Besleme Konfigürasyonu:

1. KL-23001 modülünü, KL-200 ana ünitesi üzerine yerleştirin ve **a-bloğunun** konumunu belirleyin.
2. Şekilde gösterildiği gibi kısa devre klipsleri kullanarak eşdeğer devreyi kurun.
3. +12V pozitif güç kaynağını $V +$ terminaline uygulayın. Voltmetre ve ampermetreyi şekilde gösterildiği gibi bağlayın.
4. VR2 (10 kΩ) potansiyometresini çevirerek diyottan geçen ters besleme akımını I_R , Tablo 3.6'da verilen değerlere ayarlayınız. Her akım değeri için voltmetrede okuduğunuz ters besleme voltajı V_R değerlerini tabloya kaydedin.
5. Bu iki tablodaki değerleri kullanarak akım-gerilim (I-V) grafiğini ölçekli bir şekilde çizin. Grafiğe ölçüm noktalarını yerleştiriniz ve bu noktalardan geçen düzgün bir eğri çizin. Elde edilen eğri, D3 (CR3) diyotunun I-V karakteristik eğrisidir.



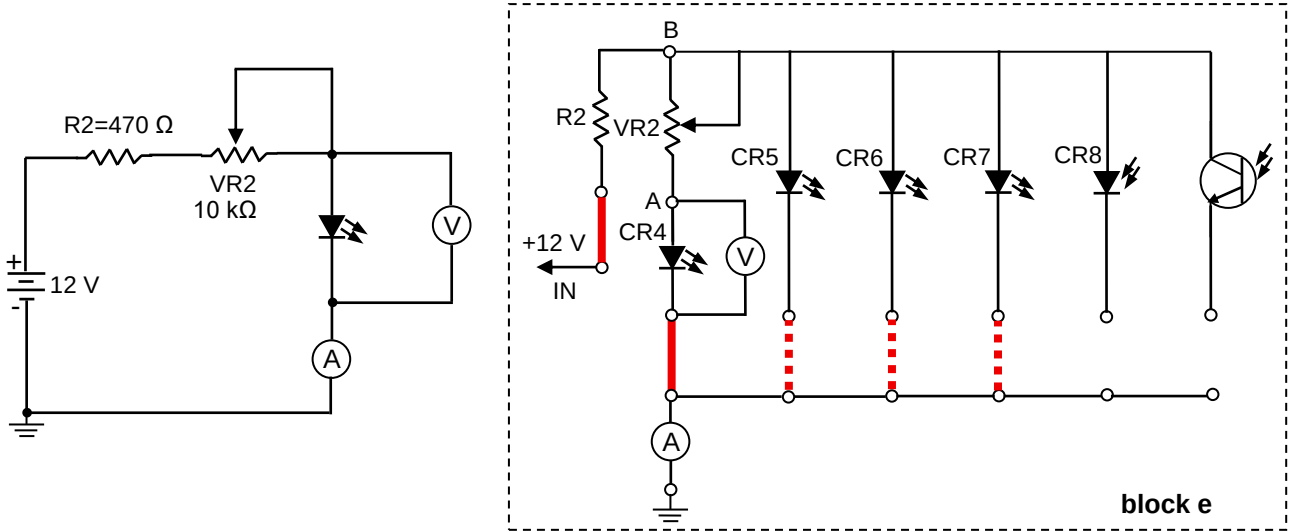
Tablo 3.6

$V_F(V)$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$I_F(mA)$										



B- LED'in İleri Besleme Akımı (I_F) İle Parlaklığı Arasındaki İlişki-Deneyin Yapılışı:

1. KL-23001 modülünü, KL-200 ana ünitesi üzerine yerleştirin ve **e-bloğunun** konumunu belirleyin.
2. Şekilde gösterildiği gibi kısa devre klipsleri kullanarak eşdeğer devreyi kurun.
3. +12 V pozitif güç kaynağını V + terminaline uygulayın. Voltmetre ve ampermetreyi şekilde gösterildiği gibi bağlayın.
4. VR10K potansiyometresini maksimum değere ayarlayınız. Daha sonra ampermetrenin gösterdiği akım değerini (I_F), voltmetrenin gösterdiği gerilim değerini (V_F) ve parlaklık durumunu gözlemleyiniz. Elde ettiğiniz verileri Tablo 1.7'ye kaydedin.
5. VR10K potansiyometresini minimum değere ayarlayınız. Daha sonra ampermetrenin gösterdiği akım değerini (I_F), voltmetrenin gösterdiği gerilim değerini (V_F) ve parlaklık durumunu gözlemleyiniz. Elde ettiğiniz verileri Tablo 3.7'ye kaydedin.
6. Aynı süreçleri her LED için tekrar edin ve tabloya kaydedin.



Tablo 3.7

LED	CR4		CR5		CR6		CR7	
VR10K	Maximum	Minimum	Maximum	Minimum	Maximum	Minimum	Maximum	Minimum
$I_F(mA)$								
Parlaklık								
$V_F(mA)$								

DENEY 4: Yarım ve Tam Dalga Doğrultucu Diyot Devreleri

Genel Bilgiler

Temel DC Güç Kaynağı: Tüm aktif elektronik cihazlar, pil veya DC güç kaynağı tarafından sağlanabilen sabit bir doğru akım (DC) kaynağına ihtiyaç duyar. DC güç kaynağı, duvar prizlerinde bulunan 220 V, 50 Hz AC gerilimi sabit bir DC gerilime dönüştürür. DC güç kaynağı en yaygın elektronik devrelerden biridir; bu nedenle çalışma prensibinin anlaşılması önemlidir. Şekil 4.1(a)'da tam bir güç kaynağının temel blok diyagramı gösterilmektedir.

Genellikle girişteki AC hat gerilimi, bir transformatör yardımıyla daha düşük bir AC gerilime düşürülür. Bir transformatörün AC gerilimleri primer ve sekonder sargılar arasındaki sarım oranına göre değişir.

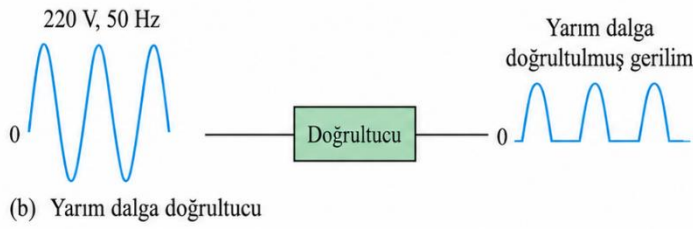
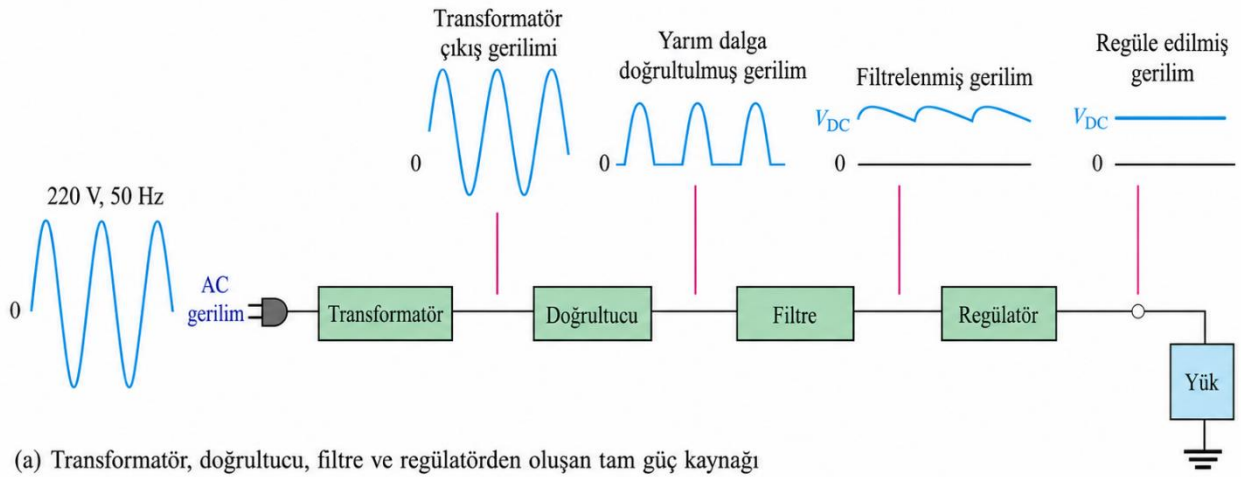
- Eğer sekonder sargı primerden daha fazla sarıma sahipse, sekonder uçlarındaki çıkış gerilimi daha yüksek, akım ise daha küçük olur.
- Eğer sekonder sargı daha az sarıma sahipse, çıkış gerilimi daha düşük, akım ise daha büyük olur.

Doğrultucu (rectifier), yarım dalga veya tam dalga doğrultucu olabilir. Doğrultucu, AC giriş voltajını darbeli bir DC voltaja dönüştürür. Çıkış voltajı, Şekil 4.1(b)'de gösterildiği gibi ise bu devre yarım dalga doğrultucu devre olarak adlandırılır.

Filtre devresi, doğrultulmuş çıkış voltajındaki dalgalanmaları azaltır ve daha düzgün bir DC voltaj üretir. Güç kaynağı filtresi bir sonraki deneyde ele alınacaktır.

Regülatör, giriş hat voltajındaki veya yükteki değişimlere rağmen DC çıkış voltajını sabit tutan devredir. Regülatörler tek bir yarı iletken elemandan daha karmaşık tümleşik devrelere kadar farklı yapılarda olabilir.

Yük, güç kaynağının çıkışına bağlanan ve çalışması için güç kaynağından sağlanan voltaj ve akımı kullanan devre veya cihazdır.



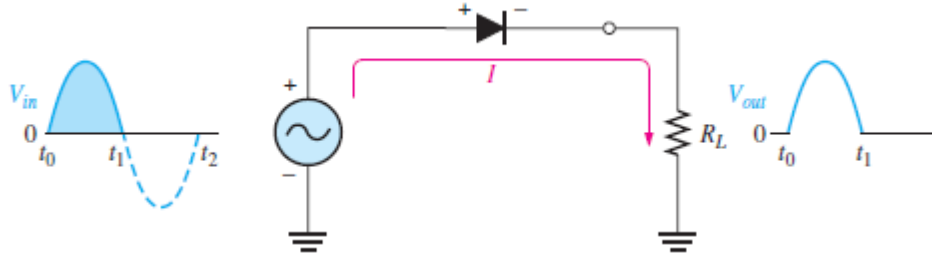
Şekil 4.1: Yük ve doğrultucu içeren bir doğru akım güç kaynağının blok diyagramı.

Yarım Dalga Doğrultucunun Çalışması: Şekil 4.2, yarım dalga doğrultma adı verilen işlemi göstermektedir. Bir diyot, bir AC kaynağı ve bir yük direnci olan R_L 'ye bağlanarak bir yarım dalga doğrultucu devre oluşturulur.

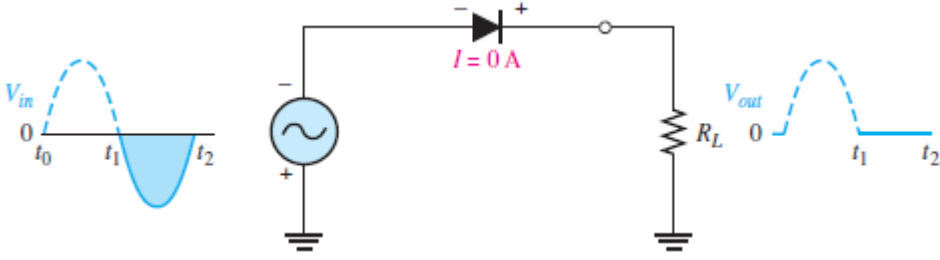
İdeal diyot modelini kullanarak giriş voltajının bir çevrimi boyunca neler olduğuna bakalım. Sinüzoidal giriş voltajının (V_{in}) pozitif çevriminde diyot ileri besleme durumunda olduğu için yük direnci üzerinden akım iletir; bu durum Şekil 4.2(a)'da gösterilmiştir. Yük direnci R_L üzerindeki çıkış voltajı, giriş voltajının pozitif yarım çevrimi ile aynı şekle sahiptir.

Giriş gerilimi çevrimin ikinci yarısında negatif olduğunda diyot ters besleme durumundadır ve kaynak voltajı diyot üzerinde görülür. Devreden akım geçmeyeceği için yük direnci üzerine düşen voltaj 0 V olur; bu durum Şekil 4.2(b)'de gösterilmiştir.

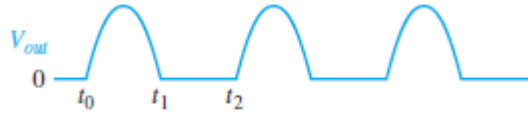
Sonuç olarak, AC giriş voltajının yalnızca pozitif yarım çevrimleri yük üzerinde görülür. Çıkışın polaritesi değişmediğinden, elde edilen çıkış voltajı darbeli bir DC gerilimdir; bu durum Şekil 4.2(c)'de gösterilmiştir.



(a) Giriş voltajının pozitif çevrimi sırasında, diyot ileri besleme durumundadır ve çıkış voltajı giriş voltajının gibi görünür.



(b) Giriş voltajının negatif çevriminde diyot ters besleme durumundadır ve devreden akım geçmez. Yani $I = 0 \text{ A}$ olduğundan çıkış voltajı da $V_{çık} = 0 \text{ V}$ 'dur.



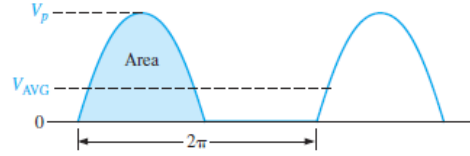
(c) Üç giriş döngüsü için yarım dalga doğrultucu çıkış voltajı

Şekil 4.2: Yarım dalga doğrultucu devresinin çalışması.

Yarım Dalga Çıkış Voltajının Ortalama Değeri: Yarım dalga doğrultulmuş sinyalin çıkış voltajının ortalama değeri, bir multimetrenin DC voltaj kademesinde ölçülecek değerdir. Matematiksel olarak bu değer, Şekil 4.3'de gösterildiği gibi bir tam çevrim boyunca eğrinin altında kalan alanın bulunup tam çevrimdeki radyan sayısı olan 2π 'ye bölünmesiyle elde edilir. Yani;

$$V_{ort} = V_{dc} = \frac{V_{p(çık)}}{\pi}$$

Burada V_p , sinyalin tepe değeridir. Bu denklem, yarım dalga doğrultulmuş bir voltajın ortalama değerinin tepe değerinin %31,8'i olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.3: Yarım dalga doğrultulmuş sinyalin ortalama değeri.

Bariyer potansiyelinin yarım dalga doğrultucu çıkışına etkisi

$$V_{p(çık)} = V_{p(gir)} - 0.7 V$$

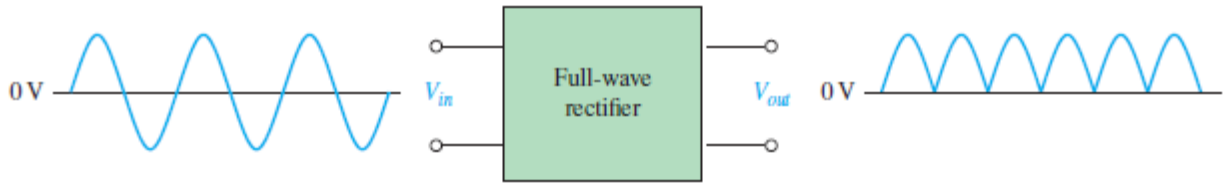
Tam Dalga Doğrultucu: Tam dalga doğrultucu, giriş çevriminin tamamı boyunca (360°) yük üzerinden tek yönlü akım geçmesine izin verir. Tam dalga doğrultmanın sonucu olarak, çıkış voltajının frekansı giriş frekansının iki katı olur ve girişin her yarım çevriminde darbeli bir yapı gösterir. Bu durum Şekil 4.4’de gösterilmiştir.

Tam dalga doğrultulmuş voltajı oluşturan pozitif çevrimleri sayısı, aynı zaman aralığında yarım dalga doğrultulmuş voltajın iki katıdır.

DC voltmetre ile ölçülen ortalama değer, yani tam dalga doğrultulmuş sinüzoidal voltajın ortalama değeri, yarım dalga doğrultulmuş voltajın ortalama değerinin iki katıdır. Bu değer aşağıdaki formülle ifade edilir:

$$V_{AVG} = V_{dc} = \frac{2V_p}{\pi}$$

Tam dalga doğrultulmuş bir sinyalin ortalama değeri için yaklaşık olarak tepe değerinin % 63.7’sine eşittir.



Şekil 4.4: Tam dalga doğrultma

Merkez-Uçlu Tam Dalga Doğrultucu: Merkez uçlu (center-tapped) tam dalga doğrultucu, Şekil 4.5’de gösterildiği gibi, merkez uçlu bir transformatörün sekonderine bağlanmış iki diyot kullanan bir tam dalga doğrultucu türüdür. Giriş voltajı transformatör üzerinden merkez uçlu sekondere aktarılır. Toplam sekonder voltajının yarısı, merkez uç ile sekonder sargının her bir ucu arasında oluşur.

Giriş voltajının pozitif yarım çevrimi sırasında, sekonder voltajlarının kutupları Şekil 4.5(a)’daki gibidir. Bu durumda D1 diyotu ileri besleme durumunda (iletimde), D2 diyotu ise ters besleme durumunda (kesimde) olur. Akım, D1 ve yük direnci R_L üzerinden şekilde gösterildiği gibi akar.

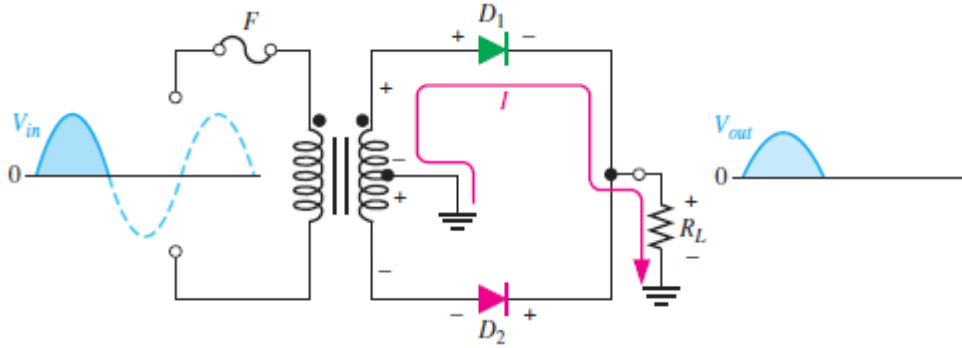
Giriş voltajının negatif yarım çevrimi sırasında ise sekonder üzerindeki voltaj kutupları Şekil 4.5(b)'deki gibidir. Bu durumda D1 ters besleme, D2 ise ileri besleme durumundadır. Akım, D2 ve R_L üzerinden şekilde gösterildiği gibi geçer.

Hem pozitif hem de negatif yarım çevrimlerde yük üzerinden geçen çıkış akımı aynı yönde olduğu için, yük direnci üzerinde oluşan çıkış voltajı tam dalga doğrultulmuş bir DC voltaj olur.

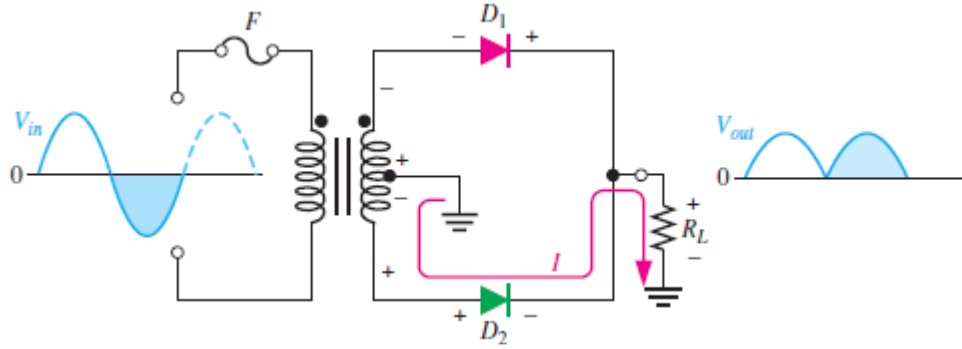
Her durumda, merkez uçlu tam dalga doğrultucunun çıkış voltajı, transformatörün sarım oranı ne olursa olsun

$$V_{out} = \frac{V_{sekonder}}{2} - 0.7 V$$

eşittir.



(a) Pozitif yarım çevrimler sırasında D1 ileri besleme (iletimde) ve D2 ters besleme (kesimde) durumundadır.



(a) Negatif yarım çevrimler sırasında D2 ileri besleme (iletimde) ve D1 ters besleme (kesimde) durumundadır.

Şekil 4.5: Merkez uçlu tam dalga doğrultucunun temel çalışma prensibi. Yük direnci üzerinden geçen akımın, giriş çevriminin tamamı boyunca aynı yönde olduğuna dikkat edin; bu nedenle çıkış voltajı her zaman aynı polariteye sahiptir.

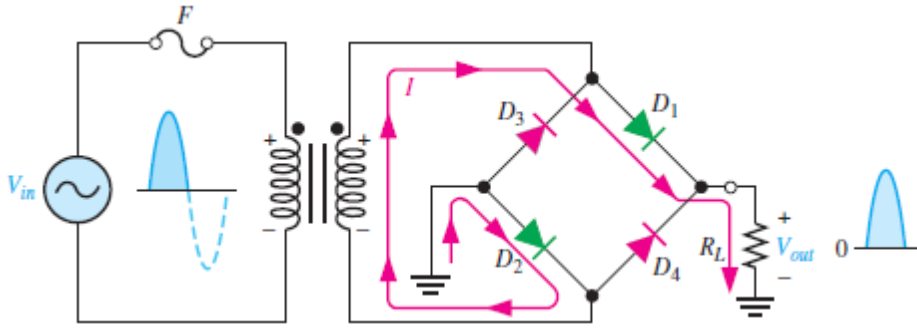
Köprü Tipi Tam Dalga Doğrultucunun Çalışması: Köprü doğrultucu, Şekil 4.6'da gösterildiği gibi bağlanmış dört diyot kullanır. Giriş çevrimi pozitif olduğunda, Şekil 4.6(a)'da görüldüğü gibi D1 ve D2 diyotları ileri besleme durumunda olur ve akım gösterilen yönde iletilir. R_L yük direnci üzerinde, giriş çevriminin pozitif yarısına benzeyen bir gerilim oluşur. Bu sırada D3 ve D4 diyotları ters besleme durumundadır.

Giriş çevrimi negatif olduğunda ise, Şekil 4.6(b)'de gösterildiği gibi D3 ve D4 diyotları ileri besleme durumunda olur ve akım pozitif yarım çevrimde olduğu gibi R_L üzerinden aynı yönde iletilir. Negatif yarım çevrim sırasında D1 ve D2 ters besleme durumundadır.

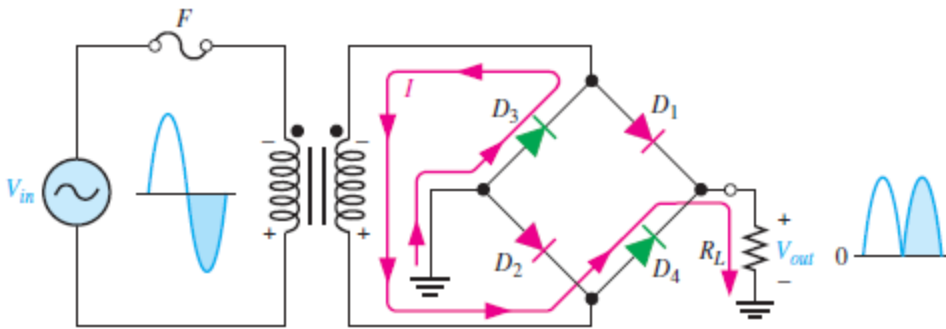
Bu çalışma sonucunda R_L üzerinde tam dalga doğrultulmuş bir çıkış gerilimi oluşur. Şekil 4.6(b)'de görüldüğü gibi, hem pozitif hem negatif yarım çevrimlerde her zaman iki diyot yük direnciyle seri haldedir. Bu diyot gerilim düşümleri hesaba katılırsa çıkış gerilimi:

$$V_{p(out)} = V_{p(sekonder)} - 1.4 V$$

olur.



(a) Girişin pozitif yarım çevrimi sırasında D1 ve D2 ileri besleme D3 ve D4 ise ters besleme durumundadır ve yük direnci üzerinden akım şekildeki gibi iletilir.

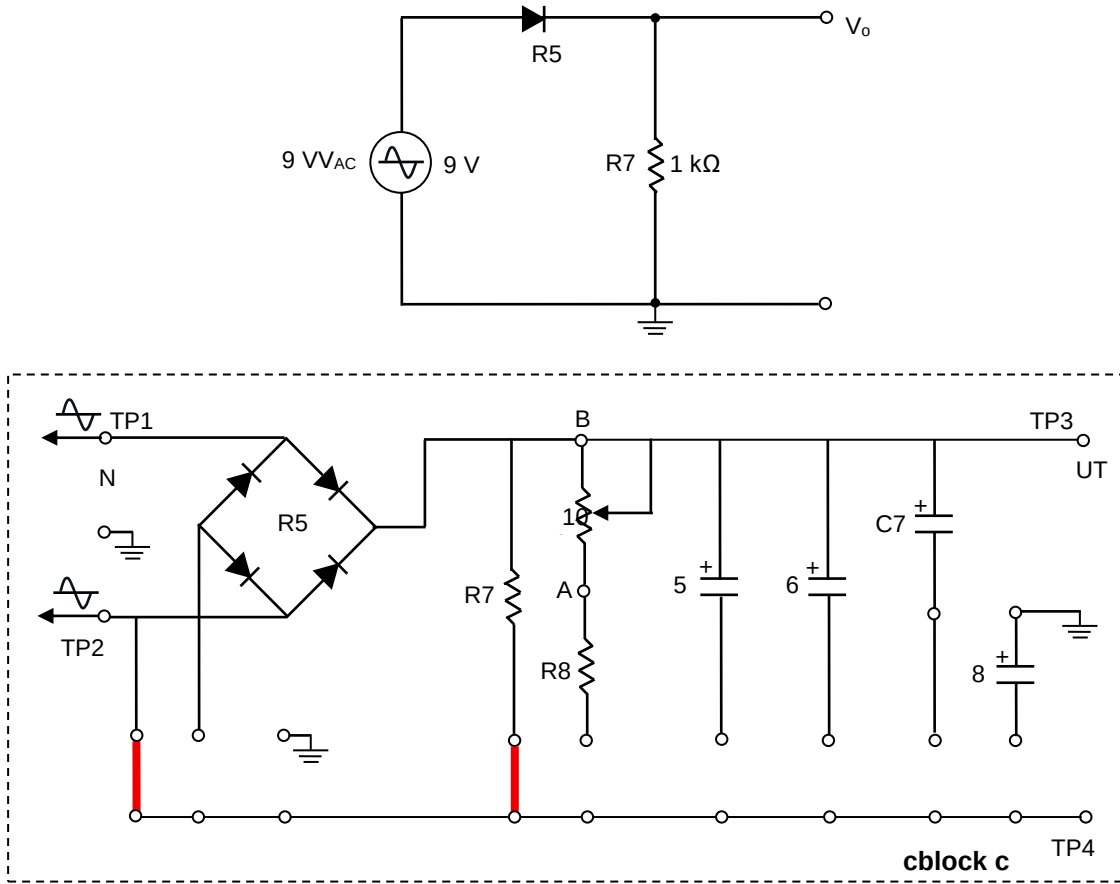


(b) Girişin pozitif yarım çevrimi sırasında D3 ve D4 ileri besleme, D1 ve D2 ise ters besleme durumundadır ve yük direnci üzerinden akım şekildeki gibi pozitif çevrim ile aynı yönde iletilir.

Şekil 4.5: Köprü tipi tam dalga doğrultucunun çalışması

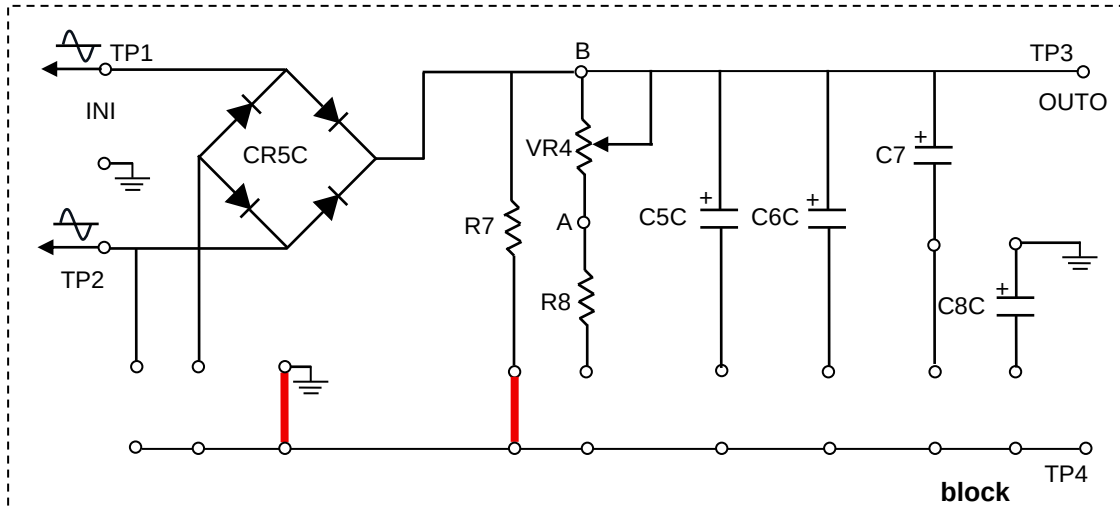
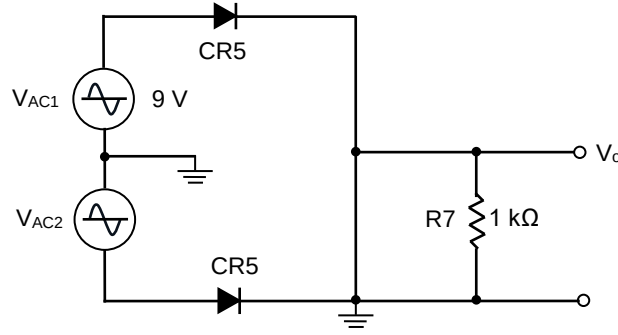
A- Yarım-Dalga Doğrultucu Devre-Deneyin Yapılışı:

1. KL-23002 modülünü, KL-200 ana ünitesi üzerine yerleştirin ve **c-bloğunun** konumunu belirleyin.
2. Şekilde gösterildiği gibi kısa devre klipsleri kullanarak eşdeğer devreyi kurun.
3. V_{AC} girişlerine 9 V AC kaynağı bağlayın.
4. Giriş terminalindeki V_{AC} değerlerini sırasıyla multimetrenin ACV kademesi ve osiloskop kullanarak ölçünüz, ardından sonuçları Tablo 4.1'e kaydedin.
5. Ardından çıkış terminalini (OUT) multimetrenin DCV kademesi ve osiloskop ile ölçünüz. Osiloskopta DC kademesi V_{DC} ölçümü için, AC kademesi ise V_d (dalgalanma voltajı) ölçümü için kullanılacaktır. Sonuçları Tablo 4.1'e kaydedin.
6. Giriş ve çıkış sinyallerini USB'ye kaydederek hazırlayacağınız raporda kullanın.



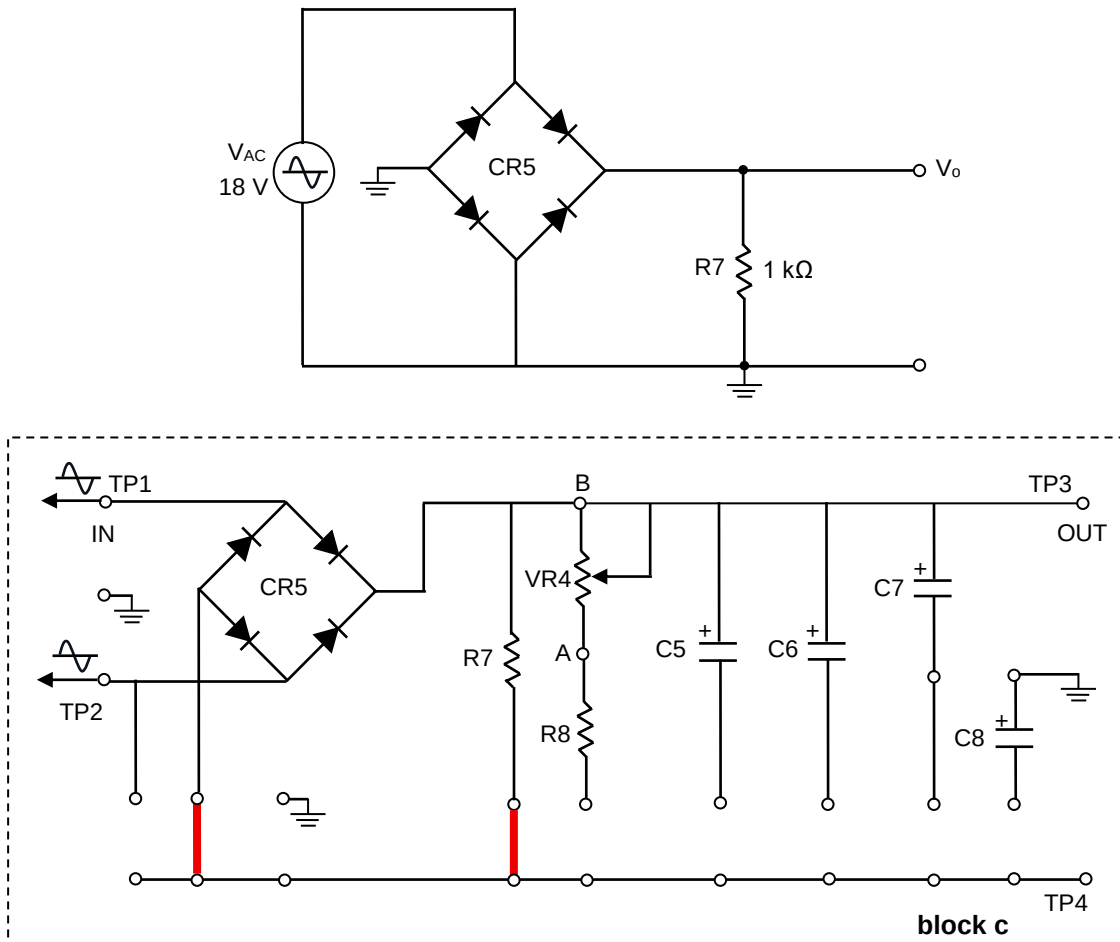
B- Merkez-Uçlu Tam-Dalga Doğrultucu Devre-Deneyin Yapılışı:

1. KL-23002 modülünü, KL-200 ana ünitesi üzerine yerleştirin ve **c-bloğunun** konumunu belirleyin.
2. Şekilde gösterildiği gibi kısa devre klipsleri kullanarak eşdeğer devreyi kurun.
3. V_{AC1} ve V_{AC2} girişlerine sırasıyla 9-0V ve 0-9V AC kaynağı bağlayın.
4. Giriş terminalindeki V_{AC} değerlerini sırasıyla multimetrenin ACV kademesi ve osiloskop kullanarak ölçünüz, ardından sonuçları Tablo 4.1'e kaydedin.
5. Ardından çıkış terminalini (OUT) multimetrenin DCV kademesi ve osiloskop ile ölçünüz. Osiloskopta DC kademesi V_{dc} ölçümü için, AC kademesi ise V_d (dalgalanma voltajı) ölçümü için kullanılacaktır. Sonuçları Tablo 4.1'e kaydedin.
6. Giriş ve çıkış sinyallerini USB'ye kaydederek hazırlayacağınız raporda kullanın.



C- Köprü Tam-Dalga Doğrultucu Devre-Deneyin Yapılışı:

1. KL-23002 modülünü, KL-200 ana ünitesi üzerine yerleştirin ve **c-bloğunun** konumunu belirleyin.
2. Şekilde gösterildiği gibi kısa devre klipsleri kullanarak eşdeğer devreyi kurun.
3. V_{AC} girişine 18 V AC kaynağı bağlayın.
4. Giriş terminalindeki V_{AC} değerini sırasıyla multimetrenin ACV kademesi ve osiloskop kullanarak ölçünüz, ardından sonuçları Tablo 4.1'e kaydedin.
5. Ardından çıkış terminalini (OUT) multimetrenin DCV kademesi ve osiloskop ile ölçünüz. Osiloskopta DC kademesi V_{dc} ölçümü için, AC kademesi ise V_d (dalgalanma voltajı) ölçümü için kullanılacaktır. Sonuçları Tablo 4.1'e kaydedin.
6. Giriş ve çıkış sinyallerini USB'ye kaydederek hazırlayacağınız raporda kullanın.



Tablo 3.1

	Ölçüm						
	Teorik		Multimetre		Osiloskop		
	$V_{rms}(V_{dc})$	$V_{p-p}(V_d)$	DC	AC	Giriş (IN)	Çıkış (OUT)	
						$V_{rms}(V_{dc})$	$V_{p-p}(V_d)$
Yarım Dalga Doğrultucu							
Merkez-Uçlu Tam Dalga Doğrultucu							
Körü Tam Dalga Doğrultucu							

DENEY 5: Yarım ve Tam Dalga Doğrultucu Filtre Devreleri

Genel Bilgiler

Güç Kaynağı Filtreleri ve Regülatörler: Bir güç kaynağı filtresi ideal olarak yarım dalga veya tam dalga doğrultucunun çıkış voltajındaki dalgalanmaları ortadan kaldırır ve sabit seviyeli bir DC voltaj üretir. Filtreleme gereklidir çünkü elektronik devreler, düzgün çalışabilmek için güç sağlama ve besleme (biasing) amacıyla sabit bir DC voltaj ve akım kaynağına ihtiyaç duyar. Bu bölümde göreceğiniz gibi filtreler kapasitörler kullanılarak gerçekleştirilir. Güç kaynaklarında voltaj regülasyonu ise genellikle entegre devre voltaj regülatörleri ile yapılır. Bir voltaj regülatörü, giriş voltajındaki veya yükteki değişimlerden dolayı filtrelenmiş DC voltajın değişmesini engeller.

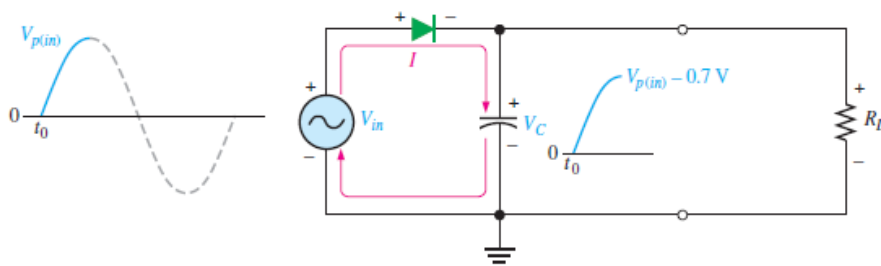
Kapasitör Girişli Filtre: Kapasitör girişli filtreye sahip bir yarım dalga doğrultucu Şekil 5.1'de gösterilmiştir. Filtre, doğrultucu çıkışından toprağa bağlanmış basit bir kapasitörden oluşur. R_L , yükün eşdeğer direncini temsil eder. Temel prensibi açıklamak için önce yarım dalga doğrultucu kullanılacak, ardından kavram tam dalga doğrultmaya genişletilecektir.

Girişin pozitif ilk çeyrek periyodu sırasında diyot ileri besleme durumundadır ve kapasitörün, giriş tepe değerinden yaklaşık 0.7 V daha düşük bir değere kadar şarj olmasına izin verir; bu durum Şekil 5.1(a)'da gösterilmiştir.

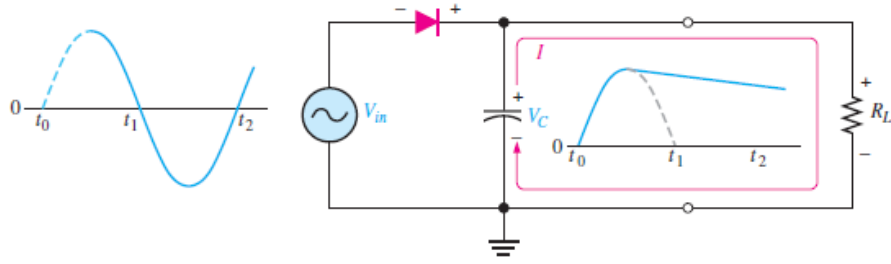
Giriş voltajı tepe değerinden sonra azalmaya başladığında, Şekil 5.1(b)'de gösterildiği gibi kapasitör yükünü korur ve diyot ters besleme durumuna geçer, çünkü katot anotdan daha pozitif hale gelir.

Çevrimin geri kalan kısmında kapasitör yalnızca yük direnci üzerinden boşalabilir. Bu boşalma hızı, genellikle giriş periyoduna göre oldukça büyük olan $R_L C$ zaman sabiti tarafından belirlenir. Zaman sabiti ne kadar büyükse, kapasitör o kadar az boşalır.

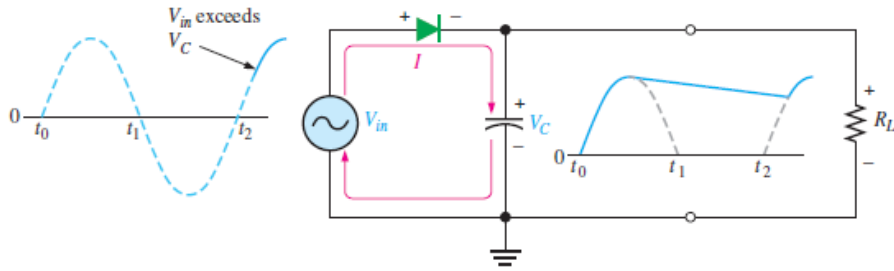
Bir sonraki çevrimin ilk çeyreğinde, Şekil 5.1(c)'de gösterildiği gibi giriş voltajı kapasitör voltajını yaklaşık 0.7 V aştığında diyot tekrar ileri beslenir.



(a) Kapasitörün ilk şarj olması (diyot ileri polarlanmış durumdadır), yalnızca güç ilk açıldığında gerçekleşir.



(b) Diyot ters beslendiğinde, pozitif çevrimin tepe noktasından sonra kapasitör R_L yük direnci üzerinden boşalır. Bu boşalma, koyu mavi düz çizgi ile gösterilen giriş voltajının bir bölümünde gerçekleşir.



(c) Diyot ileri beslendiğinde kondansatör giriş voltajının tepe noktasına kadar şarj olur. Bu şarj işlemi, koyu mavi düz çizgi ile gösterilen giriş voltajının pozitif çevrimin bir bölümü sırasında gerçekleşir.

Şekil 5.1: Kapasitör girişli filtreli yarım dalga doğrultucunun çalışması. Akım, kapasitörün şarj veya deşarjını gösterir.

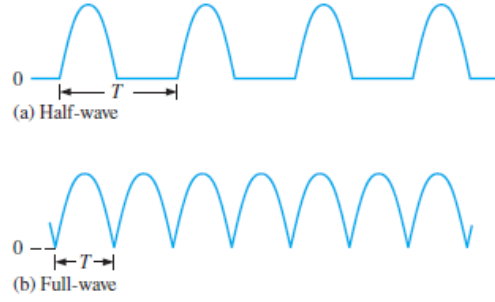
Dalgalanma Voltajı: Görülüşü gibi kapasitör, çevrimin başlangıcında hızlı bir şekilde şarj olur ve giriş voltajının pozitif tepe değerinden sonra (diyot ters besleme durumundayken) R_L üzerinden yavaşça deşarj olur. Kapasitör voltajındaki bu şarj ve deşarjdan kaynaklanan değişime **dalgalanma voltajı** denir.

Genel olarak dalgalanma istenmeyen bir durumdur; bu nedenle dalgalanma ne kadar küçükse filtreleme etkisi o kadar iyidir. Bu durum Şekil 5.2’de gösterilmiştir.



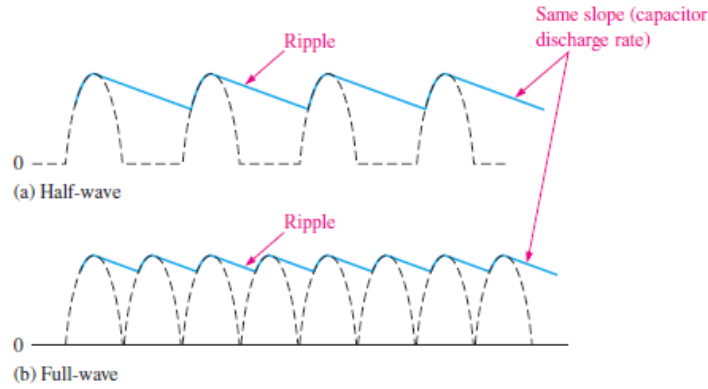
Şekil 5.2: Yarım dalga dalgalanma voltajı (mavi çizgi). (a) Daha büyük dalgalanma (mavi), daha az etkili filtreleme anlamına gelir. (b) Daha küçük dalgalanma, daha etkili filtreleme anlamına gelir. Genel olarak, aynı giriş ve yük için kapasitör değeri ne kadar büyükse, dalgalanma o kadar küçük olur.

Belirli bir giriş frekansı için, tam dalga doğrultucunun çıkış frekansı yarım dalga doğrultucunun çıkış frekansının iki katıdır; bu durum Şekil 5.3’de gösterilmiştir. Bu nedenle tam dalga doğrultucunun filtrelenmesi daha kolaydır, çünkü tepe noktaları arasındaki süre daha kısadır.



Şekil 5.3: Tam dalga doğrultulmuş bir gerilimin periyodu, yarım dalga doğrultulmuş bir gerilimin periyodunun yarısıdır. Tam dalga doğrultucunun çıkış frekansı, yarım dalga doğrultucunun çıkış frekansının iki katıdır.

Filtre uygulandığında, aynı yük direnci ve kapasitör değerleri için tam dalga doğrultulmuş voltajın dalgalanması, yarım dalga doğrultulmuş voltajın dalgalanmasından daha küçüktür. Bunun sebebi, kapasitörün tam dalga darbeleri arasındaki daha kısa zaman aralığında daha az deşarj olmasıdır; bu durum Şekil 5.4’de gösterilmiştir.



Şekil 5.4: Aynı filtre kapasitörü ve yüke sahip ve aynı sinüzoidal giriş geriliminden türetilen yarım dalga ve tam dalga doğrultulmuş gerilimler için dalgalanma gerilimlerinin karşılaştırılması.

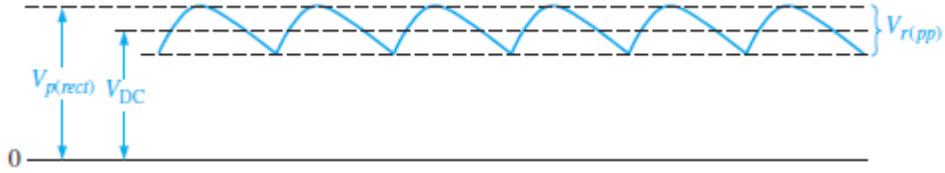
Dalgalanma Faktörü: Dalgalanma faktörü (r), filtrenin ne kadar etkili olduğunu gösteren bir ölçüdür ve şu şekilde tanımlanır:

$$r = \frac{V_{r(pp)}}{V_{DC}}$$

Burada:

- $V_{r(pp)}$: tepe-tepe (peak-to-peak) dalgalanma voltajı
- V_{DC} : filtrenin çıkış voltajının DC (ortalama) değeri

Bu durum Şekil 5.5’de gösterilmiştir.



Şekil 5.5:

V_d ve V_{DC} dalgalanma faktörünü belirler. Dalgalanma faktörü ne kadar küçükse filtre o kadar iyidir. Dalgalanma faktörü filtre kapasitörünün değerini artırarak veya yük direncini (R_L) artırarak azaltılabilir.

Tam dalga doğrultucu ve kapasitör giriшли filtre için, tepe-tepe dalgalanma voltajı $V_{r(pp)}$ ve filtre çıkışının DC değeri V_{DC} yaklaşık olarak aşağıdaki denklemlerle verilir. Buradaki $V_{p(doğrultulmuş)}$, filtrelenmemiş doğrultulmuş tepe voltajıdır.

Dalgalanma voltajı için:

$$V_{r(pp)} \approx \left(\frac{1}{fR_L C} \right) V_{p(doğrultulmuş)}$$

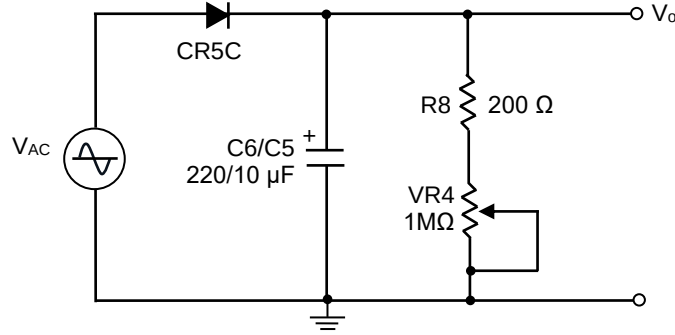
DC çıkış voltajı için:

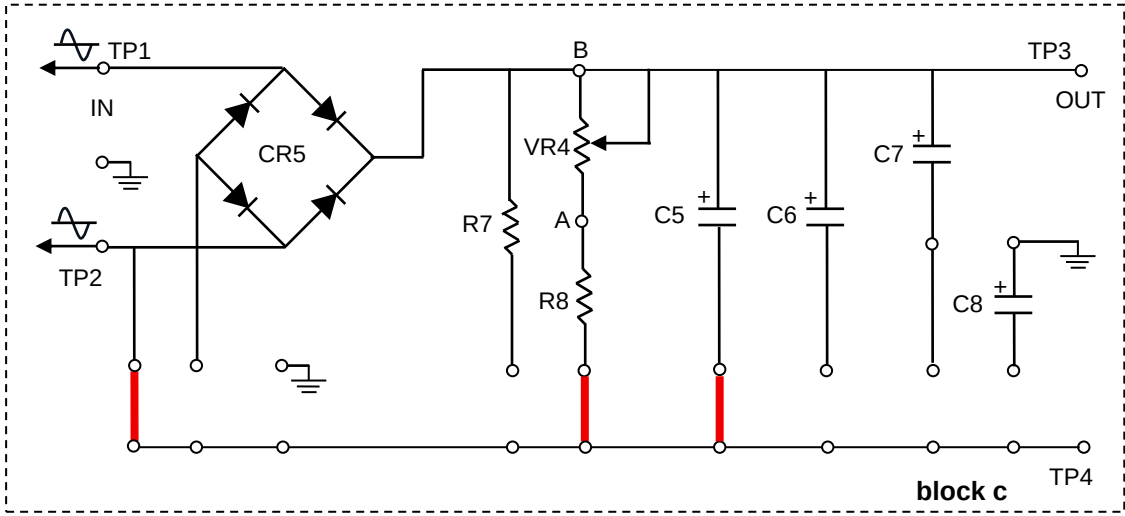
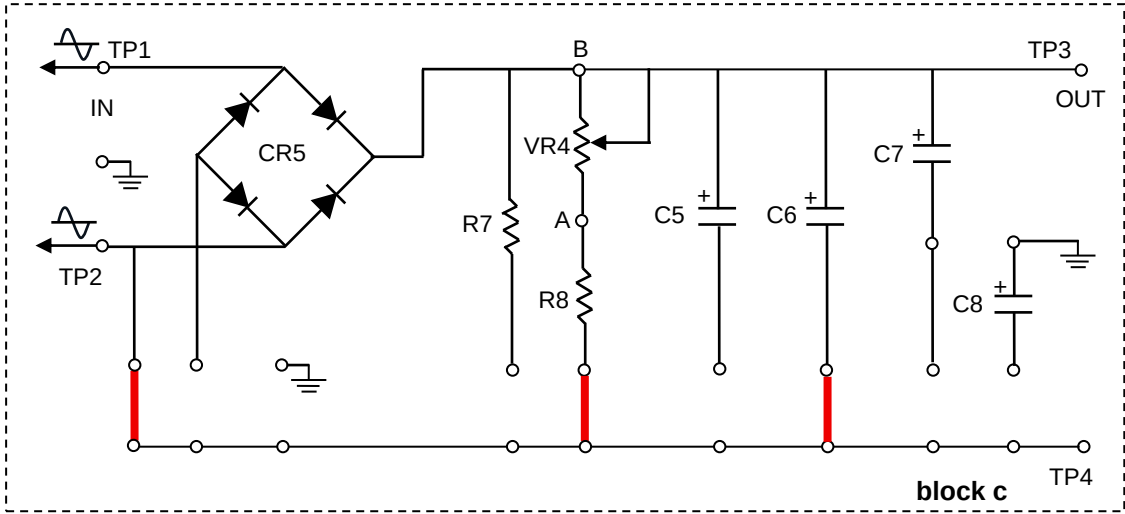
$$V_{DC} \approx \left(1 - \frac{1}{2fR_L C} \right) V_{p(doğrultulmuş)}$$

Burada dikkat edilirse, R_L veya C arttığında, dalgalanma voltajı azalır, DC voltajı ise artar.

A- Yarım-Dalga Doğrultucu Devre-Deneyin Yapılışı:

1. KL-23002 modülünü, KL-200 ana ünitesi üzerine yerleştirin ve **c-bloğunun** konumunu belirleyin.
2. Şekilde gösterildiği gibi kısa devre klipsleri kullanarak eşdeğer devreyi kurun.
3. V_{AC} girişlerine 9 V AC kaynağı bağlayın.
4. Giriş terminalindeki V_{AC} değerlerini sırasıyla multimetrenin ACV kademesi ve osiloskop kullanarak ölçünüz, ardından sonuçları Tablo 5.1'e kaydedin.
5. VR4 (1 M Ω) potansiyometresini minimuma ayarlayın ve ardından çıkış terminalini (OUT) multimetrenin DCV kademesi ve osiloskop ile ölçünüz. Osiloskopta DC kademesi V_{DC} ölçümü için, AC kademesi ise V_d (dalgalanma voltajı) ölçümü için kullanılacaktır. Sonuçları tabloya kaydedin.
6. VR4 (1 M Ω) potansiyometresini maksimuma ayarlayın ve adım 5'i tekrar ederek sonuçları Tablo 3.1'e kaydedin.
7. C6 kapasitörü yerine C5 kapasitörünü bağlayarak 5 ve 6. adımları tekrar ederek sonuçları Tablo 5.1'e kaydedin.
8. Giriş ve çıkış sinyallerini USB'ye kaydederek hazırlayacağınız raporda kullanın.





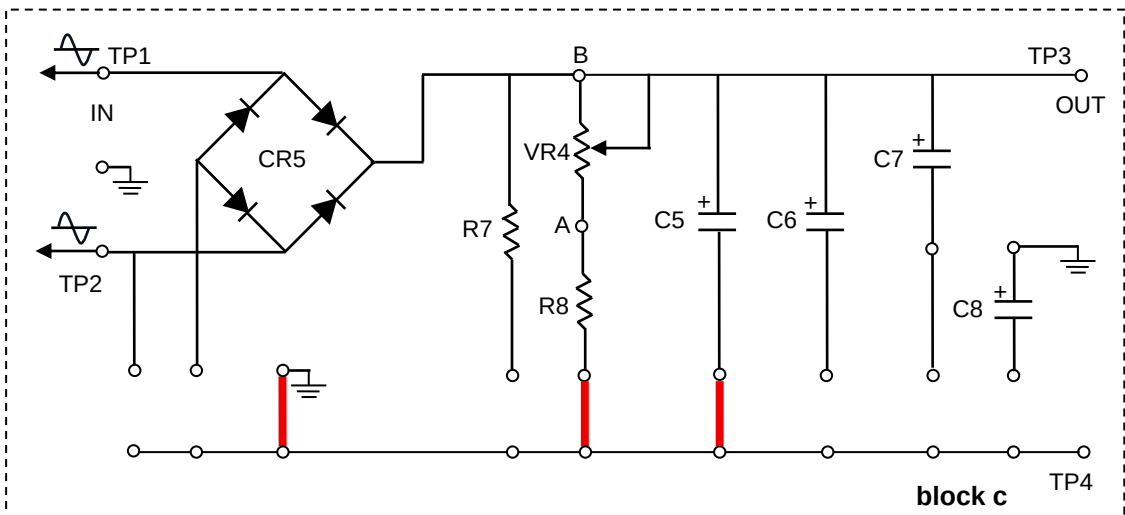
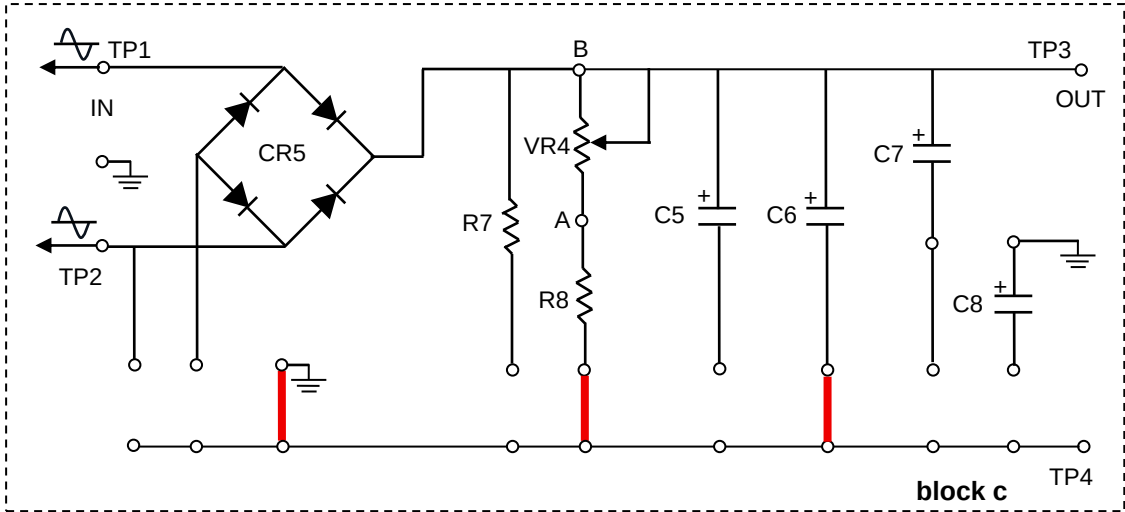
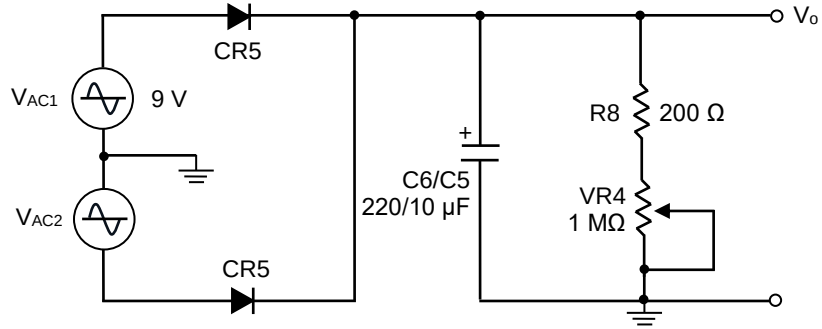
B- Merkez-Uçlu Tam Dalga Doğrultucu Devre-Deneyin Yapılışı:

1. KL-23002 modülünü, KL-200 ana ünitesi üzerine yerleştirin ve **c-bloğunun** konumunu belirleyin.
2. Şekilde gösterildiği gibi kısa devre klipsleri kullanarak eşdeğer devreyi kurun.
3. V_{AC} girişlerine 9 V AC kaynağı bağlayın.
4. Giriş terminalindeki V_{AC} değerlerini sırasıyla multimetrenin ACV kademesi ve osiloskop kullanarak ölçünüz, ardından sonuçları Tablo 5.1'e kaydedin.
5. VR4 (1 M Ω) potansiyometresini minimuma ayarlayın ve ardından çıkış terminalini (OUT) multimetrenin DCV kademesi ve osiloskop ile ölçünüz. Osiloskopta DC kademesi V_{DC} ölçümü için, AC kademesi ise V_d (dalgalanma voltajı) ölçümü için kullanılacaktır. Sonuçları Tablo 5.1'e kaydedin.
6. VR4 (1 M Ω) potansiyometresini maksimuma ayarlayın ve adım 5'i tekrar ederek sonuçları Tablo

5.1'e kaydedin.

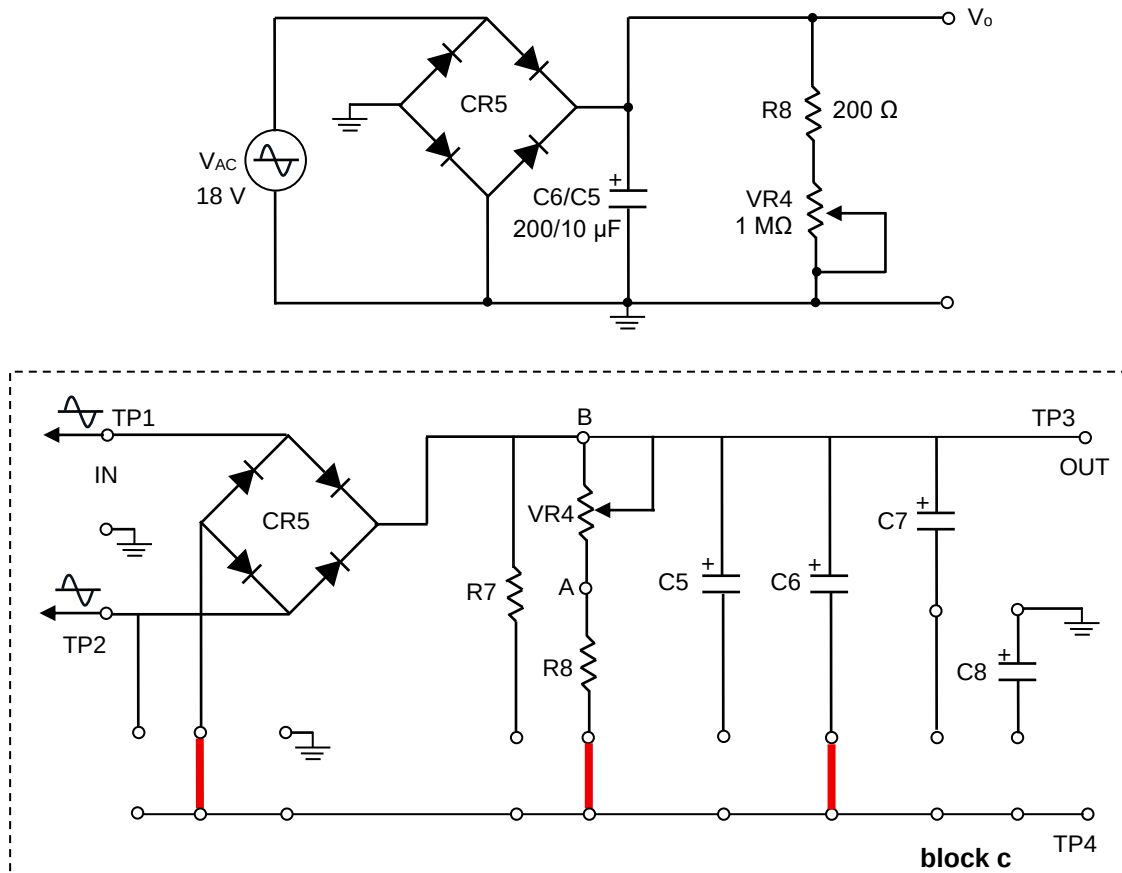
7. C6 kapasitörü yerine C5 kapasitörünü bağlayarak 5 ve 6. adımları tekrar ederek sonuçları Tablo 5.1'e kaydedin.

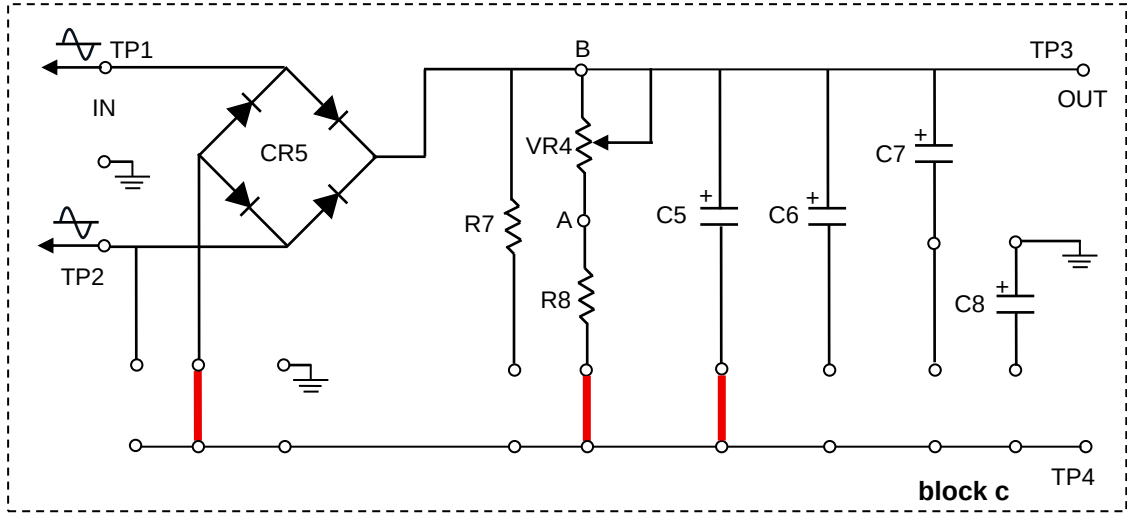
8. Giriş ve çıkış sinyallerini USB'ye kaydederek hazırlayacağınız raporda kullanın.



C- Köprü Tam Dalga Doğrultucu Devre-Deneyin Yapılışı:

1. KL-23002 modülünü, KL-200 ana ünitesi üzerine yerleştirin ve **c-bloğunun** konumunu belirleyin.
2. Şekilde gösterildiği gibi kısa devre klipsleri kullanarak eşdeğer devreyi kurun.
3. V_{AC} girişlerine 9 V AC kaynağı bağlayın.
4. Giriş terminalindeki V_{AC} değerlerini sırasıyla multimetrenin ACV kademesi ve osiloskop kullanarak ölçünüz, ardından sonuçları Tablo 5.1'e kaydedin.
5. VR4 (1 M Ω) potansiyometresini minimuma ayarlayın ve ardından çıkış terminalini (OUT) multimetrenin DCV kademesi ve osiloskop ile ölçünüz. Osiloskopta DC kademesi V_{DC} ölçümü için, AC kademesi ise V_d (dalgalanma voltajı) ölçümü için kullanılacaktır. Sonuçları Tablo 5.1'e kaydedin.
6. VR4 (1 M Ω) potansiyometresini maksimuma ayarlayın ve adım 5'i tekrar ederek sonuçları Tablo 5.1'e kaydedin.
7. C6 kapasitörü yerine C5 kapasitörünü bağlayarak 5 ve 6. adımları tekrar ederek sonuçları Tablo 5.1'e kaydedin.
8. Giriş ve çıkış sinyallerini USB'ye kaydederek hazırlayacağınız raporda kullanın.





Tablo 5.1

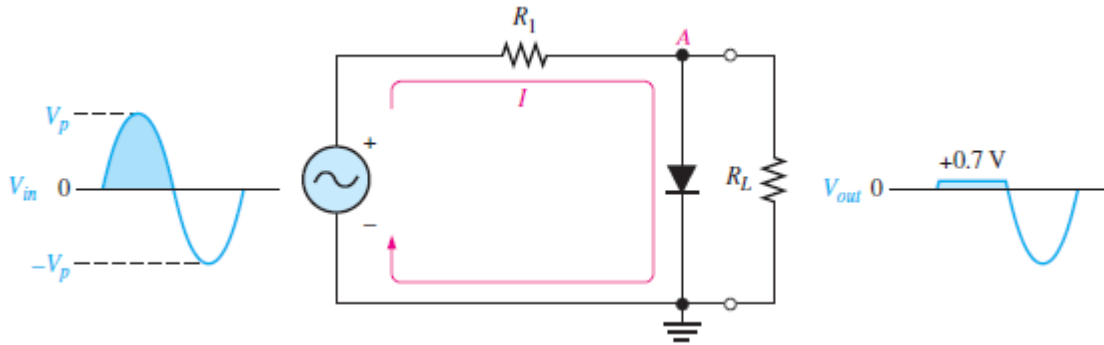
		Test Cihazı				
		Multimetre		Osiloskop		
		DC	AC	Giriş (IN)	Çıkış (OUT)	
					$V_{rms}(V_{dc})$	$V_{p-p}(V_d)$
Yarım Dalga Doğrultucu Filtre Devresi	C6=220 μ F VR4: Min					
	C6=220 μ F VR4: Max					
	C5=10 μ F VR4: Min					
	C5=10 μ F VR4: Max					
Merkez-Uçlu Tam Dalga Doğrultucu Filtre Devresi	C6=220 μ F VR4: Min					
	C=220 μ F VR4: Max					
	C5=10 μ F VR4: Min					
	C5=10 μ F VR4: Max					
Körü Tam Dalga Doğrultucu Filtre Devresi	C6=220 μ F VR4: Min					
	C=220 μ F VR4: Max					
	C5=10 μ F VR4: Min					
	C5=10 μ F VR4: Max					

DENEY 6: Diyot Sınırlayıcı veya Kırpıcı Devreler

Genel Bilgiler

Sinyal gerilimlerinin belirli seviyelerin üstünde ya da altında kalan kısımlarını kesmek/kırmak için kullanılan diyot devreleri, sınırlayıcı (limiter) veya kırpıcı (clippers) olarak adlandırılır. Şekil 6.1(a), giriş geriliminin pozitif kısmını sınırlayan (kırpan) bir pozitif diyot sınırlayıcıyı gösterir.

Giriş sinyalinin pozitif çevriminde diyot ileri besleme durumundadır ve akımı iletir. Giriş voltajı bariyer potansiyelini (**Si için + 0.7 V**)'u geçtiğinde A noktası yaklaşık sabitlenir. Giriş voltajı tekrar **+0.7 V**'un altına düştüğünde diyot ters besleme durumunda olur ve açık devre gibi davranır.

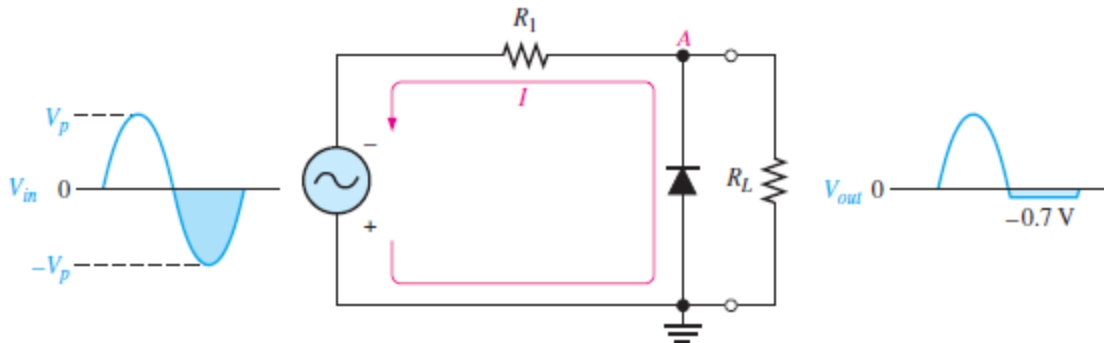


Şekil 6.1: (a) Pozitif çevrimin sınırlanması: Diyot, pozitif çevrim sırasında (+0.7 V'un üzerinde) ileri besleme ve negatif çevrim sırasında ise ters besleme durumundadır.

Giriş sinyalinin negatif çevriminde diyot her zaman ters besleme durumundadır ve akım iletmez. Çıkış, girişin negatif kısmına benzer görünür; ancak büyüklüğü R_1 ile yük direnci R_L 'nin oluşturduğu gerilim bölücüsüne bağlıdır:

$$V_{out} = \left(\frac{R_L}{R_1 + R_L} \right) V_{in}$$

Eğer $R_1 \gg R_L$ ise, çıkış gerilimi girişe oldukça yakın olur.



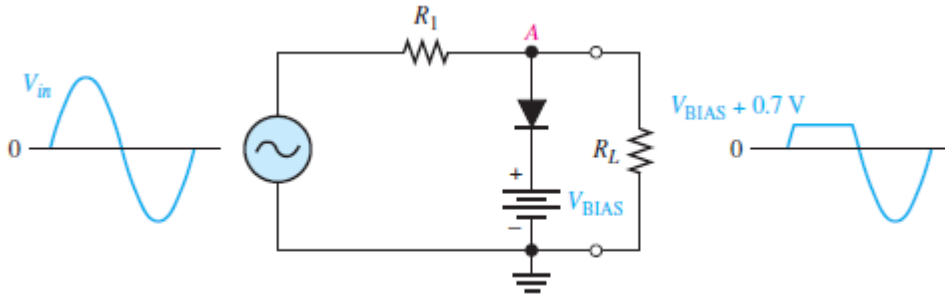
Şekil 6.1: (b) Negatif çevrimin sınırlanması: Diyot, negatif çevrim sırasında (-0.7 V'un altında) ileri besleme ve pozitif çevrim sırasında ise ters besleme durumundadır.

Diyot ters çevrilirse (Şekil 6.1(b)), bu kez girişin negatif kısmı kırpılır. Negatif çevrim sırasında diyot ileri besleme durumundadır ve A noktası diyot düşümü nedeniyle yaklaşık -0.7 V 'da sabit tutulur. Giriş voltajı -0.7 V 'un üzerine çıktığında diyot ters besleme durumunda olur ve artık akım iletmez ve R_L üzerinde girişle orantılı bir potansiyel farkı oluşur.

Beslemeli Sınırlayıcılar: AC gerilimin hangi seviyede sınırlandırılacağı, diyotla seri bağlanan bir besleme gerilimi V_{BIAS} eklenerek ayarlanabilir (Şekil 6.2). A noktasındaki gerilim, diyotun iletme geçebilmesi için şu değere ulaşmalıdır:

$$V_A = V_{BIAS} + 0.7 \text{ V}$$

Diyot iletme geçtiğinde A noktası bu seviyede sabitlenir ve bunun üzerindeki giriş voltajları kırpılır.

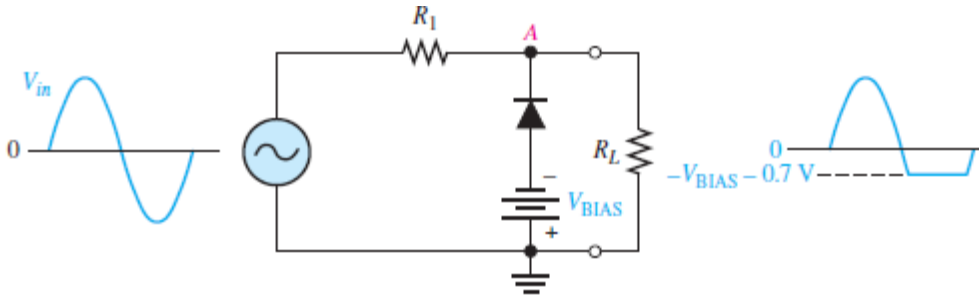


Şekil 6.2: Beslemeli negatif sınırlayıcı diyot devresi.

Bir gerilimi belirli bir negatif seviyede sınırlamak için diyot ve besleme kaynağı Şekil 6.3'deki gibi bağlanır. Bu durumda A noktasının şu seviyenin altına düşmesi gerekir:

$$V_A = -V_{BIAS} - 0.7 \text{ V}$$

Ancak bundan sonra diyot ileri beslenir ve sınırlama başlar.

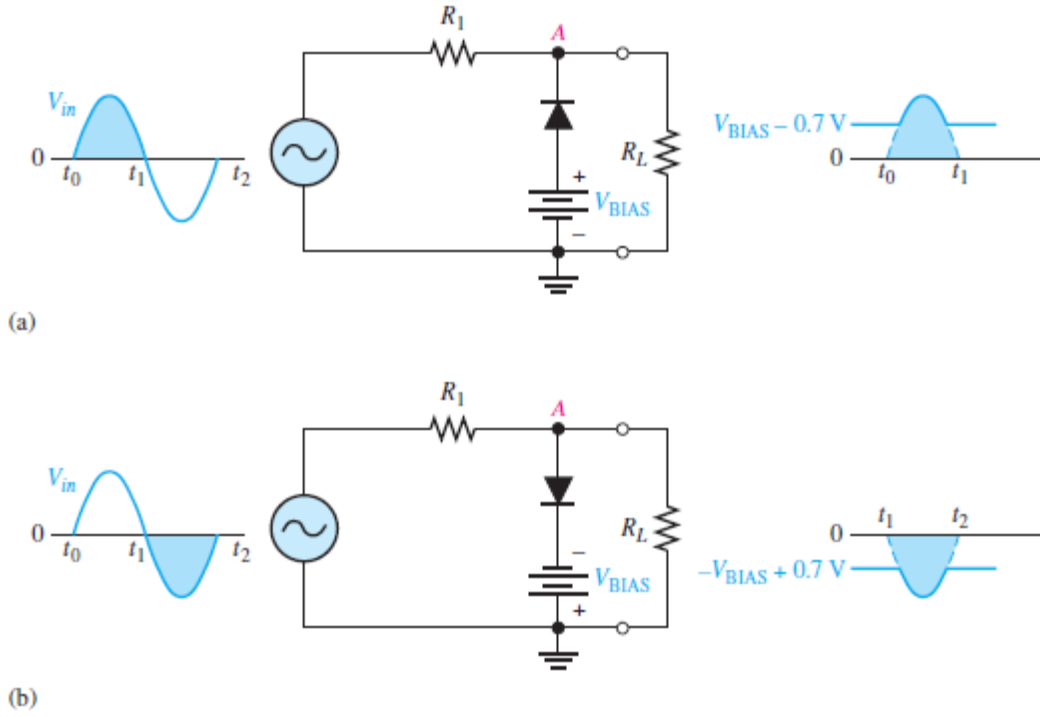


Şekil 6.3: Beslemeli pozitif sınırlayıcı diyot devresi.

Diyotun yönü değiştirilirse:

- pozitif sınırlayıcı, çıkışın yalnızca $V_{BIAS} - 0.7 \text{ V}$ üzerindeki kısmını geçirecek şekilde (Şekil 6.4 (a)),
- negatif sınırlayıcı ise yalnızca $-V_{BIAS} + 0.7 \text{ V}$ altındaki kısmı geçirecek şekilde (Şekil 6.4

(b)) düzenlenebilir.

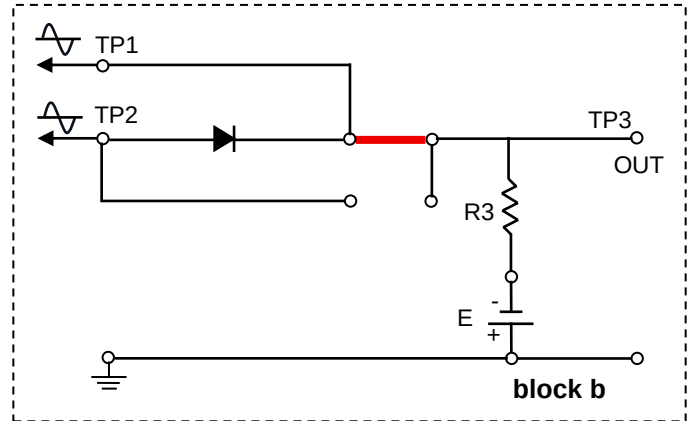
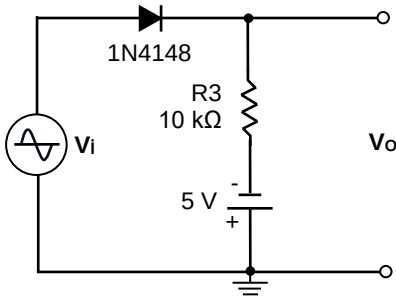
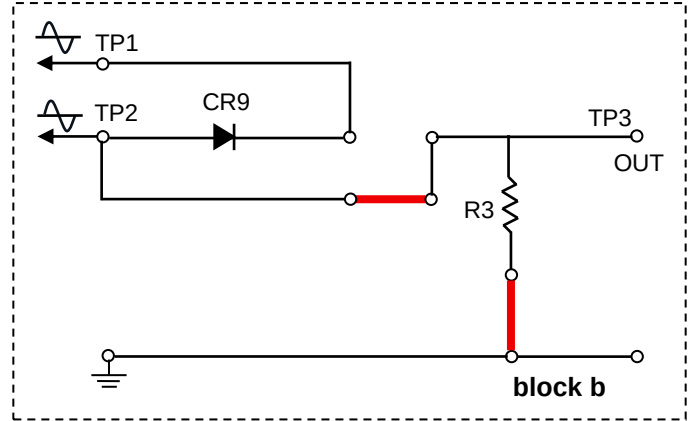
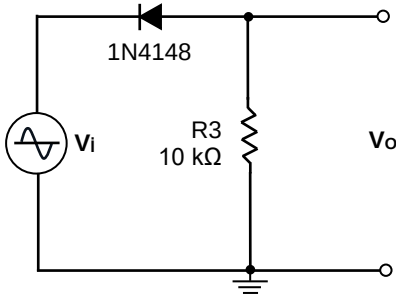
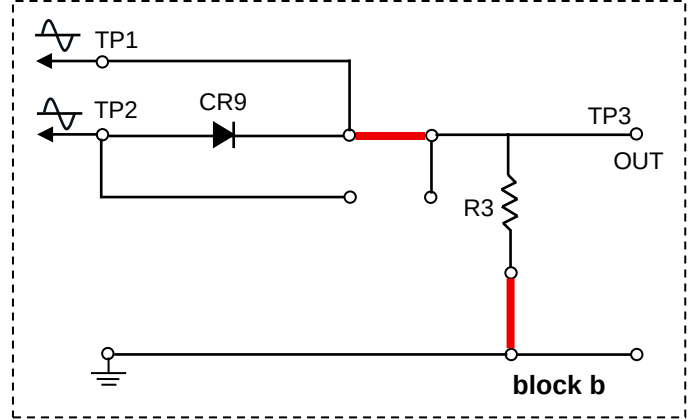
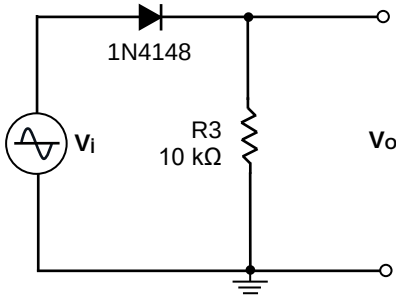


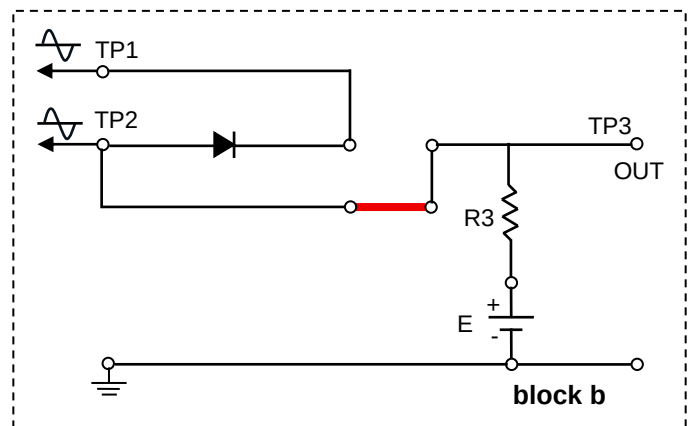
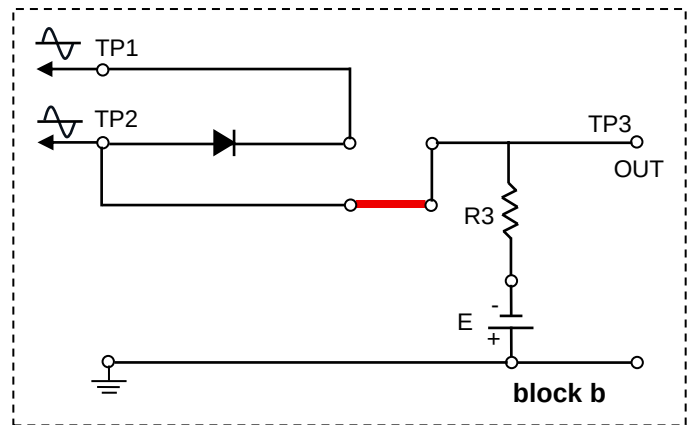
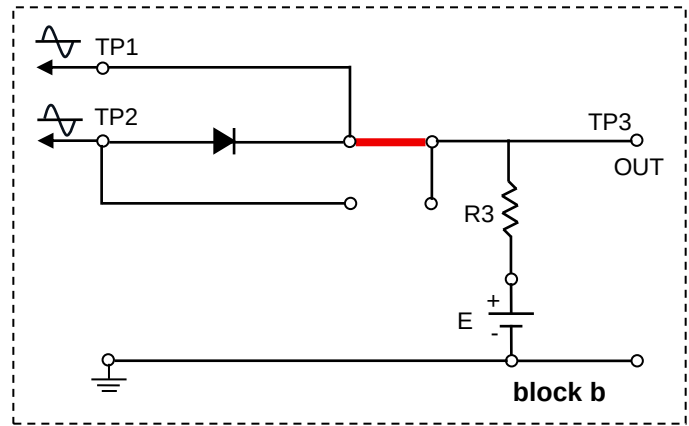
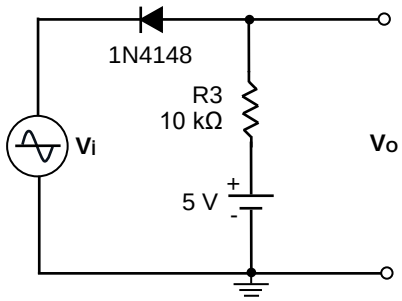
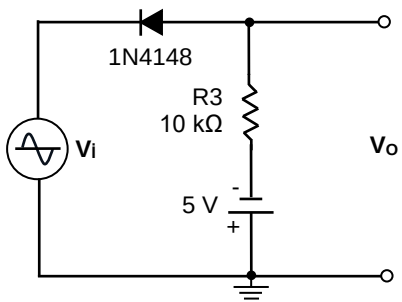
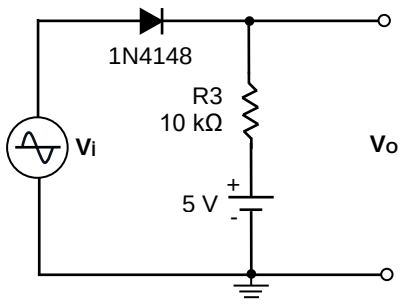
Şekil 6.4: Beslemeli kırpıcı veya sınırlayıcı diyot devreleri.

Sınırlayıcıların Kullanım Alanı: Birçok devrede giriş voltajının belirli seviyeleri aşmaması gerekir; aksi halde devre zarar görebilir. Örneğin dijital devrelerin çoğunda giriş voltajı besleme voltajından fazla olmamalıdır. Daha yüksek bir giriş devreye zarar verebilir. Bunu önlemek için giriş hattına diyotlu sınırlayıcı devreler yerleştirilir.

A- Seri Diyot Kırpıcı Devreler-Deneyin Yapılışı:

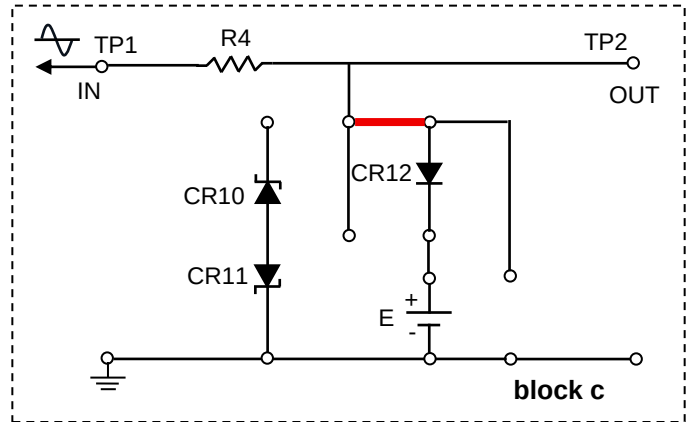
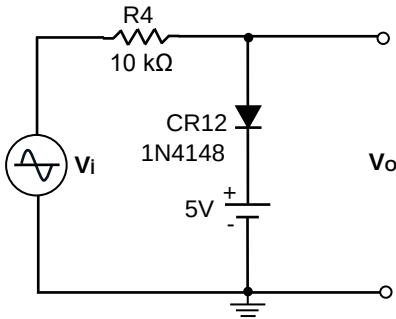
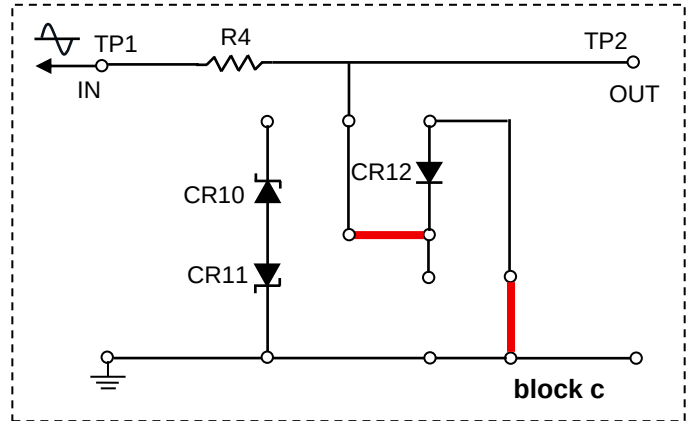
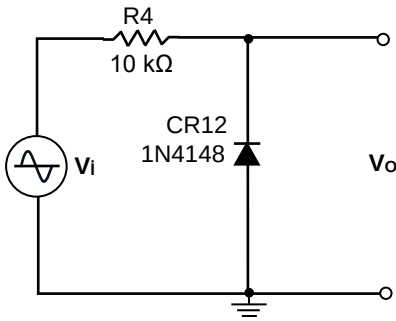
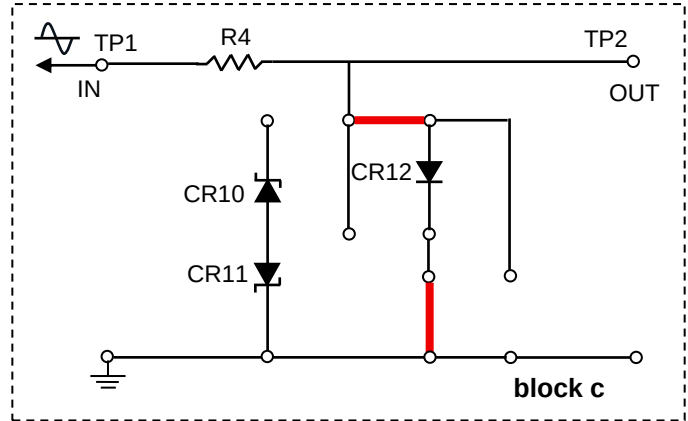
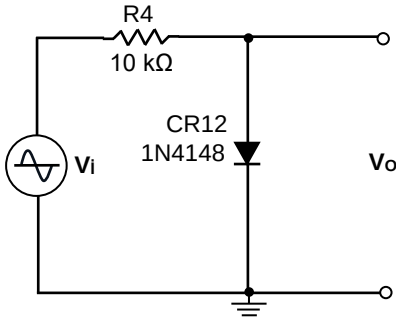
1. KL-23001 modülünü, KL-200 ana ünitesi üzerine yerleştirin ve **b-bloğunun** konumunu belirleyin.
2. Şekilde gösterildiği gibi kısa devre klipsleri kullanarak eşdeğer devreleri kurun.
3. Tepeden tepeye 20 V ve 1 kHz sinüs sinyali giriş terminaline bağlayın.
4. Çıkış (OUT) sinyalini osiloskop kullanarak ölçün ve kaydedin.

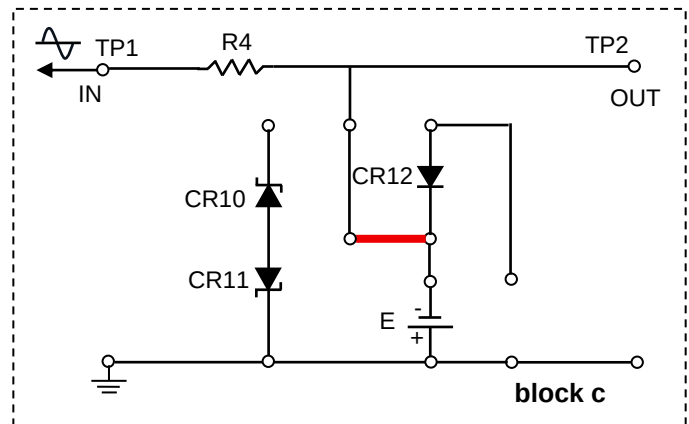
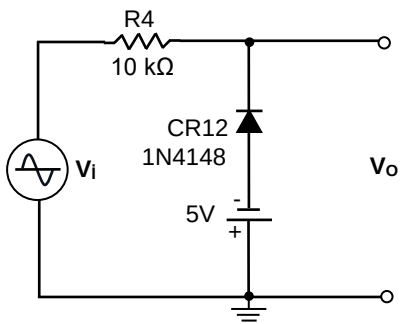
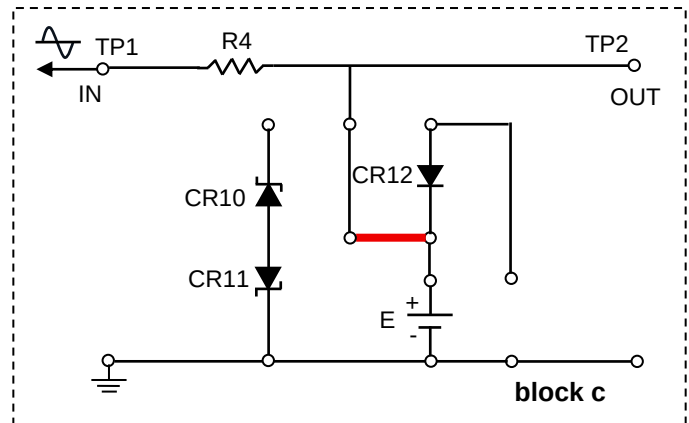
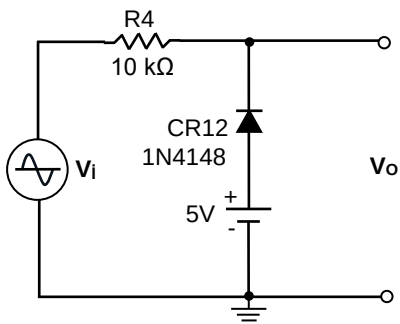
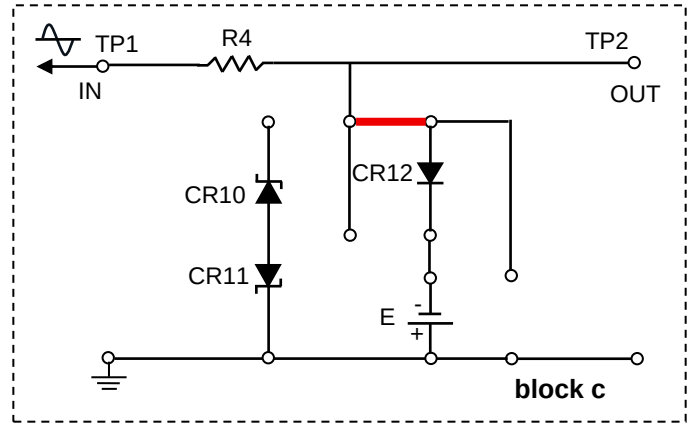
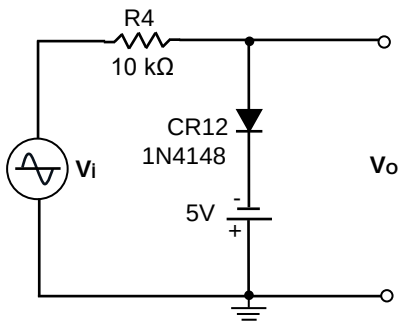


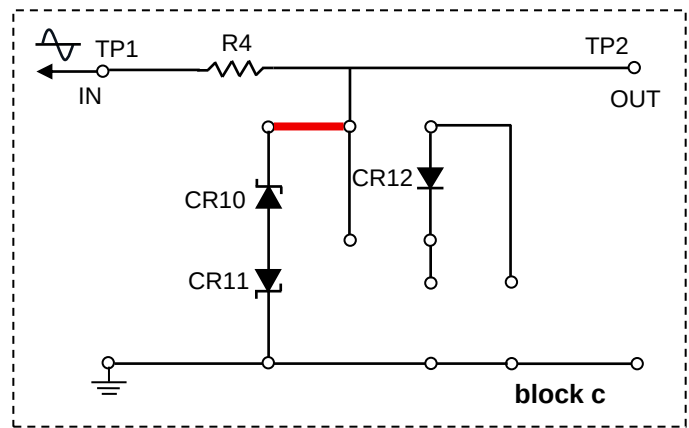
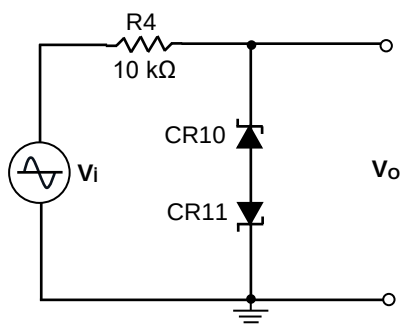


B- Paralel Diyot Kırpıcı Devreler-Deneyin Yapılışı:

1. KL-23001 modülünü, KL-200 ana ünitesi üzerine yerleştirin ve **c-bloğunun** konumunu belirleyin.
2. Aşağıdaki şekillerde gösterildiği gibi kısa devre klipsleri kullanarak eşdeğer devreleri kurun.
3. Tepeden tepeye 20 V ve 1 kHz sinüs sinyali giriş terminaline bağlayın.
4. Çıkış (OUT) sinyalini osiloskop kullanarak ölçün ve kaydedin.







Deney 7: Diyot Kenetleyici veya Tutturucu Devreler

Genel Bilgiler

Bir AC voltaja DC seviye eklemek için kullanılan diyot devrelerine kenetleyiciler veya tutturucular denir. Kenetleyici diyot devreleri bazen dc sinyal düzenleyici olarak da bilinir. Şekil 7.1, çıkış dalga şeklisine pozitif bir DC seviye ekleyen bir diyotlu kenetleyici devreyi göstermektedir. Bu devrenin çalışması, giriş sinyalinin ilk negatif yarım çevrimi göz önüne alınarak anlaşılabilir. Giriş voltajı başlangıçta negatife gittiğinde diyot ileri besleme durumundadır ve kapasitörün girişin tepe değerine yakın bir değere kadar şarj olmasına izin verir:

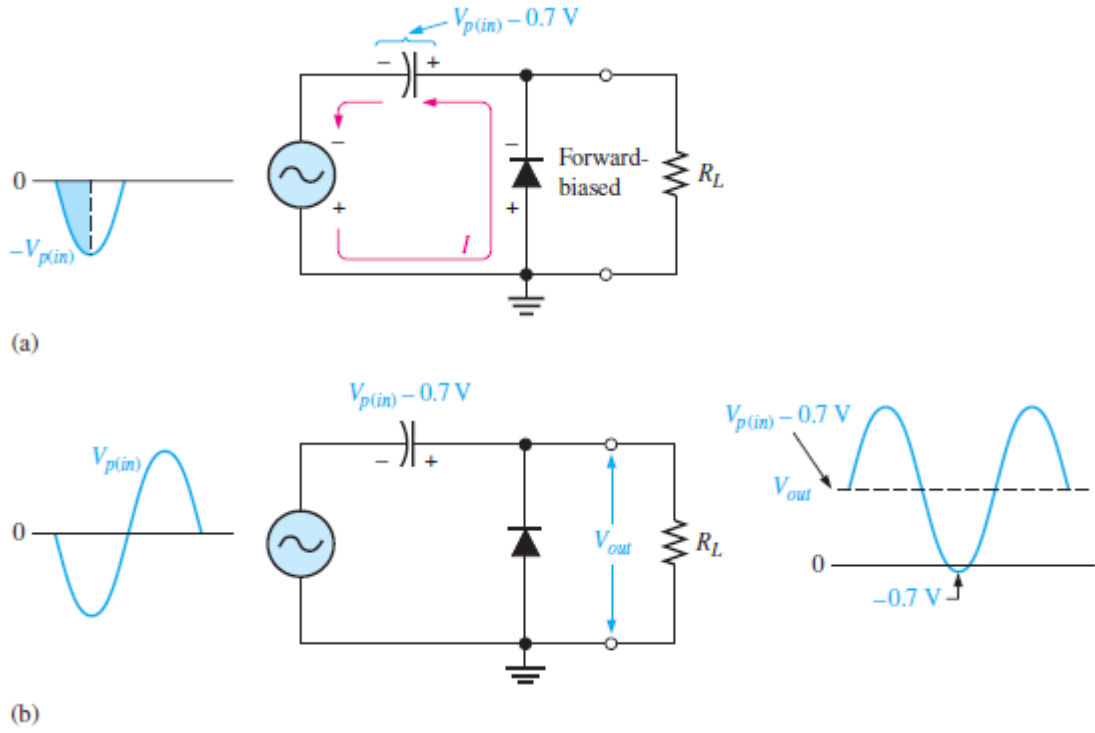
$$V_{p(in)} - 0.7 \text{ V}$$

Bu durum Şekil 7.1(a)'da gösterilmiştir. Negatif tepe noktasından hemen sonra diyot ters besleme durumundadır. Bunun nedeni, katodun kapasitör üzerindeki yük tarafından yaklaşık $V_{p(in)} - 0.7 \text{ V}$ seviyesinde tutulmasıdır.

Kapasitör yalnızca R_L 'nin yüksek direnci üzerinden deşarj olabilir. Bu nedenle bir negatif yarım çevrimin tepe noktasından diğerine kadar kapasitör çok az miktarda deşarj olur. Deşarj olan miktar, doğal olarak R_L 'nin değerine bağlıdır. Eğer kapasitör giriş dalgasının periyodu sırasında deşarj olursa, kenetleme etkisi bozulur. RC zaman sabiti periyodun 100 katıysa, kenetleme etkisi mükemmeldir. RC zaman sabitinin periyodun on katı olması durumunda, şarj akımından dolayı toprak seviyesinde küçük miktarda bozulma meydana gelir.

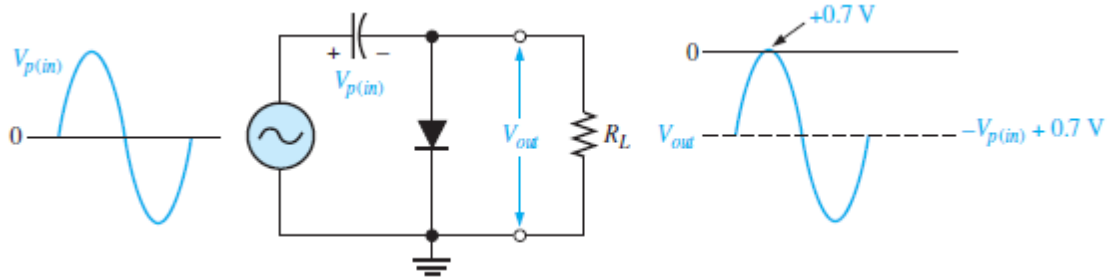
Kenetleme etkisinin net sonucu, kapasitörün yaklaşık olarak girişin tepe değerine eşit fakat diyot düşümü kadar eksik bir yük tutmasıdır. Kapasitör gerilimi esasen giriş voltajına seri bağlı bir pil gibi davranır.

Kapasitörün DC gerilimi, Şekil 7.1(b)'de olduğu gibi süperpozisyon yoluyla giriş sinyaline eklenir.



Şekil 7.1: Pozitif kenetleyici

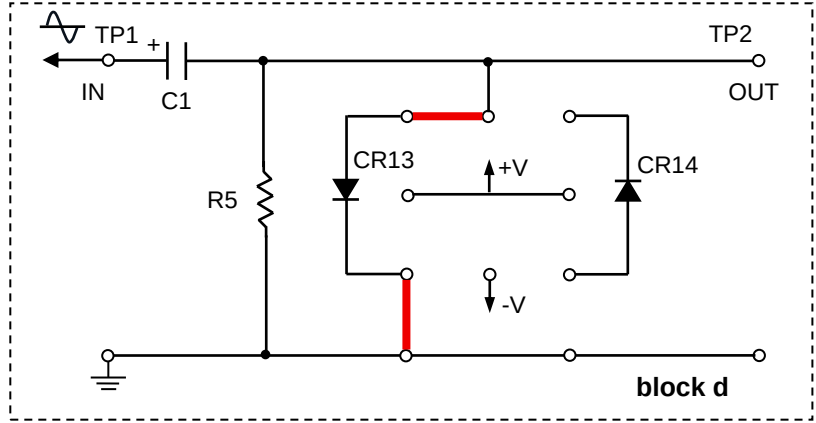
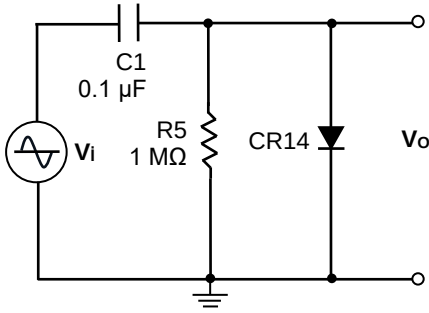
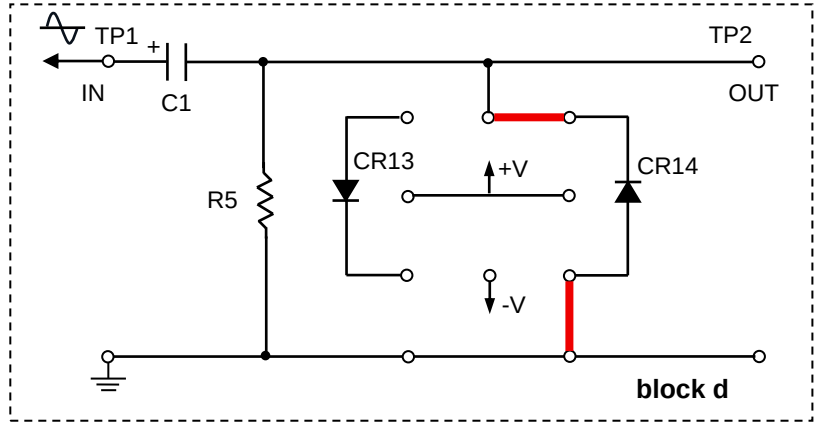
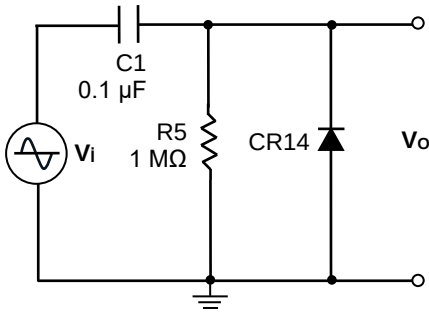
Eğer diyot ters çevrilirse, giriş sinyaline negatif bir DC seviyesi eklenir ve Şekil 7.2’de gösterilen çıkış sinyali elde edilir.

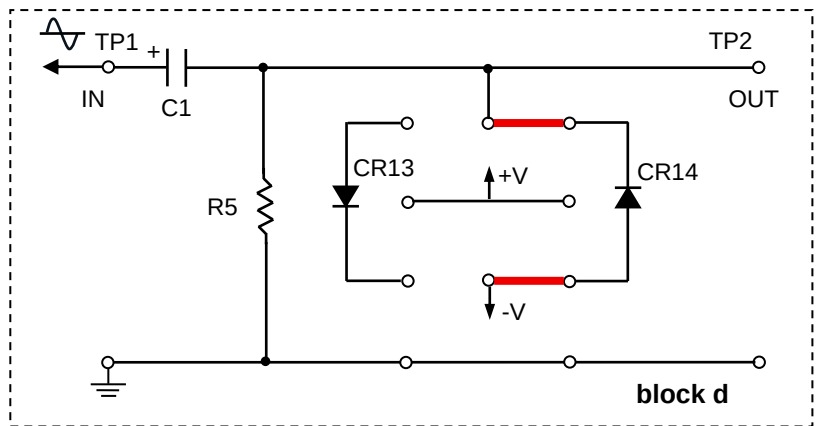
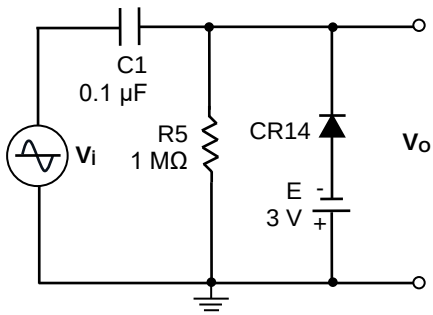
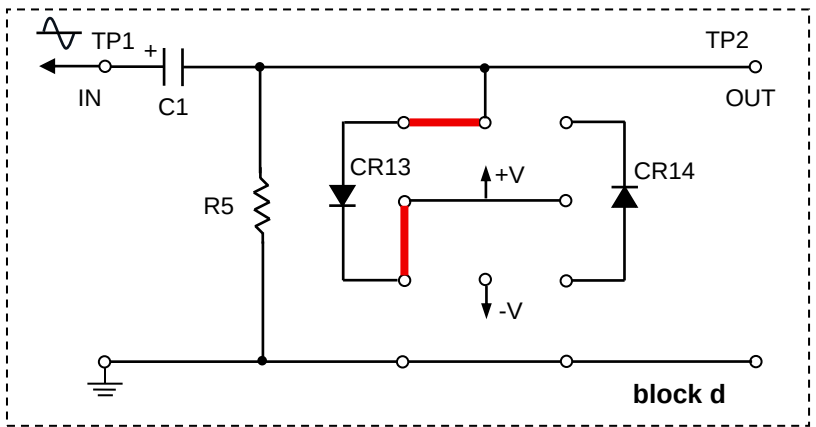
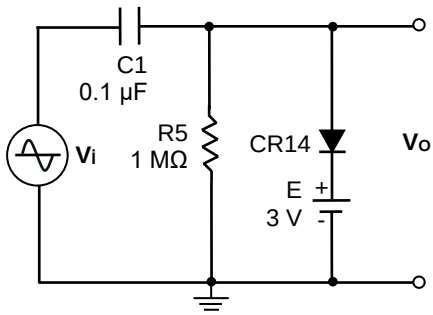
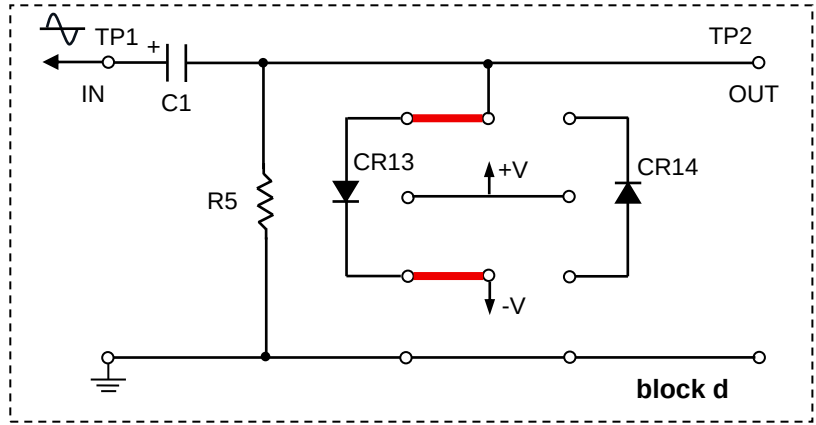
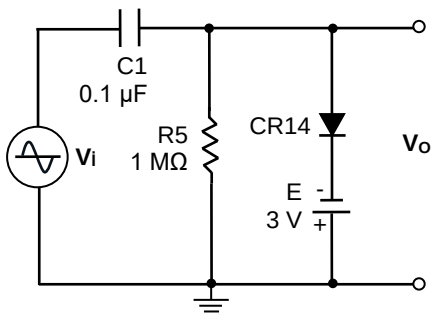


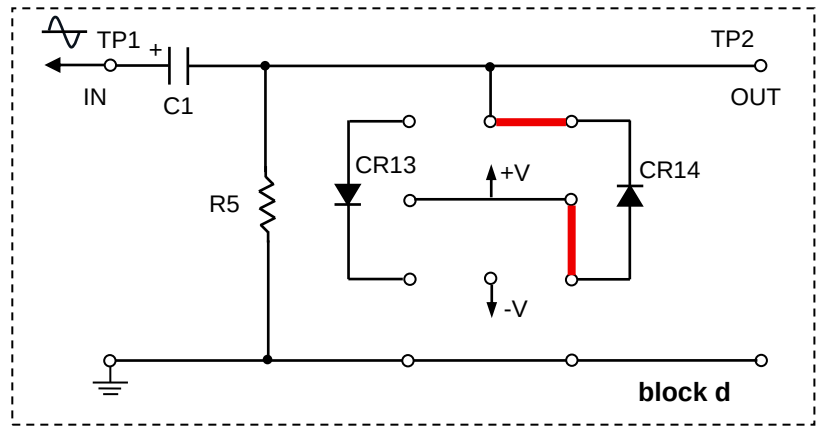
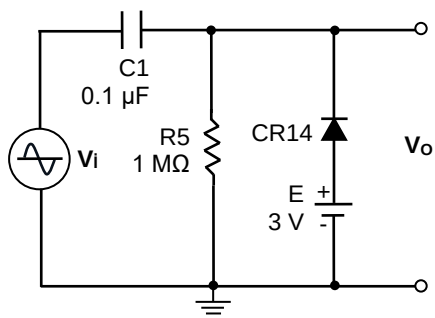
Şekil 7.2: Negatif kenetleyici

B- Diyot Kenetleyici Devreler-Deneyin Yapılışı:

1. KL-23001 modülünü, KL-200 ana ünitesi üzerine yerleştirin ve **d-bloğunun** konumunu belirleyin.
2. Aşağıdaki şekillerde gösterildiği gibi kısa devre klipsleri kullanarak eşdeğer devreleri kurun.
3. Tepeden tepeye 20 V ve 1 kHz sinüs sinyali giriş terminaline bağlayın.
4. Çıkış (OUT) sinyalini osiloskop kullanarak ölçün ve kaydedin.



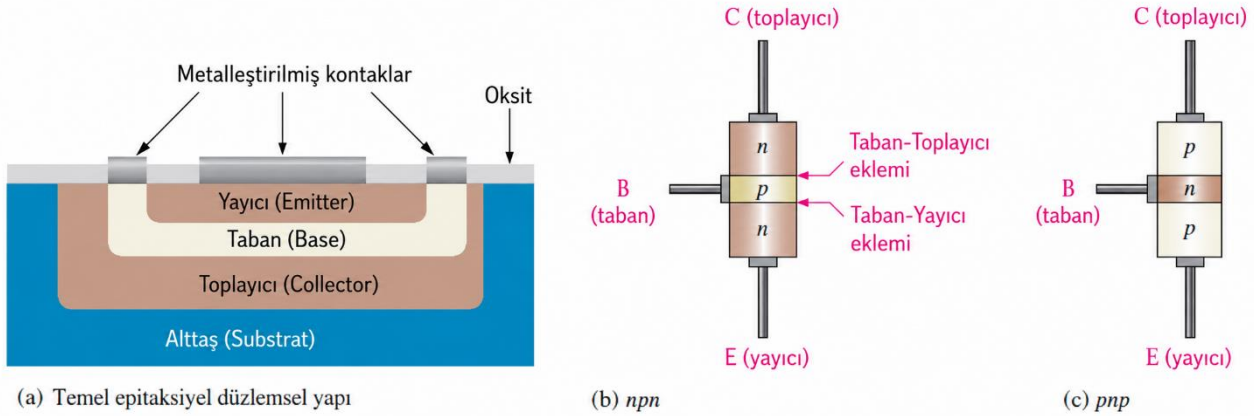




DENEY 8: Bipolar Eklem Transistörlerin (BJT) Karakteristikleri

Genel Bilgiler

Yapısı: Bipolar Eklem Transistörleri, Şekil 8.1(a)'da epitaksiyel düzlemsel yapıda gösterildiği gibi, iki pn eklemiyle ayrılmış üç katkılanmış yarıiletken bölgeden oluşur. Bu üç bölgeye emitter (yayıcı), base (taban) ve collector (toplayıcı) adı verilir. İki tip BJT'nin fiziksel gösterimleri Şekil 8.1(b) ve (c)'de verilmiştir. Bir tip, p bölgesiyle ayrılmış iki n bölgesinden oluşur (nnp); diğer tip ise n bölgesiyle ayrılmış iki p bölgesinden oluşur (pnp).

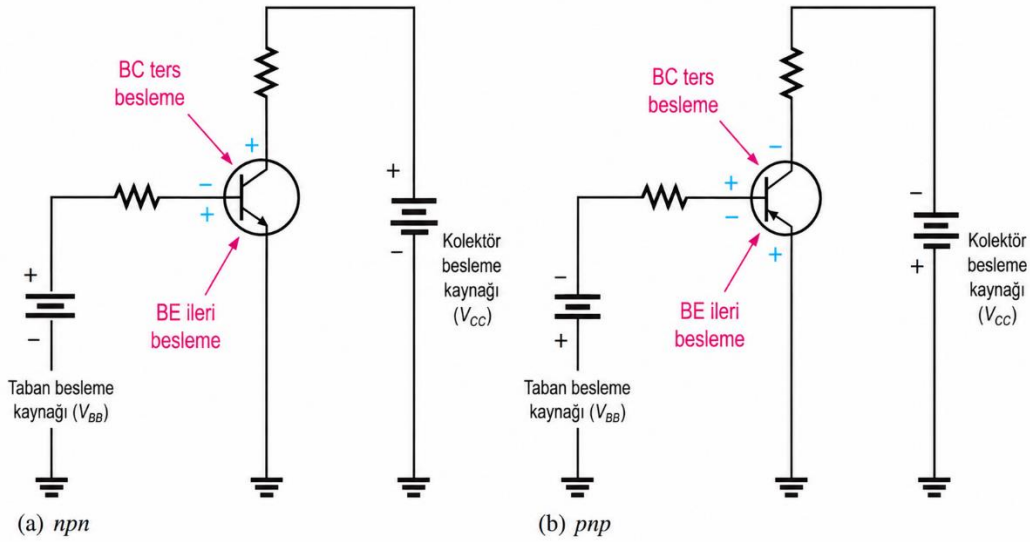


Şekil 8.1: BJT yapısı. Altaş, transistör için fiziksel bir destek malzemesidir.

“Bipolar (çift kutup)” terimi, transistör yapısında hem deliklerin (holes) hem de elektronların akım taşıyıcısı olarak kullanılmasını ifade eder. Taban bölgesi ile yayıcı bölgesini birleştiren pn eklemine base-emitter junction (taban-yayıcı eklemi) denir. Taban bölgesi ile toplayıcı bölgesini birleştiren pn eklemine ise base-collector junction (taban-toplayıcı eklemi) denir; bu durum Şekil 8.1(b)'de gösterilmiştir.

Şekilde gösterildiği gibi, üç bölgenin her birinin ucu bir iletken tel ile bağlanır. Bu uçlar sırasıyla emitter, base ve collector için E, B ve C olarak adlandırılır. Taban bölgesi, yüksek oranda katkılanmış yayıcı bölgesi ve orta seviyede katkılanmış toplayıcı bölgesiyle karşılaştırıldığında çok ince ve düşük katkılanmıştır.

Besleme (Biasing): Şekil 8.2, hem npn hem de pnp BJT'ler için yükselteç olarak çalışmaya uygun bir besleme düzenini göstermektedir. Her iki durumda da base-emitter (BE) ekleminin ileri besleme (forward-biased), base-collector (BC) ekleminin ise ters besleme (reverse-biased) durumunda olduğuna dikkat edin.



Şekil 8.2: Bir BJT'nin ileri-ters beslenmesi.

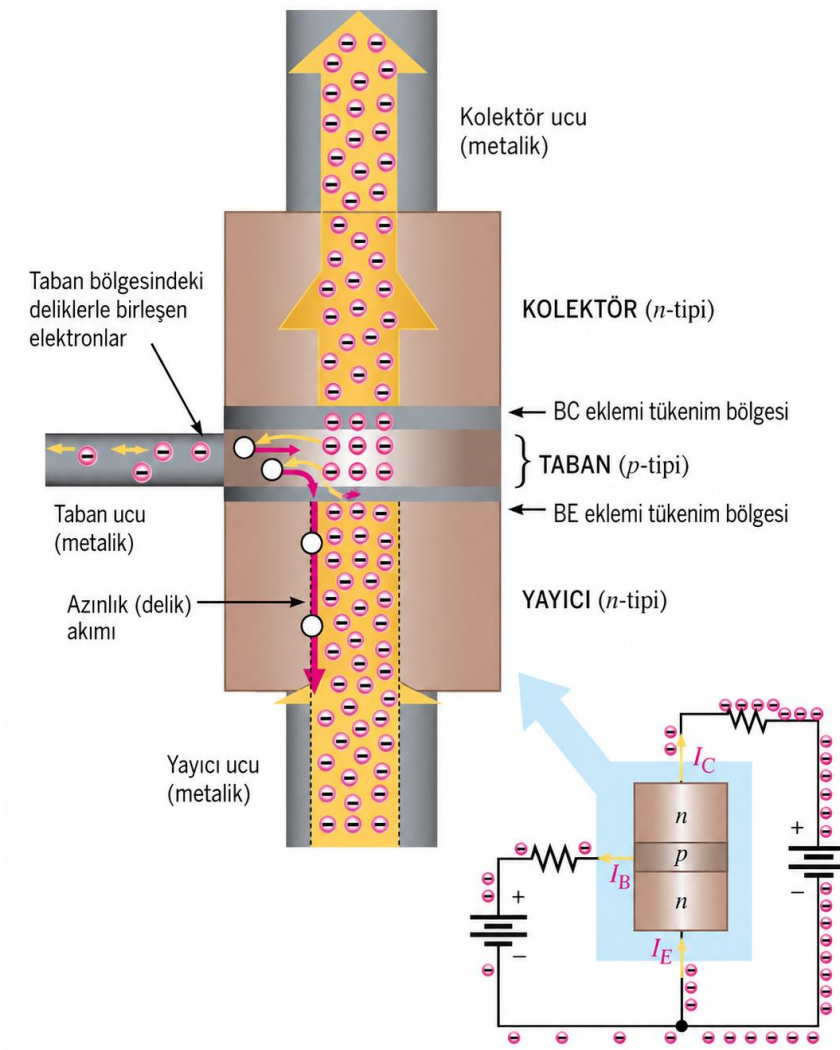
Çalışma Prensipleri: Bir transistörün nasıl çalıştığını anlamak için npn yapısının içinde neler olduğuna bakalım. Yüksek oranda katkılanmış n-tipi yayıcı (emitter) bölgesi, Şekil 8.3'te gösterildiği gibi çok yüksek yoğunlukta iletim bandı (serbest) elektronu içerir. Bu serbest elektronlar, ileri beslenmiş BE ekleminden kolayca geçerek düşük katkılanmış ve çok ince olan p-tipi taban (base) bölgesine yayılır; bu durum geniş ok ile gösterilmiştir.

Taban bölgesi, çoğunluk taşıyıcılar olan düşük yoğunlukta delikler içerir ve bunlar beyaz dairelerle temsil edilmiştir. Taban bölgesine enjekte edilen toplam serbest elektronların küçük bir yüzdesi bu deliklerle tekrar birleşme yapar ve değerlik elektronları olarak taban bölgesi boyunca hareket ederek deşik akımı şeklinde yayıcı bölgesine geçer; bu durum kırmızı oklarla gösterilmiştir.

Deşiklerle tekrar birleşmiş olan elektronlar, değerlik elektronu hâlinde tabanın kristal yapısından ayrıldıklarında, metalik taban ucunda tekrar serbest elektron hâline gelirler ve taban akımını oluştururlar.

Tabana giren serbest elektronların büyük çoğunluğu ise, taban çok ince ve düşük katkılı olduğu için deşiklerle tekrar birleşmez. Bu serbest elektronlar ters beslenmiş BC eklemine doğru hareket ederken, toplayıcı terminaline bağlanmış pozitif kutum tarafından çekilerek toplayıcı bölgesine sürüklenir.

Serbest elektronlar toplayıcı bölgesinden geçerek dış devreye gider ve daha sonra taban akımıyla birlikte yayıcı bölgesine geri döner. Şekilde gösterildiği gibi, yayıcı akımı; taban bölgesine yayıcıdan enjekte edilen toplam akımın küçük bir kısmı taban akımı olarak ayrıldığı için, kolektör akımından biraz daha büyüktür.

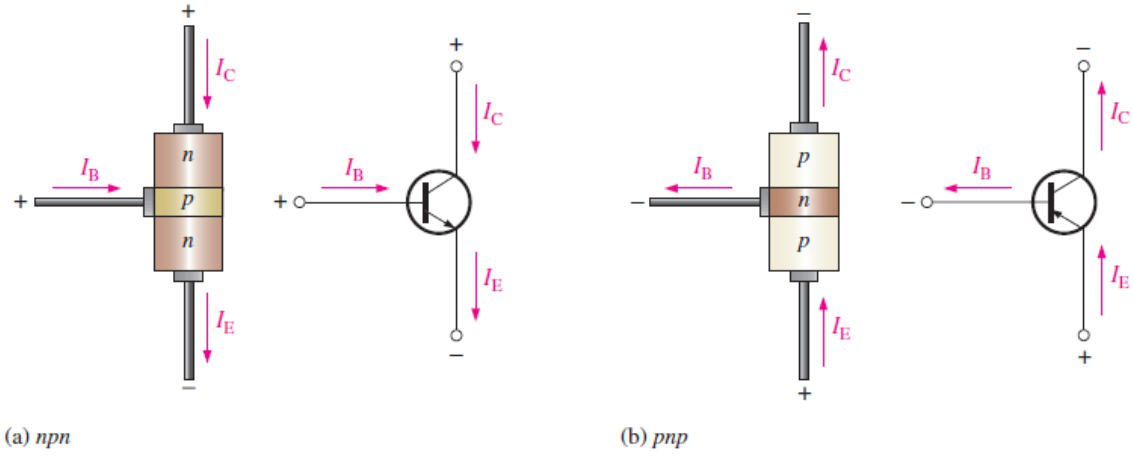


Şekil 8.3: BJT'nin çalışma prensibi ve elektron akışı.

Transistör Akımları: Bir **npn** transistörde akımların yönleri ve transistörün şematik sembolü Şekil 8.4(a)'da gösterildiği gibidir. **pnp** transistör için olan akım yönleri ise Şekil 8.4(b)'de gösterilmiştir. Transistör sembollerinin içinde, yayıcı üzerindeki okun konvansiyonel akım yönünü gösterdiğine dikkat edin. Bu diyagramlar, yayıcı akımının (I_E), kolektör akımı (I_C) ile taban akımının (I_B) toplamı olduğunu gösterir. Bu durum şöyle ifade edilir:

$$I_E = I_C + I_B$$

Daha önce belirtildiği gibi, I_B , I_C veya I_E ile karşılaştırıldığında çok küçüktür. Alt indislerde kullanılan büyük harfler, DC değerleri ifade eder.



Şekil 8.4: Transistör akımları.

DC Beta (β_{dc}) ve DC Alpha (α_{dc}): Bir transistörün DC akım kazancı (β_{dc}), DC kolektör akımının (I_C) DC taban akımına (I_B) oranıdır.

$$\beta_{DC} = \frac{I_C}{I_B}$$

β_{dc} 'nin tipik değerleri 20'den küçük olabileceği gibi 200 veya daha yüksek de olabilir. β_{dc} , transistör veri sayfalarında genellikle eşdeğer hibrit (h) parametresi olan h_{FE} ile gösterilir.

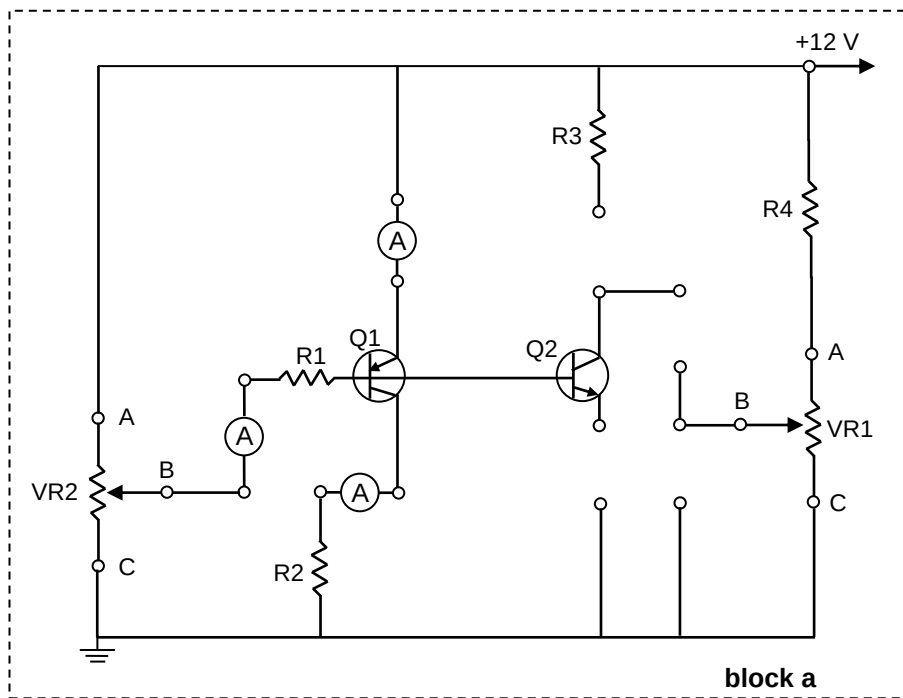
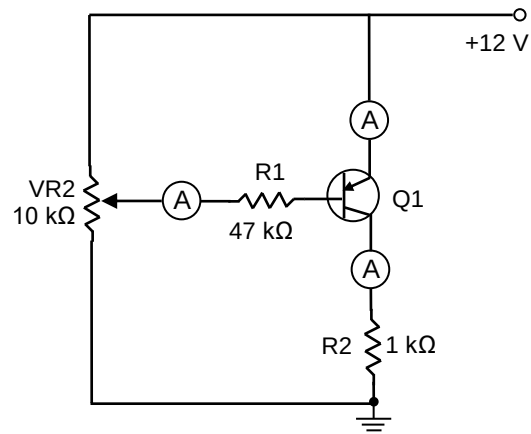
dc kolektör akımının (I_C), dc yayıcı akımına (I_E) oranına dc alpha (α_{dc}) denir. Alpha, transistör devrelerinde beta kadar yaygın kullanılan bir parametre değildir.

$$\alpha_{DC} = \frac{I_C}{I_E}$$

Genellikle α_{dc} değerleri 0.95 ile 0.99 aralığındadır; ancak α_{dc} her zaman 1'den küçüktür. Bunun nedeni, I_C akımının her zaman I_B 'den daha küçük olmasıdır.

A- Bir pnp Transistörün DC Analizi-Deneyin Yapılışı:

1. KL-23002 modülünü, KL-200 ana ünitesi üzerine yerleştirin ve **a-bloğunun** konumunu belirleyin.
2. Şekilde gösterildiği gibi kısa devre klipsleri kullanarak eşdeğer devreyi kurun.
3. Ampermetreleri kullanarak I_B , I_C ve I_E akımlarını ölçün. Eğer yeterli sayıda ampermetre yoksa ampermetrelerin yerine kısa devre klipslerini kullanarak sırasıyla ölçebilirsiniz.
4. VR2 (10 K Ω) potansiyometresini $I_C = 3 \text{ mA}$ ve maksimum $I_{C(doy)}$ olacak şekilde ayarlayınız. Ölçülen I_B , I_C ve I_E akım değerlerini Tablo 8.1'e kaydedin.

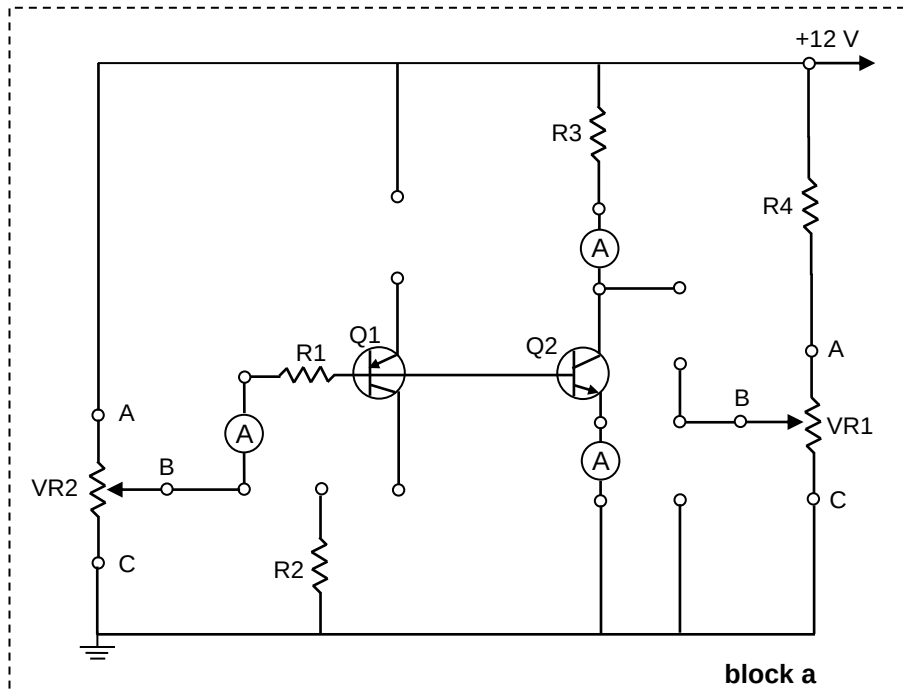
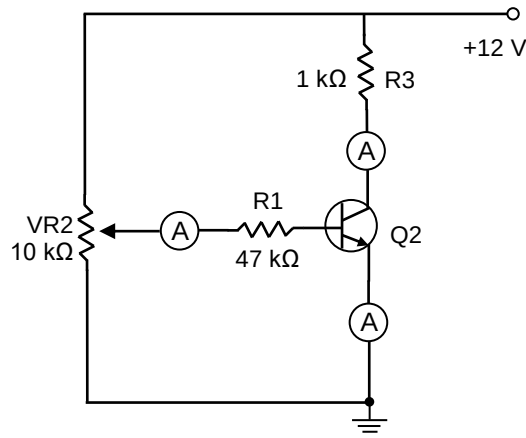


Tablo 8.1

I_C	I_B	I_E	$\beta = I_C/I_B$
3 mA			
$I_{C(doy)}$			

B- Bir npn Transistörün DC Analizi-Deneyin Yapılışı:

1. KL-23002 modülünü, KL-200 ana ünitesi üzerine yerleştirin ve **a-bloğunun** konumunu belirleyin.
2. Şekilde gösterildiği gibi kısa devre klipsleri kullanarak eşdeğer devreyi kurun.
3. Ampermetreleri kullanarak I_B , I_C ve I_E akımlarını ölçün. Eğer yeterli sayıda ampermetre yoksa ampermetrelerin yerine kısa devre klipslerini kullanarak sırasıyla ölçebilirsiniz.
4. VR2 (10 K Ω) potansiyometresini $I_C = 3\text{ mA}$ ve maksimum $I_{C(doy)}$ olacak şekilde ayarlayınız. Ölçülen I_B , I_C ve I_E akım değerlerini Tablo 8.2'e kaydedin.

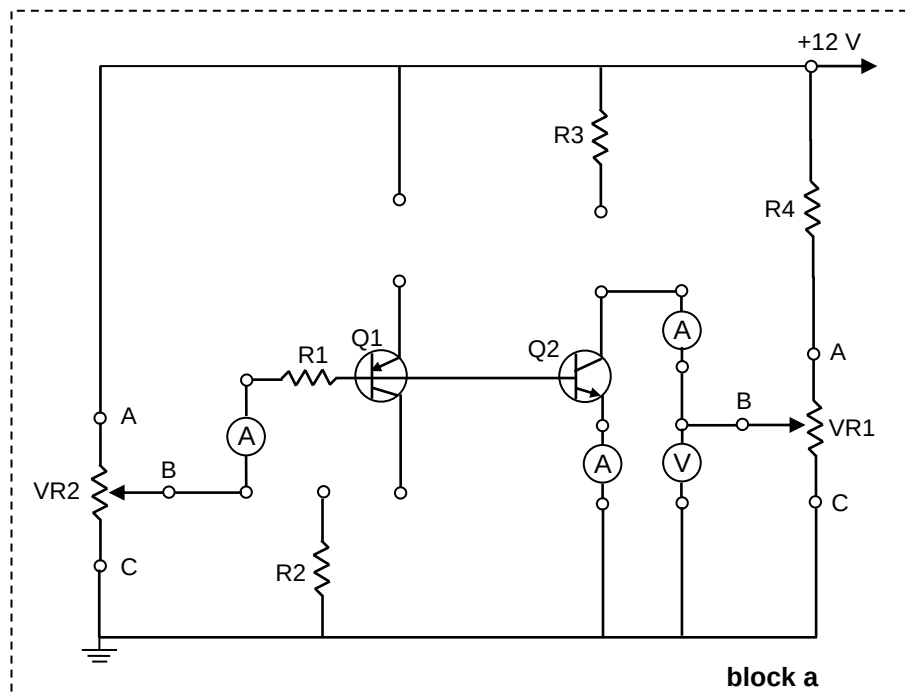
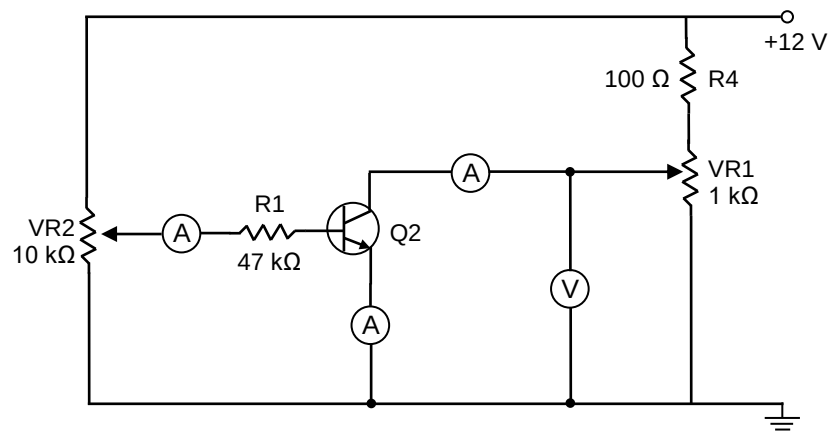


Tablo 8.2

I_C	I_B	I_E	$\beta = I_C/I_B$
3 mA			
$I_{C(doy)}$			

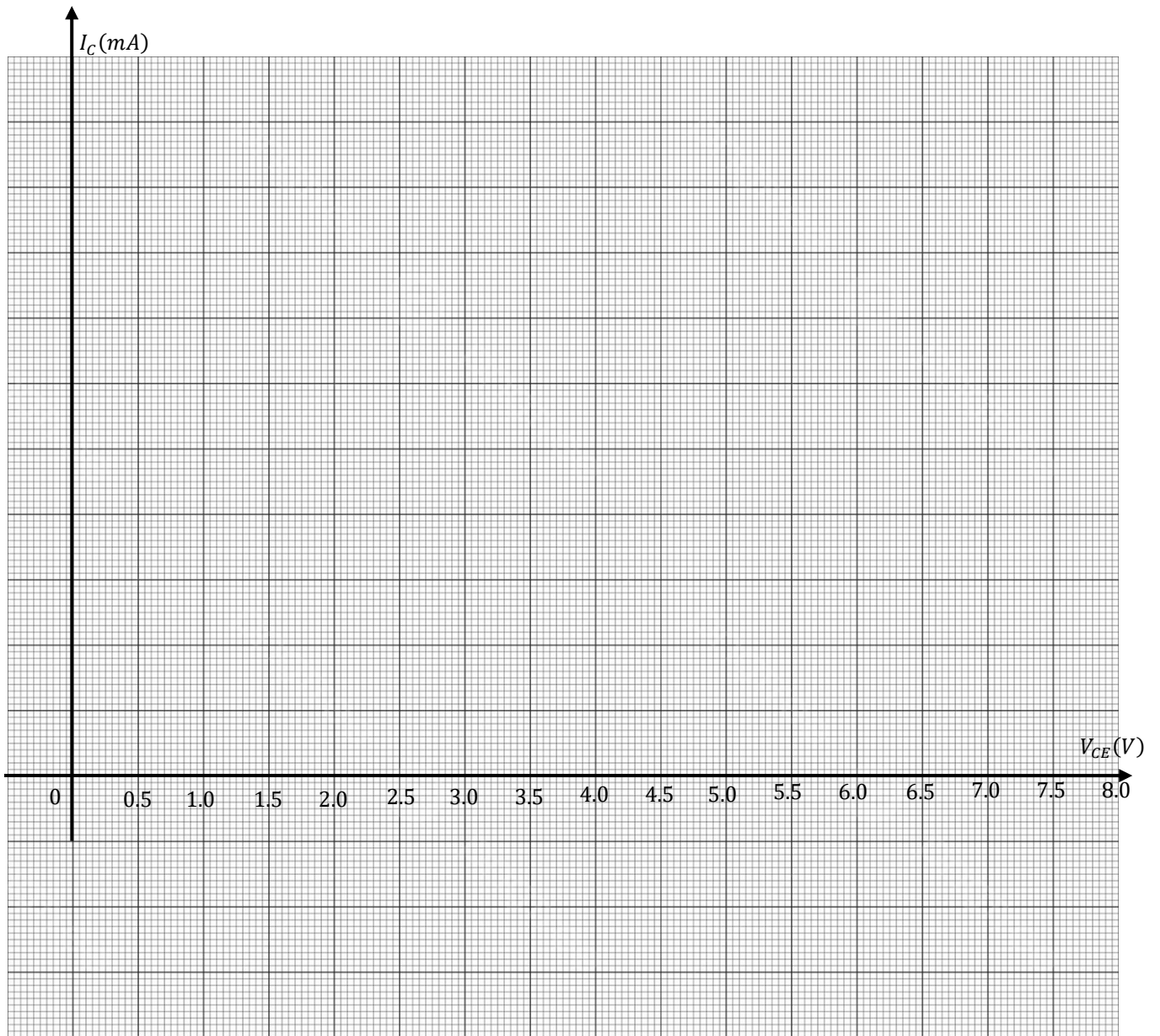
C- Bir pnp Transistörün Kolektör Akım Ailesinin Eldesi-Deneyin Yapılışı:

1. KL-23002 modülünü, KL-200 ana ünitesi üzerine yerleştirin ve **a-bloğunun** konumunu belirleyin.
2. Şekilde gösterildiği gibi kısa devre klipsleri kullanarak eşdeğer devreyi kurun.
3. VR2 (10 K Ω) potansiyometresini $I_B = 0\text{ }\mu\text{A}$ olacak şekilde ayarlayınız.
4. VR1 (1 K Ω) potansiyometresini Tablo 8.3’de verilen V_{CE} değerlerini verecek şekilde çeviriniz ve elde edilen I_C akım değerlerini tabloya kaydedin.
5. VR2 (10 K Ω) potansiyometresini Tablo 8.3’de verilen I_B değerlerinin verecek şekilde ayarlayınız ve her I_B için 4. maddeyi tekrar ederek tabloyu tamamlayınız.
6. Tablo 8.3 deki sonuçları kullanarak $I_C - V_{CE}$ grafiğini her I_B için çizerek kollektör akım eğrileri ailesini elde ediniz.



Tablo 8.3

$I_B = 0 \mu A$	$V_{CE}(V)$	0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	1.0	3.0	5.0	7.0
	$I_C(mA)$									
$I_B = 10 \mu A$	$V_{CE}(V)$	0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	1.0	3.0	5.0	7.0
	$I_C(mA)$									
$I_B = 20 \mu A$	$V_{CE}(V)$	0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	1.0	3.0	5.0	7.0
	$I_C(mA)$									
$I_B = 30 \mu A$	$V_{CE}(V)$	0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	1.0	3.0	5.0	7.0
	$I_C(mA)$									
$I_B = 40 \mu A$	$V_{CE}(V)$	0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	1.0	3.0	5.0	7.0
	$I_C(mA)$									
$I_B = 50 \mu A$	$V_{CE}(V)$	0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	1.0	3.0	5.0	7.0
	$I_C(mA)$									
$I_B = 60 \mu A$	$V_{CE}(V)$	0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	1.0	3.0	5.0	7.0
	$I_C(mA)$									

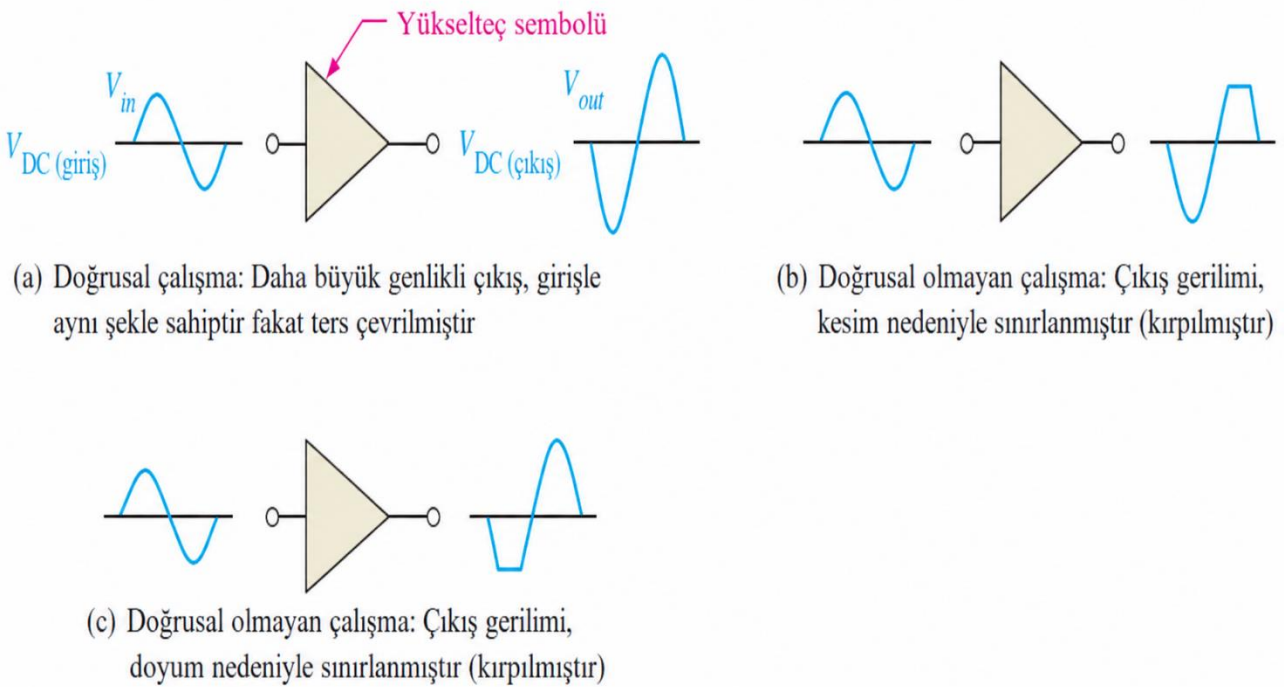


DENEY 9: Bipolar Eklem Transistörlü Yükselteç Devreleri-1

Genel Bilgiler

Bir transistörün doğrusal (lineer) bir yükselteç olarak çalışabilmesi için uygun bir DC gerilimle doğru şekilde beslenmesi gerekir. Girişe uygulanan sinyal değişimlerinin yükseltip çıkışta doğru biçimde yeniden üretilmesi için uygun bir DC çalışma noktası ayarlanmalıdır. DC çalışma noktası genellikle Q noktası olarak adlandırılır. Anten ya da mikrofön gibi küçük sinyal voltajlarının yükseltilmesi gereken uygulamalarda, Q noktası etrafındaki değişimler oldukça küçüktür. Bu küçük AC sinyalleri işlemek için tasarlanan yükselteçlere genellikle **küçük-sinyal yükselteçleri** denir.

DC Besleme: DC Besleme, bir yükseltecin düzgün doğrusal çalışabilmesi için DC çalışma noktasını belirler (I_{CQ} ve V_{CEQ} değerleri). Eğer bir yükselteç doğru DC voltaj değerleri ile beslenmezse, giriş sinyali uygulandığında transistör doyuma ya da kesime gidebilir. Şekil 9.1, tersine çeviren (inverting) bir yükselteçte doğru ve yanlış DC beslemenin etkilerini göstermektedir.



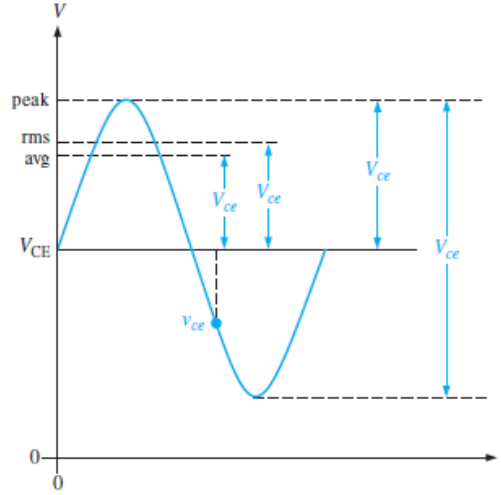
Şekil 9.1: Tersine çeviren bir yükseltecin (üçgen sembol) doğrusal ve doğrusal olmayan çalışma örnekleri.

Şeklin (a) kısmında çıkış sinyali, ters çevrilmiş olması dışında giriş sinyalinin yükseltilmiş bir kopyasıdır. Ters çevrilmiş olması, giriş sinyaliyle 180° faz farkına sahip olduğu anlamına gelir. Çıkış sinyali, çıkışın DC besleme seviyesi olan $V_{DC(çıkış)}$ 'un hem üstüne hem altına eşit miktarda salınır.

Yanlış DC besleme ise çıkış sinyalinde bozulmaya neden olabilir; bu durum şeklin (b) ve (c) kısımlarında gösterilmiştir. Şeklin (b) kısmı, DC çalışma noktasının kesim bölgesine çok yakın olması nedeniyle çıkış voltajının pozitif kısmının sınırlanmasını göstermektedir.

Şeklin (c) kısmı ise DC çalışma noktasının doyum bölgesine çok yakın olması nedeniyle çıkış voltajının negatif kısmının sınırlandırılması göstermektedir.

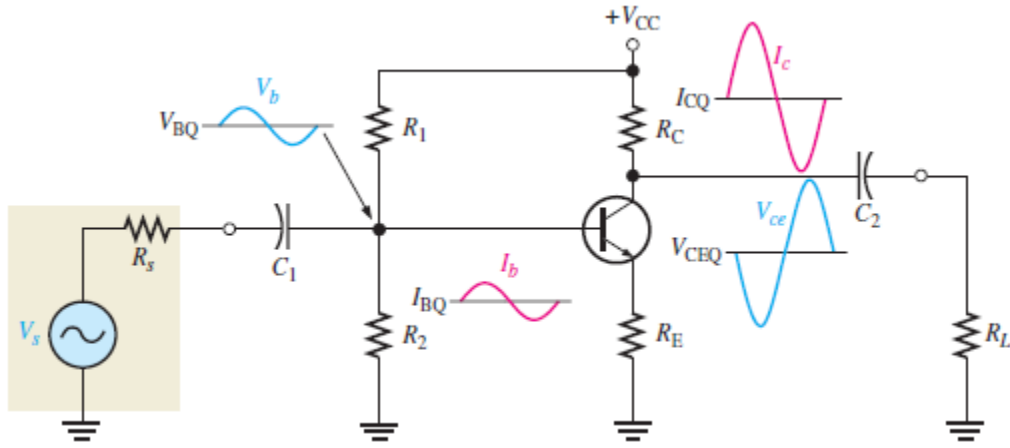
AC Büyüklükler: DC büyüklükler, büyük harf alt indislerle gösteriliyordu; örneğin I_C , I_E , V_C ve V_{CE} . Küçük alt indisler ise RMS, tepe ve tepeden tepeye AC akım ve voltaj büyüklüklerini göstermek için kullanılır; örneğin i_c , i_e , i_b , v_c ve v_{ce} (Aksi belirtilmedikçe RMS değerleri kabul edilir.). Anlık büyüklükler ise hem küçük harfler hem de küçük alt indislerle gösterilir; örneğin i_c , i_e , i_b ve v_{ce} . Şekil 9.2 bu büyüklükleri belirli bir voltaj dalga şekli üzerinde göstermektedir.



Şekil 9.2: V_{ce} , RMS, ortalama, tepe veya tepeden tepeye değeri temsil edebilir; ancak aksi belirtilmedikçe RMS değeri kabul edilir. v_{ce} ise eğri üzerindeki herhangi bir anlık değeri temsil edebilir.

Akım ve gerilimlerin yanı sıra, bir devre AC bakış açısından analiz edildiğinde direnç değerleri DC analizine göre farklı olabilir. AC direnç değerlerini göstermek için küçük harfli alt indisler kullanılır. Örneğin R_c , AC kolektör direncini; R_C ise DC kolektör direncini ifade eder. Transistörün iç direnç değerleri ise bunun bir AC direnci olduğunu göstermek için küçük r' ile ifade edilir. Bunun bir örneği iç AC emiter direnci olan r'_e dür.

Doğrusal Yükselteç: Doğrusal bir yükselteç, bir sinyali herhangi bir bozulma olmadan yükseltir; böylece çıkış sinyali, giriş sinyalinin tam olarak yükseltilmiş bir kopyası olur. Şekil 9.3'de, voltaj-bölücü beslemeli bir transistör devresi; tabana C_1 üzerinden kapasitif olarak bağlanan sinüzoidal bir AC kaynak ve kollektöre C_2 üzerinden kapasitif olarak bağlanan bir yük ile gösterilmiştir.



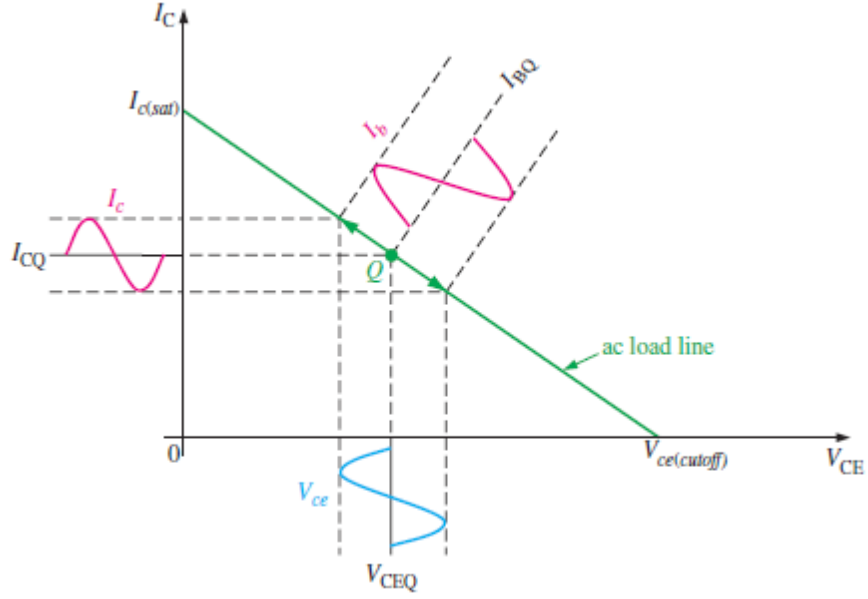
Şekil 9.3: İç direnci R_s olan bir AC voltaj kaynağı tarafından sürülen, voltaj-bölücü beslemeli bir yükselteç.

Kuplaj kapasitörleri DC'yi engeller ve böylece iç kaynak direnci R_s ile yük direnci R_L 'nin taban ve kollektördeki DC besleme voltajlarının değiştirmesini önler. Bu kapasitörler ideal olarak AC sinyal voltajına karşı kısa devre gibi davranır.

Sinüzoidal kaynak voltajı, taban voltajının DC besleme seviyesi olan V_{BQ} 'nun üstünde ve altında sinüzoidal olarak değişmesine neden olur. Taban akımındaki bu değişim, transistörün akım kazancı nedeniyle kollektör akımında daha büyük bir değişim oluşturur. Sinüzoidal kollektör akımı arttıkça kollektör voltajı azalır. Kollektör akımı, Q noktası değeri olan I_{CQ} 'nun üstünde ve altında, taban akımıyla aynı fazda değişir.

Sinüzoidal kollektör-emiter voltajı ise Q noktası değeri olan V_{CEQ} 'nun üstünde ve altında değişir ve taban voltajına göre 180° faz farkı vardır; bu durum Şekil 9.3'de gösterilmiştir. Bir transistör, taban voltajı ile kollektör voltajı arasında her zaman bir faz terslemesi oluşturur.

Grafiksel Gösterim: Az önce açıklanan çalışma, Şekil 9.4'te gösterilen AC yük doğrusu üzerinde grafiksel olarak gösterilebilir. AC sinyal, AC yük doğrusu boyunca değişir. Bu doğru, DC yük doğrusundan farklıdır çünkü kapasitörler AC sinyal için ideal olarak kısa devre, DC bias için ise açık devre gibi görülür. Tabandaki sinüzoidal voltaj, AC yük doğrusu üzerindeki Q noktasının üstünde ve altında değişen bir taban akımı oluşturur; bu durum oklarla gösterilmiştir.



Şekil 9.4: Yükseltecin grafiksel AC yük doğrusu çalışması; taban akımının, kollektör akımının ve kollektör-emiter voltajının DC Q noktası değerleri etrafındaki değişimini göstermektedir. I_b ve I_c farklı ölçekler üzerindedir.

AC yük çizgisi, düşey eksen (I_C) AC kollektör doyum akımı değeri olan $I_{c(doy)}$ 'da keser ve yatay eksen (V_{CE}) AC kollektör-emiter kesim voltajı değeri olan $V_{ce(kesim)}$ 'ta keser. Bu değerler aşağıdaki gibi belirlenir:

$$I_{c(doy)} = \frac{V_{CEQ}}{R_c} + I_{CQ}$$

$$V_{ce(kesim)} = V_{CEQ} + I_{CQ}R_c$$

Burada R_c , R_C ile R_L 'nin paralel eşdeğeridir. Taban akımının tepe noktalarından başlayıp I_C eksenine ve oradan V_{CE} eksenine çizilen çizgiler, kollektör akımı ile kollektör-emiter voltajının tepeden tepeye değişimlerini gösterir. AC yük doğrusu, DC yük doğrusundan farklıdır çünkü C_1 ve C_2 kapasitörleri AC sinyalin gördüğü direnci etkin biçimde değiştirir.

A- Ortak-Emitör (CE) Yükselteci-Deneyin Yapılışı:

1. KL-23003 modülünü, KL-200 ana ünitesi üzerine yerleştirin ve **a-bloğunun** konumunu belirleyin.
2. Şekilde gösterildiği gibi kısa devre klipsleri kullanarak eşdeğer devreyi kurun.
3. +12 V pozitif güç kaynağını $V +$ terminaline uygulayın. I_B ve I_C 'yi ölçmek için multimetreleri şekilde gösterildiği gibi bağlayın.
4. VR4 (1 M Ω) potansiyometresini $I_B = 0$ A olacak şekilde ayarlayın ve I_C akımı gözlemleyin.
5. VR4 (1 M Ω) potansiyometresini I_C maksimum değeri olan $I_{C(doy)}$ 'a ulaşacak şekilde ayarlayın ve I_B akımı gözlemleyin.
6. $I_C = I_{C(doy)}$, yani doyuma ulaştığında, I_B artacak şekilde VR4 (1 M Ω) potansiyometresini ayarlayın ve $I_{C(doy)}$ değerinin buna karşılık artıp artmadığını gözlemleyin.
7. V_{BE} ve V_{CE} 'yi ölçmek için multimetreleri şekilde gösterildiği gibi bağlayın.
8. VR4 (1 M Ω) potansiyometresini $V_{CE} = V_{CC}/2$ olacak şekilde ayarlayın ve V_{BE} ve V_{CE} değerlerini gözlemleyip Tablo 9.1'e kaydedin.
9. Fonksiyon üreticini giriş terminaline (IN) bağlayın ve osiloskobu (AC konumu) çıkış terminaline (OUT) bağlayın. Daha sonra fonksiyon üreticini, osiloskopta 1 kHz sinüs dalgasının maksimum bozulmamış dalga biçimi görüntülenecek şekilde ayarlayın ve kaydedin.
10. Çıkış terminalinde maksimum bozulmamış dalga biçimi elde edildiğinde, giriş sinyalini ölçmek için osiloskop kullanın ve kaydedin.
11. Giriş sinyalini değiştirmeden bırakın ve VR4 (1M Ω) potansiyometresini ayarlayın; ardından çıkış dalga biçiminin bozulup bozulmadığını gözlemleyin.

Tablo 9.1

I_C	I_B	β	V_{CE}	V_{BE}	$A_V = \frac{V_{o(p-p)}}{V_{i(p-p)}}$	Giriş/Çıkış arasındaki faz farkı

GİRİŞ (IN)

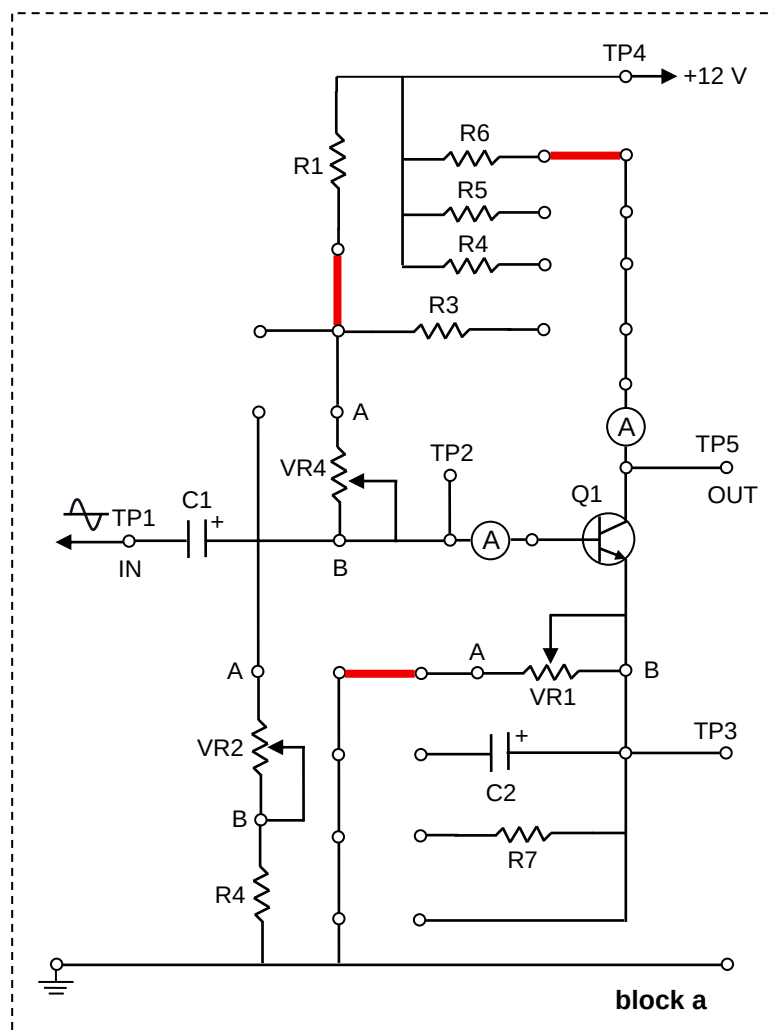
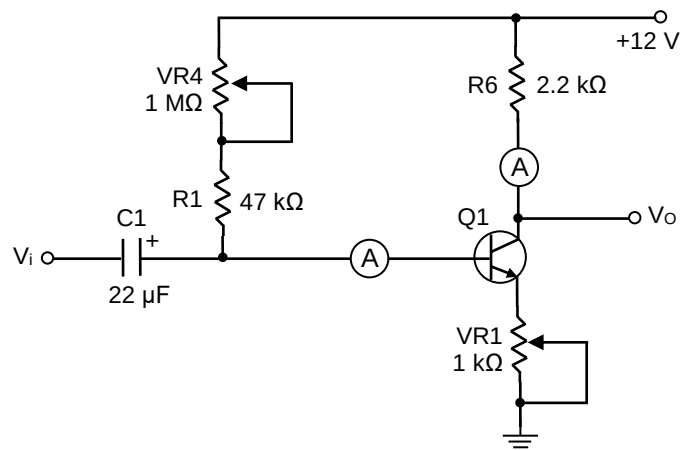


ÇIKIŞ (OUT)



B- Kendiliğinden Besleme Yükselteci-Deneyin Yapılışı:

1. KL-23003 modülünü, KL-200 ana ünitesi üzerine yerleştirin ve **a-bloğunun** konumunu belirleyin.
2. Şekilde gösterildiği gibi kısa devre klipsleri kullanarak eşdeğer devreyi kurun.
3. +12 V pozitif güç kaynağını $V +$ terminaline uygulayın. I_B ve I_C 'yi ölçmek için multimetreleri şekilde gösterildiği gibi bağlayın.
4. VR4 (1 M Ω) potansiyometresini $I_B = 0$ A olacak şekilde ayarlayın ve I_C akımı gözlemleyin.
5. VR4 (1 M Ω) potansiyometresini I_C maksimum değeri olan $I_{C(doy)}$ 'a ulaşacak şekilde ayarlayın ve I_B akımı gözlemleyin.
6. $I_C = I_{C(doy)}$, yani doyuma ulaştığında, I_B artacak şekilde VR4 (1 M Ω) potansiyometresini ayarlayın ve $I_{C(doy)}$ değerinin buna karşılık artıp artmadığını gözlemleyin.
7. V_{BE} ve V_{CE} 'yi ölçmek için multimetreleri şekilde gösterildiği gibi bağlayın.
8. VR4 (1 M Ω) potansiyometresini $V_{CE} = V_{CC}/2$ olacak şekilde ayarlayın ve V_{BE} ve V_{CE} değerlerini gözlemleyip Tablo 9.2'ye kaydedin.
9. Fonksiyon üreticini giriş terminaline (IN) bağlayın ve osiloskobu (AC konumu) çıkış terminaline (OUT) bağlayın. Daha sonra fonksiyon üreticini, osiloskopta 1 kHz sinüs dalgasının maksimum bozulmamış dalga biçimi görüntülenecek şekilde ayarlayın ve kaydedin.
10. Çıkış terminalinde maksimum bozulmamış dalga biçimi elde edildiğinde, giriş sinyalini ölçmek için osiloskop kullanın ve kaydedin.
11. Giriş sinyalini değiştirmeden bırakın ve VR4 (1M Ω) potansiyometresini ayarlayın; ardından çıkış dalga biçiminin bozulup bozulmadığını gözlemleyin.



Tablo 9.2

I_C	I_B	β	V_{CE}	V_{BE}	$A_V = \frac{V_{o(p-p)}}{V_{i(p-p)}}$	Giriş/Çıkış arasındaki faz farkı

GİRİŞ (IN)



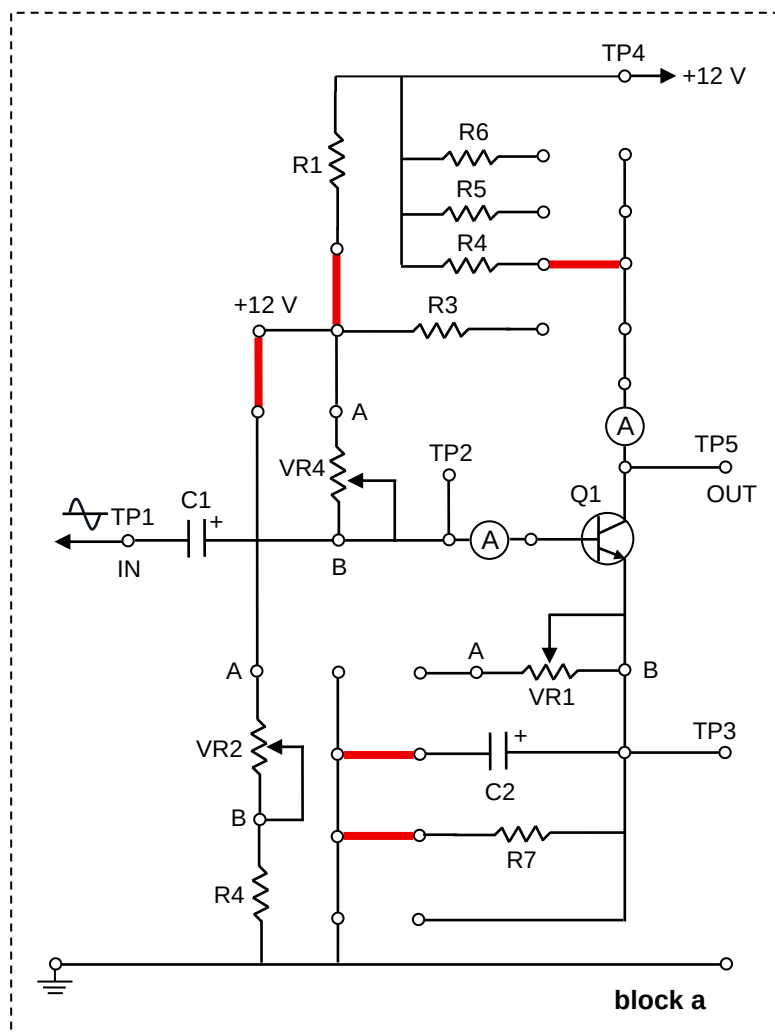
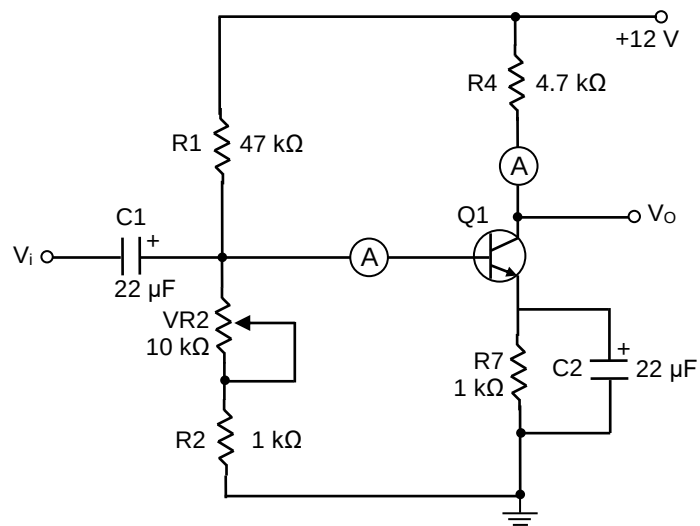
ÇIKIŞ (OUT)



DENEY 10: Bipolar Eklem Transistörlü Yükselteç Devreleri-2

A- Beslemeden Bağımsız β Yükselteci-Deneyin Yapılışı:

1. KL-23003 modülünü, KL-200 ana ünitesi üzerine yerleştirin ve **a-bloğunun** konumunu belirleyin.
2. Şekilde gösterildiği gibi kısa devre klipsleri kullanarak eşdeğer devreyi kurun.
3. +12 V pozitif güç kaynağını $V +$ terminaline uygulayın. I_B ve I_C 'yi ölçmek için multimetreleri şekilde gösterildiği gibi bağlayın.
4. VR4 (1 M Ω) potansiyometresini $I_B = 0$ A olacak şekilde ayarlayın ve I_C akımı gözlemleyin.
5. VR4 (1 M Ω) potansiyometresini I_C maksimum değeri olan $I_{C(doy)}$ 'a ulaşacak şekilde ayarlayın ve I_B akımı gözlemleyin.
6. $I_C = I_{C(doy)}$, yani doyuma ulaştığında, I_B artacak şekilde VR4 (1 M Ω) potansiyometresini ayarlayın ve $I_{C(doy)}$ değerinin buna karşılık artıp artmadığını gözlemleyin.
7. V_{BE} ve V_{CE} 'yi ölçmek için multimetreleri şekilde gösterildiği gibi bağlayın.
8. VR4 (1 M Ω) potansiyometresini $V_{CE} = V_{CC}/2$ olacak şekilde ayarlayın ve V_{BE} ve V_{CE} değerlerini gözlemleyip kaydedin.
9. Fonksiyon üreticini giriş terminaline (IN) bağlayın ve osiloskopu (AC konumu) çıkış terminaline (OUT) bağlayın. Daha sonra fonksiyon üreticini, osiloskopta 1 kHz sinüs dalgasının maksimum bozulmamış dalga biçimi görüntülenecek şekilde ayarlayın ve kaydedin.
10. Çıkış terminalinde maksimum bozulmamış dalga biçimi elde edildiğinde, giriş sinyalini ölçmek için osiloskop kullanın ve kaydedin.
11. Giriş sinyalini değiştirmeden bırakın ve VR4 (1M Ω) potansiyometresini ayarlayın; ardından çıkış dalga biçiminin bozulup bozulmadığını gözlemleyin.



Tablo 10.1

I_C	I_B	β	V_{CE}	V_{BE}	$A_V = \frac{V_{o(p-p)}}{V_{i(p-p)}}$	Giriş/Çıkış arasındaki faz farkı

GİRİŞ (IN)

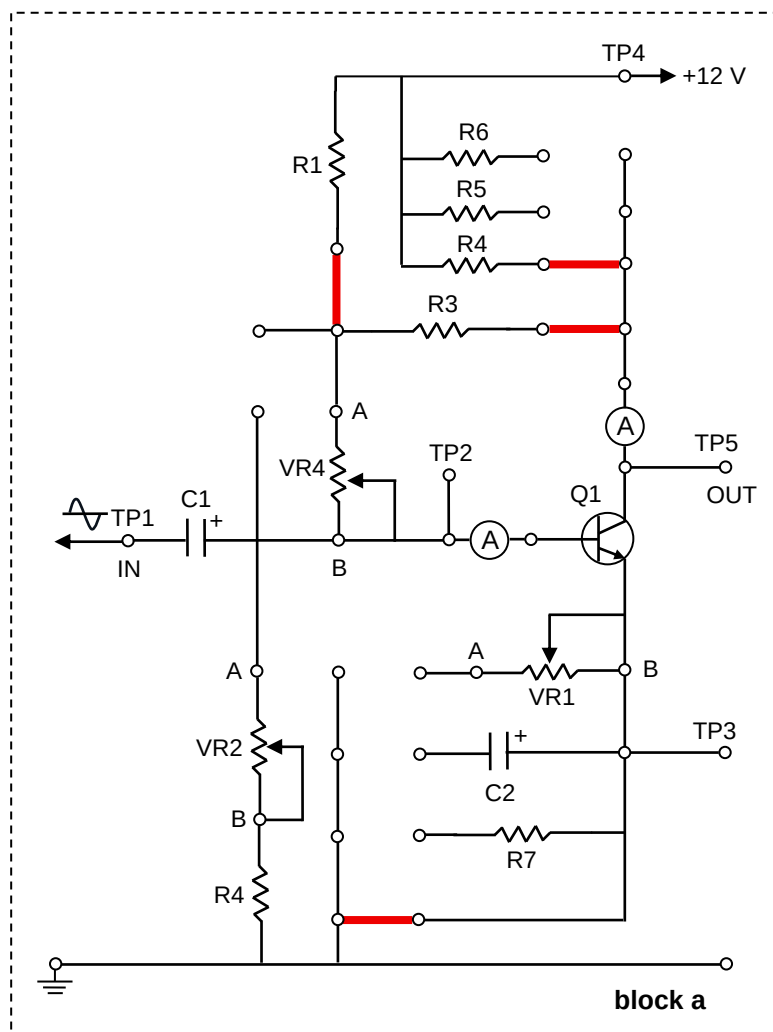
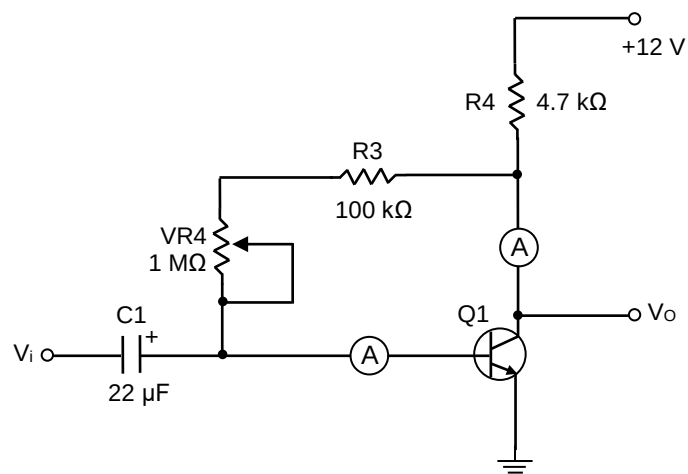


ÇIKIŞ (OUT)



B- Kolektör-Geribesleme Yükselteci-Deneyin Yapılışı:

1. KL-23003 modülünü, KL-200 ana ünitesi üzerine yerleştirin ve **a-bloğunun** konumunu belirleyin.
2. Şekilde gösterildiği gibi kısa devre klipsleri kullanarak eşdeğer devreyi kurun.
3. +12 V pozitif güç kaynağını $V +$ terminaline uygulayın. I_B ve I_C 'yi ölçmek için multimetreleri şekilde gösterildiği gibi bağlayın.
4. VR4 (1 M Ω) potansiyometresini $I_B = 0$ A olacak şekilde ayarlayın ve I_C akımı gözlemleyin.
5. VR4 (1 M Ω) potansiyometresini I_C maksimum değeri olan $I_{C(doy)}$ 'a ulaşacak şekilde ayarlayın ve I_B akımı gözlemleyin.
6. $I_C = I_{C(doy)}$, yani doyuma ulaştığında, I_B artacak şekilde VR4 (1 M Ω) potansiyometresini ayarlayın ve $I_{C(doy)}$ değerinin buna karşılık artıp artmadığını gözlemleyin.
7. V_{BE} ve V_{CE} 'yi ölçmek için multimetreleri şekilde gösterildiği gibi bağlayın.
8. VR4 (1 M Ω) potansiyometresini $V_{CE} = V_{CC}/2$ olacak şekilde ayarlayın ve V_{BE} ve V_{CE} değerlerini gözlemleyip kaydedin.
9. Fonksiyon üreticini giriş terminaline (IN) bağlayın ve osiloskobu (AC konumu) çıkış terminaline (OUT) bağlayın. Daha sonra fonksiyon üreticini, osiloskopta 1 kHz sinüs dalgasının maksimum bozulmamış dalga biçimi görüntülenecek şekilde ayarlayın ve kaydedin.
10. Çıkış terminalinde maksimum bozulmamış dalga biçimi elde edildiğinde, giriş sinyalini ölçmek için osiloskop kullanın ve kaydedin.
11. Giriş sinyalini değiştirmeden bırakın ve VR4 (1M Ω) potansiyometresini ayarlayın; ardından çıkış dalga biçiminin bozulup bozulmadığını gözlemleyin.



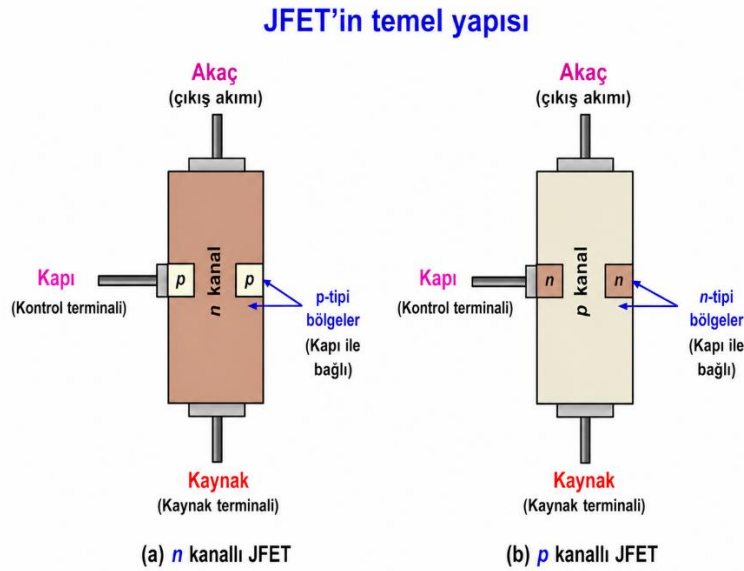
Tablo 10.2	I_C	I_B	β	V_{CE}	V_{BE}	$A_V = \frac{V_{o(p-p)}}{V_{i(p-p)}}$	Giriş/Çıkış arasındaki faz farkı
GİRİŞ (IN)							
ÇIKIŞ (OUT)							

DENEY 11: Alan Etkili Transistörlerin (FET) Karakteristikleri

Genel Bilgiler

Alan etkili transistörler (FET-Field Effect Transistor), uygulama alanları bakımından BJT transistörlerin kullanım alanları ile örtüşen 3-terminalli bir elektronik ayardır. FET'lerde yapısına göre farklı isimlerle adlandırılmaktadır. Örneğin, Eklem Alan Etkili Transistör (JFET), Metal-Oksit Yarı İletken Alan Etkili Transistör (MOSFET), Metal-Yarı İletken Alan Etkili Transistör (MESFET) v.b. Yapılarına göre bunlarda genel olarak n-kanallı ve p-kanallı şeklinde iki kategoriye ayrılır.

Temel Yapısı: Şekil 11.1(a), n-kanallı bir JFET'in temel yapısını göstermektedir. 3-terminalli bu elektronik aygıtın üst terminali akaç (drain), alt terminali ise kaynak (source) olarak adlandırılır. n-tipi malzemenin içine iki adet p-tipi bölge difüze edilerek bir kanal oluşturulur ve bu iki p-tipi bölge kapı (gate) olarak adlandırılan terminale bağlanır. Şekilde kapı terminali yalnızca bir p bölgesine bağlı gibi gösterilse de, bu iki p bölgesi içeride birbirine bağlıdır. Şekil 11.1(b)'de ise p-kanallı bir JFET gösterilmektedir.



Şekil 11.1: İki tip JFET'in temel yapısının şematik gösterimi.

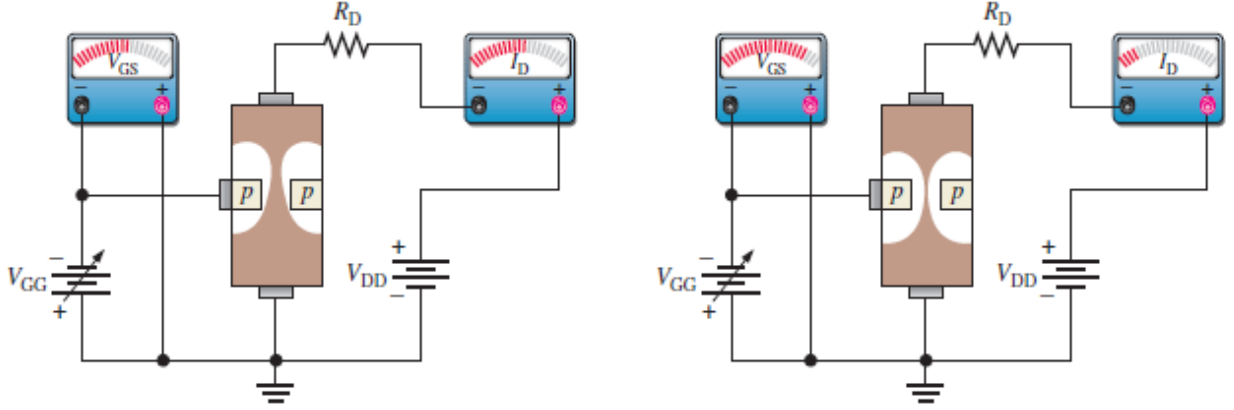
Temel Çalışma Prensipleri: JFET'in çalışma prensibini açıklamak için Şekil 11.2'de n-kanallı bir aygıtta uygulanan DC besleme voltajları gösterilmektedir.

- V_{DD} , akaç-kaynak voltajını sağlar ve akımın akaçtan kaynağa akmasını sağlar.
- V_{GG} , kapı ile kaynak arasındaki ters besleme voltajını ayarlar.

JFET her zaman kapı-kaynak pn eklemi ters beslemeli olacak şekilde çalıştırılır. Kapı-kaynak eklemesinin ters beslenmesi, pn eklemi boyunca bir tüketim bölgesi oluşturur. Bu bölge kanalın içine doğru genişler ve kanal genişliğini daraltarak direnci artırır. Kanal genişliği ve dolayısıyla kanal

direnci, kapı-kaynak voltajı V_{GG} değiştirilerek kontrol edilebilir. Böylece akaç akımı I_D kontrol edilmiş olur.

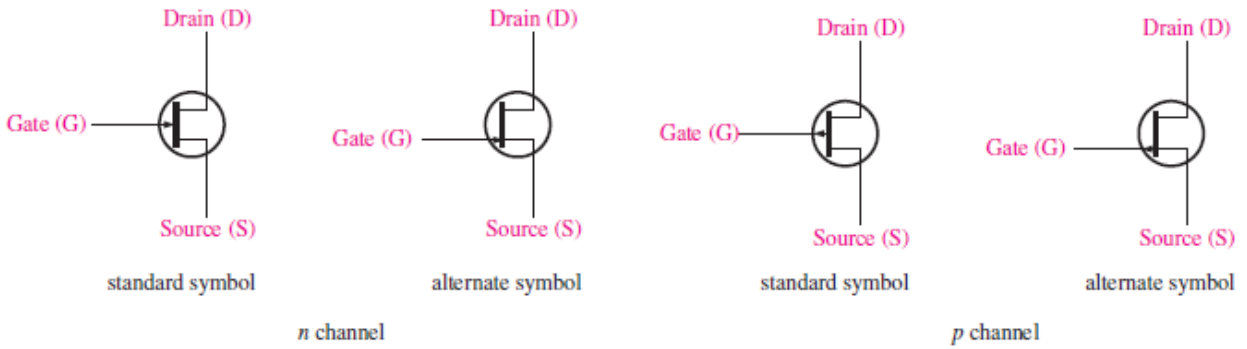
- Beyaz bölgeler, ters beslemenin oluşturduğu tüketim bölgesini temsil eder.
- Bu bölge kanalın akaç tarafında daha geniştir çünkü kapı-akaç arasındaki ters besleme voltajı, kapı-kaynak arasındakinden daha büyüktür.



Şekil 11.2: $V_{GS} = V_{GG}$ nin kanal genişliği, direnç ve akaç akımı üzerindeki etkileri **(a)** İletkenlik için beslemeli JFET

(b) Daha yüksek V_{GG} , kanalı (beyaz alanlar arasında) daraltır, bu da kanalın direncini artırır ve I_D 'yi azaltır.

JFET Sembolleri: Hem n-kanallı hem de p-kanallı JFET'lerin şematik sembolleri Şekil 11.3'te gösterilmiştir. Kapı üzerindeki okun n-kanal için "içeri", p-kanal için ise "dışarı" yönünü gösterdiğine dikkat edin.



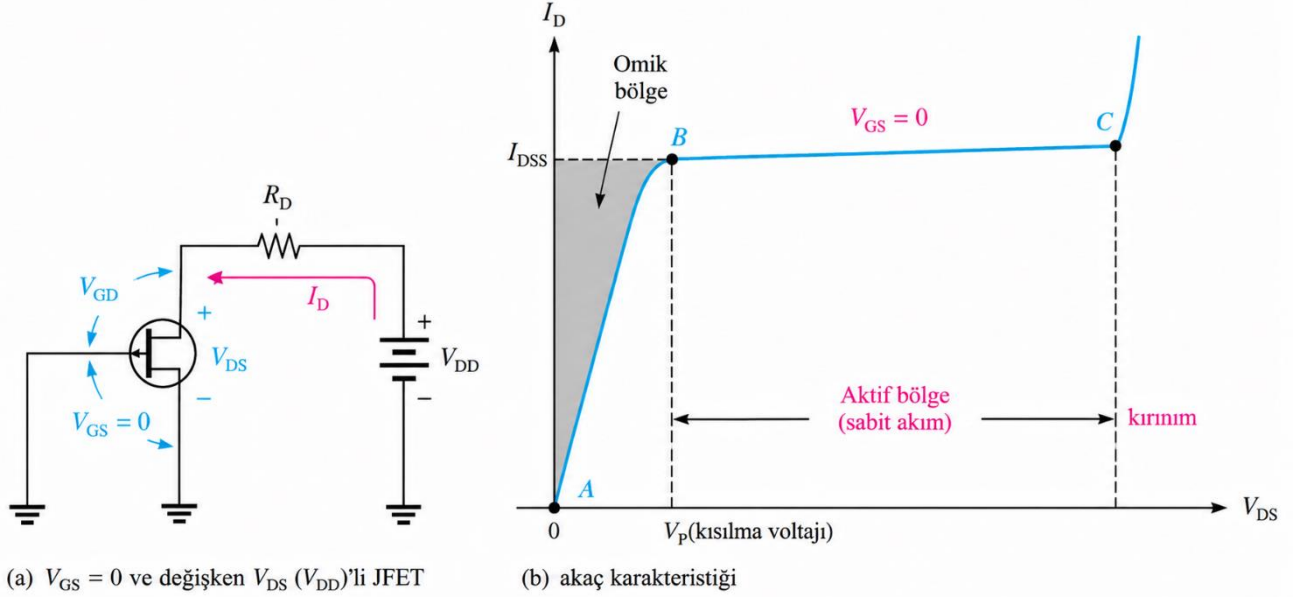
Şekil 11.3 :JFET şematik sembolleri.

JFET Özellikleri ve Parametreleri: JFET, voltaj kontrollü, sabit akımlı bir aygıt olarak çalışır. JFET'in önemli parametreleri arasında kısılma ve kesme voltajlarının yanı sıra transfer karakteristikleri başta gelir.

Akaç Akımı Karakteristik Eğrisi: Kapı-Kaynak voltajının sıfır olduğu durumu düşünelim ($V_{GS} = 0V$). Bu durum, Şekil 11.4(a)'de gösterildiği gibi kapı ile kaynak kısa devre edilip her

ikisinin de toprağa bağlanmasıyla elde edilir. V_{DD} (dolayısıyla V_{DS}) 0 V'tan başlayıp artırıldığında, I_D akımı da orantılı olarak artar. Bu durum Şekil 11.4(b)'de A ve B noktaları arasında gösterilmiştir. Bu bölgede kanal direnci yaklaşık sabittir çünkü tüketim bölgesi, önemli bir etki oluşturacak kadar büyük değildir. Bu bölgeye ohmik bölge denir çünkü V_{DS} ve I_D , Ohm kanununa göre ilişkilidir.

Şekil 11.4(b)'de B noktasında eğri yataylaşır ve aktif bölgeye girer; burada I_D yaklaşık sabit hale gelir. V_{DS} , B noktasından C noktasına doğru artarken kapı-akaç arasındaki ters besleme voltajı (V_{GD}), tüketim bölgesinin genişliğini artırır ve bu durum V_{DS} 'deki artışı dengeleyerek I_D 'nin yaklaşık sabit kalmasını sağlar.



Şekil 11.4: $V_{GS} = 0$ için bir JFET'in akaç karakteristik eğrisi.

Kısılma Voltajı: $V_{GS} = 0$ V iken, I_D 'nin yaklaşık sabit hale geldiği V_{DS} değerine kısılma voltajı (V_P) denir. Bu durum Şekil 11.4(b)'deki B noktasında görülmektedir. Belirli bir JFET için V_P sabit bir değerdir. Görüldüğü gibi, kısılma voltajından sonra V_{DS} 'nin artırılması akaç akımını neredeyse sabit tutar; bu durum C noktasına kadar devam eder. Bu akaç akımı değerine I_{DSS} denir.

I_{DSS} : kapı kısa devre yapıldığındaki akaç-kaynak akımıdır.

I_{DSS} , belirli bir JFET'in dış devreden bağımsız olarak üretebileceği maksimum akaç akımıdır.

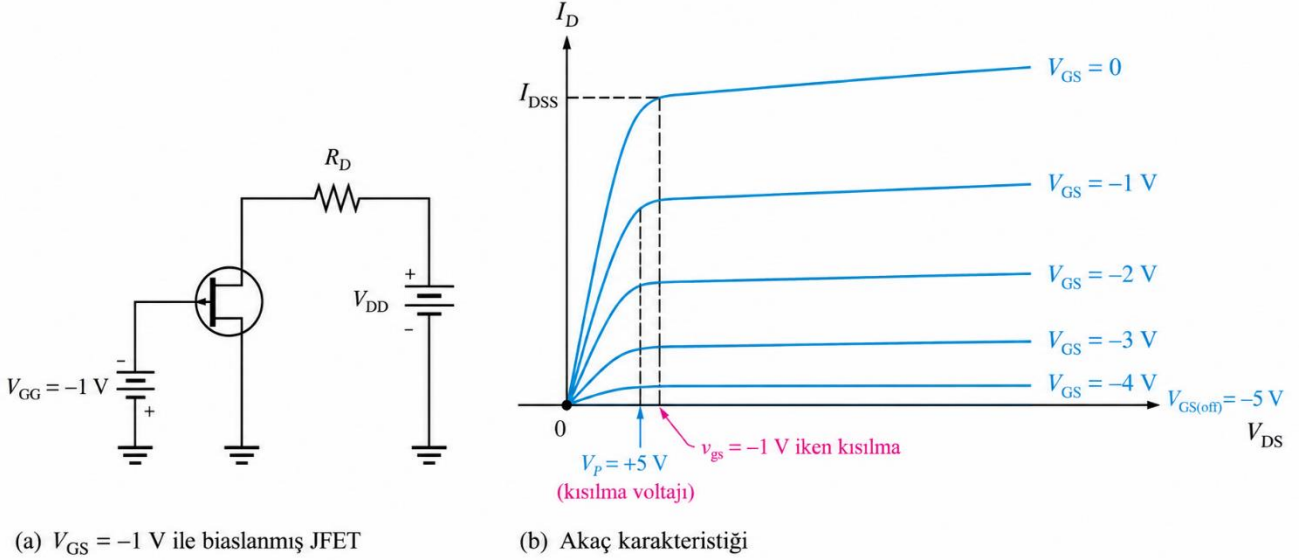
Kırınım: Şekil 11.4(b)'de gösterildiği gibi kırınım, C noktasında meydana gelir. Bu noktadan sonra V_{DS} 'deki küçük bir artış bile I_D 'nin çok hızlı yükselmesine neden olur. Kırınım aygıtta geri dönüşü olmayan hasarlara yol açabileceğinden, JFET'ler her zaman kırınım bölgesinin altında ve aktif bölgede (grafikte B ile C noktaları arasında kalan sabit akım bölgesi) çalıştırılır.

V_{GS} , I_D 'yi Kontrol Eder: Şimdi kapı ile kaynak arasına ters besleme voltajı (V_{GG}) bağlayalım. V_{GS} , V_{GG} ayarlanarak giderek daha negatif değerlere getirildiğinde, Şekil 11.5(b)'de gösterilen bir akaç akım karakteristik eğrileri ailesi oluşur. Dikkat edilirse:

- V_{GS} 'nin negatifliği arttıkça,

- kanal daralır,
- dolayısıyla I_D azalır.

Ayrıca her yeni V_{GS} değeri için JFET, kısılma durumuna daha küçük V_{DS} değerlerinde ulaşır. Buradaki “kısılma” ifadesi ile “kısılma voltajı (V_P)” aynı kavram değildir. Sonuç olarak akaç akımının I_D kapı-kaynak arasına uygulanan ters besleme voltajı tarafından kontrol edilir.



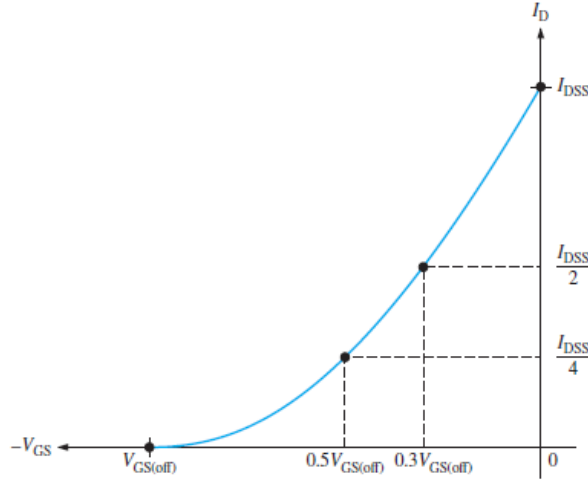
Şekil 11.5: V_{GS} daha negatif değerlere oldukça, kısılma daha düşük bir V_{DS} 'de meydana gelir.

Kesim Voltajı: I_D 'yi yaklaşık sıfır yapan V_{GS} değerine kesim voltajı $V_{GS(kesim)}$ denir. JFET, $V_{GS} = 0$ V ile $V_{GS(kesim)}$ aralığında çalıştırılmalıdır. Bu aralıkta I_D , maksimum değer olan I_{DSS} ile yaklaşık sıfır arasında değişir. Görüldüğü gibi n-kanallı bir JFET'te V_{GS} ne kadar negatif olursa aktif bölgedeki I_D o kadar küçülür. V_{GS} yeterince büyük negatif bir değere ulaştığında tüketim bölgesi genişler ve kanalı tamamen kapatır.

JFET Evrensel Transfer Karakteristiği: Sıfır ile $V_{GS(kesim)}$ arasındaki V_{GS} değerlerinin akaç akımının kontrol ettiğini öğrendiniz. V_P n-kanallı bir JFET için negatiftir, p-kanallı bir JFET için ise pozitifdir. V_{GS} , I_D 'yi kontrol ettiğinden dolayı bu iki büyüklük arasındaki ilişki oldukça önemlidir. Şekil 11.6, V_{GS} ile I_D arasındaki ilişkiyi grafiksel olarak gösteren genel bir transfer karakteristik eğrisidir. JFET transfer karakteristik eğrisi şu şekilde ifade edilir:

$$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right)^2$$

Bu denklem kullanılarak, eğer V_P ve I_{DSS} biliniyorsa, herhangi bir V_{GS} değeri için I_D hesaplanabilir. Bu büyüklükler genellikle belirli bir JFET'e ait veri sayfasında (datasheet) bulunur.



Şekil 11.6: JFET evrensel transfer karakteristik eğrisi (n-kanallı).

MOSFET: Metal Oksit Yarıiletken Alan Etkili Transistör (MOSFET), alan etkili transistörlerin (FET) bir diğer kategorisidir. JFET'ten farklı olarak MOSFET, pn eklem yapısına sahip değildir. Bunun yerine, MOSFET'in kapısı (gate), kanal (channel) bölgesinden bir silisyum dioksit (SiO_2) tabakası ile yalıtılmıştır.

MOSFET'lerin iki temel tipi vardır:

- Tüketimli veya kanal ayarlamalı (Depletion - D) MOSFET
- Zenginleştirmeli veya kanal oluşturmali (Enhancement - E) MOSFET

Bu iki tip arasında, zenginleştirmeli MOSFET (Enhancement MOSFET) daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Günümüzde kapı malzemesi olarak metal yerine polikristal silisyum (polycrystalline silicon) kullanıldığından, bu elemanlar bazen IGFET (Insulated-Gate Field-Effect Transistor – Yalıtılmış Kapılı Alan Etkili Transistör) olarak da adlandırılır.

MOSFET'in Çalışması: Daha önce incelediğimiz JFET'ler gibi, MOSFET'ler de akaç akımını kontrol etmek için nispeten düşük bir kapı voltajı kullanırlar. JFET ile MOSFET arasındaki temel fark, MOSFET'in yalıtılmış kapıya sahip olmasıdır. JFET'te kapı voltajı yalnızca kanalı daraltabilirken, D-MOSFET'te kapı voltajı hem kanalı daraltabilir hem de iletkenliği artırabilir.

MOSFET'lerin çoğu genel olarak iki gruba ayrılır:

- Düzlemsel (Planar) MOSFET'ler
- Hendek (Trench) MOSFET'ler

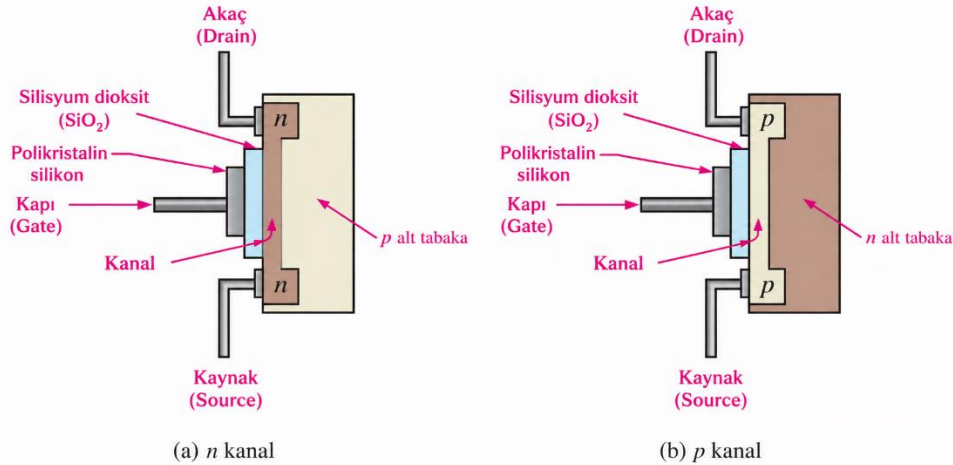
İlk üretilen MOSFET'lerin tamamı düzlemsel tipteydi. Bu yapıda, kaynak ve akaç bölgeleri gövde içerisine difüze edilerek aynı düzlem üzerinde oluşturulur. Daha sonra yüzeyde yalıtkan bir oksit tabakası büyütülür ve terminaller için metal bağlantılar eklenir. Düzlemsel MOSFET'ler günümüzde

hâlâ lineer uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Hendek MOSFET'lerde ise yüzeye bir hendek açılır; ardından yalıtkan tabaka ve metal katman bu hendeğin içine yerleştirilir. Bu yapının avantajları şunlardır:

- Daha düşük iletim direnci ($R_{DS(on)}$)
- Daha yüksek akım taşıma kapasitesi

Bu nedenle hendek MOSFET'ler, güç elektroniği uygulamalarında kullanıma daha uygundur.

Tüketim veya Kanal Ayarlamalı Tipi MOSFET (D-MOSFET): Şekil 11.7 D-MOSFET'in temel yapısını göstermektedir. Akaç ve kaynak bölgeleri, alt tabaka malzemesi içine difüze edilir. D-MOSFET'te kaynak ve akaç arasında önceden oluşturulmuş bir kanal bulunur. Kapı, kanaldan SiO_2 yalıtkan tabakası ile ayrılmıştır. Şekilde hem n-kanallı hem de p-kanallı D-MOSFET yapıları gösterilmektedir. Burada bu transistörün temel çalışma prensibini açıklamak için n-kanallı D-MOSFET ele alınacaktır. p-kanallı D-MOSFET'in çalışması da aynıdır; ancak kullanılan gerilimlerin ve akımların kutupları, n-kanallı MOSFET'tekilerin tersidir.



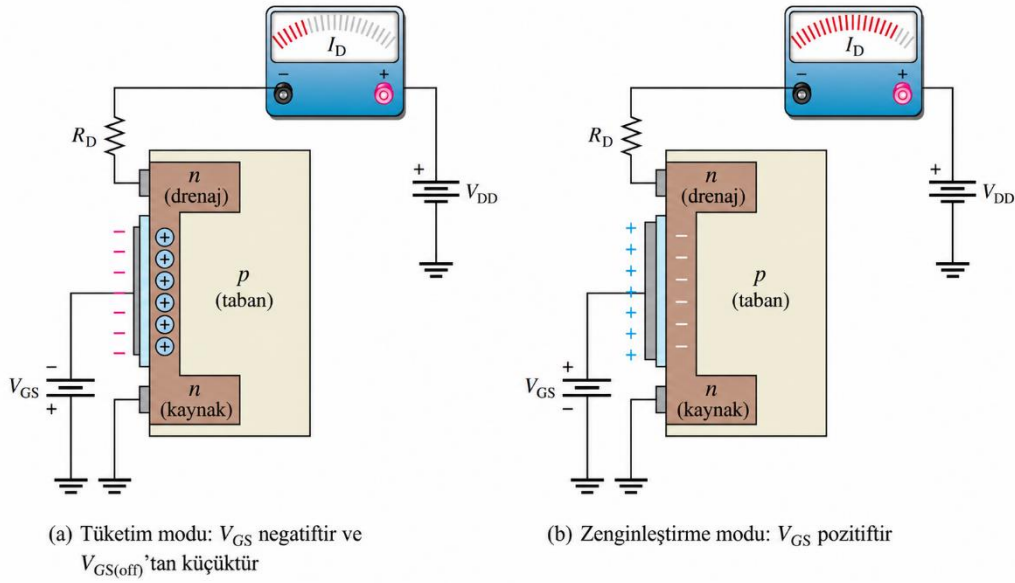
Şekil 11.7: D-MOSFET'lerin temel yapısının gösterimi.

D-MOSFET, tükenme modu veya geliştirme modu olmak üzere iki modda çalıştırılabilir ve bazen tükenme/geliştirme MOSFET'i olarak da adlandırılır. Kapı, kanaldan yalıtılmış olduğundan, pozitif veya negatif bir kapı voltajı uygulanabilir. N-kanallı MOSFET, negatif bir kapı-kaynak voltajı uygulandığında tükenme modunda, pozitif bir kapı-kaynak voltajı uygulandığında ise geliştirme modunda çalışır. Bu cihazlar genellikle tükenme modunda çalıştırılır.

Tükenme Modu: Kapı paralel plakalı bir kondansatörün bir plakası, kanalı ise diğer plakası olarak düşünülebilir. Silikon dioksit yalıtım tabakası dielektriktir. Negatif bir kapı voltajı ile, kapıdaki negatif yükler iletim elektronlarını kanaldan uzaklaştırır ve yerlerine pozitif iyonlar bırakır. Böylece, n-kanalı elektronlarının bir kısmından yoksun kalır ve böylece kanal iletkenliği azalır. Kapıdaki negatif voltaj ne kadar büyükse, n-kanalı elektronlarının tükenmesi de o kadar büyük olur. Yeterince negatif bir kapı-kaynak voltajında, $V_{GS(off)}$, kanal tamamen tükenir ve akaç akımı sıfır olur. Bu

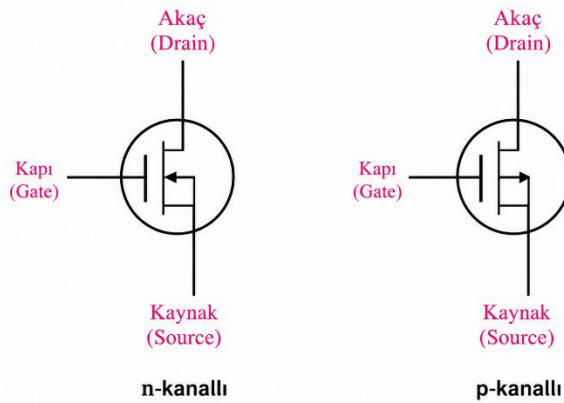
tükenme modu Şekil 11.8(a)'da gösterilmiştir. n-kanallı JFET gibi, n-kanallı D-MOSFET de $V_{GS(off)}$ ile sıfır arasındaki kapı-kaynak voltajları için akaç akımı iletir. Ek olarak, D-MOSFET, üzerindeki $V_{GS} > 0$ değerleri için de iletim yapar.

Geliştirme Modu: Pozitif bir kapı voltajı ile, daha fazla iletim elektronu kanala çekilir ve böylece Şekil 11.8(b)'de gösterildiği gibi kanal iletkenliği artar (güçlenir).



Şekil 11.8: n-kanallı D-MOSFET'in çalışması.

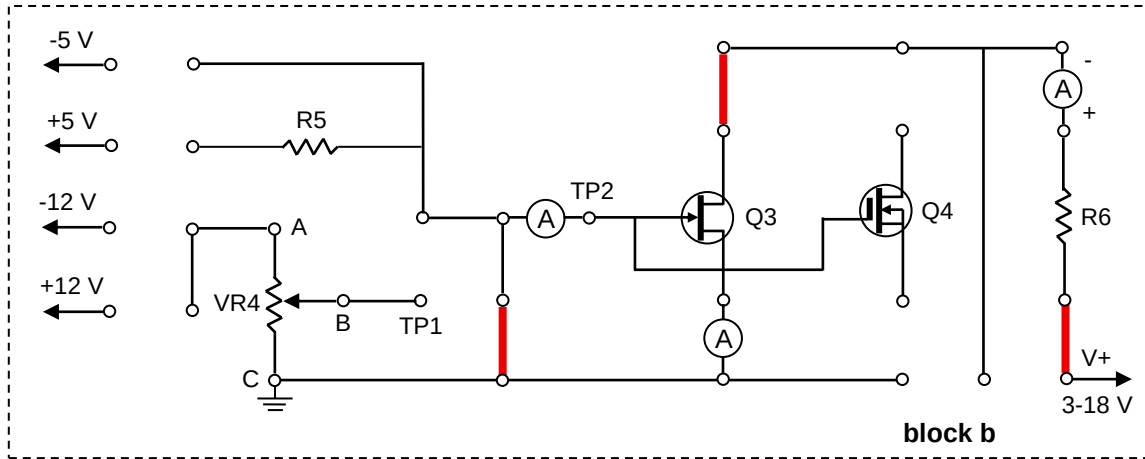
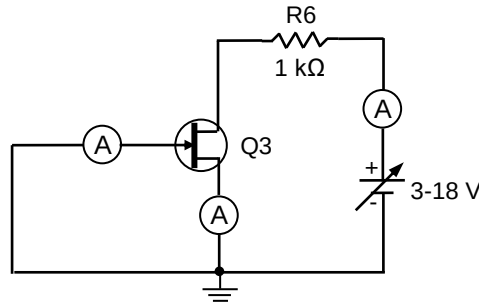
D-MOSFET Sembolleri: Hem n-kanallı hem de p-kanallı tükenme MOSFET'lerinin şematik sembolleri Şekil 11.9'de gösterilmiştir. Okla gösterilen alt tabaka, normalde (ancak her zaman değil) kaynağa dahili olarak bağlanır. Bazen ayrı bir alt tabaka bağlantısı da bulunur.



Şekil 11.9: D-MOSFET şematik sembolleri.

A- JFET Karakteristiği-Deneyin Yapılışı:

1. KL-23004 modülünü, KL-200 ana ünitesi üzerine yerleştirin ve **b-bloğunun** konumunu belirleyin.
2. Şekilde gösterildiği gibi kısa devre klipslerini ve ölçüm aletlerini (multimetreler) kullanarak eşdeğer devreyi kurun.
3. G kapı terminalini toprağa bağlayın. V_{DD} voltajını Tablo 11.1’de verildiği gibi 3-18 V arasında ayarlayın ölçülen akım değerlerini tabloya kaydedin.



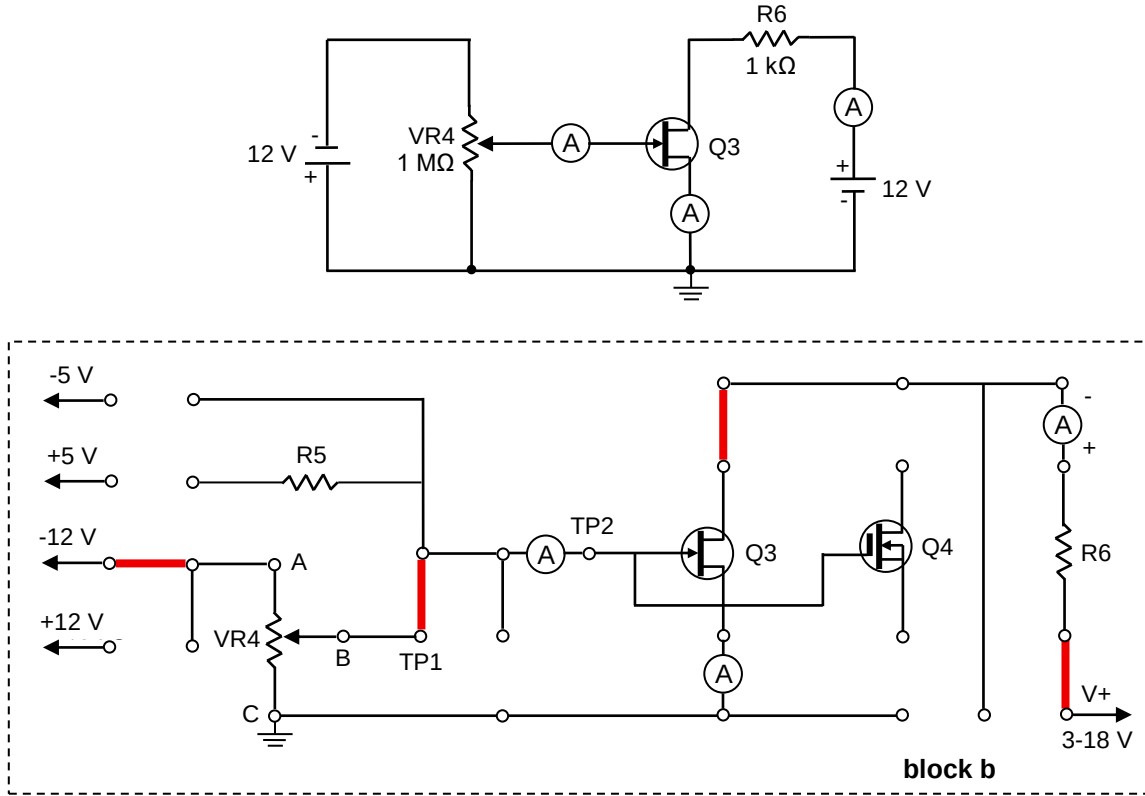
Tablo 11.1

V_{DD}	3V	4V	5V	7V	9V	12V	15V	18V
I_{DSS}								

$V_P(V_{BS(cutoff)})$ ’nin Ölçümü:

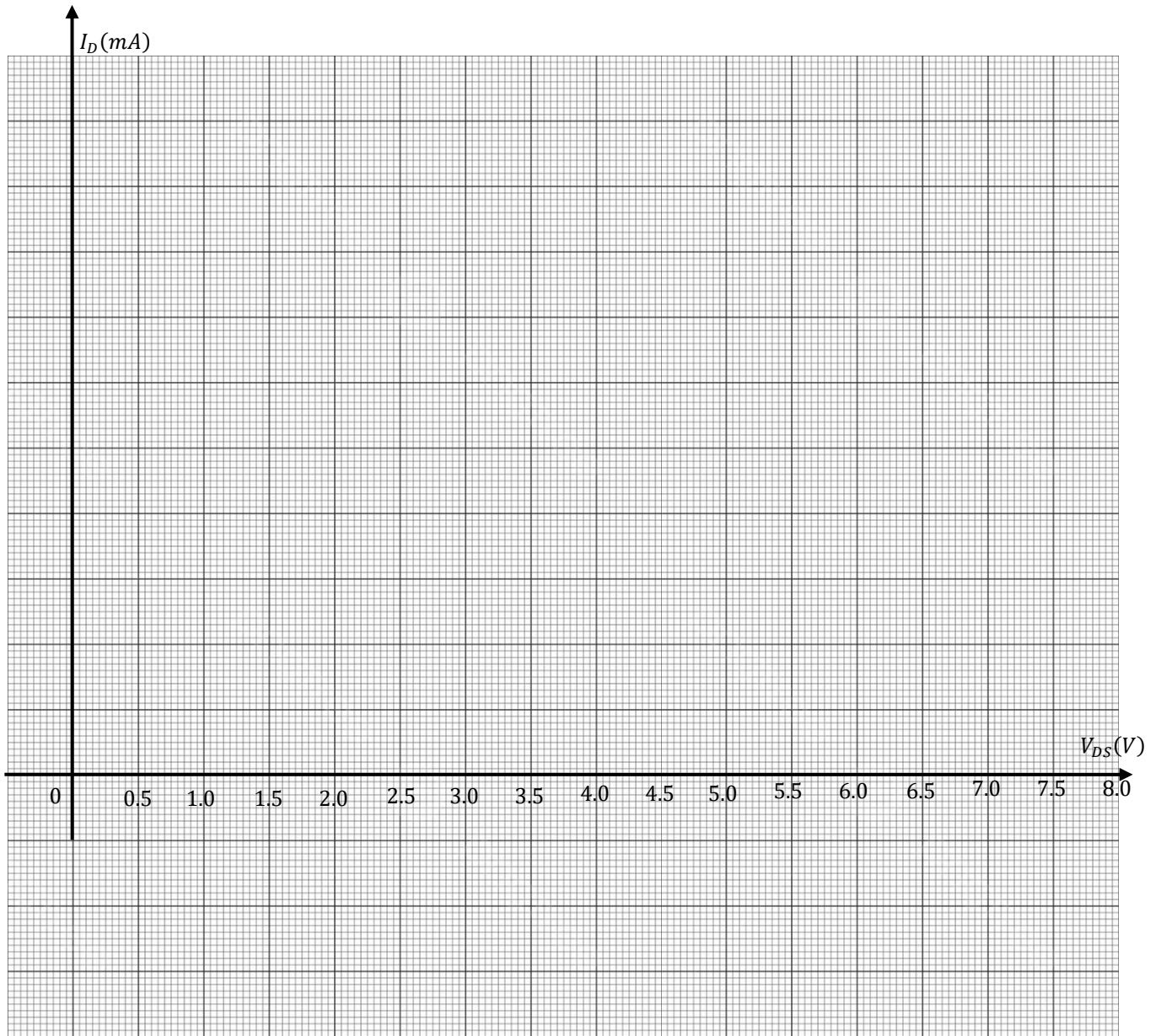
1. KL-23004 modülünü, KL-200 ana ünitesi üzerine yerleştirin ve **b-bloğunun** konumunu belirleyin.
2. Şekilde gösterildiği gibi kısa devre klipslerini ve multimetreleri kullanarak eşdeğer devreyi kurun.

3. -12 V 'u V_{GG} terminaline ve $+12\text{ V}$ 'u V_{DD} terminaline bağlayın.
4. VR4 ($1\text{ M}\Omega$) potansiyometresini $I_D = 0$ olacak şekilde ayarlayınız.
5. $I_D = 0$ iken bir voltmetre kullanarak $V_{GS(off)} = V_P$ voltajını ölçün ve Tablo 11.2'ye kaydedin.
6. VR4 ($1\text{ M}\Omega$) potansiyometresini $V_{GS} = 0$ ve $V_{DD} = 3 - 18\text{ V}$ arası olacak şekilde ayarlayınız ve I_D akımını ölçerek Tablo 11.2'ye kaydedin.



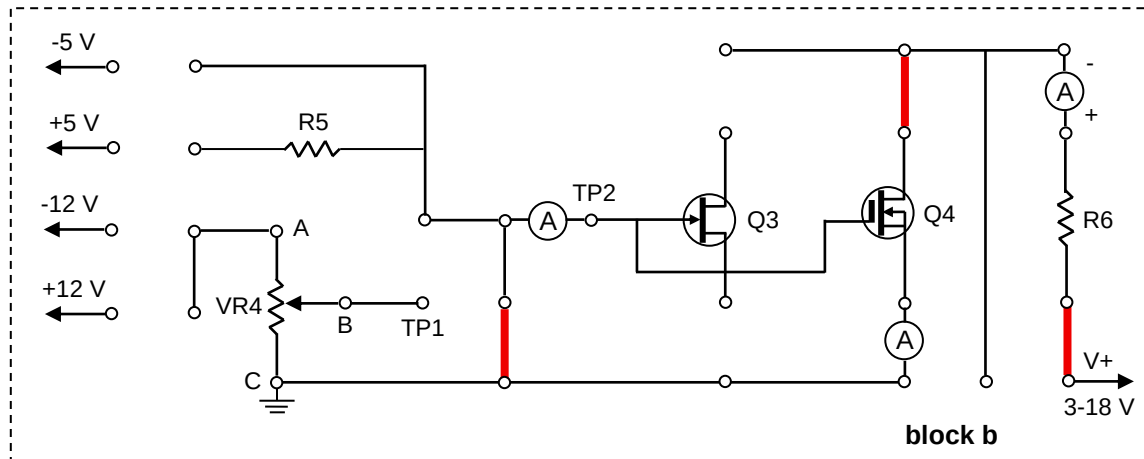
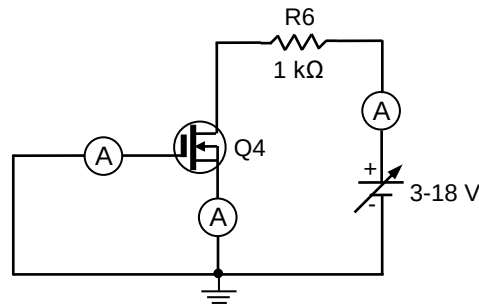
Tablo 11.2

$I_D = 0\text{ A}$				$V_{GS(off)} = V_P = \dots\dots\dots\text{ V}$				
$V_{GS(off)} = V_P = 0\text{ V}$								
V_{DD}	3V	4V	5V	7V	9V	12V	15V	18V
I_D								



B- D-MOSFET Karakteristiği-Deneyin Yapılışı:

1. KL-23004 modülünü, KL-200 ana ünitesi üzerine yerleştirin ve **b-bloğunun** konumunu belirleyin.
2. Şekilde gösterildiği gibi kısa devre klipslerini ve multimetreleri kullanarak eşdeğer devreyi kurun.
3. G kapı terminalini toprağa bağlayın. V_{DD} voltajını Tablo 11.3’de verildiği gibi 3-18 V arasında ayarlayın I_D akımını ölçün ve tabloya kaydedin.

**Tablo 11.3**

V_{DD}	3V	4V	5V	7V	9V	12V	15V	18V
I_{DSS}								

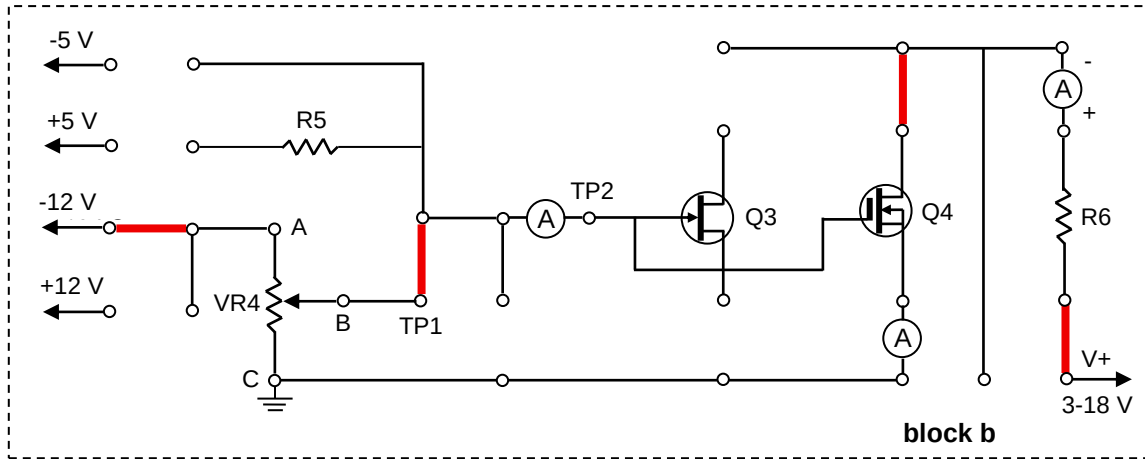
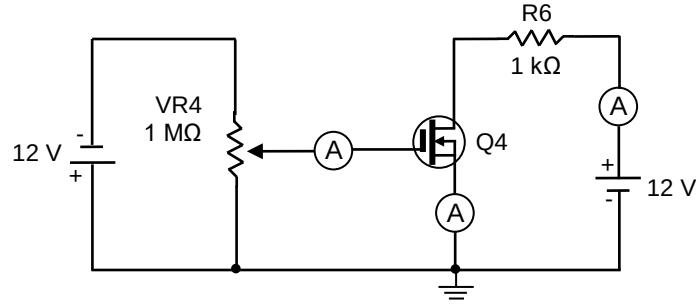
$V_P(V_{BS(cutoff)})$ 'nin Ölçümü:

1. KL-23004 modülünü, KL-200 ana ünitesi üzerine yerleştirin ve **b-bloğunun** konumunu belirleyin.
2. Şekilde gösterildiği gibi kısa devre klipslerini ve multimetreleri kullanarak eşdeğer devreyi kurun.
3. -12 V 'u V_{GG} terminaline ve $+12\text{ V}$ 'u V_{DD} terminaline bağlayın.

4. VR4 (1 M Ω) potansiyometresini $I_D = 0$ olacak şekilde ayarlayınız.

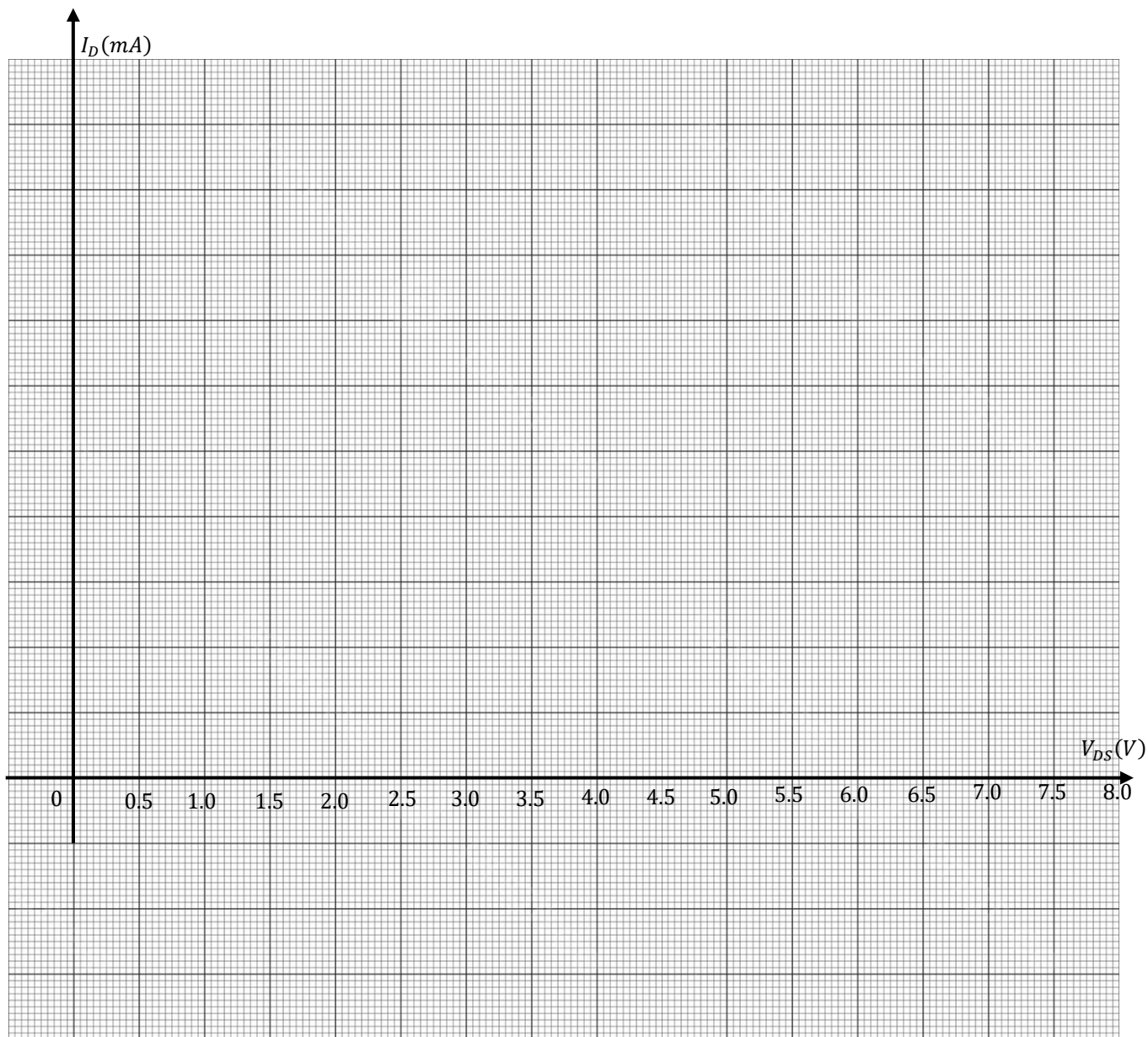
5. $I_D = 0$ iken bir voltmetre kullanarak $V_{GS(off)} = V_P$ voltajını ölçün ve Tablo 11.4'ye kaydedin.

6. VR4 (1 M Ω) potansiyometresini $V_{GS} = 0$ ve $V_{DD} = 3 - 18$ V arası olacak şekilde ayarlayınız ve I_D akımını ölçerek Tablo 11.2'ye kaydedin.



Tablo 11.4

$I_D = 0\text{ A}$				$V_{GS(off)} = V_P = \dots\dots\dots\text{ V}$				
$V_{GS(off)} = V_P = 0\text{ V}$								
V_{DD}	3V	4V	5V	7V	9V	12V	15V	18V
I_D								



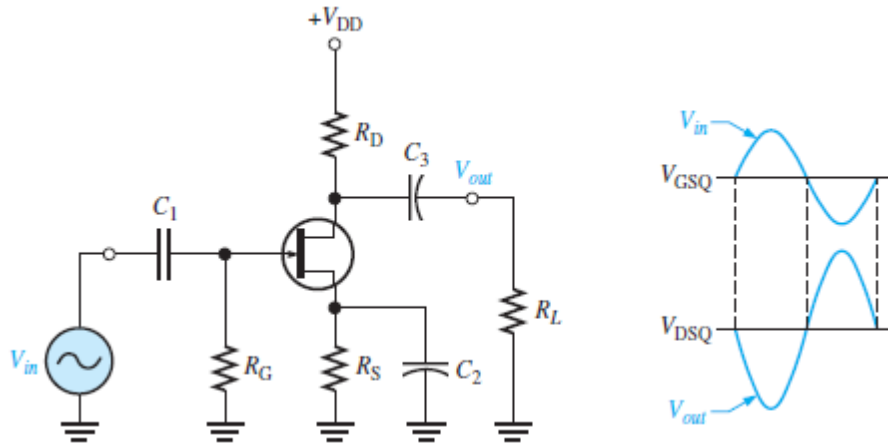
DENEY 12: Alan Etkili Transistörlü Yükselteç Devreleri-1

Genel Bilgiler

Yükselteç uygulamalarında kullanıldığında, FET'in BJT'ye kıyasla önemli bir avantajı vardır: FET'in giriş empedansı son derece yüksektir. Ancak dezavantajları arasında daha yüksek bozulma ve daha düşük kazanç bulunur. Hangi transistör tipinin daha uygun olduğu genellikle uygulamaya bağlıdır. Ortak-kaynaklı (CS) yükselteç, ortak-yayıcı (CE) BJT yükselteçlere karşılık gelir.

JFET Yükseltecinin Çalışması: Ortak-kaynaklı bir JFET yükselteç, AC giriş sinyalinin kapıya uygulandığı ve AC çıkış sinyalinin akaçtan alındığı bir yükselteçtir. Kaynak terminali hem giriş hem de çıkış sinyali için ortaktır. Ortak-kaynaklı bir yükselteçte kaynak direnci yoktur ya da kaynak direnci atlanmıştır; bu nedenle kaynak, AC toprak noktasına bağlıdır. Kendinden-beslemeli ortak-kaynaklı n-kanallı bir JFET yükselteci ve kapıya kapasitif olarak bağlanmış bir AC kaynak Şekil 12.1(a)'da gösterilmiştir. R_G direnci iki amaç için kullanılır:

- Kapıyı yaklaşık 0 V DC seviyesinde tutar (çünkü I_{GSS} son derece küçüktür).
- Büyük değeri sayesinde (genellikle birkaç megaohm), AC sinyal kaynağını yüklemesini engeller.



Şekil 12.1: JFET ortak-kaynaklı yükselteç ve voltaj dalga formu ilişkisi.

Besleme voltajı, R_S üzerindeki voltaj düşümünden elde edilir. Atlama kapasitörü olan C_2 , JFET'in kaynak ucunu AC toprakta tutar. Ortak-kaynaklı yükselteç, BJT karşılığı olan ortak-yayıcı yükselteçlere göre çok daha düşük kazançla sahiptir. Diğer taraftan, en büyük avantajı çok yüksek giriş empedansına sahip olmasıdır. Bu durum özellikle ölçüm ve cihaz uygulamalarında oldukça faydalıdır; çünkü bu alanlarda yüksek empedanslı kaynaklardan gelen düşük seviyeli sinyaller yaygındır.

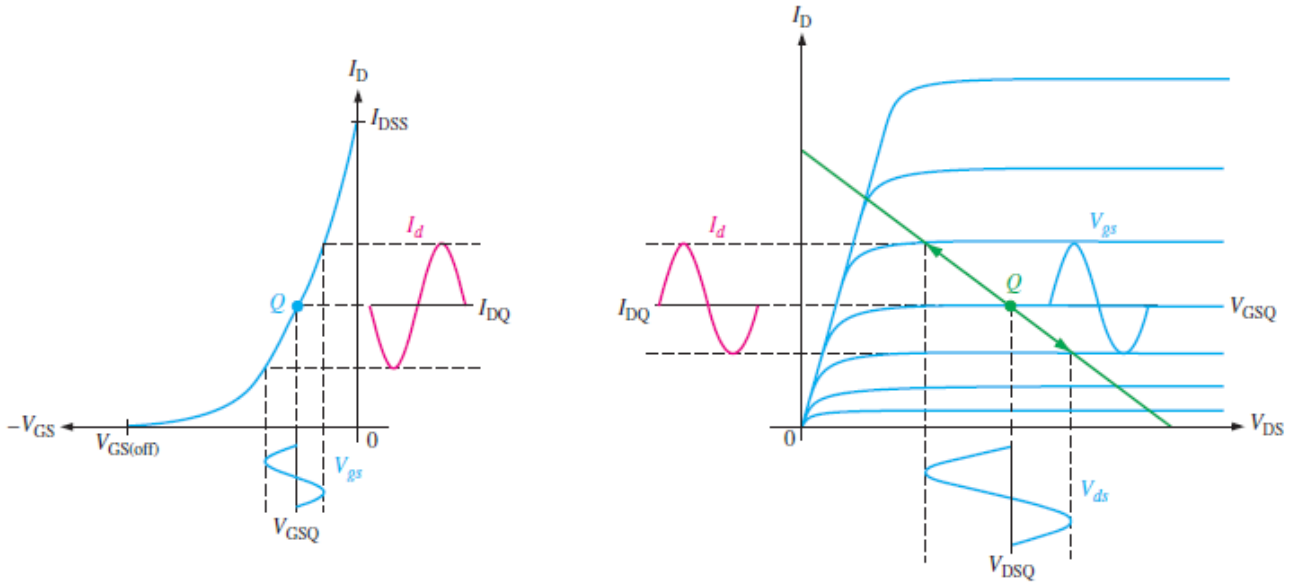
Giriş sinyal voltajı, kapı-kaynak voltajının (V_{GS}) çalışma noktası değeri (V_{GSQ}) etrafında yukarı ve aşağı salınmasına neden olur ve buna karşılık akaç akımında da bir salınım oluşur. Akaç akımı arttıkça, R_D direnci üzerindeki voltaj düşümü de artar; bu da akaç voltajının azalmasına yol açar.

Akaç akımı, kapı-kaynak voltajı ile aynı fazda olacak şekilde çalışma noktası değeri etrafında salınır. Akaç-kaynak voltajı (V_{DS}) ise çalışma noktası değeri (V_{DSQ}) etrafında salınır fakat kapı-kaynak voltajına göre 180° faz tersidir. Bu durum Şekil 12.1(b)'de gösterilmiştir.

Grafiksel Gösterim: Az önce açıklanan n-kanallı JFET'in çalışması, Şekil 12.2'de hem transfer karakteristik eğrisi hem de akaç karakteristik eğrisi üzerinde grafiksel olarak gösterilmiştir. Şekil 12.3(a), V_{GS} 'deki sinüzoidal değişimin I_D 'de nasıl bir sinüzoidal değişim oluşturduğunu göstermektedir. V_{GS} , çalışma noktası değerinden daha negatif bir değere doğru salındığında, I_D çalışma noktası değerine göre azalır. V_{GS} daha az negatif bir değere doğru salındığında ise I_D çalışma noktası değerine göre artar.

Şekil 12.3 (b), aynı çalışmayı akaç eğrileri üzerinden göstermektedir. Kapıdaki sinyal, akaç akımını yük çizgisi üzerindeki çalışma noktasının üstüne ve altına sürer; bu durum oklarla gösterilmiştir. Kapı voltajının tepe noktalarından I_D eksenine ve oradan aşağı doğru V_{DS} eksenine çizilen çizgiler, akaç akımı ile akaç-kaynak voltajındaki tepe-tepe değişimleri göstermektedir.

Transfer karakteristik eğrisi doğrusal olmadığı için çıkışta bir miktar bozulma oluşur. Bu bozulma, sinyalin yük çizgisinin sınırlı bir bölgesinde salınması durumunda azaltılabilir. Bu durum doğal olarak, devrenin çok katlı (multistage) bir yükseltecin yalnızca giriş katı olması halinde gerçekleşir.



Şekil 12.2: JFET karakteristik eğrileri. **(a)** Sinyal çalışmasını gösteren JFET (n-kanallı) transfer karakteristik eğrisi **(b)** Sinyal çalışmasını gösteren JFET (n-kanallı) akaç akımı eğrileri

AC Eşdeğer Devre (AC Equivalent Circuit)

Şekil 12.1'teki yükseltecinin sinyal çalışmasını analiz etmek için aşağıdaki şekilde bir AC eşdeğer devre oluşturulur:

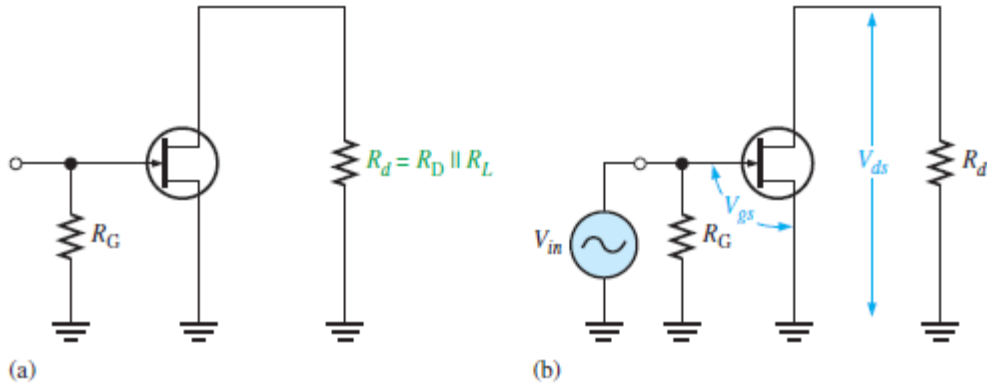
- Kapasitörler, sinyal frekansında $X_C \approx 0$ olduğu varsayımıyla kısa devre kabul edilir.
- DC kaynak, iç direncinin sıfır olduğu varsayılarak toprağa bağlanmış kabul edilir.

V_{DD} terminali AC açısından 0 V potansiyeldedir ve bu nedenle AC toprak gibi davranır.

AC eşdeğer devre Şekil 12.3(a)'da gösterilmiştir. R_D 'nin $+V_{DD}$ tarafının ve kaynak terminalinin AC toprakta olduğuna dikkat edin. AC analizinde, AC toprak ile gerçek devre toprağı aynı nokta kabul edilir.

Kapıdaki Sinyal Voltajı: Şekil 12.3(b)'de girişe bağlanmış bir AC gerilim kaynağı gösterilmiştir. JFET'in giriş direnci son derece yüksek olduğundan, sinyal kaynağından gelen giriş voltajının neredeyse tamamı kapı üzerinde görülür ve iç kaynak direnci üzerinde çok az voltaj düşümü oluşur.

$$V_{gs} = V_{in}$$



Şekil 12.3: Şekil 12.1'deki yükselticinin AC eşdeğer devresi.

Voltaj Kazancı: Kaynak terminali AC toprağa bağlı olan ortak-kaynaklı bir yükselticinin Voltaj kazancı

$$A_v = g_m R_d$$

İle verilir. Akaçtaki çıkış sinyal voltajı V_{ds} şöyledir:

$$V_{çık} = V_{ds} = A_v V_{gs}$$

veya

$$V_{çık} = g_m R_d V_{gir}$$

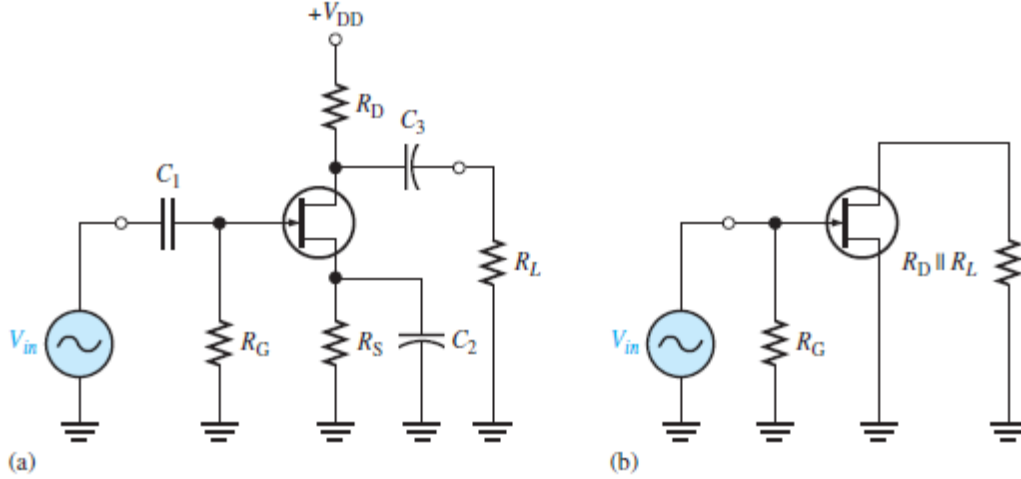
burada $R_d = R_D // R_L$ ve $V_{gir} = V_{gs}$ 'dir.

AC Yükün Voltaj Kazancına Etkisi: Bir yük, Şekil 12.4 (a)'da gösterildiği gibi bir kuplaj kapasitörü üzerinden yükselteç çıkışına bağlandığında, R_D 'nin üst ucu AC toprakta olduğundan AC akaç direnci etkin olarak R_D ile R_L 'nin paraleli olan bir eşdeğer dirence eşit olur. AC eşdeğer devre Şekil 12.4

(b)'de verilmiştir. Toplam AC akış direnci:

$$R_d = \frac{R_D R_L}{R_D + R_L}$$

Dolayısıyla R_L yük direnci, yük olmadı durumdaki voltaj kazancını azaltacak şekilde bir etki oluşturur.



Şekil 12.4: JFET yükselteci ve alternatif akım eşdeğeri. (a) JFET yükselteci (b) JFET yükseltecinin alternatif akım eşdeğeri

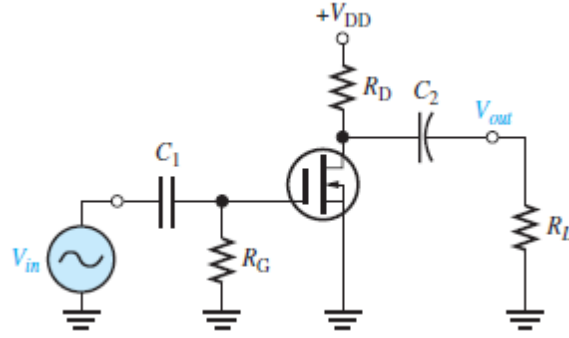
Faz Terslenmesi: Çıkış voltajı (akaçtaki), giriş voltajına (kapıdaki) göre 180° faz tersidir. Bu faz terslenmesi negatif gerilim kazancı $-A_v$ ile gösterilebilir.

Giriş Direnci: Ortak-kaynaklı yükselteçlerde giriş kapı üzerinden yapıldığı için giriş direnci son derece yüksektir. İdeal durumda sonsuza yaklaşır ve genellikle ihmal edilebilir. Yüksek giriş direnci, JFET'te ters beslenmiş pn ekleminden, MOSFET'te ise yalıtılmış kapı yapısından kaynaklanır. Sinyal kaynağının gördüğü gerçek giriş direnci, kapı-toprak direnci R_G ile FET giriş direnci V_{GS}/I_{GSS} 'nin birbirine paralel olduğu bir dirençtir. Yani toplam giriş direnci:

$$R_{gir} = R_G \parallel \left(\frac{V_{GS}}{I_{GSS}} \right)$$

ile verilir. I_{GSS} , kaynak kısa devre yapıldığında kapı-kaynak arasındaki ters kaçak akımıdır ve genellikle veri sayfasında belirli bir V_{GS} değeri için verilir; böylece FET'in giriş direnci hesaplanabilir. Genellikle, $V_{GS}/I_{GSS} \gg R_G$ olduğu için giriş direnci yaklaşık olarak R_G 'ye eşittir.

D-MOSFET Yükseltecin Çalışması: AC kaynağı kapıya kapasitif olarak bağlanmış, sıfır beslemeli ortak-kaynaklı n-kanallı bir D-MOSFET Şekil 12.4'de gösterilmiştir. Kapı yaklaşık 0 V DC'dedir ve kaynak terminali toprakta olduğundan: $V_{GS} = 0\text{ V}$

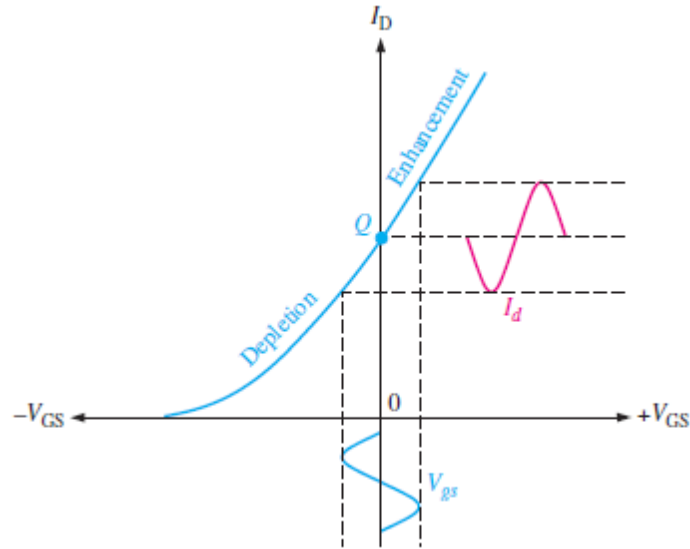


Şekil 12.4: Sıfır-beslemeli D-MOSFET ortak-kaynaklı yükselteç.

Sinyal voltajı, V_{gs} 'nin sıfır değeri etrafında yukarı-aşağı salınmasına neden olur ve bunun sonucunda I_d 'de de bir salınım oluşur (Şekil 12.5).

- V_{gs} 'deki negatif salınım kanal ayarlamalı (Depletion) modunu oluşturur ve I_d azalır.
- V_{gs} 'deki pozitif salınım kanal oluşturmali (Enhancement) modunu oluşturur ve I_d artar.

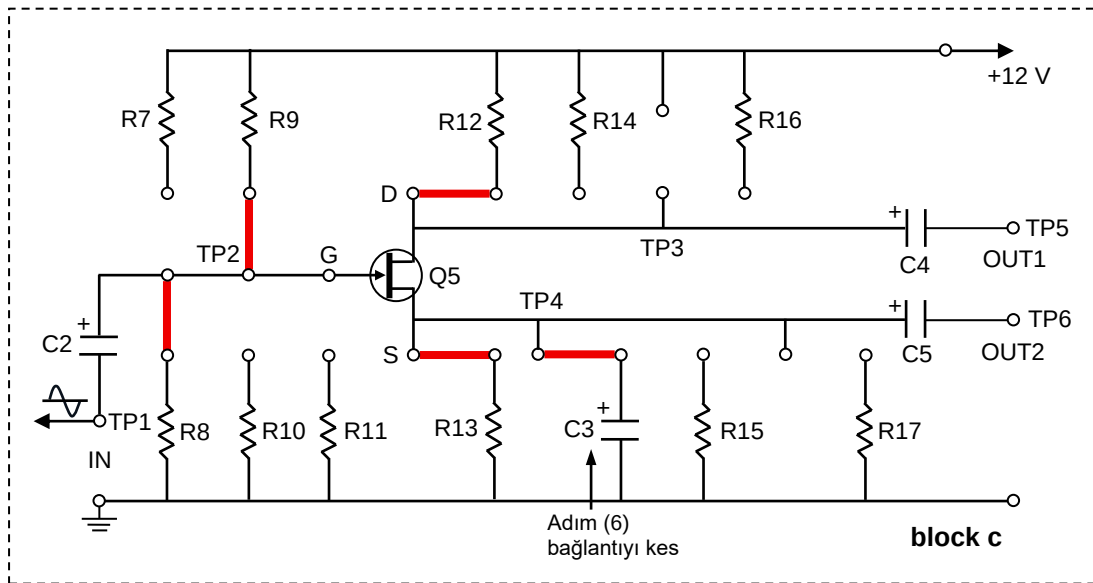
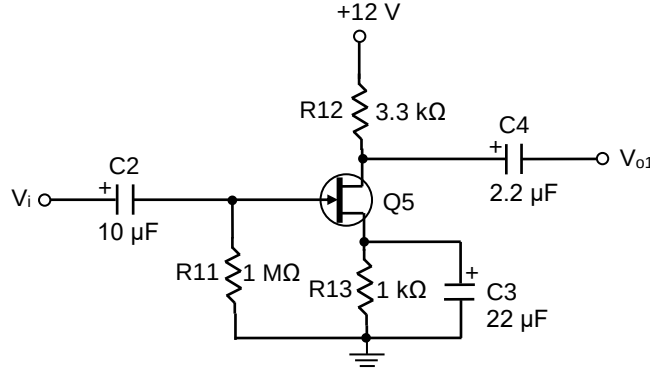
E-modu, düşey eksenin sağ tarafında ($V_{GS} = 0$ 'ın sağında); D-modu ise sol tarafındadır. D-modlu yükseltecin AC analiz ise JFET yükselteci ile aynıdır.



Şekil 12.5: Transfer karakteristik eğrisinde gösterilen D-MOSFET'in tüketici (depletion)-artırıcı (enhancement) çalışma prensibi.

A- JFET Ortak-Kaynak (CS) Yükselteci-Deneyin Yapılışı:

1. KL-23004 modülünü, KL-200 ana ünitesi üzerine yerleştirin ve **c-bloğunun** konumunu belirleyin.
2. Şekilde gösterildiği gibi kısa devre klipsleri kullanarak eşdeğer devreyi kurun.
3. V_{DS} , V_{GS} , V_D ve V_S değerlerini ölçmek için voltmetreyi **DCV** konumunda kullanın ve sonuçları Tablo 12.1'e kaydedin.
4. Sinyal jeneratörünü giriş terminaline (**IN**) ve osiloskopu çıkış terminaline (**OUT1**) bağlayın.
5. Sinyal jeneratörünün çıkışını 1 kHz sinüs dalgasına ayarlayın ve genliği osiloskopta bozulmamış maksimum çıkış dalga şekli görüntülene kadar yavaş yavaş artırın. Giriş (**IN**) ve çıkış (**OUT1**) terminallerindeki dalga şekillerini osiloskopta ölçün ve sonuçları Tablo 12.1'e çizin.
6. $C3 = 22 \mu F$ bağlantısını kesin ve ardından 3, 4 ve 5. adımları tekrarlayın ve Tablo 12.2'ye kaydedin.



Tablo 12.1

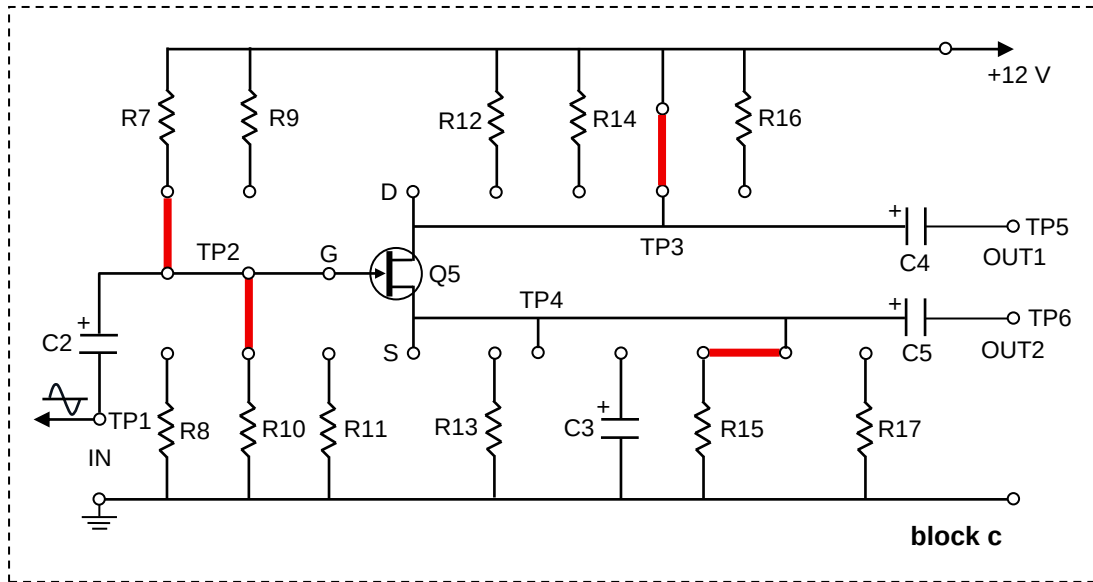
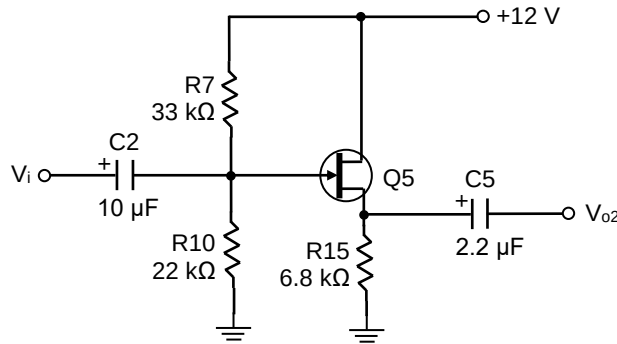
		V_{DS}	V_{GS}	V_D	V_S	$A_V = \frac{V_{o(p-p)}}{V_{i(p-p)}}$	Giriş/Çıkış arasındaki faz farkı
	R12 ve C3						
GİRİŞ (IN)							
ÇIKIŞ (OUT)							

Tablo 12.2

		V_{DS}	V_{GS}	V_D	V_S	$A_V = \frac{V_{o(p-p)}}{V_{i(p-p)}}$	Giriş/Çıkış arasındaki faz farkı
	C3 bağlantısız						
GİRİŞ (IN)							
ÇIKIŞ (OUT)							

B- JFET Ortak-Akaç (CD) Voltaj Bölücü Besleme Yükselteci-Deneyin Yapılışı:

1. KL-23004 modülünü, KL-200 ana ünitesi üzerine yerleştirin ve **c-bloğunun** konumunu belirleyin.
2. Şekilde gösterildiği gibi kısa devre klipsleri kullanarak eşdeğer devreyi kurun.
3. V_{DS} , V_{GS} , V_D ve V_S değerlerini ölçmek için voltmetreyi **DCV** konumunda kullanın ve sonuçları Tablo 12.3'ye kaydedin.
4. Sinyal jeneratörünü giriş terminaline (**IN**) ve osiloskopu çıkış terminaline (**OUT2**) bağlayın.
5. Sinyal jeneratörünün çıkışını 1 kHz sinüs dalgasına ayarlayın ve genliği osiloskopta bozulmamış maksimum çıkış dalga şekli görüntülene kadar yavaş yavaş artırın. Giriş (**IN**) ve çıkış (**OUT2**) terminallerindeki dalga şekillerini osiloskopta ölçün ve sonuçları kaydedin.



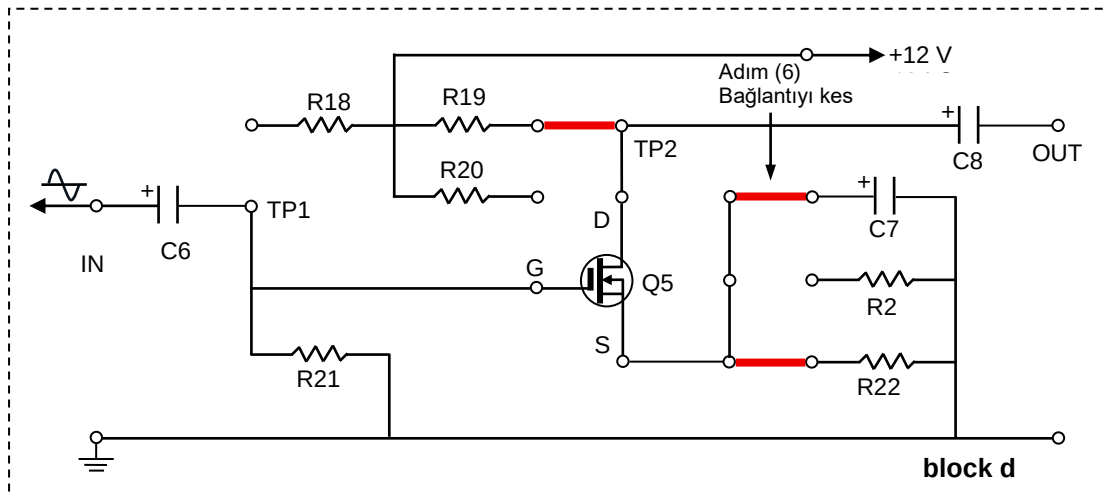
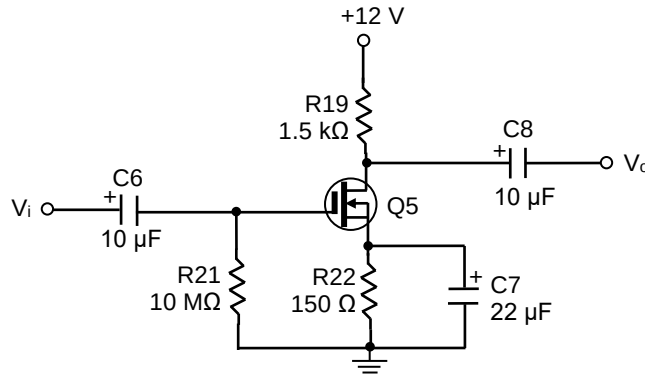
Tablo 12.3

		V_{DS}	V_{GS}	V_D	V_S	$A_V = \frac{V_{o(p-p)}}{V_{i(p-p)}}$	Giriş/Çıkış arasındaki faz farkı
	R15 ve C5						
GİRİŞ (IN)							
ÇIKIŞ (OUT)							

DENEY 13: Alan Etkili Transistörlü Yükselteç Devreleri-2

A- D-MOSFET Kendiliğinden Besleme Yükselteci-Deneyin Yapılışı:

1. KL-23004 modülünü, KL-200 ana ünitesi üzerine yerleştirin ve **d-bloğunun** konumunu belirleyin.
2. Şekilde gösterildiği gibi kısa devre klipsleri kullanarak eşdeğer devreyi kurun.
3. V_{DS} , V_{GS} , V_D ve V_S değerlerini ölçmek için voltmetreyi **DCV** konumunda kullanın ve sonuçları Tablo 13.1'ye kaydedin.
4. Sinyal jeneratörünü giriş terminaline (**IN**) ve osiloskopu çıkış terminaline (**OUT**) bağlayın.
5. Sinyal jeneratörünün çıkışını 1 kHz sinüs dalgasına ayarlayın ve genliği osiloskopta bozulmamış maksimum çıkış dalga şekli görüntülene kadar yavaş yavaş artırın. Giriş (**IN**) ve çıkış (**OUT**) terminallerindeki dalga şekillerini osiloskopla ölçün ve sonuçları kaydedin.
6. $C7 = 22 \mu F$ bağlantısını kesin ve ardından 3, 4 ve 5. adımları tekrarlayın ve Tablo 13.2'e kaydedin.



Tablo 13.1

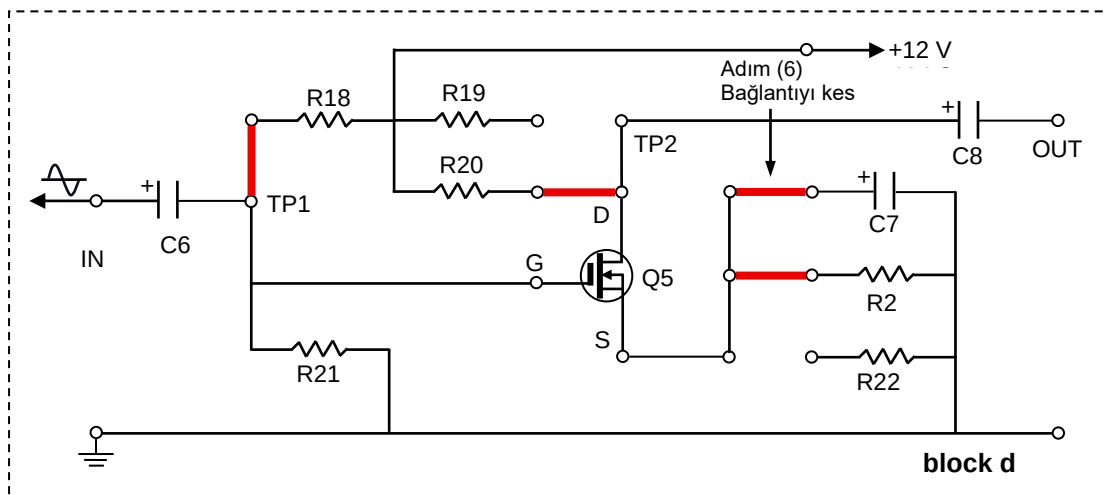
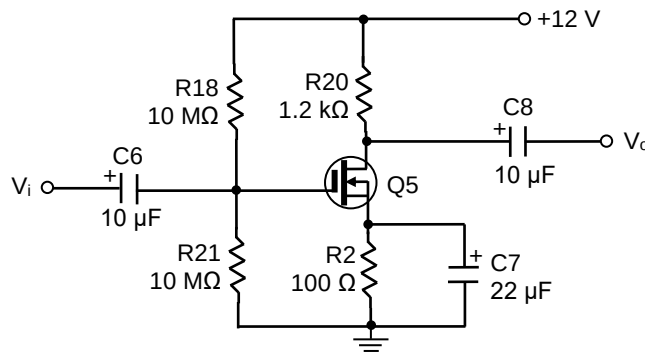
		V_{DS}	V_{GS}	V_D	V_S	$A_V = \frac{V_{o(p-p)}}{V_{i(p-p)}}$	Giriş/Çıkış arasındaki faz farkı
	R12 ve C3						
GİRİŞ (IN)							
ÇIKIŞ (OUT)							

Tablo 13.2

		V_{DS}	V_{GS}	V_D	V_S	$A_V = \frac{V_{o(p-p)}}{V_{i(p-p)}}$	Giriş/Çıkış arasındaki faz farkı
	C3 bağlantısız						
GİRİŞ (IN)							
ÇIKIŞ (OUT)							

B- D-MOSFET Voltaj Bölücü Besleme Yükselteci-Deneyin Yapılışı:

1. KL-23004 modülünü, KL-200 ana ünitesi üzerine yerleştirin ve **d-bloğunun** konumunu belirleyin.
2. Şekilde gösterildiği gibi kısa devre klipsleri kullanarak eşdeğer devreyi kurun.
3. V_{DS} , V_{GS} , V_D ve V_S değerlerini ölçmek için voltmetreyi **DCV** konumunda kullanın ve sonuçları Tablo 13.3'ye kaydedin.
4. Sinyal jeneratörünü giriş terminaline (**IN**) ve osiloskopu çıkış terminaline (**OUT**) bağlayın.
5. Sinyal jeneratörünün çıkışını 1 kHz sinüs dalgasına ayarlayın ve genliği osiloskopta bozulmamış maksimum çıkış dalga şekli görüntülene kadar yavaş yavaş artırın. Giriş (**IN**) ve çıkış (**OUT**) terminallerindeki dalga şekillerini osiloskopla ölçün ve sonuçları kaydedin.
6. $C7 = 22 \mu F$ bağlantısını kesin ve ardından 3, 4 ve 5. adımları tekrarlayın ve Tablo 13.4'e kaydedin.



Tablo 13.3

		V_{DS}	V_{GS}	V_D	V_S	$A_V = \frac{V_{o(p-p)}}{V_{i(p-p)}}$	Giriş/Çıkış arasındaki faz farkı
	R12 ve C3						
GİRİŞ (IN)							
ÇIKIŞ (OUT)							

Tablo 13.4

		V_{DS}	V_{GS}	V_D	V_S	$A_V = \frac{V_{o(p-p)}}{V_{i(p-p)}}$	Giriş/Çıkış arasındaki faz farkı
	C3 bağlantısız						
GİRİŞ (IN)							
ÇIKIŞ (OUT)							