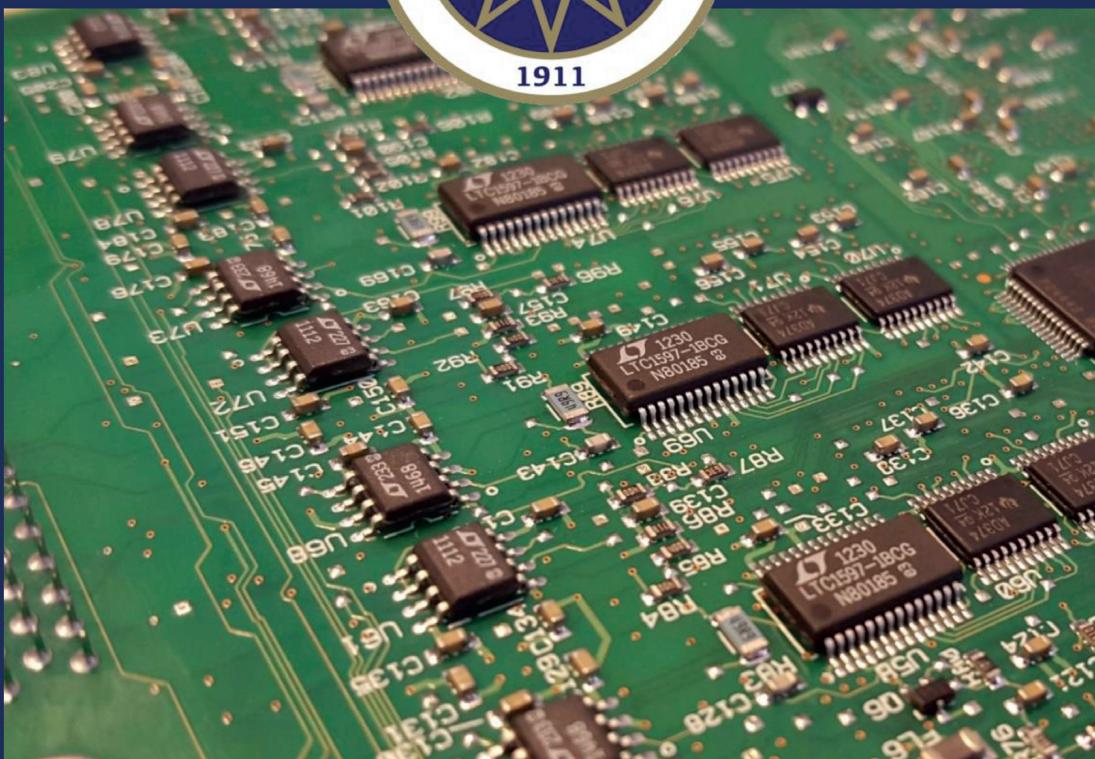


ELEKTRİK – ELEKTRONİK LABORATUVARI DENEY KİTABI



YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ

ERHAN AKDOĞAN

MEHMET HAKAN DEMİR

MEHMET EMİN AKTAN

AHMET TAHA KORU

İSTANBUL, 2016

ELEKTRİK – ELEKTRONİK LABORATUVARI DENEY KİTABI

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ

ERHAN AKDOĞAN

MEHMET HAKAN DEMİR

MEHMET EMİN AKTAN

AHMET TAHAA KORU

İSTANBUL, 2016

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MAKİNE FAKÜLTESİ

Bütün Hakları Saklıdır. © 2016, Yıldız Teknik Üniversitesi
Bu eserin bir kısmı veya tamamı, Y.T.Ü. Rektörlüğü'nün izni olmadan,
hiçbir şekilde çoğaltılamaz, kopya edilemez.

**ELEKTRİK - ELEKTRONİK LABORATUVARI
DENEY KİTABI**

Doç. Dr. Erhan AKDOĞAN
Dr. Mehmet Hakan DEMİR
Arş. Gör. Mehmet Emin AKTAN
Arş. Gör. Ahmet Taha KORU

ISBN: 978-975-461-532-6

Y.T.Ü. Kütüphane ve Dokümantasyon Merkezi Sayı
YTÜ.MK.DK-2016.0902

Baskı
Yıldız Teknik Üniversitesi
Basım-Yayın Merkezi-İstanbul
Tel: (0212) 383 31 30

Yıldız Teknik Üniversitesi Yönetim Kurulu'nun
24.11.2016 tarih ve 2016/24 sayılı Toplantısında Alınan karara göre
Üniversitemiz Matbaasında 300 (Üçyüz) adet bastırılan,
“Elektrik - Elektronik Laboratuvarı Deney Kitabı” adlı telif eserin her türlü
bilimsel ve etik sorumluluğu yayına hazırlayanlara aittir.

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER	i
ÖNSÖZ	ii
Laboratuvara Uyulması Gereken Kurallar	iii
Genel Bilgiler ve Laboratuvar Cihazları.....	1
Malzeme Listesi	11
Deney 1: Dirençler ve Kondansatörler	15
Deney 2: Ohm-Kirchoff Kanunları ve AC Bobin-Direnç-Kondansatör.....	25
Deney 3: Seri ve Paralel RLC Devreleri ve Rezonans Devreleri.....	35
Deney 4: Diyot Karakteristiğinin Çıkarılması	47
Deney 5: Diyotlu Doğrultucu Uygulamaları.....	56
Deney 6: Zener Diyot Karakteristiği ve Uygulaması	65
Deney 7: BJT Transistör Karakteristikleri.....	75
Deney 8: BJT Yükselteçler	83
Deney 9: MOSFET Temelleri.....	91
Deney 10: OP-AMP'lı Yükselteç Devreleri	101
Deney 11: OP-AMP'lı Türev ve İntegral Alıcı	111
KAYNAKLAR	121

ÖNSÖZ

Bu kitap Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü 3.dönemi derslerinden Elektrik-Elektronik Laboratuvarı (Lab-1) dersi için hazırlanmıştır. Kitap, 11 adet deney içermektedir. Deneyler, Elektrik Devre Temelleri ve Analog Devreler derslerinde işlenen teorik konuların uygulamaları ile ilgilidir. Bu kitaptaki deneyler yaklaşıklar olarak beş sene boyunca yapılan laboratuvar çalışmalarından elde edilen tecrübeler ışığında hazırlanmıştır. Kitapta yer alan deneylerin tamamı daha önce laboratuvar ortamında gerçekleştirılmıştır. Bu kitap gerek mühendislik fakültelerinin ve gerekse de meslek yüksekokullarının elektrik – elektronik laboratuvar derslerinde kullanılabilir.

Uzun yıllardır yürütmüş olduğumuz laboratuvar derslerimiz göstermiştir ki düşük akım ve gerilimde çalışan elektrik- elektronik devrelerin çalışma prensiplerinin anlaşılabilmesinde breadboardlar üzerinde yapılan çalışmalar öğrencinin motivasyonunu artırmakta, gerçek elemanlarla çalışmasının hem elemanları tanımmasını hem de gerçek uygulamalara daha yatkın olmasını sağlamakta ve devre tasarıımı konusunda özgüveni daha çok tesis etmektedir. Bu nedenle kitap bu prensiple hazırlanmıştır.

Kitabın tüm öğretim elemanlarına, öğrencilere ve konunun uzmanlarına katkı sağlamasını temenni ederiz.

*“15 Temmuz Şehitlerinin aziz
hatırasına”*

Laboratuvara Uyulması Gereken Kurallar

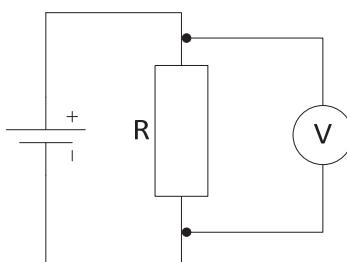
1. Deney masası üzerinde deneye ilgisi bulunmayan hiçbir şey bırakmayıniz.
2. Laboratuvara kesinlikle bir şey yemeyiniz ve içmeyiniz.
3. Laboratuvar da bir derstir; bu yüzden dersteki kurallara laboratuvara da uyunuz.
4. Yüksek sesle konuşmayıniz.
5. Cep telefonunuza kapatınız.
6. Laboratuvara deney dışında başka bir işe meşgul olmayıniz.
7. Deneyi bir an evvel bitirip gitmek yerine, normal bir sürede; ama deneyin kazandırmak istediklerini en iyi şekilde öğrenerek tamamlamaya gayret ediniz.
8. Deneydeki devreleri kurarken cihazları kapatınız ve yönetici asistan, kurduğunuz devreyi kontrol etmeden cihazları açmayıniz.
9. **Devrede enerji varken** kablo çıkarıp takmayıniz, elinizi elemanlara dokundurmayınız, devrenin üzerinden kuşbakışı bakmayıniz.
10. Laboratuvara deneyin ön çalışmasını ve tasarımını yapmış bir şekilde hazırlıklı gelmeniz beklenmektedir. Bu hazırlık sayesinde (i) yapılacak deney için ayrılmış zamanı daha iyi kullanabilir, (ii) deneyden daha fazla yararlanabilir, (iii) deney sırasında teoriyle tutarsız bulduğunuz sonuçların sebeplerini araştırmak için çalışmalar yapabilir ve bütün bunların sonucunda daha iyi raporlar yazabilirsiniz. Ayrıca hazırlıksız gelen kişilerin deneyi laboratuvara öğrenmeye çalışmaları, genellikle deney grubundaki diğer öğrencilerin verimini düşürmektedir.
11. Laboratuvardaki cihazları sizden sonraki dönem öğrencilerinin de kullanacağını unutmayıniz ve kendi malınız gibi koruyunuz.
12. Laboratuvardan ayrılırken bütün cihazları kapatınız, masanın üzerini temizleyiniz, cihazları ve kabloları yerlerine koyunuz, sandalyenizi uygun şekilde yerleştiriniz.

Genel Bilgiler ve Laboratuvar Cihazları

Genel Elektrik – Elektronik Terimleri

Gerilim

Elektron hareketi sonucu elektrik akımını oluşturan kuvvette gerilim (voltaj) denir. Bir iletkenin iki ucu arasındaki potansiyel fark olarak da tanımlanabilir. Birimi “Volt”tur. V ile gösterilir. Voltmetre ile ölçülür. Voltmetre devreye **paralel** bağlanır (Şekil 1).



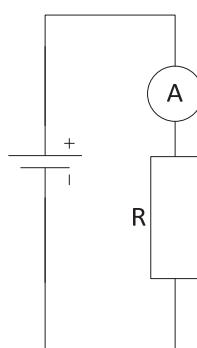
Şekil 1: Voltmetrenin devreye paralel bağlantısı

Gerilimin AS Katları		Gerilimin ÜST Katları	
Piko Volt (pV)	10^{-12}	Kilo Volt (KV)	10^3
Nano Volt (nV)	10^{-9}	Mega Volt (MV)	10^6
Mikro Volt (μ V)	10^{-6}		
Mili Volt (mV)	10^{-3}		

Akım

Bir kesit üzerinden birim zamanda geçen yük miktarıdır. Birimi amperdir. A ile gösterilir. Ampermetre ile ölçülür. Ampermetre devreye **seri** bağlanır (Şekil 2).

1 amper: iletken üzerinden 1 saniyede geçen 1 Coulomb'luk yüktür.



Şekil 2: Ampermrenin devreye seri bağlantısı

Akımın AST Katları		Akımın ÜST Katları	
Piko Amper (pA)	10^{-12}	Kilo Amper (KA)	10^3
Nano Amper(nA)	10^{-9}	Mega Amper (MA)	10^6
Mikro Amper (μ A)	10^{-6}		
Mili Amper (mA)	10^{-3}		

Genlik (Amplitude)

Genlik, periyodik hareket eden bir dalganın maksimum seviyesi ile minimum seviyesi arasındaki düşey uzaklığın(tepeden tepeye) yarısı olarak tanımlanır. Periyodik hareketin genel denklemi şu şekildedir;

$$y(t) = A \cdot \sin(\omega t + \varphi)$$

Burada;

A: Genlik

ω : açısal frekans

φ : faz açısı

t: zaman olarak tanımlanır.

Elektriksel olarak, gerilim için yukarıdaki denklem şu şekilde düzenlenebilir;

$$v(t) = V \cdot \sin(\omega t + \varphi)$$

Burada;

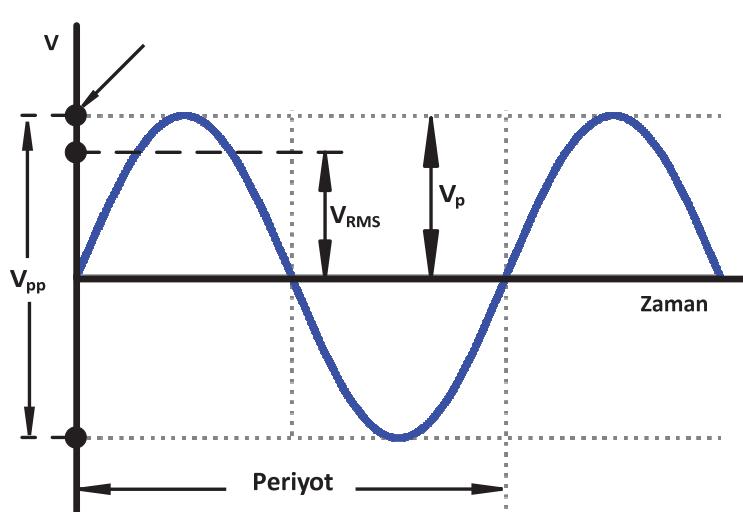
V; genlik veya tepe gerilim değeri (**V**) olarak tanımlanır.

Tepe gerilim değerinin iki katı ($2V$) ise tepeden tepeye (peak to peak – pp) genlik değeri olarak tanımlanır.

Bununla birlikte elektrikte önemli olan etkin genliktir. Buna **efektif** veya **RMS** gerilim de denir. Aşağıdaki denklem ile hesaplanır.

$$V_{RMS} = \frac{V}{\sqrt{2}}$$

Şekil 3'te örnek bir sinüs sinyali görülmektedir.



Şekil 3: Sinüs sinyali bileşenleri

Örnek olarak aşağıdaki denklemi inceleyelim;

$$v(t) = 12 \cdot \sin(\omega t) \quad [Volt]$$

Bu denkleme göre;

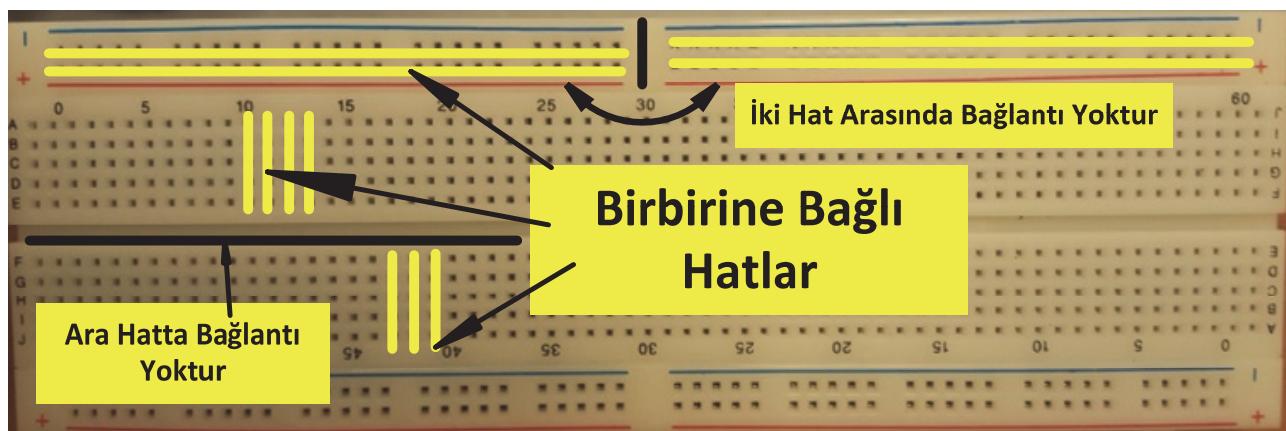
V_p (Tepe genlik değeri) : 12 V

V_{pp} (Tepeden tepeye genlik değeri): 24 V

V_{RMS} (Etkin genlik değeri): 8,48 V olarak bulunur.

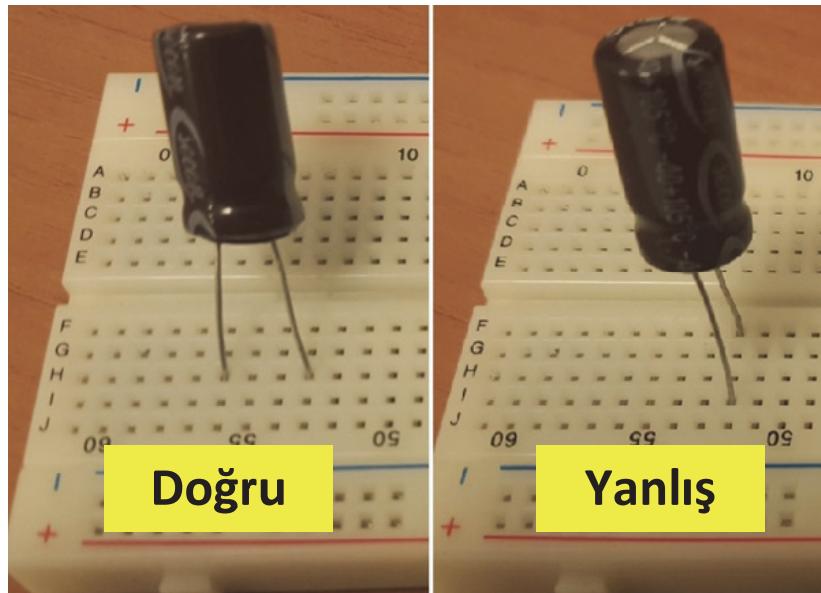
Breadboard Kullanımı

Breadboard, devre elemanlarını lehim yapmaya gerek kalmadan, geçici olarak bağlamak için kullanılan araçtır. Genellikle prototip ve test amaçlı devre tasarımları için kullanılır. İçerisinde birbirine bağlı hatlar bulunmaktadır. Sağ ve sol yanlarında kırmızı ve mavi ile gösterilen hatlar gerilim hatlarındır. Kırmızı hatta +, mavi hatta da – (toprak) bağlantısı yapılır. Devrenin diğer bölümlerinde kullanılacak olan gerilim bu hatlardan alınır. Orta bölümde dikey olarak bulunan 5'li delik grupları birbirlerine bağlıdır. Yatayda ise birbirlerine bağlı değildir. Şekil 4'te bir breadboard üzerinde birbirine bağlı hatlar gösterilmiştir. En üstteki yatay iki hat güç giriş hattıdır ve yataydaki delikler birbirine bağlıdır. Dikkat edilirse bu güç giriş hattı ortada kesilmektedir ve iki hat arasında bağlantı yoktur.



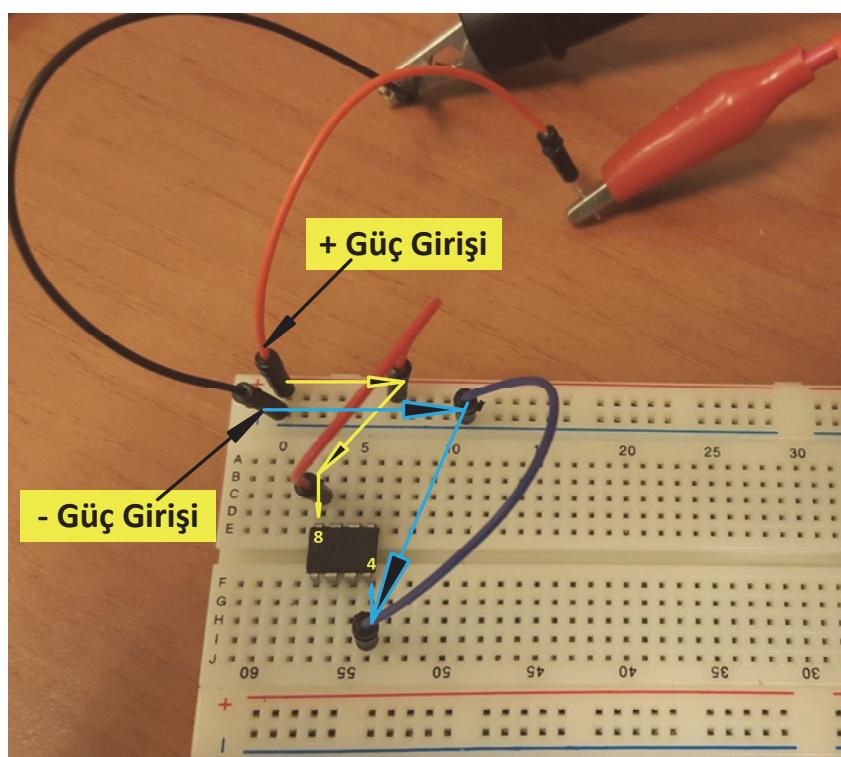
Şekil 4: Breadboard bağlantı hatları

Şekil 5'te örnek bir kondansatör bağlantısı görülmektedir. Sağdaki bağlantı şeklinde kondansatörün her iki bacağı da birbirine bağlı olan 5'li hat üzerindeyidir ve bacaklar kısa devre durumundadır (YANLIŞ BAĞLANTI). Soldaki bağlantı şeklinde ise kondansatörün bacakları farklı hatlar üzerindeyidir ve doğrudur.



Şekil 5: Örnek kondansatör bağlantısı

Entegreler breadboard üzerine Şekil 6'da gösterildiği gibi bağlanır. Breadboardun orta kısmına ve her iki yandaki bacaklar farklı hatlar üzerinde olacak şekilde bağlanır.



Şekil 6: Örnek entegre bağlantısı

Laboratuvar Cihazları

1. Multimetre

Multimetre (avometre); akım, gerilim ve direnç ölçmek için kullanılan ölçü aletidir. Bunlara ek olarak kısa devre, diyon testi yapmak ve kondansatör değeri ölçmek için de kullanılabilir. AC ve DC ölçüm yapılabilir. Şekil 7'de bir multimetre görülmektedir.



Şekil 7: Multimetre

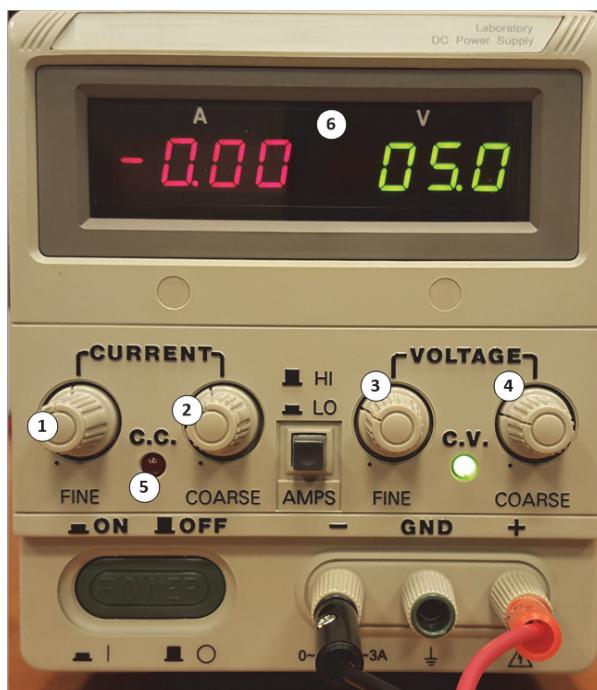
1. **DCV:** DC gerilim ölçümü
2. **ACV:** AC gerilim ölçümü
3. **DCA:** DC akım ölçümü
4. **ACA:** AC akım ölçümü
5. **Ω :** Direnç ölçümü
6. Kısa devre ve diyon testi
7. Kondansatör ölçümü
8. Otomatik/manual mod seçimi. Otomatik seçili olduğunda, ölçülecek değerin biriminin ast ve üst katları otomatik olarak seçilir. Örnek olarak, ölçüceğimiz DC akım değeri 3.5V olsun. Otomatik modda iken gösterge ekranında 3.5V görünür. Manuel moda alarak görüntülenecek birimi değiştirebiliriz. Örneğin 3.5V değerini mV olarak görmek istersekmanuel moda alıp mV seçmemiz gerekmektedir.
9. Otomatik mod seçilmemişinde (manuel modda iken) birim ast ve üst katlarını değiştirmek için kullanılır.
10. **COM soketi:** Bu sokete siyah prob bağlanır.

Kırmızı prob, ölçüm çeşidine göre kırmızı soketlerden birine bağlanır. Bu soketler aşağıda açıklanmıştır.

11. Gerilim, direnç, kısa devre ve diyon testi ve kondansatör ölçümü için bu sokete bağlanır.
12. 2A değerine kadar akım ölçümelerinde bu sokete bağlanır.
13. 20A değerine kadar akım ölçümelerinde bu sokete bağlanır.
14. Gösterge ekranı: Bu ekranada ölçülen değerler gösterilmektedir. Ekranında sol alt köşesinde otomatik/manual mod ve DC – AC seçimi gösterilmektedir. Ekranın sağında ise ölçülen değerin birimi görülmektedir.

2. DC Güç Kaynağı

DC gerilim üretmek için kullanılır. DC güç kaynaklarının en önemli özelliklerinden birisi, verebileceği maksimum akım miktarı ve maksimum gerilim değeridir. Şekil 8'de örnek bir DC güç kaynağı görülmektedir.



Şekil 8: DC güç kaynağı

1. Hassas akım ayarı
2. Hassas olmayan akım ayarı
3. Hassas gerilim ayarı
4. Hassas olmayan gerilim ayarı
5. **Kısa devre göstergesi:** Devrede kısa devre olduğunda bu LED yanmaktadır.
6. **Gösterge ekranı:** Çekilen akım ve uygulanan gerilim değerinin gösterildiği ekrandır.

3. Sinyal Jeneratörü

Farklı tiplerde AC sinyal üreten cihazlardır. Sinyal tipi (sinüs, kare, üçgen), frekans ve genlik değeri ayarlanarak gerekli sinyal elde edilir. Şekil 9'da bir sinyal jeneratörü görülmektedir.

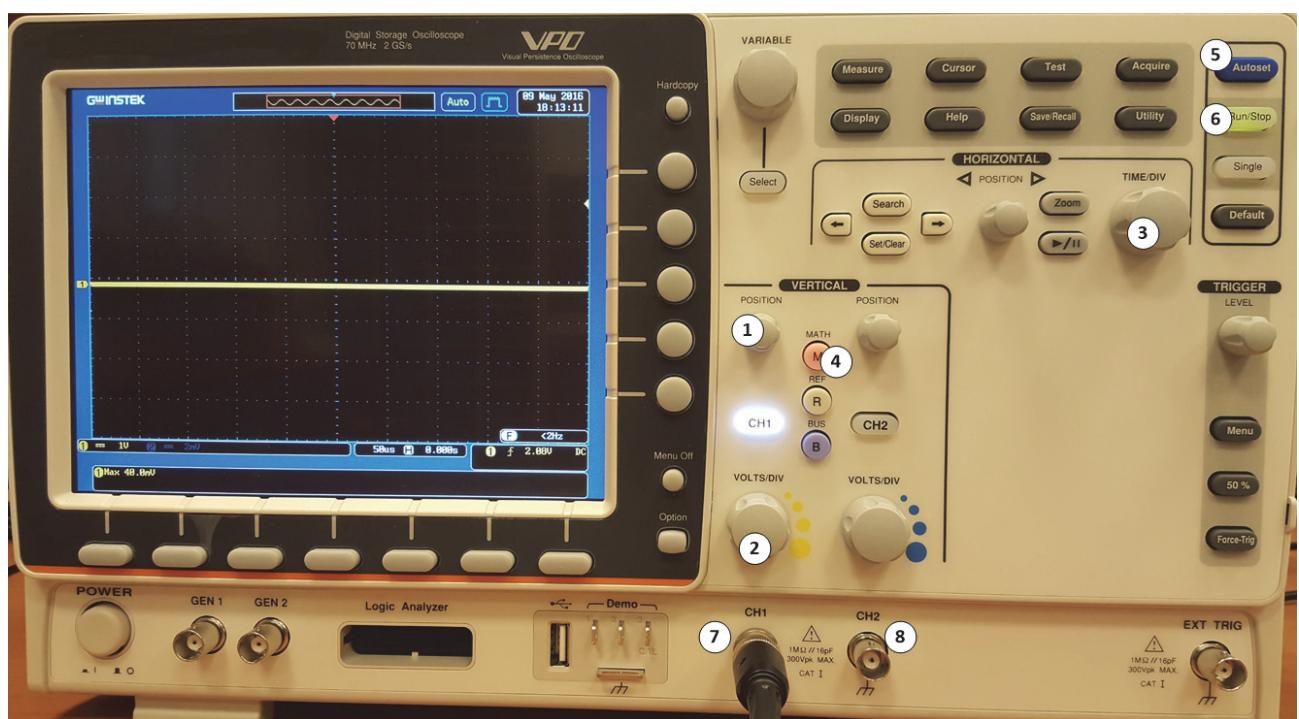


Şekil 9: Sinyal jeneratörü

1. **Wave:** Sinyal tipi seçimi (sinüsoidal, kare, üçgen)
2. Frekans değeri girmek için tuş takımı
3. Frekans birimi seçimi (MHz, kHz, Hz)
4. Genlik ayarı
5. Offset ayarı
6. **Gösterge ekranı:** Frekans değeri sayısal olarak bu ekranda görülmektedir. Alt kısımda frekans birimi, üst kısımda ise sinyal tipi görülmektedir.

4. Osiloskop

Elektriksel işaretleri grafiksel olarak gösteren cihazlardır. Giriş probuna uygulanan sinyali ekranda çizer. Sinyalin frekansını, genliğini, periyodunu da sayısal olarak gösterebilir. Birden fazla kanal bulunan osiloskoplarda çok sayıda sinyalin aynı ekranda gösterilmesi ile sinyal karşılaştırma amaçlı da kullanılır. Devreye her zaman **paralel** bağlanır. Şekil 10'da bir osiloskop görülmektedir.



Şekil 10: Osiloskop

1. **Position:** Sinyalin düşeydeki pozisyon ayarı.
2. **VOLTS/DIV:** Ekrandaki her bir kare bölge başına düşen gerilim miktarı ayarı.
3. **TIME/DIV:** Ekrandaki her bir kare bölge başına düşen zaman ayarı.
4. **Math:** 2 kanala uygulanan sinyallerin toplanması ve çıkarılması amaçlı kullanılır.
5. **Autoset:** Sinyali ekrana otomatik olarak sığdırılmak için kullanılır.
6. **Run/Stop:** Sinyal akışını durdurmak / devam ettirmek için kullanılır.
7. **CH1:** Kanal 1 prob bağlantısı
8. **CH2:** Kanal 2 prob bağlantısı

Malzeme Listesi

Genel Malzemeler

- Breadboard
- Erkek – Erkek jumper kablolar
- Krokodiller
- Yan keski

Deney 1: Dirençler ve Kondansatörler

- 1 adet 47Ω , 1 adet 100Ω , 1 adet $2.2k\Omega$ ve 1 adet $10k\Omega$ Dirençler
- 1 adet $100k\Omega$ Potansiyometre
- 1 adet $220\mu F$, 1 adet $100\mu F$, 1 adet $47\mu F$ ve 1 adet $4.7\mu F$ Kondansatörler

Deney 2: OHM – Kirchoff Kanunları ve AC Bobin – Direnç – Kondansatör

- 1 adet 47Ω , 1 adet 100Ω , 1 adet $2.2k\Omega$ ve 1 adet $10k\Omega$ Dirençler
- 1 adet $1.5nF$ Kondansatör
- 1 adet $100mH$ Bobin

Deney 3: Seri ve Paralel RLC Devreleri – Rezonans Devreleri

- 1 adet 220Ω ve 1 adet 10Ω Direnç
- 1 adet $100 nF$ Kondansatör
- 1 adet $100mH$ ve 1 adet 100μ Bobin

Deney 4: Diyot Karakteristiğinin Çıkarılması

- 1 adet $220 \Omega / 1W$ direnç
- 1 adet $1 k\Omega$ potansiyometre
- 1 adet 1N4007 diyot

Deney 5: Diyotlu Doğrultucu Uygulamaları

- 1 adet $3 k\Omega$ direnç
- 1 adet $100 \mu F$ Kondansatör
- 5 adet 1N4001 diyot

Deney 6: Zener Diyot Karakteristiği ve Uygulaması

- 1 adet $220 \Omega / 1W$, 1 adet $56 \Omega / 1W$ Dirençler
- 1 adet $1 k\Omega$ Potansiyometre
- 1 adet 5.6 V Zener Diyot
- 1 adet BD139 Transistör

Deney 7: Transistör Karakteristikleri

- 1 adet $33 k\Omega$ ve 1 adet $220\Omega/1W$ direnç
- 1 adet $100k\Omega$ potansiyometre
- 1 adet BC237 transistör

Deney 8: BJT Yükselteçler

- 1 adet $100\ \Omega$, 1 adet $560\ \Omega$, 1 adet $2.2\ k\Omega$, 1 adet $12\ k\Omega$ direnç
- 2 adet 47uF kondansatör
- 1 adet BC237 transistör

Deney 9: MOSFET Temelleri

- 1 adet CD4007 entegre
- 1 adet $100k\Omega$ potansiyometre

Deney 10: OP-AMP ile Yükselteç Devreleri

- 1 adet $1\ k\Omega$, 1 adet $5\ k\Omega$, 1 adet $10\ k\Omega$ ve 4 adet $100\ k\Omega$ Direnç
- 2 adet $10\ k\Omega$ Potansiyometre
- 3 adet LM 741 OP-AMP (+2 yedek)

Deney 11: OP-AMP ile Türev ve İntegral Alıcı Devreler

- 1 adet $20\ k\Omega$ ve 1 adet $4.7\ k\Omega$ Direnç
- 2 adet $470\ nF$ Kondansatör
- 2 adet LM 741 OP-AMP (+2 yedek)

Deney 1

Dirençler ve Kondansatörler

Malzeme Listesi:

- 1 adet 47Ω , 1 adet 100Ω , 1 adet $2.2k\Omega$ ve 1 adet $10k\Omega$ Dirençler
- 1 adet $100k\Omega$ Potansiyometre
- 1 adet $220\mu F$, 1 adet $100\mu F$, 1 adet $47\mu F$ ve 1 adet $4.7\mu F$ Kondansatörler

Deneyde Kullanılacak Cihazlar

- Multimetre
- DC Güç Kaynağı
- Breadboard

Deneyin Adı: Dirençler

Deneyin Amacı: Dirençlerin seri, paralel ve karışık bağlanarak eşdeğerlerinin ölçümü.

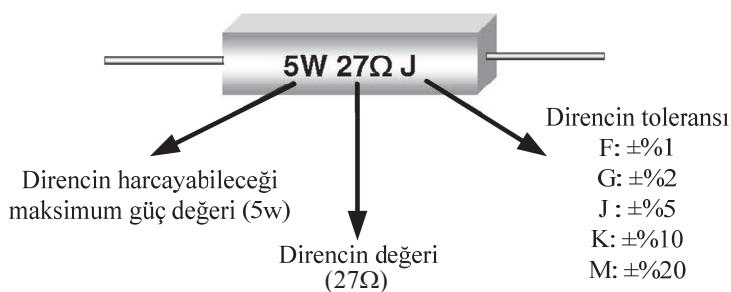
Deney Çıktıları: Direnç kavramı ve bağlanma biçimine göre eşdeğer direnci hesaplayabilme.

Deney Hakkında Teorik Bilgi

Elektrik akımının geçişine karşı gösterilen zorluk *direnç* olarak tanımlanır. Direnç, elektriksel bir büyülüğe verilen isim olup, aynı zamanda elektronik devrelerde akım sınırlamak amacıyla kullanılan devre elemanını da ifade etmektedir. Dirençler elektronik devrelerde akım sınırlamasının yanında devrenin besleme gerilimini bölgerek diğer devre elemanları üzerine düşen gerilimin ayarlanması ve ısı enerjisi elde etmek gibi amaçlar için de kullanılabilir.

Teorik hesaplamlarda ve devre şemalarında 'R' harfi ile gösterilen dirençlerin değeri Ω (ohm) birimi ile ifade edilir. ($k\Omega = 10^3 \Omega$, $M\Omega = 10^6 \Omega$)

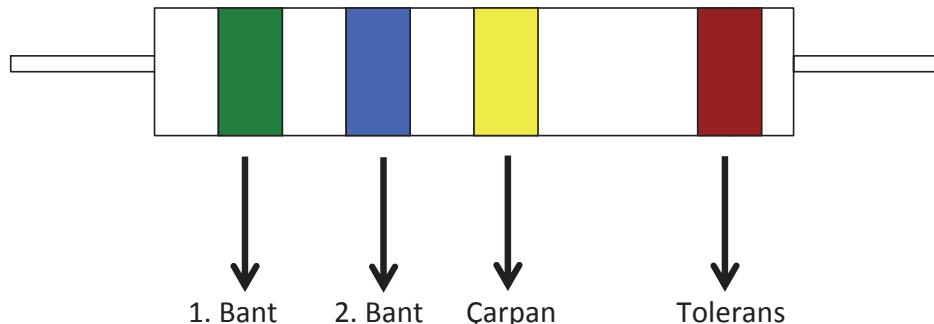
Bir direncin değeri, multimetre, direncin üzerinde yazan rakamsal veri veya renk bantları yardımıyla belirlenebilir. Şekil 1.1'de direnç üzerinde bulunan rakamsal kodların nasıl okunacağına bir örnek verilmiştir. Tablo 1.1'de ise direnç üzerindeki renk kodlarının sayısal karşılıkları verilmiştir.



Şekil 1.1 – Dirençlerin rakamsal kodlanması

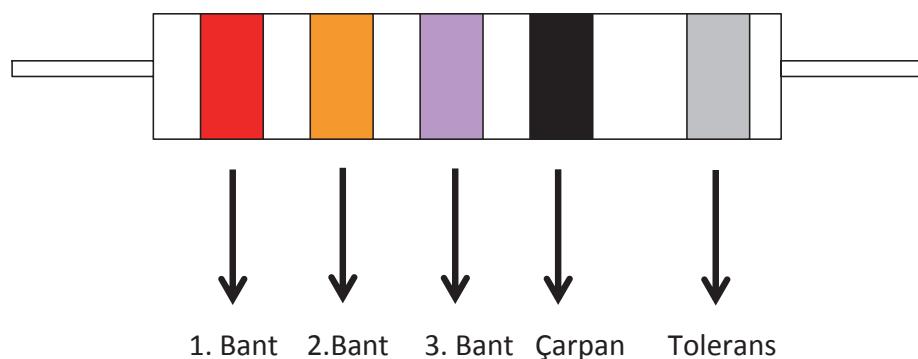
Tablo 1.1 – Dirençlerin renk kodları

RENK	Sayı	Çarpan	Tolerans
Siyah	0	10^0	-
Kahverengi	1	10^1	% 1
Kırmızı	2	10^2	% 2
Turuncu	3	10^3	-
Sarı	4	10^4	-
Yeşil	5	10^5	% 0.5
Mavi	6	10^6	% 0.25
Mor	7	10^7	% 0.1
Gri	8	10^8	% 0.05
Beyaz	9	10^9	-
Altın	-	10^{-1}	% 5
Gümüş	-	10^{-2}	% 10



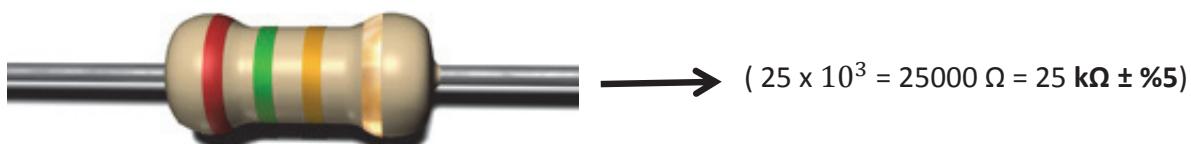
$$(56 \times 10^4 = 560000 \Omega = 560 \text{ k}\Omega \pm \% 1)$$

Şekil 1.2 – 4 bantlı dirençlerin okunması



$$(237 \times 10^0 = 237 \Omega = 237 \Omega \pm \% 10)$$

Şekil 1.3 – 5 bantlı dirençlerin okunması



Şekil 1.4 – Örnek direnç ve değeri

Dirençler kullanılma amaçlarına göre elektronik devrelere seri ya da paralel olarak bağlanırlar. Bu bağlantı şekilleri doğrultusunda eş değer direnç hesaplamaları aşağıdaki şekilde olmaktadır.

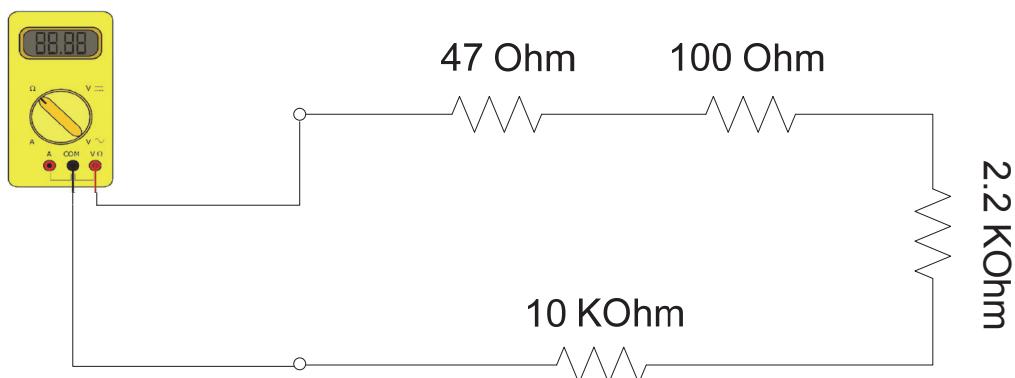
Seri Bağlı Dirençler	Paralel Bağlı Dirençler
$R_{e\ddot{s}} = R_1 + R_2 + \dots$	$R_{e\ddot{s}} = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots \right)^{-1}$

Deneye İlgili Ön Çalışma

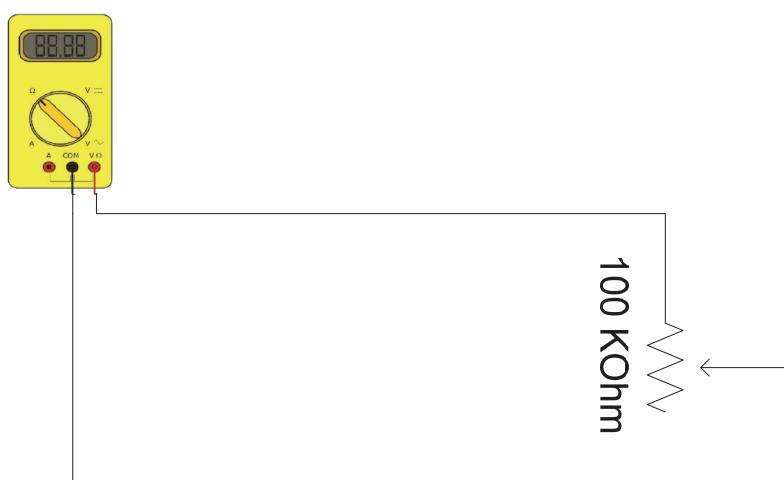
Deneyin yapılışı bölümünü okuyunuz. Şekil 1.5'teki devrenin eşdeğer direncini analitik olarak hesaplayınız. Multisim programı ile eşdeğer direnci hesaplayınız. Bulduğunuz değerleri deney sonuçları bölümündeki Tablo 1.2'nin ilgili bölümlerini doldurunuz. Şekil 1.6'daki potansiyometre deneyini Multisim programında gerçekleyip, Tablo 1.3'ün ilgili bölümlerine kaydediniz.

Deneyin Yapılışı

Deney Şeması



Şekil 1.5 – Seri direnç deney şeması



Şekil 1.6 – Potansiyometre deney şeması

Uygulanacak Adımlar

1. Şekil 1.5'te görülen devreyi breadboard'unuz üzerine kurunuz.
2. Şemada görüldüğü gibi devrenin eşdeğer direncini avometre ile ölçerek ve Tablo 1.2'ye kaydediniz
3. Teorik hesaplama ve ölçüm sonuçlarını dirençlerin tolerans değerlerini göz önünde bulundurarak kıyaslayınız.
4. Potansiyometre ölçümü için Şekil 1.6'da görülen devreyi breadboard üzerine kurunuz.

5. Multimetreyi direnç ölçüm moduna getirip potansiyometre milini çevrildiğinde direnç değerinde meydana gelen değişimi ölçüp, Tablo 1.3'e kaydediniz.

Deney Sonuçları

Tablo 1.2 – Seri direnç deneyi gözlem tablosu

	R_T
Hesaplanan	
Benzetim	
Ölçülen	

Tablo 1.3 – Potansiyometre deneyi gözlem tablosu

		Potansiyometre milinin konumu		
		Minimumda	Ortada	Maksimumda
Direnç Değeri	Benzetim			
	Ölçülen			

Deney Çıktılarının Yorumlanması

Deneyin Adı: Kondansatörler

Deneyin Amacı: Kondansatörlerin seri, paralel ve karışık bağlanarak eşdeğerlerinin ölçümü

Deney Çıktıları: Kondansatörlerin yapı ve bağlanması şekillerine göre eşdeğer kapasiteyi hesaplayabilme

Deney Hakkında Teorik Bilgi

Elektrik alanı içinde elektrostatik enerji depo etmeye yarayan, iki uçlu pasif devre elemanı *kondansatör* olarak adlandırılır. Karşılıklı duran iki iletken plaka arasına kâğıt, mika, seramik veya hava gibi yalıtkan madde konularak yapılır. İletken plakalardan çıkarılan terminaller kondansatörün uçlarını oluşturur. Kondansatörler, elektrik enerjisini depolaması, herhangi bir kısa devre anında depoladıkları bu enerjiyi hızlı bir şekilde devre üzerinden boşaltabilme, devrelerde doğru akımın geçmesine engel olup alternatif akımın geçmesine izin vermesi ile giriş-çıkış sinyallerinin fazları arasında bir farka neden olması gibi özelliklerine bağlı olarak filtreleme, doğrultma, izolasyon ve enerji depolama gibi birçok amaca yönelik elektronik devrelerde sık sık kullanılmaktadır.

Teorik hesaplamlarda ve devre şemalarında *C* harfi ile gösterilen kondansatörlerin değeri *farad* (F) birimi ile ifade edilir.

$$1 \text{ farad} = 1 \frac{\text{coulomb}}{\text{volt}}$$

Bu birim kondansatörün elektrik yüklerini depolama kapasitesini gösterdiğinde kapasite olarak isimlendirilir. Dolayısıyla kondansatörün üzerindeki yük (*Q*), o kondansatörün gerilimi ve kapasite değeri ile doğru orantılıdır.

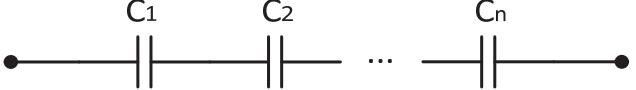
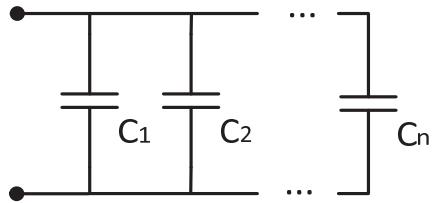
$$Q = C \cdot V$$

Aşağıda sıkça kullanılan kondansatör tipleri için metrik çevirimleri verilmiştir.

$$pF = 10^{-12} F, nF = 10^{-9} F, \mu F = 10^{-6} F$$

Kutupsuz	Kutuplu			Gösterim Şekilleri	Kondansatör Tipleri

Kondansatörler kullanılma amaçlarına göre elektronik devrelere seri ya da paralel olarak bağlanırlar. Bu bağlantı şekilleri doğrultusunda eş değer kapasitans hesaplamaları aşağıda verilmiştir.

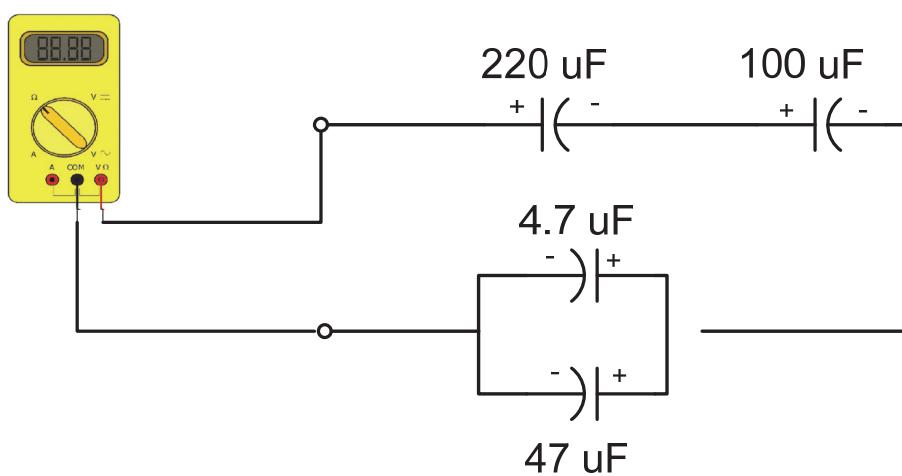
Seri Bağlı Kondansatörler	Paralel Bağlı Kondansatörler
	
Her bir kondansatör üzerine eşit miktarda yük düşmektedir. $Q_1 = Q_2 = \dots = Q_n$	Her bir kondansatör üzerindeki gerilim değeri eşittir. $V_1 = V_2 = \dots = V_n$
Devrenin eş değer kapasitansı aşağıdaki denklemle hesaplanır. $C_{es} = \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n} \right)^{-1}$	Devrenin eş değer kapasitansı aşağıdaki denklemle hesaplanır. $C_{es} = C_1 + C_2 + \dots + C_n$

Deneyle İlgili Ön Çalışma

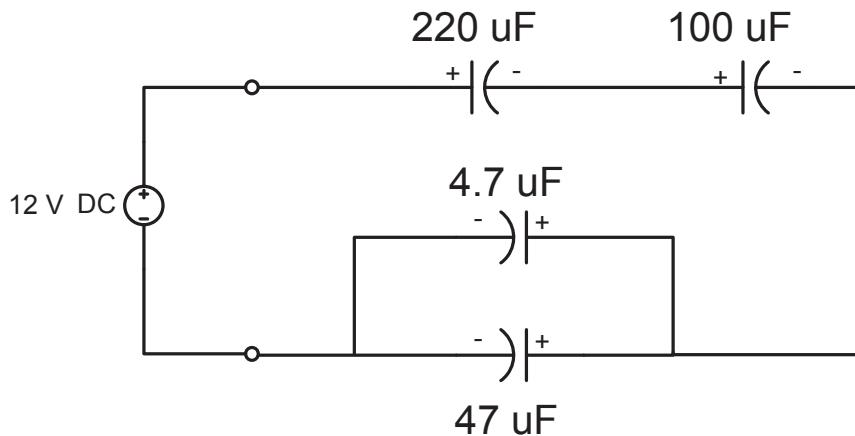
Deneyin yapılışı bölümünü okuyunuz. Şekil 1.7'deki devredeki eşdeğer kapasitansı analitik olarak hesaplayınız. Şekil 1.8'deki deneyde kondansatörler üzerine düşen gerilimleri analitik olarak hesaplayınız. Bilgisayar ortamında benzetimini yapınız (Kondansatör gerilimlerini MultiSim'de doğru ölçübilmeniz için, ekranın üzerinde Simulate -> Mixed Mode Simulation Settings -> Use Real Pin Models seçilmelidir. Deney sonunda eski haline getirmeyi unutmayın!). Elde ettiğiniz sonuçları, deney sonuçları bölümündeki ilgili yerlere kaydediniz.

Deneyin Yapılışı

Deney Şeması



Şekil 1.7 – Seri ve paralel bağlı kondansatör devresi



Şekil 1.8 – Seri ve paralel bağlı kondansatörlerin üzerindeki gerilim ölçülecektir.

Uygulanacak Adımlar

1. Şekil 1.7'de verilen devrenin eşdeğer kapasitesini (C_T) hesaplayıp, sonucu Tablo 1.4'e kaydediniz.
2. Şekil 1.7'de verilen devreyi breadboard'unuza kurunuz. **Devreye gerilim uygulamayınız!!!**
3. Şekilde görüldüğü gibi devrenin eşdeğer kapasitansını multimetre ile ölçüp, Tablo 1.4'e kaydediniz.
4. Teorik hesaplama ve ölçüm sonuçlarını kondansatörlerin tolerans değerlerini göz önünde bulundurarak kıyaslayınız.
5. Şekil 1.8'de gösterildiği gibi, kurulan devreye 12V'luk DC kaynak gerilimini uygulayınız.
6. Her bir kondansatör üzerinde düşen gerilimi ölçerek sonuçları Tablo 1.5'e kaydediniz.
7. Hesaplama ve ölçüm sonuçlarını kondansatörlerin toleranslarını da göz önünde bulundurarak kıyaslayınız.

Deney Sonuçları

Tablo 1.4 – Eşdeğer kondansatör değeri gözlem tablosu

	C_T
Hesaplanan	
Ölçülen	

Tablo 1.5 – Kondansatörlerin üzerindeki gerilimler için gözlem tablosu

Kondansatör Gerilimleri				
	220 μF	100 μF	47 μF	4.7 μF
Hesaplanan				
Benzetim				
Ölçülen				

Deney Çıktılarının Yorumlanması

Deney 2

Ohm-Kirchoff Kanunları ve AC Bobin-Direnç-Kondansatör

Malzeme Listesi:

- 1 adet 47Ω , 1 adet 100Ω , 1 adet $2,2k\Omega$ ve 1 adet $10k\Omega$ Dirençler
- 1 adet $1.5nF$ Kondansatör
- 1 adet $100mH$ Bobin

Deneyde Kullanılacak Cihazlar

- Multimetre
- DC Güç Kaynağı
- Sinyal Jeneratörü
- Breadboard

Deneyin Adı: OHM ve Kirchoff Kanunları

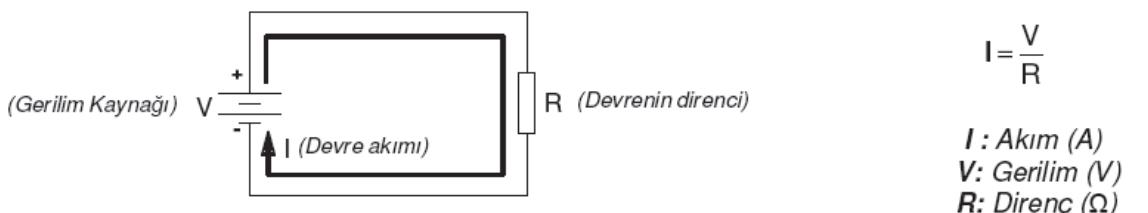
Deneyin Amacı: Temel elektrik devre kanunlarının öğrenilmesi.

Deney Çıktıları: OHM ve Kirchoff kanunlarını kavrayabilme.

Deney Hakkında Teorik Bilgi

OHM Kanunu

Kapalı bir elektrik devresinden geçen akım, devreye uygulanan gerilimle **doğru**, devrenin direnci ile **ters** orantılıdır.



Şekil 2.1 – OHM kanunu

Diğer yandan benzer bir elektrik devresinde güç, voltaj ile akımın çarpımına eşittir ve aşağıdaki formül ile ifade edilir. Güçün birimi W (Watt)' tır.

$$P = VxI$$

Ohm Kanunu'na göre voltaj ve direnç devredeki hiçbir değişimden etkilenmez. Sadece direnç veya voltaj değişince akım değişime uğrar. Ohm Kanunu'na bağlı olarak voltaj, akım, direnç ve güç arasındaki bağıntılar aşağıdaki tablodaki eşitlikler ile gösterilmektedir.

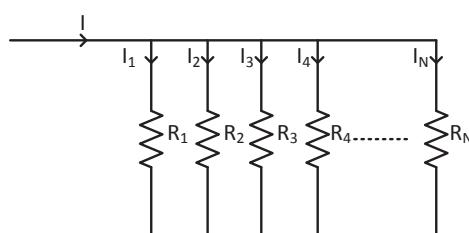
V (Volt)	IxR	\sqrt{PxR}	P/I
R (Ohm)	V/I	V^2/P	P/I^2
I (Amper)	V/R	P/V	$\sqrt{P/R}$
P (Watt)	VxI	V^2/R	I^2xR

Kirchoff Kanunları

1845 yılında Alman fizikçi Gustav Robert Kirchhoff tarafından geliştirilen akımlar ve gerilimler kanunları olmak üzere iki kanunu içermektedir.

Akımlar Kanunu

Paralel olarak bağlanmış dirençlerin üzerinden geçen akımların toplamı paralel dirençlerin birleştiği yerdeki ana kol akımına eşittir.

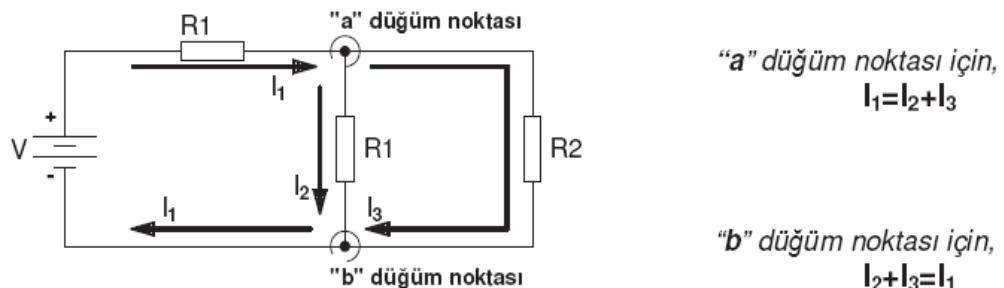


Şekil 2.2 – Kirchoff Akımlar Kanunu

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_N$$

Kapalı bir elektrik devresinde, bir düğüm noktasına gelen akımların toplamı, o noktadan çıkan akımların toplamına eşittir.

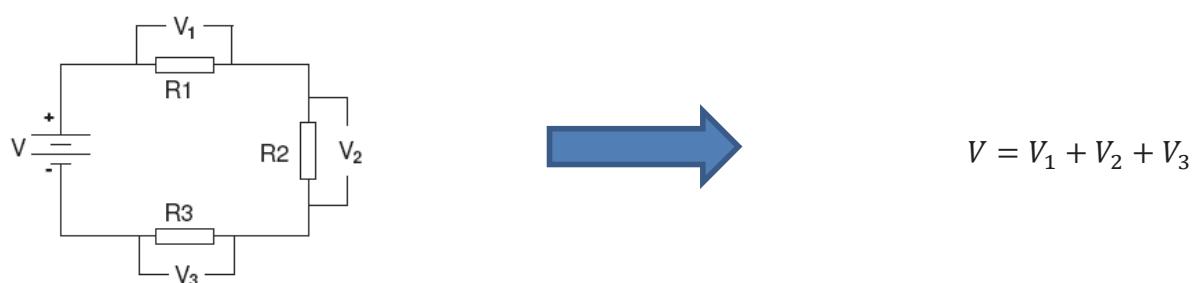
$$I_{\text{gelen}} = I_{\text{çıkan}}$$



Şekil 2.3 – Kirchoff akımlar kanunu

Gerilimler Kanunu

Kapalı bir elektrik devresinde, seri elemanlar üzerinde düşen gerilimlerin toplamı, devreye uygulanan gerilime eşittir.



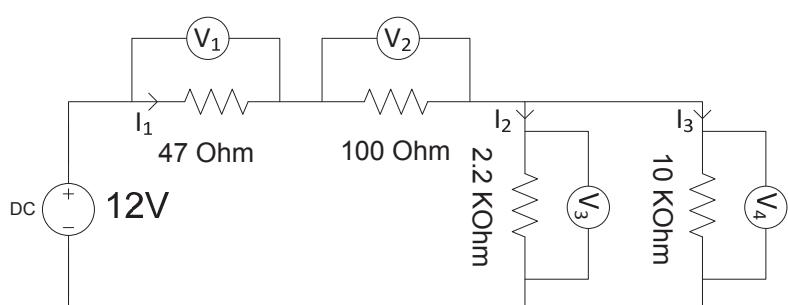
Şekil 2.4 – Kirchoff gerilimler kanunu

Deneyle İlgili Ön Çalışma

Şekil 2.5'te görülen devredeki eşdeğer direnci R_T 'yi, I_1 , I_2 , I_3 akımlarını, V_1 , V_2 , V_3 ve V_4 gerilimlerini analitik olarak hesaplayınız ve bilgisayar ortamında benzetimini gerçekleştirerek bulunuz. Bulduğunuz sonuçları Tablo 2.1'e kaydediniz.

Deneyin Yapılışı

Deney Şeması



Şekil 2.5 – Deney şeması

Uygulanacak Adımlar

1. Şekil 2.5'te verilen deney şemasındaki devreyi Breadboard üzerine kurunuz. Güç kaynağını bağlamayınız.
 2. Şekil 2.5'te verilen deney şemasındaki devrenin eşdeğer direnci R_T 'yi ölçüp, Tablo 2.1'e kaydediniz.
 3. DC güç kaynağının bağlantılarını yaparak 12V' luk kaynak gerilimini devreye şemada gösterildiği şekilde uygulayınız.
 4. Deney şemasında verilen devredeki I_1 , I_2 ve I_3 akımlarını ölçerek sonucu gözlem tablosuna kaydediniz.
 5. Deney şemasında verilen devredeki V_1 , V_2 , V_3 ve V_4 gerilimlerini ölçerek sonucu gözlem tablosuna kaydediniz.

Deney Sonuçları

Tablo 2.1 - Gözlem tablosu

Deney Çıktılarının Yorumlanması

Deneyin Adı: AC Direnç-Kondansatör-Bobin

Deneyin Amacı: AC gerilim altında bobin, direnç ve kondansatör gibi temel devre elemanlarının davranışlarını öğrenilmesi.

Deney Çıktıları: Bobinin yapısını ve direnç, kondansatör ve bobin gibi elemanların AC gerilim altındaki davranışlarını kavrayabilme.

Deney Hakkında Teorik Bilgi

Bobin ve kondansatörlerin AC akım veya gerilimlere karşı gösterdiği dirence *reaktans* denir. Reaktans kondansatörlerde uygulanan gerilimle, bobinler de ise uygulanan gerilime bağlı olarak oluşan akımla orantılı olarak oluşmaktadır. Reaktans “*X*” ile gösterilir ve birimi Ohm (Ω)dur. Frekansı f olan bir işaret için ($V_{in} = V \sin(wt)$),

Kapasitif reaktans, X_C (C kapasiteli kondansatör):

$$i = C \frac{dV_{in}}{dt}$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C}$$

Endüktif reaktans, X_L (L endüktanslı bobin):

$$V_{in} = L \frac{di}{dt}$$

$$X_L = 2\pi f L$$

şeklinde hesaplanır. Genliği V_s olan bir AC işaret, reaktansı X_e olan bobin veya kondansatöre uygulanırsa **akımın genliği**:

$$I_s = V_s/X_e$$

şeklinde hesaplanır. Aynı şekilde RMS değeri V_{RMS} olan bir AC işaret, reaktansı X_e olan bobin veya kondansatöre uygulanırsa akımın RMS cinsinden değeri

$$I_{RMS} = V_{RMS}/X_e$$

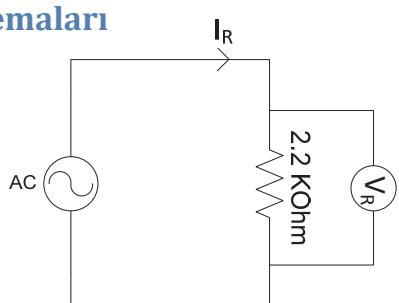
olacaktır.

Deneyle İlgili Ön Çalışma

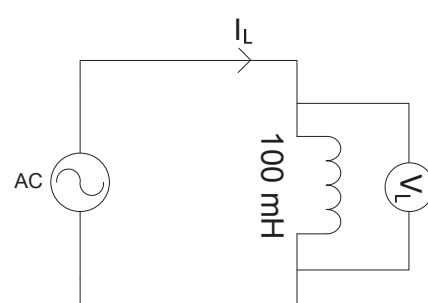
Şekil 2.6, 2.7 ve 2.8'deki devrelerin AC analizlerini teorik olarak yapınız ve alternatif akımları RMS cinsinden hesaplayınız. Deney sonuçları bölümünde ilgili tablolarda uygun yerleri bulduğunuz teorik sonuçlara göre doldurunuz. Deneylerin benzetimlerini bilgisayar programı aracılığıyla gerçekleştiriniz ve bobin, direnç ve kondansatörün üzerindeki gerilimleri, akımları RMS cinsinden bulup gözlem tablolarındaki uygun alanlara kaydediniz.

Deneyin Yapılışı

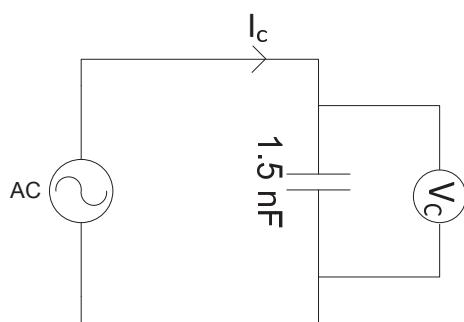
Deney Şemaları



Şekil 2.6 - AC devrelerde direnç



Şekil 2.7 – AC devrelerde bobin



Şekil 2.8 – AC devrelerde kondansatör

Uygulanacak Adımlar

- 1- Şekil 2.6, 2.7 ve 2.8'deki deney şemalarını Breadboard üzerine kurunuz.
- 2- Devreye 5V (RMS) genlikli AC sinüzoidal gerilim uygulayınız. (5V RMS değerini, devre yük altında iken ayarlayınız). Uygulanan AC sinyalin frekansını tablolarda istenilen frekanslara göre (5kHz, 25 kHz ve 50 kHz) ayarlayarak devrelere uygulayınız.
- 3- Deney sonuçları bölümündeki gözlem tablolarında verilen değerler için akım ve gerilim değerlerini ölçüp ilgili alanları RMS değerleri cinsinden doldurunuz.

Deney Sonuçları

Tablo 2.2 – AC devrede direnç deneyi gözlem tablosu

		5kHz	25kHz	50kHz
Hesaplanan	V_R			
	I_R			
	$R = V_R/I_R$			
Benzetim	V_R			
	I_R			
	$R = V_R/I_R$			
Ölçüm	V_R			
	I_R			
	$R = V_R/I_R$			

Tablo 2.3 – AC devrede bobin deneyi gözlem tablosu

		5kHz	25kHz	50kHz
Hesaplanan	V_L			
	I_L			
	$R = V_L/I_L$			
Benzetim	V_L			
	I_L			
	$R = V_L/I_L$			
Ölçüm	V_L			
	I_L			
	$R = V_L/I_L$			

Tablo 2.4 – AC devrede kondansatör deneyi gözlem tablosu

		5kHz	25kHz	50kHz
Hesaplanan	V_C			
	I_C			
	$R = V_C/I_C$			
Benzetim	V_C			
	I_C			
	$R = V_C/I_C$			
Ölçüm	V_C			
	I_C			
	$R = V_C/I_C$			

Deney Çıktılarının Yorumlanması

Deney 3

Seri ve Paralel RLC Devreleri Rezonans Devreleri

Malzeme Listesi:

- 1 adet 220Ω ve 1 adet 10Ω Direnç
- 1 adet 100 nF Kondansatör
- 1 adet 100mH ve 1 adet $100 \mu\text{H}$ Bobin

Deneyde Kullanılacak Cihazlar

- Multimetre
- Osiloskop
- Sinyal Jeneratörü
- Breadboard

Deneyin Adı: Seri ve Paralel RLC Devreleri

Deneyin Amacı: RLC devrelerinin çalışma prensiplerinin öğrenilmesi.

Deney Çıktıları: Paralel ve Seri RLC devrelerinin çalışma prensiplerini kavrayabilme.

Deney Hakkında Teorik Bilgi

RLC devrelerde ortaya çıkan, direnç ve reaktanslardan dolayı oluşan direnç etkisine **empedans** adı verilir. Empedans “ Z ” ile gösterilir ve birimi Ohm’dur (Ω). Empedans matematiksel olarak kompleks ve polar form olmak üzere iki gösterimle ifade edilebilir.

Polar formda aşağıdaki gibi hem genlik hem de faz karakteristikleri gösterilir.

$$Z = |Z|e^{j\theta}$$

Burada genlik $|Z|$, voltaj ile akım arasındaki faz farkı θ olduğunda gerilim genliği farkının akım genliğine oranını temsil etmektedir. Empedans kartezyen formda ise aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$Z = R + jX$$

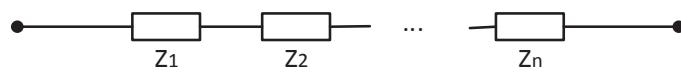
Yukarıdaki empedans tanımında gerçek kısımdaki R direnci, sanal kısımdaki X reaktansı temsil etmektedir. Ohm Kanunu, AC devre analizinde de kullanılır.

$$V = I \cdot Z; |V| = |I||Z|$$

Eleman	Empedans
Direnç (R)	$Z_R = R$
Bobin (L)	$Z_L = jX_L, X_L = 2\pi f L$
Kapasite (C)	$Z_c = -jX_c, X_c = 1/(2\pi f C)$

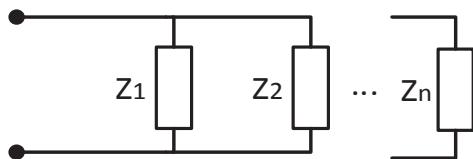
Ohm Kanunu gibi Kirchhoff Kanunları da burada kullanılabilir.

Seri bağlı empedanslar için eşdeğer empedans;



$$Z_{eq} = Z_1 + Z_2 + \dots + Z_n$$

Paralel bağlı empedanslar için eşdeğer empedans;

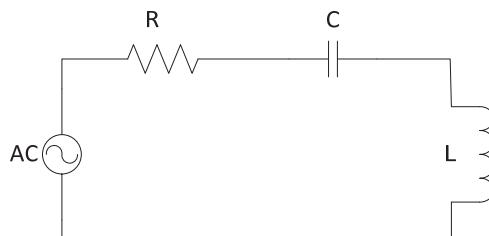


$$\left(\frac{1}{Z_{eq}}\right)^{-1} = \left(\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \dots + \frac{1}{Z_n}\right)^{-1}$$

Verilen bu seri ve paralel bağlı devrelerdeki eşdeğer empedans hesaplama formülleri kullanılarak aşağıdaki seri RLC devresinde, eş değer empedans

$$Z_{eq} = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

$$X_L = 2\pi f L, X_C = \frac{1}{2\pi f C}$$



Şekil 3.1 – RLC devresi

Bu devrenin empedansı $X_L = X_C$ olduğunda minimum olmaktadır.

$$X_L - X_C = 2\pi f L - \frac{1}{2\pi f C} = 0$$

Bu frekans değeri ayrıca empedans değerinin minimum olduğu için devredeki akımın maksimum değere ulaşığı frekanstır. Yukarıda verilen eşitlikten frekans çekilir ise “rezonans frekansı” elde edilir.

$$\text{Rezonans frekansı: } f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Gerilim ile akım arasındaki faz farkı sıfır olduğunda devre rezistiftir. Faz farkı pozitif 90° olduğunda ise devre endüktif, negatif 90° olduğunda ise devre kapasitiftir. Bu olayı daha detaylı incelemek gerekirse;

Giriş gerilimini $V_{in} = V_{max} \sin(wt)$ kabul edersek, Şekil 3.1'de verilen seri RLC devresinde her bir eleman üzerindeki gerilim hesaplandığında;

$$V_R(t) = \frac{R}{Z_{eq}} V_{max} \sin(wt)$$

- Direnç üzerinde düşen gerilim işaretinde herhangi bir faz değişimi meydana getirmemektedir.

Tüm devre ile direnç üzerindeki gerilimi karşılaştırırsak bir faz kayması olduğunu görürüz. Bu faz kaymasının bağıntısı aşağıda verilmiştir.

$$\phi = \tan^{-1}\left(\frac{X_L - X_C}{R}\right)$$

Bu bağıntıdan görüldüğü üzere eğer devreye kapasite bağlanmadıysa, RL devresindeki faz kayması pozitif olmakta ve gerilimin akımın önündedir. Eğer devrede bobin yoksa RC devresindeki faz kayması negatif olur ve gerilim akımın gerisindedir.

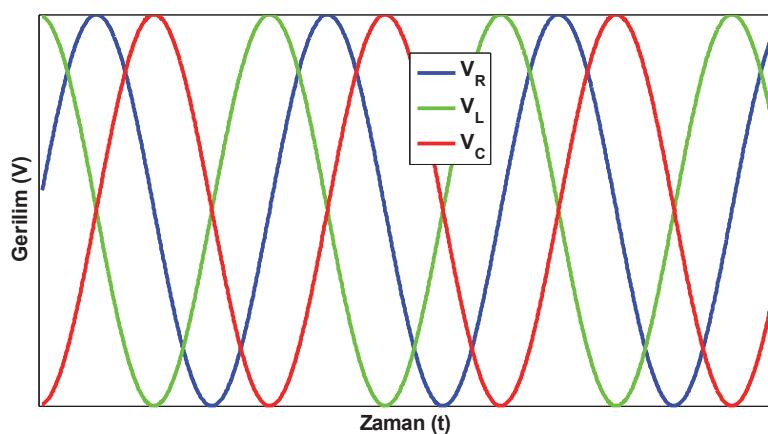
Bu durumda kapasite üzerinde düşen gerilim aşağıda verilmiştir. Bu gerilim direnç üzerindeki gerilime göre 90° gecikmiştir.

$$V_C(t) = \frac{X_C}{Z_{es}} V_{max} \sin\left(wt - \frac{\pi}{2}\right)$$

Aynı durumda bobin üzerine düşen gerilim aşağıdaki gibi olmakta ve bobinin üzerindeki gerilim direnç üzerindeki gerilime göre 90° ötelemiş olmaktadır.

$$V_L(t) = \frac{X_L}{Z_{es}} V_{max} \sin\left(wt + \frac{\pi}{2}\right)$$

Direnç, bobin ve kapasite üzerine düşen gerilim sinyalleri Şekil 3.2'de verilmiştir.



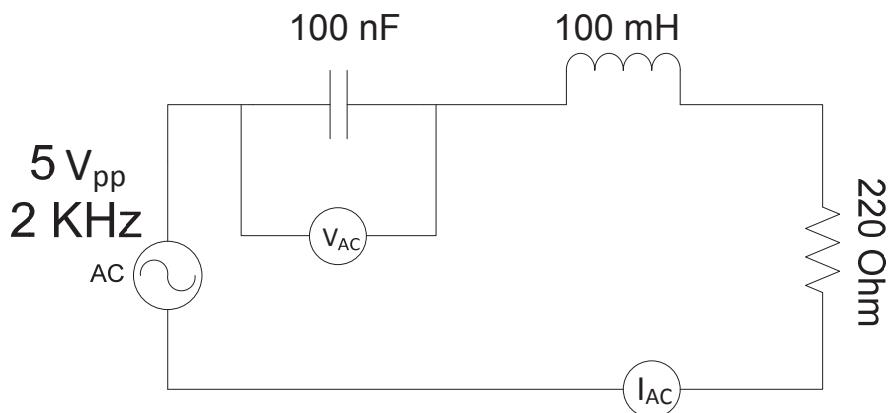
Şekil 3.2 – AC gerilimin direnç, bobin ve kapasitor üzerinde oluşturduğu gerilim sinyalleri

Deneyle İlgili Ön Çalışma

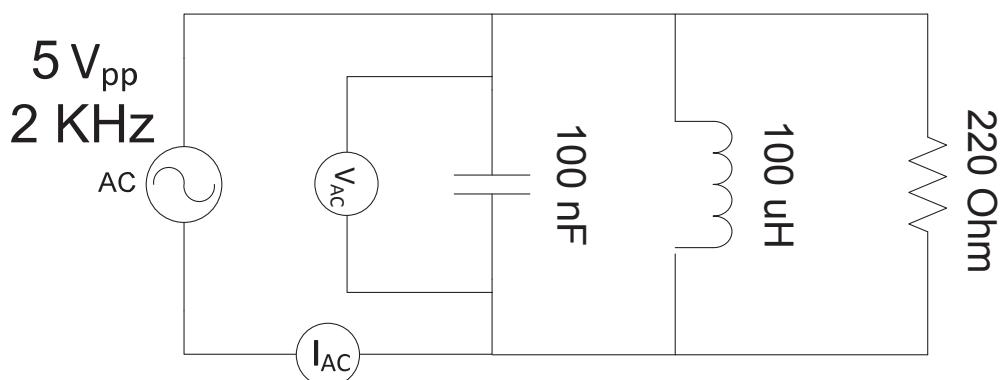
Şekil 3.3 ve 3.4'te görülen devre şemalarını inceleyiniz. Seri RLC devresi için bobin, kondansatör ve direnç üzerindeki gerilimlerin, paralel RLC devresi için ise akımların mutlak değerlerini analitik olarak hesaplayınız. Aynı değerleri bilgisayar programı aracılıyla benzetim yolu ile bulunuz. Bulduğunuz teorik değerleri ve benzetim sonuçlarını Tablo 3.1 ve Tablo 3.2'ye kaydediniz

Deneyin Yapılışı

Deney Şemaları



Şekil 3.3 – Seri RLC devresi için deney şeması



Şekil 3.4 – Paralel RLC devresi için deney şeması

Uygulanacak Adımlar

Seri RLC devresi için,

1. Şekil 3.3'teki devreyi breadboard üzerine kurunuz.
2. Deney şemasında verilen devrenin girişine sinyal jeneratörü ile 5V_{pp} / 2kHz sinüs sinyal uygulayınız.
3. Tablo 3.1'de istenen değerlerin büyüklüklerini etkin değer cinsinden kaydediniz.

Paralel RLC devresi için,

1. Şekil 3.4'teki devreyi breadboard üzerine kurunuz.
2. Deney şemasında verilen devrenin girişine sinyal jeneratörü ile 5V_{pp} / 2 kHz sinüs sinyal uygulayınız.
3. Tablo 3.2'de istenen değerlerin büyüklüklerini etkin değer cinsinden kaydediniz.

Deney Sonuçları

Gözlem tablolarına büyüklükleri, etkin değer cinsinden yazınız.

Tablo 3.1 – Seri RLC devresi gerilimleri gözlem tablosu

	I	V_R	V_L	V_C
Hesaplanan				
Benzetim				
Ölçülen				

Tablo 3.2 – Paralel RLC devresi akımları gözlem tablosu

	I	I_R	I_L	I_C
Hesaplanan				
Benzetim				
Ölçülen				

Deney Çıktılarının Yorumlanması

Deneyin Adı: Rezonans Devrelerinin İncelenmesi

Deneyin Amacı: Seri ve paralel rezonans devrelerinin çalışma prensiplerinin incelenmesi.

Deney Çıktıları: Rezonans devre çeşitlerini ve çalışma prensiplerini kavrayabilme.

Deney Hakkında Teorik Bilgi

Alternatif akım ile sürülen RLC devrelerinde, kapasitif ve endüktif reaktansların eşit olduğu ($X_C = X_L$) frekansta rezonans etkisi görülmektedir. Rezonans etkisinin görüldüğü frekansa *rezonans frekansı* denir.

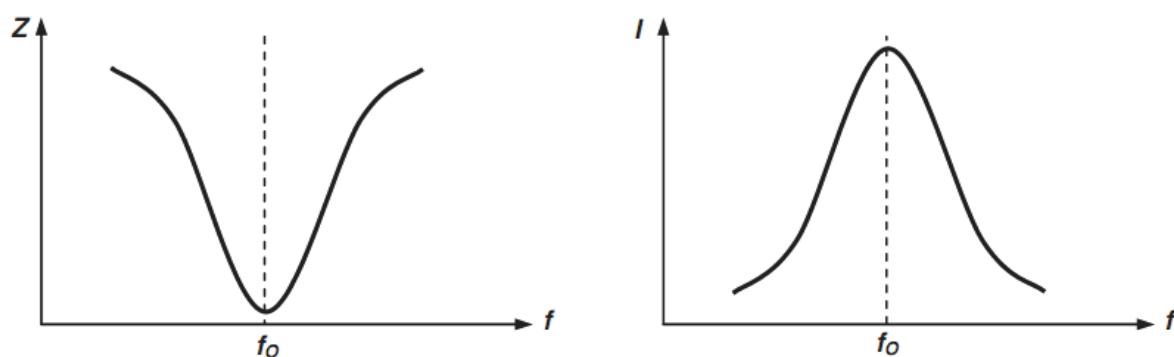
Direnç, bobin ve kapasite elemanlarının seri bağlandığı devreler seri RLC devresi olarak adlandırılır ve seri rezonans devresi Şekil 3.1'de görülmektedir. Bu devrenin toplam empedansının aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır.

$$Z_T = R + j(X_L - X_C)$$

Bir f_0 frekans değeri için $X_L - X_C$ reaktans değeri sıfır olur ve devrenin toplam empedans değeri tamamen devrede bulunan direncin değeri ile aynı olur. Bu durum seri rezonans olarak isimlendirilir ve belirlenen bu f_0 frekansına **seri rezonans frekansı** denir ve aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$X_L - X_C = 0 \longrightarrow X_L = X_C \longrightarrow 2\pi f_0 L = 1 / 2\pi f_0 C \longrightarrow f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

f_0 , rezonans frekansında seri RLC devrelerinde devrenin empedansı sadece direncin değeri ile aynı olmasından dolayı minimum değerde olur ve buna bağlı olarak devredeki akım maksimum değere ulaşır. Akım ile gerilim aynı fazda olur. Daha detaylı olarak anlatırsak seri RLC devrelerinde rezonans frekansında bobin ve kondansatör üzerinde oluşan gerilimlerin büyülüklerinin aynı işaretlerinin zit olmasından dolayı bobin ve kondansatör üzerindeki toplam gerilim sıfır olur ve devrenden $I = V_{in}/R$ olacak şekilde maksimum akım çekilir. Seri RLC devrelerindeki frekans-empedans ve frekans-akım grafikleri Şekil 3.5'te görülmektedir.

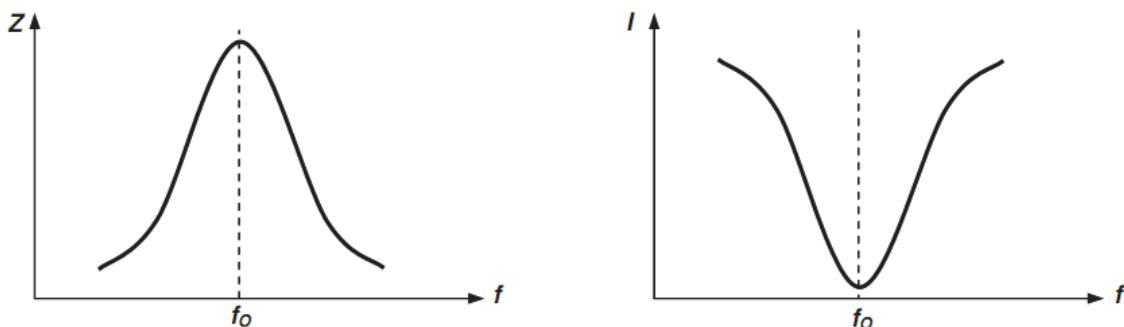


Şekil 3.5 – Seri RLC devresinde empedans – frekans ve akım – frekans ilişkileri

Paralel rezonans devreleri ise Şekil 3.4'te görüldüğü üzere L ve C elemanlarının paralel olarak bağlı olduğu devrelerdir. Bu devrelerde de bir f_0 frekans değeri için kondansatör ve bobinin empedansları sıfır olur ve devrenin toplam empedansı tamamen direncin empedansının karakteristiğine bağlı olur. Reaktif (kondansatör ve bobin empedans) terimi sıfır yapan bu frekans değerine paralel RLC devresinin rezonans frekansı adı verilir ve aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Bu f_0 rezonans frekansında paralel bağlı kondansatör ve bobin üzerinden geçen akımların eşit değerde fakat zit fazlı olmasından dolayı birbirlerini yok ettiği gözlemlenir ve bu rezonans frekansında çıkış geriliminin en yüksek değerini aldığı görülür. Paralel RLC devresinde rezonans frekansında devrenin toplam empedansının maksimum değere ulaşmasına bağlı olarak bu frekans değerinde devre üzerinden akan akım minimum değerini alır. Paralel RLC devrelerindeki frekans-empedans ve frekans-akım grafikleri Şekil 3.6'da görülmektedir.



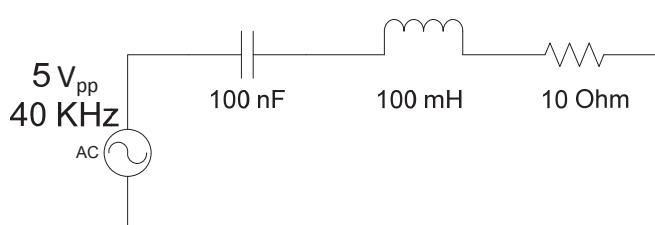
Şekil 3.6 – Paralel RLC devresinde empedans – frekans ve akım – frekans ilişkileri

Deneyle İlgili Ön Çalışma

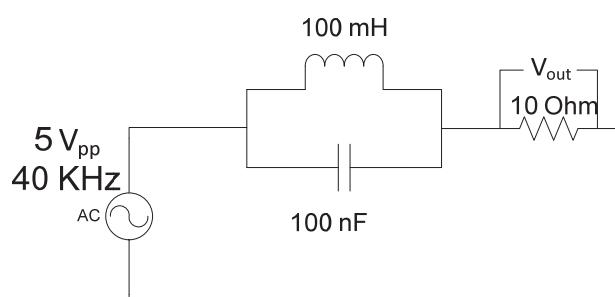
Şekil 3.7 ve Şekil 3.8'de görülen seri ve paralel RLC devrelerinin rezonans frekanslarını analitik olarak hesaplayınız. Bu devreleri bir benzetim programı yoluyla kurarak rezonans frekanslarını simülasyon ortamında bulunuz. Benzetim yoluyla hesaplamak için farklı frekanslarda girdiler için çıkış gerilimleri V_o 'nın en yüksek olduğu değeri veren frekansı bulunuz.

Denevin Yapılışı

Deneysel Şeması



Şekil 3.7 – Seri RLC devre şeması



Şekil 3.8 – Paralel RLC devre şeması

Uygulanacak Adımlar

1. Seri RLC devresi şemasını breadboard üzerine kurunuz (Şekil 3.7).
2. Devrenin girişine 5 Vpp / 40 kHz sinüs işaret veriniz.
3. Giriş işaretinin frekansını değiştirerek çıkış geriliminin en yüksek olduğu frekansı bulunuz. Sonucu deney sonuçları bölümündeki gözlem tablosu Tablo 3.3'e kaydediniz.

4. Paralel RLC devresi şemasını breadboard üzerine kurunuz (Şekil 3.8).
5. Devrenin girişine 5 Vpp / 40 kHz sinüs işaret veriniz.
6. Giriş işaretinin frekansını değiştirerek çıkış geriliminin en küçük olduğu frekansı bulunuz. Sonucu deney sonuçları bölümündeki gözlem tablosuna Tablo 3.3'e kaydediniz.

Deney Sonuçları

Tablo 3.3 – Seri ve Paralel RLC devreleri için rezonans frekansları gözlem tablosu

	Seri RLC için rezonans frekansı	Paralel RLC için rezonans frekansı
Hesaplanan		
Benzetim		
Ölçüm		

Deney Çıktılarının Yorumlanması

Deney 4

Diyot Karakteristiğinin Çıkarılması

Malzeme Listesi:

- 1 adet 220Ω / 1W direnç
- 1 adet $1 K\Omega$ potansiyometre
- 1 adet 1N4007 diyot

Deneyde Kullanılacak Cihazlar

- Breadboard
- Multimetre
- DC Güç Kaynağı

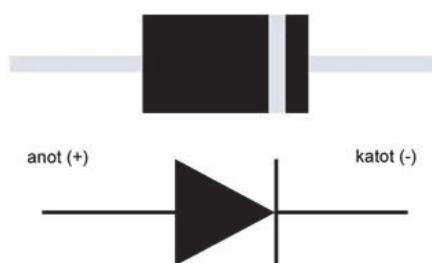
Deneyin Adı: Diyot Karakteristiğinin Çıkarılması

Deneyin Amacı: Diyot karakteristiğinin deneyler aracılığı ile elde edilmesi amaçlanmaktadır.

Deney Çıktıları: Diyotun akım ve gerilimi arasındaki ilişkiyi kavrayabilme ve gözlemlenmesi.

Deney Hakkında Teorik Bilgi

Diyot elemanı devrelerde akımın bir yönde iletilmesine izin veren diğer yönde ise iletme izin vermeyen devre elemanıdır. Diyotlar, P ve N tipi iki yarı iletkenin birleştirilmesinden oluşur ve P kutbuna "Anot", N kutbuna da "Katot" adı verilir. Diyotlar, anahtarlama ve doğrultma gibi birçok kullanım alanı olmasından dolayı elektronik devrelerde sıkılıkla kullanılan elemanlardan biridir.



Şekil 4.1 – Diyotun görünüşü ve devrelerdeki simbolü

Diyotlar genel olarak silisyum(Si) ve germanium(Ge) gibi yarı iletken malzemelerden imâl edilirler. Bu diyotların silisyum için 0.7 V ve germanium için 0.3 V olmak üzere belirli eşik gerilimleri vardır. Analog elektronik dersinde bahsi geçtiği gibi modelleme esnasında iç direnç ve eşik gerilimi değerleri doğru yaklaşım için göz önünde bulundurulması gereklî parametrelerdir. İdeal diyotta ise bu değerler 0'dır. Diyotların bir yöndeki direnci çok düşük (ideal olarak 0), diğer yöndeki direnci çok büyütür (ideal diyotta ise sonsuz direnç).

Diyotun akım-gerilim karakteristığını veren denklem aşağıdaki gibidir:

$$I_D = I_S \left(e^{\frac{V_D}{nV_T}} - 1 \right)$$

Bu denklemde I_S diyot ters öngerilimleme doyma akımı (1N4007 için 2.550 nA), V_D diyot gerilimi, I_D diyot akımı, n diyotun kalite faktörü, V_T ise termal gerilimdir. Termal gerilim V_T oda sıcaklığında yaklaşık olarak 26 mV'tur.

Diyotların devreye bağlanması şekillerine göre doğru veya ters öngerilimleme olmak üzere iki bağlantı şekli bulunmaktadır. Diyotun anot yani P kutbuna gerilim kaynağının pozitif ucu ve katot yani N kutbuna gerilim kaynağının negatif ucu bağlandığında diyot iletme geçer ve üzerinden akım geçmesine izin verir. Diyot doğru öngerilimleme durumunda eşik değer geçilinceye kadar akım akıtmaz (gerçekte küçük değerli akım akar), eşik değer aşıldığında hızla akım akıtmaya başlar. Ters öngerilimlemede ise diyotun anot ucuna gerilim kaynağının negatif ucu, katota ise gerilim kaynağının pozitif ucu bağlanır ve diyot yalıtımı geçerek üzerinden akım geçmesine izin vermez. Fakat diyota ters gerilim uygulandığında diyot yalıtımında iken çok küçük derecede bir akım geçer. Buna **sızıntı akımı** (ters doyma akımı) adı verilir. Bu istenmeyen bir durumdur. Sızıntı akımının miktarı diyotun yapımında kullanılan yarı iletken malzemeye bağlıdır.

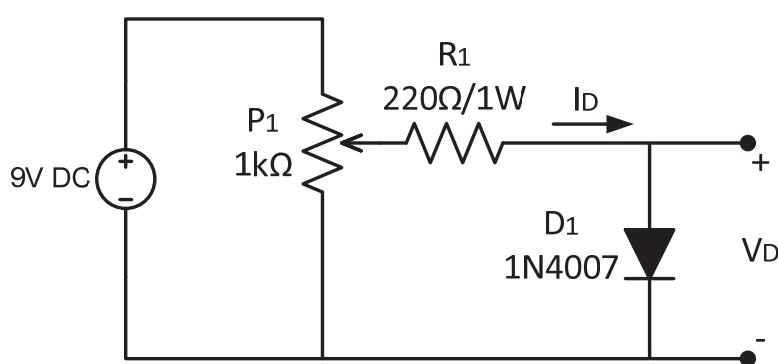
Diyotlarda aşırı akım, ortam sıcaklığı, bağlantı hataları, ani gerilim yükselmesi gibi nedenlere bağlı olarak arızalanabilirler. Diyotların sağlamlığını test etmek için multimetreler diyot sembolünün bulunduğu bölüme ayarlanır ve diyotun iki ayağı doğru öngerilimleme ile multimetrenin probleme dokundurulur. Diyot üzerine düşen gerilim bu yönde 0,2 V – 0,95 V arasında bir değer olarak okunur. Daha sonra diyotun bacakları multimetreye göre ters öngerilimleme olacak şekilde ters çevrilir. Bu durumda 0 V civarında bir değer okunması durumunda diyotun sağlam olduğu kanaatine varılır. Bunun dışındaki durumlarda diyot arızalıdır.

Deneyle İlgili Ön Çalışma

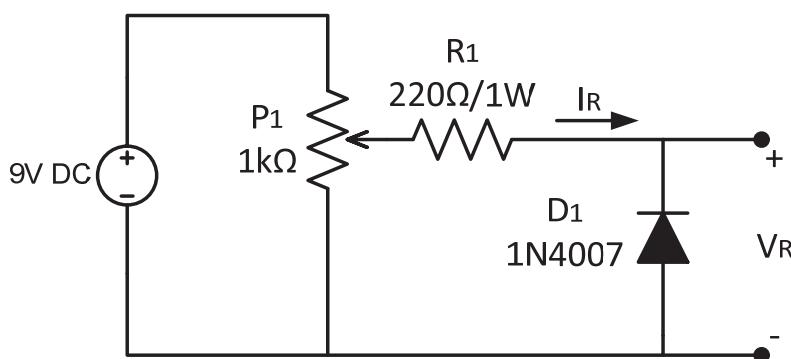
Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'teki deney düzeneklerini bilgisayar benzetim programında kurunuz. Potansiyometre milini minimumdan maksimuma değiştirerek, gözlemlediğiniz diyot akımı I_D ve diyot gerilimi V_D 'yi Tablo 4.1 ve Tablo 4.2'ye kaydediniz. Bu değerleri kullanarak 1N4007'nin farklı I_D ve V_D gerilimlerindeki kalite faktörleri n değerini hesaplayınız (I_S değerini 2.550 nA alınız). Bu değerleri de tablolardaki ilgili alanlara kaydediniz.

Deneyin Yapılışı

Deney Şeması



Şekil 4.2 – Doğru öngerilimleme deney şeması



Şekil 4.3 – Ters öngerilimleme deney şeması

Uygulanacak Adımlar

1. Şekil 4.2'daki devreyi breadboard üzerine kurunuz.
2. P_1 potansiyometresinin direncini en küçük değerden en büyük değere belirli aralıklarda değiştirerek (toplam 10 farklı değerde), diyot akımı I_D 'yi ve diyot gerilimi V_D 'yi ölçerek Tablo 4.2'e kaydediniz. Elde ettiğiniz V_D ve I_D değerlerini kullanarak Şekil 4.4 üzerine diyot doğru öngerilemleme karakteristiğini çiziniz.
3. Şekil 4.3'deki devreyi breadboard üzerine kurunuz.
4. P_1 potansiyometresinin direncini en küçük değerden en büyük değere belirli aralıklarda değiştirerek (toplam 10 farklı değerde), diyot akımı I_R 'yi ve diyot gerilimi V_R 'yi ölçerek Tablo 4.3'e kaydediniz.
5. Elde ettiğiniz V_R ve I_R değerlerini kullanarak Şekil 4.4 üzerine diyot ters öngerilemleme karakteristiğini çiziniz.
6. Elde ettiğiniz V_D , I_D , V_R , I_R değerleri için kalite faktörü n 'yi hesaplayınız. Tablo 4.1 ve 4.2'ye kaydediniz.

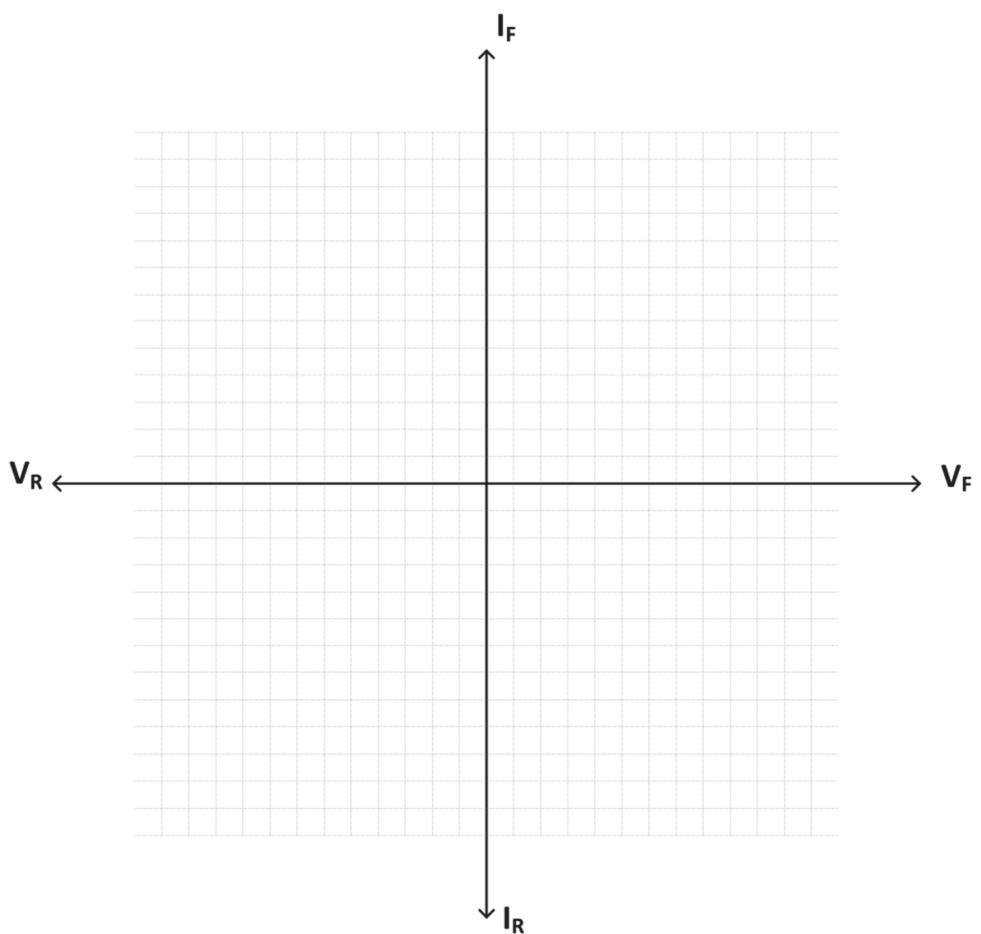
Deney Sonuçları

Tablo 4.1 – Doğru öngerilemleme diyot akım-gerilim gözlem tablosu

		Doğru Öngerilemleme									
Benzetim	V_F										
	I_F										
	n										
Ölçülen	V_F										
	I_F										
	n										

Tablo 4.2 – Ters öngerilemleme diyot akım-gerilim gözlem tablosu

		Ters Öngerilemleme									
Benzetim	V_R										
	I_R										
	n										
Ölçülen	V_R										
	I_R										
	n										



Şekil 4.4 – Diyot karakteristiği için akım-gerilim eksenleri

Deney Çıktılarının Yorumlanması

Deney 5

Diyotlu Doğrultucu Uygulamaları

Malzeme Listesi:

- 1 adet $3\text{ K}\Omega$ direnç
- 1 adet $100\text{ }\mu\text{F}$ Kondansatör
- 5 adet 1N4001 diyot

Deneyde Kullanılacak Cihazlar

- Multimetre
- Osiloskop
- Sinyal Jeneratörü
- Breadboard

Deneyin Adı: Doğrultucu Uygulamaları

Deneyin Amacı: Diyot kullanarak yapılan doğrultucu uygulamalarının öğrenilmesi.

Deney Çıktıları: Diyotlu doğrultucunun çalışma prensiplerini kavrayabilme.

Deney Hakkında Teorik Bilgi

Pek çok elektronik uygulamada şehir şebekesinden alınan 220V 50 Hz'lik AC işaretin DC işarete çevrilmesine ihtiyaç duyulur. Bu işlem genel olarak devrelerde trafo, diyotlar, gerilim regülatörleri gibi devre elemanları kullanılarak yapılır ve bu tip devrelere "doğrultucu devreler" adı verilir. Diyot kullanılarak yapılan doğrultucu devreleri yarımdalga ve tamdalga doğrultucular olmak üzere iki kısma ayrıılır. DC güç kaynakları ve AC motor sürücülerini diyotlu doğrultucu devrelerinin başlıca kullanım alanlarına örnek olarak verilebilir.

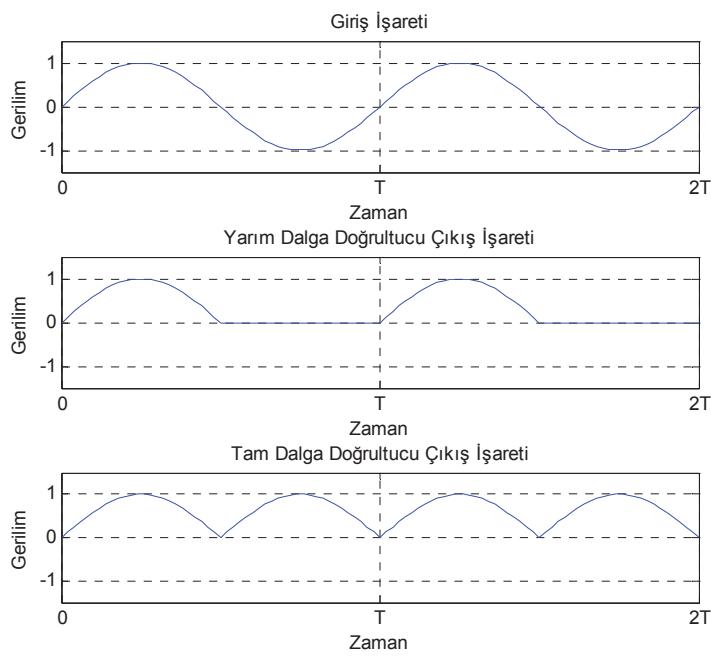
Girişte verilen AC işaretin sadece pozitif veya negatif alternansının doğrultulduğu doğrultucu devrelerine *yarımdalga doğrultucu devreler* denir. Yarımdalga doğrultucu devre, diyotun yerleştirme yönüne bağlı olarak girişe uygulanan sinüs şeklindeki işaretin diyotun üzerine gelen negatif (pozitif) gerilimi iletmemesinden dolayı, giriş geriliminin sadece pozitif (negatif) kısmının geçişine izin verecek ve diğer bir deyişle sadece bir alternansını doğrultacaktır. Devre çıkışında gözlemlenen gerilimin tepe değeri, diyot üzerine düşen gerilim ihmali edildiğinde giriş sinyalinin tepe değeri ile aynıdır. Yarımdalga doğrultucu devresine sinusoidal bir giriş işaretinin uygulanlığında, devre çıkışındaki ortalama DC gerilim değeri aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$V_{DC} = \frac{V_p}{\pi}$$

Girişe uygulanan AC işaretin, pozitif ve negatif alternanslarının beraber doğrultulduğu devrelere ise *tamdalga doğrultucu devreler* denir. 2 veya 4 diyot kullanılarak bu tip doğrultucular elde edilir. Böylece giriş işaretinin 2 katı frekansında pozitif bölgede olan bir işaret çıkışta elde edilecektir. Sinusoidal bir giriş işaret için, tamdalga doğrultucu için çıkıştaki ortalama DC değeri aşağıdaki gibi hesaplanır,

$$V_{DC} = \frac{2V_p}{\pi}$$

Uygulanan bir sinusoidal sinyal için hem yarımdalga doğrultucu hem de tamdalga doğrultucu için devre çıkışlarında elde edilen işaretler Şekil 5.1'de açık bir şekilde görülmektedir.



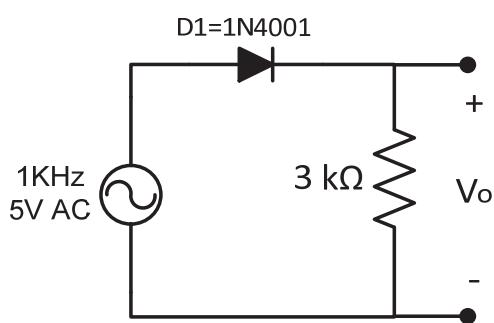
Şekil 5.1 – Yarım dalga ve tam dalga doğrultucu çıkış işaretleri

Deneyle İlgili Ön Çalışma

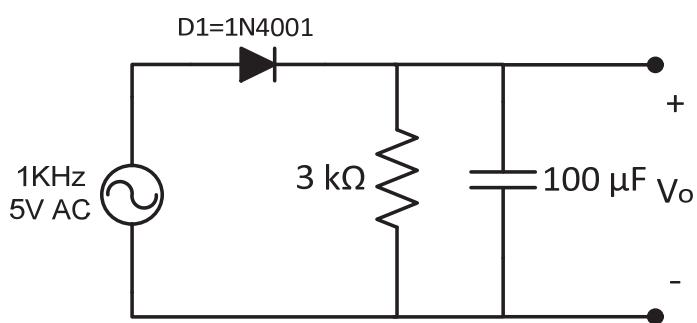
Yarım dalga ve tam dalga doğrultucu için DC gerilim işaretlerini aşağıdaki devrelerde verilen frekanslar ve gerilimlerdeki AC işaretler için analitik olarak hesaplayıp, Tablo 5.1'e kaydediniz. Benzetim programı yardımıyla, Şekil 5.2, 5.3, 5.4 ve 5.5'deki deney şemalarındaki devrelerin uygulama adımlarına bağlı olarak simülasyonlarını yapıp çıkış işaretlerindeki DC gerilimi voltmetre (DC kademesinde) ile ölçerek sonuçları gözlem tablosundaki Tablo 5.1'e kaydediniz.

Deneyin Yapılışı

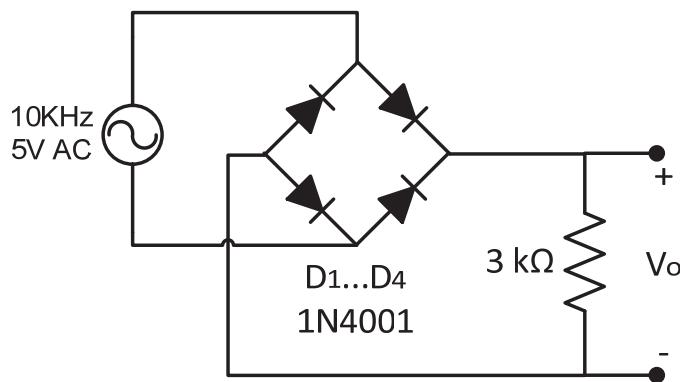
Deney şemaları



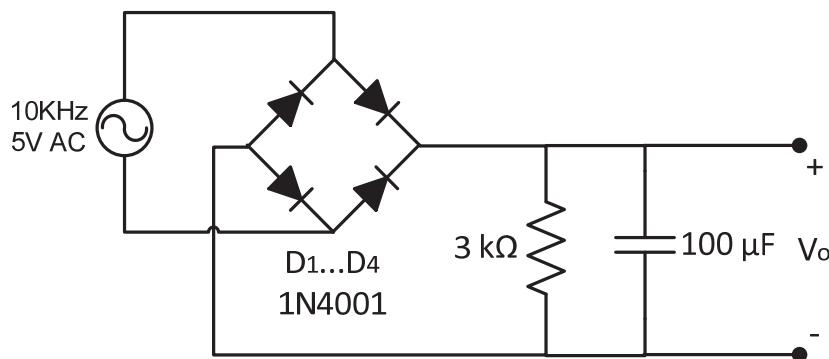
Şekil 5.2 – Yarım dalgafiltresiz deney şeması



Şekil 5.3 – Yarım dalgafiltreli deney şeması



Şekil 5.4 – Tam dalga doğrultmaç (filtresiz) deney şeması



Şekil 5.5 – Tam dalga doğrultmaç (filtreli) deney şeması

Uygulanacak Adımlar

Yarım Dalga Doğrultucu Deneyi

1. Şekil 5.2'deki devreyi kurunuz.
2. Giriş işaretini olarak 1 kHz 5V gerilime sahip sinüs işaretini veriniz.
3. Devre çıkışındaki sinyali osiloskopla ölçerek, dalga şeklini Şekil 5.6'ya çiziniz.
4. Devre çıkışındaki DC gerilimi voltmetre ile ölçerek sonucu Tablo 5.1'e kaydediniz.
5. Deney şeması Şekil 5.3'deki gibi kondansatörü devreye dahil ediniz.
6. Devre çıkışındaki sinyali osiloskop ile ölçerek dalga şeklini Şekil 5.7'ye çiziniz.
7. Devre çıkışındaki DC gerilimi voltmetre ile ölçerek sonucu Tablo 5.1'e kaydediniz.

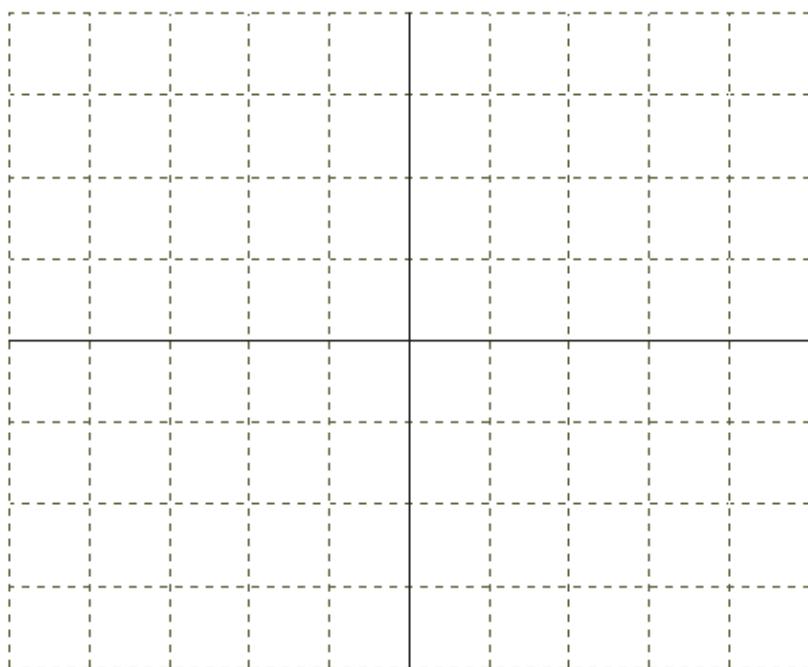
Tam Dalga Doğrultucu Deneyi

1. Şekil 5.4'deki devreyi kurunuz.
2. Giriş işaretini olarak 10 kHz 5V gerilime sahip sinüs işaretini veriniz.
3. Devre çıkışındaki sinyali osiloskopla ölçerek, dalga şeklini Şekil 5.8'e çiziniz.
4. Devre çıkışındaki DC gerilimi voltmetre ile ölçerek sonucu Tablo 5.1'e kaydediniz.
5. Deney şeması Şekil 5.5'deki gibi kondansatörü devreye dahil ediniz.
6. Devre çıkışındaki sinyali osiloskop ile ölçerek dalga şeklini Şekil 5.9'a çiziniz.
7. Devre çıkışındaki DC gerilimi voltmetre ile ölçerek sonucu Tablo 5.1'e kaydediniz.

Deney Sonuçları

Tablo 5.1 – Farklı Doğrultucu Tipleri için DC Çıkış Gerilimi Seviyeleri Gözlem Tablosu

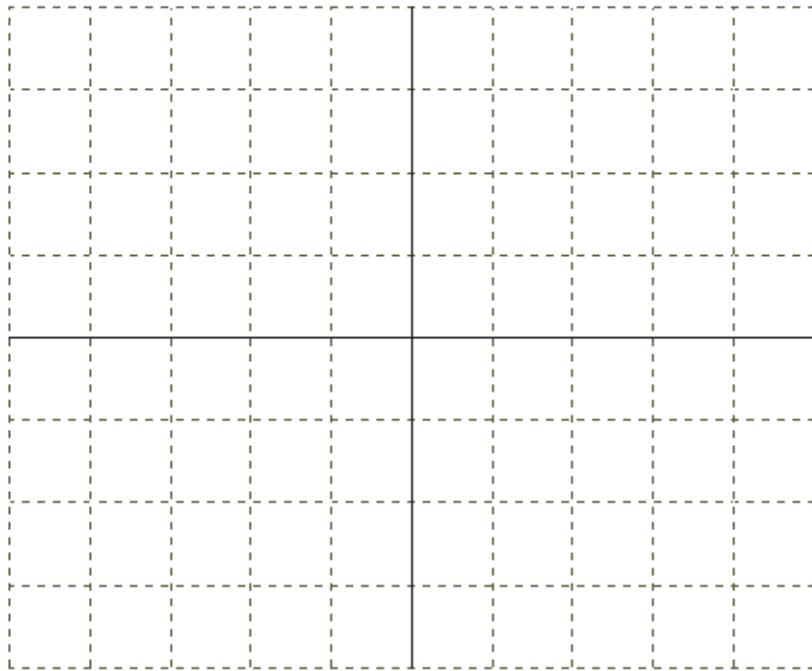
	DC Çıkış Gerilimi Seviyeleri			
	Yarım Dalga		Tam Dalga	
	Filtresiz	Filtreli	Filtresiz	Filtreli
Hesaplanan				
Benzetim				
Ölçülen				XXXXXXX



$$\frac{Volt}{Div} =$$

$$\frac{Time}{Div} =$$

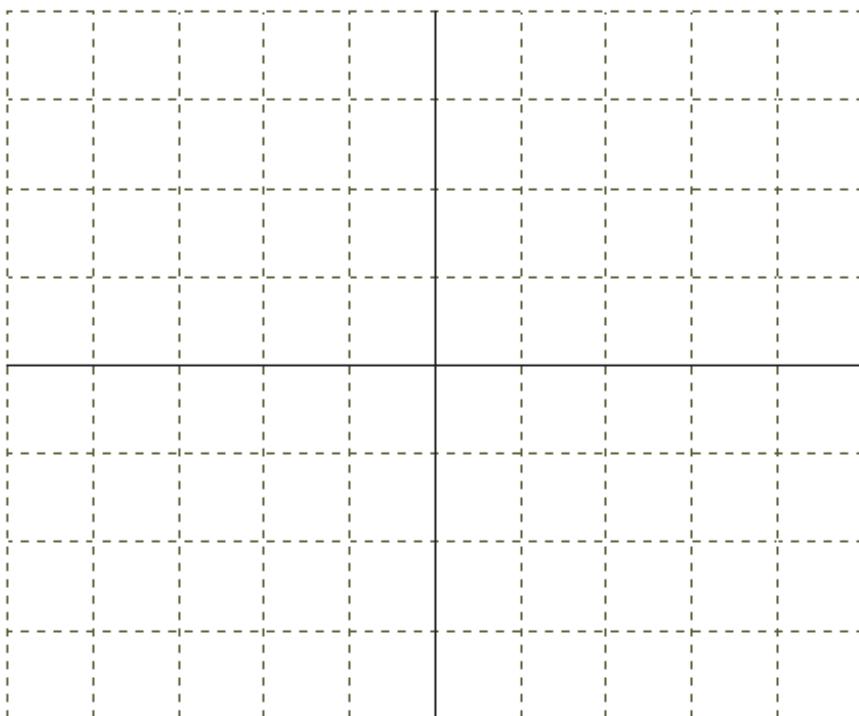
Şekil 5.6 – Filtresiz yarıml dalga doğrultucu çıkış işaretleri



$$\frac{Volt}{Div} =$$

$$\frac{Time}{Div} =$$

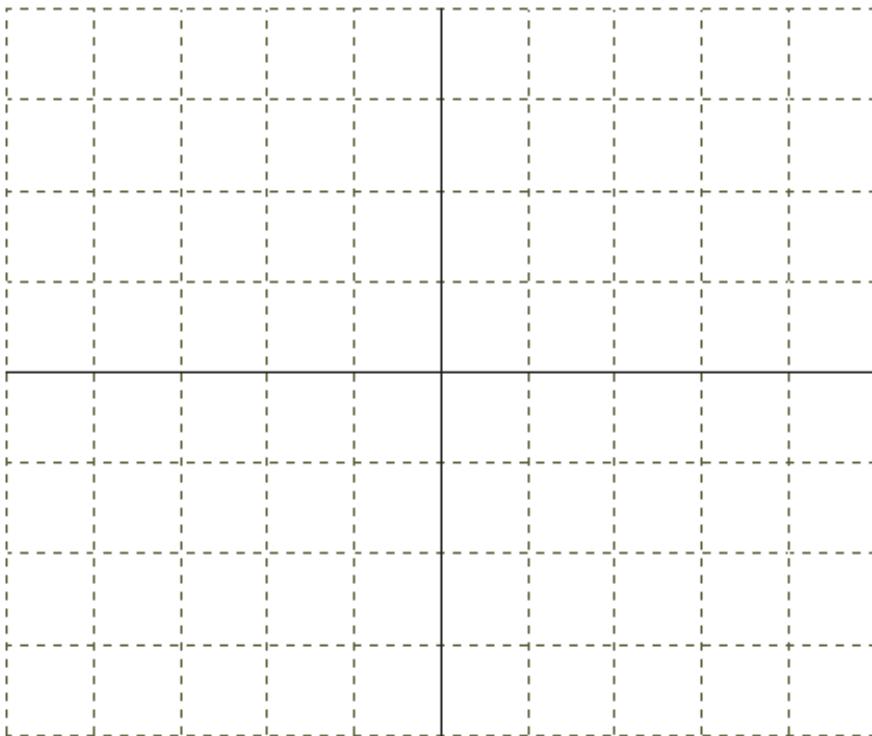
Şekil 5.7 – Filtreli yarım dalga doğrultucu çıkış işaretü



$$\frac{Volt}{Div} =$$

$$\frac{Time}{Div} =$$

Şekil 5.8 – Filtresiz tam dalga doğrultucu çıkış işaretü



$$\frac{Volt}{Div} =$$

$$\frac{Time}{Div} =$$

Şekil 5.9 – Filtreli tam dalga doğrultucu çıkış işaretü

Deney Çıktılarının Yorumlanması

Deney 6

Zener Diyot Karakteristiği ve Uygulaması

Malzeme Listesi:

- 1 adet $220 \Omega / 1W$, 1 adet $56 \Omega / 1W$ Dirençler
- 1 adet $1 k\Omega$ Potansiyometre
- 2 adet 5.6 V Zener Diyot
- 1 adet BD139 Transistör

Deneyde Kullanılacak Cihazlar

- Avometre
- Osiloskop
- Sinyal Jeneratörü
- Breadboard

Deneyin Adı: Zener Diyot Karakteristiği ve Uygulamaları

Deneyin Amacı: Zener diyot karakteristığının elde edilmesi ve zener diyot kullanarak regülatör yapma.

Deney Çıktıları: Zener diyotun akım ve gerilimi arasındaki ilişkiyi ve zenerli regülatör devresinin çalışma prensiplerini kavrayabilme.

Deney Hakkında Teorik Bilgi

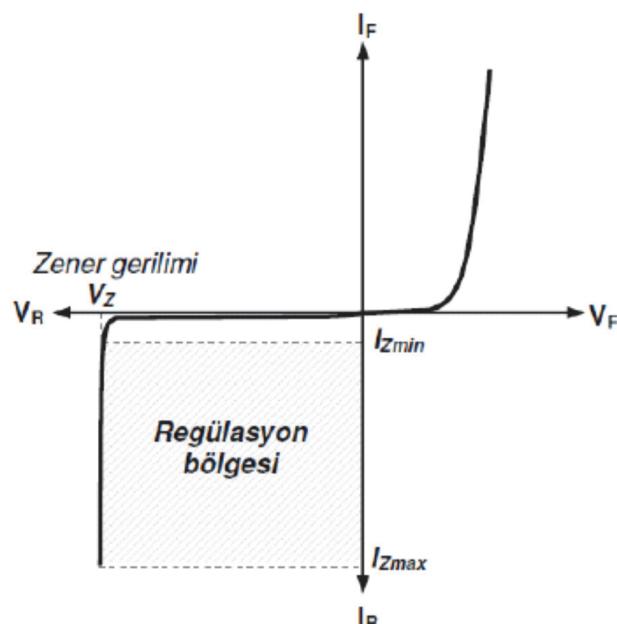
Zener diyotlar yarıiletken diyotların özel bir çeşidi olup normal diyotların aksine tek yönde akım geçmesine izin vermenin yanında yeterli voltaj değeri aşıldığında diğer yönde de akım geçişine izin vermektedir. Doğru öngerilimleme altında ise çalışması doğrultucu diyotlarla benzer şekilde olmaktadır. Doğru öngerilimleme altında iletkendir. Üzerinde yaklaşık 0.7 V diyon öngerilimi oluşur.

Zener diyotlar devrelerde koruma, referans gerilimi oluşturma ve gerilim regülasyonu sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Şekil 6.1'de bir zener diyot ve sembolü görülmektedir.



Şekil 6.1 – Zener Diyot

Bu tip diyotlar ters öngerilimleme altında kırılma bölgesinde çalıştırılmak üzere tasarlanmış pn eklemli devre elemanlarıdır. Ters öngerilimleme altında sabit gerilim bölgesi meydana getirirler ve bu gerilim değeri “çığ(kırılma) gerilimi” (Breakdown voltage) olarak adlandırılır.



Şekil 6.2 – Zener diyot karakteristik eğrisi

Zener diyot ile normal diyotlar arasında ters öngerilimleme bölgelerinde fark vardır. Normal diyon ters öngerilimleme dayanma gerilimi değerine kadar açık devre özelliğini korur. Zener diyot ise bu bölgede zener kırılma gerilimi (V_z) değerinde iletme geçer. Zener üzerindeki gerilim düşümü yaklaşık olarak sabit kalır. Zener diyotların kırılma gerilimleri ise pn ekleminin katkı maddesi oranlarına göre değişmektedir ve genelde 1.8 V – 200 V arası kırılma gerilimlerine sahip olarak üretilen zener diyotlar kullanılmaktadırlar.

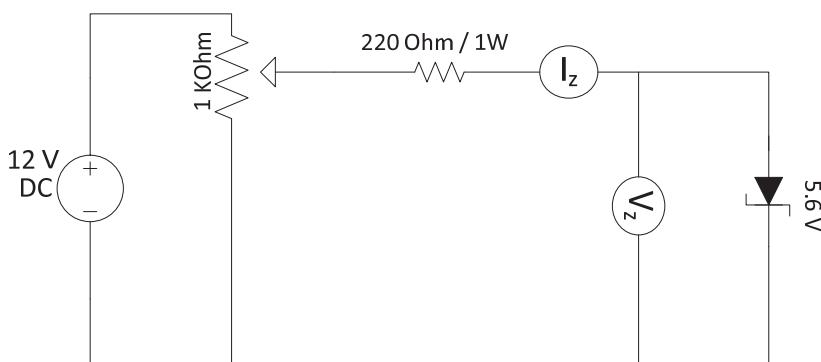
Karakteristik eğriden kolayca anlaşılabilcegi gibi ters öngerilimleme gerilimi zener gerilimini aşlığında, eleman yüksek değerde akım geçirmeye başlar. Bu nedenle zener diyotlar mutlaka bir öndirençle birlikte kullanılıp üzerinden geçen akım sınırlanmalı ve zarar görmesi engellenmelidir. Kullanılacak öndirenç, zener diyot üzerinden en azından 5mA' lik bir akım (I_{Zmin}) geçişine izin vermelii ve aynı zamanda yük akımını karşılamalıdır. Dikkat edilmesi gereken bir diğer nokta da, öndirenç ve zener diyot üzerinde harcanacak güç miktarlarının da sınır değerleri aşmaması gereklidir.

Deneyle İlgili Ön Çalışma

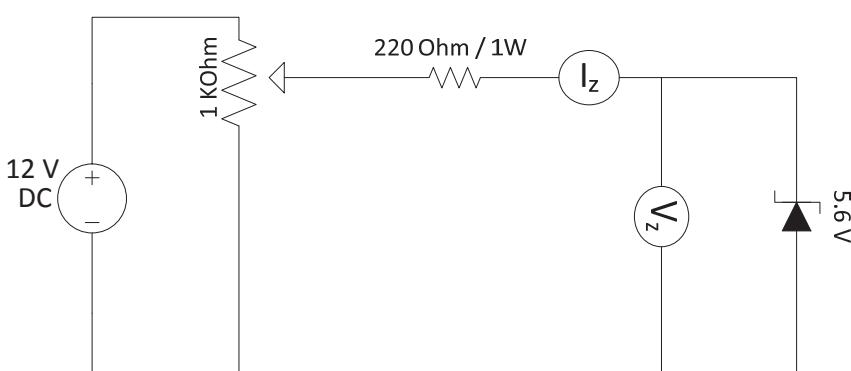
Şekil 6.3 ve Şekil 6.4'te verilen zener diyotun doğru ve ters öngerilimlemesini içeren devrelerin benzetim programı ile simülasyonlarını yaparak, istenen sonuçların Tablo 6.1 ve Tablo 6.2'ye kaydediniz.

Denevin Yapılışı

Denev Şemaları



Şekil 6.3 – Doğru Öngerilimleme Devresi



Şekil 6.4– Ters Öngerilimleme Devresi

Uygulanacak Adımlar

- Şekil 6.3'teki devreyi breadboard üzerine kurunuz.
- Potansiyometreyi minimumdan maksimuma düzenli aralıklarla getirerek zener diyotun doğru öngerilimleme akım ve gerilim değerlerini Tablo 6.1'e kaydediniz.
- Şekil 6.4'deki devreyi breadboard üzerine kurunuz.
- Potansiyometreyi minimumdan maksimuma düzenli aralıklarla getirerek zener diyotun ters öngerilimleme akım ve gerilim değerlerini Tablo 6.2'ye kaydediniz.
- Tablo 6.1 ve 6.2'deki değerleri kullanarak zener diyotun karakteristğini Şekil 6.5'e çiziniz.

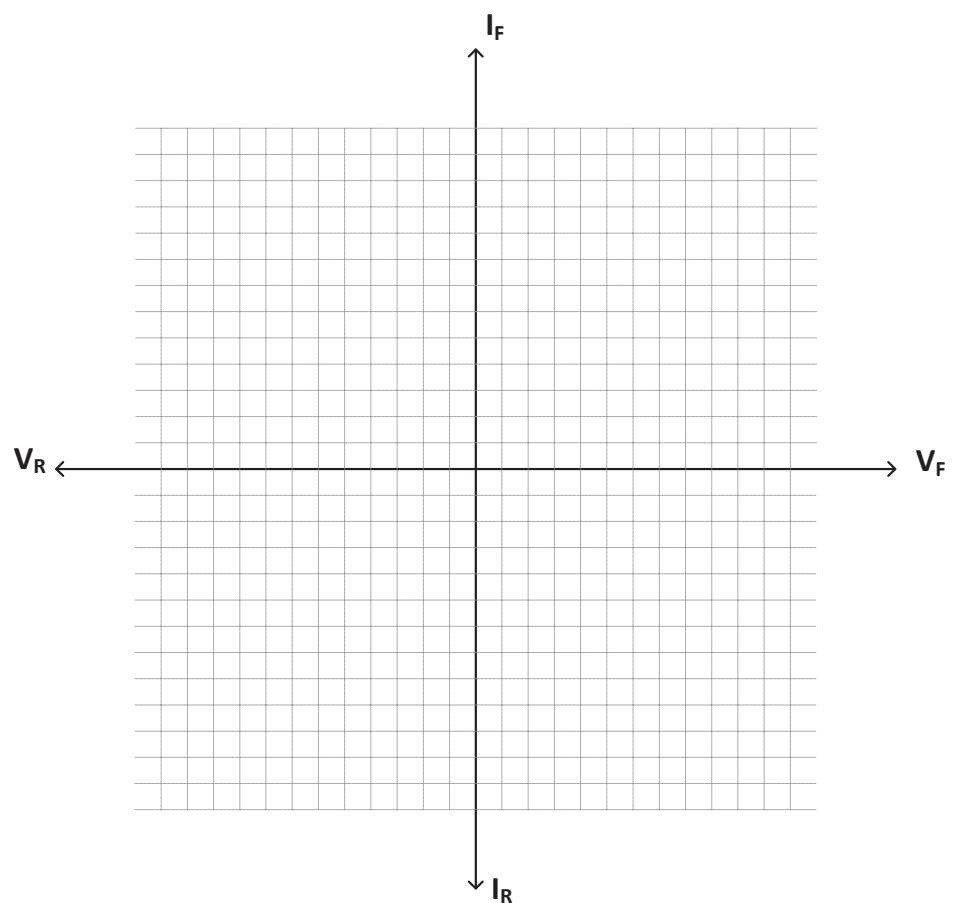
Deney Sonuçları

Tablo 6.1 – Zener Diyot Doğru Öngerilimleme Gözlem Tablosu

		Doğru Öngerilimleme							
Benzetim	V_Z (V)	0	0.3	0.5	0.6	0.65	0.7	0.75	0.8
	I_Z								
Ölçülen	V_Z (V)	0	0.3	0.5	0.6	0.65	0.7	0.75	0.8
	I_Z								

Tablo 6.2 – Zener Diyot Ters Öngerilimleme Gözlem Tablosu

		Ters Öngerilimleme								
Benzetim	V_Z (V)	6	5.9	5.8	5.7	5.6	5.5	5	2.5	0
	I_Z									
Ölçülen	V_Z (V)	6	5.9	5.8	5.7	5.6	5.5	5	2.5	0
	I_Z									



Şekil 6.5 – Zener Diyot Karakteristiği

Deney Çıktılarının Yorumlanması

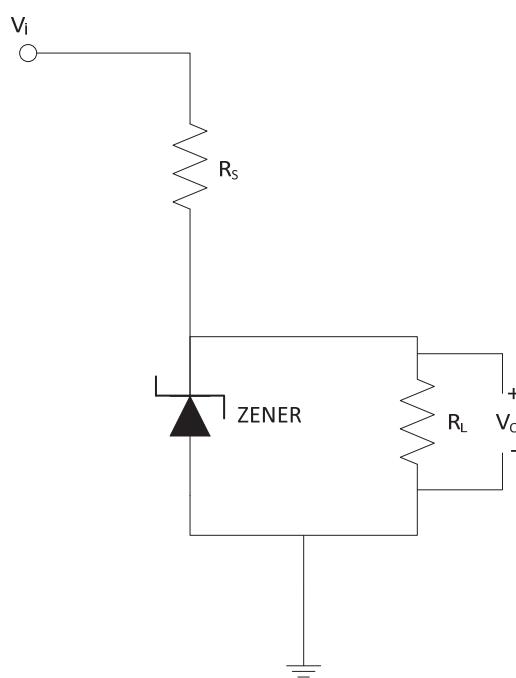
Deneyin Adı: Zener Diyotlu Regülatör Devresi

Deneyin Amacı: Zener Diyotlu Regülatör devrelerini gerçekleyerek çalışma presinsiplerinin öğrenilmesi.

Deney Çıktıları: Zener Diyotlu Regülatör devrelerinin çalışma prensiplerini kavrayabilme.

Deney Hakkında Teorik Bilgi

Şebeke gerilimi ve yük akımındaki dalgalanmalar neticesinde, doğrultucu devrelerinin çıkışındaki DC gerilimin seviyesi de değişmektedir. Gerilim seviyesindeki bu değişimler elektronik devredeki elemanların çalışma şartlarında bazı olumsuzlukların ortayamasına neden olmaktadır. Bu olumsuz durumu regülatör devreleri kullanılarak ortadan kaldırmak mümkündür. Regülatör devrelerinin amacı, giriş gerilimi ya da yük akımında (belli sınırlar dâhilinde) meydana gelen değişimlere rağmen, çıkış gerilimini sabit tutmaktır. Bu amaçla üretilmiş çeşitli entegre devreler vardır fakat zener diyotlu regülatör devreleri de bu amaçla sıkça kullanılan yöntemlerden biridir. Şekil 6.6'da zener diyotlu basit bir regülatör devresi görülmektedir. V_i regülesiz DC giriş gerilimini ve V_o regüleli DC çıkış gerilimini ifade etmektedir. R_s akım sınırlama direnci olarak kullanılmakta olup, R_L ise yük direncini göstermektedir.



Şekil 6.6 – Zener Diyotlu Temel Regülatör Devresi

Zener diyotlu regülatör devresinde önemli olan husus, devrede kullanılacak zener diyotun zener gerilim değerinin yükün çalışma gerilimine uygun seçilmesidir. Örnek olarak yükün ihtiyaç duyduğu besleme gerilimi 5 V ise zener diyon da 5 V'luk olmalıdır. Ayrıca regülesiz DC giriş geriliminin değerinin de (V_i) seçilen zener diyon geriliminin altına düşmemesi gerekmektedir. Bunun nedeni ise eğer giriş gerilimi zener diyon açılma geriliminden düşük olursa, zener diyon çalışmayarak açık devre özelliğini gösterecek ve çıkış gerilimi R_s ve R_L tarafından belirlenen bir değer alacaktır.

Diğer bir önemli nokta ise akım sınırlama direncinin (R_s) değerinin seçimidir. Bu direnç, regülesiz DC giriş geriliminin en küçük değerinde bile minimum zener akımı ve yük akımını karşılayacak şekilde seçilmelidir.

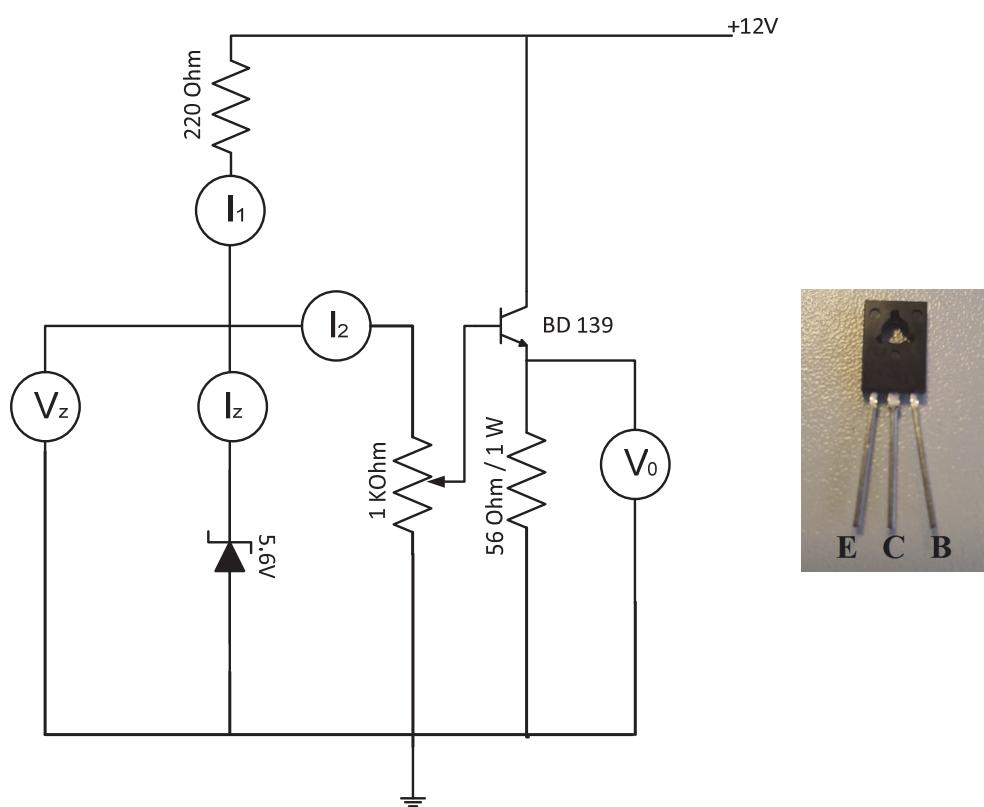
Ek olarak yükü devreye bağlamadığımızda yükten geçmesi gereken akım da zener diyot üzerinden geçeceğinden, zener üzerinde harcanan güç önemli ölçüde artacaktır. Bu da zener diyot ve akım sınırlama direnci seçimi doğru yapılmadıysa zener diyotun bozulmasına sebep olacaktır.

Deneyle İlgili Ön Çalışma

Şekil 6.7'de verilen regülatör devresinin benzetimini bir benzetim programı yardımıyla simülasyonlarını yaparak istenilen sonuçları Tablo 6.3'te belirtilen ynlere kaydediniz.

Deneyin Yapılışı

Deney Şeması



Şekil 6.7 – Regülatör Devresi Deney Şeması

Uygulanacak Adımlar

1. Şekil 6.7' de görülen devreyi breadboard üzerine kurunuz.
2. Potansiyometre milini minimum, orta ve maksimum seviyeye getirerek istenilen değerleri ölçünüz. Gözlem Tablosu 6.4'e deneySEL bulgularınızı kaydediniz.

Deney Sonuçları

Tablo 6.3 – Regülatör Devresi için Benzetim Programı Gözlem Tablosu

	Benzetim Programı Sonuçları		
	Pot. minimum	Pot. orta (0,5k)	Pot. maksimum
I_1			
I_2			
I_z			
V_z			
V_o			

Tablo 6.4 – Regülatör Devresi için Gözlem Tablosu

	Deneyel Sonuçlar		
	P1 minimum	P1 orta (0,5k)	P1 maksimum
I_1			
I_2			
I_z			
V_z			
V_o			

Deney Çıktılarının Yorumlanması

Deney 7

BJT Transistör Karakteristikleri

Malzeme Listesi:

- 1 adet $33\text{ k}\Omega$ ve 1 adet $220\Omega/1\text{W}$ direnç
- 1 adet $100\text{k}\Omega$ potansiyometre
- 1 adet BC237 transistör

Deneyde Kullanılacak Cihazlar

- Breadboard
- Multimetre
- DC Güç Kaynağı

Deneyin Adı: BJT Transistör Karakteristikleri

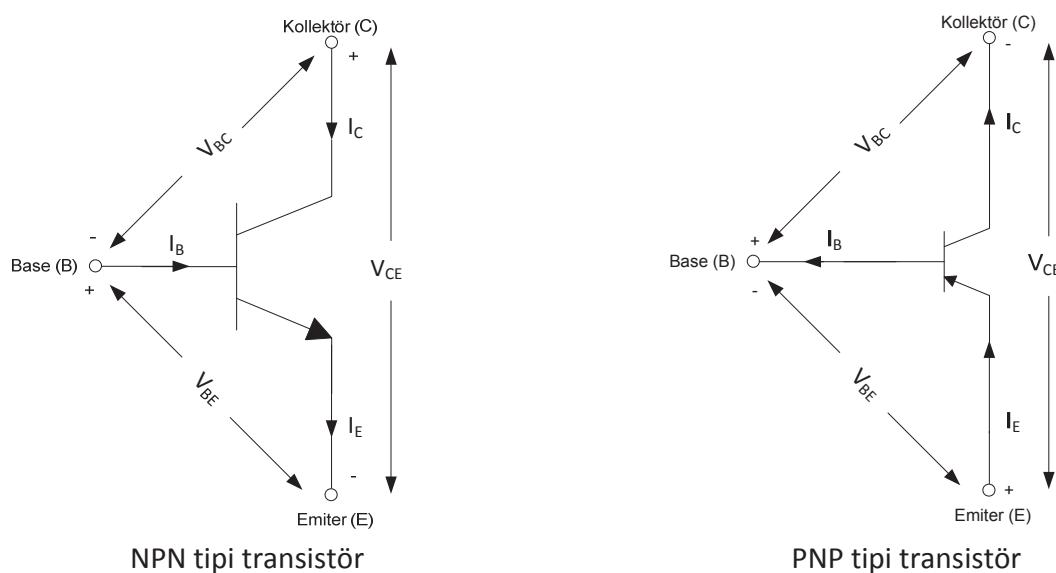
Deneyin Amacı: BJT Transistör karakteristiklerinin elde edilmesi.

Deney Çıktıları: BJT Transistör karakteristiklerinin deneyel elde edilmesi yolu ile çalışma prensiplerini kavrayabilme.

Deney Hakkında Teorik Bilgi

Transistör iki PN ekleminden oluşan, üç terminalli bir elemandır. Bu terminaller veya uçlar baz (B), emiter (E) ve kollektör (C)'dır. PNP veya NPN yapıda üretilirler. En yaygın kullanım alanları yükseltici ve anahtarlamadır. Yükseltici devrelerde DC enerjiyi AC enerjiye dönüştürürler. Bu açıdan bakıldığından "trans" kelimesine anlam yüklenebilir. Bir transistörün çalışır (açık, hazır) hale gelmesi için muhakkak DC olarak beslenmesi gereklidir. Buna öngerilimleme(biasing) adı verilir. Öngerilimlemede direnç elemanları da uygun şekilde transistöre bağlanır. Devre referansının veya toprağının hangi uca bağlandığına göre transistör devreleri isimlendirilebilir. Yani ortak bazlı, ortak emiterli veya ortak kollektörlü gibi. Transistörlerin çalışma noktaları öngerilimleme esnasında bağlanan DC güç kaynağı ve direnç eleman değerleri ile belirlenir.

NPN ve PNP tipi transistörlerin yapıları Şekil 7.1'de ayrıntılı bir şekilde görülmektedir.



Şekil 7.1 – NPN ve PNP tipi transistörlerin yapıları

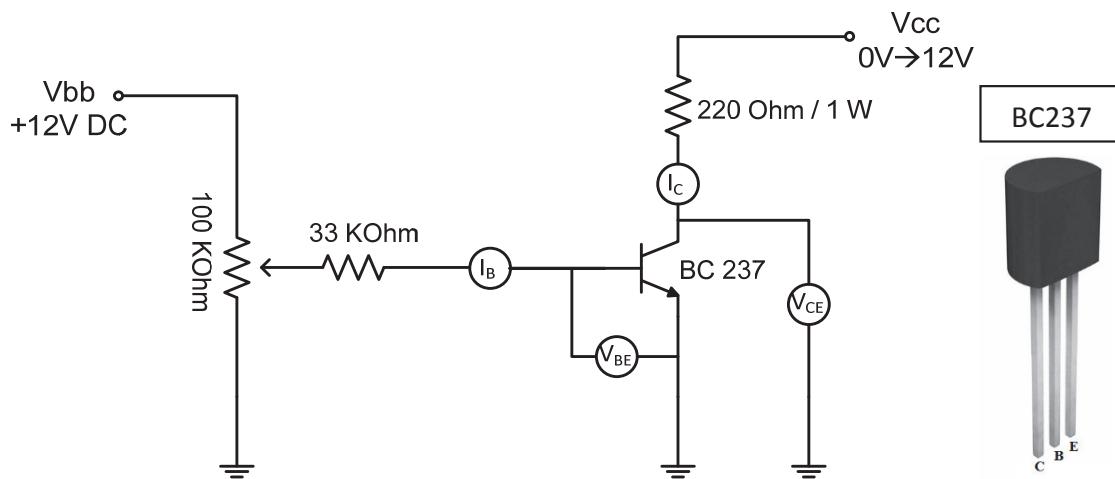
Transistörlerin boyutlarının küçük olması ve az enerji harcamaları, uzun süre çalışabilmeleri ve ömrülerinin uzun olması, her an çalışmaya hazır durumda olmaları, çalışma gerilimlerinin düşük olması, pil ile çalışmaya imkan tanımları ve fiyatlarının ucuz olması gibi birçok avantajları vardır.

Deneyle İlgili Ön Çalışma

Şekil 7.2'de şeması verilen devreyi bir benzetim programında (Multisim) kurunuz. Aşağıda verilen adımları uygulayarak gerekli simülasyonları yapınız. Tablo 7.1, Tablo 7.3, Tablo 7.5, Tablo 7.7 ve Tablo 7.9'daki ilgili alanları yapmış olduğunuz simülasyonların sonuçlarına göre doldurunuz. Şekil 7.3, Şekil 7.4, Şekil 7.5 ve Şekil 7.6'da istenen grafikleri elde edilen benzetim verilerine göre herhangi bir bilgisayar programı aracılığıyla (excel, MATLAB, vb.) çizdiriniz.

Deneyin Yapılışı

Deney Şeması



Şekil 7.2 – Deney Şeması

Uygulanacak Adımlar

- Şekil 7.2'deki devreyi breadboard üzerine kurunuz.
- V_{CC} ve V_{BB} gerilimini 12 V değerine sabitleyiniz. P_1 potansiyometresinin ayarları ile oynayarak I_B akımının $25 \mu A$ aralıklarla değiştiriniz. I_B 'nin farklı değerleri için V_{BE} , I_C , β değerlerini Tablo 7.2'ye kaydediniz. Tablodaki değerleri kullanarak Şekil 7.3 – 7.5'e kadar olan karakteristikleri çiziniz.
- I_B akımını $25 \mu A$ değerine sabitleyiniz. V_{CC} değerini 0 V'dan 12 V'a düzenli aralıklarla arttırıp, V_{CE} ve I_C değerlerini Tablo 7.4'e kaydediniz.
- Adım 3'ü, $50 \mu A$, $75 \mu A$, $100 \mu A$ değerleri için uygulayıp, sonuçları Tablo 7.6, 7.8 ve 7.10'da ilgili bölümlere kaydediniz. Tablolardaki değerleri kullanarak Şekil 7.6'da transistörün I_C – V_{CE} karakteristiğini çiziniz.

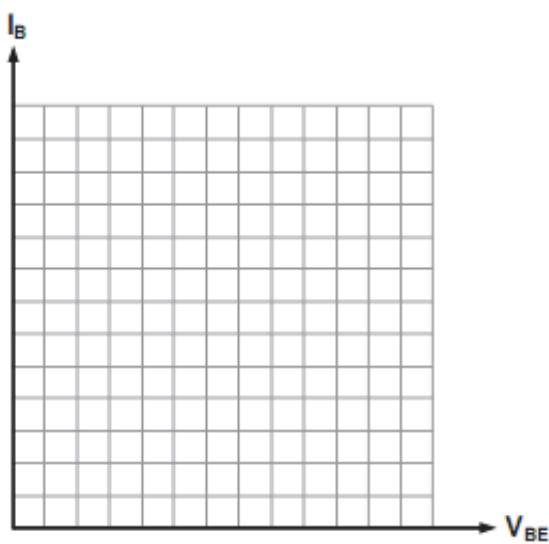
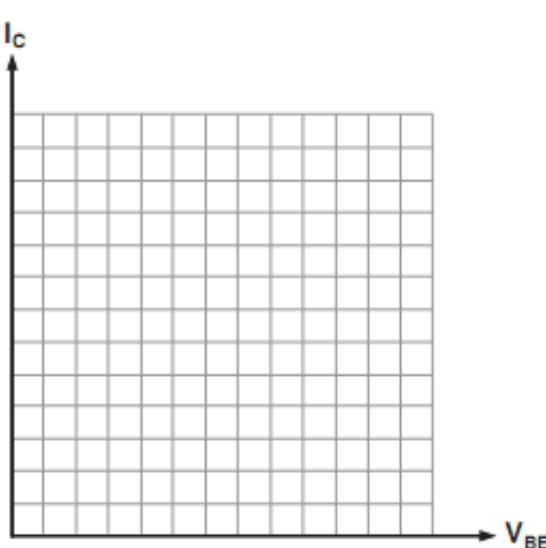
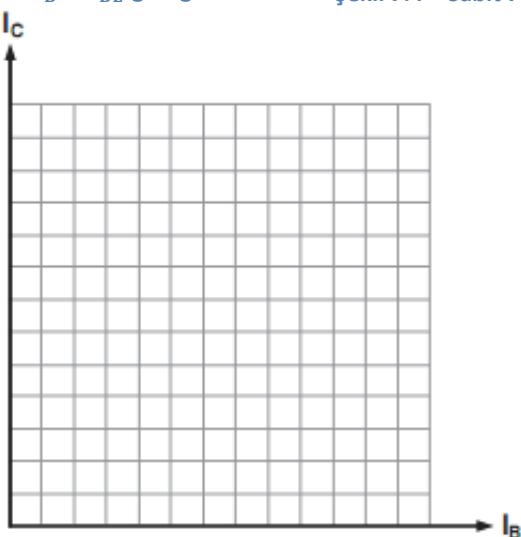
Deney Sonuçları

Tablo 7.1 – Sabit V_{CC} değeri için gözlem tablosu (Benzetim)

$V_{CC} = 12 \text{ V}$												
V_{BE}												
I_B	$0 \mu F$	$25 \mu F$	$50 \mu F$	$75 \mu F$	$100 \mu F$	$125 \mu F$	$150 \mu F$	$175 \mu F$	$200 \mu F$	$225 \mu F$	$250 \mu F$	$275 \mu F$
I_C												
β												

Tablo 7.2 – Sabit V_{CC} değeri için gözlem tablosu (Deneysel)

$V_{CC} = 12 \text{ V}$												
V_{BE}												
I_B	0 μF	25 μF	50 μF	75 μF	100 μF	125 μF	150 μF	175 μF	200 μF	225 μF	250 μF	275 μF
I_C												
β												

Şekil 7.3 – Sabit $V_{CC} = 12 \text{ V}$ için $I_B - V_{BE}$ grafiğiŞekil 7.4 – Sabit $V_{CC} = 12 \text{ V}$ için $I_C - V_{BE}$ grafiğiŞekil 7.5 – Sabit $V_{CC} = 12 \text{ V}$ için $I_C - I_B$ grafiğiTablo 7.3 – Sabit $I_B = 25 \mu\text{A}$ için gözlem tablosu (Benzetim)

$I_B = 25 \mu\text{A}$												
V_{CE}												
I_C												

Tablo 7.4 – Sabit $I_B = 25 \mu A$ için gözlem tablosu (Deneysel)

	$I_B = 25 \mu A$											
V_{CE}												
I_C												

Tablo 7.5 – Sabit $I_B = 50 \mu A$ için gözlem tablosu (Benzetim)

	$I_B = 50 \mu A$											
V_{CE}												
I_C												

Tablo 7.6 – Sabit $I_B = 50 \mu A$ için gözlem tablosu (Deneysel)

	$I_B = 50 \mu A$											
V_{CE}												
I_C												

Tablo 7.7 – Sabit $I_B = 75 \mu A$ için gözlem tablosu (Benzetim)

	$I_B = 75 \mu A$											
V_{CE}												
I_C												

Tablo 7.8 – Sabit $I_B = 75 \mu A$ için gözlem tablosu (Deneysel)

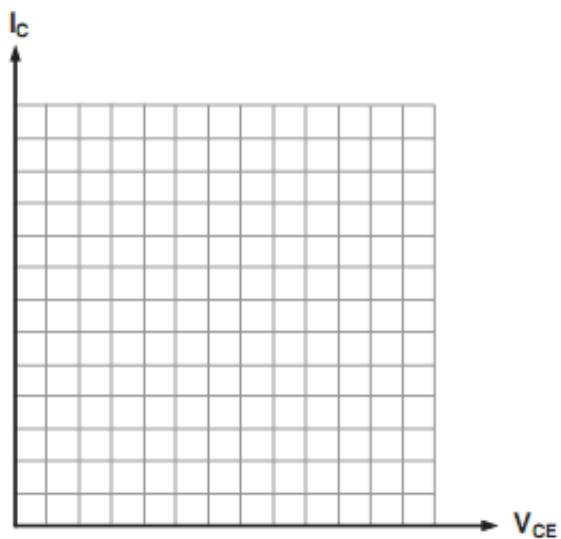
	$I_B = 75 \mu A$											
V_{CE}												
I_C												

Tablo 7.9 – Sabit $I_B = 100 \mu A$ için gözlem tablosu (Benzetim)

	$I_B = 100 \mu A$											
V_{CE}												
I_C												

Tablo 7.10 – Sabit $I_B = 100 \mu A$ için gözlem tablosu (Deneysel)

	$I_B = 100 \mu A$											
V_{CE}												
I_C												

Şekil 7.6 – Farklı I_B değerleri için $I_C - V_{CE}$ karakteristiği

Deney Çıktılarının Yorumlanması

Deney 8

BJT Yukselteceler

Malzeme Listesi:

- 1 adet $100\ \Omega$, 1 adet $560\ \Omega$, 1 adet $2.2\ k\Omega$, 1 adet $12\ k\Omega$ direnç
- 2 adet 47uF kondansatör
- 1 adet BC237 transistör

Deneyde Kullanılacak Cihazlar

- Breadboard
- Avometre
- Osiloskop
- DC Güç Kaynağı
- Sinyal Jeneratörü

Deneyin Adı: BJT Yükselteçler

Deneyin Amacı: Transistör kullanılarak tasarlanmış A sınıfı yükseltecin davranışının incelenmesi.

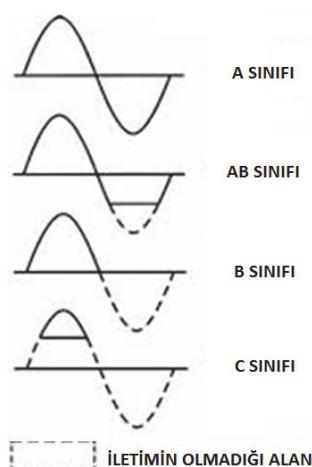
Deney Çıktıları: Transistör kullanılarak tasarlanan A sınıfı yükseltecin çalışma prensibini kavrayabilme.

Deney Hakkında Teorik Bilgi

Bir yükselteci FET, MOSFET ya da BJT ile yapmak mümkündür. Yükselteçleri küçük sinyal yükselteçleri ve güç yükselteçleri olarak da ikiye ayıralım. Bu bölümde genel olarak güç yükselteçleri incelenecaktır. Güç yükselteçleri ses yükseltmesi, bir motorun çalışması için gerekli gücün üretilmesi ya da bir vericinin güç yükseltmesi gibi birçok amaçla sanayide sıkılıkla kullanılırlar.

İletim durumlarına (bias özelliklerine) göre yükselteçler aşağıdaki şekilde sınıflandırılırlar.

- **A sınıfı:** Giriş işaretinin tamamında iletişimdedir.
- **B sınıfı:** Giriş işaretinin %50'sinde iletişimdedir. Ya pozitifi ya da negatif kısmı iletişimdedir.
- **AB sınıfı:** Giriş işaretinin %50'den fazla ve %100'ünden azında iletişimdedir.
- **C sınıfı:** Giriş işaretinin %50'den azında iletişimdedir.



Şekil 8.1 – Yükselteçlerin iletişim durumlarına göre sınıflandırılması

Bu deneyde A sınıfı yükselteçler üzerinde durulacak olup, hem A sınıfı hem de diğer sınıf yükselteçler hakkında detaylı bilgiyi ders kaynaklarından bulabilirsiniz.

A sınıfı yükselteçler giriş işaretinin her yanında iletişimde olan yükselteç tipidir.

Avantajları:

- Tasarımını yapmak diğer sınıftaki yükselteçlere göre kolaydır. Tek bir transistör veya yükseltme elemanı kullanılarak tasarlanabilir.
- Yükseltme elemanı sürekli aktif olduğu için, neredeyse doğrusal bir AC dirence sahiptir.
- Yükseltme elemanı hiç kapanmadığı için “geri açılma zamanı” yoktur. Bu da yüksek frekanslarda iyi performans ve yüksek kararlılık anlamına gelmektedir.
- Tüm anlarda iletişimde olduğu için crossover bozulması gerçekleşmemektedir. Örneğin B sınıfı yükselteçlerde, %50 iletim olduğu için iki adet yükselteç tasarlanarak %100 iletim

sağlanmaktadır. Negatiften pozitife geçiş anlarında, bir transistör aktif diğer pasif duruma geçiş anlarında bu bozulma gerçekleşmektedir.

Dezavantajları:

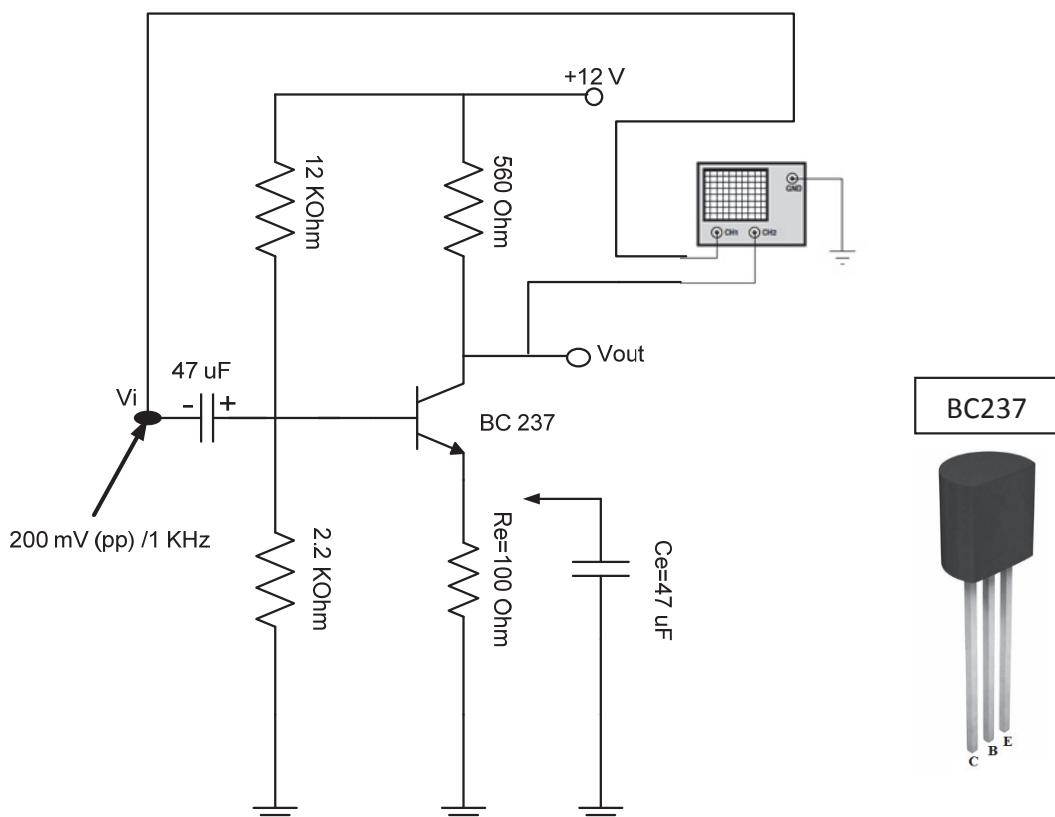
- Düşük verimde çalışmaktadır. Sürekli iletişimde olduğu için, yüksek güç harcarlar ve pille çalışan bir yükseltçe tasarlandığı takdirde pil ömrleri kısa olmaktadır.

Deneyle İlgili Ön Çalışma

Şekil 8.2'de görülen deney şeması için Tablo 8.1'de istenen büyülükleri teorik olarak hesaplayıp, uygulanacak adımları izleyerek benzetimini gerçekleştiriniz ve benzetim sonuçlarını Tablo 8.1'deki uygun yerlere kaydediniz.

Deneyin Yapılışı

Deney Şeması



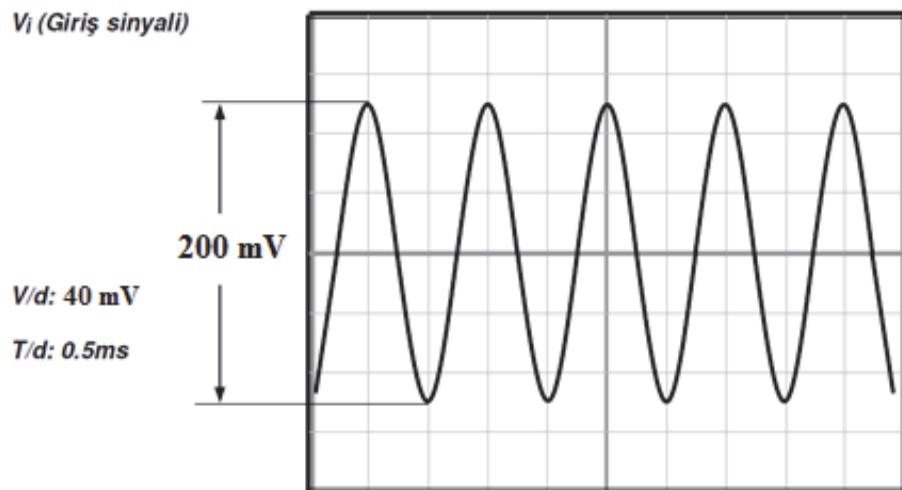
Şekil 8.2 – A sınıfı bir yükseltçenin deney şeması

Uygulanacak Adımlar

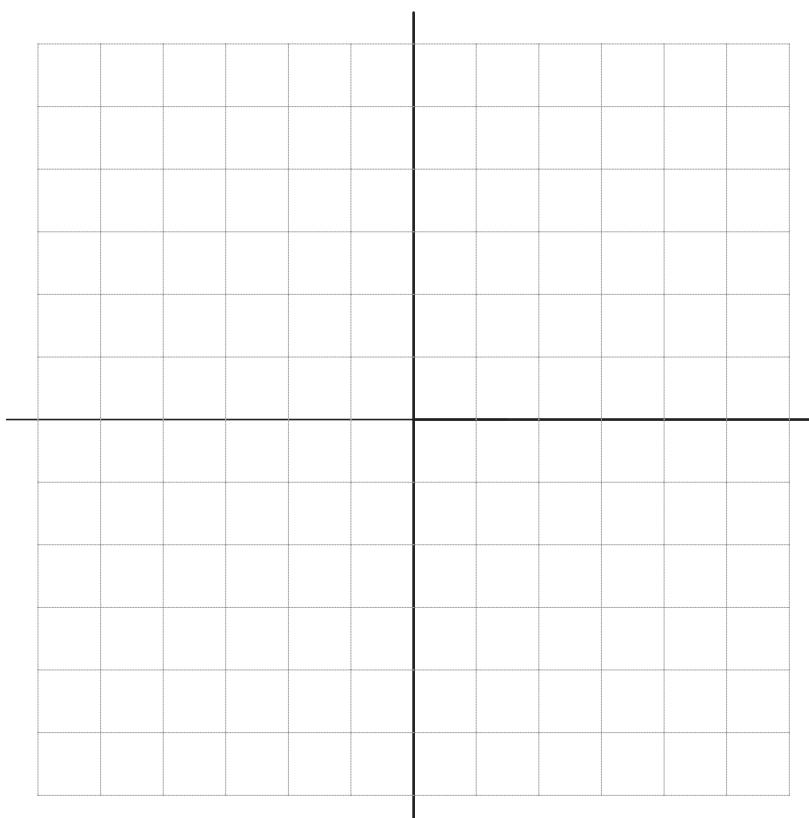
- Şekil 8.2'deki deney şemasını, bypass kondansatörü C_E devre dışı olacak şekilde kurunuz.
- Tablo 8.2'de belirtilen DC çalışma noktasına ait büyülükleri avometre(multimetre) yardımı ile ölçüp, ilgili yerlere kaydediniz.
- Şekil 8.3'te verilen 200 mV (pp) / 1 kHz giriş işaretinin AC çalışmasına ait büyülükleri ölçüp Tablo 8.1'deki uygun yere kaydediniz. Giriş işaretinin tepeden tepeye değeri ile çıkış işaretinin tepeden tepeye değeri kazanç değerini verecektir.

4. Çıkış işaretini Şekil 8.4'e çiziniz.
5. Bypass kapasitörü C_E 'yi devreye bağlayınız.
6. Adım 2 ve 3'teki adımları tekrar uygulayınız ve C_E devrede iken elde edilen sonuçları Tablo 8.1'deki uygun böülümlere kaydediniz.
7. C_E devrede iken elde edilen çıkış işaretini Şekil 8.5'e çiziniz.

Deney Sonuçları



Şekil 8.3 – Giriş işaretti

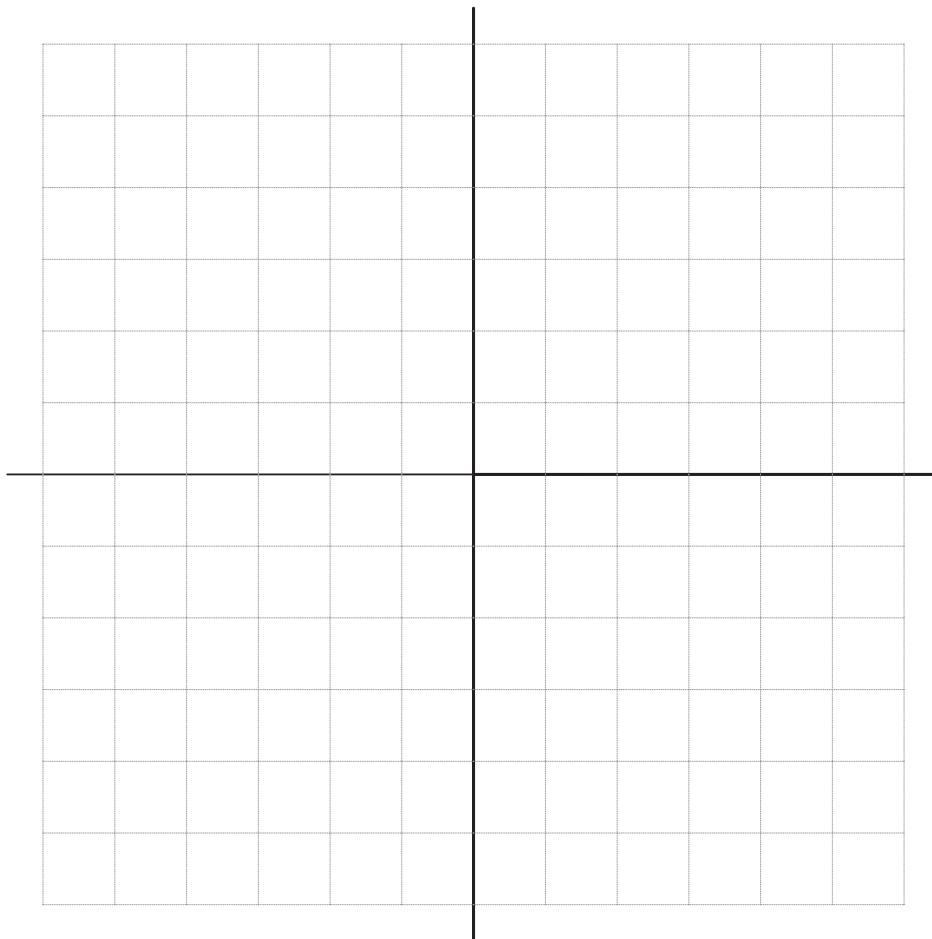


Volt/Div (Ch1) =

Volt/Div (Ch2)=

Time/Div=

Şekil 8.4 – C_E devre dışı iken çıkış işaretti



Volt/Div (Ch1) =

Volt/Div (Ch2) =

Time/Div =

Şekil 8.5 – C_E devrede iken çıkış işaretti

Tablo 8.1 – A sınıfı yükselteç için gözlem tablosu

	C_E devre dışı			C_E devrede		
	Hesaplanan	Benzetim	Ölçüm	Hesaplanan	Benzetim	Ölçüm
V_B						
I_B						
I_C						
I_E						
V_E						
V_{CE}						
A_V						

Deney Çıktılarının Yorumlanması

Deney 9

MOSFET Temelleri

Malzeme Listesi:

- 1 adet CD4007 entegre
- 1 adet 100k Ω potansiyometre

Deneyde Kullanılacak Cihazlar

- Breadboard
- Multimetre
- DC Güç Kaynağı

Deneyin Adı: MOS-FET Temelleri*

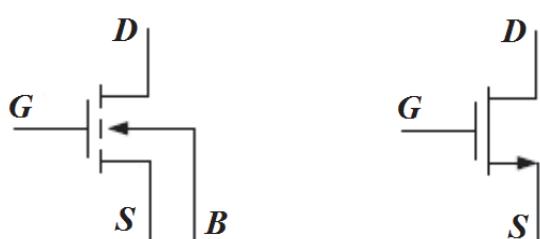
*Bu deneyin hazırlanmasında Başkent Univ.'nin EEM217 kodlu ders notundan yararlanılmıştır.

Deneyin Amacı: MOSFET'lerin çalışma prensiplerinin incelemesi.

Deney Çıktıları: MOSFET'lerin çalışma prensiplerini kavrayabilme.

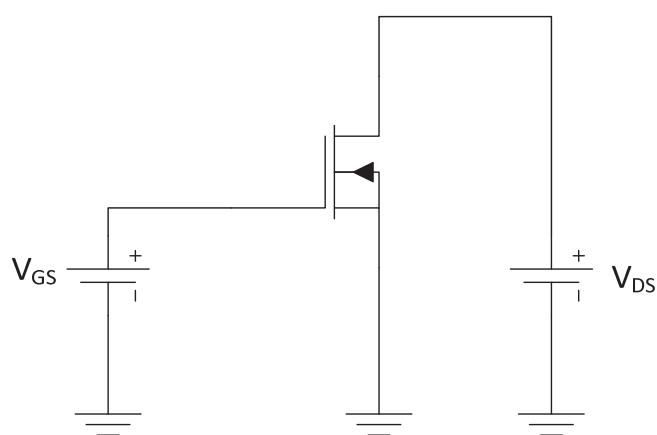
Deney Hakkında Teorik Bilgi

MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor), alan etkili bir transistör tipidir. Temel olarak gate, source ve drain olmak üzere 3 bacağı vardır. 4 terminalli MOSFET'lerde Base adı verilen bir bacak daha bulunmaktadır. Fakat bu bacak iç kısmından source ucuna bağlanmıştır ve dışarıdan ulaşılamamaktadır. Şekil 9.1'de 4 ve 3 terminalli n tipi artırım ve p tipi azaltım tipi MOSFET sembollerini görülmektedir.



Şekil 9.1 – 4 ve 3 terminalli MOSFET gösterimi (soldaki artırım tipi, sağdaki azaltım tipi)

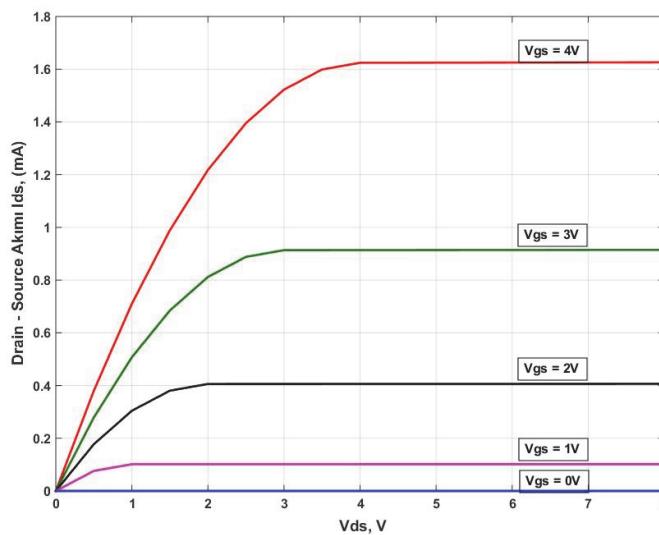
MOSFETlerin çalışması için Şekil 9.2'de görüldüğü gibi iki adet gerilim kaynağı bağlanmalıdır. Bu kaynaklar V_{GS} ve V_{DS} gerilimlerini oluşturmaktadır.



Şekil 9.2 – MOSFET V_{GS} ve V_{DS} bağlantıları

V_{DS} voltajı etkisi ile drain ile source arasında I_{DS} akımı oluşturmaktadır. Bu I_{DS} akımı V_{GS} gate – source gerilimi ile kontrol edilir. MOSFET'in V_{GS} , V_{DS} ve I_{DS} değerleri değiştirilerek çeşitli bölgelerde ve değişik amaçlar için kullanılabilir. MOSFET karakteristiğinde kesim, doyum(saturasyon) ve çalışma(aktif) olmak üzere 3 bölge mevcuttur. Kesim bölgesinde eşik gerilim değeri düşüktür ve MOSFET çalışmaz. Bu deneye MOSFET'in doyum ve aktif bölgelerdeki çalışma durumları inceleneciktir. Şekil 9.3'te tipik bir MOSFET'in sabit V_{GS} değerlerinde I_{DS} / V_{DS} grafiği görülmektedir. Lineer çalışma bölgesi, V_{DS} geriliminin düşük olduğu ve I_{DS} akımının doğrusal olarak arttığı bölgedir. V_{DS} gerilimi arttıkça I_{DS} akımı sabitlenir. V_{DS} gerilimi doyum gerilimine eşitlendiğinde $V_{D(SAT)}$ MOSFET doyuma ulaşır. Doyum gerilimi,

V_{GS} gerilimi ile birlikte her MOSFET için farklı fiziksel parametre olan threshold (eşik) voltajı V_T ile ilişkilidir.



Şekil 9.3 – MOSFET I_{DS} / V_{DS} grafiği

$V_{D(SAT)} = V_{GS} - V_T$ olmak üzere;

$V_{D(SAT)} \geq V_{DS} \geq 0$ durumunda MOSFET doyum bölgesindedir.

$V_{DS} \geq V_{D(SAT)} \geq 0$ durumunda MOSFET aktif bölgededir.

MOSFET doyum bölgesinde çalışırken I_{DS} akımı aşağıdaki denklem ile hesaplanır.

$$I_{DS} = \mu_0 C_{ox} \left(\frac{W}{L} \right) \left[(V_{GS} - V_T) - \frac{V_{DS}}{2} \right] V_{DS}$$

W : Gate genişliği

L : Gate uzunluğu

C_{ox} : Gate ile body arasındaki oksit tabakanın kalınlığı

MOSFET doyum bölgesinde iken voltaj kontrollü direnç gibi çalışır. Drain – source direnci, I_{DS} 'nin V_{DS} 'ye göre kısmi türevi alınarak bulunabilir.

$$\frac{\partial I_{DS}}{\partial V_{DS}} \left[\mu_0 C_{ox} \left(\frac{W}{L} \right) \left[(V_{GS} - V_T) - \frac{V_{DS}}{2} \right] V_{DS} \right] = \mu_0 C_{ox} \left(\frac{W}{L} \right) (V_{GS} - V_T - V_{DS}) = \frac{1}{r_{ohmic}}$$

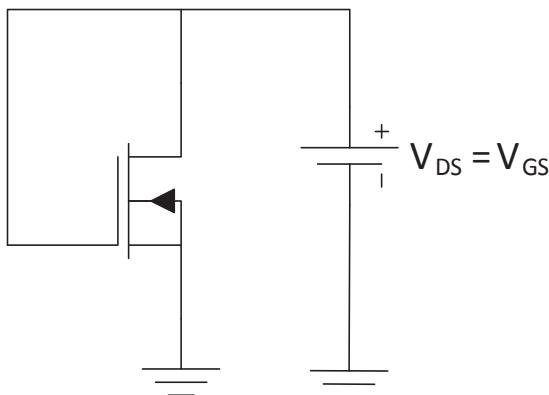
MOSFET aktif bölgesinde genellikle giriş sinyalının yükseltilmesi amacı ile kullanılır. Bu bölgede çalışırken I_{DS} akımı aşağıdaki denklem ile hesaplanır.

$$I_{DS} = \frac{1}{2} \mu_0 C_{ox} \left(\frac{W}{L} \right) (V_{GS} - V_T)^2$$

MOSFET, aktif bölgesinde gerilim kontrollü akım kaynağı olarak çalışır. Fakat bu akım kaynağı ideal değildir. R_{ds} küçük işaret eşdeğer direnci etkisi altındadır.

MOSFET aktif bölgede diyon gibi çalışacak şekilde bağlanabilir. Bu bağlantı şekli ile MOSFET üzerindeki gerilim referans gerilim olarak kullanılmak üzere ayarlanabilmektedir. Ayrıca bu bağlantı şekli akım aynası uygulamalarında da kullanılmaktadır. Bağlantı şeması Şekil 9.4'te görülmektedir. MOSFET üzerine düşen gerilim bir önceki I_{DS} eşitliğinin $V_{GS} = V_{DS}$ eşitliği ile çözülmesi ile aşağıdaki şekilde bulunur.

$$V_{MOSDIODE} = V_T + \sqrt{\frac{I_{DS}}{\frac{1}{2} \mu_0 C_{ox} \left(\frac{W}{L}\right)}}$$



Şekil 9.4 – Diyon gibi çalışan MOSFET yapı

Ön Hazırlık

Deneyde kullanılacak olan CD4007 MOSFET katalog değerleri (Courtesy of Ass. Prof. Dr. David M. Binkley, Clark Hopper M.S, and Harold Hearne M.S. , The University of North Carolina, Charlotte);

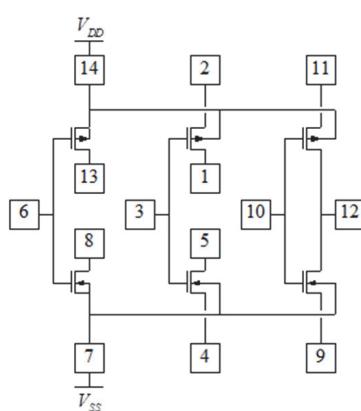
$$\mu_0 C_{ox} = 166.67 \text{ } \mu\text{A/V}^2$$

$$W/L = 3$$

$$V_T = 1.45\text{V}$$

$$V_A = 1/\lambda = 100\text{V}$$

CD4007 artırım tipi MOSFET'in pin bağlantı yapısı Şekil 9.5'te verilmiştir.



Şekil 9.5 – CD4007 pin bağlantısı

Şekil 9.2'de gösterilen MOSFET için, aşağıda verilen gerilim değerlerinde I_{DS} akımlarını hesaplayınız.

- a) $V_{GS} = 3V$; $V_{DS} = 0.5V$
- b) $V_{GS} = 5V$; $V_{DS} = 0.5V$
- c) $V_{GS} = 2V$; $V_{DS} = 3V$

Deneyle İlgili Ön Çalışma

Şekil 9.6, Şekil 9.7 ve Şekil 9.8'de şeması verilen devre şemalarını bir benzetim programında kurarak, aşağıda verilen adımları uygulayarak gerekli simülasyonları yapınız. Aşağıdaki Tablo 9.1, Tablo 9.3 ve Tablo 9.5'teki ilgili alanları yapmış olduğunuz simülasyonların sonuçlarına göre doldurunuz.

Uygulama Adımları

Bu deneyde CD4007 MOSFET entegresi kullanılacaktır. Şekil 9.5'de verilen entegrenin iç yapısına göre entegre devre içinde üç adet n kanal ve üç adet p kanal yapı bulunmaktadır. n kanal MOS transistörlerin beslemesi V_{SS} 'ye (pin 7), p kanal MOS transistörlerin beslemesi V_{DD} 'ye (pin 14) bağlıdır. Bu durumda pin 7 negatif gerilimli, pin 14 pozitif gerilimli olmalıdır.

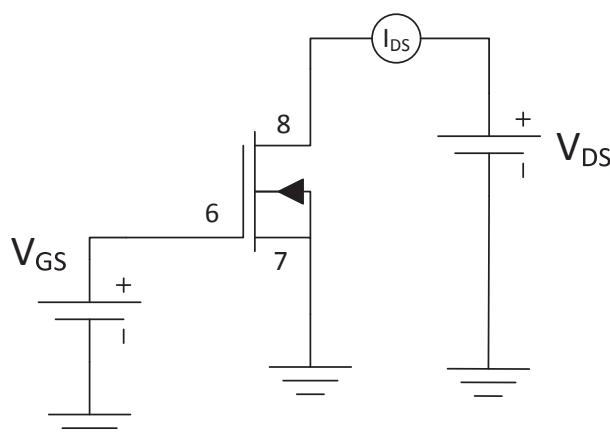
CD4007 entegresini bağlarken devrede gerilim olmamasına dikkat ediniz. Aksi halde entegre zarar görebilir. Entegre elektrostatik etki nedeniyle de çabucak bozulabilir. Bu nedenle entegre bacaklarına dokunmayın.

Devreyi kurmadan önce,

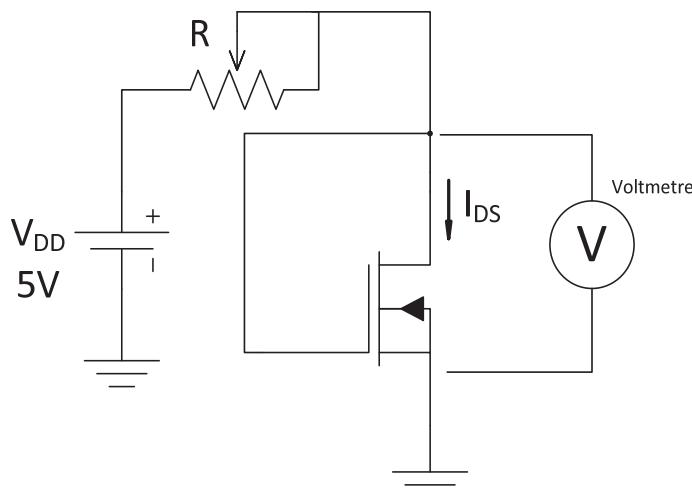
- Direnç değerlerini avometre aracılığı ile ölçünüz. Her bir direncin hata payının %2 olduğuna emin olunuz. Böylece akım ölçümleriniz hassas olacaktır.
- Devreye bağlamadan önce V_{GS} güç kaynağının +4V'a ayarlı olduğundan emin olunuz.

Not: Önce DC gerilimi, sonra AC gerilimi devreye bağlayınız. Önce AC gerilimi sonra DC gerilimi devreden çıkartınız.

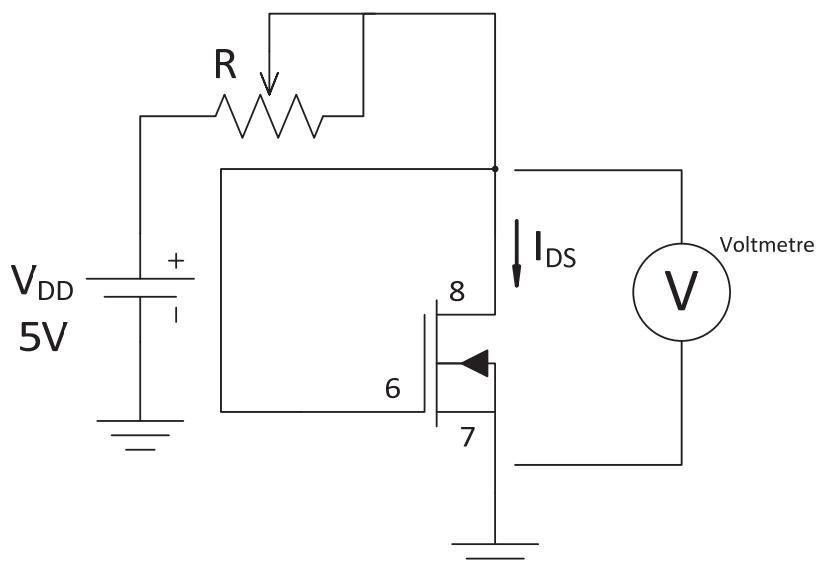
Deney Şeması



Şekil 9.6 – Deney Şeması



Şekil 9.7 – Deney Şeması



Şekil 9.8 – Deney Şeması

Uygulanacak Adımlar

- Şekil 9.6'da görülen devreyi kurunuz. $V_{GS} = +4V$ ve V_{DS} gerilimini 0 ve +5V arasında değiştirirken I_{DS} akımlarını ölçüp Tablo 9.2'e kaydediniz. Gerilimi 0.4V aralıklarla arttırınız.
- Tablo 9.2'deki veriler ile Şekil 9.9'a I_{DS} - V_{DS} grafiğini çiziniz.
- $V_{DS} = 5V$ için V_{GS} eşik gerilimini tespit ediniz. Bunun için I_{DS} akımının ihmali edilebilir seviyede olduğu V_{GS} değerinin seçilmesi gerekmektedir. İhmali edilebilir seviyeyi 5 μA olarak kabul ediniz.
- Şekil 9.7'deki devreyi kurunuz. Ohmmetre aracılığı ile V_{GS} değişimi ile direnç değeri arasındaki bağıntıyı takip ediniz. Bu değerleri Tablo 9.4'e kaydediniz.
- Şekil 9.8'de görülen MOSFET'li 100 μA 'lık DC akım kaynağı devresini kurunuz. Potansiyometre ile oynayarak I_{DS} akımını 100 μA 'e ayarlayınız ve R direnç değerini Tablo 9.6'ya kaydediniz.
- Şekil 9.8'deki gibi MOSFET üzerindeki gerilimi avometre aracılığı ile ölçünüz ve Tablo 9.6'ya kaydediniz.
- Potansiyometreyi çevirerek I_{DS} akımının hangi direnç değerlerinde 100 μA , 75 μA ve 50 μA değerine ulaştığını Tablo 9.6'ya kaydediniz.

Deney Sonuçları

Tablo 9.1 – V_{DS} , V_{GS} , I_{DS} ilişkisi (Benzetim)

V_{DS}	I_{DS}		
	$V_{GS} = 2V$	$V_{GS} = 3V$	$V_{GS} = 4V$
0.4 V			
0.8 V			
1.2 V			
1.6 V			
1.8 V			
2.0 V			
2.4 V			
2.8 V			
3.2 V			
3.6 V			
4.0 V			
4.4 V			
4.8 V			
5.0 V			

Tablo 9.2 – V_{DS} , V_{GS} , I_{DS} ilişkisi (Deneysel)

V_{DS}	I_{DS}		
	$V_{GS} = 2V$	$V_{GS} = 3V$	$V_{GS} = 4V$
0.4 V			
0.8 V			
1.2 V			
1.6 V			
1.8 V			
2.0 V			
2.4 V			
2.8 V			
3.2 V			
3.6 V			
4.0 V			
4.4 V			
4.8 V			
5.0 V			

Tablo 9.3 – V_{GS} – R ilişkisi (Benzetim)

V_{GS}	1.5 V	2.0 V	3.0 V	4.0 V	5.0 V
R					

Tablo 9.4 – V_{GS} – R ilişkisi (Deneysel)

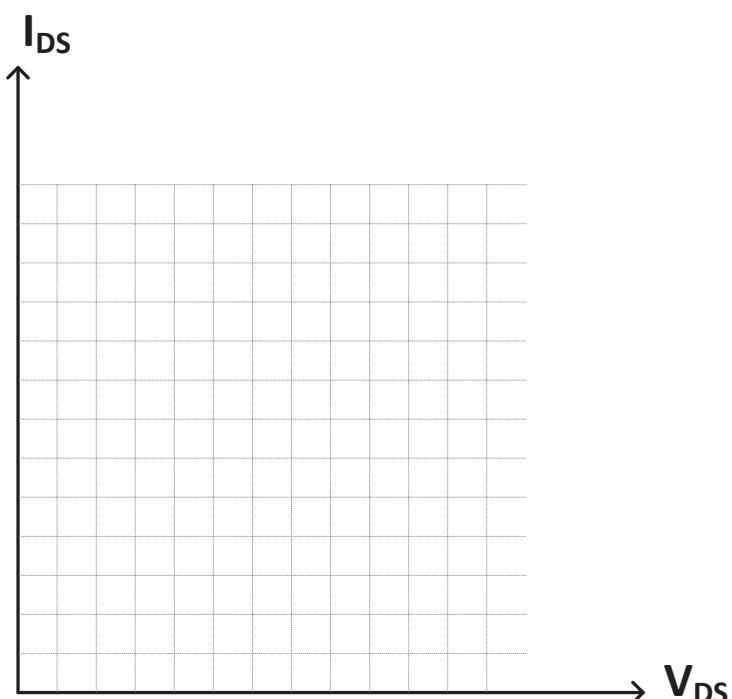
V_{GS}	1.5 V	2.0 V	3.0 V	4.0 V	5.0 V
R					

Tablo 9.5 – Potansiyometre değerine göre I_{DS} akımı (Benzetim)

R_{pot}	I_{DS}	V_{DS}
	100 μA	
	75 μA	
	50 μA	

Tablo 9.6 – Potansiyometre değerine göre I_{DS} akımı (Deneysel)

R_{pot}	I_{DS}	V_{DS}
	100 μA	
	75 μA	
	50 μA	

Şekil 9.9: I_{DS} - V_{DS} grafiği

Deney Çıktılarının Yorumlanması

Deney 10

OP-AMP'lı Yukselteç Devreleri

Malzeme Listesi:

- 1 adet 1 kΩ, 1 adet 5 kΩ, 1 adet 10 kΩ ve 4 adet 100 kΩ Direnç
- 2 adet 10 kΩ Potansiyometre
- 3 adet LM 741 OP-AMP

Deneyde Kullanılacak Cihazlar

- Multimetre
- Osiloskop
- Sinyal Jeneratörü
- Breadboard

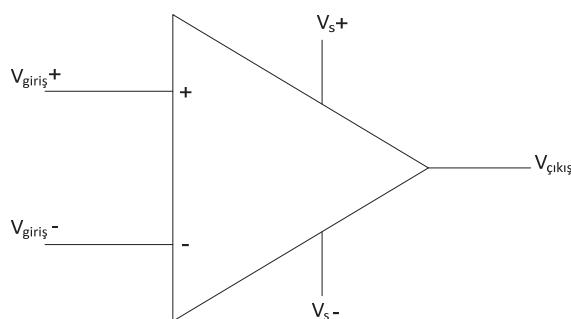
Deneyin Adı: OP-AMP'lı Yükselteç Devreleri

Deneyin Amacı: OP-AMP kullanılarak yapılan eviren, evirmeyen, toplayıcı ve çıkarıcı yükselteç devrelerinin çalışmasının incelenmesi.

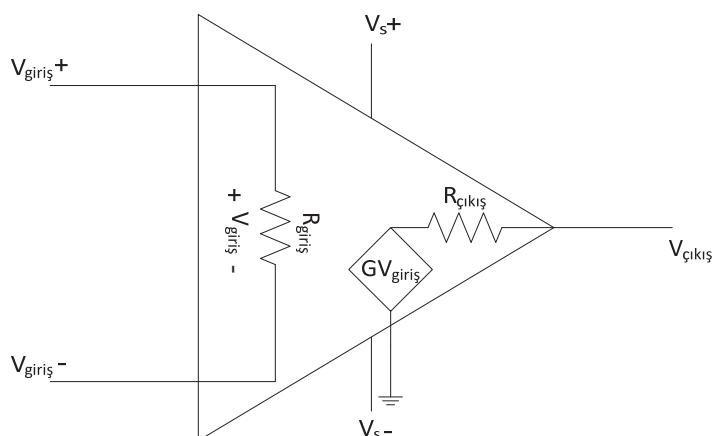
Deney Çıktıları: OP-AMP'ın kullanım amacının ve OP-AMP kullanılarak yapılan yükselteç devrelerini kavrayabilme.

Deney Hakkında Teorik Bilgi

1960'lı yılların sonlarına doğru kullanılmaya başlayan OP-AMPlar çok yüksek kazançlı fark kuvvetlendiricileri olarak tanımlanabilirler. OP-AMPlar, gerilim ve akım kazancı sağlayan devrelerdir. Matematik işlem kapasitelerinden dolayı "Analog Bilgisayarlar" olarak da adlandırılabilirler. Şekil 10.1'de bir OP-AMP'in simbolü, giriş ve çıkış uçları ile beslemeleri verilmiştir.



Şekil 10.1– OP-AMP simgesi ve giriş–çıkış besleme gerilimleri



Sekil 10.2– OP-AMP'ın ideal eş değer devresi

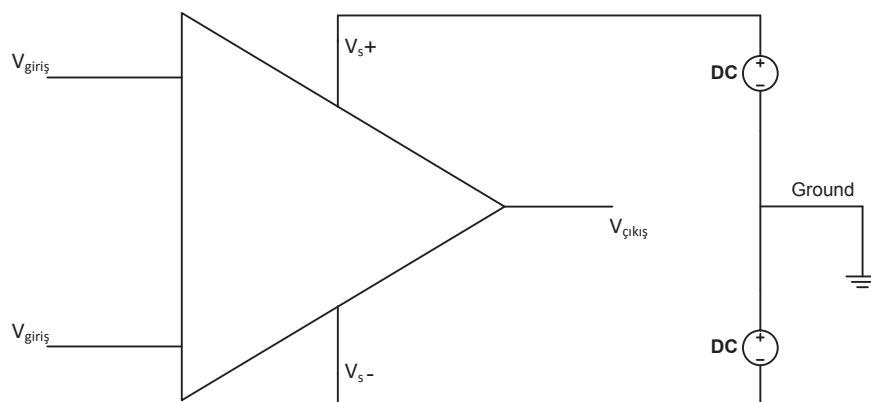
Şekil 10.2'de ise OP-AMP'ın eş değer devresi görülmektedir. İdeal OP-AMP genel olarak aşağıdaki özelliklere sahiptir.

- Sonsuz açık çevrim kazancı $G = V_{çıkış}/V_{giriş}$
 - Sonsuz giriş direnci, $R_{giriş}$. Bu sonsuz giriş direnci sayesinde OP-AMP'ın iki ucu arasında herhangi bir akım akmaz.
 - Sıfır giriş offset gerilimine sahiptir. Böylece OP-AMP'ın iki giriş ucundaki gerilim değerleri birbirlerine eşittir.
 - Sonsuz çıkış gerilim aralığı
 - Sıfır faz kaymasıyla sonsuz bantgenişliği sahiptir.
 - Sıfır çıkış direnci, $R_{çıkış}$.

- Sonsuz ortak mod zayıflatma oranı

Gerçek OP-AMP'ların, giriş empedansları çok yüksek olup yaklaşık $5\text{ M}\Omega$, çıkış empedansları ise yaklaşık olarak sıfırdır. Giriş empedansının yüksek olması ile kendinden önceki devreyi veya bağlı olduğu güç kaynağını yükleyerek negatif bir etki olmasını engeller. OP-AMP'ın çıkış empedansının düşük olması ($100\text{-}150\text{ }\Omega$) ile empedans uyumu için kullanılabilmesini sağlar. Gerçek OP-AMPlar ile yaklaşık 200000 kat kazanç elde edilebilmektedir. OP-AMPların band genişlikleri 1 MHz civarındadır.

OP-AMPlar simetrik olarak beslenir. OP-AMP simbolünde $V_s +$ ve $V_s -$ uçları, besleme kaynağının bağlı olduğu uçlardır ve sırasıyla pozitif ve negatif besleme uçlarıdır. Pozitif veya negatif besleme değerlerinden biri 0 (sıfır)'da olabilir. Pozitif ve negatif beslemelerin elektriksel açıdan göreceli kavramlar olduğu unutulmamalıdır. Şekil 10.3'te OP-AMP besleme devresinin temel gösterimi verilmiştir.



Şekil 10.3– OP-AMP temel besleme devresi

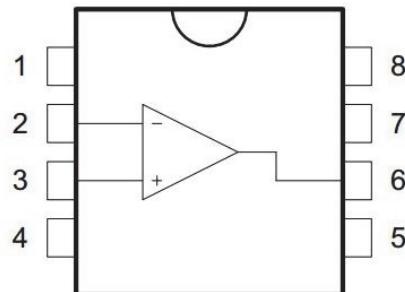
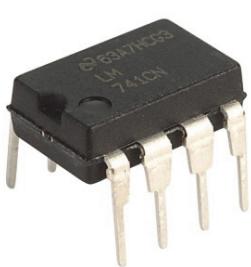
Bir OP-AMP elemanı için açık çevrim ve kapalı çevrim olmak üzere iki tip kazançtan bahsedilebilir. Açık çevrim kazancı OP-AMP 'in kendi karakteristiğine bağlı olarak, kapalı çevrim kazancı ise OP-AMP bulunan bir devreye harici olarak bağlanan bir geri besleme direncine bağlı olarak belirlenir. Bir OP-AMP'lı yükselteç devresinin girişine uygulanan gerilimi yükseltme seviyesi, OP-AMP'ın besleme gerilimi ile sınırlanır. Başka bir deyişle OP-AMP'lı bir devrede OP-AMP'ın besleme gerilimi $\pm V_s$ değerinden yüksek bir yükseltme gerçekleştirmek mümkün değildir.

İdeal OP-AMP için girişine sinyal uygulanmamışken çıkışında 0 Volt değerinin okunuyor olması gerekmektedir. Ancak, pratik uygulamalarda OP-AMP'ın giriş uçları arasında, çok küçük de olsa bir gerilim olduğu gözlemlenmektedir. Bu nedenle bu offset geriliminin değeri OP-AMP 'in kazancı ile çarpılarak çıkış gerilimine aktarılır. Bu durumun önüne geçmek için OP-AMP entegre devrelerinin bazlarında girişteki bu sabit gerilimi kompenze etmek için uclar bulunmaktadır.

OP-AMP'lar toplama-çıkarma, çarpma-bölme, integral ve türev alma gibi matematiksel işlemler için kullanılabilir. Bunun yanı sıra gerilim izleyici ve karşılaştırıcı devrelerde de kullanılır. Karşılaştırıcı devrelerde OP-AMP'ın pozitif ve negatif girişlerine uygulanan sinyaller karşılaşır ve pozitif ucuna uygulanan voltaj negatif ucuna uygulanan voltajdan büyükse çıkıştan $+V_s$, tam tersi olduğunda ise $-V_s$ gözlemlenir. Gerilim izleyici devrede gerilim kazancı değeri 1'dir ve giriş – çıkış işaretleri aynı fazdadır.

OP-AMP'lar birbiriyle alakalı iki ayrı devrede aralarında akım alışveriş'i olmadan sadece gerilimin aktarılması gereken durumlarda kullanılırlar. İki devreyi birbirinden yalıtmak için kullanılabilir. Tüm bu kullanım alanlarına ek olarak OP-AMP'lar doğrultucu, filtreleme ve enstrumantasyon uygulamalarında da sıkılıkla kullanılmaktadır.

Piyasada en sık kullanılan OP-AMP entegreleri LM 741 ve LM 747 entegreleridir. Bunlardan LM 741 içerisinde tek OP-AMP ve LM 747'de ise iki OP-AMP bulunur. Şekil 10.4'te yapılacak deneylerde kullanılacak olan LM 741 entegresini ve bu entegrenin iç yapısı ile bacak bağlantıları ayrıntılı bir şekilde görülmektedir. Daha ayrıntılı bilgiler için ilgili kataloglara (datasheet) müracaat edilmesi gereklidir.



Şekil 10.4– LM 741 entegresi ve iç yapısı

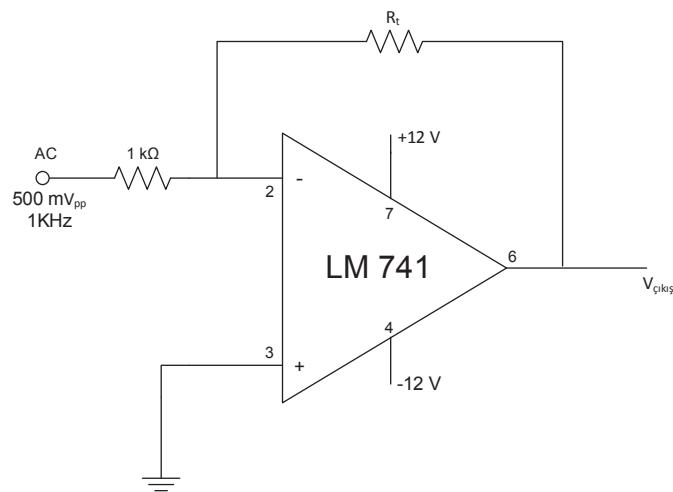
Ayak No	İşlevi
1	Offset sıfırlama
2	$V_{giriş} -$
3	$V_{giriş} +$
4	$V_s -$ (negatif besleme ucu)
5	Offset sıfırlama
6	$V_{çıkış}$
7	$V_s +$ (pozitif besleme ucu)
8	Boş Uç

Deneyle İlgili Ön Çalışma

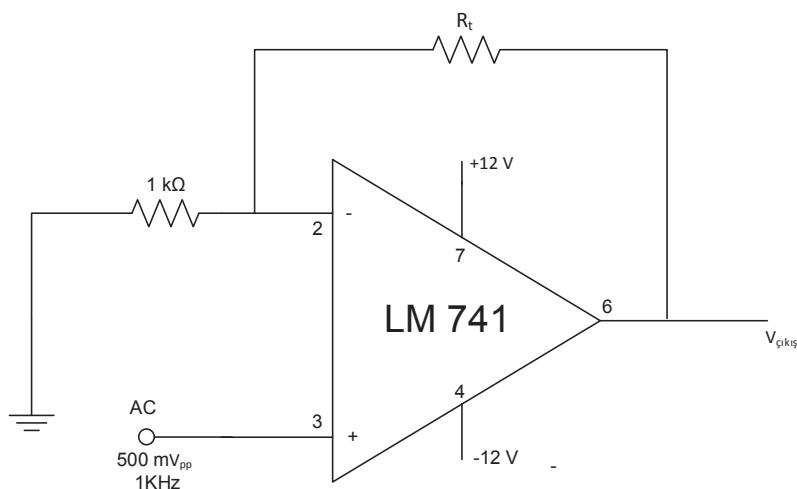
Şekil 10.5, Şekil 10.6, Şekil 10.7 ve Şekil 10.8'de verilen sırasıyla tersleyen, terslemeyen, toplayan ve fark alan yükseltçe devrelerinin uygulanacak olan adımları takip ederek teorik hesaplanması gereken bölümleri hesaplayıp aşağıda verilen tablolardaki uygun bölümlere kaydediniz. Bir benzetim programı ile bu devrelerin simülasyonlarını yaparak tabloları elde ettiğiniz sonuçlara göre doldurunuz. Şekil 10.7 ve Şekil 10.8'de bulunan toplayan ve fark alan yükseltçe devreleri için OP-AMP'in girişine uygulanacak değerleri 12 V'tan büyük olmayacak şekilde rastgele seçiniz ve bu seçilen değerleri Tablo 10.3 ve Tablo 10.4'e kaydediniz ve deney sırasında da bu değerleri kullanınız.

Deneyin Yapılışı

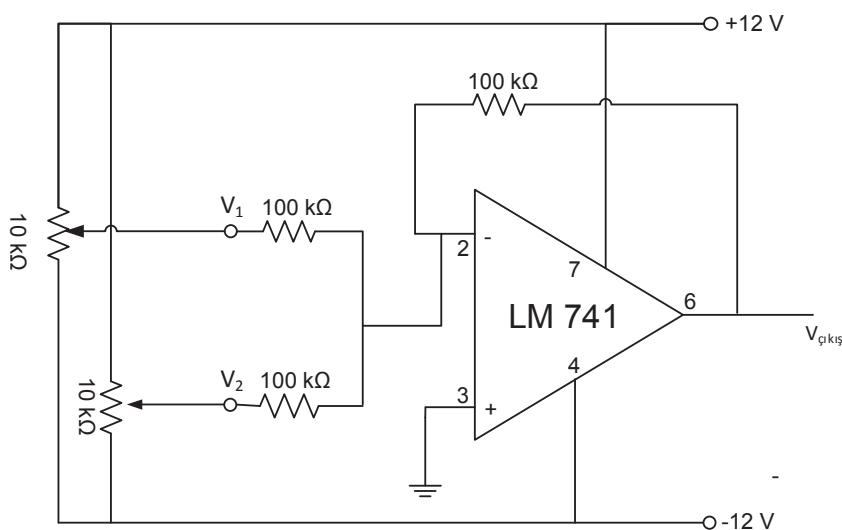
Deney devre şemaları



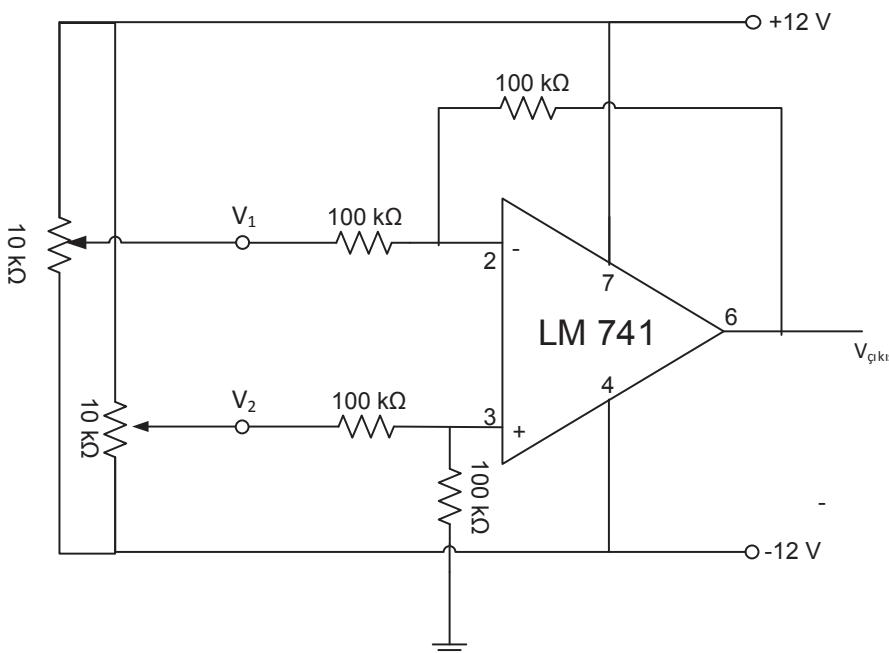
Şekil 10.5– Tersleyen (Eviren) Yükselteç Devresi



Şekil 10.6– Terslemeyen (Evirmeyen) Yükselteç Devresi



Şekil 10.7– Toplayan Yükselteç Devresi



Şekil 10.8–Fark Alan Yükselteç Devresi

Uygulanacak Adımlar

1. Şekil 10.5'deki tersleyen yükseltçe devresini breadboard üzerine kurunuz.
2. Devrenin girişine V_{in} giriş işaretini olarak 1 kHz frekanslı 500 mV V_{pp} genlikli sinüs giriş işaretini devrenin belirtilen yerinden devreye uygulayınız.
3. Devredeki R_t direncini 5 kΩ ve 10 kΩ olacak şekilde seçerek devre çıkışındaki işaretinizi gözlemleyiniz ve Şekil 10.9 ve Şekil 10.10'a çiziniz. (Osiloskopta görülen Volt/div ve Time/div değerlerini şekillerin üzerindeki bölüme kaydediniz.)
4. Elde edilen çıkışlara göre tersleyen yükseltçe devresinin deneySEL olarak elde ettiğiniz kazancını deneySEL hesaplayarak Tablo 10.1'e kaydediniz ve daha önceden bulmuş olduğunuz teorik ve benzetim sonuçları ile karşılaştırınız.
5. Şekil 10.6'daki terslemeyen yükseltçe devresini breadboard üzerine kurunuz.
6. Devrenin girişine V_{in} giriş işaretini olarak 1 kHz frekanslı 500 mV V_{pp} genlikli sinüs giriş işaretini devrenin belirtilen yerinden devreye uygulayınız.
7. Devredeki R_t direncini 5 kΩ ve 10 kΩ olacak şekilde seçerek devre çıkışındaki işaretinizi gözlemleyiniz ve Şekil 10.11 ve Şekil 10.12'ye çiziniz. (Osiloskopta görülen Volt/div ve Time/div değerlerini şekillerin üzerindeki bölüme kaydediniz.)
8. Elde edilen çıkışlara göre tersleyen yükseltçe devresinin deneySEL olarak elde ettiğiniz kazancını deneySEL hesaplayarak Tablo 10.2'e kaydediniz ve daha önceden bulmuş olduğunuz teorik ve benzetim sonuçları ile karşılaştırınız.
9. Şekil 10.7'deki toplayan yükseltçe devresini Breadboard üzerine kurunuz.
10. Simülasyonlar sırasında belirlediğiniz giriş gerilimlerini devreye bağlamış olduğunuz potansiyometreler ile ayarlayarak her bir kombinasyon için çıkış gerilimini multimetre ile ölçünüz. Çıkış geriliminin, besleme gerilimi değerine 1~2 Volt kadar yaklaşabileceğini göz önünde bulundurunuz.
11. Elde ettiğiniz deneySEL sonuçları Tablo 10.3'e kaydederek. Teorik, benzetim ile ve deneySEL olarak elde ettiğiniz sonuçları karşılaştırınız.
12. Şekil 10.8'deki fark alan yükseltçe devresini Breadboard üzerine kurunuz.

- 13.** Simülasyonlar sırasında belirlediğiniz giriş gerilimlerini devreye bağlamış olduğunuz potansiyometreler ile ayarlayarak her bir kombinasyon için çıkış gerilimini multimetre ile ölçünüz. Çıkış geriliminin, besleme gerilimi değerinin 1~2 Volt aşağısına kadar çıkabileceğini dikkate alın.
- 14.** Elde ettiğiniz deneyel sonuçları Tablo 10.4'e kaydederek. Teorik, benzetim ve deneyel sonuçları karşılaştırınız.

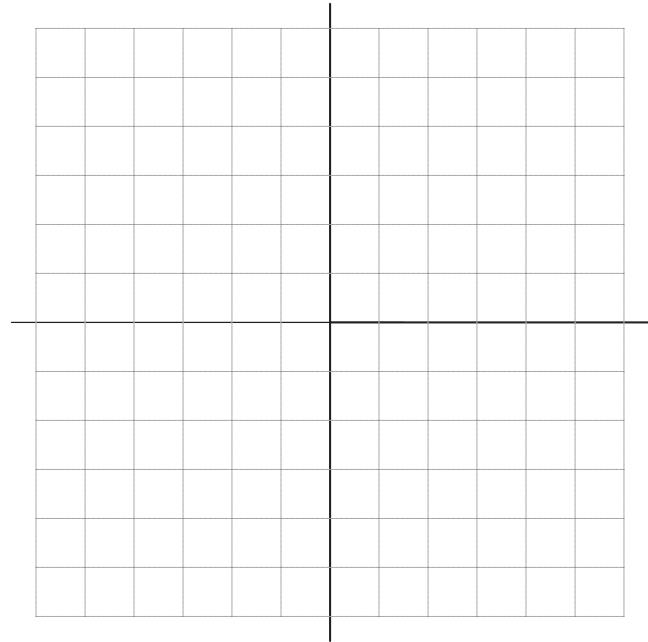
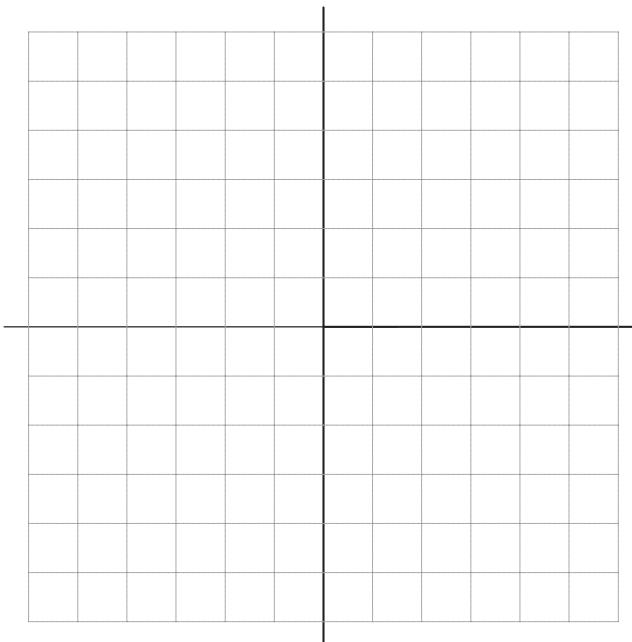
Deney Sonuçları

Volt/div =

Time/div =

Volt/div =

Time/div =

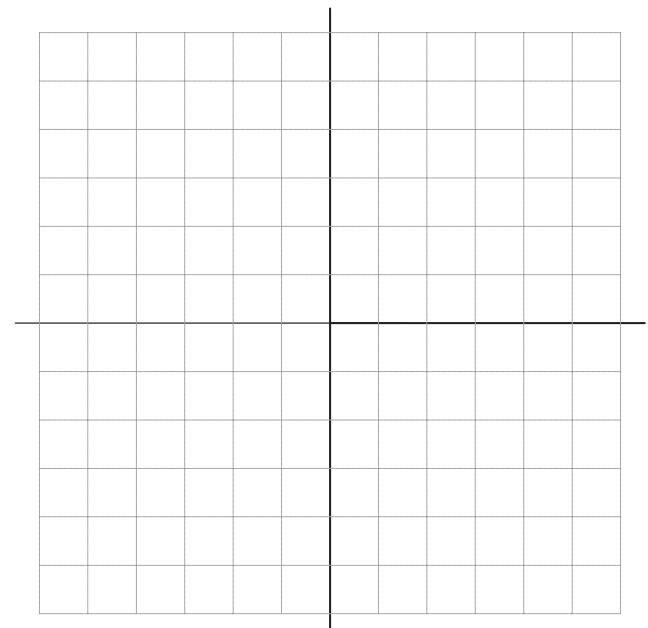
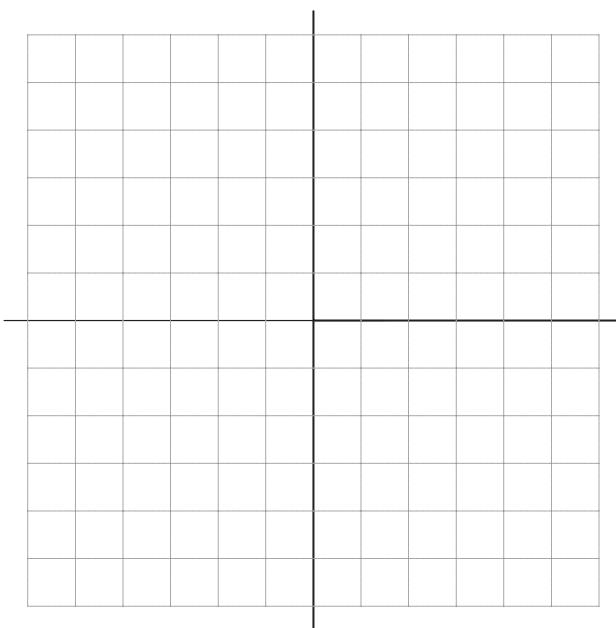
Şekil 10.9 – $R_t = 5 \text{ K}\Omega$ olduğunda devre çıkışıŞekil 10.10 – $R_t = 10 \text{ K}\Omega$ olduğunda devre çıkışı

Volt/div =

Time/div =

Volt/div =

Time/div =

Şekil 10.11 – $R_t = 5 \text{ K}\Omega$ olduğunda devre çıkışıŞekil 10.12 – $R_t = 10 \text{ K}\Omega$ olduğunda devre çıkışı

Tablo 10.1 – Tersleyen devre için kazanç değerleri

	$A_V = V_{çıkış}/V_{giriş}$	
	$R_t = 5 \text{ k}\Omega$	$R_t = 10 \text{ k}\Omega$
Teorik		
Benzetim		
Deneysel		

Tablo 10.2 – Terslemeyen devre için kazanç değerleri

	$A_V = V_{çıkış}/V_{giriş}$	
	$R_t = 5 \text{ k}\Omega$	$R_t = 10 \text{ k}\Omega$
Teorik		
Benzetim		
Deneysel		

Tablo 10.3 – Toplayan devre için çıkış gerilimi değerleri

Girişler	$V_1(\text{V})$						
	$V_2(\text{V})$						
$V_{çıkış}$	Teorik						
	Benzetim						
	Deneysel						

Tablo 10.4 – Fark alan devre için çıkış gerilimi değerleri

Girişler	$V_1(\text{V})$						
	$V_2(\text{V})$						
$V_{çıkış}$	Teorik						
	Benzetim						
	Deneysel						

Deney Çıktılarının Yorumlanması

Deney 11

OP-AMP'lı Türev ve İntegral Alıcı

Malzeme Listesi:

- 1 adet $20\text{ k}\Omega$ ve 1 adet $4.7\text{ k}\Omega$ Direnç
- 1 adet 470 nF Kondansatör
- 2 adet LM 741 OP-AMP

Deneyde Kullanılacak Cihazlar

- Multimetre
- Osiloskop
- Sinyal Jeneratörü
- Breadboard

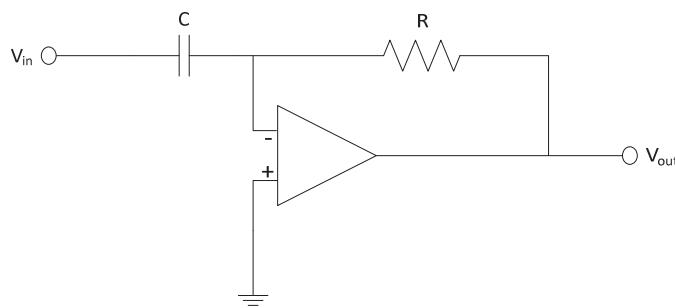
Deneyin Adı: OP-AMP'lı Türev ve İntegral Alıcı

Deneyin Amacı: OP-AMP kullanılarak yapılan türev ve integral alıcı devrelerin çalışmasının incelenmesi

Deney Çıktıları: Türev ve integral alıcı devrelerin çalışma prensiplerini kavrayabilme.

Deney Hakkında Teorik Bilgi

Türev Alıcı Devre



Şekil 11.1– Türev alıcı devre şeması

Şekil 11.1'de görülen türev alıcı devreler giriş işaretinin değişim hızıyla bağlı olarak çıkış üreten devrelerdir. Genel olarak türev alıcı devrelerde çalışma mantığı eğer giriş işaretin çok hızlı değişiyorsa çıkışta yüksek genlikli bir çıkış, yavaş olarak değişiyor ise daha düşük genlikli bir çıkış işaretin gözlemlenecek şekildedir. Eğer giriş işaretinin genliği değişmiyorsa sabit işaretin türevinin sıfır olması nedeniyle türev alıcı devrenin çıkışında işaret görülemeyecektir. Yani türev alıcı devreye zamanla değişen işaretli (AC gerilim) sinyaller giriş olarak verilmesi gerekmektedir. V_{in} genlikli giriş işaretine Şekil 11.1'deki türev alıcı devrenin çıkışını

$$V_{out} = -RC \frac{dV_{in}}{dt}$$

olmaktadır. Bu ifadedeki giriş işaretinin zamana göre türevi matematiksel olarak giriş işaretinin değişim hızını ifade etmektedir. Bağıntıdaki (-) işaretin giriş ile çıkış arasında 180 derece faz farkı olduğunu gösterir.

Türev alıcı devrenin kazancı ise

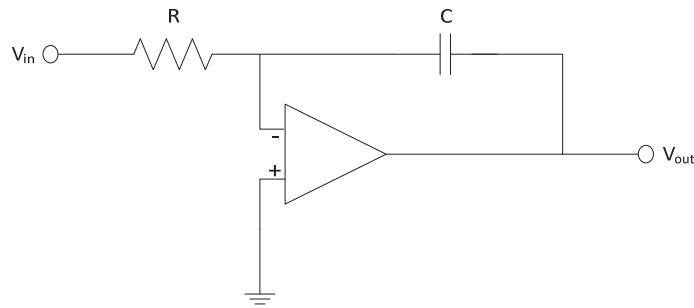
$$K = R \cdot C$$

ile hesaplanır.

Türev alıcı devrelerde karşılaşılan temel sorunlardan biri yüksek frekanslarda işlemler yapıldığında devre kazancı artar ve bu artışa bağlı olarak türev alıcı devre, yüksek frekanstaki gürültüye karşı duyarlı hale gelir. Bu olumsuz durumun önüne geçmek için yüksek gerilim kazancına bir sınır koymak gereklidir ve devredeki kapasiteye seri olarak bir direnç bağlanır..

Türev alıcı devreler genel olarak işaret seviyesindeki hızlı değişimlerle bağlı olarak çıkış sinyallerinin üretildikleri ve sinyallerdeki değişim hızlarının ölçülmesi gereken uygulamalarda sıkılıkla kullanılırlar.

İntegral Alıcı Devre



Şekil 11.2 – İntegral alıcı devre şeması

Şekil 11.2'deki integral devrenin çıkış genliği ise zaman artarken giriş işaretinin altında kalan alanın toplamıdır. Tanımdan da anlaşılacağı gibi giriş işaretin altında kalan alan zamanla artarsa çıkış genliği artar, azalırsa ise çıkış genliği azalır.

Integral alıcı devrenin V_{in} genlikli giriş işaretini uygulandığındaki çıkışını

$$V_{out} = -\frac{1}{RC} \int_0^t V_{in} dt$$

Şekil 11.2'deki devrenin kazancı ise

$$K = \frac{1}{RC}$$

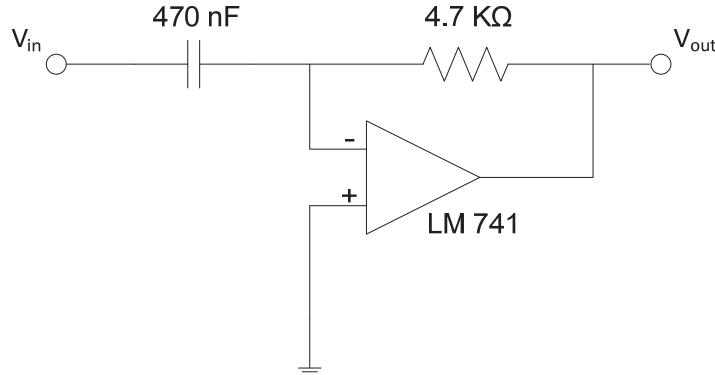
ile hesaplanır. Çıkış gerilim bağıntısındaki (-) işaretin giriş ile çıkış arasında 180 derece faz farkı olduğunu gösterir. Türev alıcı devredeki benzer yaklaşımla integral alıcı devrede de yüksek frekans kazancına sınır koymak için devrede bulunan kapasiteye paralel olarak direnç bağlamak gereklidir.

Deneyle İlgili Ön Çalışma

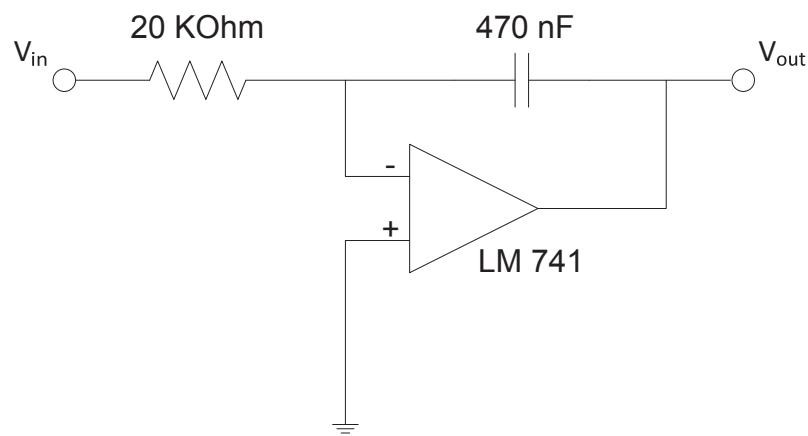
Şekil 11.3 ve Şekil 11.4'te verilen türev ve integral alıcı devrelerinin benzetimlerinin uygulama adımları takip edilerek bir benzetim programı ile yaparak çıkış işaretlerini Şekil 11.5 ve Şekil 11.6'ya çiziniz.

Denevin Yapılışı

Denev şemaları



Şekil 11.3– Türev Alıcı Devre



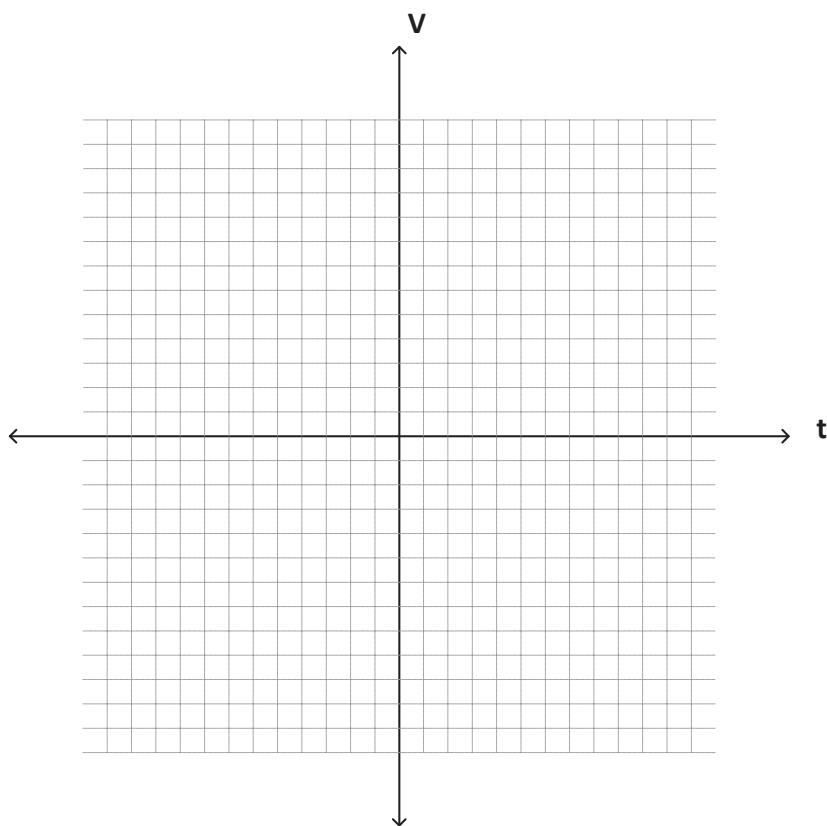
Şekil 11.4–İntegral Alıcı Devre

Uygulanacak Adımlar

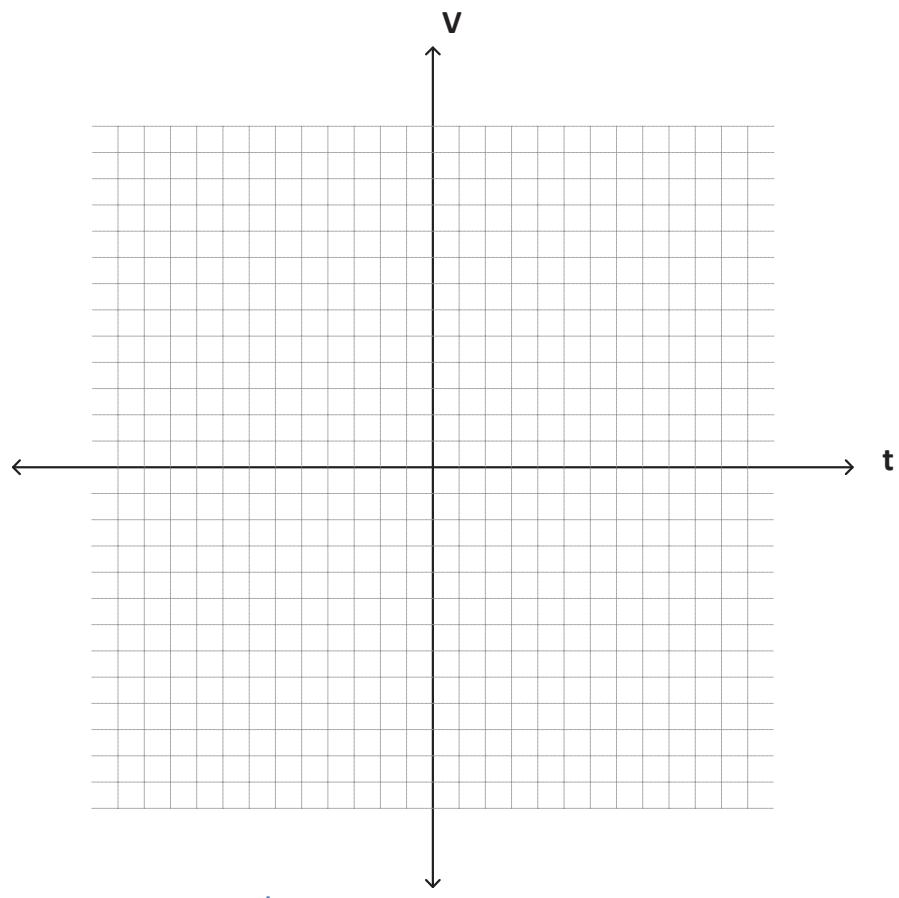
1. Şekil 11.3'deki devreyi breadboard üzerine kurunuz.
2. Devrenin girişine V_{in} giriş işaretini olarak 50 Hz frekanslı 200 mV genlikli kare giriş işaretini uygulayınız.
3. Devrenin çıkışında gözlemediğiniz işaretti Şekil 11.7'ye çiziniz.
4. Şekil 11.4'deki devreyi breadboard üzerine kurunuz.
5. Devrenin girişine V_{in} giriş işaretini olarak 50 Hz frekanslı 200 mV genlikli üçgen giriş işaretini uygulayınız.
6. Devrenin çıkışında gözlemediğiniz işaretti Şekil 11.8'e çiziniz.

Deney Sonuçları

Nümerik Sonuçlar

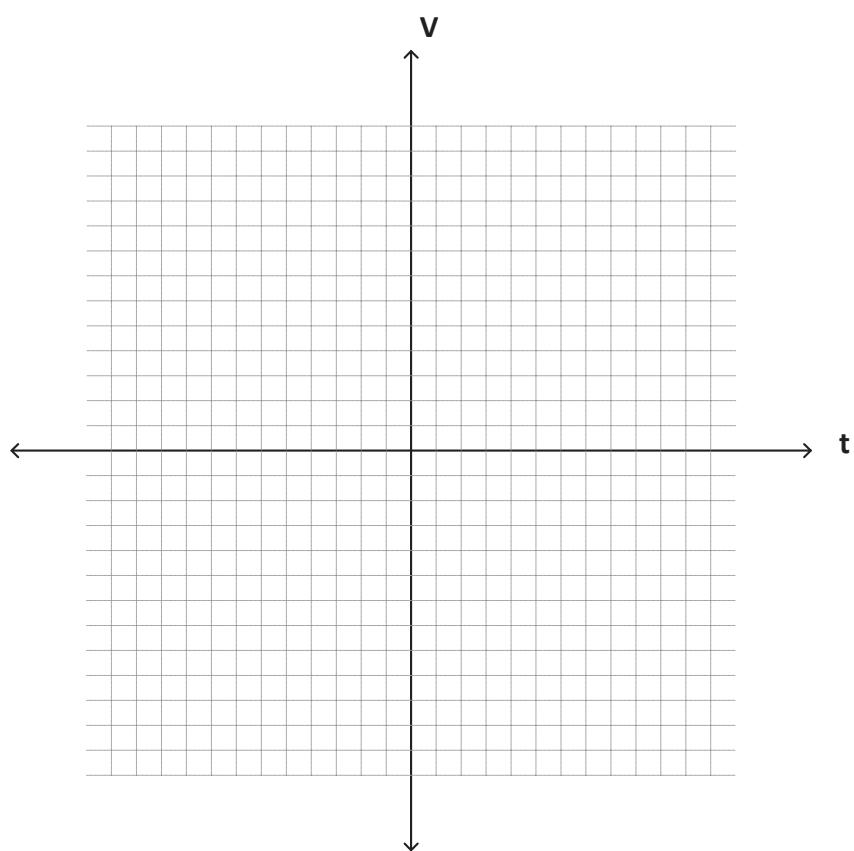


Şekil 11.5 – Türev alıcı devre çıkışı işaretti (Benzetim)

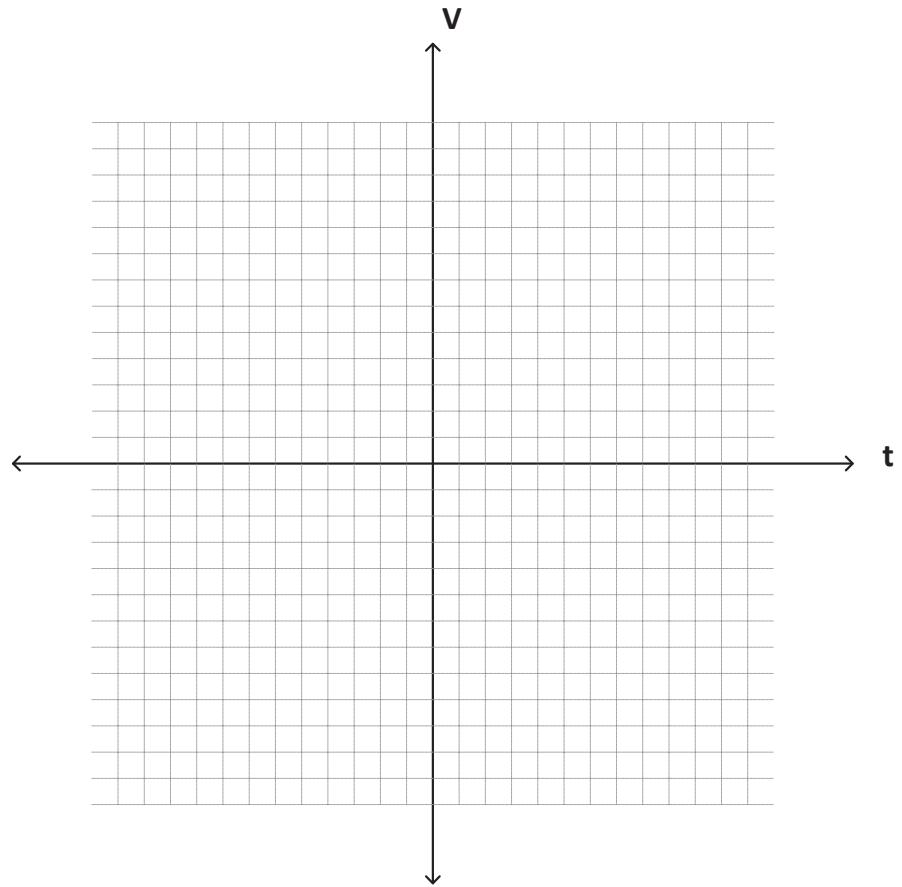


Şekil 11.6 – İntegral alıcı devre çıkışı işaretleri (Benzetim)

Deneysel Sonuçlar



Şekil 11.7 – Türev alıcı devre çıkışı işaretleri (Deney)



Şekil 11.8 – İntegral alıcı devre çıkışı işaret (Deney)

Deney Çıktılarının Yorumlanması

KAYNAKLAR

- Electronic Devices and Circuit Theory, Pearson Education, Boylestad, R. and Nashelsky, L. 10th ed. 2008
- Elektronik Cihazlar ve Devre Teorisi, Boylestad, R. and Nashelsky, L. (Türkçe Çeviri), Palme Yayıncılık, 2012.
- TEKO elektrik-elektronik eğitim setleri deney foyleri.
- <http://www.baskent.edu.tr/~kcevik/eem214/>
- http://eem.mf.duzce.edu.tr/Dokumanlar/eem_mf/
- http://mimoza.marmara.edu.tr/~kenan.savas/categories/ders_notlari/deney_foyleri/
- <http://eng.harran.edu.tr/~nbesli/ETK/>
- www.diyot.net
- www.robotiksistem.com
- www.maker.robotistan.com
- www.devreyapimi.com
- <https://rdl.train.army.mil>
- <https://www.rapidonline.com/national-semiconductor-lm741-single-op-amp-dil8-82-0458>
- <https://www.conceptofeverything.com>
- <http://www.elektrotekno.net/rss.xml>
- <http://www.diyot.net/>
- <http://320volt.com/opamp/>



Erhan AKDOĞAN

Dr. Akdoğan, 1999 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. Yüksek Lisans ve Doktora eğitimini, Araştırma Görevlisi olarak görev yaptığı Marmara Üniversitesi'nde tamamladı. 2008-2009 yılları arasında Japonya Hiroshima Üniversitesi'nde doktora sonrası araştırmalar için bulundu. 2010 yılı Eylül ayında Yrd.Doç.Dr. olarak Yıldız Teknik Üniversitesi Mekatronik Mühendisliği Bölümü'nde göreve başladı. Nisan 2015'te doçentlik ünvanını aldı. Halen aynı bölümde görev yapmaktadır.



Mehmet Hakan DEMİR

Dr. Demir, 2009 yılında Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mekatronik Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. Yüksek Lisans eğitimini İstanbul Teknik Üniversitesi Mekatronik Mühendisliği Bölümünde tamamladıktan sonra Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Makine Teorisi ve Kontrol Ana Bilim Dalında doktora derecesini aldı. 2009-2016 yılları arasında Yıldız Teknik Üniversitesi Mekatronik Mühendisliği Bölümü'nde araştırma görevlisi olarak çalıştı.



Mehmet Emin AKTAN

Mehmet Emin Aktan, 2010 yılında Süleyman Demirel Üniversitesi Mekatronik Eğitimi Bölümünden mezun oldu. Yüksek Lisans eğitimini 2012 yılında Marmara Üniversitesi Mekatronik Anabilim dalında tamamladı. 2013 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Mekatronik Mühendisliği bölümünde doktora eğitimine başladı. 2010-2011 yılları arasında Bartın Üniversitesi, 2011-2012 yılları arasında Marmara Üniversitesinde Araştırma Görevlisi olarak görev yaptı. 2013 yılından bu yana Yıldız Teknik Üniversitesi Mekatronik Mühendisliği bölümünde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır.



Ahmet Taha KORU

Ahmet Taha Koru, 2009 yılında Bilkent Üniversitesi, Elektrik - Elektronik Mühendisliği Bölümü'nden lisans, 2011 yılında ise Yüksek Lisans derecesi aldı ve aynı yıl Yıldız Teknik Üniversitesi Mekatronik Mühendisliği Bölümünde araştırma görevlisi olarak göreveye başladı. 2012 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Bölümünde halen devam etmekte olan doktora eğitimine başladı.