

İTÜ Rover Takımı
ELEKTRONİK EKİBİ
‘26 DÖNEMİ DEVRE TASARIMI ÖDEVİ



Yiğit Cılboğlu - 040230530

26 Ekim 2025

İçindekiler

1 İlk Aşama	3
1.1 DC, AC Akım ve Dönüşümleri	3
1.2 Noise	3
1.3 Ekranlama	3
1.4 Analog ve Dijital Sinyaller	3
1.4.1 Analog sinyaller	3
1.4.2 Dijital Sinyaller	4
1.5 PWM	4
1.6 Direnç	4
1.7 Kapasitör	5
1.8 İndüktör	5
1.9 Diyot	6
1.10 Aktif Anahtarlama Elemanları	7
1.10.1 BJT	7
1.10.2 MOSFET	7
1.11 PCB	8
1.12 SMD ve Through Hole PCB'ler	8
1.13 BMS	8
1.14 Bataryalar	8
1.15 Haberleşme Protokolleri	8
1.15.1 UART	9
1.15.2 SPI	9
1.15.3 I ² C	9
1.15.4 CAN	9
1.16 Transceiver	9
1.17 Differential Pair	9
1.18 OPAMP	9
1.19 Buck ve Boost Converter	10
1.19.1 Buck Converter	10
1.19.2 Boost Converter	10
1.20 Datasheet	10
1.21 DC Motorlar	10
1.22 ElectroStatic Discharge	10
1.23 Devre Çizimi	10
2 İkinci Aşama	10
2.1 Fotodiyot Opamp Devresi	10
2.2 PCB Çizimi	11
2.3 Kullanılan Komponentler	11

1 İlk Aşama

1.1 DC, AC Akım ve Dönüşümleri

DC (Doğru Akım) akım tek yönde akar ve genellikle sabittir. Pillerden alınan akım genellikle DC (Doğru Akım) olmaktadır.

Ac (Alternatif Akım) ise yönünü periyodik olarak değiştirir. Voltaj bir sinüs dalgası karakteristiği izler. Prizlerden çekilen akım genellikle AC (Alternatif Akım)'dır. Denklemi genellikle şu şekilde yazılır:

$$i(t) = I_{\max} \sin(\omega t + \phi)$$

1.2 Noise

Noise istenmeyen ve rastgele değişkenlik gösteren sinyalleri ifade eder. Bazı noise türleri şu şekilde gösterilebilir:

- White Noise: Frekans Spektrumunda her yere eşit dağılmış gürültüyü temsil eder.
- Gaussian Noise: Amplitüdü Gaussian dağılıma uyar.
- Black Noise: Genellikle düşük frekanslarda baskındır.

İşaret işleme tekniği olarak noise denen bu problemten kurtulmak için low-pass filter, high-pass filter, band-pass filter veya kalman filter gibi filtreler başvurulabilir. Bazı filtrelerin devre olarak da karşılığı vardır.

Bazen bir değişken direncin gerilimini ölçmek istediğimiz zaman da ölçme cihazımızın varlığı yüzünden noise yahut bias oluşabilir. Bunun önüne ise düşük çıkış empedansına sebep olacak (örn: emitter follower, Source Follower) devreler kullanılarak geçilebilir.

1.3 Ekranlama

Ekranlama, kablolardaki elektiriği elektromanyetik parazitlere karşı korumak amacı ile kablonun etrafına bir çeşit iletken sarma işlemidir. İTÜ Rover Takımı'nda ise insanlarda bu uygulamanın elektromanyetik interferansı önleyeceği inancı hakimdir. Bu doğrudur, ancak kimse elektromanyetik interferansın halihazırda varlığını sorgulamamaktadır.

Ekranlama bir Faraday kafesiymişçesine çalışır ve içeri giren ve dışarı çıkan elektromanyetik dalgaları önler.

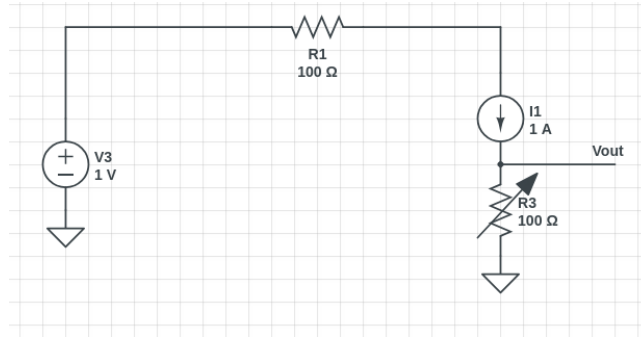
1.4 Analog ve Dijital Sinyaller

Elektronikte sinyaller analog ve dijital olmak üzere ikiye ayrılır.

1.4.1 Analog sinyaller

Analog sinyaller süreklilik gösteren sinyallerdir. ADC (Analog-Digital Converter) kullanılarak dijital bir sinyale dönüştürülebilir ve logic devrelerde işlenebilir. Örneğin bir bilgiyi ölçmek için zamanla değişen bir direnç

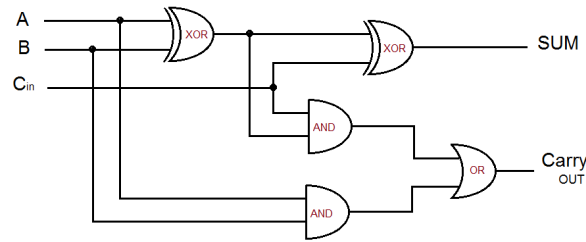
kullanırsak, direncin voltajı bir sürekli sinyal olarak elimize ulaşacaktır. Örneği hemen aşağıda bulunmaktadır.



Figür 1: Örnek Analog Ölçüm Devresi

1.4.2 Dijital Sinyaller

Dijital sinyaller 1 ve 0 olarak ilişkilendirilirler. Yalnızca ayırık değer alırlar. İşlemcilerin içerisinde bu tip sinyaller bulunur. Bu tip sinyaller kompütasyona müsaittir ve logic devreler bu tip sinyaller ile çalışır.



Figür 2: Örnek Logic Devre

1.5 PWM

PWM kullanmak sureti ile bir sinyalin genliğini değil ancak darbe süresini değiştirerek sinyalin ortalama değeri değiştirilir. Mikrokontrolcülerden analogumsu çıktı almanın iyi bir yoludur. Bir ledi sönük yahut parlak yakmanızı sağlayabilir.

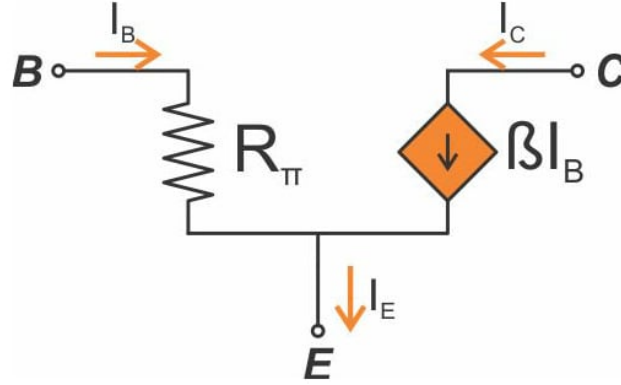
1.6 Direnç

Dirençler bir devrede bulunabilecek en basit pasif temel elemanlardır. Lineer bir direncin tanım bağıntısı şöyledir:

$$v(t) = i(t) * R$$

Ancak nonlinear dirençler çeşitlilik gösterebilmektedir. Rheosta ve potansiyometre gibi ayarlanabilir dirençler bir yana; strain gauge, termistör gibi dirençler ise dış ortamlardan etkilenecek direnç değerlerini değiştirirler ve bu dış etkenleri ölçmemizi sağlarlar.

Direnç, o kadar geniş bir alanı kapsamaktadır ki; BJT'lerin dahi aslında yalnızca bir nonlinear direnç olduğunu söylemek yanlış olmayacaktır. Zira BJT analizinde kullanılan model de bu fikri aksettirmektedir.



Figür 3: BJT Small Signal Analysis Model

1.7 Kapasitör

Kapasitörler, elektrik yükünü depolayabilen ve enerji geçici olarak saklayabilen pasif devre elemanlarıdır. Tanım bağıntısı şu şekildedir:

$$i(t) = C \frac{dv(t)}{dt}$$

Elektromanyetizma bakış açısından bakıldığında ise iki iletken levha arasındaki elektrik alanı kullanarak enerji depolayan bir elemandır.

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad , \quad \sigma = \frac{Q}{A}$$

Bir devrede gücü depolamak için, yahut sinyali filtreleyerekten gürültüyü azaltmak için, yahut zamanlama devrelerinde sıkça kullanılmaktadır.

- Seramik kapasitörler: Küçüktürler ve yüksek frekanslı devreler için uygundurlar.
- Elektrolitik kapasitörler: Yüksek kapasiteye sahiptirler ancak polarizedirler.
- Film kapasitörler: Stabildirler ve düşük kayba sahiptirler.

1.8 İndüktör

İndüktörler (bobinler), manyetik alan oluşturarak enerjiyi depolayan pasif devre elemanlarıdır. Tanım bağıntısı şu şekildedir:

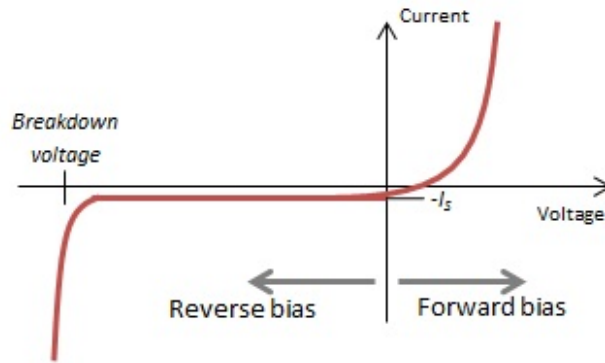
$$v(t) = L \frac{di(t)}{dt}$$

İndüktörler, enerji depolama, filtreleme, frekans ayarı ve parazit azaltma gibi birçok görevde kullanılır. Çekirdek türüne ve tasarımına göre hava, demir, ferrit veya toroidal indüktörler şeklinde çeşitlenirler.

1.9 Diyot

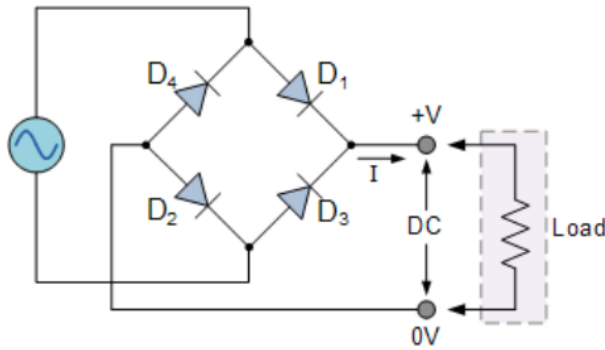
Diyot, elektriği tek yönde ileten yarı iletken bir devre elemanıdır. Yani bir yönde akımı geçirirken diğer yönde engeller. Tabi bu ideal diyotun tanımıdır. Gerçek bir diyotun tanım bağıntısı şu şekildedir:

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



Figür 4: Gerçek Bir Diyotun Grafiği

Diyotlar her tip analog devrede bulunurlar ancak verilebilecek en standart örnek akım doğrultma devresi olur sanırsam.



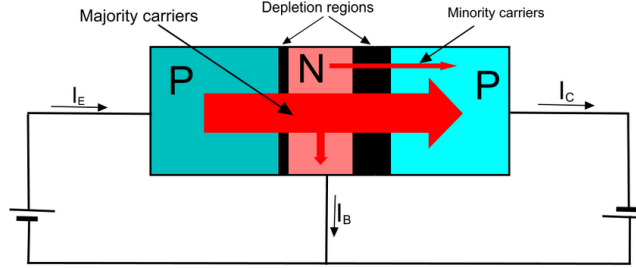
Figür 5: Full Wave Rectifier Devresi

- PN Jonksiyon Diyotu: Standart temel diyottur.
- Zener Diyot: Belirli bir ters gerilimde zener gerilimi iletmeye başlar.
- LED: Akım geçince ışık yayar.

1.10 Aktif Anahtarlama Elemanları

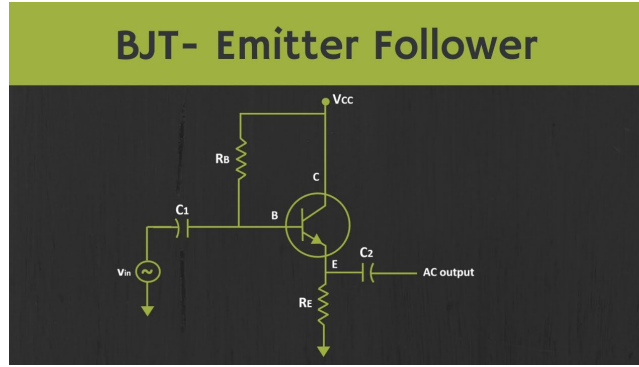
1.10.1 BJT

BJT, pnp ve npn olmak üzere iki çeşitten oluşur. MOSFET'ler kadar verimli olmaması sebebi ile gerçek hayat uygulamalarında genellikle MOSFET'ler tercih edilmektedir.



Figür 6: pnp BJT

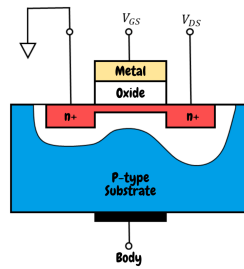
Pek çok devrede kullanılırlar ancak ben en çok sevdiğimi örnek vereceğim.



Figür 7: Emitter Follower Devresi

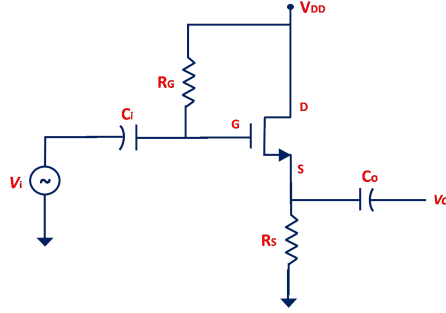
1.10.2 MOSFET

MOSFET (Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor), elektrik akımını gerilimle kontrol eden bir yarı iletken elemandır.



Figür 8: MOSFET

BJT'ye benzer biçimde kullanım alanları say say bitmez, bu sebepten ötürü emitter follower devresinin mosfet karşılığı olan source follower devresini örnek olarak vereceğim.



Figür 9: Source Follower Devresini

1.11 PCB

PCB, yalıtkan bir tabaka üzerine bakır yolların kazınmasıyla oluşturulur. Bu yollar, devredeki elektrik bağlantılarını kablo kullanmadan sağlar. Bileşenler arasındaki bağlantıları düzenli ve güvenilir biçimde sağlar. Bileşenlerin sabit durmasını ve düzenli yerleşimini sağlar.

Katmanlarına göre ayrılırlar. Katman sayısı arttıkça ekseriyetle karmaşıklığı da artar.

1.12 SMD ve Through Hole PCB'ler

SMD'de bileşenler doğrudan PCB'nin üstüne lehimlenir, oysa Through Hole PCB'lerde ise bacaklar deliklerden geçirilip PCB'nin arka yüzeyine lehimlenir. Through Hole PCB'leri elle lehimlemek kolaydır, oysa SMD PCB'leri elle lehimlemek çok zordur.

1.13 BMS

BMS bir batarya paketinin verimli ve uzun ömürlü çalışmasını sağlayan bileşendir. Hücre gerilimi izleme, hücreler arası gerilimleri eşleme, akım izleme gibi özellikleri vardır.

1.14 Bataryalar

- Lityum-İyon Bataryalar: En popüler batarya tipidir, hücre başına 3.6 V verir.
- Lityum-Polimer Bataryalar: Kadir bu bataryaların patlamasından çok korkar.
- Nikel-Kadmiyum Bataryalar: Eski teknoloji, dayanıklı ve uzun ömürlüdür.

1.15 Haberleşme Protokolleri

Haberleşme protokolleri, cihazların veriyi nasıl göndereceğini, alacağını, zamanlayacağını ve yorumlayacağını belirler. Böylece farklı üreticilerin cihazları bile birbirleriyle sorunsuz şekilde iletişim kurabilir.

1.15.1 UART

2 hatta sahip asenkron, seri iletişim tipinde bir protokoldür. Hatlar rx ve tx'tir. Basit olması sebebiyle avantajlıdır.

1.15.2 SPI

4 hatlı senkron bir seri iletişim protokolüdür. Hatlar MOSI, MISO, clock ve SS'dir. Master/Slave yapısında çalışır. Rover'ın Araç VCU'sundaki 2 STM bu protokol ile haberleşmektedir.

1.15.3 I²C

2 hatlı senkron seri iletişim protokolüdür. Hatların biri data öteki clock'tur. Master/Slave mantığı ile çalışır. Birden fazla cihazı aynı anda haberleştirebilir.

1.15.4 CAN

Can High ve Can Low olmak üzere 2 hatta sahiptir. Karmaşık bir yapısı vardır. Master/Slave'den ziyade çoklu düğüm mantığı vardır. Birden fazla cihazı haberleştirebilir.

1.16 Tranceiver

Transmitter ve Receiver kelimelerinin birleşimi anlamına gelen bir kelimedir. Hem veri alan hem de veri gönderen bileşenlerdir. Mesajı bir protokolden ötekine çevirebilirler.

1.17 Differential Pair

Differential Pair, kablolu veri iletiminde gürültüye karşı yüksek bağışıklık ve sinyal bütünlüğü sağlamak için kullanılan bir iletim yöntemidir. Özellikle CAN, RS-485, USB, Ethernet gibi yüksek hızlı veri hatlarında sık kullanılır.

1.18 OPAMP

OPAMP'lar devrelerde pek çok farklı amaçlar için kullanılabilir. Pek çok farklı OPAMP vardır. Amplifikatörlerde, toplayıcı devrelerde, İntegretör devrelerinde falan kullanılabilir.

1.19 Buck ve Boost Converter

1.19.1 Buck Converter

Converter'ler dörde ayrılır. DC2DC, AC2DC, DC2AC, AC2AC olmak üzere. Buck Converter'lar DC gerilimi daha düşük bir DC gerilime dönüştürür. Verimlidir, ancak karmaşıktır.

1.19.2 Boost Converter

Boost Converter'lar DC gerilimi daha düşük bir DC gerilime dönüştürür. Verimlidir, küçüktür ancak anahtarlama sırasında gürültü oluşabilir.

1.20 Datasheet

Datasheet, bir elektronik bileşen veya entegre devre hakkında üretici tarafından sağlanan resmî teknik belgedir. Bir mikrokontrolcünün örneğinin bütün pin giriş çıkışları, peripheralerin hafızadaki konumları ve pek çok şey datasheet'ten öğrenilir. Datasheet'ler çok uzun olabilir. Bu yüzden dikkatlice ve sakince okumak gerekir.

1.21 DC Motorlar

- Fırçalı DC Motorlar: Fırçalar aşınır ve bakım gerektirir ancak ver voltajı dönsün tipi kontrolü basittir.
- Fırçasız DC Motor: Uzun ömürlü ve verimlidir ancak sürücü devresine ihtiyaç duyar.

1.22 ElectroStatic Discharge

Electrostatic Discharge, bir nesnede biriken elektrik yükünün farklı bir nesneye bir anda aktarılması olayıdır. Buna karşı önlem almak için devreye dokunurken ground'una da dokunmayı ihmal etmeyiniz.

1.23 Devre Çizimi

Haberleşme yollarını kısa ve direkt tutarım. Analog sinyaller için ise kapasitörlü low-pass filter yaparım. Motora gidecek hatlar içinse kalın hatlar kullanırım.

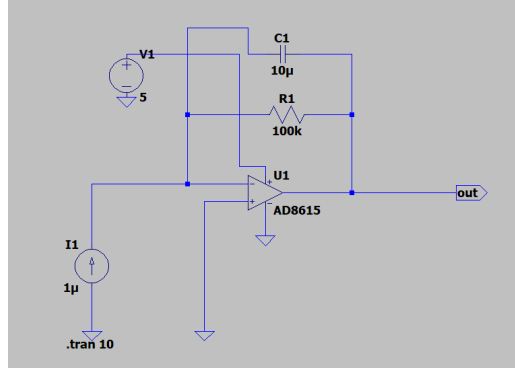
2 İkinci Aşama

2.1 Fotodiyot Opamp Devresi

Düşük giriş akımında çalışması, düşük gürültüye sahip olması ve akım/gerilim dönüşümü sağlaması sebebi ile transimpedans amplifikatörü tercih edilmiştir. Düşük güçlü devreler içinse özellikle uygun olması sebebi ile AD8615 tercih edilmiştir.

Geri besleme direnci $100k\ \Omega$ tercih edildiğinde $1\mu A$ akım için çıkış gerilimi $145.86\mu V$ olur. Bunu elde hesapladım, LTSpice ile simülasyonda analiz ettim.

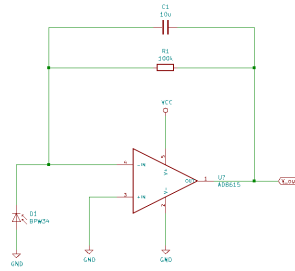
Giriş sinyalindeki olası gürültüleri engellemek için ise geribesleme direncine paralel küçük bir kapasitör taktım.



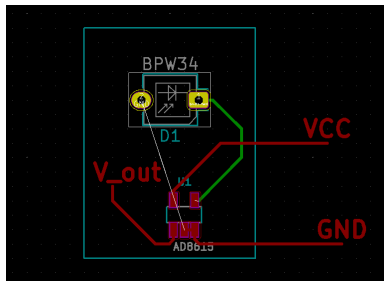
Figür 10: LTSpice fotodiyot devresi

2.2 PCB Çizimi

LTSpice ortamında analizimi bitirdikten sonra KiCad ortamında çizimimi gerçekleştirdim.



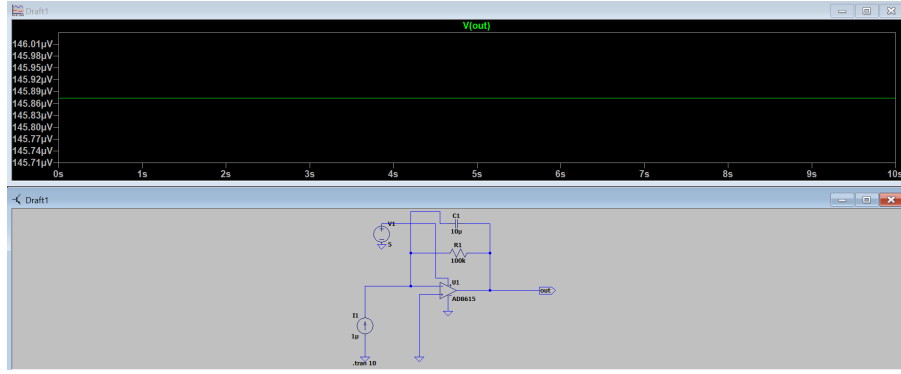
Figür 11: KiCad fotodiyot şematikleri



Figür 12: KiCad fotodiyot PCB'si

2.3 Kullanılan Komponentler

OPAMP olarak düşük akımlarda çalışabilmesi ve verimli olması sebebi ile AD8615 tercih edilmiştir. Fotodiyot olaraksa yaygın kullanımı ve hızlı çalışması sebebi ile BPW34 tercih edilmiştir.



Figür 13: LTSpice simülasyon analizi