

Bölüm 3: Fotoelektronik Eleman Uygulamaları

(Işığa Duyarlı Elemanlar ve Devreler)

A. Işık Kontrollü Röle Devreleri

1. Fotoelektrik (Işığa Duyarlı) Elemanlar

İnsan gözü, dalga boyu 380 nanometreden 780 nanometreye kadar olan elektromanyetik dalgaları ışık olarak algılar. Gözün en yüksek duyarlılığı yeşil ile sarı renkleri arasındadır. Ultraviyole (mor ötesi), ve enfraruj (kızıl ötesi) ışınlar ise insan gözü tarafından algılanamaz.

Aydınlatma Şiddeti Kavramı

Işık akısının, dikey olarak aydınlanan yüzeye oranına aydınlatma şiddeti denir. Aydınlatma şiddetinin birimi lux'tür. (*Lux: ışık, parlaklık*)

Işığa Duyarlı Eleman Çeşitleri

a. LDR'ler (Fotodirenç, Light Dependent Resistance)

Işıқта az direnç, karanlıkta yüksek direnç gösteren devre elemanlarına LDR denir. Başka bir deyişle aydınlıkta LDR'lerin üzerinden geçen akım artar, karanlıkta ise azalır.

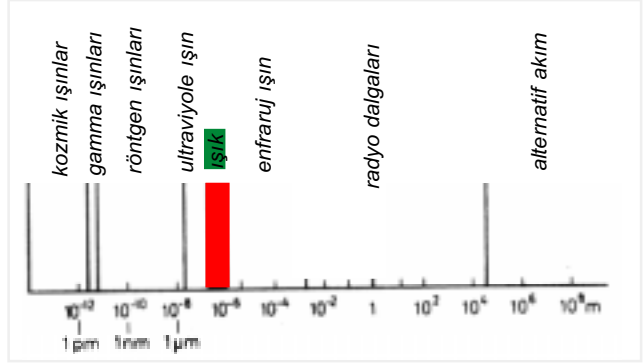
LDR'lerin karanlıktaki dirençleri yaklaşık 1 MW aydınlıktaki dirençleri ise 100 w ile 5 kW düzeyindedir. Şekil 3.3'te LDR'lerin direncinin ışığa göre değişimine ilişkin eğri verilmiştir.

LDR'ler, CdS (kadmium sülfür), CdSe (kadmium selenür), selenyum, germanyum ve silisyum vb. gibi ışığa karşı çok duyarlı maddelerden üretilmektedir.

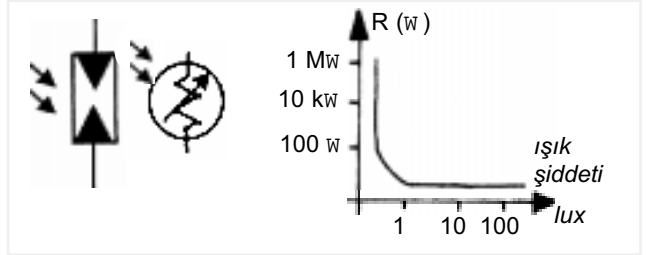
LDR yapımında kullanılan madde, algılayıcının hassasiyetini ve algılama süresini belirlemekte, oluşturulan yarı iletken tabakanın şekli de algılayıcının duyarlılığını etkilemektedir. LDR'ye gelen ışığın odaklaşmasını sağlamak için üst kısım cam ya da şeffaf plastikle kaplanmaktadır.

LDR'ler çeşitli boyutlarda üretilmekte olup, gövde boyutları büyüdükçe güç değeri yükselmekte ve geçirebilecekleri akım da artmaktadır.

Uygulamada yaygın olarak kullanılan bazı LDR tipleri: LDR03, LDR05, LDR07, OPR60...

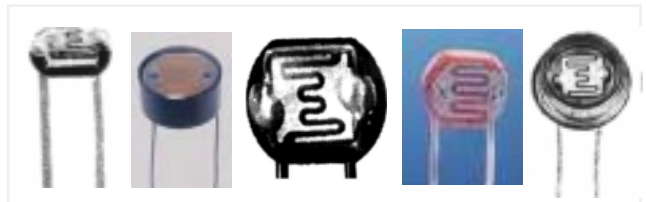


Şekil 3.1: Elektromanyetik ışınlar ve dalga boyları



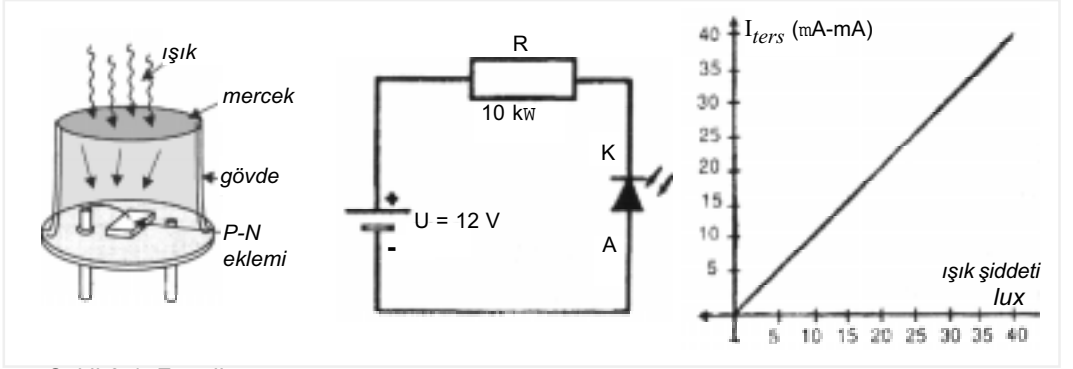
Şekil 3.2: LDR sembolleri

Şekil 3.3: LDR'lerin direncinin ışık şiddetine göre değişim eğrisi



Resim 3.1: LDR örnekleri

LDR'ler, endüstriyel kumanda sistemlerinde, otomatik gece lâmbalarında, dijital sayıcılarda, brülörlerde, kanın renk yoğunluğunu belirleyen tıbbi cihazlarda, flaşlı fotoğraf makinelerinde, hareket dedektörlerinde, zil butonlarında vb. kullanılırlar.



Şekil 3.4: Fotodiyodların yapısı

Şekil 3.5: Işığa bağlı olarak fotodiyodların üzerinden geçen akımın eğrisi

b. Fotodiyodlar (Photodiode, Işığa Duyarlı Diyod)

Üzerine ışık düştüğünde iletken olarak katot ucundan anot ucuna doğru akım geçiren elemanlardır.

Fotodiyodlar doğrultmaç diyodlarına benzerler. Tek fark şekil 3.4'te görüldüğü gibi fotodiyodların birleşim yüzeyinin aydınlatılmış (ışık alabiliyor) olmasıdır.

Bu elemanlar devreye ters bağlanırlar ve ışık ile ters yöndeki sızıntı akımlarının artması suretiyle kontrol yaparlar. Bu kontrol, ışıkla yarı iletkenin kristal yapısındaki bağların bazı noktalarda kopması sonucu elektron ve oyukların hareketiyle doğan akımın çoğalmasıyla olur. Şekil 3.5'te ışığa bağlı olarak fotodiyodlardan ters yönde geçen akımın değişim eğrisi verilmiştir.

Fotodiyodlarda mercekli kısma gelen ışığa göre katottan anota doğru akan düşük değerli akım değişir. Geçen akım, ışığın şiddetine bağlı olarak 100 mA-150 mA, gerilim ise 0,14-0,15 V arasında değişmekte olup çok küçüktür.

Fotodiyodların çalışma hızı son derece yüksektir (yaklaşık 1 ns ile 0,2 ms). Bu hızlı davranışları ve boyutlarının küçük olması sayesinde fiber optik kabloyla veri iletiminde kullanılmaktadırlar. Bu elemanlar, hem bir gerilim üretici hem de ışık algılayıcı olarak kullanılabilir.

Fotodiyodlar enfraruj ışınlar karşı da duyarlıdır. Bunu sağlamak için, diyodun gövdesindeki alıcı kısmın merceği renkli cam ya da plastikten yapılarak normal ışınların etkide bulunması önlenir.

Yaygın olarak kullanılan fotodiyod tipleri: BPW12, BPW20, BPW30, BPW33, BPW34, BPW63, BPW65



Şekil 3.6: Fotodiyod sembolleri

Resim 3.2: Çeşitli fotodiyodlar

c. Fotopiller (Solar Cell, Fotosel, Güneş Pili, Photo Voltaic Cell)

Güneş enerjisini (gün ışığını) elektrik enerjisine dönüştüren elemanlara fotopil denir.

Fotopillerin yapısı ve çalışması şöyledir: Foton absorblanmasıyla (emilmesiyle) oluşan yük taşıyıcılar çoğunlukta oldukları bölgelere sürüklenirler. Birleşim yüzeyinden I akımı geçer ve N tipi madde eksi (-), P tipi madde ise artı (+) yüklenmiş olur. I akımı, birleşim yüzeyinin ileri yönde kutuplaşmasına ve birleşimin gerilim settinin alçalmasına neden olur. Dış devre açık ise (alıcı yoksa) P'den N'ye akım geçer ve birleşim yüzeyindeki gerilim setti tekrar yükselir ve P bölgesi eksi (-), N bölgesi artı (+) yüklenir. Sonra tekrar foton absorblanarak olay devam eder.

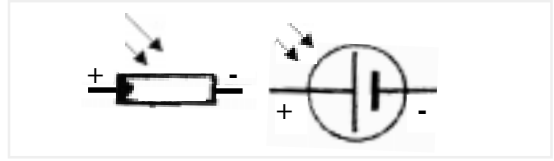
Dış devreden akım çekilirse P-N birleşim yüzeyindeki potansiyel, elektronları daha yüksek potansiyele çıkaran batarya (pil) rolü oynamaktadır.

Enerjisi yeterli bir ışık demeti P-N birleşim yüzeyine düşürülecek olursa, foton, elektronlarla karşılaşır ve enerji verebilir. Serbest hâldeki elektronlar valans elektronlarının ancak $1/10^4$ ü kadar olduğundan, bu ihtimal zayıftır. Foton, muhtemel (olası) valans elektronu ile karşılaşır ve ona enerjisini bırakarak iletkenlik bandına çıkarır. Valans bandına çıkan elektron arkasında bir boşluk (artı yük) bırakır. Sonuç olarak P tipi bölge artı (+), N tipi bölge eksi (-) yüklenerek bir elektriksel potansiyel farkının oluşmasına yol açar. Bu da elektrik akımını doğurur.

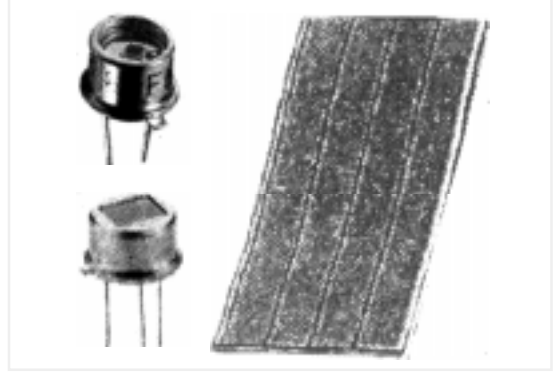
Foton akısı, birim yüzeyden, birim zamanda geçen foton sayısı olarak tanımlanır. Işık ışınları (fotonlar) fotopil üzerine düştüğünde küçük yarı iletken temelli hücrelerde yaklaşık 0,4-0,5 volt ve 8-100 miliamperlik akımın oluşmasını sağlarlar.

Güneş pilleriyle 3 V gerilim elde etmek isteniyorsa 6 tanesi birbirine seri olarak bağlanır. Sistemden alınan akım yükseltmek istendiğinde ise, elemanlar paralel bağlanır. Yüksek gerilim ve akım elde etmek için yapılmış güneş enerjisi panellerinde yüzlerce güneş pili seri-paralel bağlı durumdadır. Güneş pili üzerine düşen ışığın şiddeti bir noktadan sonra artırılrsa da (örneğin 4000 lux'ten sonra) alınan gerilim sabit kalmaktadır.

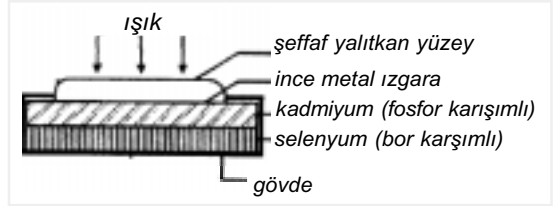
Bu elemanlar, güneş ışığıyla çalışan, saat, radyo, TV, hesap makinesi, otomobil, sokak lâmbası, uydu vericisi, uçak vb. gibi aygıtlarda kullanılmaktadır.



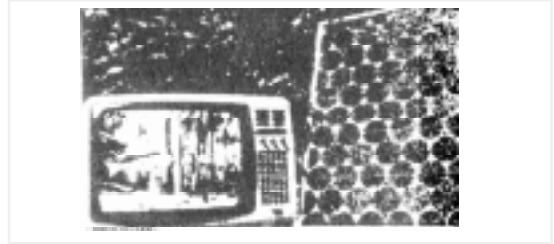
Şekil 3.7: Fotopil sembolleri



Resim 3.3: Fotopiller ve fotopil paneli



Şekil 3.8: Fotopilin yapısı



Resim 3.4: Güneş pili paneliyle çalışan televizyon

d. Fototransistörler (Photo Tr)

Beyz ucuna ışık düştüğünde C-E arasından akım geçişini sağlayan elemanlardır. Fotodiyodlardan farklı olarak ışıkla üretilen akımı yükseltme yaparlar. Bu özellikleri sayesinde fotodiyodlardan çok üstündürlükler.

Üç yarı iletkenin birleşiminden oluşan fototransistörlerin C-B uçları arasına bağlanmış olan fotodiyoda (şekil 3.10) ışık enerjisi (foton) gelebilmesi için beyz ucunun bulunduğu kısma mercek şeklinde cam yerleştirilmiştir. Mercek, ışığın içeriye odaklanarak girmesini sağlamaktadır.

Fototransistörler iki ya da üç bacaklı olarak üretilir. Üç bacaklı olan modellerde mercek boyanacak olursa eleman normal transistör hâline geçer. Mercek boyanmaz ve beyz ucu da devreye bağlanacak olursa beyze iki etki söz konusu olacağından C-E arasından geçen akımın miktarındaki değişme daha fazla olur. İki bacaklı fototransistörlerde (kullanım kolaylığı bakımından) beyz ucu dışarıya çıkarılmaz.

Bu elemanlar, TV, video, müzik seti, klima gibi cihazların uzaktan kumanda devrelerinde, gün ışığına duyarlı olarak çeşitli aygıtların ve alarm sistemlerinin çalıştırılmasında vb. kullanılmaktadır.

Fotodiyodların üzerinden geçirebildiği akım mikroamper (mA) düzeyindedir. Fototransistörler ise miliamper düzeyinde bir akım geçişini mümkün kılarlar. Akımın büyük olması başka bir devreyi çalıştırmada (sürmede) kolaylık sağlar.

Bazı fototransistörler: BP103B, BPW40, SFH309, BPY62-2, BPX99...

BP103B tipi fototransistörün karakteristik özellikleri: Kolektör-emiter gerilimi (U_{CE}): 35 volt, Kolektör akımı (I_C): 100 mA, Kolektör-emiter sızıntı akımı (I_{CEO}): 5 nA

e. Darlington Fototransistörler

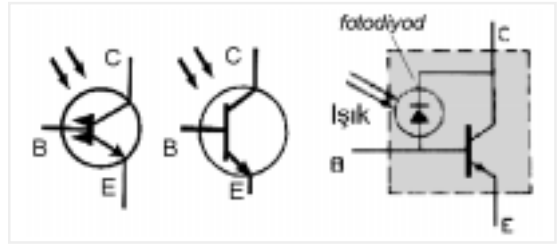
Bir fototransistör ile normal transistörün arka arkaya bağlanmasıyla elde edilen devre elemanlarına darlington fototransistör denir. Bu elemanların ışığa karşı duyarlılıkları normal fototransistörlere oranla çok fazladır. Şekil 3.11'de darlington fototransistör sembolü verilmiştir.

f. Işık Kontrollü Röle Devreleriyle İlgili Örnekler

I. Fotodiyodlu Basit Devre

Şekil 3.12'de verilen devrede fotodiyoda ışık geldiğinde üzerinden geçirdiği akım artar. Bundan dolayı transistörün beyzine giden akım azalır ve bu eleman kesime gider. Transistörün kesime gitmesiyle $U_{çıkış}$ gerilimi maksimum olur.

Ortam karardığında ise fotodiyod kesime, transistör iletime geçeceğinden $U_{çıkış}$ gerilimi en

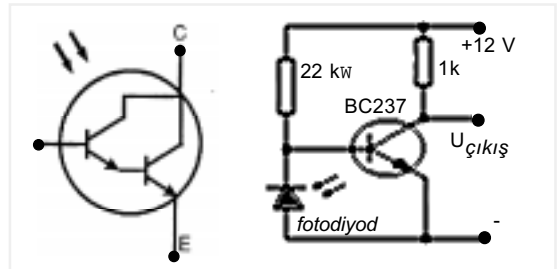


Şekil 3.9: Fototransistör sembolleri

Şekil 3.10: Fototransistörlerin yapısı



Resim 3.5: Fototransistör örnekleri



Şekil 3.11: Darlington fototransistör sembolü

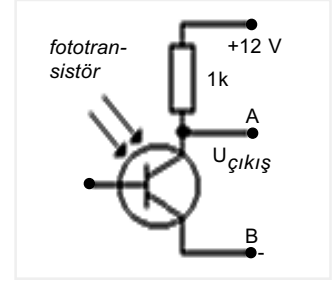
Şekil 3.12: Fotodiyodlu ışığa duyarlı devre

düşük (minimum) değere iner. Çıkışa bir led diyod ya da röle bağlanacak olursa karanlıkta çalışan devre elde edilir.

II. Fototransistörlü Basit Işığa Duyarlı Devre

Şekil 3.13'te verilen devrede ortam aydınlıkken fototransistör iletimde olduğundan $U_{\text{çıkış}}$ gerilimi çok küçüktür. Ortam karardığında fototransistör kesime gider ve $U_{\text{çıkış}}$ gerilimi maksimum değere yükselir.

Çıkışa (A-B arasına) bir led diyod bağlanacak olursa ışıқта çalışan devre elde edilir.

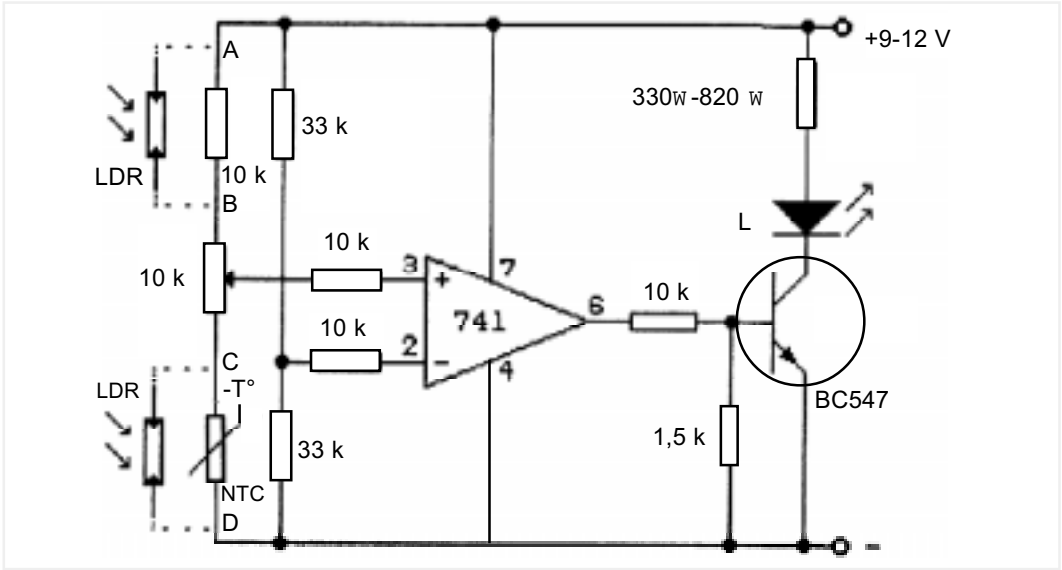


Şekil 3.13: Fototransistörlü basit ışığa duyarlı devre

B. Op-ampli Işık Kontrol Devreleri

a. Op-ampli Işığa ve Isıya Duyarlı Devre

Şekil 3.14'te verilen op-ampli devre ile bir çok tasarım yapılabilir.



Şekil 3.14: Op-ampli ışığa ve ısıya duyarlı devre

I. A-B Arasına Direnç, C-D Arasına NTC Bağlanırsa

Ortam sıcaklığı artınca NTC'nin direnci azalır ve üzerinde düşen gerilim küçülür. Op-amp 2 ve 3 numaralı girişlerindeki gerilimleri kıyaslar. 3 numaralı giriş gerilimi 2'de bulunan gerilimden büyük olduğu anda 6 nolu ayak çıkış akımını transistöre verir. Transistör iletime geçerek alıcıyı çalıştırır. Ortam sıcaklığı azalınca NTC'nin direnci artar ve bu elemanın üzerinde düşen gerilim büyür. Op-ampın 2 numaralı ayağına gelen gerilim 3 numaralı ayaktaki gerilimden büyük olduğu anda çıkış akımı sıfır (0) olur ve transistör kesime gider.

II. A-B Arasına Direnç, C-D Arasına LDR Bağlanırsa

Ortam aydınlığı artınca LDR'nin direnci azalır ve üzerinde düşen gerilim küçülür. Op-amp 2 ve 3 numaralı girişlerindeki gerilimleri kıyaslar. 3 numaralı giriş gerilimi 2'de bulunan gerilimden büyük olduğu anda 6 nolu ayak çıkış akımını transistöre verir. Transistör iletime geçerek alıcıyı çalıştırır. Ortam aydınlığı azalınca LDR'nin direnci artar ve bu elemanın üzerinde düşen gerilim büyür. Op-ampın 2 numaralı ayağına gelen gerilim 3 numaralı ayaktaki gerilimden büyük olduğu anda çıkış akımı sıfır olur ve transistör kesime gider. Devrede LDR ile direnç yer değiştirirse

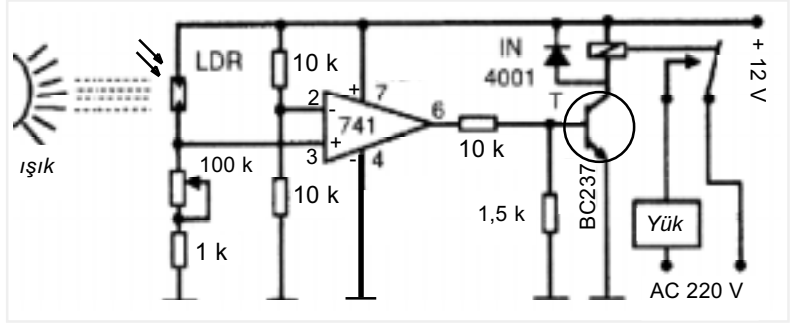
alıcı karanlıkta çalışır.

Not: Şekil 3.14'teki devrede C-D arasına kondansatör A-B arasına direnç bağlanırsa turn-on tipi (gecikmeli çalışan) zaman rölesi devresi elde edilir.

C. Işıklı Uzaktan Kumanda Devreleri

I. Op-amp'lı Uzaktan Kumanda Devresi

Şekil 3.15'te verilen devrede LDR'ye ışık geldiğinde geçen akım pot ve direnç üzerinde düşen gerilimi artırır. Op-amp'ın 3 numaralı (+) girişinin gerilimi 2 numaralı (-) girişin geriliminden büyük olduğunda 741 çıkış vererek röleyi çalıştırır. LDR'ye gelen ışık kesildiğinde röle ilk konumuna döner.

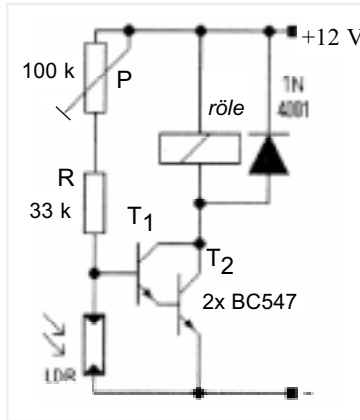


Şekil 3.15: Op-amp'lı uzaktan kumanda devresi

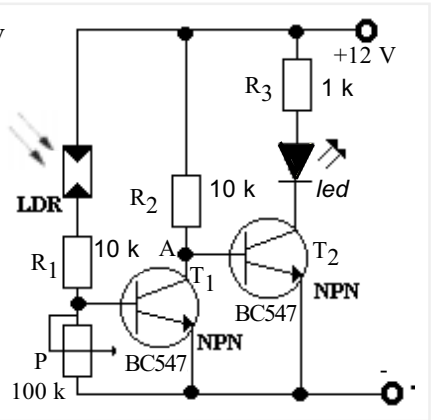
D. Fotodirenç (LDR)'li Devreler

I. Kaskad Bağlantılı Karanlıkta Çalışan Devre

Şekil 3.16'da verilen devrede LDR'ye ışık gelince direnci azalır ve üzerinden geçirdiği akım artar. LDR'den geçen akımın pot üzerinde oluşturduğu gerilim T_1 transistörünü ilettime sokar. T_1 ilettime geçince A noktasındaki gerilim azalır ve T_2 kesime gider. Ortam karardığında LDR akım geçirmez. T_1 kesime gider. A noktasının gerilimi yükselir. T_2 ilettime geçer ve led yanar. (Not: Led yerine röle bağlanacağı zaman 1 kiloohmluk R_3 direnci iptal edilir.)



Şekil 3.16: Darlington bağlantılı karanlıkta çalışan devre



Şekil 3.17: Kaskad bağlantılı karanlıkta çalışan devre

II. Darlington Bağlantılı Karanlıkta Çalışan Devre

Şekil 3.17'de verilen devrede ortam karardığında LDR'nin direnci artar. Direncin artması bu eleman üzerinde oluşan gerilimin yükselmesine neden olur. LDR'de düşen gerilimin yükselmesi T_1 ve T_2 transistörlerini ilettime sokar. İletime geçen transistörler röleyi çalıştırır. Ortam aydınlandığında LDR'nin direnci düşer. Üzerinde oluşan gerilim azalır. Transistörler kesime gider. Pot ile devrenin ışığa duyarlılık derecesi değiştirilebilir.

E. Elektronik Devir Sayıcılar

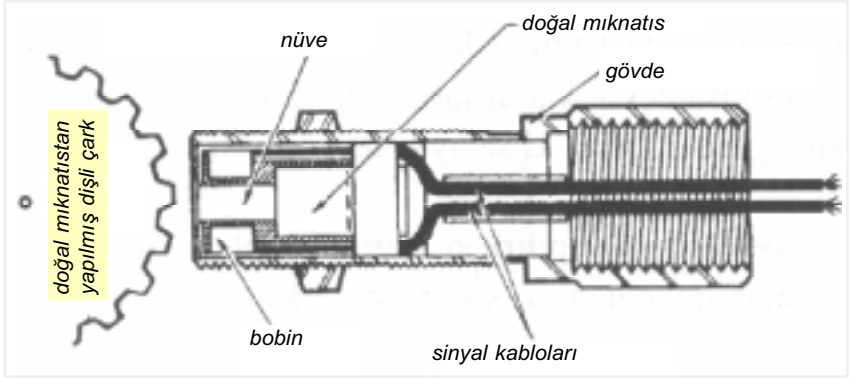
1. Devir Sayısı (Hız) Ölçme

Sürekli olarak dönüş yapan düzeneklerin devir sayısını ölçmek için optik, manyetik vb. gibi yöntemlere göre çalışan devreler geliştirilmiştir.

I. Manyetik Pick-Up Adlı Bobinli Sensörle Devir Sayısı Ölçme

Daimi mıknatıstan yapılmış olan sabit nüve üzerine bir bobin sarılmasıyla elde edilmiş sensör ile hız ölçülebilmektedir.

Sensör, dönüş hızı ölçülecek motorun miline bağlı ve dişleri doğal mıknatıstan yapılmış çark önünde şekil 3.18'de görüldüğü gibi döndürülürse, her diş **pick-up**



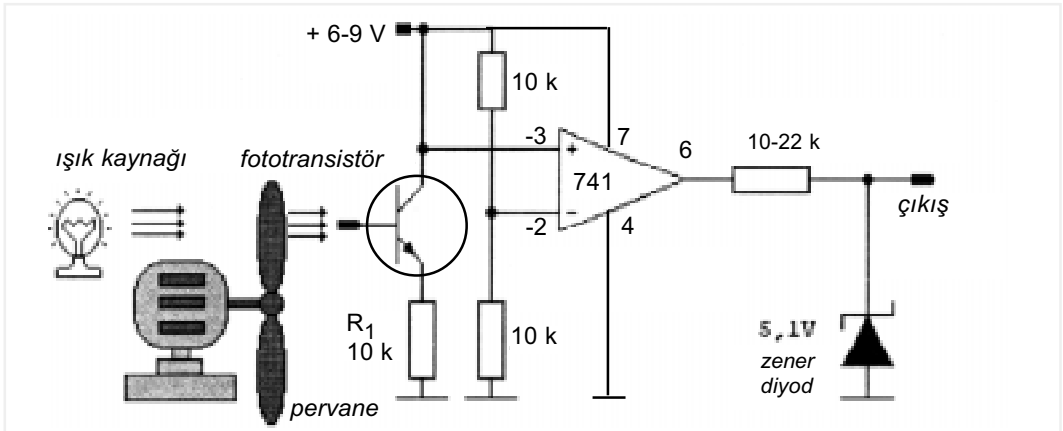
Şekil 3.18: Manyetik "pick-up" adlı bobinli sensörle devir sayısı ölçme

önünden geçerken manyetik alan yoluyla bobini etkiler. Manyetik alana maruz kalan mini bobinde küçük değerli bir gerilim oluşur. Bobinden elde edilen gerilim analog ya da dijital yapıli devreler tarafından değerlendirilerek devir sayısı ölçümü yapılabilir.

II. Op-ampli Devir Sayısı Ölçme Devresi

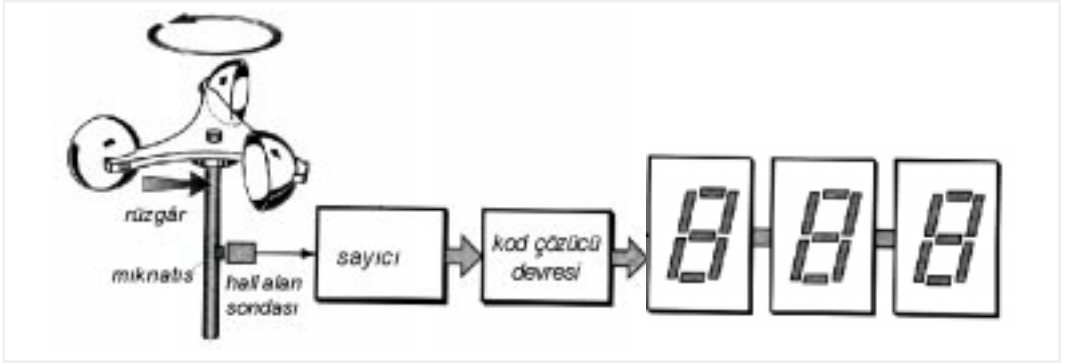
Şekil 3.19'da görülen devrede fototransistöre gelen ışık, bu elemanı iletim kesim yaparak 10 kW luk R_1 direncinde bir gerilim oluşmasına neden olur. R_1 üzerinde oluşan gerilim kıyaslayıcı olarak çalışan op-amp tarafından karşılaştırılır. Op-ampın çıkışındaki gerilim zener diyod tarafından 5,1 V ta sabit tutulur. Pervanenin dönüş sayısı arttıkça op-ampın çıkışında oluşan kare dalganın frekansı da artar. Op-ampın çıkışına analog özellikli DC voltmetre bağlanacak olursa pervanenin devir sayısı arttıkça aletin ibresinin daha çok saptığı görülür.

Ancak uygulamada çıkışa voltmetre değil, frekansı voltaja çeviren entegre bağlanarak devir



Şekil 3.19: Op-ampli devir sayısı ölçme devresi

sayısını belirleme yöntemi uygulanır. Bu kitap endüstriyel elektronik sistemleri anlatmak için hazırlandığından dijital elektronik konularını içermemektedir. O nedenle şekil 3.19'daki devreye frekans-gerilim çevirici eklenmemiştir.



Şekil 3.20: Hall alan sondasıyla devir ölçmenin blok şeması

III. Hall Alan Sondasıyla Rüzgârın Şiddetini Ölçme

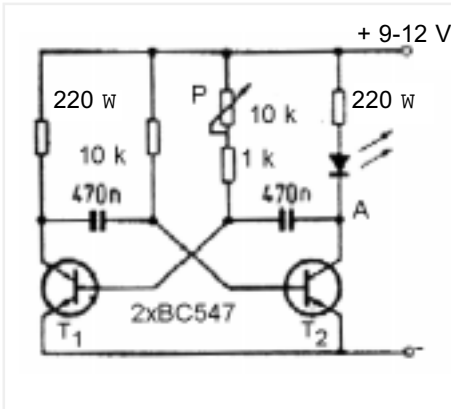
Şekil 3.20'de verilen blok şemada pervane rüzgârın etkisiyle dönmeye başlar. Pervanenin miline bağlı miknatıs hall alan sondasını (manyetik sensör) etkileyerek bu elemanın uçlarında gerilim doğmasına neden olur. Hall alan sondasının verdiği gerilim dijital devreler tarafından değerlendirilerek display'lerin çalışması sağlanır.

F. Enfraruj Led ve Fototransistörlerle Bilgi Taşıma

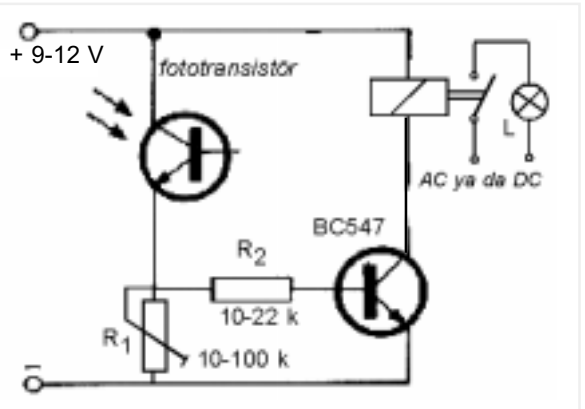
I. Astable Multivibratörlü Basit Enfraruj Verici

Şekil 3.21'de verilen devrede transistörler sırayla iletim kesim olarak A noktasında kare şeklinde bir sinyal oluşturur.

A noktasında oluşan sinyal sayesinde infraruj diyod belli frekansta bir ışın yayar. Enfraruj ledin yaydığı ışının frekans değeri P ile değiştirilebilir.



Şekil 3.21: Astable multivibratörlü basit infraruj verici devresi



Şekil 3.22: Fototransistörlü basit ışığa duyarlı devre

II. Fototransistörlü Işığa Duyarlı Devre

Şekil 3.22'de verilen devrede fototransistöre ışık geldiğinde bu eleman iletime geçerek BC547 transistörünü iletime sokar. BC547 iletim olunca röle çeker ve lâmba yanar.

Fototransistöre gelen ışık kesildiğinde röle ilk hâline geri döner.

R_1 trimpotuyla devrenin çalışması istenen aydınlık şiddetinin değeri ayarlanabilir.

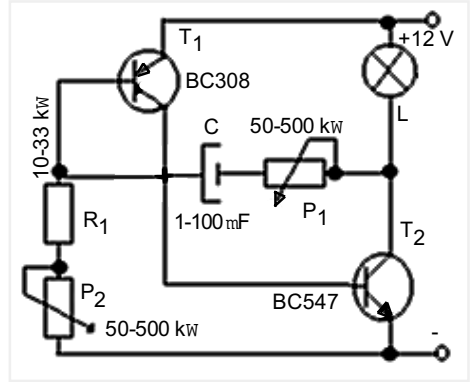
Görüldüğü üzere verilen devre gün ışığına duyarlı olarak çalışmaktadır. Bu devrenin sadece enfraruj ışınlar karşı duyarlı olmasını istersek fototransistörün mercekle kısmını koyu renk şeffaf plastik ile kapatmamız gerekir. Bunu yaptığımız zaman fototransistör sadece enfraruj diyodlu vericiler tarafından yayılan ışınları algılar.

Örneğin bir odaya alarm kurmak için ne yapmamız gerektiğini düşünelim. Bu işlem yapılırken odanın bir tarafına mini bir enfraruj diyodlu verici devresi monte edilir. Bu vericinin tam karşısındaki duvara ise şekil 3.22'deki devre yerleştirilir. İki devre arasında bir cisim girdiği anda fototransistöre gelen enfraruj ışınlar kesilir. Bu ise, fototransistörün BC237 transistörünü kesime sokmasına yol açar. Kesime giden BC237 rölenin kontaklarının konumunu değiştirir ve yanmakta olan lâmba söner.

G. Flaşörler

I. PNP ve NPN Transistörlü Flaşör

Şekil 3.23'te verilen devreye DC 12 V uygulanınca kondansatör lâmba, P_1 , R_1 , P_2 yolu üzerinden dolmaya başlar. C dolunca PNP tipi T_1 transistörünü sürer. PNP iletme geçince NPN tetiklenir ve lâmba yanar. T_2 iletme geçtiği anda devredeki kondansatörün (+) yük ile dolu sağ plâkası eksiye (şaseye) bağlanmış olacağından, bu eleman boşalmaya başlar. Kısa bir süre içinde boşalan C, T_1 transistörünün kesime gitmesine neden olur. T_1 kesime girince T_2 'de kesime girer. T_2 'nin kesime girmesiyle kondansatör yeniden şarj olmaya başlar.



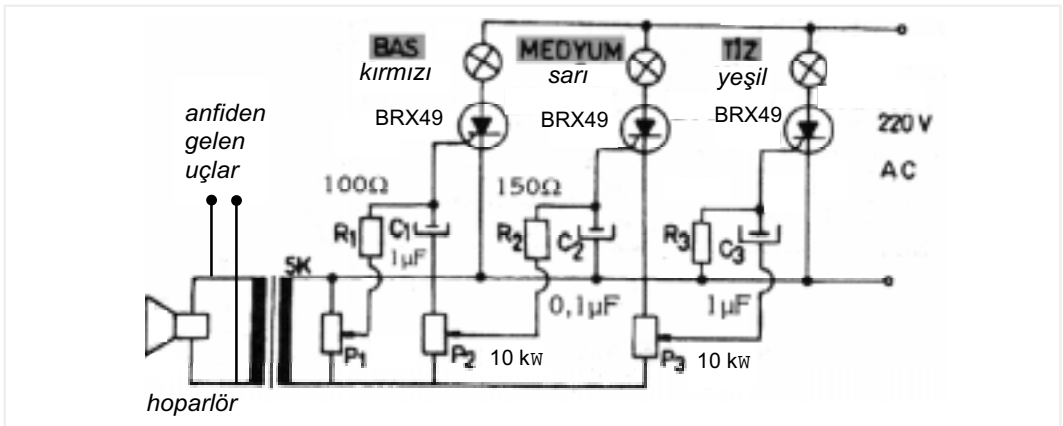
Şekil 3.23: PNP ve NPN transistörlü flaşör devresi

H. Işık Modülatörleri

Müzik ya da ses yayınının şiddetine göre lâmbaları yakmak için geliştirilmiş devrelerdir.

Örnek olarak şekil 3.24'te verilen devrede üç tristörün G ucuna bağlanan direnç ve kondansatörlerin değerleri farklıdır. Bu sayede herbir tristör ayrı değerlerde iletme geçmektedir.

Devrede 400 Hz in altındaki bas frekanslı sinyallerin akımı SCR₁'i, 400 Hz-2 kHz arasındaki medyum frekanslı sinyallerin akımı SCR₂'yi, 2 kHz in üzerindeki tiz frekanslı sinyallerin akımı



Şekil 3.24: Işık modülatörü devresi

ise SCR₃'ü sürer.

Anfiden gelen ses frekanslı sinyallerin değerine göre tristörler ilettime geçer. Bu sayede müziğin ritmine uygun olarak lâmbalar yanıp söner ve güzel bir görünüm elde edilir.

Devredeki trafo, eski tip lâmbalı radyoların çıkış trafosudur. Trafonun 4 ohmluk uçları anfinin çıkışına, 5 kW luk sekonder uçları ise elektronik devreye bağlanır. Günümüzde bu devrenin daha iyi çalışan optokuplörllü modelleri geliştirilmiştir.

I. Işıldaklar

Polis ve itfaiye araçlarında dönerek ışık saçan lâmbalar bulunur. Bunların yapısında reflektörlü (yansıtıcı) lâmba ve mini DC motor vardır.

Ayrıca portatif akülü flüoresan lâmbalı aydınlatma gereçlerine de ışıldak adı verilmektedir. Bunların yapısını anlayabilmek için bölüm 7'de bulunan konvertisörler konusuna bakınız.

Sorular

1. LDR, fotodiyod, fototransistör nedir? Açıklayınız.
2. LDR ve transistör kullanarak basit bir ışıkta çalışan devre çiziniz.