

DARBE PAYLAŞIMLI ÇOK LED'Lİ OPTİK MODEM

*Erdem ÖZÜTÜRK**

Özet: Bu çalışmada, vericide ışık verici olarak çok sayıda LED, alıcı uçta ise fotodedektör olarak fotodiyodun kullanıldığı ve açık optik ortamda veri iletimini gerçekleştiren bir optik MODEM tasarımı yapılmaktadır. Çoğu mevcut uygulamada iletişim uzaklığını arttırmak için fotodedektörün duyarlılığı artırılmaktadır. Burada yapılan tasarımda ise fotodedektörün duyarlılığından ziyade LED'lerin ışık şiddetleri artırılmıştır. LED'in ışık şiddetini arttırmak darbeli yüksek akımlı çalışmada mümkün olmaktadır. Buradaki uygulamada LED'lerden amperler mertebesinde genliğe sahip akımlar akıtılabilmektedir. Alıcı uçtaki fotodiyot fotoiletken moda çalışmaktadır. LED'lerin darbeli yüksek akımla sürülmesi ile iletişim uzaklığının artırılmasının yanında fon gürültüsü etkisi de azaltılmış olmaktadır. Veri darbelerinin süresi LED'leri bunlarla doğrudan sürmek için uygun değildir. LED'ler veri darbelerinin uygun anlarında oluşturulmuş kısa süreli darbelerle sürülmelidir. Yapılan tasarımda yüksek ışık şiddetleri elde edebilmek, daha yüksek hızlarda veri iletimini sağlamak için uygun modülasyon (ve demodülasyon) yöntemleri ile uygun devre teknikleri kullanılmıştır. Devre tekniği ardışıl seri veri darbelerinin sırayla farklı LED'leri sürmesi yöntemine dayalıdır.

Anahtar Kelimeler: LED, fotodiyot, veri iletişimi, optik MODEM.

Pulse Shared Optical Modem with Multiple LEDs

Abstract: In this study, a MODEM is designed to communicate optically in the free space. Multiple LEDs are used as light emitter at the transmitter and a photodiode is used as a photo detector at the receiver end. In many available applications photo detector sensitivity has been increased to increase communication distance. In this application LED's radiant power have been increased rather than photo detector sensitivity. LEDs radiant power can be increased in pulsed high current operation. In this application it is possible to flow LED current pulses which have a few amperes amplitude. Photodiode has been used in photoconductive mode. Beside of increasing communication distance the background noise effect has been decreased by driving LEDs with pulsed high currents. The data pulse duration is very long to drive LEDs directly with them. LEDs must be driven with narrow pulses which have been produced at the suitable moments of data pulses. In the design that made here, suitable modulation (and demodulation) methods and suitable circuit techniques are used to handle high radiation power and to realize higher data communication speeds. The circuit technique based on driving different LEDs one by one with serial successive data pulses.

Key Words: LED, photodiode, data communication, optical MODEM.

1. GİRİŞ

Burada iki veya daha fazla bilgisayarın birbirleri arasında ya da bilgisayarlarla çevre birimleri arasında açık optik ortamda kızılötesi ışınlarla seri veri iletişimi gerçekleştirebilecek bir uygulama ele alınmaktadır. Haberleştirilecek her bir bilgisayara bağlı bir ışık vericisi ve bir ışık alıcısı bulunacaktır. Vericide ışık verici olarak kızılötesi LED'ler, alıcılarda ise ışığı algılamak üzere kızılötesi ışığa duyarlı bir fotodiyot kullanılacaktır.

Buradaki seri veri iletişimi uygulamasında gönderilecek olan seri haldeki veri darbeleri uygun bir modülasyona uğratıldıktan sonra bir LED aracılığıyla ışık darbelerine çevrilir. Modüle edilmiş olan ışık serbest ortamda ilerler ve belli uzaklıktaki bir fotodiyodun yüzeyine çarpar. LED'in ışık şiddetinin uzaklığın karesi ile orantılı olarak azalması nedeniyle

* Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Elektronik Mühendisliği Bölümü, Görükle 16059, Bursa
İletişim Yazarı: E. Özü Türk (ozuturk@uludag.edu.tr)

haberleştirilecek birimler arasındaki uzaklık arttıkça LED'in ışık şiddetini veya alıcının kazancını arttırmak gerekecektir (Özütürk, 2006b, Hickman, 1997, Hickman, 1995 ve Bradbury, 1991). Mevcut tasarımlarda verici LED'lerin ışık şiddetinin artırılmasından ziyade alıcının kazancı yüksek tutulmaktadır. Fotodiyot, alıcı devresindeki fotodedektör devresinin ışığı dedekte eden elemanıdır. Fotodiyot tarafından elektriksel gerilime çevrilen ışık darbeleri alıcı devresindeki diğer devreler aracılığıyla demodüle edilerek alıcı devresinin çıkışında seri veri tekrar elde edilmiş olur. Bu çalışmada mevcut tasarımlardan farklı olarak, serbest ortamda ışığın daha uzak mesafelerden algılanabilmesini sağlamak ve ışığın fotodiyot tarafından dedekte edilmesi esnasında ortamda bulunan diğer ışık kaynaklarından (örneğin aydınlatma cihazları) üretilen ve fon gürültüsü (background noise) olarak adlandırılan gürültüden istenen ışığın daha kolay ayırt edilebilmesi için veriyi içeren ışığın şiddetinin mümkün olduğu kadar fazla yapılmasına çalışılmıştır. Bunun için, LED darbeleri yüksek akımda çalıştırılmıştır ve bu tür çalışmaya uygun devre teknikleri geliştirilmiştir.

LED'in ışık şiddeti içinden akan akımla orantılıdır ve akım arttıkça ışık şiddeti artmaktadır. Dolayısıyla LED'den daha fazla ışık elde etmek için LED'den akan akımın artırılması gerekmektedir. LED'den akan akımın değeri arttıkça LED ısınmakta ve belli bir akım değerinden sonra LED fazla ısınıp yanabilmektedir. Bu nedenle LED'den daha fazla akım akıtmak ancak darbeleri çalışmada ve uygun [darbe/boşluk] oranlarında mümkün olmaktadır. Darbeleri çalışmada LED'in ısıl eylemsizliğinin etkili olduğu, yani LED sıcaklığının darbeleri akımının genliğinin oluşturduğu ısıl güce karşı gelen sıcaklığa yükselmeden akımın kesildiği darbe sürelerinde ve LED'in akım darbesi süresince edindiği ısıyı tamamen çevreye verebildiği boşluk sürelerinde LED'den nominal doğru akımının çok üzerinde genliğe sahip akım darbeleri akıtılabilmektedir (Özütürk, 2000). Bu çalışmada nominal akımı 20mA-400mA değerlerinde olan LED'lerden genliği amperler değerlerinde olan darbeleri akımlar akıtılmıştır.

Bilindiği gibi LED'den yüksek akımlar akıtmak ancak darbeleri çalışmada uygun [darbe/boşluk] oranlarında akım darbeleri söz konusu olduğu durumlarda mümkün olmaktadır (Özütürk, 2002), (Bhattacharya, 1997). Yani LED'den daha yüksek akım akıtmak demek darbe süresinin daha fazla azaltılması anlamına gelmektedir. Darbe süresindeki bu kısıtlama ve aynı zamanda darbe süresi ile boşluk süresi arasındaki oranın belli değerlerde olması zorunluluğu LED'den çok yüksek değerli akımların akıtılarak yüksek ışık şiddeti elde edilmesini içeren uygulama alanlarını kısıtlamaktadır. Burada açıklanacak olan uygulamada darbe ve boşluk süreleri ile akım darbesinin genliği arasında yukarıda sözü edilen ilişki daha iyi görülebilecektir.

Yukarıda anlatıldığı şekilde LED'i uygun akım darbeleriyle sürebilmek için uygun modülasyon (ve demodülasyon) teknikleri oluşturulmalıdır. Bütün veri darbesi süresi boyunca LED'in sürülmesi ile LED'in akımını dolayısıyla vereceği ışığın şiddetini arttırmak mümkün olmamaktadır. Özellikle 110bps, 300bps gibi düşük veri hızlarında veri darbesinin süresi epey uzun olduğundan tüm darbe süresi boyunca LED'den yüksek akım akıtmak mümkün değildir. Kaldı ki çoğu durumda veri paketi içinde art arda veri darbeleri peşi sıra gelmekte ve toplam darbelerin süresi çok artmaktadır. Işık şiddetini arttırmak amacıyla, vericinin sürüldüğü bilgisayar darbeleri, bilginin değişim anlarında (birden sıfıra ve sıfırdan bire) ve uygun sürede darbe üreten bir tek kararlı ikili ile modüle edilebilir. Bu şekilde, bilgisayarın veri darbesinin tamamında akım akıtacak yerde, küçük sürelerde akım akıtılarak yüksek akım değerlerine çıkılabilir.

Ayrıca, yüksek veri hızlarında verilerin hepsinin aynı LED'i sürmesi yerine, art arda gelen bilgi değişimlerinin birden fazla LED'i sırayla sürmeleri sağlanabilir. Böylece LED'lerin soğumaları için daha uzun boşluk süreleri oluşturulabilir. Burada, yüksek ışık şiddetleri elde etmek amacıyla oluşturulmuş olan modülasyon (ve demodülasyon) teknikleri

ile LED'den darbeli yüksek akım akıtma yöntemlerini kullanan bir MODEM devresi tasarlanmaktadır.

Bilindiği gibi veri iletişimde kullanılan MODEM'ler sayısal verileri mevcut telefon hatlarından iletebilmek için tasarlanmış cihazlardır. Buradaki ışık ile açık optik ortamda (serbest uzayda) veri iletimi sağlayan MODEM ise başka bazı uygulama yerlerinde kullanılabilir. Örneğin böyle bir MODEM'le belli bir ortamdaki bir bilgisayarla çevre birimleri arasında veya birkaç bilgisayar arasında veri aktarımı gerçekleştirilebilir. Böyle bir MODEM kullanmakla, yapılması gereken pek çok kablo bağlantısı ve dağıtıcı gereksiniminden de kurtulmuş olunur. Aynı şeyi radyo dalgalarıyla veri iletişimi sağlayan MODEM'lerle de gerçekleştirmek mümkündür. Işık ile iletişimin radyo dalgalarıyla iletişime nazaran sağlayabileceği üstünlük, elektromagnetik gürültü ya da elektromagnetik sızma yapmaması nedeniyle daha güvenli bir veri iletişimi oluşturmasıdır.

Verimi daha yüksek olan LED'ler ve duyarlılığı daha yüksek olan fotodedektör devreleri kullanılarak LED ışığını serbest uzayda daha uzak mesafelere iletmek mümkündür. Bu şekildeki uzak mesafe ışık iletimini içeren tipik bir uygulamaya örnek olarak bir şehir ortamında yakın binalar arasındaki ses veya düşük hızlı veri iletişimi gösterilebilir. Bu sistemin bir kusuru yağmur veya kar gibi olumsuz atmosfer şartlarının işarete büyük bozulmaya sebep olması ve hatta sistemi tamamen işlemez hale getirmesidir. Şartlar uygun olsa bile işaret atmosferdeki soğurma ve saçılma etkenleriyle zayıflayacaktır. Soğurma, gerçek yoğunluğu sıcaklık, basınç, coğrafik konum, yükseklik ve hava şartları gibi birçok değişkene bağlı olan su buharı, karbondioksit ve ozon gibi moleküler bileşiklerin varlığından doğmaktadır. Kuvvetli soğurma 0.94 μ m, 1.13 μ m, 1.38 μ m, 1.90 μ m, 2.7 μ m, 4.3 μ m ve 6.0 μ m civarındaki dalga boylarında meydana gelmektedir (Wilson ve Hawkes, 2000). Bu nedenle, özellikle uzak iletişim mesafeleri söz konusu olduğunda, LED ışığının ve buna bağlı olarak fotodedektörün tepe cevabının olduğu dalga boyunun ortamdaki soğurmanın az olduğu dalga boylarında seçilmesi gereklidir. Belirtilen bu nedenlerden dolayı, burada verilen tasarımı, yakın ortamdaki bilgisayarlar arasında veya bilgisayarla çevre birimleri arasında iletişimi sağlamak üzere kullanmak daha uygun olacaktır.

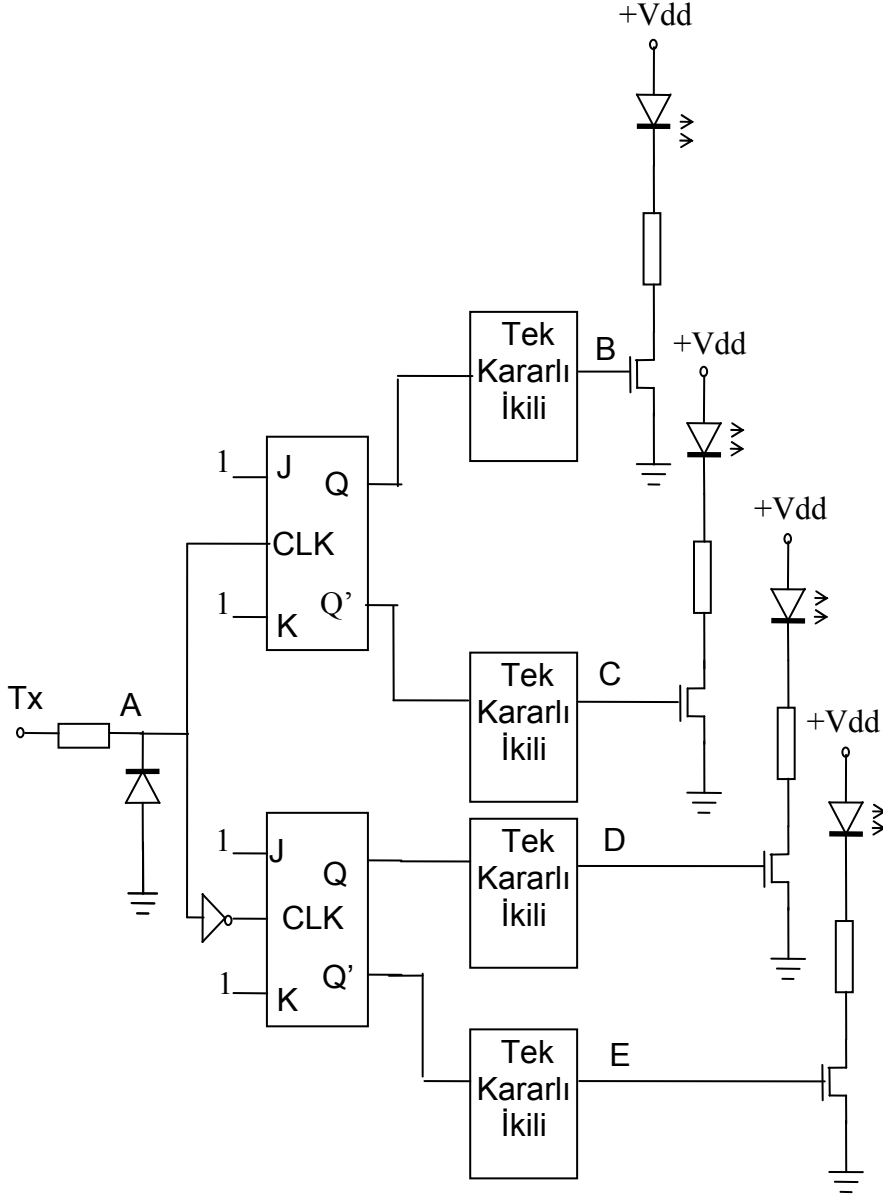
2. MATERYAL ve YÖNTEM

2.1. Verici Devresi

Şekil 1'de dört adet LED'i sürebilen verici devresinin blok şeması görülmektedir. RS232C seri biriminin Tx ucundan gelen ve işaret seviyesi -15V, boşluk seviyesi +15V (RS 232C negatif lojik kullanır) olan darbeler girişteki direnç ve diyotla yaklaşık olarak sıfır seviyesinin üstü kalacak şekilde kırılarak tetiklenen ikili olarak çalışan JKFF'lere uygulanır. JKFF'lerin çıkışına bağlı tek kararlılardan her biri, her dört darbeye bir tetiklenir ve çıkışlarındaki MOSFET'i uygun sürede doymada tutar. LED'e seri bağlı R_s direnci, akım sınırlayıcı direnç olup MOSFET doyma durumunda iken LED'ten akacak akımı belirler.

Baskılı devre üzerinde gerçekleştirilmiş olan verici devresi Şekil 2'de görülmektedir. MOSFET'leri süren tek kararlı ikili devreleri 555 tümdevresi ile oluşturulmuştur. Buradaki bütün tek kararlılar 2 nolu uçlarına uygulanan darbelerin düşen kenarlarında tetiklenmektedir. Gönderilecek olan veri, verici devresinin girişi olan Tx ucuna uygulanır. RS232C seri biriminin lojik-0 seviyesi +15V, lojik-1 seviyesi -15V olduğundan, bu bilgiyle sürülecek olan JKFF'lerin lojik seviyeleri ise 0V ile 15V olduğundan girişteki diyot ve direnç ile -15V gerilim seviyesi kırılarak yaklaşık 0V'a getirilmektedir. Bu şekilde kırılan darbeler üstteki JKFF'e doğrudan, alttaki JKFF'e ise evriği alınarak uygulanmaktadır. JKFF'ler tetiklenen

ikili konumunda çalışıklarından üstteki JKFF veri darbelerinin her yükselen kenarında, alttaki ise veri darbelerinin her inen kenarında tetiklenecektir. Şekil 2'deki verici devresinde dört adet tek kararlı ikili devresi kullanılmıştır. Her iki JKFF'in çıkışları ile iletme geçen uygun kapı devreleri kullanarak dört adet tetiklenen ikili yerine bir tek tetiklenen ikili kullanarak da aynı işlem gerçekleştirilebilir. Bu durumda bir adet olacak olan tetiklenen ikili devresi veri darbelerinin bütün kenarlarında tetiklenecek ancak tek kararlı çıkışı bir kombinasyonel devre aracılığıyla her bir kenarda sırayla farklı MOSFET'lerin girişine uygulanacaktır.

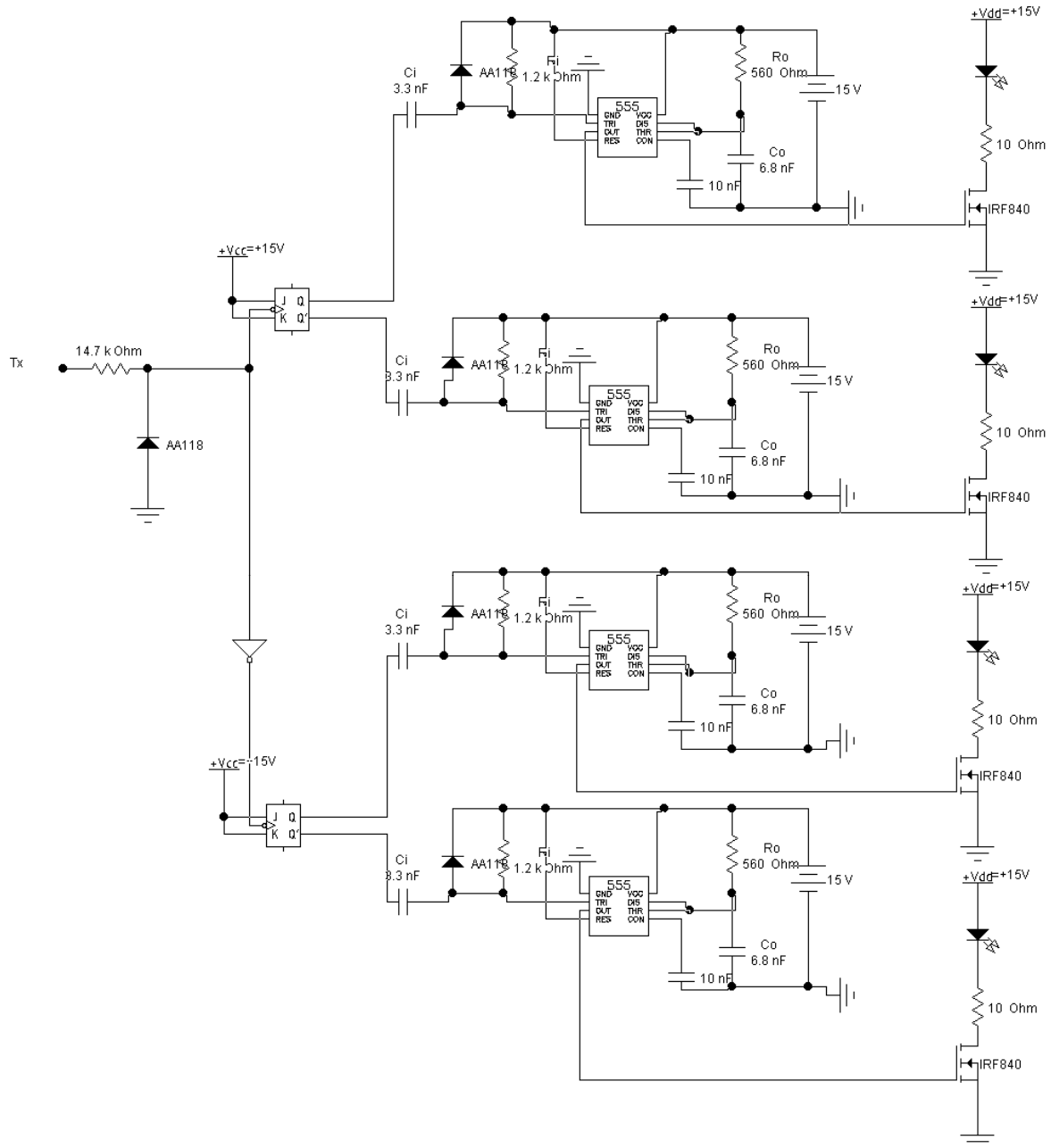


Şekil 1:
Verici devresinin blok şeması

İki bilgisayarın RS232C seri birimleri üzerinden sayısal veri iletişiminin nasıl olduğunu kısaca açıklayabilmek için Şekil 3'de örnek olarak asenkron seri veri iletişimde kullanılan veri formatı gösterilmiştir (Nichols ve diğ., 1982).

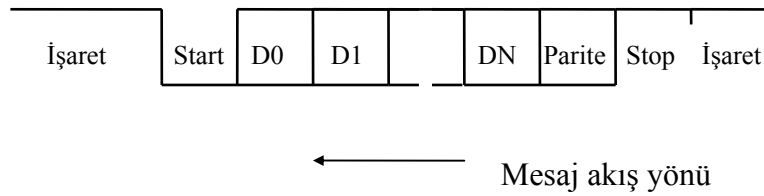
Haberleştirilecek bilgisayarların seri birimlerinin ilgili uçlarının uygun şekilde bağlanmasıyla iletim hattı oluşturulmuş olur. Örneğin ortak bir toprak hattı ve her iki

bilgisayarın veri gönderme ucunun diğerinin veri alma ucuna karşılıklı bağlanmasıyla (3 telli bağlantı, boşluk modemi) iki seri birim birbirine bağlanabilir. İki bilgisayar arasında veri iletişimi bulunmadığında hat işaret seviyesinde (lojik-1'de) tutulur. Veri göndermeye başlayacak olan bilgisayar veri gönderme ucunu (Tx) boşluk seviyesine çeker ve bir bitlik sürede hattı lojik-0 seviyesinde tutar (başlatma biti). Bundan sonra 5,6,7 ya da 8 bitlik olabilen veri bitleri gönderilir. Veri bitlerinden sonra istenirse eşlik biti (parite biti) de gönderilebilir. Bundan sonra hat 1, 1.5 ya da 2 bitlik süre ile işaret seviyesinde tutulur. Bunlar sonlandırma bitleridir. Yeni bir başlatma biti ile tekrar veri gönderilmeye başlanır.

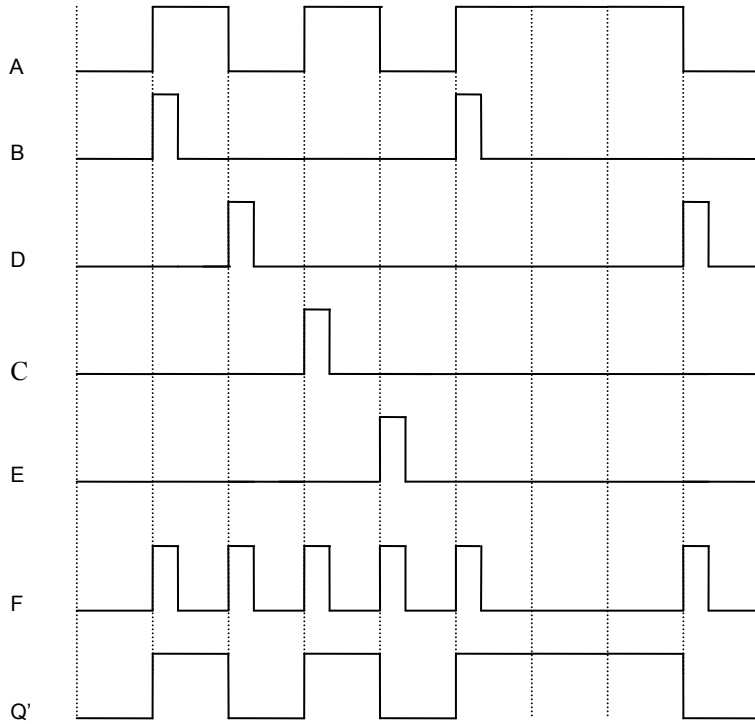


Şekil 2:
Verici devresi

Şekil 5'deki alıcı devresine bakılırsa, veri gönderilmediğinde Rx ucundaki gerilim işaret seviyesindedir (-15V). Bu JKFF'in ön yazma ucuna (S) bağlı kondansatör ve direnç ile sağlanır. Cihaza güç verildiği anda ön yazma ucuna +15V uygulanır (S=1). Ön silme ucu toprak potansiyelinde olduğundan (R=0) JKFF ön yazma yaparak Q'=0 olur. (S) ucuna bağlı kondansatör direnç üzerinden dolduğunda ise S=0 olur. Bundan sonra S=0 ve R=0 olduğundan JKFF tetiklenen ikili çalışma durumuna geçer. Veri gönderilmediğinde Tx gerilimi de işaret seviyesindedir. Veri gönderilmeye başlanıldığında Tx'deki gerilim boşluk seviyesine geçer (başlatma biti). Bu değişim alıcıda sezilip kuvvetlendirildikten sonra JKFF tetiklenerek Rx konum değiştirir. Benzer şekilde art arda her bir bilgi değişim anında JKFF'in konum değiştirmesiyle demodülasyon yapılmış ve Tx ucundan gönderilen işaret tekrar Rx ucundan elde edilmiş olur. Şekil 4'te A noktasındaki örnek bir veri değişimi için alıcı devresindeki F noktası ve verici devresindeki belli noktalardaki sayısal işaretlerin birbirine bağlı olarak değişimi görülmektedir. İlgili grafik çizilirken verici devresindeki tek kararlı çıkışlarının işaretlendiği sırada değiştiği kabul edilmiştir.



Şekil 3:
Asenkron veri iletimi



Şekil 4:
Bazı noktalardaki sayısal işaretler

Verici devresinin veri darbelerinin uygulandığı Tx ucuna bağlı direnç ve diyottan oluşan kırpıcı devresi yaklaşık sıfır seviyesinin üstü kalacak şekilde negatif darbeyi kırpmaktadır. Kırpıcı devrenin tasarımı basittir. Kullanılan diyot yüksek hızlarda çalışmaya elverişli bir anahtar diyodudur (örneğin AA118). Diyodun iletim anında içinden yaklaşık 1mA akım akıttığı kabul edilerek direncin değeri hesaplanabilir. Diyottan daha fazla akım akıtılması durumunda diyodun difüzyon kapasitesinin değeri artacağından kırpıcı devrenin hızı düşer. Girişe -15V genliğinde darbe geldiğinde diyot iletime geçerek diyodun ve direncin üzerinde 15V'luk bir gerilim düşümü oluşur. Bu durumda direnç üzerinde oluşan gerilim $15V - 0.3V = 14.7V$ 'dur. AA118 anahtar diyodu germanyum diyodu olduğundan iletim anında oluşan gerilim düşümü 0.3V kadardır. Diyot ve dirençten akan akım 1mA seçildiğinden direncin değeri $14.7V/1mA = 14.7k\Omega$ olarak bulunur. Alıcı devresinde karşılaştırıcı çıkışında yer alan kırpıcının tasarımı da benzer şekilde yapılabilir.

2.1.1 Tek Kararlı İkili

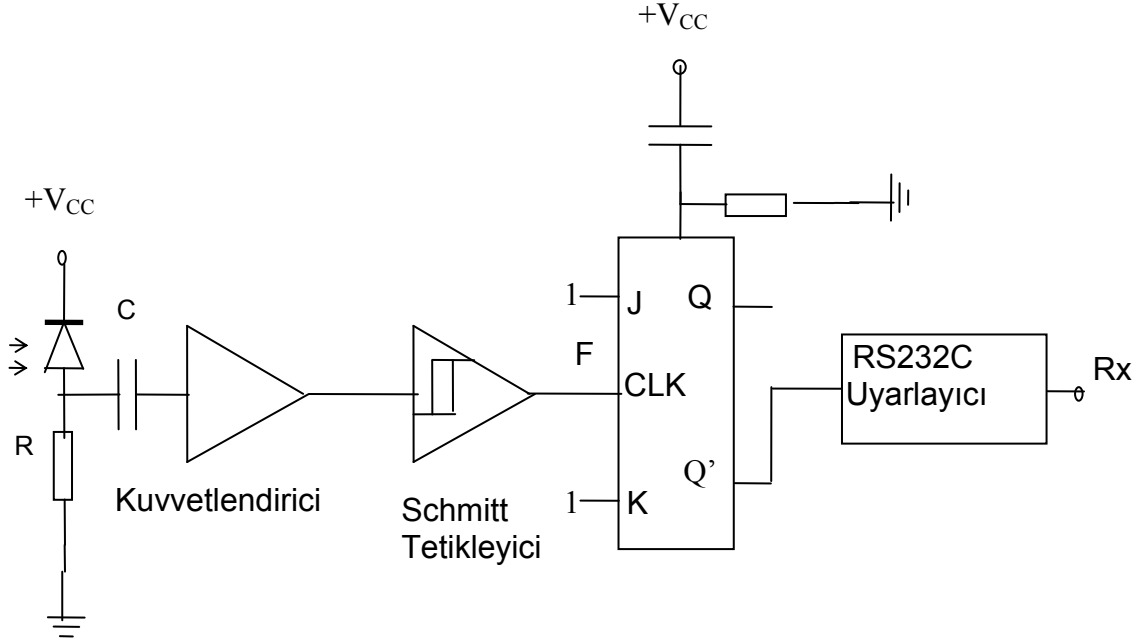
Verici devresinde kullanılan 555 zamanlama tümdevresiyle oluşturulmuş tek kararlı ikili devresi günümüzde en çok bilinen ve kullanılan bir devredir. Kondansatör üzerinden 2 numaralı tetikleme ucuna gelen yeterli genlikteki inen darbe tek atımlıyı tetikler ve 3 numaralı çıkış ucundaki gerilim seviyesi yüksek gerilim seviyesine çıkar. Tetikleme anından itibaren C_0 kondansatörü R_0 direnci üzerinden $1,1R_0C_0$ süresince $(2/3)V_{CC}$ 'ye kadar dolar. Bu süre boyunca çıkış ucundaki gerilim yüksek gerilim seviyesinde kalır. Bu tek atım periyodu süresidir. Bu sürenin sonunda 555 içerisindeki karşılaştırıcı devreler aracılığıyla konum değiştirerek çıkış alçak gerilim seviyesine düşer ve C_0 kondansatörü 7 numaralı uç üzerinden boşalmaya başlar. Uygun çalışma için tetikleme darbesinin süresi çıkış darbesinden daha kısa olmalıdır. C_i üzerinden gelen kare dalgayı uygun tetikleme darbesi şekline getirmek için R_i , C_i ve AA118 anahtarlama diyodundan oluşmuş devre kullanılmıştır. Uygun bir çalışma için $R_iC_i \ll 1,1R_0C_0$ olmalıdır (Pastacı, 1998).

2.2. Alıcı Devresi

Alıcı devresinin blok şeması Şekil 5'de görülmektedir. Devrenin daha yüksek frekanslarda çalışabilmesi için fotodiyot, fotoiletken modda bağlanmıştır (Özütürk, 2004). Fotodiyodun anodu ile toprak arasında görülen eşdeğer direncin değeri arttırılırsa kuvvetlendiricinin girişine gelen gerilim de arttırılmış olur. Ancak bu direncin artması, girişteki fotodiyotlu devrenin kutup frekansını ve dolayısıyla hızını düşürür. Aynı şekilde kuvvetlendiricilerin kazançları arttırıldıkça alıcının hızı azalacaktır. Vericideki LED'in gönderdiği ışığın darbe şeklinde olması durumunda alıcı devresi yeteri kadar hızlı değilse darbe süresinin arttırılması gerekecektir.

Alıcı devresindeki fotodiyodun katoduna bağlı besleme gerilimi ile fotodiyot tıkama yönünde kutuplanmıştır. Bilindiği gibi tıkama yönündeki gerilim arttıkça fotodiyodun jonksiyon kapasitesinin değeri azalacaktır. Tıkama yönündeki gerilim 15V olarak seçildiği takdirde fotodiyodun jonksiyon kapasitesi yaklaşık $C_j = 10pF$ kadar olmaktadır. Fotodiyodun anodunda görülen R_p direncinin üzerinde daha büyük gerilim oluşabilmesi için bu direnç büyük bir değerde örneğin $100k\Omega$ değerinde seçilirse ve kuvvetlendiricinin girişinden gelen kapasiteler ihmal edildiği takdirde girişte R_p ve C_j 'nin paralelinden meydana gelen yüksek frekans hücresinin zaman sabiti $1\mu s$ olur. Bu devreden gelen yükselme süresi $t_r = 2.2R_pC_j = 2.2\mu s$ olur ve devrenin kutup frekansı $f_u = 0.35/t_r = 159kHz$ 'dir. Fotodiyodun anodundaki işaretin dikdörtgen darbesi şeklinde olabilmesi için fotodiyoda

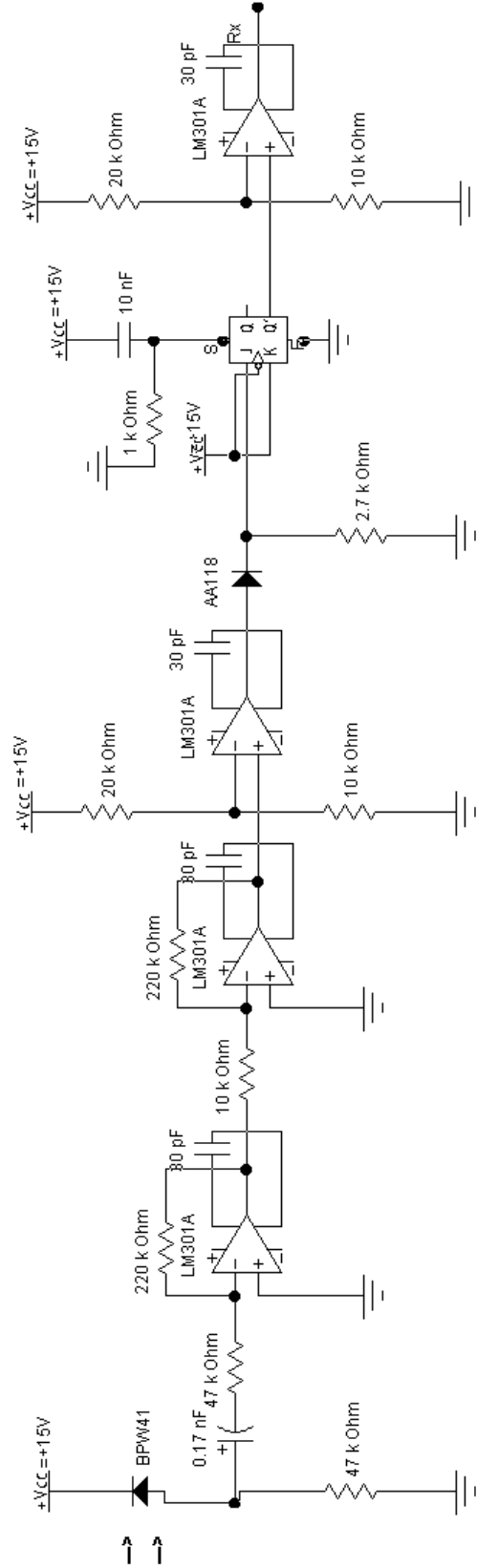
çarpan ışık darbesinin darbe süresinin $2.2\mu s$ 'den daha büyük olması gerekir. R direncinin değeri arttıkça ışık darbesinin darbe süresinin de arttırılması gerekir.



Şekil 5:
Alıcı devresinin blok şeması

Fotodiyodun anoduna bağlı C bağlama kondansatörü ve R direnci ile kuvvetlendiricinin giriş direnci tarafından belirlenen alçak frekanslardaki kutup frekansının değeri, ortamda bulunan diğer ışık kaynaklarının oluşturduğu fon gürültüsünün süzülmesi için bir değerde olmalıdır. Güneşten gelen kızılötesi ışınların değişim hızı çok yavaştır. Fotodiyot üzerinde fon gürültüsünü oluşturabilecek yapay ışık kaynakları çoğunlukla aydınlatma cihazlarıdır. Örneğin tungsten flamanlı lambanın verdiği kızılötesi ışınların frekansı 100 Hz'dir. Alıcı devresinin tam şeması Şekil 6'da gösterilmiştir. Alıcı devresinin girişindeki yüksek geçiren süzgeç C bağlama kondansatörü ile bunun iki yanında görülen kuvvetlendiricinin giriş direnci ve fotodiyodun anoduna bağlı $47k\Omega$ 'luk iki dirençten meydana gelmektedir. Girişteki bu yüksek geçiren süzgecin kutup frekansı $f_a = 1/[2\pi C(47k + 47k)]$ değerindedir. Bu kutup frekansının altındaki frekanslarda frekans eğrisi 20dB/dekad'lık bir eğimle azalmaktadır. 100Hz'lik fon gürültüsünün hızlı değişimli ışık darbesine nazaran örneğin 100 kat daha zayıflatılması isteniyorsa f_a kutup frekansının değeri 100Hz'in 100 katı seçilmelidir. Bu kutup frekansı 10kHz seçilirse darbe işareti zayıflamadan süzgeçten geçerken 100Hz'lik fon gürültüsünün genliği 0.01 ile çarpılarak 100 kat zayıflayacaktır. Fon gürültüsünün daha fazla süzülmesi isteniyorsa daha yüksek mertebeden süzgeçler kullanılabilir. Yukarıdaki süzgeç için $f_k = 10kHz$ seçildiğine göre burada kullanılacak kondansatörün değeri;

$$C = \frac{1}{2\pi(2 \times 47 \times 10^3) \times 10 \times 10^3} = 0.17nF$$



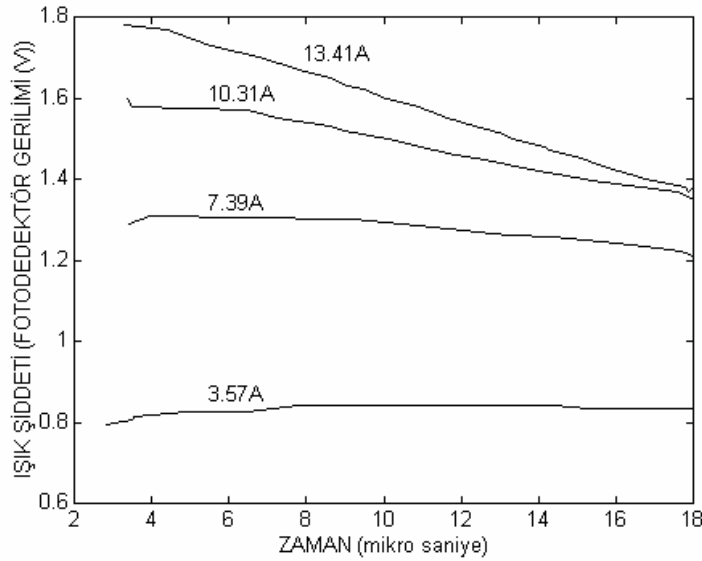
Şekil 6:
Alıcı devresinin tam şeması

olarak bulunur. Yukarıdaki değerlere göre darbe işaretindeki girişten gelen darbe üstü eğilmesi $4\mu\text{s}$ 'lik darbe için yaklaşık;

$$\delta = \frac{t_d}{RC} = \frac{4 \times 10^{-6}}{(2 \times 47 \times 10^3) \times 0.17 \times 10^{-9}} = \%25$$

olmaktadır. Darbe üstü eğilmesinin daha az olması isteniyorsa f_a kutup frekansının değeri azaltılmalıdır. Bu ise fon gürültüsü gibi yavaş değişimlerin daha az süzülmesi demektir. Bu sorunu çözenin en iyi yollarından biri vericideki LED'in ışık şiddetini arttırmak yani bunun için LED'i çok yüksek akım değerleriyle sürmektir.

Ancak özellikle LED yüksek genlikli akım darbeleriyle sürüldüğünde fotodedektör devresindeki bağlama kondansatöründen dolayı oluşan eğilmenin dışında başka bir nedenden dolayı bir eğilme daha ortaya çıkmaktadır. Bu ikinci eğilmenin sebebi LED'in jonksiyon sıcaklığı arttıkça ışık şiddetinde ısınmadan dolayı ortaya çıkan azalmadır. Yüksek akım değerlerinde jonksiyon sıcaklığının artması nedeniyle darbe süresi kısa da olsa ışık şiddeti darbe süresi boyunca sabit kalmamaktadır. Şekil 7'de farklı akım darbeleri için elde edilen ışık darbelerinin darbe üstü değişimleri görülmektedir. Burada akım arttıkça darbe süresi sonunda oluşan düşme miktarının arttığı görülmektedir. Akım azaldıkça, akımın belli bir sınır değerinde darbe süresi boyunca oluşan eğilme fark edilmez bir değere düşmektedir.



Şekil 7:

Farklı akımlar için ışık darbelerinin darbe üstü değişimleri

Söz konusu olan LED (TLHRS 101 (TFK (ITT)) ile ilgili ışık darbesindeki eğilmenin darbe süresi olan $18\mu\text{s}$ boyunca fark edilmez olduğu akım darbesinin genliği 4.4A olarak belirlenmiştir. Işık darbesi sonundaki ışık değerinin (düşen kenar) önemli olduğu uygulamalarda ışık darbesinin darbe üstü eğilmesinin az olması için mümkünse darbe süresinin azaltılması gerekmektedir. Bu aynı zamanda fotodedektördeki bağlama kondansatöründen meydana gelen eğilmenin az olması için de gereklidir.

Şekil 5'deki alıcı devresinin blok gösteriminde, fotodedektörden elde edilen işaret kuvvetlendirildikten sonra bir Schmitt tetikleyiciye uygulanmaktadır. Schmitt tetikleyici girişinde oluşabilecek elektriksel gürültü ile tetiklenmeyi önleyen bir histerezis aralığı

sağladığı gibi çıkışında bir lojik seviyeden diğer bir lojik seviyeye geçişi hızlandırır. Ancak baskılı devre üzerinde gerçekleştirilmiş bulunan Şekil 6'daki alıcı devresinde Schmitt tetikleyici yerine bir karşılaştırıcı kullanılmıştır. İki kuvvetlendirme katında ve bunu takip eden karşılaştırıcı devresinde değişim hızı (slew rate) yüksek değerde olan 301 işlemsel kuvvetlendiricisi kullanılmıştır. Karşılaştırıcının (-) giriş ucuna basitçe besleme geriliminin iki direnç ile bölünmesiyle oluşturulan karşılaştırma gerilimi uygulanmıştır. Karşılaştırıcının (+) ucuna gelen kuvvetlendirilmiş işaret karşılaştırma geriliminden daha büyükse karşılaştırıcının çıkışı pozitif besleme gerilimine yakın bir değerde olacaktır. Karşılaştırıcının pozitif ucuna gelen işaretin genliği karşılaştırma geriliminden daha küçükse karşılaştırıcının çıkış gerilimi yaklaşık olarak negatif besleme gerilimi değerine yakın bir değerde olacaktır. Karşılaştırma geriliminin değeri en küçük dedekte edilebilecek gerilim seviyesini belirlemektedir. Buna göre karşılaştırma gerilimi değerine bağlı olarak haberleşme uzaklığı belirlenebilir.

Kuvvetlendirici katında fotodedektörden alınan düşük seviyedeki işaretin kuvvetlendirilmesi yapılır. Devrede iki adet eviren kuvvetlendirici devresi kullanılmıştır. Kuvvetlendirici girişinden alınan işaret eviren kuvvetlendiricilerle iki kez kuvvetlendirildiği için kuvvetlendirici katarının çıkışında yine aynı fazda bir işaret elde edilir. Kuvvetlendiricilerde işlemsel kuvvetlendirici olarak LM301 kullanılmıştır. LM301 tümdevresi yüksek değişim hızı (yükselme eğimi) nedeniyle seçilmiştir.

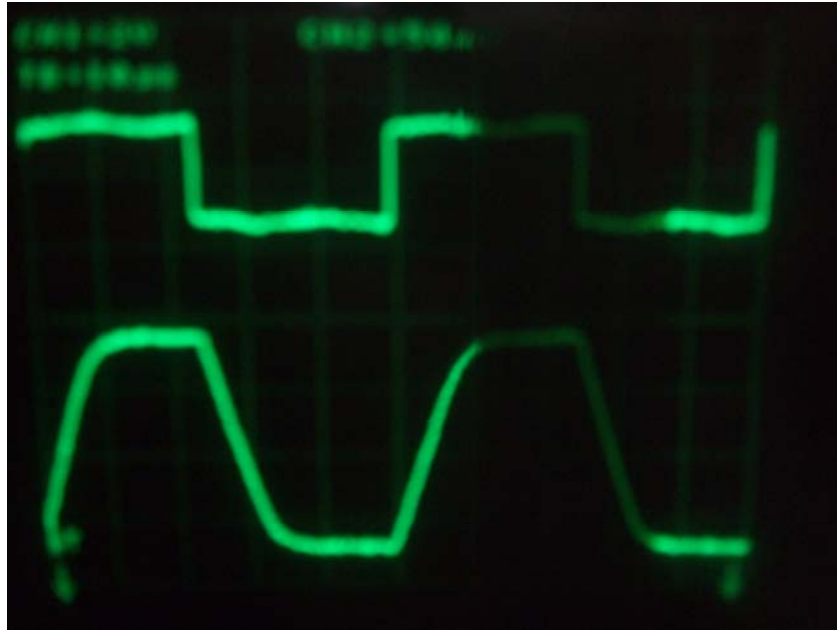
Değişim hızı, birim zaman değişiminde gerilimin artabileceği maksimum değeri gösterir. İşlemsel kuvvetlendiricinin ideal olmaması nedeniyle karşılaşılan bir özellik olan değişim hızı kısaca birim zamandaki gerilim artışı olarak tanımlanabilir. Burada kısa süreli ve büyük genlikli darbeler söz konusu olduğundan işlemsel kuvvetlendiricinin değişim hızı özelliği önem kazanmaktadır.

Şekil 8'de işlemsel kuvvetlendirici olarak 741 işlemsel kuvvetlendiricinin kullanıldığı iki katlı bir kuvvetlendirici katarının çıkışında gözlenen gerilim darbesinin değişimi görülmektedir. Şekil 8'deki değişim kuvvetlendiricilerin çıkışında gözlemlendiğinde kuvvetlendiricilerin girişine yaklaşık 35µs darbe süresine sahip gerilim darbesi uygulanmış bulunmaktadır. Şekil 8'den görüldüğü gibi kuvvetlendiricinin çıkışındaki değişimde işaretin başlangıçta giriş işaretinde olduğu gibi birdenbire yükselemediğini, kuvvetlendiricilerin değişim hızından dolayı darbenin tepe değerine kadar yaklaşık 20µs'de yükselmenin mümkün olabildiği görülmektedir. Yine 35µs'lik giriş darbesi sonunda kuvvetlendiricilerin çıkışında giriş işaretinde olduğu gibi kısa sürede sıfır seviyesine inilemediği, değişim hızından dolayı sıfır seviyesine 25µs'de inilebildiği görülmektedir. Burada yapılan MODEM tasarımında yukarıdaki kuvvetlendiricinin kullanılmış olunması durumunda yaklaşık 4µs darbe süreli giriş darbesi için kuvvetlendiricilerin çıkışında çok az bir darbe kuvvetlendirilmesinin sağlanabileceği anlaşılmaktadır. Bu yapılan açıklamadan gerekli kuvvetlendirme veya işlemsel kuvvetlendirici çıkışında gerekli miktarda gerilim değişikliğini elde edebilmek için değişim hızı uygun işlemsel kuvvetlendirici kullanmanın ne kadar önem taşıdığı görülmektedir. Şekil 9'da ise işlemsel kuvvetlendirici olarak 301 işlemsel kuvvetlendiricisinin kullanıldığı, kapalı çevrim kazançları eşit olan iki katlı kuvvetlendiricinin girişine uygulanan kare dalga işaretine (üstte) karşılık çıkışta gözlenen işaretin (altta) birbirine bağlı olarak değişimleri görülmektedir. Osiloskobun zaman kademesi 10µs/div değerindedir. Kare dalga şeklindeki giriş işaretinin bağlı olduğu kanalın genlik kademesi 50mV/div çıkış işaretinin bağlı olduğu kanalın genlik kademesi 2V/div değerindedir.

301 işlemsel kuvvetlendirici tümdevresi kırımıği içinde kararlılığı sağlayan kapasite gerçekleştirilmemiş olduğundan, buradaki tasarımda kullanılan her bir 301 işlemsel kuvvetlendiricisi için kararlılığı sağlamak üzere 1 ve 8 nolu uçlar arasına frekans kompanzasyonu kapasitesinin bağlanmasına gerek duyulmuştur.



Şekil 8:
Değişim hızının darbe üzerindeki etkisi



Şekil 9:
301 işlemsel kuvvetlendiricisi ile oluşturulan iki katlı kuvvetlendiricinin giriş ve çıkış işaretlerinin değişimi

Karşılaştırıcının çıkışında görülen direnç ve diyottan meydana gelen devre pozitif gerilim değerinin (yaklaşık 15V) JKFF'e uygulanmasına izin verirken negatif gerilimi kırpmaktadır. JKFF'in çıkışında bulunan karşılaştırıcı ise RS232C uyarlayıcısı görevini yapmaktadır. JKFF'in (Q') çıkışı sıfır ise Rx'deki işaret seviyesi yaklaşık olarak -15V, (Q')'deki gerilim +15V seviyesinde ise Rx yaklaşık olarak +15V olacaktır. Böylece JKFF çıkışı 0V ile 15V seviyelerinde iken Rx'deki işaretin seviyesi -15V ile +15V değerlerinde

olmaktadır. +15V ile -15V işaret seviyeleri RS232C için gerekli lojik seviyelerdir. Alıcı devresindeki JKFF demodülasyon için kullanılmaktadır.

Vericideki LED'in gönderdiği ışığın şiddeti artırılarak haberleşme uzaklığı arttırılabilir. LED'in ışık şiddeti içinden akan akımla doğru orantılıdır. Doğru akımda en büyük ışık şiddeti LED'in dayanabileceği doğru akım değerine bağlıdır. Kızılötesi LED'ler için doğru akımın tipik değeri 5-400mA'ler mertebesindedir. LED'ten akıtılan akımın darbeleri olması durumunda, darbe süresi ile boşluk süresini uygun seçerek genliği LED'in tipik doğru akım değerinin çok üstünde olan akım darbeleri akıtılabilir. LED'den akıtılabilecek en büyük akımın değeri, I_n LED'in nominal akımı, T periyot ve t_d darbe süresi olmak üzere;

$$I_d = I_n \sqrt{\frac{T}{t_d}} \quad (1)$$

ile verilmektedir. Bu ifade belli bir darbe süresinden daha küçük darbe süreleri için geçerlidir ve boşluk süresinin çok büyük olması durumunda ifadedeki T süresi boşluk süresine eşit alınabilir (Özütürk, 2003b).

LED'in ışık şiddeti belli bir akım değerine kadar akımla yaklaşık olarak doğru orantılı biçimde ($P = k_p I$ (P: ışık şiddeti, k_p : elektro-optik dönüştürücü)) artmakta fakat belli bir akımdan sonra LED'in ısınması nedeniyle ışık şiddeti ile akım arasındaki oranın değeri azalmaktadır.

Bilgisayarlar arası seri veri iletişiminde değişik hızlar bulunmaktadır. Değişik hızlarda bir bitlik darbenin ve boşluğun süresi değişmektedir. Örneğin 300bps'lik veri hızında darbe süresi ve boşluk süresi $1/300=3.3\text{ms}$ 'dir. (1) ifadesine göre 300bps'lik veri hızında LED'den akıtılabilecek en büyük akım, $I_n = 400\text{mA}$, $T = 3.3\text{ms}$ ve darbe süresi $t_d' = 4\mu\text{s}$ alınarak $I_d \cong 11.5\text{A}$ olarak bulunur. 19200bps'lik veri hızında ise $T=1/19200=52\mu\text{s}$ olmaktadır. Bu süreye göre LED'den akıtılabilecek en büyük akım değeri yine $t_d' = 4\mu\text{s}$, $I_n = 400\text{mA}$ alındığında $I_d = 1.44\text{A}$ olmaktadır. Şekil 10'daki grafikte LED'in iki değişik nominal akımı için (1) bağıntısına göre ışık şiddetinin veri hızıyla değişimi görülmektedir. Hızın başlangıç değeri 300bps olarak alınmıştır. Görüldüğü gibi LED'den elde edilebilecek ışık şiddetini arttırmak amacıyla yüksek akımlara çıkmak veri hızı arttıkça zorlaşmaktadır (Özütürk, 1998).

Yukarıda anlatıldığı şekilde LED'i uygun akım darbeleriyle sürbilmek için uygun modülasyon (ve demodülasyon) teknikleri oluşturulmalıdır. Bu amaçla, vericinin sürüldüğü bilgisayar darbeleri, bilginin değişim anlarında (birden sıfıra ve sıfırdan bire) ve uygun sürede darbe üreten bir tek kararlı ikili ile modüle edilebilir. Bu şekilde, bilgisayarın veri darbesinin tamamında akım akıtacak yerde, küçük sürelerde akım akıtılarak yüksek akım değerlerine çıkılabilir.

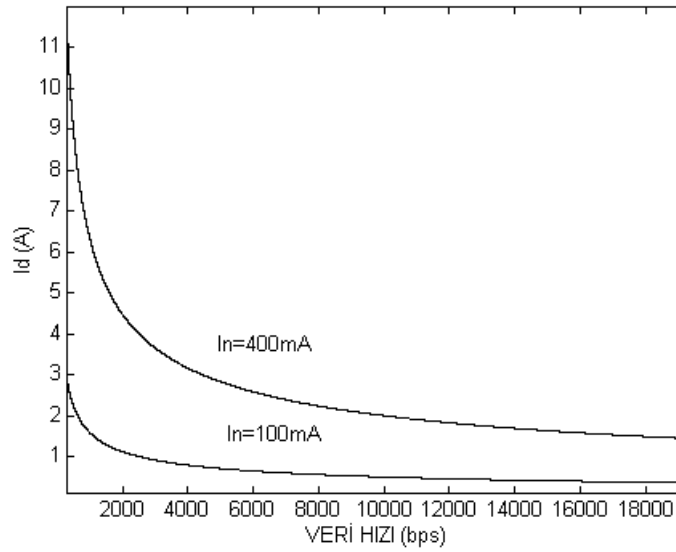
Ayrıca, yüksek veri hızlarında verilerin hepsinin aynı LED'i sürmesi yerine, art arda gelen bilgi değişimlerinin birden fazla LED'i sırayla sürmeleri sağlanabilir. Örneğin, 19200 bps'lik hızda $1/19200=52\mu\text{s}$ 'de bir bilgi değişiminin olduğu en kötü durumda, art arda oluşan her bir bilgi değişim anında, iki farklı LED'in sırayla sürülmesi durumunda her bir LED, darbe süresi $t_d' = 4\mu\text{s}$ olan fakat boşluk süresi $2 \times 52\mu\text{s} = 104\mu\text{s}$ değerine çıkan akım darbeleri ile sürülmüş olacaktır. Bu durumda akım darbesinin genliği tek LED'in bulunduğu durumdaki akım değeri olan 1.44A'den, (2) bağıntısına göre 2.04A seviyesine çıkarak;

$$I_d' = I_n \sqrt{\frac{2t_d}{t_d'}} \quad (2)$$

$\sqrt{2}$ kat artmış olur. Dört adet LED kullanılması durumunda ise genlik $\sqrt{4}=2$ katına, yani 2.88A'e çıkmaktadır. LED sayısına (n) bağlı olarak tek LED bulunması durumuna nazaran akım darbesinin genliği;

$$I_d' = I_n \sqrt{\frac{t_d}{t_d'}} \sqrt{n} \quad (3)$$

olmaktadır.



Şekil 10:
Veri hızı- darbe akımı değişimi

2.3. Benzetim Devresi

Burada tasarımı yapılan alıcı ve verici devreleri bilgisayar ortamında da çalıştırılabilmektedir. Modülatör ve demodülatör devrelerinin birlikte çalışması bilgisayarda elektronik devre analizi yapan Electronics Workbench programıyla incelenmiştir. Bunun için söz konusu program kullanılarak incelenmek istenen devrenin benzetimi (simülasyonu) yapılmıştır. Verici ve alıcı devreleri optik bağlaşmayla birbirine bağlı olduklarından ve elektronik devre analizi yapan programlarla bir LED ile bir fotodiyodun optik bağlaşımını benzeten bir model henüz bulunmadığından, alıcı ve verici devrelerini olduğu gibi bütünüyle söz konusu programla incelemek mümkün olmamaktadır. Bunun yerine bir VEYA kapısı kullanarak alıcı ve verici elektriksel olarak birbirine bağlanmışır. Verici çıkışlarındaki farklı LED'lerden gönderilen ışığın alıcıdaki fotodiyot ile ışık akısıyla olan bağlaşımını modülatör ve demodülatör devrelerinin bir VEYA kapısı üzerinden bağlanmasıyla benzetilmiş olmaktadır. Bu LED sürücü devreden önceki dört adet tek kararlı çıkışlarını VEYA kapısının girişlerine, VEYA kapısının çıkışını da alıcıdaki demodülatörün girişine (JKFF'in tetikleme ucuna) bağlamak suretiyle gerçekleştirilmiştir. VEYA kapısı olarak dört girişli 4072 tümdevresi kullanılmışır.

Benzetim devresinin belli noktalarındaki işaretlerin birbirine bağlı olarak değişimleri incelenerek modülasyon ve demodülasyon işlemlerinin nasıl gerçekleştiği daha iyi anlaşılabilir. Bilgisayarın RS232C seri iletişim biriminin veri gönderme ucu olan Tx ucundan gönderilecek verileri temsilen üretmek için modülatör girişinde bir işaret üretici kullanılmıştır. Bu işaret üretici +15V ve -15V tepe değerleri ile istenilen frekansta kare dalga üretmektedir.

Şekil 11’de yer alan grafikte üstte yer alan değişim kırpıcı çıkışı, alttaki değişim ise yükselen ve inen kenarlarda üretilen $4\mu s$ ’lik darbelerden oluşan VEYA kapısının çıkışındaki (demodülatördeki JKFF’in tetikleme ucundaki) işareti göstermektedir. Şekil 11 elde edilirken, söz konusu mikro saniyeler mertebesinde kısa süreli darbelerin darbe sürelerini ayırt edebilmek için girişteki veriye karşılık düşen ve işaret üretici tarafından üretilen kare dalganın frekansını arttırmak gerekmiştir (10kHz). Şekil 11’de altta yer alan işaret demodülatörün girişine gelen (VEYA kapısının çıkışı) işarettir. Demodülatörün girişine gelen darbelerin her yükselen kenarında JKFF tetiklenerek tetiklenen ikili olarak çalışır (her gelen yükselen kenarda konum değiştirir).

Şekil 12’de üstte gösterilen işaret demodülasyon yapan JKFF’in tetikleme ucuna gelen işareti, alttaki işaret ise JKFF’in Q’ çıkışını göstermektedir. Q’ çıkışındaki işaret demodülasyon sonucu alıcıda tekrar elde edilmiş olan veridir.

Şekil 13’te üstteki değişim vericinin kırpıcı çıkışındaki değişimi alttaki değişim ise demodülasyon sonucu elde edilen (Q’ çıkışındaki) veriyi göstermektedir. Şekilden görüldüğü gibi demodüle edilmiş veri gönderilmiş olunan verinin biraz gecikmesiyle aynıdır.

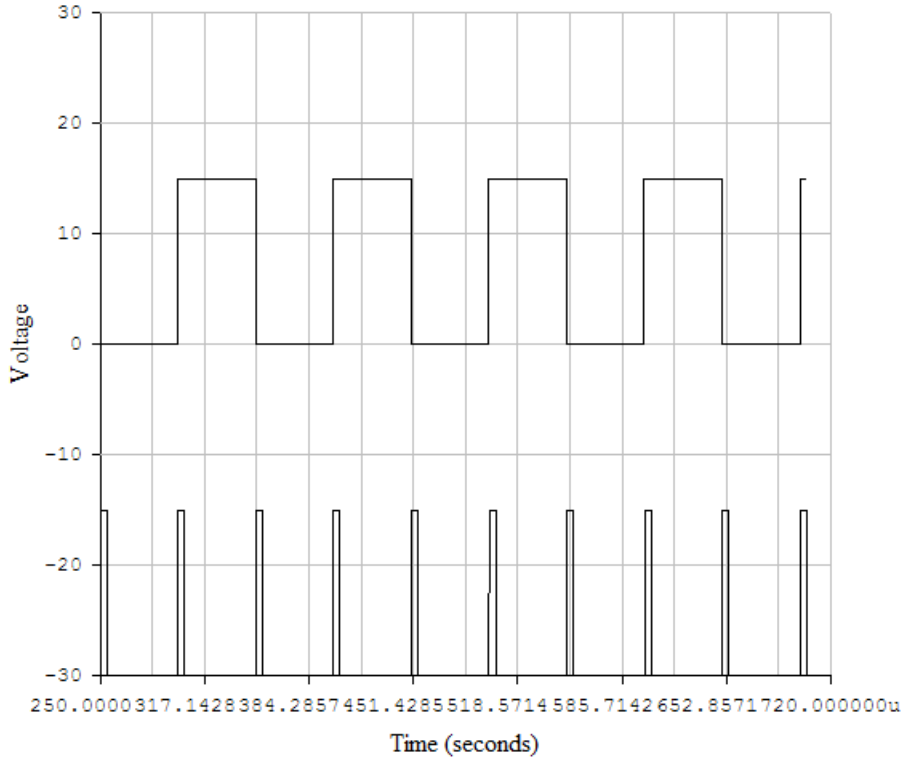
3. TARTIŞMA ve SONUÇ

Haberleşme uzaklığının artırılması ışık şiddetinin artırılmasıyla sağlanabileceği gibi foto alıcı devrenin kazancının artırılmasıyla da sağlanabilir. Mevcut kızılötesi veri iletişimi sistemlerinde genellikle alıcının kazancı yüksek tutulmaktadır. Kazanç ile hız ters orantılı olduğundan kazanç arttıkça veri darbelerinin darbe süresinin de artırılması gerekmektedir. Burada yapılan uygulamada ise darbe süresinin çok kısa seçilmesi sayesinde LED’in ışık şiddeti artırılmaktadır ve bu sayede alıcı uçta veriyi içeren ışığın ortamdaki diğer ışık kaynakları tarafından üretilen ve fon gürültüsü olarak adlandırılan ışıklardan ayırt edilmesi de kolaylaşmaktadır.

Optik modem gerçekleştirmek için mevcut modem tümdevrelerinin verici uçlarında bir LED sürücü devresi, alıcı uçlarında ise uygun bir fotodedektör devresi kullanmak yeterli olacaktır. Fotodedektör devresinin algılama yeteneği, fotodedektörde kullanılan, ışığı elektriksel işarete çeviren ışığa duyarlı eleman ile bunun etrafındaki diğer devre elemanlarıyla oluşturulmuş devrenin biçimine bağlıdır. Bugün ışığı algılamada kullanılan en uygun devre elemanı fotodiyottur. Yüksek hızlarda değişim gösteren ışığı algılayabilmek için fotodiyot fotoiletken moda çalışacak şekilde bağlanmalıdır. Böyle bir bağlantı biçimi Şekil 6’daki alıcı devresinin girişinde görülmektedir. Söz konusu devre ile en fazla hangi hızlarda veri dedekte edilebileceği hesaplanabilir. Verici uçlardaki LED fotodiyottan çok daha hızlı bir elemandır ve vericinin veri gönderme hızı, alıcıdaki fotodedektör devresi ile dedekte edilebilecek veri hızından çok daha yüksek yapılabilmektedir. Bu durumda optik modemler arası iletişimin veri hızı alıcı devresindeki fotodedektörün hızı tarafından belirlenmiş olacaktır.

Şekil 6’daki devrede fotodiyodun anoduna bağlı olan bağlama kondansatörünün her iki yanında $47k\Omega$ değerinde iki direnç bulunmaktadır (girişteki kuvvetlendiricinin giriş direncinin $47k\Omega$ olduğu ve kuvvetlendiricinin girişinden görülen kapasitenin etkisinin ihmal edilebilir olduğu kabul edilmektedir). Bu durumda fotodiyodun jonksiyon kapasitesi (yaklaşık 10pF) ve ona paralel gelen dirençlerden oluşan yüksek frekans hücresinin eşdeğer paralel

direnci $R_p = (47k\Omega // 47k\Omega) = 47k\Omega / 2 = 23.5k\Omega$ olur. Buna göre yüksek frekans hücresinin zaman sabiti $R_p C_p = 23.5k\Omega \times 10pF = 235ns$ ve kesim frekansı $f_u = 1/(2\pi R_p C_p) = 1/(6.28 \times 235 \times 10^{-9}) = 677.6kHz$ olur. Bu frekansın üzerindeki frekanslarda kazanç 20dB/dekad'lık eğimle düşecektir. Alıcı devresinin yüksek frekans kutbunun, girişindeki söz konusu yüksek frekans hücresinden kaynaklandığı, yani girişteki kutbun baskın kutup olduğu kabul edilebilir. Girişte çarpan ışığa karşılık daha yüksek bir elektriksel gerilim elde etmek için eşdeğer paralel direnç R_p 'nin değeri arttırılırsa kutup frekansının değeri yani devrenin hızı düşer.

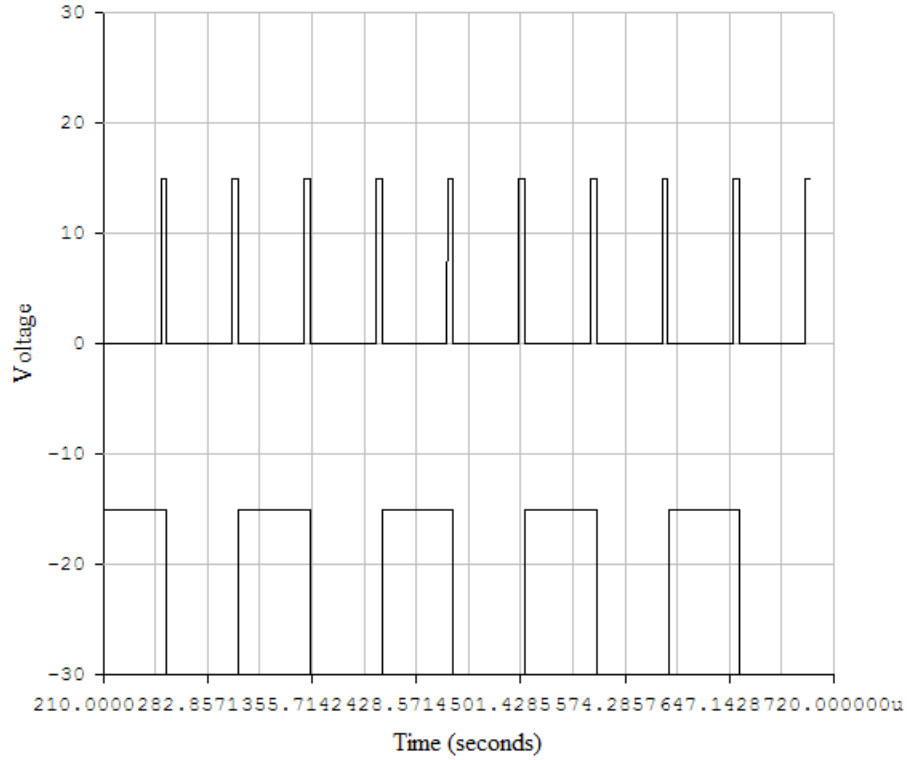


Şekil 11:

Üstteki değişim kırpıcı çıkışını, alttaki değişim VEYA kapısının çıkışındaki işareti göstermektedir

Yukarıda ele alınan tipik fotodedektör devresinin zaman sabiti $R_p C_p = 23.5k\Omega \times 10pF = 235ns$ kadardır. Bu yüksek frekans hücresinden kaynaklanan yükselme süresi $t_r = 2.2R_p C_p = 2.2 \times 235ns = 517ns$ bulunur. Böyle bir fotodedektörde dedekte edilebilecek minimum darbe süresini yükselme süresinin on katı seçmek geçerli bir kuraldır (Watson, 1988). Bu durumda darbe süresi minimum $10 \times t_r = 10 \times 517ns = 5.17\mu s$ bulunur. Işık darbesinin genliğinde yükseltme yapmak için periyodun darbe süresine nazaran olabildiği kadar büyük yapılması gereklidir. Periyot darbe süresinin 10 katı seçilirse $T = 10 \times 5.17\mu s = 51.7\mu s$ bulunur. Bu durumda veri hızı $1/(51.7 \times 10^{-6}) = 19.34kbps$ olarak hesaplanır. Yani ulaşılabilecek maksimum veri hızı yaklaşık 20kbps olmaktadır. Daha fazla ışık şiddeti için T periyodu arttırılırsa veri hızı daha da düşer. Ayrıca iletişim uzaklığını arttırmak üzere fotodedektörün anodundan elde edilecek gerilim darbesinin genliğini arttırmak için fotodedektörün anodundan görülecek eşdeğer paralel direnç arttırılırsa yüksek

frekans hücresinin yükselme süresi artar ve dolayısıyla iletişim hızı düşer. Görüldüğü gibi iletişim uzaklığını arttırmak üzere LED'in verdiği ışık şiddetinin artırılması için LED'i süren darbeli işaretin boşluk süresinin arttırılması veya fotodedektör devresinin duyarlılığının arttırılması iletişim hızının azalması sonucunu doğurmaktadır. Ya da diğer bir deyişle iletişim hızı arttırılmak istenirse iletişim uzaklığı azalmaktadır.



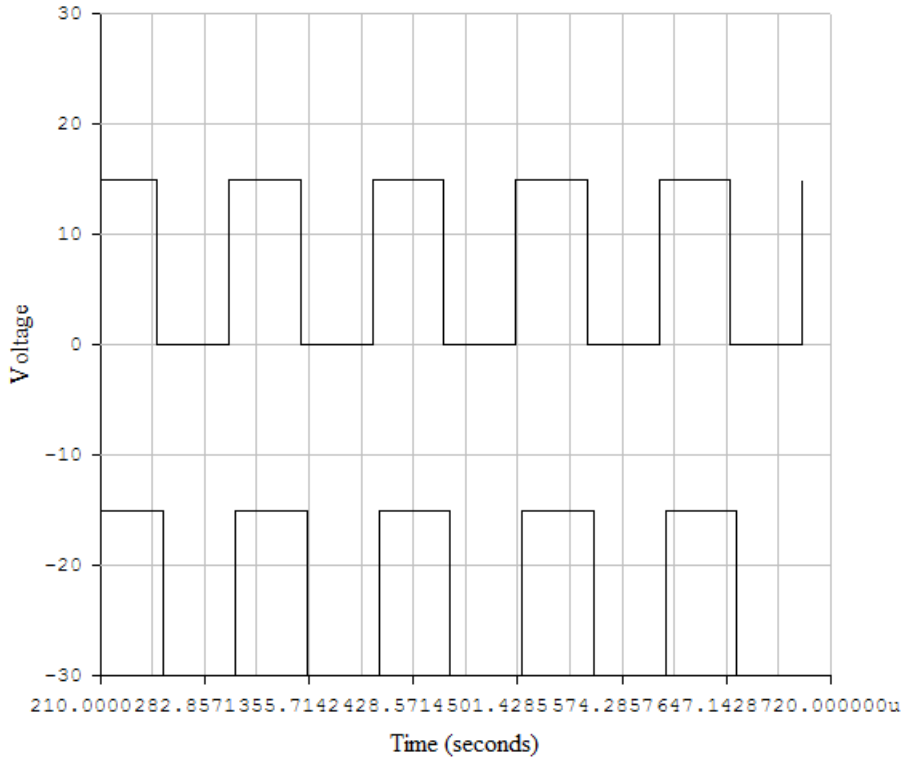
Şekil 12:

Üstte gösterilen işaret JKFF'in tetikleme ucuna gelen işareti, alttaki işaret ise JKFF'in Q' çıkışını göstermektedir

Işık ile iletilen işaretin dedekte edilebilen genliğini ve iletişim uzaklığını belirleyen bir diğer etken, ortamda bulunan diğer ışık kaynaklarıca üretilen ve fon gürültüsü olarak adlandırılan etkendir. Işıkla veri iletimi genellikle kızılötesi dalga boyundaki ışıkla yapılmaktadır. Fon gürültüsünü oluşturabilecek güneşten gelen kızılötesi ışınların değişim hızı çok yavaştır. Fotodiyot üzerinde fon gürültüsünü oluşturabilecek yapay ışık kaynakları çoğunlukla aydınlatma cihazlarıdır. Örneğin verdiği ışığın en büyük şiddeti kızılötesi bölgede olan tungsten flamanlı lambanın yaydığı kızılötesi ışığın frekansı 100Hz'dir. Bu şekildeki istenmeyen işaretlerin fotodedektör tarafından süzülmesi gerekmektedir. Şekil 6'daki alıcı devresinin girişindeki bağlama kondansatörü ve onun her iki yanında görünen dirençlerle oluşan yüksek geçiren süzgeç bu amaçla kullanılmıştır. Böyle bir devreyle, gürültü işaretinin frekansına nazaran dedekte edilmesi istenen işaretin frekansı (örneğin veri hızının temel frekansı) ne oranda yüksek ise istenmeyen gürültünün o oranda zayıflatılması kolaylaşmış olur. Bu da veri hızını belirleyen bir etkendir. Fon gürültüsünü daha fazla zayıflatmak için daha yüksek mertebeden süzgeçler kullanılabilir.

Veri hızını ve iletişim uzaklığını arttırmak ve ortamda bulunan diğer ışık kaynaklarının ürettiği ışıktan veriyi daha kolay ayırt edebilmek yani fon gürültüsünün etkisini azaltmak için ışık şiddetinin arttırılması gerekmektedir. LED'in verdiği ışığın şiddetini

arttırmak için LED yüksek genlikte akım darbeleriyle sürülmelidir. Bunun için de LED'in akım darbesi esnasında aldığı ısıyı ortama verebilmesi yani LED'in soğuyabilmesi için gerekli boşluk süresi yeterince uzun olmalıdır. Ancak veri hızı arttıkça uzun boşluk süreleri oluşturmak mümkün olmamaktadır. Bu çalışmada önerilen tasarım ile veri hızını ve iletişim uzaklığını ilaveten arttırmak mümkün olmuş ve fon gürültüsünün etkisi azaltılabilmektedir. Burada kullanılan teknikte tüm veri darbesi süresince LED'den akım akıtmaktansa darbe başlangıçlarında ve sonlarında veri darbesi süresinden çok daha kısa sürede darbeler akıtılmıştır. Bunun yanında, seri haldeki veri darbeleri için veri bilgilerinin başlangıçlarında oluşturulan kısa süreli darbelerin tek bir LED tarafından ışığa çevrilmeleri yerine art arda gelen kısa süreli darbelerin birden fazla LED'i sırayla sürmelerini sağlayan devre tekniğiyle ışığın şiddeti ilaveten artırılabilmiştir. Burada bütün LED'ler fotodedektörle ışık akısı ile optik olarak bağlıdır ve ışık darbelerinin farklı LED'lerden gelmesi fotodedektör için bir farklılık yaratmamaktadır. n adet LED kullanılması durumunda fotodedektöre ulaşan ışık bilgisinin [periyot/darbe süresi] oranı değişmemekte fakat her bir LED'in sürüldüğü darbeleri akımın periyodu n kat artmaktadır. Akım darbesinin darbe süresi ise tek LED'in bulunması durumundaki darbe süresine eşit kalmaktadır. Buna göre LED akımı ilaveten \sqrt{n} kat artırılabilir.



Şekil 13:

Üstteki değişim vericinin kırpıcı çıkışındaki değişimi, alttaki değişim demodülasyon sonucu elde edilen (Q' çıkışındaki) veriyi göstermektedir

Yukarıda açıklanan nedenlerden dolayı tasarlanan optik modemde veri hızının en düşük değer olan 110bps hızında seçilmesi uygun olacaktır. Böylece daha fazla ışık şiddeti elde edilebilecek ve bilgiyi daha uzağa iletmek mümkün olabilecektir. Ayrıca, yukarıda belirtildiği gibi ışık şiddetinin artması işaretin fon gürültüsünden ayırt edilebilmesini de kolaylaştırır.

Işık şiddetini daha da arttırabilmek için LED sürücü devrelerde bulunan tek LED yerine seri halde birden fazla aynı tipten LED bağlanabilir. Ayrıca mercek, yansıtıcı, ışık kılavuzu (fiber) gibi optik elemanlar kullanılarak LED'in verdiği ışığın daha fazlasının fotodedektöre ulaştırılması sağlanabilir.

Burada yapılan tasarımın en büyük eksikliği, alıcı ile verici arasına bir engel girip veriyi taşıyan ışığın dolayısıyla alıcı ile verici arasında bağlantının kesilmesi veya alıcı ile verici arasında yanlış veri iletiminin bilgisayarca belirlenmesi durumunda iletişim kanalının tekrar kurulabilmesi için alıcı devresinin bir resetlemeye ihtiyaç göstermesidir. Örneğin asenkron haberleşme durumunda alıcı ile verici arasında iletişim kanalının tekrar kurulabilmesi için iletim kanalının lojik 1 seviyesine getirilmesi gerekir. Ancak iletişimin geçici olarak kesilmesi durumunda, alıcı devresindeki demodülasyon yapan JKFF çıkışı iletişim kanalı kurulmaya çalışılırken lojik 0 seviyesinde olacak durumda kaldıysa alıcıdaki bilgisayar hattın lojik 1 seviyesine getirilmeye çalışıldığını anlayamaz. Bu nedenle iletişim kanalı kurulmaya çalışılmadan önce alıcı devresinin resetlenmesi gerekir. Bu şekildeki resetleme gibi önemli bir eksikliğin oluşması iki ayrı lojik seviyesi için ayrı bilgi taşıyan darbelerin gönderilmesi ile önlenemez. Örneğin verinin yükselen ve düşen kenarlarında farklı sürelerde kısa süreli darbeler (darbe süresi modülasyonu) oluşturularak (Özütürk, 2003a) veya başka çeşit modülasyonlar kullanılarak (Özütürk, 2008) resetleme gereği ortadan kaldırılabilir. Ancak bu önemli eksikliğine rağmen böyle bir optik MODEM'in tasarımı ve analizi, yukarıda açıklanan elde edilmiş sonuçları itibariyle önemli bir veri iletişimi ve optik MODEM uygulamasına örnek teşkil etmektedir.

KAYNAKLAR

1. Bhattacharya, P. (1997). Semiconductor Optoelectronic Devices, Prentice-Hall, USA.
2. Bradbury, D. (1991). Shedding light on optoelectronics, Electronics World+Wireless World, 911-915.
3. Hickman, I. (1995). Reflections on optoelectronics, Electronics World+Wireless World, 970-974.
4. Hickman, I. (1997). A look at light, Electronics World+Wireless World, 466-471.
5. Özütürk, E. ve Karlık, S.E. (1998). Kızılötesi Işımlarla Açık Optik Ortamda Bilgisayarlar Arası Veri İletimi, Bursa 5. Bilgisayar-Haberleşme Sempozyumu, 104.
6. Özütürk, E. (2000). LED'lerin Aşırı Darbe Akımında Çalışmasının Teorik ve Pratik Araştırması, Doktora Tezi, U. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
7. Özütürk, E. (2002). LED'lerin Aşırı Darbe Akımında Bazı Davranışlarının İncelenmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 4(1), 19-35.
8. Özütürk, E. (2003a). Kızılötesi Optik MODEM, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 8, Sayı 1, 11-16.
9. Özütürk, E. (2003b). Darbeli Akımlarda LED Akımının Ne Oranda Arttırılabileceğini Veren Bazı Bağlıntıların Çok Yüksek Akımlarda Karşılaştırılması, Uludağ Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi, 8(1), 17-24.
10. Özütürk, E. (2004). Fotodiyodun Anahtarlama Sürelerinin Darbeli Yüksek Işık Şiddetleri İçin İncelenmesi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 10(2), 221-226.
11. Özütürk, E. (2006a). LED'in Elektriksel Karakteristiklerinin Optik Karakteristikleri Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 12(3), 389-396.

12. Özütürk, E. (2006b). LED Işığının Algılanabilme Uzaklığını Arttırma Olanaklarının Araştırılması, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 22(1-2), 83-96.
13. Özütürk, E. (2008). Frekans Ötelemeli Anahtarlama Kullanarak Optik Modem Tasarımı, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 24(1-2), 129-153.
14. Nichols, E. A., Nichols, J. C. and Musson, K. R. (1982) Data Communications for Microcomputers, McGraw-Hill Book Company, USA.
15. Pastacı, H. (1998). Elektronik Devreler, İstanbul.
16. Watson, J. (1988). Optoelectronics, Van Nostrand Reinhold, U.K.
17. Wilson, J. ve Hawkes, J. F. B. (2000) Optoelektronik, Değişim Yayınları, Adapazarı.

Makale 13.09.2010 tarihinde alınmış, 03.03.2011 ve 03.04.2012 tarihlerinde düzeltilmiş, 04.04.2012 tarihinde kabul edilmiştir.