



FREKANS ÖTELEMELİ ANAHTARLAMA KULLANARAK OPTİK MODEM TASARIMI

Erdem ÖZÜTÜRK*

Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Elektronik Mühendisliği Bölümü, Görükle, Bursa

ÖZET

Frekans ötelemeli anahtarlama (FSK) kullanılarak modüle edilmiş sayısal veriyi bir LED ve bir fotodiyot kullanarak bir vericiden bir alıcıya optik olarak iletmek mümkündür. LED'in verdiği ışığın şiddeti içinden akan akım arttıkça artmaktadır ve darbeli çalışmada LED'den nominal doğru akımının çok üzerinde akım darbeleri akıtılabilmektedir. Bu nedenle LED, darbeli FSK akımı ile sürülebilir. Bu çalışmada, ilk olarak LED'in darbeli FSK akımıyla sürülmesi ve alıcıda bir FSK diskriminatörü kullanılarak FSK işaretinin demodüle edilmesi olanakları araştırıldıktan sonra bu amaca uygun devreler tasarlanmaktadır. Daha sonra, ürettiği darbeli işaretin LED'den yüksek akım darbeleri akıtmaya uygun olduğu belirlenen mevcut bir tümdevreyle bir MODEM tasarımı daha yapılmaktadır.

Anahtar kelimeler: FSK; LED; Fotodiyot; Modülatör; Demodülatör

THE DESIGN OF OPTICAL MODEM USING FREQUENCY SHIFT KEYING

ABSTRACT

A FSK modulated digital data can be optically transmitted using a LED and a photodiode. The radiant power of LED is proportional with LED current and more current can be passed through the LED in pulsed operation. Because of that, LED can be driven with FSK modulated current pulses. In this study, firstly the possibilities of modulating the LED light with current pulses at the transmitter and demodulating this data using a frequency discriminator (noncoherent detection of FSK) at the receiver are investigated. After that, some circuits that suitable for this purpose are designed. In addition, using an available voltage to frequency converter integrated circuit, another MODEM design is given.

Keywords : FSK; LED; Pphotodiode; Modulator; Demodulator.

*E- posta: ozuturk@uludag.edu.tr

1. GİRİŞ

Günümüzde bilgisayarlar arasında veya bilgisayarla çevre birimleri arasında serbest uzayda optik veri iletişimi hızla yaygınlaşmakta ve yeni optik veri iletim sistemleri tasarlanmaktadır. Bu çalışmada da yeni optik MODEM tasarımları yapılmaktadır.

Bilindiği gibi FSK, sayısal verinin her bir seviyesi için farklı frekansta işaretlerin üretilmesiyle meydana getirilen sayısal modülasyon tekniklerinden biridir. Günümüzde düşük hız modemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Modüle edilmiş FSK işareti bir frekans ayırıcı (frekans diskriminatörü) aracılığıyla kolayca demodüle edilebilmektedir [1].

Optik modem oluşturmak için uygun bir LED ve fotodiyot kullanılabilir. Modemin verici kısmının çıkışında bulunan LED'in ışığı FSK modülatöründen çıkan işaretlerle modüle edilir. Alıcı uçta ise LED ışığı bir fotodiyotlu fotodedektör devresiyle tekrar elektriksel işarete dönüştürülür. Alıcının bulunduğu ortamdaki diğer ışık kaynaklarının ürettiği ve fon gürültüsü olarak adlandırılan ışıktan veriyi içeren ışığın daha kolay ayırt edilebilmesi ve verinin daha uzak mesafelere iletilebilmesi için LED'in verdiği ışığın şiddetinin mümkün olduğu kadar fazla olması gerekmektedir. LED ışığı darbeli çalışmada ve uygun darbe ve boşluk sürelerinde arttırılabilir. LED ışığının, verinin darbe ve boşluk anlarında farklı frekanslarda ve uygun (periyot/darbe süresi) oranında darbeli akımla modüle edilmesi durumunda, modüle edilmiş bu işaret alıcı uçta FSK işaretinin demodüle edilmesiyle sayısal veri tekrar elde edilebilir.

LED'in ısıl eylemsizliğinin etkili olduğu darbe sürelerinde ve darbe süresince artmış olan jonksiyon ısısının çevreye verilebildiği yeterince uzun boşluk (soğuma) sürelerinde LED'den yüksek genlikte akım darbeleri akıtılabilmektedir. Bu şekilde nominal akımı 10-100mA olan LED'lerden akıtılabilen akım darbesinin genliği 10-15A gibi yüksek değerlere çıkabilmektedir [2,3,4,5].

Darbeli akımlarda LED'den akıtılabilecek akım darbesinin genliği I_d , LED'in nominal akımı I_N , periyot T ve darbe süresi t_d arasında bazı bağıntılar bulunmaktadır [6]. Bunlardan biri;

$$I_d = I_N \sqrt{T / t_d} \quad (1)$$

bağıntısıdır ve bu bağıntı darbe süresinin belli bir değerden küçük olduğu durumlarda geçerlidir. Yukarıdaki bağıntıya göre, periyot darbe süresine göre ne kadar büyük seçilirse o kadar daha büyük akım darbeleri elde etmek mümkündür. Ancak FSK modülatörü tarafından üretilen darbeli FSK işaretinin

içerdiği harmoniklerin genlikleri de darbe süresine ve periyoda bağlı olmaktadır. Bu nedenle en uygun (periyot/darbe süresi)'ni bulmak için Fourier analizinin yapılması gerekmektedir.

Telefon hattı üzerinden veri iletimi için gerçekleştirilmiş ve değişik hızlarda değişik modülasyon tekniklerinin kullanıldığı mevcut modem tümdevreleri kullanılarak optik modem gerçekleştirmek mümkündür. Bunun için tümdevrenin verici kısmının çıkışına LED ışığını modüle etmek üzere uygun bir LED sürücü devre, alıcı kısmının girişine de vericinin gönderdiği LED ışığını dedekte etmek üzere uygun bir fotodedektör devresi bağlamak gerekmektedir. Bu şekilde modem tümdevreleri kullanılan tasarımlarda, LED'in ışık şiddetini fazla arttırma olanağı olmadığı için, sistemin duyarlılığının fazla olması veya haberleşme uzaklığının arttırılması için fotodedektör devresinin duyarlılığının ve alıcıda kullanılan kuvvetlendiricilerin kazancının yüksek yapılması gerekmektedir. Işık ile açık optik ortamda veri iletiminin yapıldığı mevcut uygulamalarda genellikle alıcının kazancı yüksek tutulmaktadır. Burada yapılan optik modem tasarımlarında daha fazla ışık şiddeti elde etmek amaçlandığından yani darbeleri FSK işaretinin darbe süresinin olabildiği kadar kısa boşluk süresinin ise olabildiği kadar uzun olması istendiğinden kullanılan devreler farklı olmuştur. Tasarlanan modemlerin isimlerinde "optik" kelimesinin bulunması belirtilen farklılığı işaret etmek içindir.

Aşağıda FSK işaretinin demodülasyonunda kullanılacak olan frekans ayırıcının yapısı kısaca hatırlatıldıktan sonra Fourier analizi ile en uygun (periyot/darbe süresi) oranı araştırılmaktadır. Daha sonra bir devre tekniği ile ışık şiddetinin nasıl arttırılabildiği belirtilmekte ve bu amaçla uygun bir FSK optik modülatörü devresi tasarlanmaktadır. Bunlara ilaveten, ürettiği darbeleri işaretin darbe süresi ile periyodunun LED'den darbeleri yüksek akım akıtmaya elverişli olduğu görülen mevcut bir gerilim-frekans çevirici tümdevresi ile bir MODEM tasarımı daha yapılmaktadır.

2. GEREÇ VE YÖNTEM

2.1 Spektral Analiz

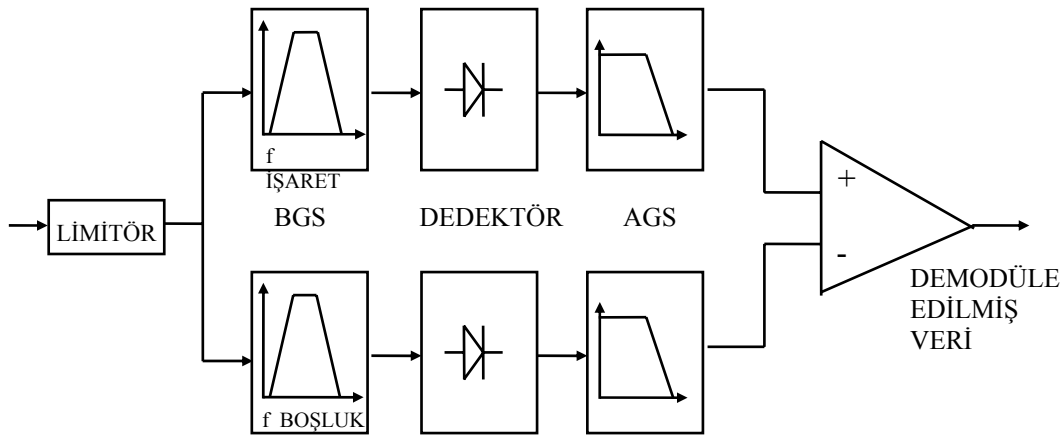
Alıcı uçta sayısal verinin tekrar elde edilebilmesi için FSK işaretinin demodüle edilmesi gerekmektedir. Şekil 1'de FSK demodülasyonu yapan ve frekans ayırıcı olarak adlandırılan devrenin blok şeması gösterilmiştir. Buraya giren işaret önce herhangi bir genlik değişimine karşı limitörle sınırlanmaktadır. Çünkü burada önemli olan FSK işaretindeki frekans değişiminin sezinlenmesidir. Limitör vasıtasıyla iletim ortamındaki gürültüler nedeniyle oluşan genlik değişimleri kırılmaktadır. İşaret daha sonra bant geçiren süzgeç, dalga dedektörü ve alçak geçiren süzgeçten meydana gelen iki paralel kola girmektedir. Üst koldaki bant geçiren süzgeç darbe frekansına, alt koldaki bant geçiren süzgeç de boşluk frekansına

akort edilmiştir. Bant geçiren süzgeçten sonra kullanılan dedektör bir doğrultucu devredir. Bant geçiren süzgeçlerden çıkan işaretler burada diyotlar yardımıyla doğrultulur. Paralel kolların sonundaki alçak geçiren süzgeçler işaret ve boşluk frekanslarındaki enerjiyi ölçer. Alçak geçiren süzgeçlerin çıkışındaki işaret, doğrultulmuş ve süzölmüş olan sinüsoidal işaretin enerjisine karşılık düşen seviyede bir doğru gerilimdir. Alçak geçiren süzgeçten gelen gerilimler bir lojik uyumlu çıkış veren karşılaştırıcı ile karşılaştırılarak demodüle edilmiş veri elde edilmektedir.

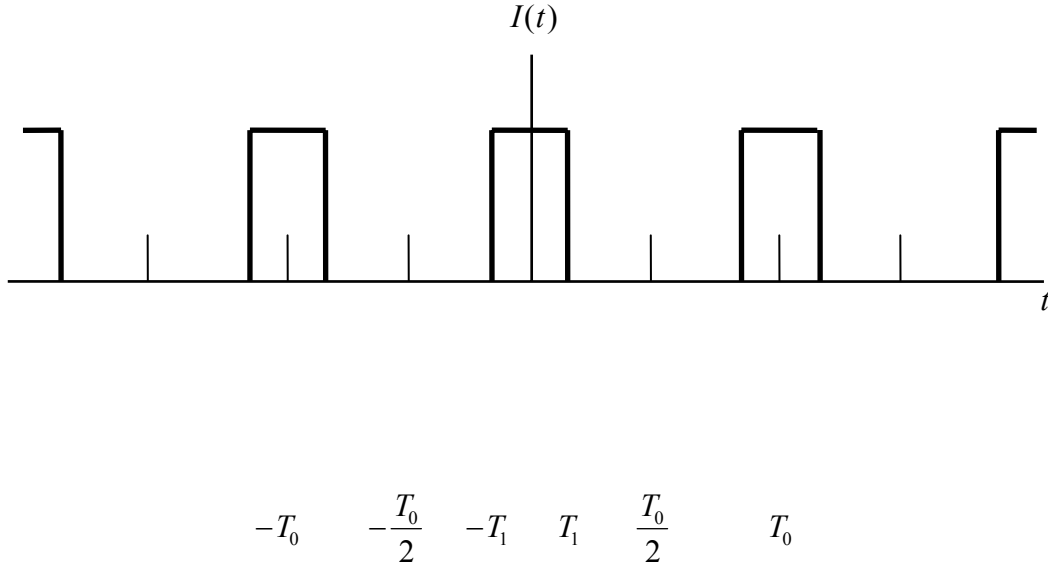
Burada ilk olarak, LED'den periyodik darbeleri akımlar akıtılarak elde edilen ışık darbelerinin içerdiği sinüsoidal harmonik bileşenlerinin alıcıda bir frekans ayırıcı kullanılarak elde edilmesi olanakları araştırılmaktadır. Bu nedenle öncelikle darbeleri işaretin Fourier analizinin yapılmasına gerek duyulmuştur. Daha sonra, yapılan Fourier analizi sonuçlarından yararlanarak LED'in verdiği ışık şiddetini arttırmak için LED akımı genliğinin ne kadar arttırılabileceği incelenmektedir.

LED'den Şekil 2'deki gibi akım darbelerinin akıtıldığı kabul edilmektedir. Böyle bir darbeleri işaret aşağıdaki gibi tanımlanabilmektedir;

$$I(t) = \begin{cases} 1 & , \quad |t| < T_1 \\ 0 & , \quad T_1 < |t| < \frac{T_0}{2} \end{cases} \quad (2)$$



Şekil 1. Frekans ayırıcı devresinin blok gösterimi.



Şekil 2. Periyodik akım darbelerinin değişimi.

Buna göre $I(t)$ işaretinin periyodu T_0 ve genliği 1'dir. Akım darbesinin genliğini 1 almakla LED akımının genliği normalize edilmiş olmaktadır. LED akımı genliğinin farklı bir değerde olması durumunda aşağıda elde edilecek olan ifadeler LED akımı genliğiyle çarpılarak sözkonusu farklılığın etkisi sonradan ifadelere dahil edilebilmektedir. Elde edilecek sonuçları LED akımı genliğinden bağımsız bir şekilde yorumlayabilmek için burada akımın normalize değeri kullanılmaktadır.

$I(t)$ işareti aşağıdaki tanımları kullanarak Fourier serisine açılabilir :

$$I(t) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} a_k e^{jk\omega_0 t} \quad (3)$$

$$a_k = \frac{1}{T_0} \int_{-T_1}^{T_1} I(t) e^{-jk\omega_0 t} dt \quad (4)$$

Burada:

$$a_0 = \frac{1}{T_0} \int_{-T_1}^{T_1} dt = \frac{2T_1}{T_0} \quad (5)$$

$$a_k = \frac{\sin k \frac{2\pi}{T_0} T_1}{k\pi}, \quad k \neq 0 \quad (6)$$

şeklindedir [7].

Değişik T_0/T_1 değerleri için $I(t)$ işaretinin spektrumu Şekil 3.(a)'da görülmektedir. Burada T_0/T_1 'in 4, 8, 16 oranlarında değişik üç farklı değeri için Fourier katsayılarının genliklerinin değişimi zarf eğrileri ile birlikte çizdirilmiş bulunmaktadır.

LED'den Şekil 2'deki gibi periyodik akım darbelerinin akıtılması durumunda, LED'in ısınmadığı darbe süresi ve darbe genliklerinde elde edilen ışık şiddeti $kI(t)$ şeklinde akımla orantılı olacaktır. Burada k akımı ışık şiddetine çeviren bir katsayıdır. Bilindiği gibi, darbeli çalışmada (periyot/darbe süresi) oranı uygun seçilerek LED'den nominal doğru akımının çok üzerinde genliğe sahip akım darbeleri akıtılabilmektedir. Darbe akımının genliği I_d ile I_N nominal akımı arasında, periyot T_0 ve darbe süresi $2T_1$ (Şekil 2'deki değişime uygun olarak) olmak üzere eşitlik (1) aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$I_d = I_N \sqrt{\frac{T_0}{2T_1}} \quad (7)$$

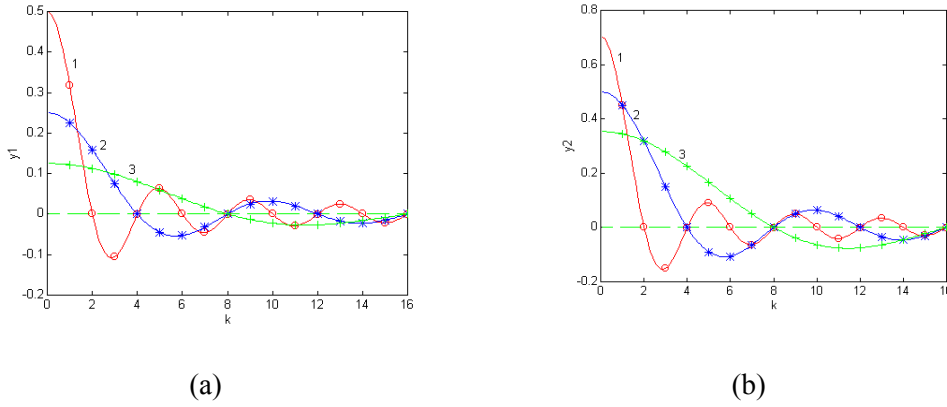
Bu bağıntıya göre yükseltilmiş olan akım darbesinin genliği:

$$\left(\sqrt{\frac{T_0}{2T_1}} \right) I(t) \quad (8)$$

ve yükseltilmiş Fourier katsayılarının genlikleri:

$$\left(\sqrt{\frac{T_0}{2T_1}} \right) a_k = \left(\sqrt{\frac{T_0}{2T_1}} \right) \frac{\sin k \frac{2\pi}{T_0} T_1}{k\pi}, \quad k \neq 0 \quad (9)$$

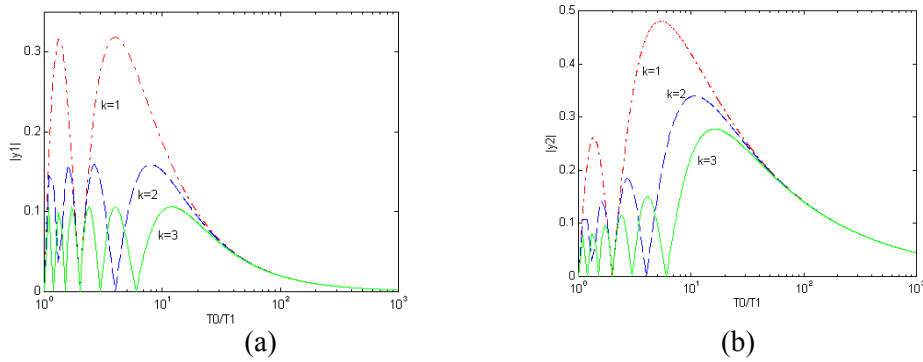
olacaktır. Son bağıntıya göre elde edilen akımın spektrumu Şekil 3.(b)'de görülmektedir. (9) bağıntısına göre T_0/T_1 oranı arttıkça $\sqrt{T_0/(2T_1)}$ şeklindeki sinüslü terimin çarpanı durumundaki yükseltme teriminin değeri artarken T_0/T_1 değişkeni ile ters orantılı olarak değişen sinüslü terim sıfıra doğru gitmektedir. Bu nedenle T_0/T_1 'in hangi değerinde harmoniklerin genliklerinin en büyük değerini aldığını incelemek amacıyla bazı grafikler çizdirilmiştir. Şekil 4.(a)'da $k=1, 2, 3$ için aşağıdaki (10) bağıntısına göre bulunan değişimler, Şekil 4.(b)'de ise bunların aşağıdaki (11) bağıntısına göre yükseltilmiş durumdaki değişimleri görülmektedir;



Şekil 3. (a) Periyodik darbeli işaretin Fourier katsayıları ($y_1 = a_k$)'nın k 'ya göre değişimi : 1.eğri

$T_0/T_1=4$, 2.eğri $T_0/T_1=8$, 3.eğri $T_0/T_1=16$ için. (b) ($y_2 = \left(\sqrt{T_0/(2T_1)}\right)a_k$)'nın k 'ya göre değişimi : 1.eğri

$T_0/T_1=4$, 2.eğri $T_0/T_1=8$, 3.eğri $T_0/T_1=16$ için.



Şekil 4. (a) $k=1, k=2$ ve $k=3$ için $|y_1| = |a_k|$ 'nın T_0/T_1 'e göre değişimi. (b) $k=1, k=2$ ve $k=3$ için

$|y_2| = \left(\sqrt{T_0/2T_1}\right)|a_k|$ 'nın T_0/T_1 'e göre değişimi.

$$\left| \frac{\sin k \frac{2\pi}{T_0} T_1}{k\pi} \right| \quad (10)$$

$$\left| \left(\sqrt{\frac{T_0}{2T_1}} \right) \frac{\sin k \frac{2\pi}{T_0} T_1}{k\pi} \right| \quad (11)$$

Değişimlerin mutlak değerleriyle ilgilenilmesinin nedeni burada faz değişimlerinin değil genlik değişimlerinin önemli olmasıdır.

2.2 Demodülatöründe Frekans Ayırıcı Olan Optik Modem

Yapılmış olan incelemelerden LED'in sinüsoidal işaretler yerine darbeleri akımlarla sürülmesi durumunda frekans ayırıcı kullanılarak demodülasyonun mümkün olduğu görülmektedir. Bunun için LED ışığı, veri darbelerinin her iki seviyesi için farklı temel periyotlu (farklı T_0 'lı) akım darbeleriyle modüle edilmelidir. Bilindiği gibi gönderilen işaretin harmoniklerinden genliği en büyük olanı birinci harmonik ($k=1$) olduğundan alıcıdaki ilgili süzgeçlerin birinci harmonik frekansına akort edilmesi daha uygun olacaktır. Burada (7) bağıntısına göre yükseltilmiş darbeleri oluşturan sinüsoidal harmoniklerinin genliklerinin belli bir (T_0/T_1) için en büyük değerini aldığı gösterilmiş bulunmaktadır. Şekil 4.(a) ve Şekil 4.(b)'den harmonik genliklerinde fazla bir yükseltmenin yapılamadığı görülmektedir. Ancak LED'in darbeleri akımla sürülmesinin sağladığı diğer bir olanak bulunmaktadır. Bu olanak birden fazla LED'in kullanılmasıyla ilgili olan bir devre tekniğidir ve birden fazla LED'in art arda gelen akım darbeleriyle sırayla sürülmesi ilkesine dayanmaktadır. Bu devre tekniğiyle n LED sayısı olmak üzere bir tek LED'in kullanılmasına nazaran akım darbelerinin genliği ilaveten \sqrt{n} kat yükseltilebilmektedir [8].

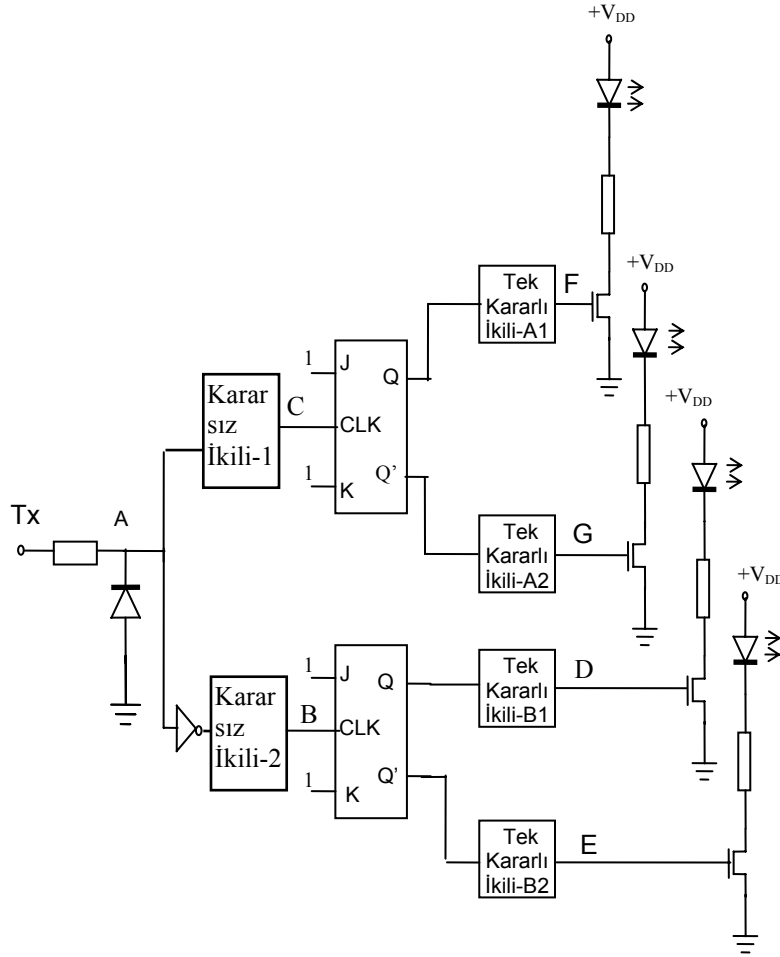
Şekil 5'te yukarıda bahsedilen devre tekniğini de içeren FSK optik modülatörü, Şekil 6.(a)'da ise bu modülatör devresinin çeşitli noktalarındaki sayısal işaretlerin birbirine bağlı olarak değişimini gösteren zamanlama diyagramı görülmektedir. Bu zamanlama diyagramı yardımıyla modülatör devresinin çalışması şu şekilde açıklanabilir: Haberleştirilecek her bir bilgisayarda birer modülatör ve demodülatör devresi bulunmaktadır ve bunlar aralarında ışık iletimi olabilecek şekilde yerleştirilmektedir. Modülatör

ve demodülatör devreleri bilgisayarın seri haberleşme birimi RS232C devresine uygun şekilde bağlı bulunmaktadır [9]. Gönderilecek olan veri seri birimin Tx ucundan modülatörün girişine uygulanır. Örnek olarak zamanlama diyagramındaki Tx değişiminde gösterilmiş olan 0 ve onu izleyen 1 şeklinde iki bitlik bir veri gönderilecek olsun. Tx girişindeki bu işaretin negatif kısmı modülatör girişindeki diyot ve dirençten oluşan kırpıcı devre ile kırılarak A noktasındaki değişim elde edilir. A noktasındaki bu işaret kararsız ikili-1 devresine doğrudan, kararsız ikili-2 devresine ise evrilerek uygulanmaktadır. Her iki kararsız ikili devresi girişlerindeki işaret lojik-1 seviyesinde olduğu sürece etkinleşmektedirler ve girişlerindeki işaretin yükselen kenarlarında darbe üretmeye başlayacak şekilde kendilerine atanmış olan frekansta titreşmektedirler. Buna göre A noktasındaki işaretin lojik-0 seviyesinde kararsız ikili-2 titreşerek B değişimini üretecek, A noktasındaki işaretin lojik-1 seviyesinde ise kararsız ikili-1 titreşerek C değişimini üretecektir. Kararsız ikililerin çıkışlarında tetiklenen ikili olarak çalışan birer JK-FF bulunmaktadır. Bunlar saat girişlerindeki darbelerin yükselen kenarlarında konum değiştirmektedirler. JK-FF'lerin çıkışlarında bulunan tek kararlı ikililer girişlerindeki her yükselen kenarda tetiklenerek kendilerine atanmış olan sürede bir darbe üretmektedirler. Tek kararlı ikili A-1 ve tek kararlı ikili A-2'nin ürettiği darbenin süresi kararsız ikili-1'in ürettiği darbelerin süresine, tek kararlı ikili B-1 ve tek kararlı ikili B-2'nini ürettiği darbenin süresi de kararsız ikili-2'nin ürettiği darbelerin süresine eşittir. JK-FF'ler her konum değiştirdiklerinde çıkışlarına bağlı tek kararlı ikilileri sırayla tetiklerler. Buna göre saat girişine B değişimi uygulanmış olan alttaki JK-FF, saat darbelerinin her yükselen kenarında konum değiştirerek çıkışlarındaki tek kararlı ikilileri tetikleyerek tek kararlı B-1'in çıkışında D, tek kararlı B-2'nin çıkışında E değişimlerini oluşturur. Benzer şekilde üstteki JK-FF'de saat girişindeki C değişimiyle konum değiştirerek çıkışlarındaki tek kararlı ikilileri sırayla tetiklemekte ve tek kararlı çıkışlarında F ve G değişimlerinin oluşmasına neden olmaktadır. Bu şekilde tek kararlı çıkışlarındaki sürücü anahtarlama devreleri ile LED'ler sırayla sürülmektedirler. Burada JK-FF'ler ile bunların çıkışlarında yer alan tek kararlı ikililer kullanılması suretiyle, JK-FF girişindeki saat darbelerinin herhangi bir senkronizasyona gerek kalmadan sırayla LED'leri sürececek şekilde bölüştürülmesi sağlanmaktadır.

Zamanlama diyagramında görülen D ve E işaretleri B değişiminin, F ve G işaretleri ise C değişiminin bölünmesiyle elde edilmişlerdir. Bu nedenle B ve C değişimlerinde $\sqrt{T/t_d} = \sqrt{2}$ iken D, E, F ve G değişimlerinde bu oran $\sqrt{4} = \sqrt{2}\sqrt{2}$ 'ye çıkmaktadır. JK-FF çıkışlarına Şekil 6.(b)'deki gibi birer JK-FF daha bağlanması durumunda ve bunların her birinin çıkışlarına birer tek kararlı ikili ve LED sürücü bağlanması durumunda bu oran $\sqrt{8} = \sqrt{4}\sqrt{2}$ 'ye çıkmaktadır. Buna göre LED akımı genliğinin, kullanılan LED sayısı n olmak üzere \sqrt{n} kat arttığı genellemesi yapılabilmektedir.

(1) bağıntısı darbe süresinin belli bir değerden küçük olması durumunda geçerlidir. Bu nedenle kararsız ikili devrelerinin frekansları yeterli büyüklükte seçilmelidir. Ayrıca bilgisayarın gönderdiği verinin hızı arttıkça kararsız ikililerin frekansları da buna uygun olarak arttırılmalıdır. Tek kararlı ikililerin darbe süreleri de bağlı oldukları kararsız ikililerin ürettiği darbelerin süresine eşit olmalıdır.

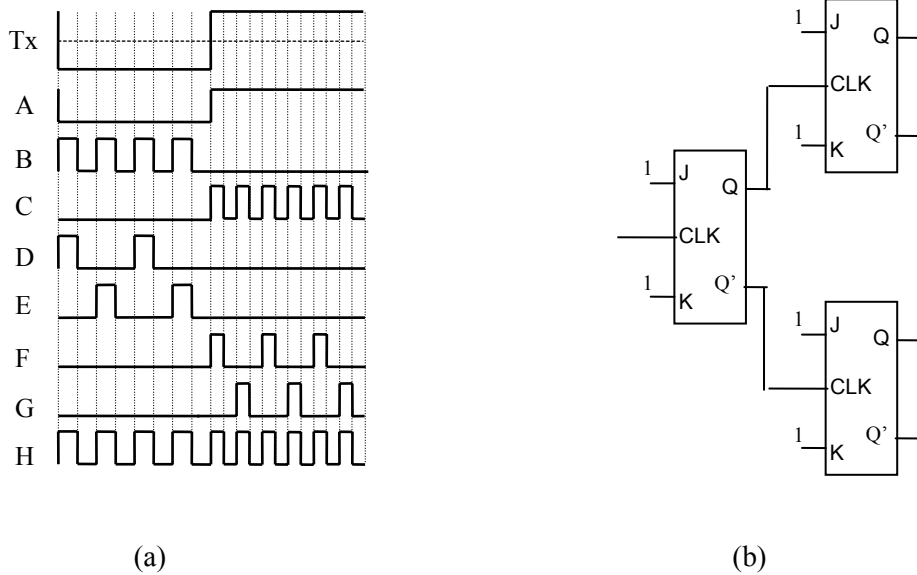
LED sürücü devreleri anahtarlama işlemi yapan bir MOSFET ve akım sınırlayıcı bir dirençten oluşmaktadır. Bilindiği gibi LED'in verdiği ışık şiddeti LED akımıyla orantılıdır. Anahtarlama devresiyle (1) bağıntısına göre belirlenmiş bir değerde akıtılan akım LED aracılığıyla ışık darbesine dönüştürülmektedir. Akım darbesinin genliği,



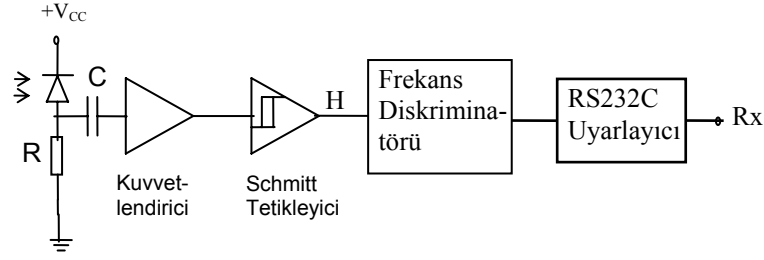
Şekil 5. FSK optik modülatörü.

besleme kaynağı, MOSFET'in doyma gerilimi ve LED üzerindeki gerilim düşümüne bağlı olarak akım yolu üzerindeki akım sınırlayıcı dirençle kolayca belirlenmektedir. LED sürücü devresinde transistör değil de MOSFET kullanılmasının sebebi MOSFET'in doyma geriliminin daha küçük olmasıdır. LED akımının çok artması durumunda akım kontrol elemanları üzerindeki doyma gerilimi çok artmaktadır. Bunun sonucunda istenilen yüksek değerdeki akımı elde etmek için besleme gerilimini çok arttırmak gerekmektedir. Besleme geriliminin çok yüksek değerler almasını önlemek için anahtar devre elemanı olarak bir güç MOSFET'i kullanılabilir. Güç MOSFET'inin burada kullanılmasının nedeni çok yüksek güçlerin kontrol edilmesi değil, doyma geriliminin küçük olmasıdır.

Alıcı devresinin girişinde fotodetektör olarak fotoiletken modunda çalışacak şekilde kutuplanmış fotodiyotlu bir devre bulunmaktadır (Şekil 7). Fotodetektör devresindeki R direnci ve C kapasitesinin değeri ve kuvvetlendiricinin kazancı, ortamdaki ışık kaynaklarının oluşturduğu fon gürültüsüne, dedekte edilebilecek minimum ışık şiddetine ve çarpan ışık darbesinin darbe süresine bağlı olarak belirlenmektedir [10,11,12]. Kuvvetlendiricinin çıkışındaki Schmitt Tetikleyici devresi, girişinde gürültüyle tetiklenmeyi önleyen bir histerezis aralığı sağladığı gibi çıkışında bir seviyeden diğer seviyeye geçişi hızlandırır. Schmitt Tetikleyici çıkışındaki lojik uyumlu değişim (zamanlama diyagramındaki H değişimi) frekans ayıracına uygulanmaktadır. Frekans ayırıcının çıkışındaki değişim zamanlama diyagramındaki A değişiminin (biraz gecikme ile), RS232C uyarlayıcı devrenin çıkışındaki değişim de zamanlama diyagramındaki Tx değişiminin (biraz gecikme ile) hemen hemen aynıdır.



Şekil 6. (a) Zamanlama diyagramı. (b) LED sayısını arttırmak için ilaveten JK-FF'lerin kullanılması.



Şekil 7. Alıcı devresi.

2.3 XR4151 Tümdevresiyle Optik Modem Tasarımı

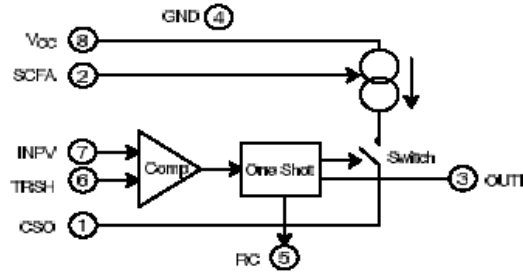
XR4151 elemanı, DC gerilimi kendisiyle orantılı darbe tekrar frekansına çevirmek için yani bir gerilim-frekans çevirici olarak çalışacak şekilde tasarlanmış basit ve ucuz bir elemandır. Bu eleman, ayrıca, giriş frekansını kendisiyle orantılı bir çıkış gerilimi elde etmek, yani frekans gerilime çevirmek için de kullanılabilir. XR4151, A/D ve D/A dönüşümü ve veri iletimi uygulamaları gibi bir çok uygulama için kullanılmaktadır.

XR4151 bir gerilimi frekansa dönüştürdüğünde çıkışında ürettiği darbeleri işaretin darbe süresiyle boşluk süresi birbirinden oldukça farklı yapılabilmektedir. Darbeleri işaretin değişim anlarının yani yükselen yada düşen kenarda tetikleminin söz konusu olduğu lojik devrelerde darbe süresinin boşluk süresinden farklı olması bir sorun yaratmamaktadır. Bu nedenle XR4151 lojik devrelerde sıkça kullanılmaktadır. Burada yapılan FSK optik modem uygulamasında ise XR4151'in ürettiği darbeleri işaretin darbe süresi ile boşluk süresinin çok farklı yapılabilmesi özelliğinden faydalanılmaktadır.

Şekil 8'de XR4151'in blok diyagramı görülmektedir. Blok diyagramındaki 5 numaralı uca bağlı bir RC devresi maksimum tam dalga frekansını belirler. 7 nolu uçtaki giriş gerilimi 6 nolu (genellikle akım kaynağı çıkışıyla (1 nolu uç) kontrol edilen) uçtaki gerilim ile karşılaştırılır. Frekans çıkışı 7 nolu uçtaki gerilim ile orantılıdır. Akım kaynağı akımı 2 nolu uçtaki direnç ile denetlenir. 3 nolu uç açık kolektörlü çıkış ucudur.

2.3.1 Gerilim-Frekans Çevirici

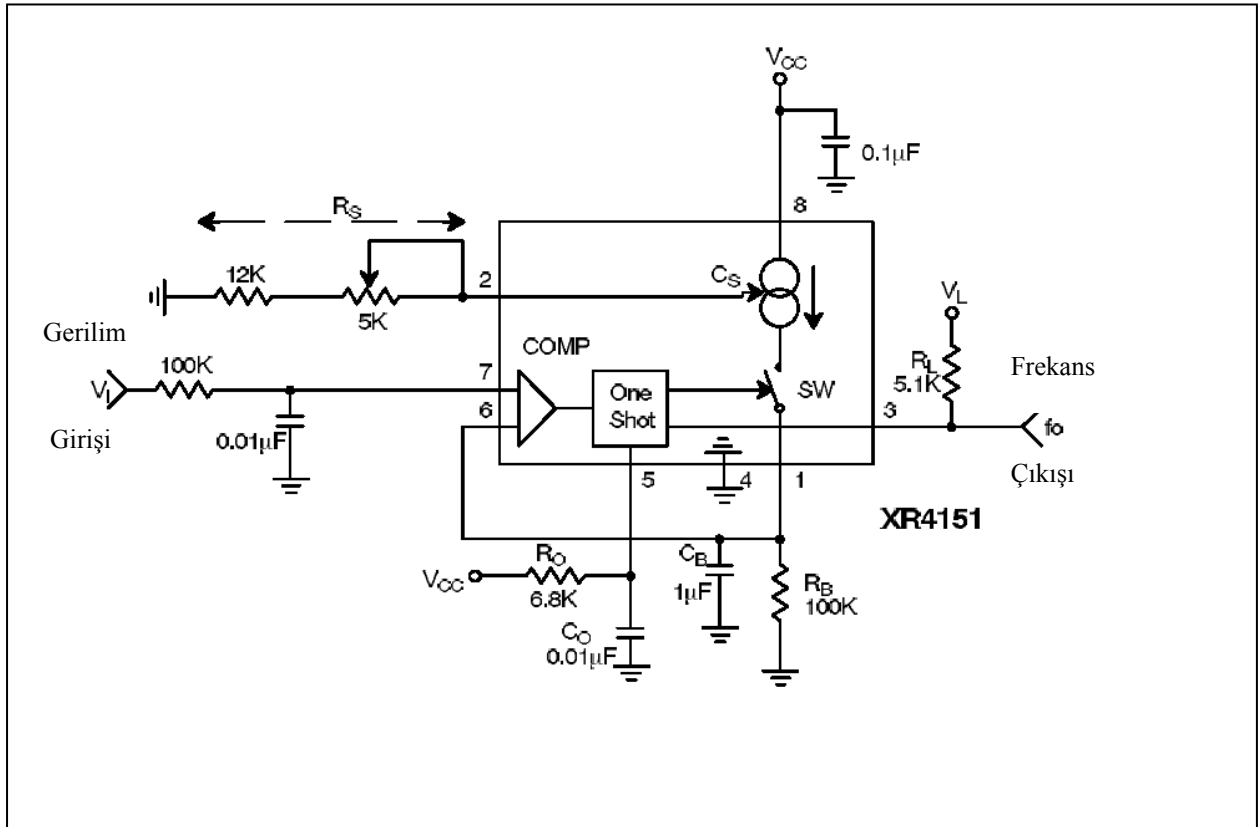
XR4151'in gerilim frekans çevirici (GFÇ) olarak kullanımına örnek bir devre Şekil 9'da görülmektedir. XR4151 bir gerilim karşılaştırıcı, bir tek atımlı, bir hassas anahtarlamalı akım kaynağı içerir. Gerilim karşılaştırıcı 7 nolu uçtaki pozitif giriş gerilimi ile 6 nolu uçtaki gerilimi karşılaştırır. Eğer giriş gerilimi daha büyükse karşılaştırıcı tek atımlıyı ateşler. Tek atım periyodu t_d süresince tümdevrenin lojik çıkışı düşük lojik seviyesinde durur ve bu esnada akım kaynağı anahtarlanarak 1 nolu uçtan akım akıtır. $t_d = 1.1R_0C_0$ ifadesiyle belirlenen tek atım süresi sonunda lojik çıkışı yüksek lojik seviyesine çıkar ve akım kaynağı akımı kesilir. Bu anda akım kaynağı $Q=I_0t_d$ miktarındaki yükü R_B-C_B devresine enjekte etmiş bulunmaktadır. Eğer bu yük 1 nolu uçtaki V_B gerilimini $V_B > V_i$ olacak kadar arttırmadıysa karşılaştırıcı tek atımlıyı tekrar ateşler ve akım kaynağı diğer bir Q yükünü R_B-C_B devresine enjekte eder. Bu işlem $V_B > V_i$ oluncaya kadar devam eder. Bu duruma ulaşıldığında, akım kaynağı kapalı durumda kalır (akım kaynağı akımı kesilir) ve V_B gerilimi tekrar V_i gerilimine eşit oluncaya kadar azalır. Bu anda bir periyot tamamlanmış olur. GFÇ bundan sonra sürekli durum modunda çalışır. Akım kaynağı C_B kondansatörünü $V_B \geq V_i$ olacak sürede yükler.



Şekil 8. XR4151 tümdevresinin blok diyagramı.

Şekil 10. (a)'da, sabit bir giriş gerilimi için ve sürekli durumda Şekil 9'daki GFÇ devresinin bazı noktalarındaki gerilimlerin zamana ve birbirlerine göre değişimleri görülmektedir. Şekil 9'daki V_i giriş gerilimi uygulandığında 7 nolu uçtaki bu giriş gerilimi 6 nolu uçtaki gerilimle tümdevre girişindeki karşılaştırıcı tarafından karşılaştırılır. 6 nolu uçtaki gerilim, 4151'deki akım kaynağının enjekte ettiği yüklerin R_B-C_B pasif integratör devresiyle toplanmasıyla oluşan gerilimdir. Burada bu gerilime V_B gerilimi adı verilmiştir ve Şekil 10.(a)'da bu gerilimin değişimi koyu çizgiyle gösterilmiştir (GFÇ'nin çıkış geriliminin değişimi ise normal çizgiyle gösterilmiştir). Başlangıçta (Şekil 10. (a)'daki $t=0$ anı) giriş gerilimi V_B 'den büyük olduğu için XR4151 içerisindeki tek atımlı tetiklenecektir. Tek atım periyodu boyunca içerideki SW anahtarı kapalı olacak ve üzerinden akım akıtacaktır. Bu süre zarfında 3 nolu

frekans çıkışı ucu lojik-0'da olacaktır. Akan akımın şiddeti devredeki R_S direnci ayarlanarak artırılabilir. Akan akım uç-1'e bağlı kondansatör üzerindeki V_B gerilimini artırır. Tek atım süresi sona erdiğinde (t_1 anı) akım kaynağına bağlı anahtar açılacaktır. Akım kesildiğinde C_B kondansatörü kendisine paralel gelen direnç üzerinden boşalacaktır. Bu esnada çıkış lojik-1 olacaktır. Kondansatör üzerindeki gerilim V_i geriliminin altına düştüğünde (T anı) tek atımlı tekrar tetiklenecek ve yukarıda anlatılan olay tekrar edip duracaktır.



Şekil 9. Gerilim-frekans çevirici.

Önceki paragrafta yapılan açıklamalar sürekli durum için geçerlidir. Sürekli duruma ulaşılmadan önceki geçici halde örneğin t_1 anında tek atım periyodunun sona erdiği anda V_B gerilimi hala giriş gerilimi V_i 'nin altında kalıyorsa $V_B > V_i$ oluncaya kadar tek atımlı tekrar tetiklenecektir. Bu geçici halde LED üzerinden fazla uzun süreli yüksek akım akmamasına dikkat edilmelidir.

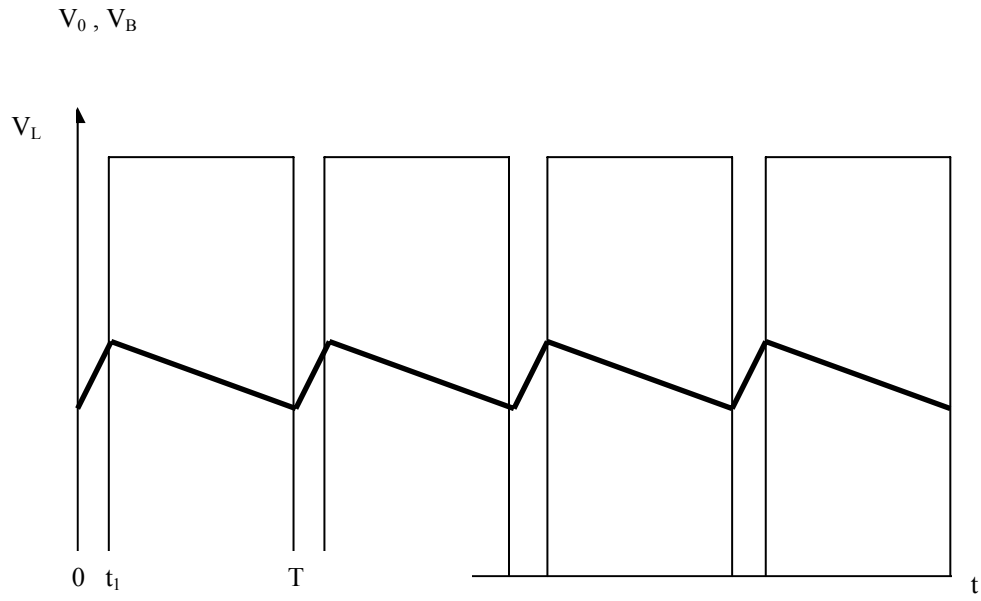
2.3.2 Frekans-Gerilim Çevirici

Şekil 11 tek beslemeli frekans gerilim çevirici (FGÇ) bağlantısını göstermektedir. İşaret uygulanmadığında 6 ve 7'nolu uçlara bağlı dirençli kutuplama devreleri giriş karşılaştırıcısını kapalı konumda tutar. 6 nolu uca negatife giden (ya da 7 nolu uca pozitif giden) darbe uygulandığı durumda tek atım devresi karşılaştırıcı tarafından ateşlenerek tek atım yapar. Doğru çalışma için, girişe uygulanan darbe genişliği, tek atımının $t_d = 1.1R_0C_0$ ifadesiyle belirlenen tek atım süresinden daha kısa olmalıdır. Girişteki bağlama kondansatörü ve kutuplamayı sağlayan dirençlerin oluşturduğu türev devresi, tek atımlıyı doğru olarak tetikleyecek uygun genlik ve süredeki darbeleri sağlar. Türev alıcı devresi ve kutuplama devresinin eleman değerleri, giriş darbelerinin farklı genliklerine ve farklı değişim hızlarına uygun olacak şekilde değiştirilebilir. R_B-C_B 'den meydana gelen pasif integratör devresi 1 nolu uç çıkışındaki akım darbelerini süzer. Daha az dalgalanma için C_B değeri artırılabilir. Süzölmüş olan bu gerilim FGÇ girişine gelen işaretin frekansıyla orantılıdır.

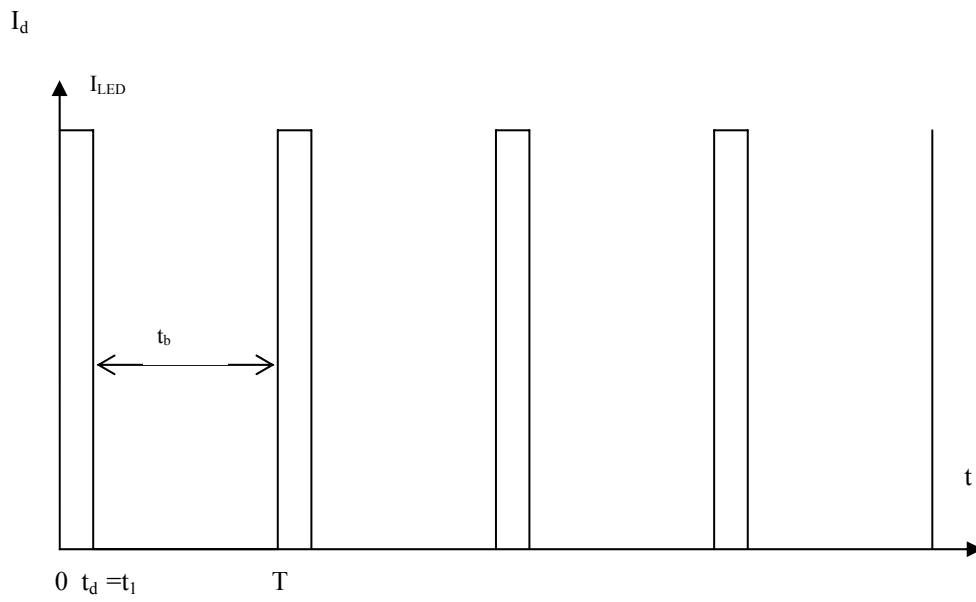
2.3.3 XR4151 ile Verici Devresi

Şekil 12'de XR4151 ile yapılan FSK optik MODEM'inin verici yani modülatör kısmı görülmektedir. Modülatör kısmı veri gönderen bilgisayarın RS232C seri birim çıkışındaki Tx verisini uygun şekilde modüle ederek FSK işareti oluşturur ve bu FSK işaretiyle bir LED'i sürerek LED'in ışık şiddetinin değişiminin FSK işareti biçiminde olmasını sağlar. FSK modülasyonlu ışık şiddeti değişimi, alıcı uçta bir fotodetektör aracılığıyla tekrar elektriksel işarete çevrilerek uygun bir demodülatör devresiyle demodüle edilecektir.

Şekil 12'deki verici devresinin girişindeki RS232C uyarlayıcı devresi, veri gönderen bilgisayar çıkışındaki pozitif ve negatif gerilim seviyelerinde değişen seri işaretin negatif değişim kısmını kırparak R_B direncinin girişine gelen lojik işaretin 0 volt ile bir pozitif gerilim seviyesi değerlerini almasını sağlar. RS232C çıkışındaki R_B direnci, transistör ve seri bağlı R_1 , R_2 ve R_3 dirençlerinden oluşan devre bir anahtarlamalı gerilim bölücü işlevini görmektedir. GFÇ devresi, FSK işaretini oluşturmak üzere lojik-1 ve lojik-0 gerilim seviyeleri için uygun iki frekansta işaret üretir. Her bir frekanslı titreşim için GFÇ girişine uygun değerde birer gerilim uygulanması gerekir. İşte anahtarlamalı gerilim bölücü devresi besleme geriliminden gerilim bölme ile sözkonusu iki gerilimi sağlamaktadır.



(a)



(b)

Şekil 10. (a) GFC devresinin bazı noktalarındaki işaretlerin değişimi. (b) (a)'daki değişimlere bağlı olarak LED'i süren akım darbelerinin değişimi.

RS232C uyarlayıcısı çıkışında 0V'luk gerilim seviyesi oluştuğunda transistör tıkamadadır. R_2+R_3 toplam direnci GFC girişinden görülen giriş direncinden çok daha küçük olacak şekilde seçildiğinden 0V gerilim seviyesi için GFC girişindeki gerilim:

$$V_{IL}=[V_{CC} \times (R_2+R_3)] / (R_1+R_2+R_3) \quad (12)$$

olacaktır. RS232C uyarlayıcısı çıkışındaki gerilim yüksek gerilim seviyesine (V_P) çıktığında transistör doymaya gidecek ve transistörün kolektör emetör gerilimi $V_{CE(SAT)}$ değerini, kolektör akımı ise I_C değerini alacaktır. Bu durumda $V_I=V_{IH}$ olmak üzere aşağıdaki bağıntılar yazılabilecektir;

$$R_1+R_2=[V_{CC}-V_{CE(SAT)}] / I_C \quad (13)$$

$$[R_2 / (R_1+R_2)] = [V_{IH}-V_{CE(SAT)}] / [V_{CC}-V_{CE(SAT)}] \quad (14)$$

Yukarıdaki üç ifadeden R_1 , R_2 ve R_3 dirençlerinin değerleri hesaplanabilir. Transistörün bazındaki direnç ise

$$R_B=[V_P-V_{BE(SAT)}] / I_B \quad (15)$$

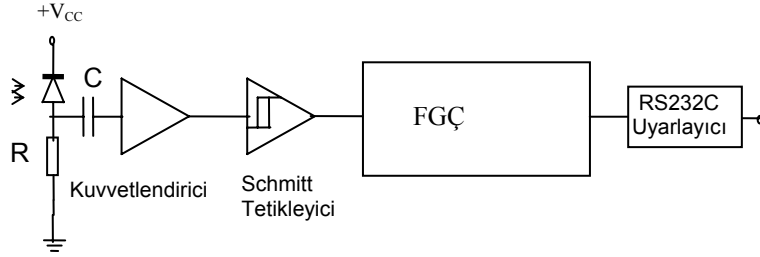
ifadesiyle bulunur. Son ifadede $I_B=I_C/h_{fe}$ 'dir.

LED sürücü devresindeki MOSFET'in girişinde yer alan evirici LED'den akacak akım darbelerinin [Şekil 10. \(b\)](#)'deki gibi kısa süreli akım darbeleri olmasını sağlamak içindir. [Şekil 10.\(a\)](#)'ya bakıldığında GFC çıkışındaki işaretin küçük süreli değişiminin işaretin lojik -0 seviyesi olduğu görülmektedir. MOSFET'in bu esnada sürülmesi yani LED'den bu esnada akım akıtılması için işaretin evrilmesi gerekmektedir. LED'den akıtılabilecek akım darbesinin genliği, FSK işaretinin yüksek frekanslı değişiminin darbe süresi (t_d) ile periyot süresine (T) eşitlik-1 ile bağlı olacaktır.

2.3.4 Alıcı Devresi

Alıcı devresinin blok şeması [Şekil 13](#)'te görülmektedir. Şekilden görüldüğü gibi, fotodedektörden elde edilen işaret kuvvetlendirildikten sonra bir Schmitt tetikleyiciye uygulanmaktadır. Darbeli çalışmada kısa süreli darbeler söz konusu olduğu için kullanılan kuvvetlendiricilerin değişim hızı (slew rate) yüksek değerde olmalıdır. Schmitt tetikleyici, girişinde oluşabilecek elektriksel gürültü ile tetiklenmeyi önleyen

bir histerezis aralığı sağladığı gibi, çıkışında bir lojik seviyeden diğer bir lojik seviyeye geçişi hızlandırır. FGÇ devresi yukarıda bahsedildiği gibi FSK işaretini demodüle etmektedir. Devrenin çıkışındaki RS232C uyarlayıcı devresi, FGÇ çıkışında elde edilen darbelerin genliklerini bilgisayarın seri veri iletişim birimi olan RS232C devresinin elektriksel seviyelerine uyarlar.



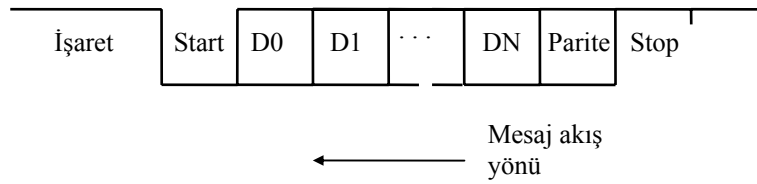
Şekil 13. XR4151 ile tasarlanan alıcı devresinin blok şeması.

2.4 Veri İletişimi

İki bilgisayarın RS232C seri birimleri üzerinden sayısal veri iletişimlerinin nasıl olduğunu kısaca açıklayabilmek için Şekil 14'te örnek olarak asenkron seri veri iletişimde kullanılan veri formatı gösterilmiştir. 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) iki seri birim birbirine bağlanabilir (boşluk MODEM'i). 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 [13].

Kızılötesi ışınlarla haberleştirilecek her bir bilgisayarın bir verici bir de alıcı devresi bulunacaktır. Her bir vericideki LED ile alıcıdaki fotodiyot ışık iletimini sağlayacak şekilde yerleştirilmelidir. Veri gönderilmediğinde Tx gerilimi işaret seviyesindedir. Bu durumda verici tarafından lojik-1 seviyesine ilişkin frekansta darbeleri üretilir. Bu darbeleri işaretin darbe süresi ile boşluk süresi yukarıda belirtildiği gibi verici devresinin çıkışındaki LED'i yüksek akım darbeleri ile sürecektir. Verici çıkışındaki LED sürücü devresi ile, LED'den yüksek genlikli akım darbeleri akıtılarak alıcıda

demodülasyon sonucu lojik-1 seviyesi olarak algılanacak frekansta ışık darbeleri gönderilir. Bu şekilde, veri gönderilmeye başlamadan önce iletim kanalının işaret seviyesinde bulunması şartı sağlanmış olur. Veri gönderilmeye başlandığında Tx'teki gerilim boşluk seviyesine geçer (başlatma biti). Bu durumda vericiden lojik-0'a ilişkin frekansta darbeli işaret üretilir ve lojik-0 frekansına ilişkin darbeler LED tarafından ışık darbelerine çevrilir. Benzer şekilde başlatma bitinden sonra gelen her bir yüksek ya da alçak seviyedeki darbeler için aynı şeyler tekrarlanır. Gönderilen bu işaretler, alıcıda demodüle edilerek sayısal veri tekrar elde edilir.



Şekil 14. Asenkron veri iletimi.

3. TARTIŞMA VE SONUÇ

Haberleşme uzaklığının artırılması ışık şiddetinin artırılmasıyla sağlanabileceği gibi fotoalıcı devrenin kazancının artırılmasıyla da sağlanabilir [14,15,16]. Mevcut kızılötesi veri iletimi 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.

Bazı optik modem uygulamalarında iletişim esnasında herhangi bir engelle bilgisayarlar arasında ışık iletimi kesildiğinde iletim kanalının yeniden oluşturulabilmesi için bir resetleme işlemi gerekmektedir [8]. Burada tasarımı yapılan FSK optik modemlerinde buna gerek olmamaktadır.

Yapılan Fourier analizi sonucunda frekans ayırıcının kullanıldığı modemde LED akımının genliğini fazla arttırmanın mümkün olmadığı görülmektedir. LED akımını arttırmak için darbe süresi periyot yanında küçük seçildiğinde frekans ayırıcı kullanarak demodülasyon yapmak zorlaşmaktadır. Çünkü frekans

ayırıcındaki bant geçiren süzgeçlerin çıkışlarındaki gerilimin genliği girişlerine gelen işaretin enerjisiyle orantılıdır. Bant geçiren süzgeçlerin girişine gelen işaretin darbe süresi periyodu yanında çok küçükse bant geçiren süzgeçler çıkışında yeterli genlikte işaret elde edilememektedir. Dolayısıyla darbe süresini periyot yanında çok küçük seçmek mümkün olmamaktadır. Bununla birlikte burada ilk olarak tasarlanan frekans ayırıcı kullanarak demodülasyonun yapıldığı modem devresinde LED sayısının artırılarak ışık şiddetinin ilaveten nasıl arttırılabildiği gösterilmiştir. 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 darbeli 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 arttırılabilmektedir. XR4151 tümdevresi kullanılarak tasarlanan modem devrelerinde ise darbe süresi periyot yanında çok küçük yapılabilmektedir. Frekans ayırıcındaki bant geçiren süzgeçler nedeniyle darbe süresinin çok küçük yapılamaması sorununun XR4151 tümdevresi kullanılarak nasıl aşıldığının görülmesi açısından iki farklı özgün modem tasarımının bir arada verilmesi önem arz etmektedir.

Her iki modem devresi için iki seviyeli bilgisayar işaretinin işaret ve boşluk seviyeleri için atanacak frekans değerleri uygun seçilmelidir. Demodülatörlerde işaret ve boşluk seviyelerinin birbirinden daha iyi ayırt edilebilmesi için ilgili seviyeler için atanmış olan frekans değerlerinin birbirinden yeteri kadar farklı olması gerekmektedir. Sözkonusu frekans değerleri arasındaki fark ne kadar fazla ise işaret ve boşluk seviyeleri o kadar kolay ayırt edilebilmektedir. Ayrıca demodülasyon işlemi sonucunda elde edilen darbeli işaretin darbe süresi ile boşluk süresi olabildiği kadar eşit olmalı yani demodülasyon işlemi sözkonusu sürelerin değerlerini değiştirmemelidir. Bu ise demodülasyon sonucunda elde edilecek işaretin bilgi değişim süresinin yani sıfır seviyesinden işaret seviyesine yada işaret seviyesinden boşluk seviyesine geçişin kısa sürede olmasını gerektirir.

İşaret ve boşluk seviyelerine atanacak frekans değerlerinin bilgisayarlar arasındaki veri iletim hızına da bağlı olacağı açıktır. LED'den daha fazla ışık şiddeti elde etmek için periyodun darbe süresine göre çok büyük seçilmesi gerekmektedir. Oysa veri hızı arttıkça atanmış olan frekansların değerleri artacağından periyot küçülecek ve buna bağlı olarak LED'den akacak akım darbesinin genliği azalacaktır. Demodülasyon yapılabilmesi için verinin "1" seviyesi ve "0" seviyesi için üretilen periyodik değişimlerin yeteri kadar tekrarı gerektiğinden atanacak frekans değerleri veri frekansından çok daha büyük olmalıdır. Bu nedenle veri hızı düşük seçilmek durumundadır. Mevcut FSK modülasyonu kullanan modemlerde veri

hızı 300 bps (saniyede 300 bit) kadar olabilmektedir. Yukarıda açıklanan nedenlerden dolayı FSK optik modemlerinde veri hızının en düşük değer olan 110 bps 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. Frekans ötelemeli anahtarlamanın kullanıldığı bir optik modem hız performansı analizi aşağıdaki şekilde yapılabilir:

FSK modülasyonu kullanan, telefon hattı üzerinden veri göndermek için tasarlanmış modemlerde, darbe ve boşluk seviyelerine atanmış frekans değerleri standarttır. Bu modemler telefon hattının 300-3400 Hz bant genişliğini kullanmak üzere tasarlanmışlardır ve kullandıkları frekanslar bu bant genişliği içindedir. Örneğin Bell 103 uyumlu modemlerde başlatan modem (haberleşmenin kaynaklandığı uçtaki modem) için atanmış olan frekanslar şu değerdedir: Gönderilen veri için boşluk frekansı 1070 Hz, işaret (lojik-1) frekansı 1270 Hz, alınan veri için boşluk seviyesi frekansı 2025 Hz, işaret seviyesi frekansı 2225 Hz. Bu modemlerde FSK işaretinin demodülasyonu modem tümdevresinin içindeki frekans ayırıcı ile yapılır. FSK modülasyonu kullanan modemler 300 bps veri hızlarına kadar çalışırlar. Buna göre, FSK ayırıcının boşluk seviyesini ayırt edebilmesi için gerçekleştirilen periyodik işaretin tekrar sayısı yaklaşık $2025\text{Hz}/300\text{bps}=6.75$ olmaktadır. Telefon hattı bant genişliğine göre tasarlanmış olan sözkonusu modem tümdevrelerini kullanarak serbest uzayda ışık ile veri aktarımı yapmak üzere optik modem tasarlandığında bu modemlerde kullanılan veri hızı ve frekans değerleri geçerli olacaktır. 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 7](#)'deki alıcı devresinin girişinde görülmektedir. Sözkonusu 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 FSK modülasyonu kullanan optik modemler arası iletişimin veri hızı alıcı devresindeki fotodedektörün hızı tarafından belirlenmiş olacaktır.

Fotodiyot, fotoiletken modunda çalışması için bir gerilim kaynağıyla tıkamada kutuplanır. Bilindiği gibi tıkamada kutuplanan bir diyodun jonksiyon kapasitesi tıkama gerilimi arttıkça azalır. 15V'luk bir tıkama geriliminde fotodiyodun jonksiyon kapasitesinin değeri yaklaşık 10pF kadar olmaktadır. Fotodiyottan

akan akımın değerine bağlı olarak fotodiyodun anodundaki gerilim değişeceğinden, fotodiyodu tıkamada kutuplayan gerilimin değeri de değişecektir. Burada yapılan hesaplamada bu gerilimin değişmediği, dolayısıyla jonksiyon kapasitesinin değerinin 10pF değerinde sabit kaldığı kabul edilecektir.

Şekil 7’deki devrede fotodiyodun anoduna bağlı olan bağlama kondansatörünün her iki yanında 47kΩ değerinde iki direnç bulunsun (girişteki kuvvetlendiricinin giriş direncinin 47kΩ olduğu ve kuvvetlendiricinin girişinden görülen kapasitenin etkisinin ihmal edilebilir olduğu kabul edilmektedir). Bu durumda jonksiyon kapasitesi 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 $f_u = 1 / (2\pi \times R_p C_p) = 1 / (6.28 \times 235 \times 10^{-9}) = 677.6kHz$ olur. Bu frekansın üzerindeki frekanslarda kazanç 20dB/dekat’lık eğimle düşecektir. Alıcı devresinin yüksek frekans kutbunun, girişindeki sözkonusu 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 artırılırsa kutup frekansının değeri yani devrenin hızı düşer. FSK işaretinde kullanılan en yüksek değerli frekansın yukarıda hesaplanan f_u olduğu kabul edilirse FSK modülasyonu ile optik olarak gönderilebilecek maksimum veri hızı hesaplanabilir. Alıcı uçta frekans ayırıcıyla demodüle edilebilmesi için periyodik işaretin tekrar sayısının Bell 103 uyumlu modemde olduğu gibi 6.75 olduğu kabul edilirse maksimum veri hızı $f_u / 6.75 = (677.6 \times 10^3) / 6.75 = 100385bps$ bulunur. Yaklaşık olarak veri hızı 100kbps olmaktadır.

Yukarıdaki basit açıklamalardan görüldüğü gibi veri hızı arttıkça fotodedektör devresinin kazancı düşmektedir. Dolayısıyla, veri hızı arttıkça dedekte edilebilir minimum işaretin genliği artarken haberleşme uzaklığı da azalmaktadır. Işık ile iletilen işaretin dedekte edilebilen genliğini ve iletişim uzaklığını belirleyen bir diğer etken, ortamda bulunan diğer ışık kaynaklarınınca üretilen ve fon gürültüsü olarak adlandırılan etkidir. Işıkla veri iletimi genellikle kızılötesi dalgaboyundaki 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 100 Hz’dir. Bu şekildeki istenmeyen işaretlerin fotodedektör tarafından süzülmesi gerekmektedir. Şekil 7’deki alıcı devresinin girişindeki bağlama kondansatörü ve onun her iki yanında görünen dirençlerle oluşan yüksek geçiren süzgeç bu amaçla kullanılabilir. Bell 103 uyumlu modem tümdevreleriyle gerçekleştirilmiş bir optik modemin alıcı devresindeki yüksek geçiren süzgecin kutup frekansı 1kHz seçilirse, 1070 Hz’lik elde edilmesi istenen işarete nazaran aydınlatma cihazlarından kaynaklanan 100 Hz frekansındaki gürültü işareti yaklaşık 10 kez zayıflatılmış olur. Böyle bir devreyle,

gürültü işaretinin frekansına nazaran dedekte edilmesi istenen işaretin frekansı ne oranda yüksek ise istenmeyen gürültünün o oranda zayıflatılması kolaylaşmış olur. Bu da veri hızını belirleyen bir etkidir. Fon gürültüsünü daha fazla zayıflatmak için daha yüksek mertebeden süzgeçler kullanılabilir.

XR4151 tümdevresiyle gerçekleştirilen optik modemde oluşturulan FSK işareti, darbe süresi boşluk süresinden kısa olan işaretin periyodik olarak belli bir sayıda tekrar edilmesiyle oluşmaktadır. Bu şekilde, yaklaşık olarak periyot süresinin darbe süresine oranın karekökü kadar darbenin genliği artırılabilir. Bu da aynı oranda vericideki LED'in ışık şiddetini artırma olanağını vermektedir. Ancak, fotodedektörün hızına bağlı olarak dedekte edilebilecek minimum bir darbe süresi vardır. Yukarıdaki açıklamalarda fotodedektörün hızının nelere bağlı olduğu belirtilmiş ve mevcut durumda fotodiyotlu bir fotodedektörle, FSK modülasyonu kullanarak maksimum ne değerde veri hızına ulaşılabildiği gösterilmiştir. Benzer bir inceleme XR4151 tümdevresiyle gerçekleştirilen optik modem için de yapılabilir.

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 $t_r = 2.2 R_p C_p = 2.2 \times 235ns = 517ns$ bulunur. Böyle bir fotodedektörde dedekte edilebilecek minimum darbe süresini yükselme süresinin on katı seçmek geçerli bir kuraldır [10, 12]. 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. Dedeksiyon işlemi için 10 tekrarın gerekli olduğu varsayılırsa, veri hızı $1/(10 \times T) = 1/(517 \times 10^{-6}) = 1.934kbps$ olarak hesaplanır. (Verinin diğer lojik seviyesi için atanacak frekansın değeri bundan yeteri kadar küçük olmalıdır.) Yani ulaşılabilecek maksimum veri hızı yaklaşık 2kbps olmaktadır. Daha fazla ışık şiddeti için T periyodu arttırılırsa veri hızı daha da düşer.

Demodülasyonun frekans ayırıcı ile yapıldığı ilk modem tasarımında veri hızı ve atanmış frekans değerlerine bağlı olarak kararsız ikili frekansları uygun seçilmelidir. Bilgisayarın gönderdiği verinin hızı arttıkça kararsız ikililerin frekansları da buna uygun olarak arttırılmalıdır. Tek kararlı ikililerin darbe süreleri de bağlı oldukları kararsız ikililerin ürettiği darbelerin süresine eşit olacak şekilde ayarlanmalıdır.

KAYNAKLAR

1. H. Taub, D. L. Schilling, Principles of Communication Systems, Second Edition. McGraw-Hill Book Company, (1986) 758.
2. P. Bhattacharya, Semiconductor Optoelectronic Devices, Second Edition. Prentice-Hall, (1997) 614.

3. D. Bradbury, Electronics World+Wireless World, (.1991) 911.
4. E. Öztürk, Doktora Tezi, U. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, (2000).
5. E. Öztürk, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 4 (1) (2002) 19.
6. E. Öztürk, Uludağ Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi, 8(1) (2003) 17.
7. A. V. Oppenheim, A. S. Willsky, I. T. Young, Signals and Systems, Prentice-Hall, (1983) 796.
8. E.Öztürk, S. E. Karlık, Kızılötesi Işınlarla Açık Optik Ortamda Bilgisayarlar Arası Veri İletimi Bursa 5. Bilgisayar-Haberleşme Sempozyumu, (1998) 104.
9. E. Öztürk, Uludağ Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi, 8(1) (2003) 11.
10. J. Watson, Optoelectronics, Van Nostrand Reinhold, (1988) 513.
11. J. Wilson, J. F. B Hawkes, Optoelektronik, Değişim Yayınları, Adapazarı, (2000) 518.
12. E.Öztürk, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 10(2) (2004) 221.
13. E. A. Nichols, J. C. Nichol, K.R. Musson, Data Communications for Microcomputers McGraw-Hill Book Company, (1982) 264.
14. Hickman, I., Reflections on optoelectronics, Electronics World+Wireless World, November 1995, 970, 1995.
15. I. Hickman, Electronics World+Wireless World, (1997) 466.
16. E.Öztürk, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 22(1-2) (2006) 83.