

FARKLI SPEKTRUMLU ÇOK LED'Lİ OPTOELEKTRONİK DÖNÜŞTÜRÜCÜ

Eldar MUSAYEV*

Özet: Farklı spektrumlu çok LED'li bir dönüştürücü geliştirilmiştir. Dönüştürücünün geliştirme prensipleri ve açık şeması verilmiştir. Dönüştürücünün çalışma prensibi açıklanmış ve devre elemanlarının değerlerinin seçilmesi verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Farklı Spektrum, Çok LED, Optoelektronik Dönüştürücü, Analiz.

An Optoelectronic Converter Containing Multiple LEDs of Different Spectra

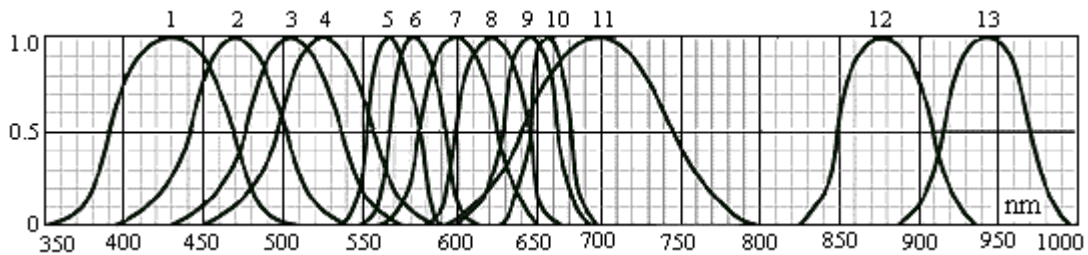
Abstract: A converter containing multiple LEDs of different spectra is developed. Development principles and the scheme of the converter are given. Operation principles of the converter are described and methods used in selecting the values of circuit devices are given.

Keywords: Different Spectrum, Multiple LEDs, Optoelectronic Converter, Analysis.

1. GİRİŞ

Günümüzde üretilen yarıiletken ışın vericiler (LED'ler ve lazerler) optik spektrumun görünür bölgesinden ($0,38\mu\text{m}$) kızılötesi bölgesine ($4,5\mu\text{m}$) kadar aralığı kapsamaktadır [1, 21-24, 26].

Yarıiletken ışın vericiler, küçük ebatlı, ışın şiddetleri akımla modüle edilebildiğinden ve spektrum karakteristikleri monokromatiğe yakın olduğundan çeşitli sensörlerde [4, 6, 11, 14, 16, 17, 19, 26-31], çeşitli analizatör, ölçüm ve test sistemlerinde [8, 9, 10, 12, 15, 18, 20-25], çeşitli malzemelerin ve ortamların spektroskopisinde (spectroscopy) [1, 2, 7, 13] ve biomedikal ölçümlerde [3,5] sıklıkla kullanılırlar. Yarıiletken ışın vericilerin spektrum karakteristikleri Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1:
Yarıiletken ışın vericilerin spektrum karakteristikleri.

Yarıiletken ışın vericilerin spektrum karakteristiklerini yapısında kullanılan malzemeler belirler [26]. Tablo 1'de, Şekil 1'de karakteristikleri gösterilen yarıiletken ışın vericilerin (LED'lerin) yapısında kullanılan yarıiletken malzemeler, spektrum karakteristiğinin maksimumdaki dalga boyu ve verdiği ışınların renkleri gösterilmiştir. 380nm dalga boyundan daha küçük ve 1000nm'den daha büyük dalga boylu ışın vericileri geliştirme aşamasındadır [1, 21-24, 26]. Yarıiletken ışın vericilerin gelişimi devam etmektedir. Yarıiletken ışın vericilerin böyle özelliklere sahip olması, bu ışın vericiler ile çok dalgalı dönüştürücülerin tasarımına olanaklar sağlamaktadır.

* Uludağ Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Elektronik Mühendisliği Bölümü, 16059, Görükle, Bursa.

Tablo 1.
Şekil 1'de karakteristikleri gösterilen yarıiletken ışın vericilerin (LED'lerin) yapısında kullanılan yarıiletken malzemeler, spektrum karakteristiğinin maksimumdaki dalga boyu ve verdiği ışınların renkleri

No	LED spektrumunun maksimumu, λ_p (nm)	LED ışığının rengi	LED'in yapısında kullanılan yarıiletken malzeme
1	430	Mavi (Ultra Blue)	GaN/SiC
2	470	Saf Mavi (Pure Blue)	InGaN/SiC
3	502	Yeşil (Ultra Green)	InGaN/SiC
4	523	Yeşil (Green)	InGaAl/SiC
5	568	Yeşil (Hi-Eff. Green)	GaP
6	585	Sarı (Yellow)	GaAsP/GaP
7	610	Portakal (Orange)	GaAsP/GaP
8	635	Kırmızı (Hi-Eff. Red)	GaAsP/GaP
9	655	Kırmızı (Red)	GaAsP/GaAs
10	660	Kırmızı (Ultra Red)	GaAlAs/GaAs
11	700	Kırmızı (BrightRed)	GaP
12	880	Kızılötesi (Infrared)	GaAlAs
13	940	Kızılötesi (Infrared)	GaAs/GaAs & GaAlAs/GaAs

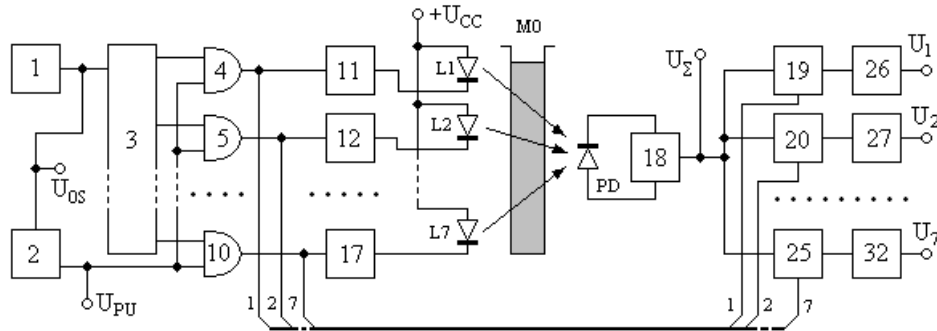
Gazların, sıvıların, katıların ve çeşitli karışımların özelliklerinin belirlenmesi ve testi gerekir. Bunun için çok dalgalı dönüştürücülere ihtiyaç vardır. Günümüzde bu tip ölçümler maliyeti yüksek olan spektrofotometreler ile yapılmaktadır. Spektrofotometre ile ölçüm yapılırken bir takım özel şartların sağlanması gerekmektedir [8, 12, 26]. Spektrofotometreler sadece laboratuvar şartlarında kullanılır ve endüstriyel ekspres analizde kullanımı zordur. Bundan dolayı maliyeti düşük, tasarımı kolay çok dalgalı dönüştürücülere ihtiyaç vardır.

2. ÇOK DALGALI (ÇOK IŞIN VERİCİLİ) DÖNÜŞTÜRÜCÜLERİN GELİŞTİRME PRENSİPLERİ

Tasarlanan çok dalgalı dönüştürücüler aşağıda sıralanan şartları sağlaması gerekir:

1. Işın verici sayısı kolayca seçilebilmesi
2. Aynı anda bütün ışın vericiler ile ölçüm yapılabilmesi
3. Orta seviyede elektronik bilgilere sahip araştırmacılar ile tasarlanabilmesi
4. Dönüştürücünün yapısı sık kullanılan ucuz elektronik komponentlerden oluşturulması

Bu şartları dikkate alarak bir dönüştürücü devresi geliştirilmiştir. Tasarlanan çok dalgalı dönüştürücünün blok şeması Şekil 2'de gösterilmiştir. Burada 1- osilatör, 2- kısa süreli darbe oluşturan devre, 3- sayıcı, 4-10- "VE" kapıları, 11-17- güç anahtarları, L_1 - L_7 - ışın vericiler, PD- fotodiyot, MO- ölçüm ortamı, 18- kuvvetlendirici, 19-25- analog anahtarlar, 26-32- darbeleri işaretin genliğini DC gerilime çeviren elektronik devre (tepe dedektörler – pik detektörler), U_{Σ} - toplam işaret, U_1 - U_7 - her bir ışın vericinin oluşturduğu işaretler, U_{OS} - osilatörün çıkış işareti, U_{PU} - süresi ayarlanabilen darbeleri işaretidir.

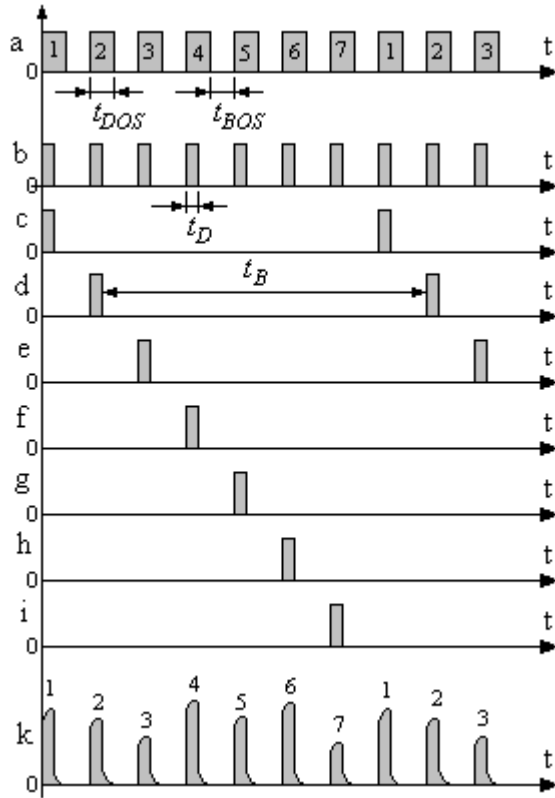


Şekil 2:
Çok dalgalı dönüştürücünün blok şeması.

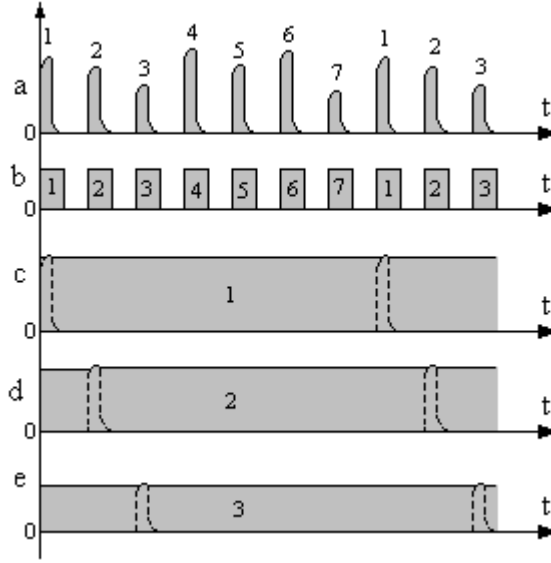
Dönüştürücü ışın verici ve fotoalıcı bölgelerinden oluşmaktadır. Işın verici bölgesinin çalışmasını açıklayan zaman diyagramları Şekil 3’de gösterilmiştir. Burada a- osilatörün çıkış işareti, b- gereken süreli darbeler oluşturan devrenin çıkışındaki işaret, c- birinci “VE” kapısının (4) çıkışında elde edilen işaret (L_1 LED’inin akımı da aynı şekildedir), d- ikinci “VE” kapısının (5) çıkışında elde edilen işaret (L_2 LED’inin akımı da aynı şekildedir), i- yedinci “VE” kapısının (10) çıkışında elde edilen işaret (L_7 LED’inin akımı da aynı şekildedir), k- fotoalıcının çıkışındaki toplam işaret, t_{DOS} – osilatörün çıkışında elde edilen darbelerin süresi, t_{BOS} - osilatörün çıkışında elde edilen darbelerin boşluk süresi. t_D - LED’ler üzerinden akıtılan akımların darbe süresi, t_B - LED’ler üzerinden akıtılan akımların boşluk süresidir.

Fotoalıcı bölgesinin çalışmasını açıklayan zaman diyagramları Şekil 4’de gösterilmiştir. Burada: a- fotoalıcının çıkışında elde edilen işaretler (her bir işaret üzerindeki rakamlar sırayla devreye giren LED’leri ifade etmektedir), b- osilatörün çıkışındaki işaret, c- birinci LED (L_1) ile oluşturulan işaret (U_1) birinci tepe dedektörünün (26) çıkışında elde edilen işaret, 2 ve 3- ikinci ve üçüncü tepe dedektörlerin çıkışında elde edilen işaretlerdir (U_2 ve U_3). Diğer çıkışlarda elde edilen işaretler aynı şekilde tekrarlanır ve diyagramlarda gösterilmemiştir.

Her bir LED’e farklı zamanlarda darbeleri akımlar verilir. LED’lerden yayılan farklı dalga boyundaki ışınlar ortamdan geçerek fotoalıcı (fotodiyot) ile algılanır ve fotosinyale dönüştürülür. Bu fotosinyal bir kuvvetlendirici ile kuvvetlendirilir ve kuvvetlendiricinin çıkışında toplam işaret elde edilir. Kuvvetlendiricinin çıkışında, her bir LED’in oluşturduğu işaret osiloskop ile izlenebilir. Bu toplam işaret ışın verici tarafından kontrol edilen analog anahtarlara verilir ve gerilim seviyesine dönüştürülür. Çıkışta U_1 - U_7 gerilimleri elde edilir. Bu gerilimler her bir LED’in oluşturduğu işaretlerdir. Burada bütün LED’lerin oluşturduğu toplam işaret (U_2) ve her bir LED’in oluşturduğu işaretler aynı anda izlenebilir.



Şekil 3:
Işın verici bölgesinin çalışmasını açıklayan zaman diyagramları.



Şekil 4:

Fotoalıcı bölgesinin çalışmasını açıklayan zaman diyagramları.

Osilatörün frekansını belirlemek için öncelikle devrede kullanılan fotoalıcının yükselme t_r ve düşme t_f süreleri bilinmesi gerekir. Fotoalıcının yükselme ve düşme süreleri biliniyorsa osilatörün ürettiği işaretin darbe süresi,

$$t_{DOS} = 3(t_r + t_f) \quad (1)$$

şeklinde seçilebilir. (Bu darbe süresi için osilatör devresinin analizi yapılır). $t_D < t_{DOS}$ olduğunu dikkate alarak darbeler arasındaki boşluk süresi en az darbe süresi kadar olmalıdır. Darbelerin birbirlerini etkilememesi için

$$t_{BOS} = t_{DOS} = 3(t_r + t_f) \quad (2)$$

olmalıdır. Buradan osilatörün frekansı,

$$f = \frac{1}{t_{BOS} + t_{DOS}} = \frac{1}{6(t_r + t_f)} \quad (3)$$

olur. İstenen darbe süresinde işaret üreten devrenin çıkışındaki darbelerin süresi osilatörün ürettiği işaretin darbe süresinden küçüktür ($t_D < t_{DOS}$).

Her bir LED üzerinden akan darbeleri akımın ortalama değerini hesaplamak için LED sayısı (n) bilinmelidir. LED sayısı belli ise her bir LED üzerinden akan darbeleri akımın ortalama değeri,

$$I_{AVG} = I_m \frac{t_D}{(n-1)(t_{BOS} + t_{DOS})} \quad (4)$$

şeklinde olur. Burada I_m - darbeleri akımın maksimum değeri, n ise LED sayısıdır. (2) eşitliğini dikkate alarak her bir LED'den akan ortalama akımı,

$$I_{AVG} = I_m \frac{t_D}{(n-1)6(t_r + t_f)} \quad (5)$$

şeklinde ifade edilebilir. Ortalama akımı, LED'in ileri yöndeki akımına eşit olduğunu kabul ederek LED'den akıtılabilecek darbeleri akımın maksimum değeri

$$I_m = I_F \frac{6(n-1)(t_r + t_f)}{t_D} \quad (6)$$

şeklinde bulunabilir.

3. ÇOK DALGALI DÖNÜŞTÜRÜCÜNÜN GELİŞTİRİLMESİ

Öncelikle dönüştürücünün kapsama bölgesi seçilmelidir. Örneğin optik spektrumun görünür bölgesi seçilmişse Tablo 1’de 1 ile 11 numaraları arasındaki LED’ler kullanılabilir. Daha sonra seçilen optik spektrumun seçilen bölgesine duyarlı bir fotoalıcı seçilir. Görünür bölge için BPW-21 tipi bir fotodiyot seçilebilir. Tablo 2’de bu fotodiyodun önemli parametreleri verilmiştir.

Tablo 2.
BPW-21 fotodiyodun önemli parametreleri.

Tipi	Spektrumunun genişliği	Spektrumun maksimumu	Işığa duyarlı yüzeyi	Fotoakımın yükselme ve düşme süreleri
BPW21	350nm-820nm	550nm	7,34mm ²	1,5µs

Fotodiyodun yükselme ve düşme parametrelerine göre darbelerin minimum süresi seçilir. Burada darbe süresi $t_{DOS} = 8\mu s$ olarak seçilmiştir. LED sayısı $n=7$ alınarak LED üzerinden akan darbeleri akımın boşluk süresi ($t_{DOS} = t_{BOS}$ eşitliğini dikkate alarak)

$$t_B = (n-1)(t_{BOS} + t_{DOS}) = 96\mu s \quad (7)$$

olur. Her bir LED üzerinden akan darbeleri akımın maksimum değeri,

$$I_{max} = I_F \frac{(n-1)(t_{DOS} + t_{BOS}) + t_D}{t_D} \quad (8)$$

şeklinde bulunabilir. Darbe süresi t_D , $t_D < t_{DOS}$ şartına uygun seçilirse, örneğin $t_D = 5\mu s$ olarak seçilirse darbeleri akımın maksimum değeri,

$$I_{max} = I_F \frac{(7-1)(8\mu s + 8\mu s) + 5\mu s}{5\mu s} \cong 20I_F \quad (9)$$

olur. LED’lere seri bağlanmış akım belirleyici dirençlerin değerleri, her bir LED’in fotoalıcıda oluşturduğu fotosinyaller birbirine eşit olacak şekilde seçilir. Besleme gerilimini $U_{CC}=12V$ olarak ve LED’leri anahtarlayan anahtarlar üzerindeki gerilim düşümünü ihmal ederek, akım belirleyici dirençlerin değeri,

$$R_L = \frac{U_{CC} - U_F}{I_{max}} \quad (10)$$

şeklinde bulunabilir.

Dönüştürücünün şeması günümüzde sıklıkla kullanılan ucuz malzemeler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 5’de çok dalgalı dönüştürücünün şeması gösterilmiştir.

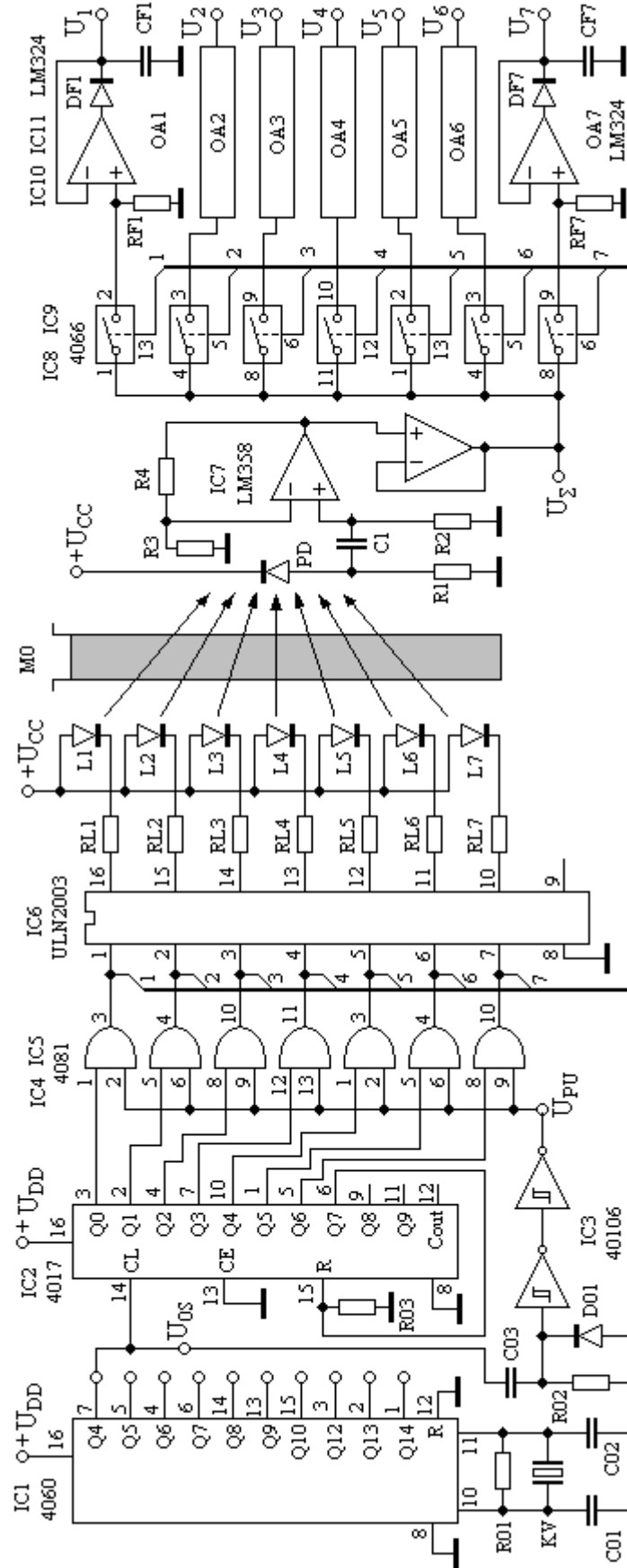
Osilatör olarak 4060 tipi entegre kullanılmıştır. Üretilen darbelerin kararlı olması için frekans belirleyici olarak kuvars osilatör kullanılmıştır. Osilatörün çıkışında istenen frekansta darbeler elde edilir ve gereken parametrede darbeler seçilebilir. Tablo 3’de 4060 entegresinin çıkışlarındaki darbelerin parametreleri verilmiştir.

Devrede $R01=10M\Omega$, kuvars kristalinin frekansı $f_0=3276,8kHz$, $C01=C02=27pF$ olarak seçilmiştir.

Sayıcı olarak 4017 entegresi (IC2) ve gerekli darbe süresini elde etmek için ise 40106 entegresi (IC3) kullanılmıştır.

C03 ve R02 elemanlarının değerleri istenen darbe süresine göre seçilir. “VE” kapısı olarak 4081 entegresi kullanılmıştır.

Güç anahtarı olarak ULN2003 tipi entegre kullanılmıştır. Tablo 4’de bu entegrenin önemli parametreleri verilmiştir.



Şekil 5:
Çok dalgalı dönüştürücünün şeması.

Tablo 3.
4060 entegresinin çıkış parametreleri.

Q ₀ =3276,8kHz				
Pin		f _{os} , (kHz)	T,(μs)	t _{dos} = t _{bos} ,(μs)
7	Q ₄	204,8	4,8828125	2,44140625
5	Q ₅	102,4	9,765625	4,8828125
4	Q ₆	51,2	19,53125	9,765625
6	Q ₇	25,6	39,0625	19,53125
14	Q ₈	12,8	78,125	39,0625
13	Q ₉	6,4	156,25	78,125
15	Q ₁₀	3,2	312,5	156,25
1	Q ₁₂	0,8	1250	625
2	Q ₁₃	0,4	2500	1250
3	Q ₁₄	0,2	5000	2500

Fotosinyali kuvvetlendirme için LM358 tipi op-amp kullanılmıştır. Kuvvetlendiricinin kazancını belirleyen R₃ ve R₄ dirençlerinin değerleri fotosinyalin seviyesine göre seçilir.

Analog anahtar olarak 4066 entegresi kullanılmıştır. Tepe detektörler LM324 entegresi kullanılarak tasarlanmıştır. Tepe detektörün yapısında kullanılan DF1-DF7 diyotları 1N4148 tipi diyotlardır. CF1-CF7 kondansatörlerinin değerleri ise darbe ve boşluk sürelerine göre belirlenir.

Dönüştürücü tasarlanır iken, devrede kullanılan entegrelerin boşta kalan (kullanılmayan) bacaklar giriş ise toprak ucuna bağlanması gerekir

Dönüştürücüde farklı dalga boylu ışınların ölçülen ortamdan geçmesi aynı anda izlenebilir (U_Σ) ve seviye olarak ayrı ayrı izlenebilir (U₁-U₇).

Dönüştürücü gazların, sıvıların, çeşitli karışımların ve seçilen optik bölgede şeffaf olan çeşitli malzemelerin analizinde kullanılabilir.

Tablo 4.
ULN2003 entegresinin önemli parametreleri.

Çıkış Akımı	Akım Kazancı	İletime geçme Süresi	Kesime Gitme Süresi	Çıkış geriliminin maksimum değeri
500mA	1000	0,25μs	0,25μs	50V

4. SONUÇLAR

Çok dalgalı (çok LED'li) optik sistemlerin geliştirme prensipleri açıklanmıştır. Çok LED'li sistemin geliştirilmesi ve dönüştürme olayı zaman diyagramları ile açıklanmıştır. Gerekli LED'lerin seçilmesi için günümüzde sık kullanılan LED'lerin spektrum karakteristikleri ve önemli parametreleri verilmiştir. Dönüştürücünün açık şeması geliştirilmiş ve devre elemanlarının değerlerinin seçilmesi açıklanmıştır. Dönüştürücünün kullanım alanları gösterilmiştir.

5. KAYNAKLAR

1. Beniamino Barbieri, Ewald Terpetschnig, David M. Jameson (2005) Frequency-domain Xuoescence spectroscopy using 280-nm and 300-nm light-emitting diodes: Measurement of proteins and protein-related Xuoorphores, *Analytical Biochemistry*, 344, 298-300.
2. Jouko Malinen, Markku Kansakoski, Raimo Rikola, Colin G. Edison (1998) LED-based NIR spectrometer module for hand-held and process analyser applications, *Sensors and Actuators*, B, 51,220-224.

3. Andrew Rys, Tadeusz Piotrowski, Radoslaw Sobczynski (1998) Light emitting diode arrays for consumer and medical applications, *Materials Science and Engineering*, B, 51, 90-93.
4. G. Durry, N. Amarouche, V. Zéninari, B. Parvitte, T. Lebarbu, J. Ovarlez (2004) In situ sensing of the middle atmosphere with balloon borne near-infrared laser diodes, *Spectrochimica Acta*, Part A, 60, 3371-3379.
5. Setsuo Takatani, Hiroyuki Noda, Hisateru Takano, and Tetsuzo Akutsu, A Miniature (1988) Hybrid Reflection Type Optical Sensor for Measurement of Hemoglobin Content and Oxygen Saturation of Whole Blood, *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, Vol. 35, No. 3, 187-198.
6. Eun Jeong Cho, Frank V. Bright (2002) Integrated chemical sensor array platform based on a light emitting diode, xerogel-derived sensor elements, and high-speed pin printing, *Analytica Chimica Acta*, 470, 101-110.
7. Purnendu K. Dasgupta., In-Yong Eom, Kavin J. Morris, Jianzhong Li (2003) Light emitting diode-based detectors Absorbance, fluorescence and spectroelectrochemical, measurements in a planar flow- through cell, *Analytica Chimica Acta*, 500, 337-364.
8. Kuswandi B., Taib M.N., Narayanaswamy R. (1999) A new solid state instrument for optical toxic metal ions sensing, *Sensors and Actuators*, 76, 183-190.
9. Chaudhari A.L., Shaligram A.D. (2002) Multi-wavelength optical fiber liquid refractometry based on intensity modulation, *Sensors and Actuators*, A, 100, 160-164.
10. Qingyang Li, Kavin J. Morris, Purnendu K. Dasgupta, Ivo M. Raimundo Jr., Henryk Temkin (2003) Portable flow-injection analyzer with liquid-core waveguide based fluorescence, luminescence, and long path length absorbance detector, *Analytica Chimica Acta*, 479, 151-165.
11. Akrajas Muhamad Mat Salleh, Muhammad Yahaya (2002) Enriching the selectivity of metalloporphyrins chemical sensor by means of optical technique, *Sensors and Actuators*, B, 85, 191-196.
12. Abdul Rahim R., Chan K.S., Pang J.F., Leong L.C. (2005) A hardware development for optical tomography system using switch mode fan beam projection, *Sensors and Actuators*, A, 120, 277-290.
13. Shimazaki Y., Watanabe S., Takahashi M. and Iwatsuki M. (2000) A Portable Spectrophotometer Using a White-Color Light-Emitting Diode and a Charge-Coupled Device and Application to On-Site Determination of Iron, *The Japan Society for Analytical Chemistry*, Analytical Sciences, Vol. 16, 1091-1093.
14. Suzuki Y., Hori Y., Iwatsuki M., Yamane T. (2003) A Four Wavelength Channel Absorbance Detector with a Light-Emitting Diode-Fiber Optics Assembly for Simplifying the Flow-Injection Analysis System, *The Japan Society for Analytical Chemistry*, Analytical Sciences, Vol. 19, 1025-1028.
15. Krier A. and Sherstnev V. V. (2000) Powerful interface light emitting diodes for methane gas detection, *J. Phys., D: Appl. Phys.*, 33, 101-106.
16. Otto S. Wolfbeis, Nena V. Rodriguez, Tobias Werner (1992) LED-compatible fluorosensor for measurement of near-neutral pH values, *Microchimica Acta* (Historical Archive), Volume 108, Issue 3-6, 133-141.
17. Taha M. A. Razek, Michael J. Miller, Saad S.M. Hassan, Mark A. Arnold (1999) Optical sensor for sulfur dioxide based on fluorescence quenching, *Talanta*, 50, 491-498.
18. King Tong Lau, Susan Baldwin, Roderick L. Shepherd, Paul H. Dietz, William. S. Yezunis, Dermot Diamond (2004) Novel fused-LEDs devices as optical sensors for colorimetric analysis, *Talanta*, 63, 167-173.
19. Kumar Suresh P., Lee Thomas S., Vallabhan C.P.G., Nampoori V.P.N., Radhakrishnan P. (2002) Design and development of an LED based fiber optic evanescent wave sensor for simultaneous detection of chromium and nitrite traces in water, *Optics Communications*, 214, 25-30.
20. Yun-Su Lee, Byung-Su Joo, Nak-Jin Choi, Jeong-Ok Lim, Jeung-Soo Huh, Duk-Dong Lee (2003) Visible optical sensing of ammonia based on polyaniline film, *Sensors and Actuators*, B, 93, 148-152.
21. Matveev B., Aidaraliev M., Gavrilov G., Zotova N., Karandashov S., Sotnikova G., Stus N., Talalakin G., Ilin-skaya N., Aleksandrov S. (1998) Room temperature InAs photodiode-InGaAs LED pairs for methane detection in the mid-IR, *Sensors and Actuators*, B, 51, 233-237.
22. Matveev B.A., Gavrilov G.A., Evstropov V.V., Zotova N.V., Karandashov S.A., Sotnikova G.Yu., Stus N.M., Talalakin G.N., Malinen J. (1997) Mid-infrared (3-5 μm) LEDs as sources for gas and liquid sensors, *Sensors and Actuators*, B, 38-39, 339-343.
23. Parry M.K. and Krier A. (1994) Efficient 3.3 μm light emitting diodes for detecting methane gas at room temperature, *Electronics Letters*, Vol. 30, No. 23, 1968-1969.
24. Gao H. H., Krier A, Sherstnev V. and Yakovlev Y. (1999) InAsSb/InAsSbP light emitting diodes for the detection of CO and CO₂ at room temperature, *J. Phys., D: Appl. Phys.*, 32, 1768-1772.
25. Mark G. Allen (1998) Diode Laser Absorption Sensors For Gas Dynamic and Combustion Flows, *Measurement Science and Technology*, 9(4), 545-562.

26. Мусаев Э.С. (2004) Оптоэлектронные устройства на полупроводниковых излучателях, Радио и связь. Москва., 204 с.
27. Musayev E. (2006) Conversion Method and System, *Sensors and Actuators*, A, Elsevier, 125, 234-241.
28. Musayev E. (2006) Optoelectronic Step Counter, *IEE Proc. Optoelectronics*, 153(2), 47-50.
29. Musayev E. (2005) Optoelectronic Nondestructive Testing Techniques of Cocoon Properties and Applications, *NDT And E International*, 38, 59-68.
30. Musayev E. (2004) An Optoelectronic Defect Detection Method and System Insensitive to Yarn Speed, *Journal of Optics*, A: Pure and Applied Optics, 6, 721-724.
31. Musayev E. and Karlik S. (2003) A novel liquid level detection method and its implementation, *Sensors and Actuators*, A, Vol.109, Issues 1-2, 21-24.

Makale 13.02.2007 tarihinde alınmış, 26.04.2007 tarihinde düzeltilmiş, 27.04.2007 tarihinde kabul edilmiştir. İletişim Yazarı: E. Musayev (eldar@uludag.edu.tr).