

FİBER OPTİK İLETİŞİM

Gürhan ŞAPLAĞOĞLU (•)
Ayhan ALTINTAŞ (*)

1. GİRİŞ

Optik iletişimin başlangıcı olarak genellikle lazerin bulunması alınır. Ancak, insanoğlu optik iletişimi elektronikten de önce kullanıyordu. Deniz fenerlerinin kullanımı, ya da kızıldillerilerin dumanla haberleşme yöntemleri bugünkü optik iletişim ile oldukça benzerlik gösterir.

1960larda lazer bir laboratuvar araştırması olmaktan çıkıp, çeşitli aygıt ve sistemlerde kullanılabilir hale getirildiyse de daha çok fizikçilerin ve malzeme bilimcilerin ilgilendiği bir konu olarak kaldı, elektronik ve iletişim mühendislerinin yakın ilgi alanına girmedi. Elektronik ve iletişim mühendisleri böyle düzenli bir ışık kaynağının iletişime katkısı olabileceğini biliyorlardı, ancak bu ışığı uzak mesafelere taşıyacak yeterlikte saydam bir ortamdan yoksundular. Bu durum 1971'lerde ham madesi cam olan bir optik fiberin 20dB/km kayıpta üretilmesine kadar devam etti. Ne olduysa bundan sonra oldu ve iletişim alanında neredeyse bir devrim sayılabilecek olaylar son 20 yılda gelişti.

Fiber optik iletişimde en temel değişiklik, kanalın çok büyük bant ge-

nişliğine [$\sim 10^{13}$ Hz] sahip olmasıdır. Bu ise optik kanallarda sıkıştırma ve/veya kodlama yapılmadan doğrudan veri iletişimi yapılmasını mümkün kılmaktadır. Bu yüksek kapasitenin getirdiği diğer önemli bir nokta da optik fiberle iletişimde darboğazın alıcı ve vericilerdeki elektronikte toplanmış olduğudur.

Biz bu yazıda yüzeysel olarak fiber optik iletişim hakkında bilgi verecek ve teknolojinin hangi düzeyde olduğunu iletmeye çalışacağız.

2. FİBER OPTİK İLETİŞİMDE KULLANILAN BAŞLICA BİLEŞENLER

2.1. Optik Fiber

Bir optik fiber iç içe iki cam katmanından oluşur, içteki katmana öz, dışardakine ise giydirme (*cladding*) denir. Giydirme katmanının çapı yaklaşık olarak 125 μ m civarındadır. Bu kalınlık bir insan saçı kalınlığı kadardır, ilk üretilen optik fiberler çok modlu diye tabir edilen türdendi ve bunlarda öz katmanının çapı 50

(μ m civarında idi. Böyle bir fiberde ışık, iç katman ile dış katman ara-

sındaki yüzeye çarparak zikzak bir yol izler. Bu durumda bazı ışık ışınları diğerlerine göre daha çok sayıda yansıma yaparlar, bu da darbe şeklindeki bir işaretin fiber içinde ilerledikçe serpinime uğramasına neden olur. Bu durumu azaltmanın bir yolu, iç katmanın çapını azaltarak değişik ışınlar arasındaki yol farkını kısaltmaktır. Bu çeşit optik fiberlere tek modlu fiberler denilmekte ve bu fiberlerde öz bölgesinin çapı 8-10 μ m civarında olmaktadır. Bugün iletişimde hemen hemen tamamen bu tip optik fiberler kullanılmaktadır. Uluslararası bir standart organizasyonu olan CCITT de çok modlu ve tek modlu fiberleri standartlaştırmıştır⁽¹⁾. Bu fiberler, kullanım için önce koruyucu bir ceketle kaplanmakta ve daha sonra bir kablo haline getirilmektedir. Kablolama sırasında fiberler çeşitli plastik ve polietilen türü kimyasal maddelerle desteklenip korunmaktadır. Kablo içine yine koruyucu amaçlarla çelik, alüminyum ya da bakır tel veya şeritler de yerleştirilmektedir. Bir kablodaki optik fiber sayısı ihtiyaca göre değişmekte ve bu sayı bazı durumlarda 200'e kadar çıkmaktadır. Daha sonra bu kablolar ya havadan asılarak ya da toprağa gömülerek (doğrudan ya da künkler içinde) kullanılmaktadır. Denizaltına da bu kabloları yerleştirmek mümkündür. Şu anda Atlantik'i geçen optik fiber kablo (TAT-8) aynı anda yaklaşık 8000 telefon konuşmasına izin verebilmektedir⁽²⁾.

Optik fiberin daha önce kullanılan bakır kablo veya mikrodalga iletişimine karşı en önemli avantajı daha çok kanal kapasitesine sahip olmasıdır. Bir bakır kabloda aynı anda sayısal olarak 50-100 telefon görüşmesi yapılabilirken, mikrodalga iletişiminde bu rakam 1000-2000 civarındadır. Oysa ki optik fiberde şu anda 1.7 Gbit/sn hızında çalışan sistemler mevcuttur ve bu da yaklaşık 24.000 kanal kapasitesi demektir. Teorik olarak bu kapasitenin milyonlar mertebesine çıkarılması mümkündür. Bir diğer avantaj ise fiberin kayıplarının bugün çok düşük bir seviyeye indirilmiş olmasıdır. Fiberde en düşük kayıp 1.55 μ m dalga boyundadır. Bir yerel minimum da

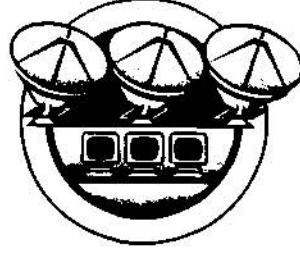
(*) Bilkent Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü

1.3 μm civarında bulunur. Bugün 1.3 μm daha çok kullanılmakla birlikte 1.55 μm bölgesi gittikçe daha popüler olmaktadır. Halen 0.15 dB/km kaybında fiberler üretilmekte ve bu saydamlıktaki fiberlerde aşağı yukarı 200-250 km. mesafede ışık yolanmakta ve alınabilmektedir.

2.2. Fotodiyotlar

Fiber optik alıcılarının hemen hepsinde ters gerilim uygulanmış fotodiyotlar kullanılmaktadır. Bir fotodiyodun normal bir diyottan tek farkı üzerine ışık düştüğünde içinden geçen ters akımın artmasıdır. Anlaşılacağı üzere bir optik alıcının bu küçük akım değişikliğini algılayabilecek duyarlılığa sahip olması gerekmektedir.

Yarı iletken fotodiyotlar p-i-n (*positive-intrinsic-negative*) ve APD (*Avalanche photo diode*) olmak üzere başlıca iki sınıfa ayrılırlar. Duyarlığı artırmak için kullanılan APD diyotları Zener diyotlara benzetebiliriz. APD diyotun aktif yüzeyine isabet eden bir foton, diyotta çıkış çözülmesi yaratarak birden fazla elektronun diyot ters akımına katılmasını sağlar; oysa, p-i-n diyotlarda bir foton en fazla tek bir elektronun fotoalgılayıcı akımına katılmasını sağlar. Ne yazık ki APD'lerde her foton değişik miktarlarda elektron yarattığı için APD diyotların gürültüsü p-i-n diyotların



"Son yıllarda büyük gelişmeler kaydeden ve ticari olarak kullanılmaya başlanan optik yükselteçler gelecek fiber optik iletişim sistemlerinde önemli roller üstlenecektir."

gürültüsünden fazladır.

Bir fotodiyodun duyarlığı QE (*Quantum Efficiency*) veya R (*Responsivity*) olarak adlandırılan parametrelerle belirlenir. QE fotoalgılayıcının etkin alanına çarpan fotonların yüzde kaçının elektrona çevrildiğini gösterir, R ise Amper / Watt cinsinden fotoalgılayıcı üzerine düşen I

Watt şiddetinde bir ışık kaynağının RI amper fotoalgılayıcı akımı yaratacağını ifade eder.

QE parametresi genellikle p-i-n diyotlar için kullanılır ve her zaman 1'den küçüktür. QE nin 1 olması algılayıcının etkin yüzeyine çarpan her fotonun bir elektron yaratarak ters diyot akımına katkıda bulunması demektir.

2.3. Lazer Diyotlar ve LED'ler

Işık kaynağı olarak LED'ler sadece çok modlu fiber sistemlerinde kullanılmaktadırlar. Tek modlu sistemlerin ön plana geçmesiyle dar bantlı lazer diyotların önemi de büyük ölçüde artmıştır. Özellikle eşevreli (*coherent*) alıcılı sistemlerde en yüksek iletişim hızı lazerlerin bant genişliğine orantılıdır. Son yıllarda DFB (*Distributed Feedback*) ve EC (*External Cavity*) diyot lazerlerin geliştirilmesi ile bu yarı iletken lazerlerden gaz lazerlerin bandına yakın darlıkta salım (*emission*) elde etmek mümkün olmuştur. Dar bantlı yarı iletken lazerler eşevreli sistemlerin yaygın olarak kullanılmaya başlanmasında büyük rol oynamaya devam edecektir.

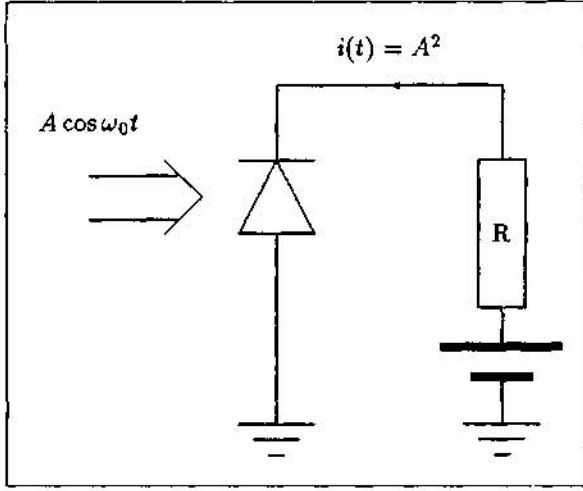
3. DOĞRUDAN ALGILAYICILI - GÜÇ ANAHTARLAMALI (DA/GA) SİSTEMLER

Tek bir fotoalgılayıcıdan meydana gelen ve dolayısı ile ışığın sadece şiddetini algılayan sistemlere doğrudan algılayıcı sistemler denir. (Şekil 1). Basitliği nedeni ile optik fiber iletişiminin doğuşundan günümüze kadar DA/GA sistemler en yaygın fiber optik iletişim yöntemi olma özelliğini korumuştur.

Başından beri DA/GA sistemlerin en büyük sorunu alıcılarının duyarlılıkları olmuştur. Tipik olarak 10^9 yanığı oranını elde etmek için DA/GA sistemleri bit başına yaklaşık 150-350 foton kullanılmaktadırlar. Bu da yaklaşık 200-250 km dolaylarında tekrarlayıcısız en uzun fiber hat mesafesi demektir. Yeni araştırmaların başlıca hedeflerinden biri de bu tekrarlayıcısız hat mesafesini artırmaktır.



Bilkent Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği M1000'de gerçekleştirilen homodin alıcı



Şekil 1: DİREK algılamalı alıcı

4. EŞEVRELİ ALICILAR

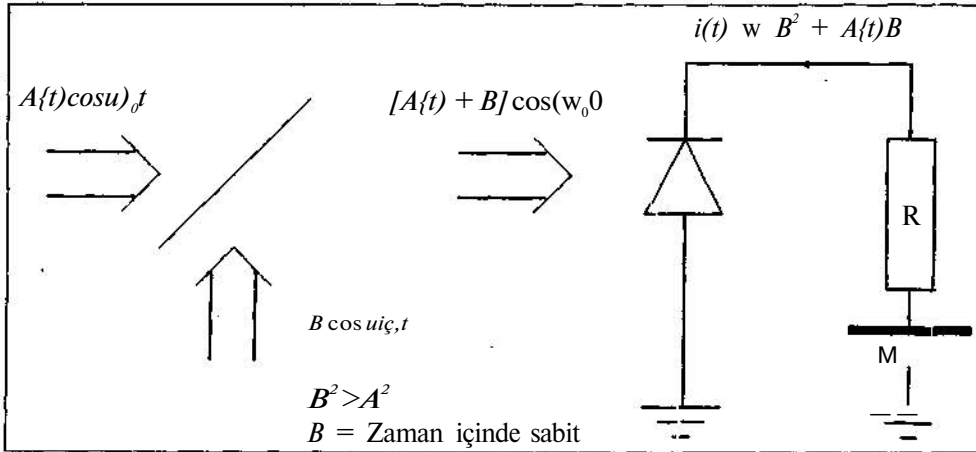
DA/GA sistemleri ile elde edilebileceğinden daha fazla duyarlılığa sahip alıcılar yapmak amacı ile geliştirilen eşevrelili alıcılar DA/GA sistemlerine oranla çok daha karmaşık bir yapıya sahiptirler. Bu nedenle de ticari alanda kullanılmaları beklendiğinden daha yavaş gerçekleşmiştir. Fakat, son yıllarda yarı iletken ve Nd-YAG lazer teknolojilerinde elde edilen gelişmeler eşevrelili sistemleri ticari alana sokmuştur.

(Eşevrelili sistemlerin DA/GA sistemlere karşı en önemli üstünlüğü ise WDM'ye (Wavelength Division Multiplexing) daha elverişli olmasıdır, özellikle BISDN (Broadband ISDN)'in gerektirdiği geniş bantlı kanallar eşevrelili sistemler tarafından ekonomik olarak karşılanabilmektedir.

benzeridir.

Eşevrelili alıcıları iki ana grupta toplayabiliriz; Homodin ve Heterodin alıcılar. Homodin alıcılarda alıcıda bulunan yerel lazer, optik fiberden gelen ışık işareti ile aynı dalga boyuna sahiptir (Şekil 2).

Dolayısı ile fotoalgılayıcı akımında bulunan girişim terimi DC frekansa kaymış durumdadır. Bugüne kadar yapılan en duyarlı optik alıcı³¹ Nd:YAG lazeri kullanan, evre kaydırma anahtarlamalı (PSK), 140 Mb/s hızında bir Homodin alıcıdır ve 10⁹ yanılğı oranını bit başına 25 foton ile (-62.8 dBm) elde etmiştir. Diğer çeşitli deneylerde aynı yanılğı oranı gene PSK modüasyonu kullanılarak 1 Gb/s hızında bit başına 46 foton ile³², 5 Gb/s hızında bit başına 93 foton ile³³ elde edilmiştir.



Şekil 2: HOMODİN alıcı

Eşevrelili alıcıları süperheterodin radyolara benzetebiliriz. Bu alıcılar fiberden gelen optik işareti bün-yelerinde bulunan bir lazerin ışığı ile karıştırdıktan sonra fotoalgılayıcı üzerine düşürerek algılarlar. Daha sonra elektronik olarak fotoalgılayıcı akımından girişim terimi seçilebilir, bu terim ise optik işaretin düşük frekanslara kaydırılmış bir

Eşevrelili alıcıların diğer grubunu teşkil eden heterodin alıcılarda ise yerel lazerin dalga boyu, işaret dalga boyundan farklıdır ve girişim terimi bu iki lazerin frekans farkına eşittir (10-1000 MHz) (Şekil 3).

Heterodin alıcılar homodin alıcılara göre daha basit sistemlerdir. Bunun nedeni ise bütün eşevrelili sistemlerde bulunması gereken PLL (Phase Locked Loop) ünitesinin tamamen elektronik olarak ara frekans bandında yapılabilmesidir. Homodin alıcılarda ise PLL'in tamamen optik ortamda yapılıp yerel lazerin frekansını kontrol etmesi gerekmektedir. Ayrıca Heterodin alıcılar daha geniş bantlı lazerler ile çalışabilirken homodin alıcılar için çok dar bantlı lazerlere ihtiyaç vardır². Buna karşılık heterodin alıcıların duyarlılıkları, homodin alıcılara göre yaklaşık 3 dB daha kötüdür, bu kayıp iki ayrı frekanstaki ışık huzmesinin girişiminde doğan kayıptan oluşmaktadır.

Yakın zamanlarda geliştirilen PSK modülasyonlu³ heterodin alıcılarından örnek vermek gerekirse,³⁴ de 560 mB/s hızında, Nd:YAG lazerleri kullanılarak yapılan ve 10⁹ yanılğı oranına ulaşmak için bit başına 159 foton kullanan (-48.7 dBm)³⁵, da 4 Gb/s hızında, bit başına 631 foton (-34.2 dBm) kullanan heterodin alıcıların ayrıntıları bulunabilir.

5 OPTİK YÜKSELTEÇLER

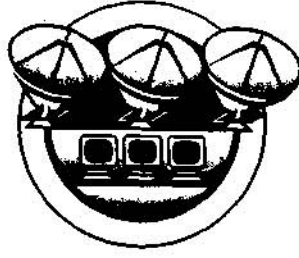
Son yıllarda büyük gelişmeler kaydeden ve ticari olarak kullanılmaya başlanan optik yükselteçler gelecek fiber optik iletişim sistemlerinde

önemli roller üstlenecektir. Adından da anlaşılacağı üzere optik yükselteçler ışık işaretini elektro-optik bir dönüşüm yapmadan tamamen optik ortamda yükseltirler. Bu ise optik yükselteçlere klasik tekrarlayıcılarla karşılaştırıldıklarında büyük avantajlar sağlar. Çünkü optik yükselteçler ile kurulmuş bir hat

her türlü hız, modülasyon paket vs. değişikliklerinden etkilenmez; oysa, bu gibi değişiklikler yapıldığında klasik tekrarlayıcıların da değiştirilmesi gerekir. Günümüzde optik yükselteçler ticari olarak pazarlanmaya başlanmıştır. Kazançları 35 dB veya daha fazla olan ve bant genişlikleri ise yaklaşık 35 nm'yi bulan optik yükselteçler imal edilmiştir.

Optik yükselteçleri yarı iletken^{*10,12*} ve Erbuim katkılanmış^{13*} yükselteçler olarak başlıca iki grupta toplayabiliriz. Yarı iletken optik yükselteçlerin çalışma prensipleri bir lazerin çalışma prensibine benzer. Gelen ışık ışını etkiyel salıma (*Stimulated Emission*) yol açar ve gelen ışık işareti güçlendirilmiş olur. Yarı iletken yükselteçlerin en büyük sakıncası fiberin bu yükselteçlere bağlanmasında ortaya çıkan çiftleme kayıplarıdır. Bu kayıplar nedeni ile yarı iletken yükselteçler Erbuim katkılanmış yükselteçler kadar başarılı olamamıştır.

Erbium katkılanmış yükselteçlerin çalışma prensibi doğrusal olmayan etkileşimlere dayanır. Yükseltme ortamı Erbuim katkılanmış fiberdir. Dolayısı ile yarı iletken yükselteçlerde sorun olan çiftleme kayıpları bu-



"Foton anahtarfama cihazlan olarak üç akla gelenler bir fiberden çıkan ışığı, değişik fiberlere paylaştırmak amacıyla mekanik olarak kontrol edilen düzeneklerdir."

rada sözkonusu değildir⁴

Erbium katkılanmış fiberin içine yükselteçte bulunan ve dalga boyu, sinyal dalga boyundan değişik olan bir pompa lazerin ışını ile işaret ışını birlikte girerler ve iki ışık huzmesi arasındaki etkileşim sayesinde siny-

yal huzmesi güç kazanmış olarak yükselteci terk eder (Şekil4).

6. FOTON ANAHTARLAMASI

Foton anahtarlama cihazları olarak ilk akla gelenler bir fiberden çıkan ışığı, değişik fiberlere paylaştırmak amacıyla mekanik olarak kontrol edilen düzenekler-

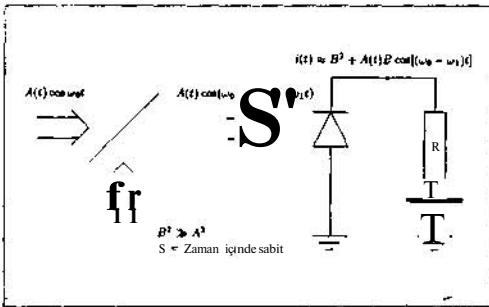
dir. Anahtarlama hızları mekanik tasarımla sınırlı olup, milisaniyeler mertebesinde.

Bunu daha hızlandırmak için mekanik düzenek yerine elektro-optik kristal kullanılarak elektronik kontrol uygulanmaktadır. Burada, uygulanan elektrik sinyali ile kristalin kırılma indisi değiştirilmekte ve bu da gelen ışığın başka bir yöne kaydırılmasında kullanılmaktadır. Tabii ki en hızlı optik anahtarlama cihazı, optik olarak kontrol edilebilendir. Böyle cihazlarda da kırılma indisi kuvvetli ışık sinyali ile değiştirilebilen malzemelerden yararlanılmakta, malzemenin optik geçirgenliği bu şekilde kontrol edilmektedir^{14*}. Bütün bu cihazlar birden fazla girişi ve çıkışı olan sistemler için bir matris halinde genişletilmektedir. Burada, değişik kaynaklardan gelen ışık sinyallerinin güçlerinin eşitlenmesi, eşzamanlı kırılması, matristen çıkarırken de kayıplarının eşitlenmesi gibi sorunların halledilmesi gerekmektedir. Bugün, bu gibi sorunlar, elektronik teknolojisinde çok küçük yer kaplayacak tümleşik devrelerle halledildiği halde, optik alanında hala büyük ve kullanışsız düzeneklerle yapılabilmektedir.

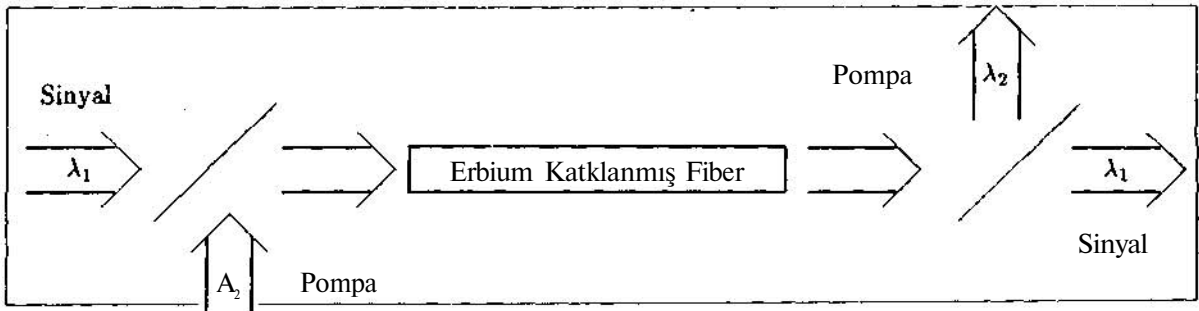
Optik iletişim ortamı olan fiberin çok yüksek bir taşıma kapasitesine sahip olması, gelecekte böyle bir şebekenin düğüm noktalarının da oldukça hızlı çalışmasını gerektirecektir. Bu hızların şimdiki elektronik teknolojisinin sınırlarının üzerine çıkması, doğal olarak tamamen optik bir foton anahtarlama sistemini gerekli kılmaktadır.

7. SONUÇ

Bu yazımızda, kabaca optik fiber iletişim teknolojisi hakkında bir fikir



Şekil 5: HETERODİN ALICI



Şekil4: ERBİUM katkılanmış optik yükselteç

vermeye çalıştık. Teknolojinin, tek modlu fiberler, eşevreli sistemler ve foton anahtarlama kullanılarak yüksek kapasiteli kanalların ekonomik olarak kullanıcıya ulaştırılması yönünde gelişmesi beklenmektedir.

DİPNOT

- 1 Işığın genliği ile evresini algılamak sadece eşevreli sistemler ile mümkündür.
- 2 Heterodin alıcılarda lazerin maksimum bant genişliği 2×10^{13} x (bit/s) [6], Homodin alıcılarda ise 10^8 x (bit/s)dir [7].
- 3 Eşevreli alıcılar ışık sinyalinin hem genliğini hem de evresini algılayabildikleri için klasik iletişim teorisinde uygulanan tüm modülasyon tiplerini kullanabilirler. Biz bu kısa yazıda karşılaştırmaya olanak sağlamak için sadece PSK modülasyonu kullanan homodin ve heterodin alıcılardan bahsediyoruz.
- 4 Günümüzde tek modlu fiberden tek modlu fibere yapılan çiftlemelerdeki kayıplar 0.2 dB'nin altındadır.

KAYNAKLAR

- (1) CCITT Blue Book, Recommendations G. 651, G. 652, G. 653, G. 654., Melbourne, 1988
- (2) W.B. Jones Jr., *Optical fiber Com-*

munication System, Holt. Reinholt and Winston Inc., New York, 1988.

- (3) D. A. Atlas ve L.G. Kazovsky, *An optical PSK Homodyne Transmission Experiment using 1320 nm Diode Pumped Nd: YAG Lasers* IEEE Photon. Technol. Lett., Vol. 2, No. 5, pp. 367-370, Mayıs 1990.
- (4) J.M. Kahn. B.L Kasper ve K.J. Pollock, *Optical Phase-lock Receiver with Multi-Gigahertz Signal Bandwidth*, Electron. Lett., Vol. 25, Mayıs 1989.
- (5) S. Norimatsu, K. Iwashita, K. Şato, *PSK Optical Homodyne Detection Using External Cavity Laser Diode in Costas Loop*, IEEE Photon. Technol. Lett., Vol. 2, No. 5, pp 374-376, Mayıs 1990.
- (6) L.G. Kazovsky, *Performance Analysis and Laser Linewidth Requirements for Optical PSK Heterodyne Communication Systems*, J. Lightwave Tech., Vol. 4, No. 4, pp. 415-425, 1986
- (7) L.G. Kazovsky, *Balanced Phase-Locked Loops for Optical Homodyne Receivers*, J. Lightwave Tech., Vol. 4, No. 2, pp. 182-195, 1986.
- (8) L.G. Kazovsky, DA Atlas, *560 Mb/s Optical PSK Synchronous Heterodyne Experiment*, IEEE Photon. Technol. Lett., Vo. 2, No. 6, pp. 431-434. Haziran 1990.
- (9) L.G. Kazovsky, D.A. Atlas, R. W. Smith, *Optical Phase Locked PSK Heterodyne Experiment at 4 Gb/s*, IEEE Photon. Technol. Lett., Vo. 2, No. 8, pp. 588-590, Ağustos 1990.
- (10) J C Simon, *GaInAsP Semiconductor Laser Amplifiers for Single Mode Fiber Communications*, J. Lightwave Tech., Vol. 5, No. 9, pp. 1286-1295, 1987.
- (11) M.J. O'Mahony, *Semiconductor Laser Optical Amplifiers for Future Fiber Systems*, J Lightwave Tech., Vol. 6, No. 4, pp. 531-544, 1988.
- (12) T. Saitoh ve T. Mukai, *Recent Progress in Semiconductor Laser Amplifiers*, J Lightwave Tech., Vol. 6, No.11, pp. 1656-1664, 1988.
- (13) P. Urquat, *Review of Rare-Earth Doped Fiber Lasers and Amplifiers*, Proc. IEE , Part J, Vol. 135, No.6, pp. 385-407, 1988.
- (14) S.D. Personick, *Photonic Switching: Technology and Applications*, IEEE Communications Magazine, Vol. 25, No. 5, Mayıs 1987.



PROF. DR.
ADNAN ATAMAN

Odamız
423 sicil no'lu üyesi Prof. Dr.
Adnan ATAMAN'ı kaybettik.

AİLESİNE, YAKINLARINA ve
ODAMIZ TOPLULUĞUNA
BAŞSAĞLIĞI DİLERİZ.

BÜLENT EPİR

ODTÜ Bilgisayar Mühendisliği
eski bölüm başkanlarından
Bülent EPİR'i kaybettik.

AİLESİNE, YAKINLARINA ve
ODAMIZ TOPLULUĞUNA
BAŞSAĞLIĞI DİLERİZ.



ENVER TÖRELİ

Odamız
491 sicil no'lu üyesi Enver
TÖRELİ'yi kaybettik.

AİLESİNE, YAKINLARINA ve
ODAMIZ TOPLULUĞUNA
BAŞSAĞLIĞI DİLERİZ.