

Optik Frekanslar için Geniş Bantlı Fiber Dalga Kılavuzu Haberleşme Sistemleri *

Yazanlar : M.
OHOWN K. O.
KAO STL. Çeviren
: Cihan AYTÜRE
TCDD

ÖZET

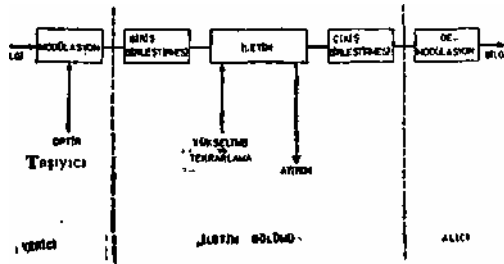
Bugünkü sistemlerde bilgi iletme kapasitesi, kuvvetlendiriciler ve bağlantı bölümlerinde kullanılan elemanların özellikleri ile kısıtlanmaktadır. Optik fiber dalga kılavuzu kullanarak daha geniş bantlı ekonomik haberleşme sistemleri yapılabilir, iç kayıp nedenleri, fiber yapım teknikleri, laser ışık kaynağı ve dedektör ile fiberin yüksek verimli bağlantı şekli üzerinde daha kapsamlı araştırmalar gerekmektedir. Bu yazıda mikrodalga sistemlerinden çok daha yüksek kapasiteli olan ve laser ve fiber dalga kılavuzu kullanılarak geliştirilmiş bir sistem anlatılmıştır.

SUMMARY

Economic wide-band Communications systems using optical fiber waveguides can be realized, although information carrying capacity is presently limited by the components available for repeaters and terminal equipment. More research is needed into the causes for material losses and into fiber production techniques and efficient coupling of the fiber to the laser light source and detector. In this article the system with much higher capacity than microwave system which is developed using laser and fiber waveguide is explained.

1. Giriş

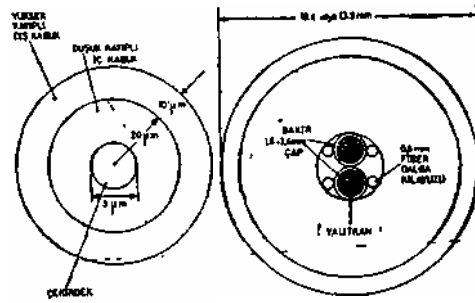
Optik fiber haberleşme sistemi verici, iletim ortamı ve alıcıdan oluşur. Verici bilgiyi laser kaynağını modüle edebilecek seviyeye yükselten kallama aygıtından darbe biçiminde alır ve gönderilecek olan taşıyıcı dalgayı oluşturur, iletim sistemi gerekli bilgi taşıma kapasitesine göre düzenlenmiş fiberden ve fiberi laser kaynağına ve ışık dedektörüne birleştirici ünitelerden oluşur. Alıcı, gönderilen işareti ışık dedektörü ile algılar ve gerekli düzeltmeleri yapar. Başka işlemler yeniden şekillendirme, süre ayarlaması ve bilginin ilk durumunu koruyabilmek için darbenin yükseltilmesini kapsayabilir.



Şekil 1. Ana optik - fiber haberleşme sistemi'nin temel blok geması.

2. FİBER DALGA KILAVUZU

Fiber dalga kılavuzu, çekirdek kısmının kırılma katsayısı dış gömlekten daha yüksek olan koaksiyal tabakalı, dairesel cam silindirdir (Şekil 2a). Bu, biçim (mode) kontrolü için yüksek kayıplı bir dış gömlek ile kaplanabilir.



Şekil 2. a. Tipik fiber dalga kılavuzu kesidi. Çekirdeğin kırılma indisi kabuktan biraz (% 1 kadar yüksek), b. Mekanik sağlamlığı sağlayan bakır telli, birkaç fiber dalga kılavuzundan oluşan kablo kesidi.

Çekirdeğin ve gömleklerin yarıçapları istenilen bilgi taşıma kapasitesini sağlayacak, kolay kullanılacak ve ekonomik yapımı oluşturacak şekilde seçilir. Geniş bantlı kullanım için elektromanyetik ve fiziksel koşullar, yarıçapın çekirdek için 3^{\wedge} ve düşük kayıplı gömlek için de

* Electrical Communication, ITT. S. 2, 1971, dergisinden çevrilmiştir.

40°, olmasını gerektirir. Aradaki kırılma indisi farkı denemelerde % 1'den daha az alınmıştır. Bundan sonra dalga kılavuzu daha birçok işlemlerden geçirilerek, gerekli mekanik sağlamlığı olan ve kullanılması düşünülen sayıda dalga kılavuzu taşıyan kablo yapılır (Şekil 2b). tik çalışmalar fiber dalga kılavuzunun haberleşmede kullanılma yararlarını göstermiştir [11]. Bundan sonraki çalışmaların büyük bölümü dalga kılavuzunun özelliklerini reğlendirmeye ve istenilen özellikte fiberlerin yapımındaki fizibiliteyi tanıtmaya yönelik olmuştur.

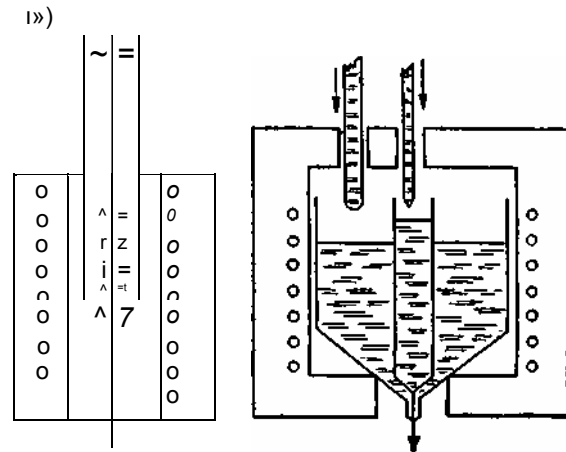
Kırılma indisi önceden belirtilen kesit dağılımına göre çekirdekten dışa doğru değişen bir kablo biçimi henüz gelişme düzeyindedir. Ancak özellikleri iyi olacağı sanılan bu fiberin, diğerine üstünlüğü henüz bilinmemektedir ve 'burada incelenmeyecektir.

S. FİZİKSEL PARAMETRELER

Ham camın kayıpları doğrudan doğruya dalga kılavuzu kaybını etkiler. Bunun nedeninin yutma ve düzensiz yayılma olduğu anlaşılmıştır.

Kayıpla, yutucu yabancı öğeler yoğunluğu ilişkisi karmaşıktır. Ancak milyonda birden daha az yabancı öğeli silikonda 850 nm dalga boyu için 10 dB/km zayıflama ölçülmüştür. Bu milyonda 4 demirli ve 0,6 bakırlı soda-kireç-silikat camı içinse 120 dB/km olarak bulunmuştur. Yabancı öğe yoğunluğunun azalması ile zayıflamanın da düştüğü görülmektedir.

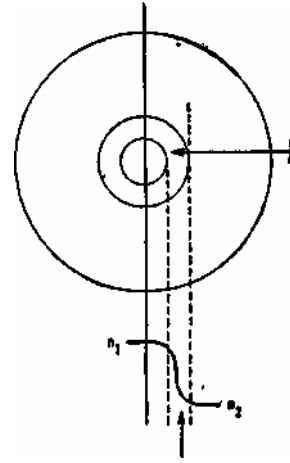
Sıvı halde ayrışmamış ve canısal özelliğini kaybetmemiş fiberde düzensiz yayılma kayıpları çok düşüktür. Bu soda-silikat camları için 900 nm dalga boyunda, 0,7-2 dB/km olarak ölçülmüştür. Araştırmalar uygun koşulların sağlanmasıyla 10 dB/km zayıflamanın elde edilebileceğini göstermiştir.



Şekil 8. Fiber dalga kılavuzu yapım yöntemleri:
a. Çubuk kaplama yöntemi.
b. Koaksiyal püskürtme yöntemi.

Çeşitli yöntemlerle gerekli fiber geometrisi elde edilir. Şekil Sa'da gösterilen çubuk kaplama ve Şekil Sb'de' gösterilen koaksiyal püskürtme yöntemleri ileri geliştirme düzeyindedir. Her ikisinde de istenilen kesit geometrisi elde edilebilir ve ek kayıplar azdır. Ancak yutma kaybında hiç bir artma olmamasına karşılık düzensiz yayılma kayıpları ham cama oranla iki katına çıkabilir.

% 1'den daha düşük kırılma indisi farkını veren madde yoğunluğunun eşdeğer dağılımının elde edilebilme olasılığı 10⁻⁴'tür. Fiber yapımı sırasında birleşme yüzeyindeki geçişme nedeniyle [3] kırılma indisinin sürekli değiştiği bir eklem oluşur (Şekil 4). Dalga kılavuzu karakteristikleri böylelikle değişir ve, sonuçları olumsuz sayılmaz.



geçişme bölgesi

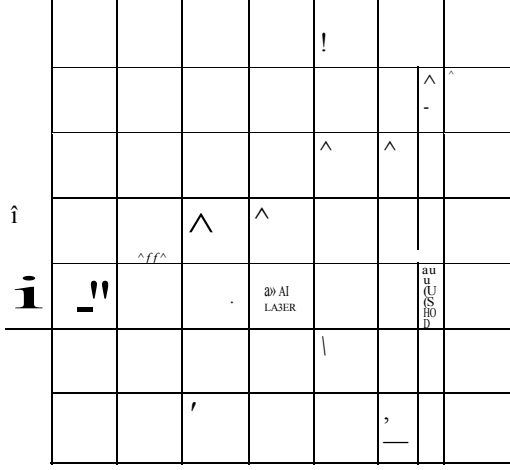
Şekil 4. Kırılma değişken eklem indisinin fiber ekseninden uzaklıkla değişimi. Yapım sırasında geçişme nedeniyle değişken eklem oluşumu görülmektedir.

Şimdiye kadar elde edilen en düşük zayıflama, 20 dB/km çekirdek ve 200 dB/km toplam yarıçapı için 20 dB/km'dir [4]. Bu ölçmeler yaklaşık 30 m uzunluğunda fiberde yapılmıştır. Bununla beraber fiber, 1 km'den uzun da yapılabilir.

4. DALGA KILAVUZU TEMEL KARAKTERİSTİKLERİ

Karakteristik dalga kılavuzu denklemi ve çözümü, tasarım için yayılma katsayısı, alan dağılımı, güç dağılımı ve güç yoğunluğu gibi önemli bilgileri verir. Uygun bilgisayar programlarıyla bazı sonuçlar bulunmuştur. Yaklaşık çözümler asimptotik biçimde çözümler, tasarım amaçları için gereken ön bilgileri sağladığı gibi, oluş ve kesinti problemlerine de uygulanabilir.

Dalga kılavuzunun bilgi kapasitesinin bulunmasında grup hızı V_g 'nin frekanla değişimi önemlidir (Şekil 5). Bu hnm frekansa bağlı olan 10^{-8} m mertebesindeki bu dpğıştmi, dalga kılavuzunun yayılma kaybının getirdiği 10^{-9} metre civarındaki değiğimi ikinci plána iter (Şekil 6).



Frekans ($\times 10^4$ Hz)

Şekil 5. Gurup hızı türevinin çam dağılımanın frekansla değişiminden ötürü frekans bağımlılığı.

DAHAU.SEH I MOOKESIM

nm — yayılma değerine göre

A değişimi. Galyumarsenid (Ga .As) laseri ± 5 ışın genişliği ile çalıştığında, çekirdek kırılma indisi

Şekil 6. Gurup hızı türevinin kılavuz dağılımı-

$K-M$ 1,5 olan 1 km/den uzun fiberde saniyede 1 glgabitlik darbe periyodunun % 5'i oranında darbeyi genişletir.

Bu kırılma indisleri farkı $f n - n_s$ 1 \ çekirdek yarıçapı a ve dalga uzunluğu x ile aşağıdaki denklemlerle belirlenir.

$$\frac{2}{(n_1 - n_2)} \quad 2 \frac{1}{2} \quad 2,3$$

Böylece dalga kılavuzunun tek biçimli olması sağlanır.

5. UYGULAMADAKI ÇAKIŞEMSİZLİKLER

Bu hallerde dalga kılavuzunun verimi aşağıda gösterildiği gibi bozulur:

- hız karakteristikler' değişir,
- ek kayıplar ve islenmiyen biçimler oluşurlar,
- bilgiler bozulur.

Bunlara yol ačan çakışmsızlıklar şunlardır:

- elipslik,
- periyodik değişmeler,
- eklemler,
- kıvrımlar,
- düzensiz yayılan parçacıklar.

Bunların etkilerini bulmak için yaklaşık teorik çözümler vardır. Bazı durumlarda tam çözümden bulunabilir ve kayıp bilginin bozulması ile ilgili fiziksel parametrenin büyüklüğü üzerine sayısal bilgiler elde edilir. Bununla beraber şimdilik esas yapıdaki fiziksel hatalar duyarlı ölçmelerle belirlenmemiştir. Bu nectenle de teorik çözümler sadece genel parametru incelemelerde yararlı olur. Düşük zayıflama fiberlerin pratikte elde edilebildiği ve hataların çok az ek kayıplara yol açtığı sonucuna varabiliriz.

Bilgi bozulması konusunda pratik bir çalışma henüz yapılmamıştır. Yine de yakın gelecekte düşük zayıflama uzun fiberlerin yapımı ile bu durum düzeltilebilir.

6. KARAKTERİSTİKLERİN ÖZETİ

Elde edilen elektromanyetik ve fiziksel koşullar fiber dalga kılavuzlarının haberleşmede istenilen verimde tasarımı oluşturabilmek düzeyindedir. Bugünkü çalışmanın yönü değişik durumlar ve onların denetiminin karşılıklı önemini saptayarak gerekli teknolojinin bulunması ve geliştirilmesini amaçlamaktadır. Çalışmalar gerekli ölçme tekniklerini geliştirme yönünde de ilerletilmektedir.

Teorik olarak, yapımı ekonomik olabilecek, yani çok az madde ile yapılabilecek (1 km için 1 cır.⁸ fiber ana maddesi), bir fiber için tasarım bilgi kapasitesinin saniyede 1 gigabitin üzerinde olabileceği gösterilebilir. Böylelikle 3^ çapında çekirdek, kablo içine geçirilerek, gönderme ve alma daha iyi sağlandığı gibi, kullanıma uygun ve yeterli dayanıklılıkta fiber elde edilir.

7. BAğLANTI TEKNİKLERİ

Dalga kılavuzu sistemlerinde ışığın laserden fibere girişinde, alıcıdaki ışık detektörüne aktardığında ve bir fiberin sonundan diğer fibere geçişte de-

ğişik birleştirme teta'klerini kullanılması gerekir. Bununla ilgili teorik çalışma, fiber ucundaki radyasyon alanı ve fiber ucunun, verilen alan dağılımı ile aydınlatıldığında istenilen dalga kılavuzu biçiminin oluşma verimliliğinin araştırılmasına yöneliktir. Bu konuda pratik çalışmalar da yapılmıştır.

8. GÖNDERME

Teorik yaklaşım fiberin ucuna dik olan alanın bulunduğunu varsayar. Dalga kılavuzu biçimsel alanlarının istenilen toplamına alan uygulanarak değişik dalga kılavuzu biçimi genlikleri elde edilir. Şimdiye dek birkaç değişik tip çözümlenmiştir; dik açıda gelen sonsuz düzlem dalga [5], dik açıda gelen kesilmiş düzlem dalga [5], eğik gelen sonsuz düzlem dalga [6], dik açıda gelen Gauss alanı [7] HE11 biçimi için Gauss alanının en uygun yayılımı ile teorik olarak $<100\%$ verim, olası görülürse de dalga kılavuzu çekirdeğinin çapına eşit kesilmiş düzlem dalga ile gönderme veriminin $\approx 80\%$ olduğu bulunmuştur. Deneysel sağlamada Helyum Neon (HeNe) laseri Gauss kaynağı olarak kullanılmış, $\approx 75\%$ üzerinde verim elde edilmiştir.

Eksen çakışmazlıklarının etkileri de incelenmiştir. Pratikte kullanılan

$$\frac{TT^2}{A_1 - X_2} = 2M^2$$

eşitliğinin sağlandığı durum için, eksenler uzaklığının çekirdek yan çapına eşit olduğu zaman, gönderme veriminin $\approx 50\%$ civarında düştüğü görülmüştür.

Daha ayrıntılı çalışmalar halka kaynak kullanılarak HE21 biçiminin oluşumunu [8] ve fiber kabuğunun sınırlı çapının etkilerini [9] de kapsar.

Deneysel araştırmalar ışığın GaAS laserinden çok biçimli veya tek biçimli fibere iletilmesinde, fiberin ışık yayan laser yüzeyine doğrudan doğruya dayanması halindeki verimin, çekirdek çapının laserin eklem alanı oranına bağlı olduğunu göstermiştir. Birinci dereceden yaklaşım için verim; fiber çekirdek alanının laser eklem alanına oranıdır. Toplam ışık çıkışını etkilemeksiz eklem, plastik madde ile kaplanabilir.

9. ALMA

Fiber dalga kılavuzunun geçit alanı karakteristik denklemin çözümüyle kolayca elde edilebilir. Bu alanın Kirchoff Mimlemesi ile [10] uzak alanın durumu yaklaşık olarak elde edilebilir. Böylece eldeki bilgi, fiberin sonundan belirli uzaklıktaki alan radyasyonunun büyük bir kısmını toplaması gereken dedektörün alan büyüklüğü hesabında kullanılabilir. Pratikte ışın dağı-

lımı açısı 20° civarında olduğu için $100 \mu m$ çaplı dedektör kullanarak fiber $0,5 mm$ uzağa yerleştirilmiştir. Göndermede olduğu gibi almada da doğrudan doğruya eHeme olağandır.

10. EKLEME

Teorik olarak doğrudan doğruya temasla birleştirmenin verimi $\approx 100\%$ 'dir. Uygulamada gerekli yerleştirme toleransının nasıl sağlanacağı ve kenar yüzeylerinin düzlemsel ve eksene tam dik olarak nasıl yapılabileceği teknik bir sorundur. Bu konuda birçok değişik yöntemler gözden geçirilmiştir. Bunlardan biri de önceden hesaplanmış farklı uzunlukta iki fiberin belirli bir uzunlukta yan yana çakışmasıyla elde edilen eklemidir. Bu yöntemler mekanik duyarlılık gereklerini azaltmaya yönelmiştir. Bugün için sadece eklemenin mümkün olduğu söylenebilir. Ancak uygun ve ucuz bir yöntemin geliştirilmesi gereklidir.

11. VEBİCİ, ALICI VE TEKBARLAYICI

Laser kaynaklarının ve ışık modülatörlerinin gelişimi devam etmektedir. Bana genişliği büyük, ekonomik ve rekabet edebilecek potansiyelde GaAS kaynağı ve ışık dedektörü olarak fotodiyot kullanan haberleşme sistemi en gelişmiştir. Camın zayıflaması GaAs laser dalga boyu yakınlarında en az olduğu ve laserin ışık yayılma alanı da hemen hemen fiber çekirdeği kadar ince yapılabildiği için bu uygulamada fiber ye laser birbirine çok uygundur. Bu sistemin ilgi çekici yönünden biri de kolaylıkla modüle edilebilen küçük ışık kaynağı kullanışıdır. Laserin çabuk yükseliş zamanı ve dar spektrumu ile, tek biçimli dalga kılavuz iletiminin düşük dağılımı sonucu olarak enjeksiyon laseri ve fiber dalga kılavuzu düzeneğinin sanide birçok gigabitlik bilgi işlemini kapsayabilmesi gerekir. Ancak tekrarlayıcılardaki elektronik devreler bu yüksek hızla çalışmayı kısıtlarlar.

Enjeksiyon laserine dayanan yüksek kapasiteli bir sistem için darbe kod modülasyonu (PCM) kullanılması gerekir. Bunun nedeni herhangi bir örneksel sistemde kabul edilebilir gönderme kalitesini sağlayabilmek için çok daha büyük işaret-gürültü oranı gerekirken, PCM kaynakları $20-22 dB$ gibi düşük işaret-gürültü oranlarında önemsiz hatalarla işareti oluşturabilir. Kuantum gürültüsü nedeniyle düşük işaret - gürültü oranlarında tolerans çok önemlidir. Modülasyonun $1 ns$ periyodunda yayılan foton sayısı $g \approx 10^8$ önüne alınarak fibere girişteki oranın $80 dB$ 'i aşmasının olanaksız olduğu gösterilebilir. Böylece tekrarlayıcılar arasında kabul edilebilen zayıflama diğer örneksel sistemlere göre PCM' de daha yüksektir.

Burada anlatılan sistem; verici, alıcı ve tekrarlayıcıdan meydana gelir. Modülasyon ve tekrarlama için birçok değişik uygulama önerilmekle beraber, burada iaserin ibasit doğrudan doğruya modülasyonu, U krarlayıcıda yükseltme ve tekrarlama için elektrik işaretine çevrilmesi incelenecektir (Şekil 7).

Şekil 7. Tekrarlayıcılarda kullanılan tam ve yarı genişliktli darbeler.

Tekraolayıcının üç ana bölümü vardır :

1. Işık detektörü ve geniş bandlı yükselteçden oluşmuş alıcı,
2. Darbeleri tekrar biçimlendiren ikili PMC üretici,
3. Akını darbe yükaeltecl veya enjeksiyon laserlnl sınır akımının l'zerine tllren ve sonuç olarak oluşan ışık darbelerini fibere aktaran bölüm.

12. TEKRARLAYICI VEBİMİ

Tekrarlayıcının iki ana verim parametresi; bilgi iletim kapasitesi (bit hızı) ve optik kazanç'dır. Işığın fibere aktarılma sorunu iaserin tasarımı ile yakın ilişkilidir. Optik kazanç, fiber dalga kılavuzunun HE11 moduna aktarılan ışın gücünün, ışık detektöründe 20-22 dB işaret-gürültü oranını sağlamak için gereken ışın gücüne oranı olarak tanımlanır.

13. BAND GENİŞLİÖT

Sistemin bilgi iletim 'kapasitesi büyük bir olasılıkla laser sürücüsü veya PCM üretici tarafından kısıtlanır.

Laser lQ'dan daha düşük empedansla 0,1 - 1 A'lik akım darbeleri ile çalışır. Akını anahtarlayıcı transistor çifti saniyede 300-500 megabit hızda 0,1 A'lik darbeler verebilir. Daha yüksek sürme akımı gerektiğinde 10 kadar transistorun akımlarının toplandığı devreler kullanılabilir. rünel diyot ta benzeri ve daha yüksek hızlarda sürebilir. Fakat bu c'a enjeksiyon laserini sürmeye elverişli değildir. Anahtarlama hızını saniyede 1 gigabitin ürerine çıkarabilmek için bagka düzenekler geliştirilebilir.

Transistor ve tünel Oiyotla yapılan PCM tekrarlayıcıların saniyede 300 nnegabite kadar çalıştığı anlaşılmıştır. Bu teknikler laboratuvarıda da saniyede 500 megabite kadar denenmiştir. Bunun ötesindeki hı/iar ancak yeni geliştirilen elemanlarla sağlanatilir. örnek olarak Gunn elemanlı mantık geliştirilme düzeyindedir.

Alıcının sistem hızını sınırlaması düşünülemez. Bu uygulama için bilinen en iyi ışık detektörü zener fotodiyodudur. Bunlar saniyede 1 gigabitin üzerinde çalışabilecek hızdadır. Bu hızlarda çalışabilecek geniş bandlı yükseltici olarak çeşitli melez tümleşik devre tasarımları vardır. Laser ve (fiberin de yüksek hızda çalışmaları yukarıda açıklanmıştır. Bu duruma göre sistemin bilgi işlem hızı saniyede 0,5-1 gigabit arasındadır.

Daha yüksek bilgi kapasitesi için benzer sistemler paralel olarak kullanılabilir. Belki de yedek fiberler önceden döşenecek, kanal gereği arttıkça da tekrarlama istasyonlarına ek cihazlar takılacaktır.

14. ATICI DUYARLIĞI

Eldeki zener fotodiyotlar transistor yükselteçleri ile birlikte kuantum sınırına yaklaştığından duyarlık bir dereceye kadar kesinlikle bulunabilir.

Anderson ve Mc Murty*nin çözümleri [11] uygun değerleri yerine koyarak zener fotodiyoduna da uygulanabilir, 1 GHz'de modüle edilmiş 0,9 ^ dalga boyundaki ışığın 20 dB işaret - gürültü oranı için gerekli optik güç:

$$P_{tCW} = \frac{r\epsilon}{F} \cdot M \cdot F$$

$r\epsilon$ = Kuantum verimi, yani foton başına elektron sayısı.

F = Çoğalım sürecinde giriş ve çıkıştaki işaretgürültü oranlarının birbirine oranı olarak tanımlanan ilave gürültü katsayısı.

M = Çoğalım katsayısı (akım kazanç).

F = Yükseltecin gürültü katsayısı.

Burada yükseltecln giriş empedansı 50 f_i , 3 pf değerindeki kapasitenin 1 GHz'deki empedansı olarak, karanlık akımı da 20 nA'in altında kabul edilmiştir.

îdeal olarak $\hat{=} = l'$ dir M de çok büyük olduğundan karekök içinde ısısal gürültü terimi ihmal edilebilir. Böylece $P_L = 8,7 \times 10^{-8}$ W'in üzerinde hiç bir gelişme beklenemez. Bu ana sınırlama, alıcının tipine bağlı olmadan fotonların geliş hızının. 20 dB işaret-gürültü oranı için band genişliğinin 400 katı olması gerektiğini göstererekten de bulunabilir.

Hiç kazanç olmadığı durumda ($M = 1$, $F = 1$) ısısal gürültü terimi ihmal edilemez. M arttıkça pratikte $F=f(M)$ de artar. P_L içinde minimum bir değer vardır. Bundan da görüleceği gibi F 'nin M ile artışı önemli bir karakteristiktir. Bugün eldeki silikon zener fotodiyotlar için $\alpha = 0,4$ ve $F = 1 - \alpha / M$ ile en elverişli (optimal) akım kazancı

$M_{opt} = 40 F$ A için verdiği en düşük güç yaklaşık olarak :

dır.

Burada yükselteç gücünün, gürültü katsayısıyla olan yakın bağımlılığı görülmektedir. $F_A \leq 4$ olduğunda $P_{L_{min}} = 2 \alpha W$ olur. Bu ise kuantum sınırlamasının 24 katıdır.

Detektör için, gerekli 'dalga boyu, modülasyon frekansı ve duyarlı alana göre özellikle tasarlanarak $I_{f/W}$ 'in altındaki gücü algılayacak türde bir gelişme beklenebilir.

En elverişli kazanç katsayısı sabit bırakıldığında, düşük modülasyon frekansları için P_L de orantılı olarak düşer. Bunun nedeni denklem (1)'deki ısısal gürültü teriminin, band genişliği ve yükseltecin giriş empedansının çarpımına bağlı olmasıdır. Bu çarpım değişmez kaçak kapasiteleri için sabit tutulabilir. Belirli bir frekansın altında, ortalama 300 MHz'de, karanlık akımı önemli olmaya başlar ve frekansla gelişme daha yavaş olur.

15. OPTİK ÇIKIŞ GÜCÜ

Düzenli olmayan çift eklemler (double hetero-junction) lazerin 10^{-10} 'lik temas yüzeyi ile oda ısısında yüksek çalışma oranında I_A 'in çok altında en düşük sürme akımı ve bundan en çok 0,2 A daha fazla büyük bir akımla çalışabileceği ümit edilmektedir. En yüksek kuantum verimliliği % 30 kabul edersek optik çıkış gücü $jL_{opt} = 2 \alpha I_A$ ntlık kaynak alanı için 90 mW olur.

Fiberin doğrudan kaynağa dayandığı ve fiber çapının da $3 \mu m$ olduğu varsayılırsa en fazla birleşme verimi % 25, yani alanların oranıdır. Gücün tamamının yayılma biçimine dönüşmesinden dolayı ek bir kayıp olur. Bütün bağlantı toplam verimi $< 10\%$ olarak kabul edilirse fibere gönderilen optik çıkış gücü 10 mW civarındadır.

Çıkış gücü ve duyarlılık hesapları birleştirilerek gereken tekrarlayıcı kazancı (fiberden fibere) 40 dB bulunur.

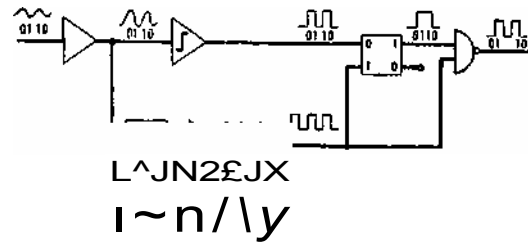
16. DENEYSEL, ÇALIŞMA

STL'de deneme tekrarlayıcısı yapılarak dahq iyi elemanlar buldukça devamlı olarak geliştirilmektedir. Yenileyici tekrarlayıcının tamamı saniyede 75 megabitte denenmiştir. Şimdiki tasarımda yarım periyod. genişlikli darbeler kullanılmaktadır (Şekil 7).

Üç tip silikon zener ışık detektörü, 0,1-400 MHz'lik melez tümleşik devre yükselteçleri ile birlikte kullanıldığında Ins'den daha iyi bir yükselme zamanı gösterirler. Saniyede 75 megabitlik sistem için ucuz 0,01-80 MHz'lik geri besleme çiftli yükselteç yeterli bulunmuştur.

22 dB'lik işaret-gürültü oranı için en fazla duyarlılık, akım kazancı M 'nin yaklaşık olarak 40 olduğunda sağlanır. Bu koşullar sağlandığında alınan gücün $0,5 \mu W$ olduğu hesaplanmıştır. M 'nin değeri en elverişli değerden kaydırıldığında işaret-gürültü oranının hemen yükselmediği de bulunmuştur. Bu nedenle diyotun doğru çalışma noktasının ayarlanması ve korunmasının büyük bir sorun olması uygulamada beklenemez, işareti gerekli ' sayısal seviyeye yükseltmek için gerekli kazanç 70 dB'dir.

PCM tekrarlayıcısı, yayıcı bağlantılı mantık kullanan tümleşik devrelere dayanır. Devrenin çalışma esası Şekil 8'de gösterilmiştir, işaret yükseltilip sınırlandıktan sonra darbelerin köşelerindeki kararsızlıklar da ortadan kalkar. Bit hızındaki düzenli zamanlama darbeleri elde edilir. Bu iki akımdan değişim tetiklemeli flip-flopta zamanları tekrar ayarlanmış tam genişlikli darbeler elde edilir. Son olarakta VE-DEĞİL. (NAND) geçidi kullanılarak, tam genişlikli darbelerden ve zamanlama darbelerinden yarım genişlikli darbeler elde edilir.



Şekil 8. Yayıcı kuplajlı tümleşik devrelerle yapılan darbe - kod - modülasyon üretici blok şeması.

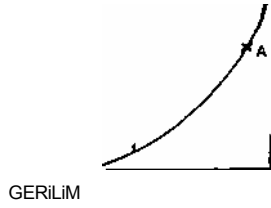
Lazer sürücü devre gerekli I_A akım ile saniyede 130 megabitlik yarım genişlikli veya tam genişlikli uygulamaya yeterlidir. Bu devre bundan sonraki bölümde açıklanacaktır.

Tekrarlayıcı 1,1 A'de darbeler kullanan düzenli yüzeyli GaAs laseri ile çalışır ve sürekli dalga

çalışmasını sağlayabilmek için 77°K'de soğutulur. Düzgün olmayan çift eklemli, sürekli dalga laserinin oda ısısında 1 A'in altında çalışacağı tahmin edildiğinden, bu soğutma ile oda ısısında devamlı çalışan laser geliştirildiğinde, sistemde başka bir değişiklik gerekmeksizin sadece işerinin değiştirilebilmesi sağlanır. Diğer taraftan bu çalışma için henüz eldeki oda ısısında çalışabilecek laser, düşük çalışma oranında 7 A çektiği gibi son sisteme kıyasla çok daha karışık devreler gerektirir.

17. LASER SÜRÜCÜ DEVRE

Laserin akım-gürültü eğrisi Şekil 9'da gösterilmiştir. Bu çalışmada kullanılan laser türü 77°K'de, 0,5 A en düşük sürme akımı civarında 0,1-0,2 n eğim direncine sahiptir.



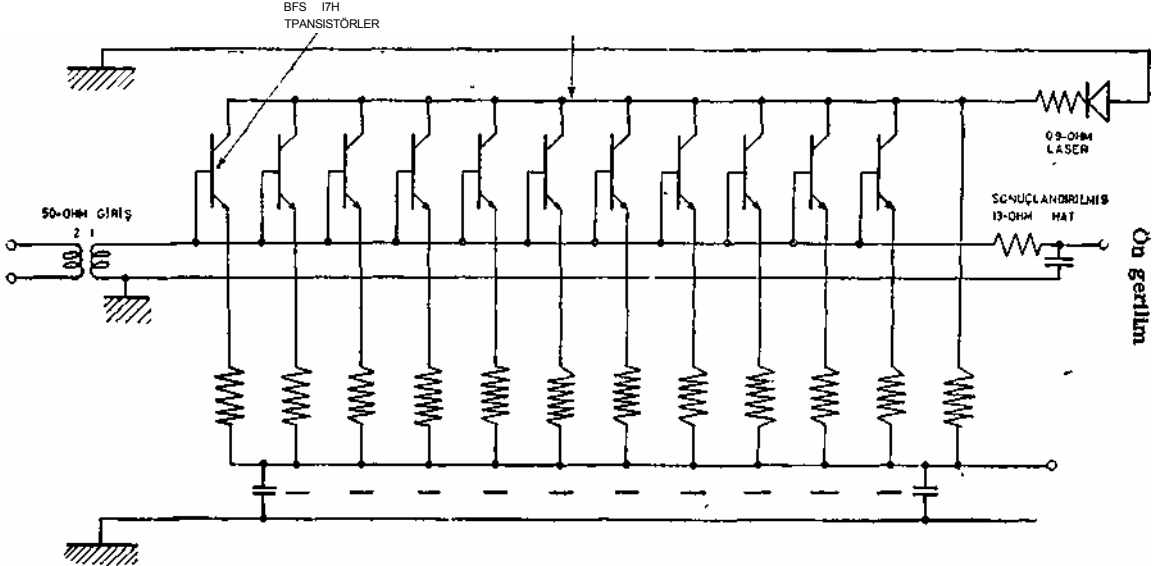
Şekil 9. Laserin akımı - gerilim eğrisi

Laser şerit dağıtım hattının eklenmesi ile birçok transistorun dağıtılmış devre olarak kullanılabilmesi ve laserin de sıvı nitrojene batınlarla* Cransistörleri soğutmaksızın soğutulabilmesi mümkün olabilir.

Şerit aralığı mylardielektrikle 0,036 mm alınmış ve 7,4 mm genişlikte 1 j j dirençle seri bağlı 100 m A çalışma akımına ayarlanmış (Şekil 9'da A. noktası) laser bulunur. Bu durum hemen hemen sabit 1 fi empedans gösterir. Sonuçtaki kaçak seri endüktansı çok küçük tutmak için minyatür paralel dirençler kullanılır. Laser de kısa, kalın lastik yolu ile bağlanır. Bu düzenlemeyi 50 n'luk üreteç (cıva temaslı anahtarlar başlatılan aktarma hattının uzunluğu) şeridin bir ucuna bağlı 49fj'luk direnç yolu ile değerlendirmek mümkündür. Bu durumda 0,9 j j direnç üzerindeki gerilim darbesi üreticinin çıkışı ile karşılaştırılabilir. 1 fl'luk şeridin 150 mm uzunluğu için akımın yükselme zamanı 1 ns civarındadır.

En yüksek transistor anahtarlama hızı için doyumdan kaçınılmalıdır. Bunun için değişik tip ve sayıda transistor, dağıtılmış devrede kullanılarak birkaç doyumsuz şekil denenmiştir:

- Ak;m tipi anahtarlama veya uzun uçlu çiftler.
- Bütün toplayıcılar 1 Q,'luk geride bağlanıp yayıcıdan geri besleme (Şekil 10).
- Ortak toplayıcı düzeninde her yayıcı kendi 10 o"luk şeridine bağlanıp, her şeritte 10 fi'luk dirençle ortak laserde sonuçlanarak.
- Ortak toplayıcı düzeninde bütün yayıcılar. 1 fj'luk dirence bağlanarak.



Şekil 10. Yayıcı geri beslemeli laser sürücü devresi. Bütün toplayıcılar 1 - o'luk şeride bağlanmıştır. Bu devre ti oyumu önleyerek yüksek anahtarlama hızları sağlar.

Her durumda da tabanla, son sürülecek transistör dengelenmiş iletim hattına (genel olarak 15 n) yüke en yakın olacak şekilde bağlanmıştır.

yukarıdaki tekniklerden ilki en hızlısıdır. Bu tip devrenin gelişimi devam etmektedir. Diğer üç devrenin ise tasarımı daha kolaydır ve daha az transistörle, güç gerektirir.

Şeritlerin deseni ve diğer eklemeler bakır kaplı mylar üzerine işlenmiş ve BFS 17R transistörleri de mikro minyatür muhafazaya alınmıştır. Düzenleme tümleşik devre yapısına kolayca uygulanabilecek biçimdedir, önceki bölümlerde verimi belirtilen bu devre, tekrarlayıcı deneme çalışmalarının çoğunda kullanılmıştır.

Saniyede birkaç megabite göre yeterli hızda çalışabilen düşük empedanslı 2:1 oranlı şerit transformatörler yapılmış ve bunlar da lasere gereken akımı yükseltmede faydalı bir eleman olarak kullanılmıştır.

18. SONUÇLA»

Tüm sistemin band genişliği eklemelerde ve tekrarlayanlarda kullanılacak eldeki elemanlarla saniyede 500 megabit civarında sınırlanmıştır. Bununla beraber elemanlardaki beklenen gelişme, sistem kapasitesini saniyede 1 gigabit civarına çıkaracaktır. Fiber zayıflaması 20 dB/km alınacak, tekrarlayıcılar arasındaki uzaklık 2 km civarında olacaktır. Bu verimi elde edebilmek için fiber ve laserde daha ayrıntılı araştırmalar gerekmektedir.

KAYNAKLAR :

1. K. C. Kao ve C. A. Hockham : «Dielectric Fibre Surface Waveguide for Optical Frequencies», Proceedings of IEE, volume 113, July 1966, no. 7, pp 1151-1158.
2. K. C. Kao, R. B. Dyott, ve A. W. Synder: «Design and Analysis of an Optical Fibre Waveguide for Communications», IEE Conference on Trunk Telecommunications by Guided Waves, September 1970. IEE Conference Publication no 71, pp 211-217.

3. O. Krumpholz: «Mode Propagation in Fibres Discrepancies between Theory and Experiment», IEE Conference on Trunk Telecommunications by Guided Waves, September 1970, IEE Conference Publication no 71, pp 56-61.
4. F. P. Kapron, D. B. Keck, and R. D. Maurer: «Radiation Losses in Glass Optical Waveguides», IEE Conference on Trunk Telecommunications by Guided Waves, September 1970. IEE Conference Publication no 71, pp 148-150.
5. A. W. Synder: «Surface Waveguide Modes along a Semi - Infinite Dielectric Fiber Excited by a Plane Wave», Journal of the Optical Society of America, volume 56, May 1966, no 5, pp 601-606.
6. A. W. Synder: «Excitation and Scattering of Modes on a Dielectric Optical Fiber», Transactions of the, IEE, volume MTT-17, December 1969, no 12, pp 1138-1144.
7. J. R. Stern ve R. B. Dyott: «Launching into Single Mode Optical Fibre Waveguide», IEE Conference on Trunk Telecommunications by Guided Waves, September 1970. IEE Conference Publication no 71, pp 191-196.
8. T. W. Davies, R. W. Vorhington, ve K. C. Kao: «The Measurement of Mode Parameters in Optical Fibre Waveguide», IEE Conference on Trunk Telecommunications by Guided Waves, September 1970. IEE Conference Publication no 71, pp 77-82.
9. P. J. B. Clarricoats ve K. B. Chan: «The Excitation of Modes on a Multilayer Fibre», IEE Conference on Trunk Telecommunications by Guided Waves, September 1970. IEE Conference Publication no 71, pp 9-14.
10. N. S. Kapany, J. J. Burke Jr, ve K. Frame: «Radiation Characteristics of Circular Dielectric Waveguides», Applied Optics, volume 4, December 1965, no 12, pp 1534 -1543.
11. L. K. Anderson ve B. J. McMurty: «High Speed Photodetectors», Proceedings of the IEEE, volume 54. October 1966, no 10, pp 1335-1349.