

KAZANCI DÜZLEŞTİRİLMİŞ ÇOK GENİŞ BANTLI HİBRİD OPTİK YÜKSELTEÇ TASARIMI

Murat YÜCEL ve H. Haldun GÖKTAŞ

Gazi Üniv. Tek. Eğt. Fak. Elektronik Bilg. Eğt. Böl., 06500-Teknikokullar/Ankara
muyucel@gazi.edu.tr, goktas@gazi.edu.tr

(Geliş/Received: 06.12.2006; Kabul/Excepted: 04.10.2007)

ÖZET

Bu makalede iyi bilinen S, C ve L optik bandlarını kapsayan çok geniş bantlı bir kazancı düzleştirilmiş yükselteç tasarımı sunulmaktadır. Yükselteç parçalı band yapısına sahip olup, ayrı yollarda S, C ve L band sinyaller yükseltilir ve sonra yükseltilmiş sinyaller çıkışta birleştirilir. Biz C band ve L band yükseltmesi için Erbiyum katkılı fiber yükselteç (EKFY) ve S band yükseltmesi için çoklu pompalı bir fiber Raman yükselteç kullandık. C band ve L band EKFY tasarımı, kendiliğinden yükseltilmiş yayılmayı (KYY) bastırmak için erbiyum katkılı fiberlerin arasına kazanç düzleştirici bir filtre yerleştirilen kaskat yapıdadır. Bütün tasarım çok geniş band ve minimum dalgalanma faktörü için analiz edilmiştir. Sonuç olarak, yaklaşık 24 dB'lik bir kazanç, maksimum 0.3 dB'lik dalgalanma faktörü ve toplam 120 nm band genişliği elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: EKFY, FRY, band genişliği, kazanç düzleştirme

DESIGN OF GAIN FLATTENED ULTRA-WIDEB AND HYBRID OPTICAL AMPLIFIER

ABSTRACT

This paper presents design of a gain-flattened amplifier that covers an ultra-wide band including the well known optical S, C, and L bands. The amplifier has a split-band architecture, which amplifies the S, C, and L band signals in separate paths and then recombines the amplified signals for the output. We've used Erbium-doped fiber amplifier (EDFA) for the C band and L band amplification and used for a multi-pump fiber Raman Amplifier (FRA) for S band amplification. For the L band and C band EDFA design, cascade configurations that a gain flattening filter is inserted between the erbium doped fibers in order to suppress amplified spontaneous emission (ASE). The overall design was analyzed for ultra wide bandwidth and minimum ripple factor. Consequently, a gain of approximate to 24 dB, a maximum ripple factor of 0.3 dB, and total bandwidth of 120 nm are achieved.

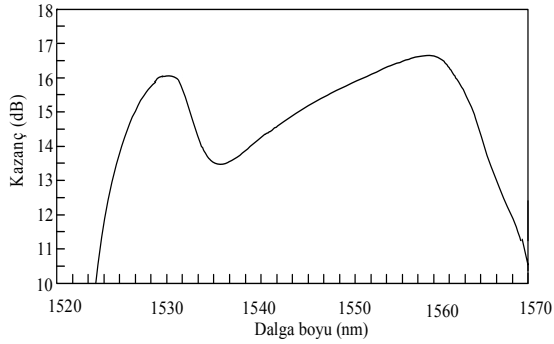
Keywords: EDFA, FRA, bandwidth, gain flattening

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Fiber optik iletişimde yaygın olarak fiber zayıflamasının en düşük olduğu C bandı (1530–1565 nm) kullanılmaktadır. Fakat zamanla artan kapasite ihtiyacı yeni bandların kullanılmasını zorunlu kılmış, bu nedenle de C bandının altında ve üstündeki S bandı (1470–1520 nm) ve L bandının da (1570–1610 nm) kullanımı ihtiyacı doğmuştur [1,2]. C ve L bandlarında yükselteç olarak EKFY'ler kullanılmakla beraber, erbiyum katkılı fiberin (EKF) kazanç (Şekil 1) ve tek modlu fiberin zayıflama karakteristiklerinin düz olmaması nedeni ile sistem çıkışında tüm dalga

boylarında aynı kazanç elde edilememektedir. Bu nedenle, uzun mesafeli optik iletişim sistemlerinde, optik sinyaller çoklu bir yükselteç sistemi ile yükseltilirken, optik sinyal güçleri arasında yükselteç sayısı ile orantılı farklılıklar oluşmaktadır. Optik sinyaller alıcıda çeşitli dalga boylarına ayrıldığında diğer optik sinyaller bu sinyalleri gürültü gibi etkiler. Eğer yükselteçler tarafından iletilen optik sinyallerin güçleri arasında farklılıklar varsa, EKFY tarafından iletilen dalga boyu bölmeli çoğullama (DBÇ) sinyalleri sinyal gürültü oranı ile daha da düşerek bozulurlar. Bu da iletim mesafesini kısaltır ve iletilen sinyal sayısını azaltır. Bunu engellemek için her bir

dalga boyunda EKFY kazancının düzleştirilmesi gerekir [3-6].



Şekil 1. EKFY'nin dalga boyuna bağlı kazanç spektrumu (Gain spectrum of EDFA depending on the wavelength)

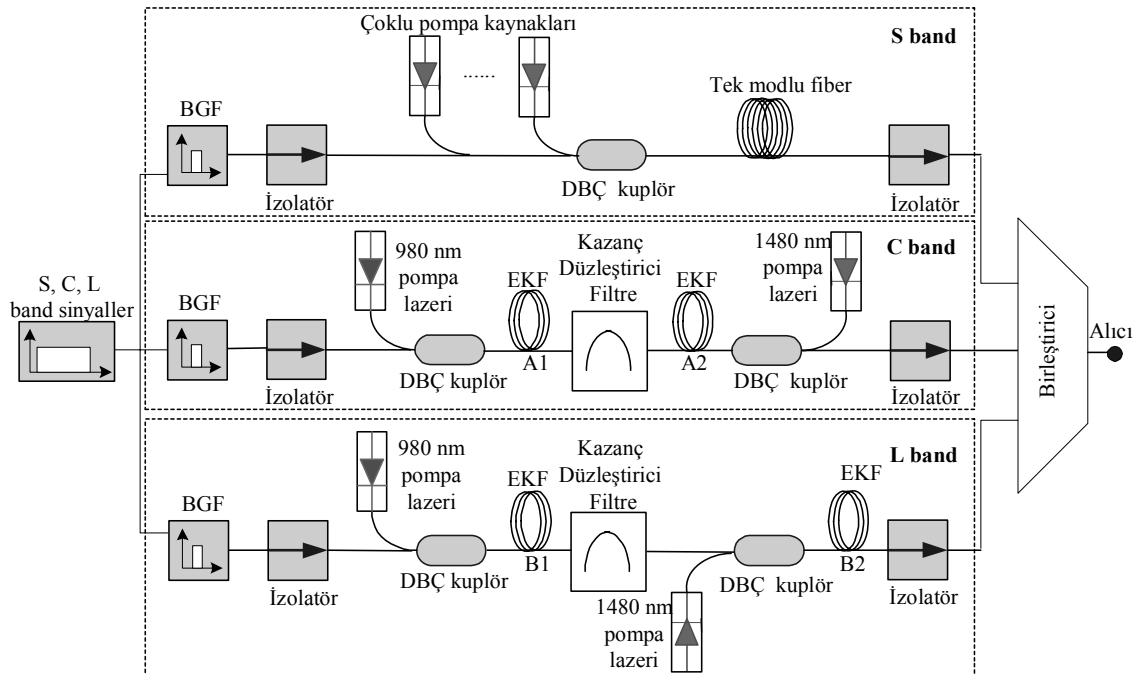
Bu çalışmada üç bantta da çalışacak, yüksek kazanç sağlayacak ve çıkış sinyallerinin kazançlarını düzleştirecek çok geniş bantlı bir optik yükselteç tasarlanmış ve analizi yapılmıştır. Bu amaçla C ve L bandında EKFY kullanılırken, S bandında EKFY'lere göre daha yüksek kazanç ve daha iyi bir gürültü seviyesine sahip FRY'ler kullanılmıştır. Oluşturulan hibrid optik yükselteç sistemi ile 120 nm (1490–1610 nm) band genişliği elde edilmiştir [7-8]. Ayrıca çıkışta oluşan kazanç farklılıklarını gidermek için FRY kısmında çoklu pompa lazeri, EKFY kısımlarında ise iki aşamalı fibere ek olarak kazanç düzleştirici filtreler kullanılmıştır. Makalenin ikinci bölümünde sistemin matematiksel analizi yapılarak, çok geniş bantlı hibrid yükselteç sistemi oluşturulmuştur. Üçüncü bölümde tasarlanan

yükselteçler tek tek ve bir bütün olarak analiz edilerek elde edilen sonuçlar tartışılmıştır.

2. MATEMATİKSEL ANALİZ VE TASARIM (MATHEMATICAL ANALYSIS AND DESIGN)

Şekil 2'de tasarlanan üç bantlı (S, C, L) optik yükselteç görülmektedir. Bu yükselteçte C ve L band yükseltmesi için EKFY'ler kullanılırken, S band yükseltmesi için FRY kullanılmıştır.

C ve L band yükseltmesi ve kazanç düzleştirme işlemi için iki aşamalı EKFY düzeneği ve iki aşama arasında kazanç düzleştirici filtre kullanılmıştır. İki aşamalı yükselteç, dış yansımaların neden olduğu gürültü etkilerine karşı geliştirilmiş bir bağışıklığa sahiptir. Bu şekilde yüksek kazançta rağmen yükselteçte gürültü seviyesi düşüktür. Pompalanan ışık yüksek bir verimlilikle sinyale aktarılır ve kazanç spektrumunun pasif olarak düzleştirilmesi gerçekleştirilirken yükselteç gürültüsü ve doyuma ulaşmış çıkış gücünden dolayı sadece çok küçük bir hata meydana gelebilir [9]. Şekil 2'de de görüldüğü gibi kazanç düzleştirici filtre, ek kaybı ve sinyal gürültü oranının çıkış gücünü azaltmaması için genellikle iki aşamalı yükseltecin arasına yerleştirilir [9]. Kazanç tepelerini azaltmak için araya filtre konulduğunda ters birikme artar ve diğer dalga boylarında daha fazla kazanç kullanılabilir. İlk yükselteç sinyali yükseltir, daha sonra bu sinyal filtre edilir ve son olarak filtreden dolayı oluşan kaybı gidermek için ikinci yükselteç kullanılır.



Şekil 2. Kazancı düzleştirilmiş çok geniş bantlı hibrid optik yükselteç sistemi (Gain flattened ultra-wideband hybrid optical amplifier system)

İki aşamalı EKF kullanılan sistemin matematiksel analizi yapılacak olursa, EKFY'lerde λ_s dalga boyundaki sinyal kazancı aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$G(\lambda_s) = \exp\left\{\rho_0 \Gamma_s (\sigma_e^s \hat{N}_2 - \sigma_a^s \hat{N}_1)\right\} = \exp\left\{\rho_0 \Gamma_s (\sigma_e^s + \sigma_a^s \hat{N}_2 - \sigma_a^s)\right\} \quad (1)$$

burada Γ_s λ_s dalga boyundaki örtüşme faktörü, ρ_0 tepe katkı yoğunluğu (erbiyum için), σ_e^s λ_s dalga boyundaki yayılma kesiti, σ_a^s λ_s dalga boyunda soğurma kesiti, \hat{N}_1 , \hat{N}_2 ortalama fiber boyunda ve Er^{3+} yoğunluklu normalize edilmiş atom sayıları olup,

$$\hat{N}_{1,2} = \frac{I}{\rho_0 L} \int_0^L N_{1,2}(z) dz \quad (2)$$

ile verilir. λ_s 'nin dB olarak kazancı $g(\lambda_s) = 10 \log_{10} G(\lambda_s)$ olur. Denklem 1'e göre $d\hat{N}_2$ 'nin üst seviye nüfusundaki herhangi bir değişim $dg(\lambda_s)/d\hat{N}_2$ diferansiyel kazanç değişimine karşılık gelir ve,

$$\frac{dg(\lambda_s)}{d\hat{N}_2} = 10 \log_{10}(e) \rho_0 \Gamma_s (\sigma_e^s + \sigma_a^s) \quad (3)$$

olarak bulunur. İki sinyal dalga boyu dikkate alındığında aralarındaki ilişki aşağıdaki şekildedir:

$$\frac{dg(\lambda_{s_1})}{dg(\lambda_{s_2})} = \frac{\sigma_e^{s_1} + \sigma_a^{s_1}}{\sigma_e^{s_2} + \sigma_a^{s_2}} \equiv R(\lambda_{s_1}, \lambda_{s_2}) \quad (4)$$

A_1 ve A_2 bölümlerinden oluşan iki aşamalı EKFY'de iki sinyal için aşağıdaki eşitlik yazılabilir:

$$dg(\lambda_{s_1}) = dg_{A_1}(\lambda_{s_1}) + dg_{A_2}(\lambda_{s_1}) \quad (5)$$

$$dg(\lambda_{s_2}) = R_{A_1}(\lambda_{s_2}, \lambda_{s_1}) dg_{A_1}(\lambda_{s_1}) + R_{A_2}(\lambda_{s_2}, \lambda_{s_1}) dg_{A_2}(\lambda_{s_1}) \quad (6)$$

burada A_1 ve A_2 parametreleri sırasıyla birinci ve ikinci EKFY bölümlerini göstermektedir [10].

C bandı için tasarlanan sistem Şekil 2'nin orta bölümü olup, pompa lazerleri sırasıyla 980 nm, 1480 nm dalga boyunda ve 157 mW gücünde seçilmiştir. İlk EKFY'de 980 nm dalga boyunda yapılan pompalamanın yüksek bir ters birikme sağlaması ve buna bağlı olarak da sinyal gürültü şeklinin azalması amaçlanırken, ikinci EKFY'de 1480 nm dalga boyunda yapılan pompalama ile yüksek kazanç sağlanmaktadır. C bandı için en uygun filtre

pozisyonu tüm fiber boyunun %42'si civarında [11] daha yüksek kazanç gösterdiği için iki aşamalı EKFY'nin A_1 kısmının boyu 4 m, A_2 kısmının boyu ise 5 m olarak seçilmiştir. Filtre, bu aralığa yerleştirildiğinde diğer konumlara göre 10 dB'ye varan kazanç gelişimi gözlenmiştir [11]. C bandı için kullanılan EKF'nin parametreleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. C band EKF parametreleri (C band EDF parameters)

EKF parametreleri	Değerler
İyon yoğunluğu	$1,4 \times 10^{25}/m^3$
Öz yarıçapı	1 μm
İyon ömrü	10 ms
Erbiyum yarıçapı	1 μm
Nümerik açıklığı	0,31

Bu çalışmada dikkate alınan iki seviyeli sistemde pompalama seviyesinin ömrünün yarı kararlı seviyenin ömründen çok düşük olduğu varsayımı altında toplam iyon yoğunluğu,

$N_T = N_1 + N_2$ 'dir ve ikinci seviyedeki iyon yoğunluğunun zamanla değişimi,

$$\frac{\partial N_2}{\partial t} = \sum_{k=1}^K I_k (N_1 \sigma_k^a - N_2 \sigma_k^e) - \frac{N_2}{\tau_2} \quad (7)$$

dir. Burada σ_k^a ve σ_k^e simgeleri k 'ncü ışının yayılma ve soğurma kesitleri, I_k simgesi k 'ncü ışının yoğunluğu ve τ_2 simgesi ise ikinci seviyeden birinci seviyeye birleşik ışımali ve ışımsız geçişi göstermektedir. Bu denklemlerde σ_k^e terimi uyarılmış yayılma oranını, σ_k^a terimi ise uyarılmış soğurma oranını ve $1/\tau_2$ terimi ise KYY' yi tanımlanır.

Her bir pompa ve sinyal ışın güçlerinin fiber boyunca değişimini aşağıdaki denklem vermektedir:

$$\frac{\partial P_{s,k}}{\partial z} = u_k \int (N_2 \sigma_k^e - N_1 \sigma_k^a) I_k dA \quad (8)$$

Burada u_k pozitif z yönünde yayılmada +1 ve negatif z yönüne yayılmada ise -1 değerini alır. Silindirik koordinat sisteminde $dA = r dr d\phi$ alınarak denklem 8 güç değişimi için düzenlenirse,

$$\frac{\partial P_s(z)}{\partial z} = u_s P_s(z) (\bar{N}_2 \Gamma_{2,s} \sigma_s^e - \bar{N}_0 \Gamma_{0,s} \sigma_s^a) \quad (9)$$

Sonuç ifadeleri ışına şiddetleri yerine optik güç ifadeleri cinsinden verilmiştir. Bu çalışmada Giles modeli kullanılmıştır [12]. Bu nedenle yayılım denklemleri soğurma ve yayılma katsayıları için yeniden yazılarak,

$$\alpha(\lambda_k) = \Gamma(\lambda_k) \bar{N}_t \sigma_k^a(\lambda_k) \quad (10)$$

$$g(\lambda_k) = \Gamma(\lambda_k) \bar{N}_t \sigma_k^e(\lambda_k) \quad (11)$$

$$\frac{\partial P_k(z)}{\partial z} = u_s P_s(z) (N_2 \alpha_k - N_1 g_k) \quad (12)$$

bulunur ve oran denklemleri kararlı durum çözümü ile fiber boyunca ortalama ters birikme:

$$N_2(z) = \frac{\tau_2 \sum \frac{P_k \alpha_k}{h \nu_k}}{1 + \sum \frac{P_k}{P_k^{IS}}} \quad (13)$$

dir. Burada, gerçek doyum gücü:

$$P_k^{IS} = \frac{h \nu A_{eff}}{\Gamma_{k,2} \tau_2 (\sigma_k^a + \sigma_k^e)} \quad (14)$$

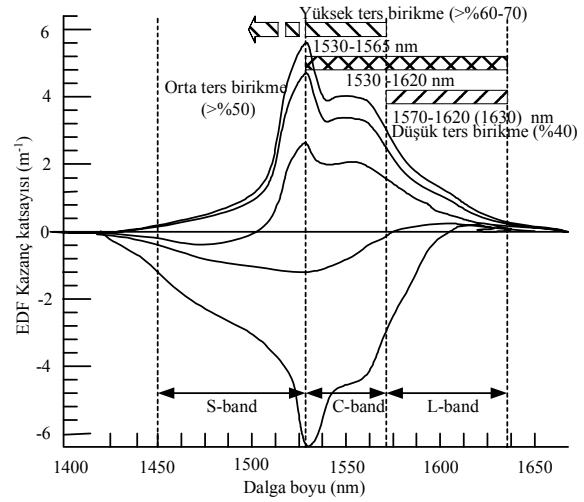
bulunur. $N_2(z)$ için denklem ileri ve geri yöndeki bütün ışınların toplamı olup, KYY gürültüsü içermektedir.

L band yükselteci olarak kullanılan düzenek Şekil 2'nin alt kısmında görülmektedir. EKF L band fiber olup kullanılan parametreler Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. L band EKF parametreleri (L band EDF parameters)

EKF parametreleri	Değerler
İyon yoğunluğu	$9 \times 10^{24}/m^3$
Öz yarıçapı	1,45 μm
İyon ömrü	10 ms
Erbiyum yarıçapı	1 μm
Nümetik açıklığı	0,24

Analiz yöntemi olarak C bandında olduğu gibi Giles modeli kullanılmıştır. L band EKFY'de gürültü ve kazanç özellikleri daha iyi olan iki aşamalı sistem kullanılırken çıkıştaki kazanç dalgalanmalarını minimuma indirmek için bu iki aşama arasında kazanç düzleştirici filtre kullanılmıştır. Ters birikme seviyesinin L band dalga boyunda daha düşük olması (%30–40) nedeniyle C band ile karşılaştırıldığında L band fiberin boyu daha uzundur. Fakat yine aynı özellikten dolayı dalga boyuna bağlı çıkış kazanç değerleri arasındaki dalgalanma C bandına göre daha düşüktür. Uygulanan L band sinyallerden düşük dalga boylarına sahip sinyaller için ilk aşamada daha kısa EKF ($B_1 = 31$ m), yüksek dalga boyuna sahip sinyaller için ise ikinci aşamada daha uzun EKF ($B_2 = 77$ m) kullanılmıştır [13]. EKF'nin kazanç spektrumu ve ters birikme oranları Şekil 3'de görülmektedir.



Şekil 3. Erbiyum katkılı fiberin kazanç spektrumu ve ters birikme oranları [14] (Gain spectrum and population inversion rates of erbium doped fiber)

S band sinyaller için FRY kullanılmış olup, Şekil 2'de üst kolonda görülmektedir. FRY'yi analiz etmek için doğruluğu daha yüksek olan bir matematiksel modele ihtiyaç vardır. Denklem 15'de tüm ν frekansları için eş zamanlı olarak ileri yönde yayılan gücün ifadesi görülmektedir (bu tanım geri yönde yayılma için de yazılabilir):

$$\frac{dP_f(z, \nu)}{dz} = -\alpha(\nu) P_f(z, \nu) + \gamma(\nu) P_b(z, \nu) + \int_{\zeta > \nu} \left\{ \frac{g_R(\zeta, \nu)}{A_{eff}} [P_f(z, \zeta) + P_b(z, \zeta)] \left[P_f(z, \nu) + 2h\nu \left(1 + \frac{1}{e^{h(\zeta - \nu)/kT} - 1} \right) \right] \right\} d\zeta - \int_{\zeta < \nu} \left\{ \frac{g_R(\zeta, \nu)}{A_{eff}} [P_f(z, \zeta) + P_b(z, \zeta)] \left[P_f(z, \nu) + 2h\nu \left(1 + \frac{1}{e^{h(\nu - \zeta)/kT} - 1} \right) \right] \right\} d\zeta \quad (15)$$

Bu denklemde $P_f(z, \nu)$, $P_b(z, \nu)$ z mesafesi ve ν frekansında ileri ve geri pompa güçleridir. $\alpha(\nu)$ zayıflama katsayısı, $\gamma(\nu)$ geri yönde Rayleigh saçılma katsayısı, $g_R(\zeta, \nu)$ ζ ve ν frekansları arasındaki Raman kazanç katsayısı, A_{eff} efektif alan, T Kelvin cinsinden sıcaklık, h Planck sabitidir. Bu model fiber kaybı, geri yönde Rayleigh saçılması, pompadan pompaya, pompadan sinyale, sinyalden sinyale Raman etkileşimlerini, Raman enerji transferinden dolayı pompa zayıflamalarını, KYY ve sıcaklığa bağımlılık gibi çeşitli etkileri içermektedir. Gürültü terimi iki faktör içerir. Bunlar KYY ve termal gürültüdür [15].

S band kazanç düzleştirme için çoklu pompa kaynakları kullanılmıştır. Stokes kaymasından dolayı

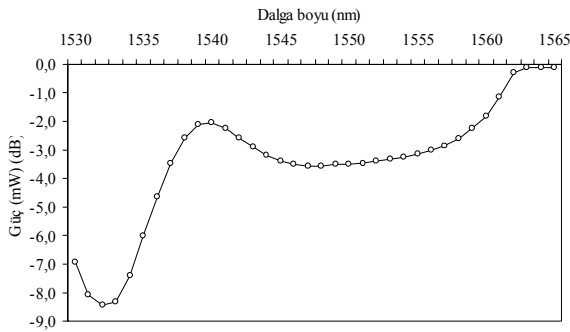
pompa kaynaklarının dalga boyu sinyal dalga boyundan 100 nm civarı düşük seçilirken güç değerini ise istenilen kazanç belirler. Her bir pompa kaynağının çıkış spektrumu toplanarak çıkış kazanç spektrumu elde edilir. Bu özelliğe dikkat edilerek çıkış kazanç spektrumunu düzleştirmek için gerekli dalga boyu ve güç değerleri seçilir. Kullanılacak pompa kaynaklarının sayısı, düzleştirilmiş kazanç spektrumun dalgalanması ve istenilen kazanç ile doğrudan ilişkilidir [16].

S, C ve L band sinyalleri ayırmak için yükselteç girişlerine band geçiren filtreler (BGF) konulmuştur. S, C ve L band sinyaller ayrı ayrı yükseltip kazançları düzleştirildikten sonra bir birleştirici aracılığıyla tekrar birleştirilerek alıcıya ulaştırılmıştır.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

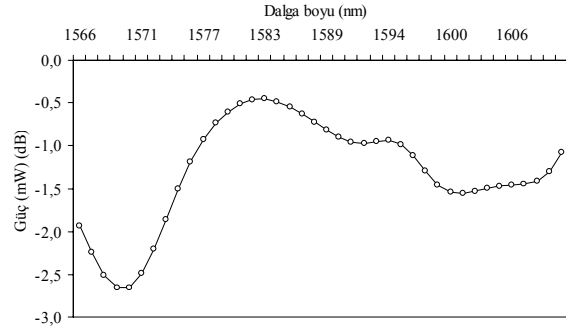
C ve L band EKFY sisteminin benzetimi yapılırken Giles ve Desurvire'nin kararlı durumlarda kullanılan iki seviyeli sistem modeli kullanılmıştır [12]. S band FRY sisteminin benzetiminde ise Namiki ve Emori'nin matematiksel FRY analizi kullanılmıştır [16].

C band yükselteç ile 24 dB kazancı düzleştirilmiş çıkış sinyalleri elde edilmiştir. Kullanılan iki aşamalı sistemde araya band durduran pasif filtre konularak daha yüksek kazançlı kanalların kazançlarını düşürerek, düşük kazançlı kanallara eşitlenmiştir. İki aşamalı sistem için tasarlanan filtrenin iletim spektrumu Şekil 4'de görülmektedir.



Şekil 4. C band filtrenin iletim spektrumu (Transmission spectrum of the C band filter)

L band yükselteçte de gene 24 dB kazancı düzleştirilmiş çıkış sinyalleri elde edilmiştir. C bandında olduğu gibi bu iki aşama arasına filtre konularak çıkış sinyal kazançları düzleştirilmiştir. Bu amaçla tasarlanan filtrenin karakteristiği Şekil 5'de görülmektedir. Bu yükselteçte yine gürültü karakteristiğini düzeltmek için ilk aşamada ileri yönde 980 nm 50 mW'lık ve ikinci aşamada kazancı artırmak için ileri yönde 1480 nm 50 mW'lık pompa kaynağı kullanılmıştır. Fakat kullanılan pompa güçleri C bandına göre daha düşük seçilmiştir. Bunun nedeni 120 nm'lik tüm band boyunca aynı kazanç değerini sağlamaktır.



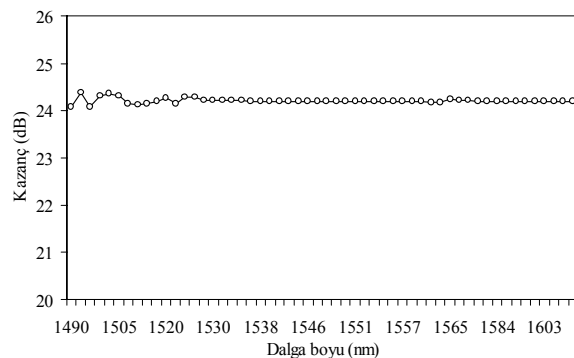
Şekil 5. L band filtrenin iletim spektrumu (Transmission spectrum of the L band filter)

S band FRY'de 0.22 dB/km zayıflamaya sahip 25 km tek modlu fiber ve kazancı düzleştirmek için çoklu pompa kaynağı kullanılmıştır. Genel olarak bu pompa kaynaklarının dalga boyları ve güçleri ayarlanarak çıkış sinyal kazancı düzleştirilmekte ve bu yapılırken giriş sinyal dalga boyunun yaklaşık 100 nm altında dalga boyuna sahip pompa kaynakları seçilerek, bu pompa kaynaklarının çıkış kazanç spektrumlarının toplanması ile çıkışta istenilen düz kazanç ayarlaması yapılmaktadır. Burada kullanılan pompa kaynaklarının dalga boyları ve güç değerleri Tablo 3'de görülmektedir.

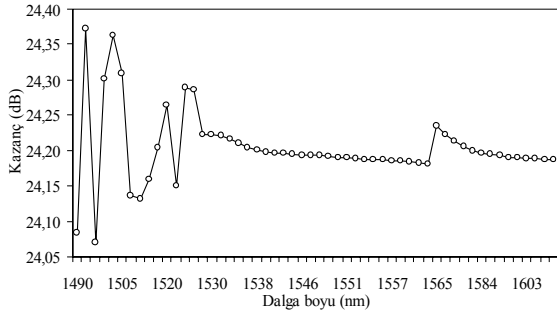
Tablo 3. S band pompa kaynaklarının dalga boyları ve güçleri [17](Wavelengths and corresponding pump powers of S band pump sources)

Parametreler	1. Pompa	2. Pompa	3. Pompa	4. Pompa	5. Pompa	6. Pompa
Dalga boyu (nm)	1382	1385	1390.2	1396	1420.3	1429.9
Güç (mW)	319.89	330.37	130.02	264.85	239.88	220.80

Çıkış sinyal kazanç spektrumu Şekil 6'da görülmektedir. Şekilden de görüleceği üzere çıkışta 1490–1610 nm (120 nm band genişliği) aralığındaki giriş sinyalleri ile çıkışta 24.07 ile 24.37 dB aralığında değişen bir kazanç spektrumu elde edilmiştir.



Şekil 6. Çok geniş band optik yükseltecin çıkış sinyal kazanç spektrumu (Output signal gain spectrum of ultra-wideband optical amplifier)



Şekil 7. Çok geniş band optik yükseltecin yakınlaştırılmış çıkış sinyal kazanç dalgalanması (Magnified view of output signal gain ripple of ultra-wideband optical amplifier)

Şekil 6'nın daha yakınlaştırılmış ayrıntılı görünümü ise Şekil 7'de görülmektedir. S band için 0.3 dB, C ve L band için ise 0.1 dB'lik kazanç dalgalanmaları elde edilmiştir ki bu değerler oldukça düşük değerlerdir. Tüm dalga boyları arasında ise 0.3 dB'lik kazanç dalgalanması elde edilmiştir.

Sonuç olarak bu çalışmada S bandı için FRY, C ve L bandı için EKFY kullanılarak çok geniş bantlı hibrid yükselteç tasarlanmıştır. DBÇ ve BGF kullanılarak -20 dBm güçteki S, C ve L band giriş sinyalleri üç ayrı yükselteç ile yükseltilerek, C ve L bandı için kazanç düzleştirici filtre ve S bandı için çoklu pompalama tekniği ile kazançları düzleştirilmiştir. Çıkışta S, C ve L band sinyalleri birleştirilerek 120 nm band genişliğine, 24 dB güce ve 0.3 dB kazanç dalgalanmasına sahip çok geniş bir çalışma spektrumu elde edilmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Yamada, M., "Overview of wideband optical fiber amplification technologies", **NTT Technical Review**, Cilt 2, No 12, 34, 2004.
2. Sakamoto, T., Mori, A., Masuda, H., Ono, H., "Wideband rare-earth-doped fiber amplification technologies – Gain bandwidth expansion in the C and L bands", **NTT Technical Review**, Cilt 2, No 12, 38, 2004.
3. Dung, S., J.C. Chi, Wen, S. "Gain Flattening of Erbium-doped Fibre Amplifier Using Fibre Bragg Gratings", **Electronics Letters**, Cilt 34, No 6, 555, 1998.
4. Choi, H.B., Oh, J.M., Lee, D., Ahn, S.J., Park, B.S., Lee, S.B. "Simple and efficient L-Band Erbium-Doped Fiber Amplifiers for WDM Networks", **Optics Communications**, Cilt 213, 63-66, 2002.

5. Mahdi, M. A., Sheih, S. J. "Gain-Flattened Extended L-band EDFA with 43nm Bandwidth Suitable for High Signal Powers", **Optics Communications**, Cilt 234, 229-233, 2004.
6. Mizuno, K., Nishi, Y., Mimura, Y., Lida, Y., Matsuura, H., Yoon, D., Aso, O., Yamamoto, T., Toratani, T., Ono, Y., Yo, A. "Development of Etalon-Type Gain-Flattening Filter", **Furukawa Review**, Cilt 19, 53-58, 2000.
7. Seo, H.S, Chung, W.J, Ahn, J.T, "A Novel Hybrid Silica Wide-Band Amplifier Covering S+C+L Bands With 105-nm Bandwidth", **IEEE Photonics Technology Letters**, Cilt 7, No 9, 1830-1832, 2005.
8. Seo, H.S, Chung, W.J, Ahn, J.T, "S+C Bands Amplification in a Distributed Er-Doped Raman Fiber", **IEEE Photonics Technology Letters**, Cilt 17, No 6, 1181-1183, 2005.
9. Giles, C. R., Di Giovanni, D. J. "Dynamic Gain Equalization in Two-Stage Fiber Amplifiers", **IEEE Photonics Technology Letters**, Cilt 2, No 12, 1990.
10. Desurvire, E. "Erbium-Doped Fiber Amplifiers: Principles and Applications", John Wiley&Sons, New York, A.B.D., 1994.
11. Yu, A., O'Mahony, M. J., Siddiqui, A.S., "Analysis of Optical Gain Enhanced Erbium-Doped Fiber Amplifiers Using Optical Filters", **IEEE Photonics Technology Letters**, Cilt 5, No 7, 773-775, 1993.
12. Giles, C. R., Desurvire, E., "Modeling Erbium-Doped Fiber Amplifiers", **Journal of Lightwave Technology**, Cilt 9, No 2, 271-283, 1991.
13. Xia, B., Chen, L.R., "Two Stage L-Band EDFA with Gain-Clamped Characteristics Using Partial Gain-Clamping", **Optics Communications**, Cilt 206, 301-308, 2002.
14. Yamada, M., Shimizu, M., Ultra-wideband amplification technologies for optical fiber amplifiers", **NTT Technical Review**, Cilt 1, No 3, 80, 2003.
15. Kidorf, H., Rottwitt, K., Nissov, M., Ma, M., Rabarjaona, E., "Pump interactions in a 100-nm bandwidth Raman amplifier", **IEEE Photonics Technology Letters**, Cilt 11, No 5, 530, 1999.
16. Namiki, S., Emori, Y., "Ultrabroad-Band Raman Amplifiers Pumped and Gain Equalized by Wavelength-Division-Multiplexed High-Power Laser Diodes", **IEEE Journal on Selected Topics in Quantum Electronics**, Cilt 7, No 1, 3-16, 2001.
17. Islam, M. N., "Raman Amplifiers for Telecommunications 1 Physical Principles", Springer-Verlag, New York, A.B.D., 2-21, 2004.