

FİBER BRAGG IZGARA KULLANAN DIŞ BOŞLUKLU MOD-KİLİTLİ LAZERLERDE BAĞIL ŞİDDET GÜRÜLTÜSÜ

Nuran DOGRU ve M. Sadettin ÖZYAZICI

Gaziantep Üniversitesi, Elektrik&Elektronik Mühendisliği Bölümü, 27310 Gaziantep
dogru@gantep.edu.tr

Anahtar sözcükler: Karışık soliton darbe kaynağı (HSPS), Fiber Bragg ızgara, Spontane gürültü, Bağlı şiddet gürültüsü

ÖZET

Bazı diyot parametrelerinin doğrusal azalan adımlı fiber Bragg ızgara kullanan mod-kilitli karışık soliton darbe kaynağının bağlı şiddet gürültüsü (RIN) üzerine etkisi çiftli dalga denklemleri kullanılarak incelendi. Gürültünün, spontane kavrama faktörü, çizgi-geişliği artma faktörü, ve kazanç doyma parametresinin değerlerinin artmasıyla arttığı bulundu. Ayrıca, gürültünün rf ve dc akımlarına karşı da duyarlı olduğu gözlenmiş ve bu akımların bazı değerleri için gürültünün arttığı bulunmuştur. Artan gürültü, darbelerin daralarak yok olmasına ve bundan dolayı da çeviri sınırlı darbelerin geniş bir frekans aralığında üretilmesine engel olmuştur.

1. GİRİŞ

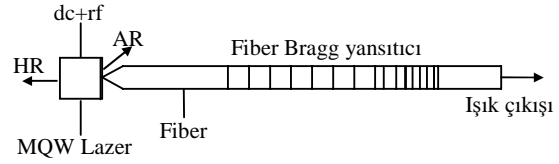
Günümüzde uzun mesafe fiber optik haberleşme sistemlerinde tekrarlayıcısız iletim üzerine çalışmalar yoğunlaşmaktadır. Bu tip sistemlerde yüksek enerjili solitonların kullanılması en az bozulmayla darbe iletimini sağlaması açısından gelecek vaad etmektedir. Pratikte soliton darbe üretimi için, 2.488 GHz çalışma frekansı etrafında, darbegenişliği 50 ps olan ve zamanbant genişliği (TBP) çarpımı 0.3 ile 0.5 arasında değişen çeviri-sınırlı darbelerin üretilmesi gerekmektedir. Karışık soliton darbe kaynağı (HSPS) bu amaca yönelik yani soliton iletim sistemi için geliştirilmiş böyle bir cihazdır. Geçmişte, farklı geribesleme seviyelerinde gürültünün birçok niteliksel özellikleri deneysel ve teorik olarak iyi bir şekilde açıklanmıştır [1-2]. Fakat gürültünün mod-kilitlenmesi durumunda HSPS üzerine etkisi incelenmemiştir.

Bu çalışmada, bazı lazer diyot parametrelerinin doğrusal azalan adımlı (chirp) fiber Bragg ızgara (FBG) kullanan mod-kilitli HSPS in, çıkış darbesine ve bağlı şiddet gürültüsüne (RIN) etkisi incelenmiştir.

2. TEORİ

HSPS temel olarak üç bölümden oluşmaktadır. Bir çoklu-kuantum duvarlı (MQW-multi-quantum well) yarı iletken lazer diyot, fiber kablo ve kablunun sonunda belli bir bölümde oluşturulmuş Bragg yansıtıcı. Diyotun bir yüzeyinin yansıtması yüksek (HR), diğeri ise çok düşüktür (AR). Sistemde üretilen

darbenin şekli esas olarak bu yansıtıcı (ızgara) tarafından belirlenmektedir.



Şekil-1. HSPS in şematik görünümü

Model çiftli dalga denklemlerinin zaman domeninde çözümüne dayalıdır [3]. Doğrusal azalan adımlı fiber göbeğinin kırılma indisinin ilerleme yönünün aşağıdaki gibi değiştiğini varsayalım

$$n(z) = n_{co} + \Delta n_{co} \left[1 + m \cos\left(\frac{2\pi}{\Lambda} z\right) \right] \quad (1)$$

Bu eşitlikte n z 'e bağımlı değişen kırılma indisi, n_{co} fiberin değişime uğramadan önceki kırılma indisi (1.46 olarak alınabilir), Δn_{co} indis değişiminin genliği ($\Delta n_{co} \ll n_{co}$), m modülasyon dizini ve Λ ızgara adımı (tekrarlama sıklığı) dır.

Çiftli dalga denklemlerini kullanarak ve ileri yöndeki dalga $E^+(t,z)$ (+z yönünde) ve geri yöndeki dalga $E^-(z,t)$ (-z yönünde) arasındaki kavrama (coupling) aşağıdaki gibi yazılabilir

$$\frac{dE^+}{dz} = (g_{net} - j\delta)E^+ - j\kappa E^- + s_f \quad (2)$$

$$\frac{dE^-}{dz} = -(g_{net} - j\delta)E^- + j\kappa E^+ + s_r \quad (3)$$

Burada, g_{net} kayıp verimden çıkartıldığı zaman lazerdeki net dalga verimi ve κ ileri ve geri yöndeki dalga arasındaki kavrama faktörüdür. δ genel yayılım sabitinin (β) gerçek kısmının Bragg yayılım sabitinden sapmasıdır ($\beta = \beta_o + \delta$). s_f ve s_r ise ileri ve geri yöndeki dalgalara bağlı spontane gürültüdür. Bunların büyüklüğü aynı varsayılır [5], yani,

$$s(z, t) = s_f(z, t) = s_r(z, t) \quad (4)$$

Spontane emisyonun Gaussian dağılıma sahip olduğu ve korelasyonu sağladığı varsayılır:

$$\langle s(z, t)s^*(z', t') \rangle = \beta_{sp} \frac{R_{sp}}{v_g} \delta(t-t') \delta(z-z') \quad (5)$$

$$\langle s(z, t)s(z', t') \rangle = 0$$

Burada, $R_{sp} = BN^2/L_l$ spontane emisyon katkısı bulunan birim uzunluktaki elektron-oyuk yeniden birleşimidir. B ışınım yeniden birleşme katsayısı, L_l lazer kısmının uzunluğu, N taşıyıcı yoğunluk, β_{sp} spontane kavrama faktörü ve v_g ışığın oyuk içindeki grup hızıdır.

Lazer boşluğu, eşit uzunlukta bölümlere ayrılır. Her bir zaman aralığında $dt=dz/v_g$, ileri ve geri yöndeki dalgalar transfer matrisinden hesaplanır. Her bir lazer bölümündeki taşıyıcı yoğunluk taşıyıcı oran (carrier rate) denklemlerinden hesaplanır:

$$\frac{dN(z, t)}{dt} = \frac{I(t)}{eV} - \frac{N(z, t)}{\tau_n} - G(z, t)S(z, t) \quad (6)$$

burada $I(t)$ enjeksiyon akımı, V aktif tabaka hacmi, e elektronik yük, $N(z, t)$ taşıyıcı yoğunluk, τ_n taşıyıcı ömrü, $G(z, t)S(z, t)$ çiftli dalga denklemlerinde çözülen uyarılmış foton sayıdır.

Her zaman aralığında yeni alan (field) değeri hesaplanır ve sınır şartları uygulanır. Bu işlem stabil mod-kilitli darbeler elde edilinceye kadar tekrarlanır.

RIN çıkış şiddetindeki dalgalanmalar olarak adlandırılır ve aşağıdaki gibi yazılır

$$\frac{RIN(f)}{\Delta f} = \frac{2 \langle |\Delta S(f)|^2 \rangle}{\langle S \rangle^2} \text{ dB/Hz} \quad (7)$$

burada $\langle S \rangle$ ortalama güç ve $\Delta S(f)$ belirlenen bir frekansda, Δf bant genişliğindeki gürültünün spektral yoğunluğudur.

3. SONUÇ ve TARTIŞMA

Simulasyonda, dalgaboyu 1.55 μm , mod-kilitleme frekansı 2.5 GHz, lazer ve ızgara uzunlukları 250 μm ve 4 cm alınmıştır. Uygulana dc ve rf akımları 6 mA ve 20 mA dir. Kullanılan diğer MQW lazer parametreleri Tablo 1 de verilmiştir.

ϵ	kazanç doyma parametresi	$2 \times 10^{-17} \text{ cm}^3$
a_0	diferansiyel kazanç	$10 \times 10^{-16} \text{ cm}^2$
β	spontane kavrama faktörü	5×10^{-5}
α	çizgigenişliği artma faktörü	2
η	alan (field) kavrama faktörü	0.8
r_3	AR yansıtırlığı	0.01
r_1	HR yansıtırlığı	0.9
Γ	optik sınırlandırma faktörü	0.1
τ_n	taşıyıcı yaşam süresi	$0.8 \times 10^{-9} \text{ s}$
α_{int}	iç kayıplar	25 cm^{-1}

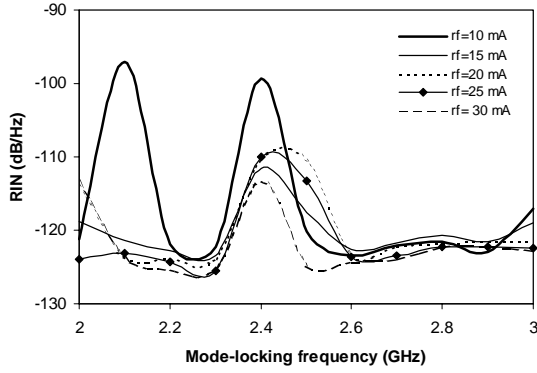
Table 1 Laser diodyodun parametreleri

Bilindiği gibi, geleneksel mod-kilitli sistemlerin modülasyon frekansı dizayn frekansından farklı olunca, mod-kilitleme kurulamaz. HSPS'in doğru mod-kilitlemeli olup olmadığına karar vermek için, HSPS in mod-kilitlemesi, ana (fundamental) frekans etrafında geniş bir frekans aralığında ve uygulanan geniş bir rf ve dc akımlar aralığında kontrol edildi. Buna ek olarak, çıkış darbelerinin genişliği (FWHM) ve TBP çeviri-sınırlı darbeler yani soliton türü darbeler için incelendi.

Sonuçlar, standard lazer diyot parametreleri kullanıldığında (bkz. Tablo 1), gürültüsüz ve spontane gürültü ile mod-kilitli HSPS den çeviri-sınırlı darbelerin geniş bir frekans aralığında (2-3.1 GHz) elde edildiğini gösterdi. Bu aralık deneysel olarak 700 MHz bulundu [1]. Gürültüsüz, darbe genişliği 46 ps ve TBP si 0.399 olan tipik bir çeviri-sınırlı darbe çalışma frekansı 2.5 GHz etrafında elde edildi. Spontane gürültü ile ilgili frekansda darbe genişliği 34 ps ve TBP 0.310 dir. Elde edilen bu sonuçlar çeviri-sınırlı darbe tarifnamesi alanında yatmaktadır. Bu nedenle darbeler çeviri-sınırlıdır.

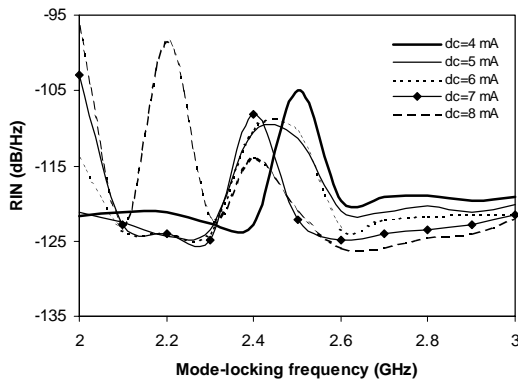
Doğrusal azalan adımlı ızgara kullanan HSPS den geniş bir frekans aralığında çeviri-sınırlı darbelerin elde edilmesinin sebebi; ızgara içine yerleştirilen doğrusal azalan adım (chirp), taşıyıcının neden olduğu kırılma indisi değişiminden dolayı aktif boşlukta oluşan dağılımı karşılayabilir. FBG lere yerleştirilen doğrusal azalan adım, ana frekans etrafında geniş bir alanda çeviri-sınırlı darbelerin üretilmesinde önemli bir rol oynar. Bununla birlikte, RIN, spontane kavrama faktörü (β_{sp}), çizgi genişliği artma faktörü (α), kazanç doyma parametre (ϵ) lerinin artmasıyla ve ayrıca bazı rf ve dc akım değerlerinde artar. Artan gürültü mod-kilitleme olayını zorlaştırdığından çeviri-sınırlı darbeler üretilemez ve bundan dolayı çeviri-sınırlı darbelerin elde edildiği uygun mod-kilitleme aralığı azalır. Aşağıda bu parametrelerin RIN spektrumuna ve HSPS çıkış darbesine etkisi verilmiştir.

Farklı rf akımları için RIN spektrumu Şekil 2 de sabit 6 mA lik dc akıma karşılık verilmiştir. rf akımının büyüklüğü 10 mA den 30 mA e değiştirilmiştir. Çeviri sınırlı darbeler 10 mA hariç tüm akımlarda geniş bir frekans aralığında (2-3.1GHz) elde edilir. 10 mA için 2.4 GHz mod-kilitleme frekansında 0.006 lık TBP verdiği için çeviri sınırlı darbeler elde edilemez. Ayrıca, eğer rf akımı 10 mA den küçük ve 30 mA den büyük ise yine geniş bir frekans aralığında çeviri-sınırlı darbelerin üretilemeyeceği bulunmuştur.



Şekil-2. Farklı rf akımlarına karşılık HSPS in RIN spektrumu

Şekil 3 lazer diyotun ana frekans 2.5 GHz de 20 mA lik bir rf akımı uygulandığında, dc akımın RIN spektrumuna etkisini göstermektedir. dc akımın büyüklüğü 4 ile 8 mA arasında değişmektedir. Şekilde görüldüğü gibi 4 mA için 2.5 GHz de RIN -104.92 dB lik bir tepeye sahip ve bu frekansda TBP i 0.163 verdiği için çeviri-sınırlı darbeler üretilemez. Soliton türü darbeler ayrıca, 7 mA için 2 ve 2.4 GHz de ve 8 mA için 2 GHz de üretilemez.

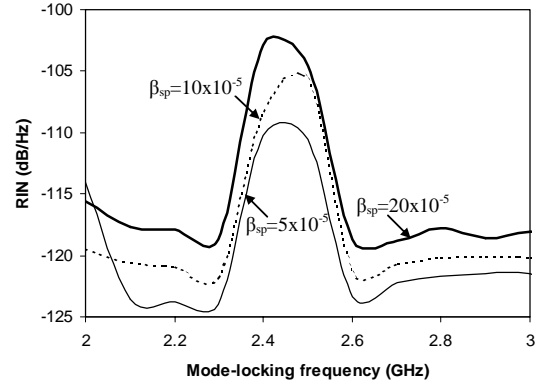


Şekil-3. Farklı dc akımlarına karşılık HSPS in RIN spektrumu

Bu sonuçlarda, optimal biyas akımlarının rf için 15-30 mA ve dc için 5-6 mA alınması gerektiğini gösterir.

Şekil 4 de görüldüğü gibi RIN β_{sp} nın artmasıyla artar ve ana frekans 2.5 GHz etrafında bir tepeye sahip olur.

Bu parametrenin FWHM ve TBP üzerine 2.5 ve 2.4 GHz de etkisi Tablo 2 de verilmiştir. Gürültülü durumda β_{sp} 5×10^{-5} den 20×10^{-5} e değişirken, FWHM da 2.5 GHz de 34.23 ps dan 18.92 ps a ve 2.4 GHz de 34.28 ps dan 5.23 ps da azalır. Tabloda görüldüğü gibi bu parametrenin artmasıyla TBP azalır. Çeviri sınırlı darbeler 2.5 GHz de β_{sp} nin 10×10^{-5} ve 20×10^{-5} değerleri için, 2.4 GHz de ise 20×10^{-5} için üretilemez. Tabloda görüldüğü gibi gürültüsüz, bu parametrenin FWHM ve TBP üzerine etkisi oldukça az.



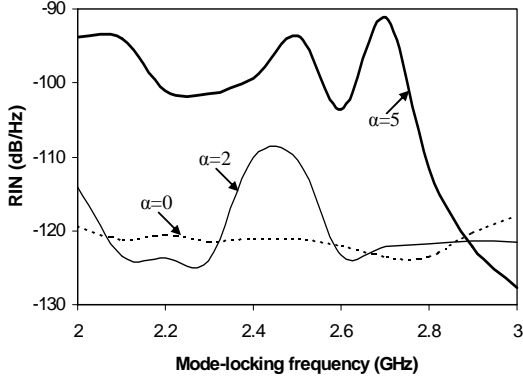
Şekil-4. Farklı β_{sp} değerlerine karşılık HSPS in RIN spektrumu

Tablo 2 Değişen β_{sp} nın mod-kilitli HSPS üzerine etkisi

β_{sp}	FWHM, ps	TBP
2.5 GHz mod-kilitleme frekansında		
5×10^{-5}	46/34*	0.399/0.310*
10×10^{-5}	45/23*	0.389/0.212*
20×10^{-5}	43/19*	0.374/0.167*
2.4 GHz mod-kilitleme frekansında		
5×10^{-5}	47/34*	0.396/0.288*
10×10^{-5}	47/31*	0.398/0.264*
20×10^{-5}	47/5*	0.393/0.043*

* spontane gürültülü

α spektral çizgigenişliğini ve frekans chirpini belirtir. MQW lazerler için değeri genellikle 2 alınır. Yarıiletken lazerlerde, kırılma indisi taşıyıcı (carrier) yoğunluğa bağlıdır ve α bu bağımlılığı belirtir. Pratikte sıfır bağımlılık olmamasına rağmen, bizim simülasyonda α , 0 ile 5 arasında değişmiştir. Şekil 5 de görüldüğü gibi RIN, α nin artmasıyla artar ve geniş bir frekans aralığında çeviri-sınırlı darbeler üretilemez. RIN, α nın sıfır değeri için çok küçüktür fakat bu defa da Tablo 3 de görüldüğü gibi, gürültülü ve gürültüsüz TBP 0.5 den büyüktür. Bu değerlerde çeviri-sınırlı darbe tarifnamesi alanında bulunmamaktadır. Bu nedenle darbeler yine çeviri-sınırlı değildir.



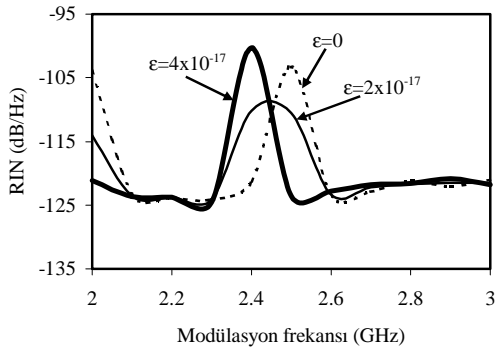
Şekil-5. Farklı α değerlerine karşılık HSPS in RIN spektrumu

Table 3 Değişen α nın mod-kilitli HSPS üzerine etkisi

α	FWHM, ps	TBP
0	58/59*	0.539/0.543*
2	46/34*	0.399/0.310*
5	28/31*	0.308/0.293*

* spontane gürültülü

Simulasyonlarda, Şekil 6 da görüldüğü gibi, ϵ nin artmasıyla RIN in arttığı ve RIN tepesinin düşük frekansa kaydığı gözlenmiştir. Gürültü tepesi $\epsilon=0$ için 2.5 GHz de ve $\epsilon=4 \times 10^{-17}$ için 2.4 GHz de oluşmaktadır. 0.012 ve 0.008 TBP vererek sadece bu frekanslarda çeviri-sınırlı darbeler elde edilemez.



Şekil-6. Farklı değerlerine karşılık HSPS in RIN spektrumu

4. SONUÇ

Sonuç olarak, düşük gürültüde doğrusal azalan adımlı FBG kullanan mod-kilitli HSPS ile geniş bir frekans aralığında soliton türü darbeler elde edilebilir. Fakat, RIN, β_{sp} , α ve ϵ nin büyük değerleri için artar ve yüksek gürültü çeviri-sınırlı olmayan darbeler verir. Bundan dolayı uygun mod-kilitleme aralığı azalır. Ayrıca, RIN nin aşırı derecede rf ve dc akımlarına karşı duyarlı olduğu ve bu akımların bazı değerleri için RIN nin arttığı bulunmuştur.

KAYNAKLAR

- [1] Morton, P.A., Mizrahi, V., Andrekson, P. A., Tanbun-Ek, T., Logan, R. A., Lemaire, P., Coblenz, D. L., Sergent, A. M., Wecht, K. W., and Sciortino Jr. P.F., Mode-Locked Hybrid Soliton Pulse Source with Extremely Wide Operating Frequency Range, IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, Vol 5, Iss 1, pp 28-31, 1993.
- [2] Ozyazici, M. S., Morton, P. A., Zhang, L. M. and Mizrahi, V., Theoretical Model of the Hybrid Soliton Pulse Source, IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, Vol 7, pp 1142-1144, 1995.
- [3] Kogelnik H., and Shank C. V., Coupled-Wave Theory of Distributed Feedback Lasers, Journal of APPLIED PHYSICS, Vol 43, Iss 5, pp. 2327-2335, 1972.
- [4] Dogru N. and Ozyazici M.S., Effect of Spontaneous Noise on Mode-Locked Fiber grating External Cavity Lasers, OPTICAL ENGINEERING, Vol 42, Iss 1, pp 18-22, 2003.
- [5] Dogru N. and Ozyazici M.S., Mode-Locking Characteristics and Relative Intensity Noise Reduction in Hybrid Soliton Pulse Source, EUROPEAN PHYSICAL JOURNAL-APPLIED PHYSICS, Vol 25, Iss 3, pp 151-157, 2004.