

MOD-KİLİTLİ LAZERLERDE 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, Taşıyıcı yoğunluk gürültüsü, Bağlı şiddet gürültüsü

ABSTRACT

Effect of spontaneous and carrier density noise on mode-locked HSPS utilizing linearly chirped fiber Bragg grating is investigated by using coupled mode-equations. It is found that transform-limited pulses are generated over a wide tuning range without noise and with low noise level. However, mode-locking is difficult to achieve for large value of spontaneous coupling factor and some value of rf and dc currents because of increasing noise. High noise introduce noise peak in the relative intensity noise (RIN) spectrum making transform-limited pulses unobtainable. Hence, proper mode-locking range that transform-limited pulses are generated reduces.

1. GİRİŞ

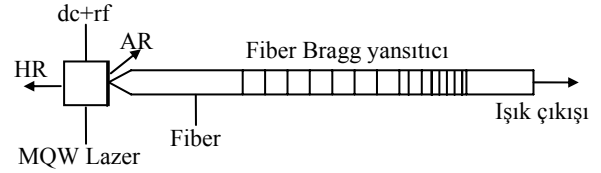
Son zamanlarda, aktif mod-kilitleme kullanarak bir kaç kısa darbe kaynağı örnekleri sunulmaktadır. Bu metot, yüksek-hızlı optik iletim sistemi için düşük zamanlama bozulması (timing jitter) sağlamaktadır. Karışık soliton darbe kaynağı (HSPS) bu amaca yönelik yani soliton iletim sistemi için geliştirilmiş böyle bir cihazdır. Bu cihazın ilginç bir özelliği, azalan adımlı (chirp) ızgara kullanarak çalışma frekansının oldukça geniş olmasıdır [1-2]. Pratikte soliton darbe üretimi için, 2.488 GHz çalışma frekansı etrafında, darbegenişliği 50 ps olan ve zaman-bant genişliği (TBP) çarpımı 0.3 ile 0.5 arasında değişen çeviri-sınırlı darbelerin üretilmesi gerekmektedir. Pikosaniyelik darbeler üretirken, sistemin düşük gürültüde soliton türü darbeler vereceğini veya yüksek gürültüde biçimlenmemiş darbeler vereceğini belirlemek önemlidir.

HSPS in, bağlı şiddet gürültüsü (RIN), spontane kavrama faktörünün (β) yüksek değerleri ve bazı rf ve dc akım değerleri için arttığından, bu bildiride HSPS spontane ve taşıyıcı (carrier) gürültü içerirken, farklı β ve rf ve dc akım değerleri için RIN spektrumu incelendi. Böylece, yüksek ve düşük gürültü seviyelerinin HSPS in çıkış darbesine etkisini ve aynı

zamanda söz edilen parametrelerin RIN spektrumuna etkisi belirlendi.

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 şemantik görünümü

Model çiftli dalga denklemlerinin zaman domeninde çözümüne dayalıdır [3]. Lazer boşluğu, eşit uzunlukta bölümlere ayrılır. Her bir zaman aralığında $dt=dz/v_g$, ileri $F(z,t)$ (+z yönünde) ve geri $R(z,t)$ (-z yönünde) yöndeki dalgalar transfer matrisinden hesaplanır. Her bir lazer bölmesindeki taşıyıcı yoğunluk taşıyıcı oran (carrier rate) denklemlerinden hesaplanır:

$$\frac{dN(z,t)}{dt} = \frac{I(t)}{eV} - \frac{N(z,t)}{\tau_n} - G(z,t)S(z,t) + F_N \quad (1)$$

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 sayısı ve F_N taşıyıcı gürültüdür. Taşıyıcı gürültü F_N , taşıyıcıların ışınım (radiative) ve ışınım olmayan (nonradiative) yeniden birleşimi olmak üzere iki tür işlem sonucu meydana gelir. Işınım yeniden birleşimi spontane gürültü ile ilişkisi olmasına rağmen ışınım olmayan yeniden birleşiminin yoktur. Bu çalışmada, spontane ve taşıyıcı gürültü

arasındaki çapraz korelasyonunun RIN üzerine etkisi çok az olduğu için ihmal edilmiştir. Enjeksiyon akımının gürültüsü ihmal edilirse, F_N nin korelasyonu

$$\langle F_N(z, t) F_N(z', t') \rangle = (N / \tau_n + GS) \delta(t - t') \delta(z - z') \quad (2)$$

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

Bir lazerin, yayılan optik gücü gürültü sergilediği ve bu gürültü onun kararlı-halinin etrafında dalgalanmalara sebep olduğu için, optik gücü aşağıdaki gibi yazabiliriz:

$$P(t) = \langle P \rangle + \delta P(t) \quad (3)$$

burada $\langle P \rangle$ ortalama güç ve $\delta P(t)$ optik gücün gürültüsüdür. Bir lazer diyotun RIN değeri, şiddet dalgalanmalarının karesinin ortalamasının ortalama gücün karesine oranıdır.

$$RIN = \frac{\langle \delta P^2(t) \rangle}{\langle P \rangle^2} = \frac{\langle P(t)^2 \rangle}{\langle P \rangle^2} - 1 \quad (4)$$

Gürültü süreçlerinin durağan ve ergodik oldukları düşünülür, bu nedenle $\langle \rangle$ sembolü ya tüm parçaların (bütünün) ortalamasını ya da zamana göre ortalamayı belirtir.

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. Uygulanan dc ve rf akımları 6 mA ve 20 mA dir. Kullanılan diğer MQW lazer parametreleri Tablo 1 de verilmiştir.

Tablo 1 Lazer diyodun parametreleri

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}

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, spektrum genişliği, çıkış darbelerinin genişliği ve zaman-bandgenişliği (TBP) çarpımı incelenir. Bu çalışmada zaman-bandgenişliği çarpımı 0.3 ile 0.5 arasındadır.

Sonuçlar, 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.

Eğer spontane ve taşıyıcı gürültülerinin her ikisinde dikkate alınır, yine çeviri-sınırlı darbeler geniş bir frekans aralığında (2-3.1 GHz) elde edilir ve çalışma frekansı etrafında darbe genişliği 38 ps ve TBP 0.340 dir. Bu sonuçlar da uzun mesafe soliton iletim sistemleri için uygundur.

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, çalışma frekansı etrafında geniş bir alanda çeviri-sınırlı darbelerin üretilmesinde önemli bir rol oynar. Bununla birlikte, RIN, β nin yüksek değerleri ve bazı rf ve dc akım değerlerinde artar [4-5]. Artan RIN çeviri-sınırlı olmayan darbe daralmasına neden olur ve bundan dolayı soliton türü darbeler geniş bir frekans aralığında elde edilemez.

Table 2 Değişen β nin mod-kilitli HSPS üzerine etkisi

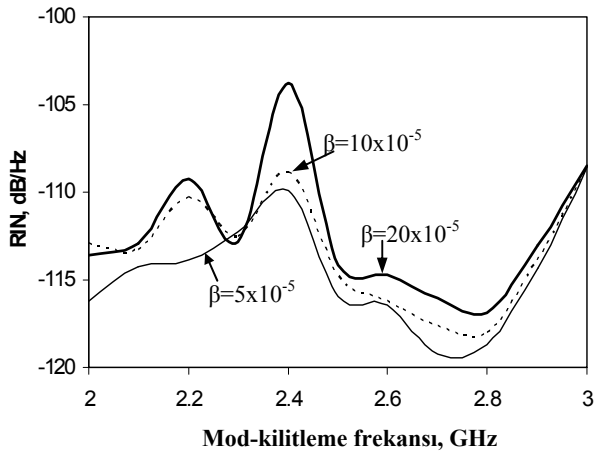
β	darbegenişliği, ps	TBP
2.5 GHz mod-kilitleme frekansında		
5×10^{-5}	46/38*	0.399/0.340*
10×10^{-5}	45/36*	0.389/0.321*
20×10^{-5}	43/35*	0.374/0.318*
2.4 GHz mod-kilitleme frekansında		
5×10^{-5}	47/38*	0.396/0.312*
10×10^{-5}	47/37*	0.398/0.300*
20×10^{-5}	47/5*	0.393/0.042*

* spontane ve taşıyıcı gürültü

β nin HSPS in çıkış darbesine etkisi Tablo 2 de verilmiştir. Bu tablo, β dan dolayı 2.5 ve 2.4 GHz mod-kilitleme frekanslarında darbe genişliği ve TBP da meydana gelen değişiklikleri göstermektedir. Gürültülü 2.4 GHz mod-kilitleme frekansında, β 5×10^{-5} den 20×10^{-5} e değişirken, darbe genişliğindeki

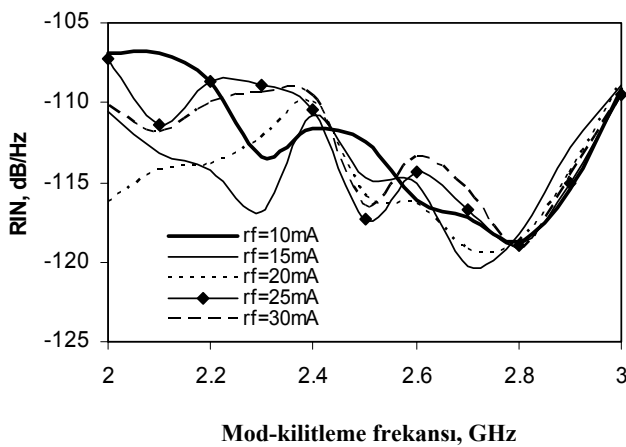
farklılık (38 ps dan 5 ps a azalarak) oldukça bellidir. TBP, β artarken azalır ve o sinyal için 2.4 GHz mod-kilitleme frekansında 0.042 lik TBP vererek anlamsız data haline gelir. Gürültüsüz ise tabloda görüldüğü gibi bu parametrenin çıkış darbesine ve TBP e etkisi oldukça küçüktür.

Şekil 2 farklı β değerleri için frekansa karşılık RIN spektrumunu göstermektedir. Şekilde görüldüğü gibi RIN, β nın artmasıyla artıyor ve gürültü tepesi 2.4 GHz de oluşuyor. Çeviri-sınırlı darbeler, yalnızca 2.4 GHz de, β nın 20×10^{-5} değeri için elde edilemez. β nın diğer değerleri için bütün mod-kilitleme frekanslarında bu darbeler elde edilebilir.



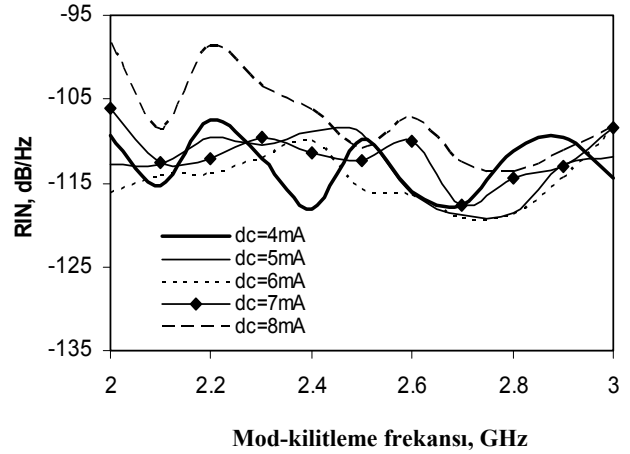
Şekil-2. Farklı β değerlerine karşılık HSPS in RIN spektrumu

Farklı rf akımları için RIN spektrumu Şekil 3 de sabit 6 mA lik dc akıma karşılık verilmiştir. rf akımının büyüklüğü 10 mA den 30 mA e değiştirilmiştir. Çeviri sınırlı darbeler tüm mod-kilitleme frekanslarında (2-3.1 GHz) elde edilmiştir.



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

Şekil 4 dc akımın RIN spektrumuna etkisini göstermektedir. Laser diyot 20 mA lik rf akımıyla 2.5 GHz mod-kilitleme frekansında biyaslanmıştır. Büyüklük 4 mA den 8 mA e değişmiştir. 8 mA hariç dc nin tüm değerlerine karşılık, tüm mod-kilitleme frekanslarında çeviri sınırlı darbeler üretilmiştir. Bu akım değeri için yalnızca 2.1 ve 2.4 GHz mod-kilitleme frekanslarında çeviri-sınırlı darbeler üretilmemiştir.



Şekil-4. Farklı dc akımlarına karşılık HSPS in RIN spektrumu

Bu sonuçlarda, rf ve dc akımlarının optimal değerlerinin, 15-30 mA and 5-7 mA arasında olduğunu gösterir.

4. SONUÇ

Bu çalışmada, HSPS in RIN spektrumu, spontane ve taşıyıcı gürültü kaynakları dikkate alınarak incelendi. Sonuçlar, doğrusal azalan adımlı FBG kullanan HSPS ile gürültüsüz ve düşük gürültü seviyesinde, çeviri-sınırlı darbelerin geniş bir frekans aralığında üretilbildiğini gösterdi. Bununla birlikte, RIN, spontane kavrama faktörünün büyük değerleri ve bazı rf ve dc akımlarında artmış ve artan RIN geniş bir frekans aralığında çeviri-sınırlı darbelerin üretilmesini engellemiş ve bundan dolayı HSPS in uygun mod-kilitleme aralığı azalmıştır. Bu nedenle, geniş frekans aralığında soliton darbeler elde etmek için bahsedilen parametrelerin optimal değerleri kullanılmalıdır.

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 Intensity Noise on Mode-Locked Hybrid Soliton Pulse Source, OPTICS COMMUNICATIONS, Vol 220, Iss 1-3, pp 97-104, 2003.
- [5] Dogru N. and Ozyazici M.S., Effect of Spontaneous and Carrier Noise on Mode-Locked Hybrid Soliton Pulse Source, OPTICAL AND QUANTUM ELECTRONICS, Vol 36, Iss 6, pp 527-537, 2004.