

Mod-kilitli Karışık Soliton Darbe Kaynağının Bağlı Şiddet Gürültüsü

Nuran Dogru, M. Sadettin Özyazıcı
Gaziantep Üniversitesi
Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü
Gaziantep
dogru@gantep.edu.tr

Özet: Spontane gürültünün doğrusal azalan adımlı (chirped) fiber Bragg ızgara kullanan mod-kilitli karışık soliton darbe kaynağı (HSPS) üzerine etkisi sistem tek mod durumunda çalışırken incelendi. HSPS çiftli dalga (mod) denklemlerinin zaman domeninde çözümüyle modellendi. Bu denklemler sayısal olarak çözüldü ve bu sonuçları kullanarak bağlı şiddet gürültüsü (RIN) hesaplandı. Gürültüsüz veya düşük gürültü seviyesinde sistemden geniş bir frekans aralığında çeviri-sınırlı darbeler elde edilmesine rağmen, yüksek gürültü seviyesi çeviri-sınırlı darbelerin oluşmasını engelleyerek mod-kilitleme aralığını azalttığı bulunmuştur. Ayrıca doğrusal azalan adımlı fiber Bragg ızgaraların düzgün (unchirped) Bragg ızgara kullanan HSPS sonuçlarıyla karşılaştırıldığında gürültüyü azalttığı bulunmuştur.

Giriş

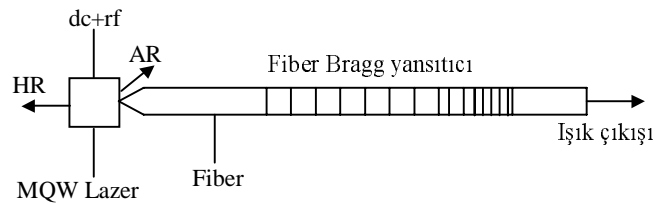
Yarıiletken lazer diodların gürültü karakteristikleri lazerin temel özellikleri arasındadır ve pratik uygulamalarda önemli bir anlama sahiptir. Spontane emisyon gürültü, gürültünün esas kaynağıdır ve lazerin faz ve genliğinde değişikliklere sebep olur. Genlik ve fazdaki bu dalgalanmalar sistemin performansını etkilediği için onların büyüklüğünü dikkate almak önemlidir. Geçmişte, farklı geribesleme seviyelerinde gürültünün birçok niteliksel özellikleri deneysel ve teorik olarak iyi bir şekilde açıklanmıştır [1-2]. Fakat gürültünün mod-kilitlenmesi durumunda karışık soliton darbe kaynağı (HSPS) üzerine etkisi incelenmemiştir.

Bu çalışmada, spontane emisyon gürültünün doğrusal azalan adımlı (chirped) fiber Bragg ızgara kullanan mod-kilitli HSPS üzerine etkisi sistem tek mod durumunda çalışırken incelendi. HSPS, gürültüyü de kapsayan çiftli dalga (mod) denklemlerinin zaman domeninde çözümüyle modellendi. Bu denklemler sayısal olarak çözüldü ve bu sonuçları kullanarak bağlı şiddet gürültüsü (RIN) hesaplandı.

Uzun mesafe soliton iletim sistemi, doğru darbegenişli, zaman-bant genişliği çarpımı 0.5 veya daha az olan çeviri-sınırlı darbelerin üretilmesini gerektirir. Bu çalışmada, doğrusal azalan adımlı fiber ızgaraların kullanılmasıyla geniş bir frekans aralığında çeviri-sınırlı darbeler elde edilmiştir. Düşük gürültü seviyesi bu sonucu etkilememiş, fakat yüksek gürültü seviyesi sistemin çalışmasını etkileyerek çeviri-sınırlı darbelerin oluşmasını engellemiştir. Ayrıca sonuçlar düzgün (unchirped) Bragg ızgara kullanan HSPS sonuçlarıyla karşılaştırıldığında doğrusal azalan adımlı fiber Bragg ızgaraların gürültüyü azalttığı bulunmuştur.

Modelleme

HSPS, tek ve stabil mod sağlayan şiddetli geribeslemeli bir sistemdir [3] ve temel olarak üç bölümden oluşmaktadır (bkz. Şekil 1): 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 yansıtıcılığı yüksek (HR), diğeri ise çok düşüktür (AR). Çıkış şiddeti yansıtıcıdan alınır.



Şekil 1. HSPS sisteminin şematik görünümü.

Model çiftli dalga denklemlerinin zaman domeninde çözümüne dayalıdır [4]. 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:

$$\langle s(z,t)s^*(z',t') \rangle = \beta_{sp} \frac{R_{sp}}{v_g} \delta(t-t') \delta(z-z') \text{ ve } \langle s(z,t)s(z',t') \rangle = 0 \quad (5)$$

Burada, R_{sp} spontane emisyon katkısında bulunan birim uzunluktaki elektron-oyuk yeniden birleşimidir. β_{sp} spontane kavrama faktörü ve v_g ışığın oyuk içindeki grup hızıdır.

Lazer boşluğu, eşit uzunlukta bölümlere ayrılır. Her bir zaman aralığında $dt=dz/v_g$, $E^+(z,t)$ ve $E^-(z,t)$ transfer matrisinden hesaplanır. Her bir lazer bölmesindeki taşıyıcı yoğunluk taşıyıcı oran (carrier rate) denklemlerinden hesaplanır.

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

$$\frac{RIN(f)}{\Delta f} = \frac{2 \langle |\Delta S(f)|^2 \rangle}{\langle S \rangle^2} \text{ dB/Hz} \quad (6)$$

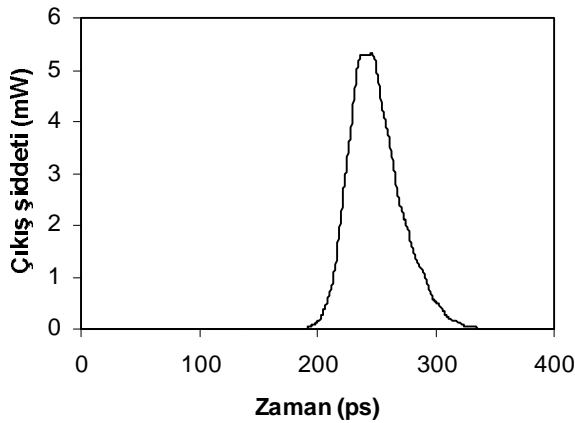
burada $\langle S \rangle$ ortalama güç ve $\Delta S(f)$ belirlenen bir frekansda, Δf bant genişliğindeki gürültünün spektral yoğunluğudur.

Sonuçlar

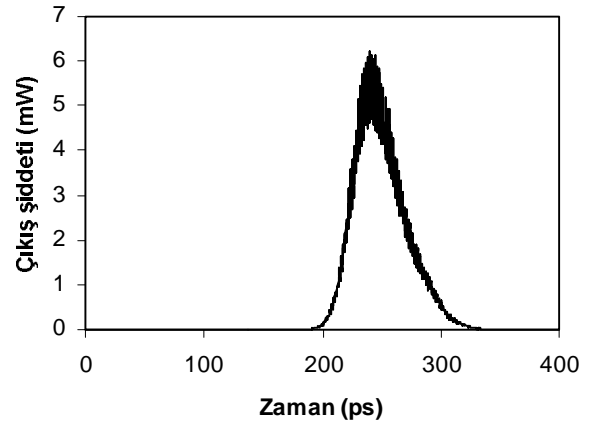
Simulasyonda, dalgaboyu 1.55 μm , mod-kilitleme frekansı 2.5 GHz, lazer ve ızgara uzunlukları 250 μm ve 4 cm alınmıştır. Uygulanan dc ve rf akımları 6 mA ve 20 mA dir. Kullanılan diğer lazer parametreleri ise; kazanç doyma parametresi $2 \times 10^{-17} \text{ cm}^3$, diferansiyel kazanç $10 \times 10^{-16} \text{ cm}^2$, spontane kavrama faktörü 5×10^{-5} , alan kavrama faktörü 0.8, AR kaplamasının yansımaları 0.01, HR kaplamasının ise 0.9 dur. Hapsedilme faktörü 0.1, kayıp 25 cm^{-1} ve taşıyıcı ömrü 0.8 ns dir.

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. Soliton darbe üretimi için 2.488 GHz çalışma frekansı etrafında darbe genişliği 50 ps olan çeviri-sınırlı darbelerin üretilmesi gerekmektedir.

Gürültüsüz, 1.3 GHz lik (1.9-3.1 GHz) geniş bir frekans aralığında çeviri-sınırlı darbeler elde edilir. Darbe genişliğini 45.69 ps, spektral genişliği 8.73 GHz ve TBP 0.399 olan 2.5 GHz mod-kilitli çalışma (fundamental) frekansında tipik bir çıkış darbesi Şekil 2 de gösterilmiştir. Eğer spontane emisyon gürültü dikkate alınır, yine 1.3 GHz lik bir frekans aralığında çeviri-sınırlı darbeler üretilir. Bu durumda darbe genişliği 34.23 ps (bkz. Şekil 3), spektral genişlik 9.07 GHz ve TBP 0.31 dir. Sonuçlardan gözlenildiği gibi gürültü sistemin çalışmasını çok fazla etkilememekte ve elde edilen sonuçlar soliton iletim sistemi için uygun olmaktadır. Bununla birlikte, bazı lazer parametrelerinin değerinin değişmesi gürültünün artmasına sebep olmaktadır. Oluşan bu yüksek gürültü seviyesi de sistemi etkileyerek çeviri-sınırlı darbelerin üretilmesini özellikle mod-kilitli çalışma frekansında engellemekte ve bundan dolayı çeviri-sınırlı darbelerin elde edildiği mod-kilitleme frekans aralığını azaltmaktadır. Spontane emisyon faktörü 20×10^{-5} olduğunda, 2.5 GHz de darbe genişliği 18.92 ps, TBP 0.167 ve spektral genişlik 8.80 GHz, 2.4 GHz de darbe genişliği 5.23 ps, TBP 0.043 ve spektral genişlik 8.22 GHz olur. Elde edilen bu sonuçlar ise pratik uygulamalar için elverişli değildir.



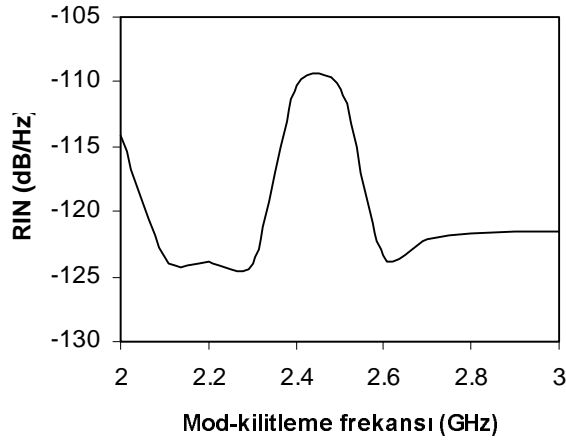
Şekil 2. Gürültüsüz HSPS in çıkış şiddeti.



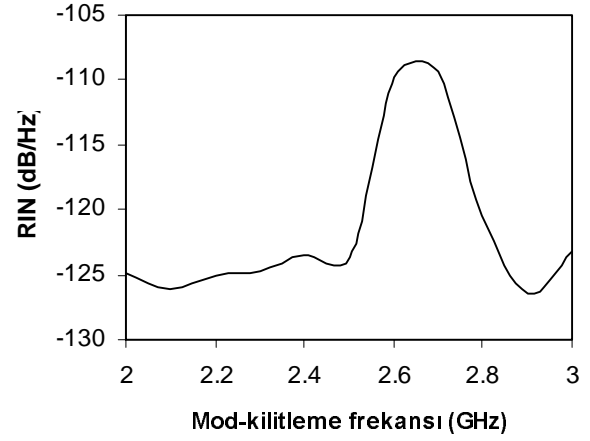
Şekil 3. Gürültülü HSPS in çıkış şiddeti.

Şekil 4 te görüldüğü gibi RIN spektrumunda, 2.4 ve 2.5 GHz de gürültü değeri yaklaşık aynı olduğu için gürültü tepesi biraz geniştir. Yine şekilde görüldüğü gibi bu frekanslar hariç diğer mod-kilitleme frekansları arasında gürültü düşüktür. Bu olay bize çıkış darbelerinin neden daha çok 2.4 GHz ve 2.5 GHz mod-kilitleme frekanslarında etkilendiğini açıklar.

Doğrusal azalan adımlı fiber Bragg ızgaraların düzgün (unchirped) Bragg ızgara kullanan HSPS sonuçlarıyla karşılaştırıldığında gürültüyü azalttığı bulunmuştur. Mod-kilitli düzgün fiber ızgara kullanan HSPS yalnız 2.6 GHz ve 2.7 GHz mod-kilitleme frekanslarında çeviri-sınırlı darbeler üretmekte ve Şekil 5. de görüldüğü gibi bu frekanslardaki RIN değerleri -109.8 dB ve -110 dB olmaktadır. Mod-kilitli HSPS doğrusal azalan adımlı fiber ızgara kullandığında aynı frekanslardaki RIN değerleri ise -123.4 dB ve -122 dB dir (bkz. Şekil 4). Sonuçlardan gözlenildiği gibi, mod-kilitli doğrusal azalan adımlı fiber ızgaralı HSPS mod-kilitli düzgün fiber ızgaralı HSPS den daha düşük gürültüye sahiptir.



Şekil 4. Doğrusal azalan adımlı fiber ızgaralı HSPS in RIN spektrumu.



Şekil 5. Düzgün fiber ızgaralı HSPS in RIN spektrumu.

Sonuç olarak, spontane gürültü, değeri küçük ise sistemin çalışmasını çok fazla etkilememekte ve geniş bir frekans aralığında çeviri-sınırlı darbeler elde edilebilmektedir. Fakat yüksek gürültü seviyesi çeviri-sınırlı darbelerin oluşmasını engellemekte ve bundan dolayı çeviri-sınırlı darbelerin üretildiği mod-kilitleme frekans aralığını azaltmaktadır. Ayrıca, mod-kilitli doğrusal azalan adımlı fiber ızgaralı HSPS düzgün fiber ızgaralı HSPS e göre daha düşük gürültü sergilemektedir.

Kaynaklar

- [1] Kallimani K. I. and O' Mahony M. J., "Relative Intensity Noise for Laser Diode with Arbitrary Amounts of Optical Feedback," IEEE J. Quantum Electron., 34 (8), s. 1438-1446, 1998.
- [2] Schunk N. and Petermann K., "Numerical Analysis of the Feedback Regimes for a Single-Mode Semiconductor Laser with External Feedback," IEEE J. Quantum Electron., 24(7), s. 1242-1247, 1988.
- [3] Morton P. A., Mizrahi V., Andrekson P. A., Tanbun-Ek T., Logan R. A., Lemaire P., Coblentz D. L., Sergent A. M., Wecht K. W., and Sciortino Jr. P. F., Mode-Locked Hybrid Soliton Pulse Source Extremely Wide Operating Frequency Range, IEEE Photonics Technology Letters. 5 (1) s. 28-31, 1993.
- [4] Kogelnik, H. and Shank C. V., Coupled- Wave Theory of Distributed Feedback Lasers, J. Appl. Phys. 43 (5), s. 2327-2335, 1972.
- [5] Zhang L. M., Yu S. F., Nowell M. C., Marcenac D. D, Carrol J. E. and Plumb R. G. S., 'Dynamic Analysis of Radiation and Side-Mode Suppression in a second-Order DFB Lasers Using Time-Domain Large-Signal Traveling Wave Model', IEEE J. Quantum Electron, 30(6), s. 1389-1395, 1994.