

Gürültünün Mod-Kilitli Lazerlere Etkisi

Nuran Dogru
Gaziantep Üniversitesi
Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü
Gaziantep
dogru@gantep.edu.tr

Özet: Bu çalışmada, spontane gürültüyü içeren çiftli mod-denklemlerinin zaman-domeninde çözümüne dayalı, doğrusal azalan adımlı Gaussian pozlu (apodized) fiber Bragg ızgara kullanan mod-kilitli karışık soliton darbe kaynağının (HSPS) gürültüsü tanımlanıp, bağıl şiddet gürültüsü (RIN) hesaplanmıştır. Gürültüsüz ve düşük gürültü seviyesinde sistemden geniş bir frekans aralığında çeviri-sınırlı darbeler elde edilmesine rağmen, lazerin bazı parametrelerinin değerinin artmasıyla gürültü artmış ve artan gürültü de özellikle ana frekansda sistemin çalışmasını etkileyerek çeviri-sınırlı darbelerin oluşmasını engellemiştir.

Giriş

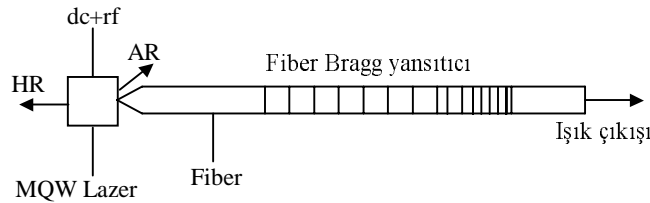
Mod-kilitli yarıiletken lazerler, telekomünikasyon ve ölçme gibi optoelektronik işlemleri kapsayan bir çok uygulamalarda optik darbe kaynakları olarak kullanılabilirler. Karışık soliton darbe kaynağı (HSPS), soliton iletim sistemi için geliştirilmiş böyle bir aygıttır. Düzgün veya doğrusal azalan adımlı (chirped) fiber Bragg ızgara kullanan HSPS için mod-kilitlenme olayları açıklanmış [1], fakat gürültünün mod-kilitli HSPS üzerine etkisi incelenmemiştir.

Bu çalışmada, spontane emisyon gürültünün doğrusal azalan adımlı (chirped) Gaussian pozlu (apodized) fiber Bragg ızgara kullanan mod-kilitli HSPS üzerine etkisi sistem tek mod durumunda çalışırken incelendi ve ayrıca elde edilen sonuçlardan önemli gürültü parametreleri belirlendi. HSPS, gürültüyü de kapsayan çiftli dalga (mod) denklemlerinin zaman domeninde çözümüyle modellendi. Bu denklemler sayısal olarak çözüldü ve bu sonuçları kullanarak bağıl şiddet gürültüsü (RIN) hesaplandı.

Soliton darbe üretimi için 2.488 GHz çalışma frekansı etrafında darbegenişliği 50 ps olan sech^2 veya Gaussian şekilli, çeviri-sınırlı darbelerin üretilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, doğrusal azalan adımlı Gaussian pozlu fiber ızgaraların kullanılmasıyla geniş bir frekans aralığında çeviri-sınırlı darbeler elde edilmiş, fakat yüksek gürültü seviyesi sistemin çalışmasını özellikle çalışma (fundamental) frekansında etkileyerek çeviri-sınırlı darbelerin oluşmasını engellemiştir. Çizgigenişliği artma (linewidth enhancement) faktörü (α), kazanç doyma (gain saturation) faktörü (ϵ) ve spontane kavrama (spontaneous coupling) faktörü (β_{sp}) en önemli gürültü parametreleri olup, bu parametrelerin değerinin artması gürültünün artmasına sebep olmuş ve bundan dolayı geniş bir frekans aralığında çeviri-sınırlı darbeler elde edilememiştir.

Modelleme

HSPS, tek ve stabil mod sağlayan şiddetli geribeslemeli bir sistemdir 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 yansıtması 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 [2]. 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 $F(t,z)$ (+z yönünde) ve geri yöndeki dalga $R(z,t)$ (-z yönünde) arasındaki kavrama (coupling) aşağıdaki gibi yazılabilir

$$\frac{dF}{dz} = (g_{net} - j\delta)F - j\kappa R + s_f \quad (2)$$

$$\frac{dR}{dz} = -(g_{net} - j\delta)R + j\kappa F + s_r \quad (3)$$

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 [3], 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 emisyonu katkıda 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 $dt = dz/v_g$, ileri $F(z,t)$ ve geri $R(z,t)$ yöndeki dalgalar transfer matrisinden hesaplanır. Her bir lazer bölmesindeki taşıyıcı yoğunluk taşıyıcı oran (carrier rate) denklemlerinden hesaplanır:

$$\frac{dN(z,t)}{dt} = \frac{I(t)}{eV} - \frac{N(z,t)}{\tau_n} - \frac{a_o(N(z,t) - N_o)}{1 + \epsilon S(z,t)} v_g S(z,t) \quad (6)$$

burada I hacmi V olan aktif bölge içine enjekte edilen akım, e elektronik yük, τ_n yaşam süresi, $S(z,t)$ foton yoğunluğu olup $|F|^2 + |R|^2$ ile orantılıdır, N_o saydamlıktaki taşıyıcı yoğunluk, ϵ kazanç doyma (gain saturation) faktörü ve a_o diferansiyel kazanç.

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 stabil-halinin etrafında dalgalanmalara sebep olduğu için, optik gücü aşağıdaki gibi yazabiliriz:

$$P(t) = \langle P \rangle + \delta P(t) \quad (7)$$

burada $\langle P \rangle$ ortalama güç ve $\delta P(t)$ optik gücün gürültüsüdür. RIN, $\delta P(t)$ ve $\langle P \rangle$ ile ilgilidir ve aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$RIN = \frac{\langle \delta P^2(t) \rangle}{\langle P \rangle^2} = \frac{\langle P(t)^2 \rangle}{\langle P \rangle^2} - 1 \quad (8)$$

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

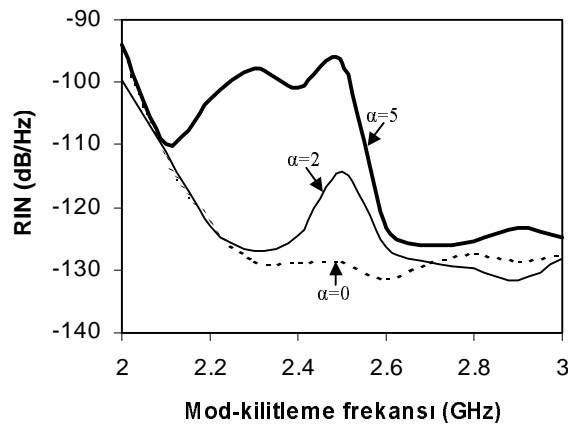
Sonuçlar

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.

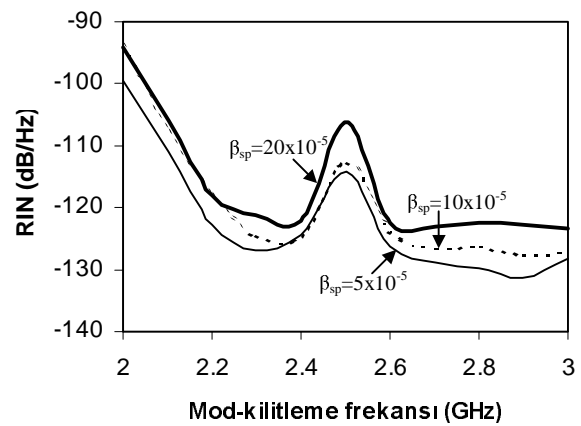
Bilindiği gibi, geleneksel mod-kilitli sistemlerin modülasyon frekansı dizayn frekansından farklı olunca, mod-kilitleme kurulamaz. HSPS'in doğru mod-kilitlemeli olup olmadığına karar vermek için, spektrum genişliği, çıkış darbelerinin genişliği ve zaman-bandgenişliği (TBP) çarpımı incelenir. Bu çalışmada zaman-bandgenişliği çarpımı 0.3 ile 0.5 arasındadır.

Yukarıda bahsedilen standard lazer diyot parametreleri kullanıldığında, gürültüsüz, sistemden geniş bir frekans aralığında çeviri-sınırlı darbeler üretilir (2-3 GHz). Bu durum için, 2.5 GHz çalışma (fundamental) mod-kilitleme frekansında darbe genişliğini 45.38 ps, spektral genişliği 8.68 GHz ve TBP 0.394 olan çıkış darbesi elde edilir. Eğer spontane emisyon gürültü dikkate alınır, yine 1 GHz lik bir frekans aralığında çeviri-sınırlı darbeler üretilir. Bu durumda 2.5 GHz çalışma frekansında darbegenişliği 40.55 ps, spektral genişlik 8.60 GHz ve TBP 0.349 dir. Elde edilen bu sonuçlar soliton iletim sistemi için uygundur ve çıkış darbeleri çeviri-sınırlıdır. Sonuçlardan gözlenildiği gibi gürültü sistemin çalışmasını çok fazla etkilememekte ve geniş bir frekans aralığında çeviri-sınırlı darbeler üretilebilmektedir. Bununla birlikte, α , ϵ ve β_{sp} gibi bazı lazer parametrelerinin değerinin artması gürültünün artmasına sebep olmuş ve bundan dolayı geniş bir frekans aralığında çeviri-sınırlı darbeler elde edilememiştir. Bu parametrelerin gürültü ve HSPS üzerine etkisini göstermek için onların farklı değerlerinde sonuçlar alınmıştır.

Yarıiletken lazer diyotlar için kırılma indisi taşıyıcı yoğunluğa bağlıdır ve α bu bağımlılığı belirtir. Pratikte sıfır bağımlılık olmamasına rağmen bizim simulasyonda α 0 ile 5 arasında değişmiştir. α değeri arttığında gürültü de artmakta ve geniş bir frekans aralığında çeviri-sınırlı darbeler üretilememektedir (bkz. Şekil 2). Yine şekilde görüldüğü gibi, RIN α nın sıfır değeri için çok küçük olmaktadır. Fakat sıfır α için gürültülü veya gürültüsüz ortamda TBP artmakta (2.5 GHz de gürültülü 0.564, gürültüsüz 0.567) ve yine çeviri-sınırlı darbeler elde edilememektedir.



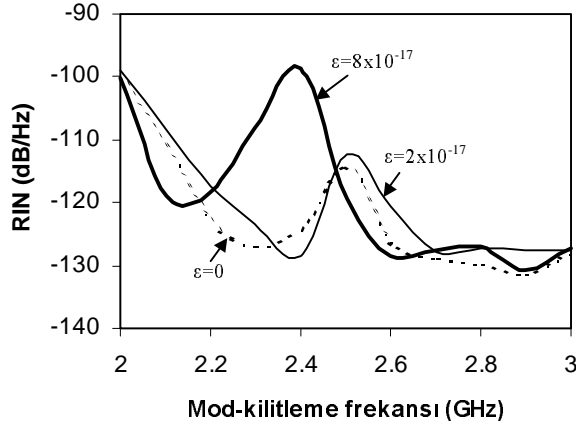
Şekil 2. Farklı α değerleri için RIN spektrumu.



Şekil 3. Farklı β_{sp} değerleri için RIN spektrumu.

β_{sp} parametresi dinamik davranış için önemlidir; bu parametresiz ve $t=0$ anında $S=0$ ile, S sıfırda kalır. Şekil 3 de görüldüğü gibi bu parametre de arttığında gürültü artmakta ve çalışma frekansında çeviri-sınırlı darbeler üretilememektedir.

ε nin RIN üzerine etkisi Şekil 4 de verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi bu parametrenin de artmasıyla RIN artmış ve ayrıca gürültü tepesi düşük frekansa kaymıştır. Gürültü tepesinin bulunduğu frekanslarda çıkış darbesi çeviri-sınırlı değildir.



Şekil 4. Farklı ε değerleri için RIN spektrumu.

Sonuç olarak, gürültüsüz veya düşük gürültü seviyesinde sistemden geniş bir frekans aralığında çeviri-sınırlı darbeler elde edilmiştir. Fakat α , β_{sp} ve ε parametrelerinin değerinin artmasıyla gürültü artmıştır. Yüksek gürültü seviyesi, RIN spektrumunda çeviri-sınırlı darbelerin üretilmesini engelleyen gürültü tepesi oluşturmuş ve bundan dolayı mod-kilitleme aralığı azalmıştır. Ayrıca, α nin gürültülü ve gürültüsüz ortamda sistemi etkilemesine rağmen β_{sp} ve ε yalnız gürültülü ortamda etkili olduğu bulunmuştur. Bütün bu elde edilen sonuçlar, mod-kilitleme ve gürültü analizi için lazer parametrelerinin en uygun değerlerinin kullanılması gerektiğini gösterir.

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 Extremely Wide Operating Frequency Range, IEEE Photonics Technology Letters. 5 (1) s. 28-31, 1993.
- [2] Kogelnik, H. and Shank C. V., Coupled-Wave Theory of Distributed Feedback Lasers, J. Appl. Phys. 43 (5), s. 2327-2335, 1972.
- [3] 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.