

# SPONTANE GÜRÜLTÜNÜN MOD KİLİTLİ DOĞRUSAL AZALAN ADIMLI GAUSSIAN POZLU FİBER IZGARALARA ETKİSİ

Nuran DOĞRU

M. Sadettin ÖZYAZICI

Elektrik&Elektronik Mühendisliği Bölümü

Gaziantep Üniversitesi, 27310 Gaziantep

e-mail:dogru@gantep.edu.tr

Anahtar sözcükler: Spontane Gürültü, Bağlı Şiddet Gürültüsü, Mod Kilitlemesi, Fiber Bragg Izgara

## ABSTRACT

Noise of hybrid soliton pulse source (HSPS) utilizing linearly chirped Gaussian apodized fiber Bragg grating is described by using coupled mode-equations including spontaneous emission noise. Relative intensity noise (RIN) is calculated using numerical solution of these equations. It is found that although without noise transform-limited pulses are generated over a wide frequency range, spontaneous noise affects the operation of device especially at the fundamental mode-locking frequency and therefore transform-limited pulses are not generated over a wide frequency range.

## 1. GİRİŞ

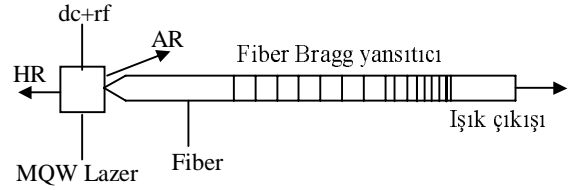
Işığın kuantum tabiatından dolayı lazer diyotlar özünde gürültülü cihazlardır. Lazer, dalgalanmaları ihmal edilen sabit bir akımla biaslansa bile, yarı iletken lazer, çıkışının şiddetinde ve fazında dalgalanmalar gösterecektir. Spontane emisyon ve shot gürültü olarak bilinen elektron-oyuk yeniden birleşimi iki temel gürültü mekanizmasıdır. Spontane emisyon, gürültünün esas kaynağıdır ve gönderilen optik şiddetin ve emisyon frekansının her ikisini de etkiler. Spontane emisyon, şiddet (büyüklik) ve fazı rasgele bir şekilde etkileyerek onlarda dalgalanmalara sebep olur. Bu dalgalanmalar da sistemi etkilediği için onların büyüklüğünü dikkate almak önemlidir.

Karışık soliton darbe kaynağı (HSPS), soliton iletim sistemi için geliştirilmiş bir aygıttır. Bu tür dış boşluklu lazerlerin, modülasyon ve mod-kilitlenme olayları açıklanmış [1-2] fakat gürültünün mod-kilitli HSPS üzerine etkisi incelenmemiştir.

Bu çalışmada, spontane (spontaneous) gürültünün doğrusal azalan adımlı (chirped) Gaussian pozlu (apodized) fiber Bragg ızgara kullanan mod kilitli HSPS üzerine etkisi çiftli dalga (mod) denklemleri kullanılarak incelendi. Bu sonuçları kullanarak bağlı şiddet gürültüsü (RIN) hesaplandı. RIN spectrumunda, ana frekansta bir gürültü tepesi oluşmuş ve tepenin bulunduğu frekansda gürültü sistemin çalışmasını etkileyerek çeviri-sınırlı darbelerin oluşmasını engellemiştir.

## 2. MODELLEME

HSPS, tek ve stabil mod sağlayan şiddetli geribeslemeli bir sistemdir [3] ve temel olarak üç bölümden oluşmaktadır (bkz. Şekil 1): Bir çoklukuantum 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 [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),  $\Delta n_{co}$  indis değişiminin genliği ( $\Delta n_{co} \ll n_{co}$ ),  $m$  modülasyon dizini ve  $\Lambda$  ızgara adımı (tekrarlama sıklığı) dir.

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  $\kappa$  ileri ve geri yöndeki dalga arasındaki kavrama faktörüdür.  $\delta$  genel yayılım sabitinin ( $\beta$ ) 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:

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

ve

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

Burada,  $R_{sp} = BN^2/L_l$  spontane emisyonu katkıda bulunan birim uzunluktaki elektron-oyuk yeniden birleşimidir.  $B$  ışınım yeniden birleşme katsayısı,  $L_l$  lazer kısmının uzunluğu,  $N$  taşıyıcı yoğunluk,  $\beta_{sp}$  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

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

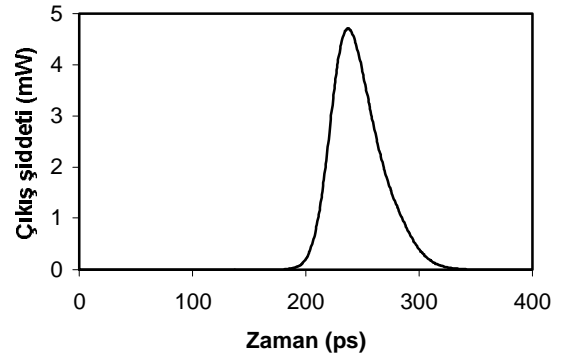
burada  $\langle S \rangle$  ortalama güç ve  $\Delta S(f)$  belirlenen bir frekansda,  $\Delta f$  bant genişliğindeki gürültünün spektral yoğunluğudur.

### 3. SONUÇLAR

Simulasyonda, dalgaboyu 1.55  $\mu\text{m}$ , mod-kilitleme frekansı 2.5 GHz, lazer ve ızgara uzunlukları 250  $\mu\text{m}$  ve 4 cm alınmıştır. Uygulanan dc ve rf akımları 6 mA ve 20 mA dir. Kullanılan diğer lazer parametreleri ise; kazanç doyma parametresi  $2 \times 10^{-17} \text{ cm}^3$ ,

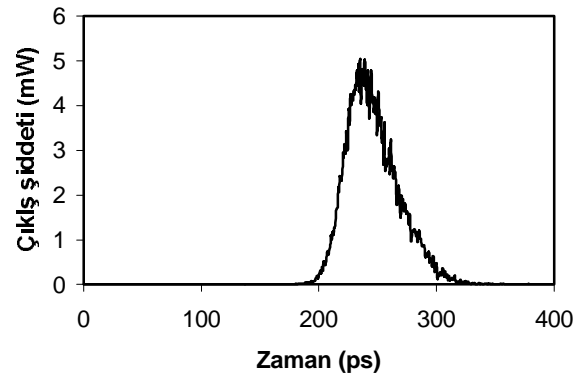
diferansiyel kazanç  $10 \times 10^{-16} \text{ cm}^2$ , spontane kavrama faktörü  $5 \times 10^{-5}$ , alan kavrama faktörü 0.8, AR kaplamasının yansımaları 0.01, HR kaplamasının ise 0.9 dur. Hapsedilme faktörü 0.1, kayıp  $25 \text{ cm}^{-1}$  ve taşıyıcı ömrü 0.8 ns dir.

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  $\text{sech}^2$  veya Gaussian şekilli, çeviri-sınırlı darbelerin üretilmesi gerekmektedir.



Şekil-2 Sabit gürültüde çıkış şiddeti

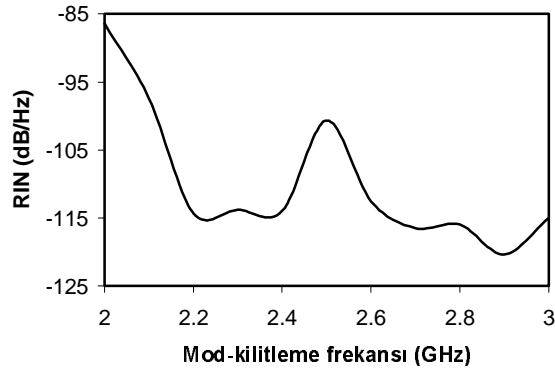
Eğer 2.5 GHz mod-kilitli frekans için spontane emisyon oranı sabit ise, bu sonuç darbe genişliğini 45.38 ps (bkz. Şekil 2), spektral genişliği 8.68 GHz ve TBP 0.394 gösterir. Fakat spontane emisyon rasgele bir süreçtir ve biz yalnız ortalama değerini ne olduğunu biliriz. Bu rasgelelik gürültüyü artırır ve bu durumda darbe genişliği 40.55 ps (bkz. Şekil 3), spektral genişlik 8.60 GHz ve TBP 0.349 dir. Her iki durumdada mod-kilitleme sınırı 2-3 GHz arası bulunmuştur. Gürültü daha da artınca darbe genişliği 3.989 ps, TBP 0.036 ve spektral genişlik 8.987 GHz



Şekil-3 Rasgele gürültüde çıkış şiddeti

olur. Sonuçlardan gözlenildiği gibi düşük gürültü sistemin çalışmasını etkilememekte, fakat yüksek gürültü, sistemi etkileyerek, darbegenişliğinin daralmasına veya yok olmasına sebep olmaktadır. Elde edilen bu sonuçlar ise soliton iletim sistemi için uygun değildir.

Şekil 4 te görüldüğü gibi RIN spektrumunda, 2.5 GHz de bir gürültü tepesinin oluşması optikal rezonansı gösterir. Bu frekans sistemin yüksek gürültü seviyesi olup, bize darbegenişliğinin daralmasının veya yok olmasının neden bu frekansda olduğunu açıklar.



Şekil-4 HSPS'in RIN spektrumu

Sonuç olarak, spontane gürültü, değeri küçük ise sistemin çalışmasını çok fazla etkilememekte fakat gürültü artarsa, rezonans frekansında RIN değeri de artarak çeviri-sınırlı darbelerin oluşmasını engellemektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] Premaratne M., Lowery A. J., Z. Ahmed, and Novak D., Modeling Noise and Modulation Performance of Fiber Grating External Cavity Lasers, IEEE J. SELECT. TOPICS QUANTUM ELECTRON. Vol. 3, Iss 2, pp. 290-303, 1997.
- [2] Pittoni F., Gioannini M. and Montrosset I., Time-Domain Analysis of Fiber Grating Semiconductor Laser Operation in Active Mode-Locking Regime IEEE J. SELECT. TOPICS QUANTUM ELECTRON., Vol. 7, Iss 2, pp. 280-286, 2001.
- [3] 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., Vol. 5, Iss 1, pp. 28-31, 1993.
- [4] Kogelnik H., and Shank C. V., Coupled- Wave Theory of Distributed Feedback Lasers, J. APPL. PHYS., Vol. 43, Iss 5, pp. 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., Vol. 30, Iss 6, pp. 1389-1395, 1994.