

# Mod-Kilitli Karışık Soliton Darbe Kaynağının Bağlı Şiddet Gürültüsünün (RIN) Azaltılması

Nuran Dogru, M. Sadettin Özyazıcı  
Gaziantep Üniversitesi  
Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü  
Gaziantep  
[dogru@gantep.edu.tr](mailto:dogru@gantep.edu.tr); [sadi@gantep.edu.tr](mailto:sadi@gantep.edu.tr)

**Özet:** Doğrusal azalan adımlı (chirp) ve adımsız farklı fiber Bragg ızgaralar (FBG) kullanan karışık soliton darbe kaynağı (HSPS) in şiddet gürültüsü (RIN) ve mod-kilitlenme olayları tanımlanmıştır. HSPS spontane gürültüyü kapsayan çiftli dalga denklemlerinin zaman domendeki çözümüyle modellenmiş ve RIN bu denklemlerin numerik çözümlerini kullanarak hesaplanmıştır. Mod-kilitli HSPS ile Gaussian gibi uygun bir pozlandırma fonksiyonu ve düzgün azalan adım seçerek RIN azaltılmasının mümkün olduğu bulunmuştur.

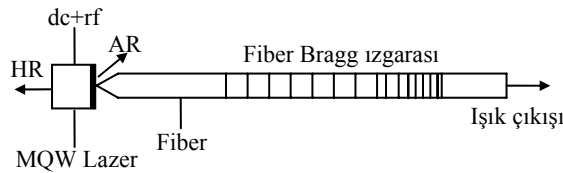
## Giriş

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 zaman-bant genişliği (TBP) çarpımı 0.3 ile 0.5 arasında değişen çevirimsiz darbelerin üretimi 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, düzgün (unchirped), doğrusal azalan adımlı (chirp), Gaussian pozlandırılmış, ve doğrusal azalan adımlı Gaussian pozlandırılmış fiber Bragg ızgara (FBG) kullanan HSPS in bağlı şiddet gürültüsü (RIN) çevirimsiz darbelerin elde edildiği mod-kilitleme frekanslarında karşılaştırıldı. Elde edilen sonuçlardan, Gaussain pozlandırılmış gibi uygun bir fonksiyon ve bunun içine de uygun bir chirp oranı yerleştirilerek mod-kilitli HSPS in RIN değerinin azaltılabileceği bulundu.

## 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 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]. Lazer boşluğu, eşit uzunlukta bölümlere ayrılır. Her bir zaman aralığında  $dt=dz/v_g$ , ileri ( $F(z,t)$ ) ve geri ( $R(z,t)$ ) alanlar transfer matrisinden hesaplanır. Her bir lazer bölmesindeki taşıyıcı yoğunluk taşıyıcı oran (carrier rate) denklemlerinden hesaplanır

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

burada  $I(t)$  enjekte edilen akımı,  $V$  aktif hacmi,  $e$  elektronik yükü,  $\tau_n$  taşıyıcı yoğunluğu,  $P(z,t)$  foton yoğunluğunu göstermekte olup  $|F|^2 + |R|^2$  ile orantılıdır.  $N_o$  saydamlıktaki taşıyıcı yoğunluğu,  $\varepsilon$  kazanç doyma parametresini, ve  $a_o$  diferensiyel kazancı belirtmektedir.

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

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

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

## Sonuçlar

Simulasyonda, dalgaboyu 1.55  $\mu\text{m}$ , mod-kitleme frekansı 2.5 GHz, lazer ve ızgara uzunlukları 250  $\mu\text{m}$  ve 4 cm alınmıştır. Chirp değeri -1.9  $\text{\AA}/\text{cm}$  ve uygulanan dc ve rf akımları 6 mA ve 20 mA dir. Kullanılan diğer lazer parametreleri [5-6] dan bulunabilir.

Sonuçlar, HSPS in düzgün FBG ile 1 GHz (2-3 GHz) lik alanda çıkış darbelerinin üretilebileceğini gösterdi. Bu durumda, yalnız 2.6 ve 2.7 GHz de TBP, çeviri-sınırlı darbe tanımlamasının içerisinde yer almaktadır. Bununla birlikte, alan spektrumunda oluşan çift tepeden dolayı çıkış [6], Gaussian darbe olmayıp, bundan dolayı da darbeler çeviri-sınırlı değildir ve TBP 2.6 ve 2.7 GHz de tanımsızdır.

Eğer Gaussian pozlandırılmış FBG, düzgün FBG yerine kullanıldığında çıkış darbeleri 900 MHz (2-2.9 GHz) lik alanda oluşur ve çeviri sınırlı darbler sadece 2.1, 2.2 ve 2.3 GHz lerde üretilir.

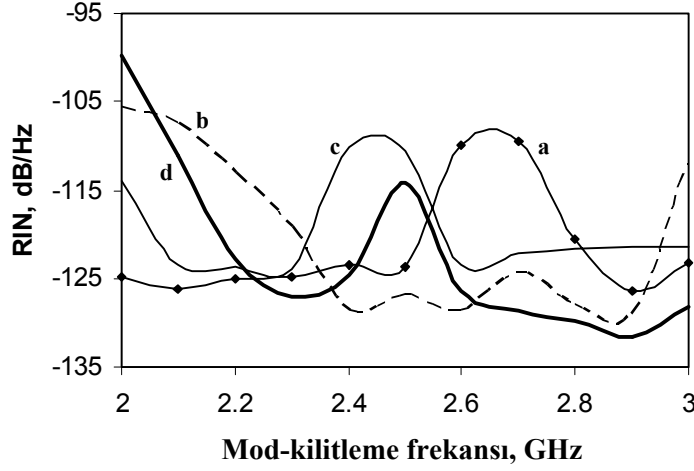
Çeviri sınırlı darbeler, düzgün azalan adımlı FBG ile geniş bir frekans aralığında 1.3 GHz (1.9-3.2 GHz) elde edilir. Benzer şekilde, düzgün azalan adımlı Gaussian pozlandırılmış FBG ile yine geniş bir frekans aralığında çeviri sınırlı darbeler elde edilebilir ve bu aralık 1 GHz (2-3 GHz) dir.

Elde edilen bu sonuçlar, HSPS in doğrusal azalan adımlı FBG ile geniş bir frekans aralığında çeviri sınırlı darbelerin üretilebildiğini gösterdi. Deneysel olarak da, HSPS in doğrusal azalan adımlı FBG ile 2.1-2.8 GHz lik alanda mod-kilitli darbeler ürettiği gösterilmiştir [3]. Bu alan doğrusal azalan adımlı Gaussian pozlu FBG ile 850 MHz bulunmuştur [7].

Düzgün FBG için virtüel TBP, 2.6 ve 2.7 GHz de, çeviri-sınırlı darbe tanımlamasının içindedir ve bu frekanslardaki RIN değeri Şek. 2(a) da görüldüğü gibi -109.84 dB ve -109.40 dB dir. Gaussian pozlu FBG, çeviri sınırlı darbeleri 2.1, 2.2 ve 2.3 GHz de üretmekte ve Şek. 2(b) de görüldüğü gibi -107.45, -113.02 ve -119.28 dB lik RIN değerleri vermektedir. Bu FBG leri kullanan mod-kilitli HSPS in RIN değerleri, çeviri-sınırlı darbelerin üretildiği mod-kitleme frekanslarında karşılaştırıldığında, Gaussian pozlu FBG daha düşük frekanslarda mod-kilitli olmasına rağmen, düzgün FBG in RIN değerleri Gaussian pozlu FBG nin değerlerinden daha yüksektir. Bu sonuçlarda, HSPS in RIN değeri, düzgün FBG yerine Gaussian pozlu FBG kullanarak azaltılabileceğini gösterdi.

Mod-kilitli HSPS in doğrusal azalan adımlı FBG ile 2.6 ve 2.7 GHz deki RIN değerleri Şek. 2(c) de görüldüğü gibi -123.38 ve -122.16 dB dir ve ilgili frekanslarda daha önceden de belirtildiği gibi düzgün FBG li HSPS in virtüel TBP si çeviri-sınırlı darbe tanımının içerisinde. Düzgün ve doğrusal azalan adımlı FBG lerin RIN değerleri çeviri-sınırlı darbelerin üretildiği mod-kitleme frekanslarında karşılaştırıldığında, doğrusal azalan adımlı FBG daha düşük RIN değeri vermektedir. Sonuçlar, bir de Gaussian pozlu FBG ile karşılaştırıldığında ise,

doğrusal azalan adımlı FBG nin yine düşük RIN verdiği gözlenmiştir. Sonuç olarak, mod-kilitli HSPS in RIN değeri, düzgün FBG içine uygun bir doğrusal chirp değeri yerleştirilerek azaltılabilir.



Şekil 2. Mod-kilitli HSPS in RIN spektrumu

Daha önceden açıklandığı gibi çeviri-sınırlı darbeler doğrusal azalan adımlı ve doğrusal azalan adımlı Gaussian pozlu FBG kullanan HSPS ile geniş bir frekans aralığında elde edilebilir. Şek. 2(d) de görüldüğü gibi, doğrusal azalan adımlı Gaussian pozlu FBG li HSPS in çalışma (fundamental) frekansındaki RIN değeri, doğrusal azalan adımlı FBG nin RIN değerinden yaklaşık olarak 4 dB daha düşüktür. Ayrıca, doğrusal azalan adımlı Gaussian pozlu FBG nin RIN değerleri, düzgün ve Gaussian pozlu FBG nin RIN değerleriyle, çeviri-sınırlı darbelerin üretildiği mod-kilitleme frekanslarında karşılaştırıldığında, bu FBG nin yine düşük gürültü sergilediği gözlenmiştir. Bu sonuçlar, doğrusal chirp oranının Gaussian pozlu FBG içine yerleştirilmesiyle daha ileri derecede RIN i azalttığını göstermiştir.

Sonuç olarak, elde edilen sonuçlardan, FBG içine uygun bir pozlandırma fonksiyonu ve doğrusal chirp oranı kullanarak mod-kilitli HSPS in RIN değeri azaltılabilir. M. McAdams [8], CW lazerler için düzgün ızgara spektrumu oluşturmak için uygun pozlandırma ızgarası kullanarak düşük frekanslarda 5 dB lik bir RIN azaltılmasının mümkün olduğunu göstermiştir. Biz de, bu çalışmada doğrusal azalan adımlı FBG kullanan HSPS ile çalışma frekansın etrafında 4 dB lik bir RIN azaltılmasını, HSPS in mod-kilitli ve çeviri-sınırlı darbelerin üretildiği durum altında elde ettik.

## Kaynaklar

- [1] Kallimani K. I. ve 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. ve 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., Coblenz D. L., Sergeant A. M., Wecht K. W., ve 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. ve Shank C. V., "Coupled-wave theory of distributed feedback lasers," J. Appl. Phys. 43 (5), s. 2327-2335, 1972.
- [5] Dogru N. ve Ozyazici M.S., "Effect of intensity noise on mode-locked hybrid soliton pulse source," Opt. Commun., 220(1-3), s. 97-104, 2003.
- [6] Dogru N. ve Ozyazici M.S., "Mode-locking characteristics and relative intensity noise reduction in hybrid soliton pulse source," Eur. Phys. J. Appl. Phys., 25(3), s. 151-157, 2004.
- [7] Ozyazici M.S., Morton P.A., Zhang L.M. ve Mizrahi V., "Theoretical model of the hybrid soliton pulse source," IEEE Photonics Technology Letters. 7(10), s. 1142-1144, 1995.
- [8] McAdams M., Provenzano D., Peral E., ve Yariv A., "Effect of transmission through -fiber gratings on semiconductor laser intensity noise," Appl. Phys. Lett. 71, s. 3341-3343, 1997.