

DÜZGÜN FİBER BRAGG IZGARA KULLANAN HSPS'İN MOD-KİLİTLENME VE GÜRÜLTÜ ANALİZİ

Nuran DOĞRU ve M. Sadettin ÖZYAZICI

Gaziantep Üniversitesi, Elektrik&Elektronik Mühendisliği Bölümü, 27310 Gaziantep

dogru@gantep.edu.tr

Anahtar sözcükler: Karışık soliton darbe kaynağı (HSPS), Soliton, Fiber Bragg ızgara, Çiftli-dalga denklemleri

ÖZET

Bu çalışmada, düzgün fiber Bragg ızgara kullanan karışık soliton darbe kaynağı (HSPS)'nin mod-kilitlenme ve gürültü olayları incelenmiştir. HSPS modeli, çiftli dalga denklemlerinin zaman domeninde çözümüne dayalıdır. Bağlı şiddet gürültüsü (RIN), çiftli dalga denklemlerin numerik çözümlerini kullanarak hesaplanmıştır. Bu fiber ızgarayı kullanan HSPS, geniş bir frekans aralığında mod-kilitleme yapabilmesine rağmen, gürültülü ve gürültüsüz bir ortamda sadece sınırlı bir frekans aralığında çeviri-sınırlı darbeler üretebilmiştir. Çalışma frekansında çeviri-sınırlı darbelerin üretilmemesi, RIN spektrumunu da etkilemiş ve beklenildiği gibi bu frekansda gürültü tepesi oluşmamıştır.

1. GİRİŞ

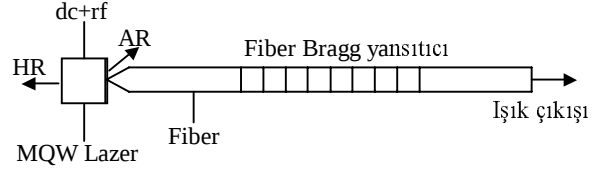
Dış boşluklu ızgara kullanan mod-kilitli yarıiletken lazerler yüksek-hızlı optik iletiminde kısa darbelerin üretilmesi için ilginçtir, çünkü elde edilen darbeler büyük kilitlenme alanına sahiptir. Bu lazerler, telekomünikasyon ve ölçme gibi optoelektronik işlemleri kapsayan bir çok uygulamalarda optik darbe kaynakları olarak kullanılabilirler. Karışık soliton darbe kaynağı (HSPS), soliton iletim sistemi için geliştirilmiş böyle bir aygıttır. Son zamanlarda, bu tür lazerlerin modülasyon ve mod-kilitlenme olayları incelenmiş ve geçmişte farklı geribesleme seviyelerinde gürültünün birçok niteliksel özellikleri deneysel ve teorik olarak iyi bir şekilde açıklanmıştır. Fakat gürültünün mod-kilitlenmesi durumunda karışık HSPS üzerine etkisi incelenmemiştir.

Soliton darbe üretimi için 2.488 GHz çalışma frekansı etrafında darbegenişliği 50 ps olan sech^2 veya Gaussian şekilli ve zaman-bant genişliği (TBP) çarpımı 0.3 ile 0.5 arasında değişen çeviri-sınırlı darbelerin üretilmesi gerekmektedir [1-2].

Bu çalışmada, düzgün FBG kullanan mod-kilitli HSPS in, gürültülü ve gürültüsüz ortamda ne kadarlık bir frekans aralığında çeviri-sınırlı darbeler üretilmediği kontrol edilmiş ve ayrıca bağlı şiddet gürültünün (RIN) sistemin çalışmasına etkisi incelenmiştir.

2. TEORİ

Şekil 1 de görülen HSPS ilk defa Morton tarafından tanıtılmıştır [1]. Genel olarak üç bölümden oluşmaktadır. Bir çoklu-kuantum duvarlı (MQW-multi-quantum well) yarı iletken lazer diyot, fiber kablo ve kablonun sonunda belli bir bölümde oluşturulmuş Bragg yansıtıcı. Diyotun bir yüzeyinin yansımaları yüksek (HR), diğeri ise çok düşüktür (AR). Sistemde üretilen darbenin şekli esas olarak bu yansıtıcı (ızgara) tarafından belirlenmektedir.



Şekil 1 HSPS in şematik gösterimi

Düzgün fiber ızgaranın (sabit adım ve sabit genlikli) kırılma indisi aşağıdaki gibidir:

$$n(z) = n_0 + \delta n \cos(2\beta_0 z) \quad (1)$$

Bu eşitlikte n_0 fiberin değişime uğramadan önceki kırılma indisi ve β_0 Bragg dalgaboyunu gösterir.

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

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

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

Burada, δ genel yayılım sabiti β nın gerçekte kısmının Bragg yayılım sabitinden sapmasıdır ($\beta = \beta_0 - \delta$). κ ileri ve geri yöndeki dalga arasındaki kavrama faktörüdür. 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:

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

ve

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

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.

Fiber ve ızgaradaki kayıplar, uzunluğun bir kaç cm olmasından dolayı ihmal edilebilir.

Çiftli dalga denklemleri, parçalı doğrusal yaklaşımla (piecewise-uniform) çözülür. İlk olaral denklemler analitik olarak çözülür ve daha sonra ızgara herbirinin uzunluğu Δz olan parçalara bölünür. Her parçadaki parametreler hesaplanır ve bu parametreler 2×2 lik yayılım matrisi T_i ye konur. $z=L/2$ de $F(L/2)=1$ ve $R(L/2)=0$ olduğu varsayılarak, hesaplamalar geriden öne doğru yapılır. Her bölmedeki elektrik alan aşağıdaki eşitlikte görüldüğü gibi bir önceki bilinen değerden hesaplanır:

$$\begin{bmatrix} F_i \\ R_i \end{bmatrix} = T_i \begin{bmatrix} F_{i-1} \\ R_{i-1} \end{bmatrix} \quad (6)$$

i 'ci moddaki T_i değeri aşağıdaki gibi yazılır:

$$T_i = \begin{bmatrix} \cosh(\gamma_i \Delta z) - j \frac{\delta}{\gamma_i} \sinh(\gamma_i \Delta z) & -j \frac{\kappa}{\gamma_i} \sinh(\gamma_i \Delta z) \\ -j \frac{\kappa}{\gamma_i} \sinh(\gamma_i \Delta z) & \cosh(\gamma_i \Delta z) + j \frac{\delta}{\gamma_i} \sinh(\gamma_i \Delta z) \end{bmatrix} \quad (7)$$

Her bir lazer bölmesindeki taşıyıcı yoğunluk taşıyıcı oran (carrier rate) denklemlerinden hesaplanır:

$$\frac{dN(z, t)}{dt} = \frac{I(t)}{eV} - \frac{N(z, t)}{\tau_n} - \frac{a_o(N(z, t) - N_o)}{1 + \epsilon S(z, t)} v_g P(z, t) \quad (8)$$

burada I enjekte edilen akım, V aktif bölgenin hacmi, e elektronik yük, τ_n yaşam süresi, $P(z, t)$ 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:

$$P(t) = \langle P \rangle + \delta P(t) \quad (9)$$

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:

$$RIN = \frac{\langle \delta P^2(t) \rangle}{\langle P \rangle^2} = \frac{\langle P(t)^2 \rangle}{\langle P \rangle^2} - 1 \quad (10)$$

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

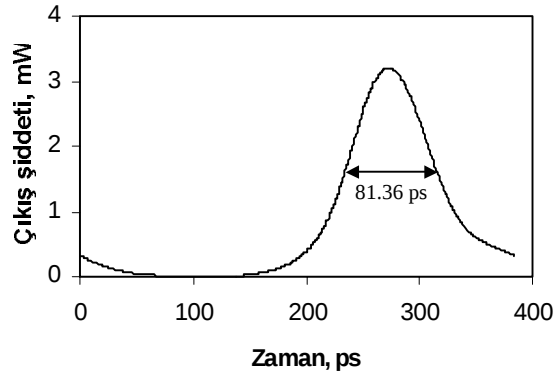
3. SONUÇLAR

Bu çalışmada, fiber ızgara uzunluğu 4 cm, çalışma frekansı 2.5 GHz, uygulanan dc ve rf akımları ise 6 ve 20 mA alınmıştır.

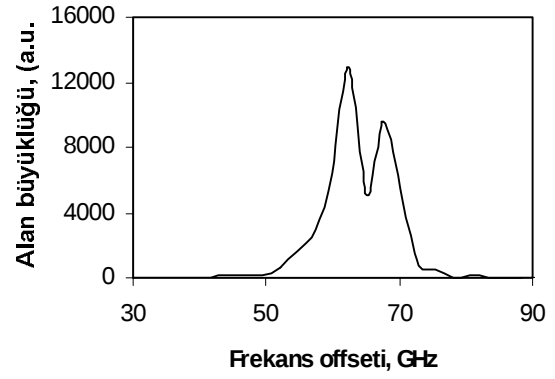
Mod-kilitli bir sistemin modülasyon frekansı çalışma frekansından farklı olunca mod-kilitleme yapılamaz. Biz de bu çalışmada, düzgün fiber ızgara kullanan HSPS in uygun mod-kilitleme yapıp yapmadığını görebilmek için mod-kilitleme 1 GHz lik bir aralıkta incelenmiştir. Her frekansdaki spektral genişlik, darbe genişliği ve TBP kaydedilerek darbenin çeviri-sınırlı yani soliton türü darbe olup olmadığı kontrol edilmiştir.

Gürültüsüz bir ortamda düzgün FBG kullananan mod-kilitli HSPS ile çeviri-sınırlı darbeler sadece 2-6 ve 2.7 GHz de üretilebilmiştir [4]. Şekil 2 ve 3 te görüldüğü gibi 2.6 GHz de çıkış darbesinin darbe genişliğindeki 81.36 ps, spektral genişlik 6.07 GHz ve TBP 0.494 olarak bulunmuştur. Elde edilen bu sonuçlar uzun mesafeli soliton sistemi için uygundur be nedenle darbe çeviri-sınırlıdır. Çalışma frekansında 2.5 GHz de ise darbe genişliği 82.63 ps, spektral genişlik 13.45 GHz ve TBP 1.111 olan çıkış darbesi üretilmiştir. Bu sonuçlar çeviri-sınırlı darbe şartları aralığında bulunmadığından darbe çeviri-sınırlı değildir.

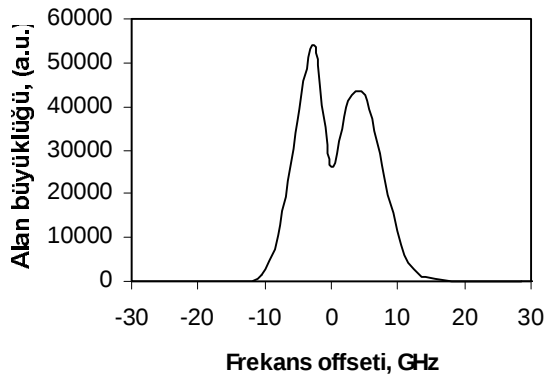
Eğer spontane gürültünün etkisini dikkate alırsak, bu durumda yine çeviri-sınırlı darbeler 2.6 ve 2.7 GHz de elde edilmiştir. 2.6 GHz de darbe genişliği 78.29 ps, spektral genişlik 4.73 GHz ve TBP 0.371 (bkz. Şekil 4-5) dir. Çeviri-sınırlı darbelerin üretilemediği çalışma frekansı 2.5 GHz de ise darbe genişliği 81.74 ps, spektral genişlik 13.19 GHz ve TBP 1.078 dir.



Şekil 2 HSPS in 2.6 GHz de gürültüsüz çıkış şiddeti

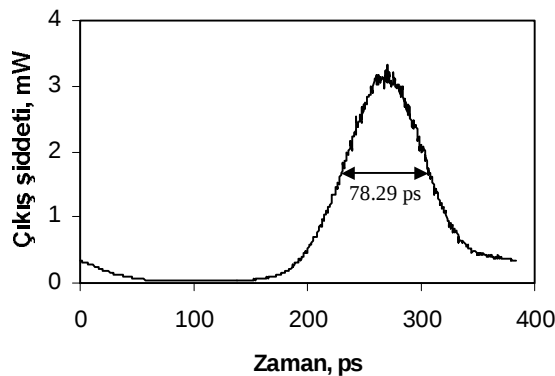


Şekil 5 HSPS in 2.6 GHz de gürültülü ortamdaki alan büyüklüğü



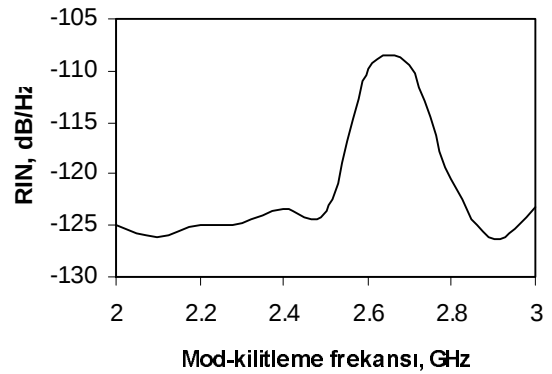
Şekil 3 HSPS in 2.6 GHz de gürültüsüz alan büyüklüğü

Şekil 3 ve 5 de görüldüğü gibi çıkış alan spektrumunda iki tepe gözükmemektedir. Bu çift tepe, düzgün fiber ızgaranın yansıtıcılık spektrumunda oluşan yan-loblardan kaynaklanmaktadır.



Şekil 4 HSPS in 2.6 GHz de gürültülü ortamdaki çıkış şiddeti

Aktif mod-kilitleme rezonans benzeri olaydır. Lazer lazer boşluğunun gidiş-dönüş yayılma zamanının tersi bir frekansa (2.5 GHz) module edilir. Bu nedenle optikal rezonansı gösteren RIN spektrumunda rezonans frekansa (2.5 GHz) bir gürültü tepesinin oluşması beklenir [5]. Fakat Şekil 6 da görüldüğü gibi bu frekansa gürültü tepesi oluşmamıştır. 2.6 ve 2.7 GHz de ise gürültü değerleri aşağı yukarı aynı olduğundan RIN spektrumunun tepesi biraz genişcedir. Daha öncede belirtildiği gibi çeviri-sınırlı darbeler gürültü tepesi bulunmasına rağmen sadece bu frekanslarda üretilebilmektedir. Bu sonuçlar, düzgün fiber ızgara kullanan HSPS ile üretilen çeviri-sınırlı darbelerin, gürültünün büyüklüğü ile ilgili olmadığını gösterir. Ayrıca, çalışma frekansında uygun mod-kilitleme yapılamadığından (çeviri-sınırlı darbeler üretilemediğinden) bu frekansa gürültü tepesi oluşmamıştır.



Şekil 6 HSPS in RIN spektrumu

Sonuç olarak, gürültülü veya gürültüsüz bir ortamda düzgün fiber ızgara kullanan HSPS ile geniş bir frekans aralığında çeviri-sınırlı darbeler üretilemez.

4. SONUÇ

Düzgün fiber ızgara kullanan mod-kilitli HSPS ile sadece sınırlı bir frekans aralığında çeviri-sınırlı darbeler üretilebilir ve gürültünün büyüklüğünün üretilen bu darbelere etkisi olmamaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Morton, P.A., Mizrahi, V., Andrekson, P. A., Tanbun-Ek, T., Logan, R. A., Lemaire, P., Coblentz, D. L., Sergeant, A. M., Wecht, K. W., Sciortino Jr. P.F., Mode-Locked Hybrid Soliton Pulse Source with Extremely Wide Operating Frequency Range, IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTER, vol. 5, no. 1, s. 28-31, 1993.
- [2] Ozyazici, M. S., Morton, P. A., Zhang, L. M., Mizrahi, V., Theoretical Model of the Hybrid Soliton Pulse Source, IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTER, vol. 7, no. 10, s. 1142-1144, 1995.
- [3] Zhang, L. M., Yu, S. F., Nowell, M. C., Marcenac, D. D., Carrol, J. E. ve 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, no. 6, s. 1389-1395, 1994.
- [4] Dogru, N. ve Sayin, M., Mode-Locked and Noise Characteristics of Hybrid Soliton Pulse Source Utilizing Uniform Grating. INTERNATIONAL SYMPOSIUM On OPTICAL SCIENCE and TECHNOLOGY-DIODE LASER and APPLICATIONS, Proc. of SPIE, vol. 4817, Seattle, Washington USA, 7-11 July, s. 241-248, 2002.
- [5] Dogru, N., Ozyazici, M. S., Effect of Spontaneous Noise on Mode-Locked Fiber Grating External Cavity Lasers, OPTICAL ENGINEERING, vol. 42, no. 1, s. 18-22, 2003.