

# LAZER DİYOTUN DOĞRUSAL OLMAYAN GERİ BESLEMEYLE HARMONİK GENLİK KONTROLÜ

**Remzi YILDIRIM\*** ve **Fatih V. ÇELEBİ\*\***

\*Bilgisayar Böl., End. San. Eğitim Fak., Gazi Üni., Gölbaşı Yerleşkesi-Ankara

\*\*Bilgisayar Müh. Böl. Müh. Fak., Ankara Üni., Beşevler-Ankara

[remzi@gazi.edu.tr](mailto:remzi@gazi.edu.tr), [fcelebi@eng.ankara.edu.tr](mailto:fcelebi@eng.ankara.edu.tr)

(Geliş/Received: 20.02.2009 ; Kabul/Accepted: 20.10.2009)

## ÖZET

Sükunet halinde çalışan lazer diyottan çıkan optik güç içerisinde pek çok harmonik bulunur. Başlıcaları, temel, birinci, ikinci ve üçüncü v.b gibi harmonikler sayılabilir. Bu harmoniklerden elde edilen fark frekansları, doğrusal olmayan alt taşıyıcı intermodülasyon (IMD) ve asimetric haberleşme sistemlerinde kullanılır. Analizde metot olarak Volterra güç seri açılımı kullanılmıştır. Seri, üçüncü dereceye kadar açılmış; Volterra operatörlerinden elde edilen küçük işaret transfer fonksiyonuna bağlı olarak  $H_1, H_2$  ve  $H_3$  çekirdekleri için açılımı yapılmıştır. Analiz için, bu çalışmada, birinci çekirdek  $H_1$ 'den elde edilen küçük işaret transfer fonksiyonu kullanılmıştır. Doğrusal olmayan optoelektronik geri beslemeli lazer diyot sistemi (LDS) için zaman gecikmesine ( $t_0$ ) bağlı olarak, geri besleme sabitinin (K) etkili olduğu normalize frekans ve harmonik değerleri bulunmuştur. Harmoniklerin genlik kontrolü, kritik zaman gecikmelerine bağlı olarak, genlikleri azaltılarak, artırılarak veya bastırılarak yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Lazer diyot, volterra serisi, harmonik distorsiyonu, doğrusal olmayan optoelektronik geri besleme, asimetric haberleşme, harmonik genlik kontrolü.

## HARMONIC AMPLITUDE CONTROL IN LASER DIODES WITH NON-LINEAR FEEDBACK

### ABSTRACT

When the laser diode is working at steady-state condition, there exists so many harmonics in optical power such as first, second, third and so on. The difference frequencies obtained from these harmonics are used in sub-carrier intermodulation (IMD) and asymmetric communication systems. In the analysis, Volterra power series expansion method is used. The series is expanded up to third degree and small signal transfer function is obtained from Volterra operators. The expansion is based on  $H_1, H_2$  and  $H_3$  Volterra kernels and small signal transfer function that is organized from  $H_1$  kernel is used in the calculations. For the non-linear optoelectronic feedback laser diode system, the normalized frequency and harmonic values are computed with respect to feedback time delay ( $t_0$ ) for the effective values of the feedback constant (K). Amplitudes of harmonics are controlled by decreasing, increasing or suppressing dependent upon the critical time delays.

**Keywords:** Laser diode, volterra series, harmonic distortion, non-linear optoelectronic feedback, asymmetric communication, amplitude control of harmonics.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Yarıiletken lazer diyot ticari fiber optik haberleşme sistemlerinin önemli bir parçasıdır. Fiber optik haberleşme sistemi gerek sayısal gerekse analog olsun

aynı derecede önem arz etmektedir. Fiber optik haberleşme sistemleri içerisinde özellikle kablolu TV sistemleri farklı bir özelliğe sahiptir. Bu sistemler genel olarak alt-taşıyıcı çoğullama (sub-carrier multiplexing, SCM) tekniğini kullandıkları için lazer

diyotun doğrusal olmayan özelliğinden faydalanarak indermodülasyon (IMD) frekans bileşenleri türetilir ve IMD frekans bileşenleri elde edilir. Böylece fiber optik haberleşme sisteminin bant genişliği artırılarak ticari olarak daha kazançlı hale gelmesi de sağlanır. Sayısal haberleşme sistemleri için ise bant genişliği genel olarak  $-20$  dB ye kadar düşürülerek kullanılabilir. Bu durumda ise gürültü miktarının bilinmesi önem kazanır. Çünkü düşük gürültülü sistemlerde geniş bant kullanılabilir. Bir diğer önemli özellik ise düşük DC besleme akımı ( $I_0$ ) olduğu durumlarda veya düşük güçlü lazerlerde güç dalgalanması daha belirgindir ve etkisi daha büyüktür. Güç miktarı belli bir seviyeye yükseldikçe güç dalgalanması belirgin olarak azalabilir ancak tamamen ortadan kaldırılamaz. Bu dalgalanmayı azaltma tekniklerinden bazıları; optik, elektronik veya optoelektronik geri besleme kullanmak veya bunları bir arada kullanmakla mümkündür [1-13]. Optik güç doğrusal veya doğrusal olmayan şekilde dağılır. Her iki sisteminde özellikle belirgin olarak ayrıştığı veya beraber kullanıldığı durumlarda optik güç mevcuttur. Bu durumda optik gücün harmoniklere dağılımı önem kazanmaktadır. Doğrusal sistemlerde optik çıkış gücünün büyük kısmını temel harmonik taşır. Doğrusal olmayan sistemlerde ise, harmonik güçlerin arasında bilinen oransal bir ilişki yoktur.

## 2. LAZER-DİYOT TEMEL ORAN EŞİTLİKLERİ (BASIC RATE EQUATIONS OF LASER DIODE)

Bu çalışmada, Volterra çekirdeklerinin ( $H_1, H_2, H_3$ ) analizi yapılarak Hassine nin kullandığı tek-modlu lazer diyot oran eşitlikleri, modelde kullanılmıştır [14]. Bu eşitlikler:

$$\frac{dp(t)}{dt} = \Gamma A [n(t) - N_{tr}] [1 - \hat{\epsilon} p(t)] p(t) - \frac{1}{\tau_p} p(t) + \frac{\beta \Gamma}{\tau_n} n \quad (1)$$

$$\frac{dn(t)}{dt} = \frac{1}{q} I(t) - \frac{1}{\tau_n} n(t) - \Gamma A [n(t) - N_{tr}] [1 - \hat{\epsilon} p(t)] p(t) \quad (2)$$

Eşitlikte geçen  $p(t)$  ve  $n(t)$  sırasıyla foton sayısı ve taşıyıcı sayısıdır. Diğer değişkenler ise:  $\Gamma$  sıkıştırma faktörü ( $\Gamma=0.3$ ),  $A$  kazanç sabiti ( $A=1.83 \cdot 10^4 \text{ s}^{-1}$ ),  $N_{tr}$  ışınma noktasındaki taşıyıcı sayısı ( $N_{tr}=10^7$ ),  $\tau_p$  foton ömrü ( $\tau_p=1.6 \cdot 10^{-12} \text{ s}$ ),  $\tau_n$  taşıyıcı ömrü ( $\tau_n=2.2 \cdot 10^{-9} \text{ s}$ ),  $\beta$  kendiliğinden ışınma faktörü ( $\beta=10^{-4}$ ),  $I(t)$  toplam akım,  $q$  elementer yük ( $q=1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ ),  $\hat{\epsilon}$  boyutsuz kazanç faktörü ( $\hat{\epsilon} = \epsilon/V = 10^{-6}$ ),  $V$  ise aktif bölgenin hacmidir. Operatör eşitliklerinde

geçen  $s_1 \neq s_2 \neq s_3$  çok katlı Laplace dönüşümünü temsil etmektedir.

## 3. SIFIRINCI DERECE ÇÖZÜM (ZERO ORDER SOLUTION)

Foton yoğunluğu  $P_0$ ,

$$P_0 = \frac{\tau_p}{q} I_0 + \frac{\tau_p}{\tau_n} [\beta \Gamma - 1] N_0 \quad (3)$$

şeklinde tanımlanır ve aşağıdaki üçüncü derece polinom'dan

$$N_0^3 + C_{2N} N_0^2 + C_{1N} N_0 + C_{0N} = 0 \quad (4)$$

taşıyıcı yoğunluğu  $N_0$ , elde edilir. Burada geçen diğer sabitler ise

$$C_{2N} = - \left[ N_{tr} + \frac{\tau_n}{\tau_p \hat{\epsilon} (\beta \Gamma - 1)} \right] + \frac{2 \tau_n}{q (\beta \Gamma - 1)} I_0$$

$$C_{1N} = - \frac{1 - \Gamma A N_{tr} \tau_p (\beta \Gamma - 1) \tau_n}{\Gamma A \hat{\epsilon} \tau_p (\beta \Gamma - 1)^2 \tau_p} - \frac{2 \hat{\epsilon} N_{tr} \tau_p (\beta \Gamma - 1) + \tau_n \tau_n}{q \hat{\epsilon} (\beta \Gamma - 1)^2 \tau_p} I_0 + \left[ \frac{\tau_n}{q (\beta \Gamma - 1)} \right]$$

ve

$$C_{0N} = \frac{1 + \tau_p \beta \Gamma N_{tr}}{q \Gamma A \hat{\epsilon} (\beta \Gamma - 1)^2} \left( \frac{\tau_n}{\tau_p} \right)^2 I_0 - \left[ \frac{\tau_n}{q (\beta \Gamma - 1)} \right]^2 N_{tr} I_0^2 \quad (5)$$

olarak tanımlanmıştır. Ayrıntılı çözüm kaynak [1] de verilmiştir.

## 4. BİRİNCİ DERECE OPERATÖRÜ (FIRST ORDER OPERATOR)

Birinci derece operatör için giriş akımı  $i(t)$  nin,  $n_1(t)$  ve  $p_1(t)$  birinci derece cevabı:

$$\frac{dp_1(t)}{dt} + B_1 p_1(t) = B_0 n_1(t) \quad (6)$$

Eşitlikte geçen  $B_1$  ve  $B_0$  sabitleri:

$$B_1 = \Gamma A [1 - 2\hat{\epsilon}P_o] [N_{tr} - N_o] + \frac{1}{\tau_p} \quad (7)$$

ve

$$B_o = \frac{\beta\Gamma}{\tau_n} + \Gamma AP_o [1 - \hat{\epsilon}P_o] \quad (8)$$

şeklinde tanımlanmıştır.  $p_1(t)$  için doğrusal diferansiyel denklem:

$$\frac{d^2 p_1(t)}{dt^2} + D_1 \frac{dp_1(t)}{dt} + D_o p_1(t) = \frac{B_o}{q} i(t) \quad (9)$$

şeklinde düzenlenir. Burada geçen  $D_1$  ve  $D_o$  sabitleri ise:

$$D_1 = \Gamma A [1 - 2\hat{\epsilon}P_o] [N_{tr} - N_o] + \Gamma AP_o [1 - \hat{\epsilon}P_o] + \frac{1}{\tau_p} + \frac{1}{\tau_n}$$

$$D_o = \frac{(\beta\Gamma - 1)}{\tau_n} \Gamma A [1 - 2\hat{\epsilon}P_o] [N_{tr} - N_o]$$

$$+ \frac{\Gamma A [1 - \hat{\epsilon}P_o] P_o}{\tau_p} + \frac{1}{\tau_p \tau_n} \quad (10)$$

olarak tanımlanmıştır. Eşitlik (9) un iki tarafının Laplace dönüşümü yapılırsa

$$P_1(s_1) = H_1(s_1) I(s_1) \quad (11)$$

elde edilir. Burada ise  $s_1 = \sigma + j\omega$  ve

$$H_1(s_1) = \frac{B_o}{q} \frac{1}{s_1^2 + D_1 s_1 + D_o} \quad (12)$$

şeklinde elde edilir. Foton değişimi  $H_1(s_1)$ , zamanla değişmeyen sistem transfer fonksiyonunun  $p_1(t) = H_1[i(t)]$  giriş akımına bağlı olarak  $H_1[i(t)]$  operatörüne bağımlı şekilde tanımlanır [1]. Sistem transfer fonksiyonunun,  $H_1(s_1)$ , genliği giriş akımına bağlıdır.

## 5. İKİNCİ DERECE OPERATÖRÜ (SECOND ORDER OPERATOR)

Taşıyıcı  $n_2(t)$  ve foton  $p_2(t)$  yoğunluğu, giriş akımının  $i(t)$  fonksiyonu olarak ikinci çekirdek operatörü içerisindeki ifadesi

$$\frac{dp_2(t)}{dt} + B_1 p_2(t) = B_o n_2(t) + f_2(t) \quad (13)$$

şeklinde tanımlanmıştır. Bu ifadede geçen  $B_1$  ve  $B_o$  sabitleri eşitlikler (7, 8) de verilmiştir,

$$f_2(t) = \Gamma A [1 - 2\hat{\epsilon}P_o] n_1(t) p_1(t) - \Gamma A \hat{\epsilon} [N_o - N_{tr}] p_1^2(t) \quad (14)$$

ve

$$\frac{d^2 p_2(t)}{dt^2} + D_1 \frac{dp_2(t)}{dt} + D_o p_2(t) = \frac{df_2(t)}{dt} - \frac{(\beta\Gamma - 1)}{\tau_n} f_2(t) \quad (15)$$

şeklinde tanımlanmıştır. Buradaki  $D_1$  ve  $D_o$  sabitleri eşitlik (10) da verilmiştir. Bu ifadelerin her iki tarafının  $p_2(t)$  için iki taraflı Laplace dönüşümünden

$$P_2(s_2) = \left[ \frac{s_1 - \frac{(\beta\Gamma - 1)}{\tau_n}}{s_1^2 + D_1 s_1 + D_o} \right] F_2(s_2) \quad (16)$$

şeklinde elde edilir. Böylece foton çoğalmasının transfer fonksiyonu bulunmuş olur. Eşitlik (13), kullanılarak aynı teknikte taşıyıcı yoğunluğu  $n_2(t)$ 'in,

$$N_2(s_2) = \frac{1}{B_o} \left[ \frac{(s_1 + B_1) \left( s_1 - \frac{(\beta\Gamma - 1)}{\tau_n} \right)}{s_1^2 + D_1 s_1 + D_o} - 1 \right] F_2(s_2) \quad (17)$$

transfer fonksiyonu elde edilir.

## 6. ÜÇÜNCÜ DERECE OPERATÖRÜ (THIRD ORDER OPERATOR)

Taşıyıcı  $n_3(t)$  ve foton  $p_3(t)$  yoğunluğunun giriş akımının bir fonksiyonu olarak üçüncü çekirdek operatörü için tanımı

$$\frac{dp_3(t)}{dt} + B_1 p_3(t) = B_o n_3(t) + f_3(t) \quad (18)$$

şeklinde dir. Eşitlikte geçen  $B_1$  ve  $B_o$  sabitleri yukarıda verilmiştir ve

$$f_3(t) = 2\Gamma A \hat{\epsilon} [N_{tr} - N_o] p_1(t) p_2(t) + \Gamma A [1 - 2\hat{\epsilon}P_o] n_1(t) p_2(t) + \Gamma A [1 - 2\hat{\epsilon}P_o] n_2(t) p_1(t) - \Gamma A \hat{\epsilon} n_1(t) p_1^2(t) \quad (19)$$

şeklinde tanımlanmıştır. Bu ifadelerin taşıyıcı  $n_3(t)$  ve foton  $p_3(t)$  için iki yönlü Laplace dönüşümü alınarak transfer fonksiyonları bulunur. Foton yoğunluğu için

$$P_3(s_3) = \left[ \frac{s_1 - \frac{(\beta\Gamma - 1)}{\tau_n}}{s_1^2 + D_1s_1 + D_0} \right] F_3(s_3) \quad (20)$$

şeklinde tanımlanmıştır. Taşıyıcı yoğunluğu

$$N_3(s_3) = \frac{1}{B_0} \left[ \frac{(s_1 + B_1) \left( s_1 - \frac{(\beta\Gamma - 1)}{\tau_n} \right)}{s_1^2 + D_1s_1 + D_0} - 1 \right] F_3(s_3) \quad (21)$$

şeklinde bulunur. Böylece  $H_1$ ,  $H_2$  ve  $H_3$  operatörleri giriş akımının fonksiyonu olarak elde edilir. Bu ifadelerin çözümünden de her bir çekirdeğin taşıyıcı ve foton yoğunluğunun transfer fonksiyonu bulunur. Lazer diyot ve geri besleme, IMD analizi ve diğer çok girişli sistemlerle ilgili ayrıntılı bilgiler ilgili kaynaklarda [15-25] verilmiştir.

## 7. FREKANS CEVABI (FREQUENCY RESPONSE)

Birinci derece operatörden elde edilen transfer fonksiyonunun sinüzoidal tepkisi:

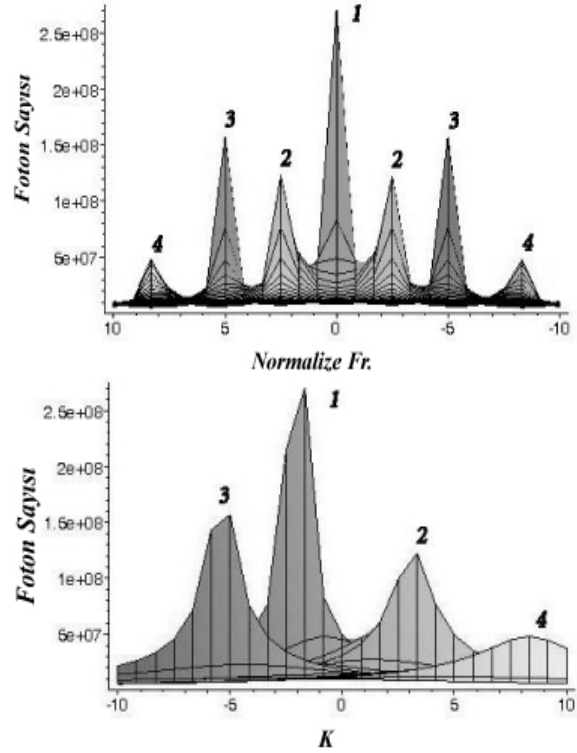
$$Z_1(j\omega) = \frac{H_1(j\omega)}{1 + H_1(j\omega)G_1(j\omega)} = \frac{B_0}{q} \frac{1}{(j\omega)^2 + D_1(j\omega) + D_0 + \frac{g}{q} B_0 e^{-j\omega t_0}} \quad (22)$$

şeklinde dir. Eşitlikte geçen  $G_1(j\omega)$  geri besleme transfer fonksiyonunu temsil eder. Diğer sabit ise  $g = (qD_1K)/(B_0t_0)$ , şeklinde tanımlanmıştır. Eşitliğin normalize edilmiş frekans değeri için,

$$Z_1(j\omega_n) = \frac{B_0 t_0^2}{q} \frac{1}{(j\omega_n)^2 + D_1 t_0 (j\omega_n) + D_0 t_0^2 + \frac{(qD_1K/B_0 t_0) B_0 t_0^2}{q} e^{-j\omega_n t_0}} \quad (23)$$

şeklinde düzenlenir. Eşitliklerde geçen  $N_0$  ve  $P_0$ , sıfır derece çözümden elde edilir. Bu ifade birinci derece çekirdeğin çıkış foton yoğunluğu için frekans düzleminde elde edilen küçük işaret transfer fonksiyonudur.

Şekil 1'de birinci çekirdeğin küçük işaret transfer fonksiyonu çıkışı zaman gecikmesi  $t_0=10e^{-7}$  için elde edilmiştir. Şekilde birinci çekirdek muhtemel çıkışının normalize frekans ve geri besleme kazanç (K) değerleri görülmektedir. Şekil 1'deki 1,2,3,4 nolu piklerinin normalize frekans değerleri  $\omega_n=0, 2.5, 5, 8.3$  dür. Bu frekanslar sırasıyla 1, 0.40, 0.2, 0.120

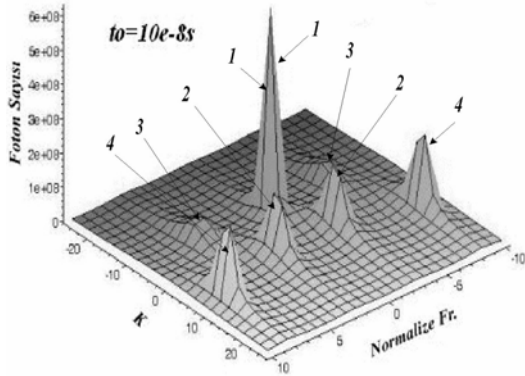


Şekil 1. Birinci çekirdek çıkışı (Output of the first Kernel)

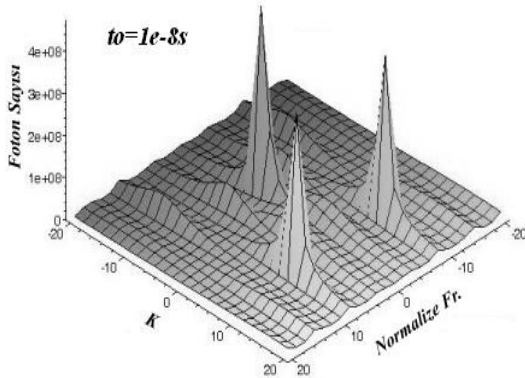
GHz. değerlerine karşılık gelmektedir. Bu piklerden 2, 3 ve 4 pikleri simetriktir. Piklerin genlik kazanç değeri ise  $K=-1.7, 3.45, -5$  ve  $8.4$  dür. Bu değerlerde,  $K$  ve  $t_0$  değerlerine göre biraz kaymalar olabilmektedir. Piklerin genlik değerleri sırasıyla (1,2,3,4) 168.6, 161.54, 164.17, 153.97 dB dir. Genlikteki değişimler büyük ölçüde  $t_0$  değerine bağlıdır.

Şekil 2'de ise normalize frekans  $\omega_n = 0$  değeri için: kazanç sabiti  $K=-2$  ye karşılık gelmektedir. Bu değer lazer diyot sisteminin alçak geçiren filtre karakteristiği gösterdiğini belirtmektedir. Geri besleme sisteminin en büyük etkisi  $\omega_n = 0$  değerine karşılık gelmekte ve sistemdeki simetrik değerler ise  $\omega_n = 0, 2.5, 5, 8.3$  için sağlanmaktadır. Piklerin genlikleri dB olarak  $20 \log_{10}(X)$  formülüne göre yapılan hesaplama ile sırasıyla (1,2,3,4) 177.8, 164.54, 147.8, 168.54 dB olarak bulunmuştur.

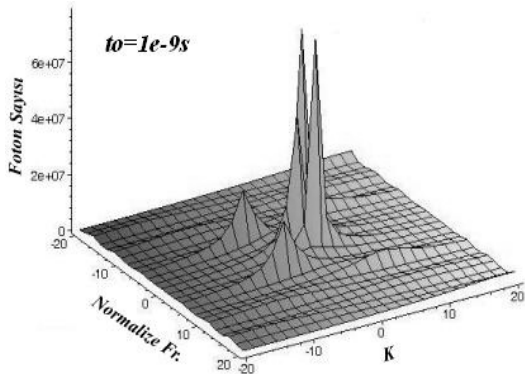
Şekil 3'de ise piklerin genlikleri sırasıyla (1,4) 173.1, 170.2 dB dir. Diğer piklerin genlik değerleri tam belirgin değildir. IMD frekanslarını elde etmek için ve asimetric haberleşme sistemlerinde (AHS) kullanılacak frekans seçiminde genlikleri büyük olan piklerin tercih edilmesi daha uygundur. Diğer piklerin genliklerinin küçük olmasından dolayı bu haliyle IMD ve AHS kullanılması uygun değildir. Ancak yeterli genlik seviyesine (sinyal gürültü oranı) yükseltirse IMD ve AHS için kullanılabilirleri mümkün olmaktadır.



Şekil 2. Birinci çekirdek çıkışı (Output of the first Kernel)



Şekil 3. Birinci çekirdek çıkışı (Output of the first Kernel)



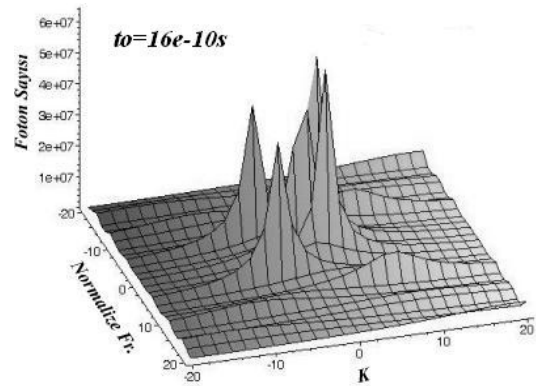
Şekil 4. Birinci çekirdek çıkışı (Output of the first Kernel)

Şekil 4'de ise pikler sırasıyla (1,2,3,4) 152, 158.06, 147.64, 138.3 dB dir. Diğer piklerin genlik değerleri belirgin olarak küçüktür. Bu şartlar altında piklerden (1,2,3) IMD ve AHS için kullanılması uygundur. IMD için fark frekans üretiminde 1,2 ve 3 numaralı piklerin kullanılması tercih edilmelidir. Şekil 5'de ise pik değerleri sırasıyla (1,2,3,4) 153, 158.06, 151.64, 139.3 dB dir. Diğer piklerin genlik değerleri yine önemsizmeyecek kadar küçüktür. IMD ve AHS sistemi için 1, 2, 3, 4 piklerin genlikleri yeterli seviyeye yükseltilerek kullanılabilir. Tercih sırasına göre 2,3 ve 1 numaralı piklerin seçilmesi uygundur.

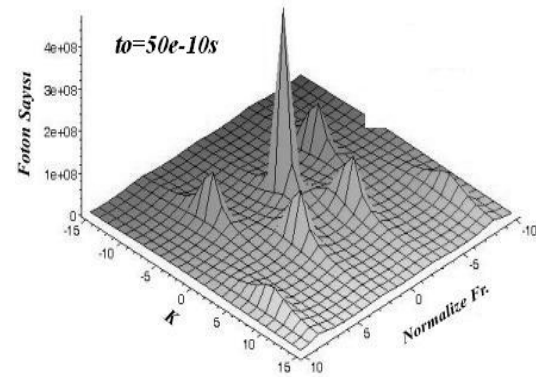
Şekil 6'da ise, pikler sırasıyla (1,2,3,4) 173.54, 160,160,157.8 dB dir. Küçük piklerin, genlikleri,

yeterli seviyeye kadar yükseltilerek, IMD fark frekanslarının elde edilmesinde kullanılabilir.

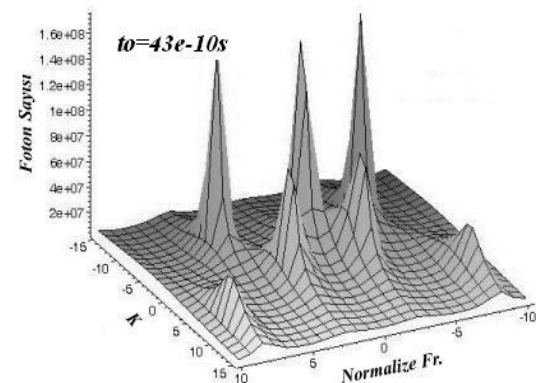
Şekil 7'de ise pikler sırasıyla (1,2,3,4) 164.1, 158.79, 165.2,151.36 dB dir. Şekil 8'de ise pikler sırasıyla (1,2,3,4) 155.68,153.8,152.5 ve 140.1 dB dir. Şekil 7 ve 8'deki piklerin en büyük ve en küçük genlikleri arasındaki fark yaklaşık 15 dB dir. Şekil 7'deki 1-3 numaralı pikler arasındaki genlik farkı yaklaşık 1dB ve 2-4 numaralı pikler arasındaki genlik farkı ise yaklaşık 7dB dir. Şekil 8'deki pikler (1,2,3) arasındaki genlik farkı yaklaşık 3dB dir. IMD frekans bileşenlerinin üretilmesinde, istenilen ideal genliğe yakın değerler elde edilmiştir. Bu simetrik frekansların varlığı da dikkate alınır, 5 adet IMD fark frekansı elde edilebilmektedir. Bu durum, mevcut kurulu olan haberleşme alt yapısından daha fazla



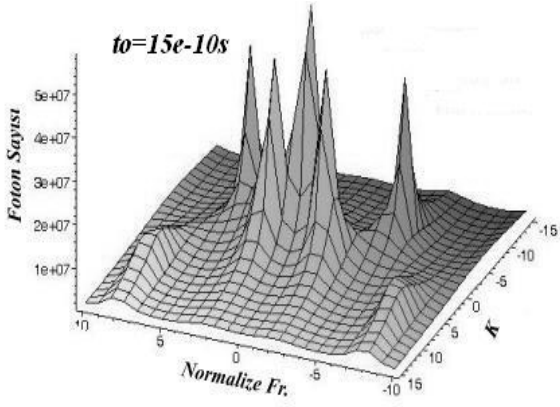
Şekil 5. Birinci çekirdek çıkışı (Output of the first Kernel)



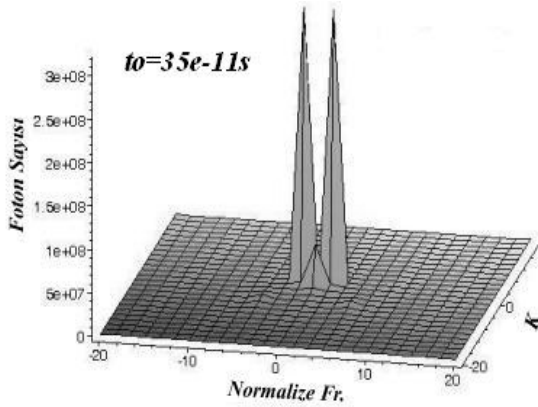
Şekil 6. Birinci çekirdek çıkışı (Output of the first Kernel)



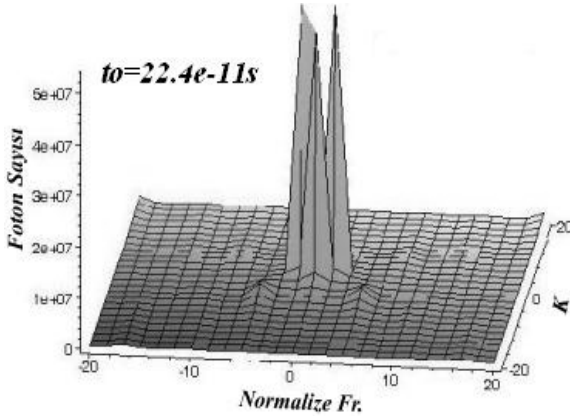
Şekil 7. Birinci çekirdek çıkışı (Output of the first Kernel)



Şekil 8. Birinci çekirdek çıkışı (Output of the first Kernel)



Şekil 9. Birinci çekirdek çıkışı (Output of the first Kernel)



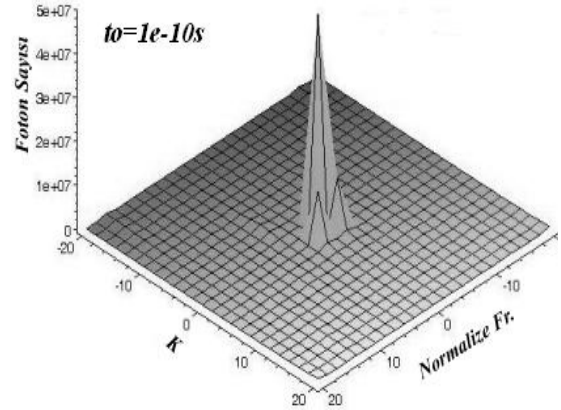
Şekil 10. Birinci çekirdek çıkışı (Output of the first Kernel)

faidalanılarak bant genişliği ve karlılık değeri yüksek ağ işletmeciliği sağlamaktadır. Bu duruma en güzel örnek ise, son yıllarda yaygınlaşan ADSL hizmetlerinin ucuzlaması ve bant genişliklerinin artmasıdır.

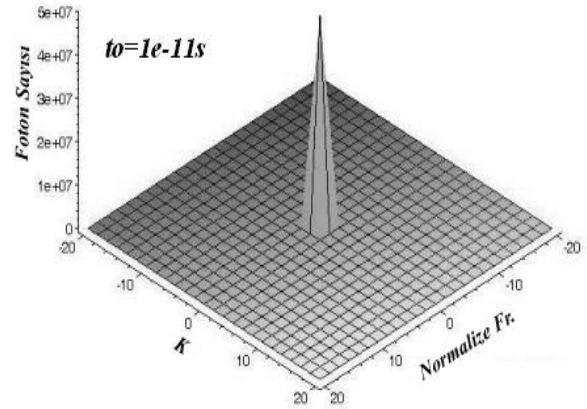
Şekil 9'daki 1 numaralı pik 153.8 dB ve 2 numaralı pikin genliği 170dB dir. İki pik arasındaki genlik farkı 16.2 dB dir. Şekil 10' da ise 1 numaralı pik 154.64dB, iki numaralı pik ise 152.1dB dir. İki pik arasındaki genlik farkı ise yaklaşık 2.54 dB dir. IMD için fark frekans üretiminde simetrikleriyle birlikte 3 adet fark bileşeni elde edilebilmektedir.

Şekil 11'deki ise piklerin genlikleri sırasıyla (1,2) yaklaşık 154, 141 dB dir. IMD ve AHS frekans seçiminde 1 ve 2 numaralı piklerin seçilmesi uygun olur. Diğer pikler (3,4) bu şartlar altında kullanılabilirler mümkün görülmemektedir.

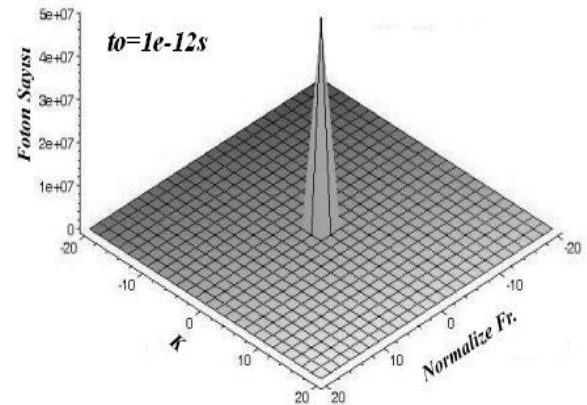
Şekil 12 ve 13'de 1 numaralı pikin genliği 153.97dB dir. Diğer piklerin genliği bastırılmıştır ve bu nedenle geniş bantlı IMD uygulamaları için uygun görülmemektedir. Çünkü bunlardan IMD fark frekansının elde edilmesi son derece sınırlıdır. Ancak AHS, tek frekanslı haberleşme sistemi için genliğinin yüksek olması nedeniyle kullanılabilir. Bu şartlar altındaki LDS yi tek modlu haberleşme sistemi için



Şekil 11. Birinci çekirdek çıkışı (Output of the first Kernel)



Şekil 12. Birinci çekirdek çıkışı (Output of the first Kernel)



Şekil 13. Birinci çekirdek çıkışı (Output of the first Kernel)

kullanmak daha uygundur. Optik çıkış gücünün büyük bir bölümü temel harmonikte toplanmıştır. Diğer harmonikler ise çok belirgin olarak bastırılmıştır. Görüldüğü gibi geri besleme sistemi, optik gücü artırmanın dışında harmonikleri bastırmak için bir araç olarak da kullanılabilir.

## 8. TARTIŞMA VE SONUÇ (DISCUSSION AND RESULT)

Bu çalışmada, daha önce geliştirdiğimiz [1-3], doğrusal olmayan optoelektronik geri beslemeli LDS nin IMD ve AHS için birinci çekirdek analizinde geri besleme ve gecikme zaman değerlerinin daha geniş analizi yapılmıştır. Analizde, doğrusal olmayan optoelektronik geri beslemeli LDS, farklı harmonikleri değişik geri besleme ve zaman gecikme değerleri kullanıldığında farklı genliklerde üretmektedir. LDS doğrusal olmadığı için, doğrusal sistem gibi fiziksel davranış beklenmemelidir. Bu durum, yapılan bu çalışmada belirgin olarak gözlenmiştir. LDS, uzun zaman gecikmeleri uzun yol geri beslemeye ve kısa zaman gecikmeleri ise kısa yol geri beslemeye karşılık gelmektedir. Asimetrik haberleşme ve IMD uygulamalarında yüksek genlikli alt harmonik fark frekanslarının elde edilebileceği değerler, Şekil 1-10'da görülmektedir. Şekil 11-13'de ise IMD frekanslarını elde etmek mümkün görülmemektedir. Bu geri besleme değerlerinin tek modlu haberleşme sistemlerinde kullanılması daha uygundur. AHS ve IMD uygulamalarında, fark frekansları elde etmek için, öncelikle Şekil 7 ve sonra da Şekil 8'deki LDS şartları tercih edilmelidir. Çünkü, genlikler yüksek ve birbirlerine yakın elde edilebilecek IMD fark frekans sayısı fazladır. Sonuçta, fark frekanslarının genliği de yükselecektir. Gözlenen bir başka önemli nokta ise, gecikme zamanı  $t_0=1e-11s$  den küçük değerlerin harmonik bastırılmasına etkisi yoktur ve genlik değeri de küçülmektedir. Üst sınır olarak ise  $t_0=2.4e-8s$  (195.117dB) olarak bulunmuş ve bu değerden sonra harmonikler belirgin olarak ortaya çıkmamaktadır.

Genliğin yüksek olması, haberleşme sisteminin alt yapısında daha az yükselteç kullanılmasını da sağlayacaktır. Böylece alt yapı maliyeti azalmış olacak, bant genişliğinin artmasından dolayı da kullanıcı sayısında belirgin bir artış kaydedilecektir. Sonuçta, sürdürülebilir ekonomik değeri olan bir ağ işletim veya haberleşme sistemi elde edilecektir.

*\*Bu çalışma Gazi Üni. BAP 25/2004-05 projesinin bir parçasıdır.*

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Schetzen, M. and Yıldırım,R., "System theory of the single-mode laser-diode", **Opt. Commun**, 219 pp 341-350, 2003.

2. Yıldırım, R., and Schetzen, M., "Application of the Single-mode Laser Diode System Theory", **Opt. Commun**, 219, 351-355, 2003.
3. Aydın,E., and Yıldırım,R., "Optimizing the Performance of Single-mode Laser Diode System Using Genetic Algorithm", **Optics and Laser in Eng**, 42, 41-46, Jul., 2004.
4. Ohtsu,M. and Kotajima,S., "Linewidth Reduction of a Semiconductor Laser by Electrical Feedback", **IEEE J.QE.**, Vol 21, 1905- 1912 Dec., 1985.
5. Sharaf,K. and Ibrahim,M.M., "The Effect of Electronics Feedback on Semiconductor lasers", **IEEE J.QE.**, Vol 26, 1347- 1352, Aug., 1990.
6. Saboureau,P., Foing, J.P. and Schanne, P., "Injection-locked Semiconductor Lasers with Delayed Optoelectronic Feedback", **IEEE J.QE.**, Vol 30, 1582- 1591, Sept., 1997.
7. Fukushima, T. and Sakamoto, T., "Chaos in Coupled Semiconductor Lasers with an Electronic Delayed Feedback Caused by Injection Locking", **IEEE J.QE.**, Vol 34, 750- 758, May., 1998.
8. Grigorieva, E.V., Haken, H. and Kaschenko, S.A., " Theory of Quasiperiodicity in Model of Lasers with Delayed optoelectronic Feedback", **Optics Comm.**, Vol 165, 279- 292, Jul., 1999.
9. Giacomeli,G., Calzavara, M. and Arecchi,F.T., " Instabilities in a Semiconductor laser with delayed optoelectronic Feedback", **Optics Comm.**, Vol 74, 97- 101 Dec., 1989.
10. Lee,C.H., Shin, S.Y., " Selfpulsing, Spectral Bistability, and Chaos in a Semiconductor Laser Doide with Optoelectronic Feedback", **Appl Phys. Lett.**, Vol 62, 922- 924 May., 1993.
11. Loiko, N.A. and Samson, A.M., "Possible Regimes of Generation of a Semiconductor Laser with a Delayed Optoelectronic Feedback", **Optics Comm.**, Vol 93, 66- 72, Sept., 1992.
12. H. D.I.Abarbanel,M. B. Kennel, I. Illing, H.F. Chen, and J.M. Liu, "Synchronization and Communication Using Semiconductor Lasers with Optoelectronic Feedback", **IEEE J.QE.**, Vol 37, 1301- 1311, Oct., 2001.
13. Tang, S. and Liu, J.M., "Chaotic Pulsing and Quasi-Periodic Route to Chaos in a Semiconductor with Delayed Optoelectronic Feedbabck", **IEEE J.QE.**, Vol 37, 1301- 1311, Mar., 2001.
14. Hassine, L., et al., "Volterra Functional Series Expansions for Semiconductor Lasers Under Modulation", **IEEE J.QE.**, Vol 30, No 4, 918- 928, Apr., 1994.
15. Schetzen, M., **The Volterra and Wiener Theories of Nonlinear Systems**, reprint edition with additional material. Malabar, Fla., R.E. Krieger Publishing Co., 2006.
16. Rugh,W.J., **Nonlinear System Theory** The Johns Hopkins University Press.Baltimore, 1981.

17. Bussgang, J.J. and Ehrman, L., "Analysis of Non-linear Systems with Multiple Inputs", **Proc. IEEE**, Vol 62, No 8, 1088-1112, Aug., 1974.
18. Petermann, K., **Laser Diode Modulation and Noise**, Kluwer Academic Pub. Boston, 1988.
19. Yariv, A., **Optical Electronics in Modern Communications**, Fifth Ed. Oxford Uni. Press. New York 1997.
20. Agrawal, G.P. and Dutta, N.K., **Long-Wavelength Semiconductor Lasers**, Van Nostrand Reinhold, New York, 1986.
21. Agrawal, G. P., Dutta, N.K., **Semiconductor Lasers**, Second Ed. Van Nostrand Reinhold, New York, 1993.
22. Çelebi, F.V., Yıldırım, R., "Distortion System Theory of The Two Tone Small Signal Input Laser Diode", **J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ.**, Vol 20, No 3, 373-377, 2005.
23. Yıldırım, R., "Intermodulation Distortion System Theory of the Three-Tone Small Signal Input Laser Diode with Non-Linear Optoelectronic Feedback", **J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ.**, Vol 22, No 2, 417-430, 2007.
24. Schetzen M., Yıldırım, R., Çelebi, F.V., "Intermodulation distortion of the single-mode laser diode" **Applied Physics B-Lasers and Optics**, Vol 93, No 4, 837-847, 2008.
25. Yıldırım, R., "Selection of Frequency Components For Symmetric And Asymmetric Communication Systems", **J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ.**, Vol 23, No 2, 329-341, 2008.