

İNTERMODÜLASYON DİSTORSİYONUN KAOS VE KAZANÇ İLİŞKİSİ

Remzi YILDIRIM

Uluslararası Ahmet Yesevi Üniversitesi, Elektrik ve Bilgisayar Müh. Bölümü Türkistan,
remzi@gazi.edu.tr

(Geliş/Received: 11.11.2011; Kabul/Accepted: 06.12.2012)

ÖZET

Bu çalışmada doğrusal olmayan optoelektronik geribeslemeli lazer diyot sistemi için dört ton girişli küçük işaret analizi yapılmıştır. Analizde, Volterra güç serisi ikinci dereceye kadar açılarak, ikinci çekirdek (Z2) çıkışı için intermodülasyon distorsiyon (IMD) analizi gerçekleştirilmiştir. Analiz için alternatif IMD frekans bileşenleri seçilmiştir. Bunlar: 1. $(\omega_0 + \omega_1), (\omega_0 - \omega_1)$, 2. $(\omega_0 + \omega_2), (\omega_0 - \omega_2)$, 3. $(\omega_0 + \omega_3), (\omega_0 - \omega_3)$ ve 4. $(\omega_0 + \omega_4), (\omega_0 - \omega_4)$

IMD frekans bileşenleridir. Bu IMD frekanslarının genliklerinin, zaman gecikme sabiti (t_0), geri besleme kazanç sabiti (K) ya bağlı olarak analizi yapılmış ve kritik çökme frekansları (coherence collapse, kaos) ve geri besleme değerleri de tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Lazer diyot, Volterra serisi, İntermodülasyon, Harmonik distorsiyon, Doğrusal olmayan distorsiyon, Optoelektronik geribesleme, Elektronik geribesleme, Kaos, Kazanç, Doğrusal olmayan geribesleme

THE RELATIONSHIP BETWEEN CHAOS AND GAIN IN TERMS OF INTERMODULATION DISTORTION

ABSTRACT

In this study, four-tone small signal analysis is performed for non-linear optoelectronic feedback laser diode system. In the analysis, after expanding the Volterra power series up to second-order, the second kernel (Z2) for the output intermodulation distortion (IMD) analysis is performed. The components which are 1. $(\omega_0 + \omega_1), (\omega_0 - \omega_1)$, 2. $(\omega_0 + \omega_2), (\omega_0 - \omega_2)$, 3. $(\omega_0 + \omega_3), (\omega_0 - \omega_3)$ and 4. $(\omega_0 + \omega_4), (\omega_0 - \omega_4)$ among the alternative IMD frequencies are selected for the analysis. The amplitudes of the selected IMD frequency components are analysed depending on the time delay constant (t_0) and the feedback gain constant (K). The critical frequencies (coherence collapse, chaos), and the critical feedback values are also determined.

Keywords: Laser diode, Volterra series, Intermodulation, Harmonic distortion, Non-linear distortion, Optoelectronics feedback, Electronics feedback, Chaos, Gain, Non-linear optoelectronic feedback

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Son yıllarda internetin yaygınlaşmasından dolayı veri iletimi haberleşmesi yaygınlaşmaktadır. Buna karşılık haberleşme sistemlerinin alt yapıları bu hızlı artışa cevap verememektedir. Bu sorunun çözümü için alt taşıyıcı sistemler kullanılarak mevcut sistemlerin bant genişlikleri artırılmaktadır. Bu sistemlerin belirgin özelliği geniş bantlı ATÇ (Alt-taşıyıcı çoğullama, Sub-Carrier Multiplexing, SCM) tekniğinin oldukça yaygın kullanılmasıdır. Alt-taşıyıcı sistemler de analog veya sayısal modülasyon

tekniğine göre adlandırılırlar. Bunlardan bazıları: asimetric sayısal alt-taşıyıcı hattı (Asymmetric Digital Subcarrier Line, ADSL), sayısal alt-taşıyıcı hattı (Digital Subcarrier Line, DSL), çok yüksek hızlı sayısal alt-taşıyıcı hattı (Very-high speed Digital Subcarrier Line, VDSL), ayrık çok tonlu (Discrete Multitone, DMT) ve ayrık dalgacık çok-tonlu (Discrete Wavelet Multitone, DWMT) ve dalga boyu bölmeli (wavelength division multiplexing, WDM) sistemler olarak sayılabilirler. Lazer diyotun doğrusal olmayan özelliğinden faydalanılarak bu sistemler için IMD frekans bileşenleri türetilir.

Volterra çekirdeklerin sistematik ve ayrıntılı çözümleri kaynak [1] de, harmonik distorsiyon, intermodülasyon optimizasyon [2-11], tam kazanç spektrumunun irdelenmesi ve değişik ayrıntılı çalışmalar kaynak [12-22] de verilmiştir.

Bugüne kadar lazer ile ilgili olarak pek çok çalışma yapılmaktadır. Bunlar arasında elektronik, optik ve optoelektronik geribesleme [23-27], kaos, distorsiyon, kararlılık, lazer diyotun dinamik davranışı, doğrusal olmayan modellemesi ve analizi sayılabilir [28-32].

Bu çalışmada ise doğrusal olmayan optoelektronik geribeslemeli lazer diyotun dört-ton küçük işaret girişi için alternatif IMD frekans bileşenlerinin analizi Volterra serisi kullanılarak yapılmıştır. Volterra operatörleri Z_1, Z_2 ve Volterra çekirdekleri H_1, H_2 hesaplanmıştır. Analizde ikinci çekirdek çıkışı kullanılmıştır.

2. TEMEL TEK-MOD LAZER DİYOT (THE BASIC SINGLE-MODE LASER-DIODE)

Analizde kullanılan lazer diyot oran eşitliklerini Hassine [33], Tucker [34] ve Olshansky [35] kullanmıştır. Model de kullanılan temel tek modlu lazer diyot oran eşitlikleri:

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

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

şeklinde verilmiştir. Eşitlikte geçen $p(t)$ ve $n(t)$ sırasıyla foton ve taşıyıcı sayısıdır. Diğer değişkenler ise: Γ sıkıştırma faktörü ($\Gamma=0,3$), A kazanç sabiti ($A=1,83 \times 10^4 \text{ s}^{-1}$), N_{tr} ışına noktasındaki taşıyıcı sayısı ($N_{tr}=10^7$), τ_p foton ömrü ($\tau_p=1,6 \times 10^{-12} \text{ s}$), τ_n taşıyıcı ömrü ($\tau_n=2,2 \times 10^{-9} \text{ s}$), β kendiliğinden ışına faktörü ($\beta=10^{-4}$), $I(t)$ toplam akım, q elementer yük ($q=1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$), ϵ boyutsuz kazanç faktörü $\hat{\epsilon} = \epsilon/V = 1 \times 10^{-6}$, V ise aktif bölgenin hacmidir. Bu eşitliklerden Volterra çekirdekleri (H_1, H_2) hesaplanmıştır.

Volterra ve doğrusal olmayan sistem teorisi [36-40] ve tek modlu lazer diyotun ayrıntılı çözümleri ilgili kaynakta verilmiştir [1].

Önceki çalışmalarda sistemin harmonik distorsiyonu, bant genişliği, optimizasyon, iki ve üç ton girişli sistemin analizi ve sonuçları ayrıntılı olarak verilmiştir [2-4]. Genel dört ton küçük işaret girişi $i(t)$

:

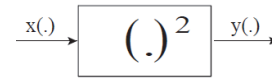
$$i(t) = u_0 \cos(\omega_0 t + \delta_0) + u_1 \cos(\omega_1 t + \delta_1) + u_2 \cos(\omega_2 t + \delta_2) + u_3 \cos(\omega_3 t + \delta_3) + u_4 \cos(\omega_4 t + \delta_4) \quad (3)$$

şeklinde dir. İfadelerde geçen u_1, u_2, u_3 ve u_4 giriş işaretlerinin genliklerini, $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ ve ω_4 frekanslarını, $\delta_1, \delta_2, \delta_3$ ve δ_4 fazlarını temsil etmektedir. Taşıyıcı işareti ise $u_0 \cos(\omega_0 t + \delta_0)$ ile temsil edilmektedir [36].

Lazer diyotun çıkışındaki foton sayısı $P(t)$,

$$\sum P(t) = p_1(t) + p_2(t) + p_3(t) + \dots + p_n(t) \quad (4)$$

$n=1, 2, 3$ şeklinde tanımlanmıştır [1,2]. ifade de geçen $p_1(t), p_2(t)$ ve $p_3(t)$ Volterra 1, 2, ve 3. cü çekirdeklerinden hesaplanan foton sayısıdır. İfadedeki $p_n(t)$ ise n . derece Volterra çekirdeğinden hesaplanan foton sayısını temsil etmektedir. Çekirdekler ile ilgili ayrıntılı çözüm ilgili kaynaklarda verilmiştir [1,2]. Şekil.1 de ise dört ton girişli doğrusal olmayan sistemin çıkışında IMD'de kullanılacak frekans bileşenlerinin genel ifadesi $y(t)$



Şekil 1. Doğrusal olmayan ikinci derece sistemin blok yapısı (Block structure of nonlinear second-order system)

3. BİRİNCİ DERECE VOLTERRA OPERATÖRÜ (THE FIRST-ORDER VOLTERRA OPERATOR)

Birinci derece Volterra operatörünün transfer fonksiyonu kaynak [1] de verilmiştir. Bu kaynakta verilen eşitliğe $s = j\omega$, kullanılarak;

$$Z_1(j\omega) = \frac{H_1(j\omega)}{1 + H_1(j\omega)G_1(j\omega)} \quad (5)$$

ve eşitlikte geçen yerine $s = j\omega$ kaynak [1] deki eşitlik (18) kullanılarak,

$$H_1(s) = \frac{B_0}{q} \frac{1}{(D_0 - \omega^2) + jD_1\omega} \quad (6)$$

elde edilir. Yine aynı kaynaktaki eşitlik (36b) kullanılarak $s = j\omega$,

$$G_1(j\omega) = ge^{-j\omega t_0} \quad (7)$$

tanımlanmıştır [1]. Sistemin girişine uygulanan akım $i(t)$,

$$i(t) = u_1 \cos(\omega_1 t + \delta_1) + u_2 \cos(\omega_2 t + \delta_2) + u_3 \cos(\omega_3 t + \delta_3) + u_4 \cos(\omega_4 t + \delta_4) \quad (8)$$

Birinci derece Volterra çekirdeği foton çıkışı ise

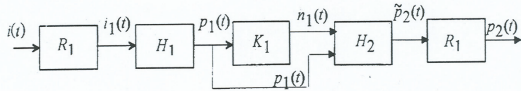
$$p_1 = u_1 |Z_1(j\omega_1) \cos[\omega_1 t + \delta_1 + \angle Z_1(j\omega_1)] + u_2 |Z_1(j\omega_2) \cos[\omega_2 t + \delta_2 + \angle Z_1(j\omega_2)] + u_3 |Z_1(j\omega_3) \cos[\omega_3 t + \delta_3 + \angle Z_1(j\omega_3)] + u_4 |Z_1(j\omega_4) \cos[\omega_4 t + \delta_4 + \angle Z_1(j\omega_4)] \quad (9)$$

şeklinde tanımlanmıştır. Ayrıntılı açınımlar adı geçen kaynaklarda verilmiştir [37-40].

olarak tanımlanmıştır. Giriş akımlarının genlikleri $|Z_1(j\omega_1)|$, $|Z_1(j\omega_2)|$, $|Z_1(j\omega_3)|$ ve $|Z_1(j\omega_4)|$; açığı $\angle Z_{1,2,3,4}(j\omega_{1,2,3,4})$; açılal frekansı $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ ve ω_4 temsil etmektedir. IMD eşitlikleriyle ilgili ayrıntılı bilgiler kaynaklarda verilmiştir [36-40].

4. İKİNCİ DERECE VOLTERRA OPERATÖRÜ (THE SECOND-ORDER VOLTERRA OPERATOR)

İkinci derece Volterra operatörünün blok diyagramı kaynak [1] deki şekil.2 ve şekil.5 birleştirilerek ikinci derece operatör elde edilmiştir ve tüm ayrıntılarıyla Şekil.2 de verilmiştir.



Şekil 2. $p_2(t)$ 'nin sistem blok yapısı (System block structure of $p_2(t)$)

Şekil deki R_1 ve H_1 iki doğrusal sistem olup seri bağlanmıştır ve iki doğrusal sistemin birleşmesinden birleşik transfer fonksiyonu elde edilmiştir. Bunlar;

$$R_1(j\omega) = \frac{1}{1 + H_1(j\omega)G_1(j\omega)} \quad (10)$$

$$R_1(j\omega)H_1(j\omega) = \frac{H_1(j\omega)}{1 + H_1(j\omega)G_1(j\omega)} \quad (11)$$

tanımlanmıştır [1]. Foton çıkışı ise

$$p_1(t) = A_1 \cos(\omega_1 t + \alpha_1) + A_2 \cos(\omega_2 t + \alpha_2) + A_3 \cos(\omega_3 t + \alpha_3) + A_4 \cos(\omega_4 t + \alpha_4) \quad (12)$$

Eşitlikte geçen diğer terimler ise,

$$A_1 = u_1 |Z_1(j\omega_1)| \quad A_2 = u_2 |Z_1(j\omega_2)| \\ A_3 = u_3 |Z_1(j\omega_3)| \quad \text{ve} \quad A_4 = u_4 |Z_1(j\omega_4)| \quad (13a)$$

$$\alpha_1 = \delta_1 + \angle Z_1(j\omega_1), \alpha_2 = \delta_2 + \angle Z_1(j\omega_2), \\ \alpha_3 = \delta_3 + \angle Z_1(j\omega_3) \quad \text{ve} \quad \alpha_4 = \delta_4 + \angle Z_1(j\omega_4) \quad (13b)$$

Burada geçen $|Z_1(j\omega)|$ genliği ve $\angle Z_1(j\omega)$ ise açısını temsil etmektedir. Taşıyıcı yoğunluğu $n_1(t)$ ise,

$$n_1(t) = B_1 \cos(\omega_1 t + \beta_1) + B_2 \cos(\omega_2 t + \beta_2) + B_3 \cos(\omega_3 t + \beta_3) + B_4 \cos(\omega_4 t + \beta_4) \quad (14)$$

Eşitlikte geçen doğrusal sistem için [1] $s = j\omega$ dönüşümü yapılarak

$$K_1(j\omega) = \frac{1}{B_0} (B_1 + j\omega) \quad (15)$$

elde edilir. İfadelerde geçen katsayılar ise,

$$B_1 = A_1 |K_1(j\omega_1)| \quad B_2 = A_2 |K_1(j\omega_2)| \\ B_3 = A_3 |K_1(j\omega_3)| \quad \text{ve} \quad B_4 = A_4 |K_1(j\omega_4)| \quad (16a)$$

$$\beta_1 = \alpha_1 + \angle K_1(j\omega_1), \beta_2 = \alpha_2 + \angle K_1(j\omega_2), \\ \beta_3 = \alpha_3 + \angle K_1(j\omega_3) \quad \text{ve} \quad \beta_4 = \alpha_4 + \angle K_1(j\omega_4) \quad (16b)$$

şeklinde hesaplanır. H_2 çekirdeğinin ayrıntılı blok diyagramı şekil.4. [1] de verilmiştir. H_2 çıkışının hesaplanmasında $p_1^2(t)$ ve $n_1(t)p_1(t)$ ihtiyaç vardır. Eşitlik (12)'den,

$$p_1^2(t) = \left[A_1 \cos(\omega_1 t + \alpha_1) + A_2 \cos(\omega_2 t + \alpha_2) + A_3 \cos(\omega_3 t + \alpha_3) + A_4 \cos(\omega_4 t + \alpha_4) \right]^2 \quad (17)$$

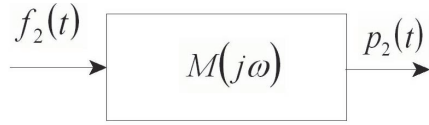
ve eşitlik (12, 13) den ise

$$n_1(t)p_1(t) = \left(A_1 \cos(\omega_1 t + \alpha_1) + A_2 \cos(\omega_2 t + \alpha_2) + A_3 \cos(\omega_3 t + \alpha_3) + A_4 \cos(\omega_4 t + \alpha_4) \right) \\ \left(B_1 \cos(\omega_1 t + \beta_1) + B_2 \cos(\omega_2 t + \beta_2) + B_3 \cos(\omega_3 t + \beta_3) + B_4 \cos(\omega_4 t + \beta_4) \right) \quad (18)$$

hesaplanır. Şekil 4 [1] den $f_2(t)$,

$$f_2(t) = \Gamma A [1 - 2\hat{\epsilon}P_o] n_1(t)p_1(t) - \Gamma A [N_o - N_{tr}] p_1^2(t) \quad (19)$$

hesaplanır ve $p_1^2(t)$ ve $n_1(t)p_1(t)$ açılımı yerine konularak açılım elde edilir. $p_2(t)$ 'nin hesaplanması şekil.3 deki yapılıdır.



Şekil 3. $p_2(t)$ nin hesaplanması .(Calculation of $p_2(t)$)

Şekil 3' te geçen ifadeler;

$$M(j\omega) = \frac{j\omega - \frac{\beta\Gamma - 1}{\tau_n}}{(D_o - \omega^2) + jD_1\omega} R_1(j\omega) \quad (20)$$

şeklinde ifade edilmiştir [1]. İfade $s = j\omega$ çevirmesi yapılarak

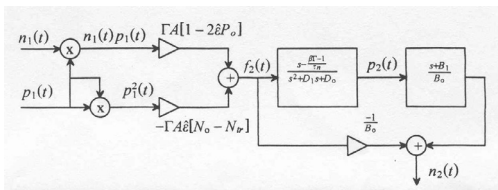
$$M(j\omega) = \left[\frac{j\omega - \frac{\beta\Gamma - 1}{\tau_n}}{(D_o - \omega^2) + jD_1\omega} \right] \left[\frac{D_o - \omega^2 + jD_1\omega}{D_o - \omega^2 + jD_1\omega + \frac{gB_o}{q} e^{j\omega t_o}} \right] \quad (21)$$

sonuç eşitlik elde edilir. Çekirdek çıkışı foton sayısı $p_2(t)$ ise,

$$p_2(t) = f_2(t)M(o) \quad (22)$$

tanımlanmıştır ve eşitlik (24) de $\omega = 0$ konur ve $M(o) = \frac{(1 - \beta\Gamma) q}{(D_o q + gB_o) \tau_n}$, elde edilir. Bu ifade de eşitlik

(22)' deki yerine konularak $p_2(t)$ elde edilir ve $p_2(t)$ 'nin açık hali aşağıda verilmiştir. Taşıyıcı yoğunluğu ise şekil 4. deki gibi hesaplanmıştır [1].



Şekil 4 $n_2(t)$ 'nin hesaplanması [1] (Calculation of $n_2(t)$)

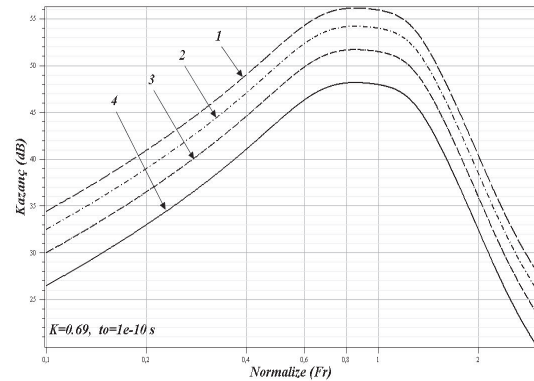
Taşıyıcı yoğunluğu ise;

$$N_2(s) = \frac{1}{B_o} \left[\frac{(s + B_i) \left(s - \frac{(\beta\Gamma - 1)}{\tau_n} \right)}{s^2 + D_1 s + D_o} - 1 \right] F_2(s) \quad (23)$$

şeklinde tanımlanmıştır.

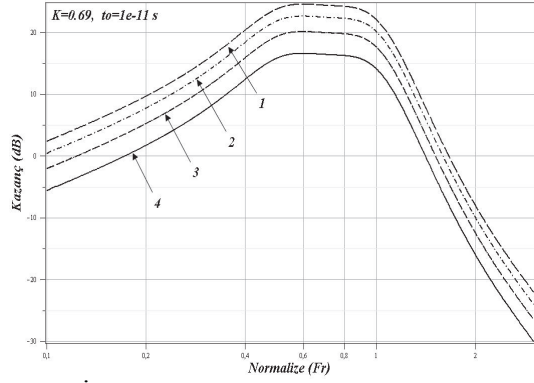
Şekil 5,6,7, 8, 9,10,11 ve 12'de ise ikinci çekirdek çıkışlarından elde edilmiş alternatif IMD frekans bileşenlerinden 1. $(\omega_0 + \omega_1), (-\omega_0 + \omega_1)$, 2. $(\omega_0 + \omega_2), (\omega_0 - \omega_2)$, 3. $(\omega_0 + \omega_3), (\omega_0 - \omega_3)$, 4. $(\omega_0 + \omega_4), (\omega_0 - \omega_4)$ seçilmiş eğrileri verilmiştir. Bu eğrilerden görüleceği üzere K ve t_o değerlerine bağlı olarak frekans bileşenlerinin simetrisi arasında her herhangi bir asimetrik durumla karşılaşılmaştır. Tablo 1. de görüldüğü gibi, frekans bileşenleri arasında en az 7,39dB ve en çok ise 48,13dB'lik genlik farkı vardır. Bu genlik farkları alt taşıyıcılı sistemler ve farklı frekans bileşenleri için makul değerlerdir.

Şekil 5. de fiber optik haberleşme sistemleri için geri besleme $K=0,69$ ve $t_o = 1 \times 10^{-10} s$ için eğrisi elde edilmiştir. Frekans bileşenlerinin genlik değerleri makul kabul edilebilecek seviyelerdedir. Bant genişliği bakımından analog ve sayısal haberleşme ölçütlerine göre (-3dB, -20dB) değerlendirilecek olursa $t_o = 1 \times 10^{-10} s$ zaman gecikmesi için bant genişliğinin en iyi değeridir. Analog haberleşmede kullanılan -3dBlik değere göre bant genişliği 7,212 GHz lik bant genişliği elde edilmiştir. Sayısal haberleşme için genlik -20dB kadar düşürülmektedir [1]. Bu şartlar altında ise 91,20GHz lik bant genişliği elde edilebilmektedir. Teorik olarak dört frekans bileşeni kullanıldığında sistemin alt yapısını değiştirmeden analog haberleşme için toplam bant genişliği 28,848GHz ve sayısal haberleşme için ise 91,20GHz lik ilave bant genişliği elde edilmektedir. Ticari fiber optik haberleşme sistemi için, alt taşıyıcılı sistemin ne kadar önemli olduğu görülmektedir.



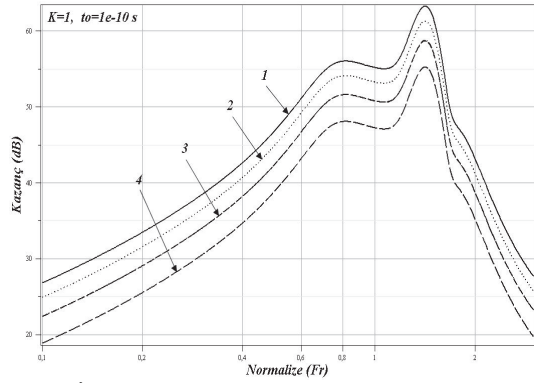
Şekil.5 İkinci çekirdeğin çıkış frekans cevabı (Output frequency response of second-kernel)

Şekil 6 da ise geribesleme $K=0,69$ ve $t_o = 1 \times 10^{-11} s$ için eğrisi elde edilmiştir. Bant genişliği bakımından analog ve sayısal haberleşme ölçütlerine göre 288GHz ve 480GHz lik bant genişliği elde edilmiştir.

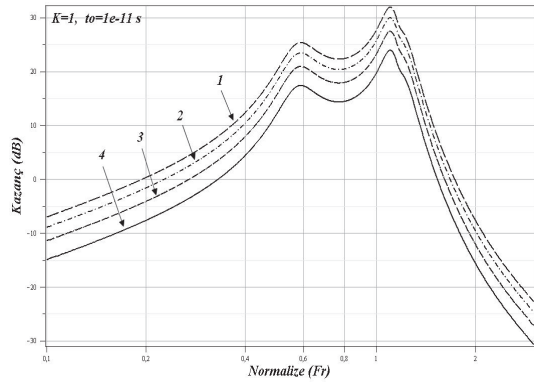


Şekil 6. İkinci çekirdeğin çıkış frekans cevabı. (Output frequency response of second kernel)

Şekil 7 ve 8 de ise geri besleme $K=1$, ve $t_o = 1 \times 10^{-10} s$ ve $t_o = 1 \times 10^{-11} s$ için eğrisi elde edilmiştir. Analog ve sayısal haberleşme ölçütlerine göre bant genişliği daralmaktadır. Ancak genlik değerlerinde artma elde edilmektedir.



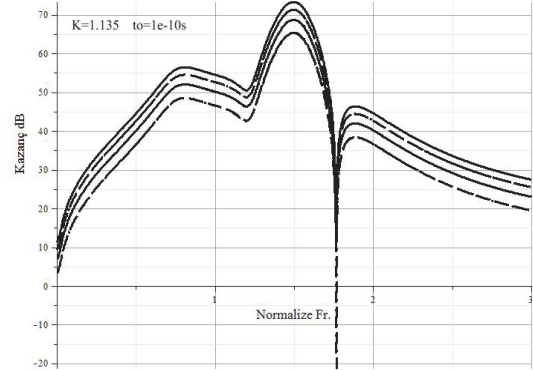
Şekil 7. İkinci çekirdeğin çıkış frekans cevabı (Output frequency response of second kernel).



Şekil 8. İkinci çekirdeğin çıkış frekans cevabı (Output frequency response of second kernel)

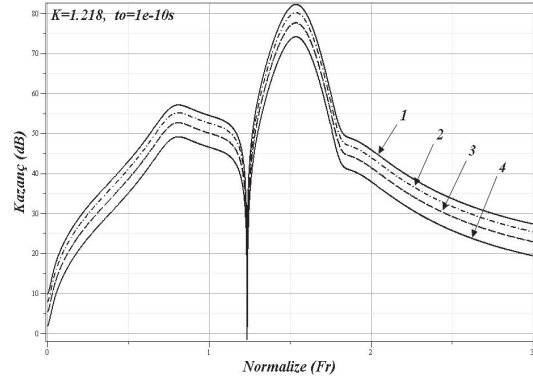
Şekil 9, 10 ve 11 de ise zaman gecikmesi $t_o = 1 \times 10^{-10} s$ için geri besleme değerleri $K=1,135$, $K=1,218$ ve $K=1,182$ için IMD frekans bileşenlerinin genlikleri elde edilmiştir. Şekil 9 da geri besleme değeri $K=1,135$ için sabiti analog ve sayısal haberleşme ölçütlerine göre bant genişliği daralmaktadır. Ancak genlik değerlerinde artma elde

edilmektedir. Normalize çökme frekans değeri ise 1,77 ve genliği ise -21dB dir.



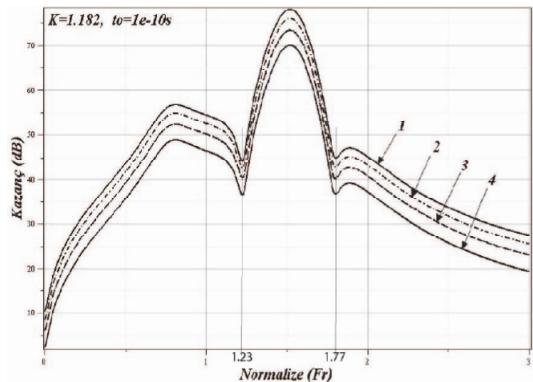
Şekil 9. İkinci çekirdeğin çıkış frekans cevabı (Output frequency response of second kernel)

Şekil 10 da ise geri besleme değerleri $K=1,218$ normalize frekansını ise 1,124 ve genlik değeri 1,85dB dir.



Şekil 10. İkinci çekirdeğin çıkış frekans cevabı (Output frequency response of second kernel)

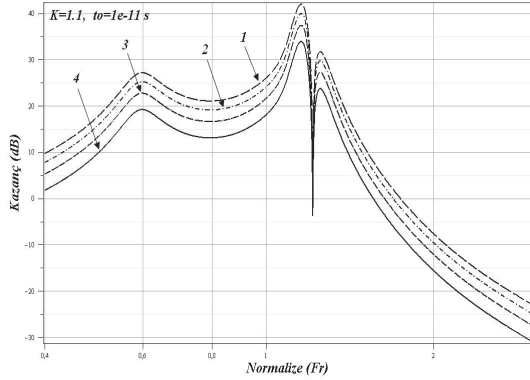
Şekil 11 de ise geribesleme değerleri $K=1,182$ normalize frekansını ise 1,23 ve 1,77 minimum genlik ise 37,71dB ve maksimum genlik ise 79 dB dir. Karakteristik olarak ise bant geçiren filtre karakteristiği göstermektedir.



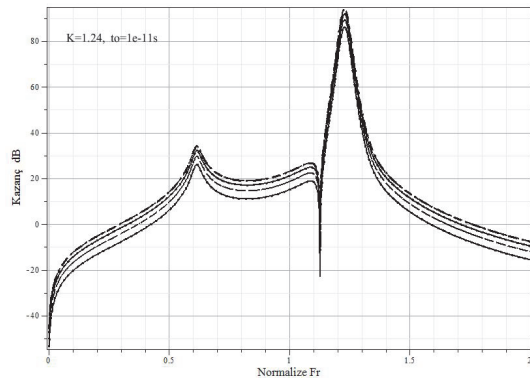
Şekil 11. İkinci çekirdeğin çıkış frekans cevabı (Output frequency response of second kernel).

Şekil 12 de ise geri besleme $K=1,1$ ve $t_o = 1 \times 10^{-11} s$ için eğrisi elde edilmiştir. Analog ve sayısal haberleşme ölçütlerine göre bant genişliği daralmaktadır. Ancak genlik değerlerinde artma elde

edilmektedir. Normalize çökme frekansı ise 1,12 ve genlik ise $-3,98\text{dB}$ dir.



Şekil 12. İkinci çekirdeğin çıkış frekans cevabı (Output frequency response of second kernel)



Şekil.13 İkinci çekirdeğin çıkış frekans cevabı. (Output frequency response of second kernel)

Tablo.1. IMD bileşenlerinin genlik değerleri (Amplitude values of IMD's components)

İMD Bileşenleri	GENLİK (dB)				
	1	2	3	4	
K=0,69	$t_0=1 \times 10^{-10} \text{ s}$	48,21	51,81	54,31	56,25
	$t_0=1 \times 10^{-11} \text{ s}$	16,75	20,22	22,71	24,78
K=1	$t_0=1 \times 10^{-10} \text{ s}$	73,31	75,64	78,27	80,33
	$t_0=1 \times 10^{-11} \text{ s}$	24,22	27,57	30,10	32,20
K=1,1	$t_0=1 \times 10^{-10} \text{ s}$	62,32	65,75	68,35	70,39
	$t_0=1 \times 10^{-11} \text{ s}$	34,08	37,75	40,10	42,10
K=1,2	$t_0=1 \times 10^{-10} \text{ s}$	72,25	75,64	78,27	80,33
	$t_0=1 \times 10^{-11} \text{ s}$	64,02	67,39	70,04	72,10
K=0,69	Genlik Farkı	31,46	31,59	31,60	31,49
K=1	Genlik Farkı	48,09	48,07	47,17	48,13
K=1,1	Genlik Farkı	28,09	28,07	28,17	28,13
K=1,2	Genlik Farkı	08,23	08,25	08,23	08,23
$t_0=1 \times 10^{-10} \text{ s}$	Genlik Farkı	24,22	23,96	23,96	24,08
$t_0=1 \times 10^{-11} \text{ s}$	Genlik Farkı	07,47	07,38	07,39	07,44

Şekil 13 de ise geri besleme $K=1,24$ ve $t_0=1 \times 10^{-11} \text{ s}$ için eğrisi elde edilmiştir. Analog ve sayısal haberleşme ölçütlerine göre bant genişliği daralmaktadır. Ancak genlik değerleri 92dB ye ulaşmaktadır. Genlik değeri 80 dB için bant genişliği

normalize frekans değeri $1,20$ ve $1,26$ e karşılık gelmekte ve normalize bant genişliği 0.060 (6GHz) elde edilmektedir. Çökme frekansı ise $1,12$ ve genlik değeri ise -23dB ye karşılık gelmektedir. Aynı sistemde iki uç değer bulunmaktadır. Bu gibi sistemler tercih edilmemelidir. Tablo 1. de ise genlik değerleri ölçülerek elde edilmiş ve karşılaştırmalı olarak fark kazanç sabiti ve zamana göre farkları verilmiştir. Sistemdeki genlik değişimi doğrusal kabul edilebilecek seviyededir.

5. TARTIŞMA (DISCUSSION)

Bu çalışmada dört ton girişli sistemin Volterra seri açılımını, ikinci çekirdek çıkışının analizi gecikme zamanı $t_0=1 \times 10^{-11} \text{ s}$ ve $t_0=1 \times 10^{-10} \text{ s}$ geri besleme sabitine (K) bağlı olarak sistemin davranışının değiştiği gözlemlenmiştir. Kritik geri besleme değerlerine karşılık gelen çökme yada kaos normalize frekansı $1,23$ ve $1,77$ belirlenmiştir. Optik sistem besleme akımından daha çok geri besleme değerine (K) çok duyarlıdır. Kaos durumunun oluşmaması için geri besleme değerinin önceden tahmini mümkün görülmektedir. Şekil. 9-12 de normalize frekans çökme değerleri görülmektedir. Sistemin bu çökme frekansları ve geri besleme değerlerinde çalıştırılmasını önermemekteyiz. Şekil 11 de ise sistem bant geçiren filtre karakteristiği göstermektedir. Şekil 13 de ise yüksek genlik değerli ve dar bantlı özel amaçlı fiber optik haberleşme sistemlerinde kullanılabilir. Tablodaki ölçülen değerlere göre IMD frekans bileşenlerinin genlikleri arasında doğrusal olmayan genlik değişimi olmamasına rağmen, kaos oluşabilmektedir. Çalışma, besleme akımı $I_0=3I_{th}$ (50mA) için yapılmıştır. Besleme akımının değişmesi durumunda çökme frekanslarının değeri ve genlik değerleri değişmektedir. Bu nedenle lazer diyotun haberleşme sistemlerinde kararlı çalışabilmesi için, geri besleme ve frekans değerlerinin test edildikten sonra kullanılmasını önermekteyiz.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Schetzen, M. and Yıldırım, R. "System Theory of the Single-mode Laser-diode" **Opt. Commun.**, 219 341-350, 2003.
- Yıldırım, R. and Schetzen, M. "Application of the Single-mode Laser Diode System Theory" **Opt. Commun.**, 219, 351-355, 2003.
- Aydın, E. and Yıldırım, R. "Optimizing the Performance of Single-mode Laser Diode System Using Genetic Algorithm", **Optics and Lasers in Eng.** 42 July pp 41-46, 2004.
- Çelebi, F.V., Yıldırım, R. "Çelebi, F.V., Yıldırım, R., "Distortion System Theory Of The Two Tone Small Signal Input Laser Diode" **J. Fac. Eng. Archit. Gazi Univ.** Vol 20, No 3, 373-377, 2005.

5. Yıldırım, R. "Intermodulation Distortion System Theory Of The Three-Tone Small Signal Input Laser Diode With Non-Linear Optoelectronic Feedback " **J. Fac. Eng. Archit. Gazi Univ.** Vol 22, No 2, pp 417-430, 2007.
6. M. Schetzen, R. Yildirim, F.V. Celebi "Intermodulation Distortion Of The Single-Mode Laser-Diode " **Appl Phys B** 93: 837–847, 2008
7. Yıldırım, R. " Selection Of Frequency Components For Symmetric And Asymmetric Communication Systems " **J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ** Vol 23, No 2, pp 329-341, 2008.
8. Celebi, F.V., Yildirim, R., Gergerli, B., Gokrem, L., "Alternative intermodulation frequency components", **International Conference on Application of Information and Communication Technologies**, AICT 2009 , 5372622, 2009.
9. Celebi, F.V., Yildirim, R., "Determination of intermodulation distortion using a different approach", **Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering** 4913 , pp. 184-186, 2002.
10. Yildirim, R., Danisman, K., Celebi, F. V., Ozek, A., "Role of optical feedback for controlling chaotic cases in semiconductor laser diodes", **Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering**, 3491 , pp. 118-123, 1998.
11. Yildirim, R., Celebi, F.V., "Design of a Chaotic Optical Communication System by using RAMAN with Noise Addition Technique" **Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering 5662** , art. no. 62 , pp. 389-394, 2004
12. Yildirim, R., Yavuzcan, H.G., Çelebi, F.V., Gokrem, L., "Temperature dependent Rolletti stability analysis of GaN HEMT" **Optoelectronics and Advanced Materials, Rapid Communications** 3 (8) , pp. 781-786, 2009
13. Celebi F.V., "A different approach to gain computation in laser diodes with respect to different number of quantum-wells" **Optik** 116 (8): 375-378, 2005
14. Yildirim, R., Çelebi, F.V., Yavuzcan, H.G., Gökrem, L., "Asymmetric condition computed from the four tone input GaN HEMT" **International Conference on Application of Information and Communication Technologies**, AICT 2009 , 5372485, 2009
15. Yıldırım, R., Çelebi, F.V. " The Computation Of The Angle Between The Gain And Photon Population By Geometrical Approach" **J. Fac. Eng. Archit. Gazi Univ** Vol 24, No 4, pp 709–714, 2009.
16. Yıldırım, R., Çelebi, F.V. "Harmonic Amplitude Control In Laser Diodes With Non-Linear Feedback" **J. Fac. Eng. Archit. Gazi Univ.** Vol 25, No 1, pp 163–170, 2010.
17. Yıldırım, R., " Relative Intensity Noise System Theory Of The Laser Diode With Non-Linear Optical Feedback " **J. Fac. Eng. Archit. Gazi Univ.** Vol 21, No 3, pp 575-580, 2006.
18. Yiğit, S., Eryiğit, R., Çelebi, F.V., "Optical gain model proposed with the use of artificial neural networks optimised by artificial bee colony algorithm", **Optoelectronics and Advanced Materials, Rapid Communications**, 5 (9):1026-1029, 2011.
19. Çelebi, F.V., Altındag, T., "An accurate optical gain model using adaptive neurofuzzy inference system", **Optoelectronics and Advanced Materials, Rapid Communications** 3 (10): 975-977, 2009.
20. Yucel, M., Goktas, H.H., Celebi, F.V. "Temperature independent length optimization of L-band EDFAs providing flat gain", **Optik**, 122 (10):872-876, 2011.
21. Çelebi, F.V., "Modeling of the linewidth enhancement factors of the narrow and wide GaAs well semiconductor lasers", **Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University** 21 (1) :161-166, 2006.
22. Celebi, F.V., Yucel, M., Goktas, H.H., "Fuzzy logic based device to implement a single CAD model for a laser diode based on characteristic quantities", **Optik** 123 (6) : 471-474, 2012.
23. Ohtsu, M. and S.Kotajima, "Linewidth Reduction of a Semiconductor Laser by Electrical Feedback" **IEEE J.QE. Vol:21, pp 1905- 1912, 1985.**
24. Sharaf, K. and Ibrahim,M.M "The Effect of Electronics Feedback on Semiconductor Lasers" **IEEE J.QE. Vol:26, pp 1347- 1352 ,1990.**
25. Saboureau, P., Foing J.P. and Schanne, P. "Injection-locked Semiconductor Lasers with Delayed Optoelectronic Feedback" **IEEE J.QE. Vol:30, pp 1582- 1591, 1997**
26. Fukushima, T. and Sakamoto, T. "Chaos in Coupled Semiconductor Lasers with an Electronic Delayed Feedback Caused by Injection Locking" **IEEE J.QE. Vol:34, pp 750- 758 ,1998**
27. Grigorieva,E.V., Haken H. and Kaschenko, S.A. "Theory of Quasiperiodicity in Model of Lasers with Delayed optoelectronic Feedback" **Optics Comm. Vol:165 pp 279- 292, 1999**
28. Giacomeli, G. M. Calzavara and Arecchi, F.T. "Instabilities in a Semiconductor Laser with Delayed Optoelectronic Feedback" **Optics Comm. Vol:74 pp 97- 101, 1989**
29. Lee,C.H., Shin,S.Y. "Selfpulsing, Spectral Bistability, and Chaos in a Semiconductor Laser Diode with Optoelectronic Feedback" **Appl Phys. Lett. Vol:62, pp 922- 924, 1993**
30. Loiko, N.A. and Samson, A.M. "Possible Regimes of Generation of a Semiconductor

- Laser with a Delayed Optoelectronic Feedback” **Optics Comm. Vol:93 pp 66- 72 Sept. 1992**
31. 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, pp 1301- 1311, Oct. 2001**
 32. Tang, S. and Liu, J.M. “Chaotic Pulsing and Quasi-Periodic Route to Chaos in a Semiconductor with Delayed Optoelectronic Feedback” **IEEE J.QE. Vol:37, pp 1301- 1311, March 2001**
 33. Hassine, L. et al., “Volterra Functional Series Expansions for Semiconductor Lasers Under Modulation” **IEEE Journal of Quantum Electronics, Vol 30, No 4, pp. 918-928, April 1994,.**
 34. Tucker, R.S. “High-Speed Modulation of Semiconductor Lasers,” **J. Lightwave Tech. LT-3, No. 6, pp. 1180-1192, Dec. 1985**
 35. Olshansky, Lanzisa, R. V. W.V. Powazinik, “Universal Relationship Between Resonant Frequency and Damping Rate of 1.3 μm InGaAsP Semiconductor Laser” **Apl. Phys. Letters., 50 (11) , pp.653-655,1987**
 36. Gökrem, Levent, Çelebi, Fatih V. Yıldırım, Remzi. “Asymmetric Amplitude Variation For Four Tone Small Signal Input Gan Hemt At Different Temperatures” **J. Fac. Eng. Archit. Gazi Univ. Vol 25, No 4, pp 779-786, 2010**
 37. Schetzen, M. “**The Volterra and Wiener Theories of Nonlinear Systems**”, Malabar, Fla., R.E. Krieger Publishing Co., 2006, reprint edition with additional material
 38. Bussgang, J.J. and Ehrman, L., “Analysis of Nonlinear Systems with Multiple Inputs” **Proc. IEEE Vol:62, pp. 1088-1119, 1974.**
 39. Bedrosian, E. and Rice,S.O. “The Output Properties of Volterra Systems (Nonlinear Systems with Memory) Driven by Harmonic and Gaussian Inputs”, **Proc. IEEE Vol:59, pp.1688-1707, Dec. 1971.**
 40. Weiner, D.D. and Spina, J.E “**Sinusoidal Analysis and Modeling of Weakly Nonlinear Circuits**”, Van Nostrand Reinhold Comp.1980, New York.