

# HARİCİ OPTİK GERİBESLEMELİ LAZER DİYOTLARDA KAOS

H.Haldun GÖKTAŞ

*Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Elektronik-Bilgisayar Eğt.Bölümü  
Teknikokullar Ankara*

Nurettin GÖKŞENLİ

*Ankara Üniversitesi, Çankırı Meslek Yüksekokulu  
Çankırı*

## ÖZET

Bu çalışmada, harici optik geribeslemeli yarıiletken lazerler için lazer oran denklemleri çözülerek kaotik bölge davranışları incelenmiştir. Nümerik çözümler sonucunda, parametrelere bağlı olarak, nonlinear sistemin kaosa girdiği görülmüştür. Kaotik bölgedeki parametre değerlerinin değiştirilmesiyle sistem kaosa gitmektedir ve böylece kaotik çekiciler ortaya çıkmıştır. Parametre değerlerinin, kaotik bölgenin dışında alınmasıyla sistemin kaos bölgesinden çıktığı ve kararlı bir durum aldığı görülmüştür.

## I. GİRİŞ

Kaos çoğunlukla, istenmeyen bir durum olarak ele alınmaktadır ve fiziksel sistemlerin çalışmaları için tehlikeli olabilmektedir. Eğer bütün uygulamalarda kullanılsaydı, gerçekten kaos bilimcileri tarafından geliştirilen yöntemler kaossuz sistemlerin tasarımı için kullanılırdı [1].

Bununla birlikte, gerçek hayatta, normal sistem çalışmasında kaosla karşılaşmaktayız. Örneğin, insan beyni mikro ölçekli kaotik modda çalışmaktadır [1].

Kaos, germe (stretching) ve katlama (folding) mekanizması ile karakterize edilmektedir. Dinamik sistemlerin yakın trajektörileri tekrar tekrar ekspanensiyel olarak bir tarafa çekilmiştir ve birlikte geri katlanmıştır [2].

Doğal olarak oluşmayan ortamlara garip (strange) ortamlar denir. Gariplik özelliği bulunan bir alanda, kaotik bir sistemin kararlılık durumu 'garip çekici' (strange attractor) terimi ile bilinir [2].

Robert May ve bazı bilim adamları hesaplamalarında ayrı ayrı grafikler kullanmak yerine, bütün bilgileri tek bir resimde toplayabilmek için 'dallanma grafiği' (bifurcation) kullanmışlardır [3].

Bu çalışmada, optik geribeslemeli yarıiletken lazerlerde oluşabilecek kaos ortamı hakkında incelemeler yapılmıştır. Kaos bölgesinin nasıl oluşabileceği gösterilmiş ve bilgisayar ortamında simulasyon yaparak belirli parametre değerlerine karşılık gelen bir bölge için kaotik grafikler elde edilmiştir [4].

## II. TEORİ

Optik geribeslemeli yarıiletken lazerlerde kaos, son zamanlarda bir çok bilim adamı tarafından incelenmektedir [5,6,7]. Burada sistemi modellemek için Lang ve Kobayashi denklemleri baz alınmış, ancak ekleme ve düzeltmeler yapılmıştır [6]. Burada kullanılan oran ifadeleri,

$$\frac{dE}{dt} = 0,5 * \{G_n(N-N_0)(1-\epsilon\Gamma E^2) - \frac{1}{\tau_p}\} E + K E_s \cos \Psi(t) / \tau_{in} \quad (2.1)$$

$$d\Psi/dt = 0,5a^* \{G_n(N-N_0)(1-\epsilon\Gamma E^2) - 1/\tau_p\} - \Delta\omega_s - KE_s \sin\Psi(t) / \tau_{in} E \quad (2.2)$$

$$dN/dt = R_p - N/\tau_r - G_n(N-N_0)(1-\epsilon\Gamma E^2) E^2 \quad (2.3)$$

şeklinde olup, kullanılan terimler aşağıda sıralanmıştır:  
N taşıyıcı yoğunluğu ve  $N_0$ , N'nin laserleme eşliğindeki değeridir,

- $G_n$  modal kazanç katsayısı,
- $\Psi(t) = \varphi(t) - \Delta\omega_s t$  iç ve enjekte alanları arasındaki faz farkı,
- $\Delta\omega_s = \omega_s - \omega_0$  dış sinyal ve laser osilasyonu arasındaki frekans farkı,
- $\tau_p$  kavitedeki foton ömrü,
- $\tau_r$  elektron ve hol arasındaki tekrar birleşme zamanı,
- $\tau_{in} = 2L/c$  L uzunluğundaki laser kavitede uçuş zamanı,
- $\epsilon\Gamma$  iyileştirme faktörü,
- $R_p$  akım pompalama parametresi,
- $a^* = -2\omega_0 / (n^*G_n)\partial n/\partial N$ ,
- K enjeksiyon parametresi [6,7],

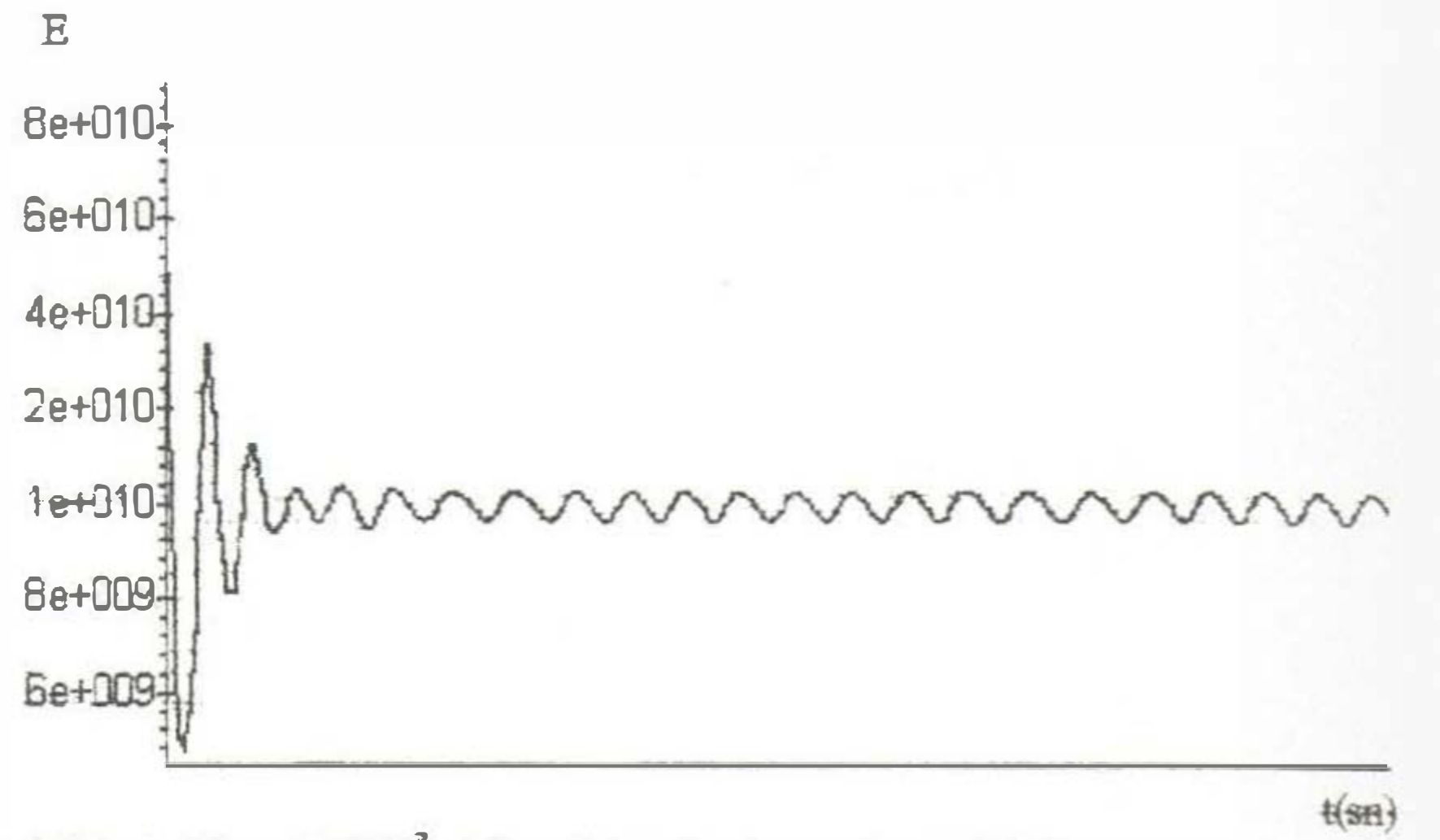
Çıkış gücü 1mW olan bir lazer için kullanılan parametreler aşağıda verilmiştir :

$$\begin{aligned} G_n &= 8,1 \cdot 10^{(-13)} \text{ m}^3/\text{s} \\ N_0 &= 1,1 \cdot 10^{24} \text{ m}^{-3} \\ \omega &= 2,5133 \cdot 10^{15} \text{ rad s}^{-1} \\ \tau_p &= 2 \cdot 10^{(-12)} \text{ s} \\ \tau_r &= 2 \cdot 10^{(-9)} \text{ s} \\ \tau_{in} &= 8 \cdot 10^{(-12)} \text{ s} \\ \epsilon\Gamma &= 9 \cdot 10^{(-24)} \text{ m}^{-3} \\ a^* &= 6 \\ R_p &= 9,075 \cdot 10^{32} \text{ m}^{-3} \text{ s}^{-1} \\ E_s &= 1,02 \cdot 10^{10} \text{ m}^{-3/2} \quad (=E(K=0)) \\ \Delta\omega_s &= 2\pi 36 \cdot 10^6 \text{ r/s} \end{aligned}$$

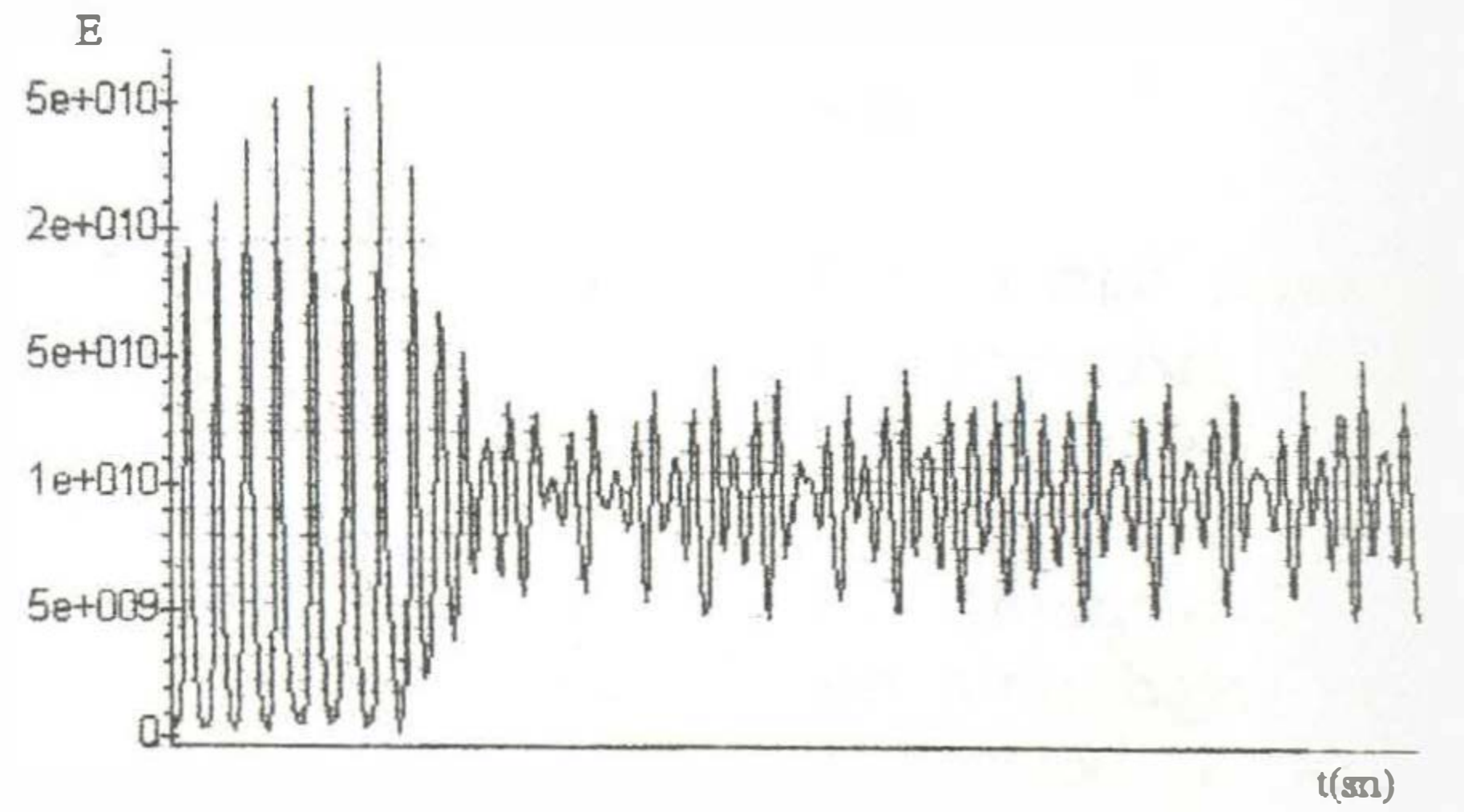
Sistem,  $K = 5,5 \cdot 10^{-3} - 4 \cdot 10^{-2}$  aralığında kaosa gitmektedir. Lang ve Kobayashi denklemleri basit ve gencl olarak tek modlu yarıiletken lazerleri tanımlamak için literatürde kabul edilen modeli göstermektedir [7].

Lang ve Kobayashi denklemleri standart bilgisayar işlemleriyle entegre edilerek çözülebilir. Hesaplama K parametresi enjeksiyon seviyesini ayarlamak için değiştirilmiştir. K parametresi kaosa geçişte en uygun parametredir. K ve  $\Delta\omega_s$  'in değişik değerlerinde simülasyon hesaplamalarında sistem çözümünde kaos ortaya çıkmaktadır. K parametresini kaos bölgesi dışında bir değer seçersek, örneğin,  $K=1 \cdot 10^{-3}$  için elektrik alanın zamana göre değişimi şekil 2.1.'de görüldüğü gibi oldukça kararlıdır. Buna karşılık K değerini kaos bölgesi içerisinde seçersek, örneğin  $K = 7,5 \cdot 10^{-3}$  için, elektrik alanın zamana göre değişimi şekil

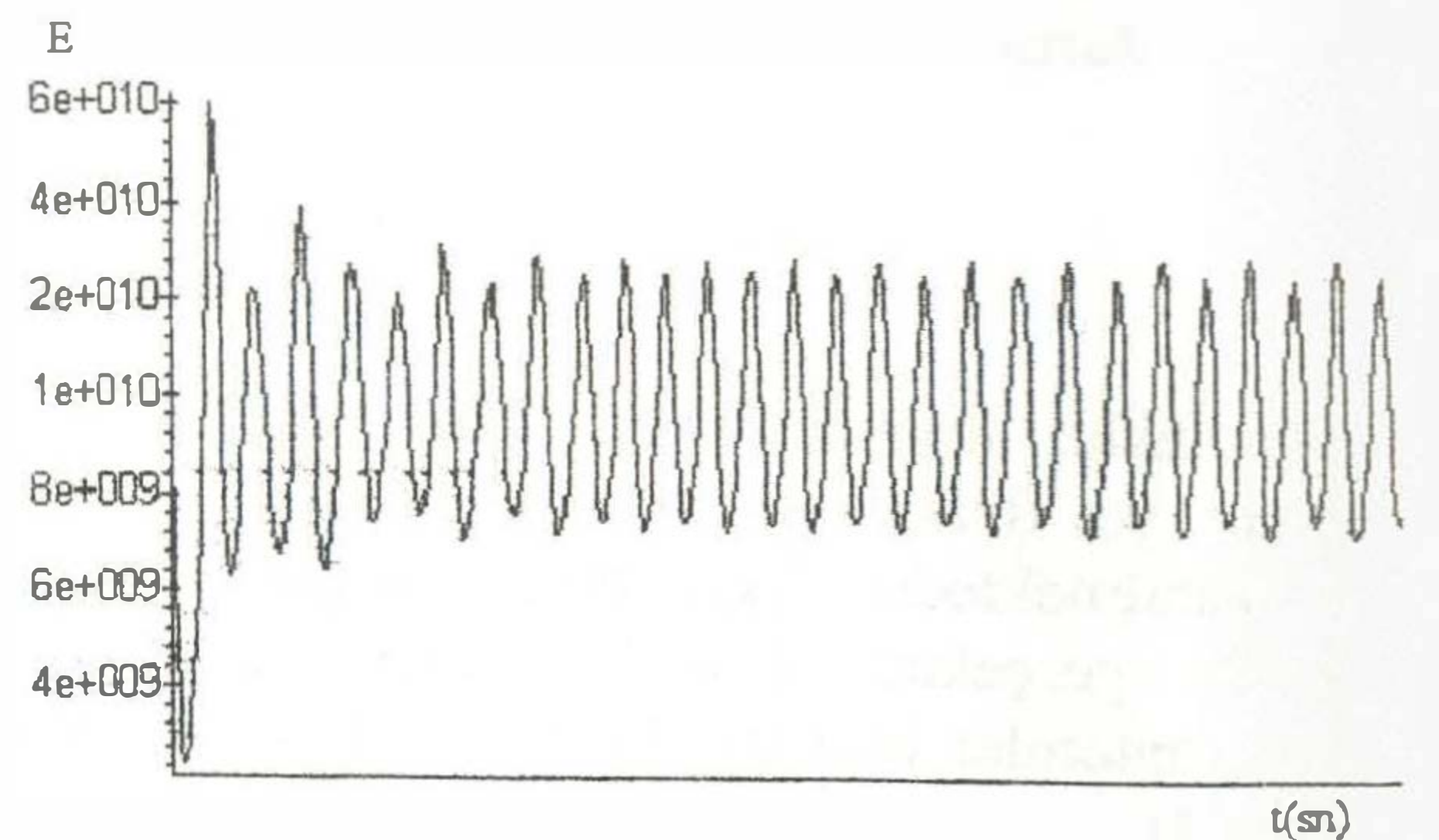
2.2.'de görüldüğü gibi daha karmaşık ve düzensiz bir hal almaktadır.  $K = 3 \cdot 10^{-3}$  için bir başka örnekte Şekil:2.3.'de görüldüğü gibi sistem kararlıdır. Bu örneklerde olduğu gibi K parametresi defalarca değiştirilerek sistemin kararlı olarak çalıştığı bölge ile sistemin kaosa girdiği bölgeler ortaya çıkarılmıştır. Buna göre  $K = 5,5 \cdot 10^{-3} - 4 \cdot 10^{-2}$  arasında kalan bölge kaos bölgesi olarak görülmüştür.



Şekil 2.1:  $K = 1 \cdot 10^{-3}$  için elektrik alanın kararlılığı



Şekil 2.2 . $K = 7,5 \cdot 10^{-3}$  için elektrik alanın kaotik durumu



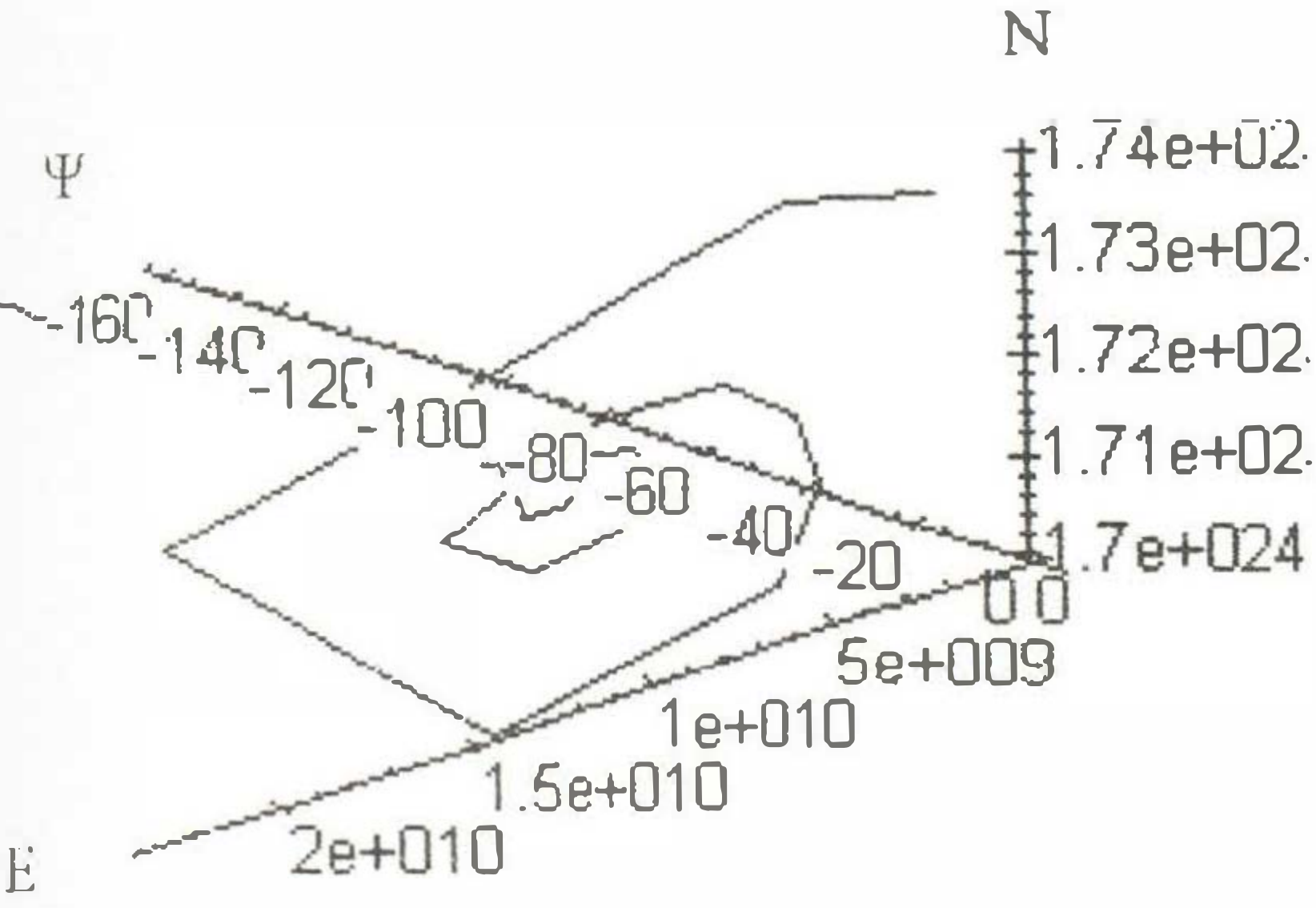
Şekil 2.3:  $K = 3 \cdot 10^{-3}$  için elektrik alanın kararlılığı

Bir başka açıdan nonlinear dinamiklerin içeriklerinde bazılarını ortaya koymak için, oran denklemleri (2.1) (2.2) ve (2.3)'ün 3 boyutlu uzayda çözümlerinden ( E,  $\Psi$ , N ) kaotik ( veya garip ) çekiciler ortaya çıkmaktadır. Şekil 2.4.'de  $K = 0,1 \cdot 10^{-3}$  için, 3 boyutlu

stemde kararlı bir durum vardır. Çünkü, K parametresi kaos bölgesi dışında alınmıştır.

Lang ve Kobayashi [6] denklemlerinin üçü birden sistem olarak ele alınmış ve çözülmüştür. Nümerik çözümler sonucunda, parametrelere bağlı olarak, nonlinear sistemin kaosa girdiği görülmüştür. Parametrenin belirli bir aralığı için, sistem kaosa girmektedir. Parametre değerleri kaos bölgesinin dışında bir yerde ise, sistem kararlı olarak çalışmaktadır.

Kaotik bölgede alınan parametre değerlerinde, elektrik alanın kaotik bir salınım ve Lang ve Kobayashi denklemlerindeki parametrelerin ( E,  $\Psi$ , N ) birbirlerine göre 3 boyutlu uzay grafiğinde, kaotik çekicinin ortaya çıktığı bilgisayar ortamında elde edilmiştir.

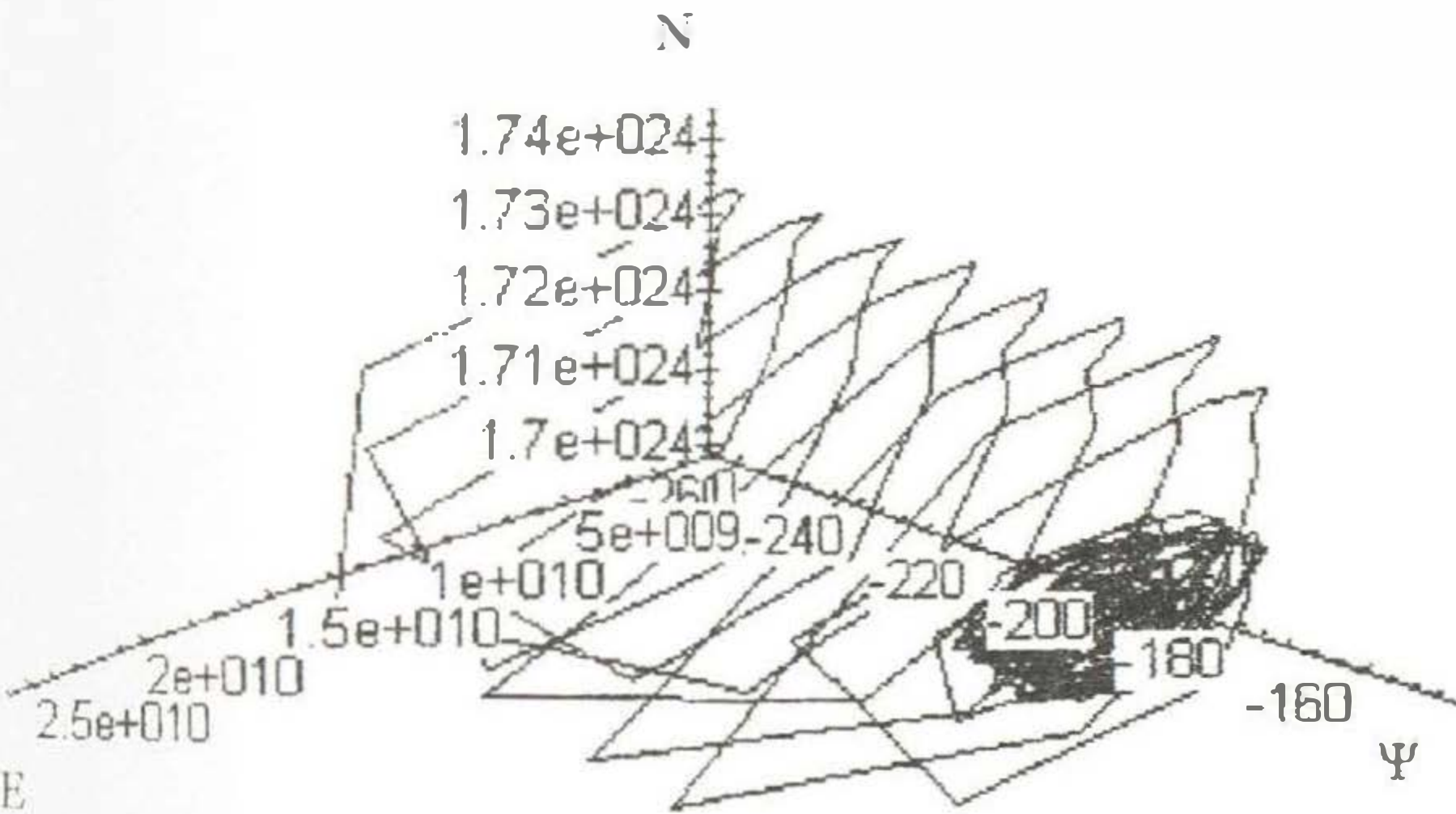


Şekil 2.4:  $K = 0.1 \cdot 10^{-3}$  için sistemin ( E,  $\Psi$ , N ) kararlı durumu

Şekil 2.5'de,  $K = 7,5 \cdot 10^{-3}$  için sistemin kaotik durumu görülmektedir. Burada, K parametresi kaos bölgesi içerisinde seçildiği için sistemde kaotik çekicinin ortaya çıktığı görülmüştür. Elektrik alan denkleminde olduğu gibi 3 boyutlu uzay grafiklerinde defalarca çözümler yapılarak,  $K = 5,5 \cdot 10^{-3} - 4 \cdot 10^{-2}$  aralığında sistemin kaosa gittiği görülmüştür. Bu aralık dışındaki bir değer için sistem kararlı olarak çalışmaktadır.

### REFERANSLAR

- [1]. Maciej, J.O., IEEE Transactions on circuits and systems, Fundamental Theory and applications Vol:40, No:10, pp693, 1993.
- [2]. Kennedy, M.P., IEEE Transactions on circuits and systems, Fundamental Theory and application. Vol:40, No:10, 657, 1993.
- [3]. Lang, R.J., and Yariv, A., Analysis of the dynamical response of the multi-element semiconductors lasers, IEEE J. Quantum Electronics Vol:21, pp.1683, 1985.
- [4]. Gökşenli, N., Harici Optik Geribeslemeli Lazer Diyotlarda Kaos, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü, Mayıs 1999.
- [5]. Lodi, V.A., Donati, S. and Scirc, A., Synchronization of Chaotic Injected Laser Systems and Its Application to Optical Cryptography, IEEE J. Quantum Electronics Vol:32, No:6, 953, 1996.
- [6]. Lang, R. and Kobayashi, K., External Optical Feedback Effects on the Semiconductors Injections Laser Prop., IEEE J. Quantum Electronics Vol:16, pp.333, 1980.
- [7]. Lodi, V.A., Donati, S. and Manna, M., Chaos and Locking in a Semiconductor Laser Due to External Injection, IEEE J. Quantum Electronics. Vol:30, No:7, 1537.1994



Şekil 2.5:  $K = 7,5 \cdot 10^{-3}$  için sistemin ( E,  $\Psi$ , N ) kaotik durumu

### III.SONUÇLAR

Bu çalışmada, kaos hakkında genel bir bilgi verildikten sonra, harici optik geri beslemeli yarıiletken lazerlerde oluşabilecek kaos ortamı hakkında çalışmalar yapılmıştır. Lang ve Kobayashi [6] tarafından üzenlenen lazer oran denklemleri, bilgisayar ortamında çözümlenerek kaotik grafikler elde edilmiştir.

The first part of the document discusses the importance of maintaining accurate records of all transactions. It emphasizes that every entry should be supported by a valid receipt or invoice. This ensures transparency and allows for easy verification of the data.

In the second section, the author details the various methods used to collect and analyze the data. This includes both manual data entry and the use of specialized software tools. The goal is to ensure that the data is both accurate and easy to interpret.

The third part of the document provides a detailed breakdown of the results. It shows that there has been a significant increase in sales over the period covered by the report. This is attributed to several factors, including improved marketing strategies and a focus on customer service.

Finally, the document concludes with a series of recommendations for future actions. It suggests that the company should continue to invest in its marketing efforts and maintain its high standards of customer service. This will help to ensure long-term success and growth.