

Republic of Iraq
Ministry of Higher Education
University of Mosul
College of Education for Pure Sciences
Department of Physics



Generating and Controlling Chaotic Spiking by using Optoelectronic Feedback of Mach-Zehnder Modulator

Laila Omer Babarasool

M. Sc. Thesis

Physics

Supervised by

Lecturer

Dr. Younis Thanoon Younis

2022 A.D.

1444 A.H.

Abstract

In this research, we modelled and derived the motion equation for the optoelectronic oscillator OEO model based on the Ikeda principle, which consists of the Mach-Zehnder optical modulator MZM, that works as a nonlinear element with an optoelectronic feedback OEF consisting of an optical fibre that connects the modulator to the photodetector and then recovers of the photodetector signal to the radio frequency RF input port of the Mach-Zehnder modulator, which acts as an optoelectronic feedback system with a delay time τ_D . The model of the optoelectronic oscillator OEO was simulated by converting the system response model from the Integro-Differential Equation to the system of delayed differential equations DDE and then solving this system numerically by DDE solver using MATLAB codes. The response of the optoelectronic oscillator system has been studied and investigated through time series diagrams of the generated signals, analysis of their frequency spectra and phase attractor, as well as the bifurcation diagrams of the maximum values versus the control variable. The results of the numerical analysis showed the existence of various regions of oscillations ranging from single-period oscillation, double-period, mixed-mode oscillations (a combination of fast and slow-cycle oscillations), multi-period oscillations, and chaos oscillations, all of which are as a function of the linear gain factor β with fixing delay time at a constant value of $20\mu\text{s}$. Also the results of the numerical solutions of the system of Delay Differential Equations (DDE) for the OEO system showed that there is very large diversity in the oscillation systems, ranging from single oscillation, double-period oscillation, multi-period oscillations and chaos oscillations respectively, as functions of the optoelectronic feedback delay times τ_D when the linear gain coefficient is fixed at the value of 3.

Thesis Orientation

This thesis consists of four chapters:

Chapter one starts with an introduction followed by basic concepts and the literature reviews.

Chapter two tackles the theoretical bases of optical modulator and optoelectronic oscillator OEO, as well as explaining the modelling of Mach-Zehnder Modulator MZM with optoelectronic feedback as a chaotic oscillator which are used in this research.

Chapter three is the main part of the research as it presents the review of the main results of the numerical simulations of the model of optoelectronic oscillator, which is constructed from MZM device with optoelectronic feedback OEFB prescribed by dimensionless delay differential equation DDE.

Chapter four summarises the conclusions reached in chapter three, as well as shedding light on possible future studies.

المخلص

قمنا في هذا البحث بنمذجة واشتقاق معادلة الحركة لنموذج المذبذب الكتروضوئي المستند على مبدأ إيكيدا Ikeda والذي يتألف من المضمن الضوئي ماخ-زيندر الذي يعمل كعنصر لاخطي مع تغذية الكتروضوئية متكونة من ليف ضوئي يعمل على توصيل المضمن بالكاشف الضوئي ومن ثم استرجاع إشارة الكاشف الضوئي الى جزء ادخال الإشارة الراديوية RF للمضمن ماخ-زيندر مكونا منظومة تغذية الكتروضوئية ذات زمن تأخير τ_D . تم محاكاة المذبذب الكهروضوئي OEO من خلال تحويل نموذج استجابة المنظومة من المعادلة التكاملية-التفاضلية الى منظومة من المعادلات التفاضلية ذات التأخير DDE ومن ثم حل هذه المنظومة عدديا. تم دراسة واستقصاء استجابة منظومة المذبذب الكتروضوئي من خلال مخططات السلاسل الزمنية للإشارات المتولدة وتحليل أطرافها الترددية والجاذب الطوري وكذلك مخطط التشعب للقيم القصوى مع متغير السيطرة. أظهرت نتائج التحليل العددي وجود مناطق متنوعة من التذبذبات تراوحت من التذبذب المنفرد الدورة والدورة المضاعفة وتذبذبات النمط المختلطة الدورات (مزيج التذبذبات السريعة والبطيئة الدورات) وتذبذبات المتعددة الدورات وتذبذبات الفوضى وكل ذلك تكون كدالة لعامل الكسب الخطي β مع تثبيت زمن التغذية الكتروضوئية عند قيمة ثابتة مقدارها . كما أظهرت نتائج الحلول العددية لمنظومة المعادلات التفاضلية ذات التأخير DDE لمنظومة المذبذب الكتروضوئي وجود تنوع كبير جدا في انظمة التذبذبات تراوحت من التذبذب المنفرد والتذبذب المضاعفة الدورة والتذبذبات المتعددة الدورات وتذبذبات الفوضى وذلك بالترتيب كدوال لأزمنة التأخير للتغذية الكهروضوئية الراجعة τ_D عند تثبيت معامل الكسب الخطي عند القيمة 3.



الجمهورية العراق
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
جامعة الموصل
كلية التربية للعلوم الصرفة
قسم الفيزياء

توليد و التحكم النبضات الفوضوية باستخدام المضمن الضوئي
ماخ-زيهنذر ذات تغذية كهروضوئية راجعة

ليلى عمر بابارسول
رسالة ماجستير
الفيزياء

بإشراف
المدرس
دكتور يونس ذنون يونس