

نمذجة المستقبلات الضوئية باستخدام لغة VHDL-AMS

الدكتور حسن البستاني*

الدكتور علي أحمد **

رحاب حبيب ***

تاريخ الإيداع 26 / 3 / 2008. قُبِلَ للنشر في 2008/5/4

□ الملخص □

تتطلب تطبيقات الوسائط المتعددة Multimedia Systems شبكات معلومات عالية السرعة والتي تمكن من نقل كمية كبيرة من المعلومات وذلك خلال زمن قصير. تقدم الاتصالات الضوئية مساهمة كبيرة في هذا المجال فهي تنقل المعلومات بسرعات كبيرة مع تأمين عرض حزمة كبير لقنوات الاتصال. وتلعب الأجهزة الالكترونية المستخدمة في دارات الارسال والاستقبال لأنظمة الاتصالات الضوئية دوراً كبيراً في تأمين المتطلبات الاساسية لهذه النظم من سرعة الاستجابة والمستوى المنخفض للضجيج والتكلفة القليلة.

التصميم بمعونة الحاسب CAD للالكترونيات الضوئية لم ينضج بعد كما هي عليه الحال بالنسبة للدارات الالكترونية التشابيهية والرقمية. سوف نقدم في هذا البحث مساهمة لنمذجة المستقبلات الضوئية التي يمكن استخدامها في أي برنامج CAD لتصميم وتحليل التطبيقات التي تستخدم الالكترونيات الضوئية كالاتصالات الضوئية. سوف نعتمد في النمذجة على لغة VHDL-AMS التي تملك الامكانية لنمذجة عدة نظم مختلفة في طبيعة الاشارة كما في الالكترونيات الضوئية التي تحتوي على الإشارة الكهربائية والإشارة الضوئية.

الكلمات المفتاحية: الكرونيات ضوئية، نمذجة، محاكاة، التصميم بمعونة الحاسب للالكترونيات الضوئية، نمذجة مكبر العمليات، الكواشف الضوئية، VHDL-AMS

* مدرس - قسم هندسة الاتصالات والالكترونيات - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.
** أستاذ مساعد - قسم هندسة الاتصالات والالكترونيات - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.
*** طالبة دراسات عليا (ماجستير) - قسم هندسة الاتصالات والالكترونيات - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

Optical Receiver Modeling by using VHDL-AMS

Dr. Hasan Albustani*
Dr. Ali Ahmad**
Rehaab Habeeb***

(Received 26 / 3 / 2008. Accepted 4 / 5 / 2008)

□ ABSTRACT □

Multimedia applications require high-speed networks which enable transferring a large amount of information in a very short time. Optical communications provide an important contribution to this field. A large amount of information can be transferred in a very short time, ensuring a large bandwidth. Electronic devices used in transmitting and receiving circuits of optical communication play great roles in ensuring speed responsiveness, low noise, and low cost. A computer-aided design of optoelectronics is not yet mature as digital and analog CAD. In this research, we present a contribution to modeling an optical receiver which can be used in CAD tools in order to design and analyze optoelectronic applications. As is the case in our study, we use VHDL-AMS for modeling multidiscipline systems for optical and electrical signals.

Keywords: Optoelectronic, modeling, simulation, CAD of optoelectronic, operational amplifier modeling, optical receivers, and VHDL-AMS

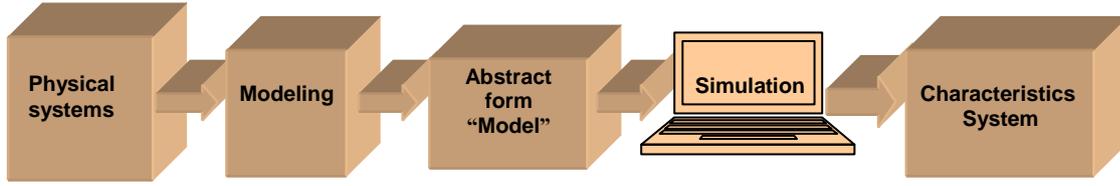
* Assistant Professor, Department of Communication and Electronics, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

** Associate Professor, Department of Communication and Electronics, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

*** Postgraduate Student, Department of Communication and Electronics, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

مقدمة:

تعرف النمذجة بالنسبة للنظم الالكترونية على أنها العملية التي تقوم بإيجاد نموذج رياضي للدارة الالكترونية على شكل معادلات تفاضلية وجبرية /DAEs/ Differential and Algebraic Equations [1] وهذا التعريف ينطبق على نظم الالكترونيات الضوئية، أي إن عملية النمذجة تسعى لإيجاد النموذج الرياضي المكافئ للعنصر الضوئي أو الالكتروني. بعد ايجاد النموذج الرياضي تبدأ عملية المحاكاة Simulation وهي بالتعريف العملية التي بواسطتها يسخر الحاسوب لاجراء التحليل وإيجاد الخصائص المميزة للعنصر الضوئي أوالالكتروني. يمكن تلخيص عمليتي النمذجة والمحاكاة بالشكل (1).



الشكل (1) مفهوم عمليتي النمذجة والمحاكاة

أهمية البحث وأهدافه:

إن الهدف من البحث يمكن أن يتلخص بما يلي

- 1- دراسة مميزة الكاشف الضوئي من خلال عملية النمذجة باستخدام لغة VHDL-AMS.
 - 2- استخدام نموذج الكاشف الضوئي مع نموذج مكبر العمليات لتشكيل نموذج لدارة المستقبل الضوئي.
 - 3- الاستعانة بالنموذج المستخدم لدراسة الاستجابة الترددية للمستقبل الضوئي.
- تكمّن أهمية البحث من خلال إضافة مساهمة في مجال التصميم بمعونة الحاسب CAD للإلكترونيات الضوئية التي تلعب دوراً أساسياً في دارات الإرسال والاستقبال لأنظمة الاتصالات الضوئية.

طريقة البحث ومواده:

سوف نقوم في هذه البحث بنمذجة المستقبلات الضوئية باستخدام لغة VHDL-AMS. كما هو معلوم فإن المستقبلات الضوئية تتألف من الكاشف الضوئي الذي يحول الإشارة الضوئية إلى إشارة كهربائية بالإضافة إلى دارة تحويل التيار الكهربائي إلى جهد كهربائي التي تقوم بدور التضخيم أيضاً. باعتبار أن مكبر العمليات العنصر الأساسي في دارة تحويل تيار-جهد لذلك سيقترن اهتمامنا أولاً لإيجاد نموذج لمكبر العمليات. سنقدم عدة نماذج لمكبر العمليات المثالي والعملي، ثم بعد ذلك سنقوم بإيجاد نموذج للكاشف الضوئي اعتماداً على النمذجة البنوية. وأخيراً سنقدم نموذجاً للمستقبل الضوئي وإظهار النتائج التي تدعم دقة هذه النماذج.

لابد من الإشارة إلى أن عملية النمذجة للعناصر الالكترونية (الثنائي والترانزستور بأنواعه) و العناصر الضوئية (الثنائي الباعث للضوء والثنائي الليزري والثنائي الكاشف للضوء) عملية معقدة ويوجد تخصص هندسي لهذا المجال يسمى Process Engineering يحتاج الى معرفة شاملة في عدة اختصاصات كالهندسة الكهربائية والهندسة الميكانيكية والفيزياء والكيمياء وعلم خواص المواد. تجري الأبحاث في هذا المجال في المخابر ومعظم النتائج (النموذج

الرياضي في حالتنا) تكون نتائج تجريبية. لهذا السبب سوف نعتمد على المعادلات الناتجة التي تصف عمل هذه العناصر مع الإشارة إلى المصادر المستقاة منها.

كان اختيارنا للغة VHDL-AMS كونها تمكن من دمج الإشارة الضوئية مع الإشارة الكهربائية في بيئة نمذجة واحدة بالإضافة إلى قدرتها على النمذجة البنوية والسلوكية. سنعتمد على البرنامج SystemVision النسخة التعليمية من شركة Mentor Graphics (www.mentor.com/systemvision). النسخة متاحة مجاناً على شبكة الانترنت ولكنها محدودة الامكانيات. أُجري البحث في جامعة تشرين خلال مدة زمنية تقارب العام.

ترتيب المقالة على الشكل التالي:

- تعريف بلغة VHDL-AMS
- الأساس النظري للكاشف الضوئي
- المستقبلات الضوئية
- نمذجة مكبر العمليات
- نمذجة الكاشف الضوئي
- نمذجة المستقبلات الضوئية
- الاستنتاجات والتوصيات والخاتمة
- ملحق بالنماذج مكتوبة بلغة VHDL-AMS

1- لغة VHDL-AMS

لغة VHD-AMS [2, 3] هي لغة لوصف الكيان الصلب سواءً أكان رقمياً أو تشابهاً (النظم الرقمية والتشابهية) وهي اختصار للكلمات التالية:

(Very High Speed Integrated Circuit / VHSIC / Hardware Description Language for Analog and Mixed-Signal Systems)

تم تطوير لغة VHDL في عام 1987 لنمذجة النظم الرقمية بدءاً من البوابات المنطقية وصولاً الى المعالجات الصغيرة ولم يكن بمقدور هذه اللغة على نمذجة النظم التشابهية. وللحاجة الماسة لايجاد لغة تستطيع نمذجة النظم الرقمية والتشابهية على السواء في بيئة نمذجة وتطوير واحدة تم توسيع اللغة في عام 2000 لتشمل النظم التشابهية Analog Systems والأنظمة المختلطة Mixed-Signal Systems وعرفت باسم VHDL-AMS

تستطيع لغة VHDL-AMS نمذجة أي نظام أو عنصر يوصف باستخدام بالمعادلات التفاضلية-الجبرية Differential and Algebraic Equations /DAEs/ لذلك سوف نجد الامكانيات الجديدة للغة VHDL-AMS وهي قدرتها على نمذجة نظم مختلفة القدرة (Conserved System) Energy وهو ما يعرف Multi-technology Modeling.

فعلى سبيل المثال تمتلك لغة VHDL-AMS الامكانية على نمذجة نظم تحوي عناصر ميكانيكية و كهربائية وحرارية ومغناطيسية وضوئية. لذلك كان موضوع بحثنا دراسة امكانية نمذجة نظم الالكترونيات الضوئية (دمج بين القدرة الكهربائية والقدرة الضوئية).

وبالنتيجة يمكن تعريف منافذ من نوع ميكانيكي *mechanical* أو حراري *thermal* أو أي نوع يمكن وصفه باستخدام المعادلات التفاضلية-الجبرية.

تعتمد اللغة على مفهوم الكمية Quantity وهي على نوعين:

(1) across كفرق الكمون بين نقطتين

(2) through كالتيار المار بين نقطتين.

والكمية تمثل المتغيرات المراد حسابها في جملة المعادلات التفاضلية. وهي تختلف حسب نوع النظام ويجب ان يكون عدد المتغيرات مساوٍ لعدد المعادلات حتى يكون النظام قابل للحل. وفي حال عدم التساوي تضاف كميات اضافية تسمى الكميات الحرة Free Quantities لتحقيق المساواة بين عدد المعادلات والمجاهيل. الجدول (1) يبين تحديد الكمية حسب ماهية النظام.

الجدول (1) يبين الكمية across والكمية through ومقابلاتها حسب نوع النظام

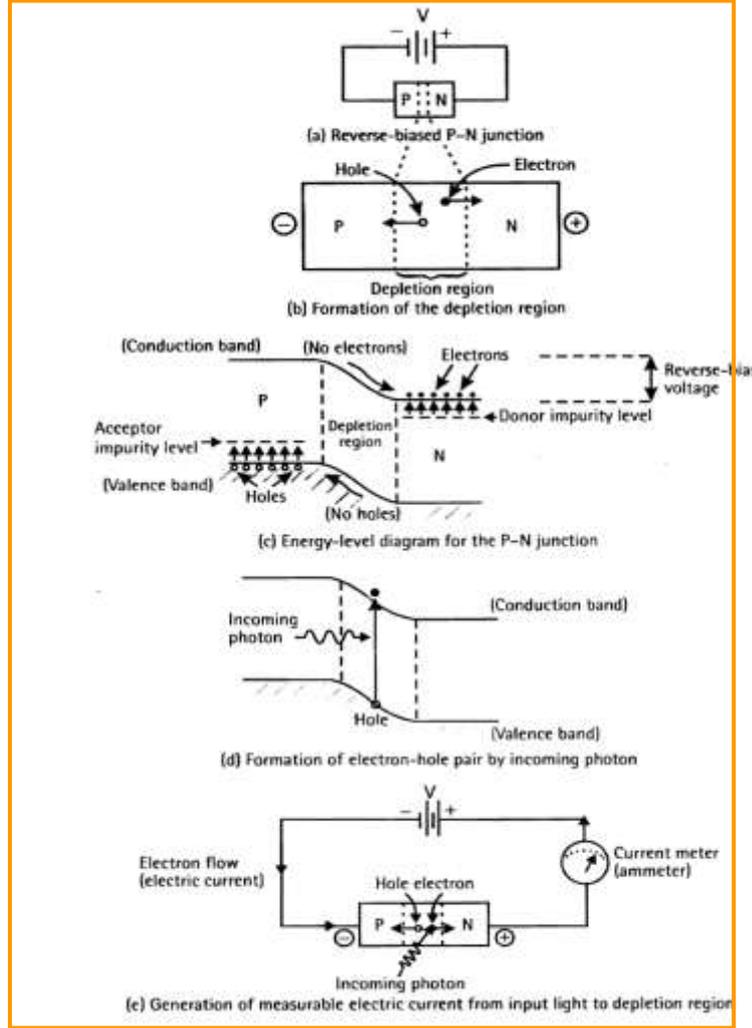
Domain	ACROSS	THROUGH
Electrical	Voltage (V)	Current (A)
Thermal	Temperature (C)	Power (W)
Mechanical (linear)	Position (m)	Force (N)
Mechanical (rotational)	Angle velocity (rad/s)	Torque (N*m)
Magnetical	Magnetic Force (n*A)	Flux (Wb)
Hydraulic	Pressure (Pa)	Fluidic flow (l/s)

تستخدم لغة VHDL-AMS لتحقيق أنواع مختلفة من النمذجة كنمذجة النظم الرقمية والنظم التشابيهية والنظم المختلطة للإشارة **Mixed-Signal Modeling** والنظم متعددة المجال **Multi-Domain Modeling** كنظم الميكاترونك Mechatronics Systems [4, 5]. سيكون موضوع بحثنا الاستفادة من هذه الخاصية لنمذجة المستقبلات الضوئية التي تحوي عناصر كهربائية وعناصر ضوئية.

2- الكاشف الضوئي

يقوم الكاشف الضوئي بتحويل القدرة الضوئية (الفوتون) إلى إشارة كهربائية (تيار) وذلك بامتصاص الفوتون الساقط على وصلة $P-N$ منحازة عكسياً بواسطة جهد الانحياز كما هو مبين بالشكل (2) [6]. نتيجة لهذا الجهد تتولد طبقة خالية من الشحن الحرة تسمى بالمنطقة الفقيرة *Depletion Region* (الشكل 2 (b))، ذات حقل كهربائي كبير هذا الحقل الكهربائي يمنع الإلكترونات من العبور من المنطقة N إلى المنطقة P وكذلك يمنع الثقوب من العبور من المنطقة P إلى المنطقة N (لا توجد إلكترونات تتحرك من حزمة التكافؤ *valance band* إلى حزمة التوصيل *conductance band*) كما هو مبين بالشكل (2) (c).

في حال سقوط فوتون على الوصلة $P-N$ يتولد زوج من إلكترون-ثقب *electron - hole pair* نتيجة لامتصاص الفوتون. يجب أن تكون طاقة الفوتون الساقطة حتى يتم توليد زوج الكترون-ثقب أعلى من طاقة الفجوة $h\nu \geq E_g$ (يُمثل ثابت بلانك و ν يمثل تردد الضوء). الزوج المتشكل يتحرك نتيجة الحقل الكهربائي باتجاه معاكس لشحنته (الشكل 2 (d)) ويشكل تيار الجرف *drift current*، هذا التيار المتشكل يتناسب طردياً مع القدرة الضوئية الساقطة (الشكل 2 (e)).



[6] الشكل (2) الثاني الضوئي ذو الوصلة P-N

يعطى التيار المتشكل بدلالة القدرة الضوئية بالعلاقة $I_p = R P_{in}$ حيث R تمثل الاستجابة للثاني الضوئي *Responsivity*. الاستجابة يمكن أن ترتبط بفعالية الكم Quantum efficiency كما يلي [7]:

$$\eta = \frac{\text{electron generation rate}}{\text{photon incident rate}} = \frac{I_p / q}{P_{in} / h\nu} = \frac{h\nu}{q} R$$

هذا يعطى بدلالة طول الموجة λ : (q تمثل شحنة الالكترون)

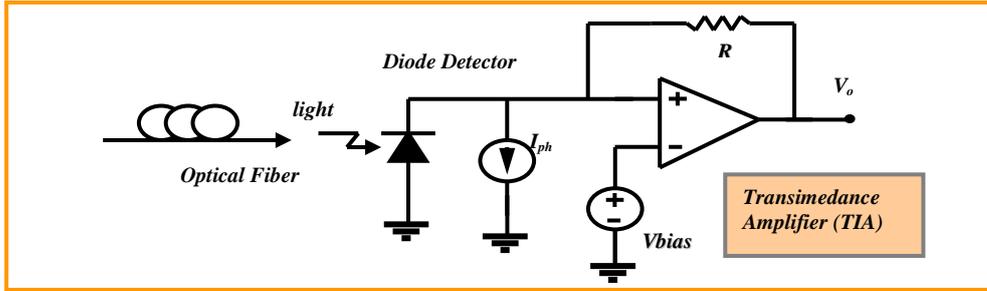
$$R = \frac{\eta q}{h\nu} = \frac{\eta \lambda}{1.24} \quad \text{where} \quad \lambda = \frac{c}{\nu}$$

كما أنه من الممكن استخدام الكاشف الضوئي بدون انحياز ليعمل كخلية شمسية و ذلك لتحويل القدرة الضوئية إلى قدرة كهربائية بالنمط الفوتوكموني، [13]. في هذه المقالة سوف نتعرض فقط لعمل الكاشف الضوئي كدارة مستقبل لتحويل الإشارة الضوئية إلى إشارة كهربائية في نظام الاتصالات الضوئية بالنمط التوصيلي.

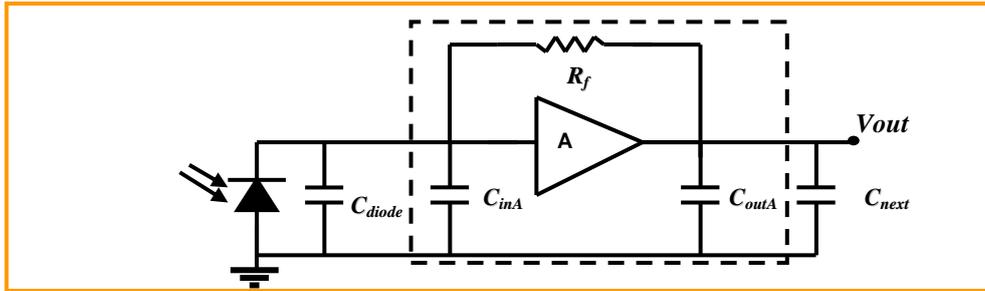
4- المستقبلات الضوئية

يقوم الثنائي الضوئي بتحويل الاشارة الضوئية الى تيار كهربائي لذلك فاننا نحتاج في جهة الاستقبال (نظم الاتصالات الضوئية) الى دارة تقوم بتحويل التيار الكهربائي الى جهد كهربائي وتضخيمه. هذه الدارة تسمى دارة مضخم ممانعة *Tansimpedance Amplifier* [8,9]. هذا النوع من المضخمات يعتمد على نظرية التغذية العكسية التفرعية - التفرعية [10,13]. حيث أن التغذية العكسية السالبة تستخدم في دارات التضخيم لتأمين الاستقرار في الدارة الكهربائية (بشكل عام تأمين الاستقرار في جمل التحكم) وفي نقصان مقاومتي الدخل والخرج وكما تفيد في زيادة عرض الحزمة Bandwidth بالإضافة لأنها تمكن من تخفيض التشويه اللاخطي. يعطى الربح في هذا النمط من التغذية العكسية بعلاقة جهد الخرج الى تيار الدخل أي $Z = V_o / I_i$.

يتم استخدام مكبر العمليات بربح حلقة مفتوحة A مع مقاومة التغذية العكسية R_f كما هو مبين بالشكل (3). بأخذ بعين الاعتبار المكثفات الطفيلية الناتجة عن دخل وخرج المضخم و الناتجة عن الثنائي الضوئي ينتج لدينا الشكل (4) حيث ان C_{diode} عبارة عن مكثفة الداخلية المكافئة للثنائي الضوئي و C_{inA} عبارة عن مكثفة الدخل المكافئة لمكبر العمليات و C_{outA} عبارة عن مكثفة الخرج المكافئة لمكبر العمليات و C_{next} المكثفة الناتجة عن المراحل اللاحقة.



الشكل (3) مضخم ممانعة النقل المستخدمة في دارة المستقبل الضوئي



الشكل (4) مضخم ممانعة النقل مع أخذ بعين الاعتبار المكثفات الطفيلية

يقدم هذا المضخم مقاومتي دخل وخرج منخفضتين نتيجة للتغذية العكسية التفرعية- التفرعية ويتمتع بحساسية عالية وعرض حزمة عالٍ وسرعة استجابة عالية مما يجعله خياراً جيداً في المستقبلات الضوئية العالية السرعة. يعطى ربح مضخم ممانعة النقل للحلقة المغلقة بالعلاقة التالية [9]:

$$Z_{cl} = \frac{v_{out}}{i_{diode}} = \frac{\frac{A}{A+1} R_f - \frac{R_{outA}}{A+1}}{1 + s \left(\frac{(R_f + R_{outA}) C_{inT}}{A+1} + \frac{R_{outA} C_{outT}}{A+1} \right) + s^2 \frac{R_f C_{inT} R_{outA} C_{outT}}{A+1}}$$

بالنسبة للمضخم الذي يملك ربح A كبير جداً ومقاومة خرج منخفضة يمكن كتابة العلاقة السابقة كما يلي:

$$Z_{cl} = \frac{v_{out}}{i_{diode}} = \frac{R_f}{1 + s \left(\frac{R_f \cdot C_{inT}}{A} + \frac{R_{outA} \cdot C_{outT}}{A} \right) + s^2 \frac{R_f \cdot C_{inT} \cdot R_{outA} \cdot C_{outT}}{A + 1}}$$

حيث $C_{outT} = C_{outA} + C_{next}$ $C_{inT} = C_{diode} + C_{inA}$ يمكن تبسيط علاقة الريح بالعلاقة التالية

$$Z_{cl} = \frac{v_{out}}{i_{diode}} = \frac{R_f}{1 + s \left(\frac{R_f \cdot C_{inT}}{A} \right) + (1 + s \cdot R_{outA} \cdot C_{outT})}$$

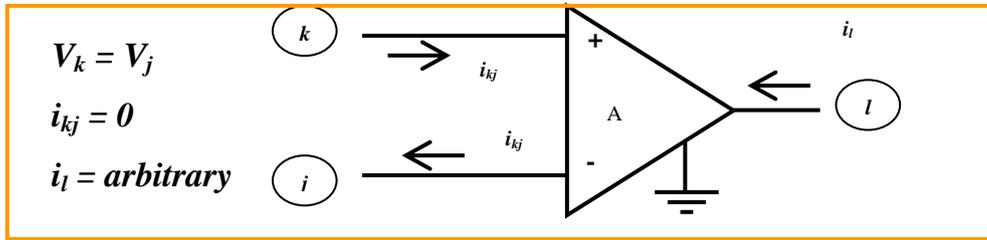
عرض الحزمة للمضخم يعطى باستخدام القطب الاول لتابع النقل للحلقة المغلقة بالعلاقة التالية:

$$BW_{transAmp} = \frac{1 + A}{R_f \cdot (C_{diode} + C_{inA})}$$

5- نمذجة مكبر العمليات Operational Amplifier Modeling

يعتبر مكبر العمليات من أكثر الدارات المتكاملة التشابيهية استخداماً في كثير من التطبيقات كالمرشحات الفعالة

ومبدلات الإشارة ADC and DAC و الهزازات الخ. الشكل (5) يبين الرمز الالكتروني لمكبر العمليات.



الشكل (5) الرمز الالكتروني لمكبر العمليات و المعادلات التي تصف عمل المكبر

تعطى مواصفات مكبر العمليات المثالي كما يلي

- ربح جهد الحلقة المفتوحة و عرض حزمة لانهاية Infinite open loop gain and bandwidth
- نسبة رفض النمط المشترك لانهاية Infinite common mode rejection ratio (CMRR)
- مقاومة دخل لانهاية Infinite input resistance ومقاومة خرج معدومة Zero output resistance
- جهد انزياح الدخل $V_{offset} = 0$
- أما بارامترات مكبر العمليات غير المثالي المأخوذة بعين الاعتبار
- انزياح جهد الدخل input offset voltage v_{off}
- مقاومة دخل التفاضلية difference input resistance r_{in} ومقاومة الخرج output resistance r_{out}
- ترددي القطع لتابع النقل f_{g1} and f_{g2} cutoff frequency for transfer function

حيث أن $\tau_1 = \frac{1}{2\pi f_{g1}}$ $\tau_2 = \frac{1}{2\pi f_{g2}}$ يمثلان ثوابت زمنية

تابع النقل لمكبر العمليات باستخدام قطبين يعطى كما يلي [11] كمايلي $H(s) = \frac{A}{(1 + s \cdot \tau_1)(1 + s \cdot \tau_2)}$

حيث أن A_{∞} يمثل ربح الحلقة المفتوحة لمكبر العمليات.

باجراء تحويل لابلاس العكسي و كتابة المعادلة في مجال الزمن ينتج

$$A \cdot v_{in} = v_{outp} + (\tau_1 + \tau_2) \frac{dv_{out}}{dt} + \tau_1 \cdot \tau_2 \frac{d^2 v_{out}}{dt^2}$$

باعتبار أن جهد الدخل يساوي إلى $v_{in} = v_{inp} - v_{inn}$ و تيار الدخل يساوي إلى $i_{in} = v_{in} / r_{in}$ واعتبار البارامترات غير المثالية تصبح معادلة مكبر العمليات كما يلي

$$0 = v_{out} + (\tau_1 + \tau_2) \frac{dv_{out}}{dt} + \tau_1 \cdot \tau_2 \frac{d^2 v_{out}}{dt^2} - k(v_{in} - v_{off}) - r_{out} \cdot i_{out}$$

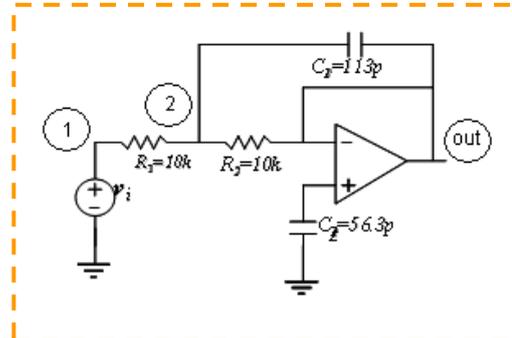
نموذج VHDL-AMS لمكبر العمليات معطى كما يلي

```
library IEEE_proposed;
use IEEE_proposed.electrical_systems.all;
use ieee.math_real.all;
entity opamp is
generic (f1 : real := 1.0;-- First pole
f2 : real := 2.0e6;-- Second pole
A : real := 1.8e6);-- Open loop gain
port (terminal inp : electrical;
terminal inn : electrical;
terminal output : electrical;
terminal Vss, Vdd : electrical);
end entity opamp;
architecture simple1 of opamp is
constant t1 : real := 1.0 / (f1*math_2_pi);
constant t2 : real := 1.0 / (f2*math_2_pi);
quantity vin across inp to inn;
quantity vout across iout through output to ref;
begin
vin == (t1*t2)*vout'dot'dot/A + (t1+t2)*vout'dot/A + vout/A;
end architecture simple1;
```

Testbench and simulation results دائرة الاختبار ونتائج المحاكاة

لاختبار نموذج مكبر العمليات سنستخدم دائرة مرشح ثنائي القطب المبينة بالشكل (6). مع الاستفادة من نموذج المقاومة ونموذج المكثفة و نموذج منبع الجهد.

```
library IEEE_proposed;
use IEEE_proposed.electrical_systems.all;
use ieee.math_real.all;
entity filter is
end entity filter;
architecture bhv of filter is
quantity VD across ID through vout;
begin
source: Vsource (simple)
generic map (dc_value := 1);
port map (node1, electrical_ref);
resistor1: resistor (ideal)
generic map (res:= 10000);
```



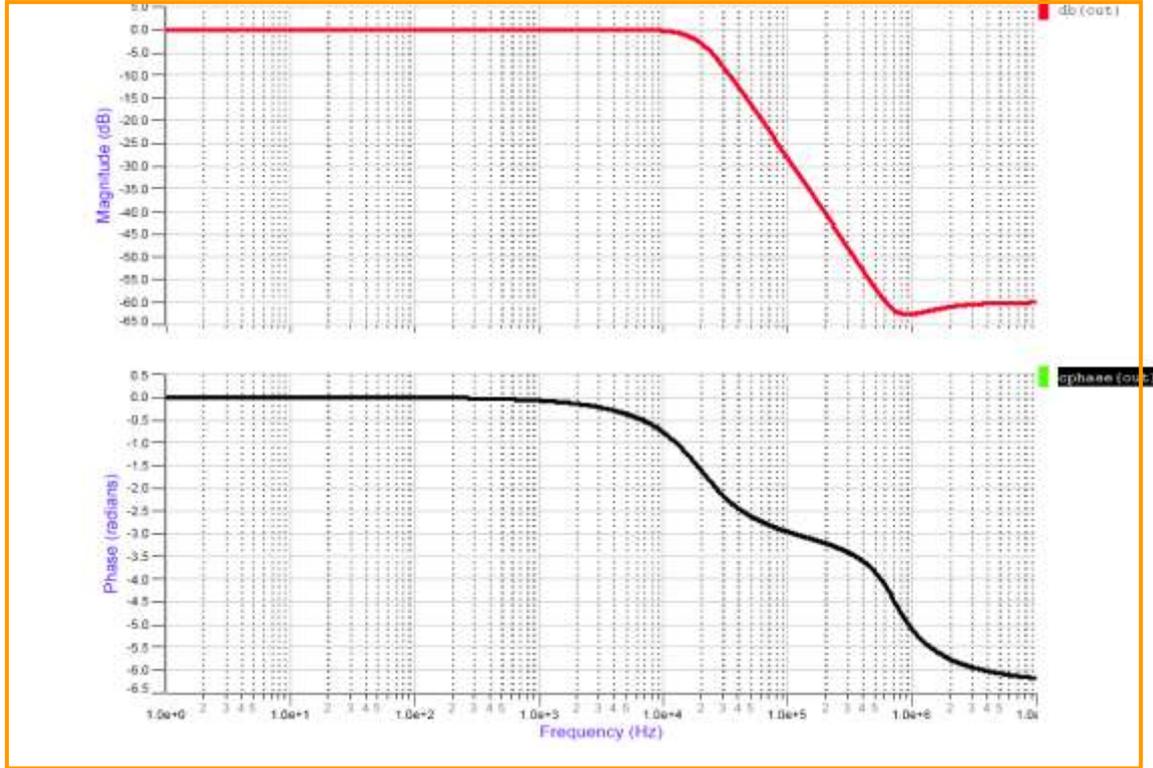
```

port map (node1, node2);
resistor2: resistor (ideal)
generic map (res:= 10000); port map (node1, inN);
capacitor1 : capacitor (ideal)
generic map (cap :=113.0p, v_ic:-0.0); port map (node2, out);
capacitor2 : capacitor (ideal)
generic map (cap :=56.3p, v_ic:-0.0); port map (inP, electrical_ref);
OpAmp: opamo (simple1)
generic map (f1 := 1.0, f2 := 2.0e6, A := 1.8e6); port map (inP, inN, out, vss, vdd);
end architecture bhv;

```

الشكل (6) دائرة وبرنامج اختبار مكبر العمليات

نتائج المحاكاة مبينة بالشكل (7).



الشكل (7) نتائج محاكاة دائرة المرشح

6- نمذجة الثنائي الضوئي

نمذجة الثنائي الضوئي بنيوياً يتطلب إيجاد عناصر كهربائية منفصلة يسمح بتحليل تطبيقات الثنائي الضوئي. الشكل (8) يبين نموذجاً بنيوياً *Structural Model* للثنائي الضوئي بحالة الانحياز العكسي [12]. المنبع I_{ph} يمثل التيار الضوئي الناتج عن امتصاص الفوتون وتوليد زوج الكترول-ثقب. المنبع I_{dark} يمثل التيار الناتج عن الطاقة الحرارية للثنائي الضوئي و عدم وجود طاقة ضوئية ويسمى تيار الظلام. المكثفة التفرعية C_D المكثفة الناتجة عن طبيعة الوصلة وتسمى مكثفة الانحياز العكسي reverse-biased capacitance وقيمتها مأخوذة من نموذج

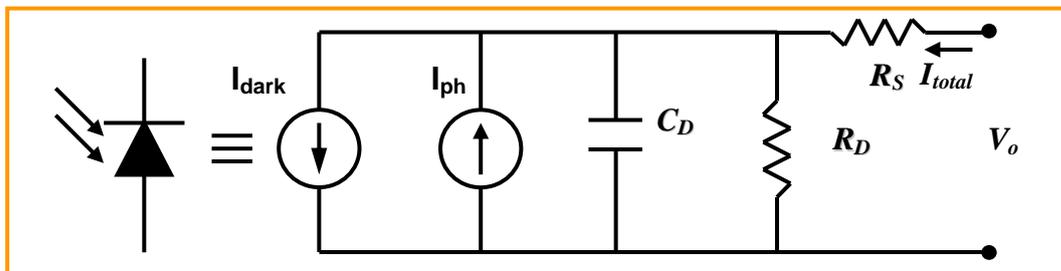
$SPICE$ [11] وتساوي $C_D = \frac{C_{j0}}{\sqrt{1 + \frac{v_R}{\phi_i}}}$ حيث ان C_{j0} تمثل مكثفة الوصلة في حالة الانحياز الصفري *zero-bias*

junction capacitance و v_R الجهد المطبق على الثنائي و ϕ_i الجهد الذاتي *built-in voltage* وهي الأكثر تأثيراً على عمل الثنائي الضوئي كعرض الحزمة والاستقرار. المقاومة التفرعية R_D تسمى مقاومة التسريب *Leakage Resistance* وتمثل مقاومة الوصلة في حالة انحياز صفري. المقاومة التسلسلية R_S ناتجة عن طبيعة مادة نصف الناقل. نموذج الثنائي الضوئي معطى كما يلي:

```

library ieee;
use ieee.math_real.all;
library ieee_proposed;
use ieee_proposed.energy_systems.all;
use ieee_proposed.electrical_systems.all;
entity photo_diode is
generic (CD : real := 1.0*PICO; -- diffusion capacitance
RLEAK : real := 1.0*MEGA; -- leakage resistance
RESPONSIVITY: real := 0.13; -- diode responsivity
IDARK0 : real := 1.0*NANO; -- dark current at nominal temp);
port (quantity ilight : in real;
terminal tan, tca: electrical);
end entity photo_diode;
architecture bhv of photo_diode is
quantity vd across id through tan to tca;
quantity idark, ip, ic, ir: real;
begin
ir == vd/RLEAK;
idark == IDARK0;
ic == CD*vd'dot;
ip == - RESPONSIVITY *ilight;
id == idark + ip + ic + ir;
end architecture bhv;

```



الشكل (8) النموذج المكافئ للثنائي الضوئي

دائرة الاختبار ونتائج المحاكاة:

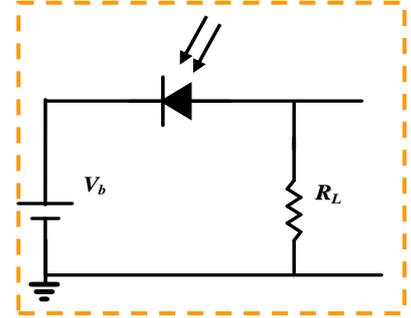
لاختبار النموذج السابق نضع الثنائي الضوئي المنحاز عكسياً في دائرة اختبار تسمى testbench مبينة بالشكل

(9) مع برنامج الاختبار.

```

library IEEE_proposed;
use IEEE_proposed.electrical_systems.all;
use ieee.math_real.all;
entity optical_Receiver is
end entity optical_Receiver;
architecture optical_network of optical_receiver is
quantity VD across ID through node1 to node2;
signal ilight : real:=0.001;
begin
source: Vsource (simple) generic map (dc_value := -20);
port map (node1, electrical_ref);
photodiode: photo_diode (bhv)
generic map (CD := 1.0*PICO, RLEAK := 1.0*MEGA, RESPONSIVITY:= 0.13; IDARK0 :=
1.0*NANO); port map (ilight, node2, node1);
resistorRL: resistor (ideal) generic map (res:= 1000); port map (node2,
electrical_ref);
ID == RESPONSIVITY * ilight;
end architecture optical_network;

```



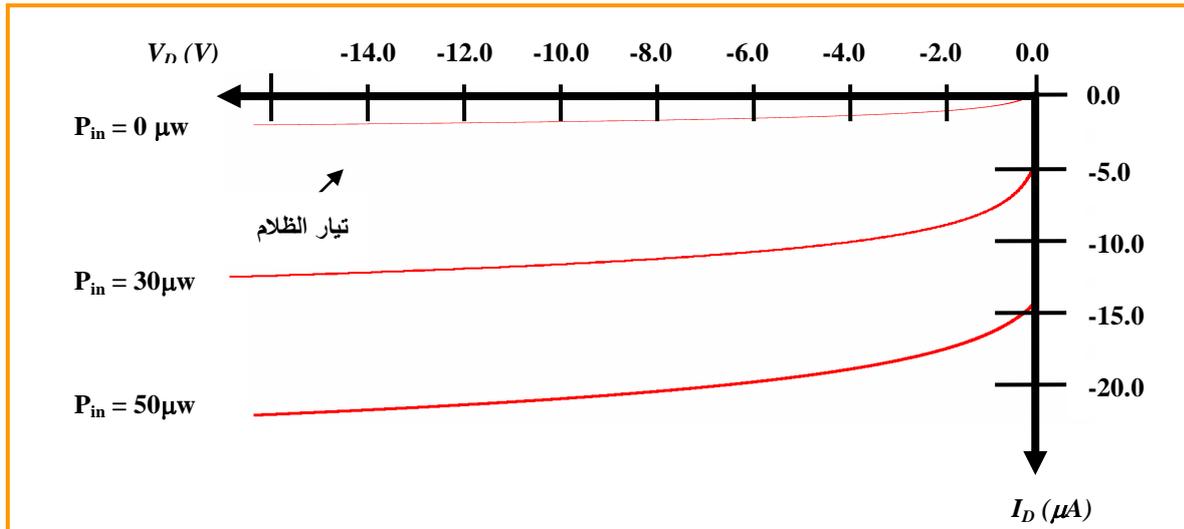
الشكل (9) دائرة الاختبار لنموذج الثنائي الضوئي

نتائج المحاكاة تبين مميزة الثنائي الضوئي $I_{total}-V_o$ من أجل تغير القدرة الضوئية الساقطة على الوصلة مبينة

بالشكل (10).

ملاحظة: SystemVision لايتيح رسم المميزة V-I في النسخة التعليمية لذلك أخذنا النتائج وأعدنا انتاجها

باستخدام Electronic Workbench MultiSim.



الشكل (10) مميزة $V-I_{total}$ للثنائي الضوئي مع تغير القدرة الضوئية الساقطة على الوصلة P-N

7- نمذجة المستقبلات الضوئية

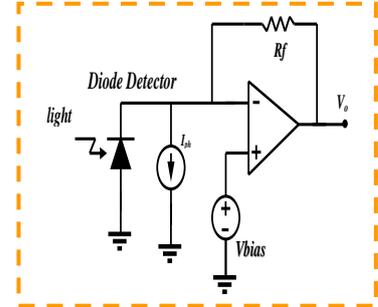
باستخدام نموذج مكبر العمليات ونموذج الثنائي الضوئي يمكن ان نقوم بنمذجة المستقبل الضوئي المبين

بالشكل (11)

```

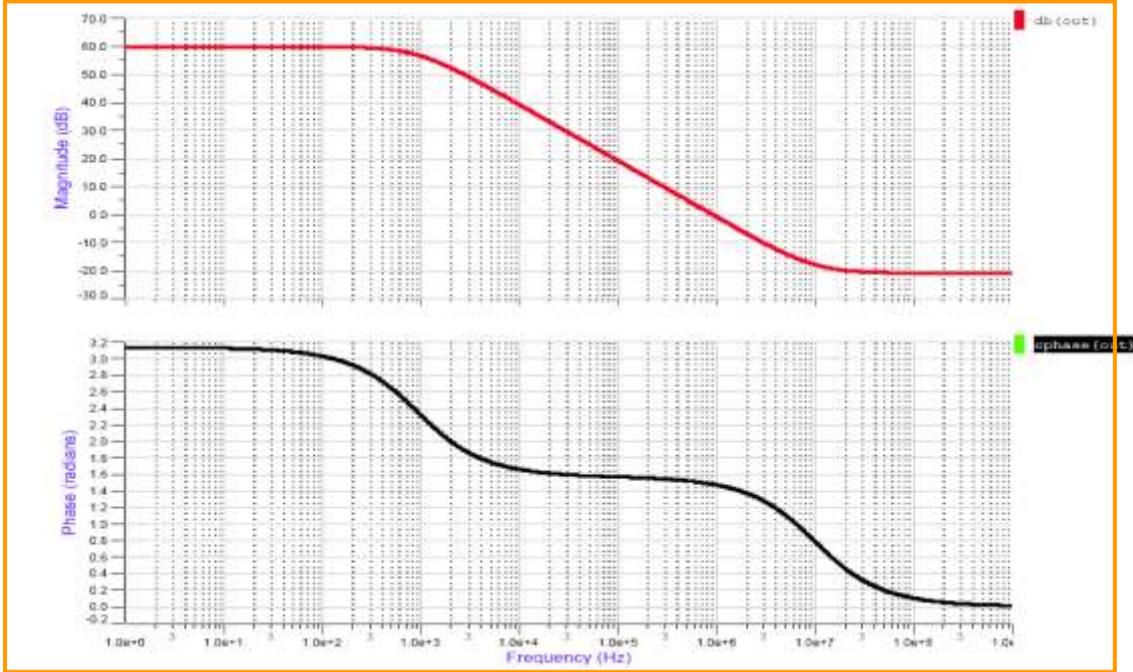
library IEEE_proposed;
use IEEE_proposed.electrical_systems.all;
use ieee.math_real.all;
entity optical_Receiver2 is
end entity optical_Receiver2;
architecture optical_network2 of optical_receiver2 is
quantity VD across ID through vout;
signal ilight : real:=0.001;
begin
source: Vsource (simple)
generic map (dc_value := -20);
port map (inP, electrical_ref);
photodiode: photo_diode (bhv)
generic map (CD := 1.0*PICO, RLEAK := 1.0*MEGA, RESPONSIVITY:= 0.13;
IDARK0 := 1.0*NANO);
port map (ilight, inN, electrical_ref);
resistorRL: resistor (ideal)
generic map (res:= 1000); port map (inN, out);
OpAmp: opamo (simple1)
generic map (f1 := 1.0, f2 := 2.0e6, A := 1.8e6);
port map (inP, inN, out, vss, vdd);
ID == RESPONSIVITY * ilight;
end architecture optical_network2;

```



الشكل (11) دائرة وبرنامج اختبار المستقبل الضوئي باستخدام مكبر العمليات.

نتائج المحاكاة معطاة بالشكل (12).



الشكل (12) نتائج محاكاة المستقبل الضوئي

الاستنتاجات و التوصيات:

قمنا في هذا البحث بإيجاد نموذج لمكبر العمليات آخذين بعين الاعتبار الخصائص المثالية والخصائص غير مثالية وكذلك قمنا بإيجاد نموذج للثنائي الضوئي باستخدام مفهوم النمذجة البنيوية. ودمج النموذجين السابقين وضعنا نموذجاً للمستقبل الضوئي.

المشكلة الاساسية التي اعترضتنا خلال البحث هي الامكانية المحدودة للبرنامج SystemVision النسخة التعليمية فهي تتيح فقط 30 quantities ومحدودية في أنواع التحليل بمقابل النسخة الاحترافية (1500 quantities). لذلك اضطررنا في بعض الاحيان الى تجزئة النماذج والاعتماد على برمجيات أخرى.

كان لابد من إجراء قياسات عملية في المخبر للتأكد من دقة النماذج عبر المقارنة لمميزة الثنائي الضوئي والاستجابة الترددية المقاسة مع الميزة والاستجابة الناتجة عن عملية المحاكاة. لكن عملية القياس هذه تتطلب نظام قياسات لنظام اتصال ضوئي وهذا غير متاح في مخبر كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية.

يمكن استكمال البحث عبر إيجاد نموذج للمستقبلات الضوئية التي تعتمد على تقنيات ترانزستور الحقلية MOSFET. كما يمكن ايجاد نموذج لمصادر الضوء كالثنائي الباعث للضوء LED والثنائيات الليزرية ودارات القيادة في المرسلات الضوئية والليف الضوئي. في النهاية وضع جميع هذه الدارات مع بعضها البعض لتحقق نظام اتصالات ضوئي. من خلال نموذج نظام الاتصالات الضوئية يمكن دراسة بارمترات كثيرة لهذا النظام كالضجيج و نسبة الإشارة إلى الضجيج وعرض الحزمة.

المراجع:

- 1- LAW, A. M.; KELTON, W.D., "Simulation Modeling Analysis," 3rd Ed. McGraw-Hill, 2000, 1-8.
- 2- ASHENDEN, P. J.; PETERSON G.; TEEGARDEN, D. "The System Design's Guide to VHDL-AMS," Morgan Kaufman Publishers, 2004.
- 3- HERVÉ, H., "VHDL-AMS: Anwendungen und industrieller Einsatz," Oldenbourg Verlag, 2006.
- 4- MENOR GRAPHICS, "Fundamentals of VHDL-AMS for Automotive Electrical Systems," www.mentor.com, 11-16.
- 5- COOPER, S., "How to Model Mechatronic Systems Using VHDL-AMS," SystemVision™ Technology Series. www.mentor.com.
- 6- ROGERS, A., "Understanding Optical Fiber Communication," Artech House, 2001,109-125.
- 7- KASAP, S.O., " Optoelectronics and Photonics: Principles and Practices," Prentice-Hall, 2001, 217-254.
- 8- MORIKUNI, J.; KANG,S.M., "Computer-Aided Design of Optoelectronic Integrated Circuits and Systems," Prentice-Hall, 1994, 95-103.
- 9- INGLES, M.; STEYAET, M., "Integrated CMOS Circuit for Optical Communication." Springer Verlage, 2004, 13-40.
- 10- R. JAEGER and T. BLALOCK, "Microelectronic Circuit Design," McGraw-Hill, 2008, 1068-1100.
- 11- COOPER, R. S., "The Designer's Guide to Analog & Mixed-Signal Modeling Illustrated with VHDL-AMS and MAST," 2004 Synopsys,
- 12- PÊCHEUX, F.; LALLEMENT, C. "VHDL-AMS and Verilog-AMS as Alternative Hardware Description Languages for Efficient Modeling of Multi-Discipline Systems," IEEE Transactions on Computer-Aided Design Of Integrated Circuits and Systems, Vol. 24, No. 2, February 2005.
- 13- عراج، فائق. هندسة/إلكترونية. السنة الثالثة هندسة كهرباء اختصاص طاقة، جامعة تشرين، العام الدراسي 2007-2006.

