

University of Mosul
College of Engineering



Design and Analysis of Implanted Rectenna Circuit for Biomedical Applications

Shamil Hamzah Hussein Mohammed

**Doctor of Philosophy
In Electrical Engineering
/ Electrical Engineering**

Supervised By

Prof.

Dr. Khalid Khalil Mohammed

2023 A.D.

1445 A.H.

Abstract

The rectenna is a rectifying antenna circuit which is used to convert RF energy to usable DC voltage. The rectenna system consists of received antenna, rectifying circuit based on tunnel diodes, impedance matching network, and the load resistance. This thesis focused on the analysis and design of a miniaturized rectenna integrated circuit for implantable applications. The proposed rectenna circuit is simulated using an ADS software and operated at dual bands 1.5GHz for wireless medical telemetry services and 5.8GHz for battery-powered implantable medical devices. The rectenna design has to meet important requirements including small size and high efficiency.

A compact planar L-shaped sections folded dipole antenna namely FDA is proposed for operating at dual band resonant frequency. The FDA antenna is simulated using CST software inside a human's arm phantom at a 2mm beneath the skin layer. The proposed size of the antenna is $1 \times 4.5 \text{ mm}^2$. The optimization of the antenna is performed by numerical analysis in CST. The simulated impedance bandwidth of the proposed antenna is 227MHz and 540MHz at 1.5GHz and 5.8GHz respectively. The minimum reflection coefficient (S_{11}) is -22.6 dB and -23.1 dB at the both bands respectively. Whereas the gain is -36.9 dBi, and -24.3 dBi at the both proposed bands respectively.

The rectifying circuit is designed based on asymmetric spacer tunnel layer (ASPAT) diodes. Four structures of the ASPAT devices have been modelled physically using SILVACO ATLAS software. Two optimized standard structures (structure #1 and #2) and two proposed Quantum Well ASPAT structures (structure #3 and #4) are created on semi-insulator (SI) GaAs and InP substrate for GaAs/AlAs

and $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}/\text{AlAs}$ ASPAT respectively. Different parameters of ASPAT diodes are extracted from the electrical characteristics at zero bias voltage for rectification applications. Both proposed QW-ASPAT diodes with a mesa size of $10 \times 10 \mu\text{m}^2$ have the highest curvature coefficient about 33V^{-1} compared to standard ASPAT about 13V^{-1} . Whereas the cut-off frequencies are 26GHz and 46GHz respectively.

The proposed FDA antenna is fully integrated with voltage doubler rectifier (VDR) circuit based on the proposed QW-ASPAT diodes to build the rectenna system utilizing a proper impedance matching network and optimum load resistance to deliver maximum voltage and power at the output of the rectenna. The optimum load resistance has been obtained is 1.7 k Ω and 0.5 k Ω at 1.5 GHz and 5.8 GHz respectively. Using single stage and double stage of the VDR circuit, the simulated DC output voltage is 0.75 V and 1.5V at both bands when the RF input power is 0 dBm. The full rectenna efficiency has been calculated about 4.4% and 16.5% at both bands respectively, when both path loss and cable loss are taken into consideration. Whereas the power conversion efficiency of the RF-to-DC rectifier circuit is 75% and 93% at the optimum load resistance respectively.



جامعة الموصل
كلية الهندسة

تصميم وتحليل دائرة Rectenna للتطبيقات الطبية

شامل حمزة حسين محمد

أطروحة دكتوراه فلسفة في الهندسة الكهربائية / هندسة كهربائية

بإشراف

الأستاذ الدكتور

خالد خليل محمد

الملخص

دائرة ال Rectenna هي دائرتي الهوائي-المقوم الموجي، إذ تستخدم لتحويل طاقة ذي التردد اللاسلكي إلى طاقة تيار مستمر قابلة للاستخدام والاستفادة منها وهذا ما يسمى بـ (حصاد الطاقة). تتكون دائرة Rectenna من هوائي الاستقبال، دائرة مقوم، ودائرة الموأمة، ومقاومة الحمل. ركزت هذه الأطروحة على تحليل وتصميم دائرة Rectenna متكاملة ومصغره لتطبيقات القابلة للزرع. تم محاكاة دائرة ال Rectenna المقترح داخل ذراع الإنسان الوهمي والعمل عند ترددي الرنين المقترح (1.5GHz and 5.8GHz). ان تصميم دائرة ال Rectenna يتطلب العديد من الأمور ومنها صغر الحجم والكفاءة العالية.

تم اقتراح هوائي جديد مصغر وهو ثنائي القطب نوع مطوي على شكل حرف L يسمى ال FDA للعمل في ترددي الرنين. تم محاكاة الهوائي FDA على عمق 2mm تحت طبقة الجلد باستخدام برنامج CST. الحجم الكلي للهوائي المقترح هو (1x4.5 mm²) وتم إجراء تحسين لخصائص الهوائي عن طريق التحليل العددي في البرنامج CST. كان عرض النطاق الترددي هو 227MHz والـ 540MHz والحد الأدنى لمعامل الانعكاس S₁₁ هو - 22.6dB والـ -23.1dB في كلا ترددي الرنين على التوالي. الكسب الهوائي يبلغ حوالي - 36.9dBi والـ -24.3dBi عند ترددي العمل على التوالي.

تم تصميم دائرة مقوم الموجي على أساس الثنائيات نوع ال ASPAT. تم تصميم أربعة هياكل للثنائيات ال ASPAT باستخدام برنامج SILVACO ATLAS. تم استخدام الهياكل التقليدية المحسنة والجديدة (المقترحة) للثنائيات ال ASPAT المبنية على أساس ال

GaAs و InP في تطبيقات التقويم الموجي. تم استخراج العديد من العناصر الخاصة بالـ ASPAT من الخصائص الكهربائية للتنائي. تم اختيار هيكل InGaAs QW-ASPAT ذات الحجم $100\mu\text{m}^2$ كأفضل هيكل نظرًا لأنه يحتوي على معامل انحناء (k_v) أعلى حوالي 33V^{-1} عند مقارنته مع الهياكل التقليدية للـ ASPAT حوالي 13V^{-1} . يعد تردد القطع وتردد العمل من العوامل المهمة لتقييم عمل الثنائيات الـ ASPAT ككاشف أو مقوم الموجي، إذ تبلغ تردد القطع لكل من الهياكل المقترحة للـ QW-ASPAT الجديدة حوالي 26GHz والـ 46GHz على التوالي.

تم تصميم دائرة الـ Rectenna بالكامل باستخدام دائرة مقوم مضاعف الجهد (VDR) وتمت محاكاته بواسطة برنامج ADS. تم استخدام دائرة المطابقة (المواءمة) لنقل أقصى فولتية وأقصى قدرة إلى طرف الإخراج عند مقاومة الحمل المثلى حوالي $1.7\text{k}\Omega$ والـ $0.5\text{k}\Omega$ عند ترددي الرنين المقترح على التوالي. فولتية الإخراج هو 0.75V والـ 1.5V في كلا ترددي الرنين عند استخدام مرحلة واحدة ومرحلتين من المقوم الموجي وقدرة الإدخال 0dBm. أخيرًا، تم الحصول على الكفاءة المشعة حوالي 4.4% والـ 16.5%، وكفاءة تحويل القدرة للمقوم الموجي 75% والـ 93% عند ترددي العمل المقترح.