

# تصميم مضخم (مكبر) قيادة راديوي عريض المجال يعمل عند المجال الترددي (100MHz -1800MHz) بالاعتماد على ترانزستورات InGaP/GaAS HBT MMIC

عبده بللوق	فواز مفضي	سالم إبراهيم
طالب ماجستير في هندسة الاتصالات المتقدمة	أستاذ مساعد	دكتوراه
قسم هندسة الالكترونيات والاتصالات	قسم هندسة الالكترونيات والاتصالات	المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا
كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية	كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية	
جامعة دمشق	جامعة دمشق	دمشق

## المخلص

يهدف البحث لتصميم عملي لمضخم قيادة (Driver Amplifier) عريض المجال الترددي (100MHz -1800MHz) يستخدم كمضخم أولي لقيادة مضخم استطاعة عالية أو لتكبير الإشارات الراديوية ضمن المجالات الترددية (VHF/UHF/L) التي تعمل عندها أنظمة الاتصالات اللاسلكية، كما يمكن استخدام المضخم في أنظمة التشويش والاعماء لتكبير إشارات التشويش الراديوية، إضافة إلى إمكانيةه تكبير عدة إشارات ترددية مجمعة معاً ضمن مجال عمله الترددي، تم تصميم وتصنيع المضخم عملياً بالاعتماد

تصميم مضخم (مكبر) قيادة راديوي عريض المجال يعمل عند المجال الترددي -100MHz)  
InGaP/GaAs HBT MMIC على ترانزستورات

على ترانزستورات ( MMIC InGaP/GaAs HBT )، المضخم يعتمد على مرحلتي تكبير، حيث تم استخدام ترانزستور استطاعة طراز (ERA-5+) مصنع وموصف من شركة (Mini-Circuit) يعتمد تكنولوجيا (InGaP HBT) كمضخم أولي وهو مستقر بدون شروط يعمل عند (DC-4GHz)، والترانزستور (SXA-289) من شركة (Sirenza Microdevices) يعتمد تكنولوجيا (GaAs HBT MMICs) كمضخم ثانوي يعمل عند التردد (-5-2000MHz)، أعطى المضخم ربحاً للاستطاعة حوالي 39dB إلى 20dB عند المجال الترددي (100MHz-1900MHz) وذلك بحال استخدام موجة مستمرة (Continues Wave (CW) باستطاعة 0.03mW كإشارة دخل للمضخم.

كلمات مفتاحية: InGaP/GaAs HBT- Wideband Amplifier- Broadband  
Amplifier - مضخم استطاعة - RF Power Amplifier

## Design A Wideband (100MHz -1800MHz) RF Driver Amplifier Based on InGaP/GaAs HBT MMIC

**Abdo Ballouk**  
MSc Student in Advanced  
Communication  
Engineering.  
Dept of Electronics and  
Communication  
Engineering, Faculty of  
Mechanical & Electrical  
Engineering Damascus  
University  
Syria

**Fawaz Mofdi**  
Prof Dr.  
Dept of Electronics and  
Communication  
Engineering,  
Faculty of Mechanical &  
Electrical Engineering  
Damascus University  
Syria

**Salem Ibrahim**  
Dr.  
Dept of Communication  
Engineering, Higher  
Institute for Applied  
Sciences and Technology,  
Damascus,  
Syria

### Abstract

The research aims to design a practical wideband RF power Amplifier working at (100MHz-1800MHz), it used as a primary amplifier to drive a high power amplifier or to amplify radio signals within the (VHF / UHF / L) frequency bands in which wireless communication systems operate, and the amplifier can also be used in systems Jamming and blindness to amplify the radio jamming signals, in addition to its ability to amplify several frequency signals that combined within its frequency band, the amplifier was designed and manufactured practically based on (InGaP / GaAs HBT MMIC) transistors, the amplifier depends on two amplification stages, where the (ERA5+) power transistor was used, It was manufactured and specified by Mini-Circuit based on (InGaP HBT) technology as primary amplifier and it is stable unconditionally, operating at (DC-4GHz), Sirenza Microdevices (SXA-289) transistor based on (GaAs HBT MMICs) technology as secondary amplifier, that operating at (5-2000MHz). The amplifier has a gain about 39dB to 20dB at the frequency band (100MHz-1900MHz), in case of using Continues Wave (CW) with power of (0.03mW) as the input signal of the amplifier.

**Keywords:** InGaP/GaAs HBT - Wideband Amplifier - Broadband Amplifier - RF Power Amplifier

1- مقدمة:

تصميم مضخم (مكبر) قيادة راديوي عريض المجال يعمل عند المجال الترددي -100MHz)

InGaP/GaAs HBT MMIC بالاعتماد على ترانزستورات

يزداد الطلب على مضخمات الاستطاعة عريضة المجال لتكبير الإشارات الراديوية ضمن المجالات (VHF/UHF/L) والتي تستخدم من قبل أجهزة الإرسال التلفزيوني، أنظمة (GSM900,GSM1800) وكذلك للاستخدام في تطبيقات الاتصالات العسكرية وحتى أنظمة الملاحة العالمية عبر الأقمار الصناعية مثل نظام ( GPS Global Navigation System) الأمريكي، نظام (GLONASS) الروسي، (Galileo) الأوربي ونظام (Beidou) الصيني تعمل هذه الأنظمة جميعها عند المجال الترددي-1100MHz) (1610MHz) وهي تطلب مضخمات استطاعة عريضة المجال الترددي. بالنسبة لأجهزة الإرسال عريضة المجال تلعب مضخمات الاستطاعة المستخدمة فيها دوراً مهماً في تحديد أداء هذه الأنظمة وذلك من خلال أداء وصفات هذه المضخمات، مثل عرض المجال الترددي الكبير، ربحها المستوي على طول المجال الترددي، استطاعة الخرج المطلوبة، الخطية الجيدة، والكفاءة العالية، إلخ.

اكتسبت تكنولوجيا (Monolithic Microwave Integrated Circuit MMIC) قبولاً واسعاً بين كبار موردي معدات الاتصالات اللاسلكية عريضة المجال، باعتبارها التكنولوجيا المفضلة للتطبيقات التي تتطلب تردداً عالياً وأداءً وخطية عاليين. اعتمدت هذه التكنولوجيا في مضخمات الاستطاعة للهواتف الخلوية وأجهزة الكمبيوتر الشخصية (خدمات الاتصالات الشخصية)، ومضخمات الاستطاعة للمحطات الأساسية الخليوية، بالإضافة إلى البث التلفزيوني ومضخمات الخط المستخدمة في شبكات الألياف الضوئية [1,2]. توفر الأجهزة التي تعتمد تكنولوجيا (Heterojunction Bipolar Transistor (HBT)) وزرنيخ الغاليوم (Gallium Arsenide GaAs) عرض مجال ترددي واسع، وكسب تيار عالي، مما يسمح لهذه الأجهزة بتغطية مجموعة واسعة من التطبيقات. تعد (HBT) التي تستخدم (AlGaAs) كطبقة انبعاث التقنية الأكثر نضوجاً [3,4,5]. اكتسب نوع الترانزستور (InGaP/GaAs) الكثير من الاهتمام مؤخراً نظراً لمزاياها بالمقارنة

بترانزستورات (AlGaAs/GaAs). على سبيل المثال، تحتوي تكنولوجيا (InGaP/GaAs) على إزاحة فجوة بعرض مجال أكبر من المجال الموجود في تكنولوجيا (AlGaAs/GaAs) [6]، ولمادة (InGaP) قدرة تحفيز أكبر من التي موجودة في (GaAs) [7,8]، ويظهر سرعة إعادة تركيب سطح منخفضة. تسمح فجوة المجال العريضة لـ (InGaP) المستخدمة كطبقة باعثة بمستوى عالٍ من الانبعاث، مما ينتج عنه قيم مقاومة أساسية منخفضة وتردد تذبذب مرتفع. غالباً ما تتطلب أنظمة الاتصالات والدفاع الحديثة مضخمات قيادة ذات كفاءة عالية وريح عالي وتتمتع بعرض مجال ترددي عريض وذلك لتقوم بقيادة مضخمات استطاعة عالية [9]. في هذا العمل نستعرض تصميم دائرة مضخم استطاعة بالاعتماد على تقنية (MMIC) الخاصة بـ (HBT)، تم استخدام النتائج التجريبية لترانزستورات (InGaP/GaAs HBT) والموجودة في نشراتها الفنية وذلك لتصميم دائرة مضخم إشارة راديوية عريض المجال (VHF/UHF/L) وللتطبيقات عالية الحساسية التي تعمل من 100MHz إلى 1800MHz.

في وقتنا الحاضر ترانزستورات الاستطاعة المستخدمة للمجالات الترددية (VHF,UHF, L-Band) بشكل أساسي هي من شركات، مثل (Hittie, Triquint, Infenion, Fujitsu) أما في تصميمنا هذا تم اختيار ترانزستور طراز (ERA-5+) من شركة (Mini-Circuit) كمضخم أولي، والترانزستور (SXA-289) من شركة (Sirenza) كمضخم ثانوي. (Microdevices)

## 2- الدراسات المرجعية:

سوف نستعرض بشكل مُفْتَضَّب بعض الدراسات المرجعية التي تهدف لتصميم مضخمات استطاعة تعمل ضمن أو بالقرب من المجال الترددي لهذا البحث وذلك بهدف مقارنة أدائها مع أداء المضخم المقترح.

تصميم مضخم (مكبر) قيادة راديوي عريض المجال يعمل عند المجال الترددي -100MHz)  
InGap/GaAS HBT MMIC 1800MHz) بالاعتماد على ترانزستورات

1. نشر كلاً من Xiangning Fan و Zhou Yu وزملائهم في مجلة IEEE عام 2015 مقالاً علمياً بعنوان "Design of a 0.7~1.5 GHz Wideband Power Amplifier in 0.18- $\mu$ m CMOS" حيث يعمل المضخم المقترح ضمن المجال الترددي (700MHz-1500MHz) يقدم استطاعة خرج (16.6~21.4dBm) وبريح استطاعة [15].13dB
2. نشر كلاً من A. Salleh و K. S. Yong وزملائهم في مجلة ScienceDirect عام 2013 مقالاً علمياً بعنوان: "Design of Low Power Wideband Low Noise Amplifier for "Software Defined Radio at 100 MHz to 1GHz" يعرض تصميم مضخم يعمل ضمن المجال الترددي (100MHz-1GHz) بريح استطاعة حوالي [16].15dB
3. نشر كلاً من Azwar Mudzakkir Ridwan و Eki Ahmad Zaki Hamidi وزملائهم في مجلة Photonics & Electromagnetics Research Symposium عام 2019 مقالاً علمياً بعنوان: "High Gain 2-stage Class-E RF Power Amplifier for Wireless "Transfer Power" يستعرض تصميم مضخم استطاعة بالاعتماد على ترانزستورات MOSFET طراز IRF510 و IRF620 يعمل على المجال الترددي (1MHz-30MHz) بريح استطاعة [17].38dB
4. نشر كلاً من Engin Çağdaş و Oğuzhan Kızılbey في مجلة IEEE عام 2018 مقالاً علمياً بعنوان: "High Efficiency Wideband Power Amplifier with Class-J Configuration"

يستعرض تصميم مضخم استطاعة بالاعتماد على ترانزستورات GaN HEMT طراز CGH400010F يعمل ضمن المجال الترددي (2500-3500MHz) بريح 10dB وباستطاعة إشارة خرج 39.84dBm عند تطبيق إشارة دخل باستطاعة 30dBm. [18]

5. نشر كلاً من Philip Zurek و Tommaso Cappello في مجلة IEEE عام

2019 مقالاً علمياً بعنوان:

“A Concurrent 2.2/3.9-GHz Dual-Band GaN Power Amplifier”

يستعرض تصميم مضخم استطاعة بالاعتماد على ترانزستورات GaN HEMT طراز Qorvo (T2G6001528-SG) يعمل عند الترددين (2.2/3.9GHz) بريح (13.9 dB و 9.37 dB). [19]

### 3- مواد وطرائق البحث:

#### 3-1- مواد البحث:

تم في هذا البحث تصميم وتصنيع بطاقة مضخم استطاعة يعمل عند المجال الترددي 100MHz إلى 1800MHz حيث يعتمد على مرحلتي تكبير كل مرحلة تستخدم مضخم خاص فيها حيث استخدام في المرحلة الأولى (Monolithic Amplifier) طراز (ERA-5+) وهو يعمل عند المجال الترددي DC-4GHz يقدم ربح استطاعة 18.5dB وله رقم ضجيج 3.5dB أما بالنسبة لمرحلة التكبير الثانية تم الاعتماد على (Medium Power GaAs HBT Amplifier) طراز (SXA-289) يعمل عند المجال الترددي (-5- 2000MHz) يقدم ربح حوالي 15dB وله رقم ضجيج حوالي 5.5dB يمكن تلخيص مواد وتجهيزات البحث كالتالي:

❖ ترانزستور استطاعة طراز (Monolithic Amplifier ERA-5+).

تصميم مضخم (مكبر) قيادة راديوي عريض المجال يعمل عند المجال الترددي - 100MHz)  
InGap/GaAS HBT MMIC 1800MHz) بالاعتماد على ترانزستورات

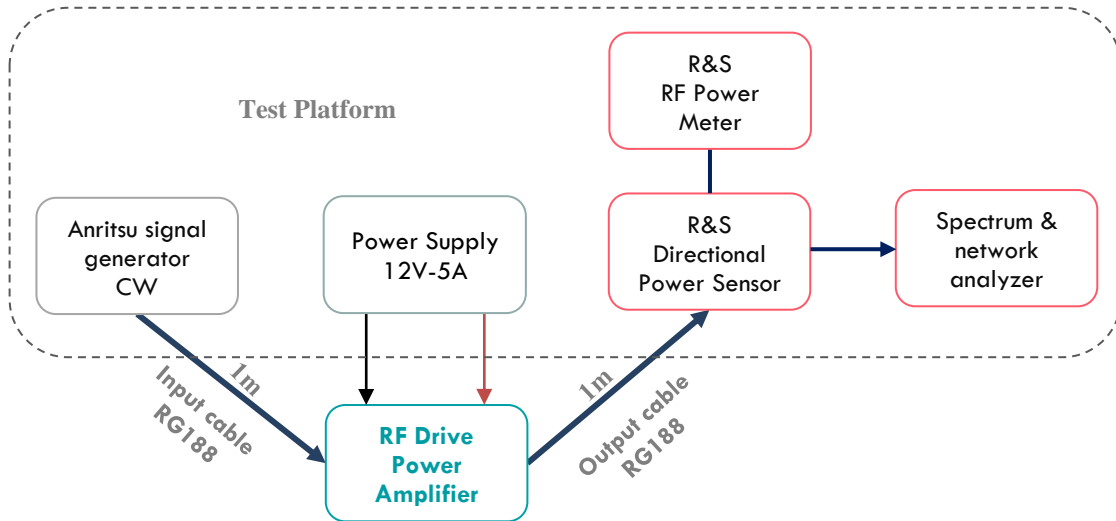
❖ ترانزستور استطاعة طراز ( Medium Power GaAs HBT Amplifier ) (SXA-289).

❖ ركيزة نوع (FR4) بسماكة عازل 1.6mm وثابت عازلية  $\Sigma r = 4.5$  وسماكة طبقة نحاس  $35\mu\text{m}$ .

❖ منصة اختبار مكونة من المكونات الأساسية التالية:

- مولد إشارة طراز (Anritsu MG3692C) يعمل حتى التردد 20GHz.
- محلل طيف ترددي طراز (ROHDE & SCHWARZ FSH8) يعمل عند المجال الترددي 100KHz-8GHz.
- مقياس مع حساس استطاعة اتجاهاً.
- كابلات توصيل طراز (RG188) تعمل حتى التردد 20GHz.
- وحدة تغذية 24VDC-5A.

الشكل (1) يظهر المخطط الصندوقي لمنصة الاختبار





### الشكل (1) مخطط صندوقي لمنصة الاختبار

#### 3-2- طرائق ومراحل إجراء البحث

مراحل إجراء البحث:

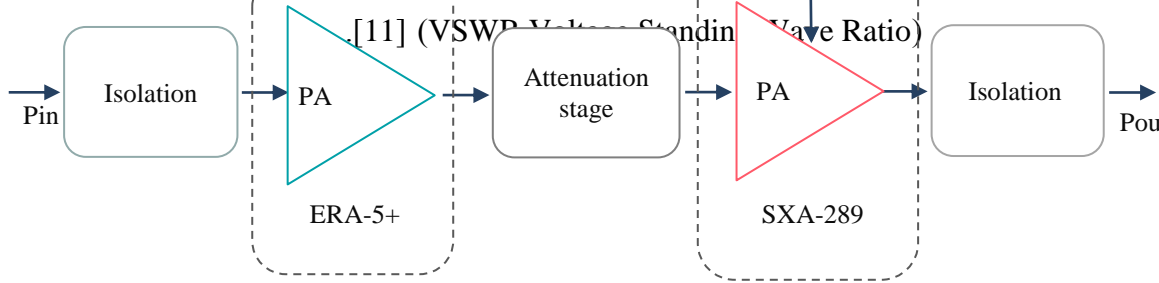
3-2-1- دراسة النشرات الفنية (Datasheet) المعتمدة والموصّفة من قبل الشركات المصنّعة للترانزستورين (ERA-5+,SXA-289) المراد استخدامها في المضمّم المقترح:

تم دراسة النشرات الفنية لكلا الترانزستورين بالتفصيل، حيث قمنا بدراسة منحنيات عمل وأداء كل ترانزستور، وتم الاستفادة منها بمعرفة مجال عمل الترانزستورات ونسبة ربحها وجهد الانحياز اللازم لعمها، إضافةً لمعرفة الضجيج اللذان يضيفانه، وتم الاستفادة من مقترح الشركات المصنّعة لتصميم دارة تشغيل هذه الترانزستورات مع المحافظة على توافق الممانعات عند دخل وخرج كل ترانزستور.

#### 3-2-2- وضع المخطط الصندوقي للمضمّم المقترح:

تصميم مضخم (مكبر) قيادة راديوي عريض المجال يعمل عند المجال الترددي -100MHz)  
 InGap/GaAS HBT MMIC 1800MHz) بالاعتماد على ترانزستورات

بناءً على الدراسة السابقة للنشرات الفنية، تم اقتراح مخطط صندوقي للمضخم المراد تصميمه ليعمل عند المجال الترددي 100MHz إلى 1800MHz، يوضح الشكل (2) المخطط الصندوقي للمضخم حيث يظهر سلسلة مراحل المضخم المصمم والذي يتكون من عزل وتوافق ممانعات ومرحلة تخميد ومرحلتي تكبير. مرحلة التخميد من أجل المساعدة في زيادة توافق الممانعات وتقليل نسبة الأمواج المستقرة

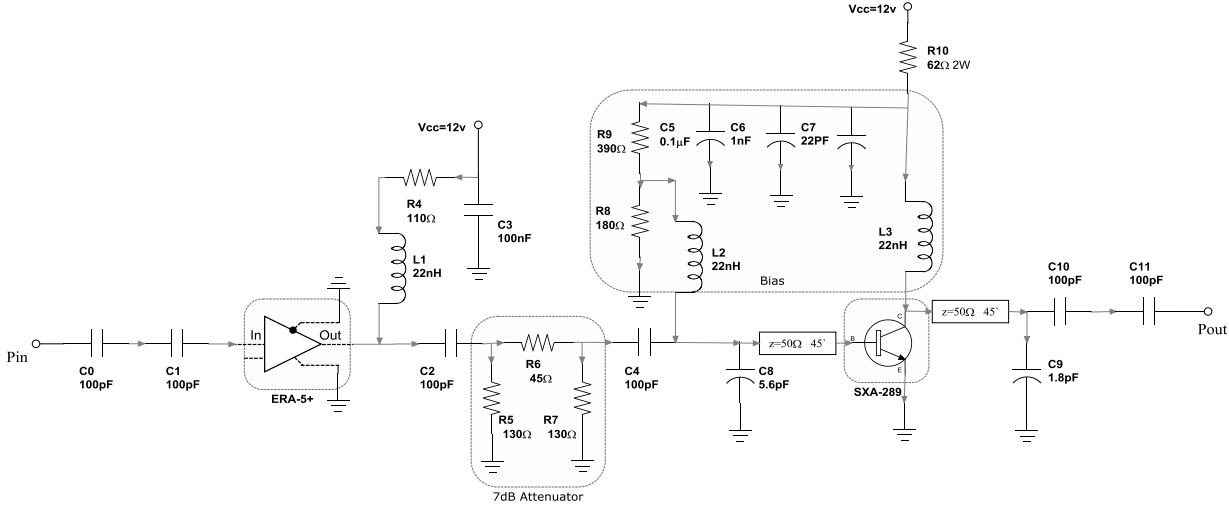


الشكل (2) مخطط صندوقي لبنية المضخم

### 3-2-3- رسم مخطط الدارة للمضخم المقترح:

يعد تصميم دارة انحياز المضخم خطوة مهمة في تصميم مضخم الاستطاعة، ويتمثل دورها في تأمين التيار المستمر (DC) اللازم للمضخم مع الحماية من السحب الزائد للتيار. وهي أيضاً يجب أن تحافظ على درجة عالية من العزل بين الإشارة الميكروية واستطاعة التيار المستمر، وتقوم بتقليل فقد الإدخال (Insertion loss) إلى أقصى حد ممكن. إضافة المكثفات (22pF, 1nF, 0.1µF) والملف (22nH) إلى دارة الانحياز لتقليل التشويه ولتنعيم تيار الانحياز وذلك لغاية الحفاظ على استقرار عمل

المضخم. لم نستخدم مرحلة توافق ممانعات بين ترانزستوري التكبير لانهما اختيرا على أساس أن لهما توافق ممانعات واحد عند  $(50\Omega)$ ، الشكل رقم (3) يظهر (schematic circuit) المخطط الكهربائي لبنية المضخم.



#### CIRCUIT DIAGRAM

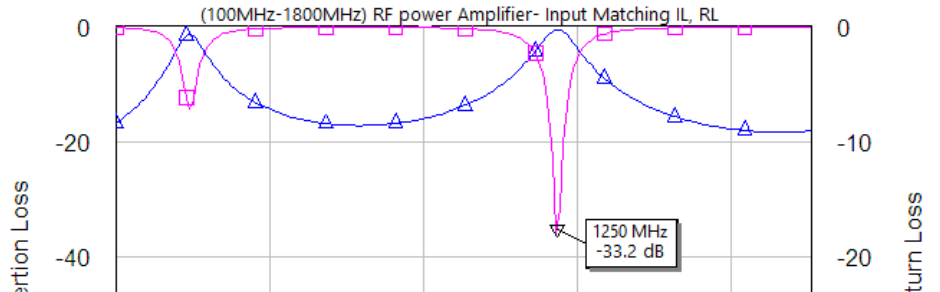
100MHz to 1800MHz Drive Amplifier

Designed BY	CHECKED	DATE	SCALE	SHEET NO.
	ok	7/4/2020		1

الشكل (3) مخطط كهربائي لبنية المضخم

#### 3-2-4- محاكاة تصميم المضخم المقترح:

بالاعتماد على برنامج (MICROWAVE OFFICE) قمنا بإجراء محاكاة للمضخم المقترح حيث تم دراسة توافق الممانعات بدراسة ضياع الإدخال (Insertion Loss)



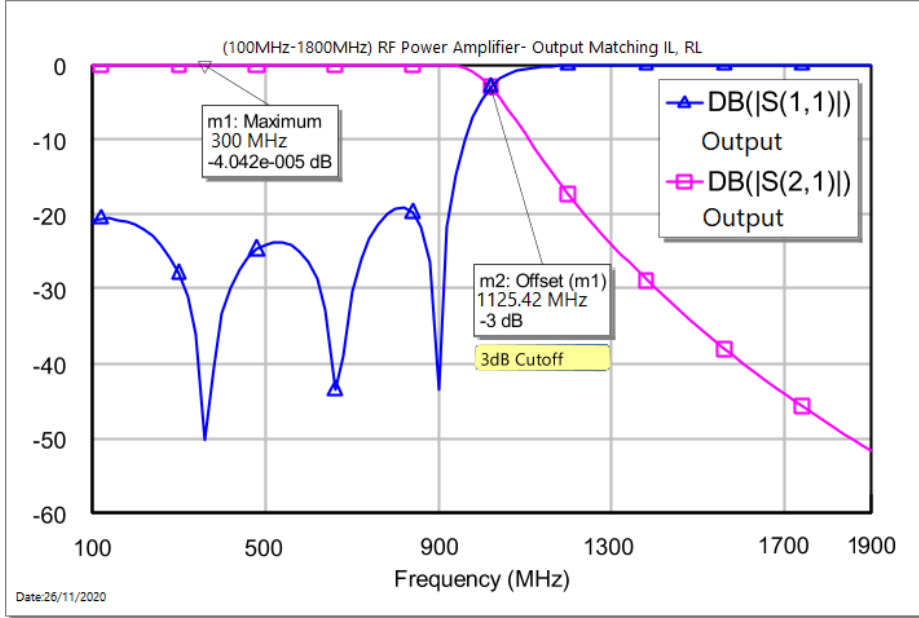
تصميم مضخم (مكبر) قيادة راديوي عريض المجال يعمل عند المجال الترددي -100MHz)

InGap/GaAS HBT MMIC بالاعتماد على ترانزستورات

وضياع الإرجاع (Return loss) لكل من دخل وخرج المضخم، يظهر الشكل (4) مخطط الاستجابة الترددية لدخل المضخم.

#### الشكل (4) مخطط الاستجابة الترددية للدخل

نلاحظ من الشكل (4) الناتج عن المحاكاة أن (S11) والتي تعبر عن (Return loss) والتي تحدد درجة توافق الممانعات أنها وسطياً بين (-5 dB) إلى (-8 dB) على طول المجال الترددي حتى الوصول إلى فجوة عند التردد 1250MHz بلغت (0 dB) مع العلم أن (S11) كلما كان أقل على طول المجال الترددي كان توافق الممانعات أفضل. كما يظهر في الشكل (4) (S21) والذي يعبر عن (Insertion loss) ضياع الادخال أنه قليل على طول المجال الترددي إلا عند التردد 1250MHz حيث بلغ (33.2 dB)، انطلاقاً من هذه النتائج نلاحظ أن دخل المضخم يحقق توافق ممانعات جيد على طول المجال الترددي باستثناء التردد 1250MHz.



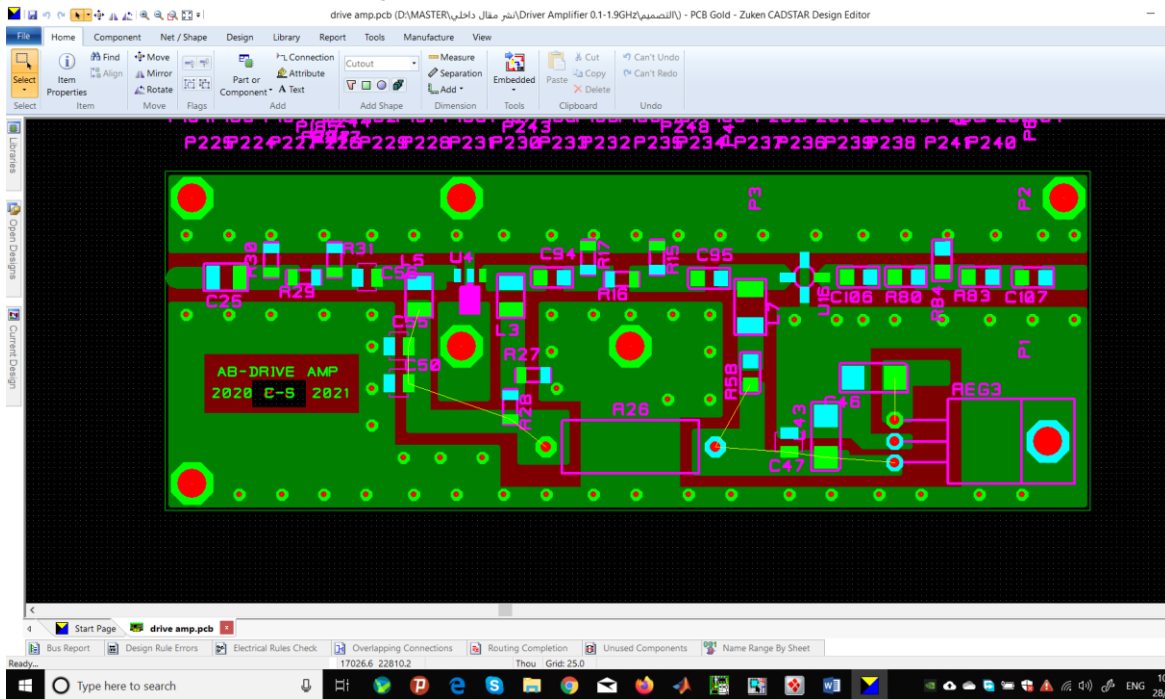
الشكل (5) مخطط الاستجابة الترددية للخروج

بالنسبة لخروج المضخم نلاحظ من الشكل (5) الناتج أن خرج المضخم يحقق فقد إرجاع (Return loss) صغير جداً ضمن المجال الترددي (100-900MHz)، لكن خارج هذا المجال يبدأ هذا الفقد (Loss) بالازدياد، أما بالنسبة لفقد الإدخال Insertion loss له قيم شبه صفرية على طول المجال الترددي (100-1000MHz) ويبدأ هذا الفقد بالازدياد خارج هذا المجال. نستنتج مما سبق أننا خرج المضخم يحقق توافق ممانعات جيد عند التردد 100MHz حتى يصل إلى تردد القطع (1125.42MHz).

تصميم مضخم (مكبر) قيادة راديوي عريض المجال يعمل عند المجال الترددي (100MHz - 1800MHz) بالاعتماد على ترانزستورات InGap/GaAS HBT MMIC

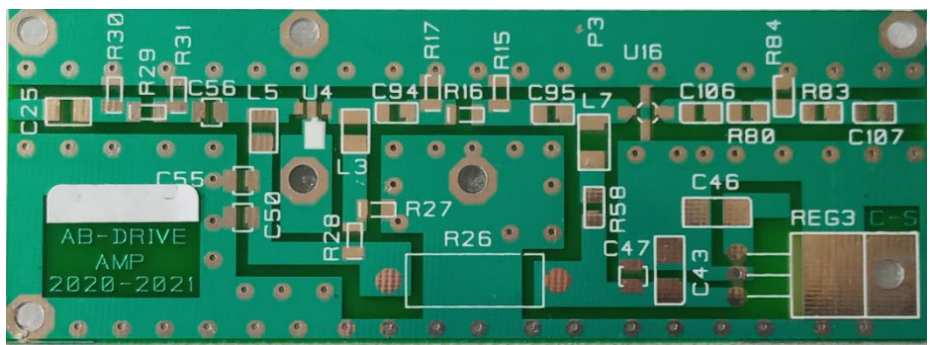
### 3-2-5- رسم الدارة المطبوعة (PCB) (Printed Circuit Board):

تم رسم الدارة المطبوعة بالاعتماد على برنامج (CADSTAR v16) من شركة (Zuken)، كما هو معلوم أن مواصفات الركيزة (Substrate) التي سوف تطبع عليها الدارة مهمة في تصميم الدارات الميكروية، لأنها تحدد أبعاد خطوط النقل للحفاظ على خط نقل بممانعة  $50\Omega$  (لحفاظ على توافق الممانعات)، لذا قمنا قبل التصميم بدراسة الركيزة المتوفرة حيث وجدت إمكانية الطباعة على ركيزة نوع (FR4) لها ثابت عازلية  $\epsilon_r =$



الشكل (6) مخطط الدارة المطبوعة PCB

كما يظهر الشكل (7) البطاقة الناتجة بأبعاد (11 X 4 cm).



### الشكل (7) بطاقة PCB المصنعة

#### 3-2-6- تجميع ولحام عناصر الدارة.

تم اختيار العناصر الغير فعالة للدارة نوع (SMD) بقياس 0805 وذلك لأنها لا تأخذ حيز كبير من الدارة، كما اخترنا نوع المأخذ لدخل وخرج المضخم نوع ( SMA Female) لها ممانعة (50Ω)، الشكل (8) يظهر دارة المضخم بعد تجميع العناصر

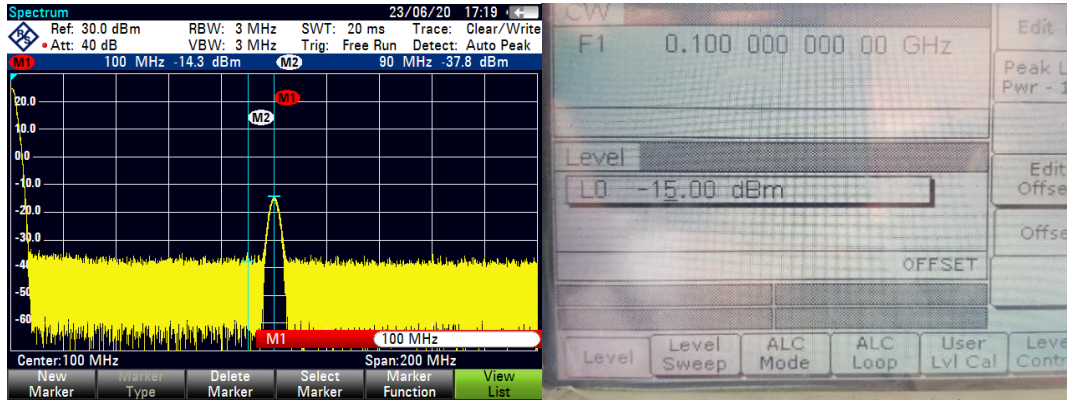


### الشكل (8) بطاقة PCB المصنعة بعد عملية تجميع العناصر

#### 3-2-7- تهيئة منصة الاختبار وإجراء القياسات المناسبة:

تصميم مضخم (مكبر) قيادة راديوي عريض المجال يعمل عند المجال الترددي - 100MHz)  
InGap/GaAS HBT MMIC بالاعتماد على ترانزستورات

تم اجراء القياسات باستخدام منصة الاختبار الموضحة في الشكل (1)، تم استخدام مولد الإشارة لتوليد إشارة (CW) حيث يمكن التحكم في ترددها ومستوى استطاعتها، الشكل



( ب )

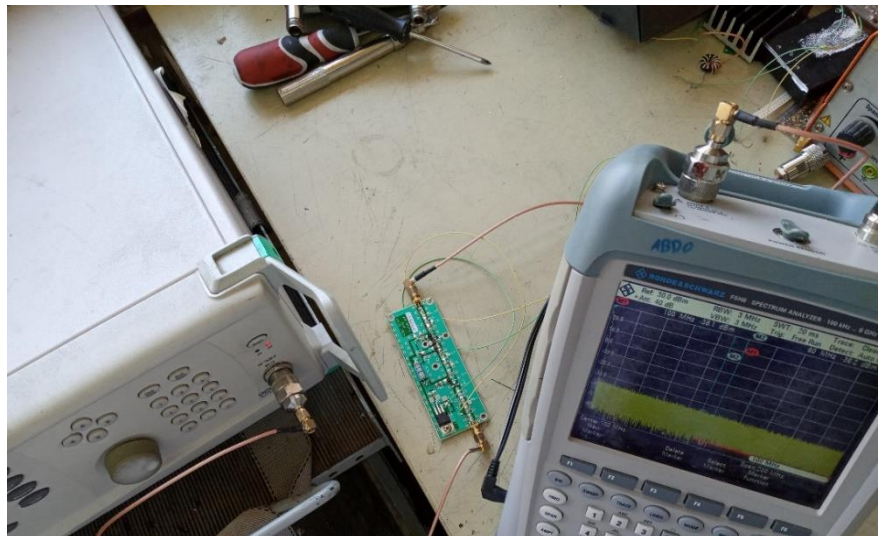
( أ )

الشكل(9): ( أ ) بارامترات الإشارة المولدة من مولد الإشارة، ( ب ) طيف إشارة دخل المضخم

تم تهيئة منصة الاختبار قبل اجراء الاختبارات والقياسات حيث تم قياس تخميد كابلات دخل وخرج المضخم ووجد التالي:

- تخميد كابل إشارة الدخل عند التردد 100MHz 0.4dB
- تخميد كابل إشارة الخرج عند التردد 100MHz 0.6dB

كما تم وصل خرج المضخم إلى مدخل البوابة الأولى من جهاز محلل الطيف والشبكة طراز (ROHDE & SCHWARZ FSH8) كما هو ظاهر في الشكل (10).





الشكل (10): مولد الإشارة مع المضخم الموصول بمحمل الطيف

يعطي المضخم الناتج استطاعة خرج حوالي 23dBm وذلك عندما يطبق على دخله إشارة موجة مستمرة (CW) باستطاعة (-15dBm).

#### 4- النتائج ومناقشتها

تم تطبيق على دخل المضخم إشارة ذات تردد متغيرة ضمن المجال الترددي 100MHz إلى 1900MHz وباستطاعة (-15dB) (0.03mW)، أظهرت النتائج أن استطاعة خرج المضخم بلغت +22.1dBm وذلك عند التردد 100MHz تم قياس خرج المضخم على طول المجال الترددي المطلوب، كما يمكن كتابة علاقة ربح المضخم وفقا للتالي:

$$\text{Gain}_{PA}[\text{dB}] = \text{Pout}[\text{dBm}] - \text{Pin}[\text{dBm}] + \text{INCAB}_{\text{Loss}}[\text{dB}] + \text{OutCAB}_{\text{Loss}}[\text{dB}] \dots (1)$$

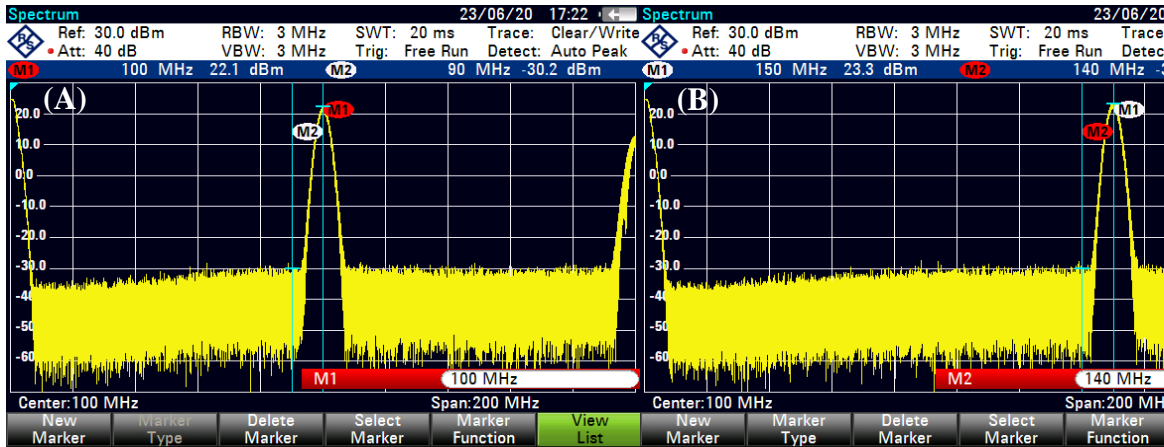
حيث Pin: استطاعة إشارة الدخل، Pout: استطاعة إشارة الخرج،  $\text{InCAB}_{\text{Loss}}$ :

تخميد كبل دخل المضخم،

$\text{OutCAB}_{\text{Loss}}$ : تخميد كبل خرج المضخم.

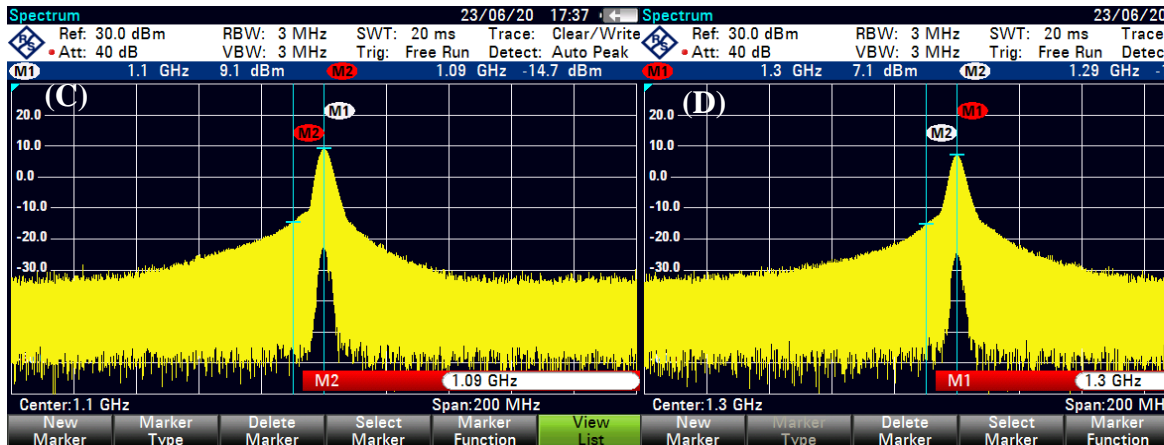
تصميم مضخم (مكبر) قيادة راديوي عريض المجال يعمل عند المجال الترددي -100MHz)  
InGap/GaAS HBT MMIC بالاعتماد على ترانزستورات

يظهر الشكل (11): (A) خرج المضخم بحال طبق على دخله إشارة ترددها 100MHz باستطاعة (-15dBm) نجد أن استطاعة إشارة الخرج حوالي 22.1dBm أي حقق المضخم ربحاً عند هذا التردد قرابة 37dB، أما (B) فهي خرج المضخم بحال طبق على دخله إشارة ترددها 150MHz ولها نفس استطاعة وصفات إشارة الدخل السابقة نجد استطاعة الخرج حوالي 23.3dBm أي بربح 38dB.



الشكل (11): الطيف التردد لإشارة خرج المضخم عند الترددات (100MHz/140MHz)

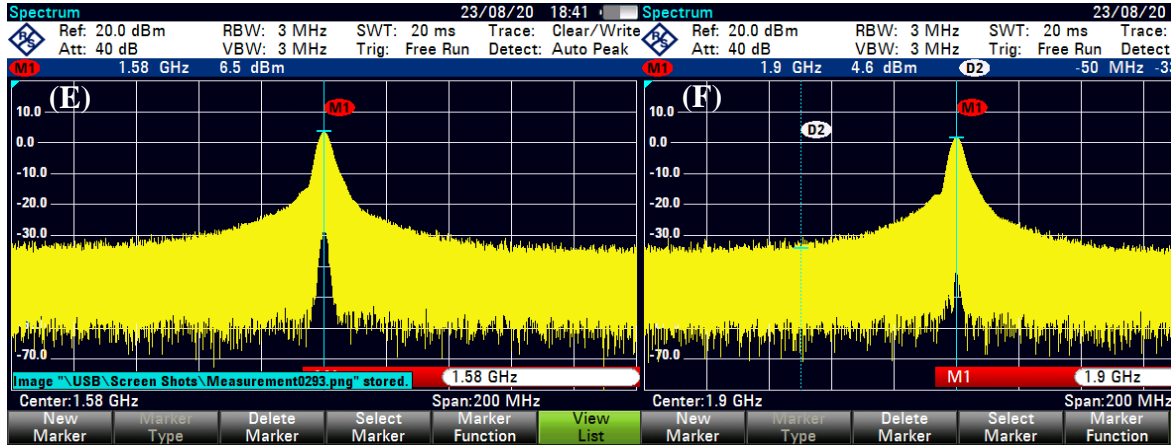
يظهر الشكل (12): (C) خرج المضخم بحال طبق على دخله إشارة ترددها 1100MHz باستطاعة بنفس صفات إشارات الدخل السابقة نجد أن استطاعة إشارة الخرج حوالي 9.1dBm بربح قدره 24dB، أما (D) فهي خرج المضخم بحال طبق على دخله إشارة ترددها 1300MHz نجد استطاعة الخرج حوالي 7.1dBm بربح 22dB.



الشكل (12): الطيف التردد لإشارة خرج المضخم عند الترددات (1090MHz/1300MHz)

نلاحظ من هذه النتائج أن ربح المضخم بدأ بالانخفاض بشكل ملحوظ بعد التردد 1100MHz هذا الانخفاض في الربح نتيجة زيادة فقد الإدخال (Insertion loss) وقد الإرجاع (Return loss) لخرج المضخم هذه النتائج قريبة نسبياً من نتائج المحاكاة السابقة التي حددت تردد قطع عند التردد 1125MHz والذي عنده ينخفض توافق الممانعات ويزداد الفقد.

يظهر الشكل (13): (E) خرج المضخم بحال طبق على دخله إشارة ترددها 1580MHz نجد أن استطاعة إشارة الخرج حوالي 6.5dBm بربح قدره 21.5dB، و (F) الخرج عند التردد 1900MHz نجد استطاعة الخرج 4.6dBm بربح 19.6dB.

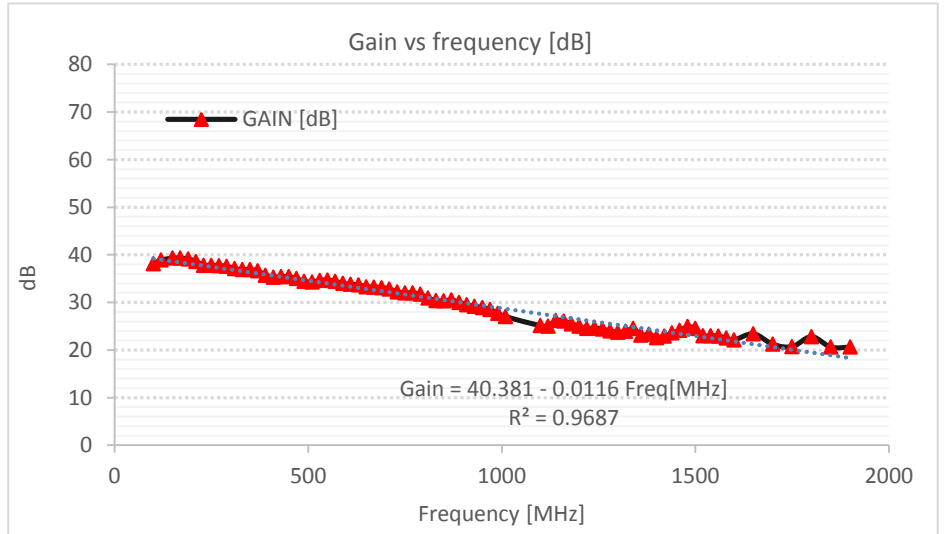


الشكل (13): الطيف التردد لإشارة خرج المضخم عند الترددات (1580MHz/1900MHz)

تصميم مضخم (مكبر) قيادة راديوي عريض المجال يعمل عند المجال الترددي -100MHz)

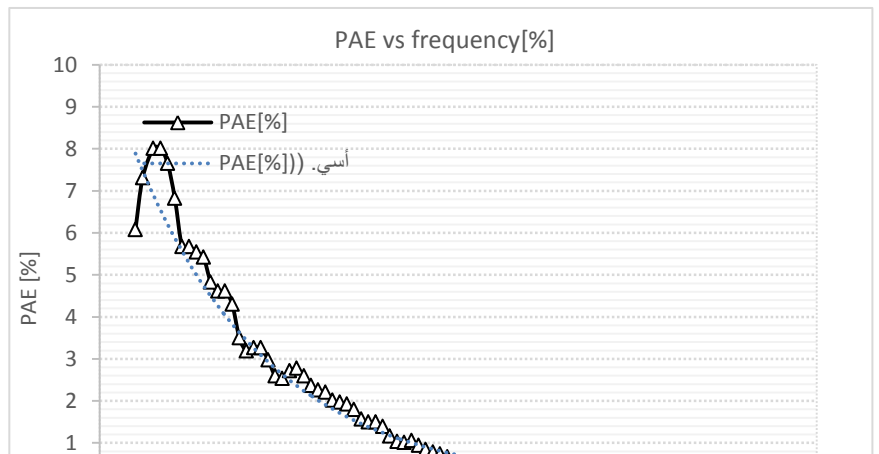
InGap/GaAS HBT MMIC 1800MHz) بالاعتماد على ترانزستورات

وجد أن أعظم ربح يمكن أن يقدمها المضخم هو 39.3dB وذلك عند المجال الترددي 150MHz-170MHz وهو ربح عالي، خارج هذا المجال بدأ ربح المضخم بتناقص تدريجياً بشكل شبه خطي مع زيادة التردد حتى وصل إلى 20dB عند التردد 1800MHz، على الرغم من انخفاض الربح إلى أنه مازال يعتبر ربحاً عالياً الشكل (14)



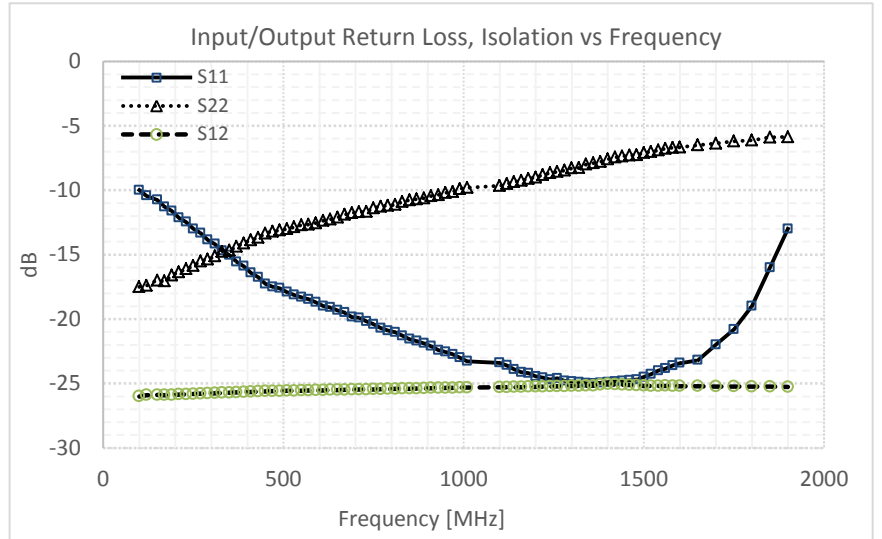
الشكل (14): ربح المضخم كتابع للتردد

قدم المضخم أفضل أداء له عند المجال الترددي 100-300MHz من حيث ربح المضخم وكفاءة الاستطاعة المضافة ((Power Added Efficiency (PAE)) حيث بلغت حوالي 8% ثم بدأت بالتناقص تدريجياً مع زيادة التردد، الشكل (15) يظهر تغيير (PAE) مع تغيير التردد.



الشكل (15): كفاءة الاستطاعة المضافة PAE كتابع للتردد

الشكل (16) يظهر معاملات التبعثر (S-parameters) الخاصة بالمضخم حيث (S11) تعبّر عن ضياع الإرجاع لدخل المضخم (input return loss) الذي يزداد مع زيادة التردد إلى أن يصل إلى التردد 1340MHz ليعاود بعدها الارتفاع، أما S22 تعبّر عن ضياع الإرجاع لخرج المضخم (output return loss) الذي يزداد تدريجياً مع زيادة التردد



الشكل (16): معاملات التبعثر (S-parameters) الخاصة بالمضخم

تصميم مضخم (مكبر) قيادة راديوي عريض المجال يعمل عند المجال الترددي (100MHz - 1800MHz) بالاعتماد على ترانزستورات InGap/GaAS HBT MMIC

1-4 مقارنة أداء كل مضخم على حدى مع المضخم الناتج

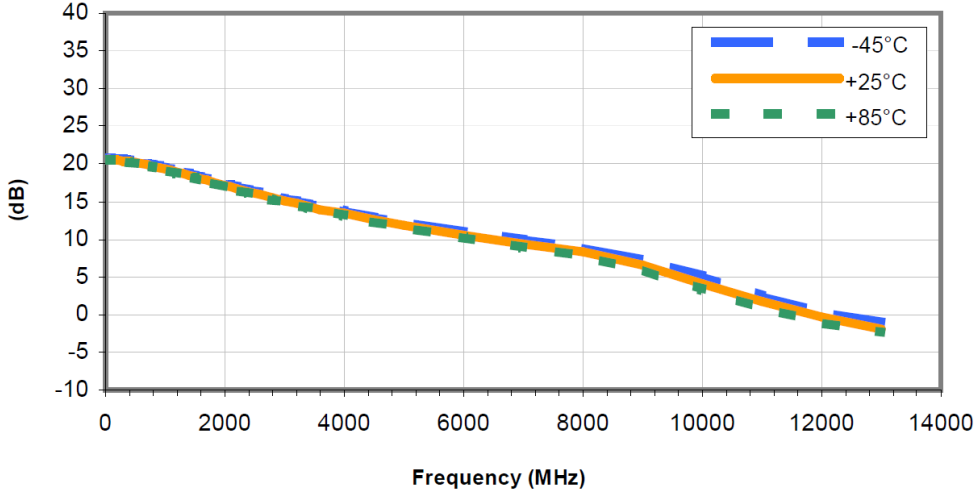
- المضخم (ERA-5+) : هو ترانزستور استطاعة يعمل ضمن المجال الترددي DC-4GHz وهو مضخم يتحسس للإشارات الضعيفة بحدود -50dBm إلى 10dBm ويعمل على تكبيرها بربح استطاعة (14-20dB)، الجدول (1) يظهر مواصفات هذا المضخم وفقاً للشركة المصنّعة.

الجدول (1): مواصفات المضخم ERA-5+ [20]

Parameter		Min.	Typ.	Max.	Units	Cpk
Frequency Range*		DC		4	GHz	
Gain	f=0.1GHz f=1 GHz f=2 GHz f=3 GHz f=4 GHz	19 — 16 16.7 12	20.2 19.5 18.5 16.7 14.3	22 19 16	dB	≥1.5
Magnitude of Gain Variation versus Temperature (values are negative)	f=0.1GHz f=1 GHz f=2 GHz f=3 GHz f=4 GHz		.0025 .0034 .0043 .0052 .0065	.005 .007 .0085 .0105 .013	dB/°C	
Input Return Loss	f=0.1 GHz f=2 GHz f=4 GHz		21 23 21		dB	
Output Return Loss	f=0.1 GHz f=2 GHz f=4 GHz		30 26 17		dB	
Reverse Isolation	f=2 GHz	19	22		dB	

كما يظهر الشكل (17) ربح المضخم كتابع للتردد، نلاحظ أن أعظم ربح للمضخم يبلغ 20 dB ويتناقص هذا الربح تدريجياً بزيادة التردد.

INPUT POWER = -20dBm, CURRENT = 65mA



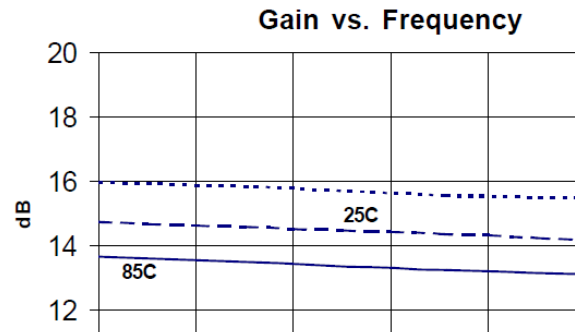
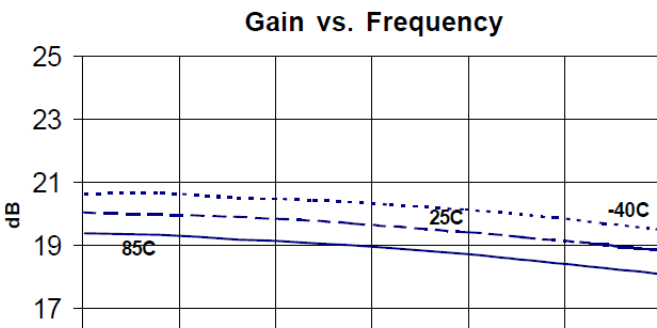
الشكل (17): يظهر منحنى ربح المضخم ERA كتابع مع التردد [20]

ERA-5+ هو مضخم جيد لتكبير الإشارات ذات الاستطاعات المنخفضة الأقل من - 10dBm لكن سيئته هو أن أعظم إشارة على خرجه لن تتجاوز  $(+10\text{dBm} \pm 2\text{dB})$  وذلك بحال قدم هذا المضخم ربح أعظمي مقداره 22dB، وضع عدة مراحل تكبير من مضخات ERA لن يحسن مستوى الإشارة بشكل حقيقي بل سوف يكون له أثراً سلبياً بزيادة مستوى الضجيج الذي يتحسس له المضخم بشكل أكبر من الإشارة المفيدة وتدخل المضخم في حالة التشبع، لذا ظهرت الحاجة في هذا البحث لمرحلة تكبير ثانوية تستخدم مضخم يمكنه رفع مستوى الاستطاعة إلى أكبر من +10dBm.

▪ المضخم SXA-289: هو مضخم استطاعة متوسط يعمل كمضخم قيادة ضمن

المجال الترددي 50MHz-1950MHz ويعطي ربح استطاعة (20-13dB)،

الشكل (18) يظهر ربح المضخم ضمن المجال الترددي (800-1990MHz).



الشكل (18): يظهر منحنى ربح المضخم SXA كتاب مع التردد [21]

يتحسس SXA-289 للإشارات ذات مستوى الاستطاعة (-10dB) إلى (+20dB) بربح أعظمي +20dB، ويعطي استطاعة خرج أعظمية +23dB، زيادة مستوى استطاعة الدخل لن تؤثر على استطاعة خرج المضخم لأن المضخم يدخل مرحلة التشبع. يمكن استخدام مرحلتي تضخيم SXA، لكن لـ SXA رقم ضجيج 5.5dB وحسب علاقة Friis

$$F_{total} = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1} + \frac{F_3 - 1}{G_1 G_2} + \dots$$

حيث  $F_1, F_2, F_3$  عامل الضجيج لكل مرحلة،  $F_{total}$  عامل الضجيج الكلي و  $G_1, G_2, G_3$  عامل ربح الاستطاعة لكل مرحلة.

في حال استخدام مرحلتي SXA

لـ SXA ،  $G_1 = 15dB$  ،  $F_1 = F_2 = 5.5dB$  فيكون رقم الضجيج لمرحلتي تكبير

SXA

$$F_{total} = 5.8dB$$



أما للمضخم المقترح ERA & SXA  $F_2 = G_1 = 15dB$   $F_1 = 3.5dB$   $5.5dB$

$$F_{total} = 3.8dB$$

يعرض الجدول (2) أداء المضخم المقترح بالمقارنة مع المضخمين السابقين:

الجدول (2): مقارنة أداء المضخم المقترح مع المضخمين الجزئيين

المضخم المقترح +SXA	ERA-5+	SXA-289	
3.8dB	3.5dB	5.5dB	رقم الضجيج
يقدم استطاعة خرج تصد (24.3dBm)	استطاعة الخرج الأعظمية قرابة (+10dBm± 2dB)	يقدم استطاعة خرج أكبر من (+23dB± 2dB)	استطاعة الخرج
من (+39.3dB) إلى B)	من (+20.2dB) إلى (+14.3dB)	من (+20dB) إلى (+15dB)	الربح Gain

## 5- الاستنتاجات والتوصيات

تم تصميم وتصنيع مضخم قيادة عريض المجال (100-1800MHz) بالاعتماد على ترانزستورات (InGaP/GaAs HBT MMIC)، قدم استطاعة خرج (23dBm) إلى (5.6dBm) بربح (39.3dB إلى 20dB) وذلك عند تكبيره لإشارة موجة مستمرة (CW) مطبقة على دخله باستطاعة (-15dBm). قدم المضخم كفاءة استطاعة مضافة (PAE) حوالي 8% عند مجال الترددات المنخفضة وذلك عند تطبيق جهد انحياز مصرف 12V. سيتم العمل على تحسين توافق الممانعات لخرج المضخم وتحسين (PAE) للمضخم باستخدام مكونات منخفضة الفقد وتحسين اللحام وتقليل طول أسلاك التوصيل.

تصميم مضخم (مكبر) قيادة راديوي عريض المجال يعمل عند المجال الترددي - 100MHz)  
(1800MHz بالاعتماد على ترانزستورات InGap/GaAS HBT MMIC

---

## 6- المراجع (References)

- [1] BROWNE.J, 2000 - **InGaP/GaAs provides high linearity HBTs Microwave & RF.**(2), 121P.
- [2] FAZAL.A, July 1995 - Introduction to special Issue on Emerging comercial and Consumer Circuits Systems, and their Applications. **IEEE transactions on Microwave Theory and Techniqes**, Vol. 43, N.7.
- [3] SITCH.J, Oct 1997 - HBTs in Telecommunications. **Solid-State Electronics**, pp.1397-1405.
- [4] BAYRAKTAROGLU. B, Oct (1997) - HBT power devices and circuits. pp. 1657-1665.
- [5] KOBAYASHI.K.W, Jan 1998, An AlGaAs/GaAs PA-LNA transceiver MMIC chip for 1.9 GHz digital cordless telephones. **Microwave Journal**, pp. 94.
- [6] KOBAYASHI.T,NAKAMURA.F, TAIRA.K, Taira and H. Kawai, in Inst. 1989 - Band Lineup for a GainP/GaAs p-n-p Heterojunction Bipolar Transistor. **Conf. Ser**, 106, ch.6,pp. 357-362.
- [7] Hanson.A.W, Baillargeon.J.N, Stockman.S.A, Apostolakis.P.J. and Stillman.G.E, 1991 - presented at the 1991 Electron Material Conf., **Bouder, Co.**
- [8] Lothian.J.R, Kuo.J.M, Ren. and Pearton.S, 1992 - Plasma and Wet Chemical Etching of In<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>P. **Journal of Electronic Materials**, vol. 21, N. 4.
- [9] 3GPP TS 36.104 V15.0.0, “3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Base Station (BS) radio transmission and reception (Release 15),” September (2017). [Online]. Available:

<https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=2412;>

- [10] Mini-Circuit,2015-**Fixed attenuators help minimize impedance mismatches**, [Online]. Available: <https://www.minicircuits.com/app/AN70-001.pdf> ;
- [11] RFcafe, **VSWR Reduction by Matched Attenuator**, [Online]. Available: <http://www.rfcafe.com/references/electrical/vswr-reduction.htm>;
- [12] Teng.J and Wang.B, 2018- **Design of a Driver-stage Power Amplifier for Wireless Transmitter**. *IEEE* , 978-1-5386-9389-6/(2018 IEEE).
- [13] Faiz.M, Earles.S, Hou.B and Zhang.S, 2012- **Design of a Two Watt Power Amplifier in InGaP/GaAs HPT Process for very High Linearity Wireless Application**. *IEEE*, 978-1-61284-1438-2/(2012 IEEE).
- [14] Bansal.K, Chander.S, Gupta.S and Basu.A, 2020- **Design and development of (1.2-2.7) GHz GaN HEMT based broadband power amplifier**. *IEEE* , 978-1-7281-6368-0/(2020 IEEE).
- [15] Fan.X, Yu.Z, Lu.J and Hua.Z, 2015- **Design of a 0.7~1.5 GHz Wideband Power Amplifier in 0.18- $\mu$ m CMOS**. *IEEE* , (2015 IEEE).
- [16] Yong.K, Salleh.A, Abd Aziz.M and Misran.M, 2013- **Design of Low Power Wideband Low Noise Amplifier for Software Defined Radio at 100 MHz to 1GHz**. ScienceDirect , Melaka, Malaysia.
- [17] Ahmad Zaki Hamid.E, Mudzakkir Ridwan.A, 2019- **" High Gain 2-stage Class-E RF Power Amplifier for Wireless**

**Power Transfer "**. PhotonIcs & Electromagnetics Research Symposium , Rome, Italy.

- [18] Çağdaş.E, Kızılbey.O, and Yazgı.M, 2018- **High Efficiency Wideband Power Amplifier with Class-J Configuration.** IEEE , 978-1-7132--0/(2018 IEEE).
- [19] Zurek.P, Cappello.T, and Popovi´c.Z, 2019- **A Concurrent 2.2/3.9-GHz Dual-Band GaN Power Amplifier.** IEEE , 978-1-8386-5947-2/(2019 IEEE).
- [20] Mini-Circuits, 2019- **Monolithic Amplifier ERA-5+.** Brooklyn, NY.
- [21] Sirenza Microdevices, **GaAs HBT Amplifier SXA-289.** Almanor Ave, Sunnyvale.

تصميم مضخم (مكبر) قيادة راديوي عريض المجال يعمل عند المجال الترددي - 100MHz)  
(1800MHz بالاعتماد على ترانزستورات InGap/GaAS HBT MMIC

---