

دراسة تحليلية لدائرة تشويش راديوية علي شبكات الاتصال

علي المدى والنطاق 1800 - 2100 ميغا هرتز

أ. عصام امحمد الرتيمي
قسم تقنية الحاسوب - كلية تقنية المعلومات
جامعة الزاوية

ملخص البحث:

أجهزة تشويش الاتصالات تم تطويرها واستخدامها من قبل الجيش، والهدف من استخدام هذه التقنية منع نقل المعلومات من المرسل إلي المتلقي والعكس، والهواتف النقالة أصبحت من الأساسيات في حياتنا ونستخدم نوعين من الهواتف المحمولة الرئيسية المتوفرة وهي : المدار، لبيانا نستخدم نظام GSM، والاستخدام الواسع للهواتف المحمولة يخلق بعض المشاكل؛ لأن صوت الرنين يصبح مزعجا في الأماكن مثل قاعات المؤتمرات والمحاكم القانونية والمكاتب

وغرف المحاضرات والمساجد. طريقة واحدة لوقف هذا الرنين هو تثبيت جهاز تعطيل في الأماكن التي تمنع استخدام الهواتف المحمولة، ومثل هذه الأجهزة تسمى أجهزة تشويش الهواتف المحمولة أو الهاتف الخليوي (تشويش GSM) وهي نوع من أجهزة المضادة للأجهزة الإلكترونية، والتقنية وراء تشويش الهاتف الخليوي تتم عن طريق بث جهاز التشويش إشارة التردد الراديوي RF في نطاق التردد المخصص للهواتف المحمولة والتي تتداخل مع إشارة الهاتف الخليوي، مما يؤدي إلى عرض "لا شبكة متوفرة" على شاشة الهاتف الخليوي، ويتم إسكات جميع الهواتف المحمولة داخل الدائرة أو المدى الذي يغطيه جهاز التشويش.

الكلمات المفتاحية: (التشويش، الطيف، الهوائيات، التردد، المذبذب، المرشح، زينر)

مقدمة:

يتطلب الإرسال اللاسلكي هوائي إرسال واستقبال ويستخدم الغلاف كوسط إرسال لنقل الإشارة والهوائيات عبارة عن جسم معدني قد يكون من النحاس أو الألمونيوم حيث تقوم الهوائيات بتحويل الإشارة الكهربائية المارة فيها إلى إشارات كهرومغناطيسية تنتشر في الهواء بسرعة الضوء لتقوم ببث الإشارات إلى مناطق استقبال.

هوائي الإرسال وهوائي الاستقبال لها الخصائص نفسها والاختلاف أن هوائي الإرسال يأخذ الإشارة من السلك ويتم تحويلها إلى إشارة كهرومغناطيسية وتسري في الهوائي، أما هوائي الاستقبال فهو يقوم بتحويل الإشارة الكهرومغناطيسية من الهوائي إلى إشارة كهربائية وتمر في السلك. كما أن التشويش هو العائق الذي يحول دون القدرة على الإرسال أو الاستقبال وهذا ما نقوم بتوضيحه في هذا البحث وكيفية القيام به. [1]

1. تقنيات التشويش :

هناك عدة طرق لتعطيل جهاز RF وفيما يأتي التقنيات الأكثر شيوعا.

• الانتحال.

في هذا النوع من التشويش يجبر الجهاز المحمول لإيقاف نفسه، هذا النوع صعب جدا أن ينفذ وتقوم أجهزة التشويش أولا بالكشف عن أي هاتف محمول في منطقة معينة، ثم يقوم الجهاز بإرسال إشارة لتعطيل الهاتف المحمول وبعض أنواع هذه التقنية يمكن الكشف عن ما إذا كان الهاتف المحمول قريب ويرسل له رسالة للمستخدم لتشغيل الهاتف إلى وضع الصامت.

• هجمات التدريع.

هذا هو المعروف باسم TEMPEST أو EMF التدريع، يتطلب هذا النوع إغلاق منطقة في قفص فراداي بحيث إن أي جهاز داخل هذا القفص لا يمكن نقل أو تلقي إشارة RF من خارج القفص.

• الحرمان من الخدمة.

ويشار إلى هذا الأسلوب بي DOS في هذه التقنية، وفيه الجهاز يرسل إشارة الضوضاء لها نفس التردد لتشغيل الهاتف المحمول من أجل تقليل نسبة الإشارة إلى الضوضاء (التشويش) SNR من الهاتف النقال. [2]

1.1 معايير(عناصر) التصميم:

لدينا جهاز يربط تقنية DOS ويحيل الضوضاء (التشويش) على نفس الترددات من النطاق 900GSM جيغا هرتز و(ومن معايير التصميم لإنشاء مواصفات الجهاز هذه المعايير).

1- مدى (مسافة) التشويش D

هذه المعايير مهمة جدا في التصميم لدينا؛ لأن كمية قدرة الطاقة من التشويش تعتمد على المنطقة التي نحن بحاجة إلى عمل التشويش عليها، والعلاقة بين قدرة الطاقة والمدى (المسافة) سنهاها لاحقا، ويتم تأسيس التصميم لدينا على $D = 10$ متر للنطاق GSM900MHZ. [3]

2- نطاقات التردد.

جدول 1. نطاق ترددات التشغيل

LIBYA GSM carrier frequency	
	900 MHZ
LIBYANA	UMTS 2100 MHZ
ALMADAR	1800 MHZ / 900 MHZ

1.2 نسبة التشويش إلى الإشارة (J/S) :

يكون التشويش ناجحا عندما تنفي إشارة التشويش قابلية انتقال الاتصالات في مجال الاتصالات الرقمية.

ويتم رفض الاستخدام عندما يكون معدل الخطأ في الإرسال لا يمكن تصحيحه أو تعويضه، ويكون هجوم التشويش ناجحا عندما تكون قوة إشارة التشويش تساوي تقريبا إشارة جهاز الهاتف المحمول.

المعادلة العامة لنسبة التشويش إلى الإشارة :

$$\frac{J}{S} = \frac{P_j G_{jr} G_{rj} R_{tr}^2 L_r B_r}{P_t G_{tr} G_{rt} R_{jr}^2 L_j B_j} \dots\dots\dots(1)$$

P_j = قوة إشارة التشويش، G_{jr} = كسب الهوائي من التشويش على المتلقي (المستقبل).

G_{rj} = كسب الهوائي من المتلقي (المستقبل) لجهاز التشويش.

R_{tr} = تزاوح مابين (المدى بين) الإرسال والاستقبال.

B_r = عرض نطاق مستقبل الاتصالات، L_r = فقدان إشارة الاتصالات.

P_t = قدرة المرسل، G_{tr} = كسب الهوائي من المرسل الي المستقبل.

G_{rt} = كسب الهوائي من المستقبل إلي المرسل.

R_{jr} = تزاوح (المدى) بين التشويش ومستقبل الاتصالات.

B_j = عرض نطاق التشويش، L_j = فقدان إشارة التشويش.

GSM نظام محدد SNR الحد الأدنى 9 dB ويوصف بان استخدامه أسوأ للتشويش،

القوة القصوى في العلاقات العامة للجهاز المحمول 15 dBm.

1.3 تصميم النظام :

- حسابات الطاقة.

نحن بحاجة للطاقة لنقل إشارة تشويش الهاتف المحمول على مسافة 10 متر من DCS (أحد أنظمة التحكم)، ويمكننا العثور على إنتاج الطاقة المطلوبة من الجهاز. على النحو الآتي:

باستخدام $SNR = 9dB$ والحد الأقصى لإشارة (المستقبل) لاستقبال المحمول $= 15dBm$ -.

ويعطي $-24dBm = z_j$ ، وهدفنا هو العثور على قدرة الطاقة من الجهاز، لذلك عندما

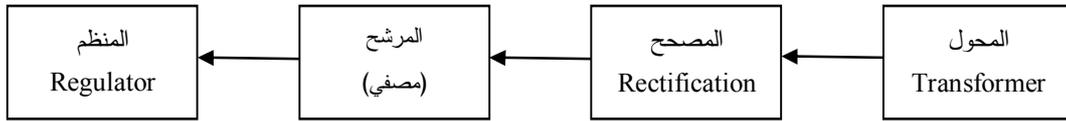
نضيف فقدان مساحة مجانية لكمية الطاقة في المستقبل المحمول لنحصل على هدفنا.

$$-24 \text{ dBm} + 58 \text{ db} = 34 \text{ dBm} \dots \dots \dots (2) = \text{قدرة الطاقة.}$$

- إمدادات الطاقة :

تستخدم لتزويد أقسام أخرى من volt اللازمة (الطاقة)، وتتكون أي إمدادات الطاقة من الأجزاء الرئيسية الآتية:

- المحول : يستخدم لتحويل 220 VAC إلى مستويات أخرى من الفولتية.
- التصحيح : يقوم بتحويل التيار الكهربائي من AC إلى DC ويتم التصحيح بطريقتين :
 - 1- تصحيح نصف موجة : تعمل على إنتاج التيار الكهربائي فقط خلال الدورات الإيجابية لإشارة الدخل.
 - 2- تصحيح موجة كاملة : تعمل على تصحيح إنتاج التيار الكهربائي خلال كل الدورات الإيجابية والسلبية لإشارة الدخل.
- المرشح (المصفي) : تستخدم للقضاء على التقلبات في إخراج معدل موجة كاملة (للقضاء على الضوضاء) بحيث يتم إنتاج جهد مستمر، وهذا المرشح هو عبارة عن مكثف كبير يستخدم لتقليل التموج في الإخراج.
- المنظم :يستخدم لتوفير جهد DC المطلوب.[4] ويبين الشكل الأجزاء العامة من إمدادات الطاقة



شكل1. الأجزاء العامة من إمدادات الطاقة

نحن بحاجة 12، -12، 5 و 3.5 فولت.

لقد وجدنا أن التيار الكهربائي PC يمكن أن يوفر جميع الفولتية التي نحتاجها في

التشويش.

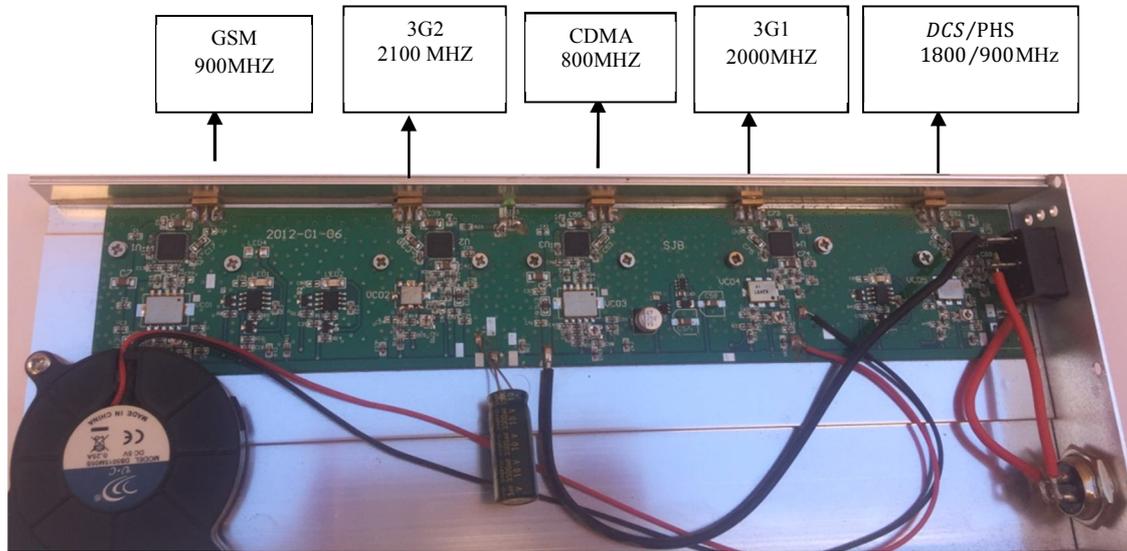
• القسم IF :

قسم الضبط من التشويش الاجتياح VCO من خلال النطاق المطلوب من الترددات، في الأساس، هو مجرد مثلث أو مولد سن المنشار. والتعويض في كمية مناسبة من أجل اكتساح VCO من تردد الحد الأدنى المطلوب إلى الحد الأقصى. يتم إنشاء إشارة ضبط موجة الثلاثي مختلطة مع الضوضاء. ويتكون القسم IF من ثلاثة أجزاء رئيسية:

1- مولد موجة المثلث (سن المنشار) لضبط VCO في القسم RF.

2- مولد الضوضاء أو الضجيج (يوفر الضجيج المطلوب).

3- الخلاط (لخلط المثلث (إشارة سن المنشار) وموجات الضجيج). [5]

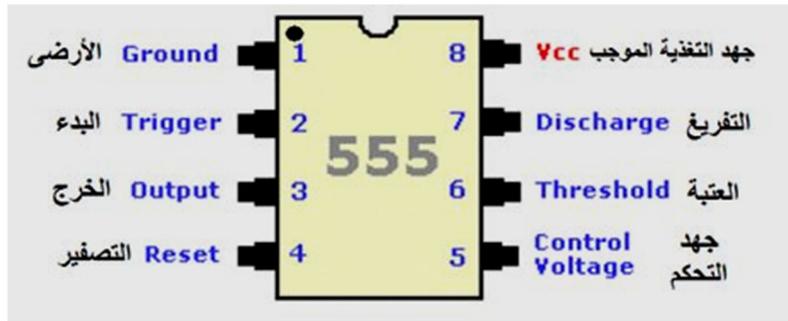


شكل 2. الدائرة المكافئة للتشويش

مولد موجة المثلث (سن المنشار):

الاستخدام الرئيسي لموجة المثلث هو اكتساح VCO من خلال النطاق الترددي المطلوب، ونحن نريد تغطية الهابطة في التصميم لدينا، وسوف نستخدم IC555 timer التي تعمل في وضع مستقر لتوليد إشارة كاسحة. تردد الإخراج يعتمد على الشحن والتفريغ للمكثف، وقيم المقاومات وإمدادات الطاقة ل IC.

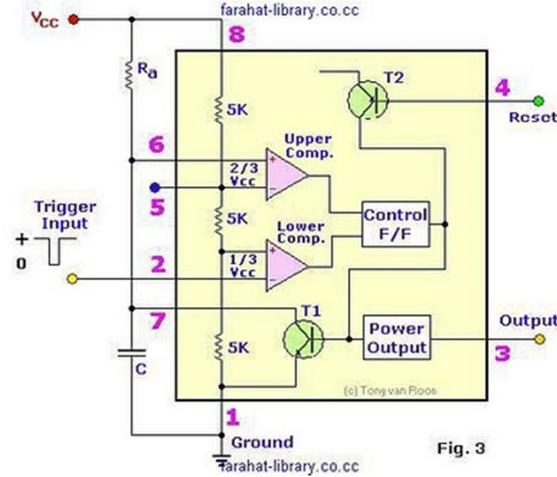
تركيب الدائرة المتكاملة IC555 كما هي موضحة :



شكل 3. الدائرة المتكاملة IC555

سميت بأسم المؤقت الزمني IC555 بسبب وجود 3 مقاومات قيمة كل منها $5K\Omega$ ، وهي من أشهر وأكثر الدوائر المؤقتة الزمنية استعمالاً في دوائر التحكم لسهولة استعمالها وهي موجودة على هيئة شريحة IC، تستخدم في توليد فترات زمنية تأخير فعند العمل بنظام التأخير الزمني (يسمى مذبذب أحادي الاستقرار) وعند العمل بنظام مذبذب (يسمى مذبذب عديم الاستقرار).

ويبين الشكل كيف يمكننا استخدام timer555 في وضع A- مستقرة العام



شكل 4. استخدام timer555 في وضع A - مستقرة العام

يمكن العثور على وقت لشحن المكثف على النحو الآتي:

$$IC = 0.693 (Ra + Rb) c \dots \dots (3)$$

لوقت التفريغ، يمكن استخدام المعادلة التالية

$$TD = 0.693 Rb C \dots \dots \dots (4)$$

يمكن حساب تردد الإخراج كما يأتي:

$$F = 1.44 / (Ra + 2Rb) C \dots \dots \dots (5)$$

فنحن بحاجة للحصول على دورة العمل التي تساوي 50% مما يعني أن الوقت اللازم

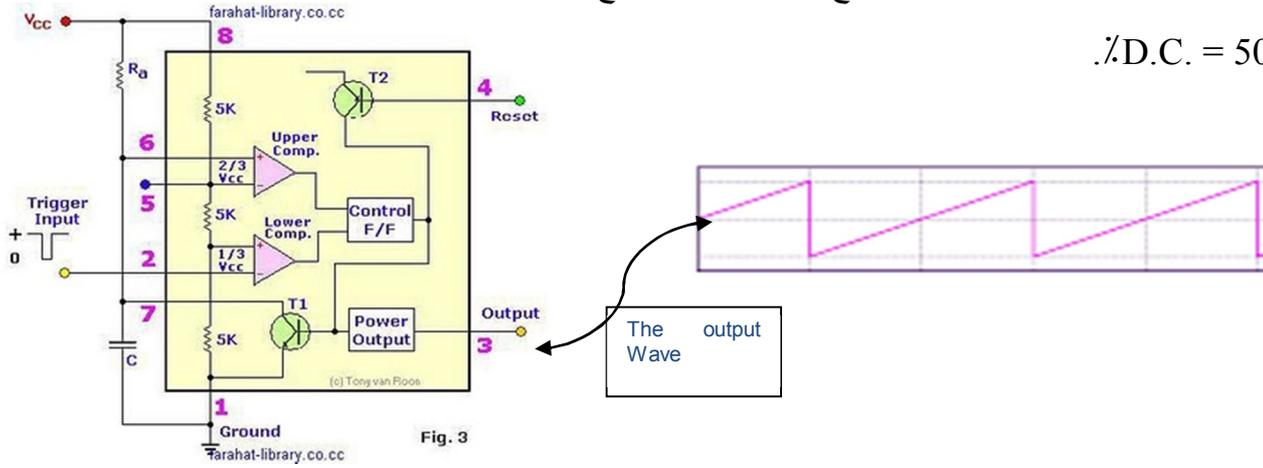
لشحن يساوي وقت التفريغ ويمكن القيام بذلك عن طريق استخدام $Ra = Rb$ ووضع الصمام

الثنائي عبر Rb ، وتبين المعادلة التالية تردد الإخراج (المخرجات)

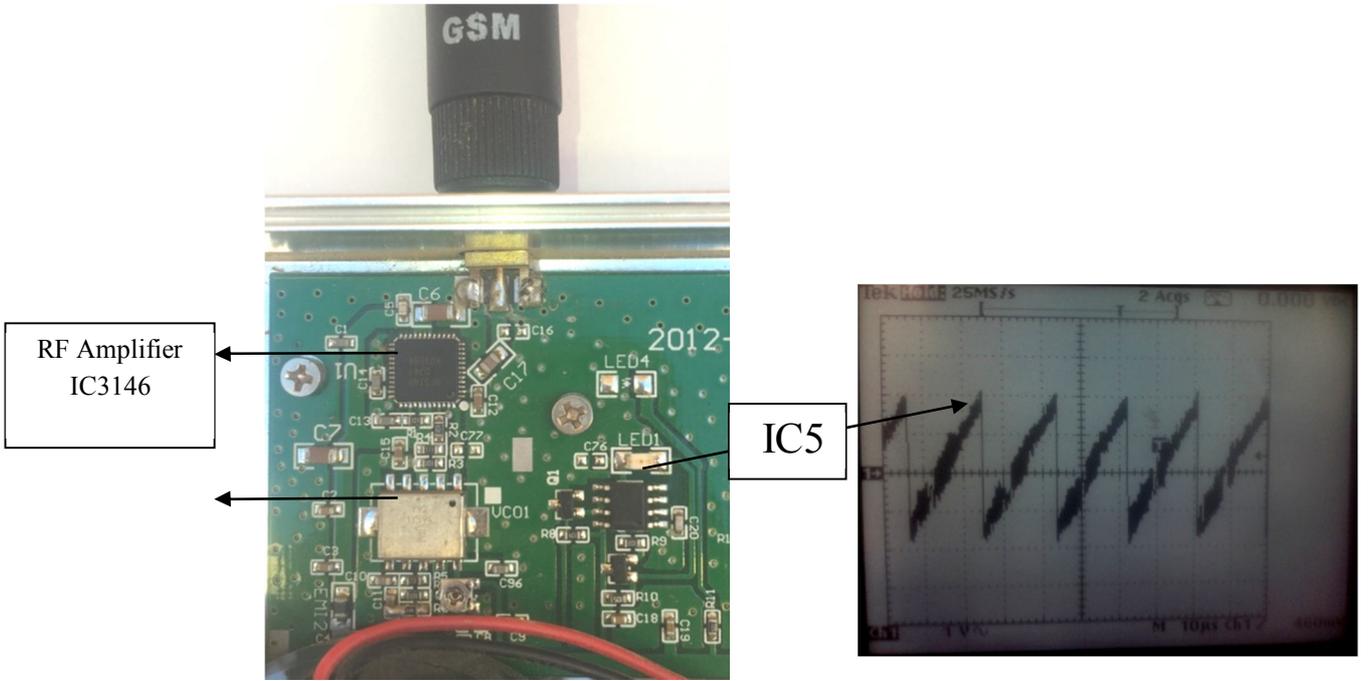
$$F = 1.44 / (Ra + Rb) C \dots \dots \dots (6)$$

ويبين الشكل الاتصال للوضع A- مستقرة مع

.%D.C. = 50



الشكل 5. الاتصال للوضع A- مستقرة مع 50 D.C. %.



شكل 6. مولد الضجيج أو الضوضاء

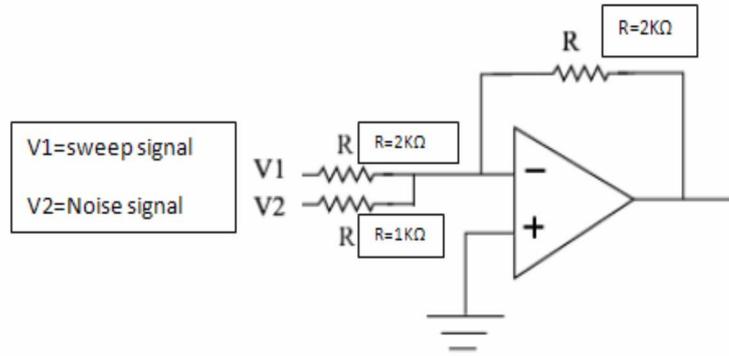
موجة سن المنشار هي موجة غير جيبية، تزداد موجة سن المنشار بشكل خطي ثم تهبط بحدّة عائدة للقيمة الابتدائية، تحتوي سن المنشار على كل من التوافقيات الفردية والزوجية من التردد الأساسي ولديها صوت مزعج وواضح ولأنها تحتوي على كل أعداد التوافقيات الصحيحة تعتبر من أفضل الأشكال الموجية في تركيب الأصوات.[6]

مولد الضجيج أو الضوضاء :

من دون ضجيج، إخراج VCO هو مجرد الكاسح الناقل RF، لذلك نحن بحاجة إلى مزيج من إشارة الثلاثي مع الضوضاء (FM تحويل الناقل RF مع الضجيج). لتوليد إشارة الضوضاء استخدمنا ديود زينر يعمل في وضع عكسي، وعندما يعمل في وضع عكسي يسبب ما يسمى تأثير الانهيار والذي يسبب ضوضاء واسعة النطاق، ثم يتم تضخيم هذا الضجيج واستخدامه في نظامنا باستخدام اثنين من مراحل التضخيم : المرحلة الأولى نستخدم الترانزستور NPN باعث مشترك

الخلاط :

الخلاط هنا هو مجرد مكبر Amplifier، وإضافة موجة الضجيج وإشارة (موجة) الثلاثي معا قبل الدخول إلى VCO لتحقيق ذلك.



شكل 7. الخلاط

$$V_{\text{output}} = (-R_f/R_1) V_1 + (-R_f/R_2) V_2 \dots \dots \dots (7)$$

$$V_{\text{output}} = -(V_1 + 2V_2) \dots \dots \dots (8)$$

1 إشارة الاجتياح، ومضخم إشارة الضوضاء (التشويش) 2، وفي هذه الحالة فإن نسبة الضجيج إلى إشارة الاجتياح هو 1:2.

ديود باعث

مدخلات VCO تكون من 0V إلى 3.5 V للحصول على نطاق الترددات اللازمة لذلك نحن بحاجة إلى ديود باعث للحصول على هدفنا.

ديود الباعث، يتكون من مكثف في سلسلة متصلة مع مقاومة الصمام الثنائي.

القسم RF :

هذا هو الجزء الأكثر أهمية في التشويش، وإخراج هذا القسم سيتم التواصل مع الهاتف النقال، ويتكون القسم RF من ثلاثة

أجزاء رئيسية :

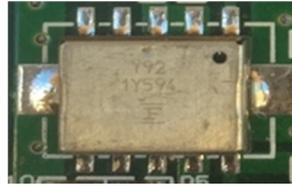
- مذبذب الجهد (VCO)
- مكبر الصوت.

• الهوائي.

1-مذبذب الجهد (VCO).

هو قلب قسم الترددات اللاسلكية RF، وهو الجهاز الذي يولد إشارة الترددات اللاسلكية RF التي تتداخل مع الهاتف المحمول.

إخراج VCO لديه التردد الذي يتناسب مع جهد الدخل، ونتمكن من التحكم في تردد (الإخراج) عن طريق تغيير جهد الإدخال والنتيجة هو تردد معين، في حين إذا كانت مدخلات الموجي الثلاثي فإن الناتج مجموعة من ترددات معينة في التصميم لدينا، VCO Control Voltage (Oscillator) هو نظام معروف بكيفية توليد الإشارة والتحكم في التردد عن طريق Volt هي عبارة عن مقاومة متغيرة ويتم ذلك بتغيير volt من 0V إلى 10V فمثلا عند وضع 1V يقابله 100MHz وإذا وضعنا 2V يقابله 200MHz وحتى يتم التغيير نضع مولد إشارة So tot سن المنشار ليبدأ الجهد يتغير أوماتيك تبدأ الإشارة في الصعود والنزول وهي ما تسمى Sweep، وهذه ما تسمى دائرة RF Amplifier (IC555) ونحن بحاجة لإيجاد VCO لي GSM 900MHz [7].

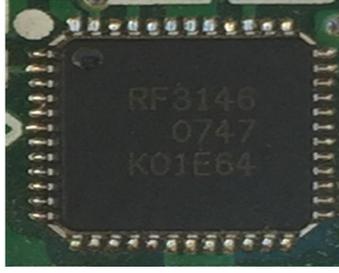


شكل 8. مذبذب الجهد VCO

2. المكبر (Power Amplifier).

5dB لي VCO لا يحقق توليد الطاقة المطلوبة من التشويش noise لينتويش GSM.

وإضافة مكبر مع زيادة مناسبة لزيادة قدرة VCO إلى 34dB.



شكل 9. المكبر Power Amplifier

تم إضافة مكبر Power Amplifier مع زيادة مناسبة لزيادة قدرة الطاقة (Power) إلى 34dB، وهو IC 3146 مكبر الطاقة Amplifier (وحدة التحكم في الطاقة المتكاملة) : هو مكبر عالي القوة وعالي الكفاءة وتم استخدامه في الجهاز كمكبر نهائي للترددات اللاسلكية مثل في إخراج GSM (900MHZ) ويتم التكبير على ثلاث مراحل بعد استلامها من VCO وإخراجها للهوائي، التحكم في الطاقة يوفر أكثر من 50dB. [8]

3-الهوائي :

الهوائي مناسب لنقل إشارة التشويش، من أجل أن يكون نقل الإشارة الأمثل، ويجب أن يكون هوائي النظام مطابق لنظام الإرسال في هذه الدائرة الالكترونية. تستخدم هوائيات 1/4 الطول الموجي أحادي القطب، مع استخدام 50 مقاومة للدخل بحيث تتم مطابقة الهوائيات للنظام، استخدمنا هوائيات أحادي القطب نمط الإشعاع متعدد الاتجاهات، والصورة توضح الهوائيات المستخدمة لكل نطاق.



شكل10. الهوائي أحادي القطب

4. محلل الطيف Spectrum analyzer :

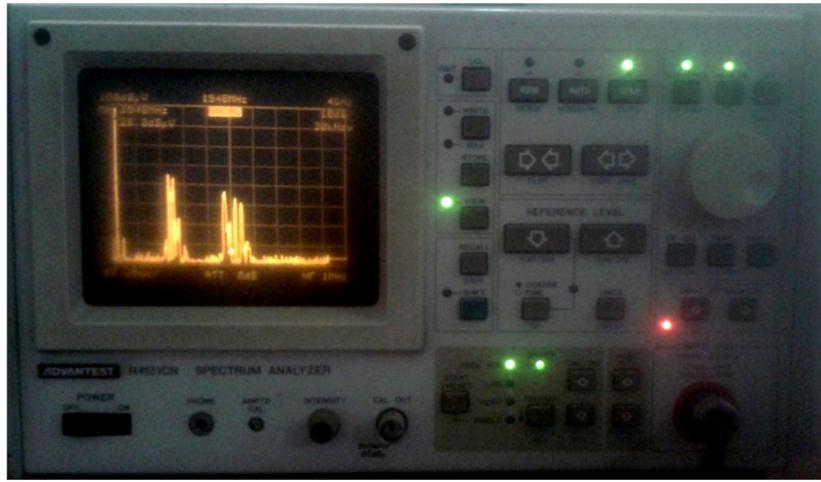
هو جهاز يقوم بتحليل طيف الترددات اللاسلكية وهي أداة أساسية للترددات اللاسلكية RF، تستخدم على نطاق واسع لتحليل الطيف في صناعة الالكترونيات لتحليل طيف تردد من ترددات الراديو، ويبحث في الإشارات في مجال التردد وعرض الإشارة، وهو ذا أهمية خاصة لتطوير مصادر إشارة الترددات اللاسلكية، وخصوصا أي شكل من أشكال الإرسال بما في Wi-Fi وترددات الراديو بمختلف الترددات GSM,3G2,CDMA,3G1، DCS / PHS وإشارة التشويش يتم رصدها من خلال الجهاز.

شاشة محلل، مثلها في ذلك مثل الذبذبات له محورين، لمحلل الطيف العمودي مستوى يعرض محور السعة، في حين أن الأفقي يعرض محور تردد؛ لذلك بينما يتحرك المسح على طول المحور الأفقي، يظهر على الشاشة في مستوى أي إشارات على تردد معين، وهذا يعني أن تحليل الطيف، كما يشير الاسم يحلل الطيف من إشارة. كما يبين المستويات النسبية للإشارات على ترددات مختلفة يبين اختلاف الترددات ضمن مجموعة من الاجتياح أو مسح معين.[9]

1.4 كيف يعمل محلل الطيف:

معظم تحليل الطيف تقدم للمستخدمين الفرصة لتحديد بداية وقف التردد المركزي. ويكون التردد المركزي في منتصف الطريق بين ترددات التوقف والبداية، لتحديد المدى بين ترددات البدء والإيقاف ومحلل طيف الترددات اللاسلكية، هو محلل يقيس "الضوضاء" الراديو ويقيس مدى قرب اثنين من الإشارات ويجري حلها إلى قمم منفصلة. [10]

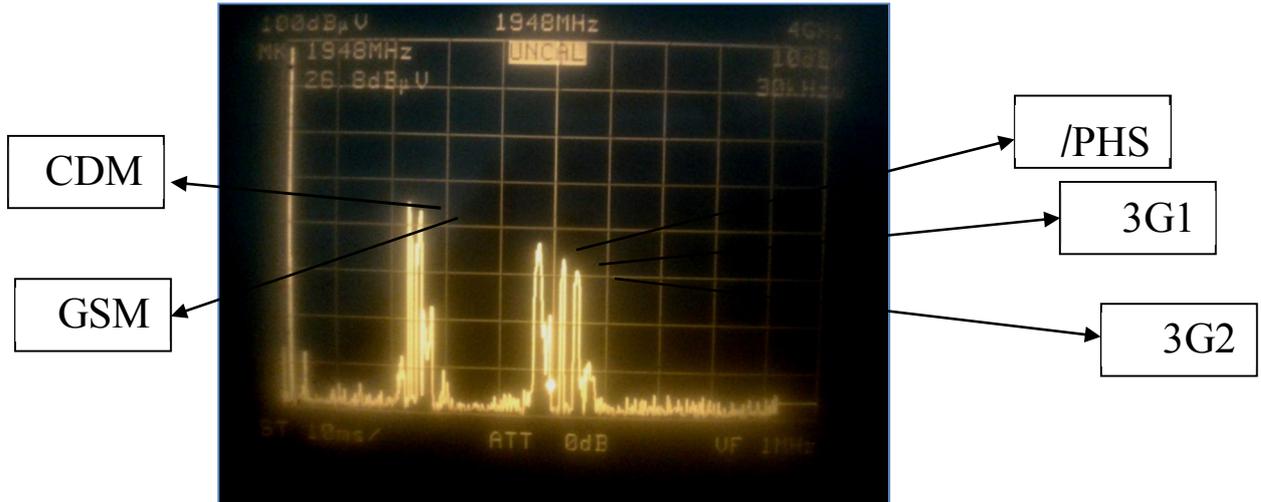
وهذا الجهاز المستخدم لتحليل طيف التردد للإشارات الموجودة في جهاز التشويش والشاشة توضح طيف كل تردد.



شكل 11. جهاز الطيف spectrum analyzer

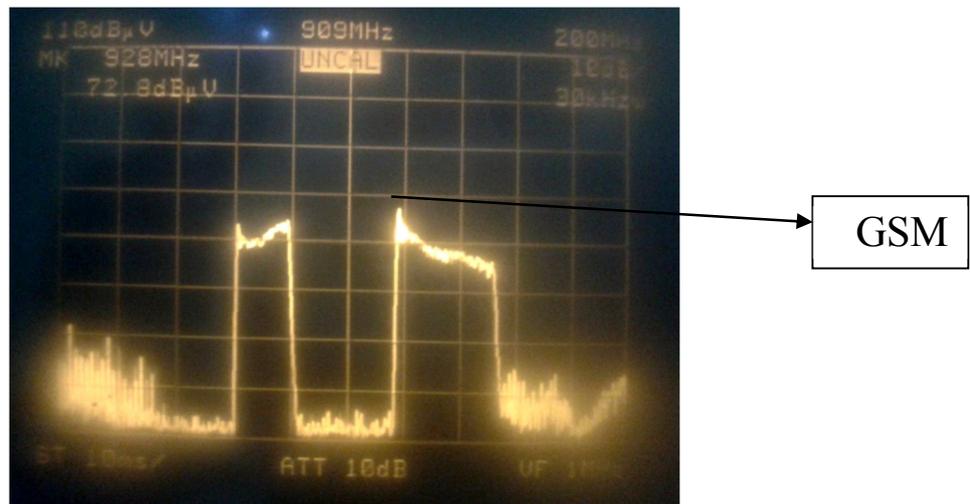
تحليل طيف التردد للإشارات الموجودة في جهاز التشويش full spectrum analyzer

for all bands كما في الشكل أدناه GSM، 3G2، CDMA، 3G1، DCS



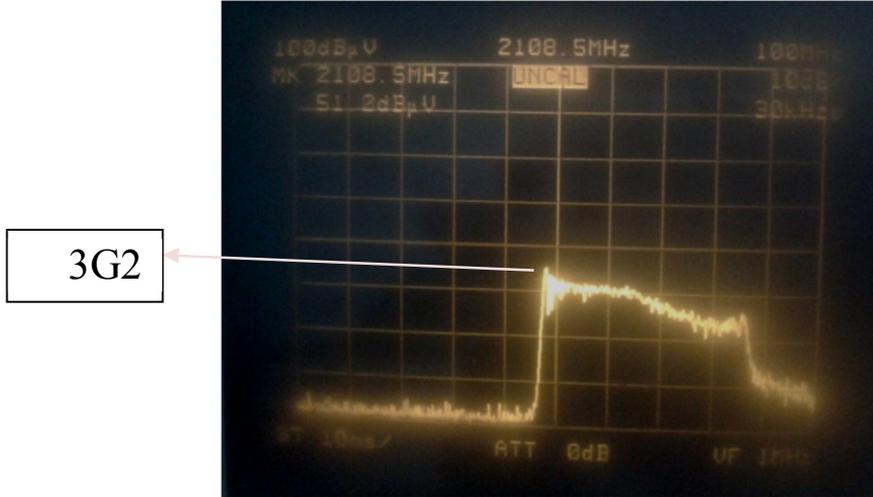
شكل 12. الطيف الترددي الشامل لكل الترددات

عن طريق استخدام Spectrum analyzer تم إخراج إشارة GSM



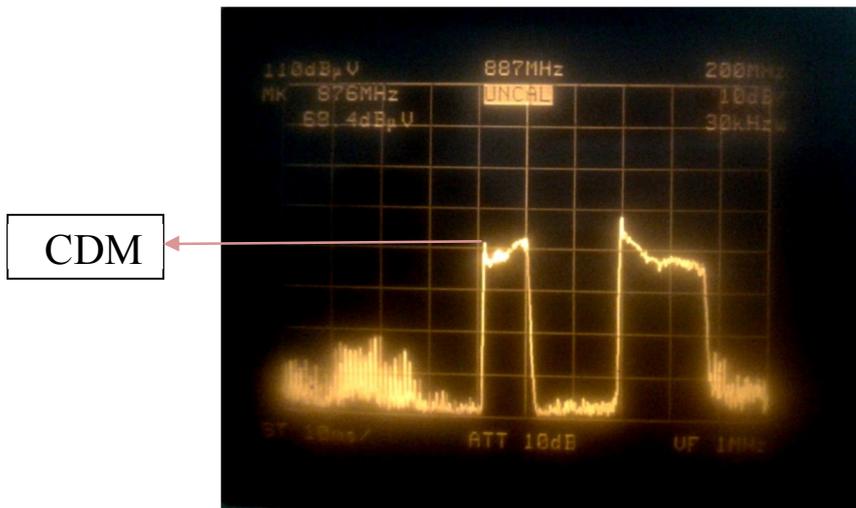
شكل 13. إشارة GSM

و عن طريق Spectrum analyzer إشارة 3G2(1200MHZ).



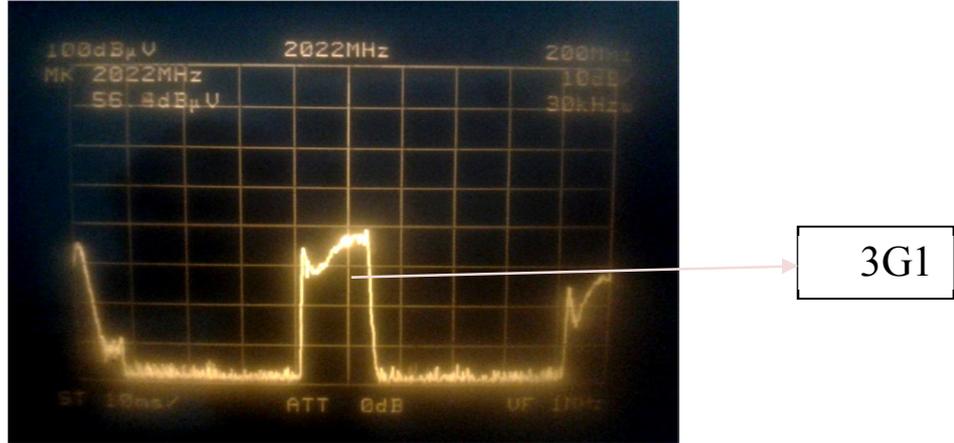
شكل 14. إشارة 3G2 (1200MHz)

وباستخدام الجهاز نفسه إشارة CDMA (800MHz).



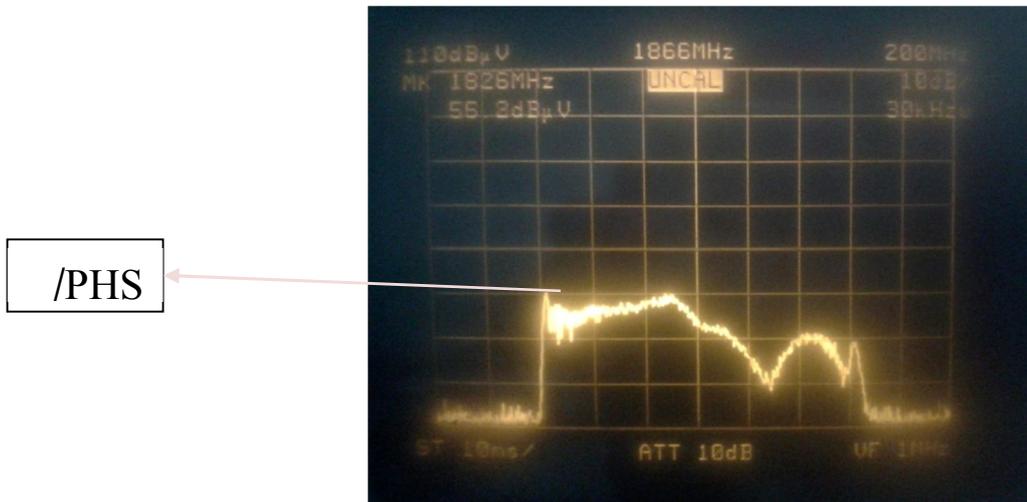
شكل 15. إشارة CDMA (800MHz)

إشارة 3G1 (2000MHz) على الجهاز.



شكل 16. إشارة 3G1 (2000MHZ)

إشارة DCS/PHS(1800\900MHZ) على الجهاز.

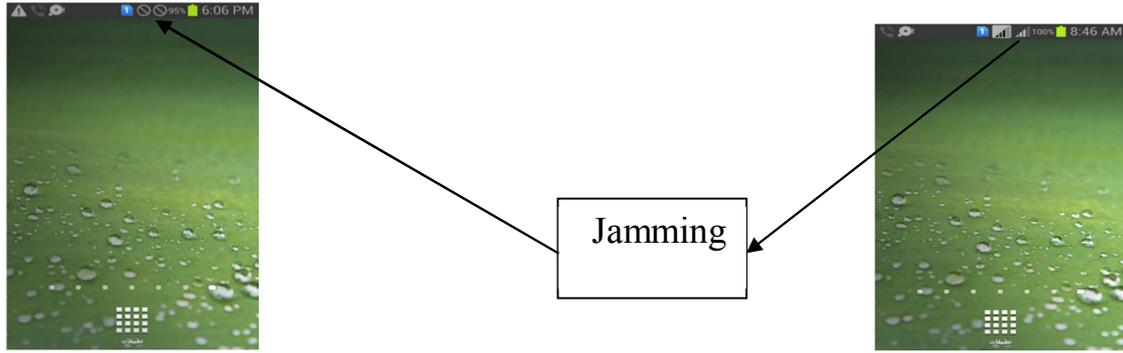


شكل 18. إشارة DCS/PHS(1800\900MHZ).

5. تشغيل جهاز التشويش Jamming:

عند تشغيل جهاز التشويش Jamming تم كبت إشارة البرج BTS وتم ربط جهاز

Mobile مع إشارة Jamming.



شكل 19. تشغيل جهاز التشويش Jamming

النتائج والعمل المستقبلي:

النتائج:

من خلال الدائرة الالكترونية الخاصة بعملية التشويش الراديوية لأنظمة الاتصالات في المدى والنطاق من 800 MHz - 2100 MHz حيث يتم قياس قدرة الإرسال وكذلك تحليل المدى الطيفي للإرسال باستخدام محلل الطيف الترددي.

نلاحظ إن قدرة الإرسال للدائرة عالية جدا وتكون ضعف إشارة الوسط المرسل، ويتضح أن قدرة أو تكبير مضخم الإشارة الراديوية المستخدمة، يتناسب مع مسافة انتشار الموجة في قطر يتراوح حتي 20 متراً، وتعمل الدائرة كمولد نبذبات تشويش عالية القدرة، في جميع الاتجاهات Point Source.

ووحدة التغذية المستخدمة ذات امتداد طاقة عالية، وهي من التقنيات الحديثة المستخدمة في تغذية الدوائر الالكترونية التي تحتاج قدرة عالية ووثوقي ولها القدرة علي منع التشويش لمصادر التغذية.

العمل المستقبلي:

يمكن تحويل دائرة التشويش من مرسل في جميع الاتجاهات إلي مرسل في اتجاه واحد، حيث يتم استبدال الهوائيات بهوائي موجه، بعد تركيب وحدة توزيع لها أربع مداخل ومخرج واحد، ونوع الهوائي يكون صحن ببيضاوي بقطر يتناسب مع طول الموجه والتردد. ويمكن تركيب دائرة الكترونية تتحسس الموجات الراديوية ذات القدرة العالية، وكذلك تميز بين أطيف الترددات المرسله، وهكذا يتم الاستغناء عن التشغيل اليدوي، ويصبح لدينا دائرة كهربائية تقوم بالعمل الذاتي وتعمل عند تحسس ترددات راديوية متطفلة. كذلك نستطيع ربط الدائرة الالكترونية مع وحدة حاسوب، لعرض أطيف الترددات الموجودة وذلك بوضع وحدة الربط بين الحاسب والدائرة الالكترونية.

العيوب التي يمكن تفاديها للدائرة الالكترونية المستخدمة:

- 1- وضع جميع أقسام الترددات في دائرة واحدة تتغذي من مصدر تغذية واحد، في حالة عطب بدائرة التغذية تفقد الدوائر جميعها التغذية، ولنفاذي هذا يتم فصل التغذية لكل دائرة علي حدة.
- 2- مدي المسافة بالمتري التي يعمل بها الجهاز قصيرة ولا تتجاوز 20 متر، ويمكن زيادة المسافة لغرض التشويش بإضافة مضخم إشارة راديوية يعمل بكسب أعلي، وتغيير قدرة دائرة التغذية.

المراجع:

- 1- الهوائيات والشبكات اللاسلكية، نادر المنسي، الثلاثاء 12 يناير 2016.
- 2- الهوائيات وانتشار الموجات، المؤسسة العامة للتعليم الفني، الأحد 15 مايو 2009.

- 3- هندسة الاتصالات وانتشار الموجات والكمبيوتر، د.حسن الكمشوشي 1988.
- 4- الدائرة المتكاملة 555 المؤسسة العامة للتعليم، الأحد 11 مايو 2008.
- 5- النظام العالمي للاتصالات المتنقلة، م. خلدون فنون دبيسان الزالمي، 10 مايو 2008.
- 6- Balanis, *antenna theory; analysis and Design*, John Wiley & Sons, inc 1997.
- 7- Collin, *antennas and radio wave propagation*, McGraw-Hill, inc 1985.
- 8- HAYKIN, *communication systems*, (John Wiley & Sons, 4th edition, 2001.
- 9- *Broadband Planar Antennas: Design and Applications*, zhi Ning chen and M.Y.W. Chia, John Wiley & Sons in February 2006.
- 10- *Antenna theory (3rd edition)* by C. Balanis, Wiley, 2005, ISBN 0-471-66782-X.