



جامعة دمشق

كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية

قسم هندسة الإلكترونيات والاتصالات

تقدير فعالية تقنيات التشويش على نظامي تحديد الموقع

GPS & GLONASS

مشروع تخرج أعد لنيل درجة الماجستير في هندسة الاتصالات المتقدمة

إعداد المهندس

عبدالله بلوق

والمشرف المشارك

الدكتور المهندس

سالم إبراهيم

باحث في المعهد العالي للعلوم التطبيقية
والتكنولوجيا

بإشراف

الدكتور المهندس

فواز المفضي

مدرس في قسم هندسة الإلكترونيات
والاتصالات

العام الدراسي

2021-2022

كلمة الشكر والإهداء

بسم الله الرحمن الرحيم

إلهي لا يطيب الليل إلا بشكرك ولا يطيب النهار إلا بطاعتك.. ولا تطيب اللحظات إلا بذكرك.. ولا تطيب
الآخرة إلا بعفوك.. ولا تطيب الجنة إلا برويتك

إلى من كلله الله بالهيبة والوقار.. إلى من علمني العطاء بدون انتظار.. إلى من أحمل أسمه بكل افتخار...
والدي العزيز...

إلى ملاكي في الحياة.. إلى معنى الحب وإلى معنى الحنان والثاني.. إلى بسمته الحياة وسر الوجود إلى من كان
دُعَاؤها سر نجاحي وحنانها بلسر جراحي..
أمي الحبيبة...

إلى من سكنت قلبي وتغلغت في شرايبي إلى من ضحت وصبرت حتى أكرمني الله وأعطاني إلى شريك الروح
ورفيقة أيامي..
زوجتي الغالية..

إلى أزهارتي التي جاءت من الجنة ترضيني.. إلى شمعة حياتي.. إلى من سعادتهم تغني وألمهم يكتفي.. إلى
مهجتي وروحي ونبض القلب.. ونور العين..
حُسين وماريا

إلى أخوتي وأخواتي وعوائلهم..

أهدي هذا العمل مع فائق الحب والامتنان

بعد حمد الله والثناء الجميل الذي يليق بذاته المقدسة، يسعدني أن أتقدم بجزيل الشكر والعرفان إلى مشرقي الدكتور فواز مفضي والدكتور سالم إبراهيم على كل ما قدماء من دعمٍ وتوجيهاتٍ طيلة فترة العمل في هذا البحث، والتي كان لها أبلغ الأثر في إتمامه، والذين لم يخلوا في تقديم النصائح والملاحظات العلمية القيمة والمتابعة والتوجيه المستمر أثناء مراحل سير البحث.

كما أوجه شكري وتقديري الخالصين للدكتور خالد نصري، الدكتور محمد ديب، والدكتور ياسر جعمور. ثم أزجي الشكر فائقه والثناء أجله إلى أستاذي الدكتور عبد الحسن نيسافي على حسن رعايته ودعمه اللامحدود لهذه البحث علمياً وتقنياً.

وأشكر شكراً غير مقطوع لأستاذتي كلاً من: الدكتور عادل خضور، الدكتور عبد الكريم السالم، الدكتور نديم شاهين، والدكتور نضال زيدان؛ على حسن تعاونهم، إذ أمدوني بما احتجت إليه من استفسارات كان لها أكبر الأثر في إنجاز هذا البحث وإلى جانب مساعدتي في نشر المقالات العلمية.

والشكر والتقدير موصولان إلى كل من الدكتور نادر خضرو، والدكتور رضوان قسطنطين، والدكتور محمد الحريري، المهندس عصام الحاج، المهندس إياد قاضون، الدكتور محمد خير، والآنسة رنا شعبان، والمخبرين سليمان سليمان، وإسماعيل بلبل. أخيراً أشكر أعضاء لجنة المناقشة لتفضلهم بقبول تقييم هذا البحث، وهم:

- الدكتور عادل خضور الأستاذ المساعد في جامعة دمشق، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية.
- الدكتور محمد الحريري الباحث في المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا.
- الدكتور فواز مفضي مدرس في جامعة دمشق، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية.

أعضاء لجنة الحكم بالقرار

I.....	كلمة الشكر والإهداء
III	أعضاء لجنة الحكم بالقرار
IV.....	الفهرس
VIII	List of Figures فهرس الأشكال
X.....	List of Tabela فهرس الجداول
XI.....	Glossary مصطلحات البحث
XII	Acronyms المختصرات
XIV	Abstract الملخص
1	General Introduction المقدمة
4.....	الفصل الأول: تحليل الدراسة
4.....	1.1 مشكلة البحث وأهميته
5.....	2.1 أهداف البحث
5.....	1.2.1 فوائد البحث
6.....	2.2.1 أما الجهات التي يمكن أن تستفيد من البحث فهي
6.....	3.1 حدود البحث
7.....	4.1 الدراسات المرجعية السابقة
11	الخاتمة
14	الفصل الثاني: منهج البحث والحلول
14	1.2 مقدمة
14	2.2 توصيف الحلول المقترحة
18	3.2 الأدوات والتجهيزات
18	4.2 البرامج المستخدمة
19	5.2 اختيار العينات المدروسة Specimen
21	الفصل الثالث: أنظمة الملاحة العالمية عبر الأقمار الصناعية
21	1.3 تمهيد
22	2.3 مكونات GNSS

22	3.3 التوزيع الترددي Frequency Allocation
24	1.3.3 إشارات GNSS
24	4.3 تطبيقات GNSS
24	1.4.3 التطبيقات العسكرية
25	2.4.3 التطبيقات المدنية
25	5.3 مبدأ نظام الملاحة GPS
26	6.3 مكونات نظام الملاحة GPS
27	1.6.3 القسم الفضائي (SS) The Space Segment
28	2.6.3 قسم التحكم (CS) The Control Segment
28	3.6.3 قسم المستخدم (US) The User Segment
29	7.3 توليد إشارات السواتل
31	8.3 مستقبل GPS
32	9.3 بنية الإشارة GLONASS
34	10.3 دقة قياس الموقع ومصادر الأخطاء
35	1.10.3 تأخر الأيونوسفير
36	2.10.3 أخطاء ساعة الساتل والمستقبل
36	3.10.3 أخطاء المدار (أخطاء Ephemeris)
36	4.10.3 أخطاء تعدد المسار Multipath
37	5.10.3 عرقلة الإشارة
37	6.10.3 التعمية (A/S) Anti-Spoofing
37	7.10.3 التوافقية الانتقالية أو (S/A) Selective Availability
37	11.3 خواص إشارات السواتل
37	1.11.3 تمهيد
38	2.11.3 حساب تابع الترابط الذاتي والكثافة الطيفية لاستطاعة النبضة المربعة
39	3.11.3 تابع الترابط الذاتي والكثافة الطيفية للسلاسل شبه العشوائية بطول أعظمي
40	4.11.3 تابع الترابط الذاتي والكثافة الطيفية للرموز GPS
42	الفصل الرابع: تقنيات التشويش
42	1.4 توصيف إشارات التشويش
42	التشويش الضجيجي
43	1.1.4 التشويش السدي Barrage Jamming

43	2.1.4 التشويش المنزلق (مسح ترددي) Sweep Jamming
43	3.1.4 Successive Pulses Jamming
44	4.1.4 التشويش المركز البؤري Tone Jamming
44	5.1.4 التشويش التكراري
45	1.5.1.4 المشوش التكراري المعتمد على الذاكرة الرقمية
47	2.4 تحليل أثر إشارات التشويش على خرج مستقبلات GNSS
47	1.2.4 استطاعة خرج المرباط CORRELATOR OUTPUT POWER
48	2.2.4 تأثير إشارة Sweep Jamming على خرج المرباط CORRELATOR
51	3.2.4 تأثير إشارة Spot Jamming على خرج المرباط CORRELATOR
54	الفصل الخامس: النظم الجزئية لنظام التشويش
54	1.5 تمهيد
54	2.5 حلقة إقفال الطور
55	1.2.5 كاشف الصفحة
56	2.2.5 المرشح الحلقي
56	3.2.5 المهتز المتحكم به بالجهد
57	3.5 تابع التحويل لحلقة إقفال الطور
60	4.5 ضجيج صفحة حلقة إقفال الطور
60	5.5 مخمد الاستطاعة نوع Π
61	6.5 مقسم الاستطاعة
61	1.6.5 مقسم استطاعة بدون ضياع
62	2.6.5 مقسم استطاعة ذو ضياع
64	الفصل السادس: تصميم وتنفيذ نظام التشويش
65	1.6 الكيان الصلب Hardware
66	1.1.6 منصة SDR
71	2.1.6 بنية المركب الترددي SKY72300-21
74	3.1.6 المخطط الكهربائي لبطاقة SDR
80	2.6 الكيان اللين Software
80	1.2.6 مخطط تخديم القفز الترددي
81	2.2.6 برنامج المعالج لمولد إشارة شبه العشوائية
82	3.2.6 برنامج المعالج لبطاقة SDR

84	4.2.6 المخطط العملي لعملية الكتابة.....
87	الفصل السابع: النتائج Results
87	1.7 تمهيد
88	2.7 والتقييم والنتائج.....
88	1.2.7 الحالة الأولى.....
92	2.2.7 الحالة الثانية
94	3.2.7 الحالة الثالثة.....
96	4.2.7 الحالة الرابعة.....
98	5.2.7 الحالة الخامسة.....
99	6.2.7 الحالة السادسة.....
100	7.2.7 الحالة السابعة.....
102	8.2.7 الحالة الثامنة.....
103	9.2.7 الحالة التاسعة.....
104	3.7 الخلاصة Conclusion.....
107	4.7 الاتجاهات البحثية المستقبلية Future Research
108	الملاحق Appendixes.....
108	الملحق أ
111	الملحق ب.....
117	الملحق ج
120	الملحق د.....
126	الملحق هـ
130	الملحق ن
131	الملحق و.....
132	الملحق ي.....
134	المراجع References.....
141	Abstract

فهرس الأشكال List of Figures

الشكل	الصفحة
الشكل (1-1): المخطط العام لبنية جهاز التشويش	9
الشكل (2-1): إشارة تشويش GPS عند التردد 1.575GHz، وإشارة تشويش (2.4-2.485GHz)	9
الشكل (3-1): توليد إشارة GPS عن طريق Simulink	10
الشكل (1-2): يبين بنية مبسطة لنظام تشويش GPS&GLONASS	17
الشكل (1-3): توزيع الطيف الترددي لأنظمة GNSS المختلفة	23
الشكل (2-3): الحاجة لثلاث معلومات لتحديد الموقع في المستوي	26
الشكل (3-3): يحدد الموقع بثلاث سواتل	26
الشكل (4-3): الأجزاء الثلاث للنظام	26
الشكل (5-3): مثال لتموضع السواتل حول الأرض	27
الشكل (6-3): سواتل GPS	27
الشكل (7-3): محطات التحكم الخمس حول العالم	28
الشكل (8-3): الترددات المستخدمة	29
الشكل (9-3): سجل إزاحة بتغذية خلفية خطية LFSR	29
الشكل (10-3): المخطط الصندوقي لمولد إشارة الساتل	30
الشكل (11-3): المخطط الزمني لإشارة الساتل	30
الشكل (12-3): المخطط الصندوقي لبنية مستقبل GPS	31
الشكل (13-3): المجالات الطيفية لأجيال أنظمة GLONASS	32
الشكل (14-3): تأخير الأينوسفير	35
الشكل (15-3): أخطاء تعدد المسارات	36
الشكل (16-3): عرقلة الإشارة	37
الشكل (17-3): تحويل فورييه لنبضة مربعة	38
الشكل (18-3): تابع الترابط الذاتي للنبضة المربعة	38
الشكل (19-3): تابع الترابط الذاتي والPSD للسلاسل العشوائية بطول أعظمي	40
الشكل (20-3): تابع الترابط الذاتي والPSD للرماز C/A	41
الشكل (1-4): طيف إشارة Barrage Jamming	43
الشكل (2-4): طيف إشارة Sweep Jamming	43
الشكل (3-4): طيف إشارة Successive Pulses Jamming	44
الشكل (4-4): طيف إشارة Tone Jamming عند التردد 1575.42MHz	44
الشكل (5-4): مبدأ عمل المشوش التكراري	45
الشكل (6-4): المخطط الصندوقي للمشوش المكرر المعتمد على الذاكرة الرقمية	46
الشكل (7-4): مخطط الواجهة الأمامية لمستقبل GPS	47
الشكل (8-4): مخطط كتلة Correlator لمستقبل GPS	48

49.....	الشكل (4-9): الخطوط الطيفية لإشارة GPS المشفرة بـ (C/A)
49.....	الشكل (4-10): إشارة GPS مع إشارة التشويش
52.....	الشكل (4-11): طيف إشارة Spot Jamming مع الخطوط الطيفية لـ GPS
55.....	الشكل (5-1): المخطط الصندوقي لحلقة إقفال الطور
56.....	الشكل (5-2): دارات المرشح الحلقي
57.....	الشكل (5-3): دائرة المهتز المحكوم بالجهد
57.....	الشكل (5-4): مخطط حلقة إقفال الطور
59.....	الشكل (5-5): الاستجابة الترددية لحلقة إقفال الطور
60.....	الشكل (5-6): مصادر الضجيج لحلقة إقفال الطور
60.....	الشكل (5-7): بنية المخدّد
61.....	الشكل (5-8): مقسم الاستطاعة بدون ضياع
62.....	الشكل (5-9): مقسم الاستطاعة ذو ضياع
66.....	الشكل (6-1): المخطط العام لنظام التشويش
67.....	الشكل (6-2): المخطط الصندوقي المفصل لبنية نظام التشويش
68.....	الشكل (6-3): المخطط الصندوقي لحلقة إقفال الطور المعتمدة في النظام
69.....	الشكل (6-4): مقارنة الصفحة
69.....	الشكل (6-5): نبضات تيار خرج المقارن
70.....	الشكل (6-6): المرشح الحلقي
70.....	الشكل (6-7): الدارة المكافئة للجامع
72.....	الشكل (6-8): المركب الترددي SKY72300-21
72.....	الشكل (6-9): البنية الداخلية للمركب الترددي SKY72300-21
74.....	الشكل (6-10): المخطط الكهربائي الموصى به من قبل الشركة المصنّعة للمركب الترددي المزدوج
76.....	الشكل (6-11): المخطط الكهربائي للدارة بطاقة SDR
77.....	الشكل (6-12): الاستجابة الترددية والزمنية لإشارة سن منشار شبه عشوائية
77.....	الشكل (6-13): المخطط الكهربائي لدارة توليد إشارة سن المنشار شبه العشوائية
78.....	الشكل (6-14): مخطط الدارة المطبوعة PCB لبطاقة SDR
79.....	الشكل (6-15): بطاقتي SDR بعد طباعة الدارة وتجميع العناصر
81.....	الشكل (6-16): مخطط تخديم تغير التردد
82.....	الشكل (6-17): المخطط الصندوقي لبرنامج عمل معالج بطاقة توليد الإشارة شبه العشوائية
83.....	الشكل (6-18): المخطط الصندوقي لبرنامج معالج بطاقة SDR
84.....	الشكل (6-19): المخطط العملي لعملية الكتابة
85.....	الشكل (6-20): إرسال خانة Start
85.....	الشكل (6-21): انتظار الإقرار Acknowledgement
86.....	الشكل (6-22): مخطط إرسال خانة المعلومات

86.....	الشكل (6-23): إرسال خانة Stop
89.....	الشكل (7-1): مرحلة تهيئة واختبار بطاقتي SDR
90.....	الشكل (7-2): الطيف الترددي لإشارات خرج نظام التشويش في الحالة الأولى
90.....	الشكل (7-3): نظام التشويش عند التحضير للاختبارات الميدانية
91.....	الشكل (7-4): معلومات أقمار الملاحة العالمية GNSS المستقبلية قبل وبعد تشغيل نظام التشويش
91.....	الشكل (7-5): مسافات فعالية التشويش على نظامي GPS&GLONASS للحالة الأولى
93.....	الشكل (7-6): الطيف الترددي لإشارات خرج نظام التشويش في الحالة الثانية
93.....	الشكل (7-7): مسافات فعالية التشويش على نظامي GPS&GLONASS للحالة الثانية
95.....	الشكل (7-8): الطيف الترددي لإشارات خرج نظام التشويش في الحالة الثالثة
95.....	الشكل (7-9): مسافات فعالية التشويش على نظامي GPS&GLONASS للحالة الثالثة
97.....	الشكل (7-10): الطيف الترددي لإشارات خرج نظام التشويش في الحالة الرابعة
97.....	الشكل (7-11): مسافات فعالية التشويش على نظامي GPS&GLONASS للحالة الرابعة
98.....	الشكل (7-12): الطيف الترددي لإشارات خرج نظام التشويش في الحالة الخامسة
99.....	الشكل (7-13): الطيف الترددي لإشارات خرج نظام التشويش في الحالة السادسة
100.....	الشكل (7-14): مسافات فعالية التشويش على نظامي GPS&GLONASS للحالة السادسة
101.....	الشكل (7-15): الطيف الترددي لإشارات خرج نظام التشويش في الحالة السابعة
101.....	الشكل (7-16): مسافات فعالية التشويش على نظامي GPS&GLONASS للحالة السابعة
102.....	الشكل (7-17): الطيف الترددي لإشارات خرج نظام التشويش في الحالة الثامنة
103.....	الشكل (7-18): مسافات فعالية التشويش على نظامي GPS&GLONASS للحالة الثامنة
103.....	الشكل (7-19): مسافات فعالية التشويش على نظامي GPS&GLONASS للحالة التاسعة

فهرس الجداول List of Tables

8	الجدول (1-1): يظهر نتائج الاختبار لتقنيات تشويش
11.....	الجدول (2-1): يظهر معدل خطأ البتات عند استخدام عدة تقنيات تشويش
16.....	الجدول (2-1): حالات التشويش على نظامي GPS&GLONASS
31.....	الجدول (3-1): تحليل وصلة الاتصال US-SS
34.....	الجدول (3-2): ترددات الحوامل الترددية لنظام GLONASS
35.....	الجدول (3-3): أخطاء مجال المستخدم
80.....	الجدول (6-1): حالات خانات LSB لخطوط التحكم
92.....	الجدول (7-1): ترددات القفز على حوامل GLONASS
94.....	الجدول (7-2): مجالات القفز الترددي ضمن مجال عمل نظام GLONASS
96.....	الجدول (7-3): مجالات القفز الترددي ضمن مجال عمل نظام GPS
105.....	الجدول (7-4): مسافات التشويش على نظامي GPS&GLONASS وفقاً لرقم الحالة

مصطلحات البحث Glossary

المصطلح	المعنى
insertion loss	فقد إشارة الدخل
Combiner	مجمع
Carrier	حامل
Coarse Acquisition	الاقتناء الخشن
Precision	مُحكَم
Anti Spoofing	مضادّ للخداع
instantaneous repeater jammer	المشوّش المكرّر الآنيّ
Loop Filter	المرشّح الحلقي
Coherently integrated	تكامل متماسك
Correlator	الرابط
integration time	زمن التكامل
Sweep Jamming	تشويش مسحي
Global Navigation Satellite System	النظام العالمي للملاحة بالأقمار الصناعية
Tone (Spot) jamming	تشويش انتقائي؛ تشويش معيّن
Software-defined radio	الراديو المعرّف برمجياً
Aeronautical Radio Navigation Service	خدمة/ حماية الملاحة الراديوية للطيران
Frequency hopping jamming	التشويش بالقفز الترددي
Successive pulses jamming	التشويش بالنبضات المتتالية
Barrage jamming	تشويش شامل، تشويش مكثف

Acronyms المختصرات

(AVL)	<u>A</u> utomatic <u>V</u> ehicle <u>L</u> ocation
(ARNS)	<u>A</u> eronautical <u>R</u> adio <u>N</u> avigation <u>S</u> ervice
(BPSK)	<u>B</u> inary <u>P</u> hase <u>S</u> hift <u>K</u> eying
(CDMA)	<u>C</u> ode- <u>D</u> ivision <u>M</u> ultiple <u>A</u> ccess
(CW)	<u>C</u> ontinuous <u>W</u> ave
(DRFM)	<u>D</u> igital <u>R</u> adio <u>F</u> requency <u>M</u> emory
(ECEF)	<u>E</u> arth- <u>C</u> entered <u>E</u> arth- <u>F</u> ixed
(ECI)	<u>E</u> arth- <u>C</u> entered <u>I</u> ntertial
(GNSS)	<u>G</u> lobal <u>N</u> avigation <u>S</u> atellite <u>S</u> ystem
(GPS)	<u>G</u> lobal <u>P</u> ositioning <u>S</u> ystem
(GIS)	<u>G</u> eographic <u>I</u> nformation <u>S</u> ystem
(GLONASS)	<u>G</u> lobal <u>N</u> avigation <u>S</u> atellite <u>S</u> ystem
(ITU)	<u>I</u> nternational <u>T</u> elecommunication <u>U</u> nion
(IRNSS)	<u>I</u> ndependent <u>R</u> egional <u>N</u> avigation <u>S</u> atellite <u>S</u> ystem
(LFSR)	<u>L</u> inear- <u>F</u> eedback <u>S</u> hift <u>R</u> egister
(LOS)	<u>L</u> ine of <u>S</u> ight
(LFM)	<u>L</u> inear <u>F</u> requency <u>M</u> odulation
(LBS)	<u>L</u> ocation- <u>B</u> ased <u>S</u> ervices
(NavIC)	<u>N</u> avigation with <u>I</u> ndian <u>C</u> onstellation
(PLL)	<u>P</u> hase- <u>l</u> ocked <u>l</u> oop
(PNSs)	<u>P</u> edestrian <u>N</u> avigation <u>S</u> ystems
(PRN)	<u>P</u> seudo- <u>R</u> andom <u>N</u> oise
(PCB)	<u>P</u> rinted <u>C</u> ircuit <u>B</u> oard
(PSD)	<u>P</u> ower <u>S</u> pectral <u>D</u> ensity
(QZSS)	<u>Q</u> uasi- <u>Z</u> enith <u>S</u> atellite <u>S</u> ystem
(RFI)	<u>R</u> adio <u>F</u> requency <u>I</u> nterference
(RC)	<u>R</u> emote <u>C</u> ontrol
(RNSS)	<u>R</u> adio <u>N</u> avigation- <u>S</u> atellite <u>S</u> ervice
(SDR)	<u>S</u> oftware- <u>d</u> efined <u>r</u> adio
(SPS)	<u>S</u> tandard <u>P</u> ositioning <u>S</u> ervice
(SoL)	<u>S</u> afety- <u>o</u> f- <u>L</u> ife
(SAR)	<u>S</u> ynthetic- <u>A</u> perture <u>R</u> adar
(SRAM)	<u>S</u> tatic <u>r</u> andom- <u>a</u> ccess <u>m</u> emory

(SDA)	<u>S</u> erial <u>D</u> ata
(SCL)	<u>S</u> erial <u>C</u> lock <u>L</u> ine
(TDOA)	<u>T</u> ime <u>D</u> ifference <u>O</u> f <u>A</u> rrival
(UAVs)	<u>U</u> nmanned <u>A</u> erial <u>V</u> ehicle
(UTC)	<u>C</u> oordinated <u>U</u> niversal <u>T</u> ime
(WGS 84)	<u>W</u> ord <u>G</u> eodetic <u>S</u> ystem 19 <u>84</u>

الملخص Abstract

إشارات نظامي تحديد المواقع العالمي GPS&GLONASS هي إشارات طيف منثور (إشارات وصول متعددة بتقسيم الشفرة CDMA)، وهي تقاوم تداخل الترددات الراديوية، لكن مستقبلات أنظمة تحديد المواقع العالمية هي عرضة للخطر ولتأثيرات التداخل بسبب انخفاض مستوى استطاعة الإشارة المستقبلية. لهذا التداخل تأثير كبير على قدرة مستقبل (GNSS (Global Navigation Satellite System من تتبع إشارات الأقمار الصناعية. يمكن أن يؤدي هذا التداخل إلى تدهور أداء المستقبل أو إلى الحظر التام لإقتناء أو تتبع إشارة الأقمار الصناعية وبالتالي إلى فشل المستقبلات من تحقيق وظيفتها، لذا يعتبر التداخل أحد الاهتمامات الرئيسية في استخدام أنظمة تحديد المواقع العالمية للتطبيقات المدنية والعسكرية. إن أي إشارات مرسلة بتردد مطابق أو بالقرب من المجالات الترددية لأنظمة GNSS سوف تتداخل مع الإشارة المستقبلية.

الأنواع المختلفة من التداخل هي: التداخل غير المتعمد الناتج عن الأنظمة الأخرى التي تستخدم نفس المجالات الترددية، والتداخل المتعمد المعروف أيضاً باسم التشويش. يوجد نوعين من التشويش: التشويش التكراري الذي يعتمد على إرسال إشارات وهمية ومطابقة للإشارة الأصلية لكن بمعلومات خاطئة أو بدون معلومات مفيدة، والنوع الآخر للتشويش هو التشويش الضجيجي الذي يعتمد على إرسال إشارات بنفس الترددات لتؤدي إلى تدهور نسبة الإشارة المستقبلية للضجيج.

للتشويش الضجيجي عدة تقنيات نذكر بعضها:

- Barrage jamming.
- Sweep Jamming.
- Successive pulses jamming.
- Tone (Spot) jamming.
- Frequency hopping jamming.

في هذا البحث سوف نقوم بدراسة فعالية تقنيات تشويش ثلاث هي (Sweep, Spot, Frequency hopping jamming)، إضافة إلى تقنيتين هجينتين هما (Sweep with frequency hopping) و (Spot with sweep Jamming).

حيث تمت الدراسة بدايةً بدراسة تفصيلية لأنظمة الملاحة GNSS ودراسة مكونات هذه الأنظمة وتحليل إشاراتها ودراسة تابع الترابط الذاتي والكثافة الطيفية لكود تشفير GPS، إضافة لدراسة أنواع التشويش وتقنياته ومن ثم النظم الجزئية لنظام تشويش مقترح تصميمه وبناءه. ليتم بعدها تصميم وتصنيع بطاقة (SDR (software defined radio تستخدم لتوليد إشارات التشويش. وكتابة برامج تشغيل هذه البطاقة

وبرامج توليد إشارات التشويش. تم اختبار فعالية تقنيات التشويش بتسع حالات مختلفة عن طريق إجراء تسع تجارب وقياسات مخبرية بالإضافة إلى سبع وعشرون تجربة حقلية ميدانية. تم دراسة فعالية هذه التقنيات بالتشويش على مستقبلات أنظمة تحديد الموقع الموجودة في طائرات Drone صغيرة نوع (DJI PHANTOM 3 Pro & Pro MAVIC) والمستقبلات الموجودة في الهواتف النقالة الحديثة. هذه التجارب أجريت مع مراعاة الحفاظ على نفس شروط التجارب من حيث استطاعة إرسال إشارات التشويش التي كانت $[-10\text{dBm}]$ $[0.1\text{mW}]$ ونوع هوائي الإرسال وموضعه. إلى جانب هذه التجارب والقياسات العملية تم إجراء تحليل رياضي لإشارة خرج مستقبل GNSS بالحالة الطبيعية دون وجود تأثير خارجي، وبحالة وجود إشارات تشويش نوع Spot jamming و Sweep jamming، وبذلك تم استنتاج العلاقات الرياضية المعبرة عن استطاعة خرج المستقبل ونسبة إشارة الحامل إلى الضجيج وإيجاد المعاملات التي تؤثر على هذه النسبة. أظهرت نتائج التجارب أن أكثر تقنيات التشويش فعاليةً هي عندما نستخدم تقنية Spot With Sweep jamming للتأثير على GPS وتقنية Sweep jamming للتأثير على GLONASS حيث بلغت مسافة التشويش على النظامين 65m على المستقبلات الموجودة في طائرات Drone ومسافة 50m على المستقبلات المحمولة باليد. أما أقل تقنيات التشويش فعاليةً كانت تقنية Spot with Frequency Hopping Jamming.

كما تمت مقارنة نتائج الاختبارات مع العلاقات الرياضية المستنتجة. أظهرت هذه المقارنة أنه على الرغم من أن العلاقات الرياضية يمكن أن تتنبأ بتأثير تغيير بعض معاملات إشارات التشويش على خرج المستقبل، إلا أنها ليست محددة بما يكفي للتنبؤ بأداء المستقبل الفعلي. كما وأظهرت المقارنة أنه على الرغم من فائدة النتائج الرياضية إلا أنها لا يمكنها شرح جميع القياسات الميدانية، ويتعلق ذلك بحقيقة أن الخصائص الدقيقة للتداخل (Radio frequency interference) RFI المصادفة في القياسات الميدانية غير معروفة بشكل عام، (لارتباط ذلك بخصائص الوسط المحيط الذي يؤثر على انتشار الأمواج الكهرومغناطيسية...).

المقدمة :General Introduction

نظام تحديد الموقع العالمي (Global Positioning System) ويرمز له GPS هو نظام ملاحة عبر الأقمار الصناعية حيث يقوم بتوفير معلومات عن الموقع والوقت في جميع الأحوال الجوية على أي ارتفاع [3] [2] [1]. يوفر النظام قدرات مهمة للمستخدمين العسكريين والمدنيين والتجارين في جميع أنحاء العالم. أنشأت الولايات المتحدة النظام وهي التي تحافظ عليه وجعلت الوصول له مجاني لأي شخص لديه جهاز استقبال GPS. بدأت الحكومة الأمريكية مشروع GPS في 1973 للتغلب على قيود نظام الملاحة السابق، حيث دمجت أفكار سابقة من ضمنها دراسات هندسية سرية من ستينات القرن الماضي. وقد طورت وزارة الدفاع الأمريكية النظام الذي يستخدم في الأصل 24 قمراً صناعي، وأصبح النظام يعمل بشكل كامل في 1995.

إضافة إلى GPS، هناك أنظمة أخرى تستخدم حالياً أو هي قيد التطوير. أنشئ نظام الملاحة الروسي GLONASS بالتزامن مع GPS، لكنه عانى من تغطية ناقصة للكرة الأرضية حتى منتصف عقد 2000.

يمكن استخدام GLONASS إلى جانب GPS وبذلك يوفر المزيد من الأقمار الصناعية وتصبح إمكانية تحديد الموقع أكثر دقة [4] [5]، هنالك أيضاً نظام Galileo التابع للاتحاد الأوروبي المكون من 30 قمر صناعي، 24 قمر منها في الخدمة و6 منها احتياط. بدأ هذا النظام في تقديم خدماته في 2015 وكان من المتوقع أن يعمل بشكل كامل بحلول 2020.

تدعى جميع هذه الأنظمة الملاحية بـ [6] GNSS. تستخدم أنظمة الأقمار الصناعية للملاحة العالمية GNSS مثل GPS و Galileo و GLONASS الموجات الراديوية، ترسل هذه الموجات عن طريق هوائيات الأقمار الصناعية ليتم استقبالها من قبل المستخدمين بدءاً من الرحالة عبر هواتفهم النقالة المزودة بأنظمة تحديد الموقع أو عبر مستقبلات تحديد موقع خاصة، وأنظمة الملاحة في السيارات والأقمار الصناعية في المدارات الأرضية المنخفضة إلى الطائرات بأنواعها، حيث تعتبر أنظمة تحديد المواقع هي المكون الأساسي والأهم في الطائرات من دون طيار أو ما تسمى "Drone" والتي أصبحت الثورة الثالثة في الحروب للقرن الحالي، لتكون الطائرات الموجهة أو المبرمجة مسبقاً للطيران من دون طيار أهم الأسلحة المستخدمة في الحروب الحديثة، هذه الطائرات تختلف عادة أحجامها باختلاف استخداماتها، كالتصوير

وحمل القذائف وأغراض المراقبة والهجوم، إضافة إلى استخداماتها في مكافحة الحريق ومراقبة خطوط الأنابيب.

تحتوي موجات الأقمار الصناعية المرسلّة على كود تشفير معدل يستخدم لتشفير رسالة الملاحة، والتي يمكن أن يستخدمها المستقبل لتقدير موقع القمر الصناعي المرسل لهذه الأمواج. عندما يقوم المستقبل بتعقب أربعة أقمار صناعية أو أكثر، يمكنه عندها استخدام معلومات موقع الأقمار لحساب موقعه. للحصول على دقة أكثر في تحديد المواقع، يمكن للمستقبلات أيضاً تتبع طور الموجات الحاملة الترددية للإشارات مباشرة بدلاً من تعقب كود التشفير المعدل فقط.

يمكن أن يؤدي تداخل الترددات الراديوية RFI سواء كان هذا التداخل متعمد أو غير متعمد إلى تقليل أداء وكفاءة مستقبلات GNSS بشكل كبير أو حتى حظر إقْتِفاء أو تتبع الأقمار الصناعية تماماً. بالنسبة لمستقبل GNSS، يمكن أن يؤدي الأداء المتدهور للمستقبلات إلى قياسات مدى وطور إشارة أقل دقة مما ينتج عنه حساب موقع بدقة أقل أو حتى فشل المستقبل في حساب وتحديد الموقع. ولأن تطبيقات GNSS الحديثة تتطلب دقة عالية بشكل متزايد، فإن هذا يجعل موضوع التداخل في غاية الأهمية [7]. الغرض من هذه الدراسة هو التحقق من فعالية التداخل المتعمد (التشويش) باعتماد تقنيات تشويش مختلفة تستخدم لهذا الغرض، ودراسة أثرها على أداء المستقبلات سواء كان الهدف لدراسة إمكانية كشف وتجنب التشويش أو لزيادة فعالية التشويش عليها، إضافةً إلى ذلك القيام بالتحليل الرياضي لإيجاد النماذج الرياضية المعبرة عن إشارات التشويش عند المستقبل.

هناك اعتبارات أخرى لهذه الدراسة وهي أنه بالرغم من إجراء العديد من الأبحاث لاختبار تأثير التشويش على مستقبلات GPS، إلا أن هذه الأبحاث كانت محدودة ولم تكن تجري على تقنيات تشويش حديثة الظهور مثل تقنية Frequency Hopping Jamming وعلى عدة مستقبلات، إضافة إلى أنه حتى الآن لم يتم اختبار التشويش على نظام GLONASS بنفس الطريقة. يؤدي هذا إلى الأسئلة البحثية التالية:

1. ما هي النماذج الرياضية المعبرة عن تأثير التشويش على خرج مستقبل GNSS؟
2. ما هو تأثير التشويش على مستقبلات نظام تحديد الموقع GLONASS وما هي التقنيات الأكثر فعاليةً للتشويش عليه؟
3. ما هي تقنيات التشويش الأكثر فعاليةً للتشويش على مستقبلات نظام تحديد الموقع GPS؟
4. ما مدى فعالية وتأثير تقنية Frequency Hopping Jamming على مستقبلات الملاحة (GPS&GLONASS) الموجودة في طائرات Drone والأجهزة المحمولة باليد؟

5. ما هي مواصفات إشارة التشويش المطلوبة لإنشاء منطقة حظر على استخدام أنظمة GPS &

GLONASS، محددة المواصفات لتجنب التأثير على الأهداف الصديقة والمفيدة؟

6. ما هي العلاقات الرياضية المعبرة عن C/N بالنسبة للمستقبل بوجود إشارات التشويش؟

للإجابة على هذه الأسئلة، تم إجراء دراسة لتقييم آثار التشويش على خرج مستقبلات GNSS الثابتة منها والمحمولة في طائرات Drone. أجريت هذه الدراسة في جامعة دمشق، سوريا وبالتعاون مع المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا. يتألف جزء من الدراسة من تصميم وتنفيذ منصة SDR التي سوف تقوم بتوليد إشارات التشويش وفقاً لتقنيات مختلفة، كما يتشكل جزء كبير من الدراسة من اختبارات ميدانية أجريت لدراسة فعالية هذه التقنيات على مستقبلات GNSS، إضافة إلى ذلك فهناك جزء إضافي أيضاً من البحث يتضمن التحليل الرياضي لإشارة المستقبل وتأثير إشارات التشويش عليه. يمكن أن يكون لكلٍ من نتائج التحليل الرياضي ونتائج الاختبارات الميدانية فائدة لعدة أسباب:

1. إيجاد المعاملات والمحددات التي تؤثر على استطاعة إشارة التشويش عند خرج المستقبل وفقاً

لنموذج رياضي محدد يجيب على أسئلة البحث رقم 1 و6.

2. توفير معلومات عن تأثير التشويش على أنظمة ومستقبلات GLONASS تجيب على سؤال

البحث رقم 2.

3. توفير معلومات عن أكثر التقنيات فعاليةً للتشويش على نظامي (GPS&GLONASS) تجيب

عن أسئلة البحث رقم 2 و3.

4. إمكانية استخدامها للتنبؤ بأداء المستقبل في موقع بمستويات تشويش معروفة.

5. معرفة مدى تأثير تقنيات حديثة الظهور على أداء مستقبلات الملاحة، يجيب عن سؤال البحث

رقم 4.

6. إمكانية استخدامها لاكتشاف وتقدير تداخل الإشارات في الاستقبال ودراسة أثرها على سلوك

وأداء المستقبل.

7. إمكانية استخدامها لتحديد متطلبات ومواصفات إشارات التشويش لإنشاء منطقة حظر محددة

تجيب عن سؤال البحث رقم 5.

الفصل الأول

تحليل الدراسة

Problem Study and Analysis

1.1 مشكلة البحث وأهميته:

في وقتنا الحالي أصبحت التجهيزات التي تحتاج في عملها لأنظمة تحديد الموقع كثيرة مثل: أجهزة الهواتف النقالة، السيارات، السفن، والطائرات.. إلخ وقد قدمت تطوراً علمياً وتكنولوجياً كبيراً للبشرية إلا أن هذا التطور التكنولوجي قد يستخدم لأغراض تخريبية أو لانتهاك خصوصية، إذ تشكل الطائرات وأجهزة التعقب (التي تستخدم هذه الأنظمة) خطراً أمنياً محتملاً على كثير من المنشآت، بما في ذلك المطارات والسجون ومرافق الطاقة والمكاتب الحكومية، والقواعد العسكرية، لذا هذا يتطلب في بعض الأحيان فرض منطقة حظر لأنظمة تحديد الموقع بقطر معين، وليس معروفاً تماماً الطريقة الأفضل للتشويش والتقنية الأكثر فعالية مع معرفة الحدود الحقيقية للتشويش لتجنب التأثير على الأهداف الصديقة كالملاحة الجوية والبحرية مثلاً، لدى الدول العظمى كالولايات المتحدة الأمريكية وجمهورية روسيا الاتحادية أنظمة تشويش إلكتروني على أنظمة تحديد الموقع وهي أجهزة معقدة جداً وباهضة الثمن إضافة لكونها حكرًا لبعض الدول، مما دفعنا للاهتمام بدراسة فعالية تقنيات التشويش لتصميم وبناء أنظمة تشويش إلكتروني محلية الصنع عالية الفعالية وبأقل تكاليف ممكنة.

توجد أنظمة عالمية متنوعة لتحديد الموقع مثل: GPS, GLONASS, GALILEO, BEIDOU مما يتوجب بناء ودراسة فعالية التشويش على أنظمة تحديد موقع محددة ووفق لطرائق وتقنيات مختلفة نذكر منها:

- Barrage jamming.
- Sweep Jamming.
- Successive pulses jamming.
- Tone (Spot) jamming.
- Frequency hopping jamming.
- Protocol-Aware jamming.

قمنا في هذا البحث بدراسة عدة تقنيات وتقدير فعاليتها في التشويش على أنظمة تحديد الموقع GPS@L1, GLONASS@G1 اعتمدنا في تنفيذ البحث على بطاقة SDR ذاتية القيادة تم تصميمها وتنفيذها محلياً، حيث قمنا بإعدادها وبرمجتها لتوليد إشارات التشويش الإلكترونية وفقاً لتقنيات مختلفة.

2.1 أهداف البحث:

أ- يهدف البحث إلى تصميم وتنفيذ جهاز تشويش على أنظمة تحديد الموقع GPS & GLONASS وذلك من أجل فرض منطقة حظر محددة المواصفات وذلك من خلال:

- دراسة وتحليل إشارات أنظمة تحديد الموقع العامة GPS-L1 و GLONASS-G1.
- تصميم وتنفيذ بطاقة SDR خاصة ذاتية القيادة.
- دراسة طرق توليد إشارات التشويش بالاعتماد على بطاقة SDR.
- دراسة معاملات إشارات التشويش المطلوبة.

ب-دراسة تجريبية لفعالية تقنيات التشويش المطبقة في جهاز تشويش مطوّر وذلك وفق معامل نصف قطر دائرة الحظر وذلك من خلال:

- دراسة وتحليل كل تقنية من تقنيات التشويش على حدة.
- دراسة إمكانية إجراء وتنفيذ هذه التقنيات وفقاً للإمكانيات المتاحة.
- تنفيذ وتطبيق هذا التقنيات باستخدام بطاقة SDR.
- دراسة مدى تأثير وفعالية كل تقنية من تقنيات التشويش على أنظمة تحديد الموقع المحمولة باليد أو الموجودة في بعض الطائرات المسيّرة الصغيرة مثل PHANTOM 3 PRO و MAVIC PRO

ت-دراسة تحليلية: عن طريق دراسة رياضية لإيجاد النماذج الرياضية المعبرة عن تأثير إشارات التشويش على خرج جهاز الاستقبال.

1.2.1 فوائد البحث:

- تحديد تقنية التشويش الأكثر تأثيراً والأكثر فعالية وبأقل تكلفة ممكنة.
- إمكانية تطبيق البحث على مجالات طيفية مختلفة.
- تقدير مدى فعالية تقنيات تشويش حديثة الظهور على التشويش على أنظمة تحديد الموقع.
- إيجاد النماذج الرياضية التي تظهر تأثير إشارات التشويش على مستقبلات تحديد الموقع.

➤ إمكانية تطبيق البحث لتأثير والتشويش على أنظمة مختلفة من أنظمة تحديد الموقع المختلفة الأخرى على سبيل المثال: Galileo (EU), BeiDou (China), QZSS (Japan), IRNSS .or NavIC (India)

➤ إمكانية تطبيق البحث لتأثير والتشويش على أنظمة اتصالات أخرى مثل أنظمة الاتصالات المستخدمة في الطائرات المسيّرة الصغيرة، أنظمة اتصالات الهاتف النقال GSM وبأجياله المختلفة 2G,3G,4G أنظمة اتصالات التي تعتمد على WIFI وWIMAX أنظمة الاتصالات المستخدمة في أجهزة التحكم عن بعد RC (Remote control) وبعض أنظمة الاتصالات العسكرية.

2.2.1 أما الجهات التي يمكن أن تستفيد من البحث فهي:

- الجامعات والمعاهد التقنية والهندسية وذلك من خلال الاستفادة من بطاقة SDR في مخابر الاتصالات ومعالجة الإشارة وذلك لإجراء تطبيقات وتجارب مختلفة كثيرة.
- وزارة الدفاع.
- وزارة الداخلية.
- الجمارك.
- وزارة النفط.
- وزارة الصناعة.
- الشخصيات المهمة الاعتبارية.

3.1 حدود البحث:

تم إجراء التجارب على المنظومة المصممة للتحقق عملياً من فعالية عدة تقنيات مستخدمة للتشويش بتسع حالات ضمن سبع وعشرون تجربة حقلية وتسع تجارب وقياسات مخبرية تم إجراء التجارب الحقلية على أنظمة تحديد الموقع الموجودة في الهواتف النقالة والموجودة في طائرة DJI PHANTOM 3 Pro والطائرة DJI MAVIC PRO تحتوي المنظومة على بطاقتي SDR وبطاقة لتجميع إشارات التشويش وهوائي إضافة إلى وحدة تغذية مستمرة خارجية.

أجريت التجارب الميدانية في حقل تجارب خاص بالتعاون مع:

- مخابر قسم الإلكترونيات والاتصالات في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية (الهمك) بدمشق طريق المطار الدولي.

- المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا.

4.1 الدراسات المرجعية السابقة:

تمت مراجعة الدراسات السابقة مراجعة تحليلية من أجل استخلاص العبر والاستفادة منها لتقليل الكلفة والوقت والجهد. بالإضافة إلى تحديد مدى مساهمة النتائج التي تم التوصل إليها في تلك الدراسات ذات الصلة بموضوع البحث المنفذ.

وفيما يلي عرض لبعض الدراسات السابقة التي أنجزت من قبل باحثين آخرين حول نفس المشكلة:

1. نشر عام 2018 في مجلة IEEE كل من جواو غاسبار وريباتو فيريرا وزملائهم من جامعة لشبونة قسم العلوم وتكنولوجيا المعلومات [8] بحثاً حول تصميم نظام تشويش على أنظمة الملاحة الجوية الموجودة في UAVs (Unmanned Aerial Vehicle) بالاعتماد على تقنيات SDR، عن طريق استخدام منصة BladeRF X40 من شركة Nuand ومجموعة أدوات تطوير برمجية GNU Radio تمت دراسة وتقييم العديد من تقنيات التشويش، مع الأخذ في الاعتبار الكفاءة الطيفية وكفاءة الطاقة والتعقيد، تم تصميم نظام تشويش على أنظمة تحديد الموقع GPS من الصنف L1 عند المجال الترددي 1575.42 MHz باستخدام خمس تقنيات تشويش هي:

- Barrage jamming.
- Sweep Jamming.
- Successive pulses jamming.
- Tone jamming.
- Protocol-Aware jamming.

تم إجراء الاختبار على إشارة GPS مزيفة تم توليدها باستخدام محاكاة متوفرة في github بالاعتماد على

منصات SDR مثل HackRF, BladeRF, ADALM-Pluto, USRP

نتائج الدراسة: توصل هذا البحث إلى أن تقنية التشويش Barrage jamming أفضل تشويش يمكن القيام به في حالة عدم وجود أي معرفة بالإشارة المستهدفة [8]، حيث يتم تحقيق حظر الشبكات اللاسلكية عن طريق توليد إشارة ضجيج مستمرة باستطاعة أعلى من استطاعة الإشارة المستقبلة، الجانب السلبي لهذا النهج هو ارتفاع كمية الطاقة المستهلكة مما يؤدي في انخفاض كفاءة استخدام الطاقة، يظهر الجدول (1-1) نتائج التجارب العملية لتقنيات التشويش.

تعتبر تقنية التشويش Sweep jamming حل فعال، لكن يحتاج إلى توليد إشارة Chirp أي يزيد أو ينقص ترددها بمرور الوقت، كما يمكن أن تُحدّ المعدات المستخدمة من كفاءة هذه التقنية، أيضا تقنية التشويش Successive Pulses Jamming له كفاءة تشويش أقل بالمقارنة مع باقي التقنيات. في حين، تقنية تشويش Tone jamming لا تستهدف كامل المجال الترددي لإشارة GPS، فقط يستهدف الحامل الترددي عند تردد 1.57542GHz وفعالية هذا التشويش جيدة مع أقل استطاعة مرسله.

تقنية تشويش Protocol-Aware jamming تمكنت هذه التقنية من حظر إشارات GPS في جهاز الاستقبال، وتبين أنها تقنية أكثر فاعلية مقارنة بتشويش Barrage.

الجدول (1-1): يظهر نتائج الاختبار لتقنيات تشويش [8]

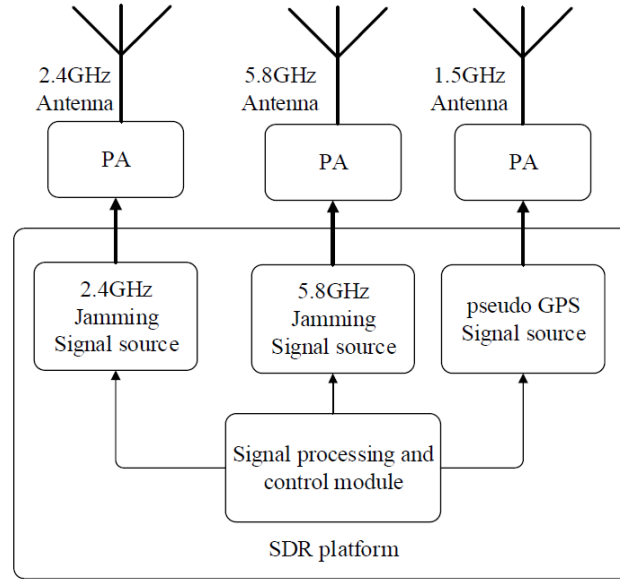
	5 meters	10 meters	15 meters	20 meters	25 meters
<i>Barrage Jamming</i>	✓	✓	✓	✓	✓
<i>Sweep Jamming</i>	✓	✓	✓	✓	✓
<i>Successive Pulses Jamming</i>	✓	X	X	X	X
<i>Tone Jamming</i>	✓	✓	✓	✓	X
<i>Protocol-Aware Jamming</i>	✓	✓	✓	✓	✓

Note: ✓ → GPS receiver without location

X → GPS receiver with location

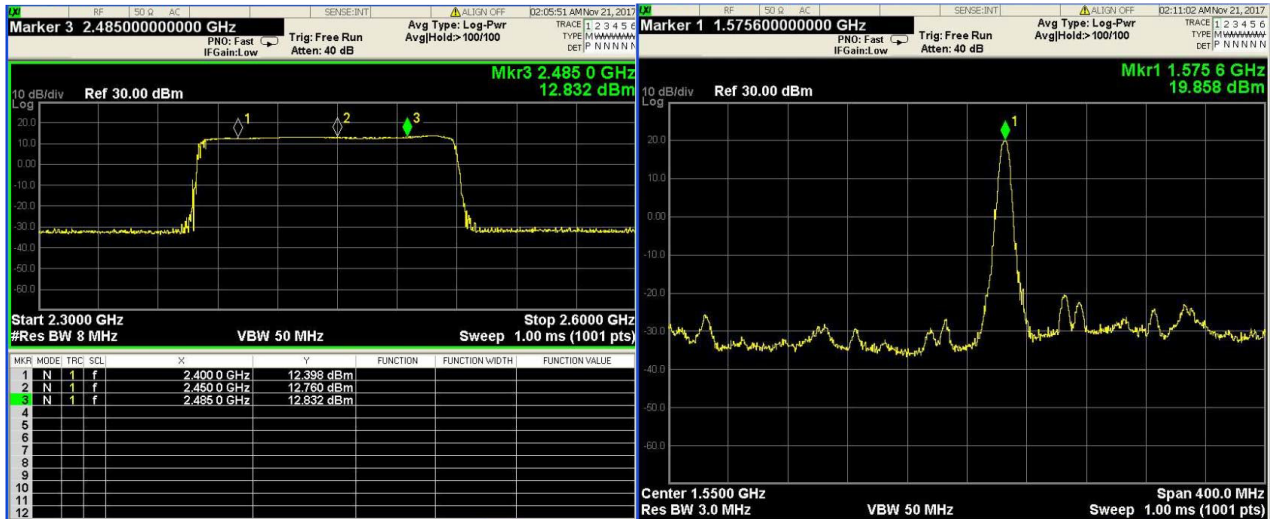
2. نشر عام 2018 في مجلة IEEE كل من Ling Fang و Hong Li Zhou وزملائهم من جامعة Xidian University "شيددين" الصين في مخبر العلوم وتكنولوجيا الهوائيات والميكروية [9]، بحثاً حول تصميم نظام تشويش على الطائرات بدون طيار UAVs بالاعتماد على تقنيات SDR بهدف التأثير على قناة الملاحة الجوية والاتصال للطائرات المسيّرة بدون طيار، قام الباحثون بتأثير على نظام تحديد الموقع للطائرة عن طريق إنشاء إشارة GPS وهمية تعطي الطائرة معلومات مزيفة عن موقع افتراضي حيث جعل هذا الموقع في منطقة حظر الطيران وذلك عند التردد 1575.42MHz باستطاعة 20dBm كما قاموا باعتماد تقنية تشويش Sweep-frequency jamming لتوليد إشارة القمع "التشويش" على قناة الاتصال عند المجالين الترددين (5.7GHz-5.8GHz) و (2.4GHz-2.485GHz)، أعتمد هذا البحث على منصة SDR نوع HackRF One مقادة عن طريق حاسب Raspberry pi 2، يبين الشكل (1-1) مخطط بنية جهاز التشويش، استخدام مكبر SBB-5089 كمكبر قيادة، والذي يمكن أن يقدم استطاعة قدرها 20dBm، بالإضافة لاستخدام RF LDMOS A2I25D025N كمكبر نهائي له ربح 31dB يعطي استطاعة خرج تصل إلى 25Watt، أما لإشارة تشويش 5.8GHz تم اعتماد مكبر SE5004L لشركة

skyworks كمكبر قيادة لتوفير ربح 26dB، ومكبر استطاعة RF T2G6003028 من شركة Qorvo له ربح 15dB ليعطي استطاعة خرج تصل إلى 12Watt.



الشكل (1-1): المخطط العام لبنية جهاز التشويش [9]

نتائج البحث: عندما يتم تشغيل وحدة تشويش GPS تختفي إشارة GPS الخاصة بـ UAV مؤقتاً، ثم يتم استرداد إشارة GPS على الفور، ولكن الإشارة الآن هي إشارة خداع افتراضية يتم إجبار الطائرات بدون طيار على الهبوط بسبب وجودها في منطقة حظر [9]، يظهر الشكل (2-1) إشارات تشويش على كلاً من إشارة الملاحة GPS وإشارة التشويش على قناة التحكم 2.4GHz



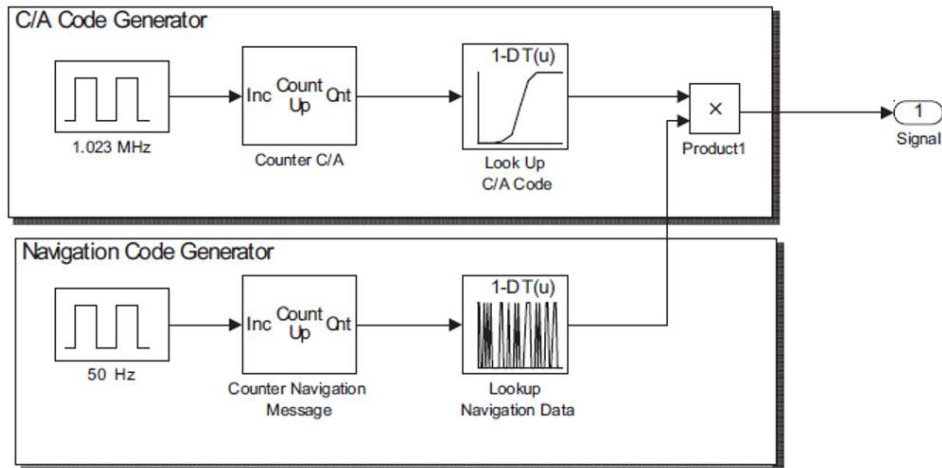
الشكل (2-1): إشارة تشويش GPS عند التردد 1.575GHz، وإشارة تشويش (2.4-2.485GHz) [9]

بالنسبة لاختبار التشويش على قناة اتصال الطائرة تم إيقاف تشغيل نوع معين من الطائرات بدون طيار. عند تشغيل وحدة التشويش على قناة الاتصال تصبح إشارة التحكم في UAV ضعيفة، وتتقطع عملية نقل الصورة، ولا يمكن التحكم بالطائرة بدون طيار حتى يتم إجبارها على الهبوط.

3. نشر عام 2019 في مجلة IEEE كل من Esat Elezi وAli Boyacı وزملائهم من جامعة إسطنبول [10]، بحثاً حول تأثير التشويش الإلكتروني على إشارات GPS تم من خلال تقييم عدة تقنيات من التشويش وتم إجراء مقارنة بينها وهي:

- Pulse Jamming (PJ) - Barrage Noise Jamming (BNJ)
- Spot Jamming (SJ) - Sweep Jamming (SWJ)

تم إنشاء إشارة نظام تحديد المواقع (GPS) وإشارات التشويش المستخدمة في هذه الدراسة بالاعتماد على MATLAB، تمت المقارنة بمراقبة معدل خطأ البتات لكل تقنية، حيث تم محاكاة إشارة GPS من خلال بيئة البرمجة الرسومية Simulink كما هو موضح في الشكل (3-1).



الشكل (3-1): توليد إشارة GPS عن طريق Simulink [10]

نتائج البحث: النتائج الموضحة في

الجدول (2-1)، يتصف Spot Noise Jamming بأنه أعلى تأثير للتشويش بسبب استخدام كامل استطاعة إشارة التشويش على تردد واحد، من ناحية أخرى فإن التشويش على Sweep Noise لديه أقل تأثير للتشويش نظراً لأن استطاعة إشارة التشويش التي يتم نشرها على ترددات مختلفة [10]، يظهر الجدول (2-1) معدل خطأ البتات المحسوب عن طريق MATLAB لإشارة GPS الافتراضية.

الجدول (2-1): يظهر معدل خطأ البتات عند استخدام عدة تقنيات تشويش [10]

TABLE I
COMPARISON OF JAMMING TYPES ON BER.

Jamming Type	BER (%)
Pulse Jamming	4% - 8%
Spot Jamming	18%
Barrage Noise Jamming	14%
Sweep Jamming	2% - 4%

الخاتمة:

في الدراسات المرجعية للبحوث السابقة، لم يذكر الباحثون نوع الهوائيات المستخدمة ولا ربحها ولا فيما كانت موجهة أو غير موجهة كما أنه لم يتم تحديد أنواع الطائرات أو الأجهزة التي قاموا بإجراء التجربة عليها وفيما إذا كانت المسافة المذكورة ارتفاع أو مسافة على سطح الأرض، ولم يتناول البحث معظم مستقبلات الملاحة الجوية وتحديد الموقع الموجودة في طائرات UAVs التي أصبحت تعتمد على عدة أنظمة تحديد موقع معاً مثل GPS, GLONASS.

لعلّ أهم ما يميز بحثنا هذا:

- إيجاد النماذج الرياضية التي تعبر عن أثر إشارات التشويش على مستقبلات GNSS.
- دراسة فعالية تقنيات تشويش حديثة الظهور مثل: Frequency Hopping Jamming ودراسة تأثيرها على مستقبلات GNSS.
- دراسة فعالية تقنيات تشويش هجينة تدمج بين تقنيتين مختلفتين.
- معظم البحوث السابقة لم تتناول التشويش على أنظمة GLONASS إلى جانب التشويش على أنظمة GPS معاً.
- تصميم نظام تشويش قادر على توليد إشاراتي تشويش مجمعة معاً ومرسلة باستخدام هوائي إرسال واحد لتستهدف التأثير على مستقبلات GPS&GLONASS.
- تم تصميم نظام قابل للحمل ذاتي القيادة (ليس بحاجة للقيادة عن طريق الحاسب).

- يقدم البحث نظاماً مرناً يمكن من خلاله توليد أي إشارة تشويش ترددية برمجياً وذلك ضمن المجال الترددي [50MHz-2.5GHz] ووفق عدد واسع من التقنيات دون إجراء أي تعديلات على بطاقة SDR.
 - اعتمد النظام على جمع إشارات تشويش GLONASS وإشارات تشويش GPS بخط نقل واحد وإرسالها باستخدام هوائي واحد.
- قدم هذا البحث إلى جانب التحليل الرياضي، تقديراً تجريبياً لفعالية عدد من تقنيات التشويش وذلك بعد إجراء عدد كبير نسبياً من التجارب الحقلية والميدانية على عدة مستقبلات مع مراعاة تحقيق نفس شروط التجارب من حيث نوع الهوائي وربحه وموقعه واستطاعة الإشارات المرسله وحتى نفس الشروط المناخية والطقسية.

الفصل الثاني

منهج البحث والحلول

Research Methodology and solutions

1.2 مقدمة:

يقدم هذا الفصل وصفاً للطريقة المقترحة والحلول المطروحة والمستخدمه للمشكلة، كما يستعرض شرح للأدوات المستخدمة أثناء الدراسة، والعينة الخاضعة للاختبار وفق الأدوات المعينة مسبقاً. وأخيراً شرح مقتضب للقسم التطبيقي، من شرح للنظام المقترح والبرامج المصممة والمنفذة ومخططاتها الصندوقية والانسيابية.

2.2 توصيف الحلول المقترحة:

تعتبر إشارات التردد الراديوي من أي مصدر غير مرغوب فيه والتي يتلقاها مستقبل GNSS بمثابة تداخل أو تشويش. يمكن أن تتدهور نتيجة هذا التداخل دقة الملاحة أو تؤدي إلى فقدان الكامل لمتبع المستقبل لإشارات الأقمار [11].

يفرق [12] Matthias Wildemeersch و [6] Hofmann-Wellenhof بين التداخل المقصود والتداخل غير المقصود، يمكن أن يأتي التداخل غير المقصود من أجهزة البث التلفزيوني وأجهزة الإرسال ذات التردد العالي جداً والأجهزة الإلكترونية الشخصية، النتائج التي توصلت إليها فيما يتعلق بالتداخل غير المقصود في تقرير Volpe [13] كانت على أن نظام تحديد المواقع العالمي (GPS) عرضة لمثل هذا التداخل وكانت التأثيرات ملحوظة للغاية لمستخدمي SPS(Standard Positioning Service) الذين يستخدمون تردد واحد. كما اعتبرا أن أي إشارة تداخل مقصودة تعمل بنفس المجال الترددي لأنظمة الملاحة عبر الأقمار الصناعية GNSS إشارة تشويش، قد تؤدي لإخراج مستقبلات GNSS عن الخدمة. من هنا يعتبر التشويش الإلكتروني هو أحد أشكال الحرب الإلكترونية، حيث يقوم المشوش بإرسال إشارات بتجاه التجهيزات التي تستخدم أنظمة تحديد الموقع من أجل إبطال فعالية هذه الأنظمة، إشارات

التشويش المرسل ذات استطاعة أعلى من الإشارة الحقيقة تسبب إشباع مستقبلات هذه الأنظمة. يوجد منهجين رئيسين للتشويش:

- التشويش الضجيجي الذي يعتمد على توليد إشارة ضجيج ذات تردد مطابق لتردد عمل جهاز الاستقبال.
- التشويش التكراري الذي يعمل بمبدأ توليد إشارة مطابقة لإشارة المستقبل توهم المستقبل على أنها إشارة حقيقة.

سوف ندرس ونحلل في الفصل الرابع تقنيات كل من منهج التشويش الضجيجي ومنهج التشويش التكراري لم نعلم بتطبيق منهج التشويش التكراري في بحثنا، نظراً للتعقيد الكبير ولحاجة هذا المنهج لفك تشفير وتعديل إشارات أنظمة تحديد الموقع المستقبلية وتغيير بارامترات معلوماتها ليتم إرسالها لاحقاً، إذ هو أمر في غاية التعقيد نظراً لأن خوارزميات التشفير والتعديل ليست مفتوحة المصدر، اعتمدنا في بحثنا هذا على منهج التشويش الضجيجي، عن طريق دراسة وتقدير فعالية خمس تقنيات يمكن تطبيقها للتشويش على أنظمة تحديد الموقع GPS L1 عند التردد 1575.42MHz و نظام GLONASS G1 عند المجال الترددي (1593-1610MHz)، يتم توليد إشارات تقنيات التشويش بالاعتماد على منصة SDR قمنا بتصميمها وتنفيذها وهي التي تعتمد في عملها على مبدأ (PLL (phase-locked loop، سوف تقوم منصة SDR بتوليد إشارات التشويش من خلال ثلاث تقنيات هي

- Spot Jamming
- Sweep Jamming
- Frequency Hopping jamming
- إضافة إلى التقنيات الثلاث قمنا بتجربة دمج تقنيتين معاً:
- Sweep Jamming With Frequency Hopping jamming
- Spot Jamming with Sweep Jamming

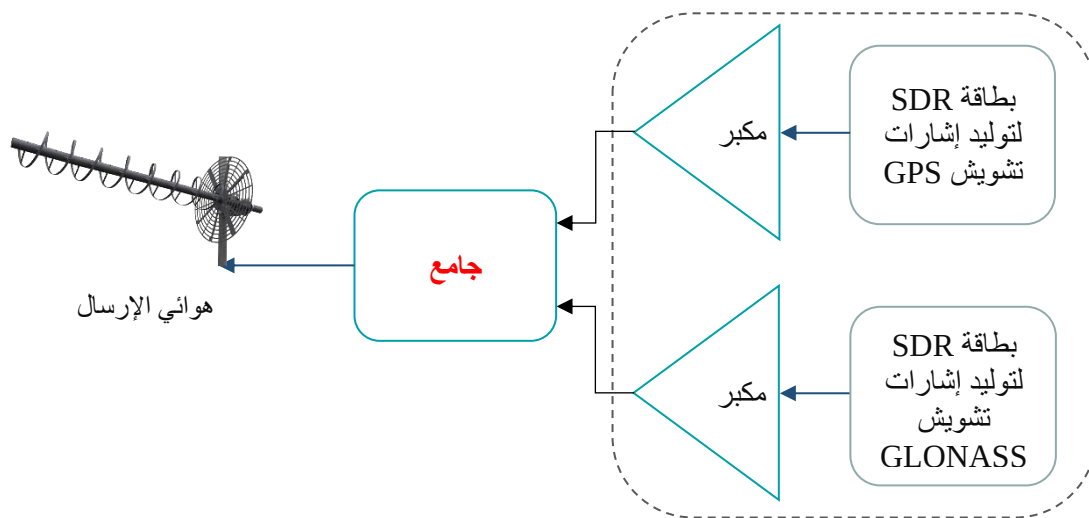
تم توليد إشارات هذه التقنيات برمجياً وظهر لدينا 9 حالات مذكورة وفق الجدول (1-2) التالي:

الجدول (1-2): حالات التشويش على نظامي GPS&GLONASS [الباحث]

رقم الحالة	GPS L1 (1575.42MHz)	GLONASS G1(1593-1610MHz)
1	Spot Jamming with Sweep Jamming بتردد مركزي 1575.42MHz	Sweep Jamming بعرض مجال 1593-1610MHz
2	Spot Jamming with Sweep Jamming بتردد مركزي 1575.42MHz	Frequency Hopping Jamming قفز ترددي على 14 تردد
3	Spot Jamming with Sweep Jamming بتردد مركزي 1575.42MHz	Sweep Jamming With Frequency Hopping jamming قفز ترددي على 14 تردد مع مسح ترددي
4	Sweep Jamming With Frequency Hopping jamming قفز على 24 تردد مع مسح 2MHz	Sweep Jamming بعرض مجال 1593-1610MHz
5	Sweep Jamming With Frequency Hopping jamming قفز على 24 تردد مع مسح 2MHz	Frequency Hopping jamming قفز ترددي على 14 تردد
6	Sweep Jamming With Frequency Hopping jamming قفز على 24 تردد مع مسح 2MHz	Sweep Jamming With Frequency Hopping jamming قفز ترددي على 14 تردد مع مسح ترددي
7	Spot Jamming عند التردد 1575.42MHz	Sweep Jamming بعرض مجال 1593-1610MHz
8	Spot Jamming عند التردد 1575.42MHz	Frequency Hopping jamming قفز ترددي على 14 تردد
9	Spot Jamming عند التردد 1575.42MHz	Sweep Jamming With Frequency Hopping jamming قفز ترددي على 14 تردد مع مسح ترددي

تكبر إشارة تشويش كل نظام ومن ثم تجمع هاتين الإشارتين بخط نقل واحد باستخدام Combiner ليتم إرسالها عن طريق هوائي الإرسال.

قمنا بالمقارنة بين الحالات التسعة بإجراء تجارب مخبرية وميدانية على أهداف حقيقة تعتمد في عملها على مستقبلات GNSS، مع مراعات تحقيق نفس الشروط الفنية والظروف المناخية المحيطة بالتجربة. المعيار الرئيسي لتقييم وتقدير فعالية هذه التقنيات هو نصف قطر دائرة الحظر على مستقبلات أنظمة تحديد الموقع GNSS، الشكل (1-2) يوضح مخطط وظيفي مبسط لبنية النظام المقترح تصميمه الذي سوف يستخدم في البحث، حيث يظهر حاجتنا إلى وجود بطاقتي SDR يتم من خلال كل بطاقة توليد إشارات التشويش وفقاً لخمس تقنيات بشكل منفصل وفقاً للجدول (1-2) الذي يظهر تلك الحالات، إضافة إلى ذلك قد نكون بحاجة لتكبير إشارات التشويش قبل تمرير إشارات التشويش إلى الجامع Combiner الذي سيقوم بجمع تلك الإشارتين بخط نقل واحد ليتم إرسالها عبر هوائي الإرسال، يجب الإشارة هنا إلى أنه قبل إرسال الإشارتين يجب العمل على تسوية استطاعتهما بحيث يكون لكلا الإشارتين نفس الاستطاعة عند مدخل الهوائي، وذلك ضماناً لتحقيق شروط الاختبارات للحصول على نتائج بأقل نسبة للخطأ في القياس لتمكنا من إجراء المقارنة بشكل صحيح بين تقنيات التشويش، التفاوت أو عدم تسوية استطاعة الإشارتين قد ينتج عن ضياع خطوط النقل لكل بطاقة SDR أو تباين ضياع الإدخال insertion loss للمجمع Combiner بالنسبة للإشارتين على دخله، سوف تكون عملية تسوية الاستطاعة عن طريق حساب قيمة التفاوت بالاستطاعة على خرج Combiner والعمل على تعويض الإشارة الأضعف باستخدام مرحلة تكبير استطاعة، أو بتخميد الإشارة الأقوى بنفس قيمة فرق الاستطاعة عن الإشارة الأخرى بإضافة مخمد أومي يوضع قبل Combiner وهي الطريقة الأسهل.



الشكل (1-2): يبين بنية مبسطة لنظام تشويش GPS&GLONASS [الباحث]

3.2 الأدوات والتجهيزات:

- محل طيف ترددي FSH8 من شركة ROHDE&SCHWARZ يعمل عند المجال الترددي 9KHz-8GHz يتضمن محل شبكة ومحل اتجاهي ومقياس استطاعة [المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا] .
- راسم إشارة رقمي طراز Tektronix TDS 2012C - المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا.
- مبرمجة AVRISP mkii [المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا] .
- مقياس وحساس استطاعة اتجاهي NRT2 من شركة ROHDE&SCHWARZ [المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا] .
- مجمع إشارة COMBINER محلي الصنع يعمل عند المجال الترددي 100MHz-2GHz [المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا] .
- هوائي موجه محلي الصنع يعمل عند المجال الترددي 1GHz-1.7GHz [المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا] .
- حاسب محمول طراز ASUS TUF FX505G بنظام تشغيل Win10 [المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا] .
- وحدة تغذية مستمرة متغيرة من 1 فولت إلى 35 فولت بتيار 5 أمبير .
- هوائي استقبال عريض المجال .
- طائرة Drone طراز PHANTOM 3 Pro من شركة DJI [المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا] .
- طائرة Drone طراز MAVIC Pro من شركة DJI [المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا] .
- حاسب لوحي iPad Air 2 من شركة Apple [المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا] .

4.2 البرامج المستخدمة:

- برنامج CADSTAR Design Editor 16.0 استخدم لرسم الدارة المطبوعة لبطاقة SDR.
- برنامج Atmel Studio 7.0 استخدم لكتابة كود وبرامج التحكم ببطاقات SDR وبرامج توليد إشارات التشويش .
- تطبيق DJI GO تم تحميله على حاسب لوحي وهو لعرض معاملات ومعلومات التحكم لطائرة PHANTOM 3 PRO، يعرض حالة الطائرة وعدد أقمار الملاحة وموقعها على الخريطة إضافة للفيديو المباشر للتصوير الذي تقوم به الطائرة.

- تطبيق DJI GO 4 تم تحميله على حاسب لوحي وهو لعرض معاملات ومعلومات التحكم لطائرة MAVIC PRO.
- تطبيق GPSTest تم تحميله على عدة هواتف نقالة تتضمن مستقبل GPS، استخدم لعرض قائمة أقمار الملاحة العالمية عبر الأقمار الصناعية GNSS الذي يقوم المستقبل باستقبال إشاراتها.

5.2 اختيار العينات المدروسة Specimen:

تم انتقاء العينات التي سوف تختبر عليها الدراسة بعناية نظراً لتوفر بعض الخصائص فيها دون غيرها وكون تلك الخصائص هي من الأمور الهامة بالنسبة للدراسة قسمت الاختبار إلى مجموعتين:

1. اختبار فعالية تقنيات التشويش على أنظمة تحديد الموقع الموجودة في بعض الطائرات المسيّرة الصغيرة التجارية هي:

▪ طائرة مسيّرة صغيرة DJI PHANTOM 3 PRO Drone

▪ طائرة مسيّرة صغيرة DJI MAVIC PRO Drone

2. اختبار فعالية تقنيات التشويش على أنظمة تحديد الموقع الموجودة في بعض الهواتف النقالة. اختيرت هذه العينات من أجل اختبار مقدرة تقنيات التشويش على التأثير على أنظمة تحديد الموقع الموجودة فيها.

تم تشغيل العينات ضمن ظروف العمل الطبيعية بعد التأكد من عدم وجود أي عامل خارجي يؤثر على عملها وأدائها.

الدراسات النظرية

Literature Review

الفصل الثالث

أنظمة الملاحة العالمية عبر الأقمار الصناعية (GNSS) Global Navigation Satellite Systems

1.3 تمهيد:

في الآونة الأخيرة، هناك اهتمام متزايد بتقنيات تحديد المواقع القائمة على أنظمة الملاحة العالمية عبر الأقمار الصناعية GNSS مثل نظام تحديد المواقع العالمي GPS أو البنية التحتية للشبكة الخلوية الفضائية أو على تكامل التقنيتين لتخدم مجموعة واسعة من التطبيقات مثل تحديد موقع السيارات ذاتية القيادة (AVL) Automatic Vehicle Location وأنظمة التتبع والملاحة وأنظمة الملاحة للمشاة (PNSs) Pedestrian Navigation Systems وأنظمة النقل الذكية وتحديد المواقع بدقة. خلال الخمسة عشر عاماً الماضية، كانت هناك العديد من الأحداث المهمة في مجال أنظمة الملاحة عبر الأقمار الصناعية مثل: (أ) التشغيل الكامل لنظام تحديد المواقع العالمي GPS في عام 1993، عندما كان 24 قمراً صناعياً تعمل في المدارات المخصصة لها، وهي متاحة للاستخدام الملاحي وتوفر خدمات تحديد المواقع القياسية (SPS) Standard Positioning Services، (ب) نظام الأقمار الصناعية الأوروبي الجديد Galileo، (ج) تحديث نظام الأقمار الصناعية الأمريكي GPS، و(د) إعادة بناء نظام الأقمار الصناعية الروسي GLONASS. دفع الطلب المتزايد على الخدمات التجارية القائمة على الموقع (LBS) location-based services مصنعي الهواتف الخلوية والشبكات إلى التركيز على حلول تحديد المواقع. تهدف مشاريع LBS إلى تحسين خدمات انتقال المعلومات سهلة الاستخدام لتحديد الموقع من خلال الجمع بين الاتصالات اللاسلكية والملاحة عبر الأقمار الصناعية (GNSS) وأنظمة المعلومات الجغرافية geographic information system (GIS)، بناءً على بنية العميل / الخادم المحمول [14] [15].

معنى GNSS هو قابلية التشغيل البيئي والتقني والتوافق بين أنظمة الملاحة عبر الأقمار الصناعية المختلفة مثل GPS الحديث، Galileo، GLONASS المعاد بناؤه ليتم استخدامه من قبل المستخدمين المدنيين دون النظر إلى جنسيات كل نظام من أجل تعزيز السلامة وراحة الحياة [16].

2.3 مكونات GNSS

يتكون نظام GNSS من ثلاث تقنيات ساتلية رئيسية: GPS و GLONASS و Galileo. يتكون كل منها بشكل أساسي من ثلاثة أجزاء: (أ) قسم فضائي، (ب) جزء تحكم و (ج) قسم المستخدم. هذه الأجزاء متشابهة تقريباً في تقنيات الأقمار الصناعية الثلاثة، والتي تشكل معاً نظام GNSS. ستصبح تقنية GNSS أكثر وضوحاً بعد تشغيل Galileo وإعادة بناء GLONASS في السنوات القليلة المقبلة. تتكون كل تقنية GNSS من حوالي 20-30 ساتلاً في المدار، عادةً يمكن للمستخدم على الأرض رؤية ستة إلى عشرة أقمار صناعية في وقت واحد من أي كوكبة أقمار لنظام معين، هذه الأقمار الصناعية لا تتبع المستخدم، بدلاً من ذلك يتصرفون كمجموعة منارات، وكلها ترسل إشارات نبضية لاسلكياً في نفس الوقت. يتلقى المستخدم كل من هذه النبضات في أوقات مختلفة، بناءً على بعده عن كل قمر صناعي. يوفر فارق الوقت في الوصول (Time Difference Of Arrival (TDOA) قياساً للمسافة بناءً على سرعات الانتشار المعروفة للإشارات الراديوية [17]. ترسل الأقمار الصناعية أيضاً بيانات تبلغ عن مواقعها الدقيقة في السماء، بحيث يمكنك حساب موقعك على الأرض من خلال معرفة المسافة بينك وبين كل قمر صناعي ومواقع الأقمار الصناعية، الميزة الجانبية لهذه الطريقة هي التحديد الدقيق للوقت. حقيقة أن جميع الأقمار الصناعية ترسل في نفس اللحظة بالضبط (في غضون واحد من المليار من الثانية أو النانو ثانية) ينتج عنها علامة زمنية دقيقة. تكرر الأقمار الصناعية إرسالها النبضية بفواصل زمنية مدتها ثانية واحدة بالضبط متزامنة مع التوقيت العالمي المنسق Coordinated Universal Time (UTC)، بحيث يوفر استقبال إشارات GNSS للمستخدمين مزامنة دقيقة مع التوقيت العالمي المنسق (UTC).

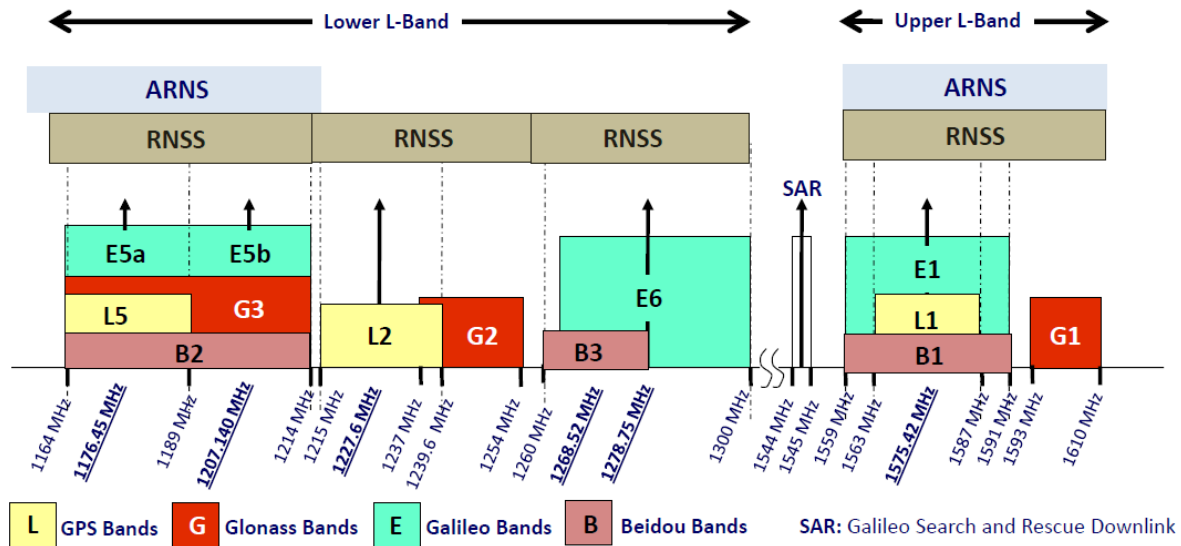
3.3 التوزيع الترددي Frequency Allocation

يعد تخصيص المجالات الترددية عملية معقدة لأن العديد من الخدمات والمستخدمين يمكن أن يقعوا في نفس المجال الترددي. أي أنه يمكن تخصيص نفس الترددات لأغراض مختلفة في بلدان مختلفة. الاتحاد الدولي للاتصالات International Telecommunication Union (ITU) وكالة من وكالات الأمم المتحدة تنسق الاستخدام العالمي المشترك للطيف الراديوي. وهي تشمل، على سبيل المثال، التلفزيون والراديو والهاتف الخليوي (المحمول) والبث عبر الأقمار الصناعية وما إلى ذلك، وحتى

أفران الميكروويف. يقسم الاتحاد الدولي للاتصالات الطيف الكهرومغناطيسي إلى مجالات ترددية، مع تخصيص خدمات راديوية مختلفة لمجالات ترددية معينة.

يوضح الشكل (3-1) المجالات الترددية للخدمة الساتلية للملاحة الراديوية radio navigation-satellite service (RNSS). هناك مجالان في المجال الطيفي مخصصان لخدمة الملاحة اللاسلكية للطيران Aeronautical Radio Navigation Service (ARNS) ذو نموذج موحد في جميع أنحاء العالم. هذه المجالات مناسبة بشكل خاص لتطبيقات السلامة Safety-of-Life (SoL) لأنه لا يُسمح لأي مستخدم آخر لهذا المجال بالتداخل مع إشارات GNSS [17].

يتوافق هذا مع المجال L العلوي (1559-1610 MHz)، الذي يحتوي على المجالات GPS L1 و Galileo E1 و GLONASS G1 و Beidou B1، ومع المجال L السفلي (1151-1214MHz) حيث توجد مجالات GPS L5 و GLONASS G3 و Galileo E5 و Beidou B2.



ARNS: Aeronautical Radio Navigation Service

RNSS: Radio Navigation Satellite Service

الشكل (3-1): توزيع الطيف الترددي لأنظمة GNSS المختلفة [17]

إشارات GPS L2 و GLONASS G2 و Galileo E6 و Beidou B3 المتبقية موجودة في المجال الترددي (1215.6-1350MHz). تم توزيع هذه المجالات على خدمات الموقع الراديوي (الرادارات الأرضية) وخدمة RNSS بشكل أساسي، وبالتالي فإن الإشارات في هذه المجالات أكثر عرضة للتداخل من الإشارات السابقة [17].

1.3.3 إشارات GNSS

ترسل سواتل GNSS باستمرار إشارات الملاحة بترددين أو أكثر في المجال L. تحتوي هذه الإشارات على رموز المجال وبيانات الملاحة للسماح للمستخدمين بحساب كل من وقت انتقال الإشارات من القمر الصناعي إلى جهاز الاستقبال وإحداثيات القمر الصناعي في أي وقت [18]، يتم وصف مكونات الإشارة الرئيسية على النحو التالي:

- الحامل الترددي Carrier: إشارة جيبية راديوية بتردد معين.
- كود المجال: تسلسلات من الأصفار والواحدات التي تسمح للمستقبل بتحديد وقت انتقال الإشارة الراديوية من القمر الصناعي إلى جهاز الاستقبال، يطلق عليهم تسلسلات PRN أو رموز الضجيج العشوائي المزيّف.
- بيانات الملاحة: وهي رسالة مشفرة ثنائية توفر معلومات عن التقويم الفلكي للقمر الصناعي، موقع القمر الصناعي وسرعته، معلومات انحياز الساعة، التقويم (مع مجموعة بيانات التقويم الفلكي منخفضة الدقة)، الحالة الصحية للأقمار الصناعية وغيرها من المعلومات التكميلية.

4.3 تطبيقات GNSS

تستفيد العديد من التطبيقات من إشارات GNSS، باستخدام واحد أو أكثر من ثلاث ميزات للـGNSS:

- قابلية تحديد الموقع المطلق: تسمح للمستقبلات بالمساعدة في الملاحة.
- القدرة على تحديد الحركة النسبية: تمكّن المستقبل من حساب السرعة وتحديد الاتجاه.
- القدرة على تحديد الساعة بالنسبة لمعيار دقيق: تمكّن من حساب زمن الانتقال، والذي يشكل معامل حرج في نظم الاتصالات الكبيرة ونظم المراقبة.

تراعي نظم الملاحة GNSS تقنيات الاستخدام الثنائي. هذا يعني أن لها تطبيقات عسكرية وأخرى مدنية.

1.4.3 التطبيقات العسكرية

التطبيقات العسكرية للـGNSS تمتد على العديد من الأهداف:

- الملاحة: يمكّن الـGNSS الجنود من التنقل في الأراضي الغير مألوقة، ولتنسيق الانتقال للكشافة والدعم.
- تعقب الأهداف: تستخدم نظم الأسلحة الحربية الـGNSS لتعقب الأهداف على الأرض وفي البحر والجو، تمرر نظم الأسلحة إحداثيات الهدف إلى موجه العتاد الدقيق لتمكنه من تحديد الهدف بدقة.

- البحث والإنقاذ: على سبيل المثال، يستطيع الطيارون الهابطون تحديد موقعهم أسرع إذا كان لديهم مستقبل GNSS.
- الاستطلاع وتأليف الخرائط.

2.4.3 التطبيقات المدنية

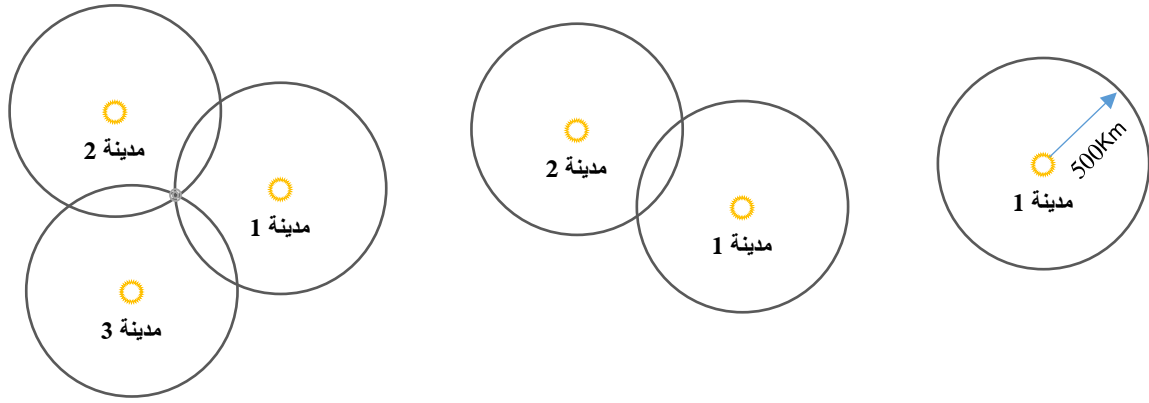
يُستخدم GNSS في العديد من القطاعات الاقتصادية: في العلوم والتكنولوجيا، السياحة والرياضة، البحث والاستكشاف، التجارة والصناعة، العمارة والزراعة والاتصالات.

بدأت وظيفة GPS بالانتقال الآن إلى الهواتف الخليوية. حمل أول جهاز خليوي متكامل بـ GPS وطرح في الأسواق أواخر التسعينات من القرن الماضي، لكن التوافرية العريضة لأجهزة الزبائن الموجهة باتجاه GPS لم تظهر إلى العيان حتى نهاية 2006 في اليابان. خارج اليابان أنتج العديد من مزودي الهواتف الذكية أجهزة مع وظيفة GPS خلال 2007.

بدأ نظام الملاحة GPS كأداة أساسية لقواعد معطيات مطوري نظم المعلومات الجغرافية GIS والمستخدمين خلال العشر سنوات الماضية. أيضاً تستخدم مستقبلات GPS ببرمجيات خرائط GIS التي تتيح ملفات GIS جاهزة تحوي ميزات وصفات ومعلومات تصحيح الموقع.

5.3 مبدأ نظام الملاحة GPS:

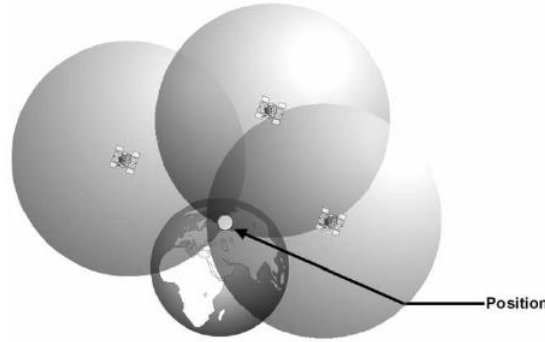
تخيّل أنك فقدت الاتجاهات في أحد مناطق الصحراء، وعندما قابلت أحد الأشخاص سألته: "أين أنا؟"، فأجابك أنت على بعد 500Km من المدينة 1. لا شك أن هذه المعلومة لن تفيدك في تحديد موقعك بدقة لأنك تستطيع أن ترسم دائرة حول المدينة 1 نصف قطرها 500Km، ربما تكون في أي مكان على هذه الدائرة مرة أخرى إذا سألت شخص آخر وقال لك أنك على بعد 550Km من مدينة 2، في هذه الحالة قد يكون الأمر أسهل لأنك تكون على خط واحدة من نقطتي تقاطع الدائرتين من ذلك نستطيع القول إنه لتحديد موقعك بدقة تحتاج إلى ثلاث معلومات من ذلك النمط. الشكل (3-2).



معلومة واحدة تعطي العديد من الاحتمالات للموقع
معلوماتان تجعل الموقع أكثر دقة
ثلاث معلومات تعطي الموقع الدقيق

الشكل (3-2): الحاجة لثلاث معلومات لتحديد الموقع في المستوي

عملياً، تحقق هذه الفكرة بثلاث سواتل على الأقل لتحديد موقعك على الأرض: كل ساتل يشكل كرة، ومن خلال تقاطع الكرات الثلاث يتحدد الموقع بدقة جيدة الشكل (3-3).

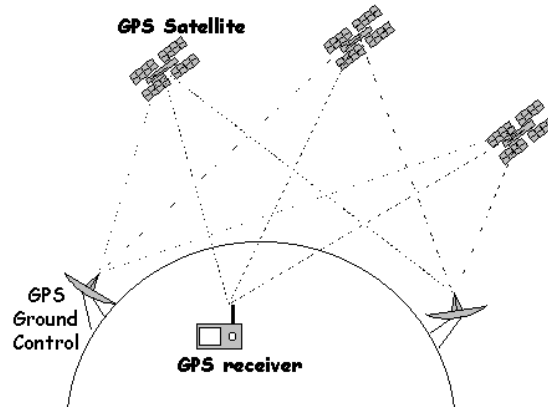


الشكل (3-3): يحدد الموقع بثلاث سواتل [19]

6.3 مكونات نظام الملاحة GPS

يتكون نظام الملاحة GPS من القسم الفضائي (السواتل)، قسم التحكم (المحطات الأرضية)،

قسم المستخدم (مستقبل الـ GPS) الشكل (3-4)

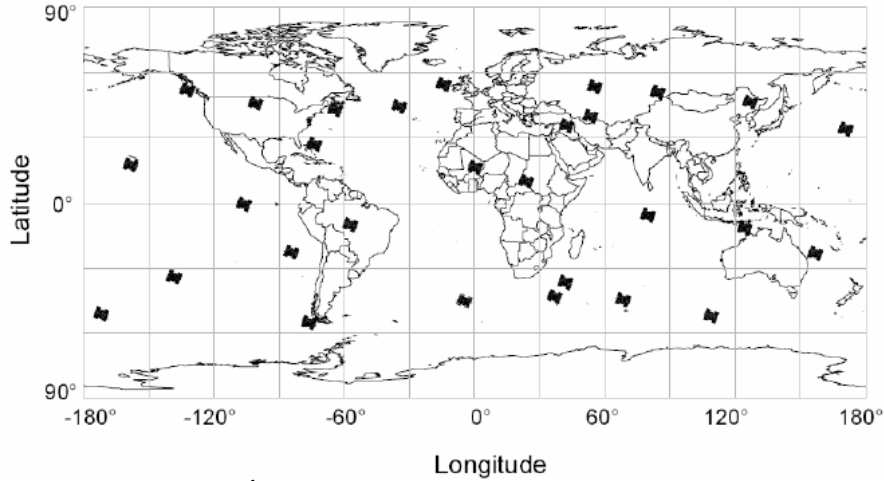


الشكل (3-4): الأجزاء الثلاث للنظام [19]

سننتاول الآن الأجزاء الثلاث للنظام بمزيد من التفاصيل.

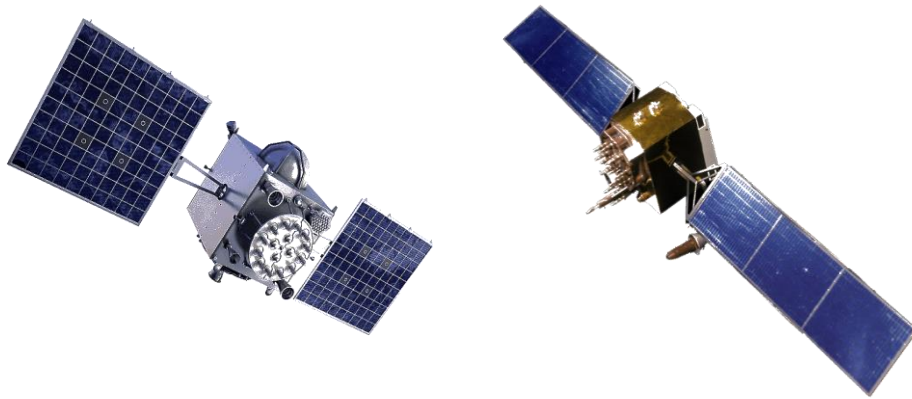
1.6.3 القسم الفضائي (SS) The Space Segment

القسم الفضائي الذي يتألف على الأقل من 32 ساتل، هو قلب النظام. توجد السواتل بما يعرف بالمدار العالي (High orbit) لتغطية مساحة واسعة على سطح الأرض. تنتظم السواتل في مداراتها لذلك يستطيع مستقبل GPS دائماً الاستقبال من أربعة سواتل على الأقل في أي وقت. الشكل (3-5).



الشكل (3-5): مثال لتموضع السواتل حول الأرض [19]

تتحرك السواتل بسرعة تمكنها من الدوران حول الأرض مرة كل 12 ساعة. يتم تشغيلها بالاعتماد على الطاقة الشمسية. إذا حدث عطل في خلايا الطاقة الشمسية، توجد بطاريات احتياطية لإبقائهم على المسار الصحيح الشكل (3-6).



الشكل (3-6): سواتل GPS

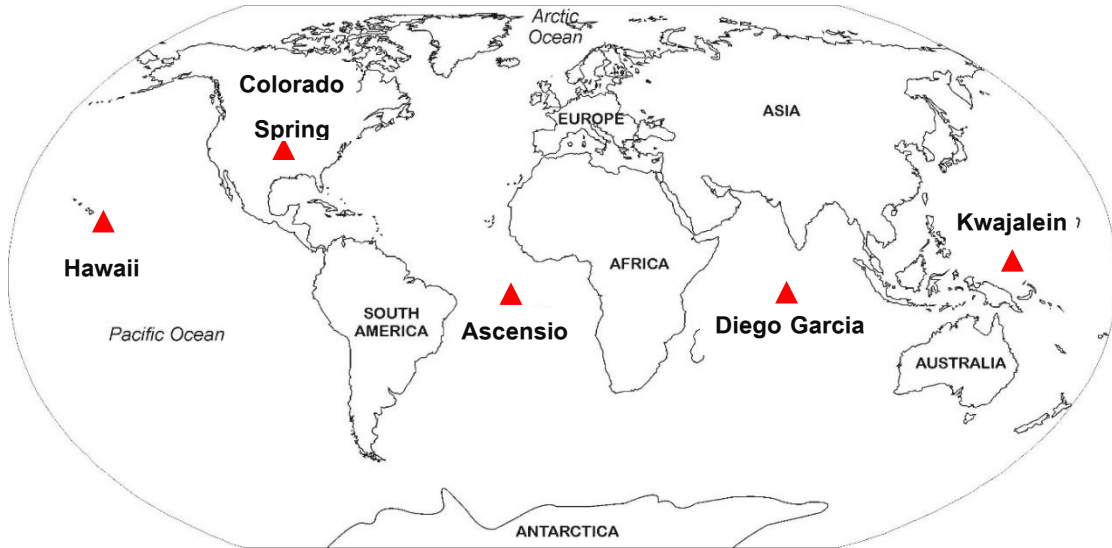
يرسل كل ساتل رمزاً (code) خاصاً به، الهدف الأساسي من هذه الإشارات المرمزة حساب زمن الانتقال من الساتل إلى المستقبل. بضرب هذا الزمن بسرعة الضوء تنتج المسافة من الساتل إلى مستقبل

GPS (مجال الساتل Satellite range) المعلومات التي يرسلها الساتل إلى المستقبل (رسالة الملاحة) تتضمن مدار الساتل، معلومات عن الساعة، حالة النظام بشكل عام ونمط تأخير الأينوسفير. إشارات السواتل مزمنة باستخدام ساعات ذرية عالية الدقة.

2.6.3 قسم التحكم (The Control Segment (CS)

يتحكم بسواتل الـ GPS بتعقبهم وتزويدهم بمعلومات عن المدار الصحيح (Ephemeris) والساعة (الزمن).

يوجد خمس محطات تحكم حول العالم، أربع محطات مراقبة، Kwajalein, Diego Garcia, Ascension, Hawaii ومحطة تحكم رئيسية Colorado Springs. الشكل (7-3)



الشكل (7-3): محطات التحكم الخمس حول العالم [19]

تستقبل محطات المراقبة الأربع معلومات من السواتل وترسل هذه المعلومات إلى محطة التحكم الرئيسية. تصحح محطة التحكم الرئيسية معطيات السواتل وترسل المعلومات إلى السواتل.

3.6.3 قسم المستخدم (The User Segment (US)

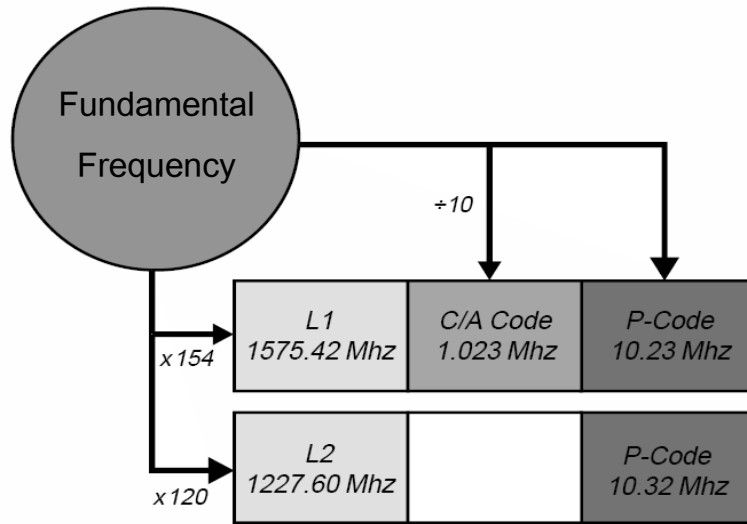
يتألف قسم المستخدم من مستقبل الـ GPS لاستقبال إشارات الـ GPS لتحديد موقعه اعتماداً على المعلومات المضمنة فيها.

7.3 توليد إشارات السواتل

ترسل السواتل الإشارات على عدة ترددات. تبث السواتل على موجتين حاملتين، حيث توجد هاتان الموجتان في الحزمة L:

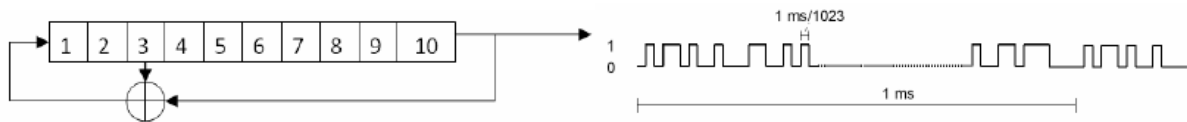
- الحامل L1، يُبث على التردد 1575.42MHz.
- الحامل L2، يُبث على التردد 1227.60MHz.

تُنصت مستقبلات GPS المدنية على التردد L1 والذي يحوي رمازين مُعدّلين: الرماز C/A أو Coarse Acquisition بتردد 1.023MHz والرماز P أو Precision بتردد 10.23MHz. الحامل L2 والذي يستخدم للتطبيقات العسكرية يحوي رمازاً مُعدّلاً واحد فقط: الرماز P عند التردد 10.23MHz. تجدر الإشارة إلى وجود رماز آخر هو الرماز P(Y) وهو حالة خاصة من الرماز p يستخدم عندما يكون نمط Anti Spoofing فعال، الشكل (8-3)



الشكل (8-3): الترددات المستخدمة [19]

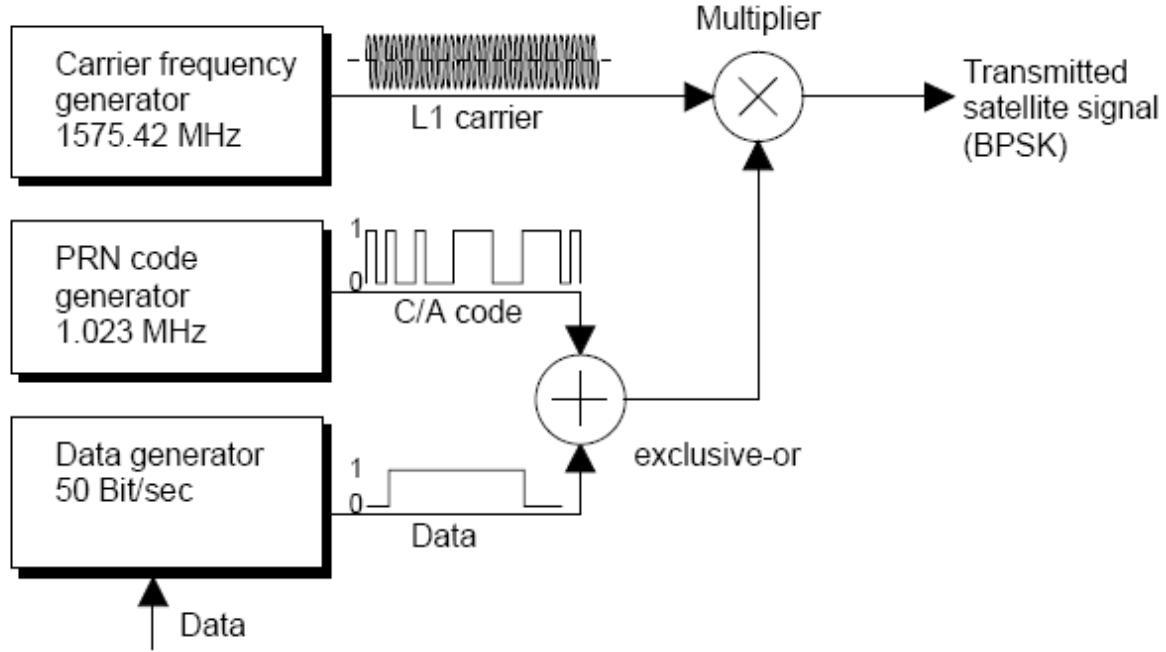
تتألف هذه الرموز من سلاسل شبه عشوائية PRN أو Pseudo Random Noise مولدة بسجلات إزاحة بتغذية خلفية خطية LFSR linear-feedback shift register. الشكل (9-3)



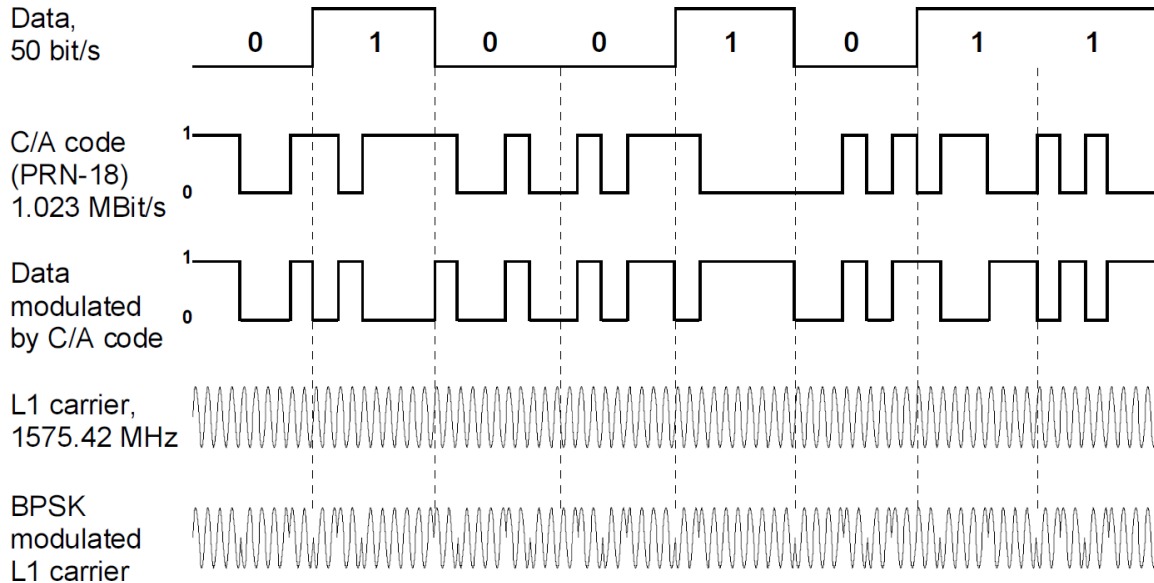
الشكل (9-3): سجل إزاحة بتغذية خلفية خطية LFSR [19]

تسمح السلاسل شبه العشوائية بالتمييز بين السواتل المختلفة حتى وإن كانت تبث على نفس الحزمة الترددية L، بما يعرف بتقنية CDMA [9][11].

تُعدّل المعطيات بالرماز C/A أو P ويُعدّل الناتج بدوره بواسطة الحامل L1، L2 بالتعديل BPSK – Binary Phase Shift Keying. [20] مع كل تغير في المعطيات المُعدّلة هنالك تغير 180° في طور الحامل L1 أو L2. الشكل (10-3)، الشكل (11-3) [12] [21].



الشكل (10-3): المخطط الصندوقي لمولد إشارة الساتل [19]



الشكل (11-3): المخطط الزمني لإشارة الساتل [19]

تنتقل الإشارات Line of Sight LOS هذا يعني أنها ستمر عبر الغيوم والزجاج والبلاستيك، لكنها لا تمر عبر معظم الأشياء الصلبة كالأبنية والصخور.

إشارات السواتل هي أيضاً إشارات باستطاعة ضعيفة نسبياً، من رتبة 20-50W. تخيل الاستماع لقناة راديو بـ 50W ترسل من 1950 كم بعيداً. لهذا السبب من المهم أن تكون السماء صافية عندما نستخدم GPS. فيما يلي، تحليل وصلة الاتصال بين الساتل والمستخدم، الجدول (3-1) يظهر ذلك [19]:

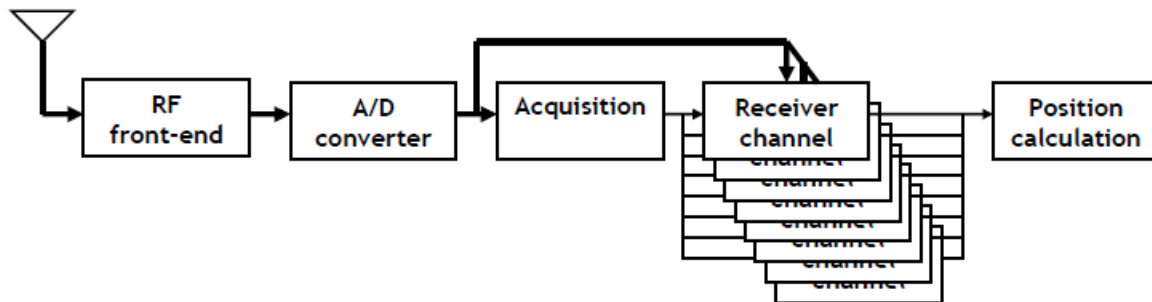
الجدول (3-1): تحليل وصلة الاتصال US-SS [19]

L2	L1 & P code	L1 & C/A Code	
8.2 dBW 6.6 W	10.4 dBW 11.1 W	13.4 dBW 21.9 W	الاستطاعة المرسلة عند الساتل
11.5 dB	13.4 dB	13.4 dB	ربح هوائي الإرسال
19.7 dBW	23.8 dBW	26.8 dBW	الاستطاعة المشعة EIRP (Effective Integrated Radiated Power)
4.4 dB	3.4 dB	3.4 dB	الفقد باختلاف القطبية
184.4 dB	184.4 dB	184.4 dB	الفقد بالفضاء الحر
0.5 dB	0.5 dB	0.5 dB	الفقد بالغلاف الجوي
3 dB	3.0 dB	3.0 dB	ربح هوائي الاستقبال
-164.5 dBW	-161.5 dBW	-158.5 dBW	الاستطاعة على دخل المستقبل

الاستطاعة الدنيا المستقبلية على الأرض من (-160dBW) إلى (-158dBW) والاستطاعة العليا (-153dBW) تقريباً.

8.3 مستقبل الـ GPS

المستقبلات الحديثة المتعددة الألفية فيها أكثر من 16 قناة استقبال، تستطيع هذه المستقبلات أن تتابع 16 ساتل في آن واحد. الشكل (3-12) [12]



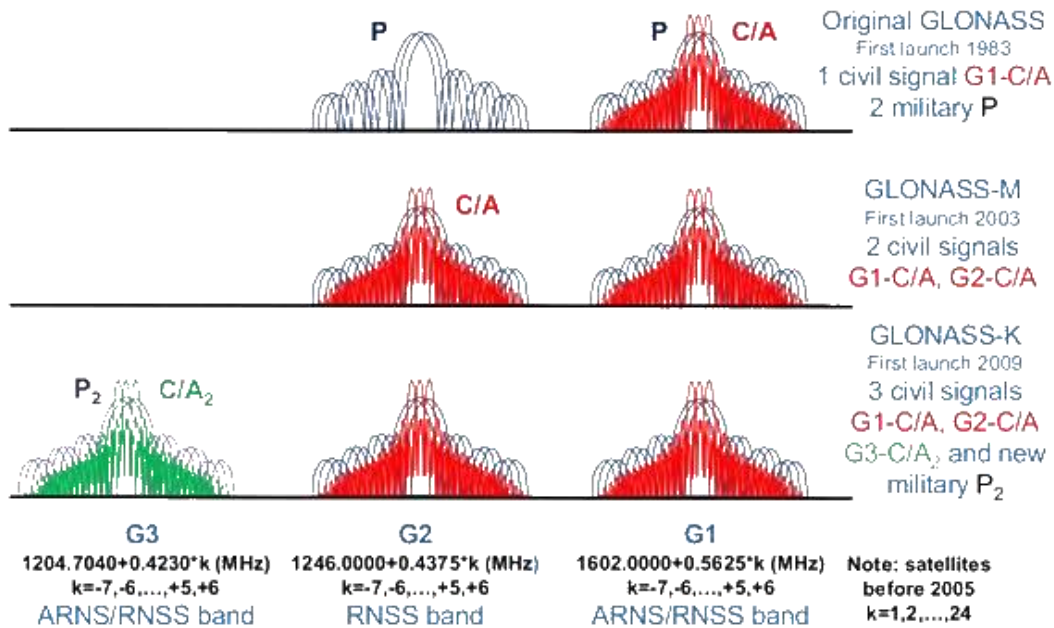
الشكل (3-12): المخطط الصندوقي لبنية مستقبل GPS

المستقبلات العسكرية أكثر دقة لأنها لا تستخدم الرماز C/A فقط لحساب زمن الوصول، وإنما تستخدم الرماز P. يمكن حساب المجالات بدقة أكبر عند استخدام الرماز P. فقط المستقبلات العسكرية مزودة بدارات خاصة تستطيع "قراءة" الرماز P، لهذا السبب، يستطيع مستخدمو المستقبلات العسكرية حساب الموقع بدقة حوالي 5m، في حين المستخدمين المدنيين يحسبون الموقع بدقة تقارب الـ 15m [11].

تخزن مستقبلات الـ GPS معطيات عن أماكن تواجد السواتل في أي وقت. هذه المعطيات تدعى Almanac. أحياناً عندما يكون مستقبل الـ GPS غير مُشغل لزمناً طويلاً، الـ Almanac ستكون قديمة أو "باردة"، عندما يكون مستقبل الـ GPS بارداً، فإنه يستغرق وقتاً أطول ليستقبل من السواتل. يصبح المستقبل "ساخناً" إذا كانت المعطيات مجموعة من إشارات معطيات السواتل المستقبلية خلال فترة قريبة [10].

9.3 بنية الإشارة GLONASS

بينما تم تصميم وتطوير نظام GPS بواسطة حكومة الولايات المتحدة، يتم تشغيل GLONASS بواسطة قوات الدفاع الجوي الروسية ولديها 24 قمراً صناعياً [22]. يوضح الشكل (3-1) تخصيصات التردد لـ GLONASS، والمشار إليها باسم G1 و G2 و GPS (L1 و L2). بالإضافة إلى ذلك، تم توضيح المجال المحدث G3 و L5 مع مجالي Galileo مع مصادر التداخل المحتملة، كما يظهر الشكل (3-13) الأطياف الترددية لأجيال أنظمة GLONASS.



الشكل (3-13): المجالات الطيفية لأجيال أنظمة GLONASS [17]

على عكس GPS، ينتقل كل قمر صناعي لنظام GLONASS على تردد حامل مختلف قليلاً داخل مجالات G-Bands، يتم إرسال رمز الدقة العالية على كل من G1 و G2 ورمز الدقة القياسي على G1 (جميع الأقمار الصناعية) و G2 (الأقمار الصناعية GLONASS-M) [22]. تحتوي إشارة الدقة القياسية على رمز PRN يتكون من 511 رفاقة تتكرر كل 1 مللي ثانية وبمعدل تقطيع يبلغ 0.511 ميغا في الثانية (Mcps)، مدة الإشارة عالية الدقة 1 ثانية ومعدل التقطيع 5.11Mcps، بالمقارنة مع نظام تحديد المواقع العالمي (GPS)، يتم إرسال رسالة بيانات التنقل بنفس المعدل (50bps) ولكن معدلات التقطيع لإشارتي GLONASS هي نصف معدلات نظامي GPS C/A و P (Y) [23].

ترسل سواتل GLONASS نفس رمز PRN على ترددات مختلفة باستخدام وصول متعدد بتقسيم 14 قناة frequency division multiple access (FDMA) وتبلغ المسافات بين القنوات في 0.5625MHz مع 7 قنوات أقل من التردد المركزي، وقناة واحدة بتردد مركزي قدره 1602MHz و 6 قنوات أعلى. وبالتالي، فإن أدنى قناة لها مركز على 1598.06MHz وأعلى قناة لها مركز على 1605.38MHz، يظهر الجدول (2-3) ترددات الحوامل الترددية لأنظمة GLONASS، الجانب السلبي لهذه الحوامل الترددية هو أن المستقبل يحتاج إلى توليف العديد من الترددات [24] [25] [26]. تحدد Misra سبب اختيار GLONASS FDMA بدلاً من CDMA [23]، وتشير إلى أن السبب في أن جهاز التشويش ذو النغمة الواحدة يمكنه إخراج إشارة قمر صناعي واحدة على الأكثر في نظام FDMA ولكن جميع الإشارات في نظام CDMA سوف تخرج عن العمل [27] [28].

$$f_{k1} = f_{01} + k\Delta f_1. \text{ where } f_{01}=1602\text{MHz and } \Delta f_1=562.5\text{KHz} \quad 3.1$$

$$f_{k2} = f_{02} + k\Delta f_1. \text{ where } f_{02}=1246\text{MHz and } \Delta f_1=437.5\text{KHz} \quad 3.2$$

الجدول (3-2): ترددات الحوامل الترددية لنظام GLONASS [27]

No. of channel	Nominal value of frequency in L1 sub-band, MHz	No. of channel	Nominal value of frequency in L2 sub-band, MHz
06	1605,375	06	1248,625
05	1604,8125	05	1248,1875
04	1604,25	04	1247,75
03	1603,6875	03	1247,3125
02	1603,125	02	1246,875
01	1602,5625	01	1246,4375
00	1602,0	00	1246,0
-01	1601,4375	-01	1245,5625
-02	1600,8750	-02	1245,1250
-03	1600,3125	-03	1244,6875
-04	1599,7500	-04	1244,2500
-05	1599,1875	-05	1243,8125
-06	1598,6250	-06	1243,3750
-07	1598,0625	-07	1242,9375

10.3 دقة قياس الموقع ومصادر الأخطاء

تتعلق دقة قياس الموقع بشكل أولي على موقع السوائل وقياس تأخير الإشارة. لقياس التأخير يقارن المستقبل سلسلة البتات المستقبلية مع نسخة لديه، بمقارنة الجبهات الصاعدة والهابطة، يستطيع مستقبل GPS الحديث قياس انزياح الإشارة، مع دقة حوالي 1% من زمن البت أو 10 ns عند استخدام الرماز C/A، يؤدي هذا إلى خطأ حوالي 3m لما كانت إشارة GPS تنتشر بسرعة الضوء، وهذا أصغر خطأ ممكن عند استخدام الرماز C/A فقط.

ممكن للدقة أن تزداد باستخدام الرماز P، لأنه بفرض نفس الخطأ أي 1% يؤدي تردد الرماز P العالي لدقة حوالي 30 cm [11].

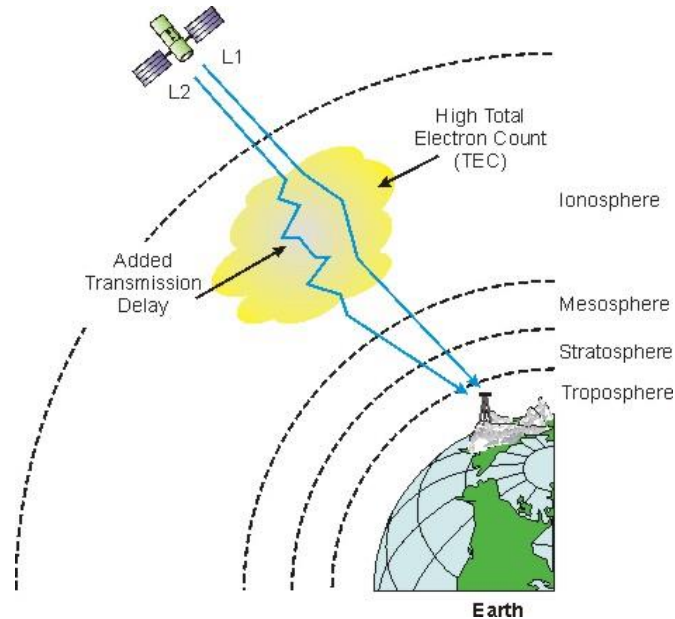
أخطاء حسابات المستقبل هي واحدة من عدة أخطاء تُنقص الدقة وهي موضحة في الجدول (3-3) التالي:

الجدول (3-3): أخطاء مجال المستخدم [19]

الأثر	مصدر الخطأ
$\pm 5m$	تأخير الأيونوسفير
$\pm 2.5m$	أخطاء المدار
$\pm 2m$	أخطاء ساعة الساتل
$\pm 1m$	أخطاء تعدد المسار
$\pm 1m$	الأخطاء العددية

1.10.3 تأخر الأيونوسفير

الأيونوسفير هو جزء من الغلاف الجوي الخارجي الذي يحتوي مجموعة كبيرة من الشوارد والإلكترونات الحرة. بمرور إشارة الساتل عبر الأيونوسفير ستتباطأ. الأثر مشابه لانعكاس الضوء عن الزجاج. للضوء سرعة ثابتة في الفراغ لكن الأيونوسفير لا يؤدي إلى تأخير ثابت للإشارة. هذا التأخير قد يؤدي إلى خطأ في حساب المجال بدلالة السرعة. هذا الأثر يتغير مع دوران الشمس، في الليل، هنالك تأثير ضئيل للأيونوسفير، في النهار الشمس تزيد من أثر الأيونوسفير وتتباطأ الإشارة. الشكل (3-14)



الشكل (3-14): تأخير الأيونوسفير

يمكن حل أثر تأخير الأيونوسفير بطريقتين

❖ **الطريقة الأولى:** أخذ وسطي تأثير انخفاض سرعة الانتشار عن سرعة الضوء بسبب الأينوسفير. معامل التصحيح هذا يستخدم في حسابات المجال. لكن هذا التأثير لا يحدث كل الأوقات لذلك هذه الطريقة ليست الحل الأمثل.

❖ **الطريقة الثانية:** استخدام الترددات الثنائية. تقيس مستقبلات GPS الترددات L1 و L2 لإشارة GPS. من المعلوم أنه عندما تنتقل الإشارة الراديوية عبر الأينوسفير تتباطأ بنسبة تتناسب عكساً مع التردد. إذا قارنا زمن الوصول لكلتا الإشارتين، نستطيع تقدير التأخير الحاصل. هذه الإمكانية موجودة فقط في مستقبلات GPS الثنائية. معظم المستقبلات المبنية لأغراض الملاحة هي مستقبلات وحيدة التردد.

2.10.3 أخطاء ساعة الساتل والمستقبل

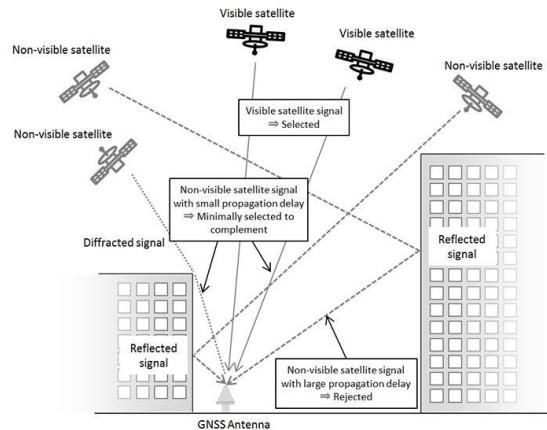
على الرغم من أن الساعات في الساتل عالية الدقة (حوالي 3ns) لكن أحياناً قد يحدث انزياح بسبب أخطاء تؤثر على دقة الموقع. تراقب وزارة الدفاع الأمريكية ساعات الساتل باستخدام جزء التحكم وتستطيع تصحيح الانزياح إن وجد.

3.10.3 أخطاء المدار (أخطاء الEphemeris)

تحدث هذه الأخطاء بسبب عدم الدقة في تقرير موقع الساتل.

4.10.3 أخطاء تعدد المسار Multipath

يحدث خطأ تعدد المسارات عندما يكون هوائي الاستقبال موجود بجانب سطح عاكس كبير كبناء. لا تنتقل إشارة الساتل مباشرة إلى الهوائي وإنما تصطدم بالأشياء المجاورة أولاً وتنعكس إلى الهوائي. يزيد هذا الأمر من زمن انتقال الإشارة مسبباً أخطاء قياس. الشكل (3-15)

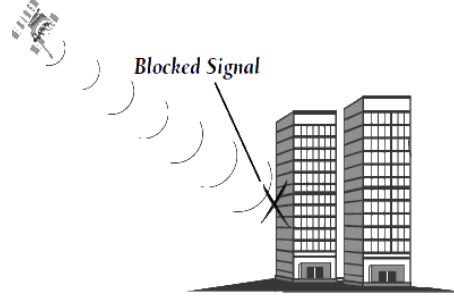


الشكل (3-15): أخطاء تعدد المسارات

5.10.3 عرقلة الإشارة

تستطيع الأبنية، التضاريس والسطوح عرقلة استقبال الإشارة، مسببة أخطاء في تحديد الموقع أو عدم قراءة الموقع [29]. لا يعمل مستقبل GPS في داخل الأبنية، تحت الماء أو تحت الأرض. الشكل

(16-3)



الشكل (16-3): عرقلة الإشارة

6.10.3 التعمية (A/S) Anti-Spoofing

هي إجرائية مطبقة من قبل وزارة الدفاع الأمريكية على إشارة GPS بقصد منع المدنيين والقوى الغربية المعادية من النفاذ إلى الرماز P وتركهم يستعملون الرماز C/A فقط.

7.10.3 التوافقية الانتقالية أو Selective Availability (S/A)

مشابه لـ A/S، بقصد منع المدنيين والقوى المعادية من الدقة الكاملة لـ GPS. [19]

11.3 خواص إشارات السواتل

1.11.3 تمهيد

في الواقع، توجد خاصتان للإشارة لهما أهمية كبيرة في تطبيقات الملاحة هما تابع الترابط الذاتي والكثافة الطيفية للاستطاعة power spectral density (PSD). خواص تابع الترابط أساسية لإجرائية فك التعديل، تصف الكثافة الطيفية للاستطاعة توزيع استطاعة الإشارة بالنسبة للترددات، بمعنى آخر تحدد عرض الحزمة للإرسال والاستقبال. يعرف تابع الترابط الذاتي لإشارة $x(t)$ بالعلاقة التالية:

$$R(\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} x^*(t)x(t+\tau)dt \quad 3.3$$

حيث * تشير إلى المرافق العقدي. تعرف الكثافة الطيفية للاستطاعة بتحويل فورييه لتابع الترابط:

$$S(f) = \tilde{R}(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} R(\tau)e^{-2\pi jf\tau}d\tau = |\tilde{x}(f)|^2 \quad 3.4$$

حيث ~ تشير إلى تحويل فورييه.

2.11.3 حساب تابع الترابط الذاتي والكثافة الطيفية لاستطاعة النبضة المربعة

لتكن إشارة مربعة، الشكل (3-17) ممرضة حول الصفر وبعرض T والمعرفة كما يلي:

$$x(t) = \begin{cases} 1 & : |t| \leq \frac{T}{2} \\ 0 & \text{else where} \end{cases} \quad 3.5$$

بالتطبيق المباشر للتعريف نحسب تحويل فورييه الشكل (3-17)، فنجد:

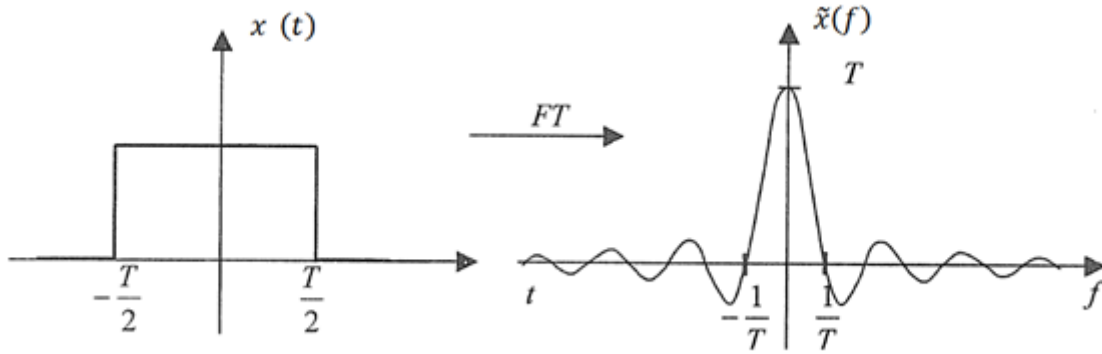
$$\tilde{x}(f) = T \operatorname{sinc}(\pi f T) \quad 3.6$$

ومن جهة أخرى وبحساب تابع الترابط الذاتي للإشارة السابقة الشكل (3-18)، نجد:

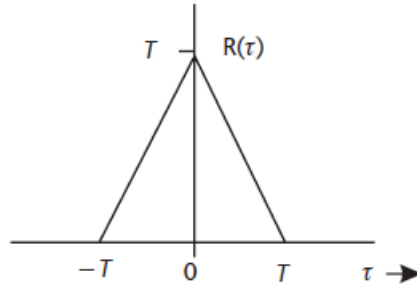
$$R(\tau) = \begin{cases} T \left(1 - \frac{|\tau|}{T}\right) & : |\tau| \leq T \\ 0 & \text{else where} \end{cases} \quad 3.7$$

لحساب الكثافة الطيفية لاستطاعة الإشارة، يكفي أن نحسب مربع تحويل فورييه للإشارة لنجد:

$$S(f) = T^2 \operatorname{sinc}^2(\pi f T) \quad 3.8$$



الشكل (3-17): تحويل فورييه لنبضة مربعة [30]



الشكل (3-18): تابع الترابط الذاتي للنبضة المربعة [30]

3.11.3 تابع الترابط الذاتي والكثافة الطيفية للسلاسل شبه العشوائية بطول أعظمي

الطريقة الأكثر شهرة في توليد السلاسل شبه العشوائية هي استخدام سجلات إزاحة ذات تغذية خلفية. عند كل نبضة ساعة تراح القيم الموجودة في كل قلاب إلى القلاب التالي، وتعاد نتيجة التابع المنطقي إلى القلاب الأول. تحدد السلسلة شبه العشوائية المولدة بطول سجل الإزاحة m والقيمة الابتدائية والتابع المنطقي لحققة التغذية الخلفية.

نقول إن سجل الإزاحة ذو التغذية الخلفية خطي عندما يكون التابع المنطقي لحققة التغذية الخلفية يتكون بالكامل من عمليات جمع ثنائي. وبالنتيجة الدور N للسلسلة شبه العشوائية الناتجة عن سجل الإزاحة ذو التغذية الخلفية الخطي مع m قلاب لا يمكن أن يتجاوز $2^m - 1$ ، وعندما يكون $N = 2^m - 1$ تماماً ندعو السلسلة شبه العشوائية سلسلة ذات طول أعظمي.

يعطى تابع الترابط الذاتي [30] للسلسلة شبه العشوائية الناتجة عن سجل الإزاحة ذو التغذية الخلفية الخطي ذات الطول الأعظمي بالعلاقة التالية:

$$R_{PN}(\tau) = -\frac{1}{N} + \frac{N+1}{N} R(\tau) \otimes \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \delta(\tau + nNT) \quad 3.9$$

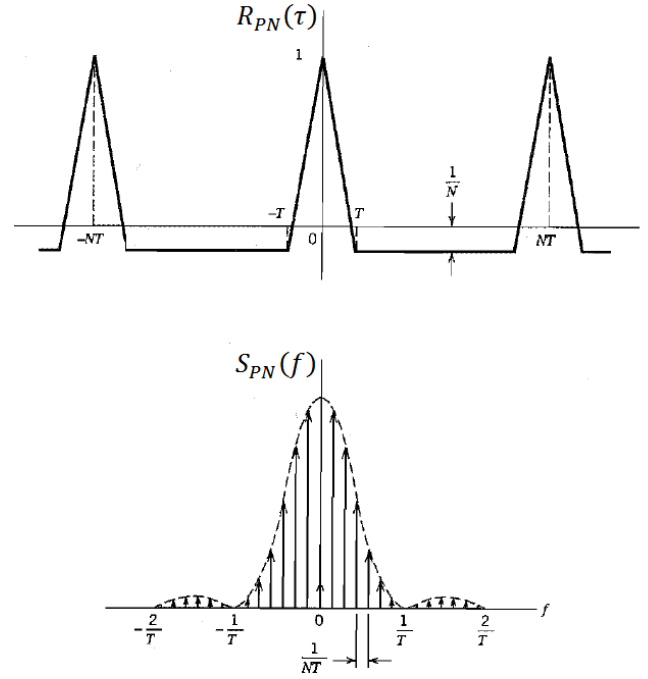
حيث:

$R(\tau)$: تابع الترابط الذاتي للنبضة المربعة والموضح في الفقرة السابقة.

$\delta(.)$: نبضة ديراك.

كما تعطى الكثافة الطيفية للاستطاعة [24] للسلسلة شبه العشوائية بالعلاقة التالية:

$$S_{PN}(f) = \frac{1}{N^2} \left(\delta(f) + \sum_{n \neq 0} (N+1) \text{sinc}^2\left(\frac{n}{N}\right) \delta\left(f + \frac{n}{NT}\right) \right) \quad 3.10$$



الشكل (3-19): تابع الترابط الذاتي والـ PSD للسلاسل العشوائية بطول أعظمي [11]

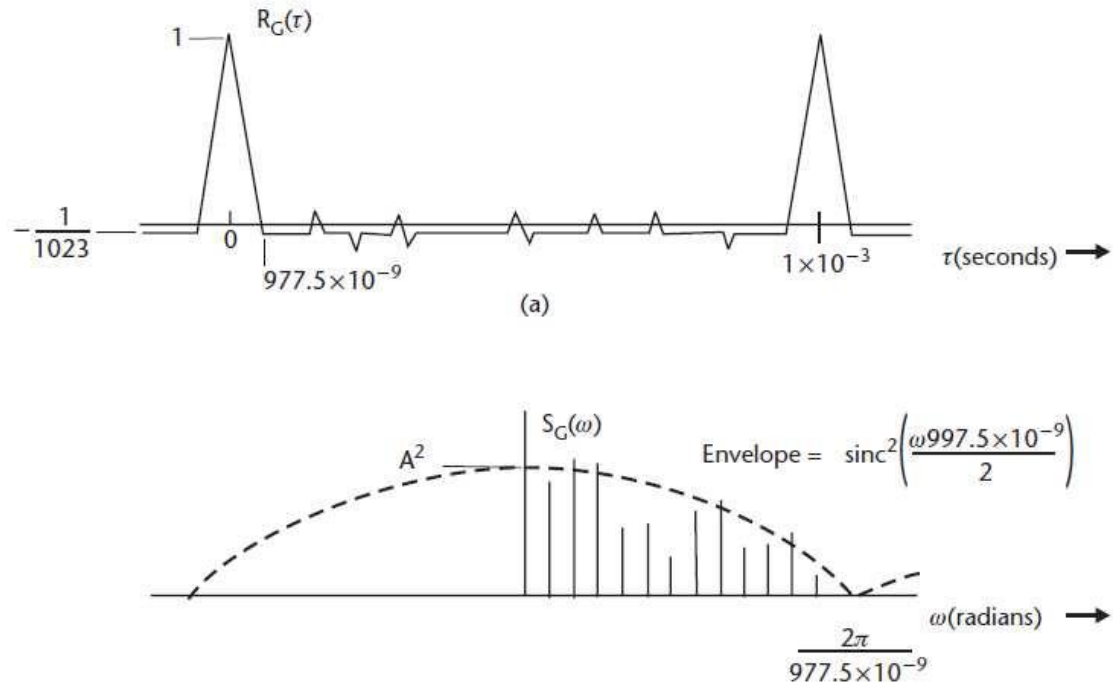
4.11.3 تابع الترابط الذاتي والكثافة الطيفية للرموز GPS

في الواقع إن رموز الـ GPS لها تابع ترابط مثلثي دوري شبيهه بنظيره في السلاسل شبه العشوائية ذات الطول الأعظمي لكن مع عدة اختلافات [19]، بسبب أن سلاسل الـ GPS ليست جميعها بطول أعظمي ومن جهة أخرى تابع الترابط بين مختلف الرموز ليس جيداً بما فيه الكفاية. بإهمال رسالة المعلومات يعطى تابع الترابط الذاتي للرماز C/A بالعلاقة التالية:

$$R_G(\tau) = \frac{1}{1023 T_G} \int_0^{1023} G_i(t) G_i(t + \tau) dt \quad 3.11$$

$G_i(t)$: الرماز C/A للساتل i في اللحظة t.

T_G : زمن البت للرماز C/A (977.5 ns).



الشكل (20-3): تابع الترابط الذاتي والـ PSD للرماز C/A [11]

الفصل الرابع

تقنيات التشويش

Jamming techniques

1.4 توصيف إشارات التشويش:

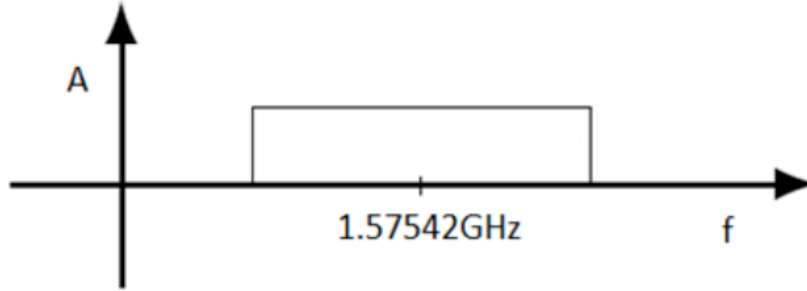
تعرف إشارات التشويش في بعض المراجع على أنها إشارات تداخل راديوي Radio frequency interference (RFI) والتي يمكن أن تكون هذه الإشارات إشارات مستمرة أو نبضية. يمكن تصنيف إشارة RFI المستمرة حسب عرض المجال الترددي الخاص بها وعادةً ما يتم تمييزها في المجال العريض broadband أو المجال الضيق narrowband [11]، يرتبط هذا التصنيف بمجال GNSS، ويعني أن RFI عريض المجال أي أن إشارة التشويش لديها عرض مجال ترددي يساوي أو يزيد عن عرض مجال GNSS (2MHz للرمز GPS C / A) [31]، وأن RFI ضيق المجال له عرض مجال أضيق. تسمى إشارة التداخل التي تتكون من نغمة واحدة (تردد وحيد) باسم موجة مستمرة (CW) تتركز في مجال ضيق للغاية حول التردد المركزي. ربما تكون إشارة CW هي أبسط أشكال التداخل "التشويش"، كما يمكن التمييز بين منهجين أساسيين للتشويش الإلكتروني هما التشويش الضجيجي، والتشويش التكراري [32].

التشويش الضجيجي:

في هذا النهج يقوم المشوش بإرسال إشارة ضجيجية باستطاعة أعلى من استطاعة الإشارة الحقيقية المستقبلية من قبل جهاز الاستقبال الموجود في نظام تحديد الموقع بغية إشباع المستقبل وعدم تمييزه للإشارة الحقيقية، يوجد لهذا المنهج عدة تقنيات نذكر منها:

1.1.4 التشويش السدي (Barrage Jamming)

إنه أبسط أشكال التشويش ويُعرّف عموماً بأنه جهاز تشويش ينقل الاستطاعة الشبيهة بالضجيج عبر مجال الطيف الذي يشغله الهدف، كما هو مبين في الشكل (1-4)، فهو يزيد بشكل أساسي من مستوى الضجيج في جهاز الاستقبال مما يجعل من الصعب تشغيل نظام الاتصالات [33] [8]

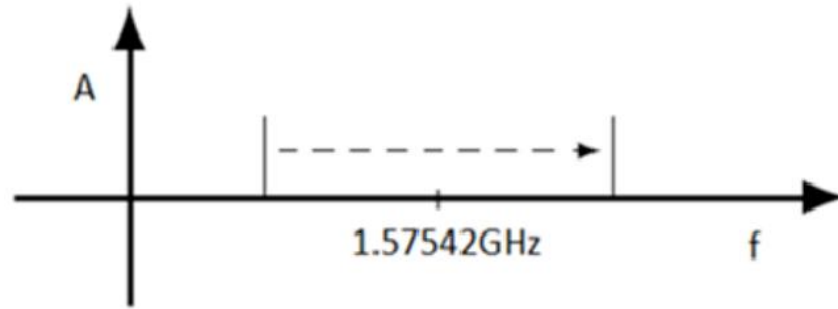


الشكل (1-4): طيف إشارة Barrage Jamming [7]

2.1.4 التشويش المنزلق (مسح ترددي) Sweep Jamming

هي تقنية تشبه إلى حد بعيد Barrage Jamming لأنها تعمل في جميع أنحاء المجال الترددي. الفرق بين هذين التقنيتين هي أن Sweep Jamming لا ينبعث منها إشارة ذات تردد ثابت أو عرض مجال ترددي ثابت [7] [28].

هذه التقنية أكثر فاعلية فيما يتعلق بالكثافة الطيفية للاستطاعة لأنها تُصدر إشارة مجال ترددي ضيق وتمسح التردد من أجل اجتياز كامل عرض المجال الترددي للإشارة المراد التأثير عليها، كما هو مبين في الشكل (2-4) [7].

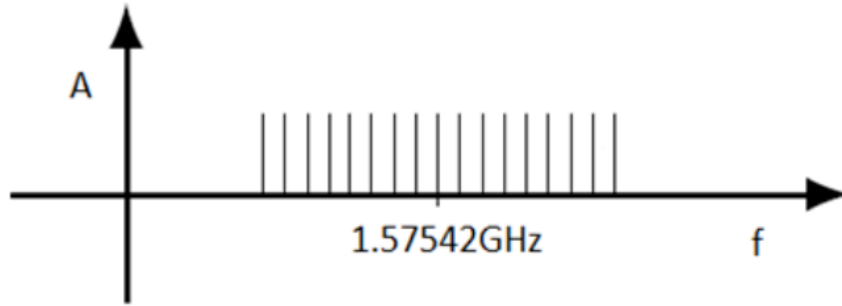


الشكل (2-4): طيف إشارة Sweep Jamming [7]

3.1.4 Successive Pulses Jamming

يقوم هذا النهج بتوليد سلسلة من النبضات في نفس الوقت. باستخدام هذه التقنية، يمكن تحقيق التشويش على تردد الموجة الحاملة وذلك بسبب الطيف الناتج لإشارة التداخل، الشكل (3-4) يظهر طيف إشارة Successive Pulses Jamming، هذه النبضات الترددية يجب أن تشغل كامل المجال

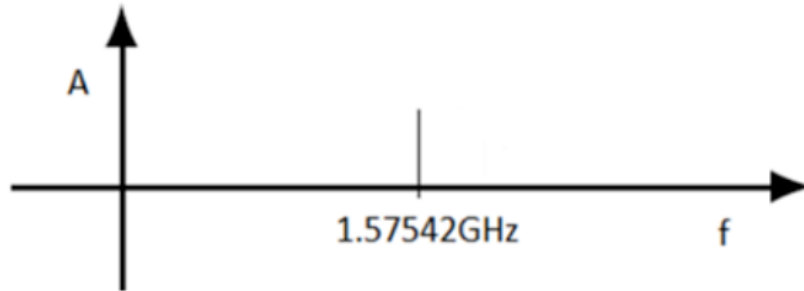
الترددي للإشارة المراد التأثير عليها، لذا لتوليد هذه النبضات الترددية صعوبة تقنية كبيرة بالإضافة إلى التكلفة العالية التي تتعلق بعدد هذه الترددات وعرض مجال الإشارة المستهدفة [7] [28].



الشكل (4-3): طيف إشارة Successive Pulses Jamming [7]

4.1.4 التشويش المركّز البؤري Tone Jamming

في هذه التقنية يتم إرسال إشارة جيبية لها تردد مساوي الحامل الترددي لـ GPS، لذلك يتم إنشاء التداخل فقط على التردد المركزي وليس على كامل عرض المجال، باستخدام هذه التقنية يتم تطبيق جميع الاستطاعة في التردد المركزي للحامل. يتم التعبير عن الطيف في الشكل (4-4) [7] [28].

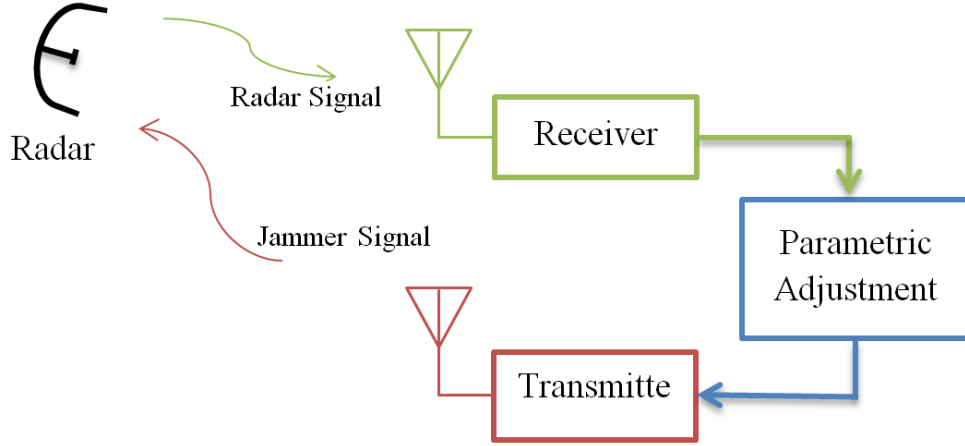


الشكل (4-4): طيف إشارة Tone Jamming عند التردد 1575.42MHz [7]

5.1.4 التشويش التكراري

تعتمد المشوشات التكرارية repeater jammer على استقبال إشارات GNSS الحقيقية وإجراء تعديلات في البيانات التي تحملها مثل التوقيت، وإعادة إرسال هذه الإشارات مع الحفاظ على الخصائص الزمنية والترددية للإشارة الأصلية، تعالج وحدة المعالجة في المستقبل الضحية إشارة التشويش على أنها إشارة حقيقة وتستخلص معلومات خاطئة تؤدي إلى إحداث خطأ في تحديد الموقع، ما يميز هذه التقنية صعوبة كشف هذا النوع من التشويش كما أنها تحتاج إلى استطاعة أقل من المشوشات الضجيجية،

لكن ما يحد من استخدامها التعقيد الكبير نظراً لاستخدام أنظمة GNSS شيفرات خاصة معقدة وهي ليست مفتوحة المصدر، الاستخدام الأكبر لهذه التقنيات هي في التشويش على الرادارات. يوضح الشكل (5-4) مبدأ عمل المشوش التكراري.



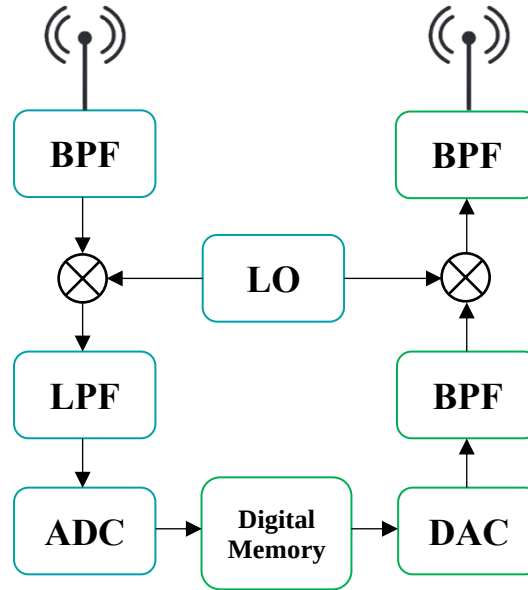
الشكل (5-4): مبدأ عمل المشوش التكراري [32]

يمكن تقسيم المشوشات التكرارية إلى المشوشات التي تعتمد على الذاكرة الرقمية (Digital Radio Frequency Memory – DRFM) والمشوشات اللحظية.

1.5.1.4 المشوش التكراري المعتمد على الذاكرة الرقمية

ظهرت هذه التقنية في السبعينات من القرن العشرين، ولكن كان حينئذٍ من الصعب تحقيقها عملياً نظراً لكونها تتطلب بعض التقنيات الخاصة. ولكن مع تطور المعالجات الرقمية انتشر استخدام هذا النوع من المشوشات، وأنتجت العديد من الدول مشوشات من هذا النوع. يمكن استخدام هذا المشوش للتشويش على الرادارات التقليدية وعلى رادارات ضغط النبضة. يعتمد مبدأ عمل هذا النوع من المشوشات على استقبال النبضات الرادارية، ونقلها إلى الحزمة القاعدية، وتخزينها ضمن ذاكرة رقمية، وأخيراً إعادة إرسالها باتجاه رادار الضحية بعد تعديلها وإعادة نقلها إلى الترددات العالية بالتزامن مع النبضات الرادارية المرسله تالياً [34]. يمكن لهذا النوع من المشوشات خلق أهداف خداعية على خرج المستقبل الراداري قبل وبعد النبضة المنعكسة عن الهدف عن طريق التحكم بلحظة إرسال نبضات التشويش و/أو تعديل إشارة الرادار بإشارة مناسبة. في هذه الحالة، لن يكون رادار الضحية قادراً على التمييز بين إشارة المشوش وبين الإشارات الحقيقة المنعكسة عن الهدف [32] [35]. يبين الشكل (6-4) مخططاً صندوقياً لمشوش DRFM. لما كان هذا النوع من المشوشات يخزن النبضات الرادارية فإنه يتأخر دوماً عنها

بنبضة واحدة، فإن الرادارات الحديثة يمكن أن تتغلب على هذا النوع من المشوشات عن طريق تغيير دورها التكراري أو تردد عملها [36]، أو عن طريق إرسال إشارات متعامدة [37] [33].



الشكل (4-6): المخطط الصندوقي للمشوش المكرر المعتمد على الذاكرة الرقمية [32]

حتى يكون المشوش التكراري أكثر فعاليةً يجب أن يعالج المشوش النبضات الرادارية بالزمن الحقيقي دون أن يحتاج إلى تخزينها، وهذا هو مبدأ عمل المكررات اللحظية instantaneous repeater jammer. في هذه الحالة، كل نبضة رادارية يستقبلها المشوش يقوم بمعالجتها وتعديلها تعديلاً مناسباً ومن ثم يعيد إرسالها مباشرةً باتجاه رادار الضحية. يمكن للمشوش في هذه الحالة التشويش على عدة رادارات معاً إذا كان عريض المجال. تنطوي هذه الطريقة على العديد من التحديات التقنية منها، تأمين:

- مكبرات استطاعة عريضة المجال الترددي تغطي مجال عمل الرادارات المراد التشويش عليها.
- هوائيات عريضة المجال الترددي تغطي أيضاً مجال عمل الرادارات المراد التشويش عليها.
- عزل كافٍ بين هوائيات الإرسال والاستقبال نظراً لكون هاتين العمليتين تجريان بآن واحد.

يمكن للمشوشات اللحظية التشويش على رادارات الفتحة التركيبية، التي ترسل إشارات linear frequency modulation (LFM)، وخلق أهداف خداعية على شاشة الرادار وبالتالي عدم تمكين عامل الرادار من تمييز الهدف الحقيقي من الأهداف الخداعية، أو خلق صورة رادارية مشوهة لا تمكن رادار الـ (SAR) Synthetic-aperture radar من الحصول على معلومات مفيدة [38].

2.4 تحليل أثر إشارات التشويش على خرج مستقبلات GNSS

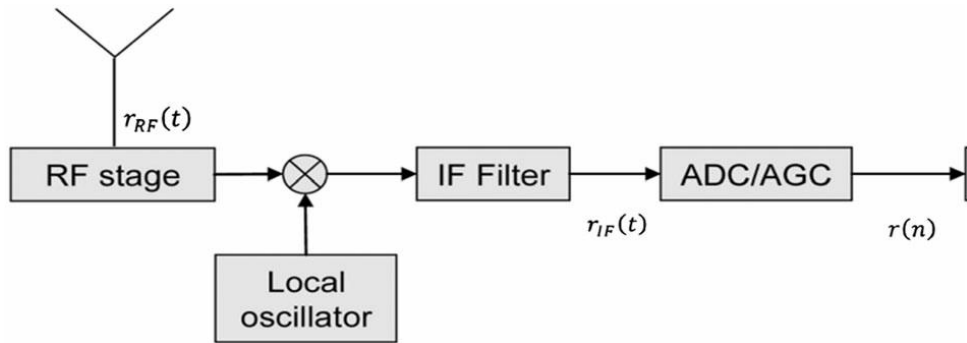
قمنا بدراسة رياضية لإيجاد التعابير الرياضية لنسبة الموجة الحاملة إلى الضجيج C/N_0 عند مستقبل نظام تحديد الموقع وذلك عند التأثير على المستقبل بإشارات Spot Jamming و Sweep Jamming كل على حدة هذا التحليل الرياضي مهم لأنه يعطي انطباعاً عاماً على أداء هذه المستقبلات.

1.2.4 استطاعة خرج المربط CORRELATOR OUTPUT POWER

تُستخدم استطاعة خرج المربط كمفتاح كمي لتقدير تأثير التشويش على مستقبل GPS. يمكن كتابة الإشارة المستلمة عبر هوائي استقبال GPS على شكل:

$$r_{RF}(t) = S_{RF}(t) + n_{RF}(t) + J_{RF}(t) \quad 4.1$$

حيث $S_{RF}(t)$ هي إشارة GPS الساتلية المستقبلة، $n_{RF}(t)$ هي الضجيج الحراري للمستقبل، و $J_{RF}(t)$ هو إشارة التشويش داخل المجال الترددي للمستقبل. يتم تحويل تردد الإشارة المستقبلة إلى تردد متوسط IF ويتم أخذ العينات بتردد $f_s = \frac{1}{T_s}$ ، يظهر الشكل (4-7) مخطط الواجهة الأمامية لمستقبل GPS

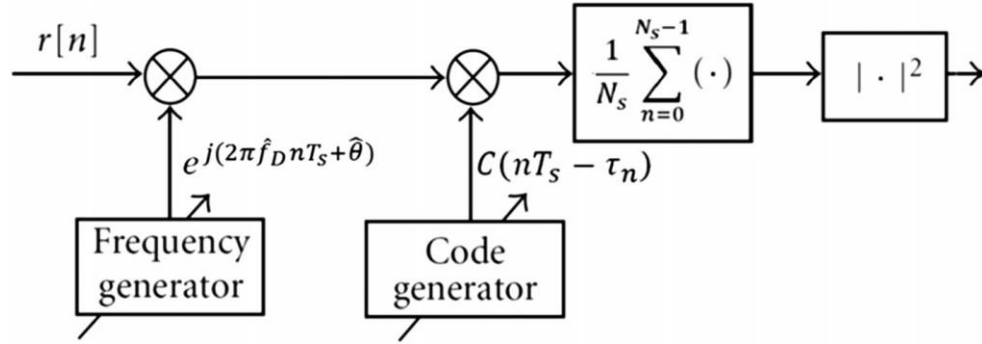


الشكل (4-7): مخطط الواجهة الأمامية لمستقبل GPS [39]

يمكن كتابة معادلة إشارة خرج ADC [40] عند مدخل كتلة المربط Correlator

$$r(nT_s) = S(nT_s) + n(nT_s) + J(nT_s) \quad 4.2$$

يظهر الشكل (4-8) مخطط كتلة Correlator لمستقبل GPS، يتم إنشاء نسخة مطابقة لكود C/A جنباً إلى جنب مع توليد تردد الموجة الحاملة المرجعية وضربها في إشارة الدخل $r(nT_s)$



الشكل (8-4): مخطط كتلة Correlator لمستقبل GPS [41]

يتم بعد ذلك دمج الإشارات الناتجة بشكل متماسك Coherently integrated خلال وقت تجميع (مكاملة) $T_d = N_s \cdot T_s$ حيث N_s هو عدد العينات في وقت التجميع، بتربيع القيمة المطلقة للمطال يمكن الحصول على الاستطاعة في خرج Correlator حيث يمكن كتابة التعبير الرياضي لاستطاعة خرج المرابط Correlator بحال عدم وجود إشارة التشويش بالعلاقة التالية [42]:

$$P_c(\tau_n, \hat{f}_D) = \left| \frac{1}{N_s} \sum_{n=0}^{N_s-1} r(nT_s) \cdot C(nT_s - \tau_n) \cdot e^{j(\pi\hat{f}_D n T_s + \hat{\theta})} \right|^2 \quad 4.3$$

حيث $\hat{f}_D$ و $\hat{\theta}$ يمثلان التردد المرجعي والطور للمستقبل و $C(nT_s - \tau_n)$ هو الكود المحلي المولد C/A و τ_n هو التأخير الزمني لكود C/A المحلي.

لنرى تأثير وجود إشارات تشويش على استطاعة خرج Correlator، وفقاً للحالة الأولى للتشويش التي سوف نناقشها لاحقاً في الفصل السابع، تم اعتماد تقنية Sweep Jamming لتشويش على GLONASS وتقنية Spot Jamming With Sweep Jamming لتشويش على GPS عملية دمج هاتين التقنيتين ينتج عنها إشارة مشابهة طيفياً لإشارة Sweep Jamming لذا سنعمل على دراسة تأثير هذه الإشارة على استطاعة خرج Correlator، وإيجاد علاقة نسبة إشارة الحامل إلى الضجيج C/N0 بوجود إشارة تشويش.

2.2.4 تأثير إشارة Sweep Jamming على خرج المرابط CORRELATOR

انطلاقاً من الدراسة النظرية لإشارة GPS في الفصل الثالث وجدنا أن كود C/A لا يحتوي على طيف استطاعة مستمر، بدلاً من ذلك يحتوي خطوط طيفية متباعدة فيما بينها بمقدار $\frac{1}{T_c} = 1 \text{ KHz}$ الشكل

(9-4) حيث T_c دور الكود، T_a : chip duration [42].

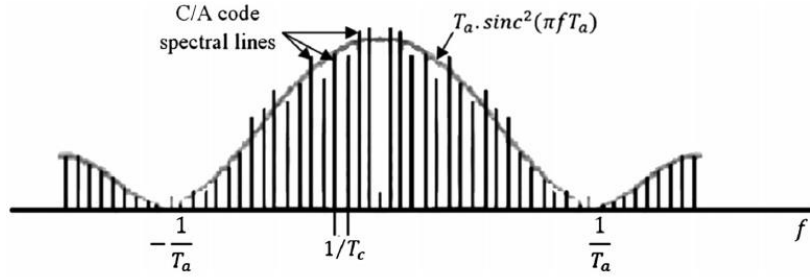
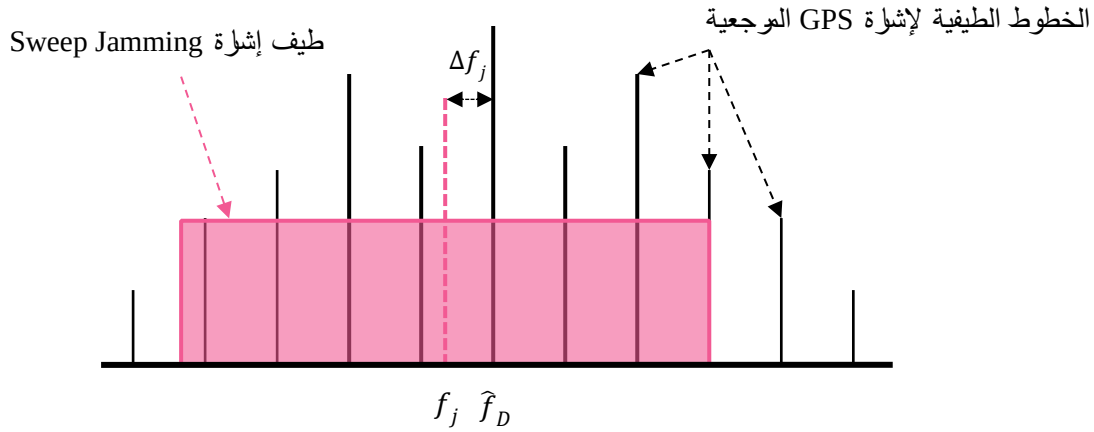


Fig. 4-Spectrum of C/A code [17]

الشكل (4-9): الخطوط الطيفية لإشارة GPS المشفرة بـ (C/A) [42]

يظهر الشكل (4-10) أن إشارة Sweep Jamming تؤثر على أكثر من خط طيفي واحد من كود C/A. ترتبط الاستطاعة عند خرج correlator بجميع مطالات خطوط طيف كود C/A إضافة إلى مطال إشارة التشويش.



الشكل (4-10): إشارة GPS مع إشارة التشويش [الباحث]

على فرض أن إشارة التشويش لها طيف مستوي وعرض مجال B_N يمكن التعبير عن استطاعة خرج correlator بالعلاقة التالية:

$$P_{SwJa}(\Delta f_j, B_N) = N_j \left| \frac{1}{N_s} \sum_{n=0}^{N_s-1} C(nT_s - \tau_n) \cdot e^{j(2\pi\Delta f_j nT_s)} \sum_{\beta=-B_N T_d/2}^{B_N T_d/2} e^{j(2\pi(\frac{\beta}{T_d})nT_s)} \right|^2 \quad 4.4$$

حيث Δf_j خطأ تردد التداخل، N_j كثافة الاستطاعة لإشارة التشويش $N_j = P_j / B_N T_d$ ، P_j : استطاعة إشارة التشويش عند مدخل Correlator، يمكن كتابته كود C/A بالعلاقة التالية:

$$C(nT_s - \tau_n) e^{j(2\pi\Delta f_j nT_s)} = \sum_{i=-N_c}^{N_c} \sqrt{T_a/T_c} \cdot \text{sinc}\left(\pi\left(\frac{i}{T_c} - \Delta f_j\right)T_a\right) \cdot e^{j2\pi\frac{i}{T_c}nT_s} \cdot e^{j2\pi\frac{i}{T_c}\tau_n} \quad 4.5$$

نعوض 4.5 في 4.4 وبالتالي يمكن كتابة استطاعة إشارة التشويش على خرج correlator كـ

$$\begin{aligned} P_{SwJa}(\Delta f_j, B_N) &= N_J \left| \frac{1}{N_S} \sum_{n=0}^{N_S-1} \sum_{i=-N_c}^{N_c} \sqrt{T_a/T_c} \cdot \text{sinc}\left(\pi\left(\frac{i}{T_c} - \Delta f_j\right)T_a\right) \cdot e^{j2\pi\frac{i}{T_c}\tau_n} \sum_{\beta=-B_N \cdot \frac{T_d}{2}}^{B_N \cdot \frac{T_d}{2}} e^{j\left(2\pi\left(\frac{i}{T_c} - \frac{\beta}{T_d}\right)nT_s\right)} \right|^2 \\ &= \frac{P_J}{B_N T_d} \left| \sum_{i=-N_c}^{N_c} \sqrt{T_a/T_c} \cdot \text{sinc}\left(\pi\left(\frac{i}{T_c} - \Delta f_j\right)T_a\right) \sum_{\beta=-B_N \cdot \frac{T_d}{2}}^{B_N \cdot \frac{T_d}{2}} \text{sinc}\left(\pi\left(\frac{i}{T_c} + \frac{\beta}{T_d}\right)T_d\right) \right|^2 \quad 4.6 \end{aligned}$$

زمن التجميع integration time هو رقم من دور كود C/A فيكون المجموع:

$$\sum_{\beta=-B_N \cdot \frac{T_d}{2}}^{B_N \cdot \frac{T_d}{2}} \text{sinc}\left(\pi\left(\frac{i}{T_c} + \frac{\beta}{T_d}\right)T_d\right) = 1$$

مساوي للواحد عندما $\text{sinc}\left(\pi\left(\frac{i}{T_c} + \frac{\beta}{T_d}\right)T_d\right) = 1$ يحدث مرة واحدة فقط عندما

$$\frac{i}{T_c} + \frac{\beta}{T_d} = 0$$

وبالتالي يمكن كتابة

$$\sum_{\beta=-B_N \cdot \frac{T_d}{2}}^{B_N \cdot \frac{T_d}{2}} \text{sinc}\left(\pi\left(\frac{i}{T_c} + \frac{\beta}{T_d}\right)T_d\right) = \begin{cases} 1, & i \in \left[-B_N \cdot \frac{T_c}{2}, B_N \cdot \frac{T_c}{2}\right] \\ 0, & \text{elsewhere} \end{cases} \quad 4.7$$

بالتعويض بالمعادلة 4.6 يمكن كتابة علاقة استطاعة إشارة التشويش على خرج Correlator:

$$P_{SwJa}(\Delta f_j, B_N) = \frac{P_J}{B_N T_d} \sum_{i=-B_N \frac{T_c}{2}}^{+B_N \frac{T_c}{2}} T_a / T_c \cdot \left(\text{sinc} \left(\pi \left(\frac{i}{T_c} - \Delta f_j \right) T_a \right) \right)^2 \quad 4.8$$

نسبة الحامل للضجيج $C/N_0 = \frac{P_G}{(N_0)_{Post}}$ ، حيث P_G استطاعة إشارة GPS على خرج Correlator ، $(N_0)_{Post} = N_0 + N_i$ ، [35] ،

$$P_G = P_s \left(1 - \frac{|\Delta \tau|}{T_a} \right)^2 \cdot \left(\text{sinc}(\pi \Delta f_D T_d) \right)^2 \quad 4.9$$

Ps: استطاعة إشارة GPS، و $P_{SwJa} = N_i / T_d$ ، [43] [44] تتسبب إشارة Sweep Jamming في انخفاض قيمة C/N_0 ، حيث يمكن التعبير عن C/N_0 بعد correlator بوجود إشارة التشويش بالعلاقة التالية:

$$\begin{aligned} C/N_0 \text{ post} &= \frac{P_G}{N_0 + N_i} = \frac{P_G}{N_0 + T_d \cdot P_{SwJa}} \\ &= \frac{P_s \left(1 - \frac{|\Delta \tau|}{T_a} \right)^2 \cdot \left(\text{sinc}(\pi \Delta f_D T_d) \right)^2}{N_0 + \frac{P_J}{B_N} \sum_{i=-B_N \frac{T_c}{2}}^{+B_N \frac{T_c}{2}} T_a / T_c \cdot \left(\text{sinc} \left(\pi \left(\frac{i}{T_c} - \Delta f_j \right) T_a \right) \right)^2} \end{aligned} \quad 4.10$$

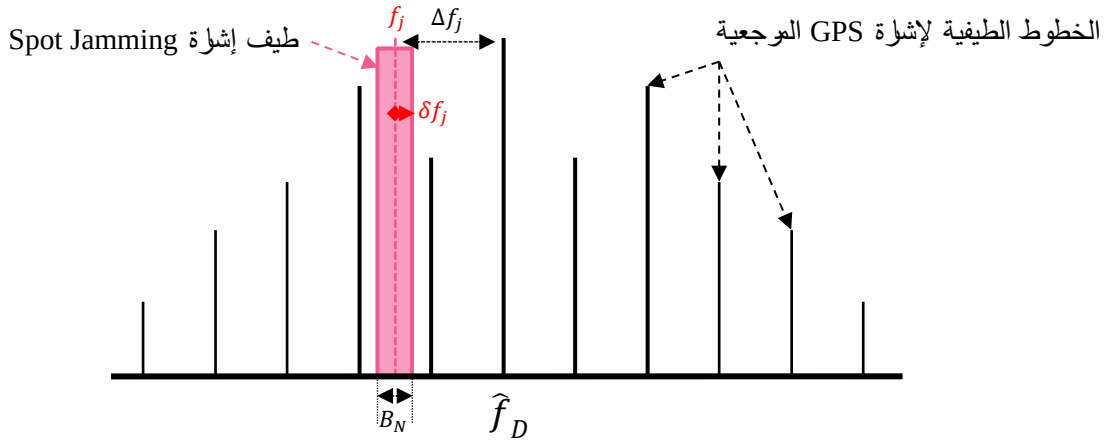
نجد من هذه العلاقة أن نسبة الحامل للضجيج تتناسب مع استطاعة إشارة GPS الأصلية ومع عرض مجال إشارة تشويش Sweep Jamming، وتدهور هذه النسبة مع عدد الخطوط الطيفية لكود C/A الواقعة ضمن المجال الطيفي لإشارة Sweep Jamming ومع استطاعة إشارة التشويش.

3.2.4 تأثير إشارة Spot Jamming على خرج المربط CORRELATOR

قمنا بدراسة رياضية لتأثير Sweep Jamming على نسبة الموجة الحاملة إلى الضجيج C/N_0 عند مستقبل نظام تحديد الموقع. سوف نجري في هذه الحالة تحليلاً رياضياً لإيجاد العلاقة الرياضية المعبرة عن استطاعة إشارة Spot Jamming عند خرج Correlator وتأثيره على C/N_0 .

إشارة التشويش يمكن اعتبارها تشويش Spot Jamming إذا كان لهذه الإشارة عرض مجال الترددي B_n أكبر من مقلوب زمن التكامل وأقل من أو يساوي $1/T_d < B_n \leq 1\text{KHz}$

الشكل (4-11).



الشكل (4-11): طيف إشارة Spot Jamming مع الخطوط الطيفية لـ GPS [الباحث]

بفرض أن إشارة التشويش لها طيف مستوي على طول عرض المجال الترددي الخاص بها B_N يمكن كتابة كثافة استطاعة لهذه الإشارة:

$$G_{SpJa}(f) = \begin{cases} N_j & |f| \leq B_N/2 \\ 0 & otherwise \end{cases} \quad 4.11$$

حيث N_j كثافة استطاعة إشارة التشويش $N_j = P_j/B_N T_d$ و P_j [45] الاستطاعة على دخل المرباط Correlator يمكن التعبير عن إشارة التشويش على دخل Correlator بالعلاقة التالية:

$$I_{SpJa}(nT_s) = \sqrt{N_j} \cdot \sum_{\beta=-B_N T_d/2}^{+B_N T_d/2} e^{j(2\pi(f_j + \frac{\beta}{T_d})nT_s + \theta_j)} \quad 4.12$$

باستبدال 4.12 في 4.3 عندما $r(nT_s) = I_{SB}(nT_s)$ ، أي يمكن كتابة استطاعة خرج المرباط لإشارة Spot jamming

$$P_{SpJa}(f_j, B_N) = \left| \frac{1}{N_s} \sum_{n=0}^{N_s-1} \sqrt{N_j} C(nT_s) - \tau_n \right| \sum_{\beta=-B_N T_d/2}^{+B_N T_d/2} e^{j(2\pi(f_j - \hat{f}_D + \frac{\beta}{T_d})nT_s + \theta_j - \hat{\theta})} \quad 4.13$$

$$P_{SpJa}(w, \delta f_j, B_N) = N_j \left| \sum_{i=-N_c}^{N_c} \dot{c}_i e^{-j2\pi \frac{\tau_{ni}}{T_c}} \cdot \frac{1}{N_s} \sum_{n=0}^{N_s-1} \sum_{\beta=-B_N T_d/2}^{+B_N T_d/2} e^{j(2\pi(\frac{i}{T_c} + \frac{w}{T_c} + \delta f_j + \frac{\beta}{T_d})nT_s)} \right|^2 \cdot |e^{j(\Delta\theta_j)}|^2$$

$$= N_j \left| \sum_{i=-N_c}^{N_c} \dot{c}_i e^{-j2\pi \frac{\tau_{ni}}{T_c}} \cdot \sum_{\beta=-B_N T_d/2}^{+B_N T_d/2} \text{sinc} \left(\pi \left(\frac{i}{T_c} + \frac{w}{T_c} + \delta f_j + \frac{\beta}{T_d} \right) N_s T_s \right) \right|^2$$

N_c : طول كود C/A ، $f_c = 1.024 \text{ MHz}$ ، f_c : دور كود C/A ، يعتبر عرض مجال إشارة Spot Jamming أقل أو يساوي 1KHz أي يمكن التعبير عن استطاعة إشارة التشويش عند خرج المرباط Correlator بحالتين:

$$P_{SpJa}(w, \delta f_j, B_N) \approx \begin{cases} N_j \left| \dot{c}_{-w} \cdot e^{+j2\pi \frac{\tau_n}{T_c} w} \sum_{\beta=-B_N \cdot \frac{T_d}{2}}^{+B_N \cdot \frac{T_d}{2}} \text{sinc} \left(\pi \left(\delta f_j + \frac{\beta}{T_d} \right) T_d \right) \right|^2, & i = -w \\ 0, & i \neq -w \end{cases} \quad 4.14$$

حيث w هو الخط الطيفي المتضرر بإشارة تشويش Spot jamming
استطاعة إشارة Spot عند خرج المرباط Correlator لها قيمة صفرية عندما $i \neq -w$ ويكون لكود C/A طيف متماثل $\dot{c}_{-w} = \dot{c}_w$ أي يمكن التعبير عن استطاعة إشارة التشويش على الخرج بالعلاقة التالية:

$$P_{SpJa}(w, \delta f_j, B_N) = \frac{P_j |\dot{c}_w|^2}{B_N T_d} \cdot \sum_{\beta=-B_N \cdot \frac{T_d}{2}}^{+B_N \cdot \frac{T_d}{2}} \left(\text{sinc} \left(\pi \left(\delta f_j + \frac{\beta}{T_d} \right) T_d \right) \right)^2 \quad 4.15$$

من هذه العلاقة نجد أن استطاعة إشارة التشويش عند خرج المرباط تؤثر على أقرب خط طيفي لكود C/A (رقم الخط الطيفي w)، يمكن التعبير عن C/N0 بحال وجود Spot Jamming بالعلاقة التالية:

$$\begin{aligned} C/N_0 \text{ post} &= \frac{P_G}{N_0 + N_i} = \frac{P_G}{N_0 + T_d \cdot P_{SpJa}} \\ &= \frac{P_s \left(1 - \frac{|\Delta \tau|}{T_d} \right)^2 \cdot (\text{sinc}(\pi \Delta f_D T_d))^2}{N_0 + \frac{P_j |\dot{c}_w|^2}{B_N} \cdot \sum_{\beta=-B_N \cdot \frac{T_d}{2}}^{+B_N \cdot \frac{T_d}{2}} \left(\text{sinc} \left(\pi \left(\delta f_j + \frac{\beta}{T_d} \right) T_d \right) \right)^2} \end{aligned} \quad 4.16$$

نجد من هذه العلاقة أن تأثير Spot jamming على C/N0 هو فقط ضمن الخطوط الطيفية لكود C/A الواقعة ضمن مجال إشارة Spot jamming الضيق ويزداد هذا التأثير بازدياد استطاعة إشارة التشويش.

الفصل الخامس

النظم الجزئية لنظام التشويش

Partial systems of jamming system

1.5 تمهيد:

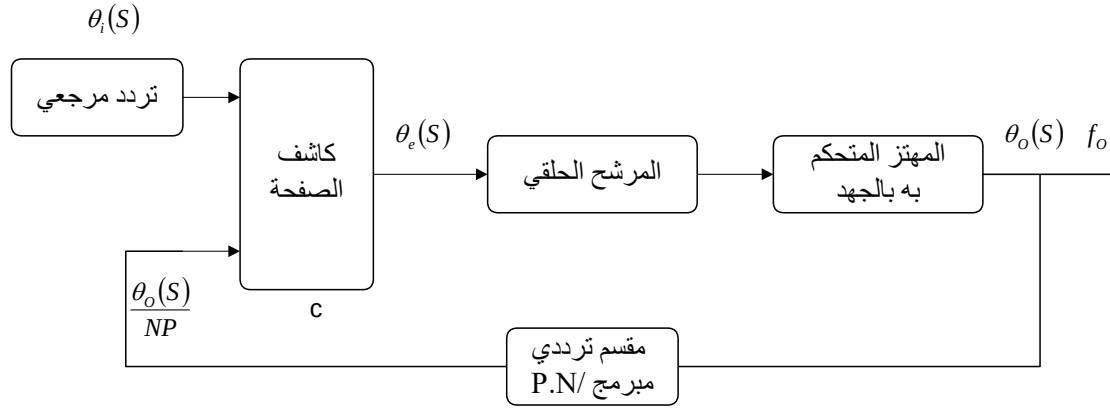
تعتمد أنظمة التشويش الحديثة على مجموعة من الأنظمة الإلكترونية الجزئية المتكاملة مع بعضها البعض لتحقيق الهدف المطلوب منها، فهي المسؤولة عن توليد إشارات التشويش ومعالجتها وضبط ترددها وخصائصها الطيفية وصولاً إلى تكبيرها وإرسالها، لدراسة هذه النظم أهمية كبيرة لأنه بناءً عليها سوف ينطلق منها البحث بجزئه العملي، سوف نستعرض في هذا الفصل دراسة بعض هذه النظم وندرس التعابير الرياضية الخاصة بها.

2.5 حلقة إقفال الطور

تعتبر حلقة إقفال الطور (PLL) Phase-locked loop من أهم النظم المسؤولة عن توليد إشارات التشويش سواء كانت تلك الإشارات نبضية أو مستمرة ذات تردد ثابت أو متغير، حلقة (PLL) هي دائرة ذات تغذية خلفية سالبة تجعل صفحة المهتز المحلي تتغير بحيث تساوي صفحة إشارة خارجية، عندها نقول إن الحلقة قد أقفلت على تردد الإشارة المرجعية [46].

تتألف حلقة إقفال الطور من:

- كاشف الصفحة.
 - المرشح الحلقي Loop Filter (مرشح تمرير منخفض).
 - المهتز المتحكم به بالجهد.
 - المقسم الترددي ويتضمن قسمين: قسم مبرمج N وقسم ثابت P.
- يظهر الشكل (5-1) المخطط الصندوقي لحلقة إقفال الطور.



الشكل (5-1): المخطط الصندوقي لحققة إقفال الطور

حيث:

$\theta_i(S)$: صفحة الإشارة المرجعية.

$\theta_e(S)$: صفحة إشارة الخطأ.

$\theta_o(S)$: صفحة إشارة الخرج.

يقوم كاشف الصفحة بمقارنة الصفحة $\theta_i(S)$ مع الصفحة $\frac{\theta_o(S)}{NP}$ لإشارة الخرج بعد التقسيم الترددي ويعطي جهد يتعلق بفرق الصفحة السابق ويستخدم ليعدّل من خرج المهتز المتحكم به بالجهد حتى يصبح فرق الصفحة صغيراً جداً، لتكون عندها الحلقة مستقرة ويكون المهتز المتحكم به بالجهد قد أقل على تردد إشارة الدخل، لكن بصفحة $\theta_o = NP\theta_i$ أي أن الدارة تتصرف كضارب ترددي. لنقم بتوضيح بعض مكونات حلقة إقفال الطور.

1.2.5 كاشف الصفحة

يعمل كاشف الصفحة كمقارن إذ أنه يؤمن إشارة خرج مستمرة تتناسب مع فرق الصفحة بين إشارتي الدخل لذا فإن جهد الخرج لكاشف الصفحة يعطى بالعلاقة رقم 5.2 [46]:

$$V_p = k_p(\theta_{i1} - \theta_{i2}) \quad 5.1$$

من أشهر أنواع كواشف الصفحة: كاشف الصفحة الضارب وفي هذه الحالة نلاحظ العلاقة رقم 5.2:

$$V_1(t) = V_1 \cos(wt), V_2(t) = V_2 \cos(wt - \theta)$$

$$\rightarrow V_p(t) = \frac{kV_1V_2}{2} (\cos(2wt - \theta) + \cos(\theta)) \quad 5.2$$

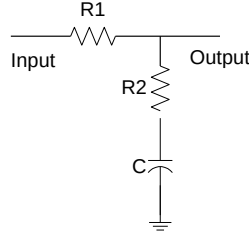
نلاحظ أن الخرج يتألف من مجموع حدين: الأول إشارة مستمرة وتتعلق بفرق الصفحة والثانية إشارة متناوبة يمكن ترشيحها باستخدام المرشح الحلقي Loop Filter.

عند إقفال الحلقة يكون $V_p(t) = 0$ وبالتالي حسب العلاقة رقم 5.3:

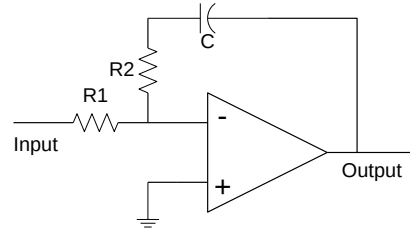
$$\theta = \frac{\pi}{2} + n\pi \Rightarrow k_p = \frac{kV_1V_2}{2} \quad 5.3$$

2.2.5 المرشح الحلقي

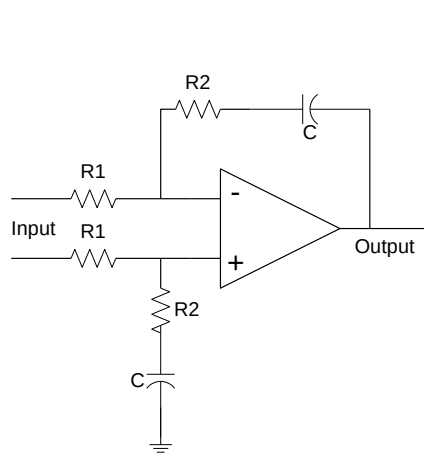
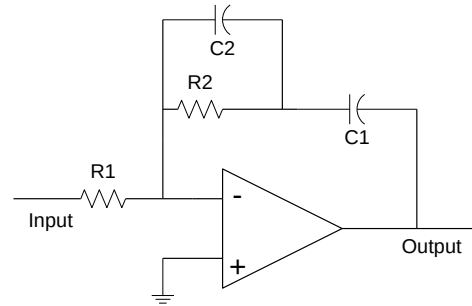
مرشح تمرير منخفض يقوم بترشيح الحد $\frac{kV_1V_2}{2} (\cos(2\omega t - \theta))$ الشكل (2-5) يوضح أهم الدارات الإلكترونية [46] والأكثر استخداماً في تصميم المرشح الحلقي:



1- Second order type I



2-Second order type II

3-Second order type I
with differential inputs

4-Third order type II

الشكل (2-5): دارات المرشح الحلقي

3.2.5 المهتز المتحكم به بالجهد

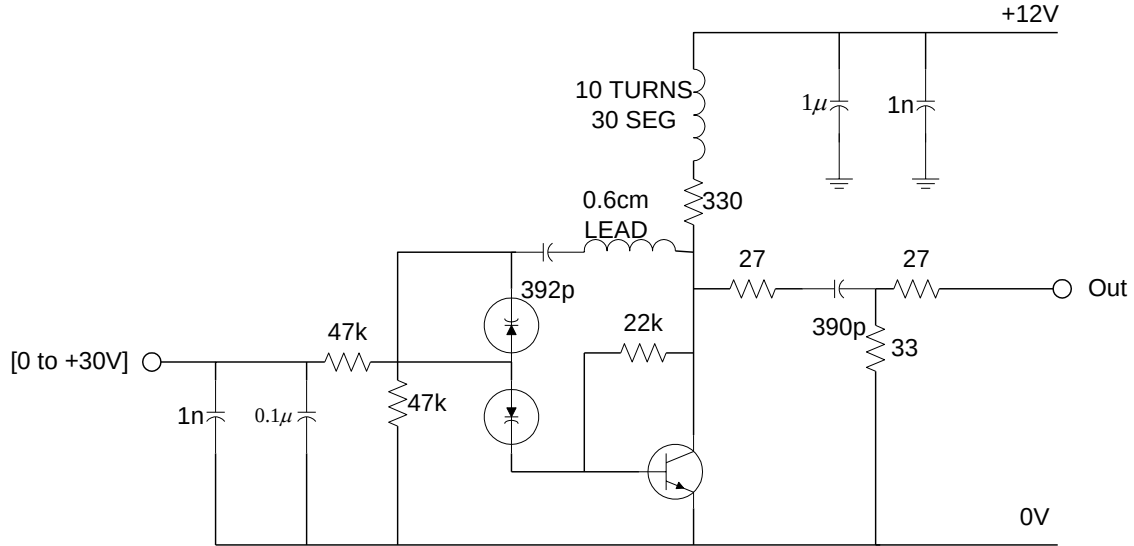
إن المهتز المتحكم به بالجهد هو مهتز قابل للتوليف إلكترونياً بحيث يكون تردد إشارة الخرج W_o يتعلق بالجهد المطبق على دخل المهتز [46] ، يسمى هذا الجهد بجهد التوليف ويعطى ربح المهتز في العلاقة رقم 5.4:

$$K_v = 2\pi \frac{dF}{dV_T} \frac{Rad}{S} / V \quad 5.4$$

بحساب تابع التحويل نجد حسب العلاقة 5.5:

$$F(t) = K_V V(t) \Rightarrow \phi(t) = K_V \int V(t) dt \Rightarrow \phi(S) = \frac{K_V}{S} V(S) \Rightarrow \frac{\phi(S)}{V(S)} = \frac{K_V}{S} \quad 5.5$$

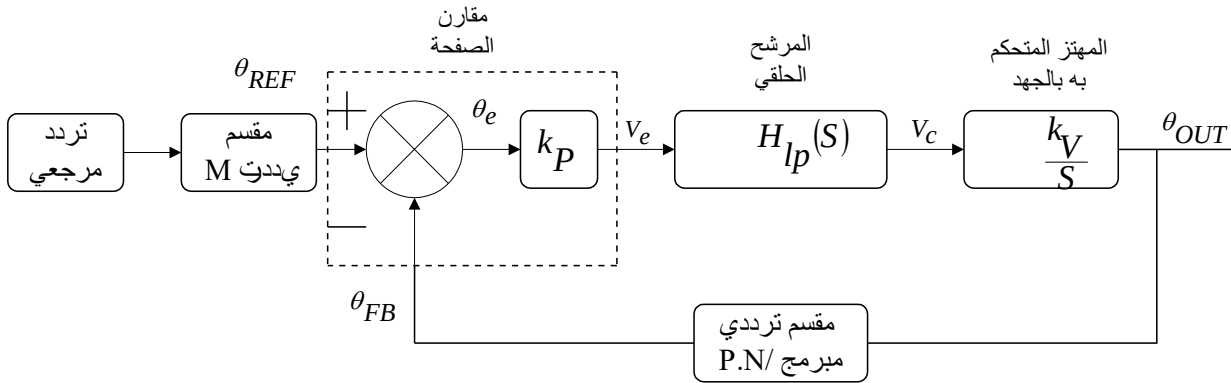
دائرة المهتز المتحكم به بالجهد هي دائرة رنين تحتوي على عنصر ذو سعة متغيرة وبالتالي تردد رنين الدائرة متغير والسعة تتغير مع تغير الجهد المطبق وبالتالي فإن التردد يتغير بتغير جهد الدخل. الشكل (3-5) يوضح دائرة من أشهر دوائر المهتز المتحكم به بالجهد، هذه الدائرة تعمل ضمن المجال [1.5GHz, 2.2GHz]:



الشكل (3-5): دائرة المهتز المحكوم بالجهد

3.5 تابع التحويل لحلقة إقفال الطور

يصبح حلقة إقفال الطور المخطط الموضح بالشكل الشكل (4-5) [47]:



الشكل (4-5): مخطط حلقة إقفال الطور

عند إقفال الحلقة نجد أن قيمة N تحدد حسب العلاقة 5.6:

$$F_{OSC} = \frac{F_{OUT}}{PN} \Rightarrow N = \frac{F_{OUT}}{F_{OSC} \cdot P} \quad 5.6$$

بفرض G_f ربح الحلقة المباشر و G_r ربح الحلقة العكسي وبالتالي فإن ربح الحلقة يعطى حسب العلاقة

رقم 5.7

$$G_f = \frac{k_p H_{lp}(S) k_V}{S}, G_r = \frac{1}{PN} \Rightarrow$$

$$H(S) = \frac{\theta_{OUT}}{\theta_{REF}} = \frac{G_f}{1 + G_f G_r} = \frac{k_p H_{lp}(S) k_V}{S + \frac{k_p H_{lp}(S) k_V}{PN}} \quad 5.7$$

سندرس حالة تابع التحويل الأكثر استخداماً والموضحة بالعلاقة رقم 5.8:

$$H_{lp}(S) = \frac{1 + \tau_2 S}{\tau_1 S} \quad 5.8$$

نعوض في العلاقة 5.7 فنحصل على العلاقة رقم 5.9 :

$$H(S) = \frac{k_p \frac{1 + \tau_2 S}{\tau_1 S} k_V}{S + \frac{k_p \frac{1 + \tau_2 S}{\tau_1 S} k_V}{N}} = \frac{\frac{k_p k_V}{\tau_1} (1 + \tau_2 S)}{S^2 + \frac{k_p k_V \tau_2}{NP \tau_1} S + \frac{k_p k_V}{PN \tau_1}}$$

$$= \frac{1}{M} \frac{\frac{k_p k_V}{\tau_1} (1 + \tau_2 S)}{S^2 + 2\zeta W_n S + W_n^2} \quad 5.9$$

حيث: $W_n = \sqrt{\frac{k_p k_V}{PN \tau_1}}$: التردد الطبيعي، $\zeta = \frac{\tau_2}{2} \sqrt{\frac{k_p k_V}{PN \tau_1}}$: معامل التخميد، τ_1 و τ_2 : قيم

عناصر المرشح، ζ : معامل التخميد.

لنكتب عبارة تابع التحويل بالشكل المقيس بالنسبة لـ W_n فنجد العلاقة رقم 5.10:

$$H(S) = \frac{1}{M} \frac{\frac{k_p k_V}{\tau_1} (1 + \tau_2 S)}{S^2 + 2\zeta W_n S + W_n^2} = \frac{1}{M} \frac{\frac{k_p k_V}{\tau_1 W_n^2} (1 + \tau_2 S)}{\frac{S^2}{W_n^2} + 2\zeta \frac{S}{W_n} + 1}$$

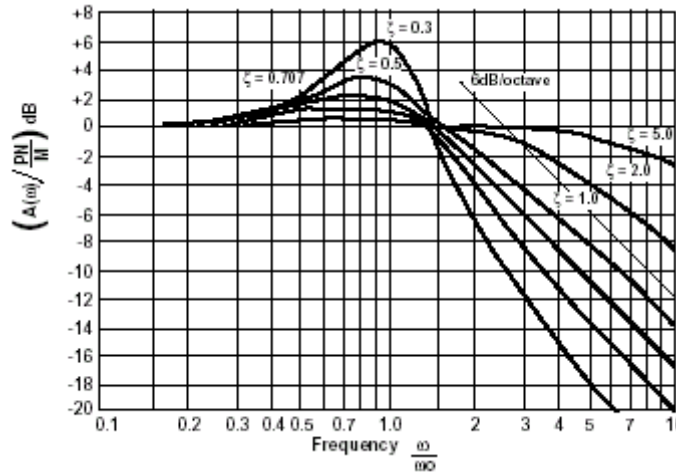
$$= \frac{1}{M} \frac{PN \left[1 + \tau_2 W_n \frac{S}{W_n} \right]}{\frac{S^2}{W_n^2} + \frac{2\zeta S}{W_n} + 1} = \frac{\frac{PN}{M} (1 + \tau_2 W_n S)}{S^2 + 2\zeta S + 1} = \frac{\frac{PN}{M} (1 + 2\zeta S)}{S^2 + 2\zeta S + 1} \quad 5.10$$

الاستجابة الترددية للنظام تعطى بالعلاقة رقم 5.11:

$$A(W) = \frac{\sqrt{1 + (2\zeta W)^2}}{\sqrt{(1 - W)^2 + (\zeta W)^2}}$$

$$\phi(W) = \arctan(2\zeta W) - \arctan\left(\frac{\zeta W}{1 - W^2}\right) \quad 5.11$$

كما هو موضح بالشكل (5-5):



الشكل (5-5): الاستجابة الترددية لحلقة إقفال الطور [46]

الاستجابة الزمنية للنظام تعطى بالعلاقة رقم 5.12:

$$W_{OUT}(t) = W_{OUT} \left[1 - \frac{e^{-\zeta W_n t}}{\sqrt{1 - \zeta^2}} \left(\cos(\sqrt{1 - \zeta^2} W_n t) - \frac{\zeta}{\sqrt{1 - \zeta^2}} \sin(\sqrt{1 - \zeta^2} W_n t) \right) \right] \quad 5.12$$

زمن الاستقرار يعطى بالعلاقة رقم 5.13:

$$W_e = W_{OUT} - W_n(ts) \\ ts = \frac{-\ln\left(\frac{W_e}{W_{OUT}} \sqrt{1 - \zeta^2}\right)}{W_n \zeta} \quad 5.13$$

ربح الحلقة المفتوحة يعطى بالعلاقة رقم 5.14:

$$G_{OL}(S) = \frac{1 + 2\zeta S}{S^2} \quad 5.14$$

وبالتالي فإن الاستجابة الترددية للحلقة المفتوحة تعطى بالعلاقة 5.15:

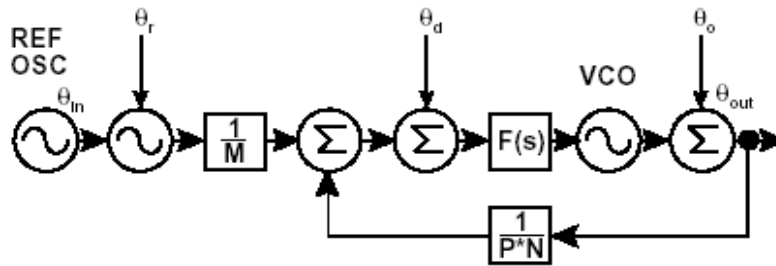
$$A_{OL}(W) = \frac{\sqrt{1 + 2\zeta W^2}}{W^2}, \phi_{OL}(W) = \pm \arctan(2\zeta W) \quad 5.15$$

يجب اختيار معامل التخميد بحيث نحافظ على استقرار النظام وبالتالي هامش الصفحة $\emptyset$ يجب أن يكون أكبر من 45° .

4.5 ضجيج صفحة حلقة إقفال الطور

إن مصادر الضجيج على خرج المهتز المتحكم به بالجهد هي [35]:

- 1- ضجيج صفحة في التردد المرجعي θ_r .
 - 2- ضجيج صفحة في الكاشف θ_d .
 - 3- ضجيج صفحة في المهتز المتحكم به بالجهد θ_o .
- كما هو موضح الشكل (5-6):



الشكل (5-6): مصادر الضجيج لحلقة إقفال الطور [48]

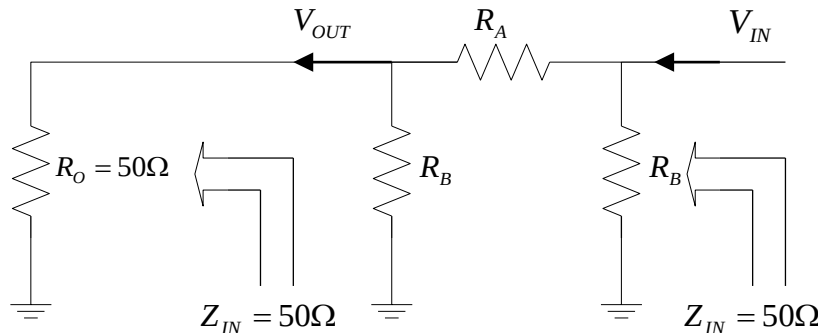
وبالتالي يكون طيف ضجيج الخرج يساوي:

$$\phi_{OUT}(W) = A(W)\theta_r(W) + MA(W)\theta_d(W) + \left[1 + \frac{MA(W)}{PN}\right]\theta_o(W) \quad 5.16$$

حيث $A(W)$ هي الاستجابة الترددية للنظام.

5.5 مخمد الاستطاعة نوع II

الشكل (5-7) يوضح بنية المخمد:



الشكل (5-7): بنية المخمد

لنحسب قيم المقاومات R_A, R_B بدلالة نسبة الجهود

$$N = \frac{V_{in}}{V_{out}}, R_C = R_A // R_o, \quad V_{IN} = \left(\frac{R_B}{R_C} + 1 \right) \cdot V_{out} \quad 5.17$$

$$N \cdot R_A \cdot R_C = R_o (R_A + N \cdot R_C) R_A // R_o = R_C \Rightarrow$$

$$\frac{N \cdot R_A}{R_A + R_o} = 1 + \frac{N \cdot R_o}{R_A + R_o} \Rightarrow R_A = \frac{N + 1}{N - 1} R_o$$

$$R_B = R_C (N - 1), R_C = R_A // R_o \Rightarrow R_B = \frac{N^2 - 1}{2 \cdot N} R_o$$

وبالتالي تكون استطاعة التخميد $W(dB) = 20 \log(N)$.

6.5 مقسم الاستطاعة

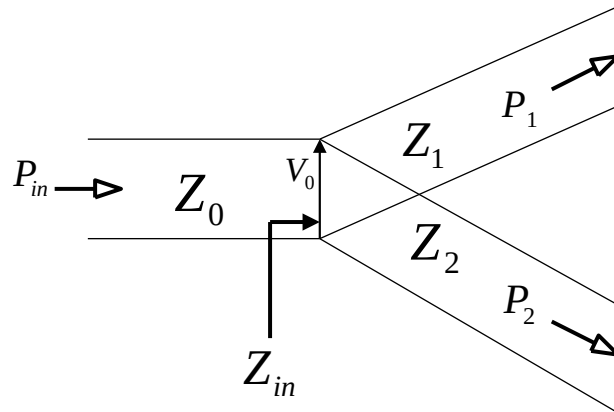
لمقسمات الاستطاعة نوعين [49]:

1- مقسم استطاعة بدون ضياع

2- مقسم استطاعة ذو ضياع

1.6.5 مقسم استطاعة بدون ضياع

الشكل (5-8) يوضح مقسم استطاعة بدون ضياع:



الشكل (5-8): مقسم الاستطاعة بدون ضياع [49]

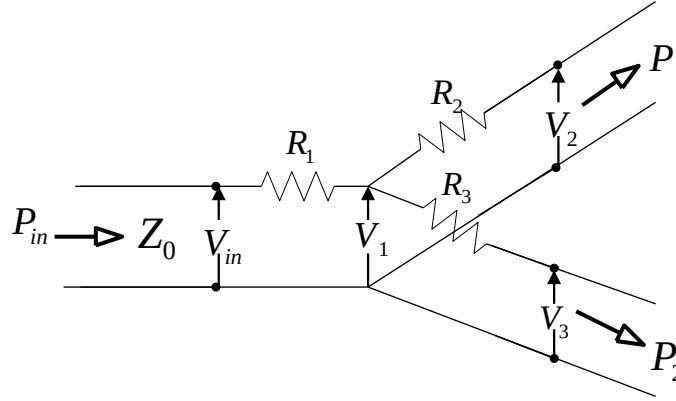
لنفرض أن نسبة تقسيم الاستطاعة هي k أي أن:

$$P_{in} = \frac{1}{2} \frac{V_0^2}{Z_0}, P_1 = k P_{in}, P_2 = (1 - k) P_{in} \quad 5.18$$

وبالتالي فإن: $Z_1 = \frac{Z_0}{k}, Z_2 = \frac{Z_0}{1-k}, Z_{in} = \frac{Z_1 Z_2}{Z_1 + Z_2} = Z_0$ وبالتالي يمكن الحصول على نسب تقسيم مختلفة باختيار ممانعات مميزة للخطوط مختلفة بحيث تحقق العلاقات السابقة مع المحافظة على موافقة الممانعات.

2.6.5 مقسم استطاعة ذو ضياع

الشكل (5-9) يوضح مقسم استطاعة ذو ضياع:



الشكل (5-9): مقسم الاستطاعة ذو ضياع [49]

$$\frac{P_2}{P_{in}} = \left(\frac{P_0 + P_3}{2P_0 + P_2 + P_3} \right)^2, \frac{P_2}{P_{in}} = \left(\frac{P_0 + P_2}{2P_0 + P_2 + P_3} \right)^2 \quad 5.19$$

وبالتالي باختيار قيم مختلفة للممانعات نحصل على نسب مختلفة من تقسيم الاستطاعة لكن يجب موافقة الممانعات مع الممانعة Z_0 .

القسم العملي

Practical Part

الفصل السادس

تصميم وتنفيذ نظام التشويش

تمهيد: يعتمد نظام التشويش المقترح تصميمه على منصة SDR والذي هو عبارة عن نظام اتصالات راديوية تُطبق به العناصر المستخدمة في أجهزة الاتصال الراديوية (مثل، المازج والمرشحات والمضخمات ووحدات التعديل/ فك التعديل والكواشف وما إلى ذلك) عن طريق برنامج على جهاز كمبيوتر شخصي أو نظام مُضمن. [50] على الرغم من أن مفهوم الراديو المُعرّف برمجياً (SDR) ليس جديداً، فإن إمكانات التطور السريع للإلكترونيات الرقمية في تنفيذ العديد من العمليات التي لم تكن ممكنة سوى من الناحية النظرية في السابق.

يمكن أن يتكون النظام الأساسي لـ SDR من جهاز كمبيوتر شخصي مزود ببطاقة معالجة أو بطاقة تحصيل، أو أي محول تناظري رقمي آخر، يسبقه شكل من أشكال الطرف الأمامي للتردد الراديوي. تُسلم كميات كبيرة من الإشارات المُعالجة إلى المعالج للأغراض العامة، بدلاً من القيام بها في الأجهزة ذات الأغراض الخاصة (الدارات الإلكترونية). ينتج هذا التصميم راديو يمكنه استقبال ونقل بروتوكولات راديوية مختلفة على مجال واسع (يُشار إليها أحياناً باسم أشكال موجية) تعتمد فقط على البرنامج المُستخدم.

تتمتع أجهزة الراديو المبرمجة بفائدة كبيرة للخدمات العسكرية وخدمات الهاتف الخليوي، ويجب أن يخدم كلاهما مجموعة متنوعة من بروتوكولات الراديو المتغيرة في الوقت الحقيقي.

على المدى الطويل، يتوقع الداعمون مثل منتدى SDR (منتدى الابتكار اللاسلكي) أن تصبح أجهزة الراديو المعرفة برمجياً، التقنية المهيمنة في الاتصالات اللاسلكية.

يمكن أن يكون SDR مرناً بما يكفي لتجنب افتراضات «الطيف المحدود» [51] حيث تسمح أجهزة الإرسال بالإرسال في نفس المكان وبنفس التردد مع تداخل ضئيل جداً، وعادةً ما تُدمج مع واحد أو أكثر من تقنيات اكتشاف الأخطاء وتصحيحها لإصلاح كافة الأخطاء التي يسببها هذا التداخل. سوف نستعرض في هذا الفصل المخططات العامة والتفصيلية والكهربائية لبنية نظام التشويش بكيانيه الصلب

والمرن (القسم الترددي المبرمج) والمكونات الأساسية ومراحل الإنجاز العملي والمشاكل التي واجهتنا وطرق حلها.

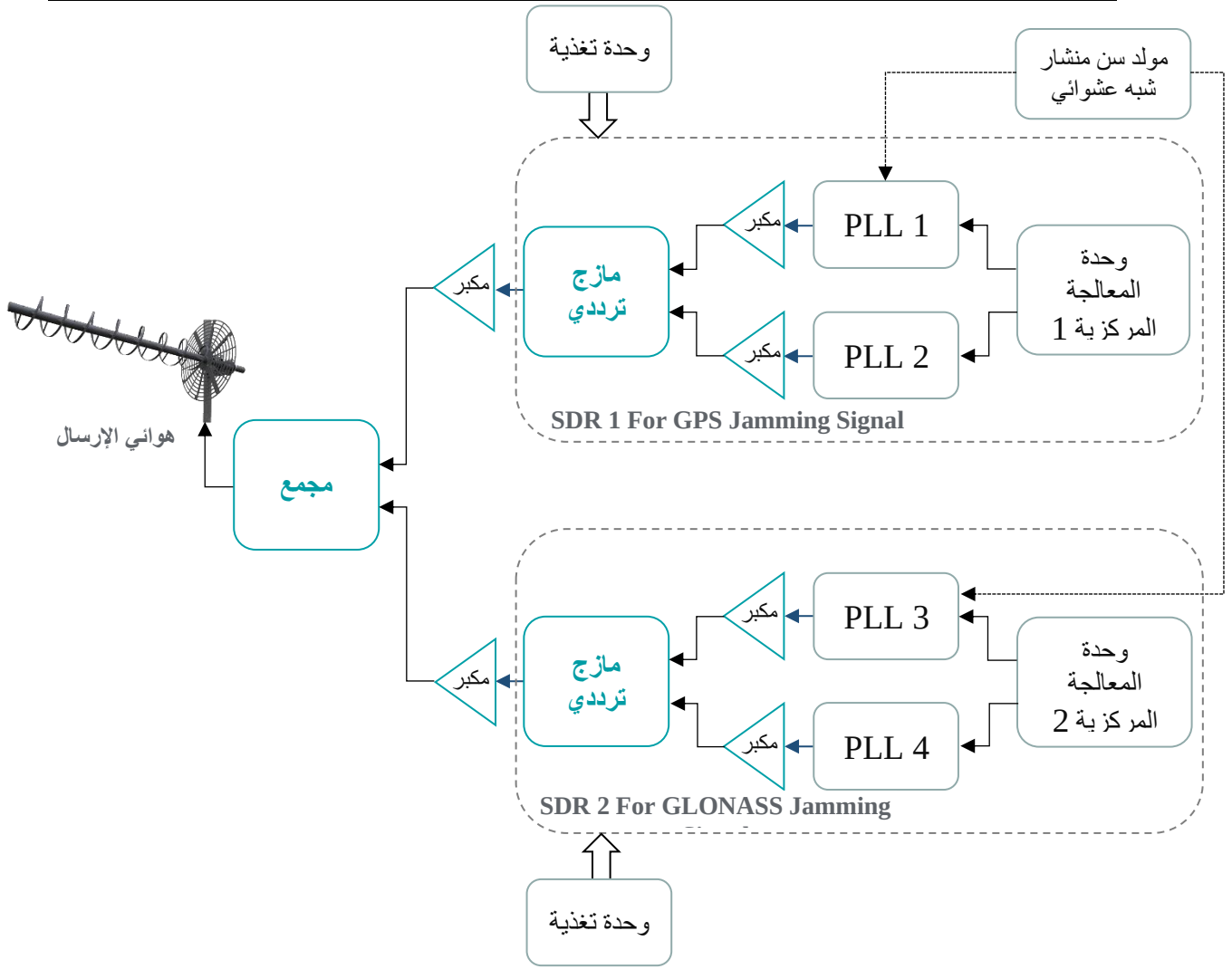
1.6 الكيان الصلب Hardware

تتزايد الحاجة يومياً إلى تحديث وتطوير أنظمة التشويش الإلكتروني لتحسين فعالية هذه الأنظمة وتلبية الاحتياجات الجديدة من أقنية تشويش حديثة بحيث يمكن تغيير نمط العمل والتردد بشكل ديناميكي وفعال، لذا بدأنا العمل على تطوير بطاقات التشويش لتحقيق هذه الأهداف. حيث قمنا بالاعتماد على النظم الجزئية التي تم دراستها في الفصل السابق بتصميم وتنفيذ عملي لنظام تشويش قابل للبرمجة عن طريق بطاقة SDR خاصة ذاتية القيادة، تعمل عند المجال الترددي 50MHz إلى 2.5GHz دون الحاجة إلى أي تغيير في المكونات الصلبة. يعتمد نظام التشويش المصمم على بطاقتي SDR واحدة لتوليد إشارات التشويش على أنظمة تحديد الموقع GPS والأخرى لتوليد إشارات التشويش على نظام تحديد الموقع GLONASS، كما سوف يحتاج النظام إلى بطاقة لتوليد إشارات سن منشار بتردد شبه عشوائي تم بنائها ودمجها ببطاقة SDR.

كما يظهر في الشكل (6-1) يتكون نظام التشويش من الأجزاء الرئيسية التالية:

1. منصة إلكترونية قابلة للبرمجة SDR: نحن بحاجة لاستخدام بطاقتين، بطاقة من أجل توليد إشارات التشويش الإلكتروني على نظام تحديد الموقع GPS والأخرى لتوليد إشارات التشويش على نظام تحديد الموقع GLONASS.
2. مكبر استطاعة: لتكبير إشارات التشويش الترددية الناتجة عن بطاقة SDR في هذا التصميم نحن بحاجة لمرحلي تكبير واحدة لإشارات تشويش GPS والأخرى لإشارات تشويش GLONASS.
3. مجمع إشارات راديوية: يقوم بجمع إشارتي التشويش بإشارة واحدة ليتم إرسالها عبر الهوائي.
4. هوائي إرسال.

سوف نقوم باستعراض مفصل لكل جزء من أجزاء منصة SDR.



الشكل (6-1): المخطط العام لنظام التشويش [الباحث]

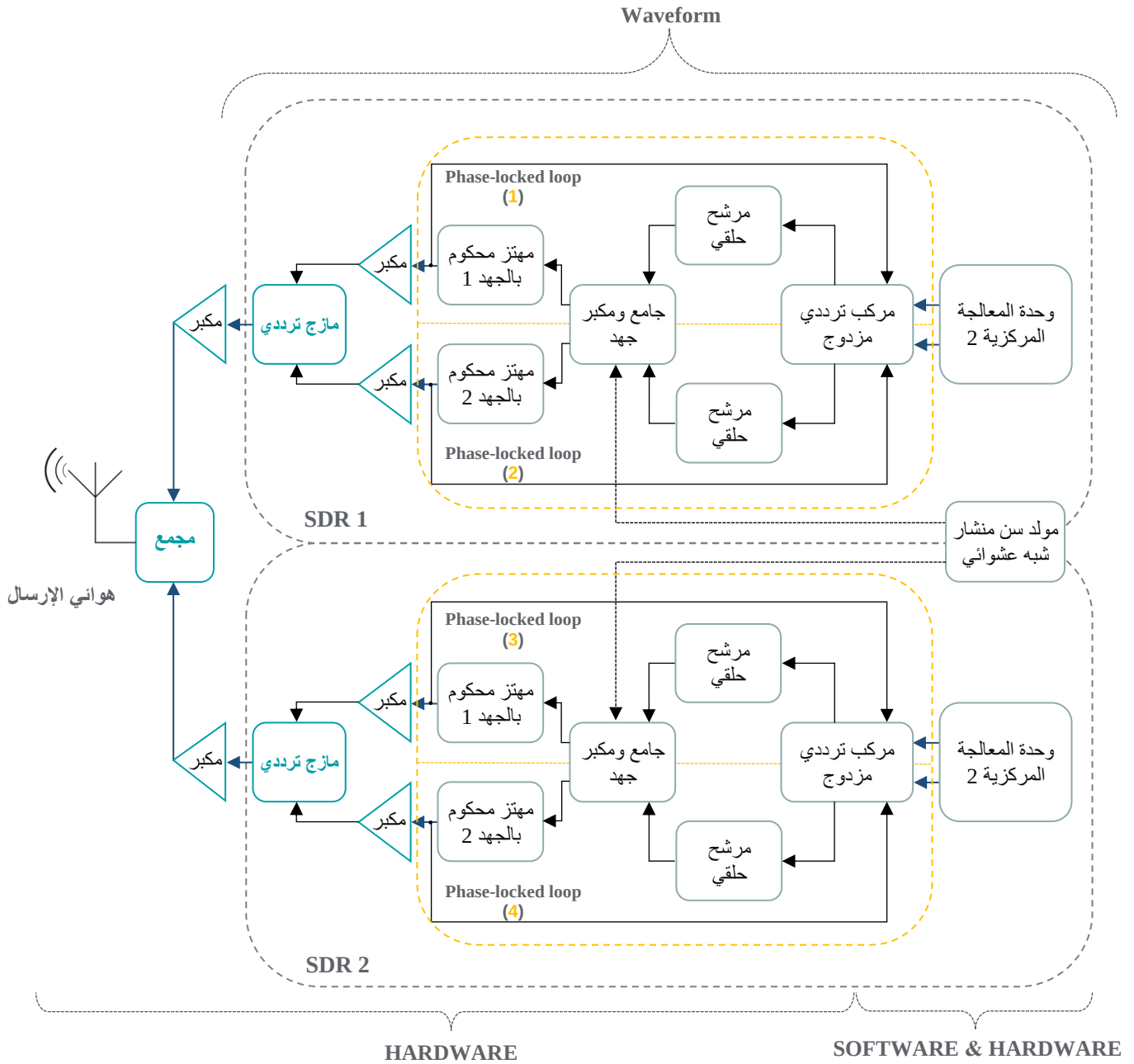
1.1.6 منصة SDR

تتألف المنصة من ثلاث أقسام رئيسية:

- قسم التغذية: وهو القسم المسؤول عن تأمين جهود التغذية لكافة عناصر المنصة، حيث يؤمن جهود تغذية مستمرة (12V, 20V, 5V) بتيار حوالي 100mA, 400mA، عن طريق الاعتماد على منظمات جهد طراز LM7805, LM7820, LM7812.
- قسم التحكم: تم اختيار متحكم صغير طراز ATMEGA32A من شركة Microship يعتمد تكنولوجيا CMOS بـ 8 بت منخفضة الطاقة تعتمد على بنية RISC المحسنة له 44 دبوس مع 32 كيلو بايت فلاش، 2 كيلو بايت SRAM و 1 كيلو بايت إيبروم. يستخدم هذا المتحكم لقيادة البطاقة بشكل عام والتحكم بالمركب الترددي، برامج قيادة منصة SDR وبرامج أخرى تختلف

بحسب تقنية التشويش المراد توليدها لذا سوف نستعرض المخططات التدفقية وإشارات التحكم التي سوف يولدها هذا المتحكم لاحقاً في هذا الفصل.

- قسم التشكيل: وهو القسم المسؤول عن توليد إشارات التشويش بأنواعها المختلفة ويتألف هذا القسم بشكل رئيسي من حلقتي إقفال للطور PLL، يظهر الشكل (2-6) بنية نظام التشويش بشكل أكثر تفصيلاً مظهراً أقسامه وأجزائه الرئيسة وأنه يحتوي على أربع حلقات لإقفال الطور، سوف يتم استعراض نتائج دراسة وحساب بارامترات إحدى حلقات إقفال الطور PLL ليتم تعميم هذه الدراسة لتصميم باقي حلقات إقفال الطور.



الشكل (2-6): المخطط الصندوقي المفصل لبنية نظام التشويش [الباحث]

```
graph LR
    Ref[تردد مرجعي] --> Div1[مقسم ترددي مبرمج]
    Div1 --> PLL[مقارن الصفحة]
    PLL --> Div2[المرشح الحلقي]
    Div2 --> Sum((+))
    Ref --> Sum
    Sum --> Div3[المهتز المتحكم به بالجهد]
    Div3 --> Div4[مقسم استطاعة]
    Div4 --> Out[الخرج]
    Div4 --> Div2
```

(نظراً لصعوبة الظروف الاقتصادية وشراء المواد خارجياً تم الاعتماد على ما هو متوفر من مواد في المخبر) إذ تم اعتماد مركب ترددي مزدوج طراز SKY72300-21 له سرعة تبديل عالية أقل من $100\mu s$ بخطوة تغيير $100Hz$ يعمل في نمطه الرئيسي حتى $2100MHz$ وبنمطه الثانوي حتى $500MHz$ حيث سوف نستعرضه بشكل مفصل لاحقاً، قمنا باستخدام مركب ترددي واحد في حلقتي قفل للطور، لنقم بتوضيح الأجزاء التي تتعلق بالمركب الترددي.

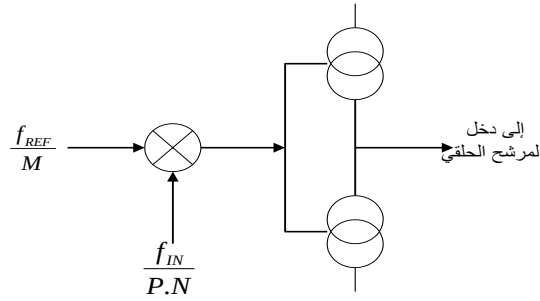
يحتوي المركب الترددي على دارة مهتز كريستالي داخلية، وبالتالي يمكن الاعتماد على دارة المهتز الداخلية أو يمكن تصميم دارة مهتز خارجية أخرى كما في حالتنا هذه حيث استخدم مهتز كريستالي خارجي بتردد 8MHz. يحتوي المركب الترددي على مقسم للتردد المرجعي بنسبة تدعى M يمكن التحكم بهذه النسبة برمجياً.

2.1.1.6 المقسم الترددي المبرمج

يحتوي المركب الترددي على مقسم ترددي قابل للبرمجة له معامل قسمة يدعى N له قيم بين (32-543) بالإضافة لنسبة تقسيم أخرى ثابتة تدعى P بالنسبة للمركب الترددي المستخدم $P=2$ فتصبح نسبة التقسيم الكلية $P.N$ هذه النسبة كلما كانت أكبر كانت دقة التردد الناتج أكبر ولكن على حساب سرعة القفل والوصول إلى التردد المطلوب.

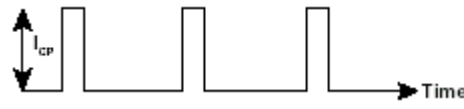
3.1.1.6 مقارن الصفحة

مقارن الصفحة في المركب الترددي هو عبارة عن ضارب متبع بدارة تعطي نبضات تيار $I_{CP} \mu A$ بنية مقارن الصفحة في مخطط بنية المركب الترددي موضحة بالشكل (4-6):



الشكل (4-6): مقارن الصفحة

نبضات تيار الخرج تكون بتردد مساوي لتردد المقارنة $\frac{W_{REF}}{M}$ ومتناسب مع فرق الصفحة كما هو موضح بالشكل (5-6):

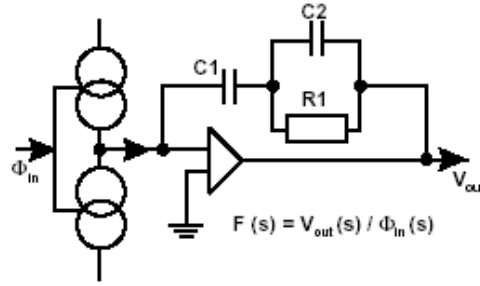


الشكل (5-6): نبضات تيار خرج المقارن

يتم أخذ متوسط النبضات باستخدام المرشح الحلقي لذا فإن ربح كاشف الصفحة $k_d = \frac{I_{CP}}{2} \mu A / \text{radian}$

4.1.1.6 المرشح الحلقي Loop Filter

يقوم المرشح الحلقي بتحويل نبضات التيار على خرج المقارن إلى جهد متناسب مع فرق الصفحة. يبين الشكل (6-6) المرشح الحلقي:



الشكل (6-6): المرشح الحلقي

بالاعتماد على العلاقات رقم 5.16 و 5.6 و 5.7 و 5.2 يمكن حساب عناصر المرشح الحلقي:

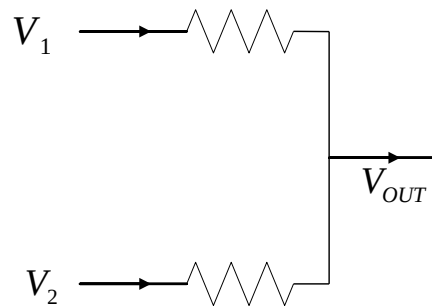
$$F_{out} = 1575.42MHz, F_{REF} = 8MHz, M = 320, P = 1 \Rightarrow N = \frac{MF_{out}}{P F_{REF}}$$

$$c_1 = 88nF, R_2 = 10.44KOhm, c_2 = \frac{c_1}{5} = 0.88nF$$

$$R_1 = \frac{R_2}{\left(1 + \frac{C_2}{C_1}\right)} = 10.3KOhm$$

5.1.1.6 الجامع

تم إضافة الجامع لأن عملية توليد بعض أنواع إشارات التشويش يحتاج لوجود إشارة سن منشار، خصوصاً إشارات التشويش التي تتصف بتغير ترددتها مع الزمن (تحتوي مسح ترددي)، حيث يقوم الجامع بجمع الجهود جهد خرج المرشح الحلقي وجهد التعديل (الناتج من مولد سن المنشار العشوائي). ملاحظة: بعض التقنيات الأخرى للتشويش لا تحتوي إشاراتها على مسح ترددي، في هذه الحالة توليد هذه الإشارات لا يحتاج لوجود إشارة تعديل، لذا نقوم عند توليد هكذا نوع من الإشارات بإيقاف إرسال جهد التعديل (إشارة سن المنشار)، تم استخدام مكبر عمليات طراز AD8066 ليقوم بعملية الجمع. الشكل (6-7) يظهر الدارة المكافئة للجامع.



الشكل (6-7): الدارة المكافئة للجامع

يعطى جهد الخرج بالعلاقة رقم 6.1:

$$V_{out} = \frac{V_1 R_2 + V_2 R_1}{R_1 + R_2} \quad 6.1$$

6.1.1.6 المهتز المتحكم به بالجهد

في تصميم نظام التشويش نحن بحاجة لبطاقتي SDR كل بطاقة لها حلقتي قفل طور حلقة لتوليد ترددات عالية وحلقة لتوليد ترددات منخفضة، لذا نحن بحاجة لاستخدام مهترين محكومين بالجهد إحدى المهترات لتوليد الإشارات بترددات عالية والآخر لتوليد الإشارات ذات ترددات منخفضة. تم استخدام مهتر طراز ROS-2150VW من شركة Mini Circuit، يمكن أن يولد ترددات ضمن المجال الترددي (970-2150MHz) بجهد توليف (0-25V)، يستخدم لحلقة إقفال الطور الأولى. واستخدم مهتر طراز ROS-535+ من شركة Mini Circuit يولد إشارات بترددات تقع ضمن المجال الترددي (300-525MHz) بجهد توليف (1-17V)

7.1.1.6 مقسم الاستطاعة

بالعودة إلى الفقرة 2.6.5 وباستخدام العلاقة (5.19) نقوم بتصميم مقسم استطاعة ذو ضياع متساوي متوافق مع الممانعات $R = 50\Omega$ وبالتالي تكون $R_1 = R_2 = R_3 = 18\Omega$ ونسبة ضياع الاستطاعة فيه أصغري، أي تساوي النصف لتقسيم الاستطاعة بين الخرج ودخل المركب الترددي وبالتالي يصل إلى كل فرع ربع استطاعة الدخل أي 1dBm.

8.1.1.6 مخد الاستطاعة

إن استطاعة خرج المهتر المتحكم به بالجهد تساوي 7dBm، بينما مجال استطاعة إشارة دخل المركب الترددي يساوي [-13dBm, 2.6dBm] وبالتالي يجب تخميد استطاعة دخل المركب الترددي بحيث يقع في المجال السابق بعيداً عن الأطراف، لذا نستخدم مخد استطاعة 3dB.

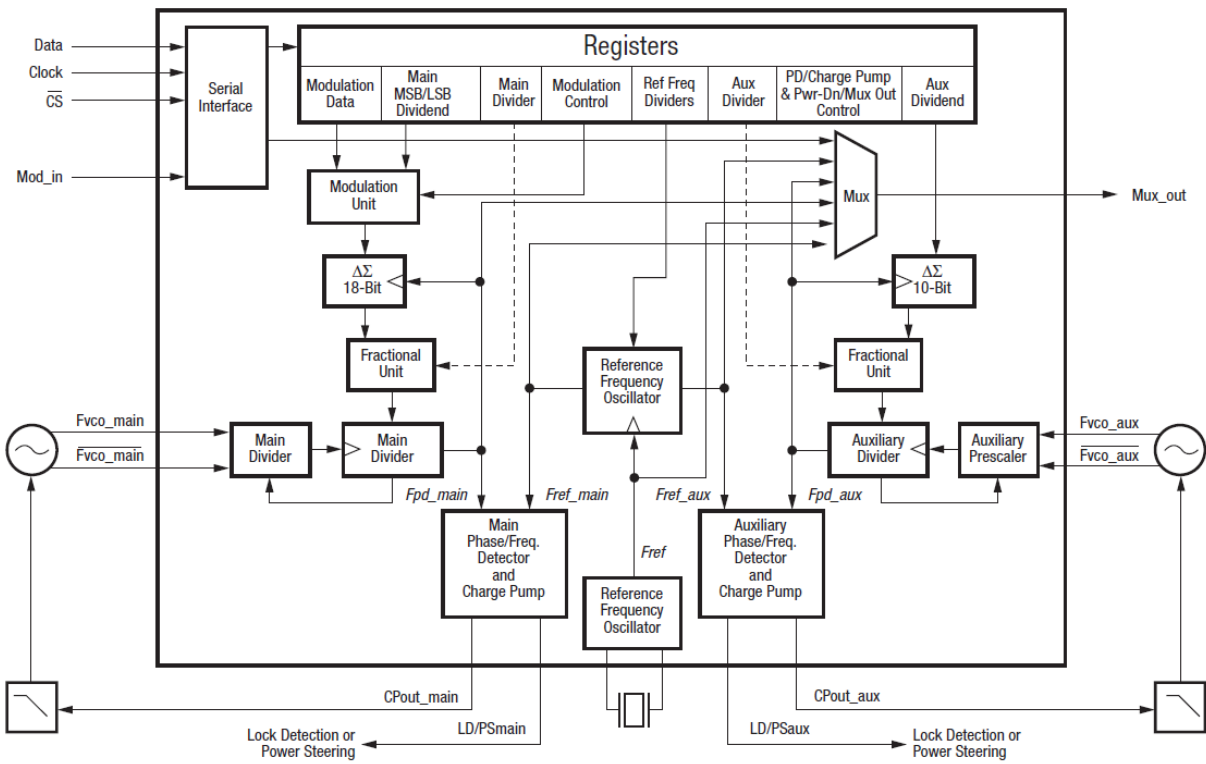
2.1.6 بنية المركب الترددي SKY72300-21

يبين الشكل (6-8) مسقط علوي للمركب الترددي SKY72300-21:

Clock	1	28	$\overline{CS}$
Mod_in	2	27	Data
Mux_out	3	26	VCCdigital
VSUBdigital	4	25	GNDdigital
GNDcml	5	24	VCCcml_aux
VCCcml_main	6	23	VCCvco_aux
Fvco_main	7	22	Fvco_aux
Fvco_main	8	21	GNDcp_aux
LD/PSmain	9	20	CPout_aux
VCCcp_main	10	19	VCCcp_aux
CPout_main	11	18	LD/PSaux
GNDcp_main	12	17	GNDxtal
Xtalacgnd/OSC	13	16	VCCxtal
Xtaln/OSC	14	15	Xtalout/NC

الشكل (6-8): المركب الترددي SKY72300-21

البنية الداخلية للمركب الترددي موضحة بالشكل (6-9):

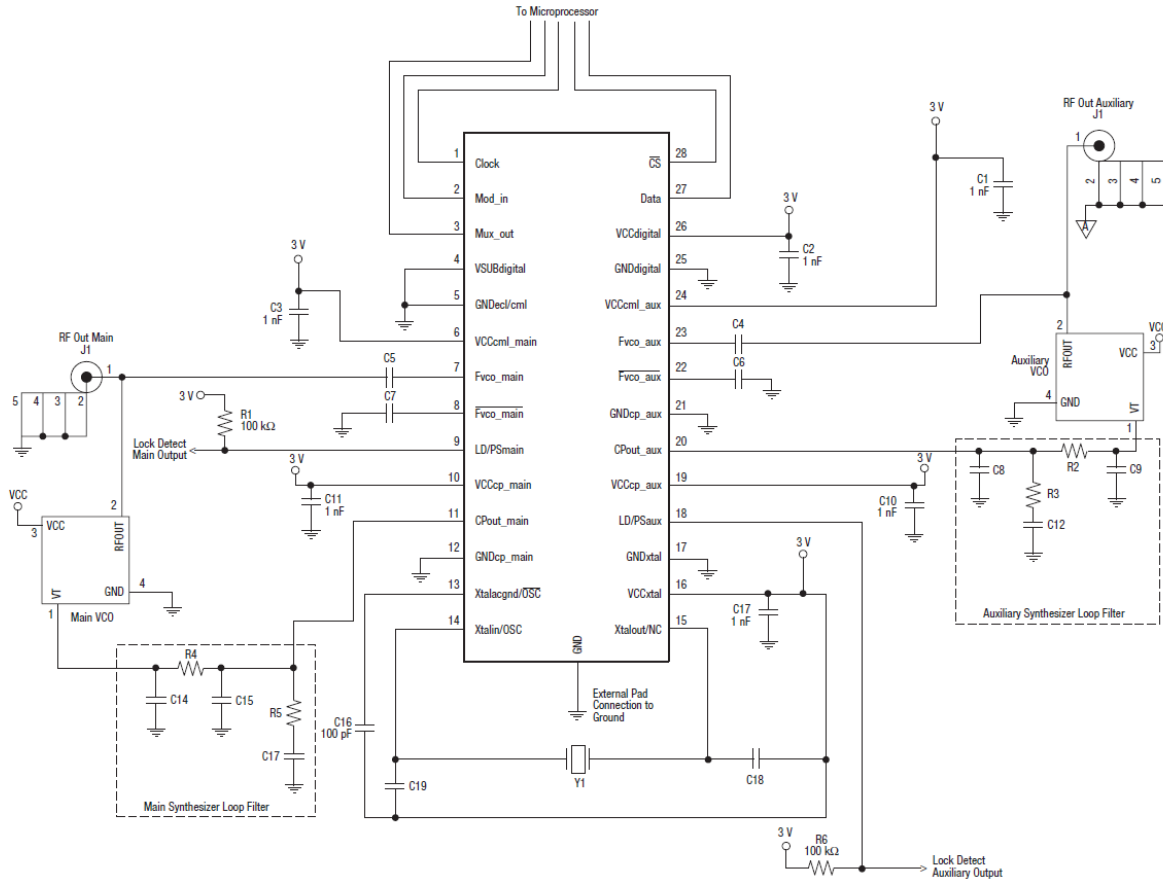


الشكل (6-9): البنية الداخلية للمركب الترددي SKY72300-21

أهم مزايا المركب الترددي SKY72300-21 هي:

- يحوي على مركبين تردديين مركب ترددي أساسي ومركب ترددي ثانوي.
- المركب الترددي الأساسي يستخدم في أنظمة التوليف التي تعمل حتى 2.1GHz.
- المركب الترددي الثانوي يستخدم في أنظمة التوليف التي تعمل حتى 0.5GHz.
- ضجيج الطور منخفض.
- يحتوي على مقسم ترددي بنسبة 2 قابل للتفعيل والإلغاء.

- يحتوي على نسبة تقسيم مرجعية قابلة للتفعيل والإلغاء.
 - يحتوي على خرج لتردد المقارنة أو المرجعي قابل للتفعيل والإلغاء.
 - يحتوي على تيار ضخ الشحنة قابل للتفعيل والإلغاء.
 - يحتوي على خمس مستويات للمبدل التمثيلي/الرقمي.
 - يحتوي على عناوين وصلة I^2C مختلفة للسماح بإمكانية التحكم بأكثر من مركب ترددي.
- يحتوي المركب الترددي على العناصر اللازمة للتحكم بمهتز متحكم به بالجهد وبالتالي تشكيل حلقة إقفال الطور باستثناء التردد المرجعي فهو خارجي بالإضافة للمرشح الحلقي والترانزستور الذين يوضعان خارجاً كما هو موضح بالشكل السابق. يوضح الشكل (6-10) المخطط الكهربائي الموصى به من قبل الشركة المصنعة للمركب الترددي المزدوج حيث نلاحظ أن البنات (1,2,3,27,28) توصل إلى المتحكم الصغري الذي يقود ويتحكم بهذا المركب الترددي، كما نجد أن البن 11 هو مخرج جهد التوليف للمركب الترددي الأساسي والذي يوصل إلى المرشح الحلقي Loop Filter ومنه إلى المهتز المحكوم بالجهد VCO الخاص بالتردد العالي، أما البن رقم 20 هو مخرج جهد التوليف للمركب الترددي الثانوي والذي يوصل إلى المرشح الحلقي Loop Filter ومنه إلى المهتز المحكوم بالجهد VCO الخاص بالتردد المنخفض. البن رقم 7 هو مدخل الإشارة الترددية الناتجة عن التغذية العكسية لحلقة قفل الطور الرئيسية ذات التردد العالي، والبن رقم 23 هو مدخل الإشارة الترددية الناتجة عن التغذية العكسية لحلقة قفل الطور الثانوية ذات التردد المنخفض. بالنسبة لتصميمنا لم نستخدم كامل التوصيل المقترح من الشركة المصنعة لأننا نحتاج في تصميمنا لإضافة جامع للجهود استخدم بعد كل مرشح حلقي وقبل المهتز المحكوم بالجهد سواء للتردد العالي أو التردد المنخفض.



الشكل (6-10): المخطط الكهربائي الموصى به من قبل الشركة المصنعة للمركب الترددي المزوج

3.1.6 المخطط الكهربائي لبطاقة SDR

يوضح الشكل (6-11) المخطط الكهربائي للدائرة بطاقة SDR المصممة وهي البطاقة التي سوف تقوم بتوليد إشارات التشويش وتتألف بشكل أساسي من:

1. وحدة المعالجة المركزية وهو عبارة عن متحكم صغير نوع ATMEGA32A للقيادة والتحكم بالمركب الترددي المزوج.

2. المركب الترددي المزوج SKY72300-21.

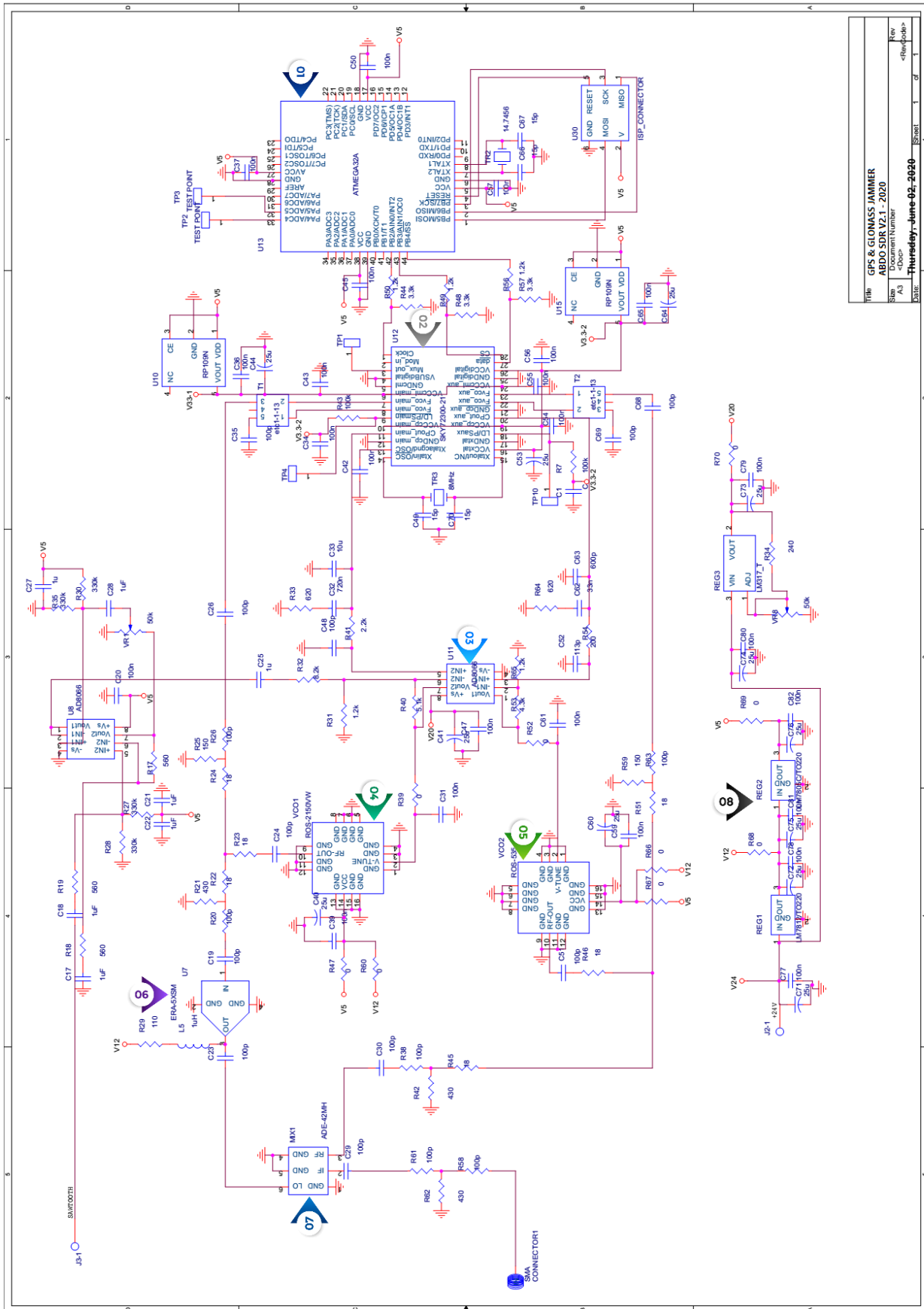
3. مكبر العمليات AD8066 يقوم بجمع إشارة خرج المرشح الحلقي مع إشارة التعديل المولدة من دائرة توليد سن المنشار شبه العشوائي.

4. المهتز المتحكم به بالجهد ROS-2150VW لتوليد الإشارات ضمن المجال الترددي (-970 2150MHz)

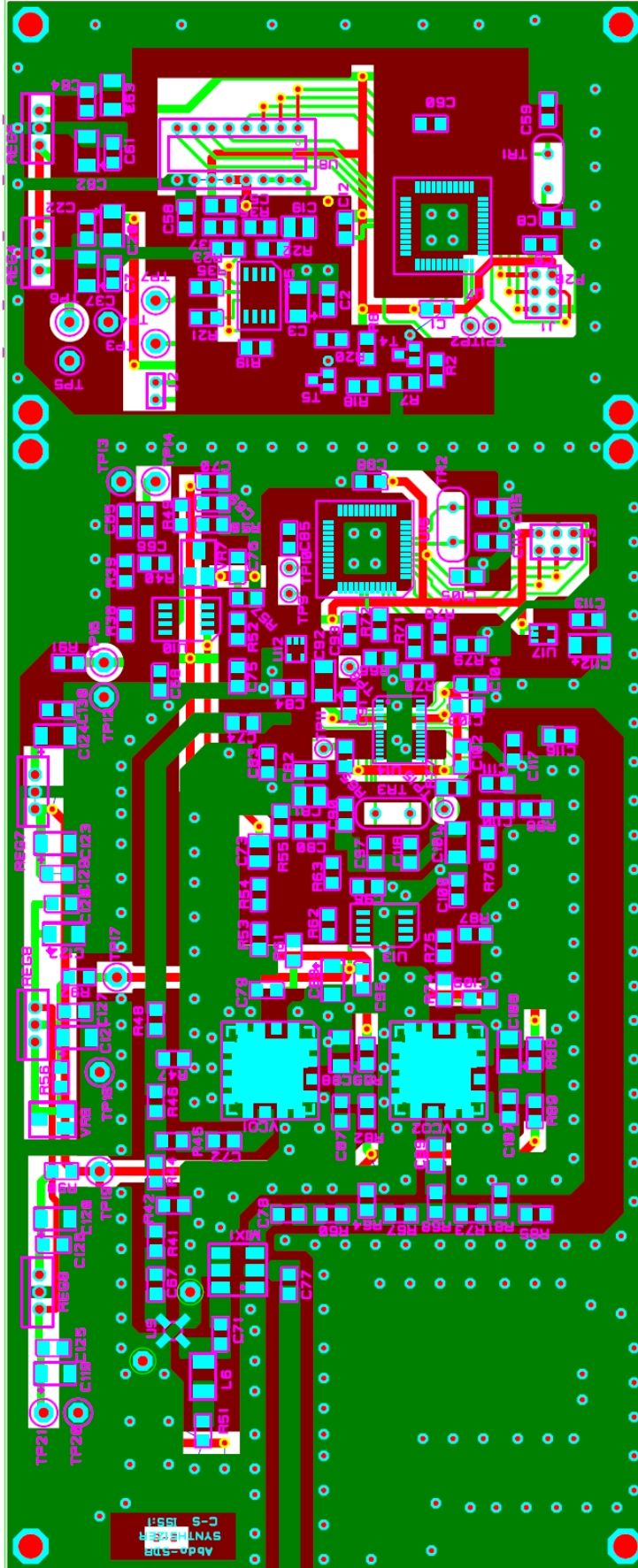
5. المهتز المتحكم به بالجهد ROS-535+ لتوليد الإشارات ضمن المجال الترددي (-300 525MHz).

6. مكبر الإشارة ERA-5XM.

7. مازج ترددي Frequency Mixer حيث اعتمدنا مازج طراز ADE-42MH يعمل ضمن المجال الترددي 5 to 4200 MHz من شركة Mini Circuit "يعطي ناتج مجموع وطرح إشارتي خرج المهترين المتحكم بهم بالجهد" يستفاد منه للوصول إلى ترددات أكبر من ترددات عمل المهتر المتحكم بالجهد.



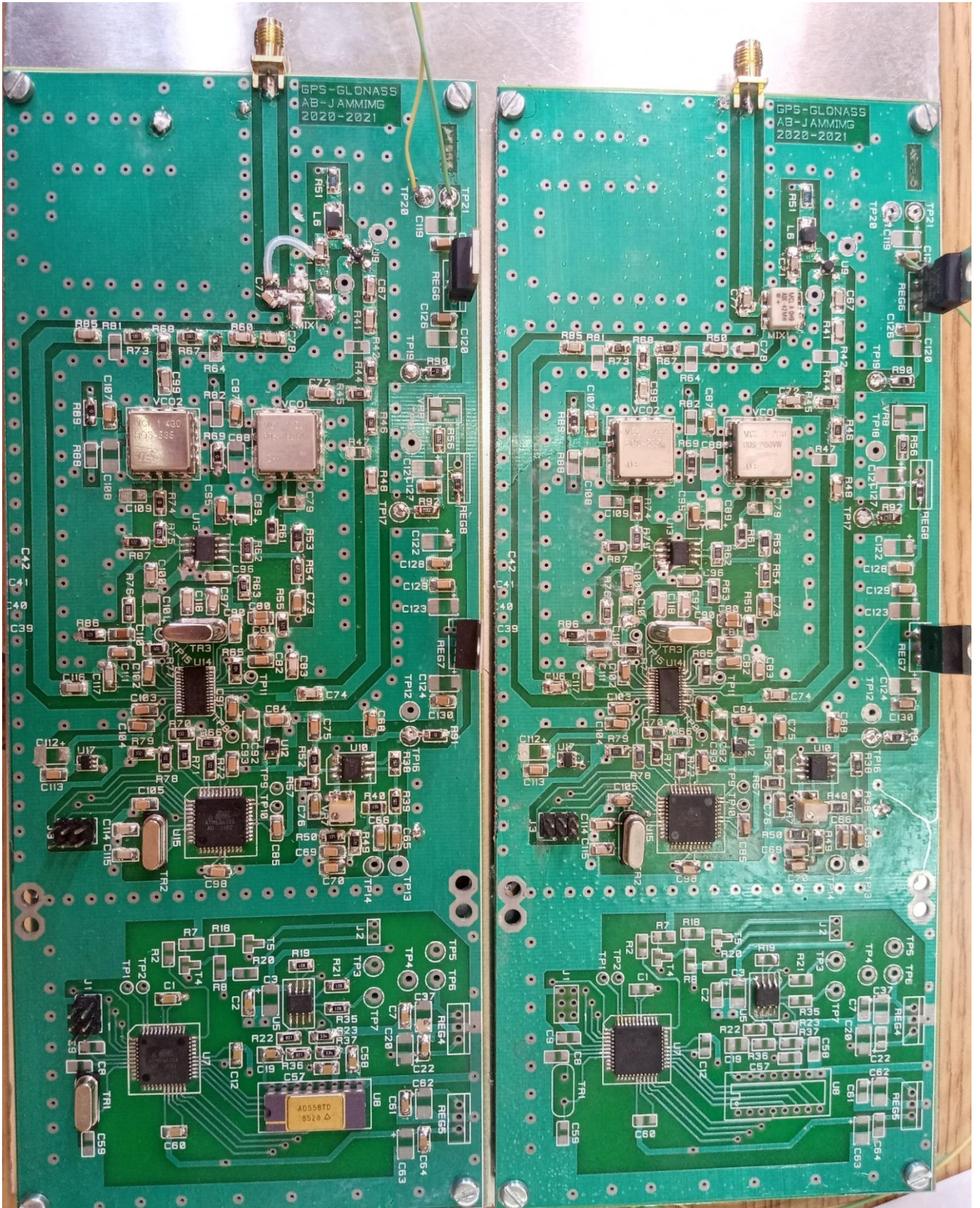
الشكل (6-11): المخطط الكهربائي للدارة بطاقة SDR [الباحث]



تم رسم الدارة المطبوعة (PCB) بالاعتماد على برنامج (CADSTAR) (v16 من شركة (Zuken)، حيث تم رسم دائرة بطاقة SDR ومولد سن المنشار ببساطة واحدة كما في الشكل (6-14) حيث يظهر مخطط الدارة المطبوعة PCB لبطاقة SDR.

الشكل (6-14): مخطط الدارة المطبوعة PCB لبطاقة SDR [الباحث]

يظهر الشكل (6-15) بطاقتي SDR بعد طباعة الدارة وتجميع العناصر



الشكل (6-15): بطاقتي SDR بعد طباعة الدارة وتجميع العناصر [الباحث]

2.6 الكيان اللين Software

يتم التحكم بالمركب الترددي باستخدام I^2C bus إذ يتم إرسال المعلومات على خط (Serial Data) SDA والساعة على خط (Serial Clock Line) SCL. يعمل المركب الترددي في أحد نمطين إما نمط الكتابة أو القراءة ويحدد ذلك عن طريق الخانة LSB من بايت العنوان، ففي حال كانت قيمته تساوي 0 فهذا يعني أنه يعمل في نمط الكتابة وإلا فإنه يعمل في نمط القراءة. ليكن لدينا الجدول (1-6):

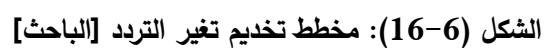
الجدول (1-6): حالات خانات LSB لخطوط التحكم

MA1	MA0	Address input voltage level
0	0	0V to 0.1V _{CC}
0	1	Open circuit
1	0	0.4V _{CC} to 0.6V _{CC}
1	1	0.9V _{CC} to V _{CC}

نلاحظ أنه بتطبيق جهد على الدخل Address نحصل على قيم مختلفة لـ MA1, MA0 وبالتالي يمكن وصل أكثر من مركب ترددي على نفس خط المعلومات والساعة.

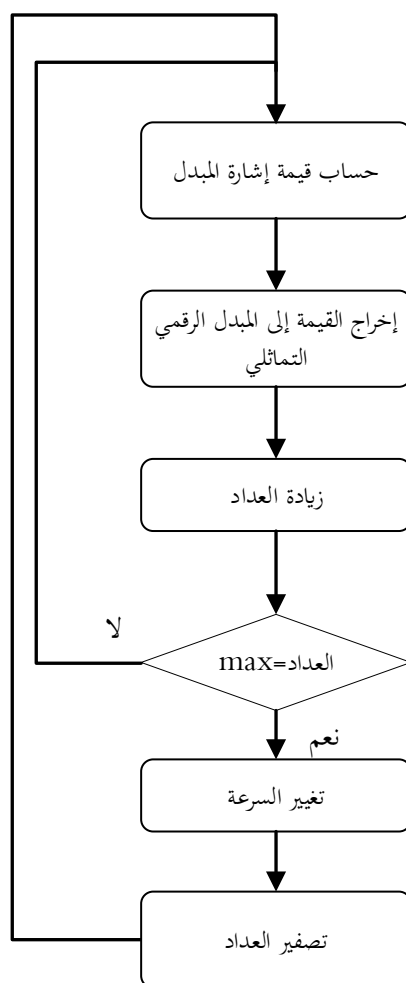
1.2.6 مخطط تخديم القفز الترددي

هذا البرنامج هو برنامج تخديم مقاطعة المؤقت، تحدث هذه المقاطعة بعد فترة زمنية معينة، بينما الفترة الزمنية الفاصلة بين ترددين متتاليين أثناء القفز هي من مضاعفات الفترة الزمنية للمقاطعة الشكل (16-6).



يوضح الشكل (6-17) المخطط الصندوقى لبرنامج عمل معالج بطاقة توليد الإشارة شبه

81

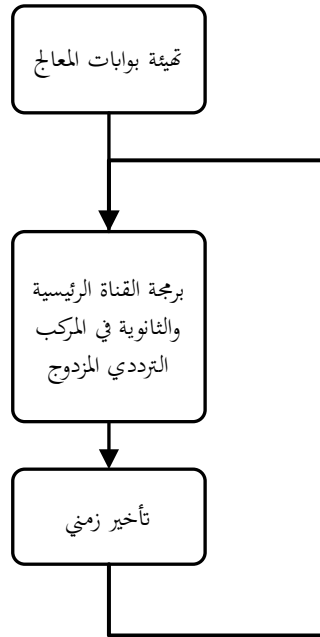


الشكل (6-17): المخطط الصندوقي لبرنامج عمل معالج بطاقة توليد الإشارة شبه العشوائية [الباحث]

برنامج المعالج مرفق في الملحق هـ:.

3.2.6 برنامج المعالج لبطاقة SDR

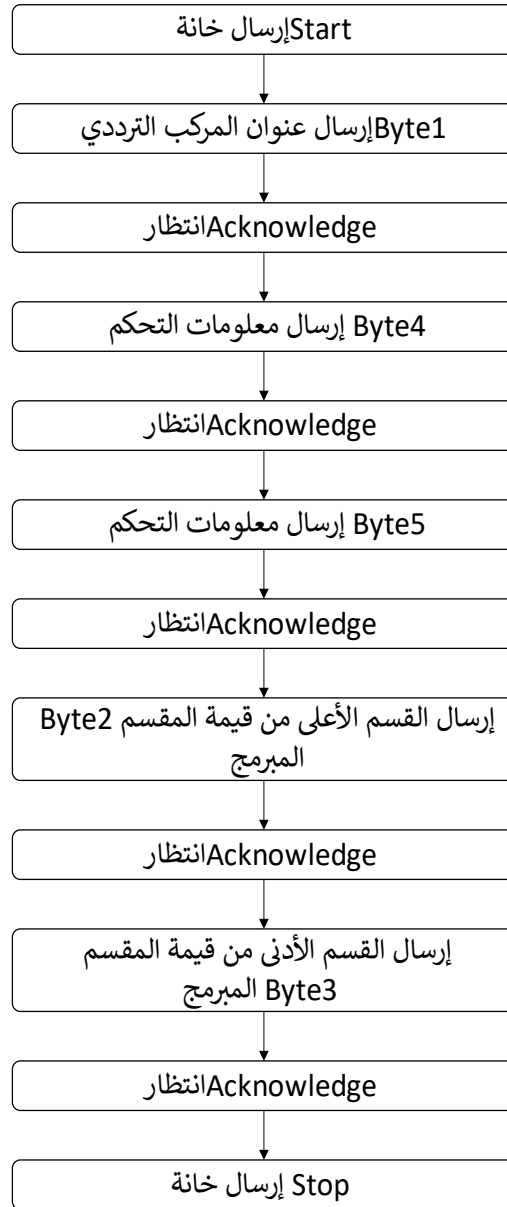
يوضح الشكل (6-18) المخطط الصندوقي لبرنامج المعالج



الشكل (6-18): المخطط الصندوقي لبرنامج معالج بطاقة SDR [الباحث]

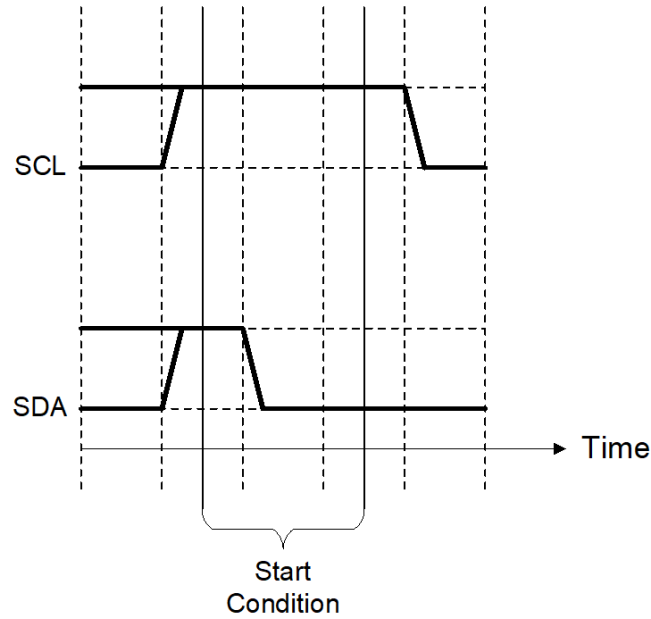
برنامج المعالج مرفق في الملحق ب:.

4.2.6 المخطط العملي لعملية الكتابة:



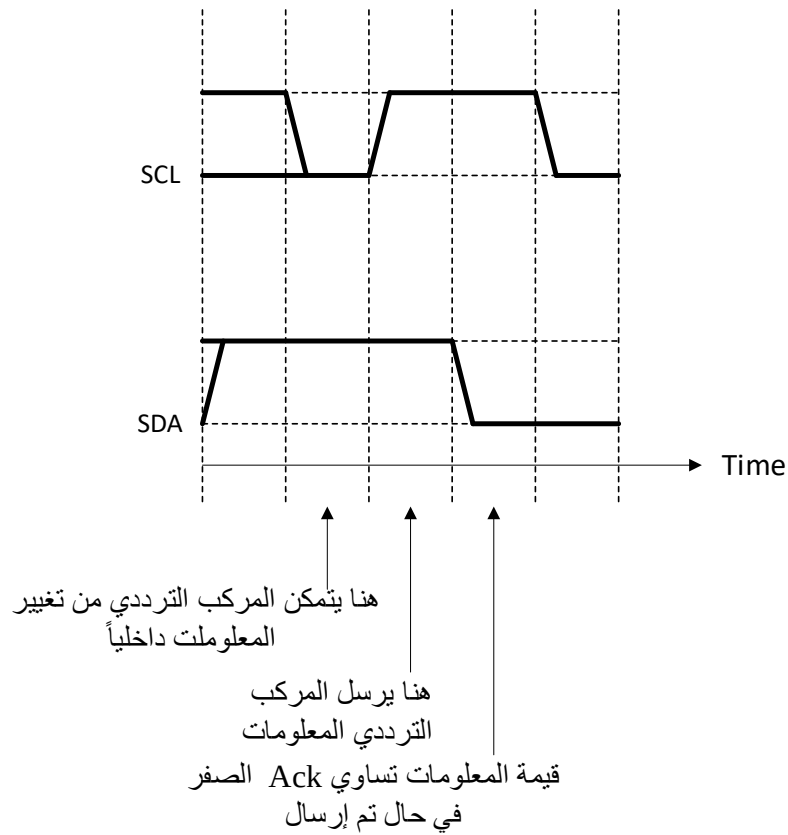
الشكل (6-19): المخطط العملي لعملية الكتابة [الباحث]

1.4.2.6 إرسال خانة Start



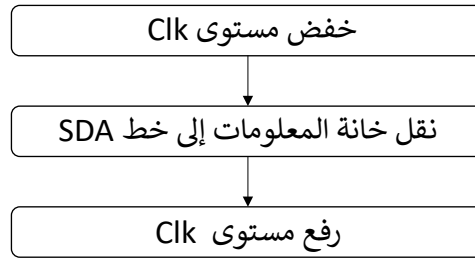
الشكل (6-20): إرسال خانة Start

2.4.2.6 انتظار الإقرار Acknowledgement



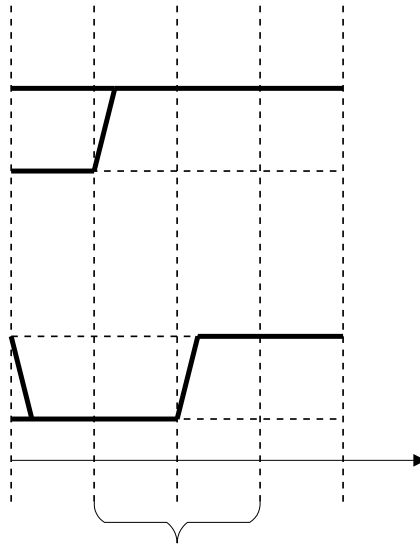
الشكل (6-21): انتظار الإقرار Acknowledgement

3.4.2.6 إرسال خانة المعلومات



الشكل (6-22): مخطط إرسال خانة المعلومات [الباحث]

4.4.2.6 إرسال خانة Stop



الشكل (6-23): إرسال خانة Stop

الفصل السابع

النتائج Results

1.7 تمهيد:

يعرض هذا الفصل نتائج البحث المستخلصة من تطبيق منظومة التشويش لدراسة وتقدير فعالية خمس تقنيات يمكن تطبيقها للتشويش على أنظمة تحديد الموقع GPS L1 ونظام GLONASS G1 وهي:

- Spot Jamming.
- Sweep Jamming.
- Frequency Hopping Jamming.
- Sweep Jamming With Frequency Hopping Jamming.
- Spot Jamming With Sweep Jamming.

تم اختبار فعالية تقنيات التشويش عن طريق إجراء تسع تجارب وقياسات مخبرية لدراسة تسع حالات مختلفة لتقنيات التشويش على GPS و GLONASS، الجدول (1-2)، إضافة إلى إجراء سبع وعشرون تجربة حقلية ميدانية لاختبار تأثير وفعالية تلك التقنيات للتشويش على أنظمة تحديد الموقع الموجودة في الهواتف النقالة والموجودة في طائرة DJI PHANTOM 3 Pro والطائرة DJI MAVIC PRO، وذلك مع مراعات تحقيق نفس شروط التجارب على هذه التقنيات من حيث الاستطاعة المرسله ونوع الهوائي واتجاهه وارتفاع الهدف عن سطح الأرض.

المعيار المتبع لتقدير فعالية تقنيات التشويش على أنظمة تحديد الموقع هي بُعد نظام التشويش عن المستقبل، وعدد الأقمار التي يستقبلها ومدى تأثير المشوش على عمل المستقبل في تحديد الموقع، مع العلم أن نصف قطر دائرة الحظر يحدد بالمسافة العظمى للحظر وذلك عند استخدام هوائي موجه.

2.7 والتقييم والنتائج

1.2.7 الحالة الأولى:

تعتمد هذه التجربة على تقنية Spot Jamming With Sweep Jamming بتردد مركزي 1575.42MHz وبعرض مجال مسح 2MHz لتشويش على GPS وتقنية Sweep Jamming للتشويش على GLONASS.

قمنا بتوليد إشارة مطابقة لإشارة الحامل الترددي لإشارة GPS عند التردد 1575.42MHz ويضاف إليها إشارة مسح ترددي بعرض مجال 2MHz ضمن [1565.42MHz – 1585.42MHz] وبتردد مسح شبه عشوائي ذو تردد وسطي 13KHz (تردد المسح شبه العشوائي ثابت في جميع الحالات التي تحتاج مسح ترددي)، أما بالنسبة للتشويش على نظام GLONASS تم برمجة بطاقة SDR الثانية لتوليد إشارة مسح ترددي بعرض مجال 17MHz ضمن المجال الترددي [1593-1610MHz].

واجهتنا مشكلة أنه عند برمجة المركب الترددي لتوليد إشارة مشابهة لإشارة الحامل الترددي لـ GPS عند التردد 1575.42MHz وجد ظهور انزياح ترددي $\Delta F = +0.7MHz$ قيمة هذا الانزياح ثابتة وناجمة عن خطأ المهتز الكرسالي، لذا قمنا بتوليد تردد Fc' حيث:

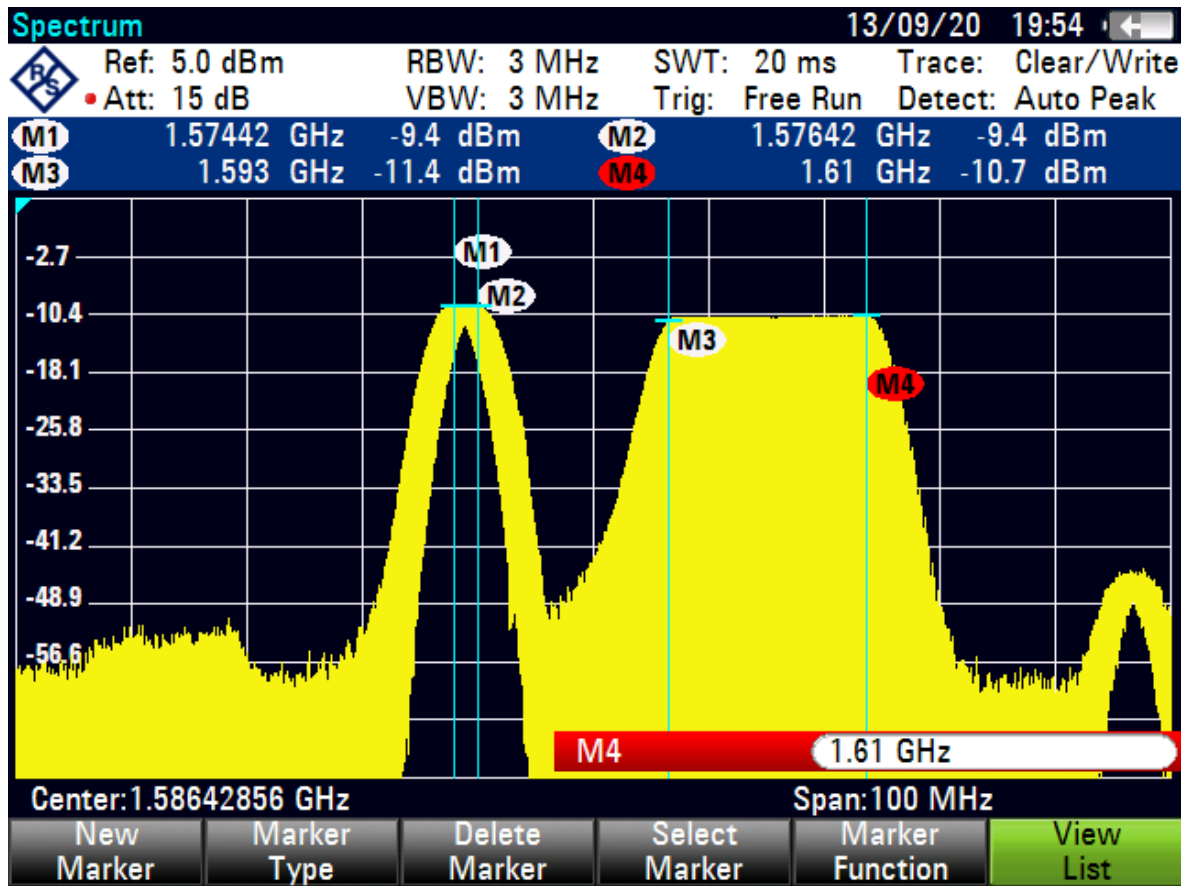
$$Fc' = Fc - \Delta F$$

يظهر الشكل (7-1): مرحلة تهيئة واختبار بطاقتي SDR حيث استخدم مجمع إشارة Combiner محلي الصنع يعمل ضمن المجال الترددي [50MHz-2GHz] يستخدم لجمع إشارتي التشويش بخط واحد.



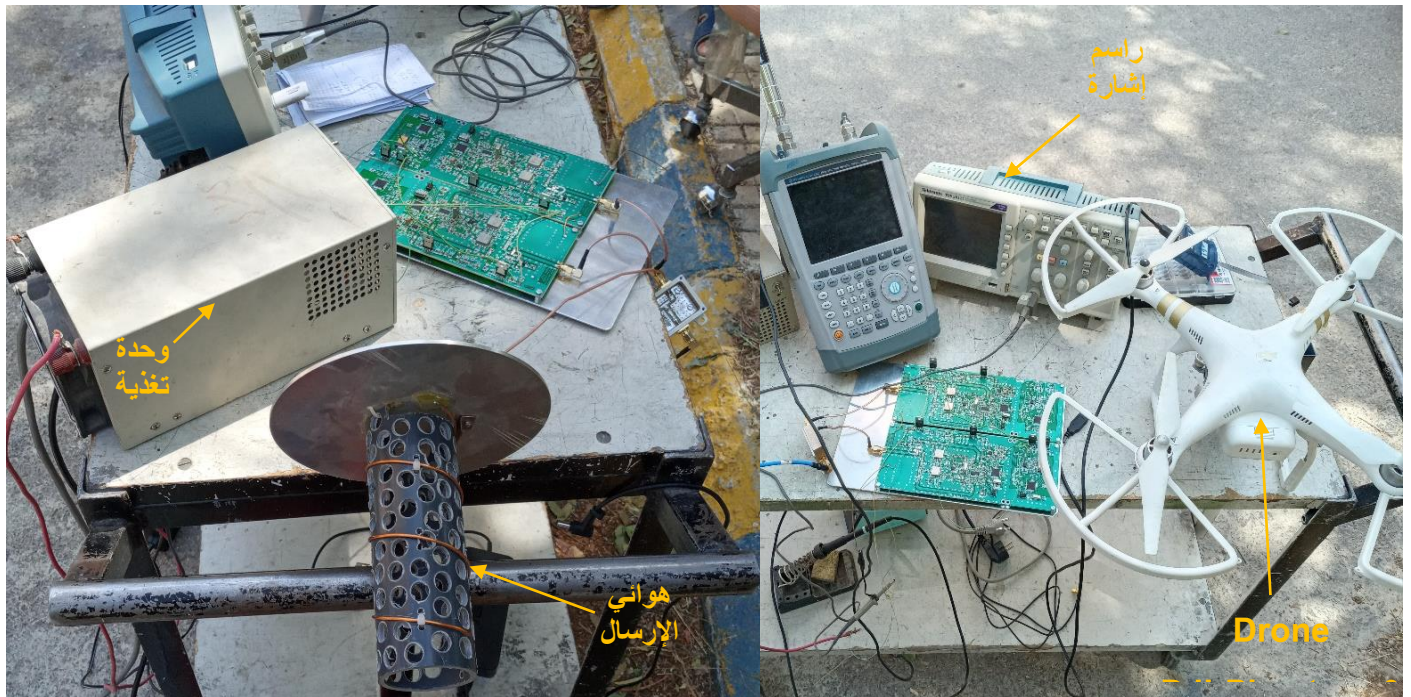
الشكل (7-1): مرحلة تهيئة واختبار بطاقتي SDR [الباحث]

كما يظهر الشكل (7-2) إشارة خرج نظام التشويش المقاسة عن طريق محلل الطيف الترددي FSH8. قمنا بضبط مستوى استطاعة الإشارتين حتى تكون بمستوى واحد، حيث بلغت استطاعة الخرج حوالي -10dBm أي 0.1mWatt .



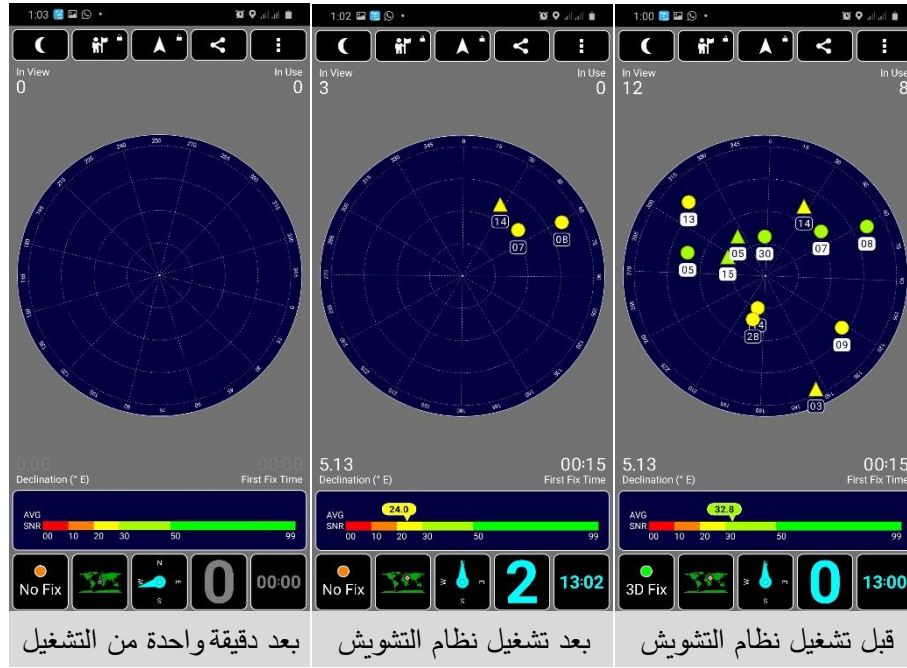
الشكل (7-2): الطيف الترددي لإشارات خرج نظام التشويش في الحالة الأولى [الباحث]

قمنا باختبار النظام على عدة أنواع من الطائرات وعلى المستقبلات الموجودة في الهواتف النقالة الشكل (7-3) يظهر النظام بعد تركيب الهوائي.

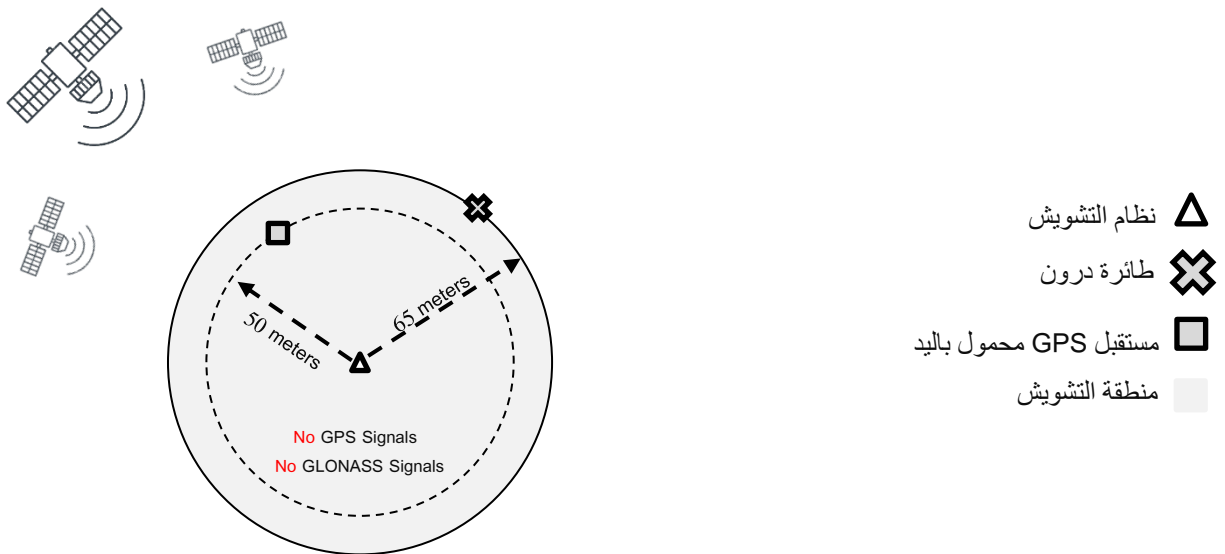


الشكل (7-3): نظام التشويش عند التحضير للاختبارات الميدانية [الباحث]

قبل تشغيل نظام التشويش تم التأكد من عمل مستقبلات GNSS وأنها تستقبل إشارات أقمار الملاحة يظهر الشكل (4-7) أقمار الملاحة المستقبلية قبل وبعد تشغيل نظام التشويش يلاحظ أن مستقبل GNSS كان يستقبل إشارات 8 أقمار GPS و 4 أقمار GLONASS، لكن بعد تشغيل نظام التشويش بدأت هذه الأقمار تختفي بشكل تدريجي حتى عجز المستقبل عن تلقي أي إشارة من إشارات أقمار الملاحة، بلغت مسافة فعالية التشويش 50m بالنسبة للمستقبلات المحمولة باليد و 65m بالنسبة للمستقبلات الموجودة في طائرات Drone، والسبب يعود لاختلاف حساسية المستقبلات، الشكل (5-7).



الشكل (4-7): معلومات أقمار الملاحة العالمية GNSS المستقبلية قبل وبعد تشغيل نظام التشويش [الباحث]



الشكل (5-7): مسافات فعالية التشويش على نظامي GPS&GLONASS للحالة الأولى

2.2.7 الحالة الثانية:

تعتمد هذه التجربة على تقنية Spot Jamming With Sweep Jamming بتردد مركزي 1575.42MHz وبعرض مجال مسح 2MHz للتشويش على GPS وتقنية Frequency Hopping Jamming للتشويش على GLONASS هذا النظام يختلف عن نظام GPS بأن له عدة حوامل، 14 حامل ترددي تعطى علاقة ترددات الحوامل لنظام GLONASS G1 بالعلاقة التالية:

$$f_{k1} = f_{01} + k\Delta f_1. \text{ where } f_{01}=1602\text{MHz and } \Delta f_1=562.5\text{KHz} \quad 7.1$$

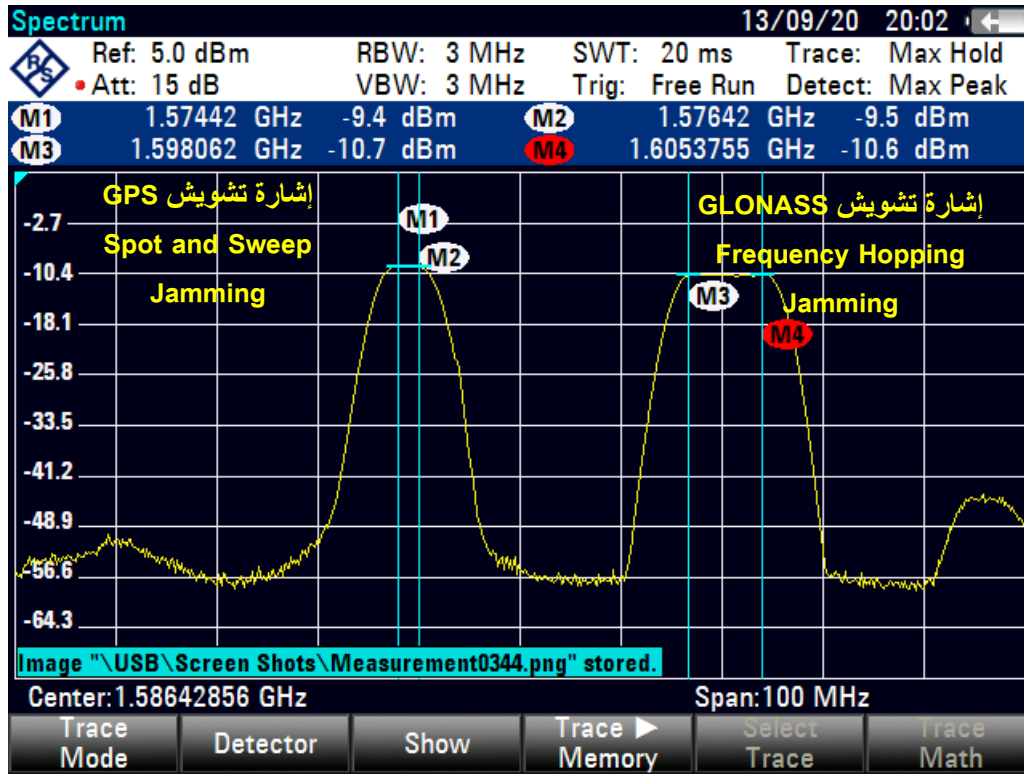
حيث $K = -7, -6, \dots, +5, +6$

بناءً على العلاقة 7.1 ينبغي علينا وفقاً لتقنية التشويش بالقفز الترددي توليد إشارة قفاز ترددي يقفز على كل تردد حامل لنظام GPS G1، تم برمجة بطاقة SDR لتوليد إشارة القفاز مع مراعاة تصحيح خطأ الانزياح الترددي $\Delta F = +0.7\text{MHz}$ الجدول (1-7) يظهر ترددات القفز على ترددات حوامل GLONASS بعد تصحيح تردد الانزياح.

الجدول (1-7): ترددات القفز على حوامل GLONASS [الباحث]

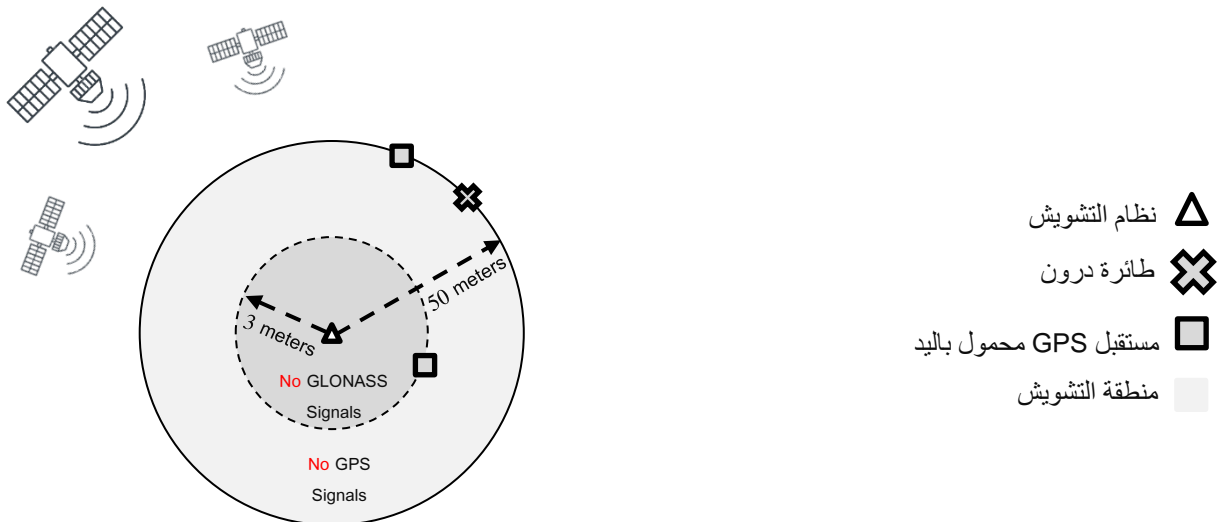
No. of frequency	Frequency [MHz]	No. of frequency	Frequency [MHz]
1	1598.0625	8	1602
2	1598.625	9	1602.5625
3	1599.1875	10	1603.125
4	1599.75	11	1603.6875
5	1600.3125	12	1604.25
6	1600.875	13	1604.8125
7	1601.4375	14	1605.375

سرعة القفز الترددي بلغت حوالي 50H/S ومدة القفزة $TH = 20\text{ ms}$ وبدور قفز 280ms، يظهر الشكل (6-7) الطيف الترددي لإشارات التشويش المولدة بعد Combiner وقبل توصيلها إلى هوائي الإرسال، تم وضع جهاز محلل الطيف على نمط الملاحقة حتى يظهر مجال قفز إشارة القفاز.



الشكل (7-6): الطيف الترددي لإشارات خرج نظام التشويش في الحالة الثانية [الباحث]

عند إرسال إشارات التشويش عبر الهوائي ظهر التأثير على مستقبلات أنظمة تحديد الموقع الموجودة في طائرات DRONE والهواتف النقالة حيث تم تعطيل GPS حتى مسافة 50 متر دون قدرة المستقبل على استقبال إشارة أي قمر من أقمار GPS، أما التأثير على GLONASS كان ضعيفاً استطاعت المستقبلات من استقبال إشارات أقمار GLONASS حتى مسافة 3m بعد عن المشوش.



الشكل (7-7): مسافات فعالية التشويش على نظامي GPS&GLONASS للحالة الثانية

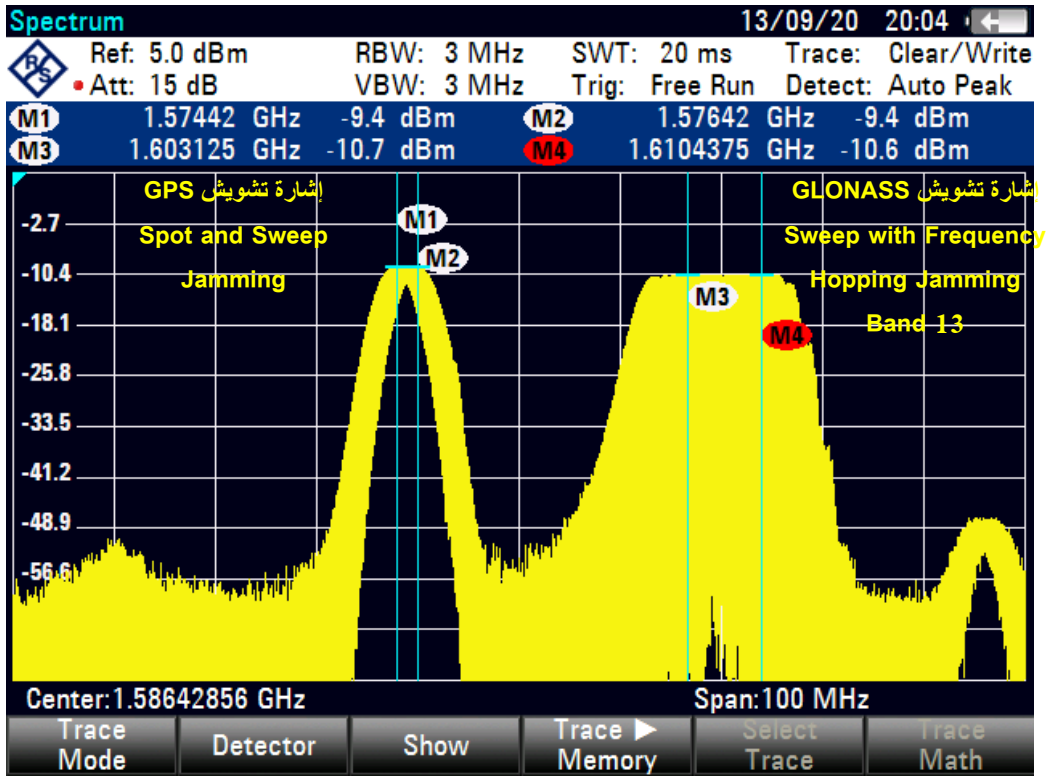
3.2.7 الحالة الثالثة:

تعتمد هذه التجربة على تقنية Spot Jamming With Sweep Jamming للتشويش على GPS، وللتشويش على GLONASS تقنية Sweep Jamming With Frequency Hopping jamming. بحيث يتم توليد نفس ترددات القفز في الحالة الثانية لكن نقوم بدمجها مع إشارة مسح ترددي بتردد مسح شبه عشوائي وبعرض مجال ترددي 17MHz، اختير هذا العرض حتى نضمن تغطية كامل المجال الترددي لنظام GLONASS G1 عند أي تردد قفز من 14 تردد، ستظهر إشارة تشويش GLONASS الناتجة على شكل مجال ترددي يقفز 14 قفزة، الجدول (7-2) يظهر مجالات التي يقفز عندها نظام التشويش:

الجدول (7-2): مجالات القفز الترددي ضمن مجال عمل نظام GLONASS [الباحث]

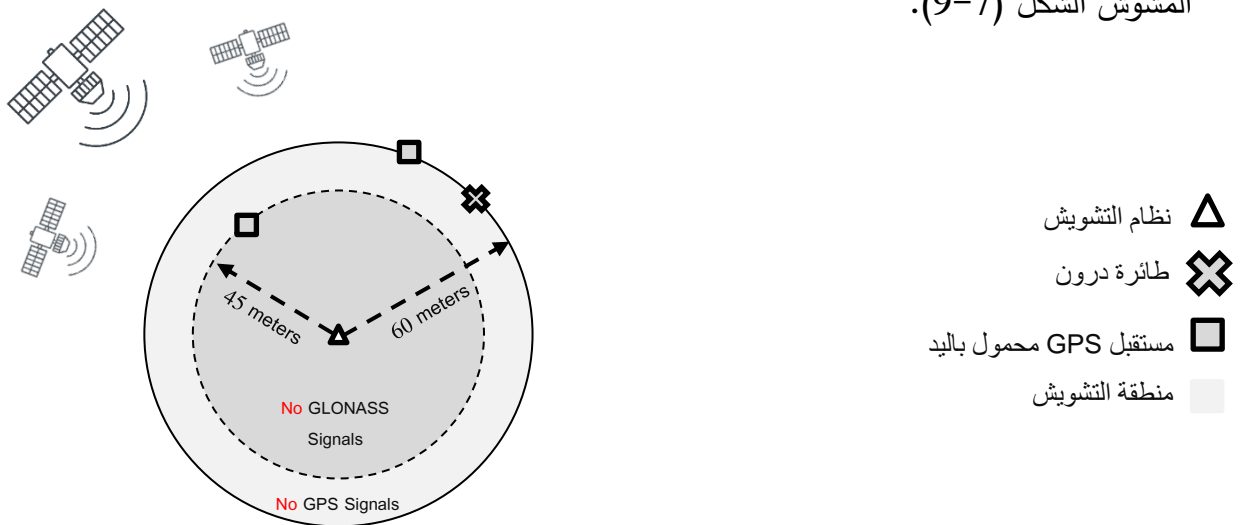
No. of Band frequency	Frequency Band [MHz]	No. of Band frequency	Frequency Band [MHz]
1	1589.5625-1606.5625	8	1593.5-1610.5
2	1590.125-1607.125	9	1594.0625-1611.0625
3	1590.6875-1607.6875	10	1594.625-1611.625
4	1591.25-1608.25	11	1595.1875-1612.1875
5	1591.8125-1608.8125	12	1595.75-1612.75
6	1592.9375-1609.375	13	1596.3125-1613.3125
7	1592.9375-1609.9375	14	1596.875-1613.875

يظهر الشكل (7-8) إشارة تشويش GPS وإشارة تشويش GLONASS عند مجال القفز رقم 13



الشكل (7-8): الطيف الترددي لإشارات خرج نظام التشويش في الحالة الثالثة [الباحث]

عند إرسال إشارات التشويش عبر الهوائي تم التأثير على مستقبلات أنظمة تحديد الموقع الموجودة في طائرات DRONE والهواتف النقالة حيث تم تعطيل GPS حتى مسافة 60 متر دون قدرة المستقبل على استقبال إشارة أي قمر من أقمار GPS، أما التأثير على GLONASS كان أفضل من الحالة الثانية، حيث أن المستقبلات لم تستطيع استقبال إشارات أقمار GLONASS حتى مسافة 45 متر بعد عن المشوش الشكل (7-9).



الشكل (7-9): مسافات فعالية التشويش على نظامي GPS&GLONASS للحالة الثالثة

4.2.7 الحالة الرابعة

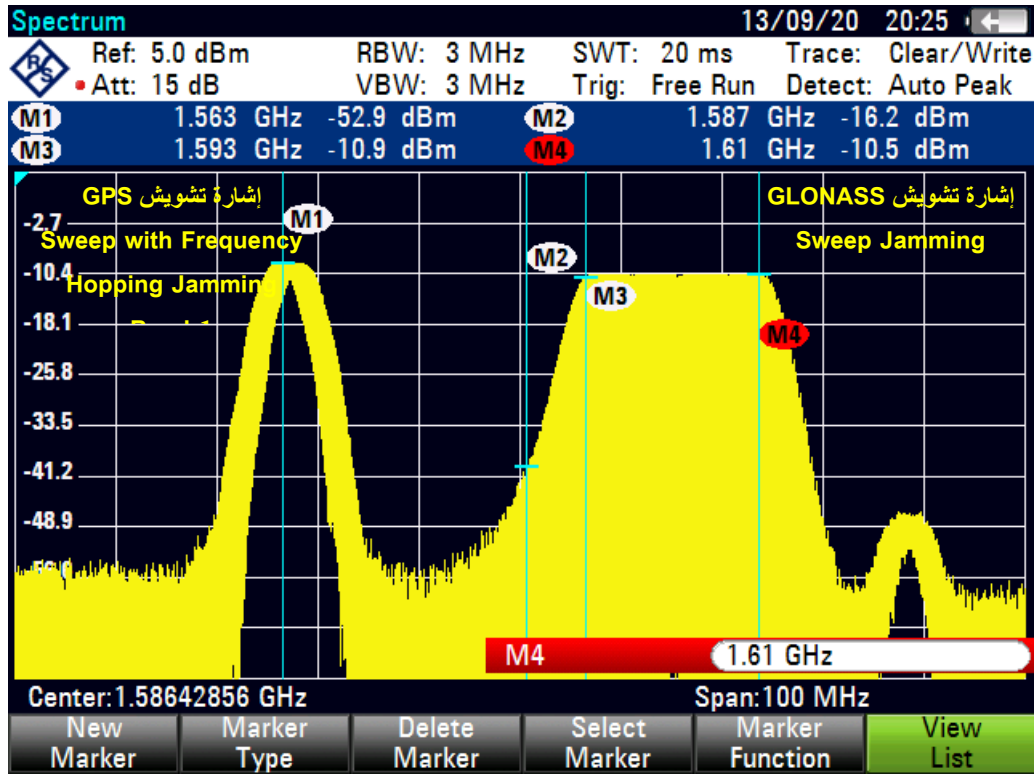
يعتمد التشويش على GPS في هذه التجربة على تقنية Spot Jamming With Frequency Hopping، نقوم بتوليد إشارة قفاز ترددي يقفز على 24 تردد ضمن المجال الترددي [1563-1587MHz] بسرعة قفز 50 h/s ومدة القفزة TH = 20 ms وبدور قفز 480ms ثم يتم تحميل كل تردد بإشارة مسح ترددي لها عرض مجال 2MHz، نحصل في النتيجة على مجالات ترددية بعرض 2MHz تقفز 24 قفزة ضمن المجال الترددي [1563-1587MHz]، الجدول (3-7) يظهر مجالات التي يقفز عندها نظام التشويش على GPS.

أما بالنسبة للتشويش على GLONASS اعتمد تقنية Sweep Jamming، قمنا ببرمجة بطاقة SDR الثانية لتوليد إشارة مسح ترددي بعرض مجال 17MHz ضمن المجال الترددي [1593-1610MHz] وبسرعة مسح 13MHz.

الجدول (3-7): مجالات القفز الترددي ضمن مجال عمل نظام GPS [الباحث]

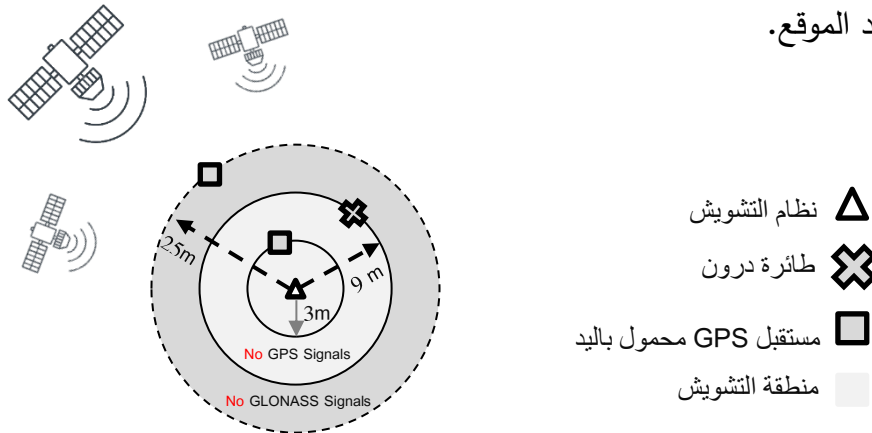
No. of Band frequency	Frequency Band [MHz]	No. of Band frequency	Frequency Band [MHz]
1	1563-1565	13	1575-1577
2	1564-1566	14	1576-1578
3	1565-1567	15	1577-1579
4	1566-1568	16	1578-1580
5	1567-1569	17	1579-1581
6	1568-1570	18	1580-1582
7	1569-1571	19	1581-1583
8	1570-1572	20	1582-1584
9	1571-1573	21	1583-1585
10	1572-1574	22	1584-1586
11	1573-1575	23	1585-1587
12	1574-1576	24	1586-1588

يظهر الشكل (7-10) إشارة تشويش GLONASS وإشارة تشويش GPS عند مجال القفز رقم 1



الشكل (7-10): الطيف الترددي لإشارات خرج نظام التشويش في الحالة الرابعة [الباحث]

عند وصل هذه الإشارة بهوائي الإرسال وإرسالها في البداية لم يظهر أي تأثير مباشر لكن بعد بضع ثوان بدأت أقمار الملاحة الخاصة بنظام GLONASS بالاختفاء عن جهاز الاستقبال حتى مسافة 25m حيث عند هذه المسافة بدأ المستقبل باستقبال إشارات أقمار GLONASS وبلغ عددها 3 أقمار، أما التأثير على GPS كان سيئ حيث استطاع مستقبل أنظمة الملاحة الموجودة في طائرات Drone من استقبال إشارات الأقمار وتحديد الموقع بنجاح حتى مسافة 9m بُعد عن جهاز التشويش و3m بالنسبة لأجهزة استقبال GPS الموجودة في الهواتف النقالة، الشكل (7-11) يظهر مسافات التشويش على نظامي تحديد الموقع.

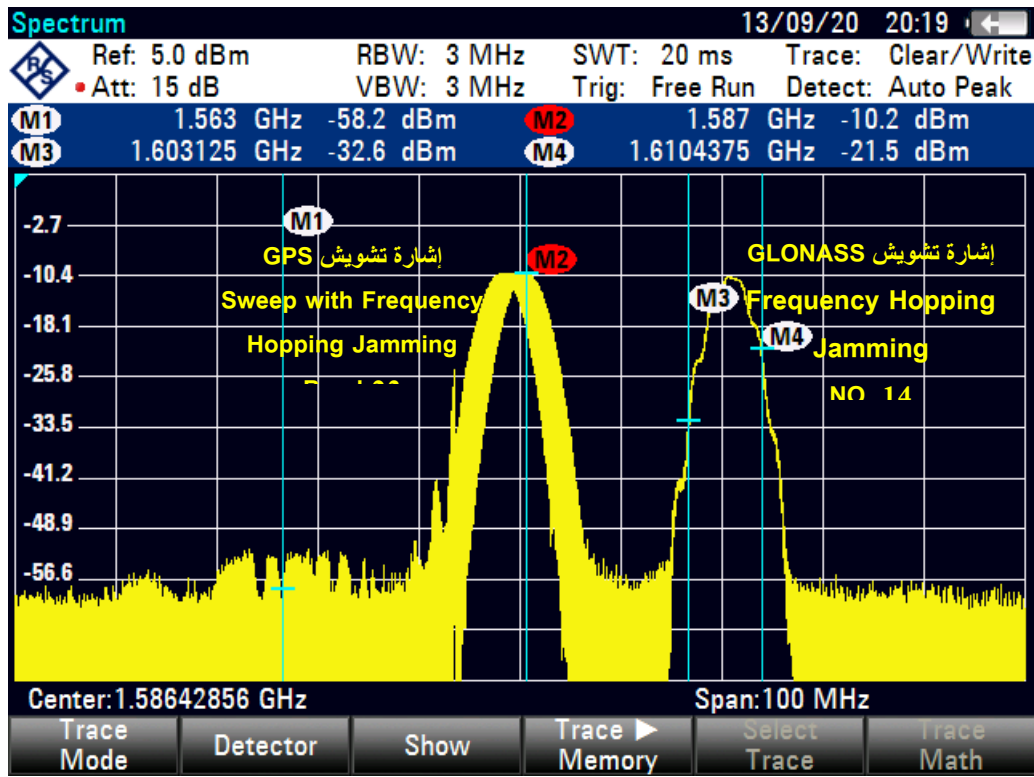


الشكل (7-11): مسافات فعالية التشويش على نظامي GPS&GLONASS للحالة الرابعة

5.2.7 الحالة الخامسة

يعتمد التشويش على GPS في هذه التجربة على تقنية Sweep Jamming With Frequency Hopping jamming بنفس مواصفات إشارة التشويش في الحالة الرابعة كما في الجدول (3-7)، أما بالنسبة للتشويش على GLONASS اعتمدت على تقنية Frequency Hopping jamming عن طريق توليد إشارة قفاز ترددي يقفز عند كل تردد حامل لنظام GLONASS كما يظهر في الجدول (1-7) بسرعة قفز حوالي 50H/S ومدة القفزة $TH = 20 \text{ ms}$ وبدور قفز 280ms.

الشكل (12-7) يظهر طيف إشارة تشويش GPS عندما يقفز على المجال رقم 23 وفقاً الجدول (3-7) وإشارة تشويش GLONASS عندما يقفز إلى التردد رقم 14 وفقاً الجدول (1-7).

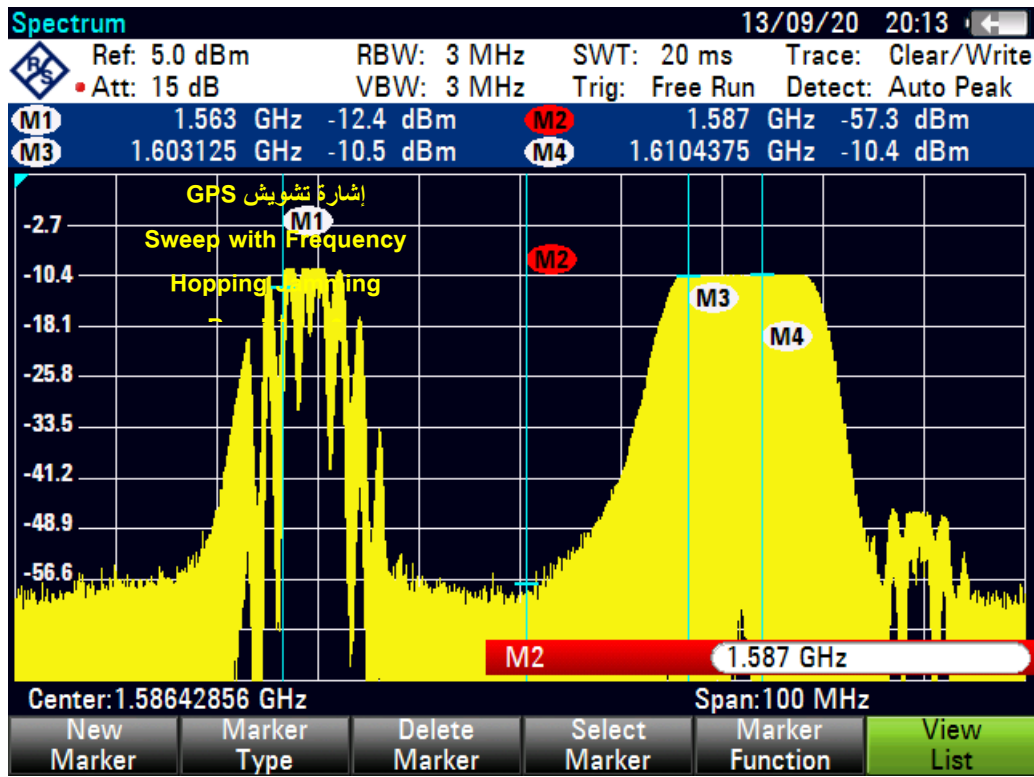


الشكل (12-7): الطيف الترددي لإشارات خرج نظام التشويش في الحالة الخامسة [الباحث]

عند بث هذه الإشارات عبر الهوائي لم يلاحظ أي تأثير بعدد الأقمار المستقبلية سواء كانت أقمار GPS أو أقمار GLONASS وذلك حتى مسافة 3m بُعد عن المشوش، عندها بدأت إشارات الأقمار المستقبلية بالاختفاء.

6.2.7 الحالة السادسة

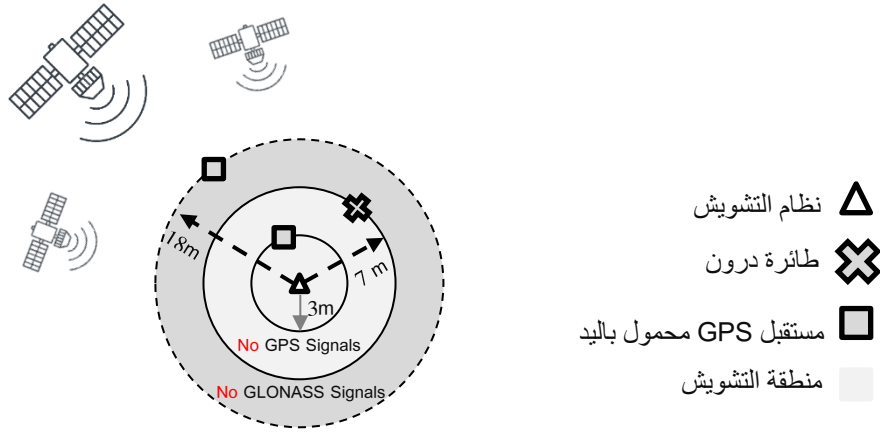
يعتمد التشويش على GPS في هذه التجربة على تقنية Sweep Jamming With Frequency Hopping jamming بنفس مواصفات إشارة التشويش في الحالة الرابعة كما في الجدول (7-3)، أما بالنسبة للتشويش على GLONASS اعتمد تقنية Sweep Jamming With Frequency Hopping jamming عن طريق توليد إشارة قفاز ترددي يقفز عند كل تردد حامل لنظام GLONASS مضاف إليها إشارة مسح ترددي بعرض مجال 17MHz كما هو مبين في الجدول (7-2) في الحالة الثالثة. الشكل (7-13) يظهر طيف إشارة تشويش GPS عندما يقفز من المجال رقم 1 إلى المجال رقم 2 وفقاً الجدول (7-2) وإشارة تشويش GLONASS.



الشكل (7-13): الطيف الترددي لإشارات خرج نظام التشويش في الحالة السادسة [الباحث]

عند وصل هذه الإشارة بهوائي الإرسال وإرسالها لم يكن هنالك تأثير أي، لكن بعد حوالي 4 ثانية بدأت أقمار الملاحة الخاصة بنظام GLONASS بالاختفاء تدريجياً عن جهاز الاستقبال حتى مسافة 18m حيث عند هذه المسافة بدأ المستقبل باستقبال إشارات أقمار GLONASS وبلغ عددها 3 أقمار، أما التأثير على GPS كان سيئ حيث استطاع مستقبل أنظمة الملاحة الموجودة في طائرات DRONE من استقبال إشارات الأقمار وتحديد الموقع بنجاح حتى مسافة 7m بُعد عن جهاز التشويش و 3m بالنسبة

لأجهزة استقبال GPS الموجودة في الهواتف النقالة، الشكل (7-14) يظهر مسافات التشويش على نظامي تحديد الموقع.

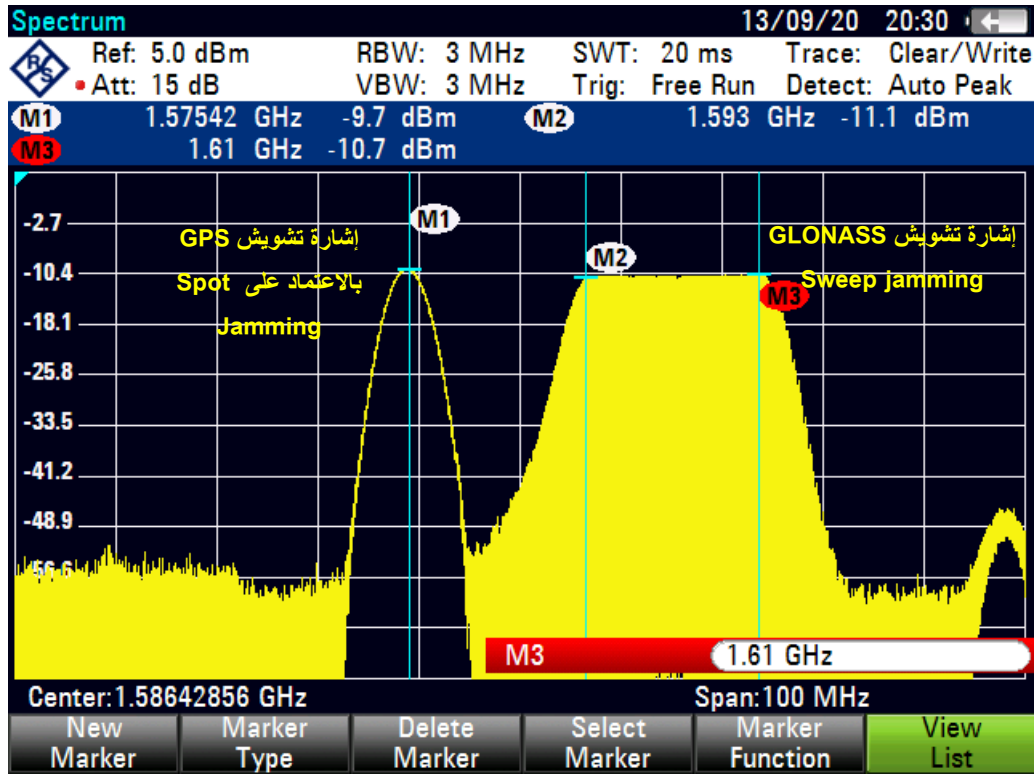


الشكل (7-14): مسافات فعالية التشويش على نظامي GPS&GLONASS للحالة السادسة

7.2.7 الحالة السابعة

يعتمد التشويش على GPS في هذه التجربة على تقنية Spot Jamming قمنا بتوليد إشارة مشابهة لإشارة الحامل الترددي لنظام GPS L1 عند التردد 1575.42MHz، أما بالنسبة لتأثير على GLONASS اعتمدت على تقنية Sweep Jamming بتوليد إشارة مسح ترددي ضمن المجال [1593MHz - 1610MHz].

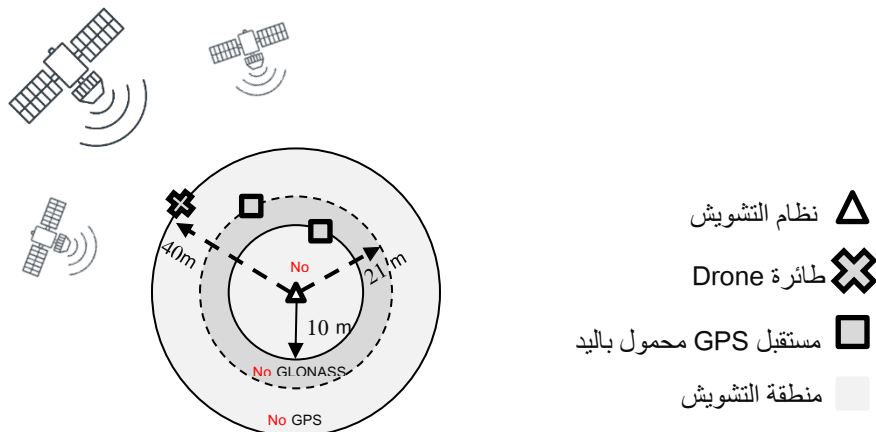
يظهر الشكل (7-15) الطيف الترددي لإشارة التشويش الظاهرة على محل الطيف.



الشكل (7-15): الطيف الترددي لإشارات خرج نظام التشويش في الحالة السابعة [الباحث]

عند تشغيل نظام التشويش كان تأثير التشويش مباشراً على مستقبلات أنظمة تحديد الموقع الموجودة في Drone حيث لم تعد هذه الطائرات قادرة على استقبال أي إشارة من إشارات أقمار نظام GPS، بلغت مسافة التشويش 40m. وعند اختبار نظام التشويش على المستقبلات الموجودة في الهواتف النقالة كانت النتيجة مغايرة تماماً حيث كان التأثير فقط على بعد 10m بالنسبة لـ GPS و 21m بالنسبة لـ GLONASS

الشكل (7-16) يوضح مسافات فعالية التشويش على كلا النظامين.

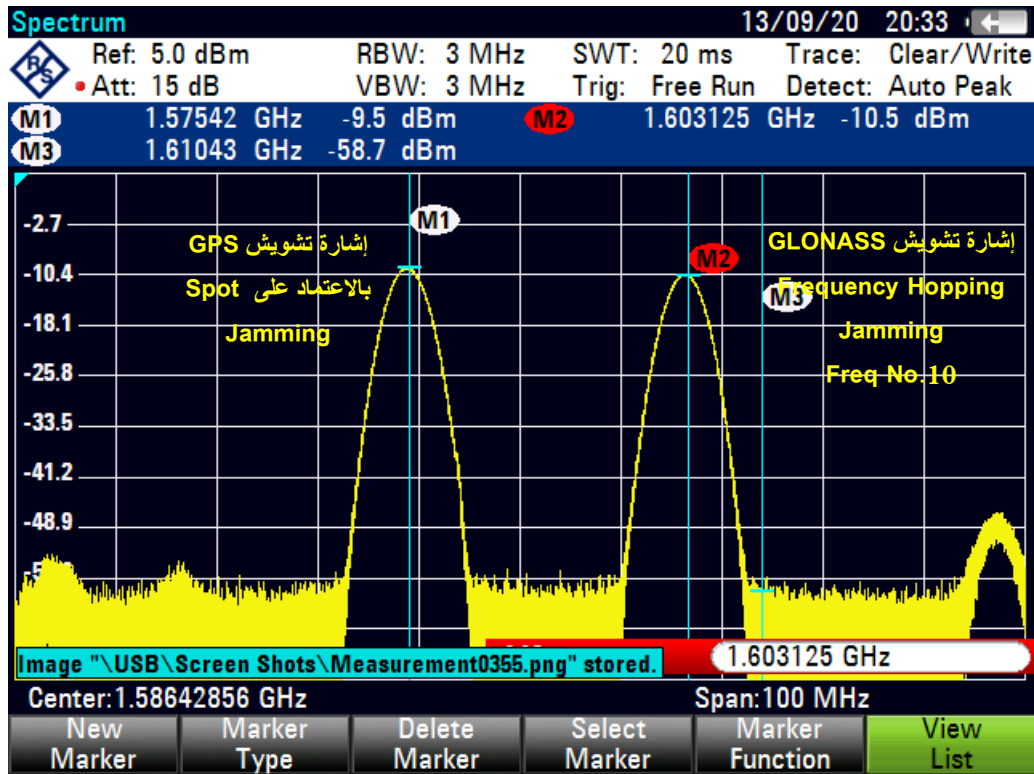


الشكل (7-16): مسافات فعالية التشويش على نظامي GPS & GLONASS للحالة السابعة

8.2.7 الحالة الثامنة:

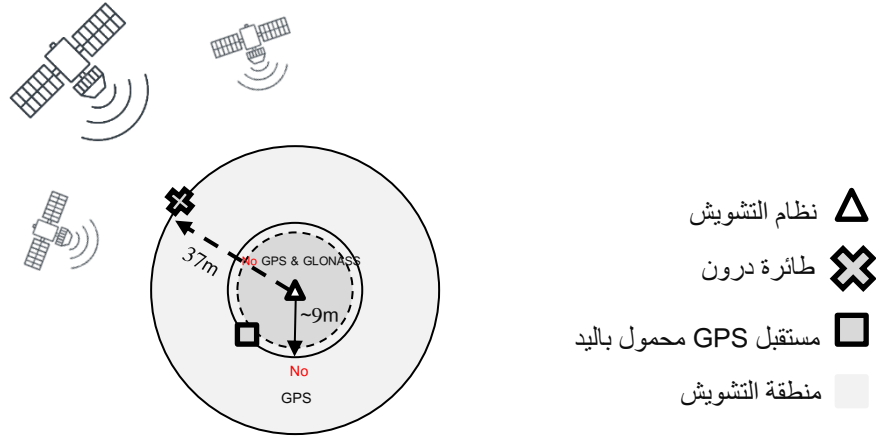
يعتمد التشويش على GPS في هذه التجربة على تقنية Spot Jamming بنفس شروط ومواصفات الإشارة في الحالة السابقة، لكن مع تعديل تقنية التشويش على GLONASS حيث اعتمدت تقنية Frequency Hopping jamming لتوليد إشارة قفاز ترددي يقفز على 14 تردد وفقاً الجدول (1-7) ومطابقة لصفات الإشارة المستخدمة في الحالة الخامسة.

يظهر الشكل (17-7) إشارة تشويش GPS عند التردد 1575.42MHz وإشارة تشويش GLONASS عندما يقفز إلى التردد رقم 10 وفقاً الجدول (1-7)



الشكل (17-7): الطيف الترددي لإشارات خرج نظام التشويش في الحالة الثامنة [الباحث]

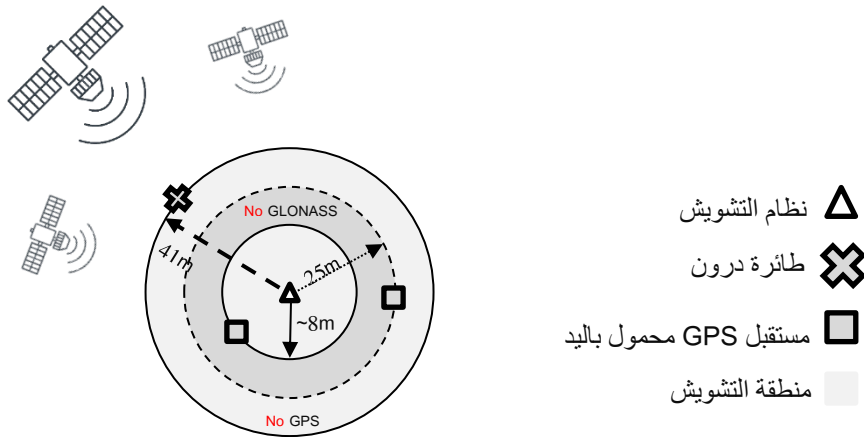
عند إرسال إشارتي التشويش كان التأثير مباشراً وفعالاً على المستقبلات الموجودة في Drone حيث بلغت مسافة التأثير 47m، أما مستقبلات الملاحة المحمولة باليد كان التأثير عليها أضعف بلغت حوالي 9m لكلا النظامين، الشكل (18-7) يوضح مسافات فعالية التشويش.



الشكل (7-18): مسافات فعالية التشويش على نظامي GPS&GLONASS للحالة الثامنة

9.2.7 الحالة التاسعة

يعتمد التشويش على GPS في هذه التجربة على تقنية Spot Jamming بنفس شروط ومواصفات الإشارة في الحالة السابعة، لكن مع تعديل تقنية التشويش على GLONASS حيث اعتمدت تقنية Sweep jamming with Frequency Hopping jamming لتوليد إشارة قفاز ترددي يقفز على 14 تردد ودمجها مع إشارة مسح ترددي بعرض مجال ترددي 17MHz مطابق الجدول (7-2) في الحالة الثالثة. أظهرت نتائج هذه التجربة تأثير مباشر وفعال على أنظمة تحديد الموقع الموجودة في طائرات Drone وصلت مسافة التشويش 41m، أما بالنسبة لفعالية التشويش على مستقبلات الملاحة المحمولة باليد كانت فعالية أقل 25m على أنظمة GLONASS وحوالي 8m على أنظمة GPS، الشكل (7-19) يوضح مسافات التشويش بالنسبة لنظامي التشويش.



الشكل (7-19): مسافات فعالية التشويش على نظامي GPS&GLONASS للحالة التاسعة

3.7 الخلاصة Conclusion:

- قمنا في هذا البحث بدراسة أنظمة الملاحة GNSS ودراسة مكونات هذه الأنظمة والتوزيع الطيفي لها، إلى جانب دراسة بنية نظام GPS وتحليل إشاراته ودراسة تابع الترابط الذاتي والكثافة الطيفية لكود تشفير GPS .
- أجرينا دراسة تحليلية لأنواع التشويش وتقنياته ودراسة التقنيات الممكن تنفيذها وفقاً للإمكانيات المتاحة بالإضافة لدراسة النظم الجزئية الرئيسية المكونة لها.
- اعتمدنا على دراسة النظم الجزئية لأنظمة التشويش في تصميم وتنفيذ نظام تشويش متكامل يعتمد على منصة SDR، حيث قمنا بتصميمها وتنفيذها وبرمجتها لتوليد إشاراتي التشويش على نظامي GPS&GLONASS معاً، ووفقاً لحالات مختلفة بتقنيات تشويش مختلفة.
- قمنا بإجراء تحليل رياضي لإيجاد التعبير الرياضي المعبر عن استطاعة خرج مستقبل GPS بحال عدم وجود إشارة تشويش ومن ثم دراسة إشارة تشويش Sweep Jamming عند خرج المستقبل، لیتم بعدها تحليل ودراسة أثر هذا النوع من التشويش على نسبة الحامل للضجيج، لنجد أن هذه النسبة تتدهور مع زيادة استطاعة إشارة التشويش وتحسن مع زيادة عرض مجال إشارة التشويش، كما أن هذه النسبة تتعلق بشكل كبير بعدد الخطوط الطيفية المعبرة عن كودات C/A الموجودة بنفس المجال الطيفي لإشارة التشويش. بشكل مشابه أجرينا تحليلاً رياضياً لإشارة تشويش Spot Jamming عند خرج مستقبل GPS ودرسنا أثر هذه الإشارة على نسبة الحامل للضجيج، لنجد تأثير هذا التشويش على C/N0 هو فقط ضمن الخطوط الطيفية لكود C/A الواقعة ضمن مجال إشارة Spot jamming ضيق المجال ويزداد هذا التأثير بازدياد استطاعة إشارة التشويش.
- جاءت الدراسة الميدانية كمحاولة لإثبات صحة الدراسة النظرية والتأكد من تأثير وفعالية عدد من تقنيات التشويش على مستقبلات أنظمة تحديد الموقع GPS&GLONASS، من خلال إجراء عدة تجارب ميدانية لخمس تقنيات تشويش في تسع حالات مختلفة للتشويش على أهداف حقيقية. أظهرت النتائج الميدانية لهذه الدراسة نجاحاً لعدد من تقنيات التشويش في التشويش بشكل كامل على مستقبلات تحديد الموقع لتلك الأهداف، الجدول (4-7) يظهر مسافات التشويش وفقاً لحالة التشويش.

- تطبيق تقنية Spot Jamming With Sweep Jamming بتردد مركزي 1575.42MHz وبعرض مجال مسح 2MHz للتشويش على GPS وتقنية Sweep Jamming للتشويش على GLONASS وفقاً للحالة الأولى، قدم أفضل تشويش بأكثر فعالية من بين الحالات التسع ونعلل ذلك بالاستعانة بالتحليل الرياضي لأثر Sweep Jamming على نسبة C/N0 العلاقة 4.10، حيث أن أغلب الخطوط الطيفية لكود C/A لنظام GPS والتي لها عرض مجال ترددي 1.024MHz تقع جميعها ضمن عرض مجال إشارة تشويش GPS البالغة 2MHz، بالإضافة أن جميع الحوامل الترددية لنظام GLONASS تقع ضمن مجال إشارة تشويش GLONASS. وجد أن أقل تقنيات التشويش فعاليةً على مستقبلات GNSS هي التقنيات التي تعتمد Spot jamming Jamming With Frequency Hopping للتشويش على GPS وتقنية Frequency Hopping jamming للتشويش على GLONASS وفقاً للحالة الخامسة، ويعود ذلك بالاستعانة بالتحليل الرياضي، أن المستقبل يستطيع استقبال عدد من الخيوط الطيفية لكود C/A لأن إشارة التشويش تستهدف عدداً محدوداً من الخيوط الطيفية بكل قفزة أي يستطيع المستقبل استقبال عدد منها، وب نفس الأسلوب لـ GLONASS عندما تستهدف إشارة التشويش حاملاً ترددياً واحداً في كل قفزة ويبقى 13 حامل بدون استهداف يستطيع منها المستقبل استخلاص معلومات الملاحة، الجدير بالذكر أنه عند تقليل المسافة بين نظام التشويش ومستقبل الملاحة GNSS إلى حدود الثلاثة أمتار، يبدأ المستقبل بفقدان إشارات أقمار GPS&GLONASS وذلك يعود بسبب تشبع المستقبل باستطاعة إشارة التشويش.

الجدول (4-7): مسافات التشويش على نظامي GPS&GLONASS وفقاً لرقم الحالة [الباحث]

رقم الحالة	تقنية التشويش المتبعة		مسافات التشويش [m] عند استطاعة إرسال 0.1mW	
	GPS	GLONASS	مستقبلات الملاحة الموجودة في طائرات DRONE	
			مستقبلات الملاحة المحمولة باليد	مستقبلات الملاحة المحمولة باليد
1	Spot with Sweep	Sweep	50	50
2	Spot with Sweep	Frequency Hopping	50	3
3	Spot with Sweep	Sweep With Frequency Hopping	50	45
4	Sweep With Frequency Hopping	Sweep	9	25
5	Sweep With Frequency Hopping	Frequency Hopping	3	3
6	Sweep With Frequency Hopping	Sweep With Frequency Hopping	7	18
7	Spot	Sweep	40	21
8	Spot	Frequency Hopping	37	~9
9	Spot	Sweep With Frequency Hopping	41	~8

تميز هذا البحث بالأشياء التالية:

- تم تصميم وتنفيذ نظام تشويش بشكل كامل محلياً وهو نظام محمول قابل للبرمجة والتطوير ذاتي القيادة ويعمل ضمن المجال الترددي 50MHz-2.5GHz.
- نظام التشويش المصمم نظام متكامل يولد إشارات تشويش GPS وإشارات تشويش GLONASS بأن واحد وبشكل مستمر أو نبضي وباستخدام هوائي واحد.
- حقق نظام التشويش مسافة تشويش كبيرة نسبياً بالمقارنة بالاستطاعة المرسله البالغة 0.1mW.
- بين مدى فعالية تقنيات تشويش حديثة الظهور على التشويش على أنظمة تحديد الموقع.
- أوجد النماذج الرياضية المعبرة عن تأثير إشارات التشويش على مستقبلات تحديد الموقع.
- حدد أفضل التقنيات وأكثرها فعاليةً للتشويش على نظامي تحديد الموقع GPS & GLONASS.
- أختبر تقنيات التشويش وحدد تأثيرها ومسافات تشويشها على المستقبلات بشكل تجريبي ميداني وعلى أهداف حقيقة.
- مكن من تحديد مواصفات إشارة التشويش المطلوبة لإنشاء منطقة حظر على استخدام أنظمة GPS & GLONASS، محددة المواصفات لتجنب التأثير على الأهداف الصديقة والمفيدة.
- حدد ثغرات ونقاط ضعف أنظمة تحديد الموقع GPS & GLONASS.
- أوجد المعاملات والمحددات التي تؤثر على استطاعة إشارة التشويش عند خرج المستقبل.
- تم نشر مقال علمي باللغة الإنكليزية في مجلة خارجية "مجلة جامعة بغداد - العلوم - مجلة الهندسة" محكمة ومعترف فيها من قبل جامعة دمشق المقال بعنوان [52]:

Design narrow-band frequency amplifier (1.5GHz-1.6GHz) based on InGaP Heterojunction Bipolar Transistor (HBT) and GaAs HBT

- يمكن استخدامه لتكبير إشارات تشويش GLONASS&GPS التي تعمل ضمن المجال L1_Band لزيادة مسافة فعالية التشويش.
- تم نشر مقال علمي في مجلة داخلية "مجلة جامعة البعث" محكمة ومعترف فيها من قبل جامعة دمشق المقال بعنوان:

"تصميم مضخم (مكبر) قيادة راديوي عريض المجال يعمل عند المجال الترددي

"InGaP/GaAs HBT MMIC بالاعتماد على ترانزستورات (100-1800MHz)

- يمكن استخدامه كمكبر قيادة لمكبر استطاعة عالية لتكبير إشارات تشويش GLONASS&GPS التي تعمل ضمن المجالات L1_Band, L2_Band, L5_Band وذلك بهدف زيادة مسافة فعالية التشويش

4.7 الاتجاهات البحثية المستقبلية (Future Research):

قدم هذا البحث تصميماً لمنظومة تشويش باستخدام عدد من تقنيات التشويش، ولكن هنالك نقاط ما زالت بحاجة للمزيد من البحث والتوسع منها:

1. تطوير المنظومة لتصبح قادرة على توليد تقنيات التشويش التكراري التي تعتمد على استقبال إشارة الأقمار الحقيقة وفك تشفيرها وتعديلها وتعديل رسالة الملاحة وإعادة إرسالها.
2. دراسة أثر وفعالية التشويش لبعض التقنيات التي لم يتناولها البحث.
3. تقدير فعالية تقنيات التشويش على أنظمة تحديد الموقع الجديدة التي هي في طور التشغيل مثل نظام تحديد الموقع Galileo (EU), BeiDou (China), QZSS (Japan), IRNSS or NavIC (India).
4. تحديد قيم بارامترات إشارة تشويش Frequency Hopping Jamming التي تحسن فعالية هذه التقنية في التشويش على أنظمة تحديد الموقع.
5. دراسة فعالية تقنيات التشويش على أنظمة GNSS ضمن المجال L-Band.

الملاحق (Appendixes)

الملحق أ:

نسخة من برنامج AVR Studio باللغة Assembly لتوليد تردد 1601.5MHz يستخدم كتردد مرجعي لإشارة مسح ترددي لتوليد إشارة Sweep Jamming تستهدف نظام GLONASS:

```
.NOLIST
.INCLUDE "m32Adef.inc"
.LIST
.EQU          CS=3
.EQU          DATA=4
.EQU          CLK=2
.EQU          MDRL=$70
.EQU          MDRH=$01

.EQU          MSBL=$CC
.EQU          MSBH=$10

.EQU          LSBL=$CD
.EQU          LSBH=$20

.EQU          ADRL=$12
.EQU          ADRH=$30

.EQU          ADDL=$00
.EQU          ADDH=$40

.EQU          RFDL=$01
.EQU          RFDH=$50

.EQU          DDCL=$DF
.EQU          DDCH=$67

.EQU          PDML=$00
.EQU          PDMH=$70

.EQU          MCRL=$00
.EQU          MCRH=$80

.EQU          MDDL=$00
.EQU          MDDH=$90
;
.DEF          TEMPR1=R16
.DEF          REGL=R17
.DEF          REGH=R18
.DEF          CNT=R19
.DEF          CNT2=R20
.DEF          CNT1=R21
.DEF          CNT3=R22
;interrupt vectors
.CSEG
.ORG          $0000          ; INTERRUPT VECTOR TABLE
RJMP          INIT          ; EXTERNAL RESET
```

```

0          NOP                                ; External Interrupt Request
1          NOP                                ; External Interrupt Request
2          NOP                                ; External Interrupt Request
Match     NOP                                ; Timer/Counter2 Compare
          NOP                                ; Timer/Counter2 Overflow
          NOP                                ; Timer/Counter1 Capture
Event     NOP                                ; Timer/Counter1 Compare
Match A   NOP                                ; Timer/Counter1 Compare Match B
          NOP                                ; Timer/Counter1 Overflow
          NOP                                ; Timer/Counter0 Compare
Match     NOP                                ; Timer/Counter0 Overflow
          NOP                                ; Serial Transfer Complete
          NOP                                ; USART, Rx Complete
          NOP                                ; USART Data Register Empty
          NOP                                ; USART, Tx Complete
          NOP                                ; ADC Conversion Complete
          NOP                                ; EEPROM Ready
          NOP                                ; Analog Comparator
          NOP                                ; Two-wire Serial Interface
          NOP                                ; Store Program Memory Ready
;
INIT:
.ORG      $0300
          LDI          TEMPR1,$5F
          OUT          SPL,TEMPR1
          LDI          TEMPR1,$08
          OUT          SPH,TEMPR1
          LDI          TEMPR1,$30
          OUT          DDRA,TEMPR1
          LDI          TEMPR1,$1C
          OUT          DDRB,TEMPR1
          LDI          TEMPR1,$00
          OUT          DDRC,TEMPR1
          LDI          TEMPR1,$00
          OUT          DDRD,TEMPR1
;
          SBI          PORTB,4
          LDI          TEMPR1,$51
          OUT          SPCR,TEMPR1
          LDI          R17,$55
          SBI          PORTB,CS
;
          LDI          REGL,MDRL
          LDI          REGH,MDRH
          RCALL        SEND
          LDI          REGL,MSBL
          LDI          REGH,MSBH
          RCALL        SEND
          LDI          REGL,LSBL
          LDI          REGH,LSBH
          RCALL        SEND
          LDI          REGL,ADRL
          LDI          REGH,ADRH
          RCALL        SEND

```

```

LDI          REGL,ADDL
LDI          REGH,ADDH
RCALL SEND
LDI          REGL,RFDL
LDI          REGH,RFDH
RCALL SEND
LDI          REGL,DDCL
LDI          REGH,DDCH
RCALL SEND
LDI          REGL,PDML
LDI          REGH,PDMH
RCALL SEND
LDI          REGL,MCRL
LDI          REGH,MCRH
RCALL SEND
LDI          REGL,MDDL
LDI          REGH,MDDH
RCALL SEND

START:
LDI          REGL,$70
LDI          REGH,$01
RCALL SEND
LDI          REGL,$CC
LDI          REGH,$10
RCALL SEND
LDI          REGL,$CD
LDI          REGH,$20
RCALL SEND
RCALL LDELAY

RJMP START

SEND:
CBI          PORTB,CLK
CBI          PORTB,CS
LDI          CNT,$10

STRT:
CLC
ROL          REGL
ROL          REGH
BRCS SETBIT
CBI          PORTB,DATA
RJMP NEXT

SETBIT:
BRCC NEXT
SBI          PORTB,DATA

NEXT:
SBI          PORTB,CLK
CLC
DEC          CNT
CBI          PORTB,CLK
CPI          CNT,$00
BRNE STRT
SBI          PORTB,CS
RET

DELAY:

DELAY1:
LDI          CNT2,$FF
DEC          CNT2
CPI          CNT2,$00
BRNE DELAY1

```

```

RET
LDELAY:
    LDI        REGL,MDRL
    LDI        REGH,MDRH
    RCALL     SEND
    LDI        REGL,MSBL
    LDI        REGH,MSBH
    RCALL     SEND
    LDI        REGL,LSBL
    LDI        REGH,LSBH
    RCALL     SEND
    LDI        CNT1,$04;0A
LDELAY1:
    LDI        CNT2,$AF;FF
LDELAY2:
    LDI        CNT3,$FF
LDELAY3:
    DEC        CNT3
    CPI        CNT3,$00
    BRNE     LDELAY3
    DEC        CNT2
    CPI        CNT2,$00
    BRNE     LDELAY2
    DEC        CNT1
    CPI        CNT1,$00
    BRNE     LDELAY1
    RETend

```

الملحق ب:

نسخة من برنامج AVR Studio باللغة Assembly لتوليد 14 تردد مطابقة لترددات حوامل GLONASS
تستخدم كإشارة قفاز ترددي:

```

.NOLIST
.INCLUDE "m32Adef.inc"
.LIST
.EQU        CS=3
.EQU        DATA=4
.EQU        CLK=2
.EQU        MDRL=$70
.EQU        MDRH=$01

.EQU        MSBL=$DC
.EQU        MSBH=$11

.EQU        LSBL=$CD
.EQU        LSBH=$20

.EQU        ADRL=$12
.EQU        ADRH=$30

.EQU        ADDL=$00
.EQU        ADDH=$40

.EQU        RFDL=$01
.EQU        RFDH=$50

.EQU        DDCL=$DF
.EQU        DDCH=$67

```

```

.EQU      PDML=$00
.EQU      PDMH=$70

.EQU      MCRL=$00
.EQU      MCRH=$80

.EQU      MDDL=$00
.EQU      MDDH=$90
;
.DEF      TEMPR1=R16
.DEF      REGL=R17
.DEF      REGH=R18
.DEF      CNT=R19
.DEF      CNT2=R20
.DEF      CNT1=R21
.DEF      CNT3=R22
;interrupt vectors
.CSEG
        .ORG      $0000                ; INTERRUPT VECTOR TABLE
        RJMP      INIT                ; EXTERNAL RESET
0
        NOP                                ; External Interrupt Request
1
        NOP                                ; External Interrupt Request
2
        NOP                                ; External Interrupt Request
Match
        NOP                                ; Timer/Counter2 Compare
        NOP                                ; Timer/Counter2 Overflow
        NOP                                ; Timer/Counter1 Capture
Event
        NOP                                ; Timer/Counter1 Compare
Match A
        NOP                                ; Timer/Counter1 Compare Match B
        NOP                                ; Timer/Counter1 Overflow
        NOP                                ; Timer/Counter0 Compare
Match
        NOP                                ; Timer/Counter0 Overflow
        NOP                                ; Serial Transfer Complete
        NOP                                ; USART, Rx Complete
        NOP                                ; USART Data Register Empty
        NOP                                ; USART, Tx Complete
        NOP                                ; ADC Conversion Complete
        NOP                                ; EEPROM Ready
        NOP                                ; Analog Comparator
        NOP                                ; Two-wire Serial Interface
        NOP                                ; Store Program Memory Ready
;
INIT:
.ORG      $030
        LDI      TEMPR1,$5F
        OUT      SPL,TEMPR1
        LDI      TEMPR1,$08
        OUT      SPH,TEMPR1
        LDI      TEMPR1,$30
        OUT      DDRA,TEMPR1
        LDI      TEMPR1,$1C
        OUT      DDRB,TEMPR1
        LDI      TEMPR1,$00
        OUT      DDRC,TEMPR1
        LDI      TEMPR1,$00

```

```

;
OUT        DDRD, TEMPR1

SBI        PORTB, 4
LDI        TEMPR1, $51
OUT        SPCR, TEMPR1
LDI        R17, $55
SBI        PORTB, CS
;
LDI        REGL, MDRL
LDI        REGH, MDRH
RCALL SEND
LDI        REGL, MSBL
LDI        REGH, MSBH
RCALL SEND
LDI        REGL, LSBL
LDI        REGH, LSBH
RCALL SEND
LDI        REGL, ADRL
LDI        REGH, ADRH
RCALL SEND
LDI        REGL, ADDL
LDI        REGH, ADDH
RCALL SEND
LDI        REGL, RFDL
LDI        REGH, RFDH
RCALL SEND
LDI        REGL, DDCL
LDI        REGH, DDCH
RCALL SEND
LDI        REGL, PDML
LDI        REGH, PDMH
RCALL SEND
LDI        REGL, MCRL
LDI        REGH, MCRH
RCALL SEND
LDI        REGL, MDDL
LDI        REGH, MDDH
RCALL SEND
;RCALL LDELAY
;

START:
;1-1601.8625
LDI        REGL, $70
LDI        REGH, $01
RCALL SEND
LDI        REGL, $DC
LDI        REGH, $11
RCALL SEND
LDI        REGL, $CD
LDI        REGH, $20
RCALL SEND
RCALL LDELAY
;2-1602.425
LDI        REGL, $71
LDI        REGH, $01
RCALL SEND
LDI        REGL, $6C
LDI        REGH, $12
RCALL SEND
LDI        REGL, $CD
LDI        REGH, $20

```

```

RCALL SEND
RCALL LDELAY
;3-1602.9875
LDI REGL,$71
LDI REGH,$01
RCALL SEND
LDI REGL,$FC
LDI REGH,$12
RCALL SEND
LDI REGL,$CD
LDI REGH,$20
RCALL SEND
RCALL LDELAY
;4-1603.55
LDI REGL,$71
LDI REGH,$01
RCALL SEND
LDI REGL,$8C
LDI REGH,$13
RCALL SEND
LDI REGL,$CD
LDI REGH,$20
RCALL SEND
RCALL LDELAY
;5-1604.1125
LDI REGL,$71
LDI REGH,$01
RCALL SEND
LDI REGL,$1C
LDI REGH,$10
RCALL SEND
LDI REGL,$CD
LDI REGH,$20
RCALL SEND
RCALL LDELAY
;6-1604.675
LDI REGL,$71
LDI REGH,$01
RCALL SEND
LDI REGL,$AC
LDI REGH,$10
RCALL SEND
LDI REGL,$CD
LDI REGH,$20
RCALL SEND
RCALL LDELAY
;7-1605.2375
LDI REGL,$71
LDI REGH,$01
RCALL SEND
LDI REGL,$3C
LDI REGH,$11
RCALL SEND
LDI REGL,$CD
LDI REGH,$20
RCALL SEND
RCALL LDELAY
;8-1605.8
LDI REGL,$71
LDI REGH,$01
RCALL SEND
LDI REGL,$CC

```

```

LDI          REGH,$11
RCALL SEND
LDI          REGL,$CD
LDI          REGH,$20
RCALL SEND
RCALL LDELAY
;9-1606.3625
LDI          REGL,$72
LDI          REGH,$01
RCALL SEND
LDI          REGL,$5C
LDI          REGH,$12
RCALL SEND
LDI          REGL,$CD
LDI          REGH,$20
RCALL SEND
RCALL LDELAY
;10-1606.925
LDI          REGL,$72
LDI          REGH,$01
RCALL SEND
LDI          REGL,$EC
LDI          REGH,$12
RCALL SEND
LDI          REGL,$CD
LDI          REGH,$20
RCALL SEND
RCALL LDELAY
;11-1607.4875
LDI          REGL,$72
LDI          REGH,$01
RCALL SEND
LDI          REGL,$7C
LDI          REGH,$13
RCALL SEND
LDI          REGL,$CD
LDI          REGH,$20
RCALL SEND
RCALL LDELAY
;12-1608.05
LDI          REGL,$72
LDI          REGH,$01
RCALL SEND
LDI          REGL,$0C
LDI          REGH,$10
RCALL SEND
LDI          REGL,$CD
LDI          REGH,$20
RCALL SEND
RCALL LDELAY
;13-1608.6125
LDI          REGL,$72
LDI          REGH,$01
RCALL SEND
LDI          REGL,$9C
LDI          REGH,$10
RCALL SEND
LDI          REGL,$CD
LDI          REGH,$20
RCALL SEND
RCALL LDELAY
;14-1609.175

```

```

LDI          REGL,$72
LDI          REGH,$01
RCALL SEND
LDI          REGL,$2C
LDI          REGH,$11
RCALL SEND
LDI          REGL,$CD
LDI          REGH,$20
RCALL SEND
RCALL LDELAY
;15-1609.7379
LDI          REGL,$72
LDI          REGH,$01
RCALL SEND
LDI          REGL,$BC
LDI          REGH,$11
RCALL SEND
LDI          REGL,$E7
LDI          REGH,$20
RCALL SEND
RCALL LDELAY
RJMP START

SEND:
CBI          PORTB,CLK
CBI          PORTB,CS
LDI          CNT,$10

STRT:
CLC
ROL          REGL
ROL          REGH
BRCS SETBIT
CBI          PORTB,DATA
RJMP NEXT

SETBIT:
BRCC NEXT
SBI          PORTB,DATA

NEXT:
SBI          PORTB,CLK
CLC
DEC          CNT
CBI          PORTB,CLK
CPI          CNT,$00
BRNE STRT
SBI          PORTB,CS
RET

DELAY:

DELAY1:
LDI          CNT2,$FF
DEC          CNT2
CPI          CNT2,$00
BRNE DELAY1
RET

LDELAY:
LDI          REGL,ADRL
LDI          REGH,ADRH
RCALL SEND
LDI          REGL,ADDL
LDI          REGH,ADDH
RCALL SEND
LDI          CNT1,$04;0A

LDELAY1:

```

```

LDI          CNT2,$AF;FF
LDELAY2:
LDI          CNT3,$FF
LDELAY3:
DEC          CNT3
CPI          CNT3,$00
BRNE        LDELAY3
DEC          CNT2
CPI          CNT2,$00
BRNE        LDELAY2
DEC          CNT1
CPI          CNT1,$00
BRNE        LDELAY1

RET

```

الملحق ج:

نسخة من برنامج AVR Studio باللغة Assembly لتوليد تردد مطابق لتردد الحامل الترددي لنظام GPS عند التردد 1575.42MHz يستخدم في Spot jamming و Spot with Sweep Jamming

```

.NOLIST
.INCLUDE "m32Adef.inc"
.LIST
.EQU         CS=3
.EQU         DATA=4
.EQU         CLK=2
.EQU         MDRL=$6A
.EQU         MDRH=$01

.EQU         MSBL=$B0
.EQU         MSBH=$12

.EQU         LSBL=$A4
.EQU         LSBH=$20

.EQU         ADRL=$12
.EQU         ADRH=$30

.EQU         ADDL=$00
.EQU         ADDH=$40

.EQU         RFDL=$01
.EQU         RFDH=$50

.EQU         DDCL=$DF
.EQU         DDCH=$67

.EQU         PDML=$00
.EQU         PDMH=$70

.EQU         MCRL=$00
.EQU         MCRH=$80

```

```

.EQU      MDDL=$00
.EQU      MDDH=$90
;
.DEF      TEMPR1=R16
.DEF      REGL=R17
.DEF      REGH=R18
.DEF      CNT=R19
.DEF      CNT2=R20
.DEF      CNT1=R21
.DEF      CNT3=R22
;interrupt vectors
.CSEG
          .ORG      $0000          ; INTERRUPT VECTOR TABLE
          RJMP      INIT          ; EXTERNAL RESET
          NOP
          ; External Interrupt Request
0
          NOP
          ; External Interrupt Request
1
          NOP
          ; External Interrupt Request
2
          NOP
          ; Timer/Counter2 Compare
Match
          NOP
          ; Timer/Counter2 Overflow
          NOP
          ; Timer/Counter1 Capture
Event
          NOP
          ; Timer/Counter1 Compare
Match A
          NOP
          ; Timer/Counter1 Compare Match B
          NOP
          ; Timer/Counter1 Overflow
          NOP
          ; Timer/Counter0 Compare
Match
          NOP
          ; Timer/Counter0 Overflow
          NOP
          ; Serial Transfer Complete
          NOP
          ; USART, Rx Complete
          NOP
          ; USART Data Register Empty
          NOP
          ; USART, Tx Complete
          NOP
          ; ADC Conversion Complete
          NOP
          ; EEPROM Ready
          NOP
          ; Analog Comparator
          NOP
          ; Two-wire Serial Interface
          NOP
          ; Store Program Memory Ready
;
INIT:
.ORG      $030
          LDI        TEMPR1,$5F
          OUT        SPL,TEMPR1
          LDI        TEMPR1,$08
          OUT        SPH,TEMPR1
          LDI        TEMPR1,$30
          OUT        DDRA,TEMPR1
          LDI        TEMPR1,$1C
          OUT        DDRB,TEMPR1
          LDI        TEMPR1,$00
          OUT        DDRC,TEMPR1
          LDI        TEMPR1,$00
          OUT        DDRD,TEMPR1
;
          SBI        PORTB,4
          LDI        TEMPR1,$51
          OUT        SPCR,TEMPR1
          LDI        R17,$55

```

```

SBI          PORTB,CS
;
LDI          REGL,MDRL
LDI          REGH,MDRH
RCALL SEND
LDI          REGL,MSBL
LDI          REGH,MSBH
RCALL SEND
LDI          REGL,LSBL
LDI          REGH,LSBH
RCALL SEND
LDI          REGL,ADRL
LDI          REGH,ADRH
RCALL SEND
LDI          REGL,ADDL
LDI          REGH,ADDH
RCALL SEND
LDI          REGL,RFDL
LDI          REGH,RFDH
RCALL SEND
LDI          REGL,DDCL
LDI          REGH,DDCH
RCALL SEND
LDI          REGL,PDML
LDI          REGH,PDMH
RCALL SEND
LDI          REGL,MCRL
LDI          REGH,MCRH
RCALL SEND
LDI          REGL,MDDL
LDI          REGH,MDDH
RCALL SEND
;RCALL LDELAY
;

START:
;1575.42MHz
LDI          REGL,$6A
LDI          REGH,$01
RCALL SEND
LDI          REGL,$B0
LDI          REGH,$12
RCALL SEND
LDI          REGL,$A4
LDI          REGH,$20
RCALL SEND
RCALL LDELAY
RJMP START

SEND:

CBI          PORTB,CLK
CBI          PORTB,CS
LDI          CNT,$10

STRT:

CLC
ROL          REGL
ROL          REGH
BRCS SETBIT
CBI          PORTB,DATA
RJMP NEXT

SETBIT:

BRCC NEXT
SBI          PORTB,DATA

NEXT:

```

```

        SBI          PORTB,CLK
        CLC
        DEC          CNT
        CBI          PORTB,CLK
        CPI          CNT,$00
        BRNE        STRT
        SBI          PORTB,CS
        RET

DELAY:

        LDI          CNT2,$FF

DELAY1:

        DEC          CNT2
        CPI          CNT2,$00
        BRNE        DELAY1
        RET

LDELAY:

        LDI          REGL,MDRL
        LDI          REGH,MDRH
        RCALL        SEND
        LDI          REGL,MSBL
        LDI          REGH,MSBH
        RCALL        SEND
        LDI          REGL,LSBL
        LDI          REGH,LSBH
        RCALL        SEND
        LDI          CNT1,$04;0A

LDELAY1:

        LDI          CNT2,$AF;FF

LDELAY2:

        LDI          CNT3,$FF

LDELAY3:

        DEC          CNT3
        CPI          CNT3,$00
        BRNE        LDELAY3
        DEC          CNT2
        CPI          CNT2,$00
        BRNE        LDELAY2
        DEC          CNT1
        CPI          CNT1,$00
        BRNE        LDELAY1

RET

```

الملحق د:

نسخة من برنامج AVR Studio باللغة Assembly لتوليد 24 تردد تستخدم كإشارة قفاز ترددي ضمن

مجال عمل نظام GPS L1:

```

.NOLIST
.INCLUDE "m32Adef.inc"
.LIST
.EQU      CS=3
.EQU      DATA=4
.EQU      CLK=2
.EQU      MDRL=$67
.EQU      MDRH=$01

```

```

.EQU      MSBL=$00
.EQU      MSBH=$13

.EQU      LSBL=$00
.EQU      LSBH=$20

.EQU      ADRL=$06
.EQU      ADRH=$30

.EQU      ADDL=$00
.EQU      ADDH=$42

.EQU      RFDL=$01
.EQU      RFDH=$50

.EQU      DDCL=$DF
.EQU      DDCH=$67

.EQU      PDML=$00
.EQU      PDMH=$70

.EQU      MCRL=$00
.EQU      MCRH=$80

.EQU      MDDL=$00
.EQU      MDDH=$90
;
.DEF      TEMPR1=R16
.DEF      REGL=R17
.DEF      REGH=R18
.DEF      CNT=R19
.DEF      CNT2=R20
.DEF      CNT1=R21
.DEF      CNT3=R22
;interrupt vectors
.CSEG

      .ORG      $0000      ; INTERRUPT VECTOR TABLE
      RJMP      INIT      ; EXTERNAL RESET
0
      NOP
      ; External Interrupt Request
1
      NOP
      ; External Interrupt Request
2
      NOP
      ; External Interrupt Request
Match
      NOP
      ; Timer/Counter2 Compare
      NOP
      ; Timer/Counter2 Overflow
      NOP
      ; Timer/Counter1 Capture
Event
      NOP
      ; Timer/Counter1 Compare
Match A
      NOP
      ; Timer/Counter1 Compare Match B
      NOP
      ; Timer/Counter1 Overflow
      NOP
      ; Timer/Counter0 Compare
Match
      NOP
      ; Timer/Counter0 Overflow
      NOP
      ; Serial Transfer Complete
      NOP
      ; USART, Rx Complete
      NOP
      ; USART Data Register Empty
      NOP
      ; USART, Tx Complete
      NOP
      ; ADC Conversion Complete
      NOP
      ; EEPROM Ready

```

```

;
; Analog Comparator
; Two-wire Serial Interface
; Store Program Memory Ready
;
INIT:
.ORG $0300
    NOP
    NOP
    NOP

    LDI    TEMPR1,$5F
    OUT    SPL,TEMPR1
    LDI    TEMPR1,$08
    OUT    SPH,TEMPR1
    LDI    TEMPR1,$30
    OUT    DDRA,TEMPR1
    LDI    TEMPR1,$1C
    OUT    DDRB,TEMPR1
    LDI    TEMPR1,$00
    OUT    DDRC,TEMPR1
    LDI    TEMPR1,$00
    OUT    DDRD,TEMPR1

;

    SBI    PORTB,4
    LDI    TEMPR1,$51
    OUT    SPCR,TEMPR1
    LDI    R17,$55
    SBI    PORTB,CS
;
    LDI    REGL,MDRL
    LDI    REGH,MDRH
    RCALL  SEND
    LDI    REGL,MSBL
    LDI    REGH,MSBH
    RCALL  SEND
    LDI    REGL,LSBL
    LDI    REGH,LSBH
    RCALL  SEND
    LDI    REGL,ADRL
    LDI    REGH,ADRH
    RCALL  SEND
    LDI    REGL,ADDL
    LDI    REGH,ADDH
    RCALL  SEND
    LDI    REGL,RFDL
    LDI    REGH,RFDH
    RCALL  SEND
    LDI    REGL,DDCL
    LDI    REGH,DDCH
    RCALL  SEND
    LDI    REGL,PDML
    LDI    REGH,PDMH
    RCALL  SEND
    LDI    REGL,MCRL
    LDI    REGH,MCRH
    RCALL  SEND
    LDI    REGL,MDDL
    LDI    REGH,MDDH
    RCALL  SEND
;RCALL LDELAY
;

START:
;1563
    LDI    REGL,$67
    LDI    REGH,$01

```

```

RCALL SEND
LDI      REGL,$00
LDI      REGH,$13
RCALL SEND
LDI      REGL,$00
LDI      REGH,$20
RCALL SEND
RCALL LDELAY
;1565
LDI      REGL,$67
LDI      REGH,$01
RCALL SEND
LDI      REGL,$00
LDI      REGH,$11
RCALL SEND
LDI      REGL,$00
LDI      REGH,$20
RCALL SEND
RCALL LDELAY
;1567
LDI      REGL,$68
LDI      REGH,$01
RCALL SEND
LDI      REGL,$00
LDI      REGH,$13
RCALL SEND
LDI      REGL,$00
LDI      REGH,$20
RCALL SEND
RCALL LDELAY
;1569
LDI      REGL,$68
LDI      REGH,$01
RCALL SEND
LDI      REGL,$00
LDI      REGH,$11
RCALL SEND
LDI      REGL,$00
LDI      REGH,$20
RCALL SEND
RCALL LDELAY
;1571
LDI      REGL,$69
LDI      REGH,$01
RCALL SEND
LDI      REGL,$00
LDI      REGH,$13
RCALL SEND
LDI      REGL,$00
LDI      REGH,$20
RCALL SEND
RCALL LDELAY
;1573
LDI      REGL,$69
LDI      REGH,$01
RCALL SEND
LDI      REGL,$00
LDI      REGH,$11
RCALL SEND
LDI      REGL,$00
LDI      REGH,$20
RCALL SEND

```

```

RCALL  LDELAY
;1575.42
LDI          REGL,$6A
LDI          REGH,$01
RCALL  SEND
LDI          REGL,$6B
LDI          REGH,$13
RCALL  SEND
LDI          REGL,$85
LDI          REGH,$20
RCALL  SEND
RCALL  LDELAY
;1579
LDI          REGL,$6B
LDI          REGH,$01
RCALL  SEND
LDI          REGL,$00
LDI          REGH,$13
RCALL  SEND
LDI          REGL,$00
LDI          REGH,$20
RCALL  SEND
RCALL  LDELAY
;1581
LDI          REGL,$6B
LDI          REGH,$01
RCALL  SEND
LDI          REGL,$00
LDI          REGH,$11
RCALL  SEND
LDI          REGL,$00
LDI          REGH,$20
RCALL  SEND
RCALL  LDELAY
;1583
LDI          REGL,$6C
LDI          REGH,$01
RCALL  SEND
LDI          REGL,$00
LDI          REGH,$13
RCALL  SEND
LDI          REGL,$00
LDI          REGH,$20
RCALL  SEND
RCALL  LDELAY
;1585
LDI          REGL,$6C
LDI          REGH,$01
RCALL  SEND
LDI          REGL,$00
LDI          REGH,$11
RCALL  SEND
LDI          REGL,$00
LDI          REGH,$20
RCALL  SEND
RCALL  LDELAY
;1587
LDI          REGL,$6D
LDI          REGH,$01
RCALL  SEND
LDI          REGL,$00
LDI          REGH,$13

```

```

RCALL SEND
LDI     REGL,$00
LDI     REGH,$20
RCALL SEND
RCALL LDELAY
RJMP START

;;;
SEND:

CBI     PORTB,CLK
CBI     PORTB,CS
LDI     CNT,$10

STRT:

CLC
ROL     REGL
ROL     REGH
BRCS    SETBIT
CBI     PORTB,DATA
RJMP    NEXT

SETBIT:

BRCC    NEXT
SBI     PORTB,DATA

NEXT:

SBI     PORTB,CLK
CLC
DEC     CNT
CBI     PORTB,CLK
CPI     CNT,$00
BRNE    STRT
SBI     PORTB,CS
RET

DELAY:

LDI     CNT2,$FF

DELAY1:

DEC     CNT2
CPI     CNT2,$00
BRNE    DELAY1
RET

LDELAY:

LDI     REGL,ADRL
LDI     REGH,ADRH
RCALL SEND
LDI     REGL,ADDL
LDI     REGH,ADDH
RCALL SEND
LDI     CNT1,$04;0A

LDELAY1:

LDI     CNT2,$AF;FF

LDELAY2:

LDI     CNT3,$FF

LDELAY3:

DEC     CNT3
CPI     CNT3,$00
BRNE    LDELAY3
DEC     CNT2
CPI     CNT2,$00
BRNE    LDELAY2
DEC     CNT1
CPI     CNT1,$00
BRNE    LDELAY1

RET

```

الملحق هـ:

نسخة من برنامج AVR Studio باللغة Assembly لتوليد إشارة سن منشار بتردد شبه عشوائي تستخدم من أجل المسح الترددي.

```
.NOLIST
.INCLUDE "m32Adef.inc"
.LIST
;
.DEF      TEMPR1 =R18
.DEF      STEP   =R19
.DEF      SAW     =R20
.DEF      TIM     =R21
.DEF      DEL     =R22
.DEF      RAND    =R23
.DEF      DLL     =R24
.DEF      RND     =R25

;interrupt vectors
.CSEG
                .ORG      $0000          ; INTERRUPT VECTOR TABLE
                RJMP      INIT          ; EXTERNAL RESET
0               NOP                    ; External Interrupt Request
1               NOP                    ; External Interrupt Request
2               NOP                    ; External Interrupt Request
Match          NOP                    ; Timer/Counter2 Compare
                NOP                    ; Timer/Counter2 Overflow
                NOP                    ; Timer/Counter1 Capture
Event          NOP                    ; Timer/Counter1 Compare
Match A        NOP                    ; Timer/Counter1 Compare Match B
                NOP                    ; Timer/Counter1 Overflow
                NOP                    ; Timer/Counter0 Compare
Match          NOP                    ; Timer/Counter0 Overflow
                NOP                    ; Serial Transfer Complete
                NOP                    ; USART, Rx Complete
                NOP                    ; USART Data Register Empty
                NOP                    ; USART, Tx Complete
                NOP                    ; ADC Conversion Complete
                NOP                    ; EEPROM Ready
                NOP                    ; Analog Comparator
                NOP                    ; Two-wire Serial Interface
                NOP                    ; Store Program Memory Ready
;
INIT:
.ORG      $038
                LDI        TEMPR1,$5F
                OUT        SPL,TEMPR1
                LDI        TEMPR1,$07
                OUT        SPH,TEMPR1
                LDI        TEMPR1,$10
                OUT        DDRA,TEMPR1
```

```

LDI          TEMPR1,$00
OUT          DDRD,TEMPR1
LDI          TEMPR1,$FF
OUT          DDRC,TEMPR1
LDI          TEMPR1,$00
OUT          DDRB,TEMPR1
;
LDI          STEP,$0B
LDI          SAW,$01

START:
LDI          DLL,$07
LDI          RND,$06
RCALL WORK
LDI          DLL,$0D
LDI          RND,$05
RCALL WORK
LDI          DLL,$0E
LDI          RND,$07
RCALL WORK
LDI          DLL,$07
LDI          RND,$06
RCALL WORK
LDI          DLL,$0A
LDI          RND,$05
RCALL WORK
LDI          DLL,$09
LDI          RND,$07
RCALL WORK
LDI          DLL,$0B
LDI          RND,$04
RCALL WORK
LDI          DLL,$09
LDI          RND,$05
RCALL WORK
LDI          DLL,$0A
LDI          RND,$06
RCALL WORK
LDI          DLL,$0B
LDI          RND,$03
RCALL WORK
LDI          DLL,$08
LDI          RND,$05
RCALL WORK
LDI          DLL,$0A
LDI          RND,$04
RCALL WORK
LDI          DLL,$0D
LDI          RND,$07
RCALL WORK
LDI          DLL,$08
LDI          RND,$05
RCALL WORK
LDI          DLL,$0C
LDI          RND,$04
RCALL WORK
LDI          DLL,$08
LDI          RND,$05
RCALL WORK
LDI          DLL,$0C
LDI          RND,$03
RCALL WORK
LDI          DLL,$0A

```

	LDI		RND, \$07
	RCALL	WORK	
	LDI		DLL, \$0C
	LDI		RND, \$06
	RCALL	WORK	
	LDI		DLL, \$0A
	LDI		RND, \$05
	RCALL	WORK	
	LDI		DLL, \$08
	LDI		RND, \$03
	RCALL	WORK	
	LDI		DLL, \$0B
	LDI		RND, \$06
	RCALL	WORK	
	LDI		DLL, \$09
	LDI		RND, \$04
	RCALL	WORK	
	LDI		DLL, \$0A
	LDI		RND, \$05
	RCALL	WORK	
	LDI		DLL, \$0D
	LDI		RND, \$03
	RCALL	WORK	
	LDI		DLL, \$0C
	LDI		RND, \$07
	RCALL	WORK	
	LDI		DLL, \$09
	LDI		RND, \$05
	RCALL	WORK	
	LDI		DLL, \$0C
	LDI		RND, \$06
	RCALL	WORK	
	LDI		DLL, \$0B
	LDI		RND, \$04
	RCALL	WORK	
	LDI		DLL, \$08
	LDI		RND, \$07
	RCALL	WORK	
	LDI		DLL, \$0A
	LDI		RND, \$04
	RCALL	WORK	
	LDI		DLL, \$09
	LDI		RND, \$06
	RCALL	WORK	
	LDI		DLL, \$0A
	LDI		RND, \$08
	RCALL	WORK	
	LDI		DLL, \$0D
	LDI		RND, \$05
	RCALL	WORK	
	LDI		DLL, \$0C
	LDI		RND, \$07
	RCALL	WORK	
	LDI		DLL, \$09
	LDI		RND, \$03
	RCALL	WORK	
	RJMP	START	
WORK:	SBI		PORTA, 4
	MOV		RAND, RND
RAND1:	LDI		SAW, \$01

```

DEC          RAND
CPI          RAND,$00
BREQ        END
ADD1:
CPI          SAW,$F5
BRSH        RAND1
ADD          SAW,STEP
OUT          PORTC,SAW
MOV          DEL,DLL
DELAY1:
DEC          DEL
CPI          DEL,$00
BREQ        ADD1
RJMP        DELAY1
END:
RET

```

الملحق ن:

مواصفات هوائي الإرسال: تم استخدام هوائي محلي الصنع وهو هوائي حلزوني Helical Antenna يعمل عند المجال الترددي 950MHz إلى 1.7GHz بربح 6dBi بزاوية 120° ، الشكل التالي يظهر منحني VSWR للهوائي [المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا].



الملحق و:

مواصفات طائرة Drone طراز DJI MAVIC PRO

Aircraft

Folded	H83mm x W83mm x L198mm
Diagonal Size (Propellers Excluded)	335 mm
Weight (Battery & Propellers Included)	1.62 lbs (734 g) (exclude gimbal cover) 1.64 lbs (743 g) (include gimbal cover)
Max Ascent Speed	16.4 ft/s (5 m/s) in Sport mode
Max Descent Speed	9.8 ft/s (3 m/s)
Max Speed	40 mph (65 kph) in Sport mode without wind
Maximum Takeoff Altitude	16404 feet (5000 m)
Max Flight Time	27 minutes (no wind at a consistent 15.5 mph (25 kph))
Max Hovering Time	24 minutes (no wind)
Overall Flight Time	21 minutes (In normal flight, 15% remaining battery level)
Max Total Travel Distance (One Full Battery, No Wind)	8 mi (13 km, no wind)
Operating Temperature Range	32° to 104° F (0° to 40° C)
Satellite Positioning Systems	GPS / GLONASS
Hover Accuracy Range	Vertical: ±0.1 m (when Vision Positioning is active) or ±0.5 m Horizontal: ±0.3 m (when Vision Positioning is active) or ±1.5 m
Operating Frequency	FCC: 2.4-2.4835GHz; 5.150-5.250 GHz; 5.725-5.850 GHz CE: 2.4-2.4835GHz; 5.725-5.850 GHz SRRC: 2.4-2.4835 GHz; 5.725-5.850 GHz
Transmitter Power (EIRP)	2.4GHz FCC: ≤26 dBm; CE: ≤20 dBm; SRRC: ≤20 dBm; MIC: ≤18 dBm 5.2 GHz FCC: ≤23 dBm 5.8 GHz FCC: ≤23 dBm; CE: ≤13 dBm; SRRC: ≤23 dBm; MIC: -

Remote Controller

Operating Frequency	2.4 GHz to 2.483 GHz
Max Transmission Distance	FCC Compliant: 4.3 mi (7 km); CE Compliant: 2.5 mi (4 km) SRRC Compliant: 2.5 mi (4 km) MIC Compliant: 2.5 mi (4 km) (Unobstructed, free of interference)
Operating Temperature Range	32° to 104° F (0° to 40° C)
Battery	2970mAh
Transmitter Power (EIRP)	FCC: ≤26 dBm CE: ≤20 dBm SRRC: ≤20 dBm MIC: ≤18 dBm
Operating Current/Voltage	950mA @ 3.7V
Supported Mobile Device Size	Thickness Supported: 6.5-8.5mm Max length: 160mm Supported USB port types: Lightning, Micro USB (Type-B), USB (Type-C) TM

Gimbal

Controllable Range	Pitch: -90° to +30° Roll: 0° or 90° (Horizontally and vertically)
Stabilization	3-axis (pitch, roll, yaw)

Vision System

Vision System	Forward Vision System Downward Vision System
Obstacle Sensory Range	Precision measurement range: 2 ft (0.7 m) to 49 ft (15 m) Detectable range: 49 ft (15 m) to 98 ft (30 m)
Operating Environment	Surface with clear pattern and adequate lighting (lux > 15)
Velocity Range	≤22.4 mph (36 kph) at 6.6 ft (2 m) above ground
Altitude Range	1 - 43 feet (0.3 - 13 m)
Operating Range	1 - 43 feet (0.3 - 13 m)

Camera

Sensor	1/2.3" (CMOS), Effective pixels: 12.35 M (Total pixels: 12.71 M)
Lens	FOV 78.8° 26 mm (35 mm format equivalent) f/2.2 Distortion < 1.5% Focus from 0.5 m to ∞
ISO Range	video: 100-3200 photo: 100-1600
Electronic Shutter Speed	8s - 1/8000 s
Image Size	4000×3000
Still Photography Modes	Single shot Burst shooting: 3/5/7 frames Auto Exposure Bracketing (AEB): 3/5 bracketed frames at 0.7 EV Bias Interval
Video Recording Modes	C4K: 4096×2160 24p 4K: 3840×2160 24/25/30p 2.7K: 2720×1530 24/25/30p FHD: 1920×1080 24/25/30/48/50/60/96p HD: 1280×720 24/25/30/48/50/60/120p
Max Video Bitrate	60 Mbps
Supported File Systems	FAT32 (≤ 32 GB); exFAT (> 32 GB)
Photo	JPEG, DNG
Video	MP4, MOV (MPEG-4 AVC/H.264)
Supported SD Cards	Micro SD TM Max capacity: 128 GB. Class 10 or UHS-1 rating required
Operating Temperature Range	32° to 104° F (0° to 40° C)

Wi-Fi

Operating Frequency	2.4G/5G
Max Transmission Distance	80 m (Distance), 50m (Height) (Unobstructed, free of interference)
Max Speed	14 km/h (9 mph)
Max Ascent Speed	6.6 ft/s (2 m/s)
Max Descent Speed	3.3 ft/s (1 m/s)

Charger

Voltage	13.05 V
Rated Power	50 W

Intelligent Flight Battery

Capacity	3830 mAh
Voltage	11.4 V
Battery Type	LiPo 3S
Energy	43.6 Wh
Net Weight	Approx. 0.5 lbs (240 g)
Charging Temperature Range	41° to 104° F (5° to 40° C)



مواصفات طائرة Drone طراز DJI PHANTOM 3 PRO

Aircraft

Weight (Battery & Propellers Included)	1280 g
Diagonal Size (Propellers Excluded)	350 mm
Max Ascent Speed	5 m/s
Max Descent Speed	3 m/s
Max Speed	16 m/s (ATTI mode)
Max Tilt Angle	35°
Max Angular Speed	150°/s
Max Service Ceiling Above Sea Level	19685 feet (6000 m)
Max Flight Time	Approx. 23 minutes
Operating Temperature Range	32° to 104°F (0° to 40°C)
Satellite Positioning Systems	GPS/GLONASS
Hover Accuracy Range	Vertical: ±0.1 m (with Vision Positioning) ±0.5 m (with GPS Positioning) Horizontal: ±0.3 m (with Vision Positioning) ±1.5 m (with GPS Positioning)

Gimbal

Stabilization	3-axis (pitch, roll, yaw)
Controllable Range	Pitch: -90° to +30°
Max Controllable Angular Speed	Pitch: 90°/s
Angular Control Accuracy	±0.02°

Remote Controller

Operating Frequency	2.400 - 2.483 GHz
Max Transmission Distance	FCC Compliant: 3.1 mi (5 km) CE Compliant: 2.2 mi (3.5 km) (Unobstructed, free of interference)
Operating Temperature Range	32° to 104°F (0° to 40°C)
Battery	6000 mAh LiPo 2S
Transmitter Power (EIRP)	- FCC: 20 dBm - CE: 16 dBm - MIC: 16 dBm
Operating Current/Voltage	1.2 A@7.4 V
Video Output Port	USB
Mobile Device Holder	Tablets and smart phones

Intelligent Flight Battery

Capacity	4480 mAh
Voltage	15.2 V
Battery Type	LiPo 4S
Energy	68 Wh
Net Weight	365 g
Charging Temperature Range	41° to 104°F (5° to 40°C)
Max Charging Power	100 W

Camera

Sensor	1/2.3" CMOS Effective pixels: 12.4 M (total pixels: 12.76 M)
Lens	FOV 94° 20 mm (35 mm format equivalent) f/2.8 focus at ∞
ISO Range	100-3200 (video) 100-1600 (photo)
Electronic Shutter Speed	8 - 1/8000 s
Image Size	4000×3000
Still Photography Modes	- Single Shot - Burst Shooting: 3/5/7 frames - Auto Exposure Bracketing (AEB): 3/5 bracketed frames at 0.7 EV Bias - Timelapse
Video Recording Modes	- UHD: 4096x2160p 24/25, 3840x2160p 24/25/30 - FHD: 1920x1080p 24/25/30/48/50/60 - HD: 1280x720p 24/25/30/48/50/60
Max Video Bitrate	60 Mbps
Supported File Systems	FAT32 (≤32 GB); exFAT (>32 GB)
Photo	JPEG, DNG (RAW)
Video	MP4, MOV (MPEG-4 AVC/H.264)
Supported SD Cards	Micro SD Max capacity: 64 GB Class 10 or UHS-1 rating required
Operating Temperature Range	32° to 104°F (0° to 40°C)

Vision System

Vision System	Downward Vision System
Velocity Range	≤8 m/s (2 m above ground)
Altitude Range	30 - 300 cm
Operating Range	50 - 300 cm
Operating Environment	Surface with clear pattern and adequate lighting (lux>15)

Charger

Voltage	17.4 V
Rated Power	100 W



المراجع (References)

- [1] J. M. Dunn, "Global Positioning system directorate systems engineering & integration Interface specification," Navstar, Washington, D.C, 2014.
- [2] T. GPS Product, "GLOBAL POSITIONING SYSTEM STANDARD POSITIONING SERVICE PERFORMANCE STANDARD," GPS NAVSTAR, Washington, DC, USA., 2008.
- [3] S. Zaidman, "GLOBAL POSITIONING SYSTEM WIDE AREA AUGMENTATION SYSTEM (WAAS) PERFORMANCE STANDARD," Department of transportation, Washington, DC, US, 2008.
- [4] T. Suzuki, A. Tomoharu , T. Makoto and O. Susumu , "Advanced Positioning Method for Smartphones—Support of A-GNSS (GPS+ GLONASS) and UE-A Positioning," NTT DOCOMO Technical journal, Tokyo, Japan, 2014.
- [5] B. Eissfeller, G. Ameres, V. Kropp and D. Sanroma, "Performance of GPS, GLONASS and Galileo," *Photogrammetric Week*, vol. 7, pp. 185-199, 2007.
- [6] B. Hofmann-Wellenhof, L. Herbert and W. Elmar , GNSS–global navigation satellite systems: GPS, GLONASS, Galileo, and more, Austria: Springer Science & Business Media, 2007.
- [7] J. Fischer, "Resiliency in PNT: GPS/GNSS Jamming and Spoofing," Vice President of Advanced Research & Development, Orolia, NY, USA, 2019.
- [8] R. Ferreira, G. João , S. Pedro and S. Nuno , "Effective GPS Jamming Techniques for UAVs using low-cost SDR platforms," *Wireless Personal Communications*, pp. 2705-2727, 2020.
- [9] L. Fang, H. W. Xin , . L. Z. Hong and Z. Ke, "Design of Portable Jammer for UAV Based on SDR," *In 2018 International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology (ICMMT) IEEE*, pp. 1-3, 2018.
- [10] E. Elezi, Ç. Göksel , B. Ali and Y. Serhan , "The effect of Electronic Jammers on GPS Signals," *International Multi-Conference on Systems, Signals & Devices (SSD) IEEE*, pp. 652-656, 2019.
- [11] E. Kaplan and H. Christopher, Understanding GPS: principles and applications, Artech house, 2005.

- [12] M. Wildemeersch and F.-G. Joaquim, "Radio frequency interference impact assessment on global navigation satellite systems," EC Joint Research Centre, Security Tech. Assessment Unit, Tech. Rep, Italy, 2010.
- [13] Federal Aviation Administration, "Volpe GPS vulnerability report recommendations & FAA Response," USA, 2002.
- [14] M. Abd Rabbou, "Multiple Ambiguity Datum Precise Point Positioning Technique Using Multi-Constellation GNSS: GPS, GLONASS, Galileo and BeiDou," *Positioning* , no. 03, p. 32, 2015.
- [15] A. Afifi and A. El-Rabbany, "Improved between-satellite single-difference precise point positioning model using triple GNSS constellations: GPS, Galileo, and BeiDou," *Positioning*, vol. 7, no. 2, pp. 63-74, 2016.
- [16] P. Zhang, T. Rui, Z. Rui, G. Yuping and C. Hongbin, "Combining GPS, BeiDou, and Galileo satellite systems for time and frequency transfer based on carrier phase observations," *Remote sensing*, vol. 10, no. 2, p. 324, 2018.
- [17] J. S. Subirana, J. J. Zornoza and M. Hernández-Pajares, GNSS DATA PROCESSING, esa, 2013.
- [18] S. e. Jin, Global navigation satellite systems: signal, theory and applications, Croatia: BoD–Books on Demand, 2012.
- [19] u-box, "GPS Essentials of Satellite Navigation," u-box, (Thalwil), Switzerland, 2009.
- [20] J.-M. Zogg, "GPS Basics: Introduction to the system Application overview," u-blox ag, Switzerland, 2002.
- [21] K. S. Raju, Y. Pratap, V. Patel, S. M. M. Naidu, A. Patwardhan and P. B. Prasad, "Gps signal generation for l1 frequency using model based design tools," *Proceedings of the Second International Conference on Computational Science, Engineering and Information Technology*, pp. 743-748, 2012.
- [22] P. Teunissen and e. Oliver Montenbruck, Springer handbook of global navigation satellite systems, Springer, 2017.
- [23] P. Misra and P. Enge, Global Positioning System- Signals, Measurements, and Performance, Ganga-Jamuna Press, 2006.
- [24] I. Revnivikh, "GLONASS programme update," in *11Th Meeting of the international committee on Global Navigation Satellite System*, Sochi, Russian Federation, 2016.

- [25] S. G. Revnivkykh, "GLONASS Status and Progress," in *47-th CGSIC Meeting*, Texas, 2007.
- [26] S. Revnivkykh, "GLONASS Status and Modernization," in *6th International Committee on GNSS*, 2011.
- [27] Russian institute of space devise engineering, "global navigation satellite system GLONASS interface control document," Russian institute of space devise engineering, Moscow, 2008.
- [28] G. Stupak, "GLONASS Status and development plane," in *5th Meeting of the international committee on GNSS*, Turin, Italy, 2010.
- [29] GARMIN, "GPS GUIDE for beginners," GARMIN, Olathe, Kansas, USA, 2000.
- [30] M. A. Bhagyaveni, R. Kalidoss and K. S. Vishvakshnan, Introduction to analog and digital communication, River Publishers, 2016.
- [31] S. M. Deshpande, "Study of interference effects on GPS signal acquisition," *University of Calgary, Department of Geomatics Engineering*, 2004.
- [32] ه. الندى ، ر. قسطنطين، "دراسة ومحاكاة رادارات الفتحة التركيبية" المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا، دمشق، سوريا، 2016.
- [33] M. M. Alam and Y. L. Moullec, "JAMMING OF SPREAD SPECTRUM COMMUNICATIONS USED IN UAV REMOTE CONTROL SYSTEMS," 2017.
- [34] K. Davidson and J. Bray, "Theory and Design of Blink Jamming," *Applied Sciences*, vol. 10, no. 6, p. 1914, 2020.
- [35] ع. م. طه، "الأنظمة الرادارية في مواجهة"، المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا، دمشق، سوريا، 2011.
- [36] Wikipedia, "Radar jamming and deception," Wikipedia, 2021.
- [37] O. Thingsrud, "DRFM-Modulator for HRR-Jamming," *NATO Artical*, no. RTO-MP-SET-080 P7 - 1 , 2004.
- [38] Q. Liu, J. Dong, X. Wang, S. Xing and B. Pang, "An efficient SAR jammer with direct radio frequency processing (DRFP)," *Progress In Electromagnetics Research*, vol. 137, pp. 293-309, 2013.
- [39] J. B.-Y. Tsui, Fundamentals of global positioning system receivers: a software approach, John Wiley & Sons, 2005.

- [40] M. K. Bek, E. M. S. and S. A. Elgamel, "Analysis of the global position system acquisition process in the presence of interference," *IET Radar, Sonar & Navigation*, vol. 10, no. 5, pp. 850-861, 2016.
- [41] D. Borio, "GNSS acquisition in the presence of continuous wave interference," *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 1, no. 46, pp. 47-60, 2010.
- [42] M. K. Bek, E. M. Shaheen and S. A. Elgamel, "Mathematical analyses of matched spectrum interference signal on post-correlation C/N0 for the GPS receivers," *9th International Conference on Computer Engineering & Systems (ICCES), IEEE*, pp. 119-124, 2014.
- [43] M. K. Bek, E. M. Shaheen and S. A. Elgamel, "Mathematical analyses of pulse interference signal on post-correlation carrier-to-noise ratio for the global positioning system receivers," *IET Radar, Sonar & Navigation*, vol. 9, no. 3, pp. 266-275, 2014.
- [44] Joseph, Angelo;, "gnss solutions measuring gnss signal strength," *insidegnss*, 2010.
- [45] M. K. Bek, S. Elgamel, E. Shaheen and K. A. El-Barbary., "Interference Effect on the Post-Correlation Carrier to Noise Ratio for GPS Receiver," *International Conference on Electrical Engineering*, vol. 9, pp. 1-15, 2014.
- [46] P. V. Brennan, *Phase-locked loops: principles and practice*, London: Macmillan International Higher Education, 1996.
- [47] Y. Nishi, R. Doering and eds, *Handbook of semiconductor manufacturing technology*, CRC press, 2000.
- [48] M. Bassi, "Analysis and Design of Radio Frequency Integrated Circuits for Breast Cancer Radar Imaging in CMOS Technology," Villach, Austria, 2013.
- [49] D. M. Pozar, *Microwave engineering*, John wiley & sons, 2011.
- [50] M. Dillinger, K. Madani and N. Alonistioti, *Software Defined Radio_ Architectures, Systems and Functions*, Wiley, 2003.
- [51] G. Staple and K. Werbach, "The end of spectrum scarcity [spectrum allocation and utilization]," *IEEE spectrum*, vol. 41, no. 3, pp. 48-52, 2004.
- [52] A. zouhair Ballouk, F. Mofdi and S. Ibrahim, "Design narrow-band frequency amplifier (1.5 GHz-1.6 GHz) based on InGaP Heterojunction Bipolar Transistor (HBT) and GaAs HBT," *Journal of Engineering*, vol. 27, no. 2, pp. 13-26, 2021.

- [53] S. Esterhuizen and A. Dennis, "The design, construction, and testing of a modular GPS bistatic radar software receiver for small platforms," In Proc. ESA/ESTEC GNSSR: Workshop GNSS Reflections, 2006.



Electrical, Electronics and communications, and Computer Engineering

Design narrow-band frequency amplifier (1.5GHz -1.6GHz) based on InGaP Heterojunction Bipolar Transistor (HBT) and GaAs HBT transistor

Abdo Ballouk*

Dept of Electronics and Communication Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering Damascus University Syria

e.abdo1@live.com

Fawaz Mofdi

Dept of Electronics and Communication Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering Damascus University Syria

fawwazm@gmail.com

Salem Ibrahim

Dept of Communication Engineering, Higher Institute for Applied Sciences and Technology, Damascus, Syria

salemibrahim@mail.ru

ABSTRACT

The research aims to design a narrow-band frequency drive amplifier (1.5GHz -1.6GHz), which is used to boost the transmitter amplifier's input signal or amplify the GPS, GIONASS signals at the L1 band.

The Power Amplifier printed circuit board (PCB) prototype was designed using InGaP HBT homogeneous technology transistor and GaAs Heterojunction Bipolar Transistor (HBT) transistor. Two models have been compared; one of the models gave 16dB gain, and the other gave 23dB when using an input power signal (-15dBm). The PCB consumes 2.4W of power and has a physical dimension of 11 x 4 cm.

Keywords: Radio Amplifiers, PA, RF Drive Amplifiers, LNA, Low Noise Amplifier.

*Corresponding author

Peer review under the responsibility of University of Baghdad.

<https://doi.org/10.31026/j.eng.2021.02.02>

2520-3339 © 2019 University of Baghdad. Production and hosting by Journal of Engineering.

This is an open access article under the CC BY4 license <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

Article received: 22/7/2020

Article accepted: 2/10/2020

Article published:1/2/2021

Abstract

GPS & GLONASS signals are spread spectrum signals (CDMA multiple access signals), which are resistant to radio frequency interference, but GPS receivers are vulnerable to interference effects due to the low power of the received signal. This interference has a significant impact on the tracking of satellite signals of position-diffraction systems by a GNSS receiver. This interference can lead to a deterioration in the performance of the receiver and to a complete ban on the acquisition or tracking of the satellite signal, and thus to the failure of the receivers to fulfill their function. Therefore, interference is one of the main concerns in the use of GPS systems for civil and military applications. Any signals transmitted at the corresponding frequency or near the frequency fields of the GNSS (Global Navigation Satellite System) will interfere with the received signal.

The different types of interference are: unintentional interference caused by other systems that use the same frequency fields, and intentional interference, also known as jamming. There are two types of jamming: Repetitive jamming, which depends on sending fake signals that are identical to the original signal, but with wrong information or without useful information, and the other type of jamming is noisy jamming, which relies on sending signals with the same frequencies to lead to a deterioration of the received signal.

Noise interference has several techniques, some of which we mention:

- Barrage jamming.
- Sweep Jamming.
- Successive pulses jamming.
- Tone (Spot) jamming.
- Frequency hopping jamming.

In this research, we will study the effectiveness of three jamming techniques (Sweep, Spot, Frequency hopping jamming), in addition to two hybrid technologies (Sweep with frequency hopping jamming) and (Spot with sweep frequency Jamming).

The study was conducted first with a study of the GNSS navigation systems, the study of the components of these systems, the analysis of their signals, the study of autocorrelation and the spectral density of the GPS coding code, in addition to studying the types of interference and its techniques, and then the partial systems of a jamming system proposed to be designed and manufacture based (software defined radio) SDR card to generate noise signals. And program the drivers to generate the jamming signals. The effectiveness of the jamming techniques was tested in nine different cases by conducting nine experiments and laboratory measurements, in addition to twenty-seven field experiments. The effectiveness of these technologies has been studied by jamming the GPS receivers in Drone mini aircraft (DJI MAVIC Pro & DJI PHANTOM 3 Pro) and receivers that found in modern mobile phones. These experiments were conducted while observing the same experimental conditions in terms of the transmission power of

the jamming signals which were (-10 dBm) (0.1mW) and the kind and position of the transmitting antenna. In addition to these experiments and practical measurements, a mathematical analysis of the GNSS receiver output signal was carried out in the normal state without an external influence, and in the case of the presence of Spot jamming and Sweep jamming signals, and thus the mathematical relationships expressing the power of the receiver output, carrier to noise ratio and finding the parameters that affect at this ratio. The results of the experiments showed that the most effective jamming technology is when we use Spot with Sweep jamming to influence GPS and Sweep jamming to influence GLONASS, as the jamming distance on the two systems reached 65m on receivers in Drone aircraft and 50m on handheld receivers. The least effective technique of jamming was Spot with Frequency Hopping Jamming.

The results of the tests were also compared with the inferred mathematical relationships. This comparison showed that although mathematical relationships can predict the effect of changing some coefficients of interference signals on the output of the receiver, they are not specific enough to predict actual receiver performance. The comparison also showed that despite the usefulness of the mathematical results, they cannot explain all the field measurements, and this relates to the fact that the exact characteristics of radio frequency interference encountered in the field measurements are not generally known, (because this is related to the properties of the surrounding medium that affects the propagation of electromagnetic waves ...).

Damascus University
Faculty of Mechanical & Electrical Engineering
Electronics And Communication Engineering
Department



Estimation of the effectiveness of GPS&GLONASS jamming technologies

**Graduation Project prepared to obtain
Master of Science in Advanced Telecommunications Engineering degree**

By

Eng. Abdo Ballouk

Supervised by

Dr. Fawaz Mofdi

Assistant Supervisor

Dr. Salem Ibrahim

Academic Year
2020-2021