

## تطوير مرشح قابل لإعادة التشكيل في تطبيقات تقنية الراديو الإدراكي

د.م.فواز مفضي<sup>1</sup> د.م.عبد الكريم السالم<sup>2</sup> م.إيمان محمد الجزائري<sup>3</sup>

### \*ملخص\*

يقدم هذا البحث طريقة تحليلية لتصميم مرشح تمرير حزمة عديم الإنعكاس بتردد مركزي وعرض مجال قابلين للتشكيل. تم تقديم نموذج تمرير منخفض أولي للمرشح ومن ثم إجراء تحويله إلى مرشح تمرير حزمة برنانات تفرعية وعواكس سماحيات. تُعطى جميع محددات التصميم بعلاقات مباشرة بدلالة التردد المركزي للمرشح وعرض الحزمة النسبي وممانعة مدخل الدارة وقيم العناصر المُوَسَّطة لمرشح التمرير المنخفض الأولي بحيث يمكن تصميم المرشح بطريقة تحليلية ودون اللجوء للطرق التجريبية.

يهدف البحث لتصميم مرشح قابل لإعادة التشكيل يمكن استخدامه في تطبيقات تقنية الراديو الإدراكي بالاعتماد على تقانة الخطوط الشرائحية الميكروية والحصول على أفضل أداء بتكلفة أقل.

لإثبات صحة الطريقة المقدمة تم تركيب وتصميم مرشح تمرير حزمة عديم الإنعكاس(ماص) من المرتبة الرابعة بتردد مركزي قابل للتشكيل GHz (2.9-3.4) وعرض حزمة نسبي قابل للتوليف أيضاً % (6-10) و أكد التوافق الجيد بين النتائج النظرية ونتائج محاكاة الدارة الميكروية والمحاكاة الكهرومغناطيسية صحة المنهجية والإستنتاجات المقدمة خلال البحث.

**الكلمات المفتاحية** – مرشح عديم الإنعكاس(ماص)، مرشح ببنية الخطوط الشرائحية الميكروية، مرشح قابل للتوليف، الراديو الإدراكي.

1: دكتور في قسم هندسة الالكترن والاتصالات, كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية , جامعة دمشق , سوريا.

2: دكتور في قسم هندسة الالكترن والاتصالات , كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية, جامعة البعث, سوريا.

3: طالبة ماجستير في قسم هندسة الالكترون والاتصالات , كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية, جامعة دمشق , سوريا.

## Development of Reconfigurable Filter for Cognitive Radio Applications

### \*Abstract\*

This research presents an analytical method for designing a tunable center-frequency and band-width irreversible band-pass filter. A prototype of low-pass filter is introduced and then its transformed into a parallel band-pass filter using parallel resonators and conductance inverters. All design parameters are given in direct relations depending on the central frequency of the filter, relative band-width, circuit input's resistance and averaging values of the prototype low-pass filter so that the filter can be designed analytically without resorting to the experimental methods.

This research aims to design a tunable filter that can be used in cognitive radio technology applications depending on the microstrip line technology and obtain the best performance at a lower cost.

To prove the validity of the presented method, a fourth-order absorptive band-pass filter was installed and designed with a tunable central frequency(2.9-3.4) GHz and also a tunable relative band-width of( 6-10)%. The matching between theoretical results and the results of microcircuit simulation and electromagnetic simulation confirmed the validity of the methodology and conclusions which is provided in this research.

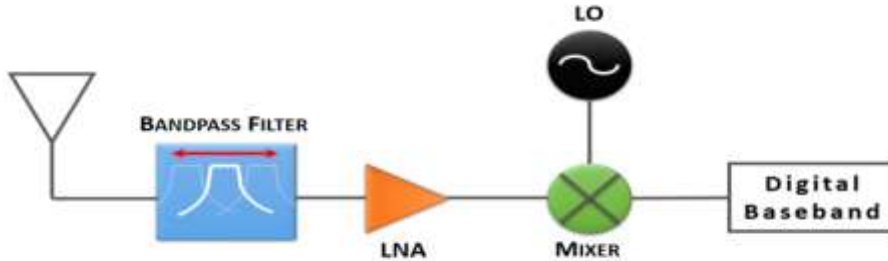
**Keywords** – absorptive filter, microslide structure filter, tuneable filter, cognitive radio(CR).

## 1- مقدمة

تزايدت في العقدین الأخيرین بشكل كبير متطلبات مستخدمي شبكات الاتصالات اللاسلكية فقد صار المستخدم يتوقع إمكانية الولوج إلى أنواع مختلفة من الأنظمة و استخدام كثير من التطبيقات التي تتطلب نقل بيانات بحجم مختلفة من الرسائل النصية إلى الفيديو عالي الجودة. انعكست هذه المتطلبات على الحاجة المتزايدة لشبكات الاتصالات إلى الموارد الترددية وبالتالي على الحاجة إلى زيادة الفعالية الطيفية من جهة، وإلى تصميم أجهزة إتصال متوافقة مع أنظمة الإتصال اللاسلكية المختلفة، الخلوية منها (GSM, 3G, LTE, ..) والمحلية ( WLAN, Bluetooth...) من جهة أخرى.

النظم الراديوية الإدراكية (CR) كانت احدى التصورات التي وُضعت لبناء نظم راديوية تُحقق متطلبات المرونة والكفاءة الطيفية ، تقوم فكرة هذا التصور على تشكيل نظم قادرة على انتقاء مجال عملها ضمن المجالات الترددية الأقل استخداماً لتحقيق استثمار أمثلي للطيف. تعتمد النظم الراديوية الإدراكية في بنائها على تشكيل واجهة أمامية لنظم إرسال/استقبال قابلة للتوليف لتعمل عند ترددات مختلفة و بعرض حزمة ترددية متغيرة. إمكانية التوليف لأجزاء الواجهة الأمامية يُفترض أن تتم بطريقة تُمكن من إعادة تشكيل هذه المكونات دون اللجوء إلى تعددية الأجزاء، ومن أهم هذه المكونات المرشحات المبروثة.

يبين الشكل(1) مرشح تمرير حزمة القابل لإعادة التشكيل ضمن الواجهة الراديوية لنظام الراديو الإدراكي.



الشكل (1) مرشح تمرير حزمة قابل لإعادة التشكيل.

## 2- أهمية البحث وأهدافه

يهدف البحث لتصميم مرشح قابل لإعادة تشكيل وذلك بتوليف تردد العمل وعرض الحزمة ليعمل بما يتوافق مع أحد المجالات الترددية المعتمدة في نظم الراديو الإدراكي بالاعتماد على تقانة الخطوط الشرائحية الميكروية وعناصر توليف (كالمكثفات متغيرة السعة).

يعتبر تصميم مرشحات قابلة لإعادة التشكيل مهماً لعدة أسباب منها:

تصغير الحجم مقارنةً باستخدام بنك مرشحات.

تخفيف الوزن والكلفة في تصميم الواجهة الأمامية للمستقبل الراديوي.

تحقيق متطلبات نظم الاتصالات الحديثة .

## 3- مواد وأجهزة البحث





من خلال الاعتماد على المراجع العلمية الحديثة والمتخصصة ضمن المرشحات القابلة لإعادة التشكيل تم وضع نقطة البداية في هذا البحث وبالإطلاع على آخر ما توصل إليه الباحثون ضمن هذا المجال تم تحديد مشكلة البحث ووضع فرضياته والبدء من آخر ما توصلت إليه الدراسات ضمن هذا المجال.

تم مناقشة الفرضيات وإجراء المحاكاة والتصميم باستخدام الحاسب وذلك بالاعتماد على برمجيات محاكاة الدارات الميكروية و المحاكاة الكهروضوئية الموثوقة (Ansys, ADS, AWR, MATLAB).

تم إثبات الفرضيات بناءً على نتائج المحاكاة ، واعتبارها جزءاً من أدوات تحسين المرشحات القابلة لإعادة التشكيل .

بيّن الجدول (1) برمجيات المحاكاة التي تم استخدامها لتصميم ومحاكاة المرشح في هذا البحث.

الجدول (1) برمجيات المحاكاة المستخدمة.

Software	Logo	Version
Ansys		ANSYS Electromagnetics Suite Release 2020 R2
ADS		Keysight Advanced Design System (ADS) 2021
AWR		NI AWR Design Environment 14.04r
MATLAB		MATLAB R2021A

#### 4- الإجراء التجريبي ونتائج المحاكاة

4-1 تركيب مرشح تمرير حزمة قابل لإعادة التشكيل بتردد مركزي  $f_0$  (1.5)GHz وعرض مجال نسبي % (5-10)

إن الغاية من تركيب هذا المرشح هو مقارنة أداء المرشح المقترح في هذا البحث مع المرشح

المركب في المرجع [2] حيث تم تركيب وتصميم مرشح ضمن هذه المجالات  $f_0 =$

GHz [1.35 → 1.65] و  $\Delta = [5\% \rightarrow 10\%]$ . سنقارن أداء المرشحين فقط

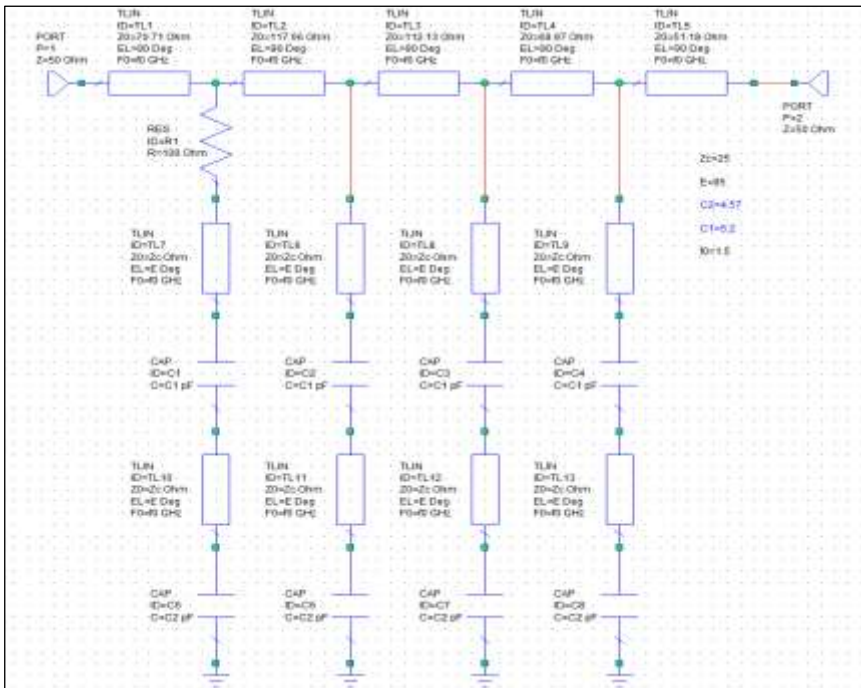
عند التردد المركزي  $f_0 = 1.5$  GHz.

يعطي المرجع [2] قيم عناصر دائرة المرشح المركب وفق الجدول(2):

الجدول(2) قيم عناصر دائرة مرشح تمرير الحزمة عديم الإنعكاس والقابل لإعادة التشكيل المركب في المرجع [2].

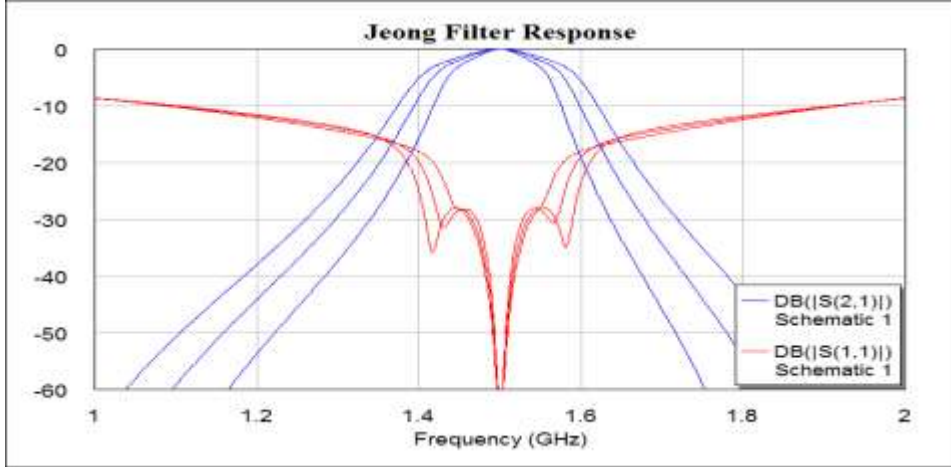
Frequency [GHz]	1.35			1.5			1.65		
Fractional Bandwidth (%)	5	7	10	5	7	10	5	7	10
B	0.223	0.159	0.111	0.223	0.159	0.111	0.223	0.159	0.111
C <sub>1</sub> [Pf]	3.87	5.78	8.72	3.49	5.2	7.85	3.18	4.73	7.12
C <sub>2</sub> [Pf]	7.42	5.07	3.57	6.66	4.57	3.21	6.04	4.15	2.91
Circuit Specification:	$Z_C = 25 [\Omega]$			$\Theta_C = 85^\circ$			$R = 100 [\Omega]$		
	$Z_1$	$Z_2$	$Z_3$	$Z_4$	$Z_5$	$Z_6$	$Z_7$	$Z_8$	$Z_9$
	70.71	117.66	112.13	68.97	51.18	-	-	-	-

قمنا بإنشاء هذا المرشح ضمن بيئة AWR Microwave Office ويبيّن الشكل (2) مخطط الدارة لهذا المرشح.



الشكل (2) مخطط دائرة المرشح المركب في المرجع [2].

وبالمحاكاة من أجل قيم السعات عند التردد 1.5GHz حصلنا على الاستجابات المبينة في الشكل(3) من أجل توليف عرض الحزمة % (5-10)



الشكل (3) استجابة المرشح في المرجع [2] كما تم محاكاتها ضمن بيئة AWR Microwave Office

قمنا بتصميم مرشح بنفس المواصفات ضمن طريقة التركيب المستنتجة في هذا البحث وذلك باستخدام تطبيق الماتلاب الذي تمت برمجته في إطار هذا العمل والذي اعطى القيم المدرجة في الجدول (3):

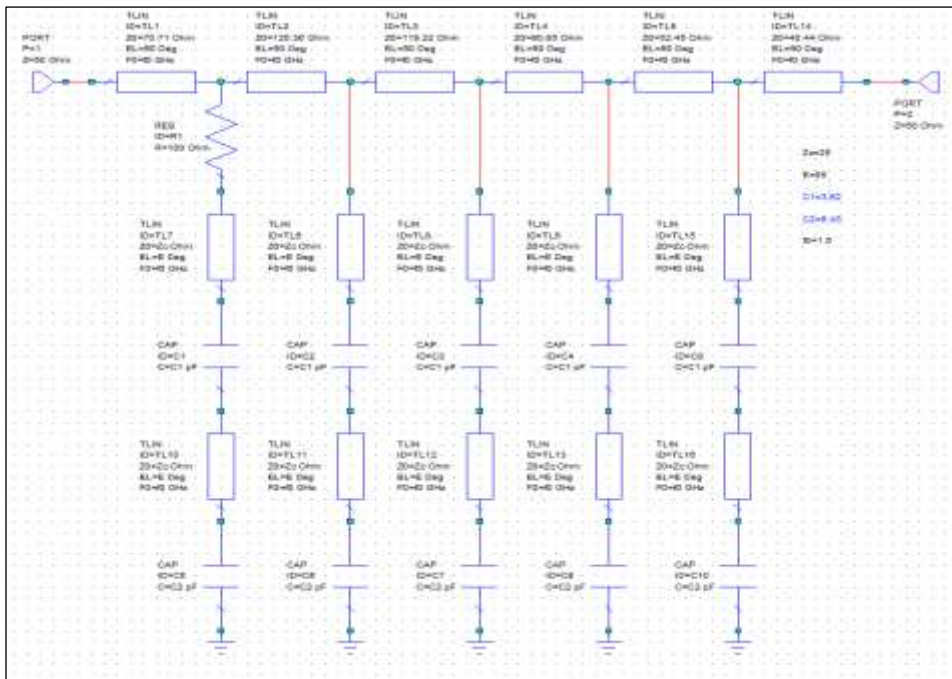
جدول (3) قيم عناصر دائرة مرشح تمرير الحزمة عديم الإنعكاس والقابل للتوليف المركب حسب الطريقة المستنتجة ضمن بحثنا

Frequency [GHz]	1.35			1.5			1.65		
	5	7	10	5	7	10	5	7	10
Fractional Bandwidth (%)	5	7	10	5	7	10	5	7	10
C <sub>1</sub> [Pf]	2.82	4.02	6.79	2.54	3.62	6.11	2.3	3.3	5.5



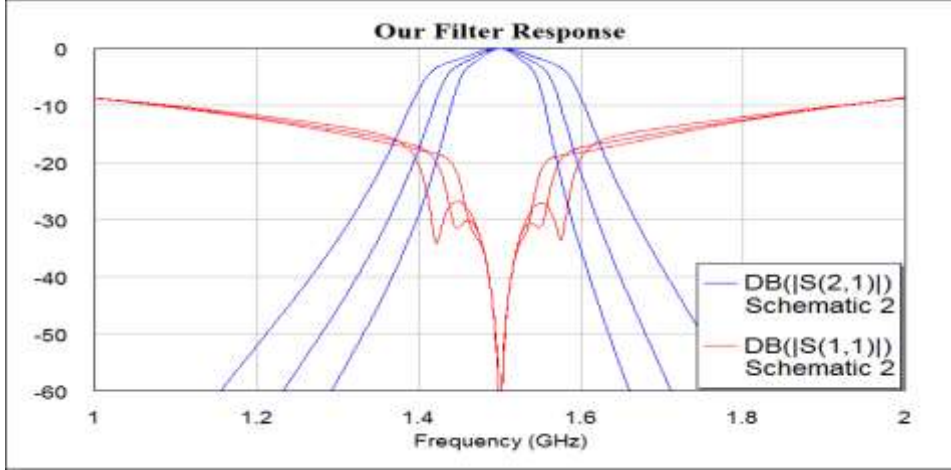
							1		4
$C_2$ [Pf]	10.2 8	7.14	4.4	9.25	6.43	3.96	8.4 1	5.8 4	3.6 1
Circuit Specificatio n:	$Z_C = 25 [\Omega]$			$\theta_C = 85^\circ$			$R = 100 [\Omega]$		
	$Z_1$	$Z_2$	$Z_3$	$Z_4$	$Z_5$	$Z_6$	$Z_7$	$Z_8$	$Z_9$
	70.7 1	120.3 6	119.2 2	90.8 5	52.4 5	40.4 4	-	-	-

قمنا بإنشاء هذا المرشح ضمن بيئة AWR Microwave Office وبيّن الشكل (4) مخطط الدارة لهذا المرشح.



الشكل (4) مخطط دائرة المرشح

بالمحاكاة من أجل قيم السعات عند التردد 1.5GHz حصلنا على الاستجابات الموضحة في الشكل (5) من أجل توليف عرض الحزمة % (5-10).



الشكل (5) استجابة المرشح المصمم بحسب طريقة التركيب المستنتجة في هذا البحث.

يتضح من مقارنة الاستجابتين في الشكلين (3) و(5) تحسين أداء المرشح من حيث حدة القطع الذي تم تقديمه خلال هذا العمل. كما يوضح الشكل (7) هاتين الاستجابتين على نفس الشكل من أجل عرض حزمة نسبي 7% وعند التردد المركزي 1.5 GHz.

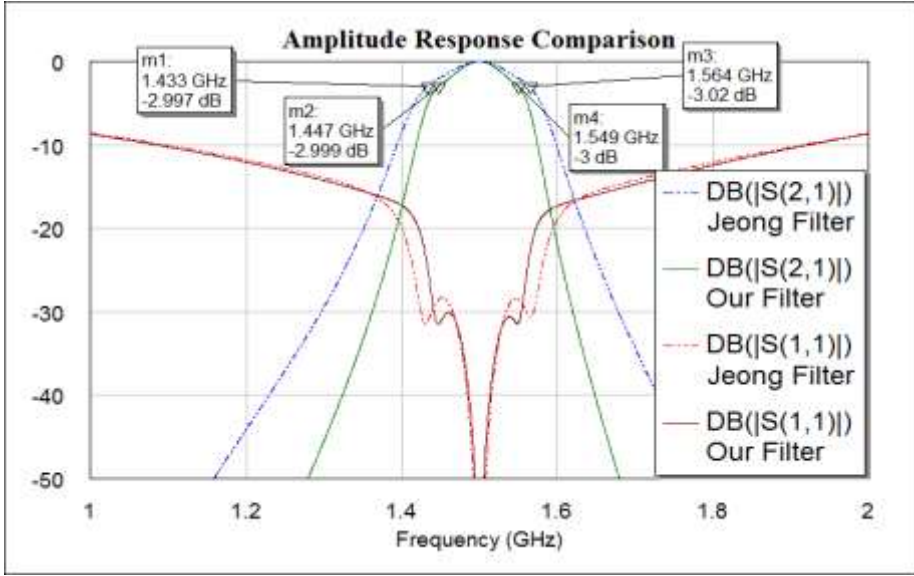
يتبين من الشكل (6) أن المرشح الذي تم تقديمه خلال هذا البحث يعطي حدة أقطع أفضل كما يتضح أيضاً أن معادلات وعلاقات التركيب المستنتجة ضمن هذا البحث تعطي نتائج أدق وذلك بالنظر الى ترددات القطع 3dB لكلا المرشحين. فترددات القطع للمرشح المركب في المرجع [2] هي  $f_1 = 1.433$  GHz و  $f_2 = 1.564$  GHz ومنه نجد

$$\Delta = 2 \frac{f_2 - f_1}{f_2 + f_1} = 0.087 = 8.7\%$$

وهي أكبر بـ 1.7% من عرض الحزمة الذي تم التركيب على أساسه وهو 7%. أما بالنسبة للمرشح الذي تم تركيبه وفق علاقات التركيب المستنتجة خلال هذا البحث فإن ترددات القطع هي  $f_1 = 1.447$  GHz و  $f_2 = 1.549$  GHz ومنه نجد

$$\Delta = 2 \frac{f_2 - f_1}{f_2 + f_1} = 0.068 = 6.8\%$$

وهي أصغر بـ 0.2% من عرض الحزمة الذي تم التركيب على أساسه وهو 7% وبالتالي تعطي طريقة التركيب المستنتجة ضمن هذا العمل نتائج أدق. تعود الدقة الأفضل في الحصول على عرض المجال المرغوب إلى العلاقة المستنتجة لعامل ميل النفاذية خلال هذا البحث والتي أخذت بعين الاعتبار مشتق  $\tan \theta$  خلال الاستنتاج.



الشكل(6)مقارنة استجابتي المرشح المركب في المرجع [2] والمرشح المصمم بحسب طريقة التركيب المستنتجة في هذا البحث.

4-2 تركيب وتصميم مرشح تمرير مجال قابل للتوليف للاستخدام في تطبيقات الراديو الإدراكي

## لمحة عن أنظمة الراديو الإدراكي

تقوم أنظمة الراديو الإدراكي بتحسس ومراقبة الطيف الترددي المستخدم وظروف الإنتشار والتداخل في البيئة المحيطة وعلى أساسه تقوم بتوليف ديناميكي لموسطات النظام بما يتلاءم مع هذه الظروف.

يستخدم الراديو الإدراكي العديد من تقنيات تحسس الطيف:

- كشف الطاقة (Energy detection)
- تحديد شكل الموجة (Waveform identification)
- التحسس باعتماد المرشح المتوافق (Matched-filter based sensing)
- التحسس باعتماد أخذ العينات (sub-sampling based techniques)

تندرج دراسة هذه التقنيات تحت علم معالجة الإشارة وهي ليست موضوع بحثنا. ولكن تتطلب جميع هذه التقنيات مرشحاً قابلاً للتوليف ضمن الواجهة الراديوية لنظام تحسس الطيف وهو موضوع دراستنا

## المرشح المناسب لتطبيقات الراديو الإدراكي

يعد المرشح ضيق الحزمة القابل لإعادة التشكيل الخيار الأنسب في تطبيقات الراديو الإدراكي وذلك لعدة أسباب وردت في المرجع [10] منها:

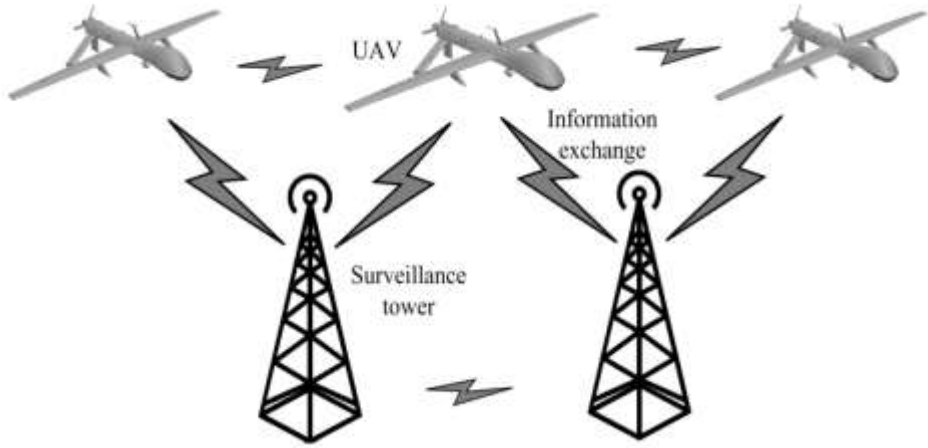
- محدودية الهوائيات عريضة الحزمة في تحسس الطيف المحيط حيث تعاني من تغير في نسبة الإشارة للضجيج كما أنها تتطلب مبدلات من تماثلي لرقمي (ADC) عالية السرعة وهي مبدلات تستهلك طاقة عالية وتعاني من خطأ تكمية (quantization error) كبير.

- تصميم واجهة أمامية راديوية عريضة الحزمة يعاني من محدودية في الأداء بسبب القيود المفروضة على تصميم الكثير من المكونات كالمكبر والمهتز والمزج (mixer) ومركب التردد (Frequency synthesizer) عند العمل بمجال ترددي عريض.
- يوفر المرشح القابل لإعادة التشكيل ضيق الحزمة مرونة ودقة أعلى في تحسس الطيف الترددي المحيط ويكبح التداخل غير المرغوب بشكل أفضل كما انه أسهل من حيث التنفيذ.

### 3-4 تركيب مرشح تمرير حزمة قابل لإعادة التشكيل بتردد مركزي $f_0$ (2.9-3.4) GHz وعرض مجال نسبي % (6-10)

تم اختيار المجال الترددي (2.9-3.4)GHz وهو كأحد المجالات التي تعمل عندها أنظمة شبكات الطائرات بدون طيار UAS Unmanned Aerial System. وهو نظام مكون من شبكة من الطائرات بدون طيار UAS والتي تتصل فيما بينها وتتصل أيضاً بمجموعة محطات أرضية لتشكل شبكة ad-hoc يمكن استخدامها لعدد من التطبيقات وردت في المرجع [3] مثل :

- مراقبة حركة المرور (Traffic Surveillance)
  - الاستشعار عن بعد (Remote Sensing)
  - ادارة الكوارث (Disaster Management)
  - تقدير حالة الرياح (Wind Estimation)
- وغيرها الكثير من التطبيقات.



الشكل (7) شبكات الطائرات بدون طيار (UAS)

تستخدم أنظمة UAS مفهوم الراديو الإدراكي لأنها تعمل بنطاقات ترددية غير مرخصة تتشارك فيها مجموعة من الأنظمة اللاسلكية وبالتالي لا بد من استخدام مفهوم الراديو الإدراكي لتحسس الطيف وتأمين وصول ديناميكي للطيف المتاح.

تم استخدام تطبيق الماتلاب الذي تم برمجته خلال هذا العمل لتكريب المرشح والذي أعطى قيم عناصر دائرة المرشح المدرجة في الجدول (4):

جدول (4) قيم عناصر دائرة مرشح تمرير الحزمة عديم الإنعكاس والقابل للتوليف بتردد مركزي  $f_0$  (2.9-3.4)GHz وعرض حزمة نسبي % (6-10) .

Frequency [GHz]	2.9			3.15			3.4		
	6	8	10	6	8	10	6	8	10
Fractional Bandwidth (%)	6	8	10	6	8	10	6	8	10
$C_1$ [Pf]	1.08	1.37	1.7	0.93	1.22	1.57	0.78	1.07	1.41
$C_2$ [Pf]	3.74	2.75	2.07	3.21	2.44	1.9	2.7	2.14	1.72
Circuit Specification:	$Z_C = 30 [\Omega]$			$\theta_C = 89^\circ$			$R = 90 [\Omega]$		
	$Z_1$	$Z_2$	$Z_3$	$Z_4$	$Z_5$	$Z_6$	$Z_7$	$Z_8$	$Z_9$

	67.08	108.32	107.3	81.76	47.21	38.36	-	-	-
--	-------	--------	-------	-------	-------	-------	---	---	---

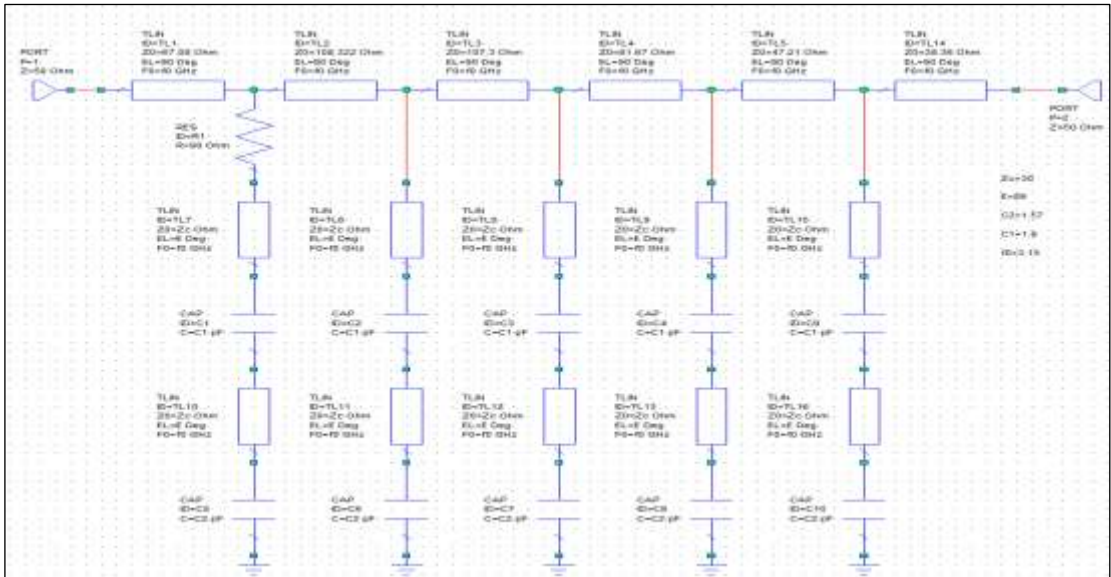
تم تصميم ومحاكاة المرشح ضمن بيئة AWR Microwave Office ويبين الشكل (8) مخطط الدارة لهذا المرشح.

الشكل (8) مخطط دارة مرشح تمرير الحزمة القابل لإعادة التشكيل بتردد مركزي  $f_0(2.9-3.4)$  GHz وعرض حزمة نسبي % (6-10).

#### 4-4 تصميم مرشح تمرير حزمة قابل لإعادة التشكيل بتردد مركزي $f_0(2.9-3.4)$ GHz وعرض حزمة نسبي % (6-10)

بعد عملية التركيب وحساب عناصر دارة المرشح تتم عملية التصميم وهي تتمثل بحساب الأبعاد الفيزيائية لدارة المرشح بحسب البنية المستخدمة .

استخدمنا حاسبة خطوط النقل (Transmission lines calculator) المضمنة في بيئة Ansys



لحساب الأبعاد الفيزيائية لبنية المرشح وذلك من أجل ركيزة ROGERS RO3003 بثابت عازلية نسبي  $\epsilon_r = 3$  و ارتفاعها  $h = 0.75$  [mm]. تم توليف هذه الأبعاد الابتدائية بعد

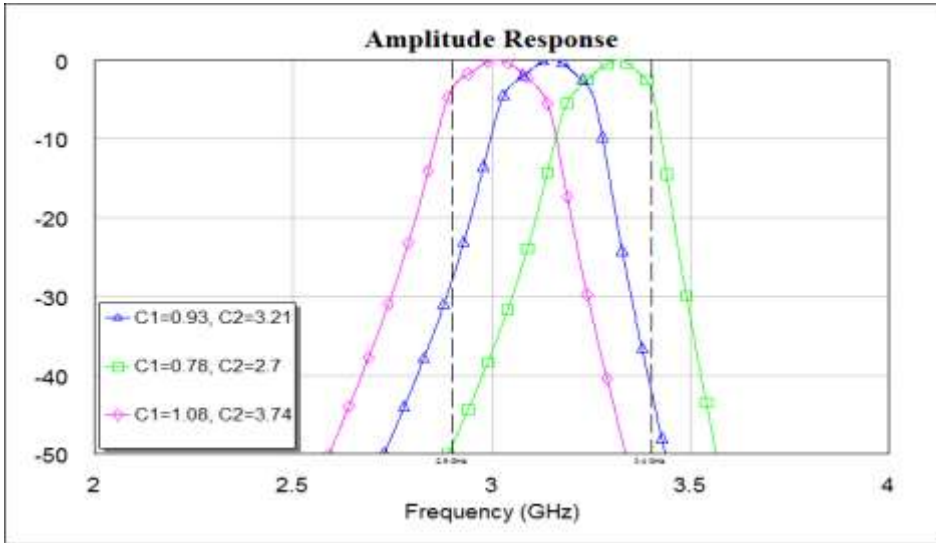
إجراء المحاكاة ويعطي الجدول (5) الأبعاد النهائية للمرشح المصمم ويوضح الشكل (9) رسم تخطيطي لهذه الأبعاد.

الشكل (9) رسم تخطيطي (Layout) يوضح الأبعاد الفيزيائية للمرشح المصمم.

جدول (5) الأبعاد التصميمية للمرشح المصمم .

الأبعاد التصميمية للمرشح [mm]							
$W_1$	1.86		$W_4$	0.39		$W_7$	2.76
$L_1$	7		$L_4$	15.9		$L_7$	14.9
$W_2$	1.13		$W_5$	0.76		$W_8$	3.78
$L_2$	15.48		$L_5$	15.6		$L_8$	14.1
$W_3$	0.38		$W_6$	2.03			
$L_3$	15.9		$L_6$	15.1			

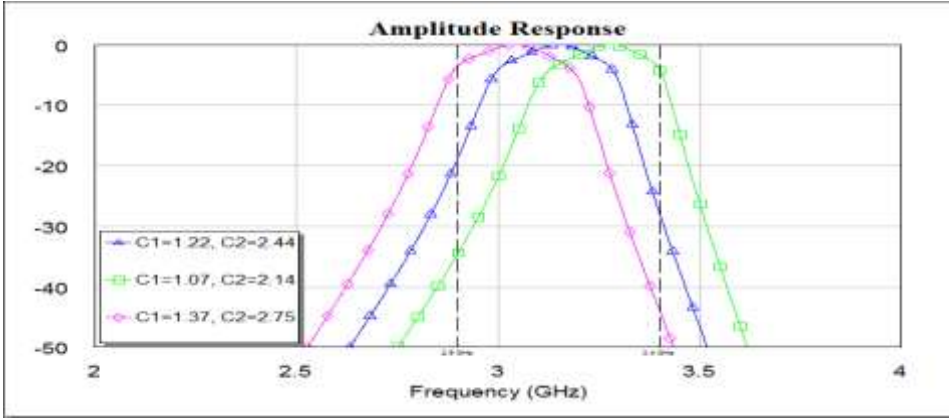
تمت محاكاة المرشح من أجل عرض حزمة 6% وتوليف التردد المركزي من 2.9 GHz الى 3.4 GHz وبيّن الشكل (10) الاستجابة الناتجة.



الشكل (10) استجابة المرشح المركب عند عرض حزمة 6% وتوليف التردد المركزي من 2.9 GHz الى 3.4 GHz

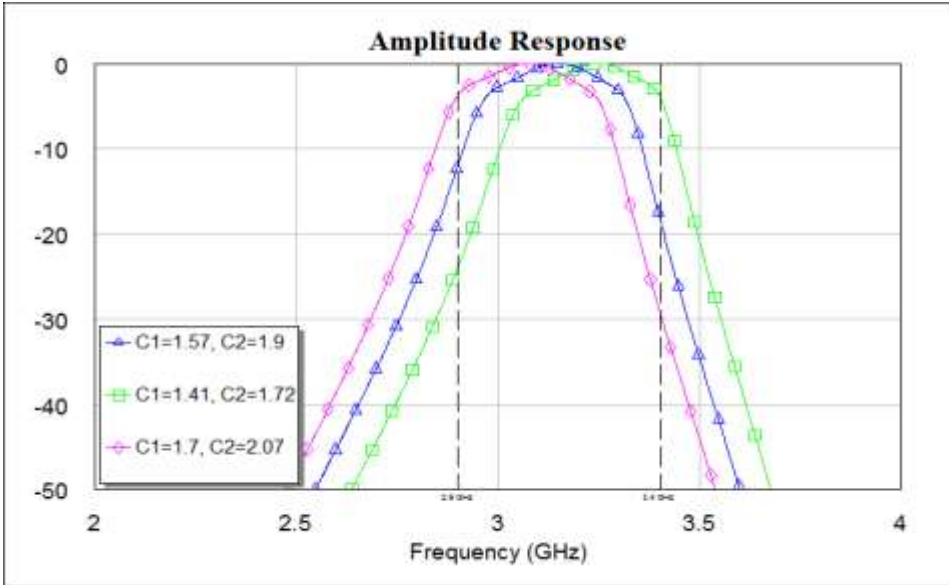


تمت محاكاة المرشح من أجل عرض حزمة 8% وتوليف التردد المركزي من 2.9 GHz الى 3.4 GHz وبيّن الشكل (11) الاستجابة الناتجة.



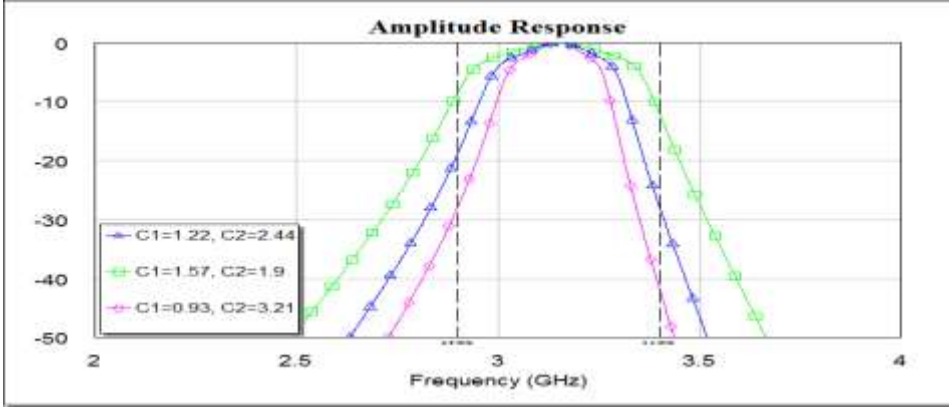
الشكل (11) استجابة المرشح المركب عند عرض حزمة 8% وتوليف التردد المركزي من 2.9 GHz الى 3.4 GHz.

تمت محاكاة المرشح من أجل عرض حزمة 10% وتوليف التردد المركزي من 2.9 GHz الى 3.4 GHz وبيّن الشكل (12) الاستجابة الترددية الناتجة.



الشكل (12) استجابة المرشح المركب عند عرض حزمة 10% وتوليف التردد المركزي من 2.9 GHz الى 3.4 GHz.

تمت محاكاة المرشح من أجل تردد مركزي 3.15 GHz وتوليف عرض الحزمة من 6% الى 10% ويبيّن الشكل (13) الاستجابة الناتجة.



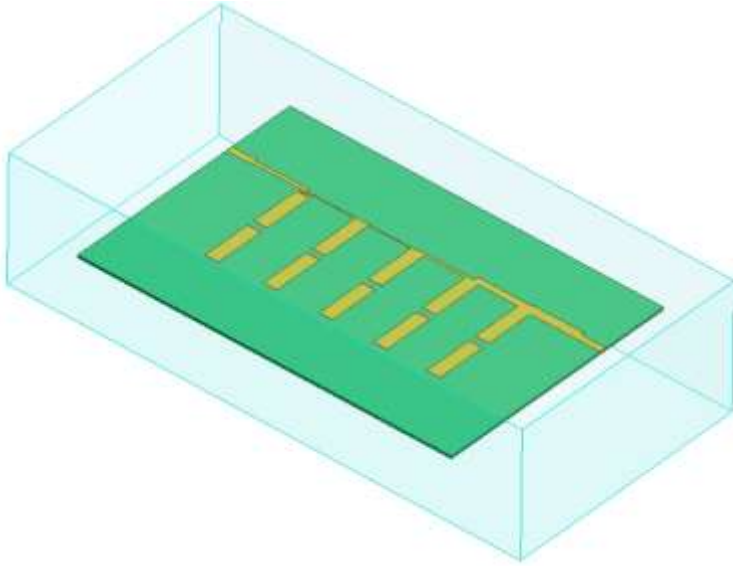
الشكل (13) استجابة المرشح المركب عند تردد مركزي 3.15 GHz وتوليف عرض الحزمة من 6% الى 10%.

تؤكد الاستجابات الموضحة في الأشكال السابقة دقة وصلاحيّة طريقة تركيب المرشح وكذلك طريقة حساب ساعات مقطع التوليف المستتجة ضمن هذا البحث.

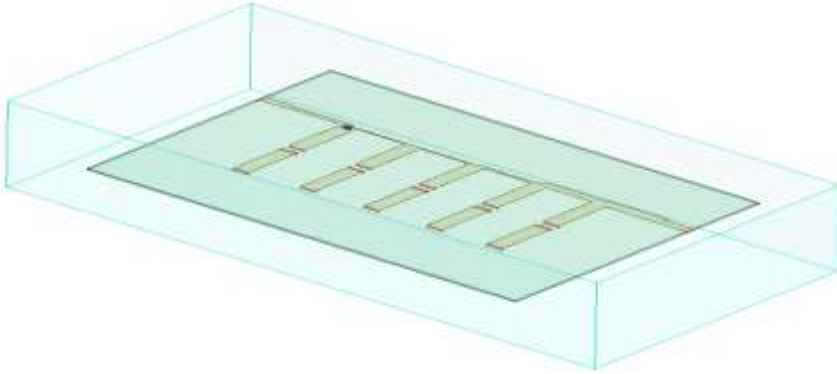
تم رسم المرشح ضمن قالب برمجية المحاكاة عالية التردد HFSS ضمن بيئة Ansys Electronic Desktop يوضّح الشكل (14) بنية المرشح المرسوم. لنمذجة المقاومة تم تعريف سطح عناصر مجموعة RLC Boundary مكان وضع المقاومة وفيه تم تحديد قيمتها  $R=90 \Omega$ . ولنمذجة طبقة الأرضي تم تعريف سطح ناقل مثالي PEC Boundary أسفل الركيزة.

تم أخذ سماكة النحاس  $t=0.017\text{mm}$  بعين الإعتبار عند تصميم النموذج.

لمحاكاة عناصر التوليف تم ترك مكانها فارغاً وتعريف منافذ Ports مكان وصل هذه العناصر الشكل (15) ومن ثم إجراء محاكاة كهرومغناطيسية EM Simulation. قمنا بعدها بتصدير النموذج الى قالب محاكاة الدارات الميكروية ضمن نفس بيئة Ansys Electronic Desktop ووصل عناصر التوليف مكان المنافذ المعرفة في نموذج HFSS.



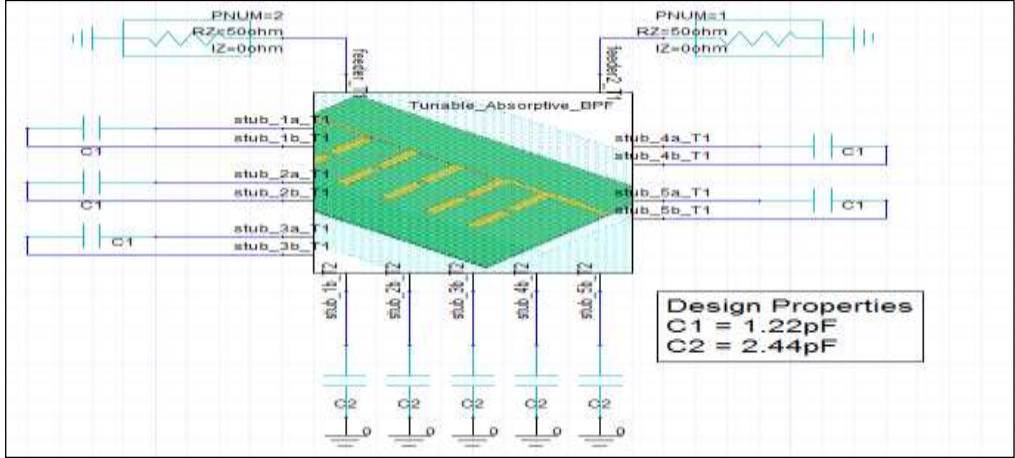
الشكل (14) بنية مرشح تمرير الحزمة المصمم ضمن قالب برمجية المحاكاة عالية التردد HFSS



الشكل (15) مكان تعريف المنافذ (Ports)

حيث سيتم وصل عناصر التوليف في بنية مرشح تمرير الحزمة المصمم مكان المنافذ التي تم تعريفها.

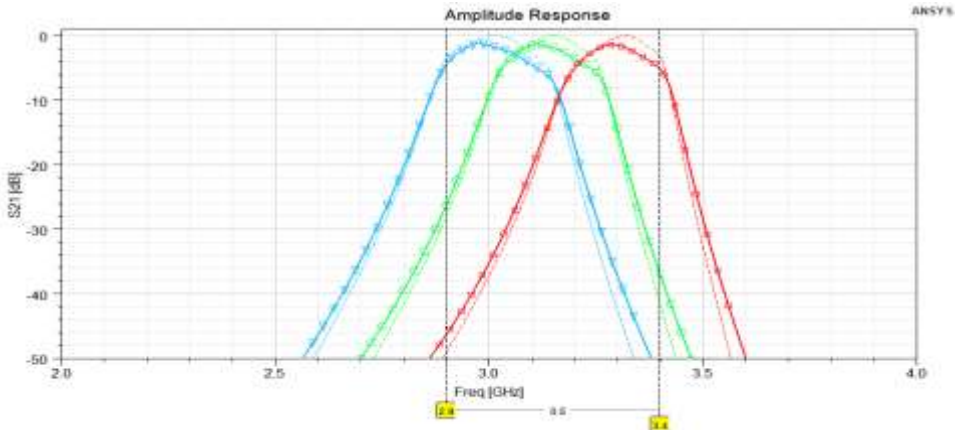
يبين الشكل (16) مخطط الدارة النهائية ضمن محاكي الدارات الميكروية حيث تم تصدير قالب HFSS ووصل عناصر التوليف.



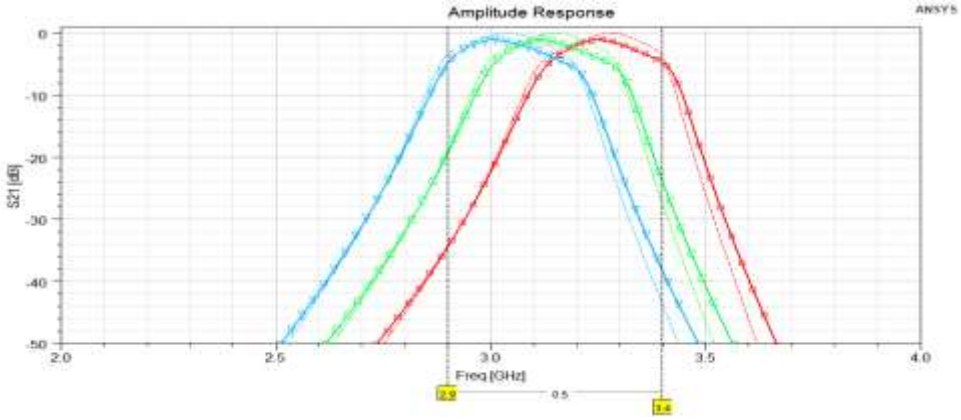
الشكل ( 16 ) مخطط دارة المرشح ضمن محاكي الدارات الميكروية في بيئة Ansys Electronics Desktop

توضح الأشكال من (17) إلى (20) نتائج المحاكاة ومقارنتها بالنتائج النظرية التي حصلنا عليها في الفقرة السابقة. حيث يمثل الخط المتقطع الإستجابة النظرية الناتجة عن محاكاة الدارات أما الخط الغامق والمؤشر فيمثل نتيجة المحاكاة الكهرومغناطيسية.

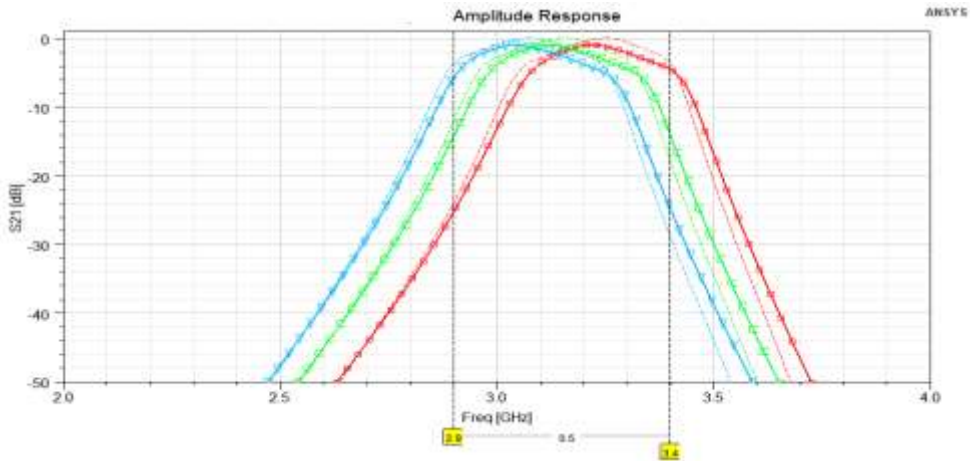
نلاحظ من الأستجابات تقارباً كبيراً بين النتائج النظرية ونتائج المحاكاة مما يؤكد صحة وصلاحيّة الطريقة المتبعة في التركيب والتصميم خلال هذا البحث.



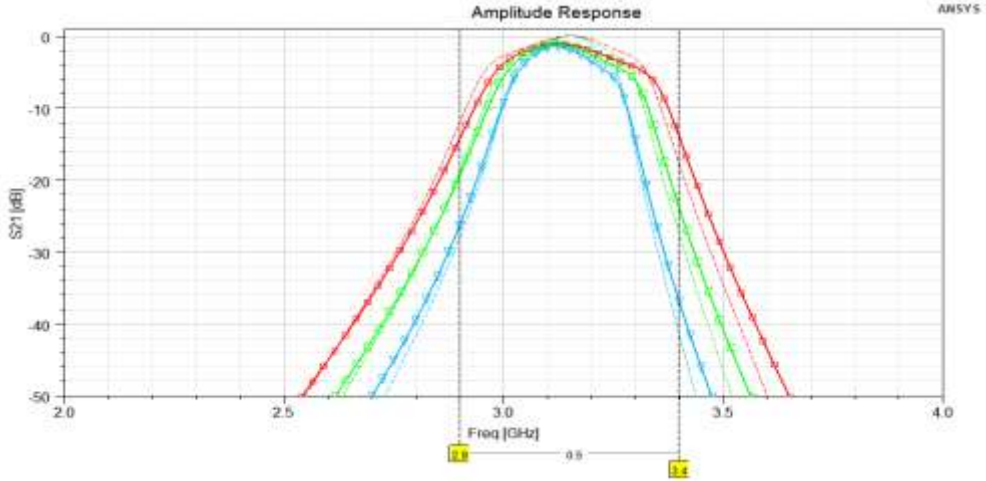
الشكل (17) استجابة المرشح المصمم عند عرض حزمة 6% وتوليف التردد المركزي من 2.9 GHz الى 3.4 GHz ومقارنتها مع الاستجابة النظرية.



الشكل (18) استجابة المرشح المصمم عند عرض حزمة 8% وتوليف التردد المركزي من 2.9 GHz الى 3.4 GHz ومقارنتها مع الاستجابة النظرية.



الشكل (19) استجابة المرشح المصمم عند عرض حزمة 10% وتوليف التردد المركزي من 2.9 GHz الى 3.4 GHz ومقارنتها مع الاستجابة النظرية



الشكل ( 20 ) استجابة المرشح المصمم عند تردد مركزي 3.15 GHz وتوليف عرض الحزمة من 6% الى 10% ومقارنتها مع الاستجابة النظرية.

يبين الجدول ( 6 ) مقارنة بين النتائج التي حصلنا عليها ضمن بحثنا مع نتائج أهم الدراسات الحديثة في مجال المرشحات الميكروية القابلة لإعادة التشكيل.

جدول ( 6 ) مقارنة نتائج العمل المنجز خلال هذا البحث مع نتائج أهم الدراسات في مجال المرشحات الميكروية القابل لإعادة التشكيل.

المرجع	ABW [MHz] (FBW%)	IL [dB]	مجال توليف التردد [GHz]	مجال توليف المكثفات (Varactors) [PF]
[1]	180-1390(12.8-99%) <sup>A</sup>	1.3-5.2	0.8-1.95(83.6%)	0.84-5
[2]	67.5-165 (5-10%) <sup>A</sup>	-	1.35-1.65 (20%)	2.91-8.72
[4]	137 (6-8.5%) <sup>A</sup>	1.99-4.17	1.6-2.27 (34.6%)	0.5-2.5
[5]	65-180 (6.5-18%) <sup>B</sup>	1.4-4.5	0.56-1.15 (69%)	0.69-18.22

0.63-2.67	1.29-1.71 (28%)	2.7-4.8	87-165 (5.8-11%) <sup>A</sup>	[6]
0.78-3.74	2.9-3.4 (15.8%)	0.92-1.42	169-319 (6-10%) <sup>A</sup>	العمل المنجز خلال بحثنا

من بين المرشحات القابلة لإعادة التشكيل المعتبرة في الجدول أعلاه فإن المرشح المصمم خلال هذا البحث يتميز بأداء جيد وفقد تمرير منخفض. وييدي المرشح المصمم خلال هذا البحث حزمة توليف عريضة للتردد المركزي وعرض النطاق وذلك بالنظر للمجال الصغير اللازم لتوليف المكثفات المتغيرة. كما يتميز بانتقائية عالية وامكانية توليف كلا التردد المركزي وعرض الحزمة النسبي له.

A : عرض حزمة 3 dB

B : عرض حزمة 1 dB

## 5- الاستنتاجات والتوصيات

تم في هذا البحث تقديم طريقة لتكوين وتصميم مرشح تمرير حزمة قابل لإعادة التشكيل عديم الإنعكاس. تعتمد طريقة التكوين على التحويل من نموذج تمرير منخفض أولي إلى مرشح تمرير حزمة برنانات عناصر مؤزعة تفرعية متعاقبة بينها عواكس سماحيات. جميع معادلات التصميم تم استنتاجها بشكل علاقات مباشرة وبذلك فإن تصميم مرشحات باستجابات مختلفة يتم بطريقة تحليلية ودون الحاجة لعملية أمثلة (Optimization) المتبعة في المرجعين [8] و [9] ودون اللجوء

لعملية التصميم بطريقة التجريب والخطأ trial-and-error process المتبعة عادةً في تصميم المرشحات الميكروية. لتجنب استخدام عواكس قابلة للتوليف وهو أمر صعب التحقيق عملياً، تم تقديم رنان أرومة (Stub Resonator) بتعدد رنين وعامل ميل نفاذية (Susceptance Slope Parameter) قابلين للتوليف. تم التوثق من الطريقة المستنتجة بتركيب وتصميم مرشح تمرير حزمة بتقانة الخطوط الشرائحية الميكروية يمكن توليف ترددده المركزي وعرض الحزمة النسبي ضمن حزمة عمل ترددي يمكن استخدامه في تطبيقات الراديو الإدراكي.

تبين من خلال النتائج أنه قد تم تحسين دقة طريقة التركيب وكذلك انتقائية المرشح مقارنةً مع المرشح المصمم في الدراسات المرجعية [1] و [2] وهو أمر في غاية الأهمية لأنّ بناء نُظم اتصال قابلة للتكيف يتطلب مُرَشَّحات تتمتع بخاصيتي الانتقائية العالية والقدرة على التوليف.

يمكن متابعة هذا العمل مستقبلاً لتصميم مرشحات بأصفار تمرير (Transmission zeros) وذلك باستخدام رنانات مترابطة مع منفذ الخرج حيث يصف المرجع [7] مبدأ

عمل هذه الرنانات والتي تتيح التحكم بمواقع أصفار التمرير وعرض حزماتها عن طريق تردد رنين هذه الرنانات وقيم العواكس.



## 6- المراجع

- [1]. M. Fan, K. Song and Y. Fan, "Reconfigurable Bandpass Filter With Wide-Range Bandwidth and Frequency Control," in *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs*, vol. 68, no. 6, pp. 1758-1762, June 2021.
- [2]. S. Jeong, T. Lee and J. Lee, "Frequency- and Bandwidth-Tunable Absorptive Bandpass Filter," in *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 67, no. 6, pp. 2172-2180, June 2019.
- [3]. H. Islam, S. Das, T. Bose and T. Ali, "Diode Based Reconfigurable Microwave Filters for Cognitive Radio Applications: A Review," in *IEEE Access*, vol. 8, pp. 185429-185444, 2020.
- [4]. W.-J. Zhou and J.-X. Chen, "High-selectivity tunable balanced bandpass filter with constant absolute bandwidth," *IEEE Trans. Circuits Syst. II, Exp. Briefs*, vol. 64, no. 8, pp. 917–921, Aug. 2017.
- [5]. G. Zhang, Y. Xu, and X. Wang, "Compact tunable bandpass filter with wide tuning range of centre frequency and bandwidth using short coupled lines," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 2962–2969, 2018.
- [6]. D. Tian, Q. Feng, and Q. Xiang, "A fully tunable two-pole bandpass filter using the resonator with asymmetrical capacitances," *Microw. Opt. Technol. Lett.*, vol. 61, no. 12, pp. 2843–2846, Dec. 2019
- [7]. S. Nam, B. Lee, B. Koh and J. Lee, "Reconfigurable Bandpass Filter With Resonators in Cul-De-Sacs for Producing Notches," in *IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology*, vol. 7, no. 9, pp. 1531-1542, Sept. 2017
- [8]. M. A. Morgan and T. A. Boyd, "Theoretical and experimental study of a new class of reflectionless filter," *IEEE Trans. Microw. Theory Techn.*, vol. 59, no. 5, pp. 1214–1221, May 2011.

[9]. M. A. Morgan and T. A. Boyd, “Reflectionless filter structures,” IEEE Trans. Microw. Theory Techn., vol. 63, no. 4, pp. 1263–1271, Apr. 2015.

[10]. T.-H. Lee, B. Lee, and J. Lee, “First-order reflectionless lumped-element lowpass filter (LPF) and bandpass filter (BPF) design,” in IEEE MTT-S Int. Microw. Symp. Dig., San Francisco, CA, USA, May 2016, pp.