دراسة تفصيلية للاقتران بين رنانات عازلة كهربائياً و مختلف أنظمة التحريض بهدف تصميم و تنفيذ دارات متكاملة ميكروية لاستخدامها في أجهزة الاتصالات

*المهندس ثائر داؤد

(الإيداع: 26 آب 2019 ، القبول 15 تشرين الثاني 2019)

الملخص:

الرنانات العازلة كهربائياً التي تعمل بالأنماط التقليدية مثل TE, TM, HEM تستخدم غالباً من أجل تصميم و تنفيذ الدارات الفعالة و الغير فعالة. و لكن ضمن حزمة الترددات العالية (الميكروية و البصرية) ، فإن الرنانات العازلة كهربائياً التي تعمل بهذه الأنماط التقليدية تكون أبعادها صغيرة نسبياً، و بالتالي يكون استخدامها بدقة معينة في تلك الدارات صعباً للغاية ولا يسمح لها بالاندماج السهل في هذه الدارات.

لذلك تم التوجه لاستخدام هذه الرنانات بحيث تعمل بأنماط جديدة اتسمى أنماطاً طرفية أو أنماطاً هامسة Whispiring Modes WM لأنها تسمح بزيادة قطر الرنان من أجل نفس الترددات السابقة. و هذا أنسب و أكثر ملاءمة في تصميم الدارات و خصوصاً الدارات المتكاملة الغير فعالة الميكروية مثل: موزعات الاستطاعة Combinor of puissance ، المرشحات filters، الهزازات Oscillators، ....

يتركز البحث هنا على دراسة تفصيلية كهرومغناطيسية رقمية دقيقة للاقتران بين رنانات عازلة كهربائياً أسطوانية تعمل بهذه الأنماط و مختلف أنظمة التحريض.

إنجاز هذه الدراسة استلزم استخدام طريقة رقمية حسابية ارتكزت على مكتبة برامج MODULEF و هي طريقة العناصر المنتهية ثلاثية الأبعاد و باهتزازات حرة و قسرية. وذلك بعد كتابة كافة الكودات اللازمة و الملائمة لكل بنية مدروسة. من خلال هذه الدراسة سيتم التحديد الدقيق للبارامترات الكهرومغناطيسية (مركبات و توزع الحقول الكهرومغناطيسية – الترددات الطنينية للأنماط – معاملات النقل S_{12}، معامل النوعية الخارجي Q_e،...).

إن هذه الدراسة ستوضح كل قيم البارامترات الكهرومفناطيسية كتابع للخواص الهندسية و أنظمة التحريض للبنى المدروسة، و من خلال ذلك يمكننا اختيار الأنسب لتصميم و تنفيذ الدارات العملية لاستخدامها في التطبيقات المناسبة. و إن النتائج تساعد في تصميم مرشحات تمرير حزمة ميكروية بضياعات منخفضة و حزمة ضيقة و انتقائية ممتازة.

الكلمات المفتاحية: رنان عازل كهربائياً، الأنماط الهامسة ، مكتبة برامج MODULEF ، معامل الاقتران.

*قسم هندسة الاتصالات – كلية الهندسة الكهربائية و الالكترونية – جامعة حلب– حلب – الجمهورية العربية السورية

A detailed study of the coupling between Dielectric Resonators and various excitation systems for the design and execution of microwaves integrated circuits for useing them communications devices

Dr. Eng. Thaer DAOUD

(Received: 26 August 2019 , Accepted: 3 November 2019)

Abstract:

Generally, dielectric resonances that operate in traditional modes such as TE, TM, HEM are often used for the design and execution of active and passive circuits. However, within the high-frequency (microwave-optical) beam, the Dielectric resonators operating in these conventional modes are of relatively small dimensions, so their precise accuracy in these circuits is very difficult and is not easily integrated into these circuits.

Therefore, the use of these resonators has been used to operate with new modes called Whispering Modes WM because they allow increasing the diameter of the resonator for the same previous frequencies. This is more appropriate and more suitable for circuit design, especially microwaves passive integrated circuits such as: Combinor of puissance, Filters, Oscillators, etc.... The research here focuses on a detailed digital electromagnetic study of the coupling between cylindrical dielectric resonators operating in these modes and various excitation systems.The completion of this study required us to use a numerical method of calculation based on library MODULEF programme, which is the Finite elements method in three-dimensions and free oscillations and force, after writing all the necessary and appropriate codes for each structure studied. This study will define accurately for all electromagnetic parameters (compounds and distribution of electromagnetic fields – resonance frequencies of modes – transport coefficients S_{12}, external quality coefficient Q_e etc ...). This study will put all the values of the electromagnetic parameters in our hands as a function of the geometrical properties and the systems of excitation of the studied structures, and through this we can choose the most appropriate ways to design and execute the practical circuits to use them in the appropriate applications. As far as we are concerned, these results will be used in the design and execution of microwave band pass filters in very low loss, narrow band and excellent selectivity.

Key words: Dielectric Resonators, Whispering Modes, library Modulef Programme, coefficients of Coupling

University of Aleppo – Faculty of Electrical & Electronic Engineering - Dep. of Telecommunications

I - مقدمة:

أياً يكن الاستخدام في أنظمة الاستقبال أو الإرسال أو معالجة الإشارة ، فإن المرشحات الغير فعالة و الفعالة تلعب دوراً هاماً في الأجهزة التي تعمل بالترددات الميكروية. حيث أن خواصها الكهربائية (تردد مركزي – حزمة تمرير – ...) تكون محددة تبعاً لتطبيقاتها، وخواصها الميكانيكية و الحرارية و كذلك أبعاد الأجهزة تأخذ حيزاً مهماً من الاهتمام يتوجب التقيد بها عند تصميم الدارات.

و بتطور الاتصالات في السنوات الأخيرة فقد تم تصميم و تنفيذ العديد من المرشحات و كل واحدة منها تميزت بحسنات و بسيئات.

المرشحات الغير فعالة كانت الأقدم، و العديد منها رأت النور في التطبيقات و أول التصميمات كانت انطلاقاً من الأجواف المعدنية أو أدلة الموجة. هذه الأجهزة تقدم مميزات كهربائية ممتازة ضمن عرض حزمة كبير، ولكن استخدامها في العديد من التطبيقات كان محدوداً بسبب مشاكل الحجم و الاستقرار الحراري و غيرها.

ومع تقدم آليات التنفيذ، فإن استخدام المواد العازلة كهربائياً و المستقرة حرارياً قادنا لاستخدام الرنانات العازلة كهربائياً في تصميم و تنفيذ المرشحات و غيرها بمميزات مشابهه للميزات التي تم الحصول اعتماداً على الأجواف المعدنية و أدلة الموجة و لكن مع تصغير الحجم نسبياً و سلوك جيد مع الحرارة.

و لكن المشكلة ضمن هذه الرنانات العازلة كهربائيا أن مختلف الأنماط يمكن أن تكون محرضة و منتقاة أو مختارة و ذلك باختيار أحد أنظمة التحريض مثل: الخطوط الريبية – الكبسولات المحورية الكهربائية أو المغناطيسية– أدلة الموجة المعدنية –....

ضمن هذا النطاق هناك العديد من الأعمال البحثية تسمح بتحديد البارامترات الكهرومغناطيسية و خصوصاً معامل الاقتران بين الرنان العازل كهربائياً و أنظمة تحريضها. و لكن بشكل عام هذه الطرق تقريبية و لا تعطي بشكل دائم نتائج صحيحة و دقيقة.

لذلك، من أجل تحديد الاقتران (دخل – خرج) بطريقة دقيقة فإننا سنقوم بعملية تحليل كهرومغناطيسي بالاعتماد على مكتبة Modulef و ذلك باستخدام طريقة العناصر المنتهية بالاهتزازات الحرة و القسرية.

و انطلاقاً من النتائج الحاصلة فإنه يمكننا تحديد البنية الأنسب و الأكثر ملاءمةً لتحريض الأنماط الهامسة فقط.

لذلك في هذا البحث و بعد تقديم سريع لمبدأ حساب معامل الاقتران (دخل – خرج)، فإننا سنقوم بتقديم تحليل لمختلف نماذج التحريض للأنماط الهامسة. حيث سنقوم بدراسة الاقتران بين الرنان العازل كهربائياً العامل على الأنماط الهامسة و أدلة الموجة المعدنية أو الكبسولة المتمحورة. و سيتم ذلك كما ذكرنا باستخدام طريقة العناصر المنتهية ثلاثية الأبعاد. هذه العملية ستسمح لنا بمعرفة أفضل تحريض ممكن من أجل تنفيذ الدارات ضمن نطاق حزمة الأمواج الميكروية.

II – أهمية البحث و أهدافه

مما تقدم فإن الهدف و الأهمية الأساسية لهذا البحث سترتكز على دراسة دقيقة و مفصلة للاقتران بين مختلف نماذج التحريض و رنانات عازلة كهربائياً يمكن أن تحرض فيها هذه الأنماط و ذلك ضمن مجال الترددات الميكروية (أبعاد ميليمترية). حيث أنه من خلال هذه الدراسة سنقوم بتحديد من جهة البنية الأنسب و الأكثر ملاءمةً لتحريض الأنماط الهامسة و من جهة ثانية تحديد أفضل طريقة تحريض لهذه الأنماط. هذه الدراسة يمكن أن تكون خطوة أساسية في تشكيل عناصر ودارات غير فعّالة كمرشحات تمرير حزمة و غيرها، و ذلك باستخدام مواد عازلة كهربائياً مناسبة ضمن هذا النطاق من الترددات، و ذلك بهدف استخدامها في منظومات الاتصالات.

III – مواد و طرائق البحث

لانجاز هذه الدراسة فإنها ستكون ممنهجة وفق الخطوات التالية:

6- في البداية سنقوم بتقديم دراسة موجزة للرنانات العازلة كهربائياً و العاملة على الأنماط الهامسة Whispiring Modes WM

7- في الخطوة الثانية سنقوم بتقديم شرح مبسط لطريقة العناصر المنتهية التي ستساعدنا في حساب البارامترات الكهرومغناطيسية للبنى المدروسة

8- الخطوة الثالثة ترتكز على الدراسة الكهرومغناطيسية الرقمية الدقيقة و المفصلة للاقتران للبنى المدروسة و ذلك بهدف التحديد الدقيق للبارامترات الكهرومغناطيسية مثل معامل الاقتران دخل – خرج و معامل النوعية الخارجي – ...

9- و في الختام سنقوم بتحليل و مناقشة النتائج و طرح الخطوات المستقبلية.

III – 1- دراسة موجزة للرنانات العازلة كهربائياً و العاملة على الأنماط الهامسة Whispiring Modes WM

III - 1- 1- تمهيد مبسط

بالتعريف الجوف الكهرومغناطيسي هو عبارة عن حجم فارغ أو مليء بعازل كهربائي، وهو إما أن يكون محدود بجدران معدنية أو يكون محدود بجدران ذات طبيعة مغناطيسية وبالتالي السطح الفاصل عبارة عن عازل كهربائي، بالحالة الأولى نتكلم عن جوف معدني و بالحالة الثانية نتكلم عن رنّان عازل كهربائياً. وهذا الرنان العازل كهربائياً يجب أن يتميز بسماحية عالية وبضياعات صغيرة جداً أو بعامل نوعية عالي جداً، وكذلك يجب أن يتميز باستقرار حراري حول تردد الطنين.

في هذه الرنّانات فإن الشروط الحدية تكون تلك المفروضة بالسطح الفاصل هواء–عازل كهربائياً بسماحية عالية، هذا السطح الفاصل يشكّل حائط مغناطيسي بينما في الأجواف المعدنية فإن السطح الفاصل هواء–معدن يشكّل حائط كهربائي[2-1]. و بشكل عام، هذه الرنانات لها شكل اسطواني بمقطع دائري على شكل أقراص رنّانة مصمتة أو مفرغة.عادةً هذه الرنانات تستخدم لتشكيل المرشحات و موزعات الاستطاعة و الهزازات ذات استقرار ترددي عالي. إن استخدامها كمرشحات يكون لانتقاء حزمة من الترددات أو تردد معين، ويمكن أن تستخدم في مضاعفات طول الموجة في المحطات الراديو–تلفونية أو فصل مسارات الإرسال والاستقبال للهواتف النقالة و كذلك يمكن أن تساعد في تشكيل دارات القارنات الإتجاهية.

و لكن ضمن المجالات الترددية المذكورة فإن الرنانات العازلة كهربائياً المحرّضة لتعمل بأنماطها الكلاسيكية يكون من الصعب استخدامها بسهولة بسبب أبعادها الصغيرة جداً. لذلك للحفاظ على مختلف خواص الرنانات ضمن هذه المجالات الترددية، فإنه كان من الضروري استخدام هندسيات جديدة تسمح بنشر أنماط جديدة بجوار الجدار الداخلي للرنان والتي تسمح بزيادة أبعاد الرنان من أجل نفس الترددات وهذا ما.يسمح بتشكيل الدارات السابقة بسهولة. مع الملاحظة أن المواد العازلة كهربائياً الممكن استخدامها لتصنيع هذه الرنانات تكون تبعاً للمجال الترددي المستخدم[7-3].

III - 1- 2 - الرنانات العازلة كهربائياً بالأنماط الهامسةWM [19-8]

بالترددات العالية (حتى 100GHz)، فإن الرنانات العازلة كهربائياً العاملة بالأنماط الكلاسيكية تكون أبعادها صغيرة جداً، فمثلاً من أجل سماحية ε_r =36 و تردد f = 94GHz فإن قطر الرنان العازل كهربائياً يكون مساوياً لارتفاعه وهو حوالي 500µm . وبالتالي في هذه الحالة فإن استخدام هذه العناصر بدقة كافية يكون صعب جداً، ومن ناحية ثانية فإن توضّع الرنان بالقرب من خط تحريض يكون حسّاس للغاية (يلزمه دقة عالية). لذلك الأنماط الجديدة المسماة بالأنماط الطرفية أو

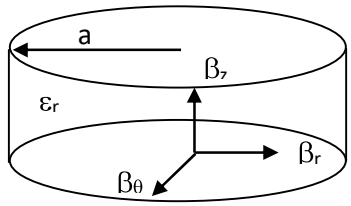
الهامسة يمكن أن تسمح باستخدام الرنانات العازلة كهربائياً بهذه الترددات و لكن بأبعاد أكبر مما لو كانت تعمل بالأنماط التقليدية، فمثلاً من أجل المثال السابق فإن الرنان سيكون بقطر حوالي 2mm و ارتفاع 0.5mm

III -1- 2 -1- توصيف عام للأنماط الهامسة

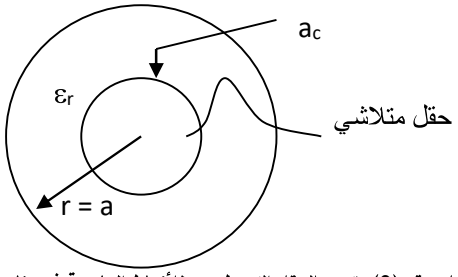
ضمن بنية اسطوانية ذات مقطع دائري عازلة كهربائياً بسماحية ε_r و نصف قطر $r = a$ توجد مختلف الأنماط الرنانة: الكلاسيكية TE و TM والهجينة والأنماط الطرفية أو الهامسةWM. من وجهة النظر الكهرومغناطيسية، فإن واحدة من أهم الخواص الأساسية للأنماط الطرفية الهامسة هي توزع القدرة ضمن الرنان.

لنفترض أنه لدينا رنان عازل كهربائي Dielectric Resonator DR بسماحية ε_r و نصف قطر $r = a$ كما هو مبين بالشكل1

بالتعريف هذه الأنماط هي أنماط طرفية تدور حول السطح المقعر الداخلي للرنان، وهذه الأنماط تنتقل في مقطع دائري والحقل الكهرطيسي يتوضع في منطقة محدودة بالسطح داخلي للرنان $r = a$ و سطح داخلي وهمي $r = a_c$ خارج هذه المنطقة $(a < r < a_c)$ الحقل الكهرطيسي يكون متلاشي كما هو مبين بالشكل2



الشكل رقم (1): رنان عازل كهربائياً بسماحية ε_r ونصف قطر a



الشكل رقم (2): توزع الحقل الكهرطيسي للأنماط الهامسة في رنان DR

وبالتالي في المستوي الراديالي للرنان، فإن الحقول الكهرطيسية لهذه الأنماط تتواجد بشكل مركّز كما هو مبين بالشكل أعلاه بالقرب من السطح المقعر الداخلي للرنان. أما في المستوي المحوري للرنان فإن الحقول الكهرطيسية تنتقل بثابت انتشار ضعيف، و بالتالي يمكن إهماله أما ثابت الانتشار الزاوي Azimutal ، وبالتالي الترددات الطنينية ستكون متعلقة بشكل مباشر بنصف قطر الرنان $r = a$. و من الشكل أعلاه يمكن أن نكتب:

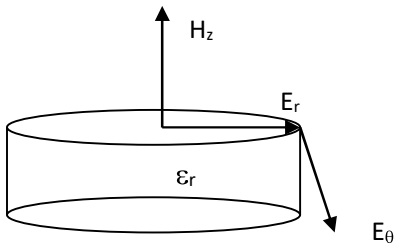
$$k^2 = \beta_\theta^2 + \beta_r^2 + \beta_z^2 \quad (2)$$

$$k^2 = \varepsilon_r \frac{\omega^2}{c^2} \qquad (2)$$

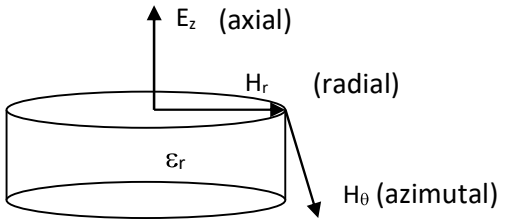
حيث: K هو عامل الموجة ضمن الرنان

β_z ,β_r ,β_θ هي عبارة عن ثوابت الانتشار على التوالي: المحوري Axial ، الراديالي Radial، الزاوي Azimutal ، C هي سرعة الضوء في الخلاء

في هذه الرنانات يمكن أن نميّز نوعين من الأنماط WE و WH مزودة بثلاثة معاملات: n العدد الزاوي، m العدد الراديالي، l العدد المحوري، وبالتالي يمكن أن نكتب $WE_{n,m,l}$ و $WH_{n,m,l}$. ففي حالة WE فإن الحقل الكهربائي يكون بشكل أساسي بمركبات معترضة والحقل المغناطيسي يكون بشكل أساسي طولاني (E_θ, E_r, H_z) كما هو موضح بالشكل3 أما في حالة WH فإن الحقل المغناطيسي يكون بشكل أساسي معترض والحقل الكهربائي طولاني أي (H_θ, H_r, E_z) كما هو موضح بالشكل4



الشكل رقم (3) : الحقل الكهرطيسي للأنماط WE

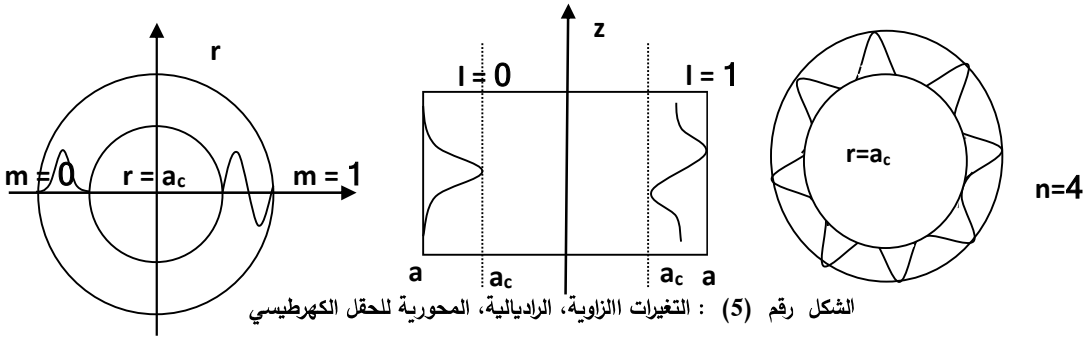


الشكل رقم (4) : الحقل الكهرطيسي للأنماط WH

حيث n: هو عبارة عن عدد التغيرات الزاوية للحقل، (التغيرات تبعاً لـ θ) وكذلك يمثل مرتبة تابع بيسيل، و يجدر الذكر أنه كلما زادت قيمته فإن القدرة ستتركز قرب السطح المقعر الداخلي للرنان.

m: هو عبارة عن عدد التغيرات الراديالية للحقل أو عدد الأصفار تبعاً لقطر الرنان

l:هو عبارة عن عدد التغيرات وفق المحور Z أو عدد الأصفار بالاتجاه المحوري. الشكل5 يوضح ذلك



الشكل رقم (5) : التغيرات االزاوية، الراديالية، المحورية للحقل الكهرطيسي

III - 2 – الطريقة الرقمية المستخدمة بالدراسة

III – 2 –1– شرح مبسط[25-22] [18]

لانجاز الدراسة الرقمية للبنى المدروسة (و بالتحديد دراسة الاقتران و معامل النوعية الخارجي)، فإنه سيتم استخدام برنامج من مكتبة برنامج الحساب Moduef و بالتحديد بيئة العناصر المنتهية (طريقة العناصر المنتهية)، وذلك بعد ملاءمة هذه الطريقة على البنية المدروسة . هذه الطريقة يمكن تطبيقها على بنيات ذات أبعاد وأشكال لا على التعيين، تكون مكونة من حجوم محددة إما بجدران كهربائية (CCE) أو مغناطيسية (CCM) التي عليها يتم تطبيق الشروط الحدية المناسبة.

إن استخدام هذه الطريقة يبدأ بإدخال البنية هندسياً (أبعاد البنية) وتشكيل ما يعرف بالشبكة العنكبوتية للبنية وذلك بتقسيم البنية على شكل مثلثات في حالة الدراسة ببعدين 2D ، و على شكل مجسمات في حالة الدراسة بثلاثة أبعاد 3D ، مع الملاحظة أنه في المنطقة المتوقع انتشار الأمواج الكهرطيسية يجب أن نزيد عدد نقاط التقطيع (في حالتنا منطقة الرنان و نظام التحريض)، لأن ذلك يضمن الحصول على نتائج أكثر دقة ولكن بالمقابل فإن الزمن اللازم للحساب سيكون كبيراً نسبياً. بعد ذلك يتم كتابة شيفرتين (كودين) خاصتين بهذه البنية:

- الأولى هي عبارة عن برنامج تهيئة للحساب ويتضمن إدخال الثوابت الفيزيائية للبنية المدروسة التي تم إدخالها هندسياً تحت اسم معين (.سماحيات الأوساط، الشروط الحدية للبنية (جدران معدنية CCE أو عازلة كهربائياً CCM)، نوع الاهتزاز (حر أم قسري)).

- الثانية هي عبارة عن برنامج الحساب الذي من خلاله يمكن تحديد مختلف الأمواج المنتشرة في هذه البنية حتى التي تسمى بالأمواج الطفيلية غير المفيدة و كافة المعاملات الكهرومغناطيسية (معاملات S و معاملات النوعية Q ...)وذلك تبعاً للبارامترات لفيزيائية والهندسية للبنية المدروسة.

إن جوهر المسألة يكون بحساب:- الأمواج الكهرطيسية بكل ما يتعلق بها (مركبات الحقول الكهرطيسية- ثابت الانتشار الطولاني- السماحية الفعالة- التردد الطنيني-...)- معاملات S – معاملات النوعية Q ...، و ذلك للبنية التي يمكن أن تحتوي على العديد من الأوساط بسماحيات مختلفة وبنفوذية مغناطيسية متماثلة. وتكون البنية محددة بسطوح فصل إما CCE أو CCM ، والتي عليها ستتوزع الشحن والتيارات السطحية. ومن ناحية ثانية، فإننا نتوضع دائماً بحالة أن مركبات الحقول الكهرطيسية هي دورية بالنسبة للزمن $\exp(-j\omega t)$ ، بالإضافة أن الأوساط هي متجانسة ومتماثلة ، ضمن هذه الشروط فإن معادلات ماكسويل يمكن أن تكتب بالصيغة النهائية التالية:

$$\iiint_V \left(\frac{1}{\varepsilon_r}\overrightarrow{\mathrm{rot}}\vec{H}\right)\left(\overrightarrow{\mathrm{rot}}\,\overrightarrow{\varphi_m}\right) dV - k_0^2 \iiint_V \mu_r \vec{H}\cdot\overrightarrow{\varphi_m}\, dV = -j\omega\varepsilon_0 \sum_{i=1}^{n} \iint_{S_{pi}} \overrightarrow{j_{mpi}}\cdot\overrightarrow{\varphi_m}\, dS_{pi} \qquad (3)$$

$$\iiint_V \left(\frac{1}{\mu_r}\overrightarrow{\mathrm{rot}}\vec{E}\right)\left(\overrightarrow{\mathrm{rot}}\,\overrightarrow{\varphi_e}\right) dV - k_0^2 \iiint_V \varepsilon_r \vec{E}\cdot\overrightarrow{\varphi_e}\, dV = -j\omega\mu_0 \sum_{i=1}^{n} \iint_{S_{pi}} \overrightarrow{j_{epi}}\cdot\overrightarrow{\varphi_e}\, dS_{pi} \qquad (4)$$

حيث: n: عدد المنافذ للبنية $i=1\rightarrow n$: رقم المنفذ p_i: مستوي المنفذ S_{pi}: سطح المستوي p_i V : حجم البنية φ_m وφ_e : تمثل على التوالي تابع الفحص القياسي بحائط مغناطيسي وكهربائي.

j_{epi} ، j_{mpi} : هي على التوالي التيارات السطحية المغناطيسية و الكهربائية للمستوي Pi

وهنا لدينا صيغتان ممكنتان للاستخدام: إما الصيغة E التي من خلالها يتم حساب الحقل الكهربائي $\vec{E}$ ، أو الصيغة H: التي من خلالها يتم حساب الحقل الكهربائي $\vec{H}$ ، و من خلال أحدهما يمكن حساب الآخر بواسطة معادلات ماكسويل.

في البنية التي تم تشكيل شبكتها العنكبوتية فإنه يتم تطبيق العلاقة 3 أو العلاقة 4 على كل عنصر من عناصر الشبكة مع ضمان شروط الاستمرارية بين كل عنصرين متجاورين، علماً أنه لدينا نمطان من الحلول:

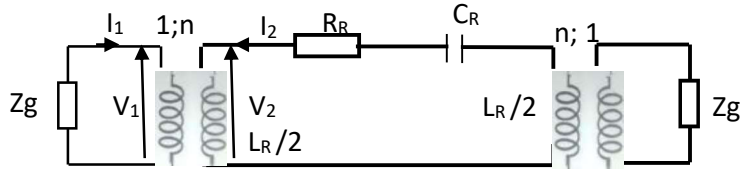
- الحل بالاهتزازات الحرّة الذي يسمح بالبحث عن الأنماط المتشرة- ثابت الانتشار- السماحية الفعّالة- التردد الطنيني للنمط المنتشر-.... هنا الحد الثاني من العلاقتين 3 و 4 يكون مساوياً للصفر.
- الحل بالاهتزازات القسرية الذي يتم فيه فرض التردد ومن ثم يتم البحث عن كافة المعاملات (معاملات النقل و الانعكاس،...) للبنية المدروسة.

III – 3- دراسة الاقتران و معامل النوعية[22 – 15]

III – 3-1 – مبدأ الحساب

III – 3-1 -1 – الاقتران دخل – خرج

إن الاقتران بين نظام تحريض (دليل موجة – شريط ريبي – مسبار –...) و رنان عازل كهربائياً يمكن تمثيله بالشكل6، حيث أن الرنان يمثل بدارة طنينية تسلسلية و بالتالي فإن الاقتران بين منبع بممانعة Zg و الرنان يمثل بواسطة محول تام بنسبة n



الشكل رقم (6): الدارة المكافئة لرنان عازل كهربائياً و نظام تحريضه

حيث: C_R, R_R, L_R العناصر الممثلة للرنان العازل كهربائياً

علاقات الجهود و التيارات بالأطراف هي: $I_1/I_2 = -n$ $V_1/V_2 = 1/n$

III – 3-1 – 1– 1 – حساب معاملات النوعية

1 – حساب معامل النوعية بالفراغ Q_o

معامل النوعية بالفراغ لا يأخذ بعين الاعتبار إلا ممبزات الرنان و هو مستقل عن نظام التحريض المستخدم، و يحدد بالعلاقة:

$$\mathbf{Q_o} = \boldsymbol{\omega_o} \frac{\text{القدرة الكلية المخزنة بالحلقة}}{\text{الاستطاعة المبددة بالحلقة}} = \boldsymbol{\omega_o} \frac{\overline{\omega}}{\overline{P}}$$

حيث أنه بالطنين يكون لدينا: $L_R C_R \boldsymbol{\omega_o} = 1$

القدرة الكلية المخزنة بالحلقة: $\overline{\omega} = 2\,\overline{\omega_e} = 2\,\overline{\omega_m} = \overline{\omega_e} + \overline{\omega_m} = \frac{1}{2} L_R I^2$

أما الاستطاعة المبددة بالحلقة: $\overline{P} = \frac{1}{2} R_R I^2$

و بالنهاية فإن معامل النوعية بالفراغ يعطى بالعلاقة: $Q_o = \omega_o \frac{\overline{\omega}}{\overline{P}} = \omega_o \frac{L_R}{R_R}$

2 – حساب معامل النوعية الخارجي Q_e

هذا المعامل لا يأخذ بعين الاعتبار ضياعات الدارة الطنينية و لكن يأخذ فقط بعين الاعتبار ضياعات نظام التحريض:

$$Q_e = \omega_o \frac{L_R}{n^2 Z_g}$$

حيث $n^2 Z_g$ تطابق ممانعة المنبع المنقولة إلى المحول الثانوي

من هذه العلاقات لمعاملات النوعية بالفراغ و الخارجي يمكن أن نحدد الاقتران $\propto$ بين الرنان و نظام التحريض:

$$\propto = \frac{Q_o}{Q_e} = \frac{n^2 Z_g}{R_R}$$

3 – حساب معامل النوعية للحمولة Q_L

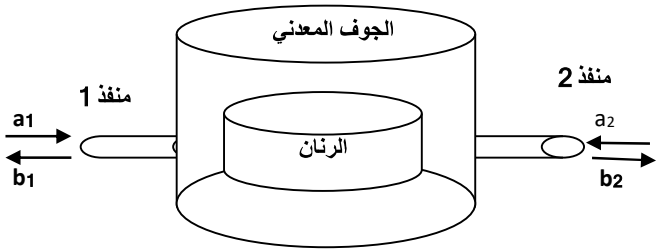
هذا المعامل يأخذ بعين الاعتبار بآن واحد ضياعات الدارة الطنينية الممثلة بالمقاومة R_R للرنان و الضياعات الناتجة عن الممانعة المنقولة للمحولة الثانوية $n^2 Z_g$:

$$Q_L = \boldsymbol{\omega_o} \frac{L_R}{R_R + n^2 Z_g}$$

$$\frac{1}{Q_L} = \frac{1}{Q_e} + \frac{1}{Q_o}$$

III – 3-1 – 1 – 2 – حساب الاقتران دخل – خرج بطريقة العناصر المنتهية

سنعتبر الآن أنه لدينا بنية برنان هازل كهربائياً محاط بجوف معدني و بمنفذين كما هو موضح بالشكل 7



الشكل رقم (7) : بنية برنان عازل كهربائياً و نظام تحريض بمنفذين

مهما يكن نظام التحريض المستخدم فإن رباعي الأقطاب يمكن أن يميز بمصفوفة التوزع، وبالتالي فإنه بواسطة طريقة العناصر المنتهية بالاهتزازات القسرية ستسمح لنا بتحديد Sij من أجل مختلف الترددات.

من خلال منحني استجابة النقل Sij فإنه يمكن تحديد $\mathbf{Q_L}$ بالعلاقة:

$$Q_L = \frac{f_o}{f_2 - f_1}$$

حيث: f0 : تردد الطنين، f_1 و f_2 : الترددات التي يكون فيها بارامتر النقل $|Sij| = -3\ dB$

من ناحية ثانية فإن البنية التي تحتوي على منفذين سيكون لدينا:

Q_{e1}: يميز الاقتران منفذ أول مع الرنان و Q_{e2}: يميز الاقتران منفذ ثاني مع الرنان

في حال أن الاقتران بين نظام التحريض و الرنان متماثل فإننا نحصل على: $Q_{e1} = Q_{e2} = Q_e$ ، وعندما لا نأخذ بالحسبان ضياعات البنية (الضياعات المعدنية – ضياعات العازل الكهربائي) فإن معامل النوعية بالفراغ يتجه للانهاية.

و بالتالي لتحديد معامل النوعية الخارجي Q_e يكفي تحديد Q_L للنظام و ذلك تبعاً للعلاقة:

$$\frac{1}{Q_L} = \frac{1}{Q_o} + \frac{1}{Q_{e1}} + \frac{1}{Q_{e2}} = \frac{2}{Q_e}$$

هذه الميزة الدقيقة للاقتران دخل – خرج ستكون منفذة بواسطة طريقة العناصر المنتهية باهتزازات قسرية. و هذا ما سيسمح لنا بالحصول غلى الاستجابة كتابع للتردد لأي بنية و ذلك بعد الأخذ بعين الاعتبار:

- تأثير التحريض على تردد الطنين للرنان العازل كهربائياً
- تأثير الناقليات المعدنية لنظام التحريض على أشكال الحقول
- عدم الانتظامية أو الدقة للاقترانات بين أنظمة التحريض و الرنان العازل كهربائياً

وفقاً لذلك سنقوم الآن بتحديد الاقتران دخل – خرج لبنية برنان باستخدام أنظمة تحريض مختلفة.

III – 3 – 2 – النتائج لحساب معامل الاقتران دخل – خرج لبنى برنان عازل كهربائياً يعمل على أنماط هامسة

الدراسة التي سننفذها هنا ستسمح لنا بتحديد مميزات مختلف طرق التحريض للرنان العازل كهربائياً.

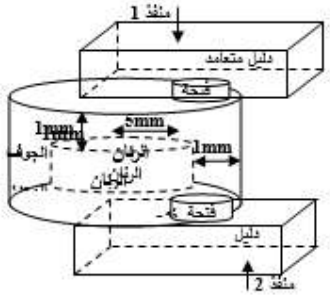
من أجل هذه الدراسة سنختار الرنان بالمواصفات التالية: $\varepsilon_r = 9.6$ $2a = 14\ mm$ $h = 2\ mm$

ضمن حزمة الترددات 20 – 26 GHz فإنه من أجل كل نوع من أنواع التحريض سنقوم بحساب البارامترات S للبنية. و من أجل كل نمط من الأنماط الهامسة في الرنان سنحدد تردد الطنين و من ثم سنحسب معامل النوعية الخارجي.

III – 3 – 2 – 1 – التحريض على الأوجه العلوية و السفلية للجوف المعدني

III – 3 – 2 – 1 – 1 – التحريض بواسطة دليل موجة متعامد معدني

الرنان العازل كهربائياً المصفح بجوف معدني يكون محرض بدليل معدني من الأعلى والأسفل للجوف. إن الاقتران بين دليل الموجة و الجوف الحاوي على الرنان يكون بمساعدة فتحة كما هو موضح بالشكل 8



الشكل رقم (8) : تحريض رنان عازل كهربائياً بواسطة دليلي موجة بفتحتين من الأعلى و الأسفل

من أجل الأنماط الهامسة فإن القدرة ستكون محصورة على المحيط الداخلي للرنان ، لذلك من أجل الحصول على تحريض أمثلي فإن نظام التحريض سيكون مزاح بالنسبة لمحور الرنان و الجوف و الفتحتين يجب أن تكونا متوضعتين باتجاه جدران الرنان، حيث القدرة من المفترض أن تكون متوضعة.

إن دليل الموجة المعدني هو دليل قياسي يعمل بالحزمة K (18–26GHz) . و أبعاده $a \times b = (10.7 \times 4.3)mm^2$. إن تردد القطع لمثل هذه الأدلة يعطى بالعلاقة التالية[1]:

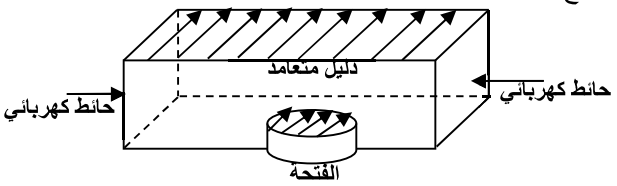
$$f_c = \frac{c}{2\pi\sqrt{\varepsilon_r}} \left[\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2\right]^{1/2}$$

حيث n, m هي أعداد صحيحة نميز مرتبة الأنماط $TE_{n,m}$ و $TM_{n,m}$ الممكن انتشارها بالدليل، و الجدول التالي يعطي ترددات القطع لبعض الأنماط.

الأنماط	f_c (GHz)
TE_{10}	14.02
TE_{20}	28.04
TE_{01}	34.88
$TE_{11} = TM_{11}$	37.59

من هذا الجدول نلاحظ فإن النمط TE_{10} هو الوحيد الذي سينتشر ضمن حزمة الترددات K والأنماط الأخرى ستكون متلاشية.

الفتحة التي تقرن الدليل المعدني بالجوف لها نصف قطر أعظمي أقل بقليل من البعد الأصغري للدليل (نأخذه هنا 2mm) وسماكتها 0.5mm.، وذلك لضمان اقتران جيد بين الدليل والرنان. بهذا النوع من التحريض فإن الحقل الكهربائي له التوزع المبين بالشكل 9. إن الحقل الكهربائي الناتج بالفتحة سيكون عمودياً على محور الرنان، وهذا ما يجعل الأنماط WE تتحسس بشكل أكبر و ستكون هي المحرضة.



الشكل رقم (9): خطوط الحقل الكهربائي للنمط TE_{10} للدليل المعدني

ومن ناحية ثانية، من أجل الحصول على تحريض محقق للأنماط الهامسة فقد اضطررنا لتقريب الجدران العلوية والسفلية المعدنية، حيث المسافة بين الرنان والسطح العلوي للجوف حوالي 1mm. علماً أنه من أجل مسافة أصغر من ذلك فإن الأنماط الهامسة ستكون مشوشة بواسطة الأسطح العلوية والسفلية للجوف.

وبالأخذ بعين الاعتبار تناظر البنية فإننا قمنا بإنشاء الشبكة العنكبوتية لنصف البنية (لتقليل زمن الحساب).

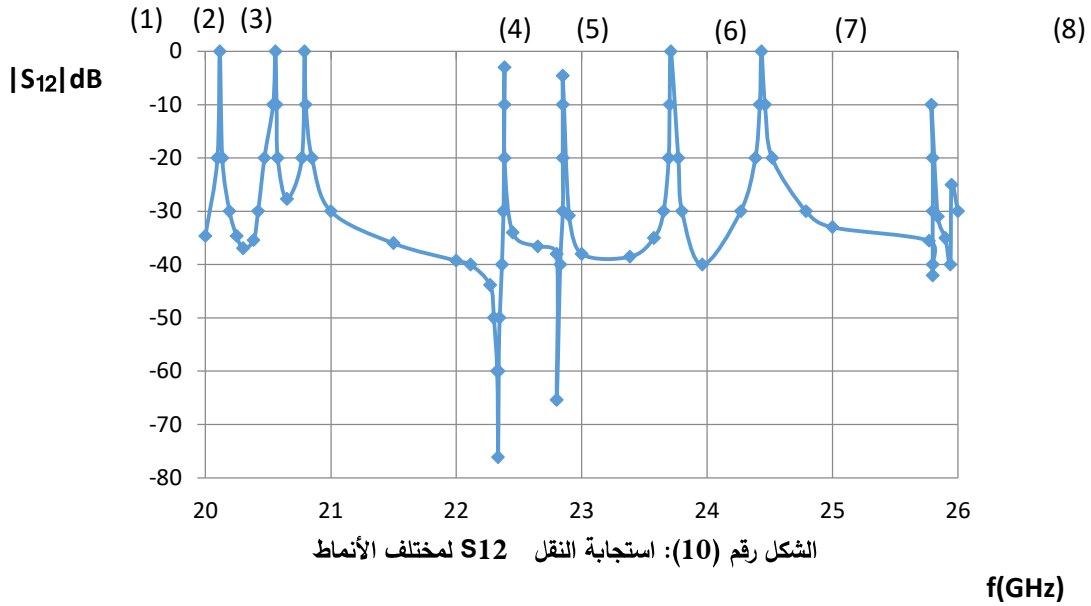
إن الحل بواسطة العناصر المنتهية ثلاثية الأبعاد وباستخدام الاهتزازات القسرية سيسمح لنا بالحصول على معامل النقل S_{12} كتابع للتردد. والنتائج التي تم الحصول عليها موضحة بالشكل 10.

مع الملاحظة أنه يتم تحديد هوية النمط من خلال مركباته الكهرومغناطيسية، أما مرتبته فيكون من خلال مشاهدة شكل الحقول الكهرومغناطيسية.

الجدول رقم (1) : الترددات الطنينية و معامل النوعية الخارجي لمختلف الأنماط

no	النمط	اهتزازات حرة f(GHz)	إهتزازلت قسرية f(GHz)	Qe
(1)	WE_{300}	19.96	20.115	10050
(2)	WH_{200}	20.24	20.553	10250
(3)	WE_{210}	20.92	20.79	3460
(4)	WE_{400}	22.12	22.385	>20000
(5)	نمط طفيلي	/	22.85	>20000
(6)	WH_{300}	23.42	23.702	13600
(7)	WE_{310}	24.34	24.433	2910
(8)	WE_{220}	25.69	25.789	>20000

و من أجل معرفة تأثير التحريض على تردد الطنين للأنماط ، فإنه تم حساب معامل النوعية الخارجي، و بالإضافة لذلك فقد قمنا بعملية مقارنة بين الترددات الطنينية لمختلف الأنماط و ذلك من أجل حالتي الاهتزازات (الحرة و القسرية). كل ذلك موضح بالجدول1 .



الشكل رقم (10): استجابة النقل S12 لمختلف الأنماط

إن الأنماط WE بشكل عام تكون محصورة بالرنان، لذلك هناك صعوبة في عملية تحريضها، و لكن عندما يصبح التغير $m \neq 0$ و خصوصاً عندما $m = 1$ فإن القدرة ستكون أقل انحصارا في الرنان و هذا أسهل بكثير للحصول على معامل نوعية خارجي منخفض.

و من هذه النتائج ، فإن الأنماط التي ليس لها تغير راديالي $m = 0$ فإن معامل النوعية الخارجي يزداد مع n ، و بالنتيجة فإنه كلما كانت n مرتفعة فإن القدرة ستكون محصورة بالقرب من الجدار الداخلي للرنان، و بالمقابل فإن الأنماط التي لها تغير راديالي $m = 1$ فإن معامل النوعية الخارجي ينخفض مع n .

و من هذه النتائج نلاحظ أن الأنماط WH تكون أقل اقترانا و هذه الأنماط تقدم معامل النوعية الخارجي مرتفع نسبياً، و بالتالي هذه البنية غير ملائمة كثيراً لتحريض هذه الأنماط.

و من ناحية ثانية و انطلاقاً من النتائج التي حصلنا عليها و المبينة بالجدول 1 فإن الترددات بالاهتزازات الحرة و القسرية قريبة جداً من بعضها و لكنها غير متطابقة بشكل تام، و بالتالي نظام التحريض المستخدم يشوش قليلاً جداً جداً على الأنماط. و كذلك نلاحظ و بالرغم من تقريب الأدلة المعدنية و القطر الكبير نسبياً للفتحة فإننا نحصل على معاملات نوعية عالية نسبياً.

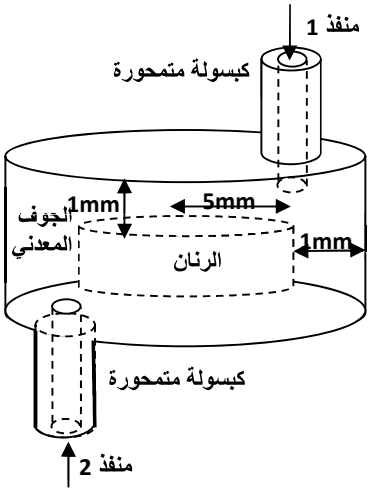
ويجب الملاحظة أن هذه البنية من الصعب تحسينها و بالأخص قطر الفتحة لأنها محددة بأبعاد الدليل (لا يمكن زيادتها). لذلك سنقوم بدراسة أخرى و ذلك باستبدال الأدلة المعدنية بكبسولة متمحورة.

III - 3 – 2 – 1 – 2– التحريض بواسطة كبسولة متمحورة

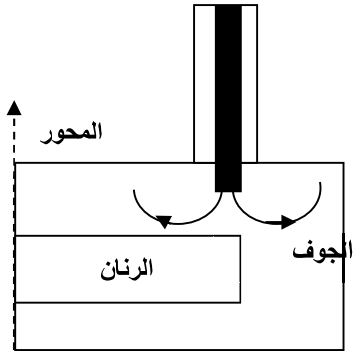
في حالة التحريض بواسطة الكبسولات المتمحورة فإنها تكون دائماً من خلال الأوجه العلوية و السفلية للجوف، و لكن في هذه الحالة فإن الكبسولات تكون بشكل متقابل و ذلك لتجنب حدوث اقتران مباشر بينهم. البنية المقترحة مبينة بالشكل 11 في هذه البني الأسطح المعدنية تبقى قريبة جداً من الرنان (حوالي 1mm)، و الكبسولة تدخل في الجوف بعمق 0.5mm.

بالأخذ بعين الاعتبار الشكل التناظري للبنية، فإنه يمكن الدراسة بواسطة طريقة العناصر المنتهية ثلاثية الأبعاد على نصف البنية فقط.

إن هذه الكبسولات الموضوعة بهذه الطريقة ستسمح بتحريض الأنماط WE بشكل جيد كما الحال بالنسبة للأنماط WH لأن الحقل الكهربائي الخارج من الكبسولة فوق الرنان سيكون مماسياً بالنسبة للرنان كما هو مبين بالشكل 12 .

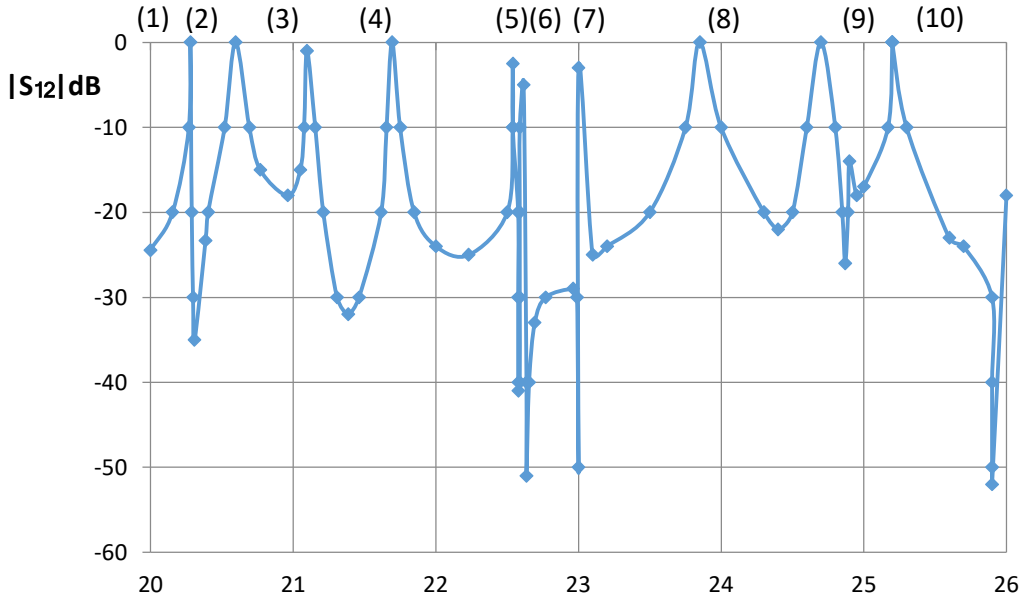


الشكل رقم (11): تحريض رنان عازل كهربائياً بواسطة كبسولات متمحورة من الأعلى والأسفل



الشكل رقم (12): الحفل الكهربائي بواسطة والمقترنة بالرنان

إن الحل بواسطة العناصر المنتهية ثلاثية الأبعاد و باستخدام الاهتزازات القسرية سيسمح لنا بالحصول على معامل النقل S_{12} كتابع للتردد. و النتائج التي تم الحصول عليها موضحة بالشكل 13 . مع الملاحظة و كالسابق فإنه يتم تحديد هوية النمط من خلال مركباته الكهرومغناطيسية، أما مرتبته فيكون من خلال مشاهدة شكل الحقول الكهرومغناطيسية.



الشكل رقم (13) : استجابة النقل S12 لمختلف الأنماط

و لمعرفة تأثير التحريض على تردد طنين الأنماط، فإنه تم حساب المعامل Q_e،و كذلك فقد قمنا بعملية مقارنة بين الترددات الطنينية لمختلف الأنماط و ذلك من أجل حالتي الاهتزازات (الحرة و القسرية). كل ذلك موضح بالجدول2 .

و لمعرفة تأثير التحريض على تردد طنين الأنماط، فإنه تم حساب المعامل Q_e،و كذلك فقد قمنا بعملية مقارنة بين الترددات الطنينية لمختلف الأنماط و ذلك من أجل حالتي الاهتزازات (الحرة و القسرية). كل ذلك موضح بالجدول2 .

نلاحظ من هذه النتائج أن هذه البنية يمكنها تحريض كلا النوعين من الأنماط،و نلاحظ أن معامل النوعية الخارجي للأنماط WH أقل منها للأنماط WE ، لأن الحقل الكهرومغناطيسي للنمط سيمتد انتشاره خارج الرنان، و هذا ما يسهل عملية تحريضه. و من ناحية ثانية و من أجل هذه البنية فقد لاحظنا وجود العديد من الأنماط الطفيلية و التي من الصعب تحديد هويتها. و نلاحظ من أجل هذا النوع من التحريض أنه يمكننا الحصول قيم لمعامل النوعية الخارجي منخفضة نسبياً، و هذا ما يساعد على تحريض مختلف الأنماط الهامسة و خصوصاً الأنماط WH_{n00} .و بالمقابل السيئة الأساسية لهذه الطريقة كما نلاحظ أنه من أجل عرض حزمة 6 GHz فإنه يوجد عدد كبير نسبياً من الأنماط المحرضة، و بالتالي هناك صعوبة كبيرة للعزل الترددي لنمط هامس معين.

الجدول رقم (2): الترددات الطنينية و معامل النوعية الخارجي لمختلف الأنماط

no	النمط	اهتزازات حرة f(GHz)	اهتزازات قسرية f(GHz)	Qe
(1)	WE_{300}	19.96	20.279	5780
(2)	WH_{200}	20.24	20.596	735
(3)	WE_{210}	20.92	21. 096	2220
(4)	نمط طفيلي	/	21.693	>20000
(5)	WE_{400}	22.12	22.5393	9000
(6)	نمط طفيلي	/	22.616	>20000
(7)	نمط طفيلي	/	23.001	>20000
(8)	WH_{300}	23.42	23.850	560

مما سبق و من أجل حالتي التحريض فإنه كان لدينا نوعين من المشاكل إما صعوبة بالتحريض (الاقتران) أو أن عدد الأنماط المحرضة كبير. لذلك و لهذه الأسباب فإنه سنقوم باستخدام أنظمة تحريض غلى جوانب الجوف المعدني.

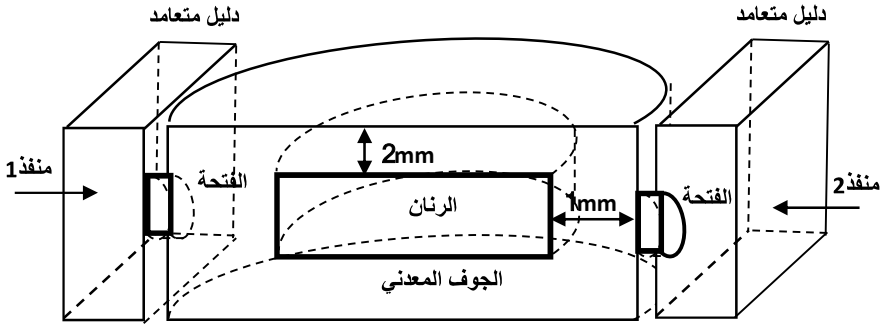
III – 3 – 2 – 2– التحريض عن طريق الأسطح الجانبية للجوف

من أجل انجاز هذه الدراسة نعتبر أن الاقتران بين نظام التحريض و الرنان العازل كهربائياً سيكون بواسطة دليل منتهي بفتحة.و بالتالي سنقوم بدراسة الحالتين: – 1 – حالة الفتحة ذات مقطع دائري –2 – حالة الفتحة ذات مقطع متعامد

III – 3 – 2 –2 – 1– التحريض باستخدام دليل موجة متعامد منتهي بفتحة ذات مقطع دائري

هنا البنية مكونة من جوف معدني ضمنه الرنان و دليل معدني له نفس الأبعاد السابقة $(10.7 \times 4.3)mm^2$ = a X b.

و هذا الدليل يتوضع بالقرب من الجدار الخارجي للجوف و يكون مقترن به بواسطة فتحة ذات مقطع دائري بنصف قطر 2mm و سماكة 0.5mm كما هو موضح بالشكل 14



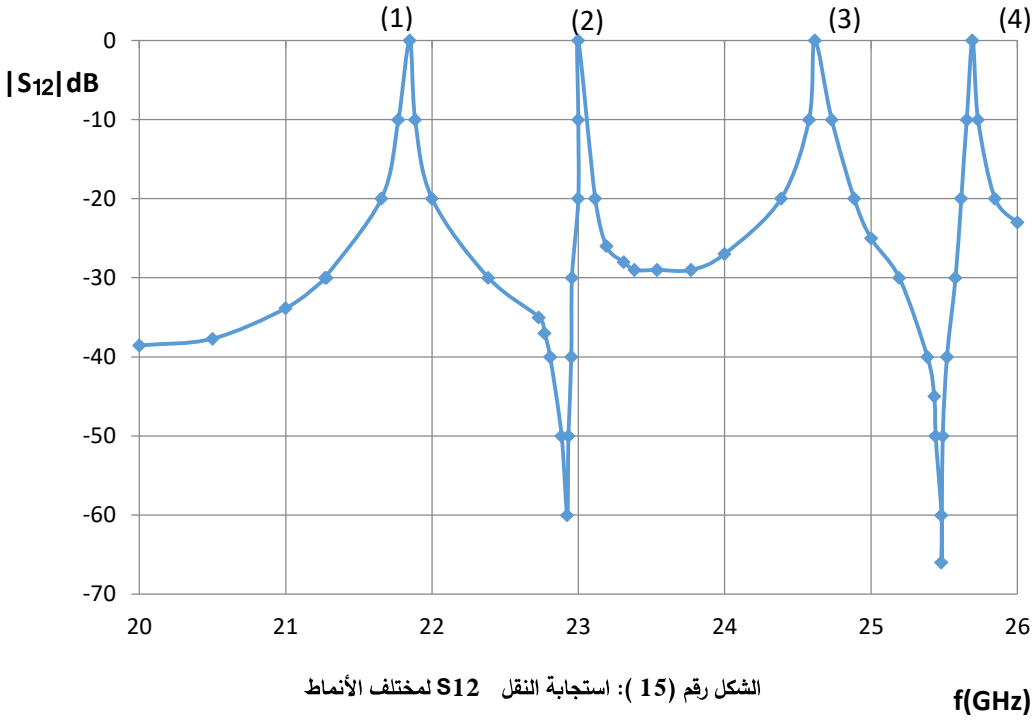
الشكل رقم (14): تحريض رنان عازل كهربائياً بواسطة أدلة موجة ذات مقطع متعامد متموضعة بجانبي الجوف

في هذه البنية الأسطح العلوية و السفلية للجوف المعدني تبعد 2mm عن الرنان بينما الجدران الجانبية للجوف تبعد 1mm عن الرنان.

من ناحية ثانية الأدلة المتعامدة تكون موجهه بحيث يدخل الحقل الكهربائي E وفقاً للمحور Z للرنان، و بالتالي الأنماط المحرضة بالرنان ستكون من النوع WH (الأنماط التي لها مركبة كهربائية محورية).

و من جهة أخرى ، إن انجاز الدراسة بواسطة طريقة العناصر المنتهية سيكون على ربع البنية و ذلك بسبب التناظرات الهندسية للبنية، و هذا ما يخفض كثيراً من زمن الحساب.

الشكل 15 يبين تغيرات معامل النقل |S12|dB كتابع للتردد من أجل مختلف الأنماط



الشكل رقم (15): استجابة النقل S12 لمختلف الأنماط

من هذه المنحنيات نلاحظ أن عدد الأنماط المحرضة بهذه البنية قد انخفض كثيرا مقارنة بالسابق. و من ناحية و كالسابق و لمعرفة تأثير التحريض على تردد طنين الأنماط، فإنه تم حساب معامل النوعية الخارجي Q_e،و كذلك فقد قمنا بعملية مقارنة بين الترددات الطنينية لمختلف الأنماط و ذلك من أجل حالتي الاهتزازات (الحرة و القسرية). كل ذلك موضح بالجدول3 .

الجدول 3 : الترددات الطنينية و معامل النوعية الخارجي لمختلف الأنماط

no	النمط	اهتزازات حرة f(GHz)	اهتزازات قسرية f(GHz)	Qe
(1)	WH_{200}	21.90	21.847	1210
(2)	نمط طفيلي	/	23.005	5120
(3)	WH_{300}	24.57	24. 616	1174
(4)	نمط طفيلي	/	25.693	2570

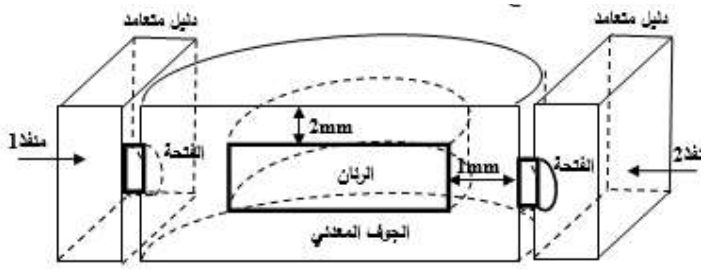
و هكذا نلاحظ أنه ضمن حزمة الترددات من 20 – 26GHz فإن الأنماط WHn00 هي الوحيدة التي تحرض في هذه البنية، و لكن معاملاتها النوعية الخارجية مرتفعة قليلاً،و من ناحية ثانية نلاحظ و بشكل واضح أن كل الأنماط معزولة ترددياً عن بعضها بشكل جيد، و هذا ما يسهل استخدامها أكثر من الحالات السابقة.

و كالسابق و انطلاقاً من النتائج التي حصلنا عليها و المبينة بالجدول3 فإن الترددات بالاهتزازات الحرة و القسرية قريبة جداً جداً من بعضها، و بالتالي نظام التحريض المستخدم يشوش قليلاً جداً جداً على الأنماط. أما بالنسبة للأنماط الطفيلية فقد كانت موجودة و التي من الصعب تحديدها، و لكن تردداتهم بعيدة بشكل كافي عن ترددات الأنماط الهامسة.

لزيادة الاقتران فإنه يجب أن نخفض سماكة الفتحة و تقريب جدران الجوف من الرنان، و لكن للأسف تنفيذ ذلك سيكون من الأمور الصعبة للغاية، و العقبة الأخرى عند تصغير المسافة بين الجوف و الرنان و أن الجوف سيشوش على عمل الأنماط الهامسة. لذلك سوف نعدل شكل الفتحة من دائرية إلى متعامدة.

III – 3 – 2 – 2 – 2- التحريض باستخدام دليل موجة متعامد منتهي بفتحة ذات مقطع متعامد

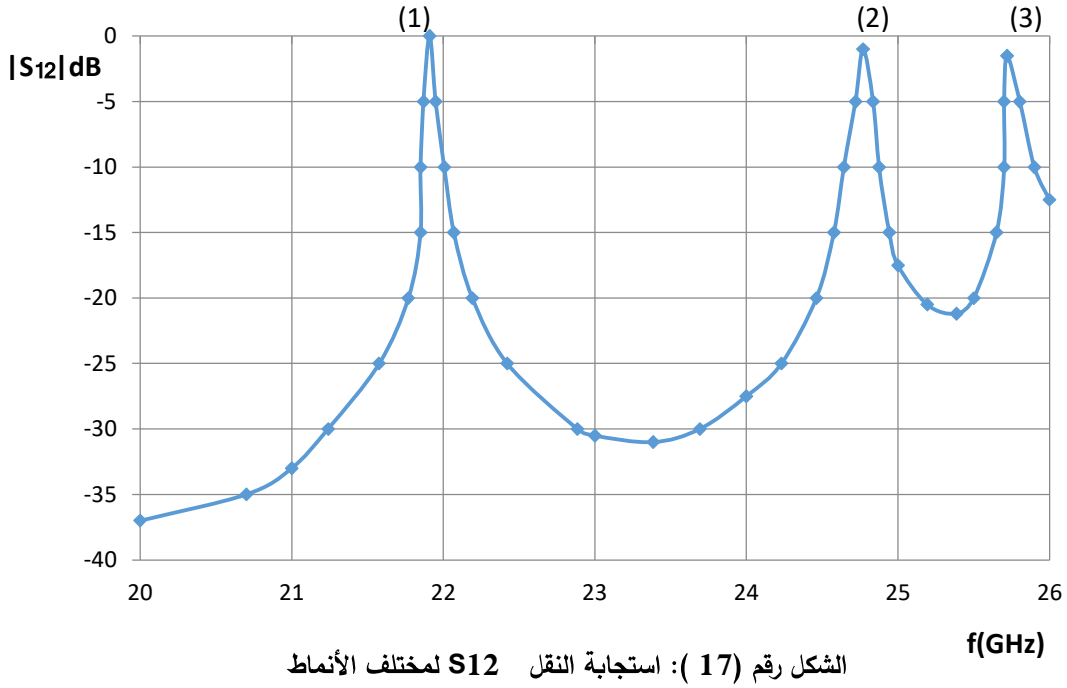
لقد درسنا نفس البنية السابقة و لكن بغد استبدال الفتحة ذات المقطع الدائري بفتحة ذات مقطع متعامد متوضعة بنفس اتجاه الدليل المتعامد كما هو مبين بالشكل 16 .



الشكل رقم (16) : تحريض رنان عازل كهربائياً بواسطة أدلة موجة ذات مقطع متعامد متموضعة بجانبي الجوف

كالسابق إن الأدلة المتعامدة تكون موجهه بحيث يدخل الحقل الكهربائي E وفقاً للمحور Z للرنان، و بالتالي أيضاً الأنماط المحرضة بالرنان ستكون من النوع WH (الأنماط التي لها مركبة كهربائية محورية).

ميزة هذه البنية أنه يمكننا استخدام الفتحة بأبعاد أكبر، لأنه في الفتحة ذات المقطع الدائري فإن نصف القطر يجب أن يكون أصغر من البعد الأصغري للدليل المعدني. في حالتنا هنا أخذنا فتحة لها طول مساوي لقطر الفتحة الدائرية السابقة أي 4mm و العرض هو نصف الطول أي 2mm .و من جهة أخرى ، و كما سبق فإن انجاز الدراسة بواسطة طريقة العناصر المنتهية سيكون على ربع البنية و ذلك بسبب التناظرات الهندسية للبنية، و هذا ما يخفض كثيراً من زمن الحساب. الشكل 17 يبين تغيرات معامل النقل |S12|dB كتابع للتردد من أجل مختلف الأنماط.



الشكل رقم (17): استجابة النقل S12 لمختلف الأنماط

و كالسابق فقد تم حساب معامل النوعية الخارجي Q_e لمختلف الأنماط كما هو مبين بالجدول 4

الجدول 4 : الترددات الطنينية و معامل النوعية الخارجي لمختلف الأنماط

no	النمط	اهتزازات حرة f(GHz)	اهتزازات قسرية f(GHz)	Qe
(1)	WH_{200}	21.90	21.91	1000
(2)	WH_{300}	24.57	24. 77	890
(3)	نمط طفيلي	/	25.72	920

من هذه النتائج أنه نحصل تقريباً على نفس الترددات الطنينية و بالتالي يمكن أن نستنتج أن شكل الفتحة لا يشوش على تردد طنين الأنماط و لكن معامل النوعية الخارجي أقل منه في حالة الفتحة الدائرية. و كذلك كالسابق نلاحظ أن الأنماط الهامسة المنتشرة بهذه البنية تكون معزولة عن بعضها ترددياً. كل ذلك يسهل عملية تحريض الأنماط الهامسة . ومن ناحية ثانية، يمكننا أن نلاحظ أن هذه البنية أكثر ملاءمةً لتحريض الأنماط WHn00 و أنه ضمن الحزمة الترددية المعتبرة تقريباً لا يوجد أنماط طفيلية نشوش على الأنماط الرنانة.

IV – مناقشة النتائج و التوصيات

لقد تمكنا من خلال هذا البحث من:

1 – القيام بتحليل مفصل للعديد من أنظمة التحريض للأنماط الهامسة الممكن انتشارها ضمن الرنانات العازلة كهربائيا و ذلك بالاعتماد على إحدى برامج مكتبة Modulef و هي طريقة العناصر المنتهية ثلاثية الأبعاد 3D بالاهتزازات القسرية و الحرة. و ذلك بعد أن قمنا بتقديم سريع لمبدأ حساب كلاً من معامل الاقتران دخل – خرج و معامل النوعية الخارجي.

2 – التحديد الدقيق للبارامترات الكهرومغناطيسية (مركبات و توزع الحقول الكهرومغناطيسية التي من خلالها حددنا هوية النمط – الترددات الطنينية للأنماط – معامل الاقتران (النقل) – معامل النوعية الخارجي) لبنى مختلفة برنان عازل كهربائياً موجود ضمن جوف معدني، محرض لنشر الأنماط الهامسة و ذلك بواسطة أنظمة تحريض مختلفة.

و بالتالي هذه الدراسة ستسمح لنا باختيار نظام التحريض المناسب للبنية الرنانة المراد تنفيذها، فمثلاً من أجل تنفيذ مرشح فإنه يجب أن نختار بنى تسمح بالحصول على معامل نوعية خارجي Q_e منخفض، بينما من أجل تنفيذ الهزازات فإنه يتوجب علينا استخدام البنى التي منها معامل النوعية الخارجي Q_e عالي نسبياً. من ناحية ثانية، هذه الدراسة ستحدد لنا أي البنى بنظام تحريضها سيكون لدينا عزل كبير أو صغير بين الأنماط الرنانة، وبأيها سيكون لدينا عدد كبير أو صغير من الأنماط الطفيلية.

ختاماً هذه الدراسة وضعت بين أيدينا بنى رنانة بأنظمة تحريض مختلفة التي ستسمح لنا باختيار البنية المناسبة للتطبيق المناسب في تصميم الدارات المتكاملة الغير فعالة الميكروية مثل: موزعات الاستطاعة Combinor of puissance ، المرشحات Filters كحالتنا– القارنات الاتجاهية Directing Couplers، الهزازات Oscillators، .... الممكن استخدامها في مجال الاتصالات الحديثة.

المراجع العلمية

[1]-Combes P.F. , 1996- Microondes : Lignes, Guides et Cavites. Dunod,ISBN 210002840 5 Paris

[2]- Combes P.F. , 1998- Circuits Passifs, Propgtion, Antennes. Dunod,ISBN Paris

[3]- Badev A., Nov. 2008, Matériaux diélectriques à faibles Pertes utilisés comme résonateurs et filtres dans les circuits micro-ondes, Thèse de doctorat université Toulouse (France).

[4]- Kajfez D.and Guillon P., 1986, Cds. Dielectric Resonators, Artech House Books .

[5]-Binsangou,V., 1999- These n°6-99 Limoges, France

[6]- Zuhair A. Tayyeb, 2011, Use of Cr-39 Polymer for Radiation Dosimetry - JKAU: Eng. Sci., Vol. 22 No.1, pp: 79-96 (2011 A.D. / 1432A.H.) Doi: 10.4197 / Eng. 22-1.5

[7]- Badev Alexandre , Nov. 2008, "Matériaux diélectriques à faibles Pertes utilisés comme résonateurs et filtres dans les circuits micro-ondes". Thèse de doctorat université de Toulouse(France).

[8] -Auxemery P., 2006- Contribution a l'étude des paramètres Electriques et Magnetiques des Résonateurs Diélectriques, Thèse de doctorat no d'ordre 34-06, France

[9]- Pozar D. M., 2005- Micowave Engineering 3rd ed. John Wiley

[10]- Deych L., Rubin J., 2008- Single-particle Rayleigh scattering of whispering modes: split or not to split?, Queens College-CUNY, NEMSS- Middletown

[11]- Michael L. Gorodetsky, Aleksey E. Fomin, 2005- Geometrical theory of whispering modes, Arxiv: physcs/0509226v1 Sep. 2005

[12]- Wei Hong, Xiaohan Sun, 2010- Micro-disks embedded microring for optical filter, JiangsuProvincial Center for Optical Sensors and Optical Communications Network Technology, Lab of Photonics and Optical Communications, Southeast University, #2 SiPaiLou, Nanjing 210096, China Article history: Received 4 July 2010 Accepted 15 December 2010 Available onlinexxx

[13]- Cros D. 1990- Oscillateurs et Combineurs de Puissance Millimétriques, Thèse de doctorat no d'ordre 44-1990, France.

[14]- Michael L. Gorodetsky, Aleksey E. Fomin, 2005- Geometrical theory of whispering gallery modes, arxiv:Physics/0509226v1/ Physics Optics.

[15]- Sacha Bergeron, 2010, Microcavités diélectriques circulaires et applications,Mémoire du Maitrise ES Sciences Appliquées, Ecole polytechnique de Montréal, Univ. de Montréal

[16]- A. B. Matsko, A. A. Savchenkov, D. Strekalov, V. S. Ilchenko, and L. Maleki, 2005, Review of Applications of Whispering-Gallery Mode Resonators in Photonics and Nonlinear Optics, IPN Progress Report 42-162, August 15, 2005

[17]- Mher Ghulinyan, Alessandro Pitanti, Georg Pucker and Lorenzo Pavesi , 2009, Whispering-gallery mode micro-kylix resonators, Optical Society of America

[18]- Jean-Michel Le Floch, 2007, Modélisation de nouveaux résonateurs diélectriques à forts coefficients de qualité pour des applications de métrologie, These n°4-2007 Limoges, France

[19]- S. Arnold, D. Keng, S. I. Shopova, S. Holler, W. Zurawsky, and F. Vollmer, Whispering gallery mode carousel – a photonic mechanism for enhanced nanoparticle detection in biosensing, 2009, Optical Society of America

[20]- Samiha Mekerta, 2011, Modélisation électromagnétique de structures microondes planaires à résonateurs diélectriques, application au filtrage microonde, « Nature & Technologie ». n° 05/Juin 2011. Pages 17 à 25.

[21]- A. Mazzei et al,2007, "Controlled Coupling of Counterpropagating Whispering-Gallery Modes by a Single Rayleigh Scatterer: A Classical Problem in a Quantum Optical Light," Phys. Rev. Lett., vol. 99, art. no. 173603, 2007.

[22]- Wojciech ´Smigaj, 2011, Conception et modélisation numérique de composants optiques en nanophotonique intégrée, Thèse n°1-2011 Université Paul Cézanne (Aix-Marseille III), France

[23]-SCHILDERS,W.H.A,TER MATEN, E.J.W., 2005- Special Volume: Numerical Methods in Electromagnetics , London, UK.

[24]-MATTHEW, N.O., 2000 - Numerical Techniques In Electromagnetics. ISBN, Second Edition-New York, 750p

[25]-MATTHEW, N.O., 2001- Elements Of Electromagnetic, ISBN, Third Edition-New York, 765p.