- - - - مجلة علوم الرافدين، المجلد 19، العدد 3، ص 182-192، 2008 - - - -

دراسة تأثير نسب الخلط للمواد الفعالة على منحني الاستجابة الترددية لمواد RAM

عمار ياسين الجبوري فارس بشير صوفيا

قسم الفيزياء

كلية العلوم

جامعة الموصل

(تاريخ الاستلام 2008/3/6 ؛ تاريخ القبول 2008/5/26)

الملخص

تم في هذا البحث دراسة منحنيات الاستجابة الترددية ضمن نطاق الموجات المايكروية (8-12.4)GHz للمواد الماصة (RAM) المتكونة من خلائط (فيرايت – حديد) مع الايبوكسي والمصلب لنسب خلط مختلفة لبيان تأثير نسبة الخلط على كل من التردد الذي يعطي أقصى امتصاصية وكذلك عرض النطاق باستخدام جهاز قياس الموجة الواقفة SWR، تم التوصل إلى أن كل من التردد عند أقصى امتصاص f(max) وعرض نطاق الحزمة تزداد بشكل عام مع زيادة نسبة الفيرايت وتقليل نسبة الحديد في المزيج.

Study of the Effect Ratio Mixture for Active Material on the Frequency Response Curve for RAM Material

Ammar Y. Al-Jubory Faris B. Sofiya

Department of Physics

College of Science

Mosul University

ABSTRACT

Frequency response curves in the microwave band (8-12.4)GHz of absorbing materials (RAM) involving (Ferrite–Iron) with Epoxy and Hardener mixtures are studied. The aim is to provide experimental data of the effect of the mixing ratio on both the frequency at which the maximum absorption takes place and the band width, the standing wave equipment SWR is used in this work, it is found that both maximum absorption frequency [f(max)] and band width tend to increase with increasing ferrite ratio and decrease iron ratio in the mixture.

المقدمة

إن المواد الماصة للموجات الرادارية Radar Absorbing Materials (RAM) هي مواد مركبة لها القدرة على امتصاص طاقة المجالات الكهرومغناطيسية المارة من خلالها وبالتالي اختزال الموجات المنعكسة من الهدف. وقد تتضمن هذه المواد اكاسيد معدنية فيرومغناطيسية لها نفاذيه معقدة جزئها الخيالي اكبر من جزئها الحقيقي وتتضمن فيرايت مكعب هو (MFe_2O_4) حيث ان (M) هي واحد أو أكثر من الايونات الثنائية التكافؤ من (نيكل، منغنيز، نحاس، كوبلت، كادميوم، زنك)، ان وضع طبقة من الاوكسيد المعدني الفيرومغناطيسي على سطح الموصل العاكس تؤدي إلى اختراق كل الطاقة الساقطة للفيرايت والانتشار فيه (Grimes *et al.*, 1976). وتمكن الباحثان (Forster and Vandebilt, 1977) من تحضير طلاء من طبقتين يعمل على حجب الموجات الدقيقة، تتكون الطبقة الأولى من مادة رابطة بلاستيكية مشبعة بنسبة %(40-93) من جسيمات معدنية كالالمنيوم او اوكسيد الايريديوم أو القصدير أو الرصاص أو البزموث والحديد الكاربوني، في حين تتكون الطبقة الثانية من %(40-93) من اكاسيد المعادن كاوكسيد الالمنيوم أو اوكسيد الايريديوم أو اوكسيد القصدير أو اوكسيد الرصاص أو اوكسيد البزموث أو اوكسيد الحديد، وان السمك الكلي للطبقتين قد بلغ بحدودmm(0.3-2.5). وقام (Ishino, 1978) بتحضير طلاءات تمنع انعكاس الموجات الكهرومغناطيسية تتكون من مسحوق الفيرايت ومسحوق الحديد التي توضع أو تنشر في مركبات عضوية ذات وزن جزيئي عالي ومن ثم تذاب في مذيبات عضوية، وان سمك النماذج المحضرة mm(1,1.5,2,2.5,3,3.5,4) التي تم طلاءها على صفائح من الحديد وقياس امتصاصيتها عند الترددات GHz(7,8,9,10,11). وتمكن الباحثان(Amin and James, 1981) من تصنيع طبقات خفيفة متعددة ذات أساس من الفيرايت السداسي (Hexagonal Ferrites) مصنعة بتقنيات خاصة وذات أبعاد معينة تستخدم لامتصاص مديات واسعة من الموجات المايكروية وقد أعطت هذه الطبقات المصنعة خسارة طاقة انعكاس اكبر من (10) ديسبل ضمن الترددات GHz(5-20). وقام الباحثان (Solc and Robert, 1983) بتحضير مركبات ذات كثافة واطئة ماصة للإشعاع الكهرومغناطيسي والتي تتضمن دقائق ذات حجم معين لامتصاص هذه الأشعة مثل المركب (Fe_2O_4) ودقائق صغيرة الحجم لتوهين الأشعة الكهرومغناطيسية مثل الحديد الكاربوني (Carbonyl Iron) التي تنشر في نسيج عازل مثل (Styrene/butyl acrylate copolymer) ليعطي امتصاص محسنا للاشعه. ووضح الباحث (Ruppin, 1986) ان سبب قابلية الفيرايت لامتصاص الموجات الراداريه لا ترجع فقط للخسارة التخلفية (Hystersis Loss) وإنما هناك آليات تخميد أخرى إضافة إلى الهسترة تتضمن الجزء الخيالي (ϵ'') من السماحية المعقدة ($\epsilon = \epsilon' - j\epsilon''$) وكذلك الجزء الخيالي ($\mu''$) للنفاذية المعقدة ($\mu = \mu' - j\mu''$) واللذان يرتبطان بقوة بمقدار التردد حيث لاحظ أن امتصاص طاقة الموجات الرادارية داخل الفيرايت يتناسب طرديا مع $[\omega j(\varepsilon\mu)^{1/2}]$ لهذه المادة. وتمكن عدد من الباحثين من ابتكار مواد ماصة للموجات الدقيقة تتكون من مواد بوليميرية بلاستيكية حرارية لاصقة وعازلة مثل البولي اميد والبولي

بروبلين والايبوكسي بحيث تمتلك هذه المواد خاصية عدم إمكانية إعادة تـذويبها لإعـادة التشـكيل بعـد تصنيعها، وتحمل هذه المواد بمواد مغناطيسية تضم اوكسيد الحديديك أو اوكسيد الحديديك الممتز للكوبلت أو الحديد أو النيكل أو الكوبلت أو سبائكهم وتكون هذه المواد أو الاكاسيد على شكل شعيـرات أو خيوط معدنيـة أبريـة معـدل أطوالهـا بحـدود (10 micron) أو اقـل وأقطارهـا بحـدود (0.1 micron) (Johnson *et al.*, 1993). وتمكن (صوفيا، 1999) من تحضير طلاءات ماصة للموجات الدقيقة معتمـدا على استخدام الفيرايت ($MnZnFe_2O_4$) فضـلا عـن بعض الاكـاسيـد الأخرى ومـ ـادة الايبوكسـي كمـادة رابطـة، وقـد لاحـظ انه عـند التـردد GHz(10.5) يمكـن الحصول علـى امتصـ ـاص للموجة بنسبـة (98%) إذا ما صمـم الطـلاء بسمـك يتـ ـراوح بيـ ـن mm(2-3.1). واستطـ ـاع البـاحثون (Wu Mz *et al.*, 2000) من إنتاج مـواد مركـبة ذات أسـاس من مـادة الايبوكسي مغمور فيها ألياف الحديد بأقطار اقل من (2μm) مصنعه بطريقة (Bandle - drawing method) وان النتـ ـائج المستحصلة بينت أن هـذه المـواد تظهـر قيمـا عـالية مـن (μ ً و μ َ) ضـمن مـدى التـرددات GHz(2-18) وكذلك قيم (ϵ ً و ϵ َ) تـزداد بزيـادة تركيـز الليـف داخـل المـادة الأسـاس. وتمكـن (الجبوري، 2003) من تحضير طلاءات ماصة للموجات الكهرومغناطيسـية فـي منطقـة الحزمـة X بالاعتماد على نتائج سابقة في محاولة تقليل الكثافة السطحية والسمك لنماذج الطلاء مـع الحفـاظ علـى مستوى التوهين أو زيادته، وقد توصل إلى تقليل الكثافة السطحية بنسبة (11%) والسمك بنسبة(21%) مع الحفاظ على مستوى التوهين بشكل جيد، فضلا عن دراسة مدى تأثر النماذج التي حضـرها بـالظروف البيئية والتي تشمل درجات الحرارة (العالية والواطئة) والرطوبة وبعض المواد المذيبة ووجد أنها تتمـع بمقاومة عالية للظروف المذكورة. وحضرت (الطائي، 2004) طلاءات ماصة للموجات الدقيقـة (3cm) باستخدام بعض الاكاسيد المعدنية والكاربون مع بعض المواد الرابطة، وقد وجدت ان الامتصاصية تزداد مع زيادة مقدار وزن الخليط لوحدة المساحة في المدى gm/cm^3 (0.14-0.28) وكذلك بزيادة سمك الطلاء في المدى mm(1-2.1). ودرست (عكونة، 2007) علاقة معامل التوهين للموجات المايكروويـة ضـمن الحزمة X مع الحجوم الحبيبية للمواد الفعالة التـي تضـمنت مسـحوق الحديـد ومسـحوق الفيرايـت ($MnFe_2O_4$) وخلائطهما بالإضافة إلى مادة الايبوكسي البوليميرية. وأظهرت النتـائج ان هنـاك مـدى معيـن للحجـوم الحبيبيـة ولترددات معينـة يعطي نسبة توهيـن أعلى وأكثر اسـتقرارا، ففـي حالـة الحديد كانت مدى الحجوم μm (106.5-500) عند الترددات GHz(9-10) هي الأفضل وفي حالة الفيرايت كانت مدى الحجوم μm (200-780) عند الترددات GHz(9.5-11).

الجزء النظري

إن الموجات الواقفة هي عبارة عن موجات تنتج من التداخل بين موجتين متقدمتين لهما نفس السعة والتردد وتسيران باتجاهين متعاكسين (حسون، 1986)، وان نسبة الموجة الواقفة يمكن التعبير عنها بأنها النسبة بين القيمة العظمى للفولتية إلى القيمة الصغرى للفولتية داخل خط النقل لدليل الموجة (Lance,1964)، ويعبر عنها بالمعادلة الآتية (Connor, 1972):

$$SWR = |V_{max}| / |V_{min}| \quad \text{.....(1)}$$

حيث إن SWR تمثل نسبة الموجة الواقفة، V_{max} تمثل القراءة القصوى للمقياس، V_{min} تمثل القراءة الدنيا أو الصغرى للمقياس والتي يتم معايرتها عند القيمة (1) وبهذا تصبح المعادلة بالشكل الآتي:

$$SWR = |V_{max}| \quad \text{.....(2)}$$

وان قيمة معامل الانعكاس ρ يمكن حسابه من (Connor, 1972):

$$|\rho| = (SWR-1) / (SWR+1) \quad \text{.....(3)}$$

وبما انه يوجد ثلاثة معاملات للموجة (القيسي، 2002)

$$\rho + T + \alpha = 1 \quad \text{.....(4)}$$

حيث T هو معامل النفاذية و α معامل الامتصاص، وحيث أن معامل النفاذية T = صفر لأنه لدينا سطح عاكس تام يراد طلاءه (قطعة ألمنيوم العاكسة) فلا توجد موجة نافذة وإنما توجد موجة منعكسة وموجة ممتصة وبذلك فان معامل الامتصاص α يمكن الحصول عليه من

$$\alpha = (1-\rho) \quad \text{.....(5)}$$

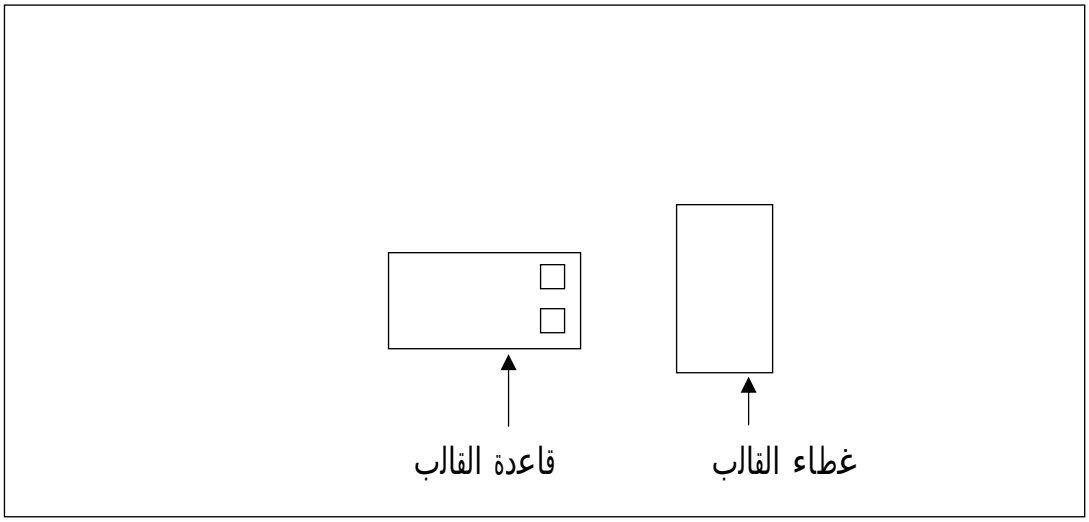
ويمكن الحصول على النسبة المئوية للامتصاص باستخدام العلاقة الآتية:

$$Absorption(A\%) = \alpha * 100\ \% \quad \text{.....(6)}$$

الجزء العملي:

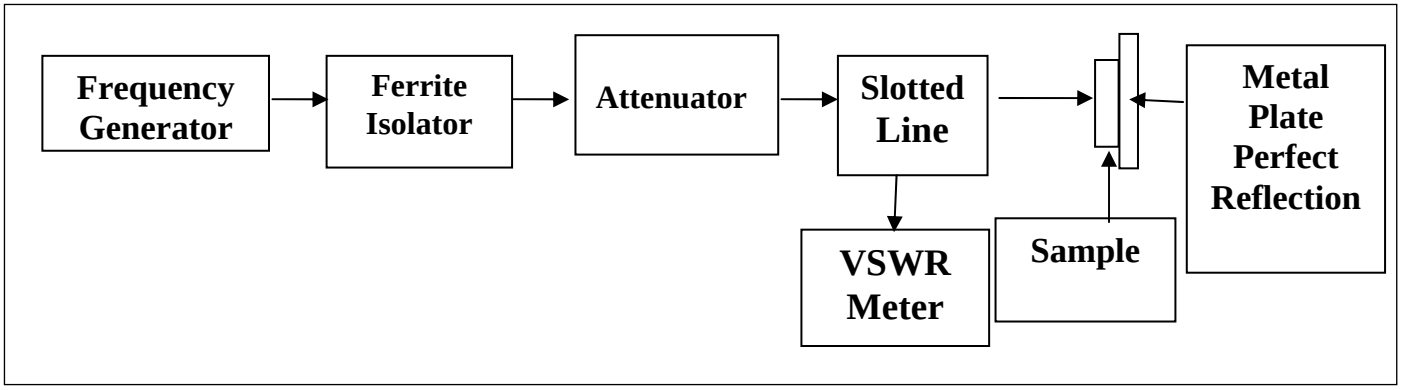
*. المواد والأجهزة المستخدمة:

تم تهيئة الكميات المطلوبة من مسحوق الفيرايت ($MnFe_2O_4$) ومسحوق الحديد بالإضافة إلى استخدام صمغ الايبوكسي كمادة رابطة مع المصلب الحراري الخاص به وبنسب وزنية موضحة في الجدول (1). وتم تحضير تسعة عينات من مساحيق (فيرايت – حديد) بعد خلطها بصورة جيدة مع صمغ الايبوكسي والمصلب الحراري وبنسب مختلفة وبابعاد (5x5)cm، ثم توضع في القالب المعدني المصنع في المختبر والموضح في الشكل (1) بحيث يمكننا التحكم في سمك العينة. كما تم قياس سمك العينة المصنعة باستخدام المايكروميتر ومن اجل الدقة تم إجراء القياس في عدة مناطق من النموذج وحساب المعدل واخذ الانحراف المعياري (Standard deviation) لها، بعد تحضير العينات وقياس سمكها تم لصقها على صفائح من الألمنيوم كقاعدة لتثبيتها.



الشكل 1: القالب المعدني

الامتصاصية تم قياسها باستخدام منظومة قياس نسبة الموجة الواقفة SWR والموضح رسمها التخطيطي في الشكل الآتي:



الشكل 2: مخطط ترتيب منظومة قياس نسبة الموجة الواقفة

الجدول 1: الأوزان والنسب المئوية والسمك والانحراف المعياري للنماذج المحضرة على تسعة مراحل لكل من مسحوق الفيرايت ومسحوق الحديد وصمغ الايبوكسي والمصلب الحراري

Sample no.	Ferrite		Iron		Epoxy gm	Hardener gm	Thickness (mm)	Standard Deviation%
	(gm)	%	gm	%				
1	0.525	10	4.725	90	7	1.2	2.15	1.67
2	1.05	20	4.2	80	7	1.2	2.25	1.72
3	1.575	30	3.675	70	7	1.2	2.17	1.76
4	2.1	40	3.15	60	7	1.2	2.29	1.43
5	2.625	50	2.625	50	7	1.2	2.30	3.06
6	3.15	60	2.1	40	7	1.2	2.32	1.75
7	3.675	70	1.575	30	7	1.2	2.18	2.39
8	4.2	80	1.05	20	7	1.2	2.31	2.93
9	4.725	90	0.525	10	7	1.2	2.20	2.04

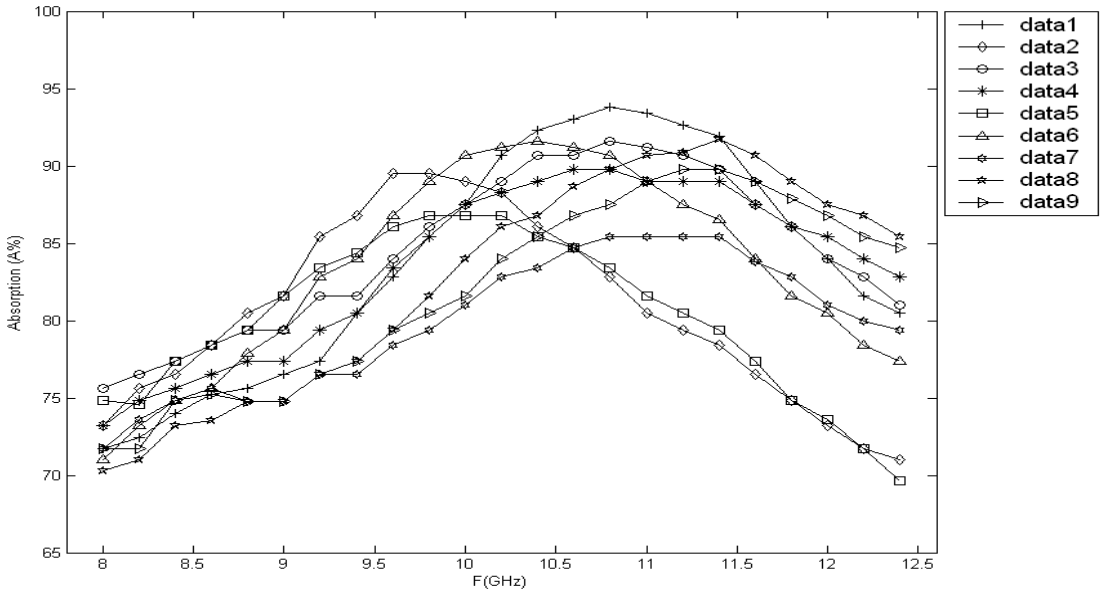
***. معايرة المنظومة**

تمت معايرة المنظومة من خلال تثبيت اللوح المعدني في الموقع الخاص به في المنظومة عند فتحة دليل الموجة أي بصورة منطبقة على الفتحة الصغيرة لدليل الموجة ومن ثم تسليط موجة مايكروويف ذات تردد (8GHz) وبعد ذلك يتم تحريك المجس على طول دليل الموجة ذي الحز مع متابعة مؤشر مقياس SWR المرتبط بالمجس بهدف إيجاد أقصى انحراف للمؤشر ($V_{max} = \infty$) على مقياس SWR، ومن ثم معايرة مؤشر مقياس SWR عند القيمة ($V_{min} = 1$) على تدريج مقياس SWR بواسطة التحكم بمفتاح ربح الجهاز.

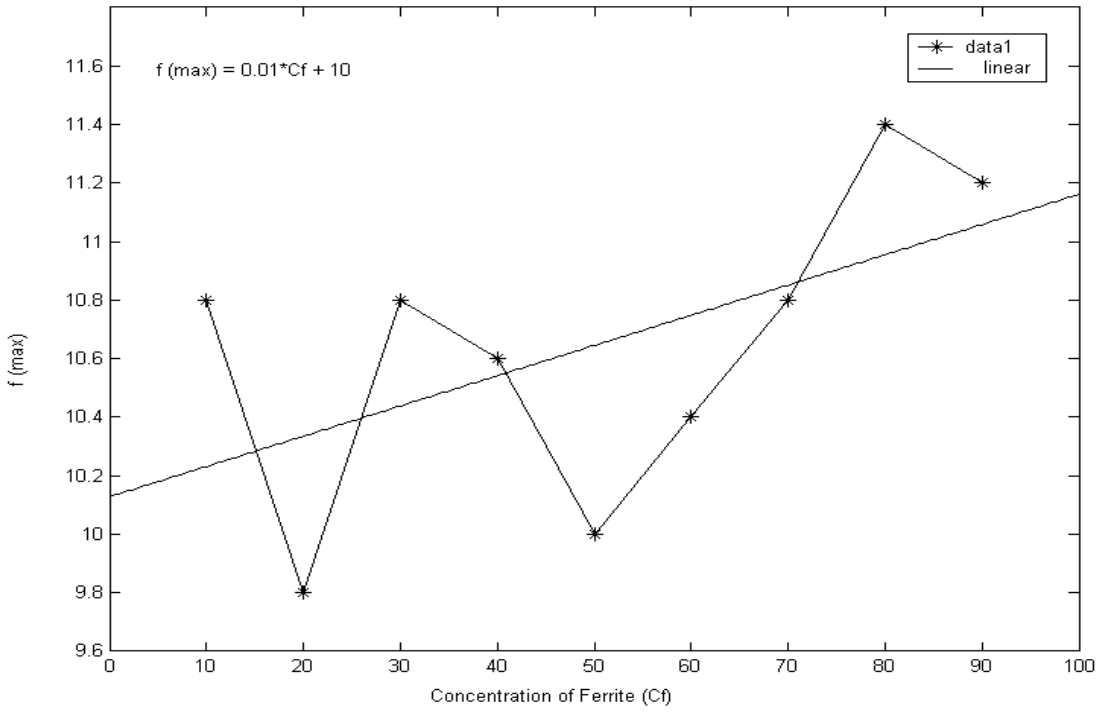
***. قياسات VSWR وامتصاصية نماذج الطلاء**

بعد أن يتم لصق نموذج الطلاء على قطعة الالمنيوم التي اعتبرت على أنها عاكس (100%) ومعايرة المنظومة عند القيمة ($V_{min} = 1$) يوضع نموذج الطلاء مباشرة على الفتحة الصغيرة لدليل الموجة ويوضع خلفه اللوح المعدني بصورة مباشرة (متطابقة) من اجل تثبيت النموذج ولتحقيق سقوط مباشر للموجة ذات التردد 8)GHz)، وبعد ذلك يتم تحريك المجس على طول دليل الموجة ذي الحز ومتابعة مؤشر مقياس SWR المرتبط بالمجس بهدف إيجاد أقصى انحراف (V_{max}) للمؤشر على مقياس SWR داخل الدليل وتؤخذ القراءة مباشرة من تدريج مقياس SWR.

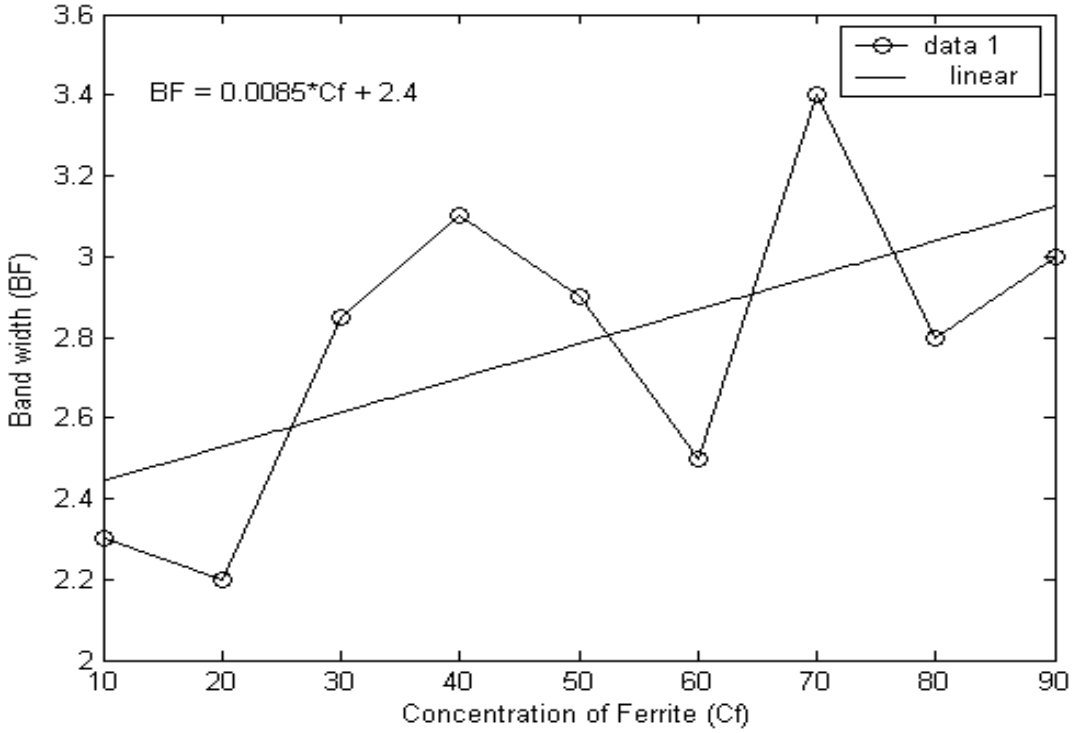
نعيد عملية المعايرة للوح المعدني ولنفس النموذج وبترددات 12.4)GHz,.....8.2) وبفاصل ترددي مقداره 0.2)GHz) لكل قراءة ولكافة نماذج الطلاء المحضرة.إن الاستجابة الترددية لقيم الامتصاصية المقاسة لكل النماذج تم حسابها باستخدام المعادلات (1-6) وموضحة في الشكل (3).



الشكل 3: الاستجابة الترددية لقيم الامتصاصية لكل النماذج المحضرة



الشكل 4: العلاقة بين أقصى تردد لأقصى امتصاص مع تركيز الفيرايت



الشكل 5: العلاقة بين عرض النطاق الترددي (BF) لكل النماذج مع تركيز الفيرايت (Cf)

النتائج والمناقشة

لأجل تقييم تأثير كل من نسب الفيرايت والحديد تم تحليل العينات ضمن الشكل (3) بشكل منفرد لكل منحني ولأجل تحديد كميتين مهمتين قدر تعلق الأمر بعملية الامتصاص وهما التردد الذي يحصل عنـده أعلى امتصاص وعرض نطاق الحزمة الترددية الأفضل لكل تركيز ونظرا لكون الامتصاصية هي عالية أصلا لجميع النماذج المحضرة ولجميع الترددات فانه من غير الممكن اعتماد انخفاض التـوهين بنسـبة (3dB) كأساس تحديد عرض النطاق لذلك تم اعتماد الفحص والإحصاء التجريبـي للنمـاذج المحضـرة وأخذت قيم الامتصاصية مع الترددات منفردة ثم مجتمعه واستخلاص منها قيم إحصائية للنتائج حيث لوحظ أن في الشكل (3) يمكن تحديد أفضل عـرض نطـاق لأغلـب النمـاذج بـين GHz(10-11.5) أي أن (ΔF=1.5GHz) يلاحظ فيه أعلى قيم امتصاصية بين (84%-92%) وهذه القيم لا باس بها كعرض نطاق جيد للامتصاصية مع عدم إغفال شذوذ نموذج أو نموذجين من النماذج المحضرة. ومن الشكل (3) أيضـا يمكن ملاحظة انه عندما تكون نسبة الفيرايت (20%) ونسبة الحديد (80%) في العينات المحضرة أظهرت العينة امتصاصية جيدة واكبر من(85%) فـي التـرددات الاوطـأ مـن GHz(10.5) أي تقريبـا بـين GHz(9.2-10.4) فيما أظهرت النسب الأخرى امتصاصية اكبر في المـدى التـرددي GHz(10-11.5) عندما كانت نسب الفيرايت أعلى من نسب الحديد، ولكن عند تسـاوي نسـبة الفيرايـت والحديـد أي أن (50%) لكل منهما كانت الامتصاصية أوطأ من كلا الحالتين السابقتين ولم تتجاوز (87%) ضمن المـدى

الترددي 9.2-10.8)GHz) وقد يعزى ذلك إلى الدور الكبير لكلا المادتين (الفيرايت-الحديد) على قابليـة الامتصاصية على أن تتفاوت نسبهما حيث أن كلا المادتين تبدي خسارة تخلفيـه تـرتبط بقيمـة التـردد المعرض له، كما أن الزيادة الحاصلة في امتصاصية الموجات بوجود الفيرايت تعزى كما اشرنا سابقا في المقدمة إلى أن الترابط القوي بين الجزء الخيالي من السماحية (ϵ'') المعقدة والنفاذية المعقـدة (μ'') مـع قيمة التردد داخل مسحوق الفيرايت بعلاقة طردية [$\omega j(\varepsilon\mu)^{1/2}$] للمادة حيث أن قيم التـردد التـي تحصـل عندها أعلى امتصاص كانت 10)GHz) وهي مقاربة للقيم التي يظهر الفيرايـت اكبـر قيمـة للهسـترة المغناطيسية أيضا كما جاء في أكثر البحوث والأدبيات فضلا عن وجود مسحوق الحديد ساعد في زيـادة قيم الامتصاصية ولكل النماذج وبمدى ترددي معقول مقداره 1.5)GHz).

ومن الشكل (4) وبمساعدة برنامج Matlab رسمت علاقة كانت شبه خطية يتوزع حولها تراكيـز مسحوق الفيرايت (Cf) عند الترددات العظمى [f(max)] التي تحصل عندها أفضـل امتصـاص وأيضـا يلاحظ شذوذ قيمتين أو أكثر يعتقد أن ذلك بسبب وجود أخطاء عملية ويظهر الشكل نمطـا فـي زيـادة [f(max)] مع زيادة تركيز الفيرايت في المزيج وان العلاقة المستحصله بعـد إجـراء عمليـة الموائمـة (fitting) هي من النوع:

$$f(max) = (0.01 * Cf + 10)$$

أما في الشكل (5) تم اعتماد انخفاض الامتصاص بنسبه (10%) عن القيمـة القصـوى كأسـاس لحساب عرض النطاق الترددي وبمساعدة برنامج Matlab رسمت علاقة شبه خطيه بين عرض النطـاق (BF) لتراكيز مسحوق الفيرايت (Cf) في النماذج المحضرة وكان توزيع القيم مقاربا بالتوزيع في الشكل (4) مع اختلافات بسيطة وقد يعزى ذلك إلى بعض الأخطاء التجريبية، ويظهر الشـكل (5) أن عـرض النطاق يزداد بصورة عامة مع زيادة تركيز الفيرايت وان العلاقة المستحصله بعد إجراء عملية الموائمـة (fitting) هي من النوع:

$$BF = (0.0085 * Cf + 2.4)$$

الاستنتاجات

1- إن قيم الترددات التي يحدث عندها أقصى امتصاص في خليط مساحيق (الفيرايت – حديد) هي بـين 10-11.5)GHz) كأفضل قيم للامتصاصية ويعتمد تغير تلك القيم على نسب الخلط للمساحيق.

2- إن قيم الامتصاصية لجميع النماذج المحضرة ولجميع الترددات كانت لا تقل عن (70%).

3- إن الاختلاف في قيم الامتصاصية لكافة النماذج المحضرة لم يزد عن ($\Delta A\% \approx 8\%$).

4- إن التباين القليل في السمك والذي لم يتجاوز (3.06%) لم يكن له تأثير ملحوظ علـى الامتصاصـية لجميع النماذج المحضرة وان هذا التباين هو نتيجة تحضير النماذج يدويا أثناء نشر مـزيج الطـلاء ضمن المساحة السطحية للقالب.

5- إن المعادلات شبه الخطية المستنتجة في الأشكال (5,4) تبين أن زيادة نسبة تركيز مسحوق الفيرايـت في الخليط تزيد من قيم تردد الامتصاصية وكذلك عرض حزمة الامتصاص.

المصادر العربية

الجبوري، عمار ياسين برجس، 2003. تحضير طلاءات ماصة للموجات الكهرومغناطيسية فـي منطقـة الحزمة X ، رسالة ماجستير، قسم الفيزياء، جامعة الموصل، الموصل، العراق.

القيسي، حسين كمر محمود، 2002. تحضير مواد ماصة للموجات الرادارية، رسـالة ماجسـتير، قسـم هندسة المواد، كلية الهندسة، جامعة بابل، العراق.

الطائي، ضمياء حسن، 2004. دراسة توهين الموجات الكهرومغناطيسية ذات التردد 10GHz عن سطح الاغشية البوليميرية المخضبة بالالكاسيد، رسالة ماجستير، قسم الفيزياء، كلية العلـوم، جامعـة الموصل، الموصل، العراق.

حسون، صبحي كمال، فرج، بتول حميد، 1986. الصوت والحركة الموجية، مديرية دار الكتب للطباعـة والنشر، جامعة الموصل.

صوفيا، فارس بشير، 1999. تحضير طلاءات ذات توهين عالي للموجات الراداريـة المنعكسـة عـن السطوح المعدنية، رسالة ماجستير، قسم الفيزياء، كلية العلوم، جامعـة الموصـل، الموصـل، العراق.

عكونة، حلا جورج شمعون، 2007. دراسة تأثير حجوم حبيبات الحديـد والفيرايـت علـى الخـواص الامتصاصية للسطوح الماصة للموجات الرادارية ضمن الحزمة X، رسـالة ماجسـتير، قسـم الفيزياء، كلية العلوم، جامعة الموصل، الموصل، العراق.

المصادر الأجنبية

Amin, M.B., and James, J..R., 1981, Techniques for Utilization of Hexagonal Ferrites in Radar Absorping, Part1 Broad Band Planer Coating. The Radio and Electronic Engineer. Vol. 51, No. 5, pp.209-218.

Connor, F.R., 1972, Wave Transmission. Edward Arnold, London, p31.

Forster, E.O., and Vanderbilt, B.M., 1977, Metal – Filled Plastic Material. United State Patent No. 4, 024, 318p.

Grimes, D.M.; Raymond, W.W.; Hach, R.J. and Walser, R.M., 1976, Magnetic Absorbers, United State Patent No. 3, 938, 152p.

Ishino, K., and Watanabe, T., 1978, Coating for Preventing Reflection of Electromagnetic Wave and coating Material for Forming Said Coating, United State Patent No.4,116, 906p.

Johnson, E.J; Boyer, III.; Chales, E.; Nielsen, E.j., and Minick, C.A.,1993, Microwave Radiation Absorbing Adhesive, United State Patent No.5, 189, 078p.

Lance, A.L.,1964, Introduction to Microwave Theory and Measurements. Mc Graw – Hill, USA, p34.

Ruppin, R., 1986, Use of Ferrite for Absorption of Electromagnetic Waves, IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, Vol. EMC-28, No. 2.

Solc, J., and Robert, F., 1983, Low Density, Electromagnetic Radiation Absorption Composition, United State Patent No. 4, 414, 339p.

Wu Mz.; He Hh.; Zhao Zs., and Yao X., 2000, Electromagnetic and Microwave Absorbing Properties of Iron Fiber-Epoxy resin Composites (Abstract), Journal of Physics D-Applied Physics. Vol. 33, No. 19.
http://www.iop.org