

تحضير ماصات رادارية متعددة الطبقات لفيراييت نوع $(\text{Ni}_{0.4} \text{Zn}_{0.6})_{1-x}(\text{Fe}_2\text{O}_3)_x$

ودراسة خواصها المغناطيسية والكهربائية

د. احمد رفيق عبدالمجيد

تحضير ماصات رادارية متعددة الطبقات لفيراييت نوع $(\text{Ni}_{0.4} \text{Zn}_{0.6})_{1-x}(\text{Fe}_2\text{O}_3)_x$
 ودراسة خواصها المغناطيسية والكهربائية

د. احمد رفيق عبدالمجيد

الخلاصة :-

لبناء ماصات رادارية متراكبة (احادية ومتعددة الطبقات) في النظام الترددي (8-12.5 GHz) يجب علينا اولاً دراسة خصائصها المغناطيسية والكهربائية وكذلك خصائص التوهين مثل قيم فقد الانعكاس وعرض النطاق الترددي الماص وسمك الماص الراداري وفي هذا البحث تم تحضير فيرايت النيكل زنك نوع $(\text{Zn}_{0.6} \text{Ni}_{0.4})_{1-x}(\text{Fe}_2\text{O}_3)_x$ بطريقة السيراميك التقليدية عند درجة تبليد (1300°C) لمدة عشرة ساعات لاستخدامها كمادة حشو في عدة بوليمرات كمواك متراكبة لبناء ماصات رادارية احادية ومتعددة الطبقات وباستخدام الدليل الموجي تم قياس خصائص التوهين لهذه الطبقات وتبين ان هذه المواد الفيراييتية تمتلك دورة توهين مقداره $(-29.4)\text{dB}$ عند التردد (11.8GHz) و (-20.8) عند التردد (11.4GHz) و $(-34.1)\text{dB}$ عند التردد $(10.2)\text{GHz}$ و $(-46.06)\text{dB}$ عند التردد 10 GHz وذلك حسب اختلاف القيم (x) وكذلك نوع المضيف (matrix) مثل الايبوكسي او البولي يورثين ولأجل زيادة عرض النطاق تم اضافة مسحوق اسود الكربون له وبنسب وزنية مختلفة وكذلك بناء ماصات متكونة من اربع طبقات وبسمك كلي لايتجاوز (4mm) لتغطية مديات النطاق الترددي بأكمله وبعرض نطاق (3.5GHz)

المفتاح: الفيراييت :- ماصات رادارية ، طريقة السيراميك، الخواص المغناطيسية والكهربائية

تحضير ماصات رادارية متعددة الطبقات لفيراييت نوع $(\text{Ni}_{0.4} \text{Zn}_{0.6})_{1-x}(\text{Fe}_2\text{O}_3)_{1+x}$

ودراسة خواصها المغناطيسية والكهربائية

د. احمد رفيق عبدالمجيد

PREPARATION OF Single and multilayer RAMs of $(\text{Ni}_{0.4} \text{Zn}_{0.6})_{1-x}(\text{Fe}_2\text{O}_3)_{1+x}$ Ferrite And studying Its Electrical And Magnetic Properties

Dr AHMED RAFEEQ.

ABSTRACTS

Composite RAM materials single and multi layer at x-Band frequencies (8-12.5GHz) were prepared by using ferrite of spindle type $(\text{Ni}_{0.4} \text{Zn}_{0.6})_{1-x}(\text{Fe}_2\text{O}_3)_{1+x}$ as a filler and resins as matrix. The attenuation properties of the used ferrite $(\text{Ni}_{0.4} \text{Zn}_{0.6})_{1-x}(\text{Fe}_2\text{O}_3)_{1+x}$ in our work such as reflection loss (-dB) and tangent loss $\tan \delta_\mu$, $\tan \delta_E$ and the angle of loss δ_μ , δ_E were studied carefully. Power technology Method used in our work to prepare the ferrite at sintering temperature 1300 °C as Filler for composite absorber. Attenuation character istic test was done by using slotted waveguide system show that ferrite mentioned above . having maximum attenuation (-29.4dB) at frequency 11.8GHz and (-20.8 dB) at frequency 11.4 GHz (-34.1 dB) at frequency (10.2 GHz) and (-46.06) at frequency (10GHz) for different values of (x). To increase the bandwidth frequencies we prepared multi layer absorber by using epoxy or PU resins as a matrix and add carbon- black powders to build multi-layer ferrite composites .We found that we have built excellent multi- layer RAMs with attenuation Greater than (-10dB) consisted of four layers less than 4mm thickness to cover the X-band frequencies with broadband width equal 3,5 GHz.

المقدمة :-

هناك عدة تطبيقات للماصات الرادارية الكهرومغناطيسية المصنعة من مادة الفيراييت منها على سبيل المثال تجنب الموجات الكهرومغناطيسية غير المرغوب فيها والتي تتولد داخليا في الاجهزة ومنع الضجيج الكهرومغناطيسي (noise) وكذلك تحسين اداء الهوائيات وبناء الغرف اللاصوتية (anechoic chamber) وتطبيقات عسكرية اخرى [1 - 3]

ولاجل اخماد الانعكاسات من هيكل الماصات الكهرومغناطيسية يستخدم تركيب متعدد الطبقات المراكبة من مواد مختلفة

[4-6] بدلا من التراكيب احادية الطبقات وعمليا يفضل استخدام ايسط تركيب ماص بأخف وزن واقل سمك مثل مزيج اسود الكابون مع راتنج و فيراييت تمتلك الماصات الفيراييتية عرض نطاق ترددي أوسع مقارنة بالماصات العازلة الاخرى عند الترددات العالية [7-8].

ان المواد الماصة للموجات الرادارية (RAM) تصمم على اساس جعل سمكها ربع الطول الموجي داخل الدليل الموجي لتردد التشغيل وهذا المفهوم قريب للماصات التي تعمل بالفقد الاومي الا ان وجود الخسائر المغناطيسية في الماصات الرادارية الحديثة بدل هذا المفهوم [1-10]. اذ ان المفاقيد المغناطيسية سوف تزيد من السمك بحيث يصبح اكبر من ربع الطول الموجي ، علاوة على دوره في زيادة عرض النطاق والاستفادة من هذه المعلومات تم فرض ان المجالات الكهرومغناطيسية تعتمد على الزمن وان القيم $(\mu_r, \epsilon_r, \omega)$ هي اعداد معقدة لاتعتمد على الموقع واتجاه المجال داخل الوسط الماص وجميع الخسائر القليلة الناشئة من أليات التوصيل تكون متضمنة الاجزاء الخيالية من ثابت العزل (ϵ_r) والنفاذية النسبية (μ_r) واعتماد هذه القيم على الزمن ستجبر الاجزاء الخيالية ان تكون موجية وبذلك فأن معامل الانكسار

تحضير ماصات رادارية متعددة الطبقات لفيراييت نوع $(\text{Ni}_{0.4} \text{Zn}_{0.6})_{1-x}(\text{Fe}_2\text{O}_3)_x$

ودراسة خواصها المغناطيسية والكهربائية

د. احمد رفيق عبدالمجيد

$n = (\mu_r \epsilon_r)^{1/2}$ ، والممانعة الذاتية للمادة هي $Z_r = (\mu_r / \epsilon_r)^{1/2}$ و زاوية الفقد المغناطيسي والكهربائي هي δ_μ و δ_ϵ ، على التوالي :-

$$\delta_\mu = \frac{\mu''}{\mu'}$$

$$\delta_\epsilon = \frac{\epsilon''}{\epsilon'}$$

$$\mu = \mu' + i\mu''$$

$$\epsilon = \epsilon' + i\epsilon''$$

حيث

وان العدد الموجي للمركب $K = K_0 n$ ، $K_0 = 2\pi / \lambda$

معامل التوهين Γ (-dB) هو :- $\Gamma = 20 \log_{10} |R|$

$$R = \{Z_r \tan(-iKd) - 1\} / \{Z_r \tan(-iKd) + 1\}$$

حيث ان :-

وهي تمثل معامل انعكاس الفولتية و d تمثل السمك الفيزيائي للوح الماص . لذا الماصات الرادارية ذات الطبقة الواحدة تعمل عند نطاق ترددي ضيق على متعدد الطبقات حيث تعمل عند نطاق ترددي اوسع بكثير . والشكل (1) يمثل ماص متعدد الطبقات يتكون من (N) طبقة متجانسة حيث يلاحظ موجه كهرومغناطيسية مستعرضة تنتقل باتجاه المحور -X ومجالها الكهربائي موازي للمحور -X والمغناطيسي للمحور -Y فتسقط باتجاه عمودي على سطح الماص وتسير بكلا الاتجاهين السالب والموجب للمحور -Z. [2]. وتكون مركبات المجال الكهربائي E_x والمغناطيسي H_y ثابتة اي مستوى (x,y) وتحقق معادلة هلمهولتز ($\nabla^2 \Psi + K^2 \Psi = 0$) ، Ψ تمثل دالة المجال . والمركبات $\mu_j(f)$ و $\epsilon_j(f)$ و k دوال للتردد وبأهمال التغير الزمني $\exp(i\omega t)$ يمكن كتابة المجالات الكهربائية في مناطق مختلفة بالصيغة الآتية :

$$E_{x0} = \alpha_0 e^{-iK_0 Z} + b_0 e^{iK_0 Z} , \alpha_0 = 1 , j=0$$

$$E_{xj} = \alpha_j e^{-iK_j Z} + b_j e^{iK_j Z}$$

سعة الموجة الساقطة في الفضاء . والمجالات b_0 سعة الموجة المنعكسة، b_j سعة الموجة الساقطة a_j حيث

المغناطيسية يمكن الحصول عليها باستخدام معادلة ماكسويل :-

$$\nabla \times E = -i\omega \mu H$$

$$H_{y0} = k_0 / \omega \mu_0 (a_0 e^{-iK_0 Z} - b_0 e^{iK_0 Z}) , i=0$$

$$H_{yj} = k_j / \omega \mu_j (a_j e^{-iK_j Z} - b_j e^{iK_j Z}) , i=1,2,\dots,N$$

وبأستخدام الشروط الحدودية عند السطوح البينية بين الطبقات المتجاورة وعند السطح الموصل ($Z=L_n$) ويمكن الحصول على :- (L_n = سمك الطبقة n)

$$b_0 = 1 - Q_1 - T_j(1+Q_1) / 1 - Q_1 + T_j(1+Q_1)$$

$$T_j = (\epsilon_j / \mu_j)^{1/2} / (\epsilon_{j-1} / \mu_{j-1})^{1/2} , i=1,2,\dots$$

ويمكن إيجاد Q من خلال المعادلات التالية :-

تحضير ماصات رادارية متعددة الطبقات لفيراييت نوع $(\text{Ni}_{0.4} \text{Zn}_{0.6})_{1-x}(\text{Fe}_2\text{O}_3)_x$

ودراسة خواصها المغناطيسية والكهربائية

د. احمد رفيق عبدالمجيد

$$L_j = \sum_{m=1}^j l_m \quad Q_n = e^{-i2K_0 L_0}$$

$$\Gamma R = |b_0|, \quad 20 \log_{10} |R| =$$

الجزء العملي :-

لبناء ماصات فيرانية احادية ومتعددة الطبقات تم تحضير الفيراييتات $(\text{Ni}_{0.4} \text{Zn}_{0.6})_{1-x}(\text{Fe}_2\text{O}_3)_x$ لقيم x (0.04, 0.08, 0.12, 0.16) بطريقة تكنولوجية المساحيق والطريقة السيراميكية حيث تم اختيار اكاسيد المواد الاولية ذات النقاوة العالية وطحنها وخلطها ومن ثم اجراء عمليات الكلسنة بدرجة 1700°C ولمدة تسع ساعات واخذ فحص حيود الاشعة السينية لها ومن ثم تلييدها بدرجة 1300°C لمدة عشرة ساعات في فرن مبرمج واختبرت العينات على شكل قرص بقطر 20 mm وبأسماك مختلفة من 2mm فما فوق وتم تحضير عينات لتلائم فحص الدليل الموجي wave guide والتي من خلاله تتم قياس ϵ_r و μ_r لكل تردد ضمن النطاق X - ومعرفه $\tan \delta_E$ و $\tan \delta_H$ من خلال حساب النتائج المقاسة وكذلك قيم معامل التوهين Γ ومن ثم استخدام برنامج (matlab) لتصميم قيم ماصات احادية ومتعددة الطبقات للموجات الكهرومغناطيسية ضمن النطاق المدروس ومعرفة عرض النطاق الماص لكل تردد وكما مبين في الجدول (1)

وتم ايضا استخدام مادة الايوكسي كمادة رابطة للفيراييتات وتكوين مترابك composite ماص وينسب وزنية مختلفة وقياس معامل الامتصاص لها ضمن النطاق اعلاه كمادة احادية ومتعددة الطبقات والشكل (2) يوضح المخطط لمنظومة قياس الدليل الموجي. النماذج رقت حسب قيم x فالنموذج الاول يمثل الفيراييت لقيمة $x = 0.04$ والثاني للقيمة 0.08 وهكذا لبقية النماذج.

النتائج والمناقشة :-

ان المواد الفيرانية هي مواد سيراميكية تمتلك خصائص توهين عالية للموجات المايكروية ومنها الفيراييت المستخدم في البحث حيث عند السمك 3mm تمتلك قيم توهين تصل الى (-30 dB) عند التردد 10.2 GHz وقيم توهين بحدود (-10 -12 dB) عند الترددات 8-9 GHz وحسب تغير قيم x وبسبب كثافتها العالية فان المواد الفيرانية لاتناسب استخدامها كماصات رادارية للأجسام المتحركة والارضية لذا تطلب تخفيف وزنها من خلال تقليل السمك ولانها مواد هشه تطلب استخدام مضيف راتنجي لها مثل الايوكسي او اليولي بورثين واضافة مواد اخرى مثل اسود الكربون وذلك لزيادة قيم التوهين لترددات اقل من 11.5 GHz والتي اظهرت قيم توهين عاليه لها و من خلال بناء اربع طبقات ماصة رادارية من المترابك الفيراييتي وبسمك كلي بحدود 4 mm تم تغطية معظم ترددات النطاق وبعرض يساوي 3.5 GHz والجدول من (1) الى (5) تظهر خصائص الفيراييت كماص احادي ومتعدد الطبقات وكذلك الشكل البياني (3) يبين قيم المتغير بين التردد وقيم معامل التوهين .

ومنها نستنتج ان الفيراييت Ni Zn يمكن استخدامه كـ (ماص راداري احادي ومتعدد الطبقات للموجات الراديوية ضمن النطاق- x) ولكن بسبب الخسائر المغناطيسية العالية له يفضل استخدامه ضمن الترددات MHz والترددات الواطئه بكفاءة اعلى حيث تظهر البحوث استخدامه بكفاءة كقلب للمحولات الكهربائية وغيرها من التطبيقات الاخرى .

تحضير ماصات رادارية متعددة الطبقات لفيراييت نوع $(\text{Ni}_{0.4} \text{Zn}_{0.6})_{1-x}(\text{Fe}_2\text{O}_3)_{1+x}$

ودراسة خواصها المغناطيسية والكهربائية

د. احمد رفيق عبدالمجيد

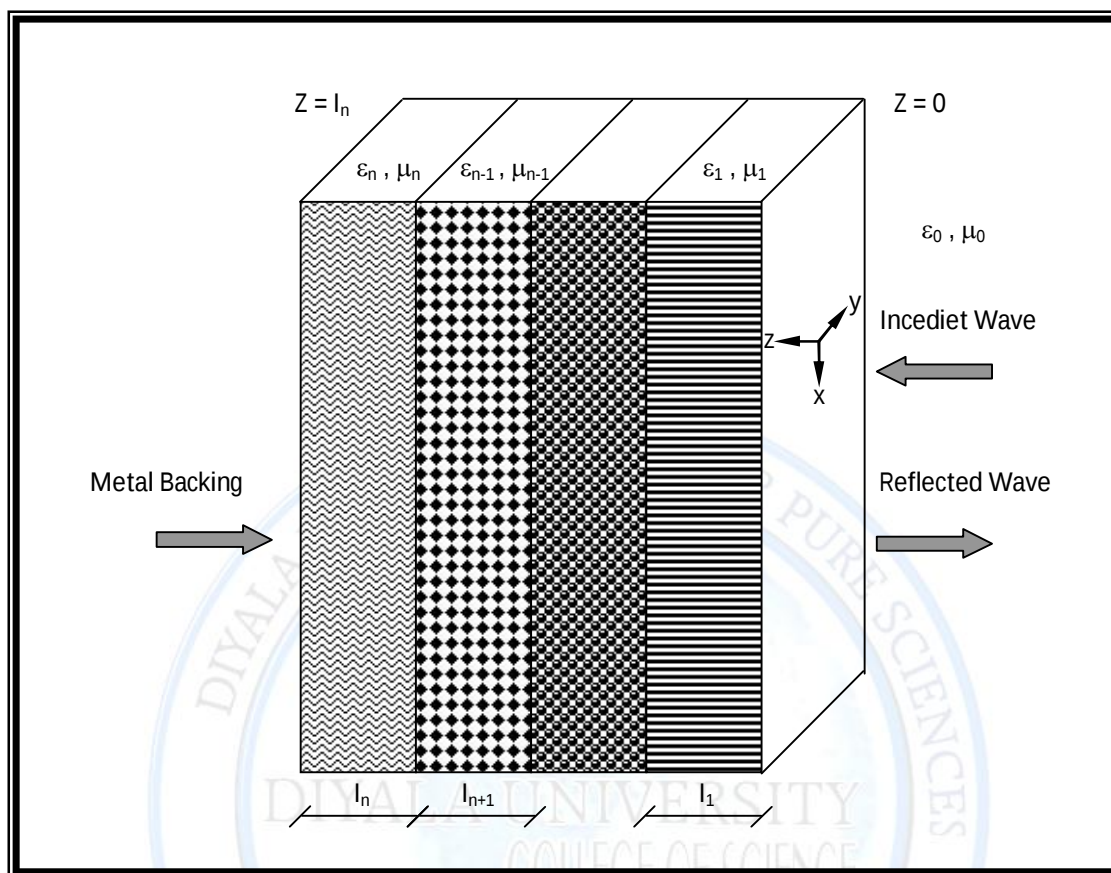
References:-

- 1- Y . Noite ,J Yin , Electronic and Communication in Japan 2. Vol 71 , No 7 , 1988.
- 2- K.J vinoy& R.M Jha," radar absorbing material ",National aerospace laboratories India 1966
- 3- Y KaKi , N Yoshid IEEE Trans .ELECTROMAG .compact . vol 31. no3.p323 1989.
- 4-H.M . " Handbook of microwave measurement "fox ,ch 9,1979.
- 5- H.F harmuth IEEE trans Electromay compact ,vol 29, no 2,p112, 1986.
- 6- Harmuth IEEE trans Electromay compact ,vol 27, no 2,p100, 1985
- 7-F. I. Hussain ((preparation and study of various RAMs in X-band))A PhD thieses ,college of science university of Baghdad 2005
- 8 . صباح محمد على "دراسة وتصميم مواد فيرأيتية لامتصاص الموجات الدقيقة في نطاق الحزمة -السينية "اطروحة دكتوراه الجامعة التكنولوجية قسم علوم تطبيقية ٢٠٠٠ .
9. دريد فوزي مهدي "المواد الماصة للموجات الدقيقة "طروحة ماجستير قسم العلوم تطبيقية- الجامعة- التكنولوجية ٢٠٠٢ .
- 10-D, Singh A, Kumar. S.Meena and V, Agawala “ Analysis of Frequency Selective Surfaces For Radar Absorbing Materials” Progress In Electromagnetics Research B,Vol,38, Pag.297-314,2012.

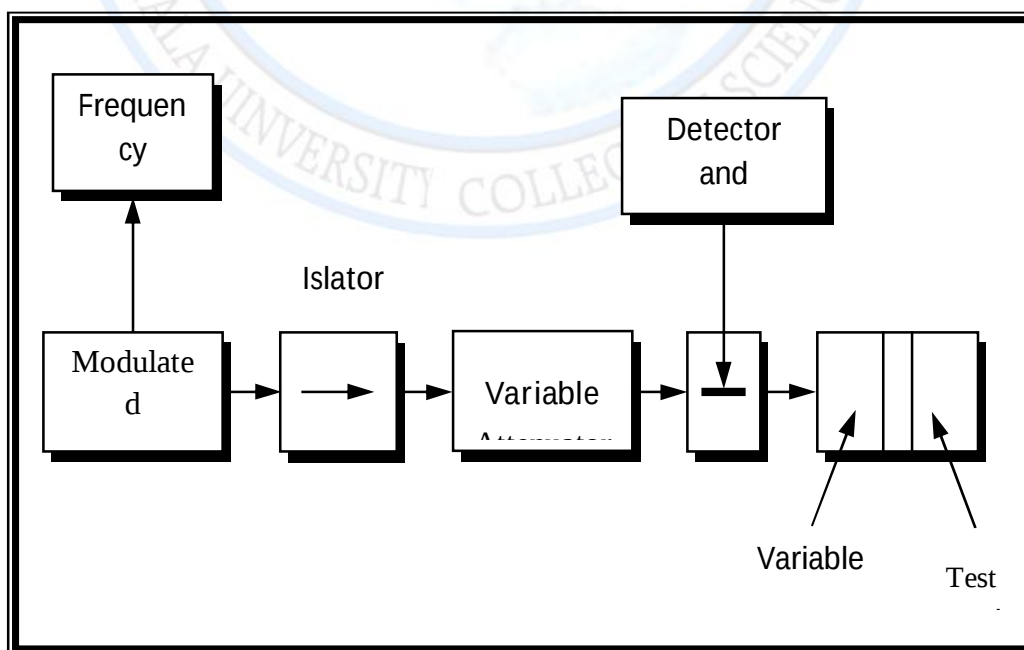
تحضير ماصات رادارية متعددة الطبقات لغيرايت نوع $(\text{Ni}_{0.4} \text{Zn}_{0.6})_{1-x}(\text{Fe}_2\text{O}_3)_{1+x}$

ودراسة خواصها المغناطيسية والكهربائية

د. احمد رفيق عبدالمجيد



شكل (١) يمثل منظومة ماصة للموجات الرادارية متعددة الطبقات

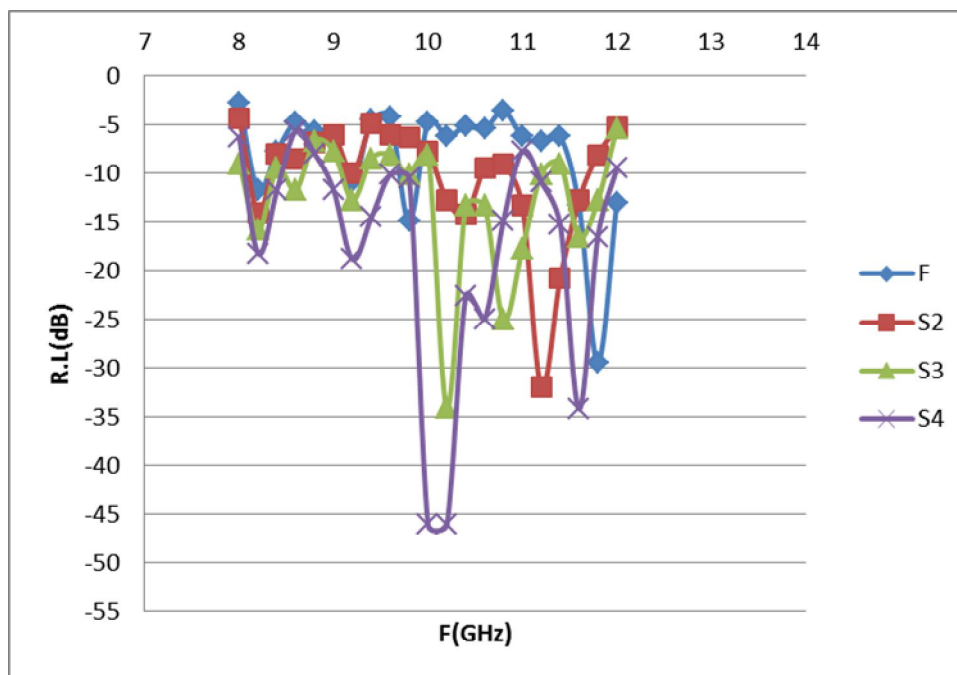


تحضير ماصات رادارية متعددة الطبقات لفيراييت نوع $(\text{Ni}_{0.4} \text{Zn}_{0.6})_{1-x}(\text{Fe}_2\text{O}_3)_x$

ودراسة خواصها المغناطيسية والكهربائية

د. احمد رفيق عبدالمجيد

شكل (٢) منظومة الدليل الموجي المستخدمة في قياس الخواص المغناطيسية للفيراييت



شكل (٣) رسم بياني يوضح العلاقة بين التردد المستخدم ومعامل التوهين لفيراييت النيكول – زنك فيرايت لجميع النماذج المتراكبة

جدول (١) يوضح الخصائص المغناطيسية والكهربائية للنموذج الاول (f)

F (GHz)	μ'_r	μ''_r	ϵ'_r	ϵ''_r	$\sigma (\Omega.\text{cm})^{-1}$	$\tan \delta \mu$	$\tan \delta \epsilon$	R.L. (- dB)
8	1	0.4	1	5.98	0.4	5.98	1	-2.7
8.2	1	8.16	0.31	8.03	8.16	25.903	3.2258	-11.7
8.4	1	2.6	2.88	4.35	2.6	1.5104	0.3472	-7.7
8.6	0.01	1.25	1.5	7.06	125	4.7067	0.0067	-4.7
8.8	0.1	1.072	4.13	0.16	10.72	0.0387	0.0242	-5.6
9	1.61	0.7	1.04	5.5	0.4348	5.2885	1.5481	-6.7
9.2	1	2.37	0.33	5.24	2.37	15.879	3.0303	-10.9
9.4	1.95	0.8	1.5	5.74	0.4103	3.8267	1.3	-4.5
9.6	1	0.9	3.53	1.61	0.9	0.4561	0.2833	-4.2
9.8	0.7	0.7	0.23	2.31	1	10.043	3.0435	-14.9
10	2.18	2.31	9.79	5.26	1.0596	0.5373	0.2227	4.7
10.2	4.35	2.31	4.89	9.4	0.531	1.9223	0.8896	-6.2

تحضير ماصات رادارية متعددة الطبقات لفيراييت نوع $(\text{Ni}_{0.4} \text{Zn}_{0.6})_{1-x}(\text{Fe}_2\text{O}_3)_x$

ودراسة خواصها المغناطيسية والكهربائية

د. احمد رفيق عبدالمجيد

10.4	1.1	1.175	3.39	2.13	1.0682	0.6283	0.3245	-5.1
10.6	0.3	0.16	1	0.9	0.5333	0.9	0.3	-5.4
10.8	4.13	0.32	3	3.39	0.0775	1.13	1.3767	-3.5
11	1.28	0.7	1	1.5	0.5469	1.5	1.28	-6.2
11.2	0.14	0.3	1.08	1.53	2.1429	1.4167	0.1296	-6.7
11.4	0.2	1.29	3.91	1.61	6.45	0.4118	0.0512	-6.2
11.6	0.1	0.5	1	0.13	5	0.13	0.1	-13.3
11.8	0.23	0.51	1	0.3	2.2174	0.3	0.23	-29.4
12	0.1	0.5	0.1	1.81	5	18.1	1	-13

جدول (٢) يوضح الخصائص المغناطيسية والكهربائية للنموذج الثاني (S2)

F (GHz)	μ'_r	μ''_r	ϵ'_r	ϵ''_r	$\sigma (\Omega.\text{cm})^{-1}$	$\tan \delta \mu$	$\tan \delta \epsilon$	R.L (- dB)
8	1.07	0.93	0.4	1.35	0.8692	3.375	2.675	-4.3
8.2	1	3.8	1	0.6	3.8	0.6	1	-14
8.4	0.5	1.76	0.4	0.8	3.52	2	1.25	-8
8.6	1.07	1.76	0.02	1.3	1.6449	65	53.5	-8.5
8.8	0.5	1.29	0.4	2	2.58	5	1.25	-6.8
9	0.6	0.98	0.0001	2.5	1.6333	25000	6000	-6
9.2	1	1.6	0.35	1.14	1.6	3.2571	2.8571	-10
9.4	0.68	0.71	0.2	1.27	1.0441	6.35	3.4	-4.9
9.6	1.24	0.9	0.43	1.7	0.7258	3.9535	2.8837	-6
9.8	1.03	0.93	0.6	1.76	0.9029	2.9333	1.7167	-6.24
10	1.44	3.22	4.22	5.31	2.2361	1.2583	0.3412	-7.7
10.2	1.93	3.3	0.4	4.64	1.7098	11.6	4.825	-12.7
10.4	0.6	1.6	0.43	1.3	2.6667	3.0233	1.3953	-14.2
10.6	0.7	0.62	0.5	0.9	0.8857	1.8	1.4	-9.5
10.8	2.27	0.9	0.5	2.64	0.3965	5.28	4.54	-9
11	1.14	0.8	0.1	1.32	0.7018	13.2	11.4	-13.3
11.2	0.43	0.3	0.6	0.71	0.6977	1.1833	0.7167	-32
11.4	1.26	0.5	0.6	1.24	0.3968	2.0667	2.1	-20.8
11.6	0.41	1.76	0.7	0.4	4.2927	0.5714	0.5857	-12.7
11.8	0.03	0.7	0.7	0.2	23.333	0.2857	0.0429	-8.09
12	0.8	0.4	0.4	0.91	0.5	2.275	2	-5.26

تحضير ماصات رادارية متعددة الطبقات لفيريت نوع $(\text{Ni}_{0.4} \text{Zn}_{0.6})_{1-x}(\text{Fe}_2\text{O}_3)_x$

ودراسة خواصها المغناطيسية والكهربائية

د. احمد رفيق عبدالمجيد

جدول (٣) يوضح الخصائص المغناطيسية والكهربائية للنموذج الثالث (S3)

F (GHz)	μ'_r	μ''_r	ϵ'_r	ϵ''_r	$\sigma (\Omega.\text{cm})^{-1}$	$\tan \delta \mu$	$\tan \delta \epsilon$	R.L (- dB)
8	0.6	2.68	0.2	1.19	4.4667	5.95	3	-9
8.2	0.12	5.84	0.3	1.79	48.667	5.9667	0.4	-15.8
8.4	2.02	9.04	1.97	17.9	4.4752	9.0863	1.0254	-9.5
8.6	2.02	5.6	0.4	4.9	2.7723	12.25	5.05	-11.7
8.8	0.2	0.2	3.54	1.19	1	0.3362	0.0565	-6.7
9	0.2	0.2	3.54	0.62	1	0.1751	0.0565	-7.7
9.2	1	2.71	0.2	1.56	2.71	7.8	5	-12.7
9.4	4.33	9.04	6.6	8.06	2.0878	1.2212	0.6561	-8.5
9.6	8.65	10.2	4.9	5.14	1.1792	1.049	1.7653	-8.1
9.8	1.46	1.35	0.5	0.97	0.9247	1.94	2.92	-10.16
10	0.05	2.41	1	0.33	48.2	0.33	0.05	-8.1
10.2	1	2.41	0.33	1.46	2.41	4.4242	3.0303	-34.1
10.4	1.3	0.9	0.1	1.04	0.6923	10.4	13	-13.3
10.6	0.4	6.6	1.62	1.3	16.5	0.8025	0.2469	-13.3
10.8	2.15	0.8	0.5	1	0.3721	2	4.3	-25
11	1.05	0.6	0.3	1.33	0.5714	4.4333	3.5	-17.7
11.2	0.1	0.97	1.28	0.4	9.7	0.3125	0.0781	-10.1
11.4	0.34	0.92	1	0.9	2.7059	0.9	0.34	-9
11.6	1.1	0.4	0.6	1.47	0.3636	2.45	1.8333	-16.5
11.8	0.03	1.14	1	0.6	38	0.6	0.03	-12.73
12	1	0.6	0.6	0.31	0.6	0.5167	1.6667	-5.3

(S4) جدول (٤) يوضح الخصائص المغناطيسية والكهربائية للنموذج الرابع

F (GHz)	μ'_r	μ''_r	ϵ'_r	ϵ''_r	$\sigma (\Omega.\text{cm})^{-1}$	$\tan \delta \mu$	$\tan \delta \epsilon$	R.L (- dB)
8	1	1.32	0.26	0.97	1.32	3.7308	3.8462	-6.24
8.2	1	6.56	0.04	2.05	6.56	51.25	25	-18.2
8.4	1	3.71	0.3	2.28	3.71	7.6	3.3333	-11.7
8.6	1	0.95	0.15	1.73	0.95	11.533	6.6667	-5.6
8.8	0.23	3.09	1.65	0.7	13.435	0.4242	0.1394	-8
9	1.32	3.46	0.14	3.37	2.6212	24.071	9.4286	-11.7
9.2	0.12	15.9	1.47	9.68	132.5	6.585	0.0816	-18.8
9.4	2.05	3.98	0.4	2.05	1.9415	5.125	5.125	-14.5
9.6	1.42	7.59	1.28	0.76	5.3451	0.5938	1.1094	-10.1
9.8	1.42	1.57	0.5	1	1.1056	2	2.84	-10.5
10	0.6	6.18	1	2.56	10.3	2.56	0.6	-46.06
10.2	2.1	1.57	1	0.87	0.7476	0.87	2.1	-46.06
10.4	0.65	0.8	0.25	0.76	1.2308	3.04	2.6	-22.6

تحضير ماصات رادارية متعددة الطبقات لفيرايت نوع $(\text{Ni}_{0.4} \text{Zn}_{0.6})_{1-x}(\text{Fe}_2\text{O}_3)_x$

ودراسة خواصها المغناطيسية والكهربائية

د. احمد رفيق عبدالمجيد

10.6	1.89	1.07	0.5	1.22	0.5661	2.44	3.78	-24.9
10.8	0.13	1.89	1	0.4	14.538	0.4	0.13	-14.8
11	0.15	0.8	1	0.4	5.3333	0.4	0.15	-7.7
11.2	0.15	1.13	1	0.36	7.5333	0.36	0.15	-10.9
11.4	0.44	0.6	1.53	0.21	1.3636	0.1373	0.2876	-15.2
11.6	1	0.4	0.54	0.94	0.4	1.7407	1.8519	-34.15
11.8	0.5	2.38	0.23	0.45	4.76	1.9565	2.1739	-16.5
12	1.93	5.47	1.95	1.13	2.8342	0.5795	0.9897	-9.5

جدول (٥) يوضح معامل التوهين لمتراكبات بوليمر-فيرايت لمختلف النسب الحجمية

(x=0.08 النموذج الثاني)				
Reflection Loss (-dB)				
F (GHz)	Vf = 0.25 Vp = 0.75	Vf = 0.3 Vp = 0.7	Vf = 0.8 Vp = 0.2	Vf = 0.35 Vp = 0.65
8	-12.4	-13.8	-13.5	-11.97
8.2	-12.9	-14.12	-14.0	-12.2
8.4	-13.2	-14.7	-14.4	-12.4
8.6	-13.6	-15.0	-14.9	-12.6
8.8	-14.0	-15.3	-15.4	-12.8
9	-14.4	-15.6	-15.8	-12.98
9.2	-14.8	-15.9	-16.3	-13.2
9.4	-15.2	-16.2	-16.8	-13.4
9.6	-15.6	-16.5	-17.3	-13.6
9.8	-16.0	-16.8	-17.7	-13.8
10	-16.4	-17.3	-18.2	-14.0
10.2	-16.8	-17.6	-18.7	-14.1
10.4	-17.2	-17.9	-19.08	-14.3
10.6	-17.6	-18.12	-19.5	-14.5
10.8	-18.0	-18.4	-19.9	-14.63
11	-18.4	-18.7	-20.3	-14.81
11.2	-18.8	-18.9	-20.6	-15.0
11.4	-19.0	-19.0	-20.9	-15.2
11.6	-19.4	-19.2	-21.1	-15.3
11.8	-19.7	-19.5	-21.3	-15.5
12	-20.0	-28.2	-21.4	-15.7