

تحديد النفاذية المغناطيسية والسماحية الكهربائية لفرايت الباريوم السداسي باستخدام المواءمة لبيانات الفقد بالانعكاس في المجال الترددي المكروي

بدر الاعرج*

ابراهيم علي**

(تاريخ الإيداع 2021 /6/20 – تاريخ النشر 2021 /8 /9)

□ ملخص □

تم في هذا العمل تحضير الباريوم السداسي نوع $Ba_{0.9}Zr_{0.1}Fe_{11.2}Cr_{0.4}Al_{0.4}O_{19}$ M- بطريقة Sol – Gel. وبعد الحصول على المسحوق المطلوب أخذ مخطط الفقد بالانعكاس بدلالة التردد في المجال $f=(3 - 6)$ GHz. ومن ثم حددت السماحية الكهربائية والنفاذية المغناطيسية من عملية fitting لهذه القيم التجريبية، وتم التعرف على تردد موقع حزمة الامتصاص الذي يقع ما بين $(4 - 5)$ GHz. وبعد ذلك تم رسم مخططات القسم الحقيقي والتخيلي للانعكاسية بدلالة التردد، وكذلك قيم المطال، وزاوية الطور لتحديد تردد قمة الامتصاص بمساعدة برنامج ماتلاب.

الكلمات المفتاحية: فرايت الباريوم السداسي، حزمة الامتصاص ، السماحية الكهربائية والنفاذية المغناطيسية.

*استاذ في قسم الفيزياء -كلية العلوم-جامعة تشرين-اللاذقية-سوريا

**استاذ مساعد في قسم الفيزياء -كلية العلوم-جامعة تشرين-اللاذقية-سوريا

Determination of permittivity and permeability of M-hexaferrite using fitting between reflection loss and micro -frequencies

badr al araj*
Ibrahim ali**

(Received 20/6/2021. Accepted 9/8/2021)

□ ABSTRACT □

In this research, the M-hexaferrite $Ba_{0.9}Zr_{0.1}Fe_{11.2}Cr_{0.4}Al_{0.4}O_{19}$ has been prepared using Sol – Gel method. Then, the diagrams of reflection loss RL versus frequencies has been taken in the range (3-6) GHz.

The values of ϵ and μ were determined using curve fitting for these data. After that, the absorption band position has been recognized between (4 – 5) GHz. More than, the diagram of real, imaginary, magnitude and phase parts have been plotted versus frequencies using Matlab Code.

Keywords: M- hexaferrite; Reflection Loss; Absorption Band; Electric Permittivity and Magnetic Permeability.

*Prof.at Physics Department – Faculty of science – Tishreen University-Lattakia

**Associate Prof.at Physics Department – Faculty of science – Tishreen University-Lattakia

موجز نظري:

يتميز الفريت السداسي بتطبيقات واسعة في عملية امتصاص الأمواج المكروية في مجال الترددات العالية GHz لكونه يتمتع بتمغنط عالي الأشباع، حقل مغناطيسي لا تماثلي كبير واستقراره كيميائية، وفي عملية الحجب في الجملة المدروسة المؤلفة من ركيزة معدنية ناقليتها الكهربائية عالية تظلي بشريحة من الفريت السداسي سمكها 1mm (يحصل تداخل هدام بين الموجة الكهرومغناطيسية المنعكسة عن سطح الركيزة المعدنية مع الموجة الكهرومغناطيسية الواردة على السطح الفاصل هواء- شريحة). وتمتص الطاقة الكهرومغناطيسية عن طريق آلية الفقد بالتمغنط المعبر عنها بدورة البقاء المغناطيسية لمادة الفريت [2,1]، والتجاوب العزوم السبينية لمناطق دومينات الفريت.

توجد حالياً عدة أبحاث لتعديل خواص العازلية والمغناطيسية عن طريق استبدال أيونات الحديد الثلاثي بضم كاتيونات رباعية التكافؤ مثل Ti^{4+} , Sn^{4+} , Zr^{4+} , Ir^{4+} مع كاتيونات ثنائية التكافؤ مثل: Co^{2+} , Mn^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} ، بحيث تكون محصلة رقم الأكسدة +3.

تحتوي وحدة الخلية من الفريت السداسي على جزئيتين من الفريت، وتشغل كاتيونات الحديد الثلاثي خمس مواقع مختلفة داخل البنية الأساسية [3] كما في الجدول ١.

جدول 1: يبين توزيعات كاتيونات Fe^{3+} الاثنا عشر على المواقع الجزئية مع اتجاهات السبين.

Site	Geometry	No.of Fe^{3+} ions	Spin
12k	Octahedral	6	Up
2a	Octahedral	1	Up
$4f_1$	Tetrahedral	2	Down
$4f_2$	Octahedral	2	Down
2b	Trigonal bipyramidal	1	Up

إن استبدالات أيون الحديد الثلاثي بأيونات Al^{3+} , Cr^{3+} في البنية البلورية للفريت السداسي يؤثر على الخواص المغناطيسية من خلال تغيير الحقل اللاتماثلي المغناطيسي. نلاحظ من الجدول ١ أن عدد الايونات التي سببها نحو الأعلى ثمانية، بينما عدد الايونات التي سببها نحو الأسفل أربعة، وبالتالي تكون المحصلة أربعة أيونات نحو الأعلى، وبما أن العزم السبيني لايون الحديد الثلاثي يساوي خمسة أمثال مغنطون بور $5\mu_B$ ، وبالتالي يكون عزم صيغة الفريت $20\mu_B$ ، لأن كل صيغة تحتوي بالمحصلة على أربع أيونات تساهم في العزم المغناطيسي.

بيّنت الدراسات أن الايونين الاستبدالين Al^{3+} و Cr^{3+} يشغلان مواقع أيونات الحديد التي سببها نحو الأسفل . وهذين الايونين ضعيفي المغنطة بحيث يكون لهما دور في تخفيض التفاعلات المتبادلة ما بين زوج الموقعين $(4f_1, 2a)$ و $(4f_1, 12k)$ التي تساهم في زيادة أو خفض مغنطة الأشباع M_s .

ويرتبط الحقل المغناطيسي القاهر H_c مع ثابت اللاتماثل المغناطيسي K ، ونفاذية الخلاء μ_0 بالعلاقة [4]:

$$H_c = \frac{2K}{\mu_0 M_s}$$

تعتبر المواقع المذكورة أعلاه المساهم الرئيسي في اللاتماثل المغناطيسي للبلورات، وبالتالي نتوقع زيادة في قيمة H_c عند الاستبدال بأيونات غير مغناطيسية أو ضعيفة المغنطة مثل الالمنيوم والكروم.

آلية الامتصاص في المواد الفرايتمية:

يعزى الامتصاص في المواد المغناطيسية الفرايتمية إلى طور الاسترخاء (دورة البطء المغناطيسية)، وإزالة جدار بلوخ لمناطق النفوذ المغناطيسية. وتعتبر زيادة أو نقص مساحة حلقة البطء مؤشرا للفقد المغناطيسي، وإن مقدار الفقد يتناسب مع هذه المساحة. أما مناطق النفوذ المغناطيسي وعند تطبيق حقل مغناطيسي عليها فإن تمغنطها يزداد عن طريق دوران اتجاه العزوم المغناطيسية السبينية التي يرافقها احتكاك بين هذه العزوم ويتولد حرارة في المادة ومن ثم تبديد طاقة المجال المطبق.

آلية الامتصاص في المواد العازلة:

حسب معادلة مكسويل لعازل له ناقلية كهربائية ضعيفة σ مطبق عليه إشارة كهربائية بتردد زاوي ω ، ويتميز بفقد عازلي بحيث يعبر عن السماحية العازلية بصيغة عقدية:

$$\nabla \Lambda \vec{H} = [(\sigma + \omega \epsilon'') + i \omega \epsilon'] \vec{E} \quad (1)$$

يشير الحد الأول من الطرف الايمن لمعادلة مكسويل إلى التشتت اللامرّن لحاملات الشحنة الذي يعكس الفقد الاومي، أما الحد الثاني يشير إلى الفقد العازلي الذي يرافق عملية الاستقطاب ودوران اتجاهات عزوم ثنائيات الأقطاب الكهربائية باتجاه الحقل المطبق. لكن يدل الحد الثالث على حفظ الطاقة الكهربائية داخل المادة المدروسة.

جملة الماص المغناطيسي:

عملية الماص المغناطيسي عبارة عن طبقة طلاء من المادة الفرايتمية على السطح المعدني، وعند الورود الناظمي للإشارة على سطح العينة الفرايتمية، فإن الانعكاسية R ترتبط مع معامل الانعكاس السعوي r ومرافقه العقدي r^* ومع ممانعة الدخل للجملة Z_{in} وممانعة الخلاء Z_0 كما يلي [6,5]:

$$R = r.r^* = \left| \frac{Z_{in} - Z_0}{Z_{in} + Z_0} \right|^2 \quad (2)$$

$$Z_{in} = Z_0 \sqrt{\frac{\mu_r}{\epsilon_r}} \tanh(\gamma.d) \quad (3)$$

ويعطى ثابت الانتشار γ بدلالة ثابت التوهين α ، وثابت الطور (العدد الموجي) β بالعلاقة:

$$\gamma = \alpha + i\beta = (-\omega^2 \mu \epsilon + i \sigma \omega \mu)^{1/2} \quad (4)$$

وفي الأوساط العازلة σ تساوي الصفر، وبالتالي يختزل ثابت الانتشار إلى:

$$\gamma = i\omega \sqrt{\mu \epsilon} = i \frac{\omega}{c} \sqrt{\mu_r \epsilon_r} \quad (5)$$

وتحول كمية فيزيائية ما Q إلى وحدة الديسبل وفق الصيغة التالية:

$$1dB = 10 \log(Q) \quad (6)$$

وبما أن الانعكاسية $R \leq 1$ ، فإن اللوغاريتم يكون سالبا، ويعطى الفقد بالانعكاس Return Loss or

Reflection Loss بالعلاقة [3,2]:

$$RL(dB) = 20 \log |R| = 20 \log \left| \frac{\sqrt{\frac{\bar{\mu}_r}{\bar{\epsilon}_r}} \tanh(i \frac{\omega}{c} \sqrt{\bar{\mu}_r \bar{\epsilon}_r} . d) - 1}{\sqrt{\frac{\bar{\mu}_r}{\bar{\epsilon}_r}} \tanh(i \frac{\omega}{c} \sqrt{\bar{\mu}_r \bar{\epsilon}_r} . d) + 1} \right| \quad (7)$$

RL(dB) : فقد الانعكاس في وحدة الديسيل في حالة الورد الناظمي على سطح العينة.

ويمكننا التعبير عن السماحية الكهربائية والنفاذية المغناطيسية العقديتين (القسم الحقيقي والتخيلي) بالعلاقات

الآتية:

$$\bar{\epsilon}_r = \epsilon' - i\epsilon'' = |\bar{\epsilon}_r| e^{-i\delta_e} \quad (8)$$

$$\tan(\delta_e) = \epsilon'' / \epsilon' \approx \delta_e$$

$$\bar{\mu}_r = \mu' - i\mu'' = |\bar{\mu}_r| e^{-i\delta_m} \quad (9)$$

$$\tan(\delta_m) = \mu'' / \mu' \approx \delta_m$$

حيث c سرعة الضوء في الخلاء، العدد الموجي $\beta = \frac{\omega}{c}$ و $d=3\text{mm}$ سماكة عينة الامتصاص، $f=\omega/2\pi$

تردد الإشارة المكروية، $\bar{\mu}_r$ النفاذية المغناطيسية العقدية، $\bar{\epsilon}_r$ السماحية الكهربائية العقدية. تلعب قيم $\bar{\mu}_r$ دوراً مهماً في عملية الامتصاص، ويتم التحكم بقيم $\bar{\mu}_r$ عن طريق الاستبدالات وكلما ازدادت قيمتها في المجال المكروي كلما زادت قيم الممانعة، وبالتالي انخفضت قيم RL ، وذلك لأن القدرة المغناطيسية الممتصة بوحدة الحجم تتناسب مع μ'' ، ω ومربع شدة الحقل المغناطيسي.

هدف البحث وأهميته:

يهدف هذا البحث إلى إيجاد قيم السماحية الكهربائية والنفاذية المغناطيسية للفرايت السداسي المحضّر باستخدام عملية المواءمة أو التوفيق بين القيم التجريبية ما بين الانعكاسية R والتردد المطبق f. وتأتي أهمية البارامترين μ و ϵ من كون ممانعة الدخل للجملة المدروسة تزداد مع زيادة μ ، وبالتالي تنخفض الانعكاسية R.

طرائق البحث ومواده:

تم استخدام برنامج Maple لفصل علاقة الانعكاسية العقدية إلى قسم حقيقي وقسم تخيلي كما هو وارد في الملحق. أما تحديد القيم المطلقة لـ $\mu = 270$ و $\epsilon = 25$ تم بتطبيق برنامج Matlab 2015 باستخدام المواءمة fitting للقيم التجريبية لتغيرات الانعكاسية بدلالة التردد في المجال المكروي عند تطبيق code ، cftool ، في نافذة command window .

تحضير المركب

حضر مركب فرايت الباريوم السداسي $\text{Ba}_{0.9}\text{Zr}_{0.1}\text{Fe}_{11.2}\text{Cr}_{0.4}\text{Al}_{0.4}\text{O}_{19}$ ، والفرايت الباريوم السداسي المشاب ب بوليمر البولي انلين باستخدام طريقتي Sol -Gel ، و البلمرة في الموضع على الترتيب في مخبر البحث العلمي - قسم الفيزياء - جامعة تشرين. ويتطلب تحضير المواد المركبة بطريقة البلمرة في الموضع عدد من المواد الكيميائية المختلفة (مونومرات، مؤكسدات، ومواد كيميائية مختلفة). ويبيّن الجدول 2 الأوزان المأخوذة من كل كلوريد.

جدول 2: يتضمن الاوزان المولية المأخوذة لتحضير العينة، وإيجاد الوحدة الوزنية.

materials	BaCl ₂ ·2H ₂ O	ZrCl ₄	FeCl ₃	CrCl ₃ ·6H ₂ O	AlCl ₃ ·6H ₂ O
M _{wt} (g)	244.28	233.04	162.21	266.45	241.43
X _i (g)	x _{Ba} =0.9M _{wt} = 219.852	x _{Zr} =0.1M _{wt} = 23.304	x _{Fe} =11.6M _{wt} = 1881.636	x _{Cr} =0.2M _{wt} = 53.29	x _{Al} =0.2M _{wt} = 48.266
U _i =X _i /X _{tot}	U _{Ba} =0.0987	U _{Zr} =0.0104	U _{Fe} =0.8451	U _{Cr} =0.0239	U _{Al} =0.0216

حيث أن $x_{tot} = \sum_i x_i$; $i = Ba, Zr, Fe, Cr, Al$ ، الوحدة الوزنية التي تقيد في إيجاد الوزن المطلوب من كل كلوريد على حده، فمثلا عندما نريد وزنا من العينة قدره 5g نضرب هذه القيمة بالوحدة الوزنية فنحصل على الوزن المطلوب من كل كلوريد.

طريقة Sol-Gel:

لتحضير المركب $Ba_{0.9}Zr_{0.1}Fe_{11.6}Cr_{0.2}Al_{0.2}O_{19}$ نقوم بما يلي:

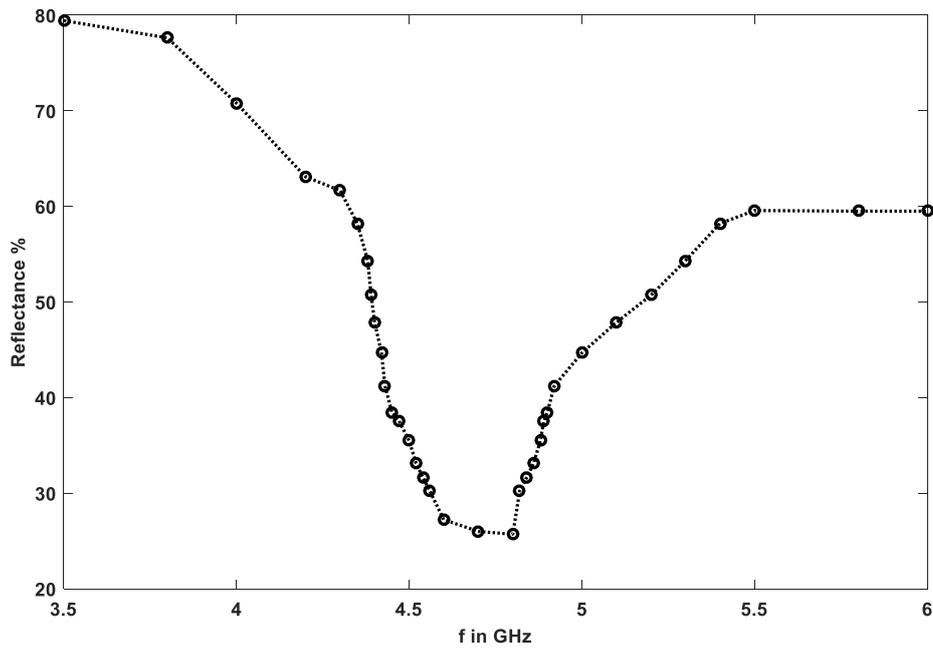
نحل الاوزان المأخوذة من كل كلوريد في بيشر يحتوي 100 ml من الماء المقطر، ويوضع على درجة حرارة 80°C مع وجود محرك مغناطيسي، و عند غليان الماء نضيف غرام واحد من حمض سيتريك أسيد $C_6H_8O_7$ ، ويترك ليحفظ المحلول الى 25ml ثم نوقف التحريك، و نخرج المغناطيس من بيشر المحلول ونزيد درجة الحرارة إلى 120°C وعندما يتحول المحلول إلى بودرة و جل نزيد درجة الحرارة إلى 300°C حتى يتم الاحتراق بشكل كامل ، بعد ذلك ندع البيشر يبرد إلى درجة حرارة الغرفة ثم نطحن المسحوق الذي تم الحصول عليه في هاوون ،ونعالجه في مرمدة بالتسخين بخطوة قدرها 5°C /min حتى الوصول إلى الدرجة 1000°C ونثبتها لمدة 2h ساعة ، بعد ذلك نترك الجملة تبرد إلى حرارة المخبر. ومن ثم، نطحن المسحوق جيدا حتى نحصل على مسحوق (بودرة) حجم حبيباته صغير جدا [7] .

النتائج والمناقشة:

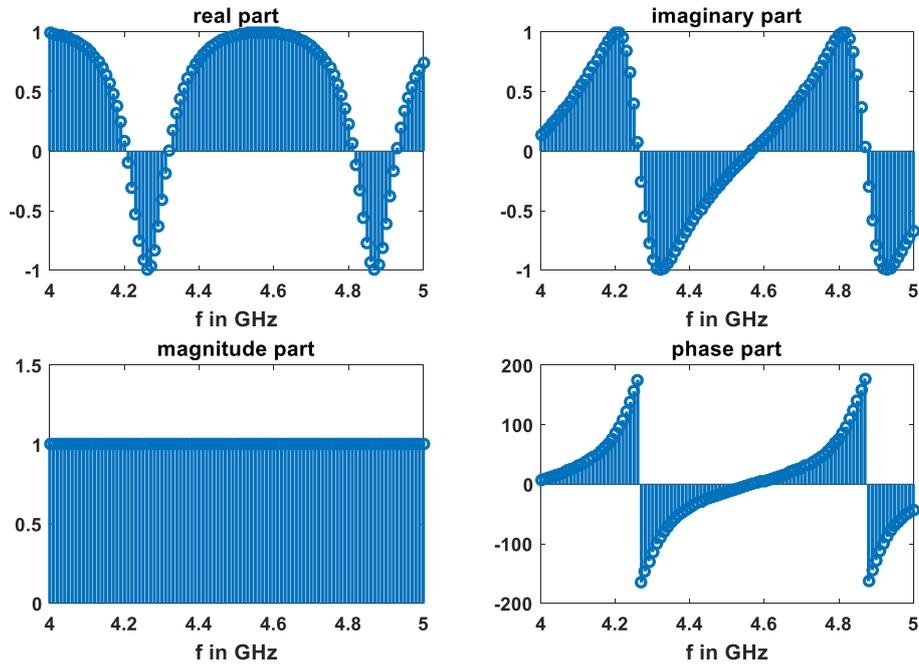
الفرايت السداسي له تطبيقات واسعة في عملية الحجب عن طريق التداخل الهدام بين الموجة المنعكسة عن سطح المعدن العاكس والموجة المكروية الواردة على السطح الفاصل هواء/ المادة الفرايتمية. **يبين الشكل 1** تغيرات علاقة الانعكاسية بدلالة التردد التي تصف الفقد بالانعكاس في المجال المكروي

GHZ (6 – 3). بعد ذلك، تم رسم مخططات القسم الحقيقي، والقسم التخيلي، والمطال، وزاوية الطور مقدرة بالدرجات. نلاحظ من هذه المخططات أن قمة حزمة الامتصاص الاعظمية تظهر عند التردد $f=4.58$ GHZ، وزاوية الطور العظمى تساوي 175.6 درجة.

أبدت هذه العينة أن قيمة النفاذية المغناطيسية النسبية لها دور في التحكم بقيم الفقد بالانعكاس العلاقة (7). يأتي الفقد المغناطيسي من التفاعل بين الإشارة المكروية والعزوم المغناطيسية السبينية، أما الفقد العازلي يتأصل عن الاستقطاب الاتجاهي لعزوم ثنائيات الأقطاب الكهربائية من جهة، ومن جهة أخرى يأتي من مساهمة عملية الامتصاص أثناء الاستقطاب على السطوح البينية للحبيبات [8,9]. وتتفق نتائجنا مع نتائج المرجع [11].



الشكل 1: تغيرات علاقة الانعكاسية R% بدلالة التردد التي تصف الفقد بالانعكاس في المجال المكروي .Vector Network Analyser (VNA) - جهاز (3 - 6) GHz



مخطط 1: مخططات القسم الحقيقي، والتخيلي، والمطال وزاوية الطور بدلالة التردد.

الاستنتاجات:

نستنتج من هذا البحث ما يلي:

١. بينت عملية المواءمة بين الانعكاسية والتردد في المجال (3-6)GHz أن القيم المطلقة للسماحية الكهربائية النسبية، والنفاذية المغناطيسية النسبية هي $\epsilon = 25$ و $\mu = 270$ على الترتيب.
٢. إن حزمة الامتصاص للعينة المحضرة تقع عند التردد 4.58 GHz من المجال الترددي المطبق التي توافق القسم التخيلي الصفري.
٣. تبلغ زاوية الطور الاعظمية $\emptyset = 175.6$ درجة.
٤. تظهر هذه العينة عملية الجمع بين الفقد العازلي والفقد المغناطيسي حيث تبلغ الفقد بالانعكاس $RL=11.6dB$.

الملحق

لنرمز إلى النفاذية المغناطيسية النسبية بـ a ، والسماحية الكهربائية النسبية بـ b ، وسماكة العينة d ، والتردد f فإن الكود الخاص بفصل القسم الحقيقي والقسم التخيلي حسب برنامج Maple كما يلي:

$$\text{Re}\left(\text{simplify}\left(\text{evalc}\left(\left(\text{sqrt}\left(\frac{a}{b}\right)\cdot\tanh\left(I\cdot\frac{2\cdot\text{pi}}{c}\cdot d\cdot\text{sqrt}(a\cdot b)\cdot f\right)-1\right)\right)\right)\right)$$

$$\text{assuming}(a::\text{real}, b::\text{real}, c::\text{real}, d::\text{real}, f::\text{real})$$

$$\text{Im}\left(\text{simplify}\left(\text{evalc}\left(\left(\text{sqrt}\left(\frac{a}{b}\right)\cdot\tanh\left(I\cdot\frac{2\cdot\text{pi}}{c}\cdot d\cdot\text{sqrt}(a\cdot b)\cdot f\right)-1\right)\right)\right)\right)$$

$$\text{assuming}(a::\text{real}, b::\text{real}, c::\text{real}, d::\text{real}, f::\text{real})$$

المراجع

- [1] Nassim Nasser Ali, Yomen Atassi, Akil Salloum, Adnan Malki, Mojtaba Jafarian, and Rama Kassar Bani Almarjeh, "Lightweight broadband microwave absorbers of core-shell (Polypyrrole/NiZn Ferrite) nanocomposites in the X-band: Insights on interfacial polarization" *J. Mater. Sci. Mater. Electron.* 2019.
- [2] Rawa'a Ali Saleem, *Preparation of ferrite composite and study its properties for industrial and medical amplifications'*, Doctorate Dissertation, Tishreen University, Syria,2020.
- [3] X. MENG, Y. ZHU, S. XU, T. LIU, *Facile synthesis of shell-core polyaniline/SrFe₁₂O₁₉ composites and magnetic properties*, RSC Adv. 6 ,2016, 4946–4949.
- [4] Boschow K.H.J., *Hand Book of Magnetic Materials*, Vol.8,Elsevier,1995.
- [5] Ammar Y.,Al Jubory, *microwave absorbing characteristics study of the lateres Radar Absorbing Materials,Rafiden Journal*, vol.30,No 1,Irag,2009.
- [6] Jianfeng Xu,et.,*complex permittivity and permeability measurements and finite difference time domain simulation of ferrite materials*,IEEE , Transaction on Electromagnetic Compartmentibility ,vol.52,No 4,2010.
- [7] A. OHLAN, K. SINGH, A. CHANDRA, S.K. DHAWAN, *Microwave absorption behavior of core-shell structured poly (3,4-ethylenedioxy thiophene)-barium ferrite nanocomposites* ,ACS Appl. Mater. Interfaces 2 ,2010,927–933.
- [8] Xiaogu Huang, Jiao Chen, et., *a new microwave absorber based on antimony doped tin oxide and ferrite composite with excellent electromagnetic match*, J. of Alloys and Compounds,2010,347-350.
- [9] Juhua Luo, Pan Shen, Wei Yao, *Cuifeng Jiang and Jianguang Xu, Synthesis, Characterization, and Microwave Absorption Properties of Reduced Graphene Oxide/Strontium Ferrite/ Polyaniline Nanocomposites.*, Luo et al. *Nanoscale Research Letters* (2016) 11:
- [10] ABDULRAOUF AL DAIRY, LINA A. AL-HAMOUD,HEBA A. KHATATBEH, *Magnetic and Structural Properties of Barium Hexaferrite Nanoparticles Doped with Titanium*,Symmetry,Jordan,2019.
- [11] Sun Chang, Sun Kangning et., *preparation and electromagnetic properties of an electromagnetic wave absorber*, *Journal of Magnetism*, 21(1),61-64,2016.