



الرقم.....

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

جامعة المسيلة

كلية العلوم

قسم الفيزياء

مذكرة

مقدمة لنيل شهادة

الماستر

الميدان : علوم المادة

الشعبة : الفيزياء

التخصص : علوم المواد

من طرف

مزعاش فاطمة الزهراء

العنوان

دراسة تأثير تركيز الشحنات النانومترية من اوكسيد الحديد الثلاثي على الاستجابة

المغناطوكهربائية للمركب المغناطوإجهادي ($P(VDF-TrFE)+x\% Fe_3O_4$)

المناقشة بتاريخ : 2013|06/23

أمام اللجنة المكونة من :

| | | | |
|--------|---------------|------------|-------------|
| رئيسا | جامعة المسيلة | أ. محاضر ب | ابرير ميلود |
| مقررا | جامعة المسيلة | أ. محاضر أ | بلواضح رايح |
| ممتحنا | جامعة المسيلة | أ. محاضر أ | دغفل بحري |

دفعة جوان 2013

| الصفحة | الفهرس |
|--------|--|
| 5 | ملخص |
| 6 | مقدمة عامة |
| | الفصل الاول : عموميات |
| 8 | 1-مقدمة |
| 9 | 2-المواد الكهرواجهادية |
| 10 | 2-1-تطبيقات المواد الكهرواجهادية |
| 10 | 3-المفعول المغنطومروني |
| 11 | 3-1-المعادلات المغنطومرونية |
| 13 | 3-2- معامل يونغ |
| 14 | 4- المفعول المغنطوكهربائي |
| 14 | 4-1-نبذة تاريخية عن الظاهرة المغنطوكهربائية |
| 14 | 4-2-المفعول المغنطوكهربائي وحيد الطور |
| 15 | 4-3-المفعول المغنطوكهربائي متعدد الاطوار |
| 16 | 4-4-انواع المفعول المغنطو كهربائي |
| 16 | 4-4-1-المفعول المباشر |
| 16 | 4-4-2-المفعول العكسي |
| 17 | 5-الخلاصة |
| | الفصل الثاني : تحضير العينات و القيام بالقياسات |
| 18 | 1-مقدمة |
| 18 | 2-البنية الميكروسكوبية لمادة P(VDF-TrFE) |
| 19 | 3-تحضير العينات المغنطوكهربائية |

| | |
|----|---|
| 22 | 4- مبدأ القياس |
| 23 | 5- التجهيز التجريبي |
| 23 | 6-الخلاصة |
| | الفصل الثالث :النتائج المحصل عليها |
| 24 | 1-مقدمة |
| 25 | 2-النموذج |
| 28 | 3-الخلاصة |
| | الفصل الرابع: تحليل النتائج |
| 29 | 1-مقدمة |
| 29 | 2-تأثيرشدة الحقل المغناطيسي المستمر المطبق على التيار المغنطوكهربائي |
| 31 | 3-تأثير التردد على التيار المغنطوكهربائي |
| 31 | 4-تأثير شدة الحقل المغناطيسي المتناوب على التيار المغنطوكهربائي |
| 34 | 5-دراسة تغيرات المعامل المغنطوكهربائي بدلالة النسب الكتلية لـ Fe_3O_4 |
| 35 | 6-دراسة تغيرات السماحية الكهربائية بدلالة النسب الكتلية لـ Fe_3O_4 |
| 36 | 7- دراسة تغيرات المقاومة بدلالة النسب الكتلية لـ Fe_3O_4 |
| 37 | 8- تأثير التردد على المعامل المغنطوكهربائي |
| 38 | 9- تأثير الحقل المغناطيسي المستمر على المعامل المغنطوكهربائي |
| 39 | 10- تأثير الحقل المغناطيسي المتناوب على المعامل المغنطوكهربائي |
| 39 | 11-الخلاصة |
| 40 | خلاصة عامة |
| 41 | المراجع |

تشكرات

الحمد وشكره ونستعينه على جليل نعمه وتوفيقه لي في اتمام هذا العمل

" اللهم بارك لي فيه " ، "ولئن شكرتم لازيدنكم " صدق الله العظيم .

كما اتقدم بجزيل الشكر الى أعضاء لجنة المناقشة و الى كل من علمني و رافقتي.

فاطمة الزهراء

ملخص :

تقدم هذه المذكرة دراسة عن تأثير النسب الكتلية المضافة من مادة مغناطومرونية متمثلة في اكسيد الحديد الثلاثي على الإستجابة المغناطوكهربائية لعينة من مركب (متعدد)فلور الفيايديين -ثلاثي فلور الإثيلين) (Fe_3O_4 + x%).

انجزنا خلال هذه الدراسة النقاط التالية:

- تحضير العينات ($(P(VDF-TrFE)+0.5\% Fe_3O_4)$) ($(P(VDF-TrFE)+1\% Fe_3O_4)$) ($(P(VDF-TrFE)+2\% Fe_3O_4)$) ($(P(VDF-TrFE)+4\% Fe_3O_4)$) و أخيرا ($(P(VDF-TrFE)+8\% Fe_3O_4)$).

- دراسة مميزات العزل للعينات المذكورة، و المتمثلة أساسا بالمقاومية و السماحية الكهربائيتين.
- دراسة تغيرات الإستجابة المغناطوكهربائية بدلالة الحقل المغناطيسي المستمر، المتناوب و تواتر الحقل المغناطيسي المتناوب.

نلخص اهم النتائج فيما يلي:

- تتناقص المقاومة و السماحية الكهربائيتية مع زيادة التركيز الكتلي للشحنات المضافة ابتداء من 1 %
- يزداد المعامل المغناطوكهربائي من الرتبة الأولى مع زيادة التواتر، شدة الحقلين المغناطيسيين المستمر و المتناوب.

Résumé :

Ce mémoire présente une étude sur l'effet de taux des charges magnétostrictives sur la réponse magnétoélectrique des piézocomposites ($(P(VDF-TrFE)+0.5\% Fe_3O_4)$ ($(P(VDF-TrFE)+1\% Fe_3O_4)$) ($(P(VDF-TrFE)+2\% Fe_3O_4)$) ($(P(VDF-TrFE)+4\% Fe_3O_4)$) et on fin ($(P(VDF-TrFE)+8\% Fe_3O_4)$). Dans un premier temps, nous avons élaboré les piézocomposites sous cités. Ensuite, nous avons mesuré les propriétés diélectriques de tous les échantillons, enfin pour calculer la résistivité et la permittivité électriques.

La réponse magnétoélectrique a été mesurée en fonction du champ statique et alternatif et la fréquence du champ magnétique alternatif appliqué..

Les résultats obtenus montrent que :

- La résistivité et la permittivité électrique diminuent avec le taux des nano charges.
- Les coefficients magnétoélectriques augmentent avec le champ statique et alternatif et la fréquence.

مقدمة عامة :

يعرف المفعول المغنطوكهربائي بحدوث عملية مغنطة للمادة عند تطبيق حقل كهربائي، و يدعى بالمفعول المباشر. اونشوء حقل كهربائي داخلها عند طريق تطبيق حقل المغناطيسي (المفعول غير المباشر).

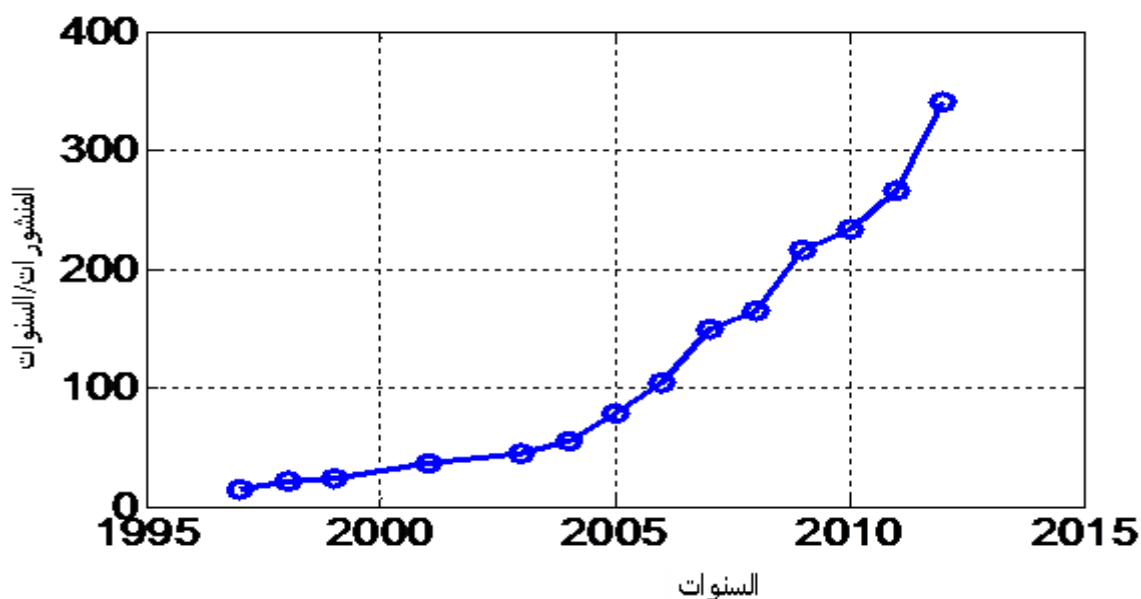
يمكن تقسيم المواد المغنطوكهربائية الى قسمين رئيسيين:

- مواد مغنطوكهربائية أحادية الطور: تتميز بوجود أقطاب كهربائية و مغناطسية في نفس الوقت، لكن معاملتها المغنطوكهربائية صغيرة جدا و درجة حرارة استعمالها دون درجة حرارة الغرفة، لذا اتجهت الجهود نحو المواد- متعددة الاطوار [1].

- مواد مغنطوكهربائية متعددة الاطوار و تتكون على الأقل من مادة ذات خاصية المغنطومرونية و أخرى كهرواجهادية [2] .

لأهمية المواد المغنطوكهربائية فان الإهتمام بالبحث عن مواد ذات معامل مغنطوكهربائي كبيرة يزداد مع الوقت.

الشكل (1) يبين عدد المنشورات في مجال المواد المغنطوكهربائية بدلالة السنوات وذلك بواسطة الكلمة المفتاح "magnetoelectric" . في قاعدة البيانات " Science Direct".



شكل(1): عدد المنشورات في مجال المواد المغنطوكهربائية بدلالة السنوات [3]

تهدف هذه المذكرة الى دراسة المفعول المغنطوكهربائي في المواد الكهرواجهادية المشحونة بحبيبات مغنطومرونية نانومترية ، المادة الكهرواجهادية تتمثل في متعدد (فلور الفيليدين- ثلاثي فلور الإثيلين) poly(Fluorure de Vinylidène-Trifluoroéthylène) المرموز له إختصارا بـ P(VDF-TrFE) و الشحنة المغنطومرونية متمثلة في غبرة اكسيد الحديد الثلاثي ذات الحبيبات Fe_3O_4 من رتبة 50 نانومتر.

تم التركيز على دراسة مميزات الترابط المغنطوكهربائي في المركب المذكور. وأثر النسب الكتلية لـ Fe_3O_4 على الإستجابة المغنطوكهربائية.

تحتوي هذه المذكرة على أربعة فصول . حيث يبرز **الفصل الاول** مفاهيم اساسية عن المواد الذكية، وعن المواد الإلكتروفعاالة ونركز على العائلات الكهرواجهادية وتطبيقاتها. اما **الفصل الثاني** فيعطي نبذة عن:

- متعدد (فلور الفيليدين- ثلاثي فلور الإثيلين) P(VDF-TrFE) .

- طريقة تحضير العينات و القيام بالقياسات.

- تجهيز المقعد التجريبي المستعمل لقياس التيار المغنطوكهربائي.

- كيفية تحضير العينات النهائية المستعملة .

الفصل الثالث يقدم النتائج المحصل عليها مع استعمال نموذج بسيط (مكثفة على التوازي مع مقاومة)، لحساب التيار المشوش- تيار لنز - وذلك من اجل تحديد المعامل المغنطوكهربائي الحقيقي للعينات المدروسة و في الأخير يعطي **الفصل الرابع** تحليلا للنتائج المقدمة وذلك بدراسة تأثير كل من تركيز الشحنات Fe_3O_4 المضافة الى P(VDF-TrFE) والتردد والحقل المغنطيسي المتناوب المطبق و الحقل المغنطيسي المستمر المطبق على الإستجابة المغنطوكهربائية للعينات المدروسة.

تجدر الاشارة في الاخير اي ان الجزء العملي والمتمثل في تحضير العينات و القيام بالقياس انجز في مخبر الهندسة الكهربائية و الكهروحديدية (FEGL) ،بالمعهد الوطني للعلوم التطبيقية بليون فرنسا تحت اشراف الاستاذ Daniel GUYOMAR والذي نتقدم له بالشكر الجزيل على مساعدته .

الفصل الأول

عموميات

1-مقدمة:

يهدف هذا الفصل إلى عرض المفاهيم الأساسية عن المواد الذكية، كتعريفها و ذكر القطاعات التي تستعمل فيها، و حيث يحتوي تعريف للمواد المسماة (الذكية) و استعمالاتها و تصنيفها حسب نوع التحويل الطاقى التي تقوم به. و يقدم مختلف المواد الإلكترونية وفعالة و نركز على العائلات المغنطوكهربائية و أهم خصائص هذه المواد.

إعتمدنا اسم (المواد الذكية) انطلاقاً من الترجمة الحرفية لإسم المواد التي تحول الطاقة من شكل نطبقه عليها إلى شكل آخر ينتج عنها و التي تسمى باللغة الإنجليزية (Smart Materials) .

تعرف المواد الذكية على أنها مواد ذات خصائص تحويل للطاقة. من الأمثلة الشائعة لهذه المواد تلك التي يُمكن من تحويل طاقة كهربائية مطبقة عليها إلى طاقة ميكانيكية و تحويل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية " إنتاج تيار كهربائي " .

تتأثر هذه المواد و تشعر بالظروف المناخية المحيطة بها و لها خواص يمكن ان تتغير و تتعدل بواسطة محفزات خارجية، تتضمن هذه المحفزات الضوء، الحرارة، الرطوبة، قوة ميكانيكية و أيضاً الحقول الكهربائية و المغناطيسية. كل التغيرات و التعديلات لهذه المواد قابلة للعكس حيث ينتهي التغير و تعود المادة الي حالتها الطبيعية بمجرد ان تنتهي المحفزات التي تأثر عليه. [4].

توجد عدة قطاعات تستعمل المواد الذكية مصنعة أساساً من الخزف و البوليمرات. نذكر منها

- علم الفضاء و البصريات.

- علم الطيران: على شكل لواقط و مستشعرات و متحكمات في الإهتزاز.

- صناعة المعدات و اللواحق الإصطناعية الطبية.

- الروبوتيك: العضلات الصناعية التي تستجيب للكهرباء. او الحقل الكهربائي .

يمكن تصنيف المواد الذكية حسب نوع التحويل الطاقى التي تقوم به ، حيث نجد:

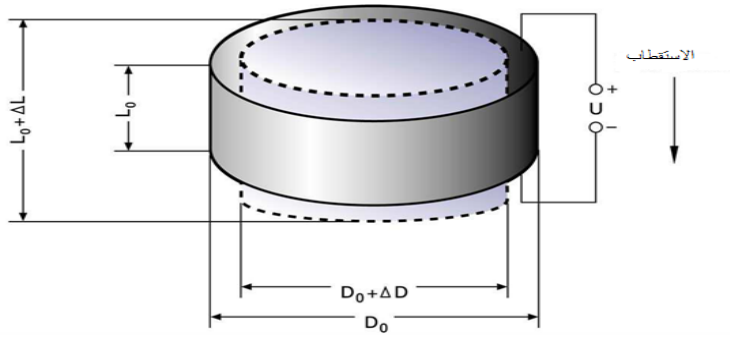
1-المواد الكهرواجهادية .

2- المواد المغنطومرونية.

3- المواد المغنطوكهربائي.

2 -المواد الكهرواجهادية :

المواد الكهرواجهادية تتشوه تحت تأثير حقل كهربائي بالفعل الكهروإجهادي المباشر، و تبدي استقطابا و حقا كهربائيا بفعل تطبيق إجهاد ميكانيكي عليها بالمفعول الكهروإجهادي العكسي .



شكل(2): يبين التشوه الذي يحدث لخزف الكهرواجهادي تحت تأثير جهد كهربائي.

من بين تطبيقات هذا المفعول نجد المحركات الكهروإجهادية.

يمكن وصف سلوك المواد الكهرواجهادية بواسطة المعادلات الخطية التالية:

$$(1) \dots\dots\dots D = d \cdot T + \varepsilon \cdot E$$

$$(2) \dots\dots\dots S = s^E \cdot T + d \cdot E$$

حيث: S : التشوه . D : شعاع الإزاحة الكهربائة .

T : الإجهاد الميكانيكي. s^E : معامل مرونة المادة.

E : الحقل الكهربائي. ε : النفاذية الكهربائة.

d : المعامل الكهروإجهادي للمادة.

تصح هذه المعادلات كلما كانت تغيرات الحقل الكهربائي و الاجهاد المطبق صغيرة.

2-1- تطبيقات المواد الكهرواجهادية:

الجدول التالي يوضح اهم تطبيقات المواد الكهرواجهادية:

| التطبيقات | الأمثلة |
|--------------------|--|
| مولد عالي الضغط | - ولاعة غاز - مطلق القذائف |
| ارسال فوق صوتي | - مولد أمواج صوتية أو فوق صوتية - تثبيت جزئي للمائع - تنظيف السطح - مكبر صوت الهاتف - في المجال الطبي : * تكسير الحصى في الكلى * التصوير الطبي |
| المواقط و المشغلات | - قياس الضغط - قياس الضغط الشرياني - قياس الجهد - استرجاع الطاقة |

جدول(1): يوضح اهم تطبيقات المواد الكهرواجهادية[5] .

3- المفعول المغنطومروني:

تتشوه المادة المغنطومرونية عندما يطبق عليها حقل مغناطيسي. تم اكتشاف هذا المفعول عام 1842 من طرف جول ،الذي اكتشف ان المادة المغنطوحديدية تعطي بوضوح الخصائص المغنطومرونية .كتغير السماحية المغناطيسية مع الحقل المغناطيسي المطبق. [6]

يحصل المفعول المغنطومروني عند وجود تفاعلات بين العزوم المغناطيسية الذرية. فينتج تحت فعل حقل مغناطيسي خارجي تفاعلات كهربائية مع الشبكة البلورية ، تعمل على تعديل المدارات الذرية التي تؤثر على تشوه المادة. [6]

1-3-المعادلات المغناطومرونية:

المعادلات المستعملة في دراسة الظاهرة المغناطومرونية تكتب بالشكل التالي:

(3)..... $B=d.T+\mu^T.H$

(4)..... $S=S^H.T+d^t.H.$

حيث: T:الإجهاد المطبق S: التشوه

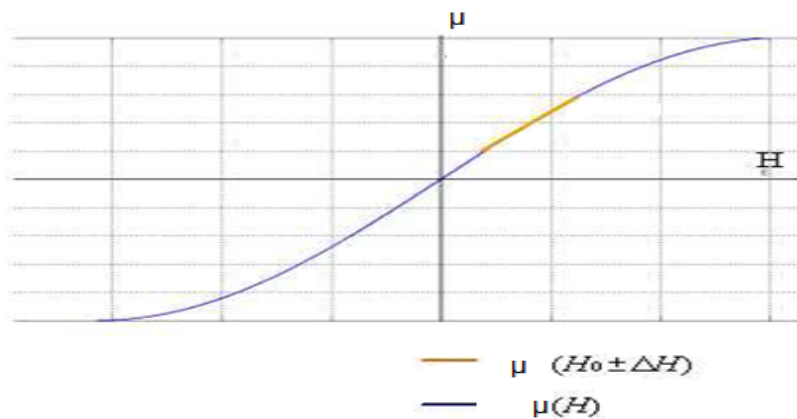
H: الحقل المغناطيسي B: التحريض المغناطيسي

d^t:المصفوفة المنقولة لـ d . d : المعامل الكهروإجهادي

μ^T : تمثل السماحية المغناطيسية للمادة.

S^H:تساوي $\frac{1}{YH}$ وهي تمثل مقلوب معامل يونغ في حقل مغناطيسي ثابت .

من اجل فهم العلاقات بين المقادير الفيزيائية المؤثرة على المفعول المغناطومروني، نستعمل المعادلات الاساسية للفعل المغناطواجهادي بواسطة تعريف ظاهرة "إجهاد" المغناطيسي مثل ظاهرة "إجهاد" الكهربائي حيث يحدد بواسطة معادلات خطية. من أجل التغيرات غير الخطية تكون المعادلة صالحة من اجل التغيرات لضعيفة لحقل التحريض المغناطيسي h_{ac} . الشكل (3) يقدم الحساسية المغناطيسية حول نقطة متحركة من المنطقة الخطية



الشكل (3): يمثل الحساسية المغناطيسية حول نقطة متحركة من المنطقة الخطية .

يقدم الجدول (2) مقارنة بين المعامل المغنطومروني في حالة الاستقرار λ_s ومعامل الترابط الكهروميكانيكي الأقصى K_{max} ، لمختلف السبائك المعدنية و الفيريت ، اما العمود الاخير فيعطي درجة حرارة كوري T_c . [6]

المعامل المغنطومروني λ_s : ضروري لمعرفة فعالية الترابط بين الطاقة الكهربائية والطاقة الميكانيكية للمادة المغنطومرونية.

يتميز التحول الطاقى بوجود معامل الترابط الكهروميكانيكي K .

اما عن درجة حرارة كوري T_c فتفصل الحالة طردية المغنطة عن الحالة حديدية المغنطة .

| المواد | $(\lambda_s \cdot 10^{-6})$ | K_{max} | $T_c(^{\circ}C)$ |
|---|-----------------------------|-----------|------------------|
|Fe | -9 | | 770 |
|Ni | -33 | 0.31 | 358 |
|Co | -62 | | 1130 |
| السبائك المعدنية | | | |
| برمالو 45 (Ni 45- Fe 45) | +27 | 0.3 | 980 |
| Al 13-Fe 87 | -31 | | |
|Co 4-Ni 96 | | 0.28 | 500 |
|Cr 0.8- Co-2.24-Ni 96.8 | +68 | 0.5 | 400 |
| Fe40 –Co60 | +130 | 0.43 | |
|Fe ₃ O ₄ | +40 | | 580 |
|CoFe ₃ O ₄ | -110 | | 510 |
|Ni _{0.948} Co _{0.027} Fe ₃ O ₄ | -30 | | 590 |
| الفيريت Co-Cu-Ni-Fe | -28 | | 530 |

جدول (2): مقارنة بين المعامل المغنطومروني في حالة الاستقرار λ_s ومعامل الترابط الكهروميكانيكي الأقصى و قيم لدرجة حرارة كوري T_c [6]، لمختلف السبائك المعدنية والفيريت .

الجدول رقم (3) يعطي قيم للمعامل المغنطومروني λ_S و درجة حرارة كيري T_c ، لمختلف مركبات التربة النادرة - حديد و التي تتميز بمعاملات مغنطومرونية كبيرة عند درجة الحرارة العادية. [6]

| T_c (°C) | λ_S (10^{-6}) | المواد |
|------------|---------------------------|---|
| 438 | +1753 | Fe ₂ Tb |
| | +308 | Fe ₂ Tb |
| | -1560 | Fe ₂ |
| 635 | +433 | Fe ₂ Dy Sm |
| | +1068 | Fe ₂ Dy _{0.3} Tb _{0.3} |

جدول (3): قيم المعامل المغنطومروني في حالة الاستقرار λ_S و لدرجة حرارة كوري T_c ، لمختلف مركبات التربة النادرة - حديد.

2-3- معامل يونغ :

لاحظ العالم يونغ (Young) أن العلاقة بين الإجهاد والتشوه في مرحلة المرونة للمادة المرنة دائما مقدار ثابت للمادة الواحدة. بمعنى أن الحديد له قيمة مميزة عن النحاس عنه في الذهب، وبذلك أكتشف العالم أن النسبة بين الإجهاد و التشوه هو معامل جديد سماه باسمه (معامل يونغ)، ويكتب على الشكل التالي:

$$(5) \dots\dots\dots Y = \frac{F}{S}$$

$$(6) \dots\dots\dots Y = \frac{\frac{F}{A}}{\frac{\Delta L}{L}}$$

$$(7) \dots\dots\dots Y = \frac{F \times L}{A \times \Delta L}$$

حيث: Y معامل يونغ، T : الإجهاد المطبق، S : التشوه الحادث، F : القوة المطبقة، A : مساحة مقطع المادة ، L : طول المادة الأصلي، ΔL : التغير في الطول.

تتغير مغنطة الحديد الممغنط عند تطبيق اجهاد عليه فيحدث تشوه على المادة. فتعمل هذه الظاهرة على تعديل الثوابت المرورية للمادة اي معامل يونغ Y .

يقدم الجدول التالي قيم معامل يونغ لبعض المعادن. [7]

| المعادن النقية | معامل يونغ (MPa) |
|----------------|------------------|
| الحديد | 196000 |
| الرصاص | 18000 |
| الذهب | 78000 |

جدول(4): قيم معامل يونغ لبعض المعادن [7]

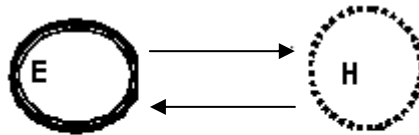
4- المفعول المغنطوكهربائي:

4-1-نبذة تاريخية عن الظاهرة المغنطوكهربائية :

تخيل كوري (Curie) في 1894 وجود المفعول المغنطوكهربائي وحيد الطور [8] حيث قال " تسمح شروط التناظر بتخيل جسم يمكنه ان يستقطب مغناطيسيا اذا وضع في حقل كهربائي ". ثم جاء ديبياي (Debye) سنة 1926 الذي عرف كلمة " مغنطو كهربائية ". لم يتمكن الفيزيائيين من ملاحظة هذا المفعول تجريبيا لعدة سنوات، حتى جاء ديزالوشينسكي (Dzyaloshinskii) في سنة 1959 الذي لاحظته تجريبيا باستعمال عينة اوكسيد الكروم Cr_2O_3 [9] .

4-2- المفعول المغنطوكهربائي وحيد الطور :

نجد في مادة وحيدة الطور الترابط وحيد الطور بين الحالة الكهربائية والحالة المغناطيسية الذي يعرف بالمفعول المغنطوكهربائي وحيد الطور.



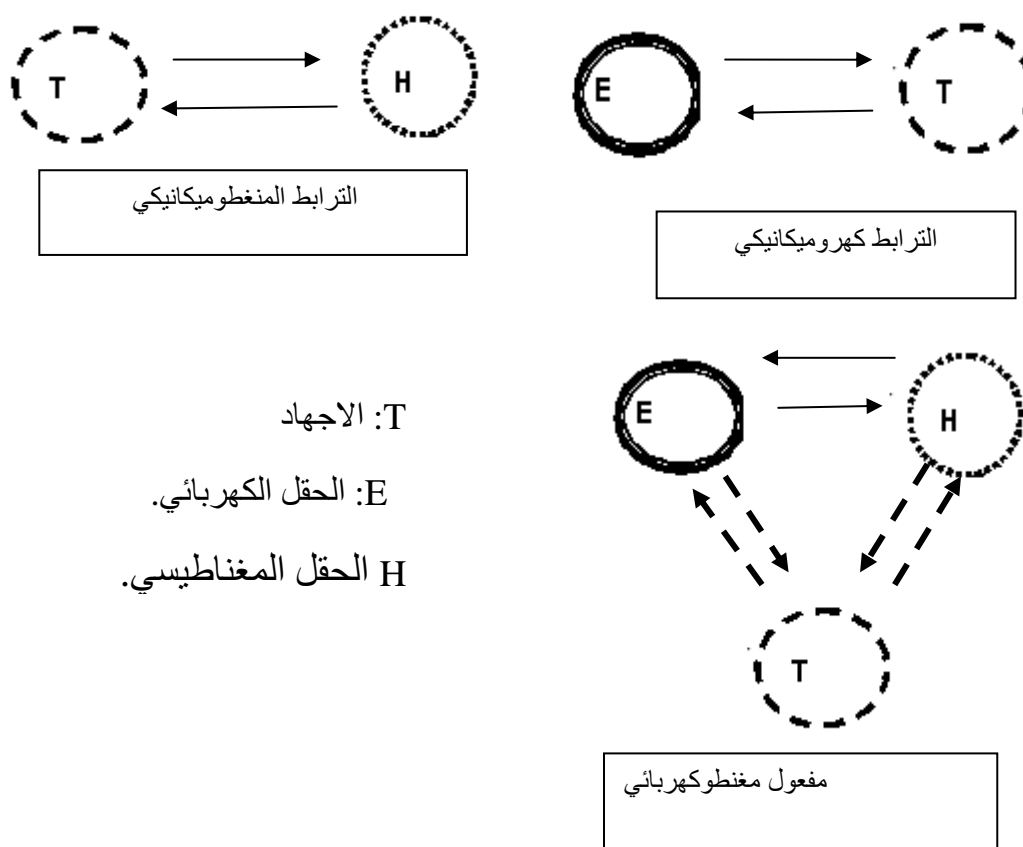
مفعول احادي الطور

H: الحقل المغناطيسي. E: الحقل الكهربائي

شكل(4): يوضح المفعول المغنطوكهربائي وحيد الطور[8]

3-4- المفعول المغنطوكهربائي متعدد الاطوار :

اكتشف هذا المفعول قبل اكتشاف المفعول المغنطوكهربائي وحيد الطور تجريبيا. علي يد (تالجن (Thelgen (1948). حيث يسمح التنسيق بين المواد الكهرواجهادية والمغنطومرونية بالحصول على المعامل المغنطوكهربائي متعدد الاطوار [1] كما يوضحه الشكل(5). [8]



شكل(5): يوضح المفعول المغنطوكهربائي متعدد الاطوار [8]

حيث ينشأ التشوه ميكانيكي عند تطبيق حقل مغناطيسي على الطور المغنطومروني.

دراسة تشوهات عينة مغنطومرونية تحت تأثير تحريض مغناطيسي يقدم لنا معلومات عن الخصائص الميكانيكية لهذه العينة وارتباطها بخصائصها المغناطيسية.

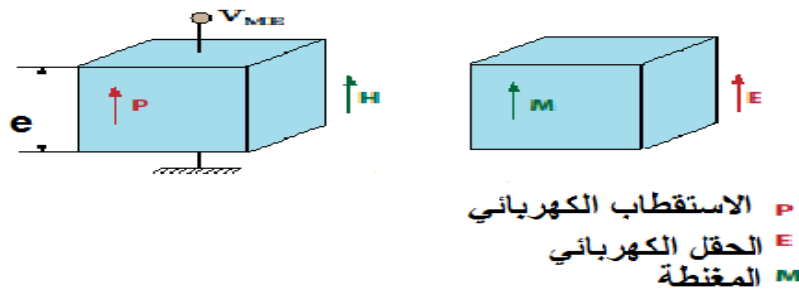
يمكن الحصول على خصائص مغناطوكهربائية بدمج جزيئات مغنطومرونية في مصفوفة كهرواجهادية أو الكهرومرونية وهذا يسمح بإيجاد مؤثرين صادريين من نفس التركيب .

4-4-4-انواع المفعول المغنطوكهربائي :

4-4-4-1-المفعول المباشر: حدوث عملية تحريض مغناطيسي عند تطبيق حقل كهربائي, الشكل (6) (ب)

4-4-4-2-المفعول العكسي: نشوء استقطاب كهربائي في عينة عندما يطبق عليها حقل مغناطيسي

يؤدي تطبيق حقل مغناطيسي H على عينة مغنطوكهربائية الى إستقطاب العينة كهربائيا كما هو موضح في الشكل (6) (أ) [8].



(أ)

(ب)

شكل(6):يبين المفعول المغنطوكهربائي المباشر(أ) و غير المباشر (ب)

نكتب المعامل المغنطوكهربائي في النظام المتوازن بالعلاقة : [8]

$$(8) \dots \dots \dots \alpha_E = \frac{V_{ME}}{e \times H}$$

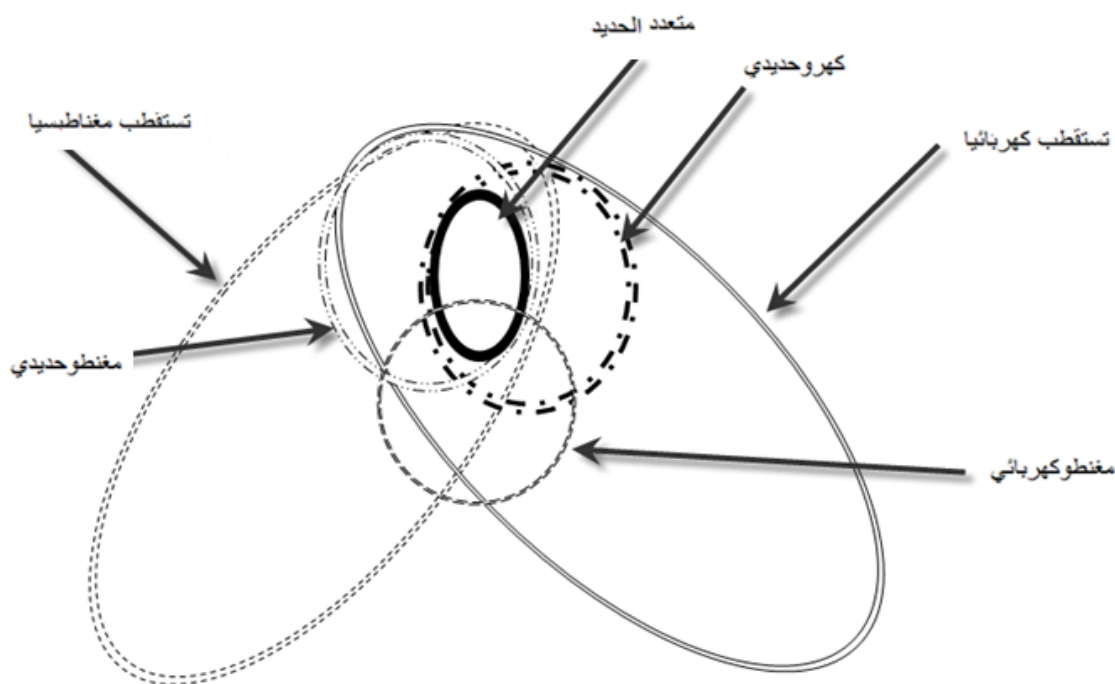
ونكتبه في النظام الديناميكي حيث: $H = h_{ac} + H_{dc}$ ، وتمثل H_{dc} الحقل المغناطيسي المستمر، و h_{ac} الحقل

المغناطيسي المتناوب بالعلاقة [8]

$$(9) \dots \dots \dots \alpha_E = \frac{\Delta V_{ME}}{e \times h_{ac}}$$

المفعول المغنطومروني لمادة مركبة ناتج عن الخصائص المغنطومرونية والكهرواجهادية لمختلف المركبات. تملك هذه المواد خصائصها عن طريق الترابط بين السلوكين المغناطيسي و الميكانيكي للمادة المغنطومرونية ، وبين السلوك الكهربائي و السلوك الميكانيكي للمادة الكهرواجهادية

يوضح الشكل (7) أصناف الترابطات الفيزيائية المختلفة للمواد المغناطيسية و الكهربائية.



شكل (7): أصناف المواد تحت تأثير حقل كهربائي أو حقل مغناطيسي. [10]

5-الخلاصة:

تطرقنا في هذا الفصل الى أهم تطبيقات المواد الذكية، قدمنا المفاهيم الضرورية للمواد الإلكترونية، كالمواد الكهروإجهادية التي تتشوه تحت تأثير حقل كهربائي. كما تطرقنا للظاهرة المغنطومرونية، حيث تتشوه المادة المغنطومرونية عند تطبيق حقل مغناطيسي، كما قدمنا كذلك تعريف الترابط المغنطوكهربائي.

الفصل الثاني

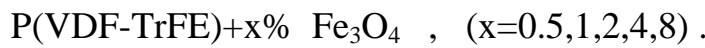
تحضير العينات و القيام بالقياسات

1-مقدمة:

دراسة المواد المغنطوكهربائية تعتمد على دراسة سلوكها عندما تتعرض الى اثاره كهربائية او مغناطيسية.

حدثت اواخر الستينات تطورات مهمة في مجال صنع البوليمرات الكهرواجهادية [4]. و توصل الى عدة تطبيقات لها، في مجال الذاكرات و لواقط الحركة والقوة. حيث أن للبوليميرات فائدة كبيرة ،كونها سهلة الاستعمال وبتكلفة اقل، ولدنة جدا وذو أبعاد قابلة للتشكيل.

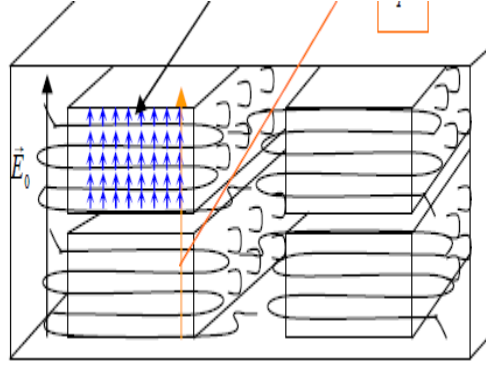
سنقدم في هذا الفصل البنية الميكروسكوبية و الماكروسكوبية التي نريد شحنها و المتمثلة في P(VDF-TrFE) كذا كيفية تحضير العينات المتمثلة في :



كما سنقدم المقعد التجريبي و مبدا القياس .

2- البنية الميكروسكوبية:

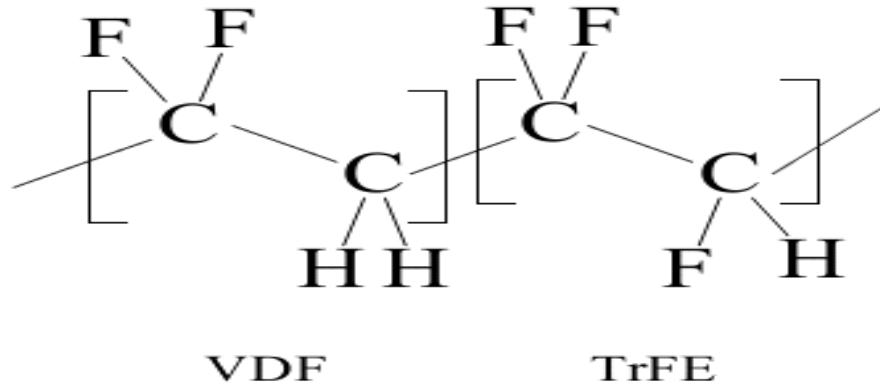
يتبلور متعدد (فلور الفيليدين- ثلاثي فلور الإثيلين) (Vinylidène-Trifluoroéthylène) poly(Fluorure de) المرموز له إختصارا P(VDF-TrFE) بشكل نصف- نصف متبلور و النصف الأخر مبعثر [11]- كما هو موضح في الشكل (8). و جزيئته العملاقة مركبة في ترتيب (تنسيق) إحصائي لمجموعة VDF و TrFE .



شكل (8) : البنية النصف متبلورة لمتعدد (فلور الفيليدين- ثلاثي فلور الإثيلين)

نحصل علي $P(VDF-TrFE)$ بواسطة اضافة مجموعات من ثلاثي فلوروايثيلين $-CF_2-CFH-$ لبنية متعدد فلور الفيليدية PVDF [11]

الشكل (9) يوضح البنية الكيميائية مونومار $(VDF-TrFE)$.



الشكل(9):الصيغة الكيميائية للمونومار $(VDF-TrFE)$

3-تحضير العينات المغنطوكهربائية:

أولاً:نقوم بتجهيز المساحيق المكونة للمركب $(P(VDF.TrFE) + x\% Fe_3O_4)$ بالنسب الكتلية المرغوبة.

ثانياً: نقوم برج الخليط $(MEK + x\% Fe_3O_4)$ في تحت حماية غرفة خاصة باستعمال أمواج فوق الصوتية لمدة 20 د

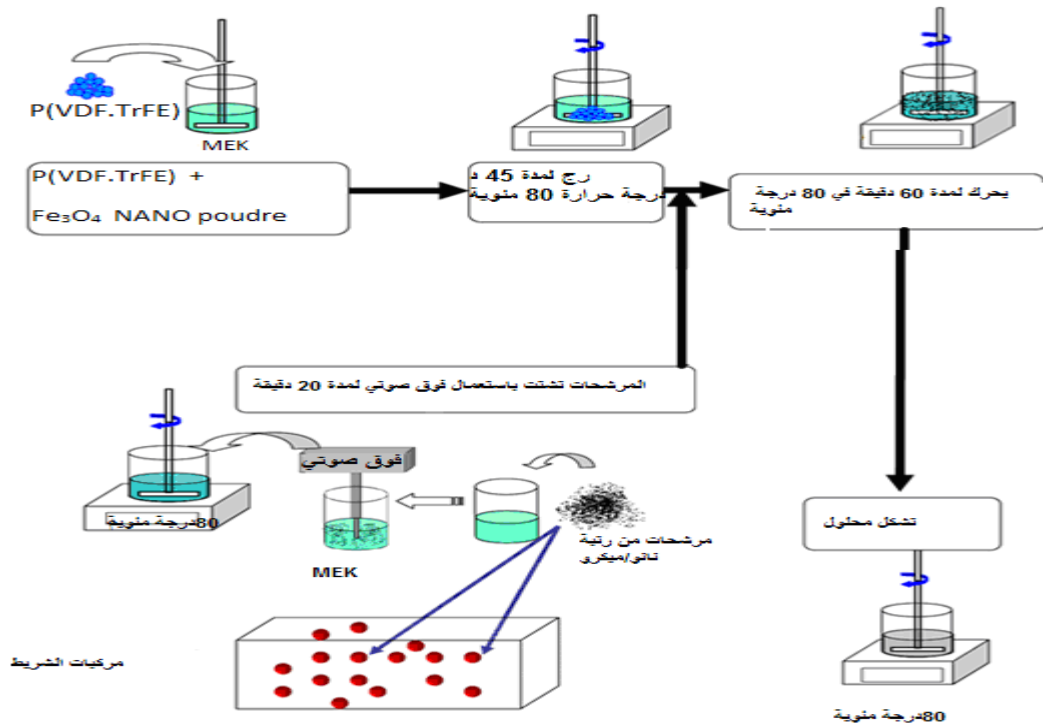
ثالثا: نضع المزيج (MEK+ P(VDF.TrFE) + x% Fe₃O₄) في بيشر و نخلطه ميكانيكيا في درجة حرارة 120 درجة مئوية لمدة ساعتين .

رابعا: وبعد الخلط الجيد للمزيج (MEK)+ P(VDF.TrFE) + x% Fe₃O₄) محلول ميثيل ايثيل كيتون) نقوم بوضعه على صفيحة زجاجية، وذلك باستعمال جهاز خاص لتحديد سمك العينة . ثم نوضعها في فرن تحت درجة حرارة 60°C .

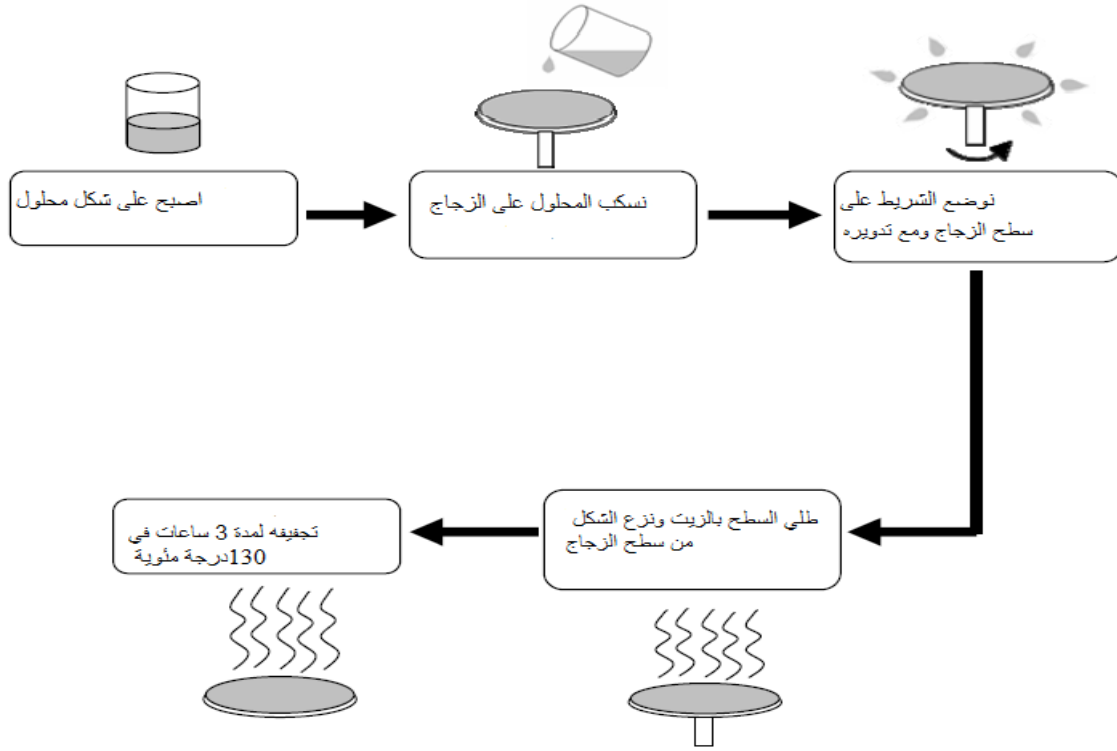
خامسا: تجفف العينة لمدة ساعتين في درجة حرارة 120 درجة مئوية .

نتبع هذه الطريقة من اجل (x=0.5,1,2,4,8) .

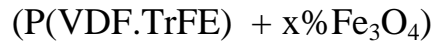
هذه المراحل مختصرة في المخطط التالي :



الشكل (10): مخطط توضيحي لكيفية تحضير المزيج (P(VDF.TrFE) +x% Fe₃O₄)

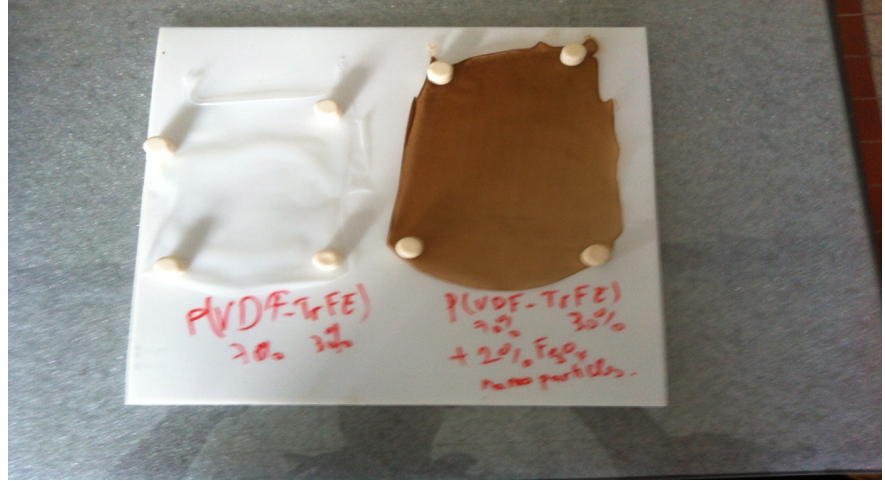


شكل (11): مخطط يبين المراحل تحضير العينات المغنطوكهربائية انطلاقا من المزيج



الشكل (11) يبين لنا كيفية الحصول على العينات المغنطوكهربائية انطلاقا من المزيج (P(VDF.TrFE) و $x\% Fe_3O_4$).

الشكل (12) يوضح صورة للعينة P(VDF.TrFE) نقية بدون اضافات و أخرى لعينة مشحونة بحبيبات النانومترية من أكسيد الحديد الثلاثي بعد جفافهما أما الشكل (13) فيوضح العينات النهائية بعد وضع الطبقة الناقلة عليها، هذه الطبقة ضرورية لأخذ القياسات.



شكل (12): يبين العينة بعد الجفاف



شكل (13): يبين العينات النهائية.

4- مبدأ القياس :

لدراسة تغيرات المعامل المغنطوكهربائي لبنية الاحادية الطبقة للمركب مشحون بحبيبات نانومترية من أكسيد الحديد الثلاثي Fe_3O_4 بدلالة النسب الكتلية لـ Fe_3O_4 . نخضع العينات إلى حقل مغناطيسي ساكن ناتج عن مغناطيس كهربائي مغذى بجهد مستمر وحقل متناوب ناتج من مغناطيس كهربائي مغذى بمنبع توتر متناوب. و نقيس التيار المغنطوكهربائي الناتج عن العينة

الفصل الثالث

النتائج المحصل عليها

1-مقدمة:

يعطى الإستقطاب في حالة المواد المغناطوكهربائية بالشكل :

$$(10) \dots\dots\dots P = \epsilon E + \alpha_p H + \frac{1}{2} \beta H^2$$

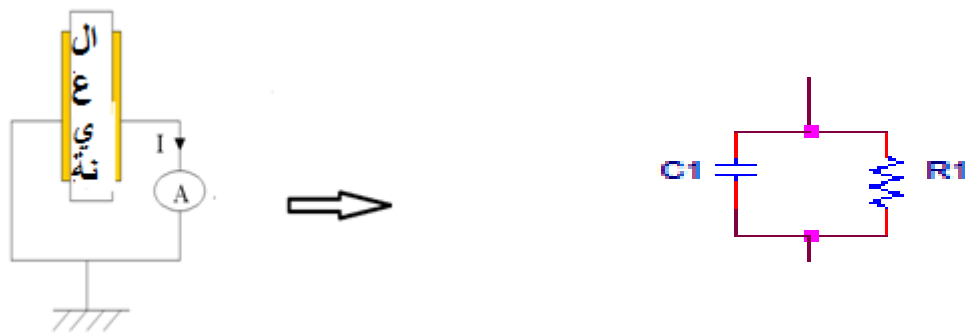
حيث: P ، E ، H ، ϵ هم على التوالي الإستقطاب الكهربائي، الحقل الكهربائي، الحقل المغناطيسي وسماحية المادة. α_p و β يمثلان معاملان المغناطوكهربائية من الرتبة الاولى والثانية.

عند انعدام الحقل الكهربائي تصبح المعادلة السابقة من الشكل:

$$(11) \dots\dots\dots P = \alpha_p H + \frac{1}{2} \beta H^2$$

العينة تكون على شكل مستطيل: ذات سمك $\sim 60\mu m$ وطول مساوي الى 4.7 cm وعرض 0.3 cm .

نعتبر سلوك العينة كمكثفة مرتبطة على التفرع مع المقاومة كما هو موضح في الشكل التالي



شكل (15): يوضح سلوك عينة كسعة مرتبطة على التفرع مع المقاومة.

الحقل المغناطيسي المستعمل عبارة عن مجموع حقلين: الحقل المتناوب الضعيف H_{ac} والحقل المستمر

$$H = H_{ac} + H_{dc} \text{، اذن: } H_{dc} \text{، ومنه.}$$

يكتب التيار المغنطوكهربائي بالعلاقة :

$$(12)..... I = SP = \alpha_p S(\dot{H}_{dc} + \dot{h}_{ac}) + \beta S(H_{dc} + h_{ac})(\dot{H}_{dc} + \dot{h}_{ac})$$

S: هي مساحة العينة.

فبعد التبسيط العلاقة (12) نحصل على

$$(13)..... I = \alpha_p S \dot{h}_{dc} + \beta S(H_{dc} + h_{dc}) \dot{h}_{dc}$$

بتعويض : $\dot{h}_{ac} = j\omega h_{ac}$ فينتج :

$$(14)..... I = \alpha_p S j\omega h_{dc} + \beta S j\omega H_{dc} h_{dc} + \beta S j\omega h_{dc}^2$$

مع: $h_{ac} = H_{ac} e^{j\omega}$

تصبح المعادلة من الشكل :

$$(15)..... I = \alpha_p S j\omega H_{ac} e^{j\omega} + \beta S j\omega H_{dc} H_{ac} e^{j\omega} + \beta S j\omega H_{ac}^2 e^{2j\omega}$$

حيث: $f = \frac{\omega}{2\pi}$

يكتب التيار من الشكل :

$$[12] (16)..... I = \alpha_p S j\omega H_{ac} e^{j\omega} + \beta S j\omega H_{dc} H_{ac} e^{j\omega}$$

بفرض ان : $h_{dc} = 0$ ، نحصل على المعادلة التالية:

$$[13] (17)..... I = \alpha_p S j\omega h_{ac}$$

2-النموذج:

الفقرة السابقة تعطي القيمة الحقيقية للتيار المغنطوكهربائي في حالة اهمال التيار الناتج عن حلقة القياس. لكن في الحالة العادية التيار المقاس عبارة عن مجموع تيارين هما التيار المغنطوكهربائي و التيار لنز.

نشرح فيما يلي أصل التيار المشوش- تيار لنز -والتعرف به، وذلك من اجل تحديد المعامل المغنطوكهربائي للمركبات أحادية الطبقة.

توضع العينة في تحريض مغناطيسي $B(t)$ الذي يتغير بدلالة الزمن وفي تدفق مغناطيسي ايضا متغير، ونحدده باستعمال العلاقة :

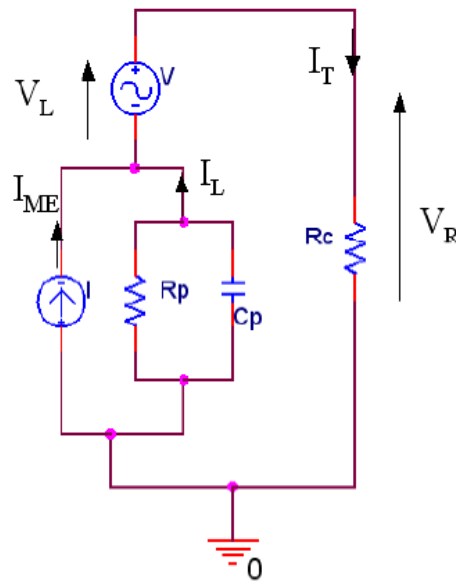
$$\Phi(t) = S \times B(t) \quad (18)$$

حيث: $\Phi(t)$: التدفق المغناطيسي ، S : هو سطح حلقة القياس .

اذا قيمة الجهد بين طرفي الحلقة يعطى بالعلاقة $e = \frac{d\Phi}{dt}$ التيار المحث $I_L = \frac{e}{Z}$ يظهر في الحلقة.

حيث Z تعبر علي ممانعة العينة، يحسب بواسطة $Z = \left((C_p \omega)^2 + \frac{1}{R_p^2} \right)^{-1}$ سعة ومقاومة العينة نقيسهما باستعمال مقيلس الممانعات (HP 4284A).

المخطط الكهربائي المكافئ لهذا التركيب موضح في الشكل (16)



شكل (16): المخطط الكهربائي المكافئ للعينة تحت تأثير حقل مغناطيسي.

لتحليل الدارة و استنتاج التيار المغنطوكهربائي نستعمل مبدأ التراكب.

1-2- باخماد مصدر التيار :

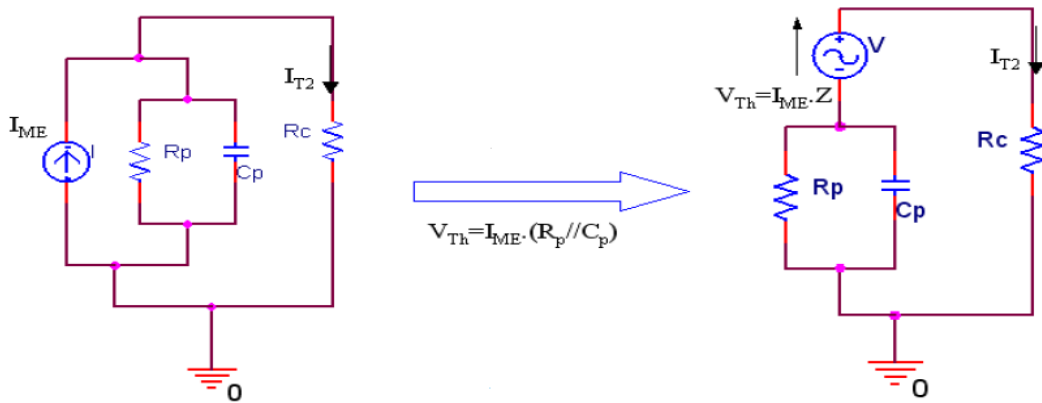
$$I_{T1} = \frac{V_L}{Z+R_c} \quad \text{إذن} \quad Z = C_p \parallel R_p = \frac{\frac{R_p}{j\omega C_p}}{R_p + \frac{1}{j\omega C_p}} = \frac{R_p}{j\omega C_p R_p + 1} \quad (19)$$

أو $R_c = R_{\text{السلك}} + R_{\text{دخول المضخم}}$ مقاومة السلك تكون ضعيفة جدا من أجزاء اوم ،

مقاومة دخول المضخم التيار تتعلق بمعيار 7 نستعمل الترتيب ،الممانعة تكون اقل من 100Ω ، كذلك R_c تكون من أجزاء 100Ω ،زيادة على ذلك فمقاومة العينة تتغير بين $10 M\Omega$ و $20 M\Omega$ ، في شريط تردد 5 هرتز إلى 10 كيلوهرتز، و عليه يمكننا اعتبار المقاومة R_c مهمله أمام ممانعة البوليمار.

إن التيار I_{T1} نحصل عليه من $I_{T1} = \frac{V_L}{Z}$ بالتفريع الجيد لهذا التيار الموافق لتيار لنز الذي نجده يخلق بواسطة منبع التوتر لنز - فرادي .

2-2-باخماد مصدر التوتر:



شكل(17): الدارة بعد اخماد مصدر التوتر

بتحويل الدارة باستعمال طريقة نورتن و تيفنن،نستنتج بسهولة

$$(20) \dots\dots\dots I_{T2} = \frac{V_{Th}}{Z+R_c} = \frac{I_{ME} Z}{Z+R_c} = \frac{I_{ME}}{1+\frac{R_c}{Z}}$$

حيث $R_c \lll Z$ ، إذن $I_{T2} = I_{ME}$

(21)..... نظرية التراكب تسمح بكتابة $I_T = I_{T1} + I_{T2} = I_L + I_{ME}$

(22)..... وجدنا سابقا أن : $I_{ME} = \alpha_p S j \omega h_{ac} + \beta S j \omega H_{dc} h_{ac}$

تمثل ظاهرة لنز بالعبارة :

(23)..... $I_L = \frac{V_L}{Z} = \frac{V_L(j\omega C_p R_p + 1)}{R_p} = j\omega C_p V_L + \frac{V_L}{R_p}$

(24)..... انطلاقا من قانون فراداي: $V_L = \Phi = j\omega \Phi$

حيث Φ تمثل التدفق المغناطيسي.

نكتب تيار لنز بالشكل :

$$(25) \dots\dots\dots I_L = \omega^2 C_p \Phi \frac{j\omega\Phi}{R_p}$$

اذن: يكتب التيار I_T بالشكل التالي :

$$(26) \dots\dots\dots I_T = \alpha_p S j\omega h_{dc} + \beta S j\omega H_{dc} h_{dc} - \omega^2 C_p \Phi \frac{j\omega\Phi}{R_p}$$

اذن: يشير الكاشف الذبذبات الكهربائية الى قيمة فعالة :

$$(27) \dots\dots\dots I_T = \sqrt{\left(\alpha_p S \omega h_{dc} - \frac{\omega\Phi}{R_p}\right)^2 + (C_p \Phi \omega^2)^2}$$

3-الخلاصة :

لتحديد المعامل المغنطوكهربائي للعينات المدروسة يتوجب علينا شرح أصل التيار المشوش- تيار لنز - والتعرف به، لهذا السبب قمنا بنمذجة العينة بمكتفة على التوازي مع مقاومة ، ولتحليل هذه الدارة و استنتاج التيار المغنطوكهربائي استعملنا مبدأ التراكم باخماد التيار ثم اخماد التوتر.

الفصل الرابع

تحليل النتائج

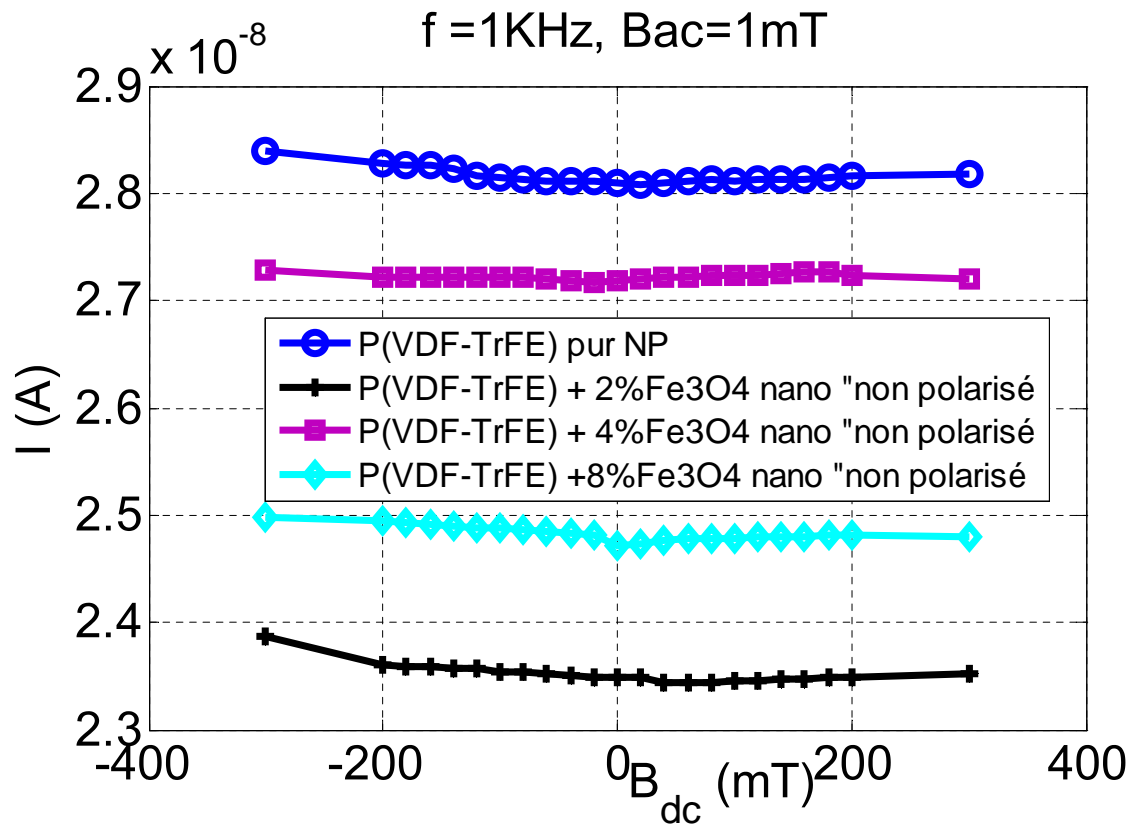
1-مقدمة:

سنقدم في هذا الفصل تأثير النسب الكتلية للشحنات النانومترية من Fe_3O_4 و المضافة الى متعدد(فلور الفيليدين- ثلاثي فلور الإثيلين) P(VDF_TrFE) على منحيات التيار المغناطوكهربائي بدلالة تردد الحقل المغناطيسي المتناوب المطبق، شدة الحقل المغناطيسي المستمر ثم المتناوب المطبق .

انطلاقاً من نتائج المنشورة بالمرجع [2] التي درست تأثير تركيز الشحنات المضافة على الاستجابة المغناطوكهربائية في عينات من البوليمرات المشحونة بشحنات نانومترية من (Te-D) Terfermol-D (مركب (PU+%TeD) . استعملنا نفس الطريقة لدراسة الظاهرة المغناطوكهربائية للعينات P(VDF_TrFE) المشحونة بشحنات نانومترية من Fe_3O_4 مع الإهتمام بدراسة العوامل التي تؤثر على شدة التيار المغناطوكهربائي الناتج.

2- تأثير شدة الحقل المغناطيسي المستمر المطبق على التيار المغناطوكهربائي:

الشكل (18) يبين تغيرات التي التيار المغناطوكهربائي بدلالة شدة الحقل المغناطيسي المستمر ، من اجل حقل مغناطيسي مساوي للقيمة الفعالة $B_{ac}=0.1mT$ وتردد $1kHz$ ، نجد التيار الاقصى لـ P(VDF_TrFE) النقي هو $28.9nA$ الموافق لـ $B_{dc}=-300mT$ و $27.3nA$ لـ $(P(VDF_TrFE)+2\%Fe_3O_4)$ و $23.9nA$ لـ $(P(VDF_TrFE)+4\%Fe_3O_4)$.



شكل (18): تأثير الحقل المغناطيسي المستمر على التيار المغنطوكهربائي

ان التركيب بين الترابط الكهرواجهادي والمغنطومروني ينشئ الترابط المغنطوكهربائي عن طريق وسيط التشوه – الاجهاد .

انطلاقاً من المنحنيات نجد ان التيار يبقى ثابت تقريباً مهما تغيرت قيم الحقل المغناطيسي المستمر . و هذا يدل على ان التيار المغنطوكهربائي لا يتعلق بالحقل المغناطيسي المستمر .

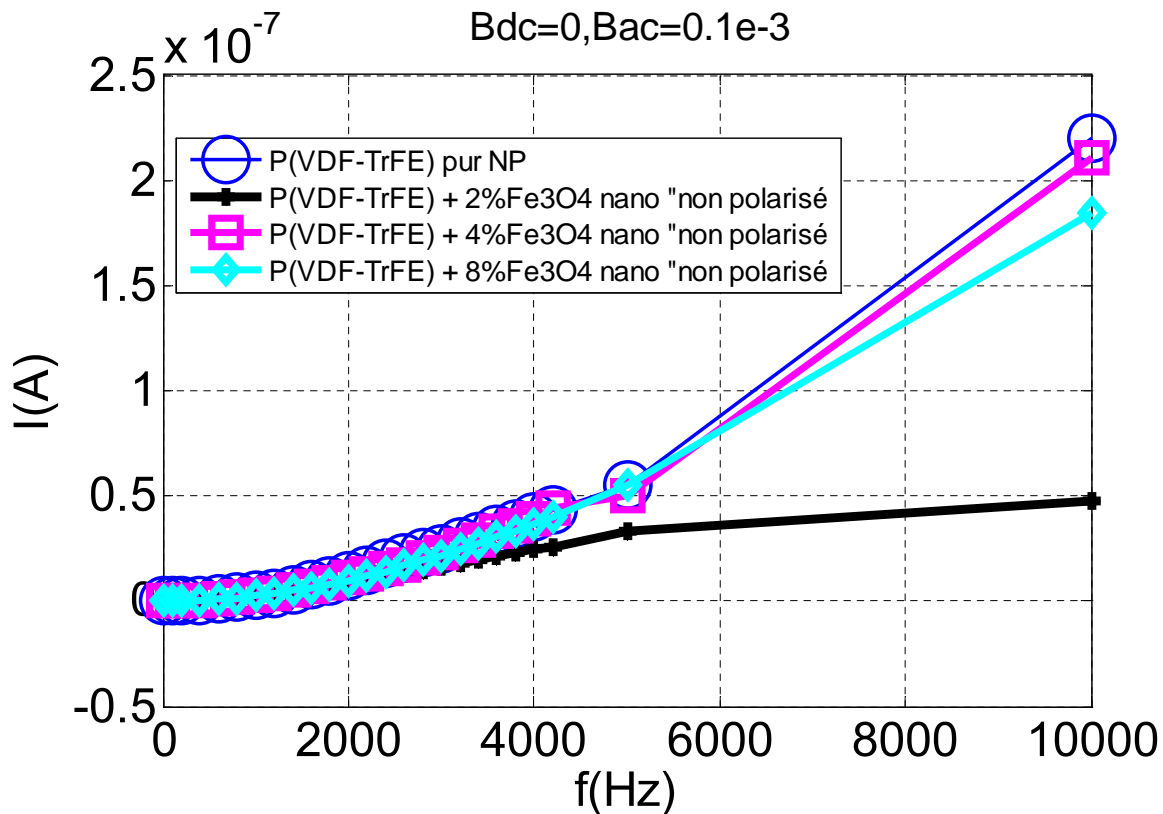
كما ان الاستجابة المغنطوكهربائية تبقى نفسها وهذا يدل على ان الظاهرة المغنطومرونية هنا تميل الى احسن قيمة للحقل المغناطيسي الساكن B_{dc} اي يميل الى احسن معامل مغنطواجهادي. الذي يصاحب ذروة التيار المغنطوكهربائي. [14]

يفسر ثبوت التيار المغنطوكهربائي بان الخصائص المغنطومرونية لهذه المادة تؤثر على المفعول المغنطوكهربائي [15] .

3-تأثير التردد على التيار المغنطوكهربائي:

لدراسة تأثير التردد على التيار المغنطوكهربائي يكفي تحليل المنحني شكل (19) .

المنحني يبين ان تغيرات التي تحدث للتيار بدلالة التردد متزايدة وهذا يتوافق مع المعادلة رقم (17).

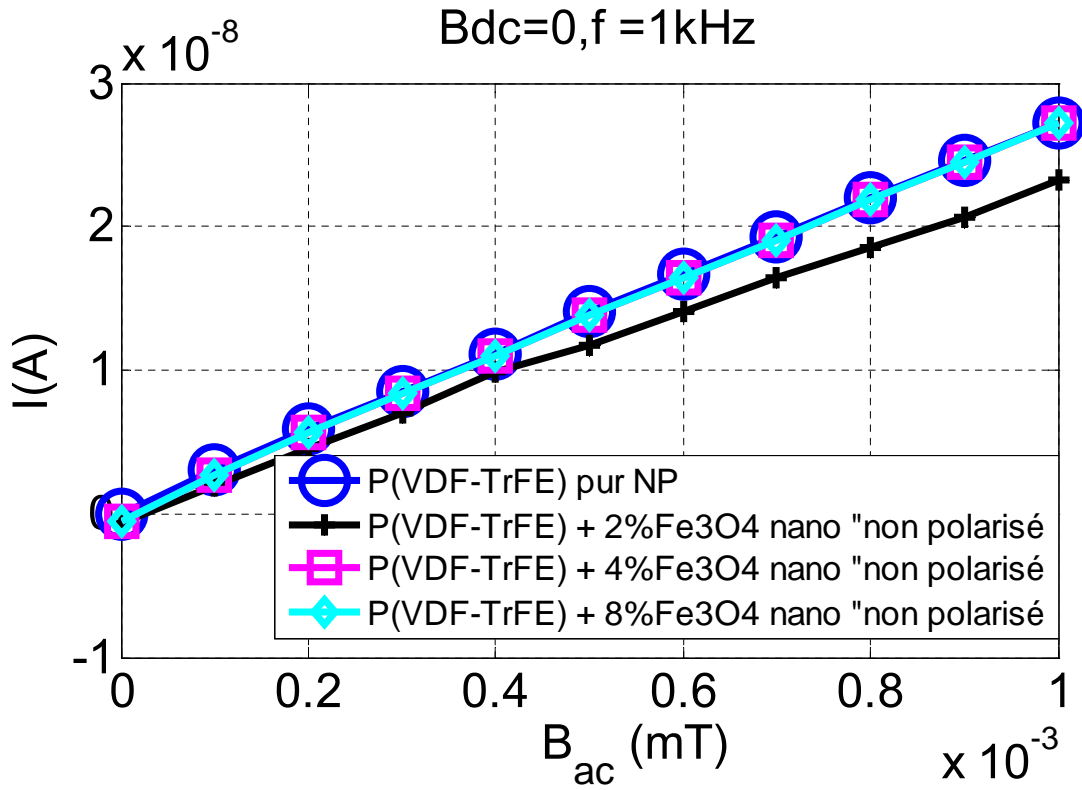


شكل (19): تأثير التردد على التيار المغنطوكهربائي

4-تأثير شدة الحقل المغناطيسي المتناوب على التيار المغنطوكهربائي :

لدراسة تأثير الحقل المغناطيسي المتناوب على التيار المغنطوكهربائي ، قمنا برسم المنحني الذي يوضح

تغيرات شدة التيار المغنطوكهربائي بدلالة مختلف القيم للحقل المغناطيسي المتناوب.



شكل(20): تأثير الحقل المغناطيسي المتناوب على التيار المغنطوكهربائي

أجريت القياسات عند تردد مساوي الى 1KHz و عند حقل مغناطيسي مستمر معدوم

يبرهن الشكل(20) على ان تغير التيار المقاس بدلالة الحقل المغناطيسي المتناوب المطبق يكون خطي و هذا مهما تغيرت قيم تردد الحقل المطبق.

زيادة الحقل المغناطيسي المتناوب يرافقه زيادة التيار ، وهذا الاستنتاج يوافق المعادلة (17).

تأثير النسب الكتلية لـ Fe_3O_4 (%) على السماحية و المقاومة الكهربائية :

يشير الجدول(5) الى قيم كل من السعة ، السماحية و المقاومة و المعامل المغنطوكهربائي α_p للعينات المستعملة عند الترددات 100 Hz و 1 KHz :

حيث قيمة المعامل المغنطوكهربائي تم حسابه بالعبرة التالية:

$$\alpha_p = \frac{\sqrt{I^2_T - (C_p \phi \omega^2)^2} + \frac{\omega \xi}{R_p}}{S \omega h_{ac}} \dots \dots \dots (28)$$

و السماحية الكهربائية بالعلاقة:

$$(29) \dots \dots \dots \epsilon_r = \frac{\epsilon_p \cdot C_p}{S \epsilon_0}$$

و المقاومة بالعلاقة:

$$(30) \dots \dots \dots \rho = \frac{R \cdot S}{e}$$

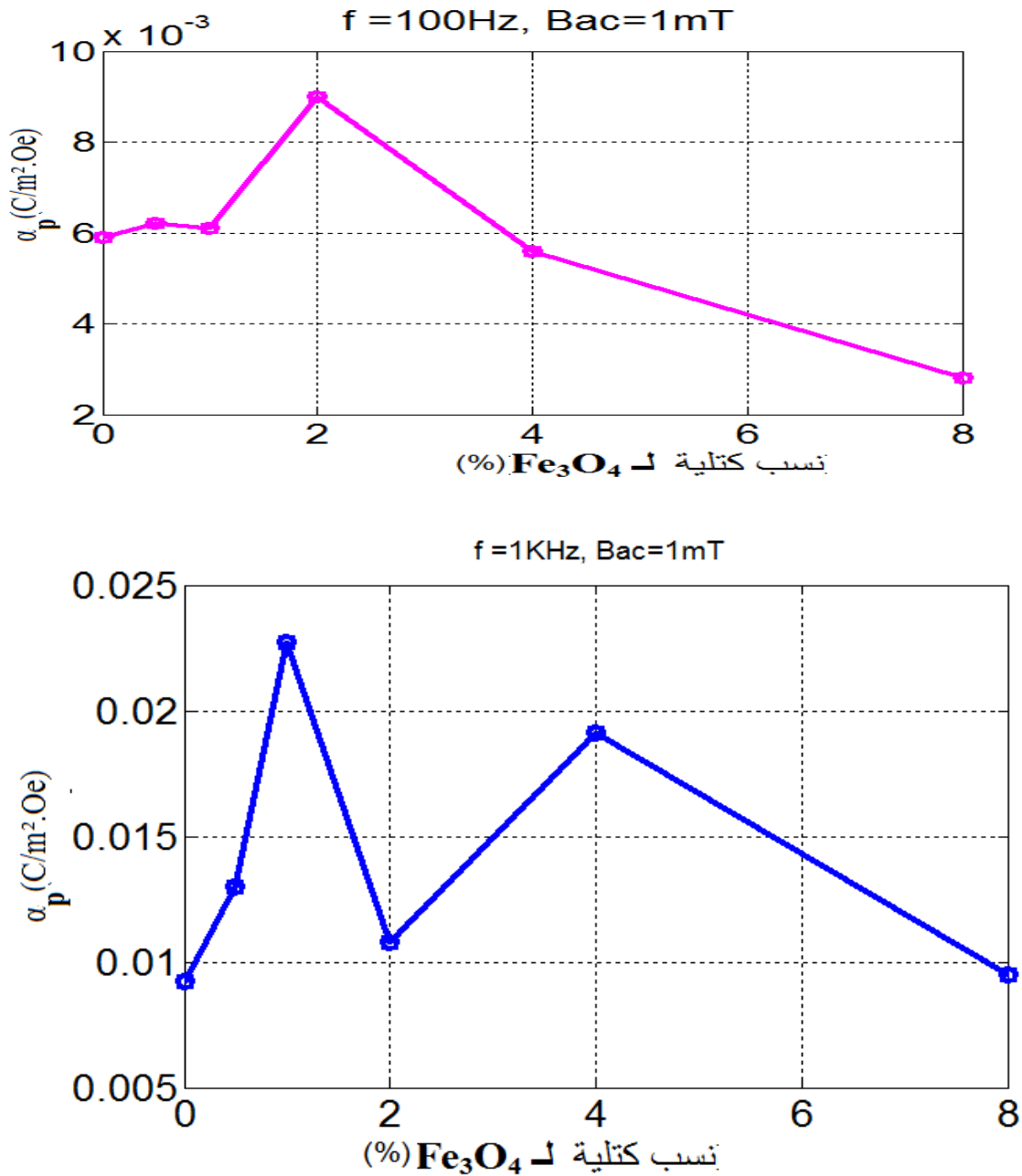
| | f(HZ) | Cp (pF) | Rp (MΩ) | αp | ϵ | $\rho = \frac{R \cdot S}{e}$ |
|---|-------|---------|---------|------------|--------------------------|------------------------------|
| P(VDF-TrFE) Pur | 100 | 360 | 560 | 0.0059 | 2.4×10^{-10} | $84 \times 10^{+7}$ |
| | 1000 | 182.22 | 23.37 | 0.0092 | 1.2148×10^{-10} | 35.055×10^6 |
| P(VDF-TrFE)+0.5% Fe ₃ O ₄ | 100 | 246 | 211 | 0.0062 | 1.64×10^{-10} | $3165 \times 10^{+5}$ |
| | 1000 | 232 | 11.6 | 0.0130 | 1.55×10^{-10} | $252 \times 10^{+5}$ |
| P(VDF-TrFE)+1% Fe ₃ O ₄ | 100 | 276 | 212 | 0.0061 | 9.7872×10^{-11} | 597.84×10^6 |
| | 1000 | 273 | 15.5 | 0.0227 | 9.6809×10^{-11} | 43.71×10^6 |
| P(VDF-TrFE)+2% Fe ₃ O ₄ | 100 | 263 | 240 | 0.0090 | 1.4611×10^{-10} | 24×10^7 |
| | 1000 | 220 | 16.8 | 0.0108 | 1.4667×10^{-10} | 16.8×10^6 |
| P(VDF-TrFE)+4% Fe ₃ O ₄ | 100 | 183 | 257 | 0.0056 | 9.2149×10^{-11} | 4.0249×10^8 |
| | 1000 | 178 | 21.95 | 0.0191 | 8.9631×10^{-11} | 4.3591×10^7 |
| P(VDF-TrFE)+8% Fe ₃ O ₄ | 100 | 183 | 257 | 0.0028 | 1.22×10^{-10} | 6.5885×10^8 |
| | 1000 | 175 | 22 | 0,0095 | 1.1667×10^{-10} | 5.64×10^7 |

جدول (5): جدول لقيم كل من السعة، السماحية والمقاومة و المعامل المغنطوكهربائي α_p للعينات عند الترددات 100HZ و 1 KHz.

انطلاقاً من الجدول يمكننا أن نلاحظ ان المقاومة و سعة العينة تتناقص مع زيادة التردد .

يسمح الجدول برسم المنحنيات التالية :

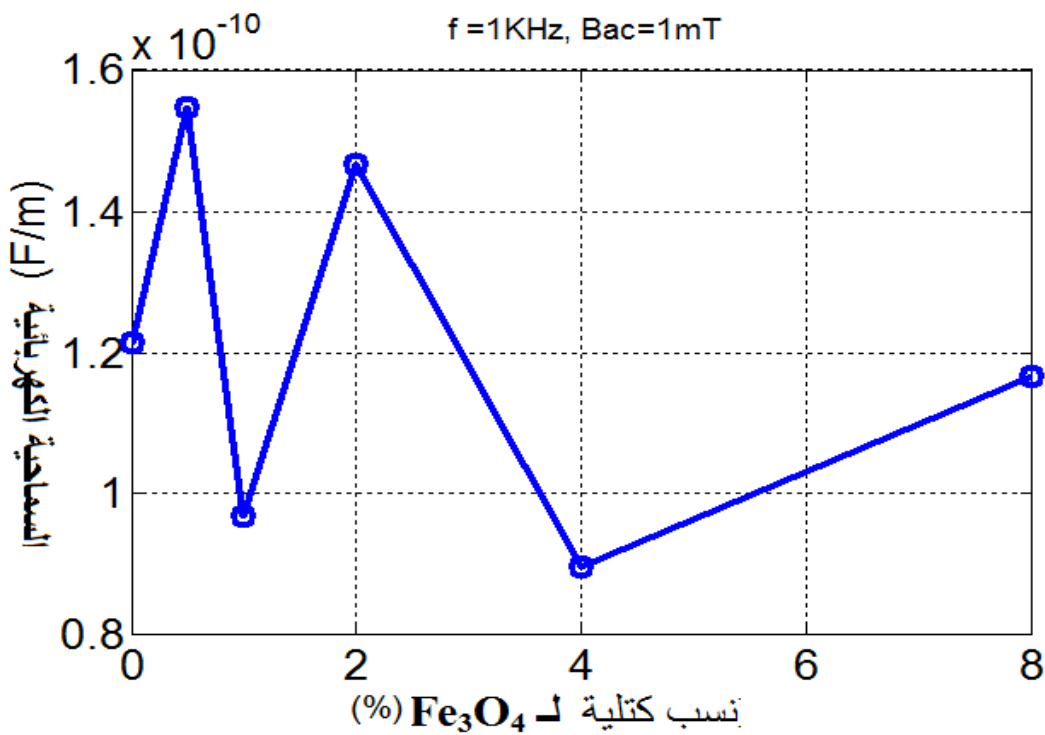
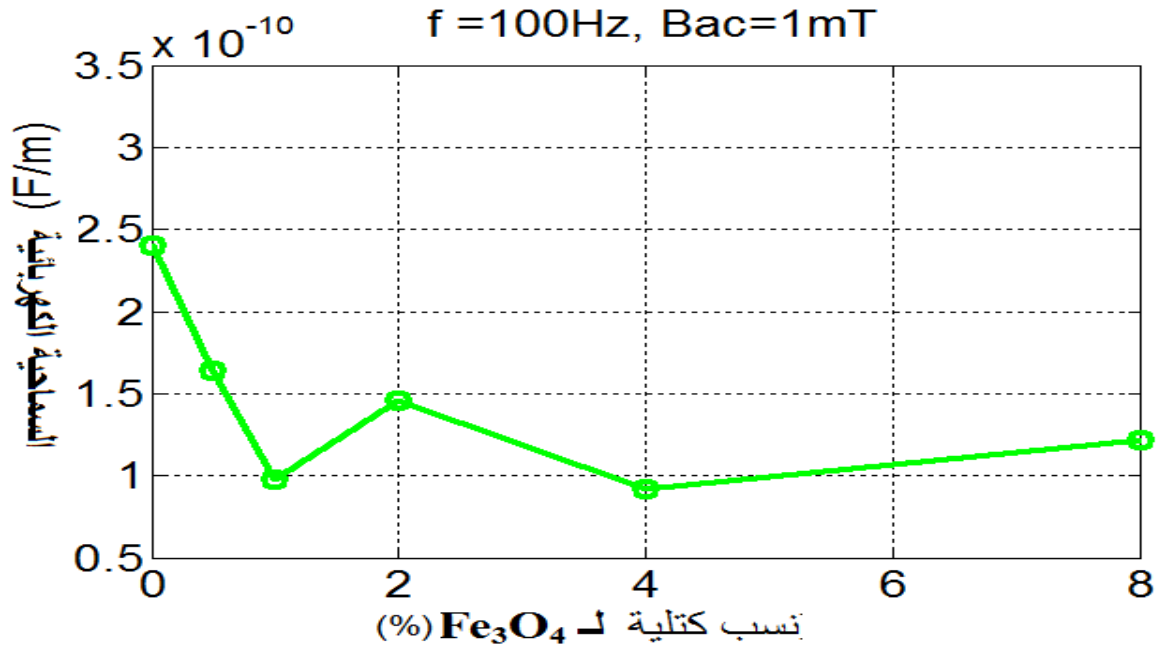
5-دراسة تغيرات المعامل المغنطوكهربائي بدلالة النسب الكتلية لـ Fe_3O_4 (%):



شكل (21) :يوضح تغيرات المعامل المغنطوكهربائي بدلالة النسب الكتلية لـ Fe_3O_4 (%)

ينتج من المنحني انه كلما زادت النسب الكتلية لـ Fe_3O_4 يتبعها زيادة في المعامل المغنطوكهربائي. وهذا راجع الى ان Fe_3O_4 يملك خاصية مغنطومرونية . حيث ينتج عن الخاصيتين الكهرواجهادية والمغنطومرونية الترابط المغنطوكهربائي

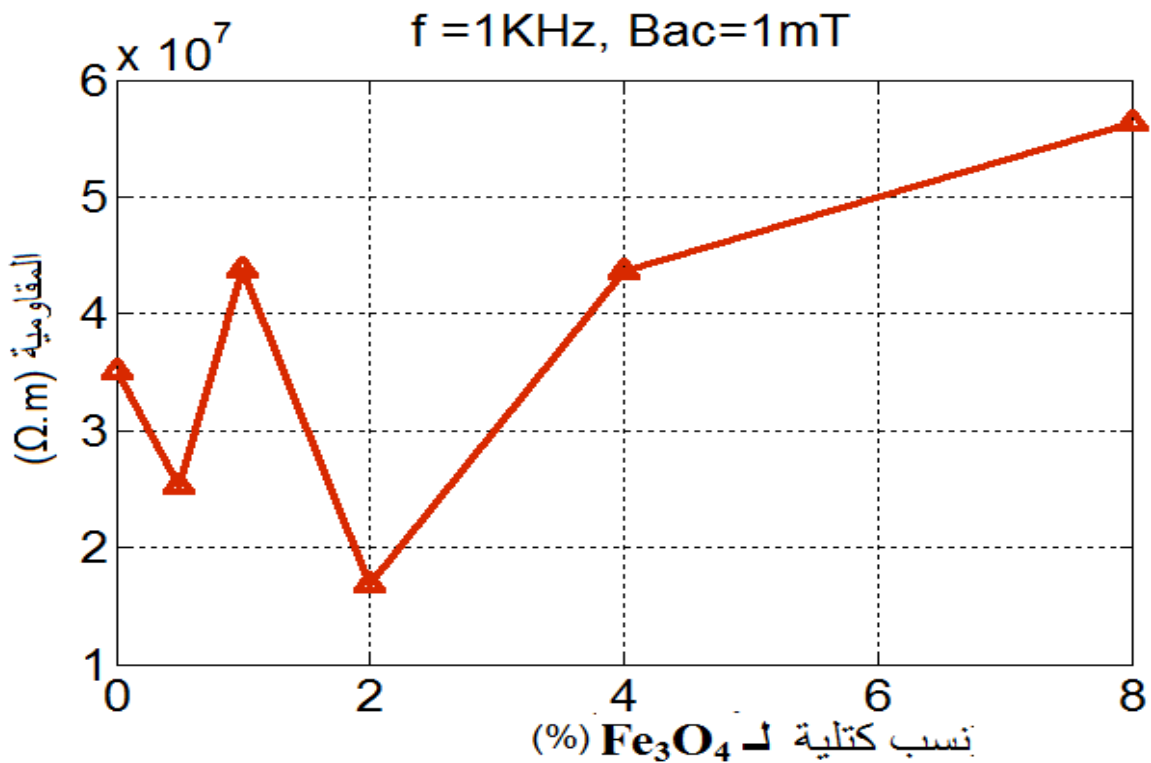
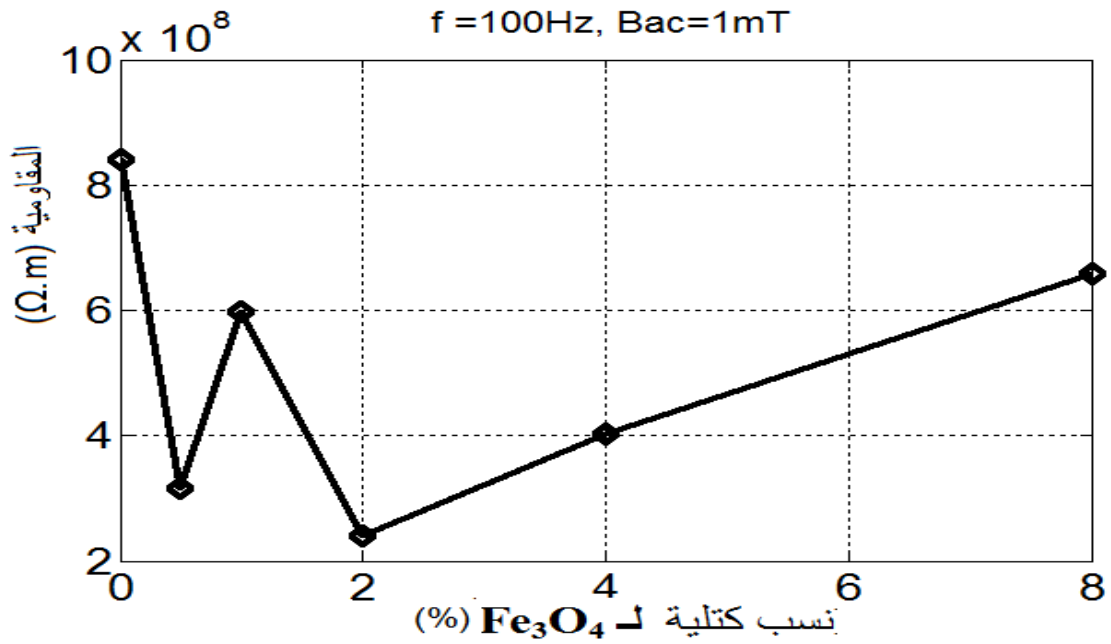
6-دراسة تغيرات السماحية الكهربائية بدلالة النسب الكتلية لـ Fe_3O_4 (%):



شكل (22): منحني يبين تغيرات السماحية بدلالة النسب الكتلية لـ Fe_3O_4 (%)

يبين المنحني ان السماحية تتناقص بدلالة النسب الكتلية لـ Fe_3O_4 عند 100 Hz .

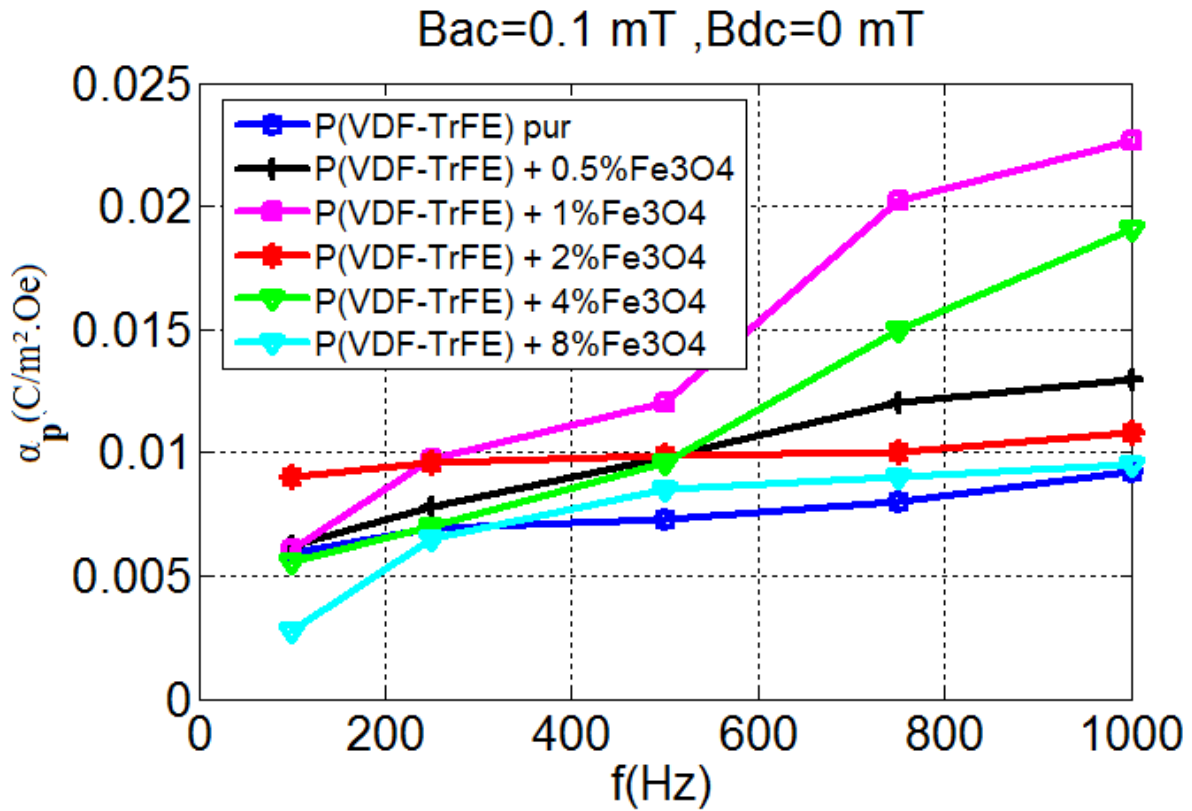
- دراسة تغيرات المقاومة بدلالة النسب الكتلية لـ Fe_3O_4 (%):



شكل (23) :منحني يبين دراسة تغيرات المقاومة بدلالة النسب الكتلية لـ Fe_3O_4 (%)

نلاحظ في المنحني ان المقاومة زادت عند النسب الكتلية اكبر من 2% لـ Fe_3O_4 . وبعدها تتناقص المقاومة وهذا مع زيادة النسب الكتلية لـ Fe_3O_4 . وهذا يدل على ان الجزيئات الناقلة تكون مبعثرة في المصفوفة المعزولة للعينة. اذن تبرز الناقلية الكهربائية التي تنتج عن ظاهرة التشبع (percolation) في المصفوفة المعزولة للعينة. [16]

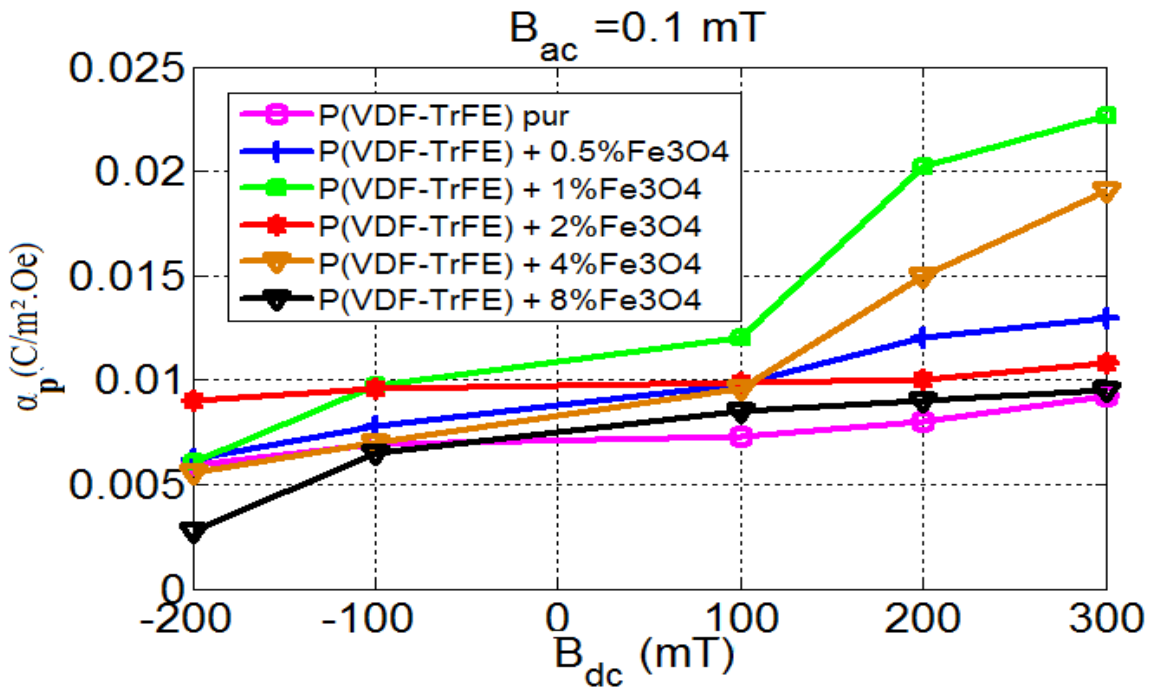
8-تأثير التردد على المعامل المغنطوكهربائي :



شكل (24): يوضح تأثير التردد على المعامل المغنطوكهربائي.

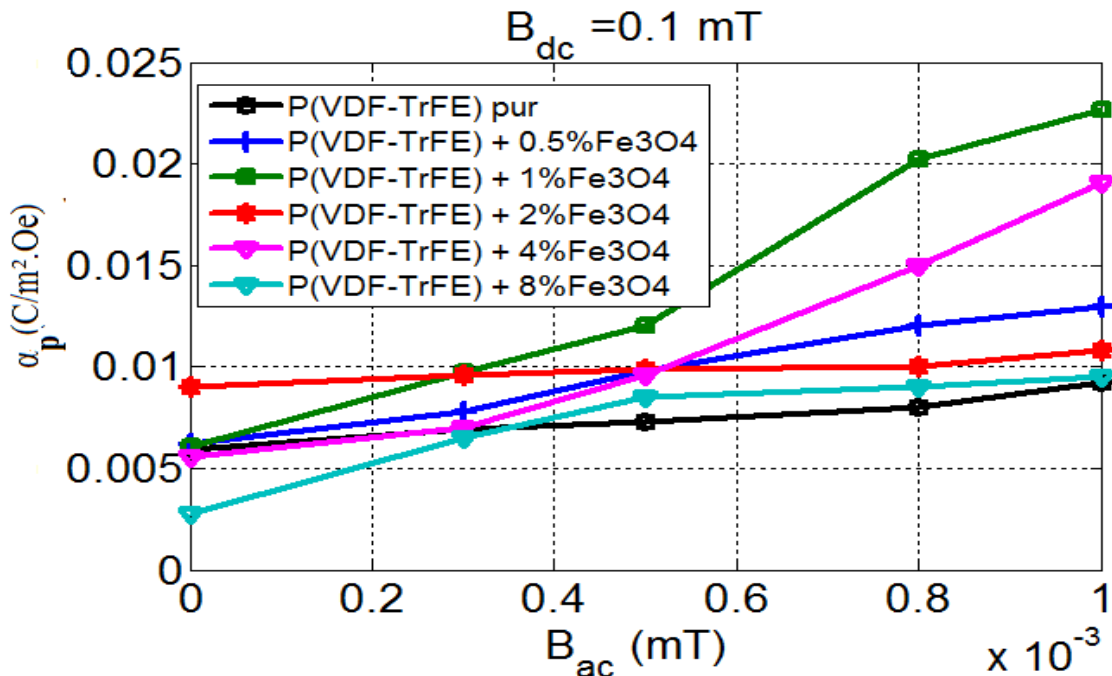
ينتج من المنحني انه كلما زاد التردد يتبعه زيادة في المعامل المغنطوكهربائي .

9- تأثير الحقل المغناطيسي المستمر على المعامل المغنطوكهربائي:



شكل (25): منحنى ميبين لتاثير الحقل المغناطيسي المستمر على المعامل المغنطوكهربائي

10- تأثير الحقل المغناطيسي المتناوب على المعامل المغنطوكهربائي :



شكل (26): منحنى يوضح تاثير الحقل المغناطيسي المتناوب على المعامل المغنطوكهربائي

يبين منحنى شكل (26) ان زيادة الحقل المغناطيسي المتناوب يرافقه زيادة المعامل المغنطوكهربائي

11-الخلاصة:

من تحليلنا للنتائج وجدنا ان هناك عدة عوامل تؤثر على المعامل المغنطوكهربائي .فلاحظ تزايد المعامل المغنطوكهربائي مع التردد،وهذا يكون في حدود الترددات المقترحة. كما تعطي الجزيئات المدروسة تجاوب مغنطوكهربائي . كما وجدنا ان التيار المغنطوكهربائي لا يتغير كثيرا تحت تاثير حقل مغناطيسي مستمر) . كما ان زيادة الحقل المغناطيسي المتناوب يرافقه زيادة التيار المغنطوكهربائي.

ان التركيب بين الترابط الكهرواجهادي والمغنطونبيوي ينشئ الترابط المغنطوكهربائي عن طريق وسيط التشوه و الاجهاد.

خلاصة عامة:

تملك المواد الذكية خصائص تحويل للطاقة مما يجعلها ذات فائدة كبيرة. حيث تصنف حسب نوع التحويل الطاقى الذي تقوم به الى عدة أصناف منها: المواد الكهرواجهادية التي تنشوه تحت تأثير حقل كهربائي بالفعل الكهرواجهادي المباشر. والمغنطومرونية التي تنشوه عندما يطبق عليها حقل مغناطيسي، وأخيرا المواد المغنطوكهربائية وهي تمثل لب بحثنا هذا. لأنها تملك ميزة أساسية وهي ان القطبية الكهربائية المحرصة تتغير بوجود الحقل المغناطيسي. ان للمفعول المغنطوكهربائي عدة تطبيقات لأنه يربط بين الخاصيتين المغناطيسية والكهربائية .

لذلك قمنا بدراسة المفعول المغنطوكهربائي في المركبات (P(VDF-TrFE)+x% Fe₃O₄) حيث x تأخذ القيم (0.5، 1، 2، 4، 8) المشحونة بحبيبات من رتبة النانومتر من Fe₃O₄. إذ وجدناه يتأثر بعدة عوامل، منها التردد، والحقل المغناطيسي المتناوب حيث ان التغيرات التي تحدث للتيار بدلالة التردد و الحقل المغناطيسي المتناوب تكون خطية. كما وجدنا ان هذا المعامل لا يتأثر بالحقل المغناطيسي المستمر.

كما قمنا بدراسة بعض النقاط المهمة كدراسة تغيرات المقاومة بدلالة النسب الكتلية لـ Fe₃O₄ (%) التي وجدناها تتناقص مع زيادة النسب الكتلية لـ Fe₃O₄ (%). مما يدل على ان الجزيئات الناقلة تكون مبعثرة في المصفوفة المعزولة للعينة. كما تطرقنا ايضا الى دراسة تغيرات السماحية بدلالة النسب الكتلية لـ Fe₃O₄ (%).

- [1]:Thèse : Vincent Castel , 2009 , « *Magnétoélectricité dans les nanocomposites granulaires : analyse micro-onde*» UBO université de Bretagne :16 – 19.
- [2] : Thèse: Jiawei Zhang , 2011, «*Multi-functional Nanocomposites for the Mechanical Actuation and Magnetoelectric Conversion*» , School of doctorate: Electronic, Electrotechnic and Automatic (EEA) .INSA-LYON , 11 – 22.
- [3] : H.Schmid , «*Materials being simultaneously ferroelectric, ferromagnetic, ferrotoroidic and ferroelastic*» .
- [4] : http://fr.wikipedia.org/wiki/المادة_الذكية. 2007.
- [5] : Thèse : de Hwa-Sun Lee , «*Etude et réalisation de source acoustique de puissance encomposite piézoélectrique 1.3 pour applications thérapeutiques* » .
- [6]: Thèse : Gérard Volluet, Pierre Harteman, « *Mgnetostriction* » . E1880-3-E 1880 -9.
- [7]: <http://planet-terre.ens-lyon.fr/planetterre/XML/db/planetterre/metadata/LOM-profilrheologiques.Xml>
- [8] : Thèse :Thu Trang Nguye, 2012, «*Modélisation par éléments finis de matériaux composites magnéto-électriques*», Paris-Sud11,1-8.
- [9]: Thèse : de Manfred Fiebig,2005, « *Revival of the magnetoelectric effect*», Journal of Physics D: Applied Physics ,1-2.
- [10] : Thèse : de Delphine Lebeugle , « *Etude de la coexistence du magnétisme et de la ferroélectricité dans les composés multiferroïques $BiFeO_3$ et $Bi_{0.45}Dy_{0.55}FeO_3$* ».
- [11] : Thèse : Jean-Fabien Capsal, 2008 « *Elaboration et analyse des propriétés physiques de nanocomposites hybrides ferroélectriques*», L'université de Toulouse,p46.

- [12]: D. Guyomar, B. Guiffard, R Belouadah and L. Petit, *Magnetoelectric effect in magnetic nanopowder/ polyurethane composites*
- [13]: D. Guyomar, B. Guiffard, Q. LE, D. Matei and R Belouadah, Linear magnetoelectric effect in Terfenol-D/polyurethane composite films
- [14] Jiles DC, Ostenson JE, Owen CV, Chang TTJ. Appl Phys 1988;64:5417–8.
- [15]: Li Y, Tong G, Liu J, Linliu K, Desper CR, Chu B. Macromolecules 1992;25:7365–72.
- [16]: Technique de l'Ingénieur, *Propriétés diélectrique du polymère*