

Studying Some Effective Parameter on The Dielectric Properties of Composite Materials Containing of Un Saturated Polyester Resin

Anaam Wadi Watan

Ibn AL- Haitham College, University of Baghdad/ Baghdad.

Email: anaam-watan@yahoo.com

Dr. Suad Hammed Aleabi

Ibn AL- Haitham College, University of Baghdad/ Baghdad.

Revised on: 28/9/2014 & Accepted on: 8/1/2015

ABSTRACT

The study of dielectric constant (ϵ_r) and the dielectric strength (E_{br}) of the composite materials consist of the unsaturated polyester resin reinforced with aluminum powder and unsaturated polyester resin reinforced with aluminum powder and the copper oxide. The composites were made in different weight fraction (5%, 10%, 15%).

The results showed that dielectric strength decreases with thickness increase and decrease with the weight fraction. But the dielectric constant decrease with the frequency increase and increase with the weight fraction increase.

Keywords: Dielectric constant (ϵ_r), dielectric strength (E_{br}), Reinforced

دراسة بعض العوامل المؤثرة على الخصائص الكهربائية العزلية لمواد متراكبة من راتنج البولي استر غير المشبع

الخلاصة

تم دراسة ثابت العزل (ϵ_r) ومثانة العزل (E_{br}) لمواد متراكبة ومواد متراكبة هجينة مكونة من مادة راتنج البولي استر غير المشبع المدعمة باوكسيد الألمنيوم والبولي استر المقوى باوكسيد الألمنيوم واوكسيد النحاس كمادة متراكبة هجينة وان هذه المتراكبات بمختلف انواعها حضرت بنسب وزنية مختلفة (5%، 10%، 15%) وقد اوضحت النتائج بمختلف انواعها ان مثانة العزل تتناقص مع زيادة سمك النماذج المستعملة كما وجد تناقصها مع زيادة الكسر الوزني المستعمل اما السماحية (ϵ_r) ثابت العزل فقد وجد ان ثابت العزل (ϵ_r) يقل مع زيادة التردد للمجال الكهربائي المسلط ويزداد مع زيادة الكسر الوزني بالنسبة للنماذج المحضرة في حالة التدعيم بجميع انواعه .

الكلمات المفتاحية :- ثابت العزل، جهد الانهيار ، التقوية

المقدمة

المواد المتراكبة هي المواد التي تصنع او تتركب من مواد مختلفة لأخذ فوائد كل خواصها المختلفة يعد الخشب والعظم والقرن أمثلة على المواد المتراكبة الطبيعية المواد المتراكبة عموما تصنف في مستويين واضحين الأول يصنع من مكونات الطور الأساس (matrix constituent) ويتضمن:

1. متراكبات ذات طور اساسي عضوي (organic- matrix composite)
 2. متراكبات طور اساس معدني(-matrix composite metal)
 3. متراكبات طور اساس سيراميكي (-matrix composite ceramic)
- وهناك خصائص مهمة تعتمد على الاساس البوليمري للمادة المترابطة مثل المطيلية (Ductility) ومقاومة الصدمة.... الخ لذلك زيادة المطيلية تزيد في صلابة المادة اللدائنية (Toughness) وعليه فان زيادة الصلابة يتم باختيار متراكب ذا اساس من بوليمر مطاوع للحرارة [1,2,3] استخدمت البوليمرات في العديد من التطبيقات الكهربائية والميكانيكية وغالبا ما استخدمت كمادة عازلة لامتلاكها خصائص كهربائية جيدة مثل المقاومة الحجمية (volume resistivity) ومعكوسها التوصيلية الحجمية (volume conductivity) وانهيال العزل (Dielectric breakdown) والسماحية (permittivity) وفقد العزل الكهربائي (Dielectric Loss) ولقد خضعت هذه الخصائص للكثير من الدراسات لاهميتها في المجالات الصناعية المختلفة [4] ان الخصائص الكهربائية للمواد العازلة المستخدمة في الكثير من الاجهزة المختلفة تعتمد على نوع الاستخدام وتتاثر هذه الخصائص بعوامل عديدة منها التردد ، الحرارة ، الزمن ، والفولتية المستخدمة والمواد المضافة وغيرها [5] ان الاستخدامات الواسعة للبوليمرات في المجالات التكنولوجية جعل لها اهمية خاصة اذ بزغت هذه الاهمية من حقيقة واضحة هي ان البوليمرات تظهر بشكل عام تغيرات مختلفة في سلوكها الكهربائي والعزلي عند تطعيمها او تشويبها او خلطها [6]. على الرغم من هذا فلا تزال هناك بعض المشاكل التطبيقية الهندسية للبوليمرات مثل قلة صلابتها (stiffness) قلة متانتها (strenght) مقارنة مع المعادن ولقد استخدمت طرائق عديدة لتحسين هذه العيوب منها التدعيم بالالياف وهذه الالياف اما ان تكون مستمرة (continuous) او عشوائية الاتجاه (Random) او قشور (Flakes) او على شكل صفائح (Laminates) وذلك لتقوية تماسك جسيمات البوليمر [7].
- تهدف الدراسة الحالية الى دراسة تأثير بعض الخصائص الكهربائية العزلية لمادة راتنج البولي استر غير المشبع المقواة بدقائق اوكسيد الالمنيوم والبولي استر المقواة بدقائق اوكسيد الالمنيوم واوكسيد النحاس وبيان تأثير التقوية بالدقائق على السماحية ومتانة العزل كما تهدف الدراسة الى بيان تأثير كل من التردد والكسر الوزني على ثابت العزل .

الجانب النظري

تقسم المواد الصلبة من ناحية توصيلها الكهربائي الى ثلاثة اصناف عازلة، شبه موصلة ،موصلة. ومن خلال قياس التوصيلية المتناوبة لمادة يمكن الحصول على معلومات مهمة حول طبيعة ميكانيكية التوصيل في تلك المادة اذ تقاس التوصيلية الكهربائية كدالة للتردد لمجال كهربائي متناوب .

قياسات انتقال الشحنات في المواد العازلة اصبح لها اهمية كبيرة في الآونة الأخيرة لأنها توفر معلومات عن التركيب الإلكتروني لهذه المواد وجرت دراسات عديدة حول الخواص الكهربائية ووضعت لذلك الغرض نماذج عدة لغرض تفسير الحقائق التجريبية حول ميكانيكية التوصيل الكهربائي وبيئت التجارب بان هناك نوعين من ناقلات الشحنة هي الإلكترونات او الايونات وهناك ميكانيكيات مختلفة يمكن بواسطتها ان تنتقل حاملات الشحنة في العازل تحت تأثير المجال المسلط ودخلت المواد العازلة في الكثير من المنظومات الكهربائية حيث استخدمت في الكثير من المجالات سواء كانت عل مستوى الالكترونيات الدقيقة او في مجالات الضغط العالي [8].

ان المواد العازلة تختلف عن المواد الموصلة وشبه الموصلة حيث ان حزمة التوصيل خالية تقريبا من الإلكترونات الطليقة ومن الممكن ايضا ان تحتوي على الكترونات طليقة الا ان هذه الإلكترونات قد تقع ضمن جزر موصلة تفصل الواحدة عن الاخرى مناطق عازلة خالية تقريبا من الإلكترونات ولهذا لايمكن لتيار كهربائي ان يسري من خلالها عند تسليط مجال كهربائي لان حركة الإلكترونات لايمكن ان تتعدى بضع جزئيات من المادة وعلى الرغم من محدودية حركة الإلكترونات وعدم سريان تيار من المادة فان لهذه الحركة المقيدة أهمية كبرى في تحديد خواص العزل في المادة .

ان البوليمرات تعتمد في التوصيل الكهربائي على وجود الايونات الحرة غير المرتبطة كيميائيا مع الجزئيات الكبيرة ولا تشارك هذه الجزئيات في عملية نقل الشحنات الكهربائية لذا فان التوصيل الكهربائي في البوليمرات يعتمد بدرجة كبيرة على مصدر الايونات وذلك بإضافة شوائب ذات أوزان جزئية واطنة [8]

لقد تركزت جهود الباحثين على دراسة الخواص الكهربائية العزلية فضلا عن تحسين الخواص الميكانيكية فقد درست الباحثة (وسن) بعض الخصائص الكهربائية لمتراكب بولي ستايرين -بنتونايت والعوامل المؤثرة فيها حيث تم دراسة الخصائص الكهربائية المتمثلة (الممانعة، عامل الفقد ،التوصيلية المتناوبة ،ثابت العزل) [9]

وفي دراسة قام بها الباحثان (شهاب)، (فرح) لمتانة العزل الكهربائي لمتراكبات (pvc- كاولين) حيث تمت اضافة الكاولين الى (pvc) بنسب وزنية مختلفة % (1,2,3,4) وبأسمك مختلفة للعينات (2-0.8 mm) وأظهرت الدراسة نقصان في متانة العزل الكهربائي بزيادة نسبة إضافة الكاؤولين [10]. وكما قامت الباحثة (رولا) بدراسة لبعض الخواص الكهربائية والعزلية لمواد متراكبة ومواد متراكبة هجينة مكونة من مادة النوفولاك والياف الزجاج والياف الاسيست وقد استحصلت من النتائج ان متانة العزل تتناقص مع سمك المواد المحضرة وقد وجدت كذلك ان السماحية (ϵ_r) تقل مع زيادة التردد للمجال الكهربائي المسلط [11]

الجانب العملي

المواد المستعملة وطريقة التحضير:-

تم استعمال راتنج البولي استر غير المشبع كمادة اساس و هو سائل لزج بكثافة (1.2 gm/cm^3) يتحول في درجة حرارة الغرفة الى مادة صلبة بعد اضافة المصلد اليه وهو من نوع (MEKP) المثيل اثيل كيتون بروكسيد وهو بشكل سائل شفاف يضاف بنسبة (2%) الى راتنج البولي استر غير المشبع عند درجة حرارة الغرفة .

اما المواد المدعمة فهي عبارة عن اوكسيدالالمنيوم ($\text{AL}_2\text{O}_3\text{-Powder}$) بشكل مسحوق ذو كثافة (3.72 gm/cm^3) ومعدل قياس حبيبي ($30 \mu\text{m}$) ودرجة نقاوة (99.99%) وكذلك تم استعمال دقائق اوكسيد النحاس (CUO-powder) بشكل مسحوق ذو كثافة (6.315 gm/cm^3) وقد تمت إضافة الدقائق الى راتنج البولي استر غير المشبع بكسور وزنية مختلفة (5%، 10%، 15%) للحصول على مواد متراكبة منفردة بإضافة اوكسيد الالمنيوم الى راتنج البولي استر ومواد متراكبة هجينة بإضافة اوكسيد الالمنيوم واوكسيد النحاس الى راتنج البولي استر وقد تمت إضافة الدقائق بالاعتماد على العلاقات التالية [12].

$$\psi = W_f / W_c \times 100 \% \quad \dots(1)$$

$$W_c = W_f + W_m \quad \dots(2)$$

ψ : الكسر الوزني لمادة التدعيم في المادة المتراكبة

ان (W_c, W_m, W_f) وزن المادة المدعمة والمادة الأساس والمادة المتراكبة على التوالي استعملت طريقة القولية اليدوية في تحضير النماذج باستعمال قالب من الالمنيوم وتم صب الراتنج المخلوط مع دقائق اوكسيد الالمنيوم للحصول على المادة المتراكبة المنفردة ومن ثم صب الراتنج المخلوط مع اوكسيد الالمنيوم واوكسيد النحاس للحصول على المادة المتراكبة الهجينة ثم بعد الصب تم تدوير القالب للحصول على مصبوبة متجانسة وخلطت المكونات بصورة جيدة في القالب وبعد الانتهاء من عملية الصب تم التخلص من الفقاعات المتكونة وذلك من خلال الضغط بصورة عمودية على مستوى القالب للمادة المصبوبة بفرشاة مسننه وكذلك لغرض الحصول على السمك المطلوب وبعد ترك القالب لمدة (24) ساعة لغرض التصلب تم استخراج المصبوبة وتقطيع العينات لغرض اجراء الفحوصات وحسب المواصفات القياسية. وقد تمت عملية الصب للعينات بدرجة حرارة الغرفة .

الأجهزة المستخدمة في البحث

1. جهاز قياس متانة العزل

تم إجراء اختبار متانة العزل باستعمال جهاز (HV, Range-50Hz, 300Kv) ووضعت أقطاب التوصيل والنماذج داخل زيت المحولات النقي للتغلب على انتقال الشرارة العرضي (Flashover). وقد قطعت عينات اختبار متانة العزل بالابعاد الاتية الطول (10mm) العرض (10mm) والسمك متغير حسب متطلبات الاختبار.

2. جهاز ثابت العزل الكهربائي

يتم استخدام جهاز ثابت العزل الكهربائي (ϵ_r) من نوع (Leybold Heraeus) المصنع في المانيا يتكون من متسعة ذات لوحين توضع بينهما المادة العازلة المراد قياس سماحياتها حيث قطعت العينة حسب المواصفات القياسية (ASTM) تم استخدام عينات قياس ثابت العزل قياسية بسمك (6mm) وقطر (40mm) حيث تربط المتسعة إلى دائرة قياس كهربائي متكونة من مجموعة من الملفات ومقاومة كهربائية واميتير ومجهز قدرة متناوب واستنادا إلى ذلك يتم استخراج قيمة السعة باستعمال قيمة التردد الرنيني المستحصل عليه من التجربة وتعويضه بالعلاقة التالية [13]

$$C = 1 / 4\pi^2 f r^2 L \quad \dots(3)$$

حيث ان
C:سعة المادة العازلة الموضوعه بين لوحى المتسعة بوحدات Farad
fr:التردد الرنينى بوحدات Hz
L:حثية الملف بوحدات H
اما سماحية المادة العازلة فتعطى من العلاقة الآتية [13]

$$\epsilon = cd \setminus A \quad \dots(4)$$

حيث ان
 ϵ : تمثل سماحية المادة العازلة
d :المسافة العمودية بين لوحى المتسعة بوحدات mm
A :مساحة أي من لوحى المتسعة المتوازيين بوحدات m²

النتائج والمناقشة

1- اختبار متانة العزل الكهربائي (Break down field strenght)
تقاس بدلالة المجال الكهربائي (E_{br}) وتمثل المجال الذي ينهار عنده العازل فاذا كان سمك العازل (h) واقصى جهد مسلط ينهار عنده العزل (V_{br}) فان

$$E_{br} = V_{br} \setminus h \quad v \setminus m \text{ or } K v \setminus mm \quad \dots(5)$$

وتعتمد المتانة على تركيب العازل ، العيوب ، الشوائب ، عوامل خارجية مثل شكل ونوع الاقطاب المستخدمة وطبيعة السطح الخارجي وظروف القياس مثل الضغط ودرجة الحرارة والرطوبة وتردد المصدر والفترة الزمنية عند تطبيق الفولتية .

تأثير السمك على متانة العزل

الشكل (1,2) يوضح تأثير السمك على متانة العزل الكهربائي للنماذج المحضرة للبولي استر غير المشبع ولمتراكباته المنفردة والهجينة بنسب وزنيه مختلفة % (5,10,15) على التوالي اذ لوحظ على العموم تناقص متانة العزل مع زيادة السمك وذلك لان المادة العازلة تعمل على تناقص المجال الكهربائي المؤثر بسبب استجابة الوسط العازل للمجال الكهربائي بطريقة الاستقطاب ويزداد هذا التأثير والتناقص في المجال الكهربائي الخارجي مع زيادة سمك العازل كذلك فان زيادة تيارات التسرب الناشئة في الشوائب الموجودة في اوكسيد الألمنيوم واوكسيد النحاس المتمثلة باكاسيد المعادن التي تولد مسارات توصيل كهربائي تؤدي الى ظهور الانهيار الكهربائي بوقت مبكر وانخفاض متانة العزل وكذلك صعوبة استرجاع الحرارة وطرحها من وسط العازل الى المحيط وكل هذه العوامل تؤدي الى انخفاض متانة العزل الكهربائي [14].

تأثير زيادة الكسر الوزني

الشكل (3) يوضح تأثير زيادة الكسر الوزني على متانة العزل الكهربائي لمتراكبات البولي استر غير المشبع المنفردة والهجينة ويلاحظ من الشكل تناقص متانة العزل مع زيادة الكسر الوزني ويعود السبب في ذلك إلى حصول شقوق مجهرية نتيجة الانهيار الكهربائي بسبب التحول الميكانيكي في خصائص المادة باتجاه المواد الهشة نتيجة اضافة المساحيق السيراميكية [10]

2- اختبار ثابت العزل

يعرف ثابت العزل (constant dielectric) (ϵ_r) بأنه نسبة قدرة مكثف كهربائي ذو عازل بين قطبين إلى القدرة في حالة وجود هواء بدلا من العازل بين القطبين ويستعمل ثابت العزل لتصنيف أنواع العوازل ويمن إعطاء ثابت العزل من العلاقة الآتية [13]

$$\epsilon_r = \epsilon \setminus \epsilon_0 \dots(6)$$

حيث ان (ϵ_0) سماحية الفراغ (F/m) من هذا الاختبار تم قياس ثابت العزل للمواد المتراكبة باستعمال المنظومة السابقة الذكر فقد تم حساب كل من التردد الرنيني للدائرة وسعة المتسعة وسمك العينة والمساحة السطحية (A) وبتطبيق المعادلات السابقة (3,4,7) نحصل على قيم ثابت العزل للمواد المتراكبة التي تم الحصول عليها تحت ظروف مختلفة من التردد ،درجة الحرارة والرطوبة .

العوامل المؤثرة في ثابت العزل

يعتمد مقدار ثابت العزل للمادة العازلة على عدة عوامل منها:-

1- تأثير التردد في قيمة ثابت العزل (ϵ_r) لمتراكبات البولي استر المنفردة والهجينة تتكون جزئيات العازل من شحنات موجبة وأخرى سالبة وكثيرا ما يكون مركز الشحنات السالبة منطبقا على مركز الشحنات الموجبة لهذه الجزئيات ولكن عندما تقع هذه الجزئيات تحت تأثير مجال كهربائي خارجي فان الشحنات الموجبة سوف تزاح باتجاه المجال بينما تنزاح الشحنات السالبة لهذه الجزئيات بعكس الاتجاه ونتيجة لذلك فان مركز الشحنة الموجبة لم يعد منطبقا مع مركز الشحنة السالبة بل تفصلهما مسافة صغيرة مما يسبب في نشوء ثنائيات الاقطاب الكهربائية (Electrical dipole) وعندئذ نقول ان الجزئية اصبحت مستقطبة واكتسبت عزم ثنائي قطبي (Dipole moment).

ان جزئيات المادة العازلة التي تمتاز بهذه الصفة تدعى بالجزئيات غير القطبية (Non- polar molecules) الا ان هنالك جزئيات لمواد عازلة يكون فيها مركز الشحنة السالبة منفصلا بصورة دائمة عن مركز الشحنة الموجبة اذ تمتلك هذه الجزئيات عزم ثنائي قطبي دائم (Permanent Dipolemoment). وتدعى هذه الجزئيات القطبية وتمتلك عزوما دائمية الا ان اتجاهات هذه العزوم تكون عشوائية واذا ما وضعت تحت تأثير مجال كهربائي خارجي متناوب فانه يعمل على تدوير هذه الثنائيات باتجاه المجال [15]

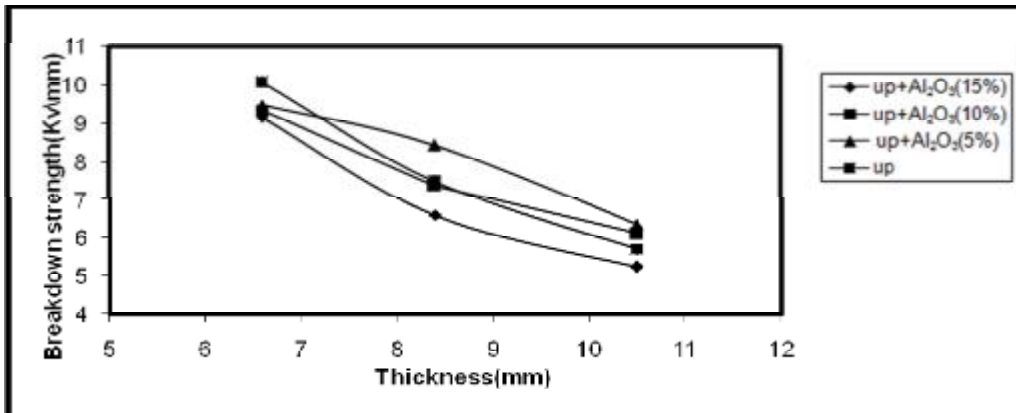
وقد تم حساب ثابت العزل الكهربائي (ϵ_r) وكما موضح بالشكل [4] العلاقة بين ثابت العزل الكهربائي والتردد للبولي استر غير المشبع المدعم باوكسيد الالمنيوم والشكل (5) العلاقة بين ثابت العزل والتردد للبولي استر غير المشبع المدعم باوكسيد الالمنيوم واوكسيد النحاس فقد وجد ان زيادة تردد المجال الكهربائي المسلط قد أدى إلى تناقص قيمة ثابت العزل (ϵ_r) ويعزى ذلك الى حقيقة ان جزئيات المادة العازلة الواقعة تحت تأثير مجال كهربائي خارجي متناوب سيؤدي الى جعل جزئيات المادة المتراكبة المستقطبة كاسية عزم ثنائي القطب علاوة على ذلك ان حاملات الشحنة تتراكم ومن ثم تسد (Block) القطب السالب فضلا عن ان شحنة الفراغ تؤدي الى نقصان السعة [16] وهذا بدوره يؤدي الى نقصان ثابت العزل (ϵ_r).

2- تأثير الكسر الوزني في قيمة ثابت العزل الكهربائي لمتراكبات البولي استر ويلاحظ من الشكل [6] زيادة قيمة ثابت العزل الكهربائي مع زيادة الكسر الوزني لكلا المتراكبات المنفردة والهجينة ويعود السبب في ذلك الى ظهور الاستقطاب البيئي وكذلك يعزى الى عمليات الاسترخاء الحاصلة بين الدقائق الحشوية وخليط البوليمير. [17]

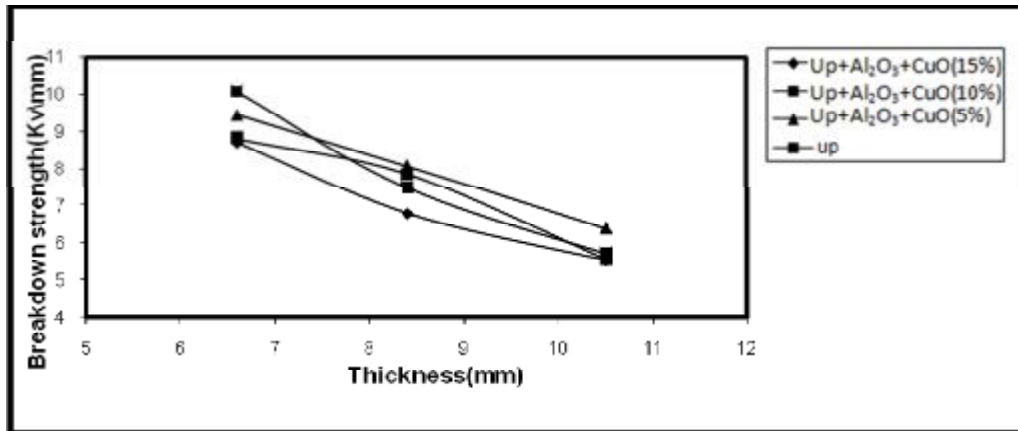
الاستنتاجات

من النتائج التي تم الحصول عليها تم التوصل الى الاستنتاجات التالية

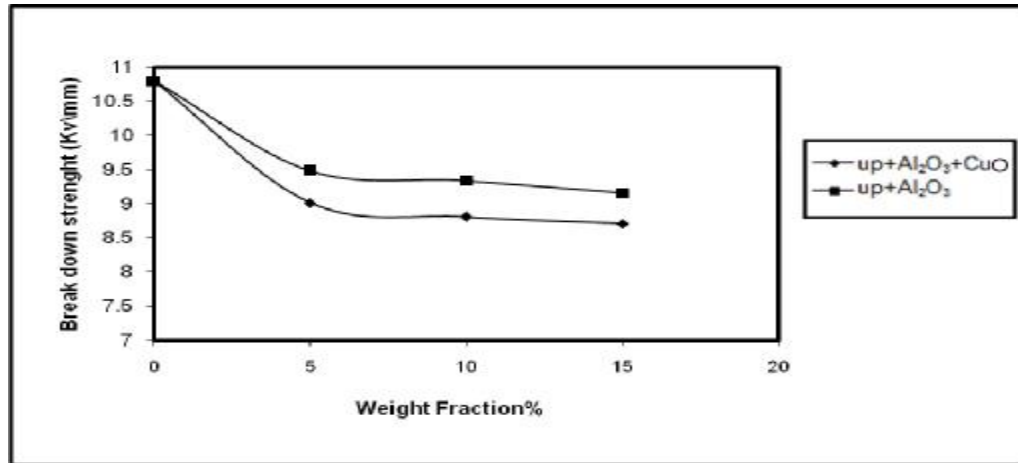
- 1- اوضحت الدراسة ان ثابت العزل يتغير حسب تغير تردد المجال الكهربائي المسلط، الكسر الوزني لمادة التدعيم وكما يلي :
 - يتناقص ثابت العزل الكهربائي لمتراكبات البولي استر غير المشبع بزيادة تردد المجال الكهربائي المسلط .
 - تزداد قيمة ثابت العزل الكهربائي بزيادة الكسر الوزني لمادة التدعيم ولجميع انواع التقوية.
- 2- تتناقص متانة العزل الكهربائي بزيادة سمك النماذج المستعملة في البحث كما لوحظ تناقصها مع زيادة الكسر الوزني لمواد التدعيم المستعملة في البحث.



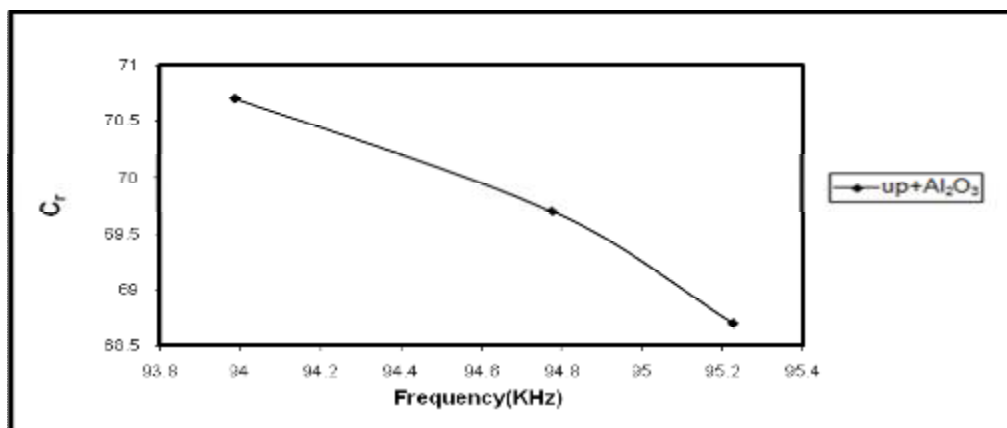
شكل (1) يوضح العلاقة بين متانة العزل والسمك للمتراكبات المنفردة (up+Al₂O₃) وبكسوروزنية مختلفة



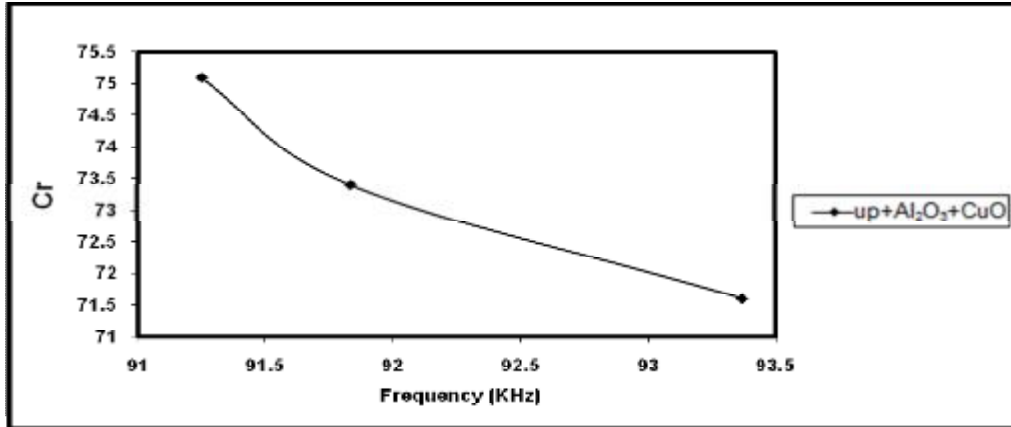
شكل (2) يوضح العلاقة بين متانة العزل والسمك للمترابك الهجين (up+Al₂O₃+CuO) وبكسور وزنية مختلفة



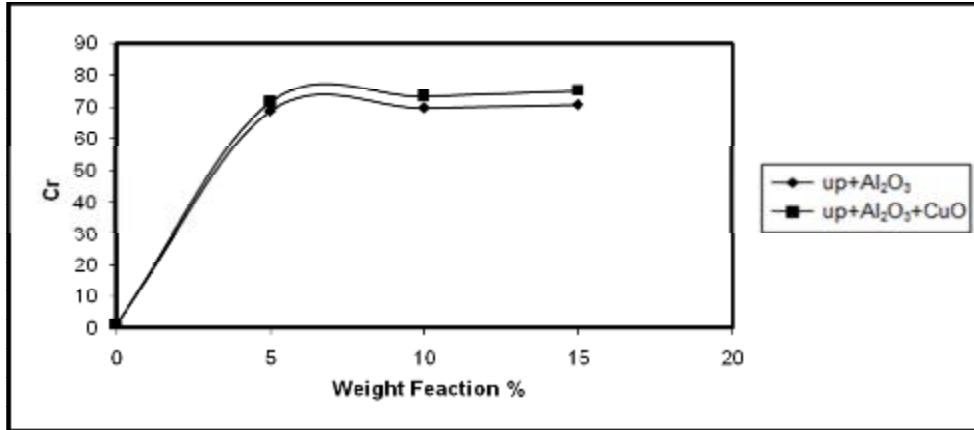
شكل (3) يوضح العلاقة بين متانة العزل والكسر الوزني للمترابك المنفرد (up+Al₂O₃) والمترابك الهجين (up+Al₂O₃+CuO)



شكل (4) يوضح العلاقة بين ثابت العزل والتردد للبولي استر غير المشبع المدعم باوكسيد الالمنيوم



شكل (5) يوضح العلاقة بين ثابت العزل والتردد للبولي استر غير المشبع المدعم باوكسيد الالمنيوم واوكسيد النحاس



شكل (6) يوضح العلاقة بين ثابت العزل والكسر الوزني للمترابك المنفرد (up+Al₂O₃) والمترابك الهجين (up+Al₂O₃+CuO)

REFERENCES:

- [1].Theodore J.Reinhart,"composites", Engineered Materials Hand book,V.1,chio,1987,p.25.
- [2].Daniel B.Miracleand steven ,"Introduction to composite",AirForce Research Laboratory ,2001,p.3.
- [3].S.K.Mazumdar,"Composites Manufacture Materials,Product,and Process Engineering" CRC Press LLC,USA,2002.
- [4].Forthlich H.,"Theory of Dielectric",Oxford University Press,Oxford,1950.
- [5].Randhakrishron S.,Mater J.Sci-1445,1985.
- [6].Mott N.F.and Davis E.A.,"Electronic Processes in Noncry stalin Materials"2nd Ed.,Oxford University Press,1979.
- [7].Flinn R.A.and Torjon P.K.,"Engineering Materials and Their Application" 3rd Ed Houghton Minfflin Co.,Boston,1986.
- [8].P.Gonon,A.Sylvester,"Materials Science and Engineering ",83,158,2001.

- [9] وسن كامل حسن "دراسة الخصائص الكهربائية لمتراكب بولي ستايرين- بنتونايت والعوامل المؤثرة فيها " جامعة كربلاء / كلية العلوم / قسم الفيزياء .
Journal of Kufa-Physics vol.3No.2(2011)
- [10] د.شهاب احمد زيدان الجبوري ، فرح جميل ابراهيم الزبيدي "تأثير بعض العوامل في متانة العزل الكهربائي لمتراكبات (pvc-كاولين)" ومجلة الهندسة والتكنولوجيا، المجلد 29، العدد 3، 2011.
- [11] رولا عبد الخضر عباس " دراسة بعض الخصائص الكهربائية العزلية والعوامل المؤثرة فيها لمواد متراكبة من راتنج النوفولاك"، مجلة الهندسة والتكنولوجيا، المجلد 25، العدد 8، 2007.
- [12]. Gonon P.,Sylvester A.,Eyssrye J.T.and Rrior C.P.,Material Science and Engineering ,83,158,2001.
- [13] هناء علي مجيد " دراسة السلوك الميكانيكي والحراري لمادة متراكبة من الصوف الصخر " رسالة ماجستير ، العلوم التطبيقية – الجامعة التكنولوجية (2005)
- [14] شهاب الجبوري " تحضير العوازل الكهربائية من الكاولين العراقي " أطروحة ماجستير ظن جامعة بغداد ، 1995 .
- [15] صبحي سعيد الراوي ، د. شاكر جابر شاكر ، د.يوسف مولود " فيزياء الحالة الصلبة " جامعة الموصل ، كلية الهندسة، 1985.
- [16].Sathyamoorthy R.,Narayandass S.A.K.,Batasubramanian C. and D Mangalaraj, Phys.Stat Sol.117,495,1990.
- [17]. Majeed Ali Habeb, Ahmad Hashim and Bahaa H. Rabee" The study the electrical Properties of PS-CaO Composites " Bablon University, college of Education ,Department of Physics,Iraq,2013.