دراسة الخواص الكهربائية لبولي ميثيل ميثا أكريلات (PMMA) تحت ترددات ودرجات حرارة مختلفة

يحيى نوري الجمال رنا زياد ال فليح زهراء بديع الدباغ

قسم الفيزياء / كلية العلوم

جامعة الموصل

الاستلام القبول

٢٦ / ٠٨ / ٢٠٠٨ ٠١ / ١٢ / ٢٠٠٨

ABSTRACT

In this work, the electrical prporties of Poly Methyl Meth Acrylates (PMMA) has been studies under the application of direct and alternating electrical field at different temperature. Morever conduction mechanism in direct field were investageted.

The current voltage characterstic for PMMA sample has been studies at different temperature. The results show that the current leakage increases as the applied voltage and temperature increase. It was also found three regions appeared in the I-V characterstic with different slops, their values approxametaly equal (1, 2 and 23) respectivly. Accordingly, one can say the conduction mechanism in this study is space charge limited current (sclc). The breakdown voltage were found for the sample at temperature $20C^{\circ}$, $40C^{\circ}$, $60C^{\circ}$ and $90C^{\circ}$ equal to 2000V, 1200V, 1600V and 1500V respectivly.

The study of dielectric properties of PMMA has been done by measuring the capacitance and conductance as a function of frequency. The experimetal results show that dielectrical constants(ε'), dielectrical loss (ε'') and loss tangent ($\tan\delta$) decreases as the frequency increases. While their values increases the temperature increases. The variation of loss tangent with frequency as show that the peak frequency was shifted to higher frequencies with an increase of temerature.

الملخص

تم في هذا البحث دراسة الخواص الكهربائية لمـادة بـولي مثيـل ميثـا اكريلايـت Poly Methyl Meth Acrylates (PMMA) في المجالات الكهربائية المستمرة والمتناوبة وتأثير درجة الحرارة عليها وكذالك التعرف على آلية التوصيل في المجال المستمر.

لقد استخدم تقنية فرق الجهد – التيار (I-V) في دراسة الخـواص الكهربائيـة فـي المجالات المستمرة. أظهرت النتائج أن قيمة التيار المتسرب يزداد بزيادة الفولتيـه المـسلطة ودرجة الحرارة. فلقد لوحظ ظهور ثلاث مناطق في خواص (I-V) ذوات ميل مختلفة تقـدر قيمتها تقريبا بـ(23,2.0,1.0) على التعاقب وهذا يجعل القول بأن آلية التوصيل هي التيـار المحدد بالشحنة الفراغية (SCLC) هي المتغلبة، وتم تحديـد فولتيـات الانهيـار للنمـوذج المستخدم عند درجات حرارة (90°C,60°C,40°C,20°C) فوجدت تقريبـاً مـساوية إلـى (1500V,1600V,1800V,2000V) على التعاقب.

اما بالنسبة لدراسة خواص العزل الكهربائي فلقد استخدمت تقنيـة قيـاس المتـسعة والمقاومة كداله للترددات. أظهرت نتائج العزل الكهربائي ε' وفقدان العزل الكهربـائي ε'' وفقدان ظل الزاوية ($\tan\delta$) انخفاضاً كلما ازداد التردد وعلى العكس من ذلك أنهـا تـزداد كلما ازدادت درجة الحرارة. أما بالنسبة إلى نتائج فقدان ظل الزاوية $\tan\delta$ فلقد لـوحظ أن قمم المنحنيات قد زحفت نحو الترددات العالية بازدياد درجة الحرارة.

المقدمة :-

تدخل المواد العازلة في كثير من المنظومات الكهربائية حيث تكاد تستخدم في جميـع المجالات سواء كانت على مستوى الالكترونيات الدقيقة أو في مجالات الضغط العالي. ولقـد أجريت العديد من البحوث للحصول على مواد عازلة تمتاز بخاصية تـتلائم مـع متطلبـات التطور الالكتروني الهائل في مجالات الحاسوب والاتصالات حيث يتطلب اسـتخدام المـواد العازلة بوجود مجالات كهربائية مستمرة أو متناوبة ذات ترددات واطئـة أو عاليـة وعنـد درجات حرارة مختلفة.

إن ابرز المواد العازلة المألوفة في التطبيقات الالكترونية هـي اوكـسيد الـسيليكون (SiO_2) وهنالك مواد أخرى اقل استخداما كاوكسيد الألمنيـوم (Al_2O_3) اللتـان تـستخدمان بالدرجة الأساسية في دوائر الأغشية الرقيقة والمتسعات. أما البوليمرات العازلة فتعد المـادة الأكثر تداولاً في الوقت الحاضر وذلك لما تملكه من صفات فيزيائية وكيميائية متميزة عن بقية المواد العازلة ، فلقد فرضت نفسها في تطبيقات عملية عدة بالأخص في مجالات التطبيقـات الكهربائية حيث استخدمت قابلية عزلها الكهربائية العالية في تصنيع النبائط ومنها المتـسعات

والترانزسترات وكذلك استخدمت في حماية التيارات الكهربائية في الموصلات من التسرب وكذلك حماية المجالات الكهربائية العالية من الانهيار(1).

وعلى ضوء التطبيقات العملية الكثيرة لاستخدام المواد البوليمرية العازلة فقد تم إجراء بحوث عديدة لدراسة خصائص عزلها الكهربائي باستخدام تقنيات مختلفة مثل إيجاد ثابت العزل (dielectic Constant) والفقدان في العزل الكهربائي (dielectric loss)(2) ودراسة التوصيلية الكهربائية (Electric Conductivity)(3) ودراسة آليات التوصيل (Conduction mechanic) (4) وكذلك دراسة الانهيار الكهربائي في المتسعات (Breakdown) التي تحتوي على أنواع مختلفة من المواد البوليمرية(5).

يعد (PMMA) من أكثر البوليمرات استخداماً في مجال اللواصق والطلاءات وصناعة النماذج المختلفة حيث يسمى تجارياً بالزجاج العضوي Organic glass وذلك لتميز صفائحه بالمتانة والشفافية.

ان الهدف من البحث هو دراسة الخواص الكهربائية لمادة بولي مثيل مثيا اكريلايت (PMMA) في المجالات الكهربائية المستمرة والمتناوبة وتأثير درجة الحرارة عليها.

أما الهدف الآخر من البحث هو التعرف على آلية التوصيل في المجال الكهربائي المستمر.

القياسات العملية :-

لقد تم إجراء القياسات العملية عند درجات حرارية C^o (20-90) والتي تشمل خصائص التيار – الفولتية (I-V) وخواص العزل الكهربائي للنماذج كدالة للتردد.

١. التقنيات وتحضير النماذج:-

إن النماذج التي استخدمت في هذا البحث تم الحصول عليها من مصادر تجارية ذات نقاوة عالية جداً. إن سمك النماذج المستخدمة كانت بحدود (0.5 mm) وقد استخدمنا تقنية التداخل الضوئي لقياسه. ولأجل الحصول على توصيل كهربائي جيد فلقد تم ترسيب طبقة من مادة الألمنيوم عالية النقاوة على سطحي النموذج.

لقد تم إجراء القياسات العملية عند درجات حرارية C^o (20-90) والتي تشمل خصائص التيار – الفولتية (I-V) وخواص العزل الكهربائي للنماذج كدالة للتردد.

٢. تقنيات القياس :-

لقد استخدمنا فرق الجهد – التيار في دراسة الخصائص الكهربائية لهذه النماذج من خلال قياس التيار المار عبر النموذج الموضوعة في خلية القياس وكما موضح في المصدر (6). إن

الخلية متكونة من قطبين، القطب السفلي عبارة عن قرص صغير ثابت مصنوع من مادة البراص. ويتم تحريك القرص العلوي نحو الأسفل والأعلى بواسطة لولب لتنطبق على القطب السفلي. توضع خلية القياس داخل فرن تم تصنيعه محلياً وهو على شكل صندوق من الألمنيوم غلف من الخارج بمواد عازلة حراريا وفي داخلة مسخن كهربائياً يتم السيطرة على درجة حرارة الفرن بالتحكم بجهاز قدرة نوع variac. أما درجة الحرارة فتقاس بواسطة محرارين موضوعين بالقرب جدا من النموذج.

لقد تم تسليط الفولتية العالية على النماذج من خلال مجهز القدرة نوع (Leybolde52237). إن هذا الجهاز يمتلك كفاءة عالية وجهداً مستقراً في مدى(0 – 6 KV) أما بالنسبة إلى التيار المار في النموذج فلقد تم قياسه باستعمال اميتر من نوع (Digital Multimeter).

ولدراسة خواص العزل الكهربائي للنماذج تم استخدام نفس خلية القياس ونفس الفرن. لقد تم قياس متسعة ومقاومة النموذج كدالة للترددات من(1MHz-1KHz) باستخدام (RCL meter) نوع (PM 6036).

النتائج والمناقشة :-

تتضمن النتائج التي تم الحصول عليها في هذا البحث :

أولاً :- خواص (التيار – الفولتية) عند درجات حرارة مختلفة.

تضمن هذا الجزء من البحث دراسة خواص التيار – الفولتية لمادة البولي مثيل ميثا اكريلات (PMMA) ذات السلسلة الطويلة وذلك للتعرف على فولتيه الانهيار فضلاً عن ذلك معرفة درجة اعتماد التيار المار على الفولتية المسلطة والتي من خلالها يتم التعرف على آلية التوصيل.

يبين الشكل (1) العلاقة بين التيار وفرق الجهد المسلط على النموذج (PMMA). نلاحظ من الشكل إن قيمة التيار تزداد بازدياد الفولتية وكذلك نلاحظ ظهور ثلاث مناطق ذوات ميل مختلف، يمكن التعبير عن ذلك رياضيا من خلال المعادلة:-

$$I \alpha V^{m}$$

حيث (m) عدد حقيقي يمثل درجة الاعتماد.ويمكن تفسير هذه الظاهرة إلى آلية التوصيل التيار المحدد بالشحنة الفراغية (SCLS) (7) :-

ومن أجل التعرف على سولكية التوصيلية في كل منطقة من المناطق المبينة في الشكل (1) فيجب رسم العلاقة اللوغارتمية للتيار المتسرب والفولتية المسلطة لإيجاد قيمة m وكما هو مبين في الشكل (2).

المنطقة الأولى :- يمكن عدها منطقة اومية حيث وجدت ($m \approx 1$) ان التيار المار يتناسب طردياً مع الفلوتية المسلطة أي إنها تخضع لقانون اوم. ويمكن تفسير ذلك عندما تكون كثافة الحاملات المحقونة (n_i) أقل بكثير من كثافة الحاملات الحرة (n_o) وبالتالي فان كثافة التيار(J) في هذه المنطقة تتناسب طردياً مع الفولتية المسلطة (V)، وحسب المعادلة:-

$$J = nq\mu\frac{V}{d}$$

حيث أن :-

q : الشحنة

μ : التحركية

d : السمك

المنطقة الثانية :- تبين في هذه المنطقة ان التيار المار يتناسب طردياً مع مربع الفولتية تقريباً. وقد وجد قيمة ($m \approx 2$). يمكن تفسير ذلك من حيث أن التيار المحدد بالشحنة الفراغية (SCLC) يكون متغلباً في هذه المنطقة أي ان كثافة التيار في هذه المنطقة تتناسب طردياً مع مربع الفولتية المسلطة (8).

المنطقة الثالثة :- يمكن تفسير ظهور المنطقة الثالثة انه عندما تحقن شحنة كافية إلى المادة العازلة بحيث يؤدي إلى امتلاء المصائد بالشحنات (حالة تشبع) وهذه الحالة يطلق عليها بحالة حد امتلاء المصائد، والتي عندها تكون أي شحنة إضافية تحقن إلى الفضاء العازل هي شحنة حرة متواجدة في حزمة التوصيل وتشارك في عملية نقل التيار المار ويتصرف العازل كأنه خال من المصائد وعليه سوف يزداد التيار بصورة مفاجئة وسريعة أي نحصل على فولتية الانهيار.

ومن الشكل (1) تم معرفة فولتية الانهيار للنموذج وعند درجة حرارة ($20C^o$) بـ (2000V).

أما الشكل (3) فيوضح العلاقة بين التيار – الفولتية عند درجات حرارة ($20C^o$ و$40C^o$ و $60C^o$ و$90C^o$) على التعاقب، نلاحظ من الشكل أن كلما ازدادت الفولتية المسلطة ازداد التيار المار عند أي درجة حرارة وكذلك نلاحظ ظهور زيادة كبيرة في التيار المار كلما ازدادت درجة الحرارة. ويبين الشكل (3) أيضاً ظهور ثلاث مناطق وذلك يعزى إلى آلية التوصيل المحدد بالشحنة الفراغية (SCLC)، أما الزيادة الحاصلة في التيار نتيجة زيادة درجات الحرارة فيمكن تفسيرها إلى اكتساب الجزيئات طاقة إضافية تعمل على زيادة تذبذبها حول مواضع استقرارها وبهذا تزداد احتمالية قفزها وتسلقها حواجز الجهد المتكون نتيجة لترتيب السلسلة البوليمرية. وكذلك يمكن تفسيرها أيضاً إلى حدوث تكسر في سلسلة البوليمر مما قد تؤدي إلى تحرر جذور حرة لها القابلية على حمل الشحنة وانتقالها ولقد وجدت قيم

فولتيـة الانهيـار للنمـوذج عنـد درجـات حـرارة C° (20, 40, 60, 90) مـساوية (2000V,1800V,1600V,1500V) على التعاقب. أي ان هناك نقصان في فولتية الانهيار مع زيادة درجة الحرارة، وهذا يعزى إلى سببين الأول ان زيادة درجة الحرارة يغيـر فـي البنية البوليمرية التي تؤدي بدورها إلى تغير في قيم فولتية الانهيار. اما السبب الثاني فيعزى إلى سلوك حاملات الشحنة حيث تعاني من تغير مع ارتفاع درجة الحرارة.

ثانياً:- خواص (العزل – التردد) عند درجات حرارة مختلفة:

كما بينا في المقدمة أن ثابت العزل وفقدان العزل من الخواص الفيزياوية المهمة التـي تحدد خواص المادة العازلة. ويعد ثابت العزل من الصفات المايكروسكوبية لاستقطاب العازل عند تعرضه للمجال الكهربائي والتي ترتبط بعزم ثنائي القطب بالعلاقة التالية :

$$\varepsilon_r = 1 + 4\pi \frac{P}{E}$$

حيث ان:

P : تمثل عزم القطب الثنائي.

E : شدة المجال الكهربائي

أما سماحية العازل بصيغتها المعقدة فتكتب:

$$\varepsilon^*_r = \varepsilon' = i\varepsilon''_r$$

حيث أن:

ε'_r : تمثل الجزء الحقيقي ويطلق عليها ثابت العزل

ε''_r : تمثل الجزء الخيالي ويطلق عليها فقدان العزل

ومن دون الخوض في الاشتقاقات والرجوع إلى العديد من المصادر ذات العلاقة (9) فلقد تـم حساب ثابت العزل ε'_r من المعادلة التالية:

$$\varepsilon'_r = \frac{dc}{A\varepsilon_\circ}$$

حيث أن :

c : قيمة متسعة النموذج (PMMA) عند ترددات معينة

d : سمك النموذج

$\varepsilon_\circ$: سماحية الهواء $\varepsilon_\circ = 8.85 * 10$ F/m

A : المساحة المؤثرة للنموذج

أما لحساب فقدان العزل، فلقد استخدمت المعادلة التالية:

$$\varepsilon_r'' = \frac{1}{RC_\circ\omega}$$

حيث أن :

$$C_\circ = \varepsilon_\circ A/L$$

إذ أن:

ω : التردد الزاوي $\omega = 2\pi$ F =

R : مقاومة النموذج (PMMA)

أما بالنسبة إلى حساب فقدان ظل الزاوية فتم الاستعانة بالمعادلة التالية :-

$$\tan\delta = \frac{\varepsilon_r''}{\varepsilon_r'}$$

يبين الشكل (4) العلاقة بين ثابت العزل (ε_r') والتـردد للنمـوذج (PMMA) عنـد درجة حرارة $20C^\circ$. ونلاحظ في الشكل (4) إن قيمة ثابت العزل تستمر بالنقصان كلما ازداد التردد حتى تصل قيمة ثابتة تقريبا عند تردد (1MHz). يمكن تفسير هذه الظاهرة إلى ميـل ثنائيات القطب في الجزيئات الما كروية (Macromolecules) في ترتيب أنفسها في اتجـاه المجال المسلط عند الترددات الواطئة أما عند الترددات العالية فمن الصعب، علـى ثنائيـات القطب في تلك الجزئيات القيام بترتيب أنفسها في اتجاه المجال المسلط، فعليه فإن ثابت العزل سوف تقل قيمته (9) وهنالك عوامل أخرى قد تعمل على نقصان قيمة ثابت العزل عند زيادة التردد. فعندما يكون ثنائي القطب غير قادر على مسايرة تغيرات المجـال الكهربـائي عنـد الترددات العالية فهذا يعني ان المجالات الدورية الناتجة عن المجال الكهربائي تحدث بصورة سريعة حيث لا تسمح للايونات المستجدة بالانتشار في اتجاه المجال الكهربائية (10).

ويبين الشكل (5) العلاقة بين ثابت العزل (ε_r') والتردد للنمـوذج (PMMA) عنـد درجات حرارة °C(20 40 60 90). ويمكن الملاحظة في الشكل (5) إن قيمة ثابت العـزل تزداد كلما ازدادت درجة الحرارة. وفي جميع الحالات تصل قيمة ثابت العزل قيمة ثابتة عند درجات حرارة وترددات معينة. ولقد أظهرت النتائج حدوث زيادة كبيرة في قيمة ثابت العزل خاصة عند درجات حرارة $C^\circ(90,60)$. ويمكن تفسير ذلك على التغير في الحجـم النـوعي للبوليمر(11). وهذا يعني انه كلما ازدادت درجة الحرارة ازداد الحجم وازدادت قيمـة ثابـت العزل.

يوضح الشكل (6) العلاقة بين فقدان العزل (ε_r'') والتردد للنموذج (PMMA) عنـد درجة حرارة $20C^\circ$. يتضح من الشكل (6) إن قيمة فقدان العزل تقل كلما زاد التـردد.ولقـد لوحظ ان فقدان العزل لمادة PMMA كبيرة نوعا ما، ويمكن تفـسير ذلـك إلـى مـساهمة

التوصيلية الكهربائية وبصورة خاصة التوصيلية الكهربائية المستمرة (D.C conductivity) في آلية فقدان العزل (9).

ومن الجدير بالذكر إن فقدان العزل في المواد البوليمرية تتأثر بعوامل عديدة مثل توصيلها الأيوني وبنيتها سوءاً كانت متجانسة أو غير متجانسة. ففي حالة احتواء البنية البوليمرية على عيوب أو كونها مسامية البنية فسوف تؤثر هذه العيوب أو المسامية على حركة الشحنات في حالة تسليط جهد كهربائي مما يؤدي إلى تشتت في الطاقة (12). ويتضح من الشكل (6) ظهور قمة في نهاية المنحني ففي الحقيقة لم نستطيع إيجاد لها تفسير علمي.

أما الشكل (7) فيبين العلاقة بين فقدان العزل (ε_r'') والتردد عند درجات حرارة C°(20 40 60 90) ويتضح من الشكل (7) إن فقدان العزل يزداد كلما ازدادت درجة الحرارة. ويمكن تفسير ذلك إلى قيمة فقدان التوصيلية الكهربائية الكبير وخاصة عند درجات الحرارة العالية، حيث أن حاملات الشحنة تعمل على زيادة الحركية داخل البوليمرات القطبية (13).

يبين الشكل (8) العلاقة بين فقدان ظل الزاوية ($\tan\delta$) والتردد للنموذج (PMMA) عند درجات حرارة C°(20 40 60 90). فمن الملاحظ من الشكل (8) إن قمم المنحنيات قد زحفت نحو الترددات العالية بازدياد درجة الحرارة. ويمكن تفسير هذه الظاهرة بتأثير عملية الاسترخاء. أن قيمة فقدان ظل الزاوية عند الترددات الواطئة أو المعتدلة كما موضح في الشكل تكون كبيرة نوعا ما وهذا يعزى إلى مساهمة عمليتين في آن واحد وهما القفز الأيوني وفقدان التوصيل (Conduction Loss) الأيوني. ويمكن إضافة عامل آخر فقدان الاستقطاب الالكتروني. أما عند الترددات العالية فقد يكون هنالك آلية واحدة تسيطر على العملية وهي التذبذب الأيوني في فقدان العزل (14).

ثالثاً:- خواص (العزل – درجة الحرارة) عند ترددات ثابتة:-

يبين الشكل (9) العلاقة بين ثابت العزل (ε_r') ودرجة الحرارة عند الترددات (10KHz و 100KHz و 1MHz). نلاحظ من الشكل (9) إن قيمة ثابت العزل تزداد بزيادة درجة الحرارة عند تردد ثابت. فعند الترددات الواطئة نلاحظ أن قيمة ثابت العزل اكبر من قيمتها عند الترددات العالية. إن الزيادة في قيمة ثابت العزل مع تغير درجة الحرارة ناتج عن الحركة الحرة للأقطاب الثنائية في السلسلة الجزئية للبوليمر وخاصة عند الدرجات الحرارية العالية. ويرجع السبب إلى الزيادة الحاصلة في الحجم النوعي للبوليمر مما يجعل استجابة ثنائي القطب للمجال الكهربائي المسلط جيدة للحركة والدوران ويعقب ذلك زيادة في الاستقطابية أي زيادة في ثابت العزل (15). أما عند درجات الحرارة الواطئة فيمكن أعتبار

ثنائي القطب كجسم مقيد في المواد العازلة، فعليه يصعب على المجال الكهربائي المسلط على المادة البوليمرية أن يغير من وضعيته (16).

يوضح الشكل (10) العلاقة بين فقدان العزل (ε_r'') ودرجة الحرارة عند التـرددات (10KHz و 100KHz و 1MHz). يبين الشكل بان فقدان العزل يزداد كلما ازدادت درجة الحرارة وخاصة عند الترددات الواطئة , وتعزى هذه الظاهرة إلى تـأثير حركـة السلـسلة البوليمرية. أما عند الترددات العالية فنجد أن قيمة فقدان العزل اقل مما عليه فـي التـرددات الواطئة وتبقى ثابتة نوعا ما كلما ازدادت درجة الحرارة. فقد تعزى هذه الحالة إلى الاستقطاب ألاتجاهي بالنسبة إلى حركة السلسلة البوليمرية والتي لا تقدر أن تحتفظ بطورها عند حـدوث التذبذب المفاجئ للمجال الكهربائي (15).

أما الشكل (11) فيوضح العلاقة بين فقدان ظل الزاوية ($\tan\delta$) ودرجة الحرارة عند الترددات(10KHz و 100KHz و 1Hz). يلاحظ في الـشكل (10) وجـود قمـة فقـدان الاسترخائية. يعزى هـذا الظهـور بـسبب وجـود اسـترخاء β – (β-relaxation) فـي (PMMA) يعمل على تحديد اتجاهات المجموعات القطبيـة C1 و C = 0 الموجـودة فـي السلسلة البوليمرية وبجانب مجموعة (PMMA). يطلق عادة على هذا الاسترخاء باسـترخاء المجموعة القطبية (9). فعند درجات الحرارة الواطئة تكون حركة السلـسلة الرئيـسية فـي (PMMA) قليلة جدا فعليه تكون قيمة فقدان ظل الزاوية قليلة جداً أيضاً (16).

الاستنتاجات

أولاً:- دراسة الخواص الكهربائية في المجالات الكهربائية المستمرة :- عند دراسة خـواص التيار – الفولتية لمادة PMMA النقية لوحظ ما يلي:-

١. ظهور ثلاثة مناطق وهي:-

الأولى: آومية يكون فيها تناسب التيار المتسرب طردياً مع الفولتية المسلطة

الثانية: يكون التيار المتسرب محدد بالشحنة الفراغية ويتناسب طردياً مع مربع الفولتية المسلطة

الثالثة: يزداد فيها التيار بصورة كبيرة ويتناسب طردياً مع الفولتية المسلطة ذات أس كبير جداً.

٢. قيمة التيار المتسرب يزداد بزيادة الفولتية المسلطة ودرجة الحرارة

٣. ظهور صفة الانهيار الكهربائي في المادة

٤. قيم فولتية الانهيار تقل بزيادة درجة الحرارة

ثانياً:- دراسة الخواص الكهربائية في المجالات الكهربائية المتناوبة: فعند دراسة نتائج العزل الكهربائي كدالة للترددات عند درجات حرارية مختلفة لوحظ ما يلي:

١. بينت النتائج قيم ثابت العزل وفقدان العزل وفقدان ظل الزاوية تـزداد كلمـا ازدادت درجة الحرارة.
٢. قيم ثابت العزل وفقدان العزل وفقدان ظل الزاوية تقل كلما ازداد التردد.
٣. ظهور قيمة استرخاء - β في نتايج فقدان العزل. ولقد فسرت الحالة ترتيـب ثنـائي القطب باتجاهات مجاميع الأقطاب الجانبية.

شكر وتقدير

الشكر الجزيل للأستاذ شجاع الدين بكر عزيز المدرس المساعد في قسم الفيزياء /كليـة العلوم /جامعة السليمانية على ما قام به من مساعدتنا بأجراء قياسات العزل الكهربائي.

المصادر

1) Blythe, A. R. (1997), "Electrical Properties of Polymers", Cambrige University Press.

2) Hadeed H. (1983), "Study of the complex permittivity of som dielectric at frequencies from 10 2 to 10 6 Hz for different temperture" M. Sc. Thesis, Science College, Mousl University.

3) Tjong S. C. And Liang Q. D. (2006), "Electrical Properties of Low-density Polythelene/ZnO nano composites" Material Chemistry and Physics, vol. 100, pp 1-5.

4) Adamec V. And Calder J. H. (1978), "Electrical Condition Polarization Plenomena in Polymeric Dielectrics at Low Fieldsa", J. Phy. D. Appl phys, vol. 11.

5) Al-Jammal Y. And Al-Flah R. (2006), "Electrical Properties of the Thin Film Capaciters of Polymeric Alloys", Raf. Sc. J, vol. 7, pp 34.

6) Al- Jarjary R. J. (2007), "Effect of Microwave on Phhsical Properties of SBR As pure and Filled with black carbon", M. Sc. Thesis, Science College, Mousl University.

7) Lampert M. A and Mark P. (1970), "Current Injection in Solids", Acadmeic press, Newyork and London.

8) Simmons J. G. (1971), "D. C Conduction in Thin Filmes", Mills $ Boan Limeted, London.

9) Singh K. A. And Gupta P. N. (1998), "Study of Dielectric Relaxation In Polymer Electrolytes" Eur. Polym. J. Vol. 34, No. 7 pp 1023-1029.

10) Yang S. (2007), "Dielectric Analysis of VGCNF reinforced Polyethylene composites" Composite Science and Technology, vol. 67, pp. 1159-1166.

11) Raja V., Sharma A. K. And Narasimhe Rao V. V. R. (2004), "Impedance Spectroscopic and Dielectric Analysis of PMMA-CO-P4VPNO polymer Films, Materials Letters 58, pp. 3242-3247.

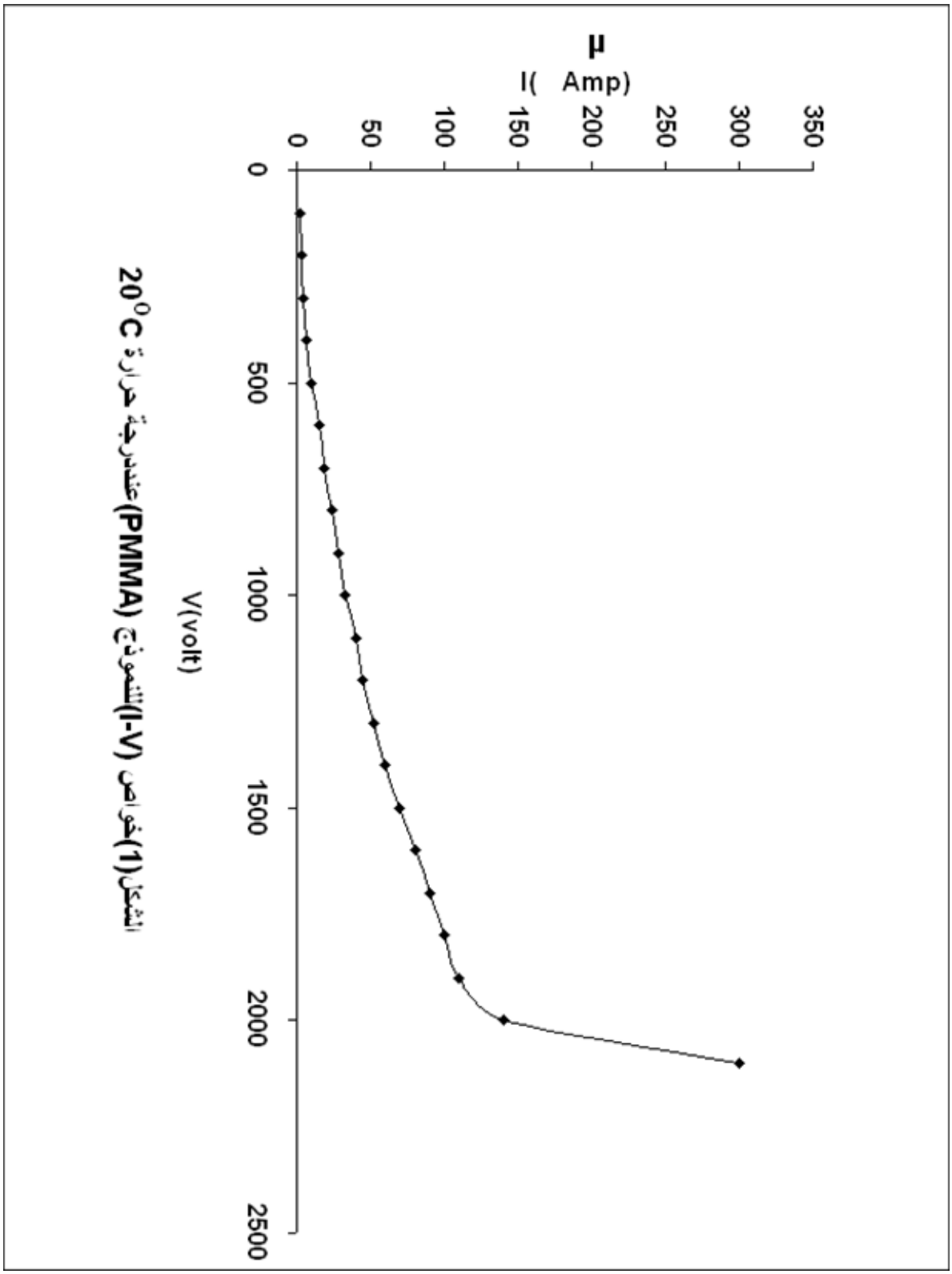
12) Yange T. And Kofinas P. 2007), "Dielectric Propertites of Polymer nanopractical Composites" Polymer, vol. 48 pp. 791-798.

13) Stephen H. F. (1999), "Electrical Properties of Composites in the Vicinity of the Percolation Thershonld", J. Of Appl. Polymer Science, vol. 72, pp. 1573-1582.

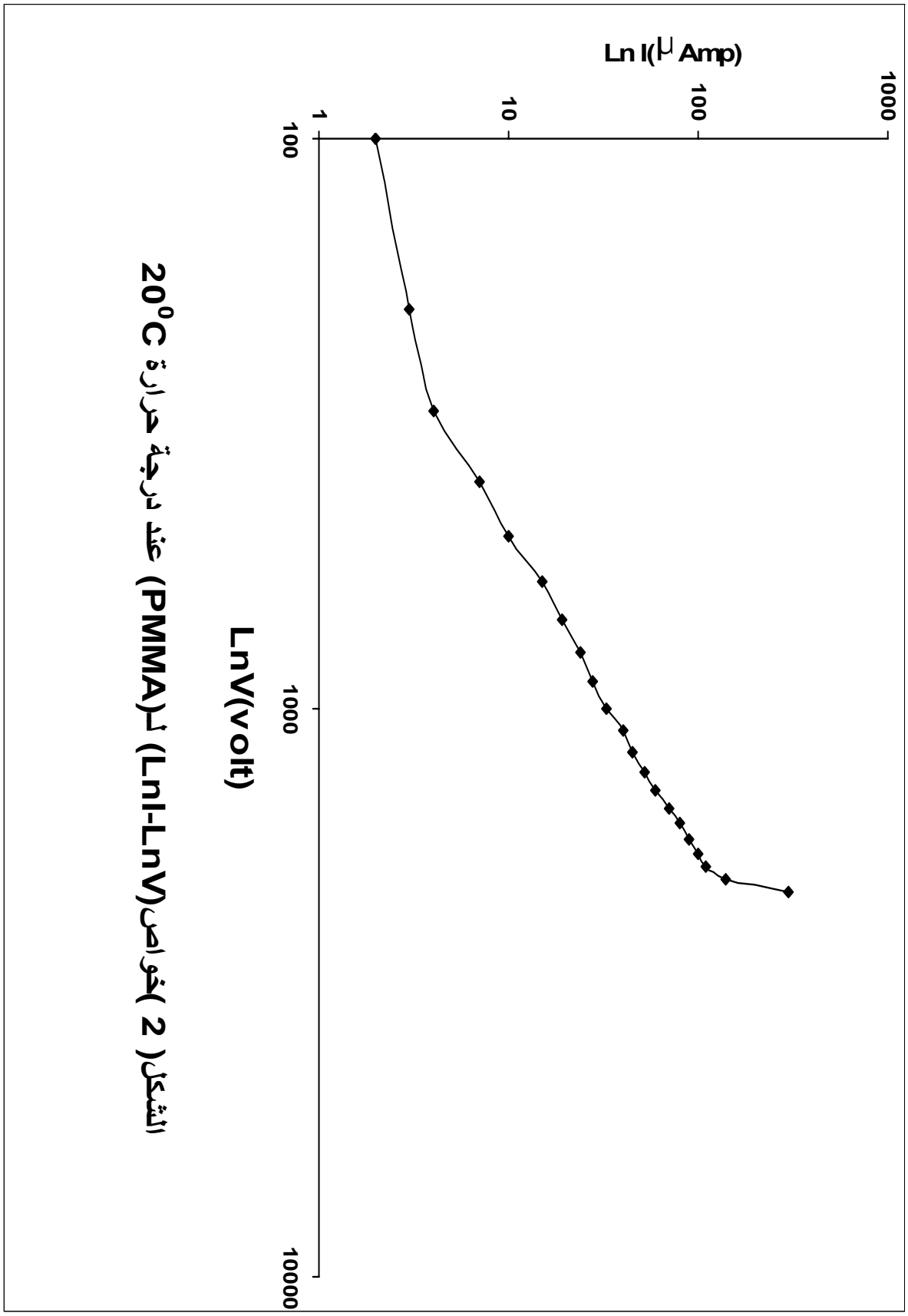
14) Vijayalakshmi R., Ashokan P. V. And Schrithar M. K., "Study of Dieclectric .....

15) Muhammed A., Athar J. And Tanseen Z. R. (2005), "Dielectric Propertiesof Industrial Polymer Compoiste Materials", Turk J. Phys 29, pp. 355-362.

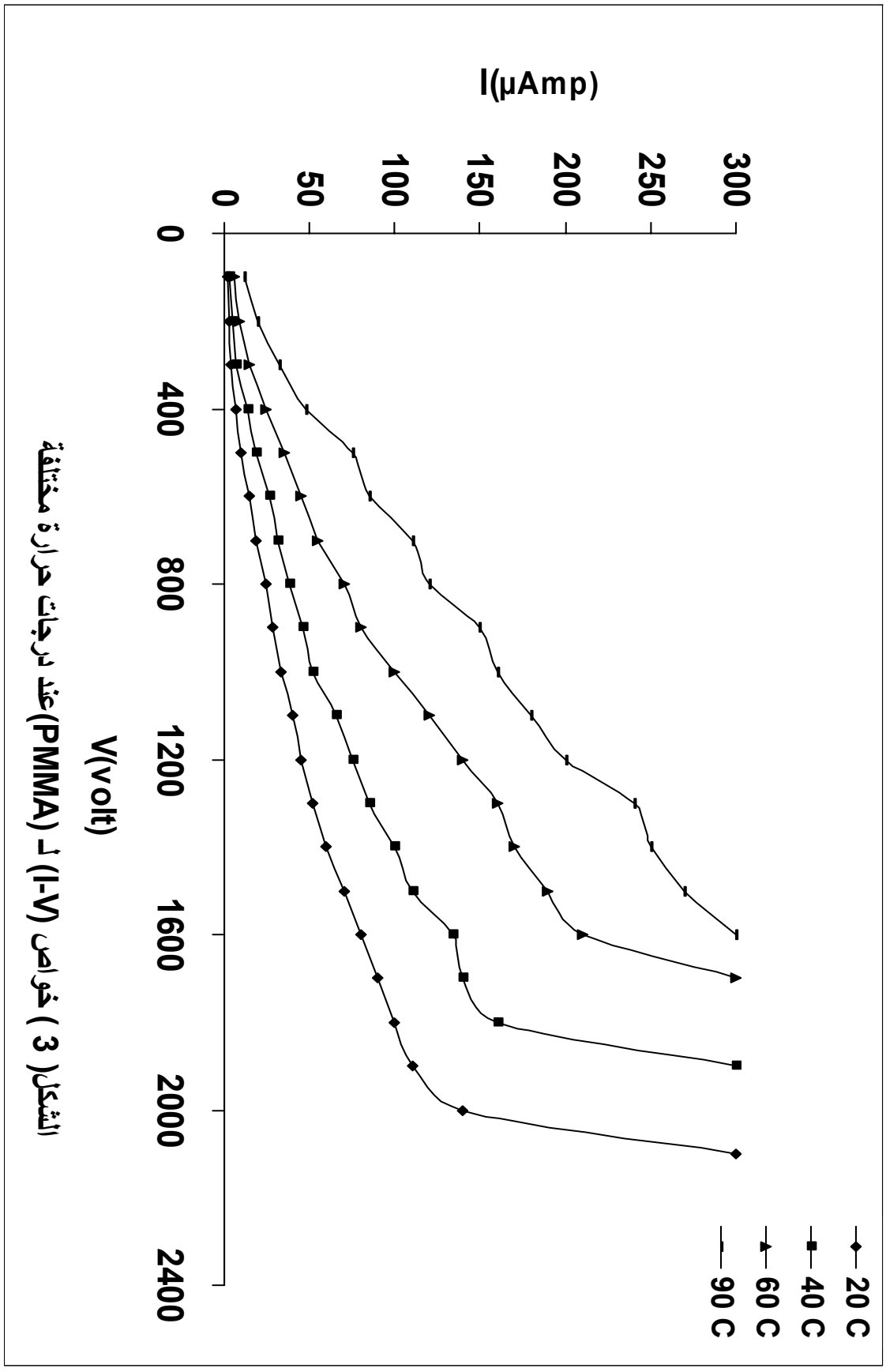
16) Raju G. G. (2003), "Dielectrics in Electric Field", NewYork, Basel.



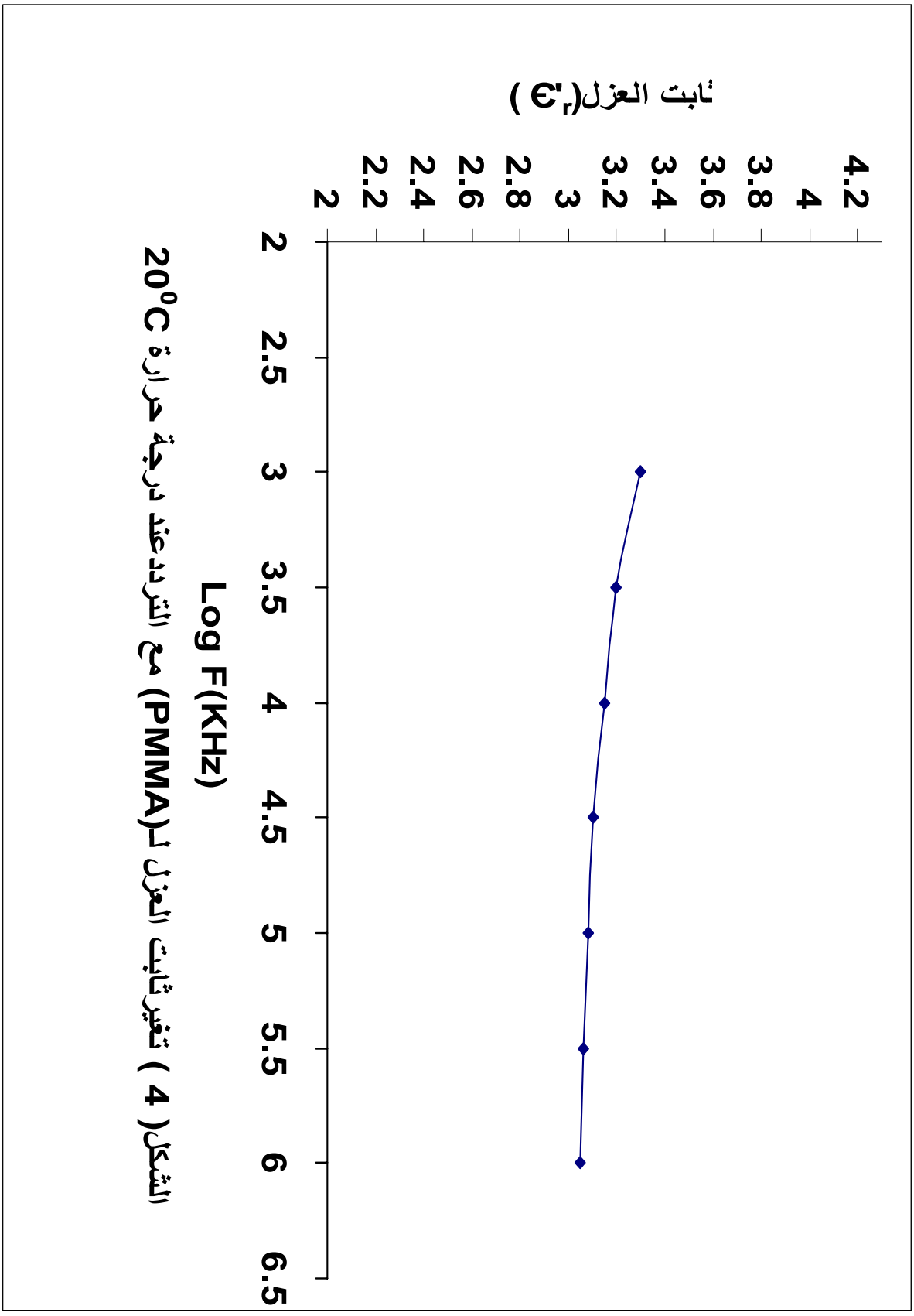
الشكل(1)خواص (I-V)للنموذج (PMMA)عندرجة حرارة $20^{O}C$



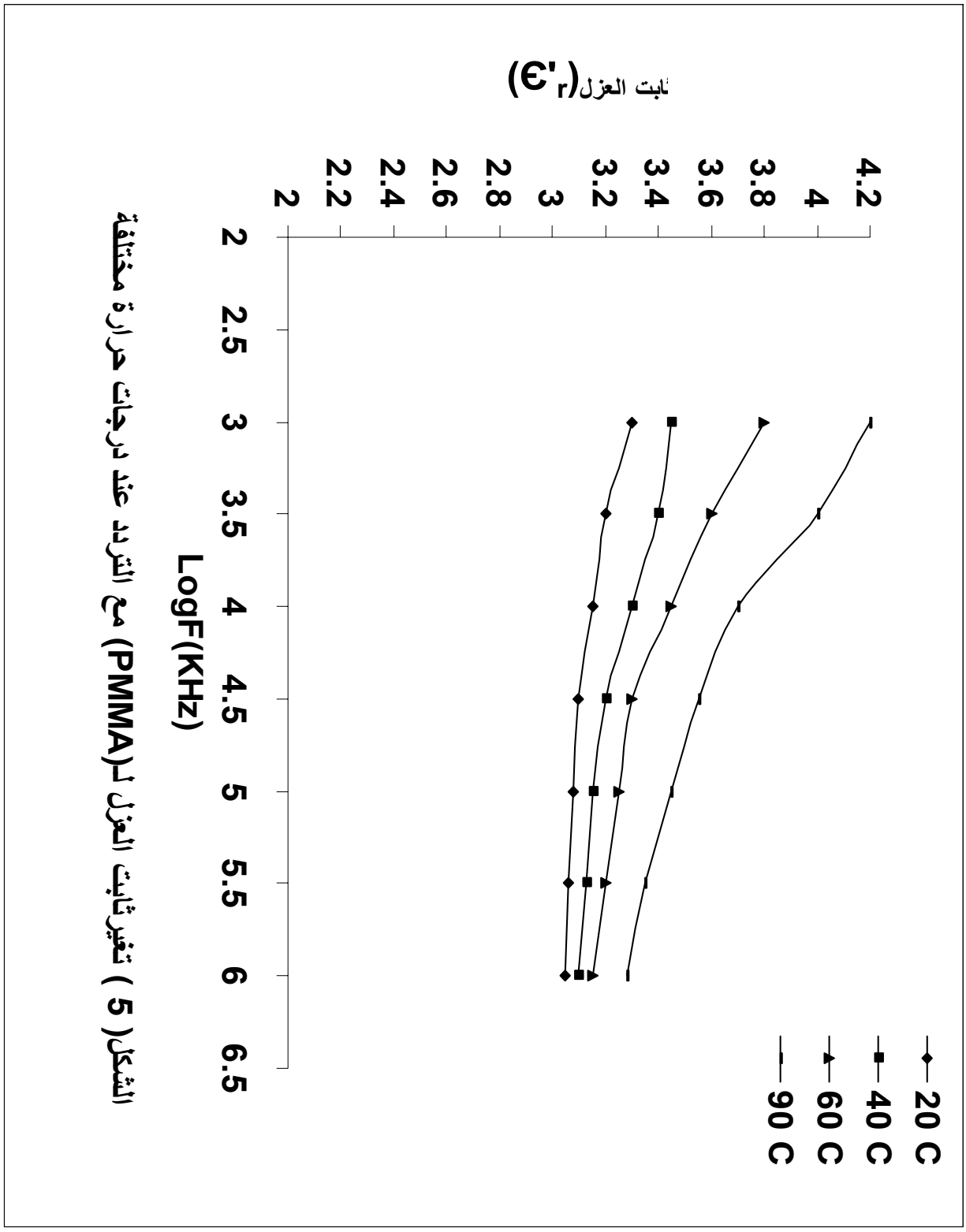
الشكل(2)خواص(LnI-LnV) لـ(PMMA) عند درجة حرارة $20^{o}C$



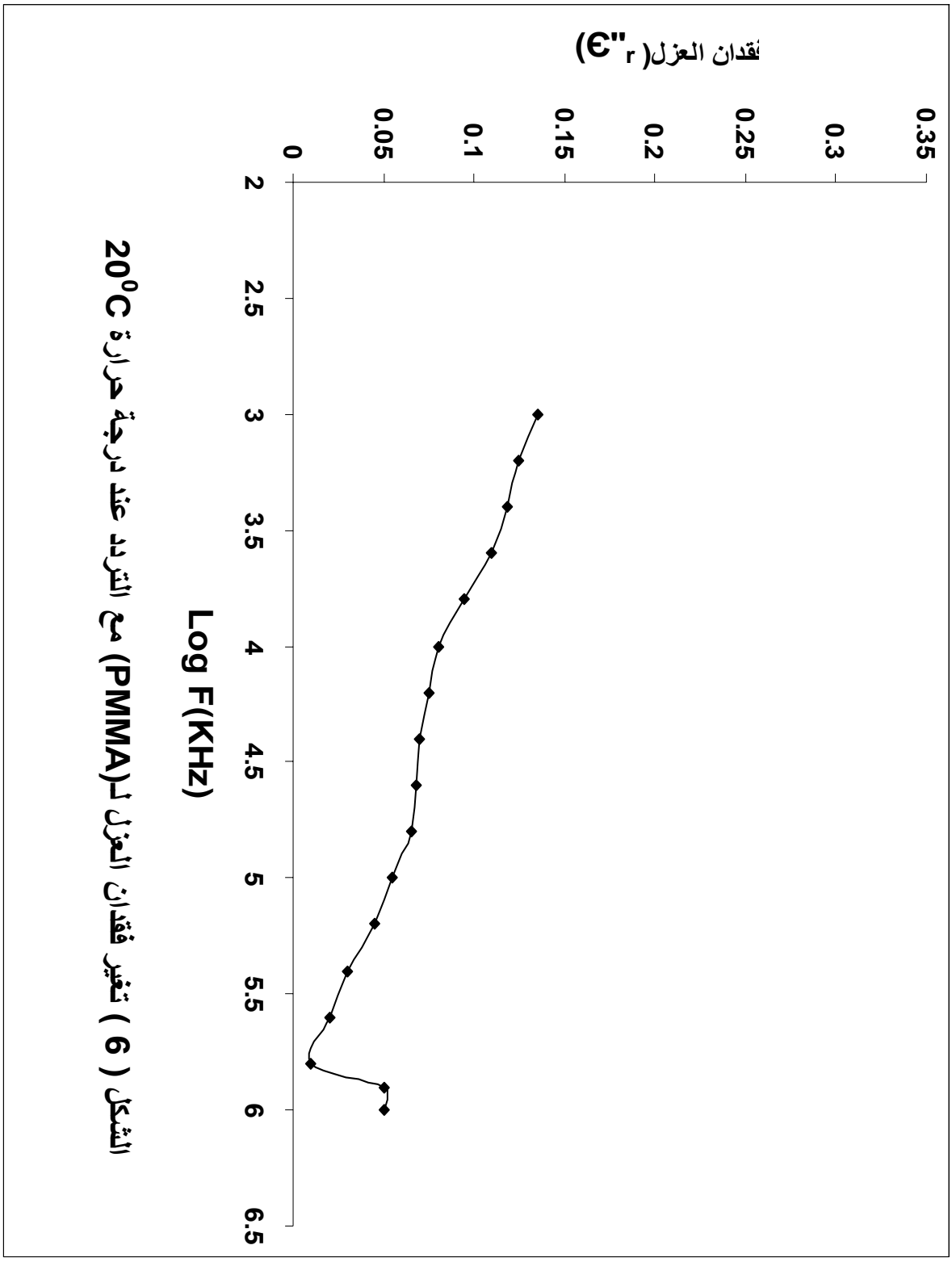
الشكل(3) خواص (I-V) لـ (PMMA) عند درجات حرارة مختلفة



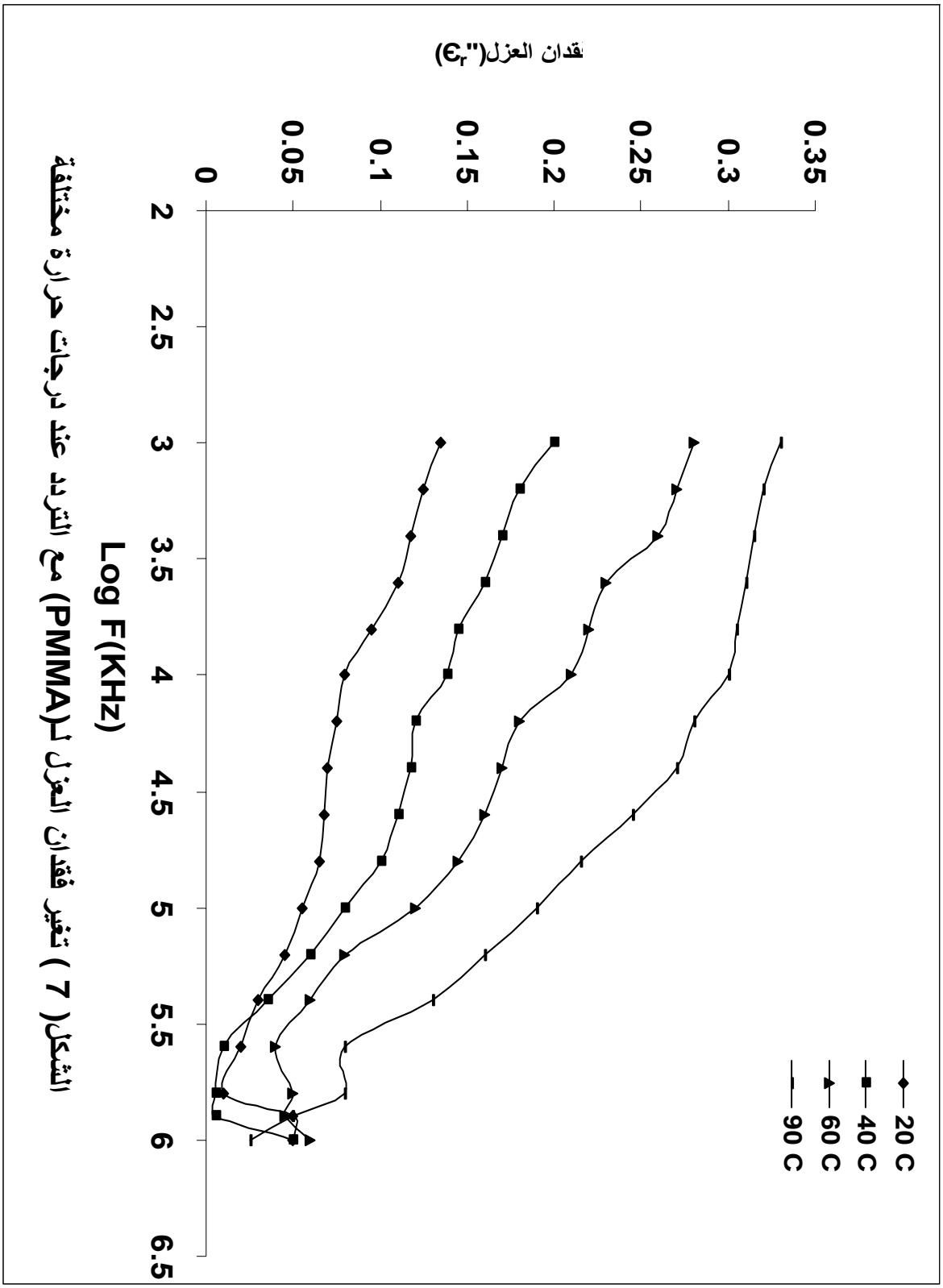
الشكل(4) تغير ثابت العزل لـ(PMMA) مع التردد عند درجة حرارة 20^oC



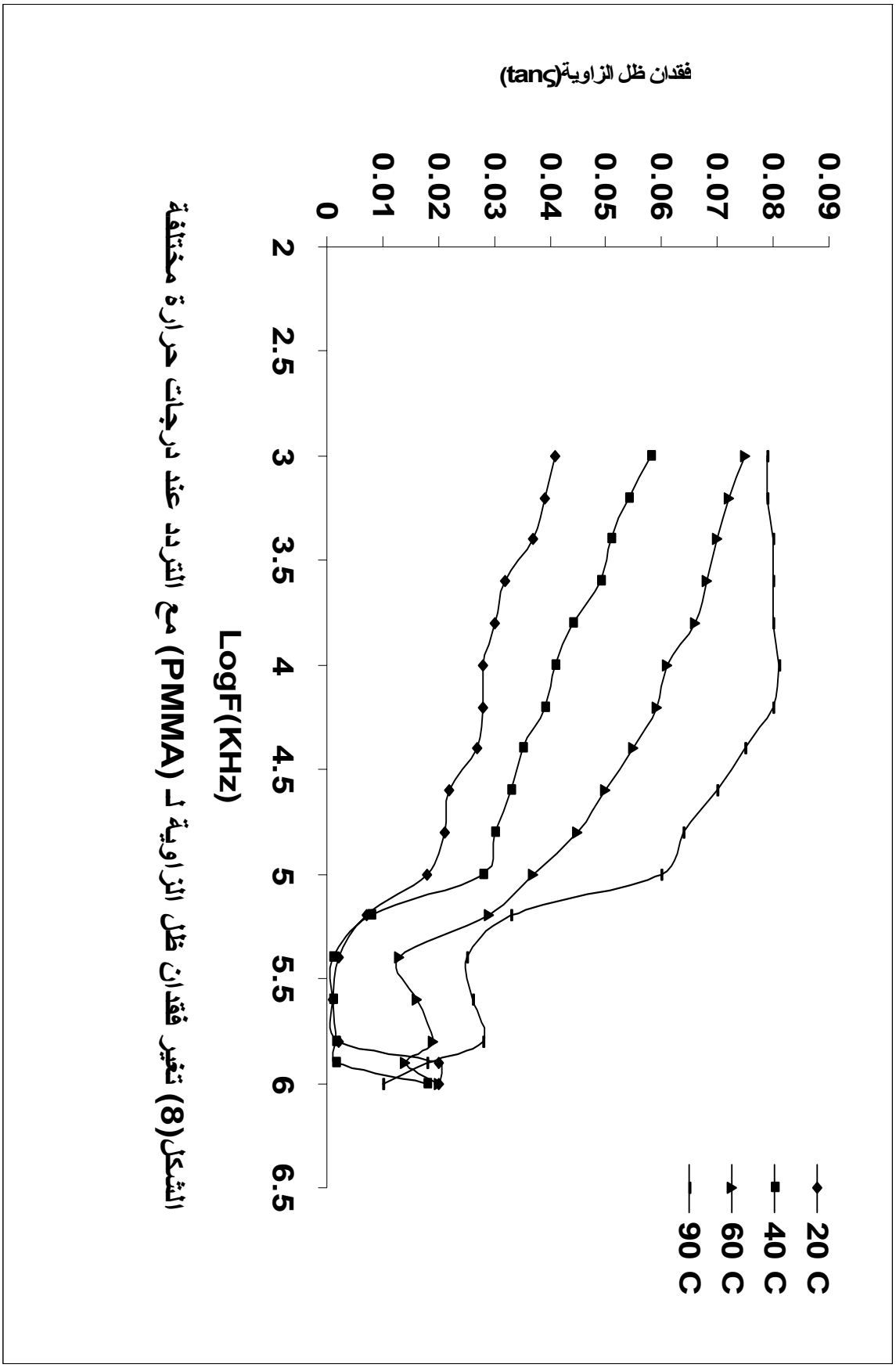
الشكل(5) تغير ثابت العزل لـ(PMMA) مع التردد عند درجات حرارة مختلفة



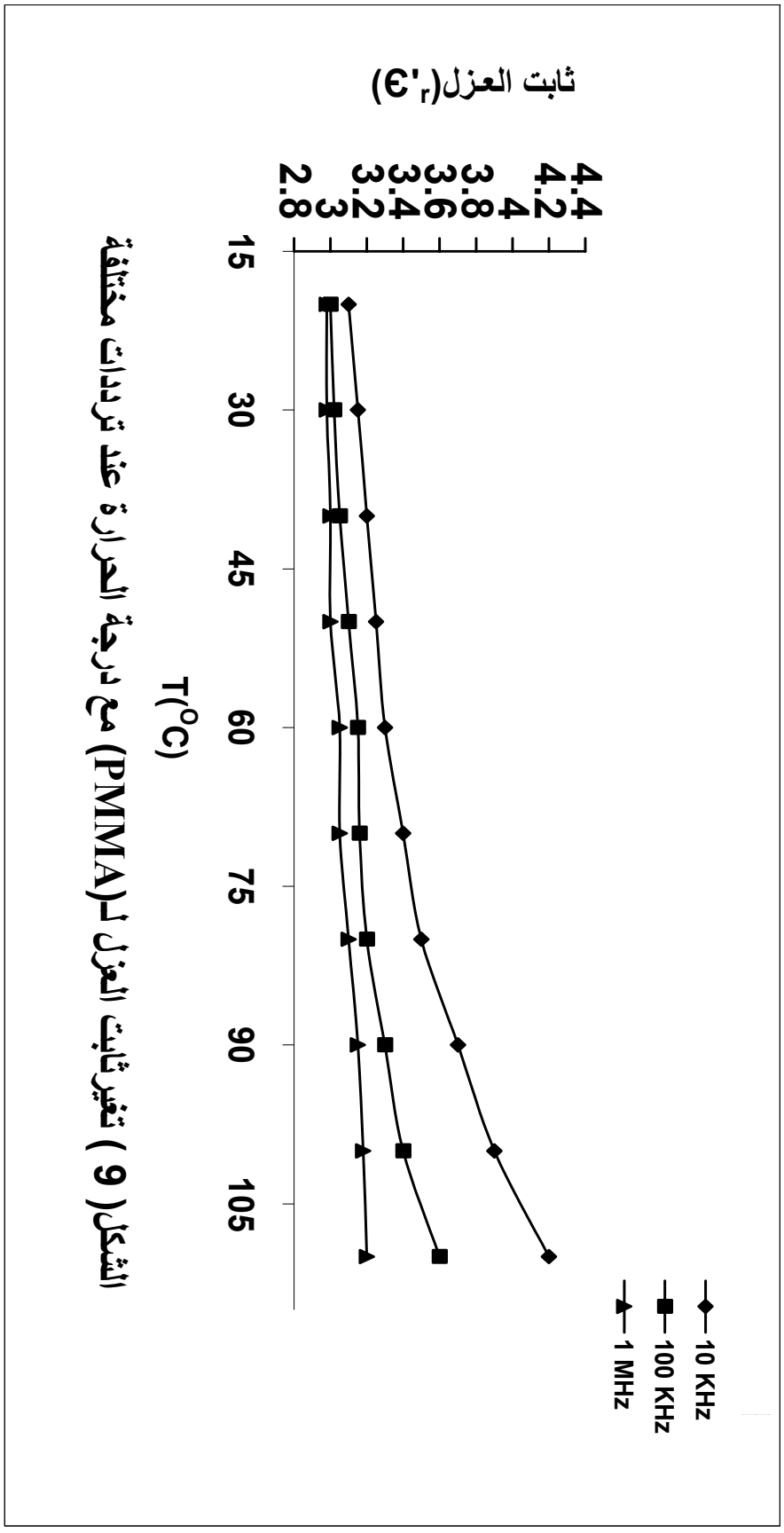
الشكل (6) تغير فقدان العزل لـ(PMMA) مع التردد عند درجة حرارة $20^{o}C$



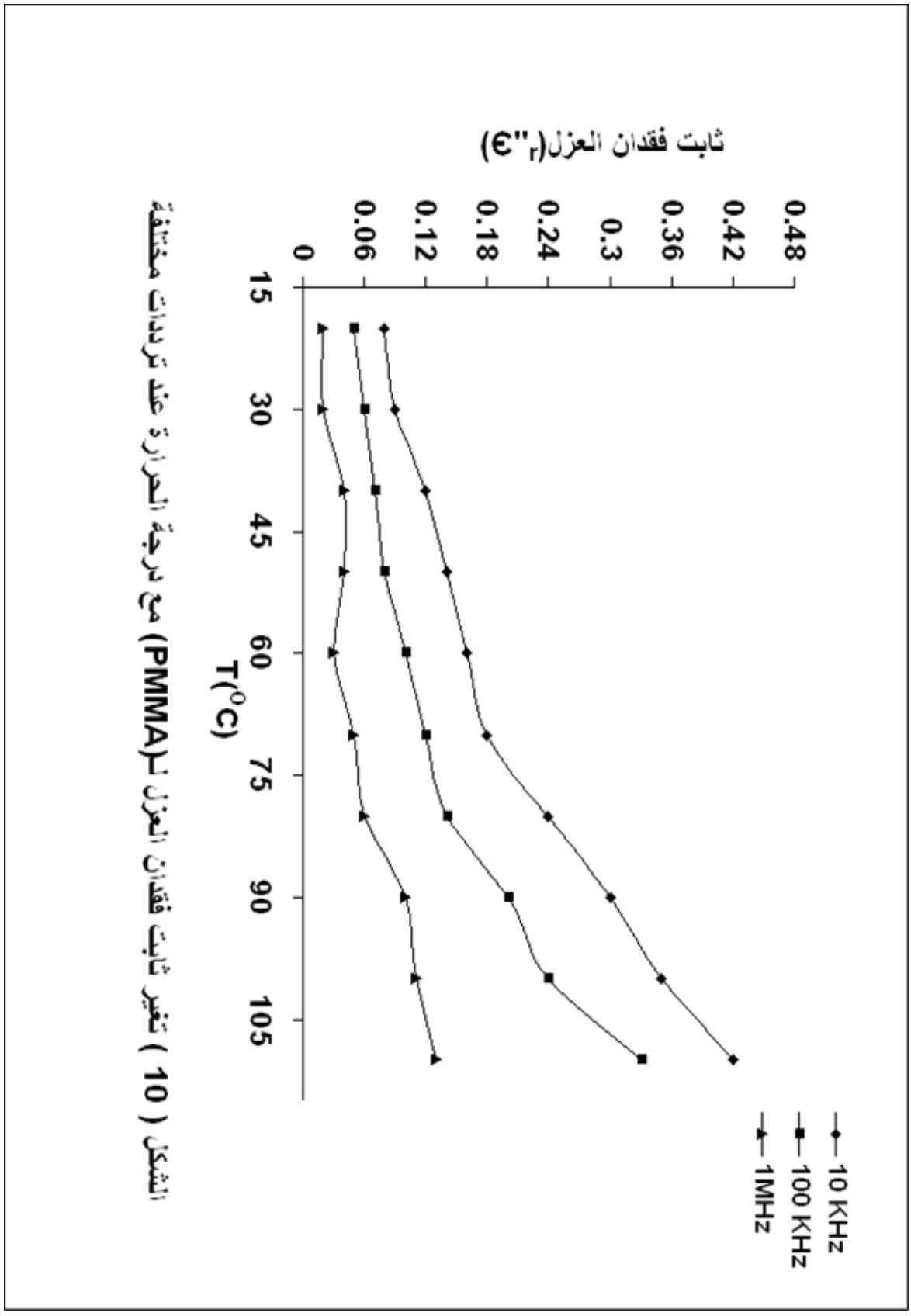
الشكل(7) تغير فقدان العزل لـ(PMMA) مع التردد عند درجات حرارة مختلفة



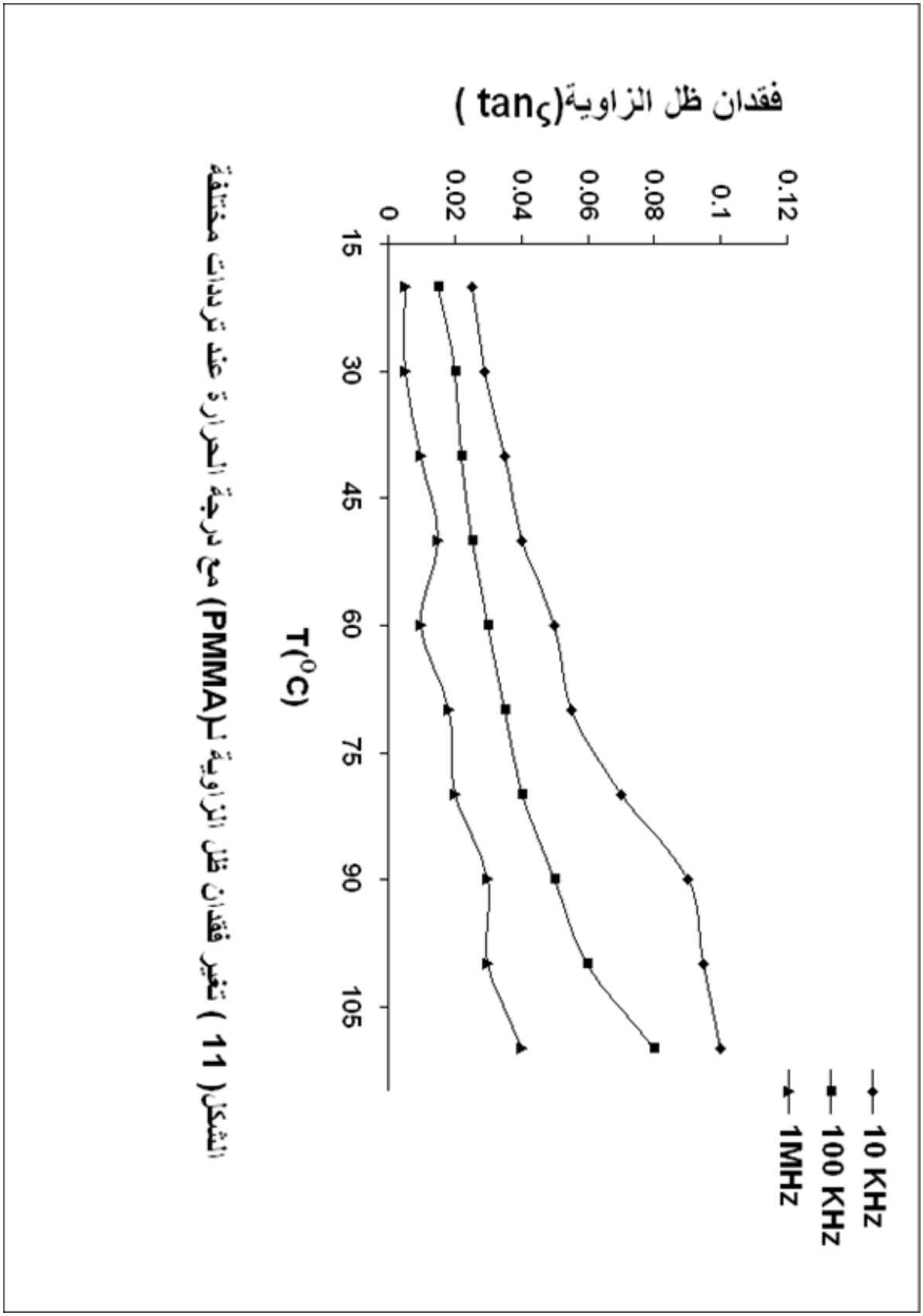
الشكل(8) تغير فقدان ظل الزاوية لـ (PMMA) مع التردد عند درجات حرارة مختلفة



الشكل(9) تغير ثابت العزل لـ(PMMA) مع درجة الحرارة عند ترددات مختلفة



الشكل (10) تغير ثابت فقدان العزل لـ(PMMA) مع درجة الحرارة عند ترددات مختلفة



الشكل(11) تغير فقدان ظل الزاوية لـ(PMMA) مع درجة الحرارة عند ترددات مختلفة