اداء النحر لمتراكبات السليكون المطاطي الممتلئ بنترات البورن كمواد لمظلات العازلات الخارجية

D1-308

ترجمة: أ.د. لؤى سعد الدين نصرت
مراجعة: أ.د. اهداب المرشدى

الملخص

- ✓ تعتبر العازلات الخارجية من أهم المكونات لخطوط الجهد العالي واداءها يلعب دورا مهما فى التصميم لاستمرارية القوى الكهربية فى خطوط النقل للجهد العالي (EHV) والجهد الفائق (UHV) لخطوط النقل يعتبر اداء العازلات تحت الظروف الرطبة أو الملوثة لكونه المفتاح الرئيسي في اختيار العازلات.

- ✓ العازلات البوليمارية أو المتراكبة تكون اكثر أداء عن العازلات السيراميكية تحت الظروف الرطبة والملوثة حيث أن أسطحها تكون اكثر كرهاً للماء فى الطبيعة .
- ✓ عمر العازلات المتراكبة مرتبط بأداء النحر والتآكل فى البيئة الملوثة وكما هو شائع في تشغيل العازلات البوليميرية أن تكون مملوئه بثلاثى هيدرات الألومنيا (ATH) فى حجم الميكرو حتى 60% من الوزن لتحسين اداء العزل من النحر والتأكل .
- ✓ ولكن احياناً تقود الى تدهور بعض الخصائص المرغوبة للعازلات .

- ✓في هذه الدراسة، مادة من متراكب البوليمر والتى تحسن التوصيلية الحرارية وانها متناسبة فى الاستخدام لمواد المظلات الخارجية ولاستنتاج متراكب البوليمر تم اختيار السليكون المطاطي كبوليمر اساسي واختبار المادة المالئة وهى نترات البورن.
- ✓اداء التآكل لمادة السليكون المطاطي المضاف إليه نترات البورن تم دراسته باستخدام اختيار السطح المائل تبعاً للمواصفات (IEC 60587) لمدة ستة ساعات .
- ✓طريقة تثبيت جهد النحر قد استخدمت ومعدل تدفق الملوث كان ثابت عند 0.15 مللى لتر/ دقيقة، والتوصيلية 2.5 مللى سيمنز/ سم .

- ✓ الجهد المستخدم 2.5كيلو فولت للحصول على مجال كهربى قريب من ظروف التشغيل الفعلية.
- ✓ تيار التسريب لمدة دقيقتان عند البداية بالإضافة إلى كل ساعة يقاس باستخدام نظام تسجيل البيانات .
- ✓ قيم الجذر التربيعي المتوسط (rms) للتيار قد تم حسابها من موجة التيار تم الحصول عليها .
- ✓ كل اختبار اجرى لخمسة عينات والقيمة المتوسطة قد حصل عليها بهدف الوصول على افضل تيار تسريب.
- ✓ توزيع المالئ في المتراكب حلل بمساعدة الماسح الميكروسكوبى الالكتروني (SEM) ايضاً (SEM) استخدم لتحليل منطقة التآكل للعينات ممتلئة والغير ممتلئة.
- ✓ من التحليلات اصبح واضحاً جداً كمية الشروخ القليلة الموجودة في العينات المضاف الية المالئ مقارنة بالعينات التى لم تحتوى على المالئ وبها شروخ كثيرة وتقل نسبة الشروخ بالعينات بزيادة نسبة وزن المالئ (wt %) .

- ✓ اظهرت قياسات تيار التسريب خلال الفترة الأولية أن تيار التسريب قليل للمتراكبات المحتوية على مالئ نترات البورن ذو حجم الميكرو مقارنة بالعينات الغير مالئة.
- ✓ قياسات تآكل الحجم للعينات أوضحت ان أداء المتراكبات الجديدة تكون أفضل من العينات المالئة بواسطة (ATH) .
- ✓ اداء المتراكبات الميكرو المحتوية على 5% من الوزن (wt %) أعطت نتائج مقارنة بالمتراكبات النانو وثلاثي هيدرات الالومنيا (ATH) التقليدى ملىء بمركب ميكرو عند تحميل أعلى.

مفاتيح الكلمات

تآكل – نحر - أختبار السطح المائل – العازل البوليمر – متراكب بوليمر .

المقدمة

- تعتبر العازلات الخارجية من أهم المكونات لخطوط الجهد العالى وأداءها يلعب دورا مهما لإستمرارية القوى الكهربية فى خطوط النقل .
- الجهد العالي (EHV) والجهد الفائق (UHV) لخطوط النقل يعتبر أداء العازلات تحت الظروف الرطبة او الملوثه لكونه المفتاح الرئيسى فى أختيار العازلات .
- تستخدم العازلات السيراميك فى محطات توزيع القوى وخطوط النقل من اكثر من 100 عام حيث أنها قوية ميكانيكيا ، وثباتها حرارياِ.
- ولكن فى خطوط النقل للجهد العالى والجهد الفائق تعتبر العازلات السيراميك اختيار غير مجدى لكونها ثقيل جداً ومطمع للقناصة وذات خواص شرهه للماء والتى تقلل قيمة الانهيار السطحى .
- حالياً يتم استبدال العازلات السيراميك بعازلات البوليمر يسبب وزنها الخفيف وتقليل تكلفة النقل والتعليق وتقاوم ايضاً القناصة واكثر تصدياً للتلوث والكراهية للماء.

- عديد من المميزات للعازلات البوليمارية ولكن بعض من المشكلات مثل النحر والتآكل لمواد المظلات ، والتدميرمن الكورونا والسطح الهش.
- تأكل بطيئ لمادة المظلات يصل نهائياً الى داخل القضيب FRP والذى يمكن أن يؤدى الى الانهيار نتيجة الكسر بالهشاشة للقضيب FRPحيث أن الماء يتوغل داخل القضيب من خلال المنطقة المتأكلة .
- وهى واحدة من الاشياء المعنية للعازلات البوليمارية لانها تقود الى انهيار ميكانيكى للعازلات لذا خلال تلك الدراسة نستعرض تصنيع متراكبات بوليمارية جديدة تعطى أداء أفضل للتأكل والنحر .
- واختير السيليكون المطاطي كبوليمار أساسي فى الدارسة الحالية. والتطبيق السائد ، تذويد العازلات البوليمارية بماليئات فى حجم الميكرو مثل ثلاثى هيدرات الالومينا بنسبة وزن تصل حتى 60%(wt) لتحسين أداء التأكل والنحر للعازل .

- ولكن هذا احياناً يؤدى الى تدهور بعض الخصائص المرغوبة للعازل مثل مقدار شدة العزل الكهربي – الشد الميكانيكى – المرونة.
- المقاومة للتأكل عن العازلات مرتبطة بالتوصيلية الحرارية لمادة المظلات العازلة. التوصيلية الحرارية للبوليمارات يمكن ان تتحسن بأضافة ماليئات لتصل الى توصيلية حرارية عالية .

- نترات البورن تعتبر ذات توصيلية حرارية، كثافة قليله، صلادة منخفضة، وخصائص عازلية ممتازةواختيرت كمادة مالئة فى هذه الدراسة الحالية .
- الدراسة أهتمت بالمتراكبات من السيليكون المطاطى مضاف اليه مالئ من النانو والميكرو (نترات البورن) بهدف تحسين التوصيلية الحرارية بزيادة حجم المالئ متراكب جديد تم دراستة لاداء النحر والتأكل عن طريق اختبار السطح المائل بمواصفة IEC60557
- قياسات كمية التأكل وتيار التسرب تظهر تحسن الاداء للمتراكب الجديد واضافة المالئ محدودة حتى 5% من الوزن (wt %).

المواد

- تم تحضير عينات SRالمملوءة وغير المملوءة لاختبار السطح المائل باستخدام مادة مطاط السيليكون (RTV) المفلجن بدرجة الحرارة الغرفة تحتوي مادة RTV SRعلى مكونين وبالتحديد 'A' RTVو 'B' RTVوكلاهما لهما نفس الكثافة البالغة0.97جم/سم مكعب.
- المكون 'A'هو cross linkerومكون 'B'هو المحفز البلاتيني platinum-based catalyst
- البوليمر يملأ بجزيئات نترات البورون ذات حجم ميكرون لهذه الدراسة.
- ويكون متوسط حجم جزيئات نترات البورون 1ميكرون متر .

إعداد العينة

يجب أن تكون مكونات RTV SR 'A' و 'B' بالإضافة إلى المواد المالئة مسبقة التهيئة قبل تحضير العينات.
تم الاحتفاظ بمكونات RTV 'A' و 'B' تحت ضغط (2-^10)Torr لمدة 24 ساعة على الأقل لإزالة الهواء والرطوبة من المواد.
تم حفظ المالئ في درجة حرارة عالية 150°C لمدة يوم واحد على الأقل لإزالة الرطوبة من المواد المالئة .
مكوّنات RTV 'A' و 'B' تم خلطها بنسبة 1 :3 لتحضير العينات .
الكمية المطلوبة من المالئ يتم وزنها باستخدام ميزان رقمي دقيق بدقة قراءة تبلغ 0.1 مجم .
تم تفريق المادة المالئة في مصفوفة البوليمر عن طريق الخلط الميكانيكي بمعدل 600 دورة في الدقيقة ولمدة 3 دقائق .
بعد ذلك يتم إضافة كمية مكون 'B' المطلوبة للمالئ وخلطها جيدًا .
ثم يجفف الخليط لإزالة فقاعات الهواء المحاصرة .

إعداد العينة

تم سكب الخليط ثم يسخن بدرجة حرارة (60)درجة مئوية لتسريع عملية المعالجة ومنع المالئ من الاستقرار في قاع العينة.

تم إجراء المعالجة على مرحلتين عن طريق حفظ القالب في الفرن لمدة 24ساعة .

أول 4 ساعات تم الاحتفاظ بالقالب عند 150 ˚c وال 20ساعة التالية تم خفض درجة الحرارة والحفاظ عليها عند 130 ˚c تم بعد ذلك الاحتفاظ بالعينة المعالجة في فراغ لمدة 24 ساعة قبل إجراء اختبار IP.

اختبارالسطح المائل

- تمت دراسة عينات SRالخالية من المالئ وكذلك عينات المتراكبات بحجم 1ميكرون من خلال إجراء اختبار IP وفقًا للمواصفة IEC 60587،الرسم التخطيطي للإعداد التجربة في الشكل 1.
- يتم استخدام طريقة الجهد الثابت لتتبع الجهد و يتم الحفاظ على الجهد عند 2.5كيلو فولت تيار متردد .
- يتم تحديد هذا الجهد للاختبار منذ تشغيل المجال الكهربائي عند سطح العينة و هذا الجهد أقرب إلى ذلك الموجود في الظروف البيئية.
- الاختبار أجري لمدة 6ساعات .عندما يتم تطبيق الجهد الكهربائي عبر العينة ، يكون موصل يسمح له بالتدفق فوق العينة لمحاكاة البيئة الملوثة .
- تم تحضير المحلول الموصل بإضافة NH_4Cl وعامل ترطيب غير أيوني non-ionic wetting agent iso-octyl phenoxy polyethoxy ethanol الفينوكسي بولي إيثوكسي إيثانول إلى الماء المقطر وفقًا لمعيار الموصلية وتم تعديل المحلول إلى 2.5ملي سيمنز /سم .

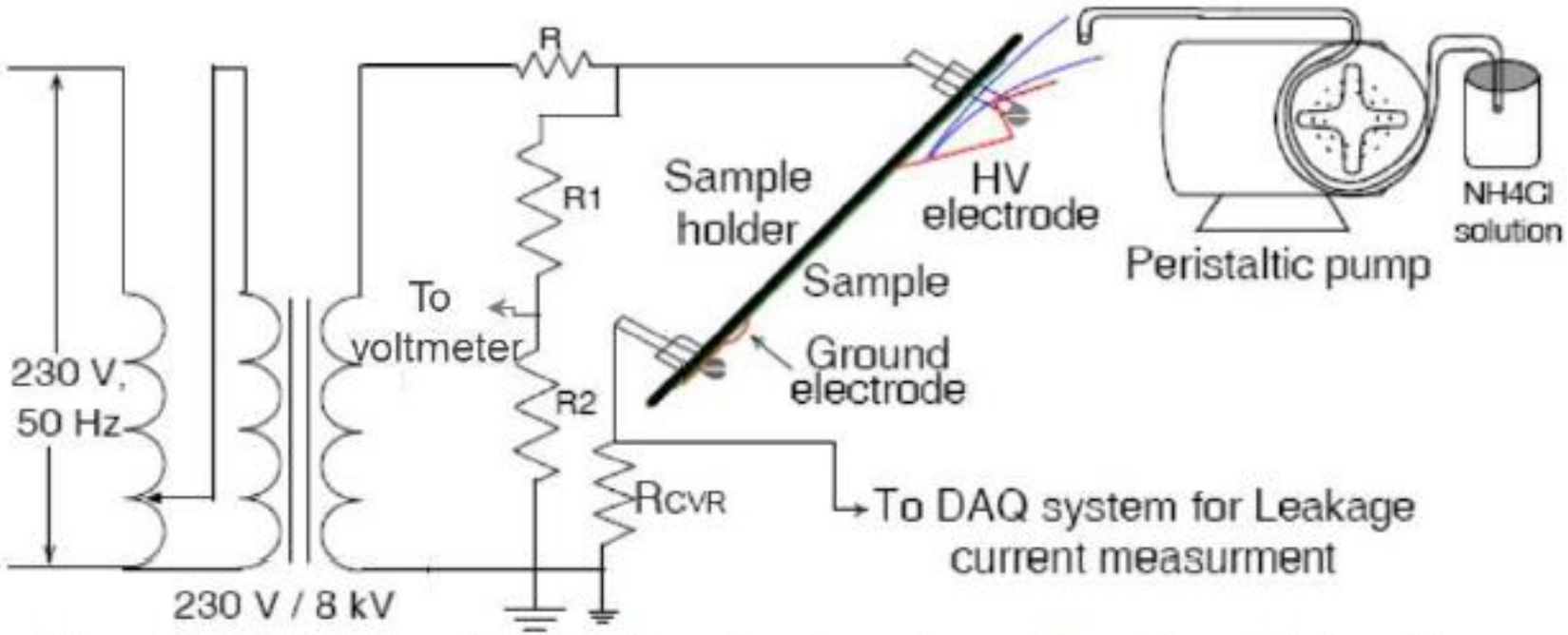


Fig. 1. Schematic of the test set up for the IP testing.

- معدل تدفق المحلول ثابت عند 0.15 ملي لتر /دقيقة بتعديل سرعة المضخة التموجية .
- المقاومات المتصلة على التوالي R1 (2MΩ) وR2 (2 k Ω) كمقسم جهد لقياس جهد الخرج ومقاوم عرض التيار RCVR (330 Ω) لقياس تيار التسرب .
- يتم اختبار 5 عينات من الغير مملوءة و المتراكبات الميكرو لمدة 6 ساعات .
- At least 5 samples each of the unfilled and micro composite samples are tested for 6 hours.

- بمجرد اكتمال الاختبار تقاس الكتلة المتآكلة بملء المنطقة المتآكلة بمعجون بلاستيك ذي كثافة معروفة و بالتالي معرفة الكتلة والكتلة المتآكلة المقابلة للمادة .

قياس التسرب

تم الحصول على تيار التسرب لمدة دقيقتين في بداية التجربة وعند كل فاصل زمني مدته ساعة حيث ينخفض الجهد عبر مقاومة 330أوم بمساعدة كمبيوتر قائم على نظام الحصول على البيانات ثماني القنوات (DAQ) تم استخدام برنامج LabVIEW والمحرك المرتبط به لنظام DAQودقة سعة نظام DAQ المستخدمة هى 0.5ميكرو أمبير .

تحليل المجهر الإلكتروني الماسح (SEM)

تم استخدام SEM لدراسات تشتت المالئ وتحليل المنطقة المتآكلة و للحصول على شكل الجسيمات

نتائج ومناقشة

تحليل SEM

- يعد تشتت المالئ المنتظم مهمًا لتحسين أداء المتراكبات وتم إعطاء صورة SEM التي توضح التشتت بنسبة 5wt% BN في الشكل 2 وهي مرضية .
- يتم أيضًا تحليل منطقة العينات غير المملوءة والمملوءة وأظهرت صور SEM في الشكل 3.
- ويتضح من الصورة أن التشققات المتكونة للعينة غير المملوءة تكون أكثر بروزًا من التشققات المملوءة وتتكون شقوق صغيرة جدًا في حالة العينات المملوءة بنسبة 5wt%.
- في هذه الحالة كانت المادة التي تمت إزالتها من العينة أقل وبالتالي يكون عمق التآكل قليل أيضًا .

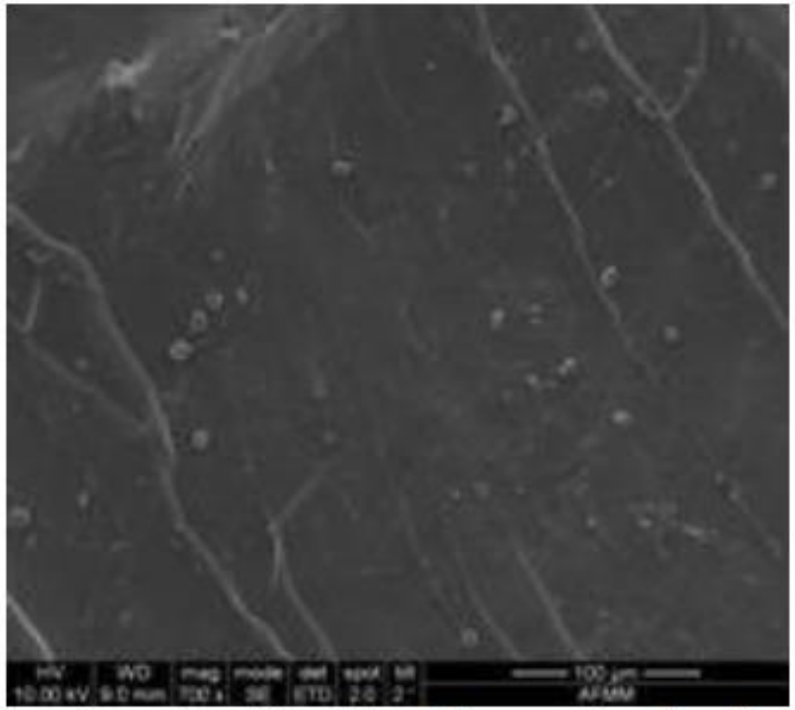
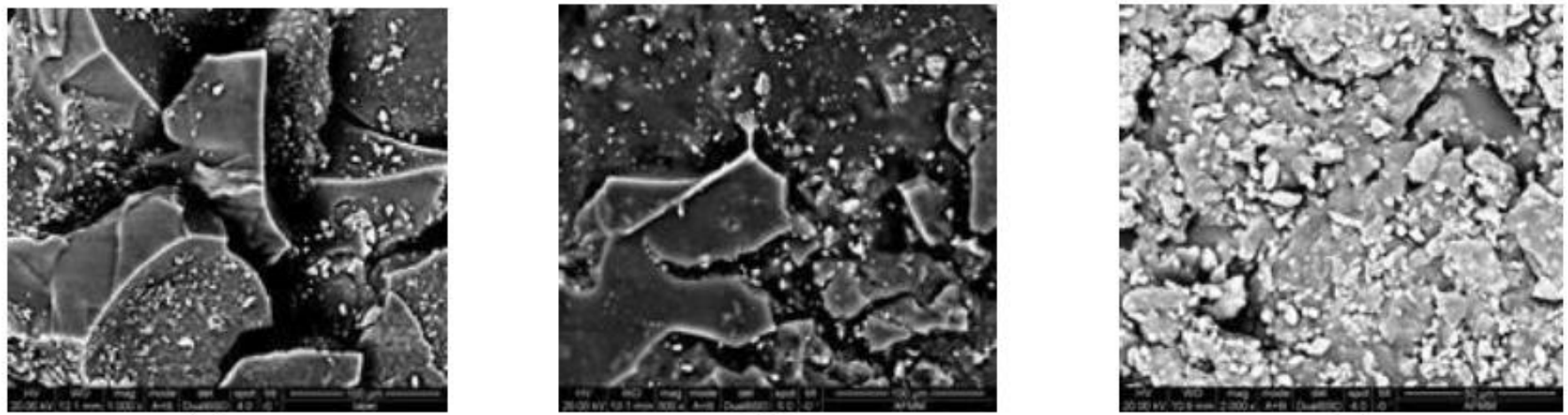


Fig. 2. SEM picture showing the filler dispersion for 5wt% BN filled sample



(a) (b) (c)

Fig. 3. SEM picture showing the eroded region of (a) unfilled (b) 2wt% BN filled and (c) 5wt% BN filled samples.

(a) (b) (c)

Fig. 4. Photographs of (a) unfilled (b) 2wt% BN filled and (c) 5wt% BN filled samples after 6 hours of IP testing.

الكتلة المتآكلة

- في البداية شوهد وميض على طول مسار تدفق المحلول الموصل من أعلى القطب الكهربائي إلى القطب المؤرض.
- .بعد بضع دقائق، بسبب التسخين الناتج عن الوميض، تبخر الماء قبل وصوله إلى القطب الكهربي وتشكل الشريط الجاف من القطب المؤرض.
- بعد ذلك ، يُرى القوس الكهربي متجذرًا بالقرب من القطب الكهربائي و يبدأ التآكل في البدء في هذه المنطقة.
- ظهرت الومضات بمجرد تحميل الجهد على العينات غير المملوءة بينما يستغرق بضع دقائق للعينات المملوءة.
- تأخر ظهور الوميض، بدأ التآكل بعد 3 أو 4 ساعات للعينات المملوءة، بالنسبة للعينات غير المملوءة ، بدأ التآكل بعد ساعة واحدة.
- من الشكل يتضح أن الأماكن التي حدث فيها التأكل هي أقل بكثير للعينات المملوءة .طول المنطقة المتآكلة والعمق الذي يصل إليه حدوث تآكل أعلى بكثير في حالة العينة غير المملوءة. .
- طول وعرض التأكل للمنطقة المتآكلة والكتلة المتآكلة في جدول 1 . والتخفيض في الكتلة المتآكلة من العينة المملوءة إلى 5wt% مقارنة بالعينة غير المملوءة موضح في الشكل 5.

Table. I. The details of the length of the eroded region, width of erosion and eroded mass for the unfilled and the filled samples.

	Unfilled SR	SR filled with 2 wt% BN	SR filled with 5wt% BN
Length of erosion between electrodes (mm)	26	14	11
Width of erosion (mm)	14	7	8
Eroded mass (mg)	465	120	37

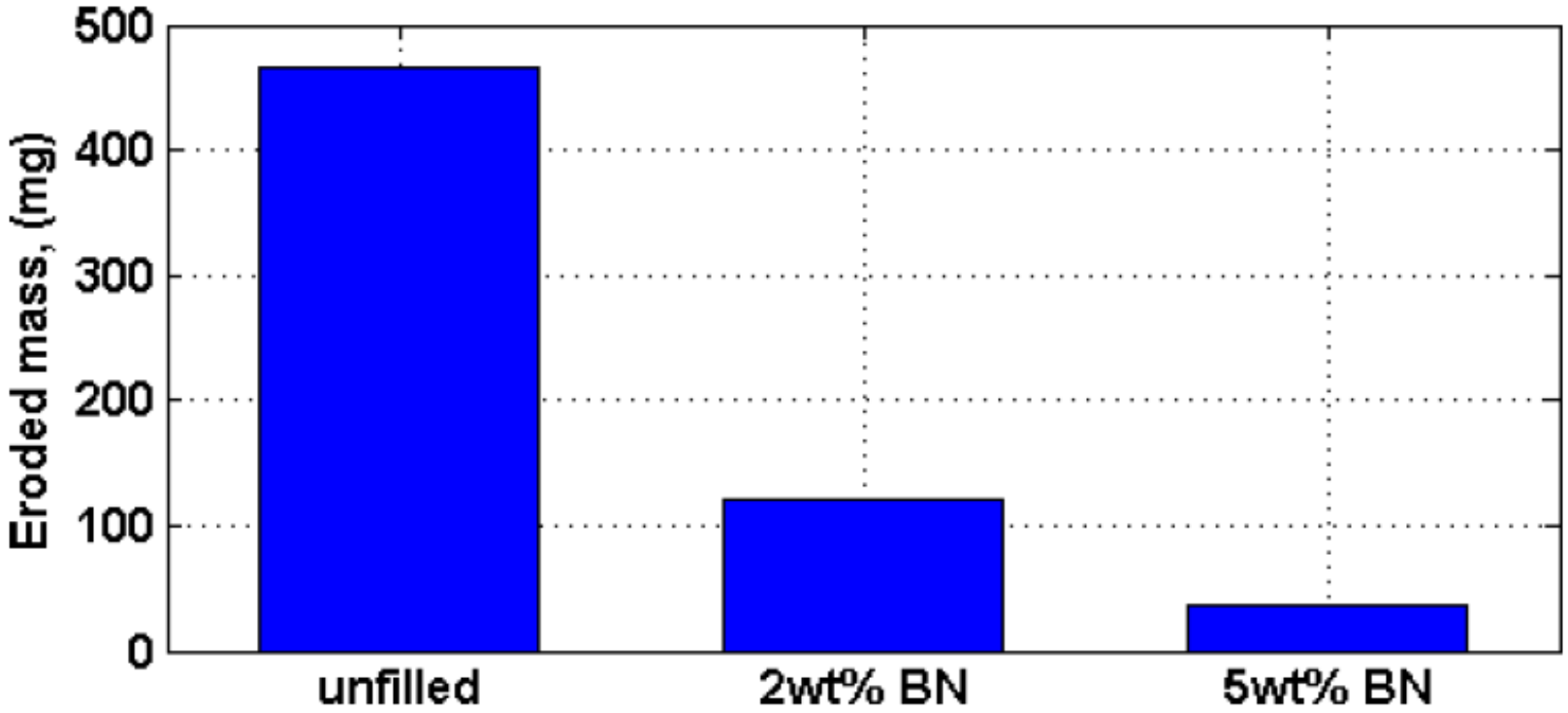


Fig. 5. Eroded mass after 6 hours of IP test for unfilled, 2wt% BN filled and 5wt% BN filled samples.

دراسات تيار التسرب

- ✓ تم رصد تيار التسرب من خلال العينة أثناء اختبار IP في البداية وفي كل ساعة لاحقة باستخدام نظام DAQ .
- ✓ الجذر التربيعي لمتوسط القيم لتيار التسرب تم حسابه من شكل موجة التيار الذي تم الحصول عليه.
- ✓ كان تيار التسرب أقل في العينات المملوءة بالمقارنة مع العينات الغير مملوءة .
- ✓ عندما يبدأ التآكل ، زاد التيار إلى قيمة أكبر ومع تقدم التأكل ظلت ثابتة إلى حد ما.
- ✓ قيمة الجذر التربيعي لمتوسط القيم لتيار التسرب لمدة دقيقة واحدة في كل ساعة من اختبار IPيظهر في الشكل 6.

وأشكال الموجات لتيار التسرب في الساعة الثانية للموجة والخامسة للموجة بعد بداية الاختبار لعينة مملوءة بنسبة (wt.)5٪ بالوزن يظهر في الشكل7.

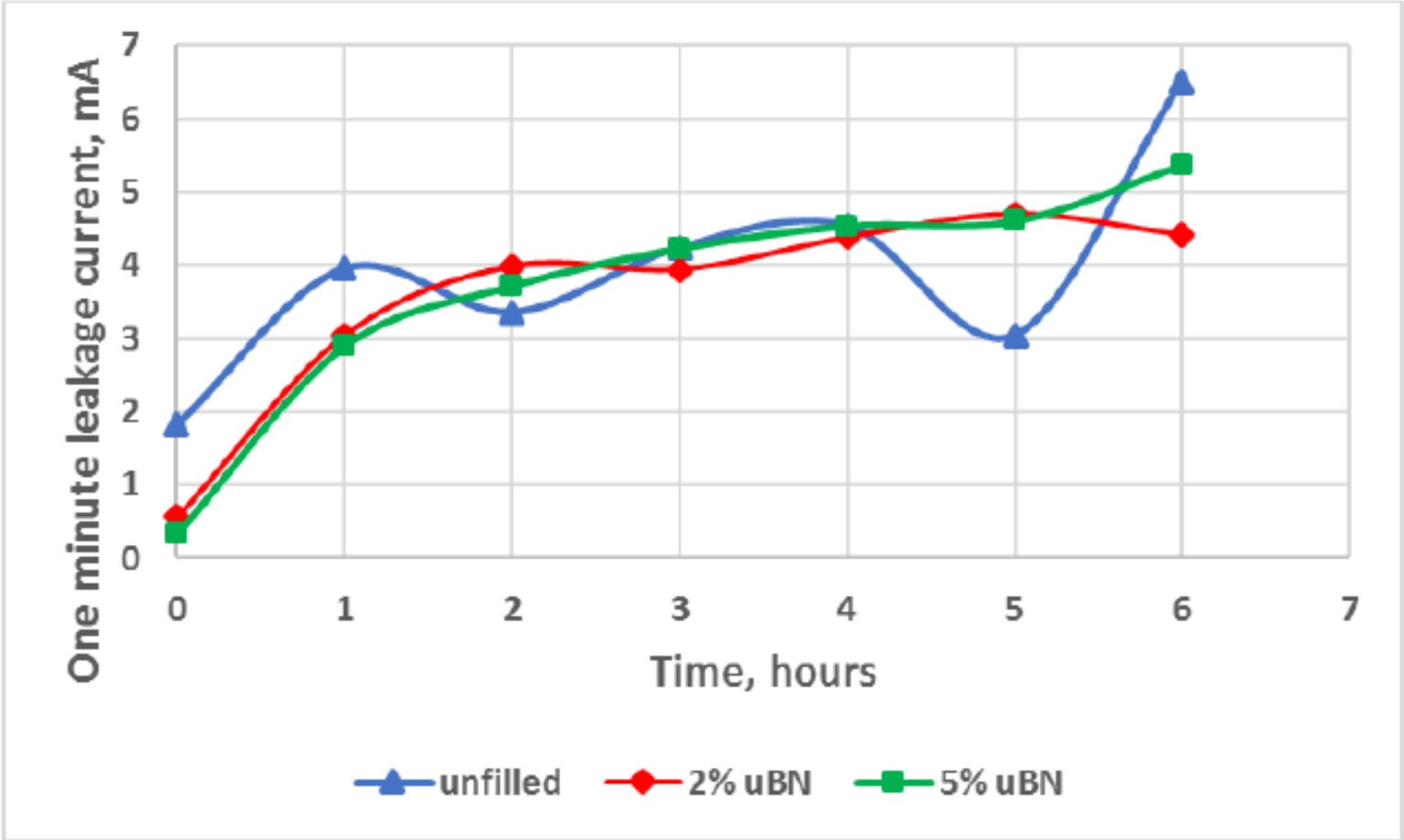
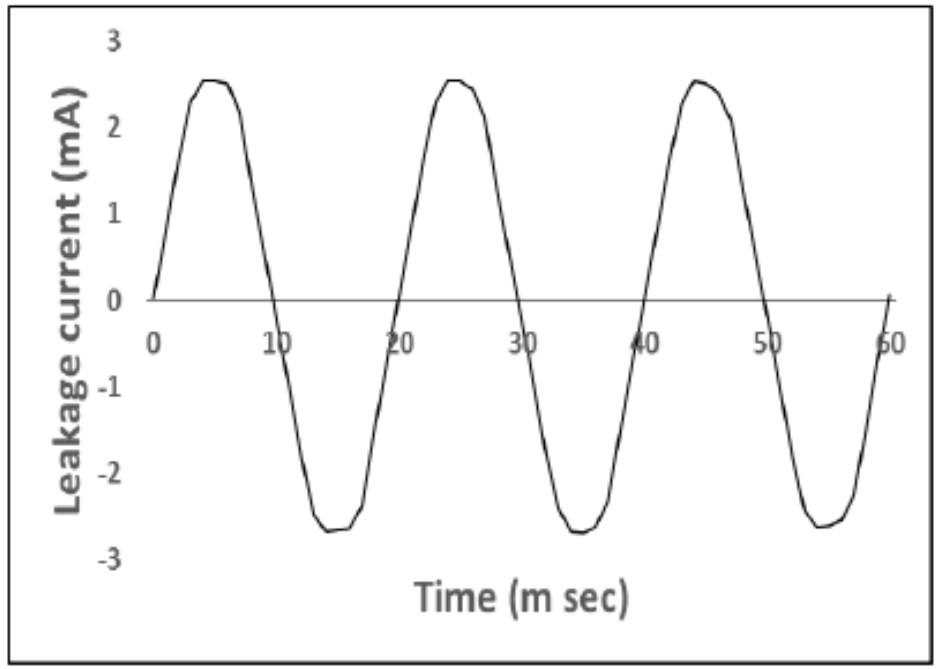
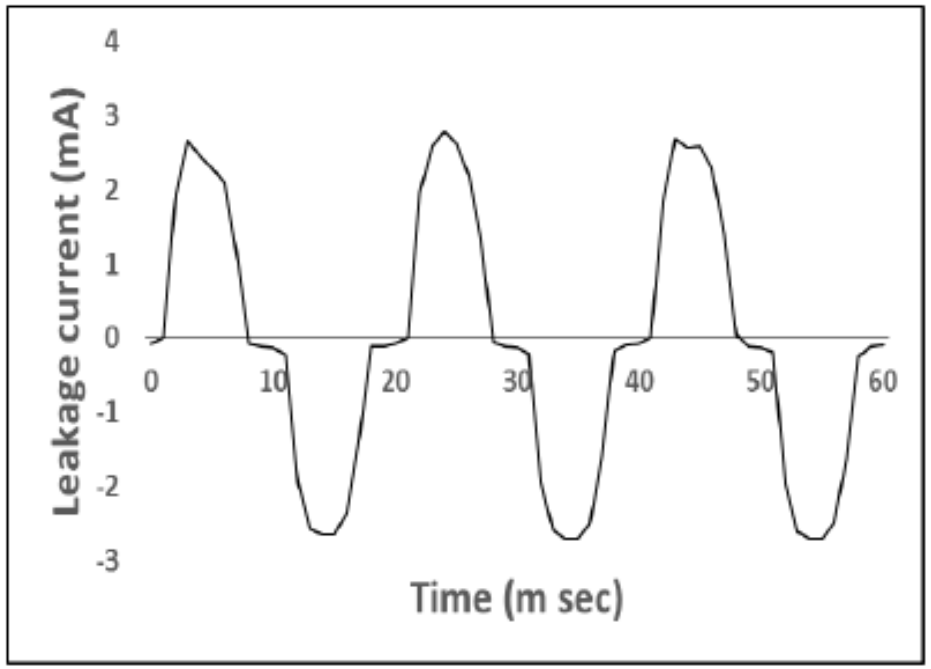


Fig. 6. One-minute r.m.s leakage current measured at one-hour interval during the IP test for unfilled, 2 wt% BN filled and 5 wt% BN filled SR samples.



(a)



(b)

Fig. 7. Waveforms of leakage current during IP test of 5wt% BN filled sample (a) at 2 hours (b) at 5 hours.

الخلاصة

من الدراسة أعلاه يتضح أن أداء متراكب السيليكون المطاطي تآكل بنسبة صغيرة عندما حمل بنترات البورون بحجم ميكرون .

أفضل بكثير بالمقارنة مع السيليكون المطاطي غير المحمل.

التحسن الملحوظ يكون أفضل للمتراكبات التقليدية المملوءة ATHوالمتراكبات النانوية المذكورة في المرجع [10] .

تعتبر معالجة المركب الصغير أسهل من المتراكبات النانوية و تحميل المالئ المطلوب منخفض جدًا .

يعتبر تحضير المتراكبات المايكرومترية اسهل بكثير من المتراكبات النانومترية وخاصة المحملة بمالئ بكمية قليلة جداً .

ولن يؤثر على الخواص الكهربائية والميكانيكية الاخرى بشكل كبير .ومن ثم فهو الاختيار الافضل للمواد المتراكبة الجديدة للعازلات الخارجية .