



جامعة الموصل
كلية الهندسة

دراسة تأثير العمر على التغير الحاصل في أداء عوازل قابليات الضغط
العالي (132 كيلوفولت) نوع البولي أثيلين المتقاطع الأواصر

رسالة تقدم بها

هشام محمد محمود عباس الخفاجي

إلى

مجلس كلية الهندسة في جامعة الموصل

وهي جزء من متطلبات نيل شهادة الماجستير

علوم في الهندسة الكهربائية / قدرة

بإشراف

الأستاذ الدكتور

فاروق خليل عموري

دراسة تأثير العمر على التغير الحاصل في أداء عوازل قابلووات الضغط
العالي (132 كيلوفولت) نوع البولي أثيلين المتقاطع الأواصر

رسالة تقدم بها

هشام محمد محمود عباس الخفاجي

إلى

مجلس كلية الهندسة في جامعة الموصل

وهي جزء من متطلبات نيل شهادة الماجستير

علوم في الهندسة الكهربائية / قدرة

بإشراف

الأستاذ الدكتور

فاروق خليل عموري

الفرع		القسم		رقم الاستمارة	
الجهة المستفيدة		هندسة الكهرباء		الكلية	
قدرة ومكان		تاريخ تسجيل الرسالة		الموصل	
الجهة المستفيدة		تاريخ تسجيل الرسالة		عنوان الرسالة	
التطبيق فقط		2013/11/13		دراسة تأثير العمر على التغير الحاصل في اداء عوازل قابلات الضغط العالي (132 كيلو فولت) نوع البولي إثيلين المتقاطع الأواصر .	
قناة القبول		جهة الانتساب		الجنس	
العامه		غير موظف		العمر	
جهة الانتساب		2012/10/14		27سنة	
كلية الهندسة		الجنس		الدرجة العلمية	
جامعة الموصل / كلية الهندسة		ذكر		استاذ	
اسم المشرف		العمر		اسم الطالب	
د.فاروق خليل عموري		70 سنة		هشام محمد محمود عباس	
الجهة المانحة للشهادة : جامعة بوادفورد / انكلترا					
تاريخ الحصول على الشهادة : 1984/9/1					
تاريخ آخر ترقية علمية : 2003/9/29					
الاختصاص الدقيق		الاختصاص العام		الشهادة	
قدرة		قدرة ومكان		ماجستير	
				/	
الكلمات المفتاحية : العوازل الصلدة - قابلات نوات عوازل (XLPE) - عوازل البولي ايثيلين المتقاطع الأواصر					

المستخلص بلغة الرسالة

إن عوازل قابلات الضغط العالي نوع البولي أنيلين المتقاطع الأواصر (XLPE) هي تركيبة كيميائية صناعية مكونة من مادة البولي أنيلين . وبالنظر لاستعمال هذا العازل في قابلات (132Kv) المستعملة في شبكات الضغط العالي في العراق ؛ فقد تولدت الحاجة لمعرفة خصائص عازل البولي أنيلين المتقاطع الأواصر بعد استعماله عدة سنوات ومقارنة خصائصه مع خصائص العازل الحديث الصنع . ومن أهم الخصائص بيان كيفية التغير في مقاومة العازل ، التي تتغير حسب درجات الحرارة والإجهاد الكهربائي ، لذلك إن حساب معامل التوصيل الحراري ومعامل الإجهاد وكيفية تغيرهم هي من أهداف الدراسة الحالية .

لقد قيست المقاومة (ρ) باستعمال خلية فحص تم تصميمها طبقاً للمواصفات القياسية ، إذ تم قياس المقاومة عند درجات حرارة مختلفة وعند إجهادات مختلفة كما أوجد معامل التوصيل الحراري (α) ومعامل الإجهاد (β) للعوازل الحديثة والعوازل المستعملة ، إذ قلت المقاومة بنسبة (73.4%) وازداد معامل التوصيل الحراري بنسبة (74.39%) ، كما أزداد معامل الإجهاد بنسبة (67.49%) بعد استعمال العازل أكثر من عشرين سنة .

د. عمر موفق محمود اليوسف
معاون العميد للشؤون العلمية
والدراسات العليا

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

اللَّهُ نُورُ السَّمَاوَاتِ وَالْأَرْضِ مِثْلُ نُورِهِ كَمِشْكَاةٍ فِيهَا
مِصْبَاحٌ الْمِصْبَاحُ فِي زُجَاجَةٍ الزُّجَاجَةُ كَأَنَّهَا كَوْكَبٌ دُرِّيٌّ
يُوقَدُ مِنْ شَجَرَةٍ مُبَارَكَةٍ زَيْتُونَةٍ لَا شَرْقِيَّةٍ وَلَا غَرْبِيَّةٍ يَكَادُ
زَيْتُهَا يُضِيءُ وَلَوْ لَمْ تَمْسَسْهُ نَارٌ نُورٌ عَلَى نُورٍ يَهْدِي اللَّهُ
لِنُورِهِ مَنْ يَشَاءُ وَيَضْرِبُ اللَّهُ الْأَمْثَالَ
لِلنَّاسِ وَاللَّهُ بِكُلِّ شَيْءٍ عَلِيمٌ

صدق الله العظيم

إقرار لجنة المناقشة

نشهد نحن أعضاء لجنة التقويم والمناقشة الموقعون أدناه أننا قد اطلعنا على رسالة الطالب (هشام محمد محمود) الموسومة (دراسة تأثير العمر على التغير الحاصل في أداء عوازل قابليات الضغط العالي (132 كيلوفولت) نوع البولي أثيلين المتقاطع الأواصر) وناقشناه في محتوياتها وفيما له علاقة بها بتاريخ / / وقررنا أنها جديرة بنيل شهادة الماجستير علوم في تخصص الهندسة الكهربائية / قدرة ومكائن / قدرة.

التوقيع:

رئيس اللجنة: أ. م. د. نجم الدين عباس محسن

المرتبة العلمية : أستاذ مساعد

التاريخ: / /

التوقيع:

عضو اللجنة: أ. م. د. أحمد نصر بهجت السماك

المرتبة العلمية : أستاذ مساعد

التاريخ: / /

التوقيع:

عضو اللجنة : د. عمر موفق محمود

المرتبة العلمية : مدرس

التاريخ: / /

التوقيع:

عضو اللجنة (المشرف) : أ. د. فاروق خليل عموري

المرتبة العلمية : أستاذ

التاريخ: / /

إقرار مجلس الكلية

اجتمع مجلس كلية الهندسة بجلسته () المنعقدة في () وقرر ما يأتي :
يوصي المجلس بمنح شهادة ماجستير علوم في الهندسة الكهربائية / قدرة ومكائن / قدرة .

عميد الكلية

أ. د. بيار جعفر محمود السليفاني

مقرر مجلس الكلية

د. عمر موفق محمود

إقرار المشرف

أشهد أن إعداد هذه الرسالة جرى تحت إشرافي في جامعة الموصل ، وهي جزء من متطلبات نيل درجة الماجستير في الهندسة الكهربائية / قدرة ومكائن.

التوقيع :

المشرف : أ. د. فاروق خليل عموري

التاريخ : / /

إقرار المقوم اللغوي

أشهد أن هذه الرسالة الموسومة (دراسة تأثير العمر على التغير الحاصل في أداء عوازل قابلوات الضغط العالي (132 كيلوفولت) نوع البولي أنيلين المتقاطع الأواصر)

قومتها من الناحية اللغوية وصحت ما ورد فيها من أخطاء لغوية وتعبيرية وبذلك أصبحت مؤهلة للمناقشة بقدر تعلق الأمر بسلامة الأسلوب وصحة التعبير.

التوقيع :

المقوم اللغوي : د. علي كنعان بشير

التاريخ : / /

إقرار رئيس لجنة الدراسات العليا

بناءً على التوصيات المقدمة من المشرف والمقوم اللغوي أرشح هذه الرسالة للمناقشة.

التوقيع :

رئيس اللجنة : أ. م. د. يسار عزالدين محمد علي

التاريخ : / /

إقرار رئيس القسم

بناءً على التوصيات المقدمة من المشرف والمقوم اللغوي ورئيس لجنة الدراسات العليا أرشح هذه الرسالة للمناقشة.

التوقيع :

رئيس القسم : أ. م. د. قيدار مجيد قبع

التاريخ : / /

الإهداء

إلى رسول البشرية جمعاء ومعلم الإنسانية سيدنا محمد (صلى الله عليه وسلم).

إلى التي أوصانا بها الحبيب المصطفى (صلى الله عليه وسلم) والتي تحت قدميها جنتي ... إلى التي أجد فيها الدفاء والحنان و تدعو الله لي كثيرا وربتني صغيرا ... إلى قرّة عيني وقلبي ... إلى التي سهرت الليالي عليّ ودمعت من أجلي ...

والدتي الحبيبة

إلى قوتي ومصدر فخري في هذه الدنيا ...

والدي العزيز

إلى المرأة التي وقفت بجانبني وأعانتني على هذا النجاح ...

زوجتي العزيزة

إلى النفوس التي زرعت في نفسي الأمل ... والابتسامة التي ملأت أيامي بالثقة ... إلى الزهور التي ألقت حولي ...

إخوتي وأخواتي

إلى رموز الفضل وموائل العلم ...

أساتذتي

إلى مشرفي وأبي الثاني الأستاذ الدكتور فاروق خليل عموري ...

إلى كل من أحب ...

إليكم جميعا أهدي ما وفقني به ربي حبا واعتزازا.

هشام محمد

شكر وحمد فان

بسم الله الرحمن الرحيم (رب أوزعني أن أشكر نعمتك التي أنعمت عليّ وعلى والديّ وأن أعمل صالحاً ترضاه).
في البدء أشكر الله الذي أعطاني القوة والعون بنعمته الإلهية وأحمده حمداً كثيراً ملء
السموات والأرض وما بينهما، والصلاة والسلام على خير المرسلين سيدنا ونبينا محمد
(صلى الله عليه وسلم) خاتم النبيين وعلى آله وأصحابه أجمعين.

وأنا أنهي كتابة الأسطر الأخيرة من هذا البحث أسجد لله سبحانه وتعالى شاكراً
فضله إذ منحني العزم والقوة والإيمان على إنجاز هذا العمل المتواضع. وأتقدم بفائق شكري
وامتثاني إلى من كان مثلاً يحتذى به في الصبر عند المشقة، شجرة الإخلاص الزاخرة بالعلم
أستاذي القدير الأستاذ الدكتور (فالح ربيع خليل حمود)، لما أسداه لي من نصح وإرشادات
قيمة أسهمت في تذليل الصعاب ، وإخراج البحث بشكله الحالي. كما أقدم شكري إلى
الأستاذ الدكتور (مأمون فاضل الكبابجي) ، الدكتور (عبد الغني عبدالرزاق)
والدكتور (أحمد نصر بهجت السماك) لتعاونهم معي في مجال البحث ، فجزأهم الله عني خير
الجزاء وجعل ذلك في ميزان حسناتهم.

كما أشكر عمادة كلية الهندسة ومنتسبي قسم الهندسة الكهربائية كافة ، وأخص
منهم بالذكر رئيس القسم الدكتور (قيدار مجيد قبع) ورئيس لجنة الدراسات العليا
الدكتور (يسار عزالدين محمد علي) ، لتقديمهم التسهيلات اللازمة في إنجاز البحث ، وإلى
زملائي طلاب الدراسات العليا كافة . وأرى من الوفاء أن أتقدم بوافر من الشكر الكبير إلى
أعظم نعمة منها الله عليّ إلى أعز وأعلى الناس...إلى شمعة حياتي...إلى من أنارا بدعائهما
طريقي في الحياة...إلى من أخذوا بيدي لأجد لي مكاناً في هذه الحياة.. (ألمني)
(اللهم) ..حباً ووفاءً ..(والله أعلم) ..إجلالاً واحتراماً . ومن الوفاء وجميل العرفان أن

أقدم بالشكر إلى منتسبي محطة نقل الجهد العالي (400KV) الواقعة غرب مدينة الموصل
والمهندسين في الشركة العامة لنقل الطاقة الكهربائية في المنطقة الشمالية , وأخص منهم
بالذكر المهندس محمد خضر لتعاونه معي طوال مدة البحث فجزاه الله خير الجزاء وجعل
ذلك في ميزان حسناته .

ومن الله نستمد العون والتوفيق



الخلاصة

إن عوازل قابلووات الضغط العالي نوع البولي أثيلين المتقاطع الأواصر (XLPE) هي تركيبة كيميائية صناعية مكونة من مادة البولي أثيلين . وبالنظر لاستعمال هذا العازل في قابلووات (132Kv) المستعملة في شبكات الضغط العالي في العراق ؛ فقد تولدت الحاجة لمعرفة خصائص عازل البولي أثيلين المتقاطع الأواصر بعد استعماله عدة سنوات ومقارنة خصائصه مع خصائص العازل الحديث الصنع . ومن أهم الخصائص بيان كيفية التغير في مقاومة العازل ، التي تتغير حسب درجات الحرارة والإجهاد الكهربائي ، لذلك إن حساب معامل التوصيل الحراري ومعامل الإجهاد وكيفية تغيرهم هي من أهداف الدراسة الحالية .

لقد قيست المقاومة (ρ) باستعمال خلية فحص تم تصميمها طبقاً للمواصفات القياسية ، إذ تم قياس المقاومة عند درجات حرارة مختلفة وعند إجهادات مختلفة كما أوجد معامل التوصيل الحراري (α) ومعامل الإجهاد (β) للعوازل الحديثة والعوازل المستعملة ، إذ قلت المقاومة بنسبة (73.4%) وأزداد معامل التوصيل الحراري بنسبة (74.39%) ، كما أزداد معامل الإجهاد بنسبة (67.49%) بعد استعمال العازل أكثر من عشرين سنة .

المحتويات

الصفحة	العنوان	
	عنوان الرسالة باللغة العربية	
	قرار لجنة المناقشة	
	إقرار المشرف	
	الإهداء	
	شكر و عرفان	
	الخلاصة	
I	المحتويات	
II	ثبت الأشكال	
III	ثبت الجداول	
VI	ثبت الرموز	
VI	ثبت المصطلحات	
V	ثبت المختصرات	
1~8	الفصل الأول نظرة عامة	الترقيم
1	المقدمة	1-1
2	مراجعة للدراسات السابقة ذات العلاقة	1-2
6	الهدف من الدراسة الحالية	1-3
7	ترتيب الرسالة	1-4
9~22	الفصل الثاني قابليات الضغط العالي ذوات العوازل الصلدة	الترقيم
9	المقدمة	2-1
11	معايير اختيار قابليات النقل الأرضية	2-2
12	تركيب قابليات الضغط العالي	2-3
13	طرائق مد القابليات تحت الأرض	2-4
13	أنواع قابليات الضغط العالي	2-5
13	تصنيف القابليات بموجب أعداد الألباب	2-5-1
15	تصنيف القابليات بموجب مستوى الجهد	2-5-2
15	تصنيف القابليات بموجب طرائق استعمالها	2-5-3
16	تصنيف القابليات بموجب المادة العازلة للقابلو	2-5-4
19	قابليات الضغط العالي والفائق المعزولة بعازل (XLPE)	2-6
23~38	الفصل الثالث العمل المختبري	الترقيم
23	تحضير العينات	3-1
25	طلاء العينات	3-2
26	الغرض من طلاء العينات	3-3
28	خلية الفحص	3-4
32	الأجهزة المختبرية التي استعملت	3-5
37	منهجية القياس	3-6

الترقيم	الفصل الرابع النتائج العملية	39~55
4-1	التيار التوصيلي	39
4-2	المقاومية بعد مرور ساعتين	47
4-3	تأثير الإجهاد الكهربائي ودرجة الحرارة في مقاومة العازل	49
4-4	تأثير العمر في خصائص (المقاومية - درجة الحرارة)	50
4-5	تأثير العمر في خصائص (المقاومية - الإجهاد الكهربائي)	53
الترقيم	الفصل الخامس الاستنتاجات والأعمال المستقبلية	56~58
5-1	الاستنتاجات	56
5-2	الأعمال المستقبلية	58
	المصادر	59~61
	الملحق A .	62
	الملحق B .	63
	الخلاصة باللغة الإنكليزية	

ثبت الأشكال

الرقم	عنوان الشكل	الصفحة
2-1	أبراج الضغط العالي	10
2-2	نموذج لقابلو أحادي اللب	10
2-3	نموذج لقابلو ثلاثي اللب مدرع	14
2-4	التركيب الكيميائي لعازل البولي فينيل كلورايد (PVC)	18
2-5	قابلو معزول بمادة البولي أثيلين المتقاطع الأواصر	19
3-1	نموذج غير مستعمل من قابلات البولي أثيلين المتقاطع الأواصر	24
3-2	نموذج مستعمل من قابلات البولي أثيلين المتقاطع الأواصر	24
3-3	جهاز التبخير الفراغي	25
3-4	معجون الفضة	25
3-5	الكرافيت الصمغي	26
3-6	خلية الفحص	28
3-7	تركيب خلية الفحص	31
3-8	جهاز البيكو أميتر (MODEL 6485)	32
3-9	مجهز الفولتية العالية	33
3-10	جهاز تفريغ الهواء	34
3-11	المتحسس الحراري	34
3-12	المسيطر الحراري الإلكتروني	35
3-13	المحولة المتغيرة (المحول الذاتي)	36
3-14	آلة قياس سمك العينة	36

37	الدائرة الكهربائية المستعملة	3-15
38	الدائرة العملية	3-16
45	خصائص (التيار التوصيلي – الزمن) لعينات مستعملة وغير مستعملة من عوازل البولي أثيلين المتقاطع الأواصر	4-1
45	خصائص (التيار التوصيلي – الزمن) لعينات مستعملة وغير مستعملة من عوازل البولي أثيلين المتقاطع الأواصر	4-2
46	خصائص (التيار التوصيلي – الزمن) لعينات مستعملة وغير مستعملة من عوازل البولي أثيلين المتقاطع الأواصر	4-3
46	خصائص (التيار التوصيلي – الزمن) لعينات مستعملة وغير مستعملة من عوازل البولي أثيلين المتقاطع الأواصر	4-4
51	خصائص (المقاومة – درجة الحرارة) لعينات مستعملة وغير مستعملة من عوازل البولي أثيلين المتقاطع الأواصر	4-5
53	خصائص (المقاومة – الإجهاد) لعينات مستعملة وغير مستعملة من عوازل البولي أثيلين المتقاطع الأواصر	4-6

ثبت الجداول

الصفحة	عنوان الجدول	الرقم
41	قيم التيار التوصيلي لعينات مستعملة وغير مستعملة من عوازل البولي أثيلين المتقاطع الأواصر (XLPE) عند ثبوت المجال الكهربائي المسلط عند (10Kv/mm)	4-1
42	قيم التيار التوصيلي لعينات مستعملة وغير مستعملة من عوازل البولي أثيلين المتقاطع الأواصر (XLPE) عند ثبوت المجال الكهربائي المسلط عند (15Kv/mm)	4-2
43	قيم التيار التوصيلي لعينات مستعملة وغير مستعملة من عوازل البولي أثيلين المتقاطع الأواصر (XLPE) عند ثبوت المجال الكهربائي المسلط عند (20Kv/mm)	4-3
44	قيم التيار التوصيلي لعينات مستعملة وغير مستعملة من عوازل البولي أثيلين المتقاطع الأواصر (XLPE) عند ثبوت المجال الكهربائي المسلط عند (25Kv/mm).	4-4
49	قيم المقاومة لعينات مستعملة وغير مستعملة من عوازل (XLPE)	4-5

52	قيم معامل التوصيل الحراري لعينات غير مستعملة من عوازل البولي أثيلين المتقاطع الأواصر	4-6
52	قيم معامل التوصيل الحراري لعينات مستعملة من عوازل البولي أثيلين المتقاطع الأواصر	4-7
54	قيم معامل الإجهاد لعينات غير مستعملة من عوازل البولي أثيلين المتقاطع الأواصر	4-8
55	قيم معامل الإجهاد لعينات مستعملة من عوازل البولي أثيلين المتقاطع الأواصر	4-9

ثبت الرموز

الرمز	تعريفه	وحدته
ρ	المقاومية (Resistivity) .	($\Omega.cm$)
α	معامل التوصيل الحراري .	($1/^\circ C$)
β	معامل الإجهاد.	(mm/Kv)
ρ_o	المقاومية (عند درجة حرارة مرجعية) (reference) .	($\Omega.cm$)
T	درجة الحرارة (Temperature) .	($^\circ C$)
E	الإجهاد (stress) .	(Kv/mm)
ϵ_r	السماحية النسبية .	
Å	أنجستروم أو أنغستروم (angstrom) .	تساوي 0.0001 مايكرو متر
Ic	التيار التوصيلي أو التسريبي .	أمبير

ثبت المصطلحات حسب ورودها في الفصول

المصطلح بالإنكليزية	المصطلح بالعربية
High Voltage Cable	قابلات الضغط العالي
Evaporated gold	الذهب المبخر
Coating Under vacuum	الطلاء في الفراغ
Mineral filled	تراكيب معدنية
Space charge	الشحنات الفراغية
Sigmoid function	الدالة الأسية
Activation function	دالة تنشيط

Test cell	خلية الفحص
Pico ammeter	جهاز قياس التيار التوصيلي
Auto transformer	المحولة المتغيرة (المحول الذاتي)
Test methodology	منهجية القياس (الفحص)
High Voltage Cables of Solid Insulators	قابلوات الضغط العالي ذات العوازل الصلدة
Overhead Transmission Lines	خطوط النقل الهوائية
Proximity effect	ظاهرة التجاور
Bedding	مواد مالئة
Metallic Sheath	غلاف معدني
Conduction Current	التيار التوصيلي
Drop percentage	نسبة الهبوط
Steady state	حالة الاستقرار
Single Core Cable	القابلو الأحادي اللب
Multi-Core Cable	القابلو المتعدد الألباب
Medium Voltage Cable	قابلوات الجهد المتوسط
Low Voltage Cable	قابلوات الجهد الواطئ
Submarin Cable	القابلوات البحرية
Polymer Insulation Cables	القابلوات ذوات العوازل البوليمرية
Cross-linked polyethylene	البولي أثيلين المتقاطع الأواصر
High Conductivity	توصيلية عالية
Thermoplastic Cables	القابلوات التيرمو بلاستيكية
Zero Potential	الجهد الصفري
Evaporated aluminum	الألمنيوم المبخر
Solid state	الحالة الصلبة
Colloidal graphite	الكرافيت الصمغي
Moisture	الرطوبة
Vacuum valve	صمام تفريغ
Guard Ring	حلقة الحماية
Heat dissipation	تشتيت الحرارة
Stress coefficient	معامل الإجهاد

ثبت المختصرات

المختصر	المعنى
XLPE	البولي أثيلين المتقاطع الأواصر
PE	البولي أثيلين
LDPE	البولي أثيلين ذو الكثافة الواطئة
ANN	الشبكات العصبية الاصطناعية
H.V.C	قابلوات الجهد العالي
L.V.C	قابلوات الجهد الواطئ
PVC	البولي فنيل كلورايد
P.T.F.E	متعدد رباعي فلورو الأثيلين

الفصل الأول

الفصل الأول

نظرة عامة

1-1 المقدمة:-

تعد قابلات نقل القدرة تحت الأرض (Underground Cables) من التراكيب الحيوية والأساسية وبخاصة في الحياة العصرية لما لاقتنه من تطور وتوسع كبيرين , وبخاصة عند مقارنتها مع خطوط نقل القدرة الهوائية (Overhead Transmission Lines) ، إذ تقدم استعمال القابلات وتطور بصورة كبيرة ، ومن العوامل الأساسية والرئيسية التي تؤثر في أداء قابلات نقل القدرة تحت الأرض الفولتية و التيار، فإن زيادة الفولتية يرافقتها زيادة بالإجهاد الذي يتعرض له العازل , وبالتالي يجب التفكير في زيادة سمك العازل للحصول على الوثوقية العالية من القابلات المستعمل . إن هذه الزيادة ستؤدي إلى مشكلات اقتصادية عالية ناتجة من الكلفة العالية لعازل البولي أثيلين المتقاطع الأواصر وكذلك الزيادة القطرية الكلية للقابلات وحدوث حالة الانحباس الحراري . [1]

وتعد قابلات نقل القدرة ذوات العازل (XLPE) من أهم القابلات التي استعملت بمجال واسع لنقل القدرة ، إذ إن هذه القابلات أثبتت وثوقيتها وجودتها ومدى تحملها للإجهادات ودرجات الحرارة العاليتين ولايزال الاهتمام بها واسعاً في مختلف أنحاء العالم . [2]

ورغم الخصائص الجيدة لعازل البولي أثيلين (PE) فإن استعماله قد حدد بشكل كبير نتيجة انخفاض درجة حرارة العمل القصوى التي قد تصل إلى (70°C) وهي قليلة نسبياً , وكذلك ظهور حالة الليونة في العازل نتيجة الحرارة المتولدة في القابلات أثناء العمل ، لذا طور عازل البولي أثيلين بإضافة تراكيب تعمل على تقاطع بين الأواصر (Cross Link process) وبذلك سمي العازل الجديد بالبولي أثيلين المتقاطع الأواصر ، وأثبتت التجارب أن هذا العازل له القدرة على تحمل درجات حرارة عالية تصل إلى (90 °C) وكذلك اختفاء ظاهرة الليونة في القابلات . [4,3]

ان استعمال البولي أثيلين المتقاطع الأواصر في عوازل قابلوات توزيع القدرة الكهربائية ازداد بشكل كبير في العقود الأخيرة , وبسبب الخصائص الكهربائية والميزات الجيدة غدت مادة (XLPE) المفضلة كنظام عزل للقابلوات , وهذا التفضيل يرجع بالأساس إلى أسباب منها الثقة العالية , وفقد العازل المنخفض.

إن الميزات المذكورة هي للخصائص الكهربائية لعازل البولي أثيلين المتقاطع الأواصر , أما المحددات الحرارية فيجب أن لا ترتفع درجة حرارة القابلو أكثر من $(90^{\circ}C)$ وفي الحالات الطارئة $(105^{\circ}C)$.

وتعد الحرارة المتولدة في قابلوات الضغط العالي أحد أهم العوامل التي تؤثر في عمر القابلو , لأن هذه الحرارة تتأثر أساساً بالتيار الكهربائي المار من الموصل , وهذا التيار متغير بحسب الحمل . [5]

2-1 مراجعة للدراسات السابقة ذات العلاقة:-

قدمت العديد من الدراسات السابقة والأبحاث التي اهتمت بقابلوات الضغط العالي (High Voltage Cable) ذات الموصلات المعزولة بالبولي أثيلين المتقاطع الأواصر , ونظرا للمزايا الجيدة لهذا النوع من العازل في القابلوات استمرت الدراسات لتطوير أداء القابلو , ومن المسائل المهمة التي شغلت الباحثين تأثير العمر في عوازل البولي أثيلين المتقاطع الأواصر , وهناك العديد من الباحثين عملوا في هذا المجال , وفيما يأتي استعراض لتلك الأعمال في هذا المجال.

- في سنة (1974) أجرى الباحثون (K. Soga & O. Taguchi & Others) فحوصات على قابلو معزول بالبولي أثيلين المتقاطع الأواصر , وكانت الغاية من البحث الحصول على البيانات التقنية الضرورية لتقرير عملية استعمال عازل (XLPE) في العزل لقابلوات نقل القدرة . وقد استعملت عينتان من القابلوات مع سمك مختلف للعازل , وقيست العينتان قبل وبعد الاختبار لتقرير تأثير التيار والفولتية المطبقتين , و كانت المحصلة في نهاية البحث أنه لم يحدث تدهور في خصائص العزل , ولوحظ أيضا أن نتائج الاختبار أشارت أن طريقة التسخين بالأشعة تحت الحمراء أفضل من الطريقة التقليدية , وقد نوقش البحث من قبل ذوي الاختصاص الذين بينوا أن القابلو جاهز لكي يوضع في الخدمة . [6]

- وفي سنة (1987) درس الباحثان (Harasawa and soma) تأثير العمر في عوازل من قابلوات البولي أثيلين المتقاطع الأواصر , واستنتجا أنه من الممكن معرفة الأضرار التي تحدث في عوازل قابلوات البولي أثيلين المتقاطع الأواصر عن طريق قياس التيار التسريبي المار في عيّنات مستعملة وغير مستعملة من هذه العوازل , وكذلك حسب المقاومة لهذه العوازل المستعملة وغير المستعملة , واستنتجا أن حساب المقاومة للعوازل المستعملة وغير المستعملة أفضل طريقة تشخيصية لملاحظة الفرق ومعرفة تأثير العمر في هذه العوازل . [1]

- وفي سنة (1987) قاس الباحثان (F.H. and shibata) التيار التوصيلي لعوازل البولي أثيلين المتقاطع الأواصر , واستنتجا أن أفضل طريقة لمعرفة التدهور والنقصان في قابلية التحمل لهذه العوازل نتيجة الخدمة تحت ظروف العمل هي قياس التيار التوصيلي المار في هذه العوازل وملاحظة الفرق . [36]

- وفي سنة (1987) أجرى الباحثان (Matsuura and Kajiki) دراسة تتضمن التحقق من التدهور في الخصائص الكهربائية والفيزيائية لعوازل (XLPE) , إذ رفعا نماذج من قابلوات البولي أثيلين المتقاطع الأواصر من الخدمة وأجريا قياساتهما عليها . [23]

- وفي سنة (1996) درس أحمد طاهر مجيد المميزات لعازل البولي أثيلين المتقاطع الأواصر تحت العمل في قابلوات القدرة (132Kv) , واستنتج أن الخواص الأساسية للعوازل الكهربائية تتغير نتيجة الخدمة تحت ظروف العمل , إذ فحصت نماذج عدة بعد خدمة مستمرة لأكثر من عشر سنوات , وسُجل تغيير التوصيلية الحرارية نتيجة تأثير العمر . وكذلك دُرست البنية البلورية لنماذج مستعملة من البولي أثيلين المتقاطع الأواصر , إذ أظهرت الصور الفوتوغرافية حدوث زيادة في التركيبة البلورية للعازل . [7]

- وفي سنة (1996) كذلك دُرست قابلوات الضغط العالي والمعزولة بالبولي أثيلين المتقاطع الأواصر وبُيّن سمك العازل المستعمل وتأثيره في العمل , إذ قدم هذا البحث الاختبارات التي أجريت على المادة العازلة وسبل تطويرها من أجل أداء أفضل في العمل وتقليل الخسائر . [8]

- وفي سنة (1997) درس الباحثان (M. Salah Khalil and A. Gastli) تأثير الإجهاد الكهربائي ودرجة الحرارة في المقاومة لعازل البولي أثيلين المتقاطع الأواصر ,

واستنتج أن إضافة تراكيب معدنية إلى العازل قد تقلل من قيمة معامل التوصيل الحراري إلى ($0.052 \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$) ومعامل الإجهاد و ثم التقليل من تأثير الإجهاد الكهربائي ودرجة الحرارة في مقاومة العازل , ومن جهة أخرى وُجد أن تقليل اعتماد مقاومة العازل على الإجهاد الكهربائي ودرجة الحرارة يؤدي إلى التقليل من الشحنات الفراغية (space charge) التي تتجمع في العازل وتؤدي إلى تشويه المجال الكهربائي داخل العازل , ثم تقليل شدة الانهيار الكهربائي في القابلات وبخاصة أثناء الخدمة الفعلية تحت ظروف العمل . [29]

- وفي سنة (1999) كذلك درس الباحثان (M. Salah Khalil and A. Gastli) تأثير الإجهاد الكهربائي ودرجة الحرارة في المقاومة لعوازل البولي أثيلين المتقاطع الأواصر , وكان هذا العمل مشابهاً تماماً لعملهما السابق في سنة (1997) , إلا أنه في هذه الدراسة تم أستعمال ثلاث طرائق لرسم العلاقة بين المقاومة ودرجة الحرارة وحساب معامل التوصيل الحراري مرة , ورسم العلاقة بين المقاومة والإجهاد الكهربائي لحساب معامل الإجهاد وهي طريقة الرسم من الحسابات الرياضية (mathematical model) , طريقة (curve fitting technology) وتكون باستعمال برنامج الماتلاب وطريقة الشبكات العصبية الاصطناعية (ANN) , وهي الأخرى تستعمل برنامج الماتلاب , واستنتج أن أدق طريقة هي طريقة الشبكات العصبية الاصطناعية , الشبكات العصبية الاصطناعية التي استعملت لحساب مقاومة العازل تحتوي على إدخالين ؛ إدخال لدرجة الحرارة (T) وإدخال للمجال أو الإجهاد الكهربائي المسلط (E) وإخراج واحد هو (ρ) , ولأن العلاقة بين المقاومة ودرجة الحرارة والمقاومة والإجهاد الكهربائي غير خطية , استعملنا الدالة الأسية (Sigmoid function) كدالة تنشيط (activation function) . [30]

- وفي سنة (2000) أجرى (A. Rakowska, K. Hajdrowski) دراسة بعنوان تأثير الظروف المختلفة للفحوصات على المقاومة للعوازل البوليمرية , جميع شرائح البولي أثيلين والبولي أثيلين المتقاطع الأواصر التي أجري الفحص عليها كانت بسمك (0.6mm) , واستنتجوا كذلك أن (ρ) للشرائح المعمرة لم تتغير كثيراً , أي إن المقاومة قلت بنسبة قليلة . أعلى قيمة للمقاومة حصل عليها في هذا العمل هي ($10^{18} \text{ } \Omega.\text{cm}$) , وقد استعملنا (Keithley Electrometer) للحصول على نتائج دقيقة للتيار التوصيلي . [34]

- وفي سنة (2001) قام الباحثون (U. Riechert, R. Vogelsang, J. Kindersberger) بدراسة تأثير درجة الحرارة في فولتية الانهيار لقابلات البولي أثيلين , وذلك عن طريق وضع عازل البولي أثيلين بين (two electrodes) لمعرفة فولتية الانهيار للعازل , إذ إن الفحوصات أنجزت بتسليط فولتية مستمرة (DC) وبدرجات حرارية تتراوح بين (20~90°C) , فقد قيست التوصيلية الكهربائية كعلاقة مع الحرارة وشدة المجال الكهربائي ومعرفة توزيع المجال في عازل القابلو , كما عرفت فولتية الانهيار عند درجات حرارية مختلفة . واستنتجوا أن شدة المجال الكهربائي بـ (DC) أعلى من شدة المجال بـ (impulse) وأن زيادة درجة الحرارة تقلل من فولتية الانهيار , وعند درجات الحرارة العالية يعكس المجال فيقود إلى تقليل فولتية الانهيار . [35]

- وفي سنة (2001) كذلك قام الباحثان (Sheng Haifang & S. Birlasekaran) بدراسة العمر التخميني للقابلو , وتم تأشير التغير في المعاملات كمؤشرات التقادم , وبني عمر النموذج على أساسها . بعد ذلك تم التأكد من صلاحية القابلو بأخذ القراءات لعينات من قابلو مشابه وُضع في الخدمة سنة (1999) وأخرج من الخدمة سنة (2000) . [9]

- وفي سنة (2002) أجرى الباحثون (R.s Gorur , S.B dalal , M.L dyer) دراسة حول توقع الأداء المستقبلي لعينتين من قابلو (XLPE) , الأول وضع في الخدمة أكثر من عشر سنوات , والآخر جديد . وقد أشارت هذه الدراسة الى الأنخفاض في مقاومة العازل نتيجة وضع القابلو في الخدمة مدة معينة . [10]

- وفي سنة (2005) درس رياض زكي صبري تأثير الحمل في الأداء لقابلات (XLPE) ذات الفولتيات العالية واستنتج أن التغير في الحمل الذي يؤدي إلى التغير في مقدار الحرارة المتولدة في القابلو سيعمل على أن يكون عمر القابلو معتمدا على نوع الحمل ومنطقة الاستقرار الحراري للقابلو . [5]

- وفي سنة (2005) أجرى (Steven Boggs,Zhong Zheng) دراسة وفحوصات مجهرية على المادة العازلة (XLPE) المستعملة في قابلات الضغط العالي ذوات التيار المستمر واستنتج أنه عند وجود ذرات أو جزيئات معدنية في جسم العازل بطول أكبر من (100µm) فستؤدي إلى الزيادة في احتمالية انهيار القابلو عند عمل القابلو بدرجات حرارة مرتفعة . [32]

- وفي سنة (2008) أجرى (Paul Lewin ,Nick Harris) دراسة على توزيع المجال الكهربائي للعازل في نوعين من قابلوات الضغط العالي ذوات التيار المستمر , الأول من نوع البولي أثيلين المتقاطع الأواصر , والثاني ذو العازل الورقي , واستنتجا أيضا أن القابلو من نوع (XLPE) سينتج أعلى إجهاد كهربائي عند غلاف القابلو في ظروف التشغيل المستقرة , وهذه القيمة تزداد بزيادة التدرج الحراري بين الغلاف والموصل . وذكرنا أن ثمة تقليلاً مهماً في توزيع الشحنات الفراغية , أي تقليل الإجهاد الكهربائي المفرط على الغلاف عند عكس القطبية . ولاحظنا في التجارب التي أجريت على (XLPE) أن توزيع الشحنات الفراغية يزداد بسرعة عالية جداً مع زيادة درجة الحرارة وأن أداء (XLPE) جيد في مواجهة الحرارة , وهذا يعطي توزيعاً جيداً للمجال الكهربائي حتى في حالة عكس القطبية . [33]

- وفي سنة (2009) أجرى (Ran Liu ,Steven Boggs) دراسة إحصائية على نقصان العمر التصميمي لعدد من قابلوات الضغط العالي ذوات التيار المستمر من نوع البولي أثيلين المتقاطع الأواصر , وأوضحنا خطر ذلك على الكلفة الاقتصادية للقابلو , واستنتجا أن هذا النقصان يعود إلى التآكل الكهروكيميائي في القابلو مع مرور الزمن واستنزاف المادة المقاومة للتآكسد في عازل القابلو مع الزمن بسبب الحرارة . [31]

1-3 الهدف من الدراسة الحالية:-

لدراسة تأثير العمر على التغيير الحاصل في أداء عوازل قابلوات البولي أثيلين المتقاطع الأواصر (132 Kv) تم الحصول على نماذج مستعملة وغير مستعملة من هذه القابلوات , وتم أخذ شرائح بسبك (0.5mm) من عوازل البولي أثيلين المتقاطع الأواصر وأجريت الفحوصات عليها , وهذه الدراسة تتضمن :

1- قياس التيار التوصيلي (التيار التسريبي) المار عبر عوازل البولي أثيلين المتقاطع الأواصر المستعملة وغير المستعملة , حيث تم تسليط إجهادات مختلفة (10 ~25 Kv/mm) ودرجات حرارة مختلفة (60~90°C) مدة (2 Hours) وتم قياس التيار التوصيلي , وتم معرفة تأثير العمر في العوازل المستعملة من خلال ملاحظة الفرق بين قيمة التيار التوصيلي المار عبر العوازل المستعملة والتيار التوصيلي المار في العوازل غير المستعملة .

2- حساب المقاومة لعوازل البولي أثيلين المتقاطع الأواصر المستعملة وغير المستعملة , وتم معرفة تأثير العمر من خلال ملاحظة الفرق بين قيمة المقاومة للعوازل المستعملة وغير المستعملة .

3- حساب معامل التوصيل الحراري (α) ومعامل الإجهاد الكهربائي (β) للعوازل المستعملة وغير المستعملة .

4-1 ترتيب الرسالة:-

جاءت هذه الرسالة في خمسة فصول , **الفصل الثاني** تناول الخلفية النظرية لقابلات الضغط العالي ذوات العوازل الصلدة من حيث معايير اختيار هذه القابلات , وتركيب هذه القابلات وعدد الطبقات العازلة وفائدة كل طبقة , كما تناول هذا الفصل طرائق مد هذه القابلات تحت الأرض , وكذلك تصنيفها من حيث عدد الموصلات في داخلها , ومستوى الجهد الذي تعمل به , والتصنيف بموجب طرائق استعمالها وكذلك التصنيف بموجب المادة العازلة , كما تناول قابلات الضغط العالي ذوات عوازل البولي أثيلين المتقاطع الأواصر بشكل مفصل , أما **الفصل الثالث** فتناول العمل المختبري من حيث تحضير القابلات من إحدى محطات النقل الكهربائية وتم أخذ شرائح على شكل طبقات رقيقة ومستوية بسمك (0.5mm) من عوازل هذه القابلات وتم طلاؤها بطبقة توصيلية رقيقة من (الألمنيوم المبخر , معجون الفضة , الكرافيت الصمغي) . وتناول أيضا شرحا تفصيليا لخلية الفحص (test cell) التي تم تصميمها , وهي إسطوانة (can) تحتوي على أربعة أجزاء رئيسية هي (الأقطاب الكهربائية , السخان , صمام لتفريغ الهواء من داخل الإسطوانة , و (vacuum gauge) لقياس كمية الهواء المفرغة من داخل الخلية , وكذلك أدرج مخطط تفصيلي في هذا الفصل يوضح تركيب هذه الخلية , كذلك تناول هذا الفصل الاجهزة المختبرية الأخرى التي تم استعمالها . وتناول هذا الفصل أيضا منهجية القياس (Test methodology) التي يتم بها إجراء الفحوصات على هذه العوازل , وكذلك أدرج شكل يوضح تركيب الدائرة الكهربائية المستعملة . كما عالج هذا الفصل الغرض من إجراء الطلاء على هذه العوازل , وأدرج شرح تفصيلي على أنواع الطلاء الثلاثة , وكذلك تم بيان كيفية إجراء الطلاء بهذه المواد والسمك الذي تم الطلاء به لكل منها , وبيان منشأ ومميزات هذه المواد , كذلك تم أدرج استنتاجات لباحثين استعملوا مواد الطلاء الثلاثة في إجراء تجاربهم

وبينوا إيجابيات وسلبيات كل نوع من هذه الأنواع الثلاثة . أما الفصل الرابع فتناول النتائج العملية التي تم الحصول عليها . والفصل الخامس تناول الاستنتاجات وبعض الأعمال المستقبلية المقترحة.

الفصل الثاني

الفصل الثاني

قابلوات الضغط العالي ذوات العوازل الصلدة

High Voltage Cables of Solid Insulators

1-2 المقدمة:- [12,11]

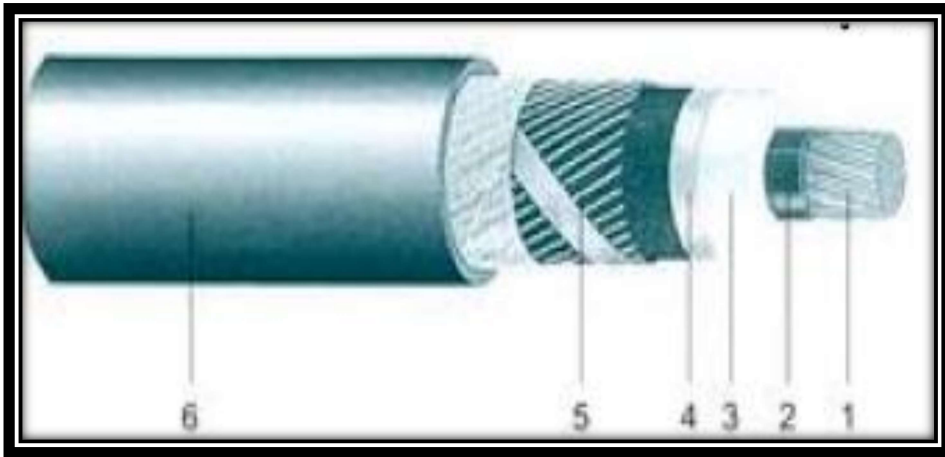
يتم النقل والتوزيع في المناطق وبخاصة المناطق السكنية بواسطة القابلوات الأرضية ، وفي الوقت الحاضر الطلب الواسع للطاقة الكهربائية جعل السلطات أو المراكز المسؤولة عن نقل وتوزيع الطاقة الكهربائية تستعمل القابلوات الأرضية في نقل القدرة بدلاً من الخطوط الهوائية وبخاصة في المناطق المأهولة بالسكان.

إن الفرق الجوهرى بين القابلوات الأرضية و الخطوط الهوائية هو أن الخطوط الهوائية تتكون من موصلات مكشوفة وغير معزولة وتكون مثبتة على أبراج للمحافظة على مسافات فاصلة وثابتة بين الموصلات , وبين الموصل والأرض كما هو مبين في الشكل (1-2) إذ يلاحظ أن المسافة بين أذرع البرج متساوية أو متناظرة من أجل الحفاظ على مسافات فاصلة مع بعضها وبين الموصل والأرض .

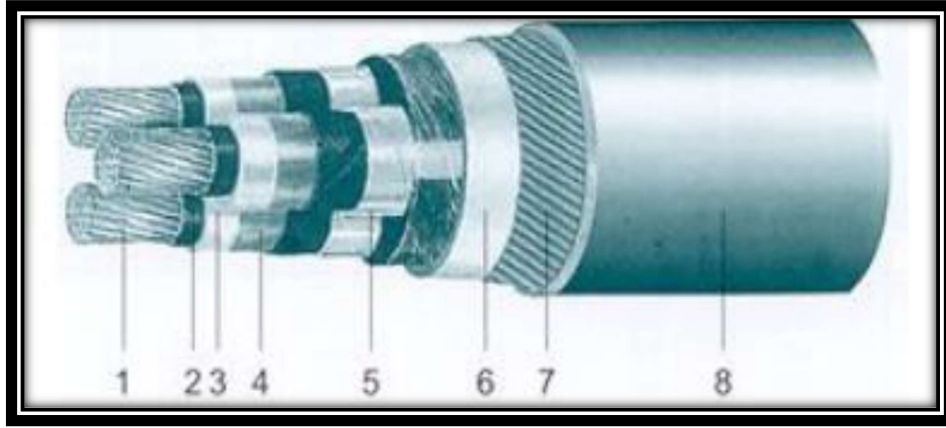
أما الموصلات المستعملة في القابلوات فتكون مغطاة بالكامل بمادة عازلة كما هو مبين في الشكل (2-2,2-3) , إذ يلاحظ وجود نماذج مختلفة من القابلوات الصلدة الأحادية اللب , والثلاثية المغطاة بمادة عازلة ماعدا النهايات (الأطراف) حيث التوصيل بباقي أجزاء منظومة القوى والشبكة الكهربائية .



الشكل (1-2) : أبراج الضغط العالي



الشكل (2-2) : نموذج لقابلو أحادي اللب مدرع



الشكل (2-3) : نموذج لقابلو ثلاثي اللب مدرع

لقد استعملت قابلو ثلاثية اللب يحيط بها غلاف معدني واحد ضمن منظومة ثلاثية الطور أو ضمن غلاف لكل لب , وقد حدد استعمال هذه الطريقة بعد الارتفاع الكبير بقيمة الفولتية المقننة , لذلك كان اللجوء إلى استعمال القابلو الأحادية اللب لتلافي الزيادة في درجة الحرارة , ولتجنب ظاهرة التجاور (proximity effect) في القابلو , وكذلك تقليل تأثيرات الانهيارات الكهربائية الناتجة من تلك الفولتيات العالية .

2-2 معايير اختيار قابلو النقل الأرضية:- [11 , 13 , 14]

إن خطوط النقل والتوزيع الهوائية تصبح صعبة في المناطق ذات الكثافة السكانية العالية مثل المدن والبلدان الكبيرة ، فمن الضروري في بعض الأماكن استعمال قابلو تحت الأرض في نقل وتوزيع الطاقة الكهربائية ، وإن الاختيار بين القابلو الأرضية وخطوط النقل الهوائية لا يكون وفقاً لمعيار واحد بل يخضع لمعايير وعوامل عدة منها:

- 1- المظاهر البيئية (ما يتعلق بالتلوث ، المجالات الكهرومغناطيسية ، حركة المرور والسير ...).
- 2- التغيرات في الهيكل الصناعي للبلد.
- 3- كلفة الموصل: لنقل القدرة نفسها يكون الموصل المستعمل في خط النقل الهوائي أقل كلفة من الموصل المستعمل في القابلو ، إذ تكون السعة (VA) للموصلات المكشوفة المستعملة في خطوط النقل الهوائية أكبر بكثير من السعة للموصل داخل القابلو. ولذا يكون موصل خط النقل الهوائي أصغر حجماً وأقل كلفة من موصل القابلو.

4- كلفة العازل: كلفة العازل في القابلو أكبر بكثير منها في حالة خط النقل الهوائي إذ إن خط النقل الهوائي يستعمل موصلات مكشوفة ومثبتة على أبراج , وتعزل الموصلات عن جسم البرج باستعمال عوازل من البورسلين ويكون الهواء هو العازل الرئيس بين الموصلات , وتثبت الموصلات بعيدة من بعضها بمسافات تتناسب مع مقدار الجهد. أما في القابلوات فيحاط الموصل بمادة عالية الكلفة , ويلزم وجود غطاء معدني مع غلاف من (PVC) لحماية العازل من تأثيرات التربة ويعطي كذلك حماية ميكانيكية للقابلو.

5- الأمان في القابلوات الأرضية , إذ تتميز بأنها أكثر أماناً للأفراد وأقل عرضة للحوادث وأقل تأثيراً بالحوادث الطبيعية والعوامل البيئية , ولذلك هي تستعمل عندما يكون الأمان مطلباً أساسياً أو عندما يكون النقل بخطوط هوائية غير مأمون كما في الحالات الآتية:

- داخل المنشآت الصناعية.
- المناطق المأهولة بالسكان.
- في المناطق والأماكن التي قد يتسبب النقل بواسطة الخطوط الهوائية فيها بحوادث كما هو الحال بالقرب من المطارات ومحطات القطار.
- عبر الموانئ البحرية.
- داخل محطات القدرة ومحطات التحويل .

3-2 تركيب قابلوات الضغط العالي:- [11, 15]

تتكون جميع أنواع القابلوات بصفة أساسية من موصل ذي مقاومة منخفضة لنقل التيار الكهربائي , ويسمى هذا الموصل عادة قلب القابلو أو اللب (Core) , وعازل لعزل الموصلات عن بعضها وعمّا يحيط بها وعن الأرض , وفي بعض الأنواع من القابلوات وبخاصة القابلوات المرنة التي تستعمل في التمديدات الكهربائية ذوات الجهد الواطئ , إذ لا يحتوي القابلو على أكثر من موصل وعازل , ولكن بصفة عامة كلما ارتفع الجهد الذي سيستعمل عنده القابلو ازداد تركيبه وتعقد ذلك القابلو .

والمكونات الأخرى للقابلو هي :

1- حجاب من مادة موصلة (Screening) للحصول على أفضل توزيع للمجال الكهربائي داخل المادة العازلة.

2- مواد مالئة (Bedding) او (Filler) تستعمل لملء الفراغ بين الألباب في القابلات المتعددة الألباب.

3- غلاف معدني (Metallic Sheath) لحماية القابلو من الإجهادات العالية ولتنظيم توزيع الإجهادات في العازل , وكذلك لاحتواء الغاز المضغوط أو الزيت العازل في القابلات التي تستعمل مثل هذه الأوساط.

4- الدرع (Armor) للحماية الميكانيكية للقابلو.

5- الغطاء الخارجي لحماية الأجزاء المعدنية من التآكل, ومنع تسرب الرطوبة داخل القابلو.

وتحتوي بعض القابلات على أنابيب داخلية أو خارجية يسري في داخلها الزيت أو غاز (SF6) للتخلص من الحرارة المتولدة داخل القابلو نتيجة الفقد في القدرة .

4-2 طرائق مد القابلات تحت الأرض:- [11 , 12]

ثمة طرائق عدة لمد القابلات تحت الأرض , الأولى تكون بصورة مباشرة في التربة , إذ توضع القابلات في داخل خندق ثم تدفن إما في التربة الأصلية نفسها أو تدعم بواسطة معادن ذات مقاومة حرارية واطنة , والطريقة الثانية تكون داخل قنوات مغلقة (Ducts) كونكريتية , إذ توضع القابلات في داخل هذه القنوات وتملاً هذه القنوات المغلقة في بعض الأحيان ببعض المركبات الكيميائية. والطريقة الثالثة هي وضع القابلات داخل مواسير تحت الأرض أو مجار تحت سطح الأرض مهياً خصيصاً لهذا الغرض . ومن الممكن أن توضع القابلات في قنوات منشأة لغير هذا الغرض مثل قنوات نقل المياه أو أنفاق الطرق والجسور .

5-2 أنواع قابلات الضغط العالي:- [11, 15, 16]

للقابلات أنواع عدة يمكن تصنيفها على أسس متعددة كعدد الألباب في القابلو الواحد , أو نوع المادة العازلة أو مستوى الجهد الذي يصل عنده , وكذلك فيما يخص مجال استعمالها , وفيما يأتي سنستعرض أنواع القابلات طبقاً للتصنيفات المختلفة.

1-5-2 تصنيف القابلات حسب أعداد الألباب:-

يمكن تصنيف القابلات إلى نوعين :

- القابلو الأحادي اللب (Single Core Cable) : يتكون هذا القابلو كما هو مبين في الشكل (2-2) من:

- 1- موصل مجدول.
- 2- حجاب الموصل (من مادة الكربون ومادة شبه موصلة).
- 3- عازل رئيس للقابلو (ويكون من الورق المشرب بالزيت ، أو المطاط أو البولي أنثيلين ، أو PVC وغيرها).
- 4- الحجاب العازل , وهو طبقة رقيقة جداً من مادة شبه موصلة.
- 5- غلاف معدني , وهو أسلاك من النحاس ملفوفة بطريقة حلزونية حول القابلو , ومن الممكن أن يكون شريطاً من الرصاص أو النحاس أو الألمنيوم.
- 6- الغلاف الخارجي : عادة ما يكون من البولي فينيل كلورايد (PVC) .

- القابلو المتعدد الألباب (Multi-Core Cable) ويقسم على أنواع عدة منها :

- 1- قابلوات القدرة الثنائية اللب (تتكون من خط ومتعادل).
 - 2- قابلوات القدرة الثلاثية اللب (تتكون من ثلاثة أطوار).
 - 3- قابلوات القدرة الرباعية اللب (تتكون من ثلاثة أطوار وأرضي).
 - 4- قابلوات القدرة الخماسية اللب (تتكون من ثلاثة أطوار وأرضي ومتعادل).
- وتتكون هذه القابلوات كما هو موضح في الشكل (2-3) من:

- 1- موصل مجدول.
- 2- حجاب موصل (من مادة الكربون ومادة شبه موصلة).
- 3- عازل رئيس للقابلو (ويكون من الورق المشرب بالزيت ، أو المطاط أو البولي أنثيلين ، أو البولي فينيل كلورايد وغيرها).
- 4- حجاب عازل , وهو طبقة رقيقة من مادة شبه موصلة.
- 5- غلاف معدني , وهو أسلاك من النحاس وشريط نحاسي سمك (0.1mm) ملفوفة بطريقة حلزونية حول القابلو , ومن الممكن أن يكون الشريط من الرصاص أو النحاس أو الألمنيوم.

- 6- مواد مالئة (Bedding) او (Filler) , وقد تكون من أية مادة لدنة لملء الفراغات بين الموصلات والبطانة , وغالباً ما تكون من البولي فينيل كلورايد (PVC).
- 7- التسليح : وهو أسلاك من الصلب , وقد يكون من أسلاك الألمنيوم.
- 8- الغلاف الخارجي : عادة ما يكون من البولي فينيل كلورايد (PVC). و يلاحظ أقسام القابلو ثلاثي الطور في الشكل (2-3) .

2-5-2 تصنيف القابلوات حسب مستوى الجهد:-

تقسم القابلوات حسب مستوى الجهد إلى قابلوات الجهد العالي وقابلوات الجهد المتوسط وقابلوات الجهد الواطئ لأنه لا توجد قيم محددة متفق عليها عالمياً لحدود قيم الجهد لكل من هذه المستويات , فمثلاً ما يعد جهداً عالياً في العراق يمكن عده متوسطاً في اليابان أو المملكة المتحدة والسويد ، ولذلك يفضل تعريف القابلو بقيمة الجهد بين الموصل والأرض أثناء التشغيل (V_0) والجهد الذي صمم القابلو عليه (V) ولكل منهما يعطى القيمة الفاعلة .

3-5-2 تصنيف القابلوات بموجب طرائق استعمالها:-

- 1- قابلوات نقل وتوزيع القدرة الكهربائية وهي القابلوات التي تستعمل في منظومات القدرة الكهربائية بمستوياتها المختلفة. والقابلوات التي تعمل عند جهود عالية أي بحدود أكبر من (400KV) وهي تعرف بقابلوات النقل . ويغلب استعمال القابلوات ذوات العازل الورقي عند الإجهادات العالية وإن كانت قابلوات (XLPE) بدأت تحل محلها ، وهذا النوع أصبح المميز في العمل فضلاً عن كونه سهل التركيب والتوصيل والتصليح والصيانة.
- 2- قابلوات التمديدات الكهربائية , وتعرف بالقابلوات المرنة , فيكون القابلو مكوناً من موصل مصنوع من النحاس الأحمر . والعازل غالباً ما يكون من مادة (PVC) لضمان مرونة القابلو الذي يتعرض لكثير من الانحناءات ولسهولة تمديده داخل المواسير.

3- القابلات البحرية (Submarin Cable), وتستعمل في نقل القدرة الكهربائية عبر البحار وتركب في قاع البحر أو المجرى المائي الذي تعبره.

4- قابلات المنشآت الصناعية العامة , وهي القابلات المستعملة لتغذية الطاقة داخل المنشآت الصناعية , وتستعمل قابلات (PVC) بنجاح تام حتى جهد (3.3 Kv) وبعض المنشآت تستعمل هذه القابلات حتى جهد (11 Kv) ولكن لارتفاع السماحية له فيزيد من فقد العازل ولذلك تستعمل قابلات (XLPE).

5- قابلات المصانع الكيميائية وصناعة البتروكيميائيات , وتكون القابلات المستعملة في مثل هذا النوع من الصناعات عرضة لتسرب المواد العضوية التي لها القدرة على اختراق العازل والوصول إلى قلب القابلو , وذلك يسبب حدوث الحرائق , ولذا يجب عمل الحماية للقابلو باستعمال قابلات ذوات غلاف أو قابلات عليها طبقة الحماية الخارجية المناسبة أو باستعمال الطريقتين معاً , لمنع تسرب الزيوت والمواد الأخرى القابلة للاشتعال إلى قلب القابلو .

2-4-5 تصنيف القابلات حسب المادة العازلة للقابلو:-

تصنف القابلات طبقاً للمادة العازلة إلى :

• قابلات ذوات العوازل المشربة بالزيت :

يتمتع العازل الورقي بخواص كهربائية جيدة ولكن عملية اللحام وتوصيل النهايات لقابلو العازل الورقي تحتاج إلى خبرة ودقة في الأداء أعلى من تلك المطلوبة للقابلات التي تستعمل الأنواع الأخرى من العوازل , ومن مساوئ هذه القابلات أن السماحية النسبية (ϵ_r) لها تكون عالية فيؤدي إلى زيادة في تيار الشحن وكذلك في مقدار القدرة المتفاعلة السعوية وبخاصة عند استعمال القابلو عند الفولتيات العالية وعند المسافات الطويلة ويستعمل الزيت عادة في هذا النوع من القابلو لتثريب الورق ولملء الفراغات الناتجة من عملية اللف للمادة العازلة وتقليل السماحية النسبية وثم تيار الشحن .

و تتميز القابلات المعزولة بالبولي إثيلين المتقاطع الأواصر (XLPE) مقارنة مع عوازل

الورق المشرب بالزيت بما يأتي : [19]

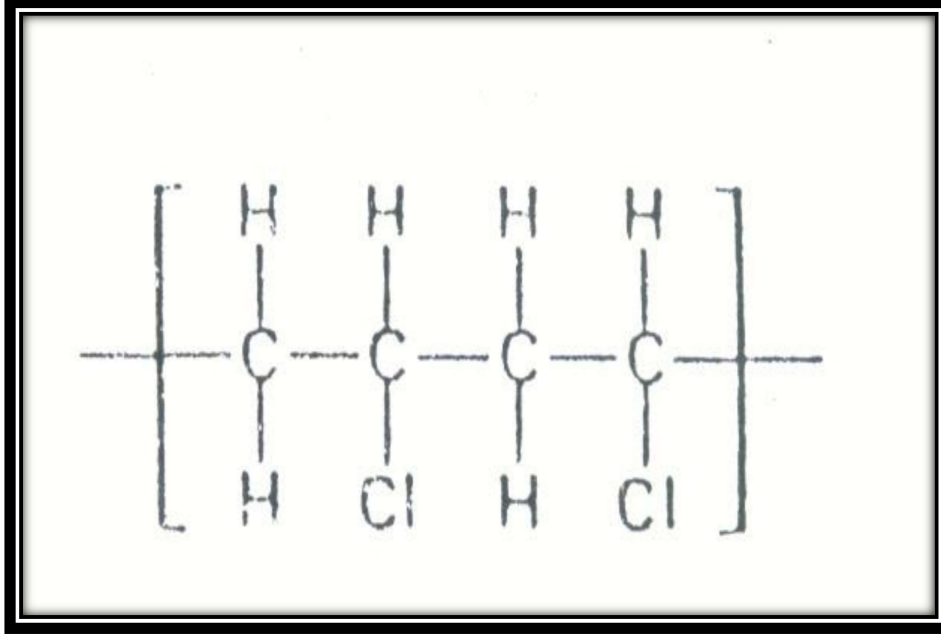
- 1- تيار الشحن للقابلو ذي عازل الورق المشرب بالزيت ذو قيمة عالية , لأن سماحية العازل عالية, أما القابلو ذو العازل من نوع (XLPE) فإن تيار الشحن الخاص به يكون قليلاً .
- 2- أعلى سعة لتيار الموصل في قابلووات (XLPE).
- 3- خواص كيميائية وفيزيائية جيدة.
- 4- سهولة الربط والتنصيب والصيانة.
- 5- تكون العوازل في الورق المشرب بالزيت على شكل لفات حلزونية حول الموصل , أما في عازل (XLPE) فهي مادة من عائلة البوليمرات المتسلسلة.
- 6- خصائص كهربائية مميزة .
- 7- الخواص الميكانيكية للعازل (XLPE) أكثر جودة من عوازل الورق المشرب بالزيت وبخاصة عند درجات حرارة عالية.
- 8- عوازل (XLPE) تتميز بالكلفة الواطئة مقارنة مع عوازل الورق المشرب بالزيت ذات الكلفة العالية اقتصادياً.
- 9- فقد العازل قليل في عوازل (XLPE) , أما في عوازل الورق المشرب بالزيت فتكون كبيرة .
- 10- ليس لديها مخلفات بيئية .
- 11- عوازل (XLPE) تتحمل درجات حرارة عالية قد تصل إلى (90 °C) في الظروف الاعتيادية على عكس عوازل الورق المشرب بالزيت التي تكون ذات تحمل درجات قليلة نسبية قد تصل إلى (70°C) .

• قابلووات ذوات عوازل بوليمرية (Polymer Insulation Cables):

المادة العازلة في هذه القابلوات تكون إحدى المواد البوليمرية المستخلصة من صناعة البتروكيميائيات , وأكثر هذه المواد شيوعاً :

(i) - البولي فينيل كلورايد PVC:

يتميز بخواص كهربائية جيدة عند الجهود المنخفضة ودرجات حرارة منخفضة إلى جانب رخص الثمن مقارنة مع القابلوات ذوات العوازل الأخرى , ولذلك تعد قابلووات (PVC) الأفضل في العالم من ناحية الاختبار حتى جهد (33 Kv) كيلوفولت إلا أنها غير مناسبة للجهود الأكبر من ذلك , إذ ترتفع مفاقد العازل . والتركيب الكيميائي لهذا النوع من العوازل موضح بالشكل (4-2).



الشكل (2-4) : التركيب الكيميائي لعازل البولي فينيل كلورايد (PVC) [19]

(ii) البولي أثيلين المتقاطع الأواصر (Cross-linked polyethylene): [11,18]

يرمز له برمz (XLPE) ويتميز بمقاومة عالية للرطوبة وتحمل درجات حرارة عالية أثناء العمل الاعتيادي ودرجات حرارة أعلى عند زيادة الحمل وعند دائرة القصر، والفقد بالعازل أصغر مقارنة مع العوازل الأخرى، وهو من أصلد العوازل المعروفة ولذلك لا يحتاج إلى تسليح إلا عند التعرض إلى إجهادات ميكانيكية عنيفة، وقد تطور هذا العازل في الاستعمال بعد الانخفاض في الكلفة في السنوات السابقة، ويستعمل هذا النوع للجهود العالية ابتداءً (3.3Kv) إلى (550Kv)، وهذه القابلات شائعة الاستعمال في منظومات النقل والتوزيع.

مميزات استعمال عازل (XLPE) بدلا من عازل (PVC) :

1- لا يحدث في العازل لدونة نتيجة ارتفاع الحرارة أعلى من حرارة عمل القابلو والعازل يصلد بالحرارة ويسمى ويتحمل حرارة (90°C) أما الـ (PVC) فيلين بالحرارة ويتحمل حرارة (70°C).

2- أقصى تحمل لدرجة الحرارة نتيجة تيار القصر اللحظي لقابلات (XLPE) هو (250°C) أما قابلات (PVC) فهو (160°C).

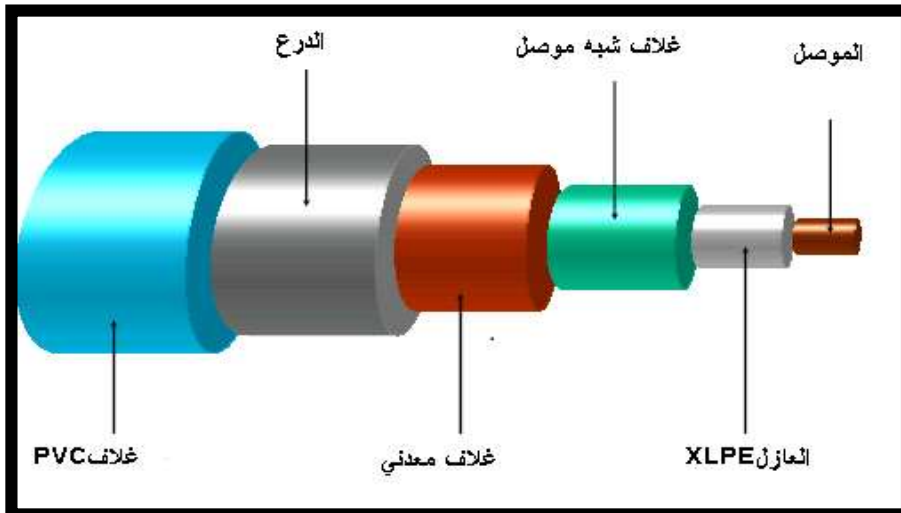
- 3- قوة عزل أعلى ومواصفات ميكانيكية ممتازة تسمح بتقليل سمك العازل , وقيمة مقاومة العازل للقابلو لا تتغير بصورة كبيرة بزيادة حرارة الموصل.
- 4- قابلوات (XLPE) تبدد وتشتت حرارة الموصلات أفضل من (PVC).
- 6- إنتاج الحرارة في العازل نفسه قليلة بسبب خسائره القليلة.
- 7- قابلو ذو عازل (XLPE) يمكن أن يتحمل من (15%) إلى (30%) أكثر من قابلو (PVC) لحجم الموصل نفسه .
- 8- قابلوات (XLPE) مقاومة للإجهادات.
- 9- نتيجة لصغر سمك العازل ومواصفات الميكانيكية الجيدة فإن القابلو ذو العازل (XLPE) أخف وأسهل لعمل التأسيسات وال نصب.

(iii)- العوازل المطاطية : [11]

أهمها مطاط الأثيلين بروبيلين (EPR) ومطاط البوتيل (PR) , وتستعمل عند الحاجة لخواص معينة متوفرة فيها , ولكن الاتجاه العام هو تفعيل استعمال القابلو من نوع (XLPE) في الأحوال الاعتيادية.

6-2 قابلوات الضغط العالي والفائق المعزولة بعازل (XLPE) :- [20,19,15,1]

تتكون قابلوات الضغط العالي المعزولة بمادة (XLPE) التي تستعمل في الغالب في قابلوات القدرة والفولتية العالية من طبقات عدة كما هو موضح في الشكل (5-2) .



الشكل (5-2): قابلو معزول بمادة البولي أثيلين المتقاطع الأواصر [5] .

1- الموصلات (conductors):

القابلوات الأحادية اللب تتألف من موصل واحد , وهي تستعمل في الفولتيات العالية جدا وذات التيار الكبير , أما القابلوات الثلاثية اللب فتتألف من ثلاثة موصلات معزولة بعضها عن البعض وتكون مغلفة بغلاف معدني لكل طور في حالة كونها من نوع (H-Type) , وتستعمل مثل هذه القابلوات عند الفولتيات التي لا تزيد على (60 Kv).

لقد حدث تطور كبير في السنوات الأخيرة في أنواع المعادن المستعملة في الموصلات , فقد انتشر استعمال الألمنيوم في الموصلات وكذلك في أغلفة القابلو .

وتتخصص المعضلة الرئيسية في استعمال الألمنيوم في كيفية عمل الرباطات بين أجزاء القابلو على طول مسار النقل بسبب تعرض الرباطات للزحف نتيجة الدورات الحرارية (Thermal Cycling) . وقد كثر استعمال الألمنيوم كبديل للنحاس بسبب بعض الميزات المادية والتقنية . هذا وتستعمل طريقة البرم (Stranded) في معظم موصلات القابلو للحصول على مرونة جيدة في الموصل وكذلك للحصول على توصيلية أعلى .

2- عازل البولي إثيلين المتقاطع الأواصر (XLPE):

تستعمل قابلوات الضغط العالي التي تستعمل عازل (XLPE) بشكل واسع في توزيع ونقل القدرة الكهربائية وفولتيات عالية ابتداء من (3.3 Kv) إلى (550 Kv) , إذ يلاحظ التطور في استعمال قابلوات الضغط العالي والفائق , المعزولة بـ (XLPE) , ونظرا لكون هذا العازل يمتلك أقل قيمة من السماحية النسبية فهو يتأهل للاستعمال في الفولتيات العالية ولانخفاض تيار الشحن فيه .

إن هذا النوع من العوازل هو حالة مطوّرة من عوازل البولي إثيلين , وقد لوحظ أن هذا النوع من العوازل له درجة حرارة قصوى تصل إلى (70 °C) و هي قيمة قليلة نسبيا , و كذلك لوحظ حدوث زيادة حالة الليونة بالعازل نتيجة الحرارة العالية , لذلك أجريت عملية تقاطع للأواصر (Cross-Linked) ولذلك سمي العازل الجديد المنتج بالبولي إثيلين المتقاطع الأواصر الذي مختصره (XLPE) .

وثمة طريقتان أساسيتان و شائعتان تستعملان لعمل تقاطع أواصرلعوازل البولي

أثيلين (PE):

الطريقة الأولى تسمى الطريقة الكيميائية والطريقة الثانية تسمى الطريقة الإشعاعية , تعد الطريقة الأولى أكثر استعمالا مقارنة مع الطريقة الثانية لرخص الطريقة الأولى , أما الثانية

فتتميز بالكفاءة العالية و الثمن الباهض ، وهناك العديد من العوازل الصلبة المستعملة كعوازل كهربائية وبخاصة في قابلووات الفولتية العالية ، ومن أشهر تلك المواد البولوي أثيلين المتقاطع الأواصر ، ويندرج عازل البولوي أثيلين المتقاطع الأواصر ضمن عائلة البوليمرات (Polymers) .

وتتكون كلمة البوليمر من مقطعين وهي كلمة لاتينية الأصل ، فكلمة بولي (POLY) تعني متعدد ومير (Mer) تعني الأجزاء ، ولذلك كلمة بوليمر تعني متعدد الأجزاء ولغرض السهولة تستعمل هذه الكلمة (بوليمر) ، وتوجد في الطبيعة هذه البوليمرات وتقسم على :

- 1- بوليمرات خطية (Linear Polymers).
- 2- بوليمرات فرعية (Broach Polymers).
- 3- بوليمرات متقاطعة (Cross-Linked).
- 4- بوليمرات شبكية (Network Polymers).

وتتميز القابلوات الثيرمو بلاستيكية (Thermoplastic Cables) بأنه يمكن استعمالها بطرائق مختلفة بموجب طريقة تصنيعها ، في الطريقة الأولى مثلا تكبس (Extruded) مادة البوليمر مكونة غلافا صلبا من البلاستيك ، أما الطريقة الثانية فيصنع القابلو من شرائط مضغوطة قبل أن تلف وتتراكب على الموصل مكونة العازل كما هي الحال في شرائح الورق وتعمل التجاويف التي تبقى في عازل القابلو حتى بعد الكبس الدوار على إيجاد نقاط ضعف في القابلو تؤدي في نهاية المطاف إلى فشل القابلو بالانهيار بالتآكل (Erosion Breakdown).

3- الأغلفة شبه الموصلة :

تكبس الطبقة شبه الموصلة على الموصل مباشرة و ثم يكبس العازل وبعده تكبس الطبقة شبه الموصلة على العازل . تعمل المادة شبه الموصلة على إيجاد تماس جيد بين العازل من جهة والموصل من جهة أخرى كما أنها لمقاومتها الواطئة تعمل على كسح الشحنات الفراغية (Space Charges) التي قد تتجمع على سطح العازل الداخلي أو الخارجي و يتراوح سمكها بين ملتر واحد إلى ثلاثة.

4- الأغلفة المعدنية:

تغطي الطبقة شبه الموصلة الخارجية بغلاف معدني مؤرض يعمل على تثبيت الجهد الصفري (Zero Potential) عند غلاف القابلو. ونظرا لما لهذا الغلاف من أهمية كبيرة عند فشل عازل القابلو يشترط فيه أن يتحمل تيار دائرة القصر عند حدوث الفشل مدة قصيرة وذلك لحماية القابلو . وتستعمل سبائك الألمنيوم أو سبائك النحاس أو الرصاص وغيرها بموجب الطاقة التصميمية لدائرة قصر القابلو.

5- درع القابلو:

تغلف الطبقة الخارجية الأغلفة المعدنية في بعض الحالات بدرع واق وقد يكون من صفائح معدنية صلبة أو من قضبان مبرومة أو شرائط معدنية وغيرها.

6- الغلاف الواقي نوع (PVC):

تغلف الأغلفة المعدنية ودرع القابلو بطبقة من مادة البولي فينيل كلورايد (PVC) لوقاية المواد المعدنية للقابلو من التأثيرات الخارجية كالترربة والرطوبة وغيرها.

الفصل الثالث

الفصل الثالث

تصميم منظومة الفحص

Design of Test Cell

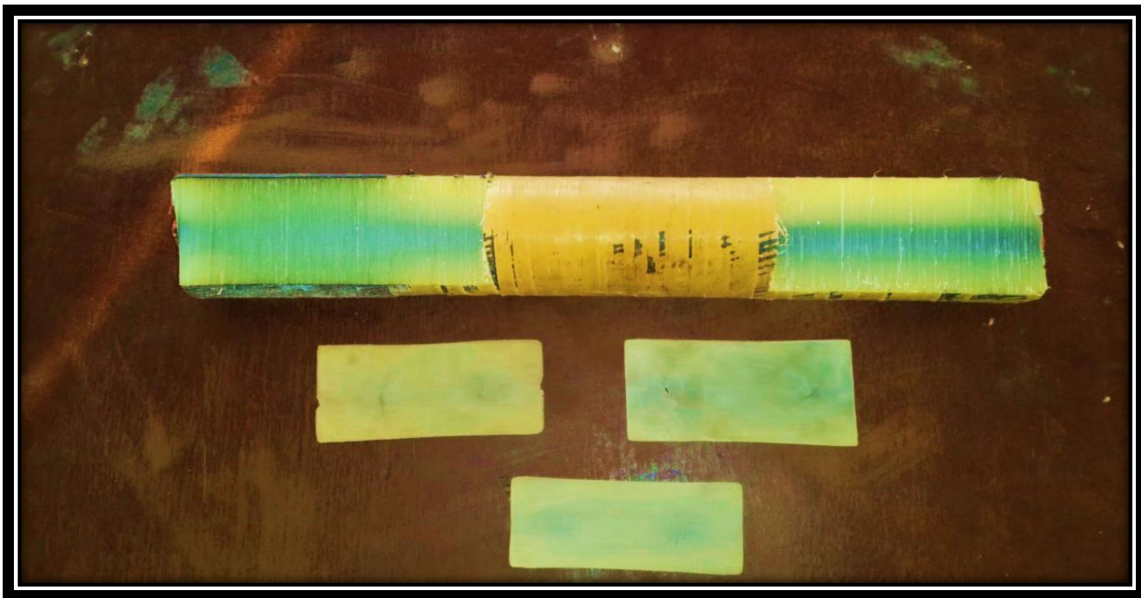
3 - 1 تحضير العينات (Samples Preparation):

لكي تتم معرفة التغيرات التي تطرأ على عوازل قابلووات الضغط العالي نوع البولي أثيلين المتقاطع الأواصر (132KV) نتيجة الخدمة تحت ظروف العمل , تم الحصول على نماذج جديدة وأخرى مستعملة من هذه القابلووات من محطة نقل الجهد الفائق (400Kv) الواقعة في منطقة " السحاجي " غرب مدينة الموصل . والأشكال (3-1 , 3-2) توضح نماذج جديدة ومستعملة من هذه القابلووات , إذ إن نماذج هذه القابلووات من المنشأ نفسه وتحتوي على المواصفات نفسها كما هو مبين في **(الملحق (A))** , ونماذج القابلووات المستعملة كانت قد وضعت في الخدمة سنة (1987) وأُخرجت من العمل سنة (2007) (نتيجة حادث حريق محولة في محطة الشراقات الثانوية) أي إنها كانت قد وضعت في الخدمة مدة (20) سنة حسب المدة المحددة من قبل مهندسين في المديرية العامة لنقل الطاقة الكهربائية للمنطقة الشمالية , وقد تم الحصول على كتاب تأييد معنون إلى جامعة الموصل / كلية الهندسة الكهربائية يؤيد ذلك كما هو مبين في **(الملحق (B))** . سمك عازل البولي أثيلين المتقاطع الأواصر للنماذج التي تم الحصول عليها كان بحدود (18mm) , ولإنجاز القياسات المطلوبة تم أخذ عينات رقيقة "شرائح" من عوازل هذه القابلووات بسمك (3mm) وقُلت سمكها إلى (0.5mm) , وطولها (10cm) وعرضها (3cm) , حيث تم تقطيع هذه الشرائح عند درجة حرارة الغرفة (25°C) بألة حادة خاصة لهذا الغرض تستعمل لإزالة العازل في أطراف القابلو عند عمل ربط (joint) بين القابلووات , فقد تم تثبيت القابلو وأزيل الغلاف الخارجي أو طبقة البولي فينيل كلورايد (PVC) , درع القابلو , الأغلفة المعدنية , والطبقة شبه الموصلية الخارجية , كما تم استعمال الآلة الحادة لأخذ شرائح على شكل طبقات رقيقة مستوية من عازل البولي أثيلين المتقاطع الأواصر , وتم قياس سمك الشريحة باستعمال (digital vernia) أو (slide gauge) , ثم تم

طلاء العينات التي تم الحصول عليها بطبقة توصيلية رقيقة من (الألمنيوم المبخر , معجون الفضة , الكرافيت الصمغي).



الشكل (1-3) : نموذج غير مستعمل من قابلات البولي أثيلين المتقاطع الأواصر (132Kv) مع العينات التي تم تقطيعها منه بعد إزالة طبقة البولي فينيل كلورايد (PVC) ودرع القابلو والأغلفة المعدنية.



الشكل (2-3) : نموذج مستعمل (20 years) من قابلات البولي أثيلين المتقاطع الأواصر (132Kv) مع العينات التي تم تقطيعها منه بعد إزالة طبقة البولي فينيل كلورايد (PVC) ودرع القابلو والأغلفة المعدنية.

3 - 2 طلاء العينات (Samples coating):

تم أخذ نموذجان بسلك (0.5mm) من عوازل القابلوات المستعملة ونموذجان من عوازل القابلوات غير المستعملة وتم طلاؤها بطبقة توصيلية رقيقة [(1µm) أي ما يعادل (10000 Å)] من الألمنيوم المبخر باستعمال جهاز التبخير الفراغي الموجود في كلية الهندسة قسم الهندسة الكهربائية في مختبر الحالة الصلبة (solid state) , وتم إجراء الطلاء في الفراغ (under vacuum) (8E-5 to 1E-4 mbar) والشكل (3-3) يوضح صورة لجهاز التبخير الفراغي الذي تم الطلاء به .



الشكل (3-3) : جهاز التبخير الفراغي

كما تم أخذ نموذجان من عوازل القابلوات المستعملة ونموذجان من عوازل القابلوات غير المستعملة وتم طلاؤها بطبقة توصيلية رقيقة من معجون الفضة والشكل (3-4) يوضح معجون الفضة الذي تم الطلاء به .



الشكل (3-4): معجون الفضة

وكذلك تم أخذ نموذجان من عوازل القابلات المستعملة ونموذجان من عوازل القابلات غير المستعملة وتم طلاؤها بطبقة توصيلية رقيقة من الكرافيت الصمغي , وتم الحصول على الكرافيت الصمغي من محطة جنوب شرق الموصل (400kv) , إذ كانت الشركة المنفذة لهذه المحطة هي شركة ألتوم (ALSTOM) الفرنسية . والشكل (3-5) في يوضح الكرافيت الصمغي الذي تم الطلاء به .



الشكل(3-5) : الكرافيت الصمغي

وسنقارن بين أنواع الطلاء الثلاثة من النتائج التي تم الحصول عليها فننتعرف على أفضل أنواع مواد الطلاء والذي عند طلاء العينات به نحصل على نتائج دقيقة , وكذلك نتعرف على إيجابيات وسلبيات كل نوع من أنواع المواد الثلاثة (الألمنيوم المبخر , معجون الفضة , الكرافيت الصمغي) .

3 - 3 الغرض من طلاء العينات (The purpose from specimen coating):

كل الفحوصات تجرى على عينات مطلية من جهة واحدة , وهي الجهة التي تسلط عليها الفولتيات العالية (الجهة القريبة من قطب الضغط العالي) . ومن الصعوبة عمل طلاء للعازل من جهتين بسبب كون المسافة صغيرة (3mm)[التيفلون الحراري] بين حلقة الحماية وقطب الفولتية الواطئة. ويمكن إجراء القياسات على عينات غير مطلية ومقارنة النتائج مع النتائج التي تم الحصول عليها من إجراء القياسات على العينات المطلية . ومقاومة التوصيل تعطي تأثيراً ملحوظاً في قياسات التيار التوصيلي . والتيار التوصيلي في العينات غير المطلية يكون متقلباً وغير مستقر ويكون أقل قيمة من التيار التوصيلي في العينات المطلية .

ويمكن طلاء العينات بالألمنيوم المبخر أو بالفضة أو الجرافيت الصمغي , والطلاء بالألمنيوم يتم في الفراغ أما الطلاء بالفضة أو الجرافيت فكان تحت تأثير الضغط الجوي .

وفيما يأتي بعض الاستنتاجات بخصوص مواد الطلاء الثلاثة لأبحاث سابقة :

[Gustafson and Geddes] قاما بطلاء شريحة من عازل البولي أثيلين بطبقة من الجرافيت قبل إجراء فحوصات التفريغات الجزئية عليها وحصلوا على نتائج مقنعة . [26]

[Parkman] وجد أن ثمة اختلافاً بسيطاً عند طلاء العوازل بالألمنيوم المبخر مقارنة

مع الجرافيت في الفراغ .

[Lawson] وجد أنه تحت تأثير الضغط الجوي التيار التوصيلي المار بالعينات المطلية بالجرافيت الصمغي أعلى من التيار التوصيلي المار بالعينات المطلية بالألمنيوم في الفراغ .

التيار التوصيلي المار بالعينات غير المطلية يكون أعلى من التيار التوصيلي المار بالعينات المطلية بالجرافيت الصمغي , كما أن سمك طبقة الطلاء بالألمنيوم أقل بكثير من سمكها في الجرافيت , وكذلك تعطي اتصالاً أفضل بالعينة . [27]

[Fruth and Liptak] استعمال الفضة كمادة طلاء للعوازل (تحت الضغط الجوي بدرجة حرارة (20°C) قبل إجراء فحوصات التوصيلية الكهربائية عليه . [28]

[Al-Najjar] قام باستعمال معجون الفضة والألمنيوم المبخر كمادتي طلاء , فقد طلى العينات بالألمنيوم المبخر في الفراغ بطبقة توصيلية رقيقة (2µm) , كما أجرى الطلاء بالفضة تحت تأثير الضغط الجوي, واستنتج أن المادتين تعطيان توصيلاً جيداً مع سطح العينة , رغم أنه أُجرى الطلاء بالفضة بسمك أعلى من سمك مادة الألمنيوم . [1]

في هذا العمل تم استعمال مواد الطلاء الثلاثة (الألمنيوم المبخر , معجون الفضة , الكرافيت الصمغي) , وتم طلاء العوازل بالألمنيوم المبخر وتم إجراء الطلاء في الفراغ (8E-5 to 1E-4 mbar) وسمك الطبقة التي تم ترسيبها (1µm) أي (10000 Å) , وكذلك تم طلاء عينات أخرى بالفضة والكرافيت الصمغي تحت تأثير الضغط الجوي . ومن خلال النتائج التي تم الحصول عليها استنتجنا أن مواد الطلاء الثلاثة جيدة وتعطي التوصيل والالتصاق الجيد مع سطح العينة , ولكن أفضل أنواع الطلاء هو الطلاء بالألمنيوم المبخر لأنه يتم في الفراغ , فيتحصل من العوامل البيئية (ومنها الرطوبة) المحيطة التي تؤثر في عملية الالتصاق الجيد بسطح العينة فتؤثر في دقة القياس .

3 - 4 خلية الفحص (Test cell):

لإجراء القياسات الكهربائية (قياس التيار التوصيلي) على عوازل قابلووات البولي أنثيلين المتقاطع الأواصر عند درجات حرارية مختلفة ($60 \sim 90 \text{ }^\circ\text{C}$) , تم تصميم وبناء خلية فحص في إحدى الورش, وهي إسطوانة (can) تحتوي بداخلها على أقطاب كهربائية (H.V and L .V electrodes) ويلف حولها سخان (heater) كهربائي للحصول على درجة الحرارة المطلوبة , كما تم تركيب صمام تفريغ (Vacuum valve) لتتمكن من تفريغ الهواء من داخلها , وكذلك تحتوي على (vacuum gauge) لتتمكن من معرفة كمية الهواء المفرغ من داخل الخلية . وتكون هذه الخلية محكمة الغلق .

والشكل (3 - 6) يبين خلية الفحص التي تم تصميمها .



الشكل (3-6) : خلية الفحص

وتتكون خلية القياس من أربعة أجزاء رئيسية هي :

- منظومة الأقطاب الكهربائية .
- منظومة التسخين .
- صمام لتفريغ الهواء .

- جهاز قياس كمية الهواء المفرغ من داخل الخلية .

أولاً : منظومة الأقطاب الكهربائية :

تتكون هذه المنظومة من قطبين مصنوعين من مادة الفولاذ المقاوم للصدأ (stainless steel) , القطب العلوي (1) [الأرقام التي ستذكر تشير إلى رقم الجزء في الشكل (3-7)] ذو قطر (2cm) وطول (20cm) وقد تم وضعه داخل إسطوانة قطرها (5cm) مجوفة من الداخل بقطر (2cm) من مادة التيفلون العازلة (6) , أما القطب السفلي (2) فعلى شكل إسطوانة بقطر (1.5cm) وطول (10cm) , وقد تم وضع هذا القطب داخل إسطوانة مجوفة (3) قطرها (5cm) , وفصلا عن بعضهما بمادة عازلة (4) [وهي متعدد رباعي فلورو الأثيلين (P.T.F.E) أو التيفلون الحراري (Teflon) إذ يمتاز بمقاومته للمواد الكيميائية وخواصه العازلة ونقطة الانصهار له ($326.8 C^{\circ}$) كما تبلغ كثافته ($2.2 g/cm^3$) والصيغة الكيميائية له $(C_2F_4)_n$] للحصول على حلقة الحماية (Guard Ring) التي بها ينخلص من أهداب المجال الكهربائي الناتج من تسليط الفولتية على القطب العلوي . حلقة الحماية تؤرض من إحدى الجهات , والجهة الأخرى تحتوي على قطب (Probe) يربط به متحسس حراري لمعرفة درجة الحرارة داخل خلية القياس .

ومن أجل التأكد من أن العينة (Specimen)(5) الموضوعة بين القطبين في حالة تماس جيد تم جعل القطب العلوي متحركاً نحو الأعلى والأسفل فيؤدي إلى ضغط العينة بين القطبين , وهذا بالتأكد سيؤدي إلى أن تكون العينة في حالة تماس جيد مع القطبين , إذ يسلط قطب الفولتية العالية ضغطاً ميكانيكياً على العينة بمقدار ($201.64 g/cm^2$) وهذا الضغط ناتج من وزن قطب الفولتية العالية مع مادة التيفلون العازلة (1070g) [26] , وقد تم تثبيت القطبان بمادة التيفلون (6) كذلك لتجنب حدوث أي اتصال بينهما وبين جسم الخلية .

ثانيا : منظومة التسخين :

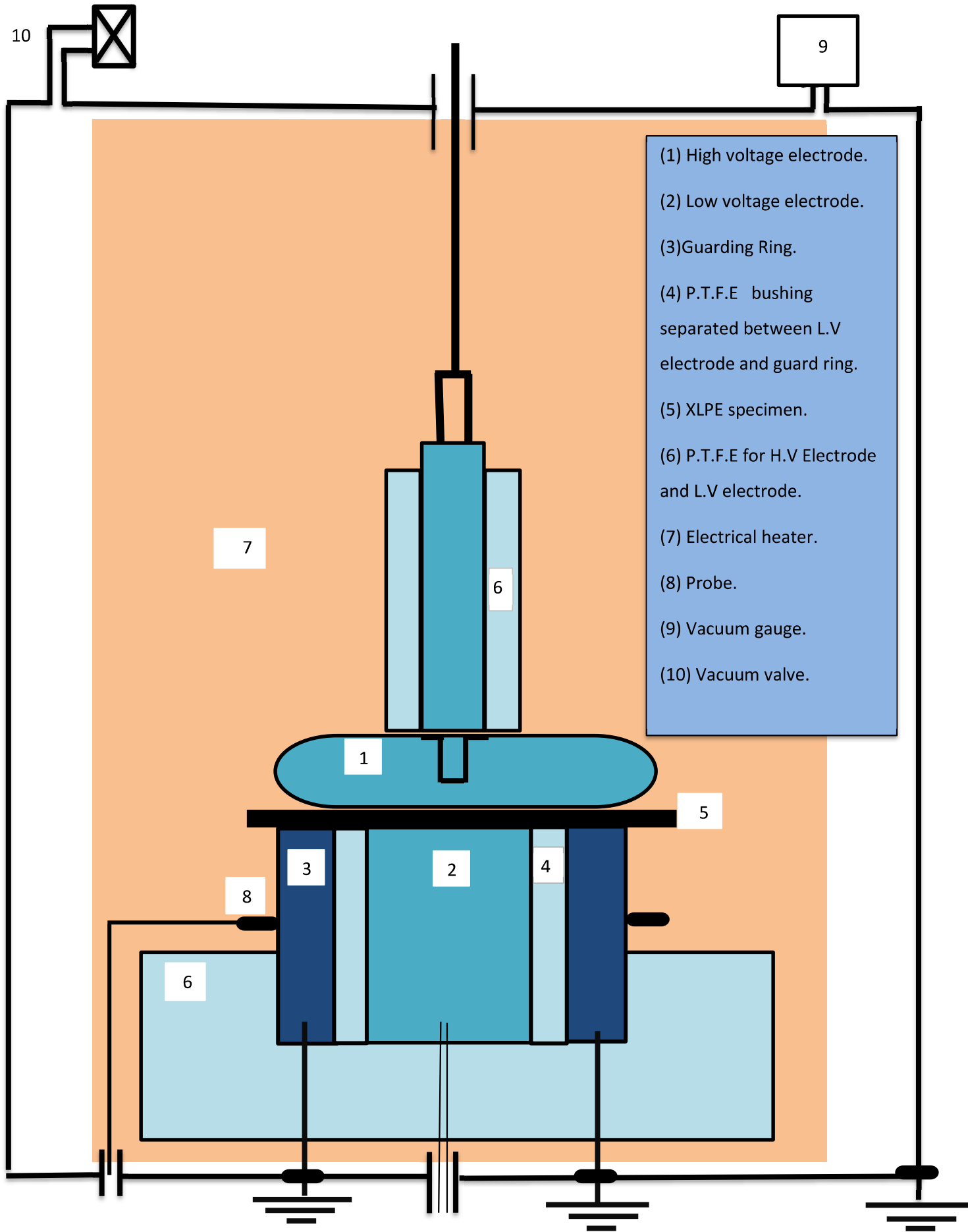
لأن هذه الدراسة تتطلب إجراء القياسات عند درجات حرارية مختلفة (60 ~ 90 °C) , تم تصميم نظام لتسخين العينة (7) في خلية القياس , تتكون منظومة التسخين من هيترات (عدد 2) ملفوفة حول خلية الفحص ، يربط طرفا الهيتر بمجهز قدرة متغير للتحكم والسيطرة على درجة الحرارة بالسيطرة على الفولتية , وتم ربط متحسس حراري بقطب (probe) (8) في حلقة الحماية القريبة من موقع العينة , ونستطيع قراءة درجة الحرارة عن طريق المسيطر الحراري الإلكتروني الذي يحتوي على شاشة رقمية , ومن أجل الحفاظ على درجة الحرارة مستقرة داخل خلية الفحص ومنع تشتيت الحرارة (heat dissipation) الذي قد يؤدي إلى عدم دقة القياس تم وضع الخلية داخل فلينة مبطنه من الداخل بالصوف الزجاجي الذي يمتاز بالعزل , الإيصال القليل للحرارة , فضلا عن أنه غير قابل للاشتعال , والإيصال الحراري للصوف الزجاجي يتراوح (0.043 ~ 0.078 watt/m . C°) عند درجات الحرارة (50 ~ 200 C°) .

ثالثا : صمام تفريغ الهواء :

وضع صمام تفريغ (9) في أعلى الخلية لأجل ربط جهاز التفريغ (Oil rotary vacuum pump) به وتفريغ الخلية من الهواء .

رابعا :جهاز قياس كمية الهواء المفرغ من داخل الخلية :

جهاز رقمي يقيس كمية الهواء المفرغ من داخل خلية الفحص , ويعمل بمدى من (15 ~ 12000 microns) أي من (0.015 ~ 12 Torr) , وللمحافظة على هذا الجهاز يجب أن يوضع في محيط درجة حرارته (32~122 F°) أي (0~50 C°) , ولذلك ربط بعيدا من الهيتر الكهربائي , ويجهز من مصدر بطارية (9 volt) .



الشكل (3 - 7) : تركيب خلية الفحص

3 - 5 الأجهزة المختبرية الأخرى التي تم أستعمالها : فيما يأتي استعراض للأجهزة المختبرية وهي:

3-5-1 جهاز قياس التيار التوصيلي :

تم إجراء قياسات التيار التوصيلي باستعمال (low range digital Pico ammeter) (MODEL 6485) من شركة (KEITHLEY) , ويحتوي على ثمانية تدريجات (20 mA , 2 mA , 200 μ A , 20 μ A , 2 μ A , 200 nA , 20 nA , 2 nA) وهذا يعني أن مدى التيار هو (20 nA ~ 20mA).

ومن المهم جداً أن تكون قراءة الأميتر مستقرة , والتقلبات (fluctuations) المستمرة في قراءة الأميتر تجعل القياس صعباً جداً , وهذا يحدث عندما يكون طرف الأميتر السالب (Negative terminal) غير مؤرض , وكل قياسات التيار التوصيلي تم إجراؤها والطرف السالب للأميتر مربوطاً بالأرضي , وهذا يجعل الشحنات الفراغية غير المرغوب بها تنسرب إلى الأرضي ولا تؤثر في دقة قراءة الأميتر. وتم ربط الطرف الموجب له بقطب الفولتية الواطئة في خلية الفحص لمعرفة التيار المار من قطب الفولتية العالية وعبر العينة . والشكل (8-3) يوضح صورة فوتوغرافية لهذا الجهاز.



الشكل(8-3) : جهاز البيكو أميتر (MODEL 6485)

2-5-3 جهاز الفولتية العالية المستمرة (High voltage DC supply):

أعلى فولتية إخراج لهذا الجهاز (40kv) , ويستعمل لتجهيز الفولتية والحصول على الإجهاد المطلوب . وتم ربط طرف الفولتية العالية لقطب الجهد العالي في خلية القياس ، و يربط الطرف الآخر له بالأرضي .

وبالإمكان التحكم بفولتية الإخراج بـ (Selector switch) مربوط داخليا مع الجهاز , ويحتوي أيضا على فولتميتر لقياس الفولتية الخارجة .

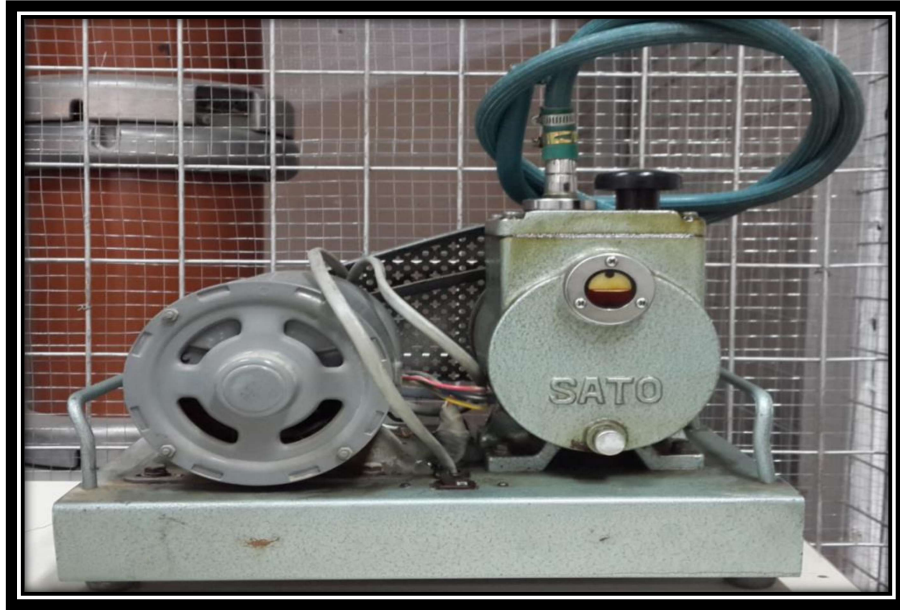
جهاز الفولتية يجب أن يكون ذو استقرارية عالية , لأن أي تقلبات في فولتية الإخراج قد تؤدي إلى مرور تيار شحن عال عبر العينة . والشكل (9-3) يوضح صورة لمجهاز الفولتية العالية (40KV) .



الشكل (9-3) : جهاز الفولتية العالية (40kv) (DC)

3-5-3 جهاز تفريغ الهواء (Oil rotary vacuum pump):

لإجراء القياسات المطلوبة ولتكون العينة في أجواء مثالية يجب أن تكون خلية الفحص مفرغة من الهواء , وباستعمال هذا الجهاز تم التفريغ إلى (0.05 Torr) . والشكل (10-3) يوضح صورة لهذا الجهاز .



الشكل (10-3) : جهاز تفريغ الهواء

3- 5- 4 المتحسس الحراري :

هو سلك معزول يحتوي في إحدى أطرافه على المتحسس (sensor) , والطرف الآخر يحتوي على تفرعين (موجب وسالب) , تم ربط جهة المتحسس بقطب (Probe) موجود في داخل خلية الفحص , لمعرفة الحرارة داخل هذه الخلية , والطرفان الموجب والسالب ربطا بـ (electronic temperature controller) , والشكل (11-3) يوضح صورة للمتحسس الحراري الذي تم استعماله .



الشكل (11-3) : المتحسس الحراري

3- 5- 5 المسيطر الحراري الإلكتروني (electronic temperature controller):

تم أستعمال المسيطر الحراري الإلكتروني الموضحة صورته في الشكل (3-12) (MODEL CMJTC-905), وهو يعمل بمدى (0~400 °C) وبتردد (50/60Hz) وبفولتية متناوبة (220 Volt), تم ربط جهة المتحسس الحراري التي تحتوي على تفرعين (موجب وسالب) بالمسيطر الحراري الإلكتروني, ولكن في هذا العمل لم يتم التحكم في درجة الحرارة بهذا المسيطر, بل استعمل كشاشة رقمية فقط (digital display) نستطيع منها قراءة درجة الحرارة المستلمة من المتحسس الحراري, وتم التحكم في درجة الحرارة بـ (auto transformer) المربوطة مباشرة بالهيتز الكهربائي.



الشكل (3-12) : المسيطر الحراري الإلكتروني

3- 5- 6 محولة متغيرة (Auto transformer) او (Variac):

استعملت محولة متغيرة من نوع (FATO) وهي موضحة في الشكل (3-13) وتعمل بمدى فولتية (0~250 Volt), وتم ربط جهة الادخال بمصدر فولتية متناوبة (220 volt), وتم ربط جهة الإخراج بأطراف الهيتز الكهربائي حتى تتمكن من التحكم في درجة الحرارة داخل خلية القياس.



الشكل (13-3) : (auto transformer)

3-5-7 آلة قياس سمك شرائح العازل (Digital Vernia) أو (Slide Gauge):

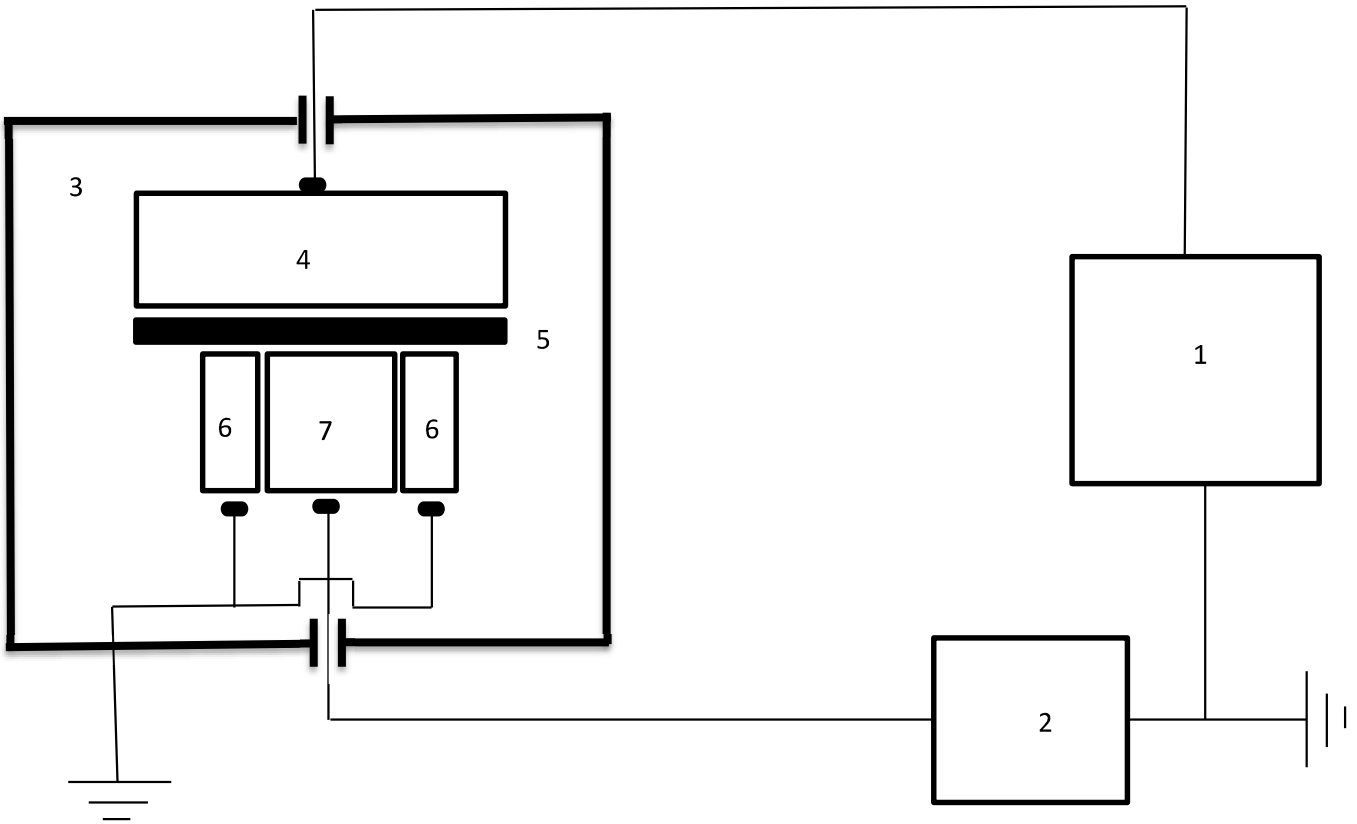
استعملت هذه الآلة لقياس سمك شرائح العازل التي تم إجراء الفحوصات عليها , هذه الآلة تعمل بمدى (0~150mm) , والشكل (14-3) يوضح صورة لهذه الآلة .



الشكل (14-3) : آلة قياس سمك العينة

6-3 منهجية القياس (Test methodology):

وضعت العينة (شريحة العازل) التي طليت بطبقة رقيقة من الألمنيوم المبخر أو الفضة أو الكرافيت الصمغي بين قطب الفولتية العالية وقطب الفولتية الواطئة داخل خلية الفحص [حيث كان الفحص (Uniform)(Electrode-Electrode)] وقطب الضغط العالي يسلمت فولتية مستمرة على العينة وتم يقاس التيار التوصيلي المار عبر هذه العينة , كما هو موضح في الشكل (3- 15) . والشكل (3- 16) يوضح الدائرة العملية



الشكل (3 - 15) : الدائرة الكهربائية المستعملة

- | | |
|-----------------------------|-----------------------------|
| (1) High voltage DC supply. | (2) Low range Pico ammeter |
| (3) Electric heater. | (4) High voltage electrode. |
| (5) XLPE specim | (6)Guard ring . |
| (7)Low voltage electrode. | |



الشكل (3 - 16) : الدائرة العملية

الفصل الرابع

الفصل الرابع

النتائج العملية

EXPERIMENTAL RESULTS

4-1 التيار التوصيلي (Conduction Current):

في لحظة تسليط المجال الكهربائي يرتفع التيار التوصيلي (التيار التسريبي) إلى أعلى قيمة له (Highest value) ثم يبدأ بالهبوط تدريجياً إلى أن يصل إلى حالة الاستقرار بعد مرور زمن معين . هذا التيار العابر يمكن تمثيله بالعلاقة التقريبية الآتية : [27]

$$I_c (t) = A. t^{-n} \dots\dots\dots (4-1)$$

إذ إن :

(I_c) : تيار الشحن (Ampere) .

(A): ثابت يعتمد على الإجهاد الكهربائي ودرجة الحرارة .

(n) : قيمتها (0.27~ 0.7) عند الإجهادات الكهربائية (10 ~ 40 Kv/mm) .

وتبين الأشكال (4-1 ~ 4-4) خصائص (التيار التوصيلي- الزمن) لعينات مستعملة وغير مستعملة من عوازل قابلوات البولي أثيلين المتقاطع الأواصر (XLPE) , ويلاحظ بعد مرور أكثر من ساعتين (2Hours) من بدء إجراء الفحوصات , أنه بقي التيار التوصيلي مستمراً في الهبوط , وكانت قيم الإجهادات الكهربائية المسلطة (10 ~ 25 Kv/mm) ودرجات الحرارة (60 ~ 90 C°) .

ولوحظ أن نسبة الهبوط في التيار التوصيلي تقل مع مرور الوقت إلى أن يصل إلى الحالة المستقرة للتيار التوصيلي . وتم حساب الإجهاد الكهربائي (E) باستخدام العلاقة الآتية :

$$E = V/d \dots\dots\dots(4-2)$$

إذ إن :

(E) : الإجهاد الكهربائي (Kv/mm) .

(V) : الفولتية المسلطة (Kv) .

(d) : المسافة بين قطب الضغط العالي وقطب الضغط الواطئ (أو سمك العينة)(mm) .

تعطي النتائج المبينة في الأشكال (4-1 ~ 4-4) مقارنة بين التيار التوصيلي المار عبر عينات عوازل البولي أثيلين المتقاطع الأواصر المستعملة وغير المستعملة . وكما هو موضح إن التيار التوصيلي المار عبر عينات عوازل البولي أثيلين المتقاطع الأواصر المستعملة ذو قيمة أعلى من قيمة التيار التوصيلي المار عبر عينات عوازل البولي أثيلين المتقاطع الأواصر غير المستعملة للإجهادات الكهربائية نفسها ودرجات الحرارة , وهذه الزيادة في التيار التوصيلي (التيار التسريبي) تشير إلى التغيرات في خصائص أو في تركيبية العازل بعد مرور من وضعه في الخدمة الفعلية .

وكما هو مبين في الأشكال (4-1 , 4-2 , 4-3 , 4-4) التيار التوصيلي عبر عينات العوازل المستعملة يميل للوصول الى حالة الاستقرار أسرع من التيار التوصيلي المار عبر العينات غير المستعملة .

الجدول (4-1) : يوضح قيم التيار التوصيلي لعينات مستعملة وغير مستعملة من عوازل البولي أثيلين المتقاطع الأواصر عند ثبوت الإجهاد الكهربائي المسلط عند (10Kv/mm) وتغير درجات الحرارة (60 ~ 90 C°) في مدة زمنية قدرها ساعتان (2Hours).

Applied voltage (5 Kv)		Thickness of specimens (0.5mm)		Applied stress (10Kv/mm)	
Specimens	Temperature (60 C°)	Temperature (70 C°)	Temperature (80 C°)	Temperature (90 C°)	Time (min)
	Conduction current (A)	Conduction current (A)	Conduction current (A)	Conduction current (A)	
Used	500*10 ⁻⁹	530*10 ⁻⁹	565*10 ⁻⁹	589*10 ⁻⁹	5
	490*10 ⁻⁹	520*10 ⁻⁹	550*10 ⁻⁹	568*10 ⁻⁹	30
	479*10 ⁻⁹	509*10 ⁻⁹	541*10 ⁻⁹	552*10 ⁻⁹	60
	468*10 ⁻⁹	495*10 ⁻⁹	529*10 ⁻⁹	540*10 ⁻⁹	90
	460*10⁻⁹	490*10⁻⁹	515*10⁻⁹	531*10⁻⁹	120
Unused	470*10 ⁻⁹	490*10 ⁻⁹	500*10 ⁻⁹	537*10 ⁻⁹	5
	462*10 ⁻⁹	483*10 ⁻⁹	495*10 ⁻⁹	522*10 ⁻⁹	30
	448*10 ⁻⁹	471*10 ⁻⁹	482*10 ⁻⁹	515*10 ⁻⁹	60
	436*10 ⁻⁹	460*10 ⁻⁹	476*10 ⁻⁹	495*10 ⁻⁹	90
	425*10⁻⁹	455*10⁻⁹	465*10⁻⁹	482*10⁻⁹	120

الجدول (4- 2) : يوضح قيم التيار التوصيلي لعينات مستعملة وغير مستعملة من عوازل البولي أثيلين المتقاطع الأواصر عند ثبوت الإجهاد الكهربائي المسلط عند (15Kv/mm) وتغير درجات الحرارة (60 ~ 90 C°) في مدة زمنية قدرها ساعتان (2Hours) .

Applied voltage (7.5Kv)		Thickness of specimens (0.5mm)		Applied stress (15Kv/mm)	
Specimens	Temperature (60 C°)	Temperature (70 C°)	Temperature (80 C°)	Temperature (90 C°)	Time (min)
	Conduction current (A)	Conduction current (A)	Conduction current (A)	Conduction current (A)	
Used	572*10 ⁻⁹	599*10 ⁻⁹	630*10 ⁻⁹	690*10 ⁻⁹	5
	551*10 ⁻⁹	587*10 ⁻⁹	615*10 ⁻⁹	675*10 ⁻⁹	30
	542*10 ⁻⁹	572*10 ⁻⁹	601*10 ⁻⁹	660*10 ⁻⁹	60
	530*10 ⁻⁹	555*10 ⁻⁹	585*10 ⁻⁹	632*10 ⁻⁹	90
	501*10⁻⁹	537*10⁻⁹	568*10⁻⁹	617*10⁻⁹	120
Unused	533*10 ⁻⁹	558*10 ⁻⁹	583*10 ⁻⁹	634*10 ⁻⁹	5
	521*10 ⁻⁹	549*10 ⁻⁹	571*10 ⁻⁹	602*10 ⁻⁹	30
	501*10 ⁻⁹	522*10 ⁻⁹	553*10 ⁻⁹	578*10 ⁻⁹	60
	488*10 ⁻⁹	509*10 ⁻⁹	531*10 ⁻⁹	561*10 ⁻⁹	90
	476*10⁻⁹	495*10⁻⁹	520*10⁻⁹	545*10⁻⁹	120

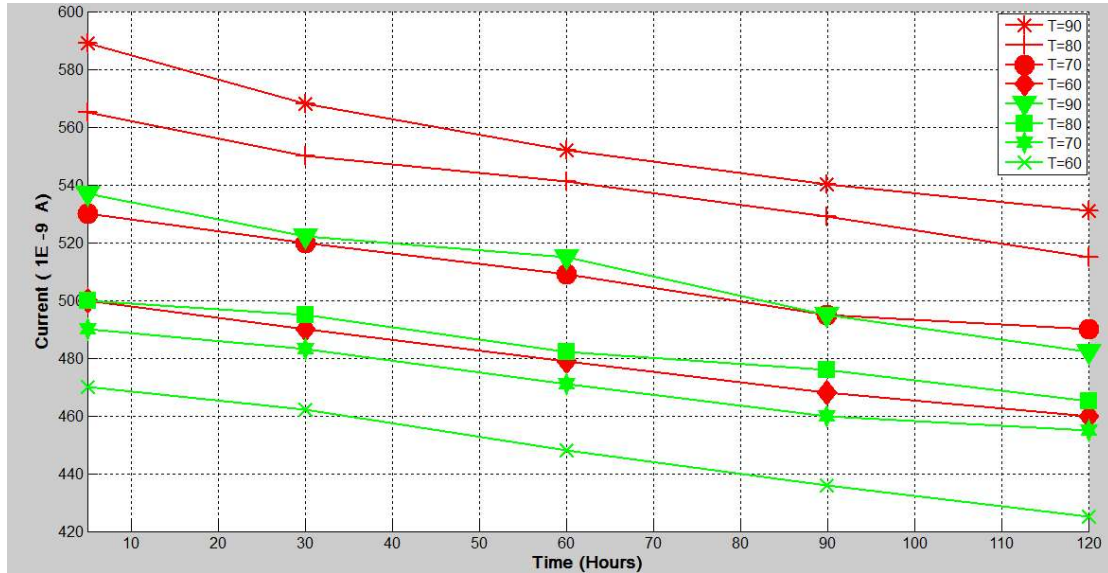
الجدول (4- 3) : يوضح قيم التيار التوصيلي لعينات مستعملة وغير مستعملة من عوازل البولي أثيلين المتقاطع الأواصر عند ثبوت الإجهاد الكهربائي المسلط عند (20 Kv/mm) وتغير درجات الحرارة (60 ~ 90 C°) في مدة زمنية قدرها ساعتان (2Hours).

Applied voltage (10Kv)		Thickness of specimens (0.5mm)			Applied stress (20Kv/mm)	
Specimens	Temperature (60 C°)	Temperature (70 C°)	Temperature (80 C°)	Temperature (90 C°)	Time (min)	
	Conduction current (A)	Conduction current (A)	Conduction current (A)	Conduction current (A)		
Used	660*10 ⁻⁹	766*10 ⁻⁹	801*10 ⁻⁹	888*10 ⁻⁹	5	
	638*10 ⁻⁹	701*10 ⁻⁹	780*10 ⁻⁹	862*10 ⁻⁹	30	
	617*10 ⁻⁹	690*10 ⁻⁹	722*10 ⁻⁹	811*10 ⁻⁹	60	
	590*10 ⁻⁹	672*10 ⁻⁹	692*10 ⁻⁹	760*10 ⁻⁹	90	
	575*10⁻⁹	641*10⁻⁹	668*10⁻⁹	701*10⁻⁹	120	
Unused	610*10 ⁻⁹	680*10 ⁻⁹	720*10 ⁻⁹	770*10 ⁻⁹	5	
	575*10 ⁻⁹	658*10 ⁻⁹	690*10 ⁻⁹	745*10 ⁻⁹	30	
	552*10 ⁻⁹	630*10 ⁻⁹	655*10 ⁻⁹	720*10 ⁻⁹	60	
	531*10 ⁻⁹	601*10 ⁻⁹	625*10 ⁻⁹	680*10 ⁻⁹	90	
	512*10⁻⁹	580*10⁻⁹	601*10⁻⁹	644*10⁻⁹	120	

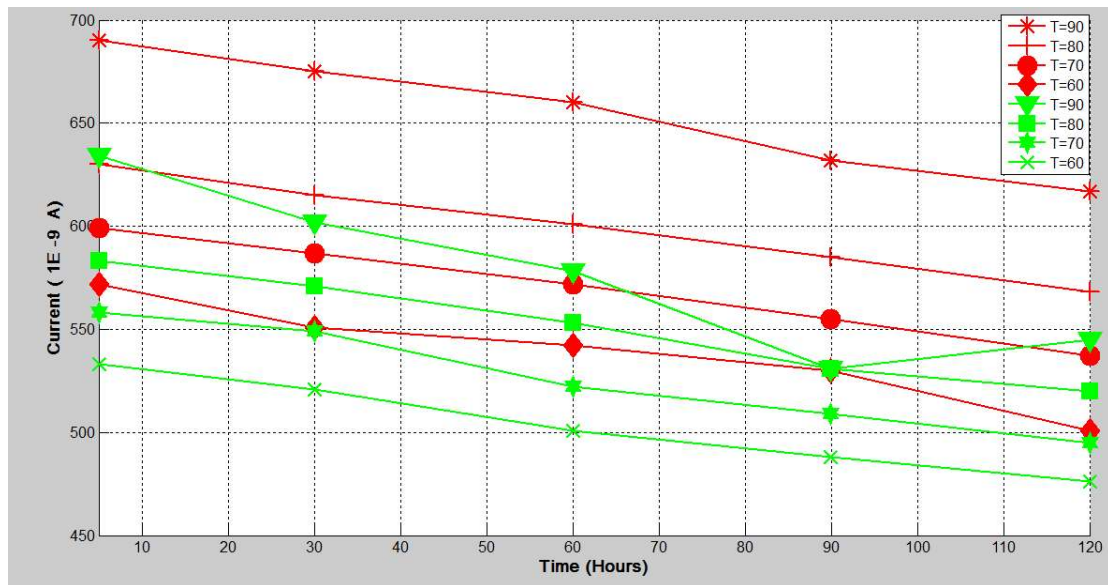
الجدول (4 - 4) : يوضح قيم التيار التوصيلي لعينات مستعملة وغير مستعملة من عوازل البولي أثيلين المتقاطع الأواصر عند ثبوت الإجهاد الكهربائي المسلط عند (25Kv/mm) وتغير درجات الحرارة ($60 \sim 90 C^{\circ}$) في مدة زمنية قدرها ساعتان (2Hours).

Applied voltage (12.5Kv)		Thickness of specimens (0.5mm)			Applied stress (25Kv/mm)	
Specimens	Temperature ($60 C^{\circ}$)	Temperature ($70 C^{\circ}$)	Temperature ($80 C^{\circ}$)	Temperature ($90 C^{\circ}$)	Time (min)	
	Conduction current (A)	Conduction current (A)	Conduction current (A)	Conduction current (A)		
Used	$740 \cdot 10^{-9}$	$798 \cdot 10^{-9}$	$877 \cdot 10^{-9}$	$960 \cdot 10^{-9}$	5	
	$712 \cdot 10^{-9}$	$762 \cdot 10^{-9}$	$834 \cdot 10^{-9}$	$915 \cdot 10^{-9}$	30	
	$680 \cdot 10^{-9}$	$727 \cdot 10^{-9}$	$798 \cdot 10^{-9}$	$885 \cdot 10^{-9}$	60	
	$645 \cdot 10^{-9}$	$695 \cdot 10^{-9}$	$732 \cdot 10^{-9}$	$795 \cdot 10^{-9}$	90	
	$590 \cdot 10^{-9}$	$632 \cdot 10^{-9}$	$690 \cdot 10^{-9}$	$752 \cdot 10^{-9}$	120	
Unused	$711 \cdot 10^{-9}$	$777 \cdot 10^{-9}$	$850 \cdot 10^{-9}$	$944 \cdot 10^{-9}$	5	
	$688 \cdot 10^{-9}$	$722 \cdot 10^{-9}$	$809 \cdot 10^{-9}$	$901 \cdot 10^{-9}$	30	
	$634 \cdot 10^{-9}$	$689 \cdot 10^{-9}$	$769 \cdot 10^{-9}$	$822 \cdot 10^{-9}$	60	
	$590 \cdot 10^{-9}$	$620 \cdot 10^{-9}$	$697 \cdot 10^{-9}$	$759 \cdot 10^{-9}$	90	
	$512 \cdot 10^{-9}$	$572 \cdot 10^{-9}$	$613 \cdot 10^{-9}$	$698 \cdot 10^{-9}$	120	

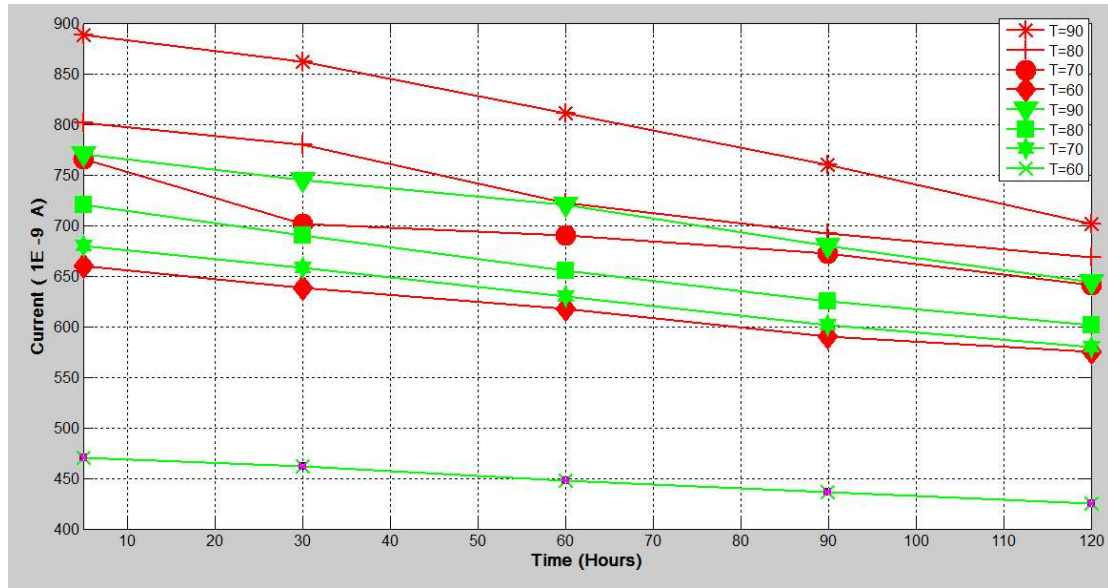
ملاحظة :- بالنسبة للأشكال المدرجة الآتية , اللون الأحمر يشير إلى قيمة التيار التوصيلي للعوازل المستعملة , واللون الأخضر يشير إلى قيمة التيار التوصيلي للعوازل غير المستعملة .



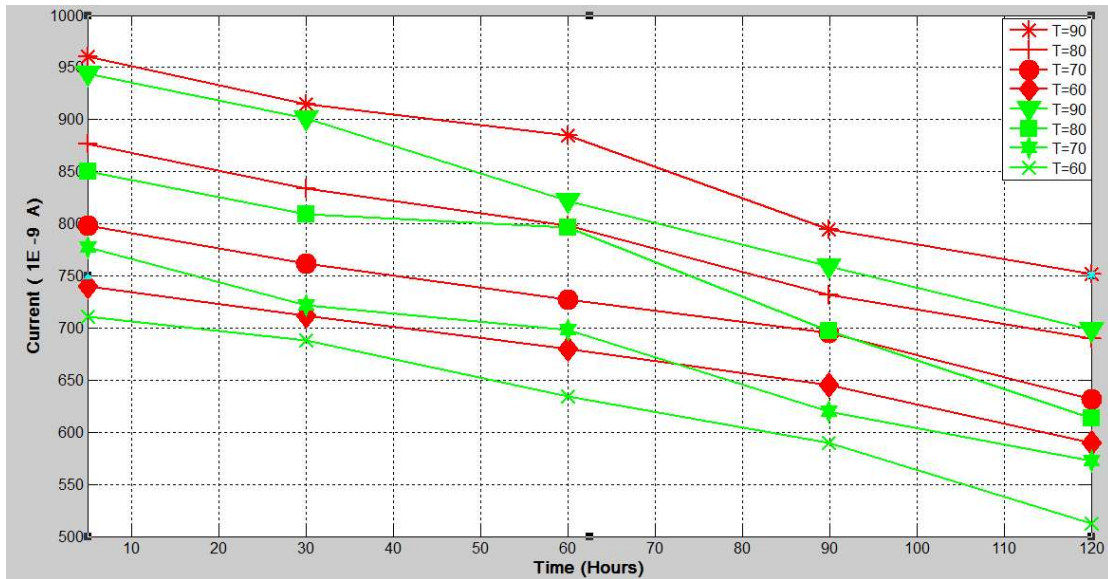
الشكل (4 - 1) : يبين خصائص (التيار التوصيلي - الزمن) لعينات مستعملة وغير مستعملة من عوازل البولي أثيلين المتقاطع الأواصر .



الشكل (4 - 2) : يبين خصائص (التيار التوصيلي - الزمن) لعينات مستعملة وغير مستعملة من عوازل البولي أثيلين المتقاطع الأواصر .



الشكل (3-4) : يبين خصائص (التيار التوصيلي – الزمن) لعينات مستعملة وغير مستعملة من عوازل البولي أثيلين المتقاطع الأواصر.



الشكل (4 - 4) : يبين خصائص (التيار التوصيلي – الزمن) لعينات مستعملة وغير مستعملة من عوازل البولي أثيلين المتقاطع الأواصر.

2-4 المقاومة بعد مرور ساعتين (Resistivity after two hours):

التيار التوصيلي المار عبر عينات عوازل البولي أثيلين المتقاطع الأواصر تحت تأثير الفولتيات المستمرة يحتاج إلى وقت طويل جدا للوصول إلى حالته المستقرة (steady state) (قد يصل إلى بضعة أيام) . ومن الصعوبة أن يتم الوصول إلى الحالة المستقرة للتيار التوصيلي أثناء المدى الكلي للإجهادات المسلطة (10~25 Kv/mm) و في كل درجات الحرارة (60 ~ 90 °C) , و لذلك من المستحيل أن توجد القيمة الفعلية للمقاومية بدون الوصول إلى الحالة المستقرة للتيار التوصيلي , ولذلك تم حساب المقاومة بعد مرور ساعتين من بدء إجراء القياس (أي حسبت المقاومة عند آخر قيمة وصل إليها التيار التوصيلي , أي بعد مرور ساعتين على بدء إجراء القياسات، وبعبارة أخرى نستطيع القول إنه تم حساب المقاومة عند قيمة الاستقرار الافتراضية للتيار التوصيلي) بالاعتماد على العلاقة (4-5) . [29]

$$\rho = [(R * A) / L] \dots\dots\dots (4-3)$$

إذ إن :

ρ : المقاومة (Resistivity) ($\Omega \cdot \text{cm}$).

A : مساحة المقطع العرضي لقطب الضغط العالي (cm^2).

L : المسافة بين قطب الضغط العالي و قطب الضغط الواطئ (أو سمك شريحة العازل) (cm).

R : المقاومة (Ohm) (Ω).

$$R \text{ (Resistance)} = [(V / I_c)] \dots\dots\dots (4-4)$$

إذ إن :

V: الفولتية المسلطة (Volt).

I_c: التيار التوصيلي أو التيار التسريبي (Ampere).

وبتعويض معادلة (4-4) في معادلة (4-3) نحصل على : [29]

$$\rho = [(V * A) / (L * I_c)] \dots\dots\dots (4-5)$$

ومن النتائج التي تم الحصول عليها تم المقارنة بين عينات عوازل البولي أثيلين المتقاطع الأواصر المستعملة مع العينات غير المستعملة , وكما هو موضح في الشكل (5-4) المقاومة لعازل البولي أثيلين المتقاطع الأواصر تعتمد على الإجهاد ودرجة الحرارة ويبين الشكل (5-4) أن المقاومة لعازل البولي أثيلين المتقاطع الأواصر تقل عند ارتفاع درجة الحرارة وتزداد عندما تنخفض درجة الحرارة .

ويوضح الشكل (5-4) أن سلوك المقاومة لعوازل البولي أثيلين المتقاطع الأواصر كعلاقة مع الإجهاد وتغيير درجة الحرارة يعطي انخفاضاً تدريجياً مع تقدم العمر في قيمة المقاومة للعوازل المستعملة .

الجدول (4 - 5) : يوضح قيم المقاومة لعينات مستعملة وغير مستعملة من عوازل البولي أثيلين المتقاطع الأواصر عند درجات الحرارة (60~90 C°) والإجهادات (10 ~25Kv/mm) , وقد حسبت المقاومة بالاعتماد على حالة الاستقرار للتيار التوصيلي في الجداول (4-1,4-2,4-3,4-4) وبتطبيق المعادلة (4-5) .

Types of specimen	ρ at stress (10 Kv/mm)	ρ at stress (15 Kv/mm)	ρ at stress (20 Kv/mm)	ρ at stress (25 Kv/mm)	Resistivity ($\Omega.cm$) Temperature ($^{\circ}C$)
Unused	94.117*10 ¹⁴	126.05*10 ¹⁴	156.25*10 ¹⁴	195.312 *10 ¹⁴	60
	87.912*10 ¹⁴	121.212*10 ¹⁴	137.931*10 ¹⁴	174.825*10 ¹⁴	70
	86.021*10 ¹⁴	115.384*10 ¹⁴	133.111*10 ¹⁴	163.132*10 ¹⁴	80
	82.987*10 ¹⁴	110.091*10 ¹⁴	124.223*10 ¹⁴	143.266*10 ¹⁴	90
Used	86.956*10 ¹⁴	119.76*10 ¹⁴	139.13*10 ¹⁴	169.491*10 ¹⁴	60
	81.632*10 ¹⁴	111.731*10 ¹⁴	124.804*10 ¹⁴	158.227*10 ¹⁴	70
	77.669*10 ¹⁴	105.633*10 ¹⁴	119.76*10 ¹⁴	144.927*10 ¹⁴	80
	75.329*10 ¹⁴	97.244*10 ¹⁴	114.122*10 ¹⁴	132.978*10 ¹⁴	90

3-4 تأثير الإجهاد الكهربائي ودرجة الحرارة في مقاومة العازل:

العلاقة التقريبية الآتية توضح اعتماد المقاومة على الإجهاد الكهربائي ودرجة الحرارة : [27]

$$\rho (T, E) = \rho_0 e^{-(\alpha T + \beta E)} \dots \dots \dots (4-6)$$

إذ إن :

ρ : مقاومة العازل ($\Omega.cm$).

ρ_0 : المقاومة (عند درجة حرارة مرجعية (reference) وإجهاد منخفض) ($\Omega.cm$).

T : درجة الحرارة (C°).

E : الإجهاد الكهربائي (Kv/mm).

α : معامل التوصيل الحراري ($1/C^\circ$).

β : معامل الإجهاد الكهربائي (mm/KV).

4-4 تأثير العمر في خصائص (المقاومية - درجة الحرارة) :

: (Aging effect on resistivity- temperature characteristics)

يبين الشكل (4-5) أنه عند ثبوت الإجهاد الكهربائي المسلط تقل المقاومة لعازل البولي أنيلين المتقاطع الأواصر عندما تزداد درجة الحرارة , والمقاومية لعازل البولي أنيلين المتقاطع الأواصر تقل تدريجياً بعد مرور زمن معين من الخدمة الفعلية تحت ظروف العمل , وخصائص (المقاومية - درجة الحرارة) تكون خطية تقريباً عبر المدى الكلي لدرجة الحرارة ($60 \sim 90^\circ C$) , وهذا يخضع للعلاقة التقريبية الآتية : [27]

$$\text{Log } \rho = K_1 + \alpha T \quad \dots\dots\dots (4-7)$$

إذ إن :-

α : معامل التوصيل الحراري ($1/C^\circ$).

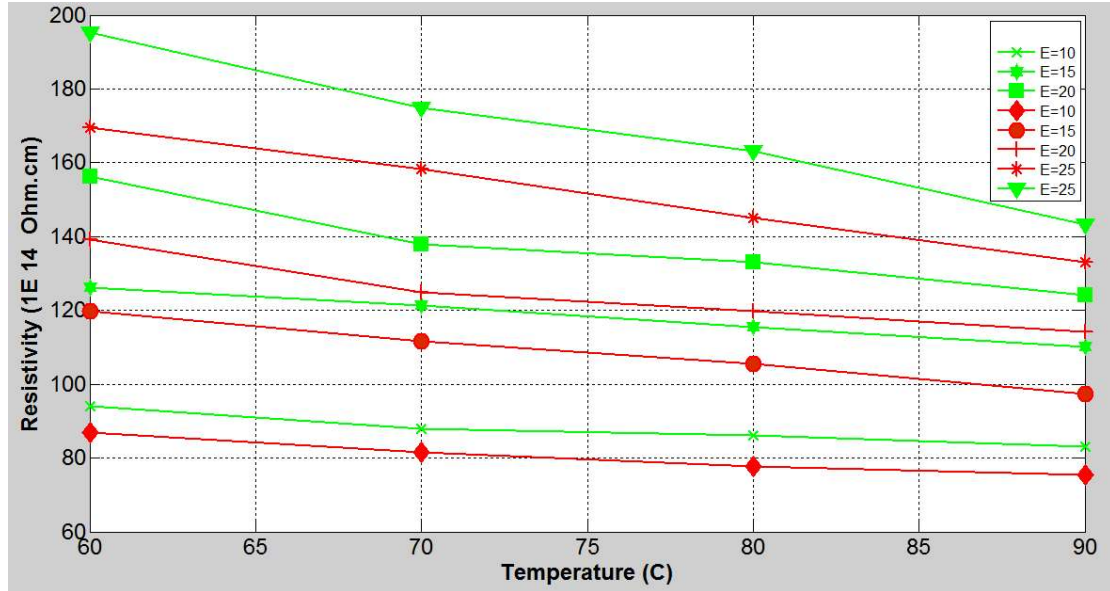
K_1 : ثابت يعتمد على الإجهاد الكهربائي المسلط.

T: درجة الحرارة (Temperature) (°C).

ρ : المقاومة (Resistivity) ($\Omega \cdot \text{cm}$).

وبالاعتماد على الشكل (4-5) والعلاقة (4-6) المبينة يمكن حساب معامل التوصيل الحراري (α) لعينات عوازل البولي أثيلين المتقاطع الأواصر المستعملة وغير المستعملة , ومعرفة تأثير العمر في هذه المعاملات .

ملاحظة :- بالنسبة للشكل ادناه , اللون الأحمر فيه يشير إلى قيمة المقاومة للعوازل المستعملة واللون الأخضر يشير إلى قيمة المقاومة للعوازل غير المستعملة .



الشكل (4-5) : خصائص (المقاومة – درجة الحرارة) لعينات مستعملة وغير مستعملة من عوازل البولي أثيلين المتقاطع الأواصر.

يبين الجدول (6-4) قيم معامل التوصيل الحراري لعينات غير مستعملة من عوازل البولي أثيلين المتقاطع الأواصر.

$\alpha(1/^\circ\text{C})$	Stress(E)(Kv/mm)	$\rho_0 (\Omega.\text{cm})$ at $T=60^\circ\text{C}$
0.00209	10	$94.117 \cdot 10^{14}$
0.00225	15	$126.05 \cdot 10^{14}$
0.00382	20	$156.25 \cdot 10^{14}$
0.00516	25	$195.312 \cdot 10^{14}$

الجدول (6-4) : معامل التوصيل الحراري لعينات غير مستعملة من عوازل (XLPE).

ويبين الجدول (7-4) قيم معامل التوصيل الحراري لعينات مستعملة من عوازل البولي أثيلين المتقاطع الأواصر .

$\alpha(1/^\circ\text{C})$	Stress(E)(Kv/mm)	$\rho_0 (\Omega.\text{cm})$ at $T=60^\circ\text{C}$
0.00239	10	$86.956 \cdot 10^{14}$
0.00331	15	$119.76 \cdot 10^{14}$
0.00347	20	$139.13 \cdot 10^{14}$
0.00404	25	$169.491 \cdot 10^{14}$

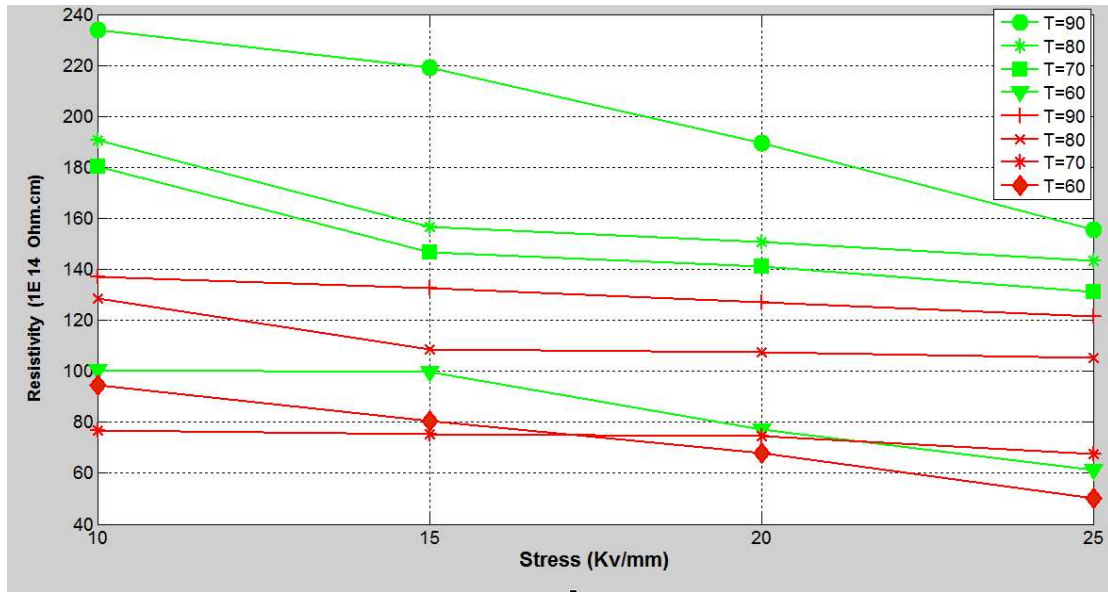
الجدول (7-4) : معامل التوصيل الحراري لعينات مستعملة من عوازل (XLPE).

وبأخذ قيم متغيرة من الإجهاد الكهربائي (10 ~ 25 Kv/mm) عند درجة حرارة ثابتة (60°C) , يلاحظ أن معامل التوصيل الحراري (α) يزداد مع زيادة الإجهاد الكهربائي المسلط (E) , وأن قيم معامل التوصيل الحراري للعينات المستعملة أكبر من قيم معامل التوصيل الحراري للعينات غير المستعملة , وهذا بسبب تأثير العمر في العوازل المستعملة .

4-6 تأثير العمر في خصائص (المقاومية – الإجهاد الكهربائي) :

(Aging effect on resistivity- stress characteristics)

يشير الشكل (6-4) إلى أن المقاومة لعازل البولي أثيلين المتقاطع الأواصر تقل مع زيادة الإجهاد الكهربائي المسلط , وتقل المقاومة لعازل البولي أثيلين المتقاطع الأواصر بعد مرور زمن معين من الخدمة الفعلية لقابلو الضغط العالي , وهذا يشير إلى تأثير العمر في هذه العوازل



الشكل (6-4) : خصائص (المقاومة – الإجهاد) لعينات مستعملة وغير مستعملة من عوازل البولي أثيلين المتقاطع الأواصر .

إن العلاقة بين (Log ρ) مع المجال الكهربائي المسلط (E) خطية تقريبا في المدى الكلي للإجهاد (10~25Kv/mm) . و خصائص (المقاومة – الإجهاد) مبينة في المعادلة الآتية وهي معادلة بول الأولى (first poole formula) : [27]

$$\text{Log } \rho = K_2 + \beta E \quad \dots \dots \dots (4-8)$$

إذ إن :-

β : معامل الإجهاد الكهربائي (mm/Kv).

K_2 : ثابت يعتمد على درجة حرارة العازل.

E : الإجهاد الكهربائي (Kv/mm).

ρ : المقاومة (Resistivity) ($\Omega.cm$).

ولمعرفة تأثير العمر في معامل الإجهاد الكهربائي , تم حساب قيم هذه المعاملات بالاعتماد على الشكل (4-6) والعلاقة (4-5) :

يبين الجدول (4-8) قيم معامل الإجهاد لعينات غير مستعملة من عوازل البولي أنثيلين المتقاطع الأواصر.

β (mm/Kv)	Temperature ($^{\circ}C$)	ρ_0 ($\Omega.cm$) at $E=(10)Kv/mm$
0.02081	60	$233.918 \cdot 10^{14}$
0.02839	70	$190.476 \cdot 10^{14}$
0.03201	80	$180.325 \cdot 10^{14}$
0.04978	90	$100.502 \cdot 10^{14}$

الجدول (4-8) : معامل الإجهاد لعينات غير مستعملة من عوازل (XLPE).

ويبين الجدول (9-4) قيم معامل الإجهاد لعينات مستعملة من عوازل البولي أثيلين المتقاطع الأواصر .

β (mm/Kv)	Temperature ($^{\circ}$ C)	ρ_0 (Ω .cm) at E=(10)Kv/mm
0.0119	60	$136.986 \cdot 10^{14}$
0.0128	70	$128.617 \cdot 10^{14}$
0.0421	80	$76.923 \cdot 10^{14}$
0.0631	90	$94.607 \cdot 10^{14}$

الجدول (4- 9) : معامل الإجهاد لعينات مستعملة من عوازل (XLPE).

يلاحظ من الجداول (4-8 & 4-9) أن قيمة معامل الإجهاد (β) تزداد مع زيادة درجة الحرارة , وأن قيم معامل الإجهاد (β) للعوازل غير المستعملة تختلف نسبيا عن قيم معامل الإجهاد للعوازل المستعملة .

الفصل الخامس

الفصل الخامس

الاستنتاجات والأعمال المستقبلية

5-1 الاستنتاجات:

يمكن من هذا البحث استخلاص الاستنتاجات الآتية :

1- التيار التوصيلي (التيار التسريبي) المار عبر عينات عوازل البولي أثيلين المتقاطع الأواصر المستعملة أزداد بنسبة (40%) عن التيار المار عبر عينات العوازل غير المستعملة لقيم الإجهاد الكهربائي ودرجة الحرارة المسلطة نفسها, وهذا يشير إلى تأثير العمر في العوازل المستعملة.

2- تزداد قيمة التيار التوصيلي المار عبر عينات العوازل المستعملة وغير المستعملة بزيادة الإجهاد الكهربائي أو درجة الحرارة.

3- المقاومة لعوازل البولي أثيلين المتقاطع الأواصر المستعملة قلت بنسبة (26.6%) [بعد أستعمال العازل 20years] مما هي عليه في العوازل الغير المستعملة لقيم الإجهاد الكهربائي ودرجة الحرارة المسلطة نفسها , وهذا يشير إلى تأثير العمر في العوازل المستعملة.

4- يحتاج التيار التوصيلي إلى وقت طويل جدا (قد يصل الى بضعة أيام) للوصول إلى حالته المستقرة , ومن المستحيل أن يتم الحصول على الحالة المستقرة للتيار التوصيلي عند جميع القيم المسلطة للإجهاد الكهربائي (10~25Kv/mm) و درجة الحرارة (60~90°C) .

5- حتى بعد مرور ساعتين من بدء تسليط الإجهاد الكهربائي ودرجة الحرارة على عينات عوازل البولي أثيلين المتقاطع الأواصر, يستمر التيار التوصيلي بالانخفاض التدريجي إلى أن يصل إلى حالته المستقرة, ولكن نسبة هذا الانخفاض تقل تدريجيا كلما تقدم الوقت.

6- تكون خصائص (المقاومية – درجة الحرارة) خطية تقريبا عبر المدى الكامل لدرجة الحرارة (60~90°C) طبقا للمعادلة التقريبية الآتية :

$$\text{Log } \rho = K_1 + \alpha \theta$$

7- تكون خصائص (المقاومية – الإجهاد الكهربائي) خطية تقريبا عبر المدى الكامل للإجهاد الكهربائي (10~25 Kv/mm) طبقا للمعادلة التقريبية الآتية :

$$\text{Log } \rho = K_2 + \beta E$$

8- إنّ كافة النتائج التي تم الحصول عليها تشير إلى أنّ التيار التوصيلي يميل بشكل سريع للوصول إلى حالته المستقرة عند تثبيت الإجهاد الكهربائي وزيادة درجة الحرارة.

9- إنّ معامل التوصيل الحراري (α) في عوازل (XLPE) المستعملة أزداد بنسبة (74.39%) مما هو عليه في العوازل (XLPE) الغير مستعملة , وهذا يشير إلى تأثير العمر على العوازل المستعملة.

10- إنّ معامل الإجهاد (β) في عوازل (XLPE) المستعملة أزداد بنسبة بنسبة (67.49%) مما هو عليه في عوازل (XLPE) الغير مستعملة , وهذا يشير إلى تأثير العمر على العوازل المستعملة.

11- إنّ معامل التوصيل الحراري (α) عند مدى الإجهاد الكهربائي (10~25Kv/mm) ودرجة الحرارة (60 °C) يزداد كلما ازداد الإجهاد الكهربائي المسلط , وكذلك معامل الإجهاد (β) عند مدى درجة الحرارة (60~90°C) والإجهاد الكهربائي (10Kv/mm) يزداد كلما ازدادت درجة الحرارة المسلطة .

5 - 2 الأعمال المستقبلية:

1- إجراء دراسة تأثير العمر في عوازل البولي أثيلين المتقاطع الأواصر بعد إضافة تراكيب معينة إلى مادة البولي أثيلين لتحسين العازل .

2- إجراء دراسة الشحنات الفراغية المسببة حدوث تشويه في توزيع المجال الكهربائي وظاهرة انعكاس المجال الكهربائي في قابلات الضغط العالي ذوات التيار المستمر وطرائق معالجتها للتخلص من التأثيرات التي تؤدي إلى تلف العازل .

المصادر

المصادر

- [1] Munir Atieh Al-Najjar, "**XLPE insulation under functioning of 132kv power cable** ", M.Sc Thesis, College of Engineering University of Mosul, 1993.
- [2] Dellby B. & Bergman G., "**High Voltage XLPE Performance Cable Technology**", Paper, ABB Company, England, 1999.
- [3] Lothar Heinhold, "**Power Cable and Their Application**", Handbook First Edition, Siemens Aktiengesellschaft, Berlin, 1970.
- [4] Mc Allister, "**Electric cables** ", Handbook, First Published in Great Britain, 1982.
- [5] Riyadh Zaki Sabry, "**The Effect of Load Cycle on The Thermal Performance of High Voltage XLPE Cable**" M.Sc Thesis, College of Engineering University of Mosul, 2005.
- [6] K. Soga, O. Taguchi, M. Shibazaki, K. Kanazawa, & Other "**Load Cycle Test on Cross - Linked Polyethylene Insulation Cable**" , IEEE , Volume: PAS-93 , Issue: 6 , Page(s): 1893 - 1901 , NOVEMBER , 1974.
- [7] Ahmed Tahir Majied , "**Thermal Characteristics of XLPE Insulation Under Functioning of 132KV Power Cable** " , M.sc Thesis , College of Engineering Mosul University , 1996 .
- [8] Kenji K., Masaki I., "**Development of 500Kv XLPE Cable and Accessories for Long Distance Underground Transmission Lines**", IEEE Trans. on Power Delivery, Volume 11, No. 3, July 1996.
- [9] Sheng Haifang & S. Birlasekaran, "**Remaining Life Estimation On 6.6 KV Rated XLPE Cable**", Paper, 2001.
- [10] R.S Gorur , S.B dalal & M.L dyer , "**Prediction of future performance of in-service XLPE cables**", IEEE , Electrical Insulation and Dielectric Phenomena , 2002 Annual Report Conference on , Publication Year: 2002 , Page(s) : 421 - 424 , Paper .
- [11] عبد المنعم موسى, "القابلات الكهربائية", المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني السعودية, 2004.
- [12] Weedy B.M, "**Electric Power System** ", Handbook, Second Edition University of Southampton, Join Wiley, England, 1975.

- [13] Dellby B. & Bergman G, "**XLPE Cables Up To 420Kv**", Paper, ABB Company, Sweden, 2006.
- [14] Robert D. Rosevear, "**More Effective Utilization and Reliable Operation of HV and EHV Cable Systems**", IEEE Trans. on Power Delivery, 2000, PP 7803-5935.
- [15] Taihan Company, "**EHV XLPE Insulated**", Paper, Taihan Electric Wire Company, Korea, 2004.
- [16] User's Guide, "**High Voltage XLPE System**", Paper, ABB Company, Sweden, 2004.
- [17] Weedy B.M, "**Underground Transmission of Electrical Power** " Handbook, University of Southampton, John Wiley, England, 1980.
- [18] Sheng Haifang & S. Birlasekaran, "**Remaining Life Estimation On 6.6 KV Rated XLPE Cable**", (2001).
- [19] Omar Sharaf AL-deen Yehya, "**Overcoming the Effect of Critical Distance in XLPE High Voltage Cable**", M.sc Thesis, Mosul University, 2008.
- [20] Lothar Hein hold, "**Power Cable And Their Application** ", Handbook Third Edition, Siemens Aktiengesellschaft, Berlin ,1990.
- [21] Balet W.J. and Webb R.L, "**Reactive Power Control in a Metro System**", IEEE Trans .on Power Delivery, 1966.
- [22] Takayuki K. & Shigeyuki T., "**Application Of Controlled Switching To 500Kv Shunt Reactor Current Interruption**", IEEE Trans .on Power Delivery, Vol 12, No. 2, April 2003.
- [23] Ali Nadhem Hamodi, "**The Stress Distribution in High Voltage XLPE DC Cable after Polarity Reversal**", M.Sc. Thesis College of Engineering University of Mosul, 1999.
- [24] Rohan Lucas, "**High Voltage Engineering** " Handbook, University Of Moratuwa, Srilanka, 2001.
- [25] المؤسسة العامة للتعليم والتدريب الفني , المملكة العربية السعودية "تقنية الجهد العالي" كتاب منهجي ، لسنة 2003.
- [26] Gustaffsson and Gedde , "**Electrical degradation of binary polyethylene blends** " , Sixth International Symposium on High Voltage Engineering , 21-4 , USA, September, 1989 .

[27] Farook k. Amouri **"Investigation on Extruded Materials as High Voltage Direct-Current Cables Insulations"** M.PHIL. Thesis, University Southampton, England, September 1977.

[28] B. Fruth and g. Liptak, **"Dielectric Properties of Mica Epoxy Composites Subjected To Thermal and Thermal Electrical Aging "**, Sixth International Symposium on High Voltage Engineering , 21-2 , USA,September,1989 .

[29] M. S. Khalil and A. Gastli **"Investigation of the Dependence of DC Insulation Resistivity of Ultra-Clean Polyethylene on Temperature and Electric Field"** IEEE Transactions on Power Delively, Vol. 14, No. 3, July, 1999.

[30] M. S. Khalil and A. Gastli **" Dependence of DC Insulation Resistivity of Polyethylene on Temperature and Electric Field"**, IEEE Annual Report - Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, Minneapolis, October 19-22, 1997.

[31] Ran Liu and Steven Boggs, **"Cable Life and the Cost of Risk"**, IEEE Xplre .Restrictions apply Vol.25,No.2,March/April 2009.

[32]Steven Boggs and Zhong Zheng, **"Defect Toleranceof Solid Dielectric Transmission Class Cable"**, University of Toronto, Canada, IEEE, Vol.20, No.4, July/August 2005.

[33]Paul Lewin and Nick Harris, **"Electric Field Behavior in DC Cables"**, University of Southampton, 2008.

[34] A. Rakowska, K. Hajdrowski, **"Influence of Different Test Conditions on Volume Resistivity of Polymeric Insulated Cables And Polyethylene Samples "**, Poznan University of Technology, the Institute of Electrical Power Engineering, Poland, 2000.

[35] U. Riechert, R. Vogelsang, J. Kindersberger, **"Temperature Effect on DC Breakdown of Polyethylene Cables"**, the work has been done during the engagement at the University of Technology Dresden, Germany, 2001.

[36] F.H. and shibata , **" Effect of artificial thermal aging on the crystallinity of XLPE insulation cables "** Paper , Korea ,2007 .

الملاحق

Appendix (A)

مواصفات القابلات التي حصل عليها

DESIGN	XLPE SINGAL – CORE CABLE
Rated voltage.	132 KV.
Conductor. Cross section. Diameter.	Round stranded aluminum. 800 mm ² . 34 mm.
Conductor shielding. Thickness.	Extruded inner semi-conducting screen. (1.3 to 1.47) mm.
Insulation. Thickness.	Cross linked polyethylene extruded (XLPE). 18mm.
Outer screen. Thickness.	Extruded semi-conducting screen. (1.3 to 1.47) mm.
Moisture barrier. Thickness.	Longitudinal water swelling tape under the metallic sheath. 0.8 mm.
Metallic Sheath. Thickness. Diameter over lead	Lead. 2.6 mm. (82 to 86) mm.
External covering. Thickness.	Extruded PVC. (3.5 to 3.8) mm.
Outside diameter.	(92 to 103) mm.
Weight of cable.	(14.6 to 17.5) kg/m.
Power factor.	0.001.
Minimum insulation resistance.	3000 Mohm-km.

Appendix (B)

كتاب تأييد

REPUBLIC OF IRAQ MINISTRY OF ELECTRICITY GENERAL DIR. OF ELECTRICITY TRANSMISSION. NORTH REGION	بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ  وزارة الكهرباء	جمهورية العراق وزارة الكهرباء المديرية العامة لنقل الطاقة الكهربائية للمنطقة الشمالية
العدد : ٢٩٤٤ / التاريخ : ١٤٣٥ / / ٢٠١٤ / ٤ / ١٧		(التجاوز على الشبكة الكهربائية ... يحرم الآخرين من نعمة الكهرباء)
إلى / جامعة الموصل / كلية الهندسة / الدراسات العليا		
<u>م / نماذج قابليات</u>		
إشارة إلى كتابكم ذي العدد ٧١٥٥ في ٢٠١٣/١٠/٣١		
تم تزويد السيد هشام محمد محمود طالب الدراسات العليا / ماجستير بنماذج قابليات ١٣٢ كي في من نوع XLPE المنيوم غير مستعمل ونموذج قابلي ١٣٢ كي في نوع XLPE نحاس تم استبداله بسبب حادث حريق في محولة (محطة الشرايط) التي أدخلت العمل سنة ١٩٨٦ وتم الحادث عام ٢٠٠٧ واستبدال نهاية القابلي وجزء من القابلي الذي اخذ النموذج منه .		
... مع التقدير ...		
 المهندس فاضل عباس حسن المدير العام وكالة ٢٠١٤/٤/١٧		
نسخة منه إلى:		
• قسم الجودة والتطوير المؤسسي / ... مع الأوليات.		
❖ بسمه ٢٠١٤/٤/١٧		
Iraq – Mosul – al qomesh Tel: ٧٨٠٦٨٦ Po. box : 150 Mosul E – mail : north_transmission@yahoo.co.uk	عنوان : العراق – الموصل – شارع الكورنيش هاتف : ٧٨٠٦٨٦ بدالة ص.ب / ١٥٠ / موصل عنوان البريد الإلكتروني: north_transmission@yahoo.co.uk	

ABSTRACT (SYNOPSIS)

The high voltage cross linked polyethylene insulated cables is the chemical composition of synthetic polyethylene affected by age. The use of this insulation in the cables (132Kv) which used in high voltage networks in Iraq ; It has generated the need to know the dielectric properties of after many years in service and compared with the insulation characteristics of modern manufactured cables . The most important is to explain the changes in resistivity insulation, such changes depending on the temperature and electrical stress, so the calculation thermal conductivity coefficient, and the coefficient of stress and how varies with age is one of the objectives of the current study. The measurements of resistivity using test cell designed and manufactured in accordance with the standard specifications. Measuring electrical resistivity at different temperatures and at different stresses also define the thermal conductivity coefficient (α) and the coefficient of stress (β). Modern Insulators and used insulators used to determine the effect of age. The resistivity is decreased by (73.4%) , the thermal conductivity coefficient is increased by (74.39%) and the stress coefficient increased by (67.49%) after about twenty years in service in (132Kv) cables .

**The Study of Aging Effect on The Variation of High
Voltage (132KV) Cross Link Polyethylene (XLPE)
Insulation Cables Performance.**

A Thesis Submitted

By

Hisham Mohammed Mahmood AL-Khafagy

To

The Council of the College of Engineering

University Of Mosul as a Partial Fulfillment to the Requirements
For the degree of Master of Science

In

Electrical Engineering / Power

Supervised by

Prof. Dr. Farook Khalil Amouri

2017 A.D.

1438A.H.

University of Mosul
College of Engineering



**The Study of Aging Effect on The Variation of High
Voltage (132KV) Cross Link Polyethylene (XLPE)
Insulation Cables Performance.**

A Thesis Submitted

By

Hisham Mohammed Mahmood AL-Khafagy

To

The Council of the College of Engineering

University Of Mosul as a Partial Fulfillment to the Requirements
For the degree of Master of Science

In

Electrical Engineering / Power

Supervised by

Prof. Dr. Farook Khalil Amouri