

الكابلات الكهربائية

Electrical Cables

5

1.5. المقدمة .

يتم نقل وتوزيع الطاقة الكهربائية والتوصيل بين المعدات في المحطات أما بواسطة الكابلات الكهربائية أو الخطوط الهوائية. الفارق الجوهرى بين الخطوط الهوائية والكابلات هو أن الموصلات المستخدمة في الخطوط الهوائية تكون موصلات مكشوفة أي غير معزولة ويتم تثبيتها على أبراج للمحافظة على مسافات فاصلة ثابتة بين الموصلات بعضها البعض وبين الموصل والأرض في حين أن الموصلات المستخدمة في الكابلات تكون مغطاة بأكملها بمادة عازلة عدا عند النهايات ويتم تمديد هذه الكابلات إما بالدفن المباشر في الأرض أو داخل مواسير مدفونة في الأرض أو خلال ممرات تحت سطح الأرض مهيأة خصيصا لهذا الغرض أو يتم تمديدها محمولة على حوامل سواء كانت هذه الصواني مفتوحة أو مغلقة وتكون الكابلات بهذه الطريقة أكثر أمانا من الخطوط الهوائية حيث إن احتمالات تلامس الأفراد أو الطيور والزواحف والحيوانات الصغيرة أو الأجسام المعدنية مع الموصلات الحاملة للجهد الكهربى ضئيلة جدا مما يحافظ على سلامة الأشخاص وأيضا تقليل فرص تعرض الكابلات للأخطاء أي أن الكابل أكثر أمانا من الخط الهوائى وهذه هي أهم مميزات الكابلات على خطوط النقل الهوائية.

والاختيار بين الكابلات الأرضية والخطوط الهوائية لا يتم وفقاً لمعيار واحد ولكنه يخضع إلى جانب اعتبارات الأمان لعدة عوامل إقتصادية وفنية عديدة أهمها :

1. تكلفة الموصل : لنقل نفس القدرة يكون الموصل المستخدم في خط النقل أقل تكلفة من الموصل المستخدم في الكابل حيث إن السعة التيارية للموصلات المكشوفة المستخدمة في خطوط النقل تكون أكبر بكثير من السعة التيارية للموصل داخل الكابل وبالتالي يكون موصل خطوط النقل أصغر حجماً وأقل تكلفة من موصل الكابل.
2. تكلفة العازل : تكلفة العازل في الكابل أكبر بكثير منها في حالة خط النقل الهوائي حيث إن خط النقل يستخدم موصلات مكشوفة مثبتة على أبراج ويتم عزل الموصلات عن جسم البرج باستخدام عوازل غالبا من البورسلين ويكون الهواء هو العازل الأساسي بين الموصلات وبعضها حيث يتم تثبيت الموصلات بعيدة عن بعضها البعض بمسافات تعتمد على مقدار الجهد أما في الكابلات يتم إحاطة الموصل بمادة عازلة عالية التكلفة ويلزم غطاء معدني لحماية العازل من تأثيرات التربة وحماية ميكانيكية للكابل وفي بعض أنواع الكابلات وخصوصا التي تستخدم الورق العازل يلزم ملء الكابل بالزيت العازل أو غاز خامل لملء الفراغات بين طبقات الورق وفي هذه الحالة يلزم تركيب خزانات للزيت أو الغاز الخامل على طول مسار الكابل مما يجعل تكلفة العزل أكبر بكثير للكابل منها في حالة خط النقل.
3. تكلفة التركيب: تكلفة تركيب خطوط النقل الهوائية أقل بكثير من تكلفة تركيب الكابل ، وبصفة عامة فإن تكلفة الكابلات أعلى بكثير جدا من تكلفة الخطوط الهوائية حيث قد تصل أحيانا إلى عشرة أضعاف أو يزيد تكلفة خط النقل.

بالإضافة إلى هذه العوامل الاقتصادية فإن هناك عامل يحد من استخدام الكابلات لنقل القدرة عن جهود عالية لمسافات طويلة حيث إنه في حالة الكابل تكون القيمة السعوية للكابل أكبر من المحاطة ويكون تيار الشحن كبيرا جدا مما يسبب إرتفاعاً كبيراً في الجهد ولذلك فإنه لنقل كمية

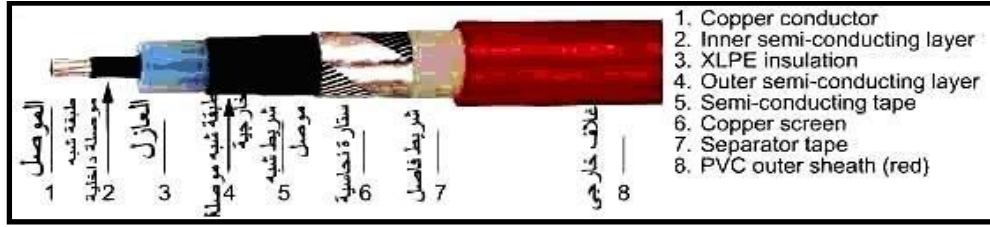
كبيرة من القدرة لمسافات طويلة على جهود عالية لا يمكن استخدام الكابلات وإنما تستخدم الخطوط الهوائية. الكابلات تتميز على الخطوط الهوائية بأنها أكثر أماناً للأفراد وأقل عرضة للحوادث وأقل تأثيراً بالكوارث الطبيعية والعوامل البيئية ولذلك فهي تستخدم عندما يكون الأمان مطلباً أساسياً أو عندما يكون النقل بخطوط هوائية غير مأمون كما في الحالات التالية :

1. داخل المنشآت الصناعية وداخل المدن والمناطق المأهولة بالسكان .
2. في الأماكن التي قد تتسبب خطوط النقل الهوائية فيها في حدوث أعطال أو حوادث كما هي بالقرب من المطارات.
3. عبر الموانع المائية المتسعة .
4. داخل محطات التوليد والنقل والتوزيع.

2.5. تركيب الكابل .

تتكون جميع أنواع الكابلات بصفة أساسية من موصل ذي مقاومة منخفضة لنقل التيار الكهربائي ويسمى هذا الموصل عادة قلب الكابل (core) وعازل لعزل الموصلات عن بعضها وعن ما يحيط بها وعن الأرض والغلاف الخارجي للحماية الميكانيكية والكيميائية لكل أجزاء الكابل ،وفي نفس الوقت كلما إرتفع الجهد المقنن للكابل إزداد الكابل تعقيداً والمكونات الأساسية للكابلات عموماً هي (إنظر الشكل (1)):

1. الموصل
2. ستارة الموصل
3. العازل
4. ستارة العازل
5. المواد المألثة
6. التسليح
7. الغلاف الخارجي



الشكل (1): مكونات الكابل الكهربائي

3.5. الموصل (Conductor).

يسمى الموصل مع عازله بقلب الكابل ويكون من النحاس أو الألمنيوم ويتناسب مساحة مقطع مقطعه مع قيمة التيار المار فيه أي كلما زاد مساحة مقطع الموصل يتحمل تيارات أكبر، والكابلات إما أن تكون مفردة القلب (Single-core) أو متعددة القلوب (Multi-core)، وقلب الكابل عبارة عن موصل يحيط به مادة عازلة تعزله عن باقي القلوب وكذلك مكونات الكابل. الشكل (2) يوضح كابل ذا موصل نحاسي وكابل ذا موصل ألمنيوم .



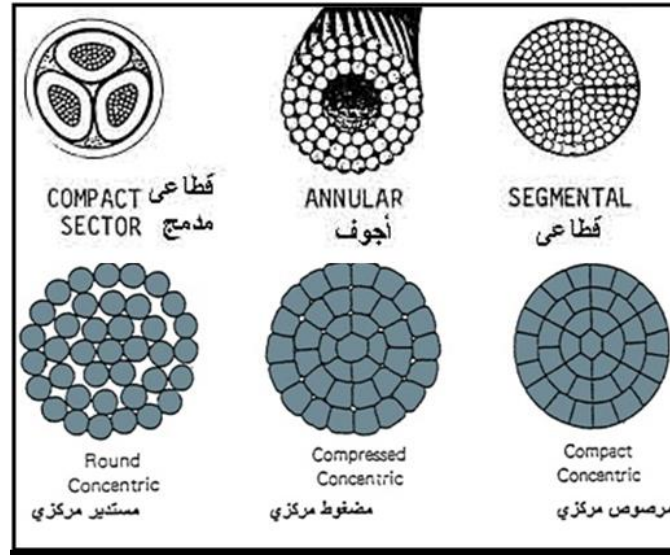
الشكل (2): كابل ذا موصل نحاسي وآخر ذا موصل ألمنيوم

يعتمد إختيار السلك الموصل على مقدار التيار الذي يمر فيه والجهد والخواص الفيزيائية و المرونة والشكل والناحية الإقتصادية وأنوع هذه الموصلات هي:

أ. **الموصلات المصمتة:** تستخدم الموصلات المصمتة للكابلات ذات المقاسات الصغيرة والتي تعمل على تيارات صغيرة ولا تحتاج إلى مرونة عالية وتستخدم هذه الكابلات في دوائر التحكم والإنارة بالمحطات الكهربائية والمنشآت الصناعية.

ب. **الموصلات المجذولة:** الموصلات المجذولة تتحمل تيارات اعلى لنفس مساحة مقطع الموصل وذلك نتيجة الخاصية القشرية لمرور التيار skin effect حيث أن الالكترونات التيار الكهربى تميل إلى الازدحام في الطبقات الخارجية للموصل وتقل بدرجة كبيرة في الطبقات الداخلية مما يؤدي إلى عمل بعض الموصلات المفرغة من الداخل وأيضاً عند عمل جدائل الموصل يمر التيار في الطبقات الخارجية لكل جديلة والتي تكون اكبر بكثير من الطبقة الخارجية لنفس الموصل إذا كان مصمتاً وبالتالي الموصل المجذول يتحمل تيار كهربى أعلى من الموصل المصمت لنفس مساحة المقطع وأيضاً يمتاز بالمرونة العالية ولكن يكون القطر الخارجى للموصلات المجذولة أكبر من القطر الخارجى للموصلات المصمتة والتي لها نفس المساحة. تصنع الموصلات المجذولة بأشكال وأنواع مختلفة وكما موضح في الشكل(3) ومنها :

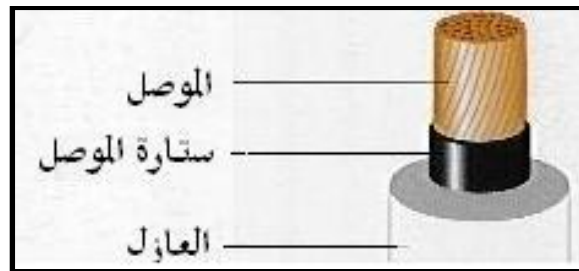
1. المستدر المركزى Concentric round
2. المستدر المركزى المدمج Compact round
3. المستدير الأجوف Concentric annular
4. المستدير القطاعى Concentric segmental
5. القطاعى المدمج Compact sectors



الشكل (3): أنواع وأشكال الموصلات المجدولة

4.5. ستارة الموصل (Conductor Screen) .

هي طبقة من مادة شبه موصلة رقيقة توضع حول الموصل بانتظام وتملأ الفراغات بين جدائل الموصل وهي تحمي الموصل من الإجهاد الكهربائي وتعمل على تنظيم المجال الكهربائي المنتشر حول القلب نتيجة سطح الجداول الغير منتظم وكذلك تمنع تكون الفجوات المتأينة بين العازل والموصل والتي تتسبب في ضعف وإنهيار العازل (انظر الشكل (4)).



الشكل (4): ستارة الموصل

5.5. العازل (Insulator).

العازل هو من أهم الأجزاء في الكابل والذي يتناسب سمكه مع جهد التشغيل أي كلما ارتفع الجهد زاد سمك العازل ويشترط أن يتوافر فيه:

1. شدة عزل كهربائية عالية
2. عمر افتراضي طويل
3. مقاومة لدرجات الحرارة العالية
4. مرونة ميكانيكية
5. مقاومة للرطوبة

قديماً كان العازل يصنع من الورق المشبع بالزيت ومن مميزاته شدة العزل الكهربائية العالية إلا أن من عيوبه قابليته لامتصاص الرطوبة كما أنه غير مرن لوجود غلاف الرصاص كما أنه قد لا يتحمل درجات الحرارة العالية أما الآن فإن العزل يتم بواسطة لدائن بلاستيكية أو بوليميرية وهي مستخرجه من صناعات البتروكيماويات ولكنها تتأثر بالحرارة ويتم معالجتها وتحويلها إلى جوامد تتحمل درجات حرارة مرتفعة بواسطة عمليات معالجة خاصة تسمى الربط التشابكي وأهم اللدائن الحرارية المستخدمة في صناعة الكابلات هي كلوريد البولي فينيل ،بولي إثيلين متقاطع الربط ،مطاط من الأثيلين والبروبيلين .



الشكل (5): أنواع العوازل

ويوجد أنواع أخرى من اللدائن تستخدم في عزل الكابلات وتكون تلك العوازل بمثابة عزل تامي يغطي موصل الكابل بالكامل وتسمى تلك العوازل بالعازل البوليميري وتسمى الكابلات المعزولة بتلك اللدائن بالكابلات ذات العزل البوليميري وسمك ونوع العازل يعتمد على عدة عوامل منها:

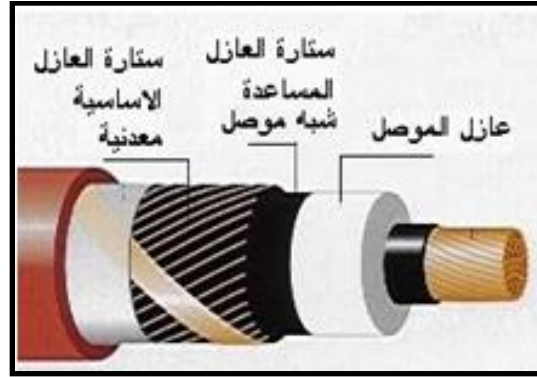
1. جهد التشغيل
2. تيار الحمل
3. درجة حرارة الجو المحيط بالكابل
4. نوع ودرجة حماية غلاف الكابل
5. طريقة تركيب الكابل (دفن مباشر أو في مواسير.... الخ)

6.5. ستارة العازل (Insulator Screen) .

ستارة العازل المساعدة (الشكل (6)) هي طبقة من مادة شبه موصلة حول العازل وفائدته تقليل كثافة المجال الكهربائي وبالتالي تقليل الإجهادات الكهربائية التي يتعرض لها عازل الكابل وكذلك يمنع حدوث تفريغ كهربائي بين سطح العازل وستارة العازل الرئيسية . ستارة العازل الأساسية هي عبارة عن شريط معدني (أو سلك) ملفوفة حول الستارة المساعدة للعازل وتسمى أيضا بالحيادي المتحد المركز ويستخدم في تأريض الكابل وكذلك تسريب التيارات الشاردة المتجمعة والتيارات الخطأ.

تتكون ستائر العازل من جزئين هما :

1. ستارة العازل المساعدة (شبه موصل).
2. ستارة العازل الأساسية (معدنية).



الشكل (6): ستارة العازل

7.5. المواد المائلة.

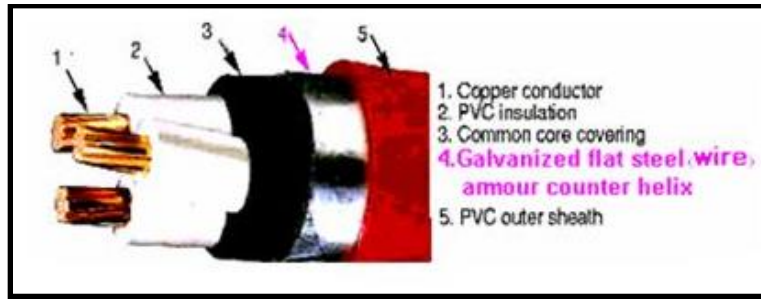
هي حشو وبطانة من الجوت أو أي مادة لدنة مثل كلوريد البولي فينيل تستخدم لملئ الفراغ بين الموصلات المعزولة داخل غلاف الكابل لتعطيه الشكل المستدير ولمنع تحرك الموصلات داخل الغلاف وإحتكاك بعضها ببعض مما يمنع ضرر العازل وملحقاته ويحول دون إنهياره.



الشكل (7): المادة المائلة

8.5. التسليح (Armoring).

يتم تسليح الكابل بواسطة أسلاك أو شرائح لولبية من الصلب تلف بطريقة منتظمة حول الكابل بكامل طوله لحماية الكابل من الأضرار الميكانيكية نتيجة الأجسام الحادة أو معدات الحفر أو الحيوانات القارضة أو الحشرات الأرضية.... الخ ويتم التسليح إما بشريط حلزوني حول الكابل من الصلب أو الألمنيوم المعالج حرارياً والذي يعطي الكابل صلابة شديدة لكي يقاوم الإجهادات الميكانيكية العالية ولكنه يقلل من مرونة الكابل أو يتم التسليح بواسطة أسلاك معدنية ملفوفة بشكل حلزوني أو متوازي منتظم حول الكابل مما يزيد من مرونة الكابل ويسهل نسبياً عمل وصلات النهاية الطرفية للكابل



الشكل (8): تسليح الكابل

9.5. الغلاف الخارجي (Jacket or sheath).

يستخدم الغلاف الخارجي لحماية ووقاية الموصلات والأجزاء الداخلية للكابل من الرطوبة والحرارة والغازات أو أي مواد كيميائية يمكن أن يتعرض لها الكابل كما يستخدم كعازل كهربائي فوق أسلاك أو شريط التسليح للكابل ويجب أن يكون مانع للهواء والماء ويغطي الكابل بكامل طوله ويسمى هذا الغلاف بالجاكت أو الغلاف الواقي ويكون من مواد مقاومة للظروف التي

يمكن أن يستخدم فيها الكابل مثل النايلون والبولي أنيلين والبولي فينيل كلوريد والذي يعتبر الأكثر استخداماً لما له من خصائص تقاوم معظم الظروف والأحوال التي قد تؤثر على الكابل.



الشكل (9): الغلاف الخارجي

10.5. أنواع الكابلات.

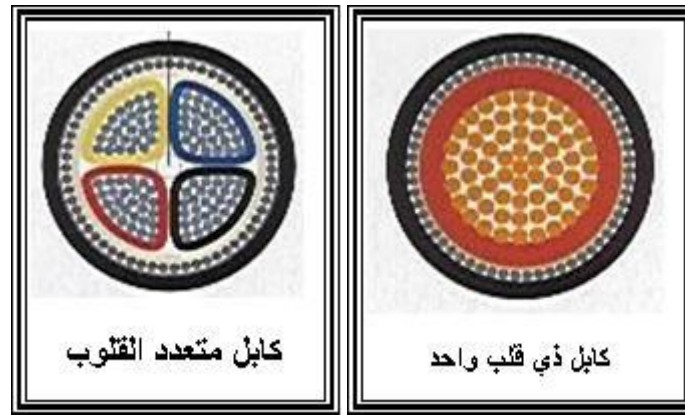
تتعدد وتنوع الكابلات لكي تلائم وتناسب ظروف التشغيل التي سوف تعمل فيها ويمكن تصنيفها إلى أربع مجاميع أساسية:

أولاً: أنواع الكابلات نسبة لعدد القلوب: ويمكن تصنيفها إلى نوعين أساسيين هما :

أ. الكابل ذي القلب الواحد **single-core cable** : وتستخدم الكابلات أحادية القلب لنقل الطاقة ذات الطور الواحد حيث تستخدم أربعة كابلات معاً لنقل الطاقة الثلاثية الأطوار

في حالة التيارات الكبيرة والتي تحتاج إلى موصلات بمساحات مقطع كبيرة ومرونة مقبولة حيث يتم استخدام ثلاثة كابلات للثلاث أطوار والرابع يستخدم كخط تعادل ويكون لون العازل ابيض أو رصاصي والغلاف أسود .

ب. **الكابل متعدد القلوب multi-core cable :** الكابلات المتعددة القلوب أما أن تكون ثلاثية أو رباعية القلوب حيث تستخدم الكابلات الثلاثية القلوب لتوزيع الطاقة في الجهود المتوسطة والعالية الثلاثية الأطوار ذات الثلاث موصلات (الموصلة دلتا) بينما تستخدم الكابلات الرباعية القلوب لتوزيع الطاقة في الجهود المنخفضة ذات الأربعة موصلات (الموصلة نجمة) يكون عازل الموصلات في الكابلات الثلاثية القلوب متشابه بينما يكون ملون في الكابلات الرباعية القلوب حسب نظام معين يتناسب مع الموصفات القياسية في الجهود العالية بينما في الجهود المنخفضة تكون الألوان أحمر واصفر وأزرق وأسود والغلاف أيضا يكون ملون أو اسود .



الشكل (9): أنواع الكابلات نسبة لعدد القلوب

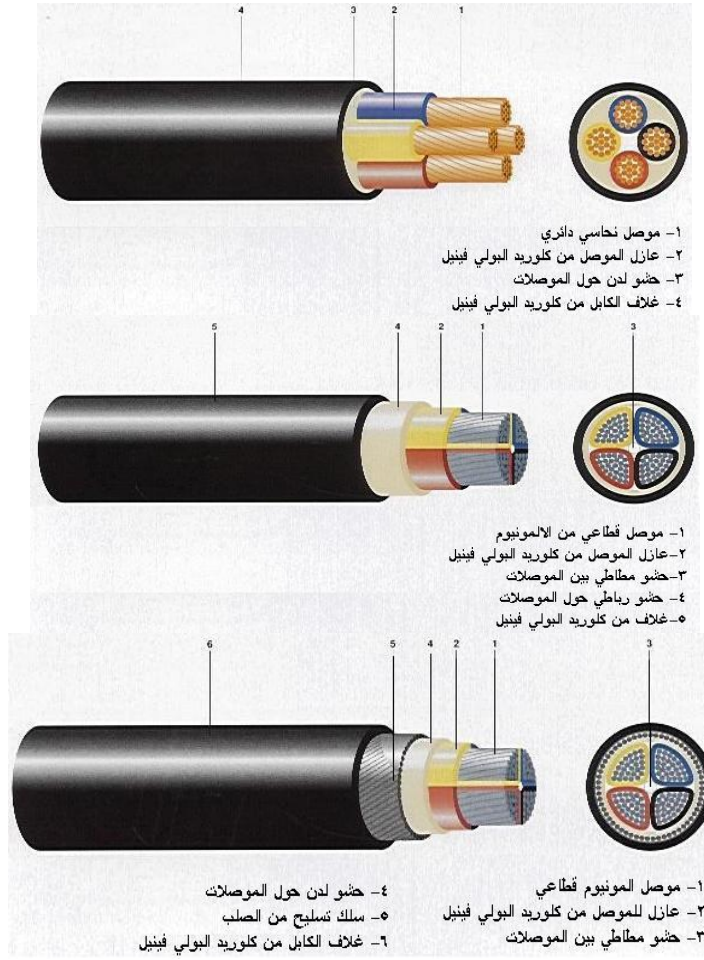
المفاضلة بين كابلات القلب الواحد والكابلات متعددة القلوب تخضع لعوامل اقتصادية وتقنيات كثيرة فحين نجد أن الكابلات عديدة القلوب اقل في التكلفة وكذلك تشغل مساحات اصغر

وخصوصاً في مجاري الكابلات داخل المحطات نجد أن الكابلات وحيدة القلب يهيئ مرونة أفضل وسهولة في التركيب والتوصيل ولكنه يكون غير اقتصادي من حيث السعر وحيز التركيب والتوصيل ولكنه يفضل داخل المباني وخصوصاً في الجهود العالية والفائقة.

ثانياً: أنواع الكابلات بالنسبة لمستوى الجهد .

يتم تقسيم الكابلات حسب مستوى الجهد إلى:

أ. **كابلات الجهد المنخفض** : تتكون كابلات الجهد المنخفض من مواد أولية بسيطة مثل الموصل من النحاس أو الألمنيوم ويكون إما أحادي القلب أو رباعي القلوب للاستخدام في دوائر التوزيع الثانوية ذات الجهد المنخفض (220-380-440 فولت) أما أحادي القلب يتم استخدام كابلات منه لتغذية دوائر الوجه الواحد وثلاث لتغذية دوائر الثلاث أوجه الموصلة دلتا وأربع لتغذية دوائر الثلاث أوجه الموصلة نجمة وذلك في التوصيلات التي تحتاج تيارات أعلى ومرونة مرتفعة والكابلات المتعددة القلوب تستخدم لتغذية الدوائر الثلاثية ذات التوصيلات النجمة ويوجد منها كابلات مسلحة بشرائط من الصلب أو من الألمنيوم لمقاومة الإجهادات الميكانيكية وعازل الموصل يكون في الغالب من مادة كلوريد البولي فينيل . معظم المواصفات القياسية على مستوى العالم تتفق على أن قيمة الجهد المنخفض حتى 1000 فولت بينما الجهد المتوسط حتى 34.5 ك.فولت والجهود العالية حتى 230 ك.ف والجهود الفائقة أكبر من ذلك وتختلف مكونات وطرق عزل الكابلات حسب الجهود المقننة للكابلات.



الشكل (10): كابلات الجهد المنخفض

ب. كابلات الجهد المتوسط : نظرا لارتفاع الجهد والمجال الكهربائي حول الموصلات فإنه يتم استخدام عازل ذات شدة عزل اعلى مثل البولي اثيلين متقاطع الربط (XLPE) وكذلك ستائر شبة موصلة لتنظيم المجال حول الموصلات بالإضافة إلى ستائر التأريض في الكابل ومنها المسلح والغير مسلح وتكون في الغالب كابلات ثلاثة القلوب ذات مقاسات مختلفة وتستخدم في دوائر التوزيع الابتدائية (حتى 33 ك.ف).

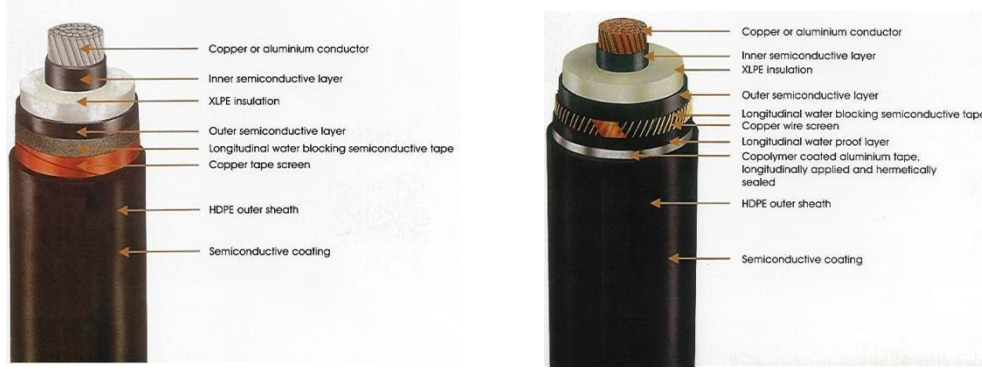


الشكل (11): كابلات الجهد المتوسط

ج. كابلات الجهد العالي والفائق: وهي تكون مشابهة في تكوينها لكابلات الجهد المتوسط ولكن يراعى أن يكون العزل والمواد المقاومة للإجهادات الكهربائية بتقنية أعلى وأفضل ومنها أيضا المسلح والغير مسلح وتستخدم في الدوائر الرئيسية لخطوط النقل وكذلك للربط بين المعدات داخل المحطات التوليد والنقل وللربط بين المحطات وخصوصا داخل المدن والكابلات التي تخدم الدوائر الرئيسية ذات التيارات المرتفعة تستخدم الزيت والغاز لتبريدها وزيادة عزلها والعازل الرئيسي للموصلات فيها أيضا من البولي أنيلين متقاطع الربط (XLPE).

ملاحظة:

- في المناطق الباردة يجب أن تستخدم مواد عازلة تمتلك (Tg) (درجة حرارة الانتقال الزجاجية) قليلة لكي لا تتكسر المادة العازلة، أما في المناطق الحارة فتستخدم مواد عازلة تمتلك (Tg) عالية لكي لا يحدث بها تشوه.
- الكابلات المستخدمة في التطبيقات ذات إجهاد الشد القليل تكون المادة العازلة فيها هي (PVC)، اما الكابلات المستخدمة في التطبيقات ذات إجهاد الشد العالي فتكون المادة العازلة فيها هي (EPR) حيث تكون ذات عزل جيد.



الشكل (12): كابلات الجهد العالي والفائق

ثالثاً. نسبة لنوع المادة العازلة : وتصنف إلى :

1. كابلات معزولة بالورق المشيع بالزيت.
2. كابلات معزولة بمادة البولي فينيل كلورايد.
3. كابلات معزولة بمادة البولي أثيلين المتشابك.
4. كابلات معزولة بمادة البولي أثيلين .
5. كابلات معزولة بمادة البولي أثيلين المطاطي.

رابعاً. نسبة لاستخدامها .