بحث بعنوان:

الكابلات ذات المقاطع الصغيرة – الكابلات ذات الربط التصالبي

الحماية المسافية المعدلة

SLIM CABLES, COMPACT CROSS-BONDING- & CORRECTED DISTANCE PROTECTION

مقدم الى

نقابة مهندسين كردستان/ فرع خانقين

إعداد المهندس

رياض جليل إبراهيم

إهـــداء :

الى ارض كردستان الحبيبة..

التي طالما روتني من حنانها ..

ولم تبخل علينا بعطفها ..

والى كل من وقف الى جانبي ..

الباحث

مقدمة :

تتجه عمليات التطوير في هندسة التوتر العالي إلى تنمية هذا المجال في أهم فروعه مثل :

1- تحسين أداء الكابلات وتطويرها بحيث جعلها تمتلك أفضل المواصفات الفنية مثل (وثوقية كبيرة - سعة كبيرة- عند أقل كلفة اقتصادية....) حيث تم التوصل إلى كبل ذي أداء أفضل وهو المعزول بالبولي إتيلين المشبك " **XLPE** " .

2- تحسين أداء عمل الحماية المسافية بتصحيح الحسابات الخاطئة التي قد تتسبب بتشكيل تيار راجع في الأغلفة التحجيبية للكابلات حيث يتم استخدام القيمة الحقيقية وهي عبارة عن قيمة التيار الراجع بالإضافة إلى قيمة التيار المار في الناقل كما أن هذه القيمة الحقيقية الناتجة تعتمد فقط على الخصائص الفنية للكبل .

توحيد قياسة نظام شبكات الكابلات:

تعتبر أنظمة التوتر العالي عناصر أساسية في البنية التحتية الحديثة لذلك يجب استثمارها بشكل أكثر فعّالية وأن تكون ذات مردود مرتفع و وثوقية كبيرة و ذلك بضمان تشغيلها لمدة 40 عاماً على الأقل.

وهذا ما أبدى ضرورة وضع مشروع لتوحيد قياسية الكابلات يقوم بدراسة المواضيع اللاحقة :

1- تصميم كابلات متطورة ضمن نظام مثالي.

2- إعادة تصميم علب الربط التصالبي .

3- تطوير أداء الحماية المسافية للكابلات .

وتتم الدراسة على مستويات التوتر التالية 50Kv ، 110Kv ، 150Kv.

مفهوم الكابلات ذات المقاطع الصغيرة :

عادةً يتم تحديد مقاطع الكابلات بناءً على سعة التحميل المطلوبة للتيار و كذلك وفقاً لخبرات وتجارب قديمة حيث يتم تصميم واختبار الكابلات وفقاً لـ HD 632/A1 القسم /4/ المقطع / K / المرجع /7/ الموصلات و النواقل التي يتم اختبارها ذات مقاطع 1x400mm2 و 1x1200mm2 من الألمنيوم المصمت أو 1x1200mm2 من النحاس تتميز هذه الموصلات بـ : 1- سهولة التركيب.

2- خفيفة الوزن.

3- كتيمة ضد التعرض للماء.

عند اختيار وتحديد مقاطع الموصلات يجب الأخذ بعين الاعتبار أمرين هامين :

- أن يكون مناسباً لسعة تحميل التيار (من الناحية الفنية).
- أن يكون مناسباً من الناحية الاقتصادية مما يؤدي إلى نشوء الظاهرة القشرية عند اختيار مقاطع كبيرة.

الكابلات المعزولة بالبولي إتيلين المشبك XLPE :

تتميز هذه الكابلات بمواصفات جيدة من الناحية الفنية و الاقتصادية لما توفره من سماكة في العزل حيث يتم عزل هذه الكابلات بثلاث طبقات عازلة بالإضافة إلى الغلاف الرصاصي (½ C) يتميز الغلاف الرصاصي بكتامته ضد الماء ومقاومته للتآكل ويتميز بانخفاض مفاقيد تيارات إيدي الإعصارية

كما أن هذه الكابلات مناسبة من أجل تيارات القصر أحادية الطور عند درجة حرارة ابتدائية 70C°

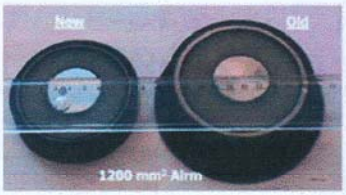
- في الشبكة ذات التوتر 150KV يكون تيار القصر أحادي الطور Isc ≤15KA/0.5 sec.
- في الشبكة ذات التوتر 110KV يكون تيار القصر أحادي الطور Isc ≤10KA/0.5 sec.
- في الشبكة ذات التوتر 50KV يكون تيار القصر أحادي الطور Isc ≤10KA/0.5 sec.

يجهز هذا النوع من الكابلات بطبقة من الورق النشاف أو البودرة التي تنتفخ عند تعرضها للماء وهذا ما يجعلها مناسبة للاستخدام بالقرب من المنابع المائية أو آبار الماء أو في المناطق الغنية بالمياه الجوفية.

	50kV cable		110kV cable	150 kV cable	
	400 mm^2 Alrm	1200 mm^2 Alrm	1200 mm^2 Alrm	1200 mm^2 Alrm	1200 mm^2 cu Milliken
Conductor [mm]	21.7	38.4	38.4	38.4	43.6
Nominal Insulation thickness [mm]	11.0	10.0	15.0	17.0	17.4
Lead alloy sheath [mm]	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
PE outer-sheath [mm]	4.0	4.0	4.0	4.8	4.8
Cable diameter [mm]	63	77	88	94	101
Identification	Batch no. and cable length no. - year, date, time - type identification – meter marking				
Cable weigh [kg/m]	6.3	10.0	12.5	12.9	22.0
Length* [m]	>2500	>2500	2170	1740	1430
Length** [m]	>2500	>2500	2300	2180	1720

* transportation by truck, drum dimensions (HxW): 4200x2700 mm
** transportation by boat, drum dimensions (HxW): 4200x3500 mm

الجدول /1/



صورة /1/

تبين الصورة /1/ مقارنة بين التصميم القديم والتصميم الحديث المتطور.

الجدول /1/
يبين موصفات الفنية للكبل ذي التصميم الحديث من حيث قطر الناقل وسماكة العازل و الوزن والطول لأنواع كابلات مختلفة وتوترات مختلفة.

عادةً قبل اعتماد أي منتج في وضعه بالخدمة يتم إخضاع عينة منه لعدة اختبارات وتجارب لضمان استثماره بشكل فعّال.
هذه الاختبارات تكون أحياناً على فترات زمنية طويلة من أجل ضمان جودته ومواصفاته الفنية.
كما يتم اختباره بهدف الوصول إلى كلفة إنتاج منخفضة .
حيث تم التوصل إلى إنتاج كبل بسماكة غلاف رقيقة بحدود 1.6mm من شركة بيرللي و N.V كما هو مبين في الصورة/2/ التي توضح شكل خط الإنتاج لكبل معزول بالبولي إتيلين المشبك بمقطع 1x1200mm ALrm تحت توتر 87/150KV

Photo 2: 180° loop between lead extruder (right) and outer sheath line (left)

وقد تم إخضاع الكبل للاختبارات التالية :

- اختبار الانحناء وفقاً لـ HD632/A1 الجزء /4/ المقطع /K/.
- اختبار تحمل وصد التسرب المائي وفقاً لـ HD632/A1 الجزء /4/ المقطع /K/.
- اختبار التأكد من جودة الرصاص وصلاحية استخدامه وفقاً لاختبارات بيرللي فيمايلي :
  - ✓ اختبار تصميم الحجم البلوري.
  - ✓ اختبار الشد والاستطالة .
  - ✓ اختبار التوافق مع التجهيزات الملحقة بالكبل .

وقد تم استخدام دارة الاختبار المبينة بالشكل /Figure 1/:

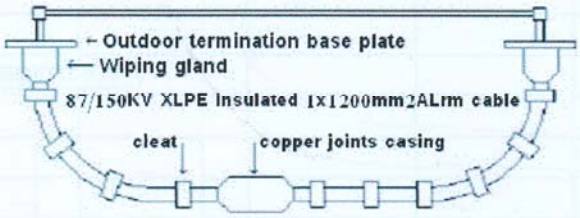


Figure 1: setup for accessories compatibility

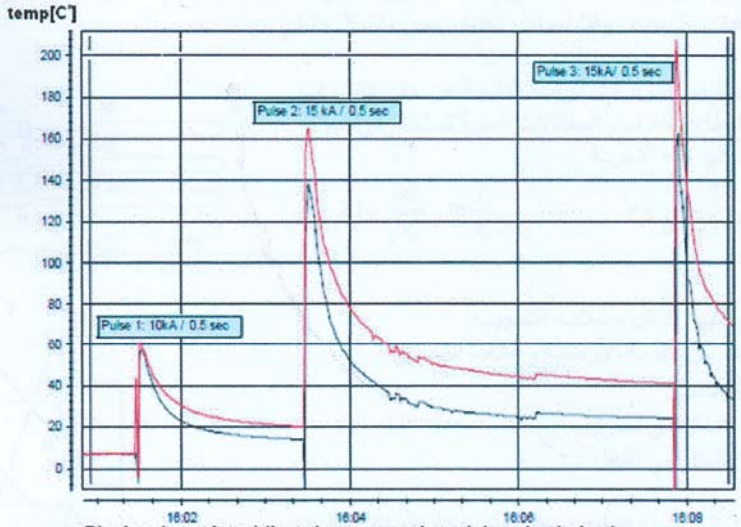
حيث يبين المخطط (figure1) السابق اختبار كبل بمقطع 1x1200mm ALrm بسماكة غلاف 1.6mm ويتم تعريضه إلى منة دورة حرارية(8h - 6h - max - 95C°-100C° درجة حرارة الناقل).

في نهاية الاختبار إذا لم يلاحظ أي تشوه أو أي عطب للغلاف الرصاصي يكون الكبل صالحاً للاستخدام والتجربة التالية هي عبارة عن اختبار لكبل بمقطع 1x1200mm ALrm تحت توتر 150KV

ولكبل بمقطع 1x400mm ALrm تحت توتر 50KV ولذلك تحديد مدى تحملها لتيارات القصر ولارتفاع درجة الحرارة الناتجة عن ذلك والصورة /3/ هي لمخبر التوتر العالي KEMA حيث يتم اختبار الكبلات تحت توترات عالية

Photo 3: the cables at KEMA High Power Lab.

كما نرى في الشكل (figure2) يبين مخططاً بيانياً يوضح القياسات ونتائج ارتفاع درجة الحرارة على الغلاف الرصاصي لكبل 150KV حيث الخط الأسود يمثل قراءة مقاييس درجة الحرارة لوصلات المختبر أما الخط الأحمر يمثل قراءة مقاييس درجة الحرارة للغلاف الرصاصي للكبل المختبر



Black colour (dotted line):thermocouppple1.wiping gland plumb
Red colour (continouos line):thermocouppple2.Lead sheath

Fig.2

والجدول /2/ يبين النتائج والقياسات التي حصلنا عليها خلال إجراء التجربة السابقة وكذلك يعرض مقارنة بين درجات الحرارة الفعلية المقاسة أثناء التجربة مع درجات الحرارة المحسوبة بعلاقات رياضية وفقاً لـ IEC60949

Cable type	Test no.	Short circuit current [kA]	Start temp. [°C]	Measured end temp. [°C]	Calculated end temp. [°C]
50kV 1x400 Alrm	1	10kA 0.5 sec	7	61	90
	2	15kA 0.5 sec	20	165	260
	3	15kA 0.5 sec	41	204	300
150kV 1x1200 Alrm	1	15kA 0.5 sec	10	76	105
	2	15kA 0.6 sec	15	110	135
	3	15kA 1.0 sec	30	190	250

الجدول/2/

نلاحظ من الجدول السابق أن القيم المحسوبة تكون أكبر من القيم الفعلية المقاسة بحوالي (35%-20%) كما نلاحظ في نهاية الاختبار أن درجة حرارة وصلات المختبر المقاسة أقل من درجة حرارة الغلاف الرصاصي بحدود (30%-20%) هذا يعني أن الكبل بمقطع 1x400mm2 ALrm تحت توتر 50KV وكذلك الأمر بالنسبة للكبل ذي المقطع 1x1200mm2 ALrm تحت توتر 150KV قادراً على تحمل تيارات القصر حتماً .

مفرغات الصواعق المستخدمة في أنظمة كابلات ذات الربط التصالبي :

تستخدم عادة مفرغات الصواعق لحماية أنظمة الكابلات ذات الربط التصالبي من الموجات المسافرة (النبضية) بقيمة أكبر من 75KV عند انقطاع الغلاف أو بقيمة أكبر من 40KV بين الغلاف والأرض.
لكن من أجل التأكد من ضرورة استخدام مفرغة الصواعق يتم إجراء تجارب واختبارات من خلال حقن توترات نبضية في نظام الكابلات المختبر وفقاً لموديل اختبار مبين بالشكل التالي :

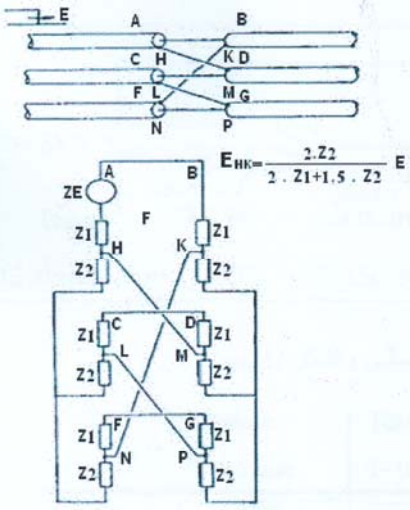


Fig.3

يستخدم هذا الموديل لقياس التوترات الزائدة الناتجة عن حقن التوترات النبضية على أول انقطاع للغلاف والمعادلات التالية تستخدم في إجراء الحسابات والقياسات في هذه التجربة .

$$Z1=\frac{60}{\sqrt{\varepsilon_r}}\ln\frac{r_2}{r_1} \qquad e=\frac{2\ Z2}{2\ Z1+1.5\ Z2}E$$

حيث أن :

Z1 : ممانعة الموجة بين الناقل وغلاف التحجيب .
Z2 : ممانعة الموجة بين التربة الأرضية وغلاف التحجيب .
ε_r : ثابت العازلية النسبي .
r2 : نصف القطر الخارجي للعازل.
r1 : نصف القطر الخارجي للناقل .

تستخدم هذه العلاقات الرياضية فقط في حال كون الكبل المختبر ذي مقطع 1x1200mm2 ALrm بتوتر 150KV
و تتعلق برمترات هذه العلاقات بعدة عوامل هامة :

- طريقة تركيب الكبل .
- طبيعة مسار تركيب الكبل .
- نوع الغلاف الخارجي و طريقة تركيبه.
- الحالة الجيولوجية للتربة الأرضية.

وعلى اعتبار التربة الأرضية ذات مقاومة منخفضة (تربة رطبة) عندها يمكن تقدير قيمة الممانعة Z2=4.9Ω .
والشكل /4/ يوضح بيانياً حساب التوترات الزائدة عند أول انقطاع لغلاف الكبل .
حيث وجد أن التوترات النبضية تنتشر على شكل موجة مسافرة كتابع للممانعة Z2 وبافتراض Z1=24.6 Ω

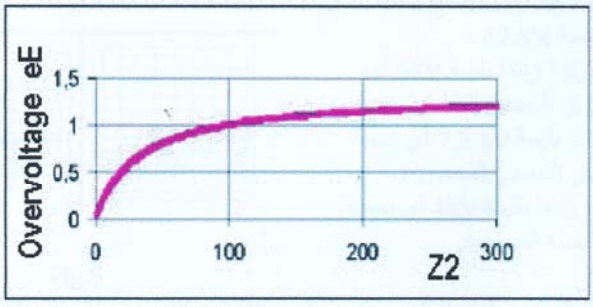
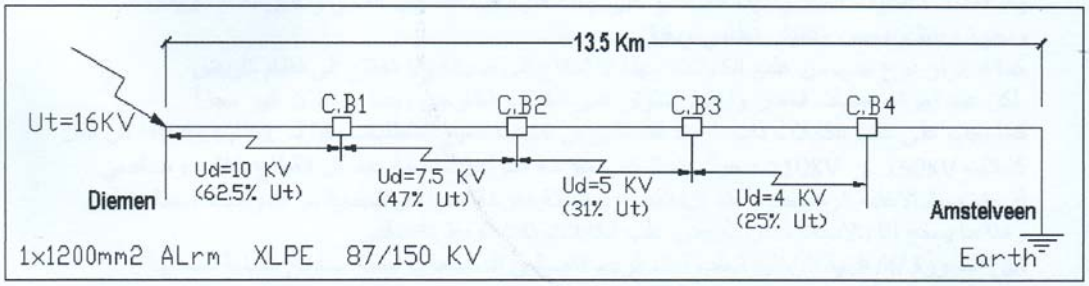


Fig.4

الاختبارات والقياسات الميدانية :

أقيمت تجربة على كبل **XLPE** بمقطع **1x1200mm2 ALrm** بتوتر **87/150KV** يمتد على طول مسافة حوالي **13.5Km** بين مدينتين هولنديتين [ديمين & أمستلفين].
وقد تمت التجربة على طور واحد فقط بحقن الطرف الأول من الكبل بتوتر نبضي وبقص نهايته إلى الأرض.
والشكل التالي يبين مخطط توضيحي للاختبار الذي تم إجرائه على كبل موضوع بالخدمة.



وقد تم تجهيز مقاييس لأخذ عدة قراءات في نقاط مختلفة لعلب الربط التصالبي والشكل /5/ يبين النتائج التي حصلنا عليها.

- المخططات البيانية للقياس الأول :
تبين التوتر النبضي المحقون عند بداية الكبل .
- المخططات البيانية للقياس الثاني :
تبين قيمة التوتر بين الغلاف – أرض عند أول علبة ذات الربط التصالبي .
- المخططات البيانية للقياس الثالث :
تبين قيمة التوتر بين الغلاف – أرض عند ثاني علبة ذات الربط التصالبي .
ثم تم تكرار وإعادة الاختبار من أجل الحصول على نتائج لجميع نقاط تركيب علب ذات الربط التصالبي.

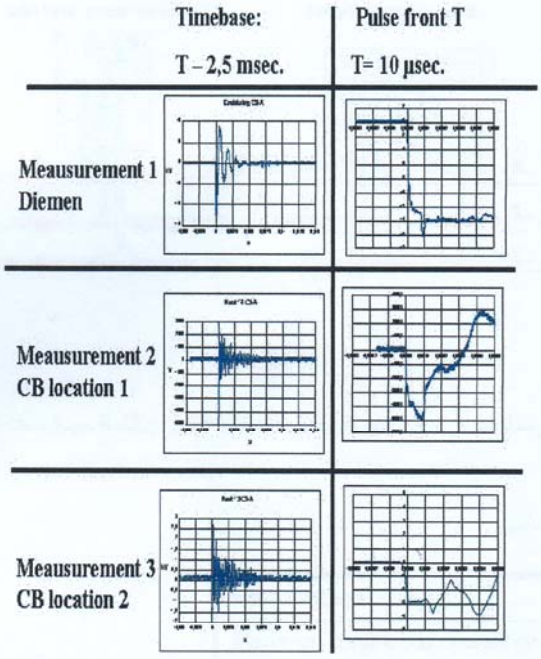


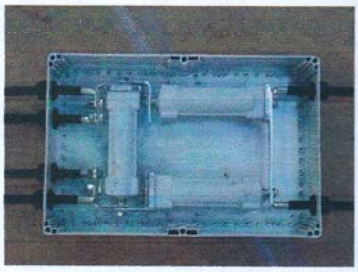
Fig.5

- حيث تم حقن توتر نبضي بقيمة 16KV مما يؤدي إلى تشكيل توتر زائد عند أول انقطاع للغلاف بقيمة 10KV أي بنسبة 62.5% ،
وأيضا إلى تشكيل توترا زائدا بقيمة 5KV أي بنسبة 31% من التوتر النبضي المطبق
كما يتشكل توترا زائد بقيمة 7.5 KV أي بنسبة 47% من قيمة التوتر النبضي المحقون ،
ويتشكل أيضا توترا زائدا بقيمة 4KV أي بنسبة 25% من قيمة النبضة المحقونة.

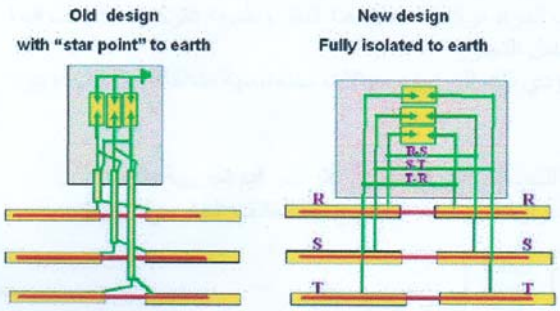
- بالمقارنة بين النتائج التي حصلنا عليها بهذه التجربة مع الاختبار الذي أجريناه على الكبل الممدود لمسافة 13.5Km نجد فلو كانت الموجة النبضية المطبقة عند بداية الكبل أي عند مدينة ديمين الهولندية بقيمة 650KV لتشكل لدينا توترا زائدا بقيمة 406KV وهي قيمة تتجاوز القيمة الأعظمية المسموح بها وهي 75 KV وهنا تكمن أهمية تركيب مفرغات الصواعق لمنع حدوث أي ضرر أو أذى لنظام الكابلات نتيجة تعرضه لتوترات زائدة على شكل موجات مسافرة .

تطوير تصميم العلب ذات الربط التصالبي :

إن تجهيزات شبكات التوتر العالي "NUON" المؤلفة من كابلات وعلب كابلات ذات الربط التصالبي والتي تكون عادة مصنعة وفقاً لـ HD 632 / A1 لعام 2002.
تتميز هذه التجهيزات بـ (سهولة الصيانة ، سهولة التركيب ، خدمة جيدة ،.....)
بقيت هذه التجهيزات كما صنعت أول مرة لكن العنصر الوحيد الذي طرأ عليه عمليات تطوير هو علب الكبلات ذات الربط التصالبي نظراً إلى حساسيتها عند تعرضها للحوادث والأضرار التي تعمل على تخريبها فوراً.
وقد اشتملت عمليات التطوير لهذه العناصر على جعله كتيماً ضد التسرب المائي وتأمين نظام تأريض مناسب وتجهيزه بنظام فحص وتفتيش نظامي ودقيق.
كما قد توفر نوع جديد من علب الكابلات سهلة لا تحتاج إلى صيانة ولا تحتاج إلى نظام تأريض
لكن عند إجراء عمليات فحص واختبار للتوتر على الغلاف الخارجي يجب أن يكون غير مجزأ .
كما يجب على علب الكابلات ذات الربط التصالبي أن تناسب جميع المتطلبات وفقاً لـ HD 632 / A1 من أجل كابلات 150KV و 110KV ، حيث يتم تركيب مفرغة صواعق مناسبة عند كل انقطاع غلاف رصاصي أي يتم ربط الأغلفة الرصاصية عند كل انقطاع بواسطة مفرغة صواعق للحماية من الموجات المسافرة .
وهذا ما يسمح لنا بالاستغناء عن تأريض علب الكابلات ذات الربط التصالبي.
تبين الصورة /4/ البنية الداخلية للعلب ذات الربط التصالبي المصنعة بواسطة صفائح معدنية تصالبية .
والشكل /6/ يوضح مقارنة بين تصميم قديم وتصميم متطور .



الصورة /4/



الشكل /6/

تكون نهايات أغلفة الكابلات ضمن علبة من البوليستر ومملوءة براتنج الإيبوكسيد مما يجعلها تتميز بكتامة جيدة ضد التسرب المائي .

الجدول /3/ يبين حدود قيم التوترات لأغلفة الكابلات كمايلي :

Rated voltage	18.7 kV
Maximum continuous operating voltage	15 kV
Rated peak discharge current	10 kA
Rated peak impulse withstand voltage	100 kA
Residual voltage at wave 8/20us and 10kA	46 kV
DC withstand voltage	25 kV

يتم اختبار الأعقة الخارجية للكابلات بإخضاعها لتوتر بقيمة 10KV لمدة 5min متواصلة وفي نهاية الاختبار يلاحظ ظهور آثار تشوه أو ضرر على الكابلات التي يمكن إزالتها من خارج العلبة المختبرة .
يتميز النموذج الجديد لعلبة الكابلات ذات الربط التصالبي بربط أسلاك رفيعة من الرصاص مع تحسين أداء وصلات التوتر المنخفض الأحادي الطور وذلك قبل وضعها بالخدمة.

كما قد تم إخضاع علبة الربط التصالبي إلى عدة اختبارات تحديد الجودة والكفاءة من خلال غمرها بالماء على عمق متر واحد ، والاختبارات هي التالية:

- تطبيق توتر متناوب 10KV لمدة 1 min بين الصفائح المعدنية المتلاصقة وبين خزان الماء.
- تطبيق توتر مستمر 20KV لمدة 1 min بين الصفائح المعدنية المتلاصقة وبين خزان الماء.
- تطبيق توتر نبضي بقيمة 40KV (10- / 10+) بين الصفائح المعدنية المتلاصقة وبين خزان الماء.
- اختبار الحلقات الحرارية لمدة 5 days يتم تنفيذ التجربة بتعبئة الخزان عدة مرات أحياناً بإضافة الجليد بدرجة حرارة 0 C° وأحياناً أخرى بإضافة ماء بدرجة حرارة ساخنة 40 C°.

توحيد نظام قياس الكابلات :

عند تصميم خندق أرضي فيمكن من الناحية الفنية استنباط دلائل على كيفية أداء الكبل بعد تركيبه ضمن الخندق بالإضافة إلى أنه بالإمكان تنفيذ تمديد وتركيب الكابلات لجميع الشبكات الكهربائية ضمن قنوات أو أنفاق أو خنادق أرضية ، الشكل/7/ يبين كيفية تصميم و دراسة تنفيذ الأنفاق الأرضية بناءً على خبرات وتجارب في تحديد كمية الحفر وأبعاد النفق على أساس معرفة مسبقة عن كمية الكابلات المراد تركيبها ضمن هذا النفق وطبيعة التركيب للكابلات فيما إذا كانت متلامسة أو متباعدة من خلال أخذ ما يسمى بعامل التجاور
فإذا كانت الكابلات الممدودة ضمن النفق متلامسة مما يؤدي ذلك إلى توليد مجالات مغناطيسية متداخلة فيما بينها وبين الكابلات .

في حال عدم توفر معلومات كافية من أجل القيام بعملية التصميم والدراسة يمكن افتراض قيم تجريبية مثل قيمة المقاومة الحرارية بحدود 0.7 Km/w ودرجة الحرارة الأعظمية المسموح بها للغلاف الخارجي 50 C°

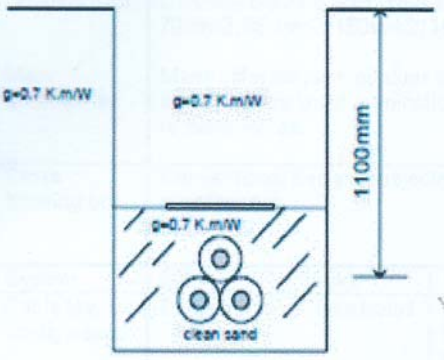


Figure 7
standard trench design HV grid NUON.

Voltage class [kV]	conductor	Metal sheath bonding	T outer sheath [°C]	T conductor [°C]	I conductor [A]	P [W/m]
50	1x400 mm² Alm	Solid	50	66	545	47
		Cross-bonded		66	545	47
	1x1200 mm² Alm	Solid		61	905	78
		Cross-bonded		61	930	81
110	1x1200 mm² Alm	Solid		63	910	173
		Cross-bonded		64	945	180
150	1x1200 mm² Alm	Solid		65	920	239
		Cross-bonded		66	955	248
	1x1200 mm² Cu 'Milliken'	Solid		63	1170	304
		Cross-bonded		65	1255	326

الجدول /4/

الجدول السابق رقم /4/ يبين قيم التيارات المستمرة وفقاً لـ IEC 60287 [ref. 8,9] من أجل جميع أنظمة شبكات الكابلات " NUON " ومن أجل مستويات التوتر التالية : 50KV ، 110 KV ، 150KV .

كما أن الجدول التالي رقم /5/ يبين إجراء عملية مقارنة بين نظام كابلات عادي مع نظام كابلات مثالي متطور
من حيث (طبيعة الناقل ، نوعية غلاف التحجيب ، طبيعة غلاف الخليط الرصاصي ، التجهيزات الملحقة ، .....)

Item	Present Systems			New optimized System designs		
Cable	50 kV gird	110 kV	150 kV	50 kV	110 kV	150 kV
Conductor	240 Alrm 400 Alrm 1200 Alrm 1200 Cu 1600 Cu	800 Alrm	400 Alrm 800 Alrm 1200 Alrm 1000 Cu 1200 Cu	400 Alrm 1200 Alrm	1200 Alrm	1200 Alrm 1200 Cu
Insulation and screens	Different thickness for same conductor size within one voltage class			Uniform thickness for same conductor size within one voltage class		
Metal sheath	- Lead alloy sheath with different cross sections within one voltage class - copper wires screen (50kV only), with and without water barrier) and different cross section within one voltage class			Lead alloy sheath with uniform cross section for each voltage class		
Outer sheath	- different thickness within one voltage class. Applied colors: black and red.			Uniform thickness for all conductor sizes cables within one voltage class. Applied color: black		
Cable identification	- no uniform text, applied with embossing on the outer sheath			Uniform text applied with laser		
Accessories	50kV	110kV	150kV	50kV	110kV	150kV
Bonding lead	Different bonding lead cross sections: 70mm2, 95 mm2, 150mm2, 185mm2			One bonding lead cross section: 95mm2		
Main accessories	Many different joint, outdoor termination and metal enclosed termination types due to cable mixes.			Limited number of joints, outdoor terminations and metal enclosed terminations.		
Cross bonding box	Conventional design, subjected to maintenance			-	Maintenance free, unearthed and direct buried cross bonding box.	
System	50kV	110kV	150kV	50kV	110kV	150kV
Cable laying configuration	Close trefoil	Close trefoil	Close trefoil, flat formation		Close trefoil	
Metal sheath bonding	Solid bonded, cross bonded	Cross bonded	Solid bonded, cross bonded	Solid bonded	Cross bonded	

الحماية المسافية المعدّلة :

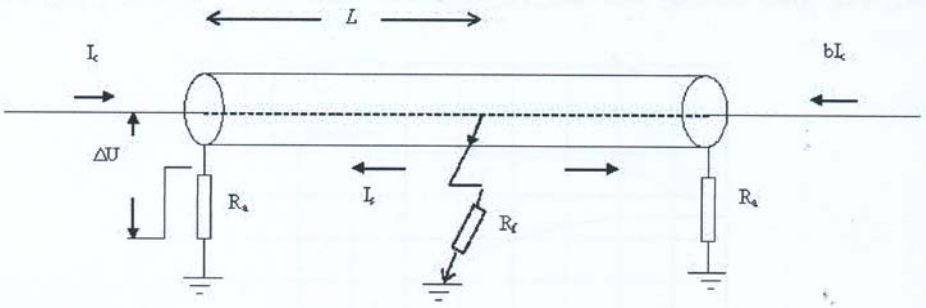
نظراً لأهمية الحماية المسافية في وقاية وحماية النظام الكهربائي في حال حدوث الأعطال ، أكثر الأعطال شيوعاً هي عطل طور- أرض قد تؤدي هذه الأعطال إلى حدوث عطب داخلي أو ضرر خارجي وبناء على ذلك تم السعي لتطوير مبدأ عمل الحماية المسافية.

- مبدأ عمل الحماية المسافية :

تقوم الحماية المسافية بقراءة قيم التوتر والتيار وقياسهما وبناءً على هذه القيم يتم حساب قيمة الممانعة وهي عبارة عن بعد مسافة العطل عن حاكمة الحماية المسافية .

فعند حدوث أي عطل قد يسبب مرور تيار جزئي في غلاف التحجيب للكبل في هذه الحالة سيكون جزء من قيمة المقاسة للتوتر عبارة عن هبوط توتر نتيجة تيار في غلاف التحجيب وهذا ما يسبب خطأ فادحاً في دقة قراءة القيم والقياسات من أجل حسابات الممانعة مما يؤدي إلى انخفاض كبير في الانتقائية من أجل تحديد مكان العطل بدقة كبيرة.

الشكل التالي /8/ يبين مخطط الخط الواحد لنظام يحتوي على عطل من نوع طور- أرض واقع على بعد مسافة (L)



عند حدوث مثل هذه الأعطال في مكان ما من النظام الكهربائي سيتدفق تيار العطل من كلا طرفي الكبل إلى مكان حدوث العطل ، والعلاقة التالية تستخدم من أجل حساب $\underline{\Delta U}$:

$$\underline{\Delta U} = \underline{Ic} \cdot L \cdot Zc + Is \cdot L \cdot Rs$$

Ic : التيار المار في الناقل [A].
Is : التيار المار في غلاف التحجيب [A]
Zc : ممانعة الناقل والعازل لواحدة الطول [Ω/m].
Rs : مقاومة غلاف التحجيب لواحدة الطول [Ω/m].
L : بعد مسافة العطل الأحادي الطور [m] .

كما يمكن الاستفادة من العلاقة لحساب قيمة $\underline{\Delta U}$:

$$\underline{\Delta U} = L \cdot Zc \cdot \left(Ic + Is \frac{Rs}{Zc} \right) = L \cdot Zc \cdot Icorr$$

حيث أن :

$$Icorr = Ic + \frac{Rs}{Zc} \; Is$$

Icorr : تيار التصحيح [A].

النسبة $\frac{Rs}{Zc}$ هي عبارة عن النسبة المستخدمة من أجل عملية التصحيح للتيار بها لتلافي أي أخطاء حسابية.

باستخدام العلاقات السابقة يمكننا حساب وتحديد قيمة الممانعة الصحيحة والمتناسبة مع بعد مسافة نقطة حدوث العطل عن مكان تركيب الحاكمة.

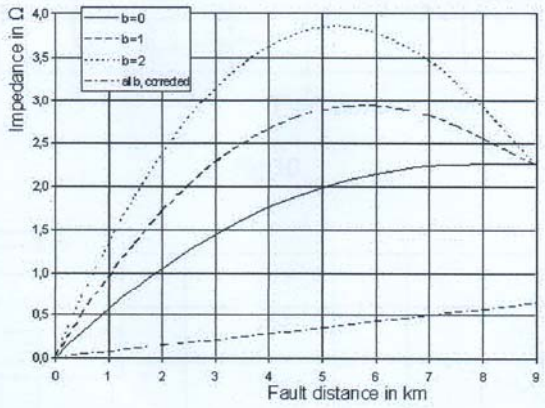
أما النسبة $\frac{Rs}{Zc}$ هي عبارة عن عامل تصحيح يستخدم في تصحيح قياس وقراءة الممانعة من قبل الحاكمة المسافية.

كما يمكن نمذجة ومحاكاة حالات أعطال الكبل باستخدام برنامج حاسوبي متطور ATP من أجل أعطال مختلفة وحالات تأريض مختلفة.

وقد أجريت الاختبارات على عينة من كبل XLPE بمقطع 1x1200mm2 ومعزول بطبقة أساسية بسماكة 18mm وغلاف تحجيب من الخليط الرصاصي بسماكة 1.6mm أما الغلاف الخارجي من البولي إتيلين بسماكة 5mm وبطول 9Km .

عادة ، في مثل هذه الأنواع من الكابلات يتم تأريض الأغلفة التحجيبية من كلا نهايتي الكبل .

الشكل/9/ يبين مخططاً بيانياً لممانعة الكبل عند حدوث عطل من نوع طور – أرض في مكان ما من الكبل .
العامل b يمثل العلاقة بين تيارات العطل الأحادية الطور من كلا نهايتي الكبل ، حيث يلاحظ في الشكل /9/ يوضح منحني يمثل العلاقة بين مسافة العطل وبين قيمة الممانعة المقاسة عند قيم مختلفة للعامل b (0 , 1 , 2)
أما المنحني الأخير يوضح العلاقة بين مسافة العطل وبين قيمة الممانعة المقاسة لكن دون أخذ العامل b بعين الاعتبار.



(Fig. 9)

أما عامل التصحيح $\frac{Rs}{Zc}$ يكون عادة ذي صيغة عقدية وهذا ما سيزيد من صعوبة العمليات الحسابية لذلك من أجل تبسيطها يتم اعتماد القيمة الحقيقة المكافئة للمطال فقط بغض النظر عن مقدار الزاوية وهي عملية تقريبية للحصول على أقرب قيمة دقيقة وسيكون الانحراف بهذه الحالة عن القيمة الدقيقة حوالي 6% وهي قيمة لا بأس بها
كما نعتمد في تحديد قيمة التيار من خلال إضافة التيار المار في غلاف التحجيب إلى تيار العطل المار بالناقل .

تتم عملية قياس التيارات المارة في الأغلفة التحجيبية ومن ثم يتم تحديد أكبر قيم من التيارات ثم تضاف القيمة المختارة إلى قيمة تيار العطل الأحادي الطور بهذه الطريقة يتم التخلص من الأخطاء الحسابية والتي بالنهاية تؤدي إلى انخفاض في الانتقائية للحماية المسافية .

- عند تنفيذ وتركيب الكبل ضمن نظام توتر عالي عادة تكون الأغلفة التحجيبية مترابطة ومؤرضة ، فإما أن تكون متواصلة الترابط وبشكل مستمر أي بدون وجود أي انقطاعات هذا ما يبينه الشكل /11/ الذي يمثل العلاقة بين الممانعة (المسافة) و بين تيار العطل الأحادي الطور .
أو أن تكون قد ربطت على مسافات ومراحل متتالية من مسافة تركيب الكبل هذا مايعبر عنه من خلال المخطط البياني في الشكل /10/.

الخطوط الدنيا في الأشكال تمثل قيمة الممانعة (المسافة) عند حدوث عطل أحادي الطور على النظام بعد تصحيح الأخطاء الحسابية من خلال اختيار القيمة الأكبر من التيارات المارة في الأغلفة التحجيبية وبتطبيق عامل التصحيح .

أما إذا كانت الأغلفة التحجيبية المتواصلة بدون وجود أي انقطاعات عندها يمكن اختيار القيمة الأكبر على كامل مسافة التركيب وهذا ما يعبر عنه بالخطوط البيانية في الشكل /11/ .

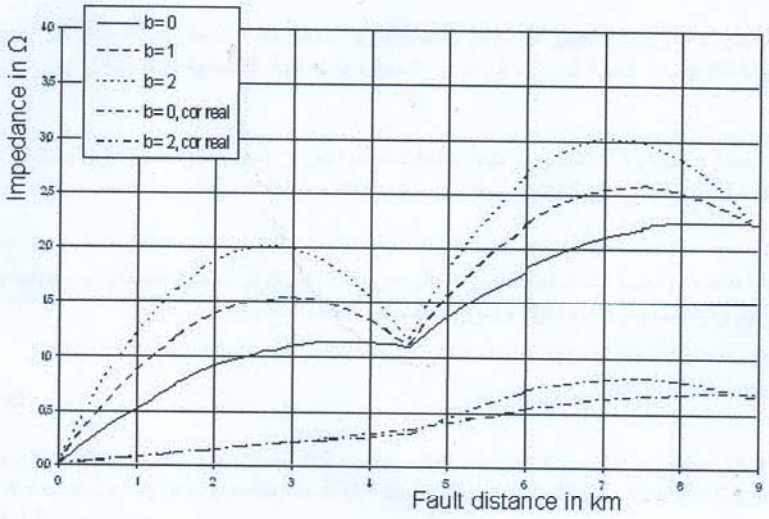


Fig.10

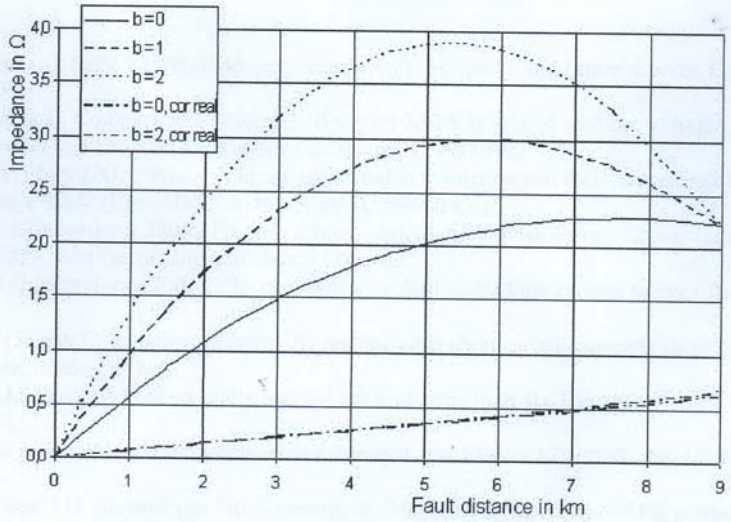


Fig.11

الخاتمة :

- هذه المقالة تشرح باختصار وبشكل ملخص الأعمال والإنجازات التي قد تم السعي فيها من أجل التوصل إلى استثمار فعّال ومثالي لأنظمة التوتر العالي وللتجهيزات والملحقات بهذه الأنظمة .

- تم السعي من أجل الوصول إلى تجهيزات تابعة لأنظمة التوتر العالي ذات كفاءة وجودة عالية من حيث مثالية الأداء ، وسهولة التركيب ، خفيفة الوزن ، زيادة في السعة ، ذات كلفة اقتصادية منخفضة نسبياً

- توضيح مدى أهمية وضرورة استخدام وتركيب مانعات الصواعق أو (مفرغات الصواعق) للحيلولة دون تعرض تجهيزات أنظمة التوتر العالي من كابلات ، عوازل ، محولات ، مولدات ، .....

- زيادة الوثوقية لعناصر وتجهيزات أنظمة التوتر العالي من خلال استخدام الحماية المسافية و تعديلها من أجل الوصول إلى قيم وقياسات وقراءات دقيقة وبدون وجود أي أخطاء حسابية .

Literature:

[1] G.P. van der Wijk et al, An Intelligent HV power cable system, Cigre 1996, paper 15/21/33-11.
[2] H.M.J. Willems et al, A new generation of HV and EHV extruded cable systems, Cigre 1995, paper A.1.6.
[3] Granadino R. et al, Undergrounding the first 400kV transmission line in Spain using 2500mm2 XLPE cables in a ventilated tunnel', Jicable 2003, paper A.1.2.
[4] Mikkelsen S.D. et al, New 400kV underground able system project in Jutland (Denmark), `Jicable 2003,
paper A.4.3.
[5] R.G. Schroth et al, EHV XLPE cables, experience, improvements and future aspects, Cigre 2000, paper 21-104.
[6] H.T.F. Geene et al, Comparison of thermal effects on XLPE insulated medium voltage cables with solid and stranded aluminium conductors, Cired 1991.
[7] HD632 S1/A1, July 2002, 'Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages above 36kV (Um=42kV) up to 150kV (Um=170 kV).
[8] IEC60287-1-1 (November 2001), Electric cables – calculation of the current rating – current rating equations (100% load factor) and calculation of losses.
[9] IEC 60287-1-2 (November 2001), Electric cables – calculation of the current rating – Thermal resistance.
[10] IEC 60949 (1988), Calculation of thermally persmissible short-circuit currents, taking into account non-adiabatic heating effects.
[11] Skipper, D.J.: The design of specially bonded cable circuits (part II), Electra No 47 (1976).
[12] Guide to the protection of specially bonded cable systems. Electra 128 1990), pp. 47- 61, Cigré WG 21.07.
[13] W.F.J. Kersten, J.H. Stevenhage. Non-linearity of short-circuit impedance of PE power cables. IEEE Conference on Power Cables and Accessories 10 kV to 180 kV, London, 1986,Conference Publication nr. 270 pp. 26-30.
[14] The design of specially bonded cable systems. Electra 28 (May 1973), pp. 55-81, Cigré WG 21.07. -