

## خبرة بلجيكية في تصميم وتركيب وتقنيات المراقبة عبر الإنترنت على كابل جهد 380 كيلو فولت

B 1 - 203

تقديم م / السيد إبراهيم السحيتي

1

### المقدمة

قامت شركة التشغيل والمراقبة ونقل الكهرباء البلجيكية TSO بتركيب ربط بين Zomergem و Zeebrugge على جهد 380 فولت في عام 2016-2017 ، بطول مسافة 47 كم ، وسمى مشروع Stevin . قد تم تنفيذ حوالي 10 كم منه كابلات أرضية. لذلك تم بناء محطتين فرعيتين هما Van Maerlant و Gezelle لتحقيق تحول الخط الهوائي الى الكابل الأرضي . وتم تنفيذ بقية مسار الربط خط هوائي. الجزء الأرضي يتكون من 4 دوائر لنقل طاقة بقدرة 3000 MVA كل دائرة تتكون من 3 كابلات نحاس قطاع 2500 mm\*1\*380 ك.ف من مصنعين مختلفين للكابلات ، تم تنفيذه على 12 مرحلة مع عمل ربط تبادلي نظراً لأن نظام الجهد الفائق للكابل HV مركب في وضع مستوي ( مسطح ) ، لذا يتم تطبيق التبديل لموصل الكابلات. هذه التهيئة والتنفيذ يجب أن تسمح بنقل 3000 MVA عند التشغيل في حالة (N-1). كل دائرة HV قادرة على نقل 1000MVA ، لذلك في حالة حدوث فشل في أحد دوائر الكابلات ، يمكن للدوائر الثلاثة المتبقية نقل كامل الطاقة المطلوبة 3000 MVA نظراً لأن هذا النظام لكابلات الجهد العالي مهم للغاية بالنسبة إلى الشبكة البلجيكية ، فمن الضروري إجراء مراقبة دقيقة للوضع. في عام 2016-2017 تم تصميم نظام كامل لمراقبة التفريغ الجزئي PD وتنفيذه بالتوازي مع نظام كابل الجهد الفائق HV أثناء التشغيل العادي ، ترسل وحدة توزيع درجة الحرارة / الوقت الحقيقي للمعدل الحراري RTTR / DTS معلومات حول ظروف التحميل الزائدة لدوائر الكابل 380 kV إلى نظام SCADA. يتلقى المشغلون باستمرار معلومات حول تحميل الحمل الأقصى دائم / دوري وأيضا التحميل الزائد خلال 4 ساعات و 10 ساعات و 36 ساعة بشكل دوري يتم فحص النقاط الساخنة والاختناقات الحرارية ومقارنتها بشروط التمدد التي تم تحديدها خلال مرحلة التصميم. هذا يسمح باكتشاف وتقييم المواقع ذات التأثير الحراري المرتفع.

2

## تصميم وتركيب نظام مراقبة التفريغ الجزئي PDM مع نظام كابل HV

يتكون نظام مراقبة التفريغ الجزئي للكابل PD من 156 محول تيار عالي التردد (HFCT) للكشف عن التفريغ الجزئي PD و 52 وحدة تجميع بيانات متصلة خلال سلسلة ديزي إلى وحدة البيانات المركزية في المحطة الفرعية.

يتم تثبيت مستشعرات نظام المراقبة بطول المسار وعلى الوصلات والنهايات. نظام مراقبة التفريغ الجزئي PD يتكون بشكل دائم في كل من 24 نهاية و 132 وصلة وعلى طول مسار الدوائر المدفونة للكابلات HV. ستقوم أجهزة الاستشعار بقياس نشاط التفريغ الجزئي PD المستمر وحالة العزل في الكابلات HV وملحقات الكابلات (الوصلات والنهايات).

نظراً لأنه لا يُسمح بأي خوادم في المحطة بالمتابعة إلا بعد توثيقها ، لذا فسوف تُنقل بيانات التفريغ الجزئي PD قبل المعالجة إلى خادم مراقبة مخصص في مقر TSO (نظام التشغيل والمراقبة ونقل الكهرباء البلجيكي) من أجل التقييم والتوثيق باستخدام برنامج مراقب للنظام.

يتم استخدام نظام قياس التفريغ الجزئي PD عبر الإنترنت من أجل:

- قياسيات التفريغ الجزئي PD أثناء اختبار القبول بالموقع لدائرة الكابل حيث يتم القياس أثناء اختبارات الجهد عند جهد  $U_0$  و  $1.5xU_0$  كجزء من اختبارات التشغيل.

- مراقبة التفريغ الجزئي PD أثناء التشغيل في وصلة الكابل لقياس سلوك / جودة نظام الكابل 380 KV بشكل مستمر خلال عمر عمل المشروع.

3

## موقع الوصلة

يتم وضع صناديق (الروابط المتبادلة) cross bonding link box وصناديق (الروابط المتوازية) parallel link box الخاصة بالوصلات في حفرة خرسانية مثبتة على قاعدة خرسانية. يتيح هذا التصميم أقصى مرونة خلال مرحلة التنفيذ وذلك لأنه ليس من الضروري الانتظار لترتيب وتوصيل صناديق الربط المتبادل والمتوازي حتى يتم ملء حفرة الوصلات وما حولها وإعادتها إلى حالتها الأصلية.

في موقع كل وصلة ، من المتوقع وجود حفرة لكل دائرة (4 في المجموع). لاستيعاب التثبيت الضروري لنظام مراقبة التفريغ الجزئي PDM ، تمت إضافة صندوقين خرسانيين منفصلين (واحد لكل دائرتين).

يتم توصيل كابل محوري من محولات التيار عالي التردد HFCT إلى وحدات الانجاز (الاكتساب) (AU) (Acquisition Unit) في الغرفة الخرسانية لنظام مراقبة التفريغ الجزئي PDM. تقوم وحدة الاستقبال والتجميع بتنقية الإشارات ومعالجتها ، هذه الوحدة تقوم بإرسال بيانات PD عبر شبكة الألياف الضوئية OF إلى وحدة تجميع البيانات الموضوعة في محطة Gezelle

تحتاج الصناديق مع وحدات الانجاز (الاكتساب) (AU) إلى مصدر طاقة كهربائية جهد منخفض بواسطة كابل جهد منخفض (LV) منفصل يمتد بجانب دوائر كابلات 380kV. في كل موقع وصلة يركب صندوق للجهد المنخفض LV واحد الذي يغذي الطاقة لأربع وحدات الانجاز (الاكتساب) (AU) .

4



الشكل يشمل على الغرف الخرسانة الرئيسية لنظام مراقبة التفريغ الجزئي PD (أعلى). وصندوقين من المعدن للروابط المتبادلة cross bonding وللروابط المتوازية (أعلى يسار) ومكونات الحماية والتغذية للجهد المنخفض (أسفل)

5

### النهايات

في النهايات يتم تطبيق نفس التصميم المطبق لمراقبة التفريغ الجزئي PD المستخدم في الوصلات. يتم تغذية طاقة التيار المتردد على جهد 230 فولت من صندوق واحد مثبت بالمركز ويتم توزيع على مختلف وحدات الانجاز (الاكتساب) (AU) ووحدات محولات تيار عالي التردد HFCT. هذه الوحدات يتم تثبيتها على هيكل النهايات.



الشكل يشمل على صندوق الجهد المنخفض ووحدات الانجاز (الاكتساب) (AU) مثبتة على هيكل النهايات

6

### أ- وحدة تركيز البيانات في المحطة الفرعية

#### ب - تغذية الطاقة بالتيار المتردد جهد 230 فولت

أ - يتم نقل المعلومات من وحدات الانجاز (الاكتساب) (AU) المختلفة إلى محطة Gezelle . بالنسبة لكل منظومة كابل يقوم كمبيوتر صناعي مخصص بتحليل بيانات التفريغ الجزئي (PD) المجمعة من وحدات الانجاز (الاكتساب) (AU) . من هذا الكمبيوتر الصناعي يتم الاتصال بالخادم المركزي في بروكسل.

ب - تغذية طاقة الجهد المنخفض LV يتم استخدامها من المحطة الفرعية Gezelle . لكل وصلة / ونهاية صندوق تغذية للجهد المنخفض مع مهمات الحماية. في حالة حدوث انقطاع في كابل تغذية الجهد المنخفض LV ، من الممكن استخدام التغذية العكسية لطاقة LV من المحطة الفرعية Van Maerlant

7

### شبكة الألياف الضوئية

- تقوم شبكة الألياف الضوئية OF بتوصيل وحدات الانجاز (الاكتساب) (AU) بوحدة التجميع الرئيسية (MCU) داخل صندوق توصيل مقاس 19 بوصة وذلك باستخدام كابل ألياف ضوئية رئيسي واحد 48 خط . حيث يوجد في كل موضع بصندوق توصيل الألياف الضوئية نقاط توصيل من خلالها يتم توصيل بداية الكابلات من وحدات الانجاز (الاكتساب) (AU) إلى الكابل الرئيس للألياف ضوئية إلى وحدة التجميع الرئيسية .

- تتصل جميع وحدات الانجاز (الاكتساب) (AU) بترتيب حلقي يبدأ وينتهي عند صندوق التوصيل مقاس 19 بوصة في Gezelle . وفي الحالة غير المحتملة لفصل شعرة من الألياف الضوئية ، يكون كل شعرة لها شعرة احتياطية والتي يمكن استخدامها عن طريق تغيير التوصيل لشعرة الألياف الضوئية OF لوحدات الانجاز (الاكتساب) (AU) المقابلة. بشكل عام ، يحاول برنامج المراقبة إصلاح الأجزاء المقطوعة للألياف الضوئية من خلال إعادة توجيه شبكة الألياف الضوئية OF تلقائياً. وفي حالة عدم التمكن من الوصول إلى وحدة الانجاز (الاكتساب) (AU) مرة أخرى ، فسيتم عرض رسالة الخطأ في التطبيق البرمجي.

8

## نظام مراقبة التفريغ الجزئي PD جزء من اختبارات القبول بالموقع SAT لدوائر كابلات الجهد العالي

جزء من اختبار القبول بالموقع ، يتم اختبار مقاومة الصمود الكهربائي لعازل الكابلات حيث يتم إجراء الاختبار عند 1.7U<sub>0</sub> لمدة 60 دقيقة على جميع فازات الأربع دوائر لكابلات الجهد العالي. أثناء اختبار مقاومة الصمود الكهربائي يتم إجراء قياس التفريغ الجزئي PD حيث لا تكون معايير القبول لقياسات التفريغ الجزئي PD هي عدم وجود قيمة للتفريغ الجزئي PD عند جهد 1U<sub>0</sub> و 1.5U<sub>0</sub>.

أثناء إجراء اختبار ثبات الجهد الكهربائي للعزل ، يتم وضع جهد الاختبار بقيمة 1.7U<sub>0</sub> على دوائر كابلات الجهد العالي لمدة ساعة واحدة على الأقل. عليه يكون إجراء اختبار القبول بالموقع SAT ناجحًا إذا:

o إذا لم يكتشف قيم التفريغ الجزئي PD خلال هذه الفترة عند 1.7U<sub>0</sub> ؛

o أما إذا تم اكتشاف قيم التفريغ الجزئي PD عند 1.7U<sub>0</sub> : يتم تقليل الجهد عند 1.5U<sub>0</sub> ويتم جمع بيانات التفريغ الجزئي PD عند هذا الجهد لمدة 10 دقائق. يجب أن تختفي قيم التفريغ الجزئي PD المقاسة عند 1.7U<sub>0</sub> .

9

## وظائف إضافية لمراقبة التفريغ لجزئي PDM مراقبة تيار الغلاف وخامد الجهود الزائدة SVL

بالنسبة لدوائر الكابلات التي يتم فيها تطبيق الربط المتبادل (CB) وتركيب خامد (محدد) الجهود الزائدة على الغلاف المعدني SVL وإنه عندما تكون الفازات متوازنة في ثلاث أوجه يكون إجمالي التيار المتسرب إلى الأرض هو نظريًا صفرًا. ولكن عند التنفيذ الحقيقي بالمواقع ، يوجد اختلال بسيط بسبب اختلاف الطول بين الأوجه.

وبالنسبة للكابلات ذات الربط المتبادل (CB) فإنه بمجرد وجود خطأ في توصيل الغلاف المعدني الخارجي، يتأثر الجهد المستحث على الغلاف وبالتالي لا يكون أكثر توازنًا. ومن ثم ، يجب إجراء تعديل مهم للحد من تيار الغلاف.

يتم قياس تيارات الغلاف المعدني للكابلات في الموقع على جميع دوائر كابلات الجهد العالي من أجل :

1. إستبدال قياسات الغلاف (سنويًا) على كابلات XLPE بواسطة أنظمة المراقبة على الإنترنت في حالة وجود تغيير.
  2. التحقق من وظيفة الربط المتبادل وخامد (محدد) الجهود الزائدة على الغلاف SVL على دوائر الكابلات HV .
- لذا يجب قياس تيارات 50 هرتز على الغلاف المعدني للكابلات وتقييمها لوضع الأجهزة.

قد أظهرت دراسات الجهد الزائد المختلفة لدوائر كابلات HV في مشروع Stevin أن خامد (محدد) الجهود الزائدة على الغلاف المعدني SVL في صناديق الربط المتبادل تكون ضرورية لضمان الحد من الجهد الزائد أثناء نبضات الصواعق. لذا يتم التحقق من وظائف خامد (محدد) الجهود الزائدة على الغلاف SVL كل خمس سنوات كجزء من برنامج الصيانة.

10

## تركيب نظام توزيع درجة الحرارة/الوقت الحقيقي للمعدل الحراري DTS / RTTR مع كابلات الجهد العالي HV

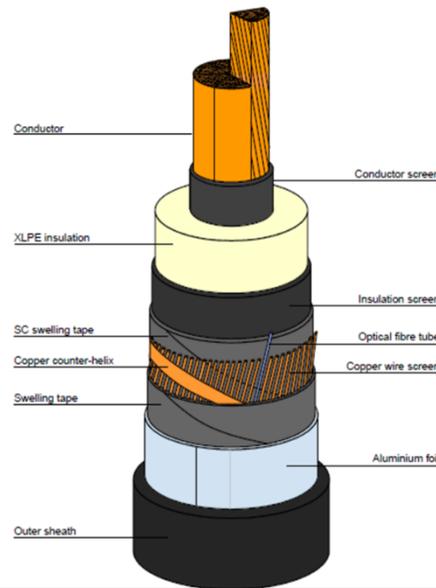
يحتوي مشروع Stevin على معيار تصميمي لقدره 3000 MVA في حالة التشغيل (N-1) لأربعة دوائر كابلات جهد 380 ك.ف. نحاس قطاع  $1 \times 2500 \text{ mm}^2$  (ان ظروف التحميل الدائم في الوضع الطبيعي هو لـ N) ونظرا لكون حالة التشغيل (N-1) حالة فريدة جداً بالنسبة لـ نظام النقل الكهربائي البلجيكي TSO. لذلك إنه من المهم مراقبة الحمل والمتابعة الدائمة للبيئة الحرارية حول نظام الكابل لضمان الحد الأدنى للحمل.

يتم قياس درجة حرارة كابل HV عن طريق الألياف البصرية المدمجة في مكونات الكابل HV. يسمح تطبيق نظام توزيع درجة الحرارة / الوقت الحقيقي للمعدل الحراري DTS / RTTR لـ نظام شبكة النقل الكهربائي البلجيكي TSO بتعظيم الاستفادة من تشغيل الكابل بطريقة آمنة دون المساس بسلامة كابلات القوى. لذا يتم متابعة البقع الساخنة أو التغيرات في البيئة الحرارية التي تحد من حمولة الكابلات الأمر الذي يساعد مشغل النظام على التأكد من أن الحد الأقصى لنقل الطاقة على الكابل لا تتجاوز درجات حرارة التشغيل القصوى للكابلات.

مسار كابل الـ HV هو مزيج من المجاري (الخدائق) العادية حيث يتم الدفن المباشر لدوائر الكابلات (82٪)، الحفر الأفقي الموجه (HDD) (13٪)، معابر الطرق (4٪) ونفق واحد بطول 255 م. لكل حالة تمديد محددة يتم حساب السعة التحميلية النظرية theoretical ampacity مع الأخذ بعين الاعتبار نموذج حراري ثابت. هو معروفة كل العناصر الهامة المؤثرة في التحميل (مثل ظروف التمديد للكابلات، مراقبة والتحكم في مواد الردم) والعناصر المقدرة (مثل درجة الحرارة المحيطة حول الكابل) أو المقاسة (مثل المقاومة الحرارية للتربة) من أجل زيادة دقة الحساب الحراري النموذجي

11

## تصميم كابل 380 كيلو فولت به كابل ألياف ضوئية



12

## أجهزة الاستشعار Pt-100

يستخدم مشعل نظام التوزيع والنقل الكهربائي البلجيكي TSO أجهزة الاستشعار Pt-100 مع نظام توزيع درجة الحرارة DTS الذي يسمح بقياس درجات الحرارة في الكابلات التي يبلغ طولها (SM)  $\pm 15$  km فإن الدقة المطلوبة لنظام توزيع درجة الحرارة DTS هو  $> 2$  درجة مئوية لطول 15 كم مع زمن استجابة إجمالي قدره 15 دقيقة . ولتطبيق توزيع درجة الحرارة / الوقت الحقيقي للمعدل الحراري RTTR / DTS فإنه يمكن للمستخدمين النهائيين عن بعد الوصول إلى الخادم المثبت في غرفة الخادم المركزي .

في موقع الوصلة الواحدة يتم وضع أربعة أجهزة استشعار Pt-100 (واحد لكل كابل من كابلات الفيبر OF الداخلية بالكابل). يتم الجمع بين أجهزة الاستشعار الأربعة في وسط حفرة الوصلات التي سيتم نقل النتائج من خلال مودم 4G للتحقق من درجة الحرارة المقاسة لنظام توزيع درجة الحرارة DTS.

أضا داخل النفق ، يتم تركيب اثنين من أجهزة الاستشعار Pt-100 . تتركز البيانات من المستشعرات على بطاقة التخزين وسيتم استخدامها لتكوين النموذج الحراري الصحيح لكابل HV داخل النفق

13

## الخلاصة

نظرا لارتفاع تكلفة الاستثمار لتركيب كابلات الربط على جهد 380 كيلو فولت وبسبب الدقة العالية المطلوبة لهذا المستوى أي لجهد 380 كيلو فولت ، تصبح تقنيات المراقبة أكثر وأكثر أهمية لتجنب على المدى الطويل عدم صلاحية هذه الأصول بغض النظر عن التجارب السابقة فإن هذه المشاريع تحتاج إلى دراسات دقيقة للغاية، لذا فإن مشاركة مختلف الخبراء في مرحلة مبكرة من المشروع أمر مهم للغاية، لإختيار العناصر المختلفة مثل اختيار نوع المستشعر ، وتصميم وتكامل حساسات وحدات المحولات التيار عالي التردد HFCT ، وقوة وحماية المكونات المختلفة على طول مسار كابل HV ، والتكامل للمخرجات في التطبيقات المختلفة مثل تطبيقات مراقبة الحالة ، SCADA ، ...

تسمح برامج مراقبة التفريغ الجزئي PD بمتابعة حالة دوائر كابلات الجهد العالي بشكل مستمر . وتقوم شركة التشغيل والمراقبة ونقل الكهرباء البلجيكية TSO بتقييم ما إذا كانت الوظائف الإضافية لأجهزة الاستشعار وحدات المحولات التيار عالي التردد HFCT (لقياس تيارات الغلاف المعدني في أقسام الوصلات التبادلية) وخامد (محدد) الجهد الزائد على الغلاف المعدني SVL المركبة - يمكن أن تساعد في تحسين برنامج الصيانة.

لذا بمجرد دخول كابلات HV في الخدمة يجب أن يقوم برنامج صيانة متخصص بمتابعة معلومات الحمولة الصحيحة والزائدة التي سوف تؤكد أن نظام الكبل HV مع كل هذه المكونات يحقق وظائفه المقصودة والمطلوبة خلال كامل عمره.

14

### مدى الإستفادة من هذا البحث

- نظرا لإرتفاع تكلفة الربط الكهربائي عن طريق الكابلات الأرضية للجهود الفائقة 220 و 500 ك.ف المستخدمة في مصر والتي تصل الآن الى عشر أضعاف تقريبا للربط الكهربائي عن طريق الخطوط الهوائية لذا يجب الإستفادة القصوى من العمر التشغيلي للكابلات وذلك بالإلتزام بالمحافظة على درجة حرارة الكابل بأن لا تتعدى درجة الحرارة التصميمية له .
- بدراسة أسلوب تنفيذ تركيب الكابلات في العرض السابق وما يتم تنفيذه في مصر والعالم لهذه الجهود تبين أنه متماثل تماما من حيث التركيب في وضع مسطح وتمديداتها في ترنشات أرضيه وكمر عبور طريق وحفر أفقي موجه وتركيب وصلات ونهايات، إضافة واحدة بالمشروع السابق هي وجود مسافة صغيرة مركبة داخل نفق .
- من واقع الخبرة العملية والعلمية من حساب تيار تحميل الكابلات في مواسير الحفر الأفقي الموجة ذات الأعماق الكبيرة التي تزيد عن 5 متر تبين أن قيمة التيار تقل بشكل ملحوظ عن قيمة التيار التحميلي في باقي المسار ، الأمر الذي يلزم ملاحظته .
- بمراجعة مواصفات الكابلات الأرضية في الشركة المصرية لنقل الكهرباء مع مواصفات الكابل المستخدم في العرض السابق فإنه يوجد خلاف بسيط في مكونات الغلاف المعدني ، الغلاف المعدني بكابلات الشركة المصرية نقل الكهرباء رصاص فقط ، بينما المستخدم في البحث أسلاك نحاس وشريط ألومنيوم الأمر الذي يتيح معه تركيب كابل ألياف ضوئية مع أسلاك النحاس التي تستخدم في نقل المعلومات المطلوبة من قياس درجة الحرارة بالكابل وقياس التفريغ الجزئي بالوصلات PD.
- لذا نرى والأمر للسيد المهندس / جابر الدسوقي رئيس مجلس إدارة الشركة القابضة ، والسيدة المهندسة / صباح مشالي رئيس مجلس إدارة الشركة المصرية لنقل الكهرباء بتعديل مواصفات الغلاف المعدني الرصاص بكابلات جهد 220، 500 ك.ف ليكون من طبقتين الأولى أسلاك نحاس بالداخل به كابل ألياف ضوئية والثانية من طبقة الرصاص بما تتناسب مع المواصفات المعمول بها في الشركة المصرية لنقل الكهرباء وشركات التوليد . الأمر الذي يتيح معه مراقبة الكابل في الشبكات الذكية علما بأن فرق الأسعار بالنسبة للأعمال الجديدة المضافة ضئيلة جدا بالنسبة للتكلفة الكلية للمشروع .

15

شكرا للجميع

16