CONCEPT

استقرار أنظمة القدرة الكهربائية ومنع انقطاع التيار الواسع: فصل الأحمال والبدء الأسود واستعادة الشبكة

استقرار أنظمة القدرة الكهربائية ومنع انقطاع التيار الواسع: فصل الأحمال والبدء الأسود واستعادة الشبكة

مقدمة:

يختبر استقرار أنظمة القدرة الكهربائية في ثوان معدودة: فخروج خط أو فقد وحدة توليد أو هبوط بطيء في الجهد قد يتحول إلى انقطاع التيار الواسع قبل أن يفهم المشغلون تسلسل الأحداث، ثم تعتمد الاستعادة على خطط نادرا ما جرى التدرب عليها. تعد هذه الدورة من كور كونسبت مهندسي النقل والتوليد وموظفي غرف التحكم لقراءة سلوك التردد والجهد وزاوية الدوار، وتصميم إجراءات الدفاع مثل فصل الأحمال ومخططات الإجراءات العلاجية والتجزئة المتحكم بها، وإعادة تشغيل الشبكة من مصادر البدء الأسود. ويعد المشاركون مراجعة مخاطر الانقطاع الواسع وخطة الاستعادة لشبكة نموذجية.

أهداف الدورة:

- تصنيف الاضطراب وفق بصمته في التردد والجهد وزاوية الدوار وتحديد حالة التشغيل التي دخلها النظام
- حساب أثر القصور الذاتي وانحدار الحاكم والاحتياطي على أدنى قيمة للتردد بعد فقد تغذية كبيرة ومراجعة حجم الاحتياطي على أساسه
- تقييم هامش استقرار الجهد من منحنيات PV وQV وتخطيط احتياطي القدرة غير الفعالة الذي يمنع انهيار الجهد طويل المدى
- تصميم مراحل فصل الأحمال عند انخفاض التردد والجهد ومخططات الإجراءات العلاجية وحدود التجزئة لشبكة نقل
- إعداد خطة البدء الأسود والاستعادة بمسارات التغذية الأولية وإعادة تزامن الجزر وتسلسل التقاط الأحمال
- تنفيذ تمارين الاستعادة ومراجعة هوامش الاستقرار في الشبكات التي تتزايد فيها المصادر المعتمدة على العاكسات

الفئة المستهدفة:

- مهندسو أنظمة النقل الذين يجرون دراسات الأمان التشغيلي والطوارئ والاستقرار
- مشغلو غرف التحكم ومشرفو المناوبات الذين يتعاملون مع الإنذارات والاحتياطي وعمليات التحويل الطارئة
- مهندسو التوليد المسؤولون عن استجابة الوحدات للتردد وقدرتها على القدرة غير الفعالة وجاهزية البدء الأسود
- مهندسو تخطيط التشغيل الذين يعدون جداول الإخراج من الخدمة وخطط الدفاع وإجراءات الاستعادة
- مختصو كود الشبكة وتشغيل النظام الذين يراجعون أداء المولدات وسلوك الصمود أمام الأعطال

محاور الدورة:

اليوم 1: أساسيات تشغيل أنظمة القدرة وحالات الأمان

- توازن التوليد والأحمال والتوزيع الاقتصادي للتوليد ومسؤوليات منطقة التحكم
- معيار الأمان N-1 وحالات التشغيل الطبيعية والتنبيه والطوارئ والاستعادة
- تصنيف الاستقرار إلى عائلات زاوية الدوار والتردد والجهد
- شاشات SCADA وEMS في غرفة التحكم وتقدير الحالة وإنذارات الطوارئ
- تشريح الانقطاع الواسع: الحدث المبدئي ومرحلة التتابع وتسلسل الانهيار

اليوم 2: التحكم في التردد والقصور الذاتي واحتياطيات التشغيل

- القصور الذاتي للنظام ومعادلة التأرجح ومعدل تغير التردد ROCOF
- استجابة انحدار الحاكم واحتياطي احتواء التردد الأولي
- التحكم في الحمل والتردد وخطأ التحكم بالمنطقة وتفعيل الاحتياطي الثانوي
- جدولة الاحتياطي الثالثي وتحديد حجمه وفق أكبر فقد تغذية محتمل
- حساب أدنى قيمة للتردد ونقطة الاستقرار بعد فصل وحدة توليد

اليوم 3: استقرار الجهد وإدارة القدرة غير الفعالة

- مصادر القدرة غير الفعالة: منحنيات قدرة المولد ومكثفات التعويض وSVC وSTATCOM
- تحليل منحنيات PV وQV وهامش التحميل حتى نقطة الانهيار
- عمل مغير الجهد تحت الحمل واستعادة الأحمال في انهيار الجهد طويل المدى
- تشغيل محدد فرط الإثارة ومراقبة احتياطي القدرة غير الفعالة
- تسلسل التحكم في الجهد وجداول توزيع القدرة غير الفعالة

اليوم 4: استقرار زاوية الدوار وأدوات المراقبة واسعة النطاق

- منحنى القدرة والزاوية ومعيار المساحات المتساوية للاستقرار العابر
- زمن الفصل الحرج وأثر مدة العطل على المزامنة
- تذبذبات الإشارة الصغيرة: الأنماط المحلية وبين المناطق ونسبة الإخماد
- دور مثبت نظام القدرة وقراءة مخرجات التحليل النمطي
- وحدات قياس الطور PMU وشاشات رصد التذبذبات واسعة النطاق

اليوم 5: الأعطال المتتابعة ودروس الانقطاعات الكبرى: دراسة حالة موجهة

- آليات التتابع: انتقال الأحمال الزائدة والأعطال الخفية وفصل مناطق الحماية الاحتياطية
- انقطاعات الشبكات المترابطة الكبرى كما تصفها تقارير التحقيق المنشورة
- تماس الأشجار وضعف الوعي بالموقف وثغرات معالجة الإنذارات في تسلسل الانقطاع
- إعادة بناء الخط الزمني للحدث من سجلات تتابع الأحداث والاضطرابات
- مراجعة الأسبوع الأول: بصمات التردد والجهد والزاوية في اضطراب واحد

اليوم 6: خطط الدفاع: فصل الأحمال ومخططات الحماية الخاصة والتجزئة

- تصميم مراحل فصل الأحمال عند انخفاض التردد: العتبات وكتل الأحمال والتأخيرات الزمنية
- منطق فصل الأحمال عند انخفاض الجهد لحالات تأخر تعافي الجهد
- مخططات الحماية الخاصة والإجراءات العلاجية: فصل المولدات ومنطق التسليح
- حدود التجزئة المتحكم بها واختيار نقاط الفصل
- التحكم في تردد الجزيرة وجهدها بقدرة توليد محدودة

اليوم 7: قدرة البدء الأسود واستراتيجية الاستعادة وحوكمة الخطة

- أنواع وحدات البدء الأسود: المائية والديزل والتوربينات الغازية ذات الدورة البسيطة وتخزين البطاريات
- مسارات التغذية الأولية وتسلسل التنشيط وارتفاع الجهد على الخطوط قليلة التحميل
- الاستعادة من الأسفل إلى الأعلى ومن الأعلى إلى الأسفل والهجينة مع إعادة تزامن الجزر
- التقاط الأحمال الباردة وتحديد حجم كتل الأحمال ومعايير فحص المزامنة
- التعاقد على خدمة البدء الأسود واختبار القدرة واعتماد خطة الاستعادة

اليوم 8: التنسيق في الطوارئ وتمارين المشغلين والتواصل

- إجراءات التشغيل الطارئ وصلاحيات مشغل النظام أثناء طوارئ الشبكة
- بروتوكولات التنسيق بين مشغل النقل والمولدين ومرافق التوزيع
- تصميم تمارين الاستعادة باستخدام سيناريوهات محاكي تدريب المشغلين
- خطط إبلاغ عملاء الأحمال الحرجة والمعلومات الموجهة للجمهور
- تقارير التحقيق بعد الحدث ومتابعة إجراءات الدروس المستفادة

اليوم 9: الشبكات منخفضة القصور الذاتي والمصادر المعتمدة على العاكسات ومؤشرات المرونة

- حدود تيار العطل للمصادر المعتمدة على العاكسات وتقييم نسبة القصر SCR
- العاكسات المكونة للشبكة والمكثفات المتزامنة والاستجابة السريعة للتردد
- سلوك الصمود أمام الأعطال وفقد التوليد الموزع أثناء الاضطرابات
- مؤشرات SAIDI وCAIDI وتتبع الطاقة غير المزودة بعد الأحداث الكبرى
- لوحة هوامش الاستقرار: حدود ROCOF واحتياطي القدرة غير الفعالة والحد الأدنى للقصور الذاتي

اليوم 10: المشروع الختامي: مراجعة مخاطر الانقطاع الواسع وخطة الاستعادة لشبكة نموذجية

- عرض الشبكة النموذجية: نموذج الشبكة ومزيج التوليد والطوارئ الحرجة
- بناء سجل مخاطر الانقطاع مع تقييم احتمال التتابع المعقول وعواقبه
- فحص خطة الدفاع مقابل مراحل فصل الأحمال والمخططات العلاجية ونقاط التجزئة
- صياغة خطة الاستعادة: مصادر البدء الأسود ومسارات التغذية وترتيب التقاط الأحمال
- عرض مراجعة مخاطر الانقطاع الواسع وخطة الاستعادة ومناقشتها مع الزملاء

المهارات التي ستكتسبها:

- تحليل بصمات الاضطرابات
- تقييم الاستجابة الترددية
- تخطيط احتياطي القدرة غير الفعالة
- تصميم مخططات فصل الأحمال
- استراتيجية التجزئة المتحكم بها
- تخطيط تسلسل البدء الأسود
- إدارة تمارين الاستعادة
- تقييم الشبكات منخفضة القصور الذاتي

لماذا تحضر هذه الدورة:

- العودة بمراجعة مخاطر الانقطاع الواسع وخطة الاستعادة بعد بنائها واختبارها على شبكة نموذجية وجاهزة للتكييف مع شبكتك
- التعرف على العلامات المبكرة للتتابع في التردد والجهد والتذبذبات ومعرفة إجراء الدفاع المناسب لكل منها
- التدرب على قرارات الاستعادة تحت ضغط الوقت في سيناريوهات محاكاة لغرفة التحكم قبل أن يفرضها حدث حقيقي
- مقارنة ممارسات التشغيل والاستعادة مع مهندسين من المرافق والمولدين المستقلين والشبكات الصناعية ومشغلي الأنظمة

الخاتمة:

يقوم منع انقطاع التيار الواسع على فهم كيفية فقد الشبكة لاستقرارها وعلى خطط مختبرة للدفاع والتعافي معا. يبني الأسبوع الأول هذا الفهم عبر حالات التشغيل والتحكم في التردد واستقرار الجهد وسلوك زاوية الدوار ودراسة حالة للأعطال المتتابعة.
ويضيف الأسبوع الثاني ما تتركه الدورات القصيرة: تصميم فصل الأحمال والمخططات العلاجية، والتجزئة، واستراتيجية البدء الأسود والاستعادة، والتنسيق في الطوارئ والتمارين، وتحديات القصور الذاتي المنخفض. ويجمع اليوم الأخير ذلك كله في مراجعة مخاطر الانقطاع الواسع وخطة الاستعادة تعرض للنقاش مع الزملاء.