معدات المنظومة الكهربائية
Switchgear

إعـداد

باسم شنان نعيم
رئيس مهندسين أقدم أول

مثنى محمد كاظم توفيق
رئيس مهندسين أقدم أول

ماجد حسين ناصر
رئيس مهندسين أقدم

٢٠٢٥

معدات المنظومة الكهربائية

Switchgear

إعـداد

باسم شنان نعيم
رئيس مهندسين أقدم أول

مثنى محمد كاظم توفيق
رئيس مهندسين أقدم أول

ماجد حسين ناصر
رئيس مهندسين أقدم

الشركة العامة لتوزيع كهرباء بغداد

٢٠٢٥

جمهورية العراق

محتويات الكتاب

محتويات الكتاب ٢

المقدمة **٤**

الفصل الأول: أجزاء ومكونات المعدات (Switchgear) **٥**

أولًا: تعريف عام للمفاتيح المستخدمة في المعدات (Switchgear) ٦

١ – فاصل العزل (Disconnector - DS) ٦

٢ – مفتاح فصل الحمل (Load Break Switch - LBS) ٧

٣ – مفتاح الأرضي (Earthing Switch - ES) ١٠

٤ – قاطع الدورة (Circuit Breakers - CB) ١٢

المكونات الأساسية الأخرى لخلايا المفاتيح الكهربائية (Switches) ٢٠

ثانيًا: تصنيف وأنواع المعدات (Switchgear) ٢٧

أنواع قواطع الدورة (CB) ومفاتيح فصل الحمل (LBS) وفق آلية إخماد الشرارة أو القوس الكهربائي ... ٢٧

١ – قواطع الدورة المفرغة من الهواء (Vacuum Circuit Breakers - VCB) ٢٩

٢ – قواطع الدورة الغازية (SF_6 Circuit Breakers) ٣٠

٣ – قواطع الدورة الهوائية (Air Circuit Breakers - ACB) ٣٣

٤ – قواطع الدورة الزيتية (Oil Circuit Breaker - OCB) ٣٧

أنواع المعدات (Switchgear) بطرق تصنيف أخرى ٣٩

ثالثًا: أجهزة القياس والحماية والتحكم ٥٠

أنواع الأعطال الرئيسية والحماية منها في المعدات (Switchgear) ٥١

الحماية الرئيسية (Main Protection) والحماية الاحتياطية (Backup Protection) ٥٢

أجهزة القياس والحماية الأساسية في المعدات (Switchgear) ٥٣

الفصل الثاني: وحدة التغذية الحلقية وتطبيقاتها (Ring Main Unit - RMU) **٩٠**
مقدمة تعريفية عن وحدة التغذية الحلقية (Ring Main Unit - RMU) ٩١
وظيفتها الرئيسية ٩١
مكونات وحدة التغذية الحلقية (RMU) ٩٢
أنواع وحدة التغذية الحلقية (RMU) وطرق تصنيفها ٩٤
أنواع وحدة التغذية الحلقية (RMU) حسب التكوين الأساسي وعدد المنافذ ٩٤
أنواع وحدة التغذية الحلقية (RMU) بطرق تصنيف أخرى ١٠٣
تطبيقات عملية على استخدام وحدة التغذية الحلقية (RMU) ١٠٥
١- محطات التوزيع الصندوقية (الكيوسكات) ١٠٥
٢- محطات المستهلكين ١٠٩
٣- غرف الأزرار (Control Rooms Or Switchgear Room) ١١٠
الفصل الثالث: محطات التحويل الثانوية (Substations) **١١١**
مقدمة تعريفية عن محطات التحويل الثانوية (Substations) ١١٢
محطات التوزيع الثانوية (Distribution Substations) ١١٣
الوظيفة الأساسية لمحطة التوزيع الثانوية ١١٣
سعات محطات التوزيع الثانوية (33/11kV) ١١٣
أجزاء ومكونات محطات التوزيع الثانوية ١١٤
محطات التوزيع الثانوية المتنقلة (Mobile Substation) ١٥٠
محطات التوزيع المسبقة الصنع (E-House) ١٥٣
المحطات الوسطية (Intermediate Substation) ١٥٥
محطات النقل الثانوية ١٥٦
سعات محطات النقل الثانوية ١٥٧
محطات النقل الثانوية المتنقلة (Mobile Substation) ١٥٩

بسم الله الرحمن الرحيم

المقدمة

تُعَدُّ معدات المنظومة الكهربائية (Switchgear) الركيزة الأساسية في شبكات القدرة الكهربائية، فهي تمثل خط الدفاع الأول لضمان استمرارية التغذية وحماية الأفراد والمعدات من الأخطار الناجمة عن الأعطال الكهربائية، وأساس عمليات الفصل والتوصيل والتحكم في مسارات الطاقة، مما يجعلها القلب النابض الذي يحافظ على سلامة الشبكة وكفاءتها.

لقد تطورت تقنيات المعدات (Switchgear) على مر العقود تطورًا كبيرًا؛ فبعد أن كانت محدودة في إمكاناتها وتعتمد على تقنيات تقليدية مع بدايات انتشار الطاقة الكهربائية في أواخر القرن التاسع عشر، حيث كانت وسائل الحماية بسيطة وتعتمد على الفيوزات (Fuses) لفصل الدوائر عند حدوث أعطال، وفي بداية القرن العشرين ظهرت قواطع الدورة (Circuit Breakers) الميكانيكية وأجهزة الحماية الميكانيكية. ثم تطورت وأصبحت اليوم تشمل أنظمة ذكية رقمية لها القدرة على التشخيص المبكر للأعطال، والتواصل مع أنظمة التحكم الحديثة ضمن مفهوم الشبكات المؤتمتة وصولًا الى الشبكات الذكية (Smart Grids).

يهدف هذا الكتاب إلى تقديم شرح شامل لمعدات المنظومة الكهربائية بطريقة سهلة ومبسطة، وتوضيح الفروق فيما بينها والعلاقة الوظيفية مع بعضها بعضًا، ابتداءً من مكوناتها الأساسية ووظائفها، مرورًا بتصنيفاتها المختلفة، ووصولًا إلى أحدث الاتجاهات العالمية في تصميمها وتشغيلها. كما يتناول الجوانب العملية المتعلقة بالتركيب، التشغيل، ومعايير السلامة الدولية التي تضمن الوثوقية.

إن هذا العمل موجَّه إلى شريحة واسعة من المهتمين بمجال الطاقة الكهربائية: –

- للمهندسين العاملين في شركات الكهرباء والمشاريع الصناعية.
- للفنيين الذين يسعون لفهم عميق يساعدهم في الجانب التطبيقي.
- للطلبة الراغبين في بناء قاعدة معرفية رصينة.

هذ الكتاب لجميع أبناء أمتنا العربية فبالعلم والأخلاق تتطور البلدان والمجتمعات.

الفصل الأول

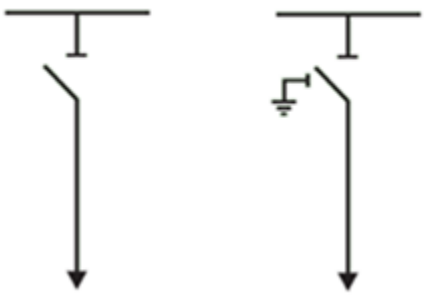
أجزاء ومكونات المعدات

(Switchgear)

أولًا: تعريف عام للمفاتيح المستخدمة في المعدات (Switchgear)

إن المعدات المستخدمة لتوصيل وفصل التيار الكهربائي (Switchgear) في محطات التحويل الثانوية ومحطات توزيع المستهلكين وغرف الأزرار تتكون من خلايا (خانات) ومفاتيح (Switching Devices) أساسية غالبًا مرتبطة مع بعضها. قد تسمى في بعض المواقع والمصادر (Controlgear) أو (Panels)، وكذلك باللغة العربية قد تسمى معدات أو لوحات أو موزعات باختلاف البلدان العربية، وفي هذا الكتاب قد اعتمدنا غالبًا التسمية الأكثر شيوعًا، وهي "معدات" (Switchgear).

١ – فاصل العزل (Disconnector - DS)

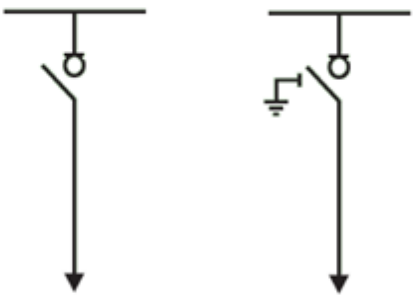


هو مفتاح فصل أو عزل كهربائي يُستخدم للفصل الكامل للدائرة المقطوعة لتوفير عزل آمن، أي عزل الطاقة عن أجزاء من الشبكة الكهربائية، مثل الخطوط الهوائية، والمغذيات، والمحولات، وقضبان التوزيع، وغيرها، لا يمكن استخدامه أثناء مرور تيار الحمل (Onload) لإنه يفتقر إلى آلية خامدة للشرارة أو القوس الكهربائي الناتج عن الفصل، لذلك يجب استخدامه بعد التأكد من فصل الدائرة. يعني الوظيفة الأساسية له هي كونه مؤشرًا بصريًا للتأكد من الفصل أو التوصيل الكهربائي عند إجراء عمليات الفحص والصيانة والإصلاح بأمان ودون أي مخاطرة. ونظرًا لوظيفته العازلة، يُطلق عليه أحيانًا اسم الفاصل (Isolator).

في كثير من تصاميم معدات (Switchgear) الحديثة، يكون مفتاح فاصل العزل (DS) مدمجًا مع مفتاح أرضي (Earthing Switch) ومرتبط به ميكانيكياً. يستخدم لتأريض الدائرة المعزولة وتفريغ الشحنات الساكنة (Residual/ Induced Voltages)، وبالتالي توفير سلامة إضافية لضمان أمان العاملين أثناء الصيانة.

المواصفة القياسية الدولية IEC 62271-102

٢- مفتاح فصل الحمل (Load Break Switch - LBS)



يطلق عليه تسمية (Switch-Disconnector) أيضًا، وهو مفتاح فصل كهربائي يقوم بعملية فصل أو توصيل الدائرة الكهربائية تحت ظروف التشغيل العادية أثناء مرور تيار الحمل (Onload)، دون ضرر. يمكن تلخيص الخصائص التشغيلية والوظيفية له كالتالي: -

- مصمم للعمل تحت ظروف التشغيل العادية مع تحمل تيارات العطل العالية لفترة زمنية قصيرة، لكنه غير مخصص لقطع تيارات العطل العالية مثل تيار دائرة القصر (Short Circuit).
- تم تصميمه بآليات ونوابض تسمح بفصل سريع لنقاط التلامس.

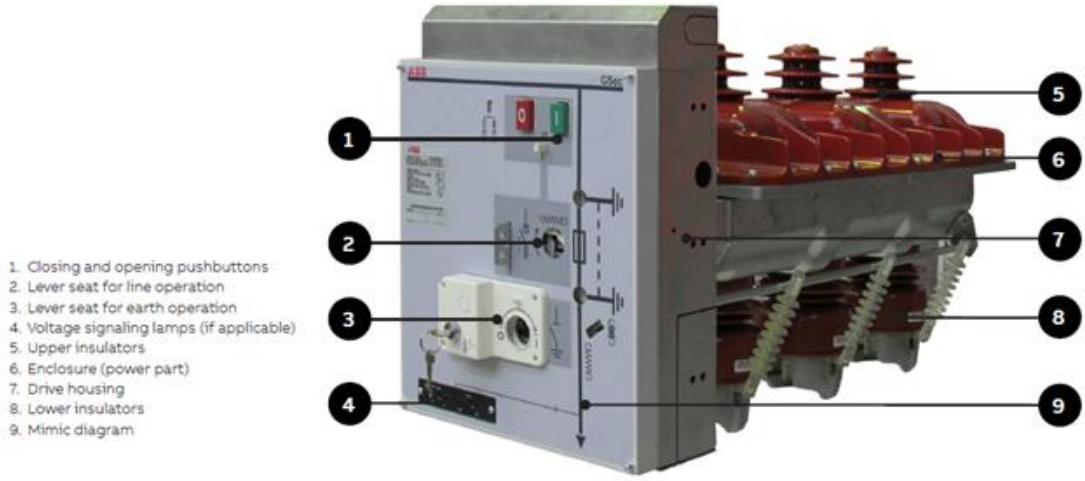
مزوّد بآلية لإخماد الشرارة أو القوس الكهربائي الناتج عن الفصل أو التوصيل وذلك لتقليل تأثيره وتقليل تآكل نقاط التلامس، مع ملاحظة أن الشرارة أو القوس الكهربائي صغير نسبيًا لأنه ناتج عن تيار التشغيل الاعتيادي، وليس عن تيار عطل عالي كما في قاطع الدورة (CB) الذي يتميز بآلية أكبر كما سيأتي.

- لا يحتوي على مرحلات (Relays) أو أجهزة حماية، لذا لا يعمل بشكل تلقائي.
- يعمل بتدخل بشري (يدويًا من خلال زر أو عن بعد بواسطة آلية (Motorized Mechanism)).

(Motorized Mechanism) هي آلية تشغيل تحتوي على محرك كهربائي يقوم بشحن النابض أو تحريك ذراع التشغيل بدلاً من التشغيل اليدوي، وتحكم كهربائي - يشمل ملفات فتح/ إغلاق (Opening Coil / Closing Coil) قد تسمى أحيانًا (magnetic coil of the shunt release)، مشابهة لدوائر الفتح والاغلاق (Trip & Closing Circuits) في قاطع الدورة (CB) وسيتم شرحها مفصلًا في الموضوع القادم بإذنه تعالى. خاصية تشغيل الجهاز عن بُعد (توجد في قواطع الدورة (CB)، وفي بعض أنواع مفاتيح الفصل (LBS) الحديثة والمؤتمتة وهي غير مستخدمة في العراق).

- عند وضع الفصل، يحقق العزل الآمن عن الأجزاء الأخرى من الشبكة، مما يجعله يقوم أيضًا بوظيفة فاصل العزل (Disconnector)، إضافةً الى وظيفة الفصل (الفتح) والتوصيل (الغلق). أي إنه: -

مفتاح (Switches) + فاصل (Disconnector)



SF_6 LBS in GIS (معزولة بالغاز)

- في كثير من تصاميم المعدات (Switchgear) الحديثة للجهد المتوسط، خصوصًا المعدات المعزولة بالغاز (GIS) أو المدمجة (Compact)، يكون مفتاح فصل الحمل (LBS) مدمجًا مع مفتاح أرضي (Integral Earthing Switch) ومرتبط به ميكانيكياً داخل نفس الخلية مع (Interlocks). ويكون المفتاح ثلاثي المواضع (3-position Switch) أي توصيل/فصل/أرضي (On/Off/Earth).
- وفي تصاميم أخرى يكون مفتاح التأريض منفصل أو باستخدام أدوات متنقلة يتم تركيبها يدويًا. هذا شائع في المحطات القديمة أو التصاميم المفتوحة (AIS التقليدية). أو في النوع القابل للسحب (Draw Out) والذي يقوم بوظيفة الفصل (الفتح) والتوصيل (الغلق) إضافةً الى وظيفة فاصل العزل (Disconnector) أيضًا من خلال سحبه بعيدًا عن الأجزاء المتصلة بمصدر الطاقة الكهربائية داخل حجرة المعدات. هنا يكون المفتاح الأرضي (ES) منفصلًا عنه لكنه ميكانيكيًا مرتبط بـ (interlocked) لمنع التشغيل الخاطئ. وظيفته كما ذكرنا سابقًا هي تأريض الدائرة المعزولة وتفريغ الشحنات الساكنة (Residual/ Induced Voltages)، وبالتالي توفير سلامة إضافية لضمان أمان العاملين أثناء الصيانة.
- في بعض التطبيقات يتم دمج مفتاح فصل الحمل (LBS) لفصل أو توصيل الدائرة أثناء الحمل مع فيوز (Fuse) للحماية من تيارات القصر (Short Circuit) في وحدة مدمجة واحدة تسمى سويج فيوز (Switch Fuse) أي: -

مفتاح فصل الحمل (LBS) للفصل أو التوصيل أثناء الحمل + فيوز (Fuse) للحماية

سنتكلم عنها لاحقًا بشكل مفصل بإذنه تعالى.

المواصفة القياسية الدولية IEC 60947-3 للجهد الواطئ

المواصفة القياسية الدولية IEC 62271-103 للجهد المتوسط

ملاحظات مهمة: الانتباه الى: -

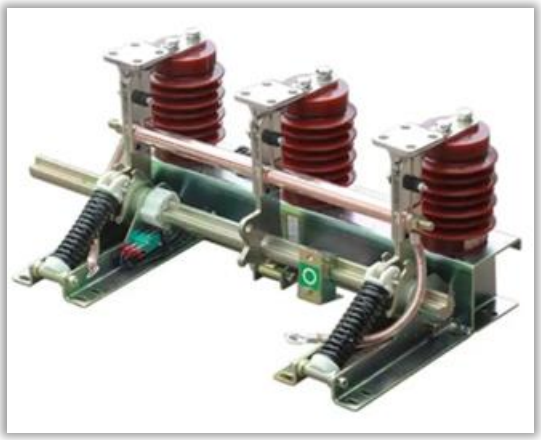
- استخدام المواصفة الدولية IEC 62271-103، وبعض الشركات، مثل شركة (Schneider Electric)، وشركة (ABB)، مصطلح (Switch-Disconnector) بمعنى (Load Break Switch).
- استخدام بعض الشركات ومواقع الانترنيت مصطلح (Disconnector Switch) بمعنى (Switch-Disconnector) أي (Load Break Switch).
- بينما شركات ومواقع انترنيت أخرى تستخدم المصطلح نفسه (Disconnector Switch) أو (Disconnecting Switch) بمعنى (Disconnector) فقط.
- وشركات ومواقع انترنيت أخرى تستخدم المصطلح (Disconnector) بمعنى (Load Break Switch).
- وشركات ومواقع انترنيت أخرى تستخدم المصطلح (Load Switch) بمعنى (Load Break Switch).
- وشركات ومواقع انترنيت أخرى تستخدم المصطلح (Load interrupter Switch) بمعنى (Load Break Switch).

Vacuum LBS

Video

٣- مفتاح الأرضي (Earthing Switch - ES)

هو جهاز أمان ميكانيكي/كهربائي في معدات (Switchgear).



الوظيفة: ربط موصلات الدائرة (الخطوط أو القضبان الناقلة) مباشرة بالأرضي بعد فصلها كهربائيًا.

الغرض: تصريف أي شحنات متبقية أو جهد حثي يتم تفريغه بأمان قبل الصيانة لضمان سلامة العاملين ومنع حدوث صدمات كهربائية.

ويكون تصميمه محميًا ضد التشغيل الخاطئ بفضل أنظمة الأقفال المتشابكة (Interlocks).

المواصفة القياسية الدولية IEC 62271-102

أنواع مفاتيح الأرضي (ES)

يمكن تصنيف مفاتيح الأرضي حسب التصميم والتركيب داخل المعدات: -

- **مفتاح أرضي مدمج (Integral Earthing Switch)**

يكون جزءاً من القاطع أو من وحدة الخلية نفسها، ويُشغّل بواسطة نفس آلية التشغيل أو من خلال ذراع خاصة. أي إن المفتاح يكون ثلاثي المواضع (3-Position Switch) أي يكون بحالة توصيل/فصل/أرضي (On/Off/Earth). يتميز بتصميم مدمج، وحجم أقل، يستخدم خصوصًا في وحدة التغذية الحلقية (RMU) وكذلك في المعدات المعزولة بالغاز (GIS). من أمثلتها المعروفة: -

- Siemens 8DJH RMU
- Schneider RM6
- ABB SafeRing / SafePlus

- **مفتاح أرضي منفصل (Independent Earthing Switch)**

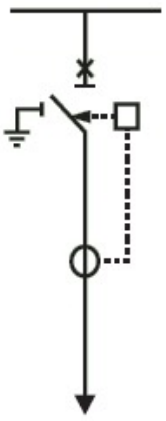
يُركب كجهاز مستقل ميكانيكيًا داخل الخلية (الخانة) أو بجانبها. يستخدم مع المفاتيح التقليدية ذات الوضعين (2-Position Switch) أي توصيل/فصل (On/Off). يستخدم خصوصًا في المعدات ذات الحجيرات المنفصلة المتعددة (Metal Clad Switchgear). يحتاج مساحة أكبر. من أمثلتها المعروفة: –

- Siemens NXAir
- Schneider MCset
- ABB UniGear ZS1

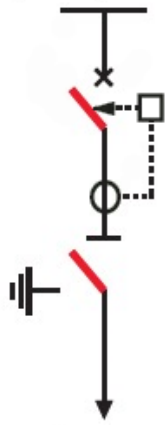
هذه المفاتيح يمكن أن يكون تشغيلها يدويًا، أو ميكانيكيًا من خلال نابض (Spring) للتأريض السريع، أو آليًا (Motorized) من خلال تشغيله بمحرك كهربائي أو ملف كهرومغناطيسي، يُستخدم في أنظمة التحكم عن بعد مثل منظومة سكادا (SCADA).

ويمكن تصنيف مفاتيح الأرضي أيضًا حسب القابلية على تحمل تيار القصر (Short Circuit): –

- **مفتاح أرضي عادي (Normal Duty Earthing Switch)**
- **مفتاح أرضي عالي السرعة/ قابل للإغلاق تحت الحمل (High-Speed / Fault-Make Earthing Switch)**

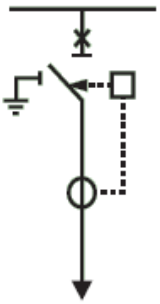


قاطع دورة مع مفتاح أرضي مدمج



قاطع دورة مع مفتاح أرضي منفصل

٤– قاطع الدورة (Circuit Breakers - CB)



هو مفتاح أو جهاز كهربائي يعمل على حماية مكونات الشبكة الكهربائية من التلف الذي تسببه التيارات العالية الناتجة عن الأعطال الكهربائية مثل زيادة الحمل، ودائرة القصر (Short Circuit)، وضربات البرق وتسرب التيار وغيرها. وأيضًا يقوم بعملية فصل أو توصيل الدائرة الكهربائية تحت ظروف التشغيل العادية أثناء مرور تيار الحمل (Onload)، دون ضرر لإنه يمتلك آلية خامدة للشرارة أو القوس الكهربائي الناتج عن الفصل.

المواصفة القياسية الدولية IEC 60947-2 للجهد الواطئ

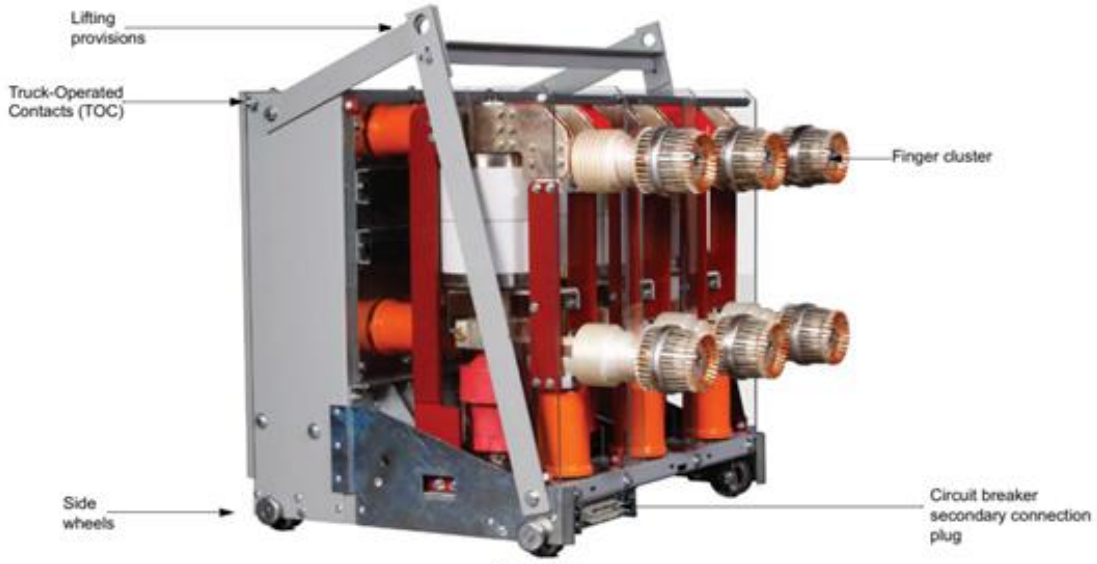
المواصفة القياسية الدولية IEC 62271-100 للجهد المتوسط

مكونات قاطع الدورة (CB)

يتكون قاطع الدورة (CB) بشكل أساسي مما يلي: –

- نقاط تلامس خارجية للتعشيق مع القضبان الناقلة (Busbars) من جهة ومع القابلو من جهة أخرى.
- نقاط تلامس داخلية (ملامسات) ثابتة ونقاط تلامس (ملامسات) متحركة.
- حجرة إخماد الشرارة أو القوس الكهربائي (Interrupter Or Chamber)، مع آلية مخصصة لذلك كما سيأتي.
- دائرتا الفصل (Tripping Circuit) والتوصيل (Closing Circuit).
- آلية ميكانيكية للفصل والتوصيل السريع من خلال ذراع ترتبط بالملامسات المتحركة (يمكن تخزين الطاقة الكامنة في قاطع الدورة بطرق مختلفة مثل ضغط نابض معدني، أو بالهواء المضغوط، أو بالضغط الهيدروليكي)، يتم الضغط يدويًا أو بواسطة محرك.

Front View



Rear View

Video

آلية العمل

حالة التشغيل العادية (Normal Condition)

في حالة ظروف التشغيل الطبيعية (أي لا يوجد عطل) يكون وضع قاطع الدورة (CB) كالتالي: -

١- حالة نقاط التلامس

- الملامسات الرئيسية (Main Contacts) تكون في حالة تعشيق ميكانيكي بفعل طاقة مخزّنة في النوابض أو آلية التشغيل تسبب ضغط ميكانيكي على نقاط التلامس المتحركة.
- القاطع في وضع التوصيل (ON/Closed)، يسمح بمرور التيار من المصدر إلى الحمل.

٢- مراقبة القيم

- المرحل (Relay) يستقبل قيم التيار والجهد من محولات التيار (CT) ومحولات الجهد (PT) أو من مستشعرات قياس التيار والجهد.
- يقوم بالمقارنة مع القيم المبرمجة (Setting Values) للكشف عن أي تجاوز أو خلل محتمل.

٣- حالة ملف الفصل (Trip Coil)

- ملف الفصل (Trip Coil) غير نشط، وبالتالي لا يصدر أي حركة ميكانيكية للفصل.
- آلية قاطع الدورة (CB) تبقى مغلقة ومثبتة ميكانيكيًا إلى أن تصل إشارة الفصل من المرحل (Relay).

حالة العطل (Fault Condition)

عند وقوع عطل مثل ودائرة القصر (Short Circuit)، أو زيادة تيار (Overload) في قاطع الدورة (CB) للجهد المتوسط: -

١- اكتشاف العطل

من محولات التيار (CT) ومحولات الجهد (PT) أو من مستشعرات قياس التيار والجهد. ترسل قيم التيار والجهد الفعلية إلى المرحل.

- المرحل (Relay) يقارن القيم المقاسة بالقيم المضبوطة (Settings) مثل تيار القصر أو حدود الجهد.
- عند تجاوز القيمة الحد المسموح، المرحل (Relay) يقرر أن هناك عطلاً يجب فصله.

٢- إصدار إشارة الفصل (Trip)

- المرحل (Relay) يرسل إشارة كهربائية لإغلاق دائرة الفصل وتشغيل ملف الفصل (Trip Coil).
- ملف الفصل (Trip Coil) هو ملف كهرومغناطيسي بداخله مزلاج صغير.

٣- تنشيط ملف الفصل

- عند تغذية ملف الفصل، يتولد مجال مغناطيسي يقوم بدفع مزلاج صغير داخله فيسحب أو يحرر الذراع أو الآلية الميكانيكية المثبتة لنقاط التلامس (الملامسات).
- هذا الفعل يحرر الطاقة الكامنة المخزنة في النوابض (Springs) داخل القاطع على شكل طاقة حركية.

٤- حركة آلية الفصل

- النوابض أو الآلية الميكانيكية تدفع الملامسات المتحركة بعيدًا عن الملامسات الثابتة بسرعة عالية جدًا.
- تحصل نتيجة عملية الفصل هذه تشكل شرارة أو قوس كهربائي عالي ناتج عن تيار العطل العالي.
- سرعة الفصل مهمة لتقليل الشرارة أو القوس الكهربائي.

٥- إخماد القوس الكهربائي

- آلية إخماد الشرارة أو القوس الكهربائي بالهواء أو الغاز العازل (SF_6) أو الصمام المفرغ من الهواء (Vacuum) تعمل على تبريده وتمديده حتى ينطفئ. سنذكرها لاحقًا بالتفصيل بإذنه تعالى.
- تضمن هذه العملية حماية ملامسات القاطع من الضرر.

٦- القاطع في وضع الفصل (Open/Off)

- بعد إتمام الحركة، يصبح القاطع في حالة فصل تام، ويكون مسار التيار مقطوعًا.
- المرحل (Relay) يبقى في حالة إنذار حتى إعادة ضبطه يدويًا أو آليًا.
- يضمن هذا الإجراء حماية المنظومة الكهربائية بمنع الحرائق أو الأضرار المحتملة.
- قبل إجراء عمليات الصيانة يتم عزل القاطع عن القضبان الناقلة (Busbars) للأمان وتأريض القاطع لمزيد من الأمان للعاملين.

حالة الإعادة بعد إزالة العطل (Restoration Condition)

١- شحن آلية التشغيل: - قبل الإغلاق، نابض الطاقة المخزنة في القاطع يجب أن يكون مشحون (Spring Charged) بواسطة محرك كهربائي أو شحن يدوي.

٢- إعطاء أمر الإغلاق: - الإغلاق يتم يدوياً بواسطة ذراع أو مقبض ميكانيكي أو زر الإغلاق (Close PB) أو إرسال أمر كهربائي عن بعد كمنظومة سكادا (SCADA).

٣- مرور التيار في دائرة الإغلاق (Closing Circuit): -

٤- تشغيل ملف الإغلاق (Closing Coil): الملف يولد مجالًا مغناطيسيًا يسحب المزلاج المتحرك ويحرر آلية الإغلاق.

٥- تحريك الملامسات الرئيسية: الطاقة المخزنة في النابض تتحرر، فتدفع نقاط التلامس المتحركة نحو نقاط التلامس الثابتة بسرعة عالية فتنطبق على بعضها (make)، فيتم توصيل الدائرة ويمر التيار الكهربائي فيها.

٦- تغيير حالة إشارة الاغلاق: النقاط المساعدة تتغير من (Open) إلى (Closed) أو العكس، لترسل إشارة أن القاطع الآن في وضع مغلق (Closed).

بعد دورة تشغيل قاطع الدورة (CB)، يتم إطلاق إجمالي الطاقة المخزنة ومن ثم يتم تخزين الطاقة الكامنة مرة أخرى في آلية تشغيل قاطع الدورة عن طريق محرك شحن النوابض أو ضاغط هواء أو بأي وسيلة أخرى. فأما يتم شحنها يدويًا أو بمحرك كهربائي أثناء عملية الإغلاق السابقة أو بشكل تلقائي.

ولتوضيح أكثر لتفاصيل دائرتي الفصل والإغلاق (Trip Circuit & Closing Circuit)، مع ملفيهما.

Trip Circuit

هي دائرة تحكم بجهد مستمر (DC) قليل (عادة 110V أو 220V أو 48V) وظيفتها تغذية ملف الفصل (Trip Coil) في قاطع الدورة (CB) عندما تأتي إشارة الفصل من مرحل الحماية (Relay) أو عن طريق نظام تحكم عن بعد. فيفصل القاطع ويقطع التيار في الدائرة الرئيسية. وظيفتها إنها تقوم بتغيير وضع القاطع من وضع التوصيل (Closed) إلى وضع الفصل (Open). تعتبر أهم دائرة تحكم في القاطع، حيث تضمن تشغيل الحماية، وأي خلل فيها قد يمنع القاطع من الفصل عند حدوث عطل.

Trip or Closing Coil

المكونات الأساسية لدائرة الفصل

١- مصدر جهد مستمر (DC Supply): ممكن تكون محولات (CT / PT) أو بطاريات المحطة مع شاحنة (عادة 110V أو 220V أو 48V).

٢- فيوز حماية (DC Fuse): لحماية الدائرة من القصر.

٣- نقطتي تلامس مرحل الحماية (Trip Contact): تعمل كمفتاح يغلق الدائرة.

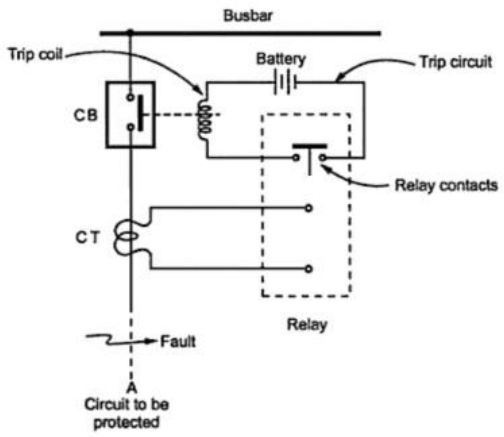
٤- ملف الفصل (Trip Coil): ويُسمى أيضًا (Solenoid Coil)، وهو ملف كهرومغناطيسي يحتوي بداخله على مزلاج (Latch) صغير. عند تغذيته بالتيار، يتولد مجال مغناطيسي يجذب أو يدفع هذا المزلاج – وفق قانون لورنتز لتوليد القوة الميكانيكية – مما يؤدي إلى تحريك الذراع أو الآلية الميكانيكية المرتبطة بملامسات القاطع. ينتج عن ذلك تحرير النوابض المخزنة للطاقة، فتتحرك نقاط التلامس سريعًا نحو وضع الفصل، وقطع التيار الكهربائي.

٥- نقاط مساعدة في القاطع (Auxiliary Contacts): لفتح دائرة (Trip Circuit) بعد عملية فصل القاطع لتقطع التيار عن ملف الفصل (Trip Coil) وتمنع احتراقه إذا بقيت إشارة الفصل موجودة. أو لإرسال إشارات حالة أو إنذار. أو منع القاطع من الفصل غير المصرح به فتسمى (Interlocks).

٦- مفتاح التحكم (Control Switch): لتوصيل أو فصل القاطع يدوياً من لوحة التحكم أو عن طريق نظام تحكم عن بعد كمنظومة سكادا (SCADA) بغض النظر عن المرحل (Relay).

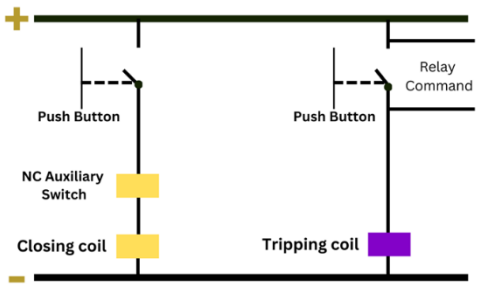
٧- موقع الاختبار (Test Position): يستخدم لاختبار الدائرة وصلاحيتها للعمل.

٨- مؤشرات وأجهزة مراقبة (Trip Circuit Supervision Relay): لمراقبة سلامة الفيوز، الأسلاك، والمفتاح وإنها بحالة سليمة. يعطي إنذارًا إذا انقطع الفيوز أو تلف سلك قبل وقوع العطل.



Closing Circuit

هي الدائرة الكهربائية المسؤولة عن تغذية ملف الإغلاق (Closing Coil) ويُسمى أيضًا (Solenoid Coil)، داخل القاطع، بتمرير تيار من مصدر الجهد المستمر (DC) الى ملف الإغلاق، فيغلق القاطع ويعيد توصيل التيار في الدائرة الرئيسية – وفق قانون لورنتز لتوليد القوة الميكانيكية – مكوناتها وآليتها مشابهة لدائرة الفصل (Trip Circuit) أعلاه غير إنها تعاكسها بالوظيفة أي تقوم بتغيير وضع القاطع من وضع الفصل (Open) إلى وضع التوصيل (Closed). في بعض قواطع الدورة (CB) ذات السعات القليلة والتي لا يتم التحكم بها عن بعد، تحتوي فقط على دائرة (Trip Circuit) وبدون دائرة (Closing Circuit) فالإغلاق يتم يدوياً بواسطة ذراع أو مقبض ميكانيكي أو زر.



تصاميم قواطع الدورة (Circuit Breaker - CB)

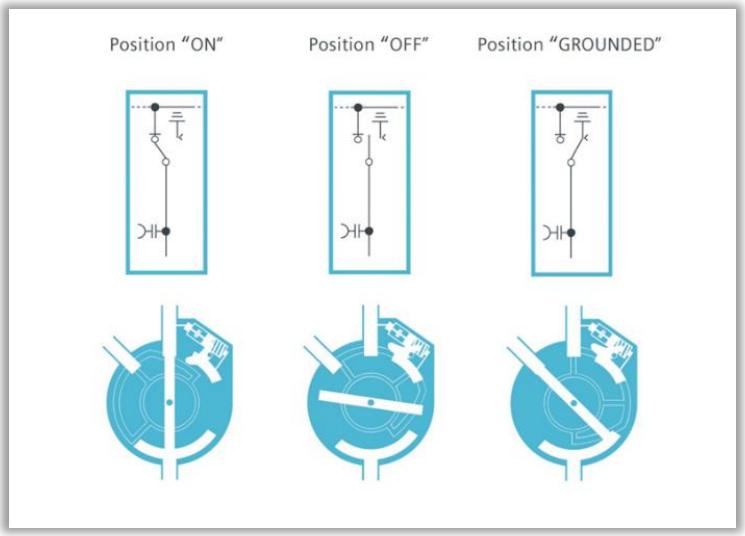
ترتبط آلية عمل قواطع الدورة (CB) بالمفاتيح الأخرى: –

- مفتاح العزل (Disconnector - DS): للعزل المرئي لغرض توفير سلامة وأمان العاملين أثناء الصيانة.
- مفتاح التأريض (Earthing Switch - ES): لتأريض الدائرة المعزولة وتفريغ الشحنات الساكنة (Residual/Induced Voltages)، وبالتالي توفير سلامة إضافية لضمان أمان العاملين أثناء الصيانة.

وتختلف التصاميم في ارتباطها بهذه المفاتيح حسب الحاجة والتطبيق، وتكون على عدة حالات كما مبين أدناه: –

- قاطع الدورة (CB) لا يحتوي عادةً على آلية تأريض لأنه ليس مخصصًا لذلك.
- إذا كان قاطع الدورة (CB) من النوع الثابت (Fixed Type) مصحوب بمفتاح فاصل العزل (Disconnector – DS) لتحقيق العزل التام الآمن. وهنا حالتين

  - يكون فاصل العزل (Disconnector – DS) مدمجًا مع مفتاح أرضي (Integral Earthing Switch) ومرتبط به ميكانيكياً داخل نفس الخلية. ويكون مفتاح فاصل العزل ثلاثي المواضع (3-position Switch) أي توصيل/فصل/أرضي (On/Off/Earth).
  - يكون فاصل العزل (Disconnector – DS) منفصلًا عن المفتاح الأرضي (ES) وعن قاطع الدورة (CB) لكنه ميكانيكيًا مرتبط (interlocked) مع فاصل العزل (Disconnector – DS). كما في محطات الجهد العالي (HV Substation).



إذا كان قاطع الدورة (CB) من النوع القابل للسحب (Draw Out) منفردًا فإنه لا يحتاج الى مفتاح فاصل العزل (Disconnector) لأنه يحقق العزل التام الآمن بسحب قاطع الدورة (CB) بعيدًا عن الأجزاء المتصلة بمصدر الطاقة الكهربائية داخل حجرة المعدات، والمفتاح الأرضي (ES) يكون منفصلًا عن قاطع الدورة (CB) لكنه ميكانيكيًا مرتبط بـ (Interlocked) لمنع التشغيل الخاطئ.

- توجد قواطع دورة (CB) للجهد المتوسط بدون أي فاصل عزل (Disconnector – DS) سواء مدمج أو منفصل كما في بعض التطبيقات التي لا تحتاج إلى عزل مرئي مثل بعض شبكات التوزيع المؤتمتة حيث يتم العزل عن بُعد عبر إعادة توزيع التغذية وليس بفصل يدوي، وأيضًا في بعض المعدات الداخلية التي تستخدم القاطع فقط للحماية ويكون مرتبط بحلقة رئيسية يتم عزلها من مفاتيح أخرى لكن المواصفة القياسية الدولية IEC 62271 توصي عادة بوجود وسيلة عزل مرئي (Visible Isolation) لأسباب تتعلق بالسلامة أثناء الصيانة.
- بعض قواطع الدورة (CB) في محطات التوزيع أو غرف أزرار المنشآت المهمة تمتلك خاصية إعادة الغلق التلقائي (Auto Reclosing)، وهي تسمح للقاطع بالعودة للعمل بعد فصله (Open) نتيجة عطل عابر أو تماس مؤقت، دون تدخل بشري. هذه الخاصية موجودة في القواطع الحديثة، وتعمل عن طريق وحدة تحكم أو مرحل (Relay) تحدد وقت الانتظار قبل التوصيل (Closed) مرة أو مرتين، فإذا كان العطل مستمرًا يبقى القاطع فصله (Open)، وإذا كان مؤقتًا يعيد التوصيل (Closed) تلقائيًا لتقليل مدة الانقطاع وزيادة وثوقية الشبكة وهذه الخاصية غير مستخدمة في العراق.

ولفهم آلية عمل المفاتيح الكهربائية واستخداماتها بشكل أوضح. فيما يلي المقارنة بينها: –

العنصر	Circuit Breaker (CB)	Load Break Switch (LBS)	Disconnector (Isolator)
الوظيفة الرئيسية	حماية كاملة: قطع الدائرة أثناء الحمل ووقت الأعطال	فصل الدائرة أثناء الحمل في ظروف التشغيل العادية	العزل الميكانيكي فقط للفصل الآمن أثناء الصيانة
الفصل أثناء الحمل	مسموح	مسموح	غير مسموح
آلية إخماد الشرارة	يحتوي على آلية خامدة للشرارة أو القوس الكهربائي (SF_6, Vacuum, Oil, Air)	يحتوي على آلية خامدة للشرارة أو القوس الكهربائي (SF_6, Vacuum, Air)	لا يحتوي على آلية خامدة للشرارة أو القوس الكهربائي
الفصل عند الأعطال	فصل الأعطال تلقائيًا وبموثوقية عالية	لا يفصل الأعطال (عادةً)	لا يفصل الأعطال
قدرة الفصل	التيار المقرر + تيارات القصر	التيار المقرر للحمل فقط	صفر أمبير تحت الحمل – يجب أن تكون الدائرة مفتوحة مسبقًا
آلية التشغيل	يدوي أو تلقائي	يدوي أو بمحرك	يدوياً بالكامل
المواصفة الدولية IEC	IEC 62271-100 (MV/HV), IEC 60947-2 (LV)	IEC 62271-103 (MV/HV), IEC 60947-3 (LV)	IEC 62271-102

المكونات الأساسية الأخرى لخلايا المفاتيح الكهربائية (Switches)

➢ الأقفال المتشابكة (Interlocks)

تعني آلية منع التشغيل الخاطئ (Safety Interlocking System)، وهي عبارة عن وسائل ميكانيكية أو كهربائية أو إلكترونية مصممة لضمان التشغيل الآمن والمنظم للمعدات والمفاتيح الكهربائية، وذلك بمنع حصول حالات معينة أو حوادث إلاّ في حال استيفاء شروط مسبقة محددة. وتعتبر خط الدفاع الأخير بعد أنظمة الحماية حيث تمنع المستخدم من القيام بعملية فصل أو توصيل غير صحيحة، قد تؤدي إلى

- تعريض الفني أو المعدات للخطر.
- حدوث دائرة قصر (Short Circuit).
- فصل أو توصيل المفتاح الكهربائي في وضع غير آمن.

المواصفة القياسية الدولية IEC 61439-1 للجهد الواطئ

المواصفة القياسية الدولية IEC 62271-200 للجهد المتوسط

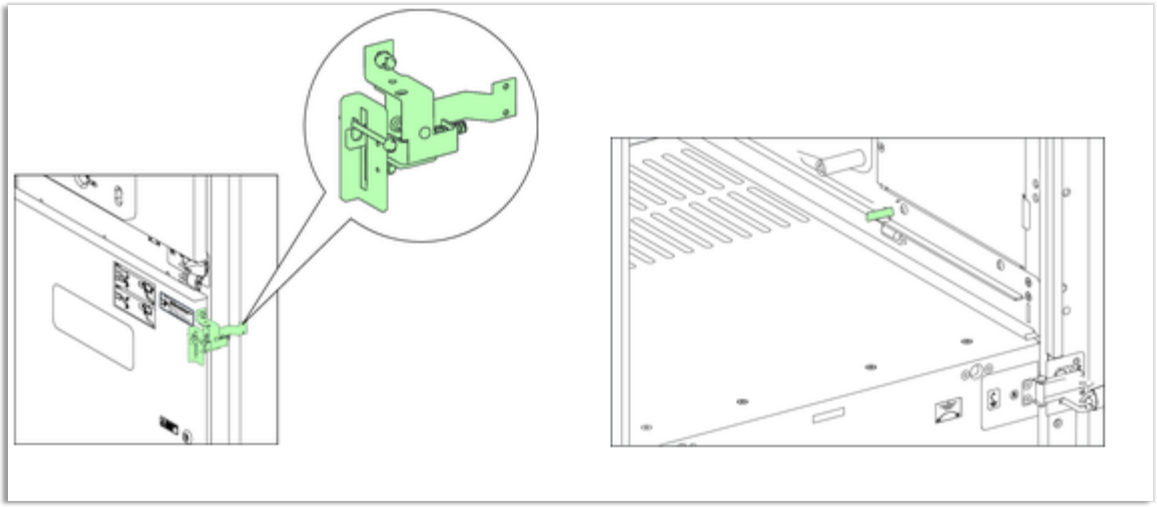
المواصفة القياسية الدولية IEC 62271-102 يحدد بشكل خاص متطلبات الـ (Interlocks) بين (Disconnector) و(Earthing Switch) لضمان التتابع الصحيح (Sequence)

أنواع الـ (Interlocks) في المعدات (Switchgear)

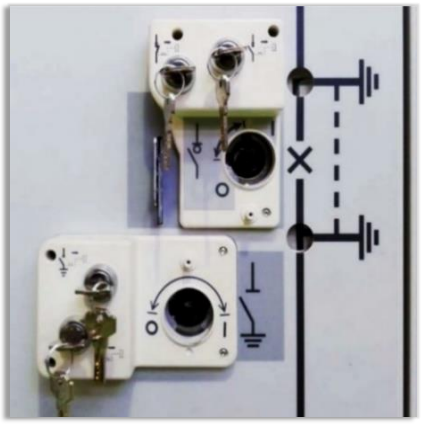
١- ميكانيكية (Mechanical Interlocks)

تستخدم أقفالًا أو آليات فيزيائية على شكل قضبان أو قطعة معدنية أو مفاتيح ميكانيكية. لا تحتاج الى مصدر للطاقة الكهربائية. مثل: -

- لا يمكن سحب القاطع (CB) القابل للسحب (Withdrawable) إلى الخارج إذا كان مغلقًا (ON).
- لا يمكن غلق مفتاح الأرضي (ES) إذا لم يكن قاطع دورة (CB) مفصول تمامًا.



٢- مفاتيح (Key Interlocks)



نظام ميكانيكي - منطقي (Mechanical + Procedural Logic) أكثر أمانًا. ويعتبر تصنيفه مستقلًا عن النوع السابق (الميكانيكي). يعتمد على تسلسل تحكم باستخدام مفتاح (Trapped Key) يتم سحبه من جهاز في وضع معين وينقل إلى جهاز آخر لتشغيله لإجبار المشغل على اتباع التسلسل الصحيح. مثل: -

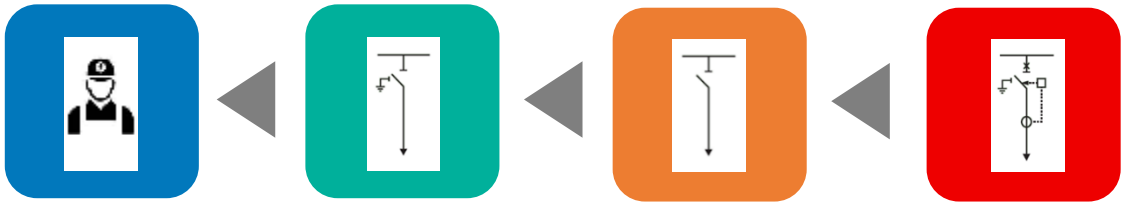
- لا يمكن الحصول على مفتاح التأريض (ES) إلا إذا كان القاطع مفصول ومؤمن.
- مفتاح حجرة القابلوات لا يُسحب إلا بعد تأريض الخط.

٣- كهربائية (Electrical Interlocks)

تستخدم نقاط التلامس الإضافية (Auxiliary Contacts) أو دوائر تحكم إلكترونية أو مفاتيح كهرو ميكانيكية (Limit Switches) أو مرحلات (Relays)، لمنع عمليات لم تحقق الشروط المطلوبة كهربائيًا. مثل: -

- منع تشغيل قاطع دورة (CB) وهو في وضع التأريض، يجب أن يكون مفتاح الأرضي (ES) مفتوح (OFF).
- منع تشغيل قاطع دورة (CB) إلا إذا كان مفتاح العزل (Disconnector) مغلق (ON) بشكل صحيح.
- لا يعمل القاطع إلا إذا وصلته إشارة (Ready) من مرحل الحماية (Relays).

التسلسل الطبيعي لدخول خلية جهد متوسط نموذجية: -



تتكامل الأقفال جميعها لتحقق السلامة وتمنع التشغيل الخاطئ، وللتوضيح: -

أ) Interlock بين (CB) و (Disconnector)

يمنع تشغيل أو فصل الـ (Disconnector) إذا كان قاطع الدورة (CB) في وضع (ON).

ب) Interlock بين (CB) و (ES)

يمنع تأريض الدائرة إذا كان قاطع الدورة (CB) في وضع (ON).

ج) Interlock بين (ES) وباب الخلية

يمنع فتح باب الخلية إلا إذا كان مفتاح التأريض مغلق (لتأمين أن القابلو أو القضبان الناقلة مؤرضة).

د) Interlock بين مصدرين (Bus Coupler).

يمنع توصيل مصدرين على نفس القضيب الناقل (Busbar) إلا بوجود منطق صحيح (Synchronizing أو ATS).

➢ القضبان الناقلة (Busbars)

Copper Busbars

Galvanized Copper Busbars

Aluminium Busbar

Insulated Busbar

وهي موصلات معدنية (عادة نحاسية أو ألمنيوم) وظيفتها الأساسية تجميع وتوزيع الطاقة الكهربائية بين الأجزاء والمكونات المختلفة (مثل مفاتيح فصل قابلوات الدخول والخروج، أو قواطع الدورة، أو مفتاح تغذية المحولة) وتسهيل الربط بينها. داخل المعدات بطريقة آمنة وموثوقة. بديهيًا تزداد مساحة المقطع العرضي للموصل مع زيادة التيار، ولهذا يعتمد حجم القضبان الناقلة على سعة المعدات. تكون على شكل قضبان مسطحة (Flat bars) وهي الأكثر شيوعاً في المعدات. أو قضبان أنبوبية (Tubular) تستخدم في الجهود العالية (400kV فما فوق) لتقليل المجال الكهربائي. تكون على نوعين نحاس وألمنيوم. بعض القضبان الناقلة تكون مغلونة أي مطلية بالفضة أو القصدير أو النيكل، لتعطي سطحًا أملسًا ومتينًا لتقليل الأكسدة والتآكل وتحسين التوصيل الكهربائي عند نقاط التلامس لأن التأكسد عند نقاط التلامس يزيد المقاومة ويقلل التوصيلية. في بعض الحالات وخصوصًا الجهد الواطئ تغلف بمادة عازلة رقيقة.

Bus Riser

هو قضيب ناقل (Busbar) موضوع بشكل عمودي، ويعمل كخط ناقل رئيسي لتوزيع الطاقة الكهربائية بين مستويات أو خلايا (خانات) مختلفة لتسهيل الربط بينها وتحسين ترتيبها داخل المعدات (Switchgear)، أو بين طوابق المباني. يُستخدم بشكل شائع في المعدات (Switchgear)، أو داخل المباني العالية لتغذية الأحمال على ارتفاعات متعددة، داخل قناة معدنية محكمة تُعرف بنظام (Bus Duct)، بدلًا من القابلوات.

المواصفات القياسية الدولية للجهد الواطئ: – IEC 61439-1

IEC 61439-2

IEC 61439-6

IEC 61439- Annex D

المواصفات القياسية الدولية للجهد المتوسط والعالي IEC 62271-200

القضبان الناقلة (Busbars) تحتاج إلى دعامات تثبيت (Busbar Supports) عازلة للحفاظ على موقعها وتحمل وزن القضبان، والاهتزازات، والحرارة الناتجة عن مرور التيار، والحفاظ عليها معزولة عن بعضها ومع أجزاء المعدات المعدنية لضمان السلامة الكهربائية والميكانيكية. بعض الدعامات تساعد على تبديد الحرارة الناتجة عن التيار الكهربائي. تكون بأشكال وتصاميم مختلفة حسب الحاجة والموقع. تصنع من مواد عازلة مثل: البوليأميد (Polyamide – PA 6, PA 66)، البورسلين (Porcelain)، البوليمرات المركبة، البولي بروبيلين أو البولي كربونات في الجهد الواطئ.

المواصفة القياسية الدولية IEC 61439-1 لمتطلبات العزل الميكانيكي والكهربائي لدعامات التثبيت

المواصفة القياسية الدولية IEC 60865-1 تتعلق بالتصميم الكهربائي والميكانيكي للقواطع والموصلات، تشمل قوة التحمل للدعامات عند التيارات الزائدة

➢ العوازل المبطنة (Bushings)

هي قطع عازلة (Insulators) تعزل الموصلات الكهربائية (التي تحمل الجهد العالي) والجدار المعدني أو الهيكل، وتسمح بمرور التيار عبر الحاجز المؤرض بأمان، وتوفر نقاط تثبيت ميكانيكي لربط أطراف الموصلات الكهربائية في المعدات (Switchgear).

المواصفة القياسية الدولية IEC 62271-1 المواصفات العامة لمعدات التيار المتناوب

المواصفة القياسية الدولية IEC 62271-209 تتضمن العوازل المبطنة في المعدات المعزولة بالغاز (GIS)

مكونات الـ (Bushings)

- الموصل الداخلي (Conductor): (عادة نحاس أو ألومنيوم).
- المادة العازلة الداخلية (insulating material): (زيت، غاز SF_6، أو مادة راتنجية (Epoxy) أو ورق مغمور بالزيت/ الراتنج (Epoxy)).
- الغلاف الخارجي (Housing): (من مادة عازلة أيضًا، عادةً خزف (Porcelain)، أو بوليمر).

أنواع الـ (Bushings) حسب مادة العزل

- Porcelain Bushing : تقليدية، قوية ميكانيكياً لكنها ثقيلة وقابلة للكسر.
- Polymer/Composite Bushing : خفيفة، مقاومة للصدمات والتلوث البيئي.
- Oil-impregnated Paper (OIP) Bushing : ورق مشبع بالزيت، مناسبة للجهود العالية والمتوسطة.
- Resin-impregnated Paper (RIP) Bushing : ورق مشبع بالراتنج (Epoxy)، وقابل للتصلب ليصبح مكثفًا صلبًا، أكثر أمانًا من الزيت، للجهود العالية جدًا، حيث توفر أداءً كهربائيًا وحراريًا متفوقًا.

التحمل الكهربائي والميكانيكي للمفاتيح الكهربائية

في مواصفات المفاتيح الكهربائية يوجد اصطلاحيين مهمين: –

- Mechanical Endurance

ويعني قدرة هذه المفاتيح على تحمل عدد معين من عمليات التشغيل الميكانيكية (فصل وتوصيل)، دون أن يتأثر أدائها أو تتعرض للتلف .هذا التحمل مرتبط بجودة التصميم والمواد المستخدمة، بالإضافة إلى ظروف التشغيل والصيانة.

المواصفة القياسية الدولية IEC 62271-100 لقواطع الدورة (CB)

المواصفة القياسية الدولية IEC 62271-102 لفاصل العزل (Disconnector - DS)

الفئة	عدد عمليات التشغيل
M0	1000
M1	2000
M2	10000

- Electrical Endurance

ويعني قدرة جهاز أو مفتاح كهربائي، مثل مفتاح التأريض (ES)، على تحمل ظروف التشغيل المختلفة، خاصةً عند حدوث أعطال. يوضح هذا التصنيف قدرة الجهاز على تحمل تيارات الأعطال دون تلف.

المواصفات القياسية الدولية سلسلة IEC 62271 لمعدات الجهد المتوسط والعالي

الفئة	الوصف
E0	بدون تحمل كهربائي (فقط ميكانيكي)
E1	تحمل كهربائي عدد محدود تحت تيار القصر (عمليات تحت الحمل المعتدل)
E2	تحمل كهربائي مرتفع (عمليات متكررة تحت الحمل أو تيار القصر)

- في مواصفات وزارة الكهرباء العراقية (D-01B) الخاصة بالمحطات الثانوية (33/11 kV) المعزولة بالهواء (AIS)، و(D-01C) الخاصة بالمحطات الثانوية (33/11 kV) المعزولة بالغاز (GIS): تنصّان على: –
  - مفتاح العزل (Disconnector - DS) من الفئة "M2"، ومفتاح التأريض (ES) من الفئة "E2" لمعدات جهد (11 kV). وفق المواصفة القياسية الدولية IEC 62271-102.
  - مفتاح العزل (Disconnector - DS) من الفئة "M1" (كحد أدنى)، ومفتاح التأريض (ES) من الفئة "E2" لمعدات جهد (33 kV). وفق المواصفة القياسية الدولية IEC 62271-102.
- في مواصفات وزارة الكهرباء العراقية (D-01C) الخاصة بالمحطات الثانوية (33/11 kV) المعزولة بالغاز (GIS) – القسم (٢): تنص على أن يكون: –
  - قاطع الدورة (CB) جهد (33 kV)، يتحمل ١٠٠٠٠ عملية التشغيل وهي متوافقة مع المواصفة القياسية الدولية IEC 62271-100.
  - قاطع الدورة (CB) لمغذيات جهد (11 kV)، يتحمل ٣٠٠٠٠ عملية التشغيل وهي **أكثر من المقرر** في المواصفة القياسية الدولية IEC 62271-100.
- في مواصفات وزارة الكهرباء العراقية (D-01B) الخاصة بالمحطات الثانوية (33/11 kV) المعزولة بالهواء (AIS) – القسم (٢): قواطع الدورة (CB)، تتحمل ١٠٠٠٠ عملية التشغيل وهي متوافقة مع المواصفة القياسية الدولية IEC 62271-100.

ثانيًا: تصنيف وأنواع المعدات (Switchgear)

أنواع قواطع الدورة (CB) ومفاتيح فصل الحمل (LBS) وفق آلية إخماد الشرارة أو القوس الكهربائي

ما هي الشرارة أو القوس الكهربائي وكيف تنشأ

عند تشغيل أو إطفاء أي مفتاح كهربائي، تتشكل شرارة أو قوس كهربائي، ويعتمد تكوينه على الجهد وشدة التيار المار في الدائرة الكهربائية وقت التشغيل. تنتج هذه الشرارة أو القوس الكهربائي عن تفريغ كهربائي بسبب ارتفاع الجهد (على طرفي نقاط تلامس المفتاح الكهربائي) الذي ينتج عنه مجال كهربائي عالي، يؤدي الى تأيُن المادة العازلة (عادة الهواء)، فينهار العزل وتصبح موصلة للكهرباء بشكل مؤقت، مما يقلل من المقاومة على طول مسار القوس، فيسمح بمرور تيار كهربائي عبر مسار غير مقصود في المادة العازلة المنهارة، ويظل تدفق التيار في الدائرة مستمرًا حتى ينطفئ القوس، المتشكل بين نقاط التلامس ويمتد طولاً عند فتحها مما يؤدي إلى توليد حرارة عالية جدًا تسخن الهواء أو المادة المحيطة بالقوس بشكل كبير ويكون في التيار المتناوب (AC) أقل شدة من التيار المستمر (DC) بسبب ثبات قيمته. ومن الضروري إطفاء الشرارة أو القوس الكهربائي بسرعة وأمان أثناء توصيل المفتاح وفصله لحماية نقاط التلامس وما حولها، لذلك تبرز الحاجة إلى وسط وآلية معيّنة لإخماد الشرارة أو القوس الكهربائي، مثل الهواء أو الزيت أو الغاز.

آلية إخماد الشرارة أو القوس الكهربائي في مفاتيح فصل الحمل (LBS) وقواطع الدورة (CB)

مفاتيح فصل الحمل (Load Break Switch - LBS) وقواطع الدورة (Circuit Breakers - CB) كلاهما يؤديان وظيفة فصل وتوصيل الدائرة الكهربائية أثناء مرور التيار، أي في حالة التشغيل الاعتيادي، ولذلك يحتاجان إلى آلية خاصة لإخماد الشرارة أو القوس الكهربائي الذي يتولد أثناء عملية الفصل أو التوصيل. إلا أن قواطع الدورة (CB) تختلف عن مفاتيح فصل الحمل (LBS) في أنها مصممة لتتحمل وتفصل تيارات العطل العالية، وهي تيارات تفوق بكثير تيار التشغيل الاعتيادي، مما يستلزم وجود نظام أكثر تعقيدًا وقوة لإخماد القوس الكهربائي الناتج عن هذه التيارات العالية، لضمان سلامة القاطع واستمرارية عمل المنظومة الكهربائية بكفاءة وأمان.

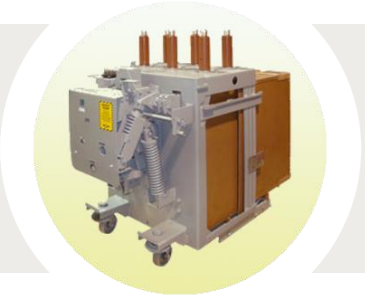
يتم تصنيف المفاتيح الكهربائية سواءً مفاتيح فصل الحمل (LBS) أو قواطع الدورة (CB) بناءً على آلية إخماد الشرارة أو القوس الكهربائي، وهنا في التصنيف قمنا بتسمية الأصناف باسم قواطع الدورة (CB) تماشيًا مع المصادر العالمية رغم إنها تشمل كلًا من قواطع الدورة (CB) ومفاتيح فصل الحمل (LBS). هناك أربعة أنواع منها: -

١- قواطع الدورة المفرغة من الهواء

(Vacuum Circuit Breakers)

٢- قواطع الدورة الغازية

(SF_6 Circuit Breakers)



٣- قواطع الدورة الهوائية

(Air Circuit Breakers - ACB)

٤- قواطع الدورة الزيتية

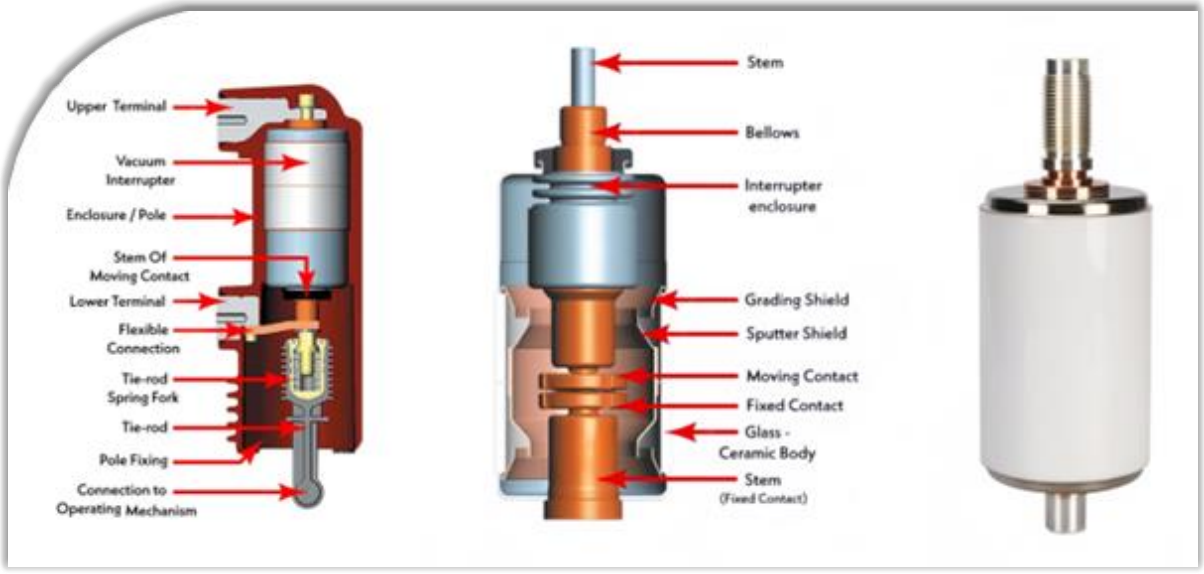
Oil Circuit Breaker - OCB)

١– قواطع الدورة المفرغة من الهواء (Vacuum Circuit Breakers - VCB)

نوع من قواطع الدائرة الكهربائية يستخدم الفراغ لإخماد الشرارة أو القوس الكهربائي الذي يتشكل عند فصل نقاط التلامس لقطع التيار. يتميز هذا النوع من القواطع بكفاءته العالية. يتكون من: –

- غلاف أسطواني مفرغ من الهواء (فراغ تام – ضغط أقل من ١٠$^{-4}$ إلى ١٠$^{-7}$تور)، يُصنع من خزف أو زجاج مقوّى (سيراميك أو زجاج عالي التحمل)، يتحمل الضغط ويمنع دخول الهواء من الخارج.
- تُركّب داخله نقاط التلامس المتحركة والثابتة.
- يُركّب داخل الغلاف المفرغة من الهواء درع القوس الكهربائي (يحيط بمنطقة القوس الكهربائي لحماية العازل الزجاجي من الأبخرة المعدنية المنبعثة من التلامس، ويمنع ترسيب المعادن على الجدران الداخلية).

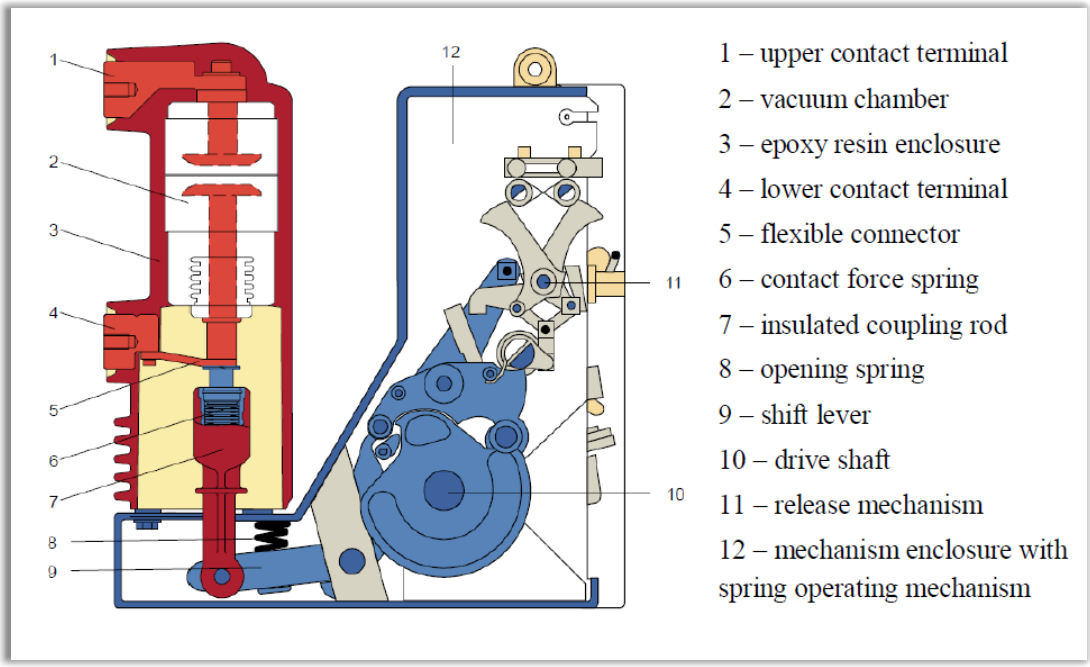
لذا يتشكل القوس الكهربائي عند فتح نقاط التلامس ليس نتيجةً لتأيُن الهواء، لأنه مفرغ من الهواء أصلًا، وإنما نتيجة تأين الأبخرة المعدنية. ثم ينطفئ القوس الكهربائي ذاتيًا عند أول نقطة صفر في الموجة الجيبية للتيار المتناوب (AC Current Zero).



Video Video

مزايا وعيوب قواطع الدورة المفرغة من الهواء (VCB)

- طاقة القوس الكهربائي المنبعثة منخفضة.
- قادرة على تحمل الصواعق.
- لا تحتاج إلى صيانة تُذكر.
- صغيرة الحجم وذات عمر طويل.
- قادرة على تحمل تيارات عالية.
- غير مناسبة للتيارات القليلة جدًا.
- أعلى سعرًا مقارنة ببعض الأنواع.
- لديها قوة عزل ممتازة مقارنةً بالأنواع الأخرى.
- درجة الحرارة لا تنتقل بسبب ضعف التوصيل الحراري في الفراغ

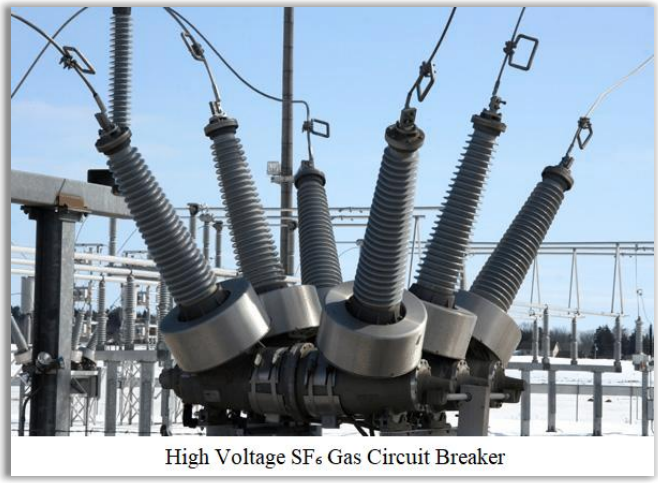


٢– قواطع الدورة الغازية (SF_6 Circuit Breakers)

تستخدم هذه القواطع غاز سداسي فلوريد الكبريت (SF_6) كوسط عازل وخامد للشرارة أو القوس الكهربائي. تتميز قواطع (SF_6) بقوة عزل كهربائي فائقة واستقرار حراري.

يتركب من نقاط تلامس، ثابتة ومتحركة، تكون في حجرة القوس الكهربائي مع غاز (SF_6) الذي يبلغ ضغطه (ما يعادل ١ إلى ٨ بار) ودرجة حرارته ٢٠ درجة مئوية. عند فصل التيار الكهربائي تفتح نقاط التلامس، وتتولد شرارة أو قوس كهربائي ويتدفق الغاز عبر الحجرة

ويصطدم بالقوس الكهربائي – وكذلك عند تشغيل القاطع– يمتص غاز (SF_6) الإلكترونات الحرة، مما ينتج عنه أيونات سالبة ثابتة. يتطلب غاز (SF_6) حرارة عالية لتفكيك الروابط بين الجزيئات، لذا فهو يعمل على امتصاص طاقة القوس الكهربائي الحرارية وتبريد القوس بسرعة عالية. نتيجة لذلك، تقل الموصلية الكهربائية للقوس تدريجيًا حتى ينطفئ تمامًا عند عبور التيار لنقطة الصفر (Zero Current)، ويُخمد القوس الكهربائي في النهاية. بمجرد انطفاء القوس، تبدأ الذرات في إعادة الاتحاد وتجدد غاز (SF_6) على الفور تقريبًا. يتميز غاز (SF_6) بخصائص عزل كهربائي عالية (حوالي ٨ إلى ٩ مرات أكبر من الهواء عند ضغط ٥ بار). ونقل حراري ممتازة. لكن يتطلب المراقبة والفحص المستمر لأن انخفاض ضغط الغاز بسبب التسرب يقلل من الأداء العازل ويزيد من خطر العطل.



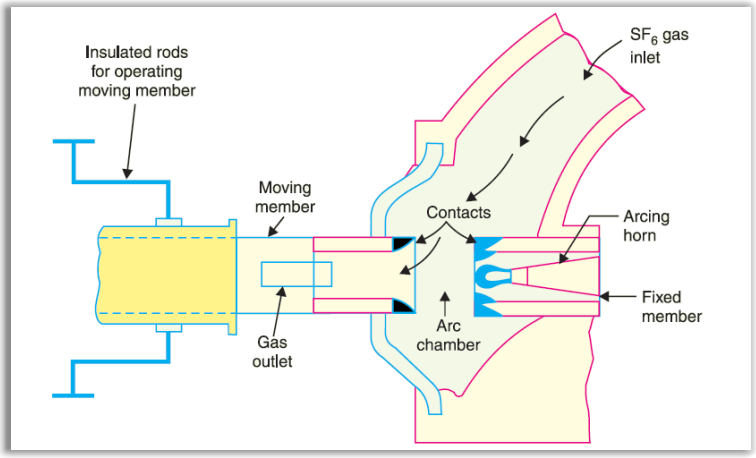
High Voltage SF_6 Gas Circuit Breaker

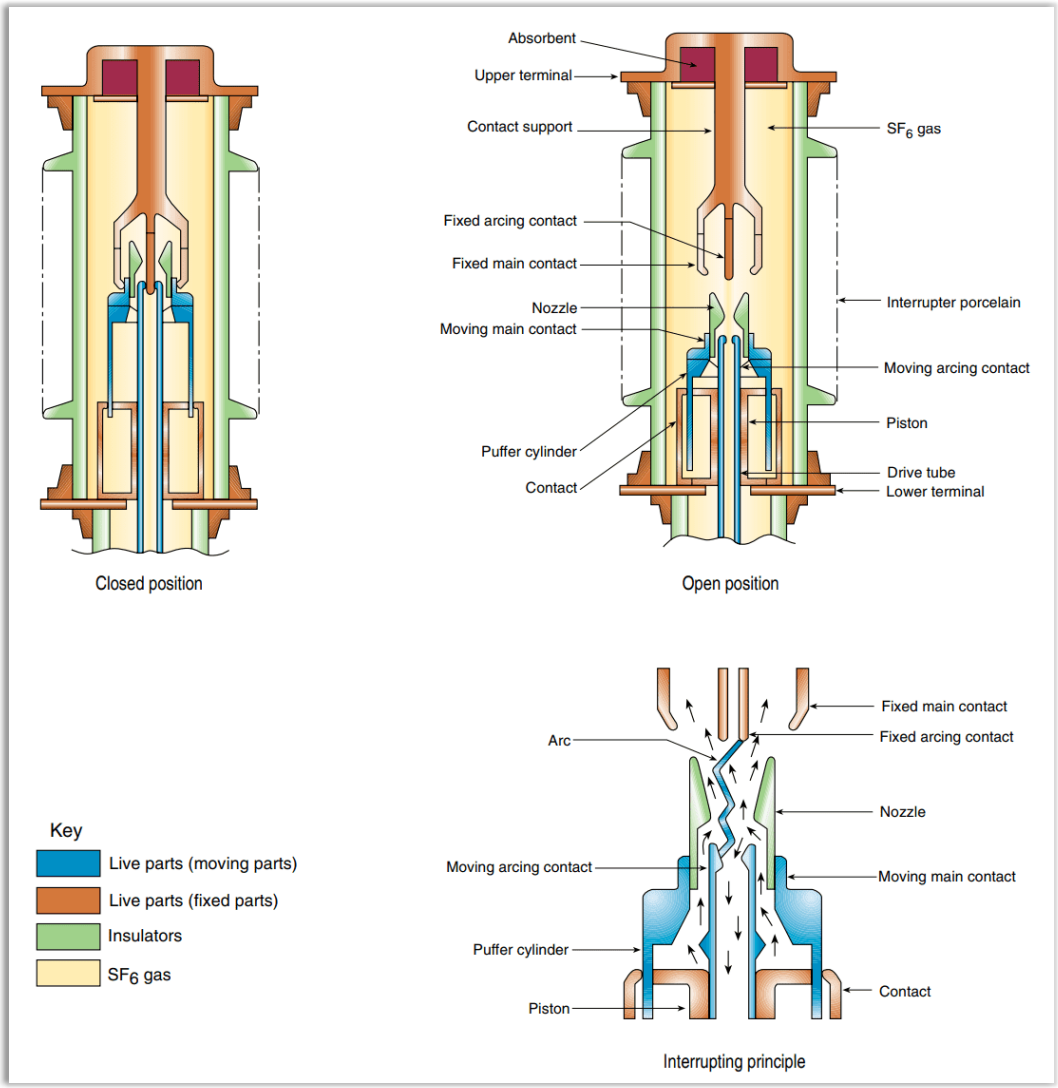
مزايا وعيوب قواطع الدورة الغازية (SF_6 CB)

- قدرة عالية على إخماد القوس الكهربائي.
- الغاز له ثابت عزل كهربائي ممتاز.
- ذات عمر تشغيلي طويل.
- تحتاج إلى صيانة دورية محدودة جدًا.
- ضرورة الفحص الدوري للغاز.
- عملية الإصلاح معقدة عند تسرب الغاز.
- أعلى سعرًا مقارنة ببعض الأنواع.
- عدم تأثرها بالظروف الجوية.
- الغاز خامل، غير قابل للاشتعال
- الغاز غير سام لكن نواتج تحلله خطرة.
- تأثير بيئي سلبي جدًا على الاحتباس الحراري.

قواطع الدورة (CB) من هذا النوع تكون فعّالة للغاية في تطبيقات الجهد المتوسط والعالي.

هناك أنواع أخرى من القواطع الحديثة وقليلة الانتشار تستخدم غاز ثنائي أوكسيد الكربون (CO_2) باعتباره أفضل بيئيًا وأرخص ثمنًا.


Insulated rods
for operating
moving member
Moving
member
Gas
outlet
Contacts
Arc
chamber
SF_6 gas
inlet
Arcing
horn
Fixed
member


Absorbent
Upper terminal
Contact support
Fixed arcing contact
Fixed main contact
Nozzle
Moving main contact
Puffer cylinder
Contact
SF_6 gas
Interrupter porcelain
Moving arcing contact
Piston
Drive tube
Lower terminal
Closed position
Open position
Key
Live parts (moving parts)
Live parts (fixed parts)
Insulators
SF_6 gas
Arc
Moving arcing contact
Puffer cylinder
Piston
Fixed main contact
Fixed arcing contact
Nozzle
Moving main contact
Contact
Interrupting principle

Video Video

٣- قواطع الدورة الهوائية (Air Circuit Breakers - ACB)

أنواع من القواطع الكهربائية تستخدم الهواء كوسط لإخماد الشرارة أو القوس الكهربائي، تحدث عملية بدء القوس وإخماده في الهواء الساكن الذي يتحرك فيه القوس الكهربائي. إن آليات تشغيل هذا النوع من قواطع الدورة معرضة للبيئة المحيطة. تمتاز بإنها قادرة على التعامل مع مستويات عالية من التيار وفصلها، مما يجعلها مناسبة للمنشآت الكهربائية الكبيرة في الصناعات ومحطات الطاقة. حاليًا تستخدم في الجهد الواطئ والجهد العالي ونادرة الاستخدام في الجهد المتوسط عالميًا وغير مستخدمة في العراق.

مزايا وعيوب قواطع الدورة الهوائية (ACB)

- مناسبة للتيارات العالية
- سهولة الصيانة وتركيبها بسيط نسبيًا.
- ذات عمر تشغيلي طويل.
- يمكن التحكم بها آليًا أو يدويًا بسهولة.
- مناسبة للتشغيل المتكرر.
- صديقة للبيئة لأنها لا تستخدم مواد ملوِثة.
- حجمها ووزنها كبير.
- تصدر ضوضاء عالية أثناء عملية الفصل.
- الشرارة أو القوس الكهربائي يكون مرئياً.
- تأثير العوامل البيئية على كفاءتها.
- تحتاج إلى صيانة دورية بسبب تآكل نقاط التلامس بسبب الشرارة الكهربائية.

الأنواع الفرعية لقواطع الدورة الهوائية (ACB)

يمكن تصنيف قواطع الدورة الهوائية وفقًا لطرق اخمادها للشرارة أو القوس الكهربائي، وكما يلي: -

أ. قاطع الدورة الهوائي البسيط (Plain Air Circuit Breaker)

ب. قاطع الدورة الهوائي ذو مجرى الهواء (Air Chute Air Break Circuit Breaker)

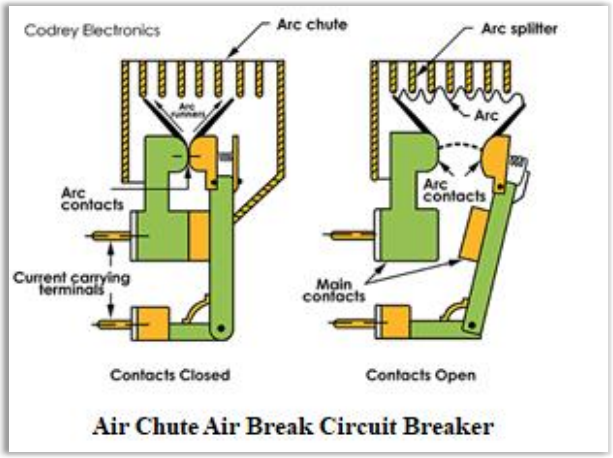
ج. قاطع الدورة الهوائي نوع التفريغ المغناطيسي (Magnetic Blowout Type Air Break Circuit Breaker)

د. قاطع الدورة بالهواء المضغوط – الانفجار الهوائي (Air Blast Circuit Breaker)

أ. قاطع الدورة الهوائي البسيط (Plain Air Circuit Breaker)

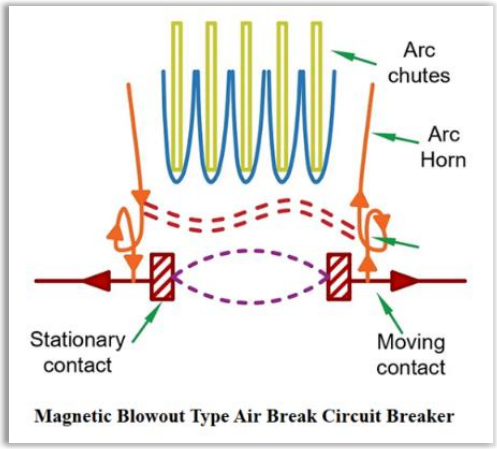
هذا النوع مُجهز بحجرة تُحيط نقاط التلامس تُعرف باسم "مجرى القوس" (chute) صُمم هذا المجرى ليمر عبره القوس الكهربائي. يحتوي على عدد من الحجرات الصغيرة أو مجموعة من الصفائح المعدنية أو القنوات المتعرجة. التي تقسم القوس. وبالتالي، يكون جهد القوس الابتدائي أعلى من جهد النظام لأن القوس الابتدائي ينقسم إلى سلسلة من الأقواس. أثناء مرور القوس عبر المجرى، يمتص الهواء المحيط الحرارة الناتجة عنه، مما يُسرّع من تبريده، يؤدي التبريد إلى تقليل درجة حرارة القوس إلى حد لا يمكن معه استمرار تأين الهواء. المجرى المتعرج يجعل القوس يسير في مسار طويل، وبالتالي تزداد مقاومته الكهربائية تدريجياً فينخفض تيار القوس. صنع المجرى من مادة مقاومة للحرارة. هذا النوع مناسب لتطبيقات الجهد الواطئ.

ب. قاطع الدورة الهوائي ذو مجرى الهواء (Air Chute Air Break Circuit Breaker)



يحتوي هذا القاطع على نوعين من نقاط التلامس الرئيسية، ونقاط تلامس القوس الكهربائي أو المساعدة. يتم تصميم نقاط التلامس الرئيسية باستخدام صفائح نحاسية وفضية ذات مقاومة أقل، تقوم بتوصيل التيار الكهربائي في وضع التشغيل. أما النوع الأخر تلامس القوس الكهربائي أو المساعدة، فتُصنع من سبيكة نحاسية مقاومة للحرارة أي تتحمل درجات الحرارة العالية الناتجة عن القوس الكهربائي، وبفضل تصميمها، يُمكن استبدالها بسهولة في حال التآكل أو التلف. أثناء عملية قطع التيار، تنفصل نقاط التلامس الرئيسية قبل نقاط تلامس القوس الكهربائي، مما يحمي نقاط التلامس الرئيسية من أضرار الشرارة أو القوس الكهربائي. وعند عملية التوصيل تُغلق نقاط تلامس القوس الكهربائي قبل نقاط التلامس الرئيسية لحمايتها.

ج. قاطع الدورة الهوائي نوع التفريغ المغناطيسي (Magnetic Blowout Type Air Break Circuit Breaker)



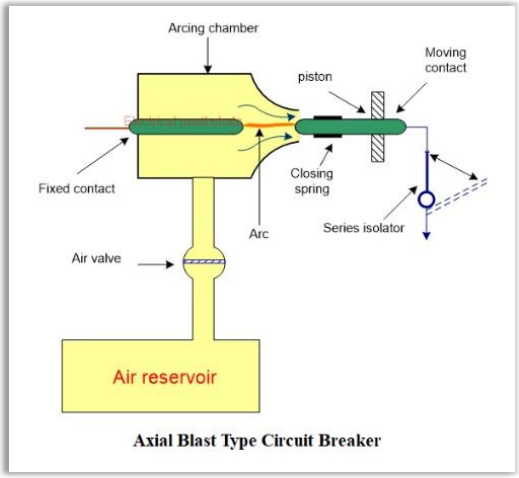
توفر هذه القواطع تحكمًا مغناطيسيًا في عزم قوة القوس الكهربائي لإخماده. حيث يتم التحكم في إخماد القوس باستخدام المجال المغناطيسي الناتج عن التيار في ملفات النفخ (التفريغ) المتصلة على التوالي مع الدائرة التي يتم قطعها. تُعرف هذه الملفات باسم "ملف النفخ أو التفريغ". لا يتحكم المجال المغناطيسي في القوس الكهربائي المتولد في القاطع أو يطفئه، ولكنه يُؤثر بقوة على القوس، مما يدفعه إلى مجرى القوس الكهربائي. حيث يتم إطالته وتبريده وإخماده وفقًا لذلك. تُستخدم هذه الأنواع من قواطع الدورة لإخماد الأقواس الكهربائية عالية الكثافة، مما يجعله مناسبًا لتطبيقات الجهد المتوسط التي تتطلب إخمادًا سريعًا للقوس الكهربائي حتى 11kV.

د. قاطع الدورة بالهواء المضغوط – الانفجار الهوائي (Air Blast Circuit Breaker)

هي نوع متطور من القواطع الهوائية، تستخدم هواء مضغوط (Compressed Air) لإطفاء الشرارة أو القوس الكهربائي بسرعة وكفاءة عالية حيث تضخ الهواء المضغوط (نفخة هواء) على القوس الكهربائي في منطقة التلامس عند فصل القاطع ليبرده ويطرده بسرعة من منطقة التلامس. فيؤدي الى إطفاء القوس الكهربائي، ونفخ الغازات المؤينة بعيدًا، فيزيل التأين بين الأقطاب.

ينقسم هذه النوع أيضًا إلى: -

١) الاندفاع المحوري (Axial Blast Type)



Axial Blast Type Circuit Breaker

- يُوجَّه الهواء المضغوط على باتجاه محور القوس مباشرة.
- يؤدي الهواء المضغوط إلى تمديد القوس وتبريده وإطفائه بسرعة.
- يمتاز بسرعة الفصل وصغر الحجم نسبيًا.
- يُستخدم عادة في قواطع الجهد العالي جدًا (EHV).
- هناك تصميم أكثر تطورًا يسمى قاطع الدورة المحوري بالهواء المضغوط ذو نقاط التلامس المنزلقة المتحركة (Axial Blast With Sliding Moving Contact Breaker)، يستخدم حركة التلامس بالتزامن مع النفخة الهوائية لتمديد القوس الكهربائي وإطفائه.

٢) الاندفاع العرضي (Cross Blast Type)

- يُوجَّه الهواء بشكل عرضي على القوس.
- يعمل الهواء على تفريق القوس وتقسيمه إلى أقواس صغيرة بين صفائح أو حواجز عازلة.
- شائع في قواطع الجهد المتوسط والعالي.

٣) الاندفاع الشعاعي (Radial Blast Type)

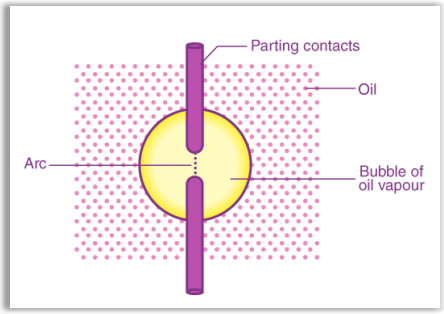
- يندفع الهواء شعاعيًا من المركز إلى الخارج من منطقة التلامس.
- يُطفئ القوس عن طريق دفعه بعيدًا عن نقاط التلامس إلى الخارج.
- يُستخدم في بعض تصاميم المفاتيح الخاصة ذات الأحجام المدمجة.

Video

٤– قواطع الدورة الزيتية (Oil Circuit Breaker - OCB)

هذا النوع يعتبر من القواطع القديمة، وهو سهل التركيب للغاية. فهو يتكون من نقاط تلامس مغمورة بزيت المحولات داخل خزان معدني متين ومقاوم للعوامل الجوية. يعمل الزيت كوسط لإطفاء الشرارة أو القوس الكهربائي، وكعازل بين الجزء الحي والأرضي. يمتلئ الخزان بالهواء في أعلى الزيت، ويعمل كوسادة للتحكم في الزيت المزاح عند تكوين الغاز حول القوس الكهربائي، ولإمتصاص الصدمات الميكانيكية الناتجة عن ارتفاع الزيت. خزان القاطع مُثبت بإحكام لمنع الاهتزاز العالي جدًا والناتج عن قطع التيار الكهربائي. يحتوي قاطع الدورة الزيتي على مخرج غاز مُثبت في غطاء الخزان لإخراج الغازات.

عند فتح نقاط التلامس في الزيت، تحدث شرارة أو قوس كهربائي مما يؤدي إلى تبخير الزيت المحيط على شكل غاز هيدروجين. تُحاط منطقة القوس بفقاعة غاز الهيدروجين. يتميز غاز الهيدروجين بموصلية حرارية عالية تُبرّد



القوس الكهربائي وتُزيل أيونات الوسط. يحدث اضطراب في الزيت المحيط، مما يدفع نواتج القوس الكهربائي بعيدًا.

مزايا وعيوب قواطع الدورة الزيتية (OCB)

- قدرة عالية على إخماد القوس
- عزل كهربائي جيد.
- خاصية تبريد ممتازة.
- ذات عمر تشغيلي طويل.
- سهولة الصيانة.
- سعر أقل.
- ثبات في الأداء تحت الجهود العالية.
- يكون القاطع كبير الحجم وثقيل الوزن.
- أبطأ في الأداء من الأنواع الأخرى الحديثة.
- الزيت قابل للاشتعال والتعرض لخطر الحريق.
- ضرورة فحص وتغيير الزيت دوريًا لتغير تركيبته.
- تأثير بيئي سلبي لأن الزيت ملوث للبيئة.

لذا لم يعد يستخدم حاليًا مع تطور الأنواع الأخرى.

الأنواع الفرعية لقواطع الدورة الزيتية (OCB)

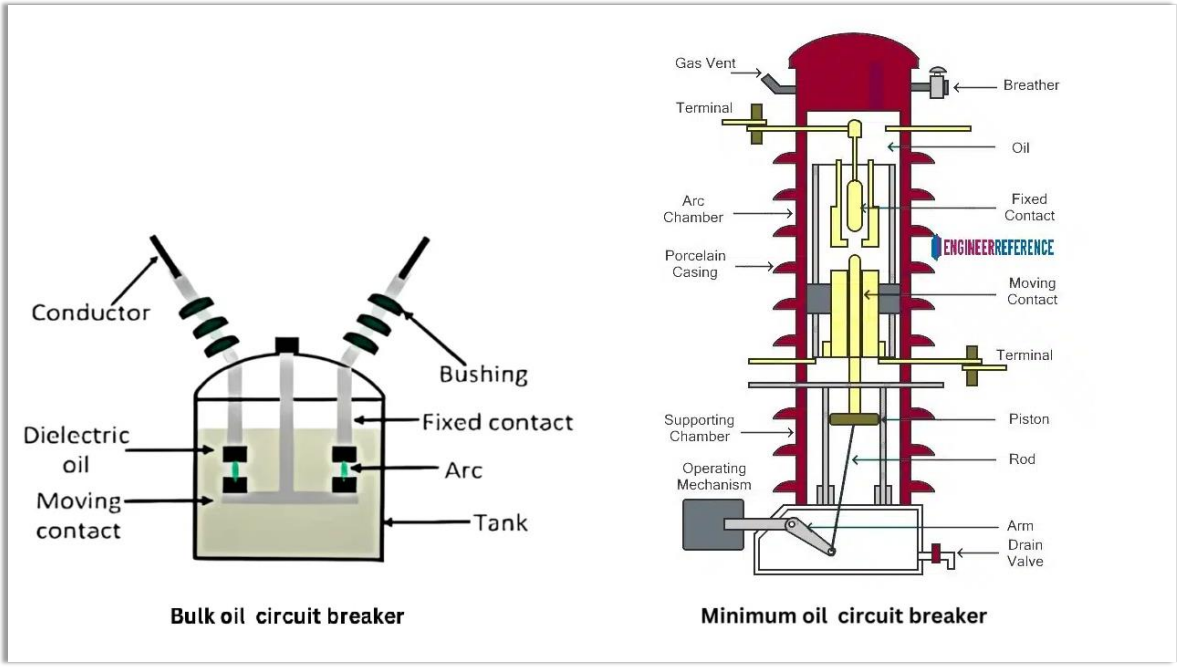
هناك نوعان من قواطع الدورة الزيتية: –

أ. قواطع الدورة الزيتية كثيرة الزيت (Bulk Oil Circuit Breaker)

يحتوي على كمية كبيرة من الزيت، يُستخدم للجهد العالي.

ب. قواطع الدورة الزيتية قليلة الزيت (Minimum Oil Circuit Breaker)

يحتوي على كمية زيت قليلة فقط حول نقاط التلامس، والباقي عزل بالهواء. وهو أكثر كفاءة في الصيانة.



وكما أوضحنا إن هذه الأنواع أو الآليات تنطبق على قواطع الدورة (Circuit Breaker) ومفاتيح فصل الحمل (Load Break Switches) أيضًا.

Video

أنواع المعدات (Switchgear) وفق أساليب تصنيف أخرى

➢ **تصنف الى نوعين حسب الوسط العازل بين أجزاءها الداخلية**

(ليس المقصود آلية إخماد الشرارة أو القوس الكهربائي)

- **المعدات المعزولة بالغاز (Gas Insulated Switchgear - GIS)**

المعدات المعزولة بالغاز (GIS) التقليدية تستخدم غاز (سداسي فلوريد الكبريت (SF_6)) كوسط عازل، حيث يقوم الغاز بعزل الأجزاء الحية (Live Parts) داخل الوحدة عن بعضها البعض وعن الهيكل المعدني. هذا يمنع حدوث قوس كهربائي أو تفريغ كهربائي غير مرغوب به داخل الحجرة. ويضمن التشغيل الآمن في الظروف القاسية. وتكون فقط من النوع الثابت (Fixed Type) كما سيأتي.

HV GIS Switchgear

MV GIS Switchgear

Video

- **المعدات المعزولة بالهواء (Air Insulated Switchgear - AIS)**

تعتمد هذه الوحدات على الهواء كوسط عازل بين الأجزاء الحية (Live Parts) داخل الوحدة، وبينها وبين الهيكل المعدني. تتميز بساطتها ومتانتها وسهولة صيانتها وانخفاض كلفة صيانتها نسبيًا لكنها تحتاج إلى مساحة أكبر لأن المسافة العازلة في الهواء تكون أكبر لضمان الأمان الكهربائي مقارنة بالمفاتيح المعزولة بالغاز (GIS). يمكن أن يكون من النوع الثابت (Fixed type) أو من النوع القابل للسحب (Draw out) كما سيأتي.

- **المعدات المعزولة بالمادة الصلبة (Solid-Insulated)**

هذه الوحدات تستخدم مواد عازلة صلبة مثل الإيبوكسي (Epoxy resin) أو البوليمرات الحرارية كوسط عازل. يلغي هذا النوع الحاجة إلى عزل الغاز والهواء، مما يجعله صديقًا للبيئة، وصيانة شبه معدومة مع أمان عالي جداً. نوعية حديثة قليلة الاستخدام لكن يتزايد استخدامها لأنها تُعتبر الجيل الجديد من المعدات (Switchgear) التي تلبي المتطلبات البيئية العالمية.

Video

الجيل الجديد من المعدات المعزولة بالغاز

جيل جديد من المعدات المعزولة بالغاز (GIS – Gas Insulated Switchgear) يُعتبر تطورًا كبيرًا في تكنولوجيا محطات التوزيع والنقل، ويهدف إلى الجمع بين الأداء العالي والاستدامة البيئية. هذا الجيل يتخلى عن استخدام غاز سداسي فلوريد الكبريت (SF_6) ويستبدله بغازات عزل بديلة صديقة للبيئة، والهدف هو تقليل الانبعاثات الكربونية والاحتباس الحراري الناتج عن تسرب غاز سداسي فلوريد الكبريت (SF_6)، والذي يمتلك قوة احتباس حراري كبيرة جدًا تعادل أكثر من ٢٣,٠٠٠ ضعف غاز ثنائي أوكسيد الكاربون (CO_2)!

العديد من الشركات بدأت تعتمد تقنيات (SF_6-Free GIS) أي الخالي من غاز سداسي فلوريد الكبريت (SF_6)، كمواصفة قياسية جديدة، أو ما يعرف بـ "الجيل الأخضر"، وهذه التقنيات تهدف إلى تحقيق الأهداف البيئية العالمية دون التضحية بالمزايا الرئيسية لنوع (GIS) التقليدي، كصغر الحجم والوثوقية العالية باستخدام بدائل تعمل بفكرة العزل بالضغط العالي نفسها. وتعمل على توفير العزل للمحافظة على أبعاد المعدات نفسها تقريبًا، ولو بزيادة الضغط قليلًا. هذه البدائل تستخدم: –

- الهواء الجاف/الهواء الاصطناعي (Dry Air/Synthetic Air): خليط من غاز النيتروجين (N_2) والأوكسجين (O_2).
- خلائط الغازات البديلة (Alternative Gas Blends): مثل الفلورونتريل (Fluoronitrile) أو الفلوروكيتون (Fluoroketone)، ممزوجة مع ثنائي أوكسيد الكاربون (CO_2) أو النيتروجين (N_2).

الشركة	التقنية	الغاز المستخدم	الاسم التجاري
Siemens	Blue GIS	هواء نقي + غاز C5-FK	Blue GIS
ABB (Hitachi)	ecoGIS	غاز CO_2 + C4-FN (Novec 4710)	AirPlus / EconiQ GIS
Schneider Electric	SF_6-Free	خليط من CO_2 + O_2 + C4-FN	SM AirSeT / GM AirSeT
GE	g^3 (Green Gas for Grid)	خليط من CO_2 + O_2 + C4-FN	g^3 GIS

➢ **وتصنف المعدات (Switchgear) الى نوعين حسب التركيب**

- **النوع الثابت (Fixed Type)**

يتم تركيب جميع المفاتيح الكهربائية (مثل القواطع والمفاتيح وغيرها) بشكل دائم في مكانها الثابت داخل الوحدة ولا يمكن سحبها أو تحريكها. مما يتطلب إيقاف تشغيل الطاقة لإجراء الصيانة، وتكون أكثر صعوبة وتحتاج وقتًا وجهدًا أكبر عند صيانتها مقارنة بالأنواع القابلة للسحب، تتميز بسهولة التركيب، وانخفاض الكلفة مقارنة بالأنواع القابلة للسحب. لذلك القواطع (CB) من هذا النوع الى مفتاح فاصل العزل (Disconnector) لتحقيق العزل التام الآمن. يمكن أن يكون من النوع المعزول بالهواء (AIS) أو من النوع المعزول بالغاز (GIS).

- **النوع القابل للسحب (Draw Out)**

نوع من المفاتيح الكهربائية (قاطع الدورة (Circuit Breaker) أو مفتاح فصل الحمل (Load Break Switch)) يمكن سحبه للخارج من حجيرة المعدات أثناء تشغيلها بعد إطفاءه (فصله)، لتسهيل الصيانة أو الاستبدال مع اختصار الوقت وعدم الحاجة إلى إيقاف تشغيل النظام بأكمله. هذه الميزة مهمة بشكل خاص في التطبيقات التي تتطلب موثوقية عالية واستمرارية بتجهيز الطاقة الكهربائية، مما يقلل من وقت التوقف عن العمل. لذلك قواطع الدورة (CB) من هذا النوع توفر ميزات أمان ولا تحتاج الى مفتاح فاصل العزل (Disconnector) لأنها تحقق العزل التام الآمن بسحب القاطع (CB) بعيدًا عن الأجزاء المتصلة بمصدر الطاقة الكهربائية داخل حجرة المعدات. يكون من النوع المعزول بالهواء (AIS) فقط ولا يمكن أن يكون من النوع المعزول بالغاز (GIS)، ويكون المفتاح الأرضي (ES) منفصلًا عنه.

➢ **وتصنف المعدات (Switchgear) الى نوعين أيضًا حسب التصميم والتركيب الداخلي**

- **Metal-Enclosed switchgear**

تكون مغلفة بغلاف أو هيكل معدني من الخارج ومعظم المكونات موجودة في مكان واحد، المقصورات الداخلية ليست مفصولة بالكامل عن بعضها. فقد تكون مشتركة جزئيًا بين المكونات، أي لا يوجد حاجز معدني كامل بين الخلايا الأفقية المتجاورة (يمين/يسار). تُسهم هذه الخاصية في خفض التكاليف. جميع أسطح المكونات الداخلية معدنية، باستثناء فتحات التهوية والرؤية البسيطة. علاوةً على ذلك، فإن الغلاف الخارجي مؤرضٌ لتعزيز السلامة العامة للنظام. يتم الوصول إلى الداخل عبر أبواب أو أغطية قابلة للفك. أغلب المفاتيح كهربائية (Circuit Breakers, Load Break Switch) التي تحتويها من النوع الثابت (Fixed Type) غير قابلة للسحب. لذلك القواطع (CB) من هذا النوع تحتاج الى مفتاح فاصل العزل (Disconnector) لتحقيق العزل التام الآمن.

المواصفات القياسية الدولية IEC 62271-200

أمثلة على أنواع شهيرة عالميًا: –

- Schneider RM6 / SM6 / MCSeT / PIX
- Siemens 8DA10 / 8DA11 / 8DJH / NXAIR
- ABB / SafePlus

Video

- **Metal-Clad switchgear**

هذا النوع من معدات توزيع الطاقة الكهربائية ذات الجهد المتوسط والعالي يتميز بوجود حواجز معدنية مؤرّضة (Grounded Metal Barriers) تفصل المكونات الكهربائية الرئيسية إلى مقصورات أو أقسام معزولة لفصل مكوناتها بحيث يكون كل جزء رئيسي فيها معزول لضمان أعلى درجات الحماية والمتانة والأمان وتحقيق الوثوقية العالية بعدم تأثر مكون بخلل في مكون آخر. تكون المفاتيح الكهربائية (Circuit Breakers, Load Break Switch) قابلة للسحب (Draw Out) لتسهيل الصيانة أو الاستبدال مع اختصار للوقت وعدم الحاجة إلى إيقاف تشغيل النظام بأكمله. لذلك القواطع (CB) من هذا النوع لا تحتاج الى مفتاح فاصل العزل (Disconnector) لأنها تحقق العزل التام الآمن بسحب قاطع الدورة (CB) أو مفتاح الفصل (LBS) بعيدًا عن الأجزاء المتصلة بالشبكة. يكون المفتاح الأرضي (ES) منفصلًا عنه. أمثلة على أنواع شهيرة عالميًا: –

- Siemens GM
- Schneider Masterclad / SureSeT/ F400
- ABB / SafeGear

Video Video Video

- **وتصنف المعدات (Switchgear) حسب موقعها في الشبكة وحجم الطاقة التي تتعامل معها**

- **معدات منظومة الطاقة الأساسية (Primary Switchgear)**

تستخدم عادةً في الشبكات الرئيسية مثل محطات انتاج الطاقة الكهربائية، أو خطوط ومغذيات ومحطات النقل والتوزيع الأساسية (Substations). تعمل عادةً عند الجهد المتوسط والعالي (11Kv فما فوق). تغذي المستهلكين الكبار بالطاقة مثل المصانع الكبيرة. تتميز بقدرتها على التعامل مع السعات والقدرة العالية (جهد عالي، وتيارات كبيرة) وتتضمن أجهزة حماية وتحكم أكثر تطورًا وتعقيدًا. كما في محطات النقل ٣٣/١٣٢ ك.ف، ومحطات التوزيع ١١/٣٣ ك.ف.

- **معدات منظومة الطاقة الثانوية (Secondary Switchgear)**

تستخدم عادةً في شبكات التوزيع لتوزيع الطاقة محليًا للمناطق السكنية والتجارية والمصانع الصغيرة، وتتميز بحجمها الأصغر ووحداتها أكثر بساطة في التصميم والصيانة وتحتاج مساحات أصغر للتركيب مع حماية وتحكم أساسيين للدوائر الكهربائية ذات السعة الأقل. مثل غرف الأزرار للمواقع الخاصة ووحدات التغذية الحلقية (RMU) وبضمنها محولات التوزيع الصندوقية (كيوسكات).

- **وتصنف المعدات (Switchgear) أيضًا حسب مستوى الجهد**

١. **معدات الجهد العالي: تكلمنا عنها فيما سبق.**

٢. **معدات الجهد المتوسط: تكلمنا عنها فيما سبق.**

٣. **معدات الجهد الواطئ.**

وتنقسم الى أنواع واستخدامات مختلفة، مفاتيح وقواطع دورة (CB): -

❖ مفاتيح الجهد الواطئ (LV Switches)

تختلف عن القواطع الدورة (CB) فهي لا تحتوي على منظومة حماية من تيار عطل، بل وظيفتها فقط الفصل والتوصيل اليدوي. والأنواع الشائعة الرئيسية هي: -

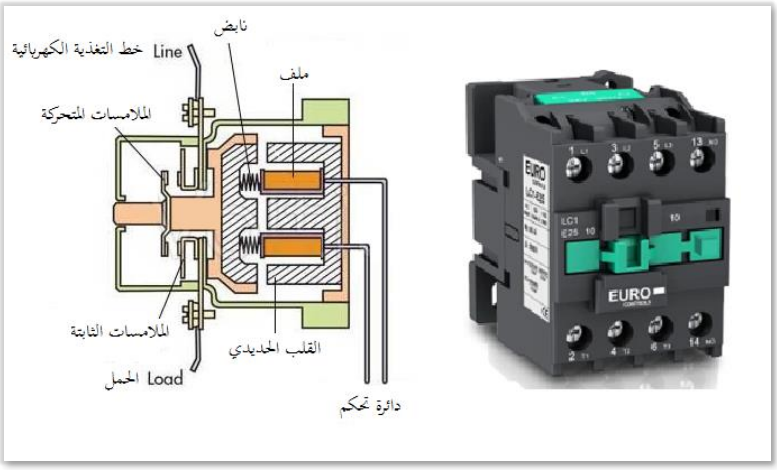
١- مفتاح فاصل العزل (Disconnector - DS): أو (Isolator)، كما ذكرنا سابقًا هو مفتاح فصل ميكانيكي آمن، يعزل الجزء المفصول عن بقية الدائرة، لكن لا يُستخدم للفصل تحت الحمل (يحتاج فصل الدائرة أولاً). يستخدم غالبًا في التطبيقات ذات التيارات العالية.

٢- مفتاح فصل الحمل (Load Break Switch - LBS): أو (Switch)، هو مفتاح يستخدم للفصل تحت الحمل الاعتيادي. ولا يحقق وظيفة المفتاح السابق فاصل العزل (Disconnector) أي العزل الكامل الآمن كما كان سابقًا في الجهد العالي والمتوسط. في بعضها يتم إضافة فيوز (Fuse) للجمع بين وظيفة الحماية والفصل الميكانيكي.

٣- مفتاح فصل الحمل مع العزل (Switch-Disconnector): يجمع بين وظيفتي المفتاحين أعلاه (Switch & Disconnector) أي يفصل تحت الحمل، ويحقق شرط العزل الكامل الآمن. في بعضها يتم إضافة فيوز (Fuse) للجمع بين وظيفة الحماية والفصل الميكانيكي.

٤- مفتاح تحويل بين مصدرين (Changeover Switch): هو مفتاح يستخدم لفصل مصدر وتوصيل مصدر أخر (مثلاً شبكة/مولد). قد يكون يدوي أو أوتوماتيكي (ATS).

٥- مفتاح التشغيل (Contactor): هو مفتاح كهربائي يعمل بالكهرباء، يستخدم بشكل أساسي لتوصيل وفصل الأحمال الكهربائية (خصوصاً المحركات) عند استلامه إشارة تحكم كهربائية من مرحل (Relay) أو أزرار كهربائية أو عن بعد بواسطة منظومة اتصالات.



Video Video

مبدأ العمل

- عند تغذية ملفه (Coil) بتيار كهربائي، يتولد مجال مغناطيسي يجذب نقاط التلامس (Contacts) – وفق قانون لورنتز لتوليد القوة الميكانيكية، فتغلق أي توصل الدائرة الكهربائية.
- عند فصل الجهد عن الملف يزول المجال المغناطيسي فيعود الجزء المتحرك بفعل النابض فتفتح نقاط التلامس الرئيسية وينقطع التيار عن الحمل.

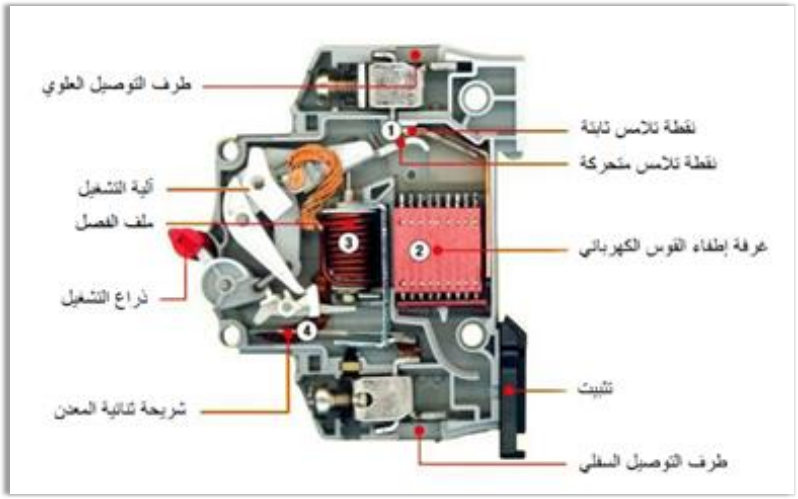
❖ قواطع الدورة للجهد الواطئ (Low Voltage Circuit Breakers - LVCB)

هي أجهزة حماية وفصل آلية. تُستخدم في شبكات الجهد الواطئ (عادةً أقل من ١٠٠٠ فولت AC أو ١٥٠٠ فولت DC) لفصل الدائرة الكهربائية عند حدوث تيار قصر (Short Circuit) أو تيار زائد (Overload) أو أعطال أخرى.

الأنواع الرئيسية لقواطع الدورة للجهد الواطئ

١– قاطع الدورة المصغر (Miniature Circuit Breaker - MCB):

- يُستعمل للتيارات الصغيرة (غالبًا حتى 125A).
- يستخدم في التوزيع المنزلي والمكاتب والمنشآت الصغيرة.
- يوفر حماية من دائرة القصر (Short Circuit)، التحميل الزائد (Overload).
- لا يُعاد ضبطه يدويًا إلا بعد عودة القاطع.



Video Video

٢- قاطع التيار المتبقي للتسريب الأرضي (RCCB / RCBO):

MCB

- RCCB: ويسمى أيضًا (RCD) يحمي من تسرب التيار للأرض لحماية الأشخاص من الصعق.
- RCBO: يجمع بين وظيفة الـ MCB و RCCB (حماية من دائرة القصر (Short Circuit) + التحميل الزائد (Overload) + التسرب الأرضي).

RCCB

- يعتمد على مقارنة قيمة التيار الداخل إلى الدائرة (تيار الطور أو الأطوار) بقيمة التيار الخارج منها (التيار في المحايد)، فالفرق بينها يعني وجود تسرب (يسمى التيار المتبقي).
- ذو حساسية وسرعة عالية للقطع.

٣- قاطع الدورة المصبوب (Molded Case Circuit Breaker - MCCB):

MCCB

- للتيارات من (16A – 3200A).
- يُستعمل في المصانع، والمباني الكبيرة، ولوحات التوزيع الرئيسية، وخطوط الجهد الواطئ الخارجة من محولات ووحدة التغذية الحلقية (RMU) ومحولات التوزيع.
- قابل لضبط وإعداد تيارات الفصل (Adjustable).
- يوفر حماية من دائرة القصر (Short Circuit)، التحميل الزائد (Overload)، والأرضي أحيانًا.

ACB

٤- قاطع الدورة الهوائي (Air Circuit Breaker - ACB):

- للتيارات الكبيرة (عادةً فوق 800A – 6300A).
- يُستخدم في المصانع، والمباني الكبيرة، ومداخل لوحات التوزيع الرئيسية (Main Switchboards).
- يتميز بقدرة عالية على فصل تيارات دائرة القصر (Short Circuit) الكبيرة.
- فيه أنظمة تحكم إلكترونية للحماية (Micrologic, Digitrip).

مبدأ العمل

- تعتمد على آلية ميكانيكية (حرارية، مغناطيسية):

  - حرارية: تسخن الشريحة ثنائية المعدن فيتمدد أحد المعدنين أكثر من الآخر فتنحني وتدفع الآلية فتفتح القاطع تلقائيًا – للحماية من التحميل الزائد (Overload).

  - مغناطيسية: يمر تيار عالي جداً في ملف الفصل الكهرومغناطيسي فيولّد مجالاً مغناطيسياً يجذب الآلية بسرعة ويفصل القاطع فورًا – للحماية من تيار دائرة القصر (Short Circuit).

- إلكترونية/رقمية: في MCCB و ACB لتحديد منحنيات الفصل بدقة.

المواصفات القياسية الدولية سلسلة IEC 60947 المفاتيح والتحكم لمعدات للجهد الواطئ

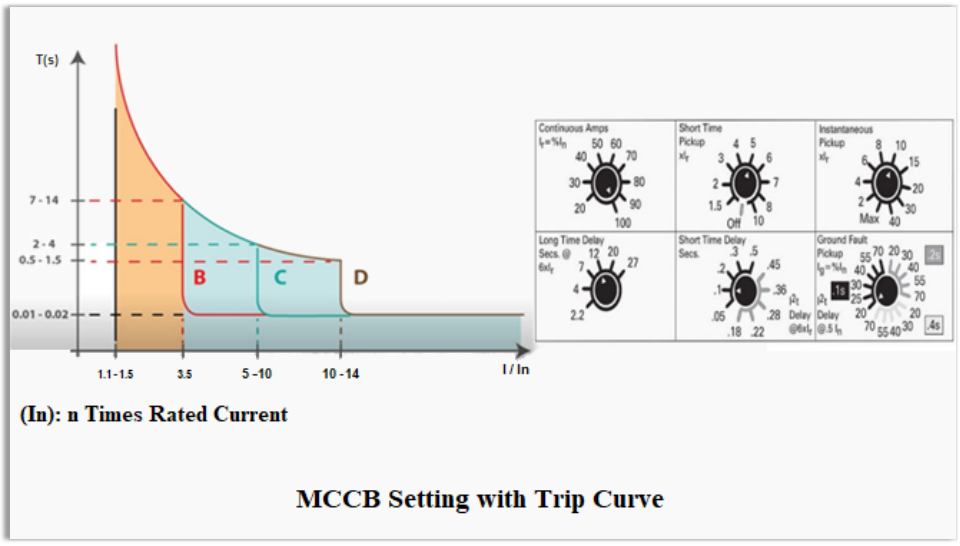
المواصفات القياسية الدولية سلسلة IEC 60898 قواطع الدورة المنزلية والصغيرة للجهد الواطئ

المواصفات القياسية الدولية سلسلة IEC 61008 قواطع الدورة للتيار المتبقي للجهد الواطئ

المواصفات القياسية الدولية سلسلة IEC 61009 قواطع الدورة للتيار المتبقي للجهد الواطئ

المواصفة القياسية الدولية IEC 62423 قواطع الدورة للتيار المتبقي للجهد الواطئ

المواصفة القياسية الدولية IEC 60755 للسلامة في أجهزة حماية التيار المتبقي للجهد الواطئ



(In): n Times Rated Current

MCCB Setting with Trip Curve

Video Video

ثالثًا: أجهزة القياس والحماية والتحكم

تُعد حماية معدات الجهد المتوسط والعالي (Switchgear) جانبًا بالغ الأهمية في أنظمة الطاقة الكهربائية، حيث تشمل الأجهزة والنظم المستخدمة للكشف عن الأعطال والحد من الضرر الناتج منها ومنع حدوث الحرائق وتفادي الانقطاعات واسعة النطاق، مما يضمن سلامة النظام وموثوقيته وحماية المعدات والأشخاص. وتشمل هذه الحماية استخدام مجموعة من أجهزة القياس والتحكم المزودة بوسائل حماية، وأجهزة الفصل كقواطع الدورة (CB)، ومكونات أخرى لعزل الأجزاء المعطوبة من الشبكة الكهربائية واستمرارية التشغيل.

اكتشاف الأعطال

تستخدم أنظمة حماية المعدات الكهربائية (Switchgear) مجموعة من الأجهزة المساعدة مثل محولات التيار (CT) ومحولات الجهد (PT)، التي تقوم بتحويل قيم التيار والجهد في الدوائر الرئيسية إلى قيم مناسبة ترسل إلى مرحّلات الحماية (Relays). تقوم المرحّلات بتحليل هذه الإشارات ومقارنتها مع القيم المحددة مسبقًا. وعند اكتشاف خلل أو حالة تشغيل غير طبيعية مثل التيار الزائد، أو الدوائر القصيرة (Short Circuit) أو الجهد الزائد، أو الأعطال الأرضية، ترسل أوامر إلى قاطع الدورة (Circuit Breaker - CB) لتنفيذ عملية الفصل.

عزل الأعطال

بعد وصول أمر الفصل من المرحل (Relay) الى قاطع الدورة (CB) يقوم بقطع التيار وعزل الجزء المعطوب من الشبكة. يؤدي هذا الإجراء إلى منع انتشار العطل إلى أجزاء أخرى من الشبكة ويقلل من تأثيره على الأجزاء السليمة، وضمان استمرارية التغذية في بقية أجزاء الشبكة، المحافظة على الأرواح والممتلكات إذ تساهم في منع نشوب الحرائق وحدوث الانفجارات.

أنواع الأعطال الرئيسية والحماية منها في المعدات (Switchgear)

١– حماية من عطل دائرة القصر (Short Circuit)

لحماية المعدات من التيارات الكبيرة المفاجئة. والتي تسببها حالة حدوث دائرة قصر (short circuit)، وهو تلامس غير مقصود بين موصلين مختلفين في الجهد ينشأ عنه مقاومة صغيرة جداً تقترب من الصفر تؤدي الى مرور تيار عالي جدًا، وينشأ عن ذلك شرارة أو قوس كهربائي وحرارة كبيرة وقد يحدث انفجار أو حرائق. كتلامس موصلات الأطوار فيما بينها.

٢– حماية العطل الأرضي (Earth Fault)

للحماية من التيار المتسرب إلى الأرض. حيث يحدث العطل الأرضي عندما يتصل جزء موصل من الدائرة الكهربائية بجسم موصل متصل بالأرض (مثل هيكل معدني أو الأرض نفسها). فيحدث تسرب التيار إلى الأرض. يمكن أن يتسبب العطل الأرضي في تيارات كبيرة قد تتلف المعدات وتفادي الحرائق.

٣– حماية من التيار الزائد (Overcurrent)

هذه الحماية تمنع ارتفاع التيار الكهربائي عن الحد المقرر لفترة زمنية معينة، يمكن أن يحدث التحميل الزائد بسبب زيادة الحمل على الدائرة، أو حدوث عطل في أحد الأجهزة المتصلة، أو حتى بسبب الظروف الجوية القاسية، مما قد يتسبب في تلف الأسلاك والمعدات أو انصهار العوازل والتي قد تؤدي الى نشوب حرائق أو حدوث عطل دائرة قصر (short circuit).

٤– الحماية التفاضلية (Differential)

تعتمد على مبدأ مقارنة تيارات الدخول والخروج من جزء معين من الدائرة كالمحولات، أي اختلاف في التيارات يشير إلى حدوث عطل داخلي، ويتم فصل الدائرة إذا كان هناك فرق كبير بين التيارات الداخلة والخارجة.

٥– حماية الجهد (Over/Under Voltage)

هذه الحماية تمنع ارتفاع الجهد الكهربائي عن الحد المسموح به (الجهد الزائد) أو انخفاضه عن قيمة معينة (الجهد المنخفض)، حيث أن الجهد الزائد أو المنخفض يمكن أن يتسبب في تلف العوازل، وارتفاع درجة حرارة المعدات، وحتى اشتعال الحرائق. تستخدم أجهزة مثل المرحلات (Relays)، ومانعات الصواعق (surge arresters) لهذا الغرض. تضمن هذه الحماية عمل الأجهزة والمعدات ضمن نطاق آمن، مما يطيل عمرها ويمنع حدوث أعطال.

٦- حماية التردد (Under/Over Frequency)

حماية المعدات الكهربائية من الأعطال الناتجة عن انخفاض أو ارتفاع التردد. التغيرات في التردد تؤدي الى تغير قيم الممانعات الحثية والسعوية في الأجهزة ومكونات الشبكة، وانخفاض التردد قد يؤدي إلى انخفاض عزم دوران المحركات وزيادة التيار وارتفاع درجة الحرارة.

الحماية الرئيسية (Main Protection) والحماية الاحتياطية (Backup Protection)

تنقسم الحماية في أنظمة الطاقة الكهربائية الى قسمين: -

- الحماية الرئيسية: وهي خط الدفاع الأول، وتكون مصممة للكشف عن الأعطال والاستجابة لها بسرعة وكفاءة. تعمل خلال أجزاء من الثانية وتعتمد على أجهزة قياس ومعايير ضبط دقيقة لأنها مسؤولة عن عزل العطل مباشرة لحماية الشبكة ومنع تطور الضرر وانتشاره.
- الحماية الاحتياطية: فتعمل كخط ثانٍ، فبعد فترة زمنية كافية لإعطاء الفرصة للحماية الرئيسية لتقوم بفصل العطل أولًا، وفي حالة فشلها، تعمل الحماية الاحتياطية على عزل الجزء المتأثر من المنظومة، مما يضمن استمرار الحماية وتقليل الأضرار وعدم انتشار العطل وزيادة وثوقية المنظومة.

أجهزة القياس والحماية الأساسية في المعدات (Switchgear)

أجهزة ومكونات منظومة الحماية الأساسية في المعدات متنوعة وعديدة أبرزها:

١– محولات ومستشعرات القياس

الجهد والتيار المستخدمان في شبكات النقل والتوزيع مرتفعان جدًا. فلا يمكن قياس هاتين القيمتين باستخدام المقاييس التقليدية. لذلك، تُستخدم محولات أو مستشعرات القياس، لخفض مستوياتهما إلى حدود آمنة تتناسب خطيًا مع قيمتها الأصلية بحيث يُمكن قياسها باستخدام المقاييس الاعتيادية، ويُمكن تعامل أجهزة الحماية معها. إضافةً الى انها توفر عزلًا كهربائيًا بين الدائرة عالية الجهد والدوائر الثانوية (التي تتضمن أجهزة القياس والحماية)، مما يمنع حدوث أي تداخل أو تلف في الدوائر.

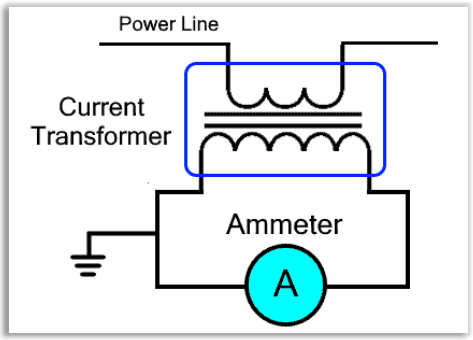
أ– محولات التيار (Current Transformer - CT)

هو نوع من المحولات يُستخدم لقياس التيار العالي في معدات الجهد المتوسط والعالي، يُستخدم لخفض التيار العالي إلى مستوى يتناسب خطيًا مع قيمة التيار الأصلي ومناسب للقياس باستخدام الأميتر العادي. يُخفّض التيار الى بضعة أمبيرات (أقل من ٥ أمبير) ولكنه يرفع الجهد. فيكون الجهد عند ملفه الثانوي مرتفع جدًا، ولذلك يجب ألا يكون الملف الثانوي مفتوحًا عند مرور تيار عبر ملفه الأساسي. يتم توصيل المحولة على التوالي مع كل طور للخط الذي يحتاج إلى قياس التيار. أي يتم استخدام ثلاث محولات تيار للخط الواحد بمعنى محولة واحدة لكل طور من الأطوار الثلاثة.

وتكون وفق نسبة تحويل معينة (Turns Ratio)، ولها قيم قياسية أشهرها على سبيل المثال: –

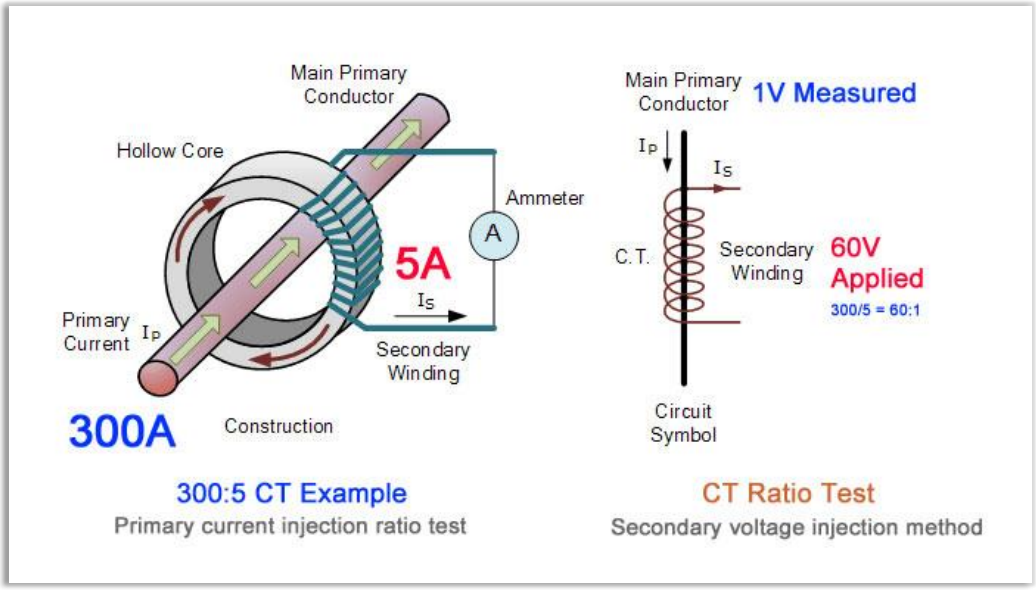
100 : 5 , 200 : 5 , 300 : 5 … 3000 : 5

مبدأ العمل



يعتمد على قانون فاراداي للحث الكهرومغناطيسي، حيث يُولد التيار المتناوب في الموصل الأساسي مجالًا مغناطيسيًا متناوبًا يحثُّ تيارًا ثانويًا في ملف محولة التيار (الملف الثانوي). يتناسب هذا التيار الثانوي طرديًا مع التيار الأساسي وعكسيًا مع عدد لفات الملف الثانوي. وباستخدام نسبة التحويل (Turns Ratio) للمحولة يمكن إيجاد قيمة التيار الفعلي: –

$$\frac{N_p}{N_s} = \frac{I_s}{I_p}$$



Video Video

المكونات الرئيسية لمحولات التيار (CT)

١- القلب الحديدي (Core)

مصنوع من صفائح فولاذية سيليكونية مغناطيسية (Silicon Steel Laminations)، أو سبائك النيكل والحديد، يعمل على تجميع الفيض المغناطيسي الناتج عن مرور التيار في الملف الأساس، ويوفر مسارًا له. يكون تصميمه مغلقًا (Closed Core) أو حلقيًا (Ring Type) لتقليل فقد الفيض. يُصمم لتحمل فيض مغناطيسي كبير دون تشبع.

٢- الملف الابتدائي (Primary Winding)

في معظم التطبيقات، يكون عبارة عن موصل واحد فقط مثل القابلو أو قضيب نحاسي يمر عبر قلب محولة التيار (CT)، ويحمل التيار الأصلي العالي المراد قياسه أو حمايته. في بعض التصميمات الخاصة يكون عبارة عن عدة لفات قليلة مصنوعة من سلك ذي مقطع كبير، ويتصل على التوالي مع الخط إذا كان التيار أقل.

٣- الملف الثانوي (Secondary Winding)

يتكون من عدد كبير من اللفات النحاسية الدقيقة لأنه مصمم لإخراج تيار منخفض (بحدود أقل من ٥ أمبير) يتناسب مع التيار الأصلي حسب نسبة التحويل (مثلاً 300 : 5)، ويتصل بأجهزة القياس أو الحماية. أطراف الملف الثانوي يُرمز لها غالبًا بـ S1 و S2، يتم تأريض أحد الطرفين عادة (S2) لأغراض السلامة. أحيانًا تُضاف أطراف اختبارية أو وصلات مؤقتة.

٤- العزل (Insulation)

يُستخدم عزل بالغاز (SF_6) أو زيتي أو جاف راتنجي (Cast Resin) لعزل الملفات والقلب عن بعضها وعن الجسم المعدني. وفي الجهود العالية، يكون العزل مصممًا لتحمل الجهد العالي جدًا بين الملفات والأرضي.

٥- الهيكل الخارجي (Enclosure)

مصنوع من مادة عازلة (مثل الإيبوكسي) أو معدن مغطى بعازل. يوفر حماية ميكانيكية وبيئية (رطوبة، غبار)، ويعمل كحاجز مادي لمنع الاتصال العرضي بالمكونات الكهربائية الحية، مما يضمن سلامة الفنيين والمستخدمين.

أنواع محولات التيار (CT)

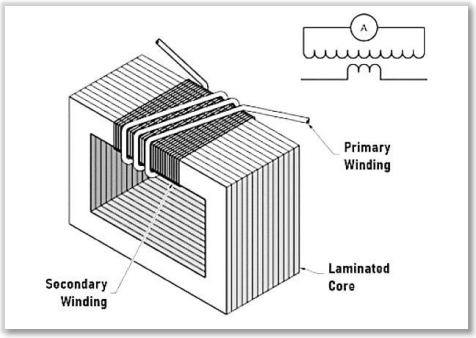
١- محولات التيار نوع النافذة (Window Type CT)

ويطلق عليه أيضًا اسم نوع الحلقة (Toroidal Type CT) أو (Ring Type CT). تتميز بوجود قلب مغلق (نواة) يحيط بالقابلو أو القضيب الناقل (Busbar) والذي يمثل الملف الابتدائي، حيث لا يوجد ملف ابتدائي حقيقي، مما يعزل الملف الثانوي بشكل كامل عن التيار الأولي، تستخدم على نطاق واسع في تطبيقات القياس والحماية الحديثة والتي تتطلب دقة عالية وعزل جيد.

٢- محولات التيار نوع القضيب (Bar-Type CT)

تتميز بوجود قضيب نحاسي مدمج داخل الهيكل يمر عبر القلب، ويستخدم كملف ابتدائي. تستخدم بشكل أساسي في التطبيقات التي تتطلب قياس تيارات عالية كالمحطات الثانوية. تتميز بكونها ذات كفاءة عالية في نقل التيار. وقد يعتبر حالة خاصة من نوع النافذة (Window Type CT) السابق بسبب طريقة مرور الموصل كملف ابتدائي (Primary Conductor) داخل قلب المحولة.

٣- محولات التيار النوع الملفوف (Wound Type CT)



تتميز بوجود ملف ابتدائي ملفوف حول قلب من المواد المغناطيسية، ووجود عدد كبير من اللفات في الملف الثانوي مقارنة بالملف الابتدائي. تستخدم بشكل رئيسي في التطبيقات التي تتطلب دقة عالية في قياس التيار أو عند الحاجة إلى مرونة في نسبة التحويل.

٤- محولات التيار نوع الخزان الحي (Live Tank CT)

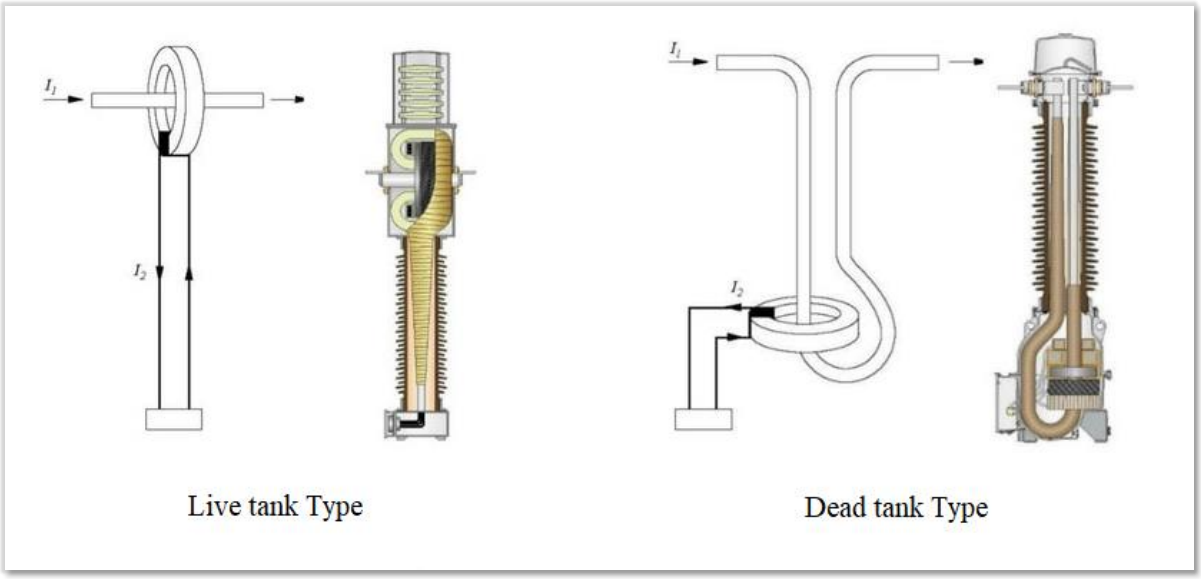
Live tank Type

يوجد القلب الحديدي والملف الثانوي في خزان علوي متصل مباشرة بالموصل الحي (تحت جهد التشغيل العالي) أعلى المحولة كما هو موضح في الشكل. يتم عزل هذا الخزان والقلب والملف الثانوي عن الأرض. عادة ما يكون موصل الطرف الابتدائي على شكل قضيب. يمكن أيضًا أن يكون الملف الابتدائي على شكل ملف. يتميز هذا النوع من المحولات بصغر حجمه وانخفاض كلفته، حيث يتميز أيضاً بتوزيع متساوٍ للملف الأساسي مما ينتج عنه رادة حثية منخفضة. يُستخدم بشكل شائع في أنظمة الجهد الفائق (EHV).

٥- محولات التيار نوع الخزان الميت (Dead Tank CT)

Dead Tank CT

يوجد القلب الملف الثانوي في خزان سفلي مؤرض (أو "ميت")، وليس في الخزان العلوي الحي. يكون موصل الطرف الابتدائي على شكل حرف U أو على شكل ملف (مسمار برغي). ويتميز بسلامته العالية نظرًا لوجود الأجزاء الحية داخل خزان مؤرض، مما يقلل من خطر الصدمات الكهربائية أثناء الصيانة. تتميز بأنها قوية وموثوقة، ومناسبة للتعامل مع الجهود العالية في مختلف الظروف.



Live tank Type

Dead tank Type

خطوات تركيب محولات التيار (CT):

١. تحديد موقع التركيب

يتم تحديد موقع تركيب محولة التيار بناءً على تصميم المعدات ونوع محولة التيار (CT) المستخدم (حلقي أو ذو ملف). يتم تركيبه على الخط (Live Conductor) أو على القضبان الناقلة (Busbars) أو على الجانب الثابت للقاطع أو على مداخل المحولة.

٢. توصيل الملف الابتدائي

بالنسبة للمحولات الحلقية، يتم إدخال القابلو أو القضيب الناقل (Busbar) الذي يمثل التيار المراد قياسه داخل الحلقة. أما المحولات ذات الملفات، فيتم توصيل الملف الابتدائي على التوالي مع دائرة التيار المراد قياسه.

٣. توصيل الملف الثانوي

يتم توصيل طرفي الملف الثانوي بأجهزة القياس أو الحماية، كما يجب تأريض أحد طرفي الملف الثانوي لأغراض السلامة. يمنع ترك دائرة الملف الثانوي مفتوحة أثناء التشغيل، لأن ذلك يولّد جهد عالي قد يؤدي لانهيار العزل أو حدوث خطر كهربائي.

٤. تأمين المحولة

يتم تثبيت المحولة بشكل صحيح في مكانه باستخدام البراغي أو اللحام الكهربائي، ويفضل تثبيته على ارتفاع معين والتأكد من عزله عن الأرض جيدًا لضمان سلامته، وأن يكون بعيدًا عن مصادر الحرارة والرطوبة العالية.

٥. التحقق من الاتجاه الصحيح

في حالة المحولات الحلقية، يجب التأكد من أن اتجاه التيار في الملف الابتدائي يتماشى مع اتجاه التيار المحدد على المحولة (عادةً ما يكون هناك علامة P1 وP2). إذا عُكس الاتجاه، فإن إشارات القياس والحماية قد تكون غير صحيحة، مما يؤدي لفشل عملها.

٦. اختبارات ما بعد التركيب (Post Installation Testing)

بعد التركيب، يجب التأكد باختبار المحولة من خلال قياس التيار في الملف الثانوي ومقارنتها بالتيارات المتوقعة، قياس مقاومة الملف الثانوي، وإجراء اختبار القطبية (Polarity Test)، واختبار نسبة التحويل (Ratio Test)، اختبار مقاومة العزل (Insulation Resistance) واختبار (Loop Test) لسلامة التوصيلات.

سعات محولات التيار (CT)

بالنسبة لسعات محولات التيار (CT) يستخدم مصطلح (Burden) وهو المقاومة المكافئة لأجهزة القياس والحماية والأسلاك المتصلة بالملف الثانوي. ومنه يتم تحديد (Burden Rated) وهي قيمة الحمل الأقصى في الملف الثانوي الذي يمكن أن تتحمله محولة التيار (CT) أو الجهد (PT) ضمن حدود الدقة أي مع بقاء قيمة الخطأ في الحدود المسموح بها، وتقاس بالفولت أمبير (VA)، قد يُؤدِّي تجاوزها إلى قياسات غير دقيقة، واحتمالية تلف محولة التيار (CT) أو الجهد (PT).

القيم النموذجية في المواصفة القياسية الدولية: –

Typical IEC burden ratings

1.5 VA, 3 VA, 5 VA, 10 VA, 15 VA, 20 VA, 30 VA, 45 VA, and 60 VA.

درجة الدقة (Accuracy Class)

تحدد فئات الدقة في محولات التيار (CT) مدى دقة قياس التيار التي يمكن أن تحققها دون أخطاء، وفقًا للمواصفة القياسية الدولية (IEC 61869-2). تتضمن هذه الفئات: –

- Accuracy Classes (0.1 , 0.2 , 0.5 , 1.0 , 3.0)

  تستخدم هذه الفئات في أجهزة القياس، حيث تكون الدقة العالية مهمة. تحدد هذه الفئات أقصى نسبة خطأ مسموح بها في قياس التيار عند قيم مختلفة للتيار (مثل ١٠٠٪ من التيار المقرر، أو ٢٠٪ منه) تحدد هذه الفئات حدود الأخطاء المسموح بها في نسبة التحويل وإزاحة الطور تحت ظروف معينة من التيار.

Limits of ratio error and phase displacement for measuring current transformers (classes 0,1 to 1)

Accuracy class	Ratio error ± %				Phase displacement ± Minutes				± Centiradians			
	at current (% of rated)				at current (% of rated)				at current (% of rated)			
	5	20	100	120	5	20	100	120	5	20	100	120
0,1	0,4	0,2	0,1	0,1	15	8	5	5	0,45	0,24	0,15	0,15
0,2	0,75	0,35	0,2	0,2	30	15	10	10	0,9	0,45	0,3	0,3
0,5	1,5	0,75	0,5	0,5	90	45	30	30	2,7	1,35	0,9	0,9
1	3,0	1,5	1,0	1,0	180	90	60	60	5,4	2,7	1,8	1,8

- Accuracy Classes (0.2S , 0.5S)

تشير الفئات "S" إلى أنها يمكنها قياس تيارات منخفضة بدقة أكبر مقارنة بالفئات الأخرى غير"S".

Limits of ratio error and phase displacement for measuring current transformers (classes 0,2S and 0,5S)

Accuracy class	Ratio error ± %					Phase displacement ± Minutes					Phase displacement ± Centiradians				
	at current (% of rated)					at current (% of rated)					at current (% of rated)				
	1	5	20	100	120	1	5	20	100	120	1	5	20	100	120
0,2 S	0,75	0,35	0,2	0,2	0,2	30	15	10	10	10	0,9	0,45	0,3	0,3	0,3
0,5 S	1,5	0,75	0,5	0,5	0,5	90	45	30	30	30	2,7	1,35	0,9	0,9	0,9

Limits of ratio error for measuring current transformers (classes 3 and 5)

Class	Ratio error ± %	
	at current (% of rated)	
	50	120
3	3	3
5	5	5

- Accuracy Classes (5P , 10P , PX)

تستخدم هذه الفئة في تطبيقات الحماية (الحرف "P" يعني الحماية). حيث تكون القدرة على التعامل مع تيارات الأعطال (مثل تيار القصر) أمرًا بالغ الأهمية. تحدد هذه الفئات حدود الخطأ المسموح بها عند تيارات عالية جدًا (مثل ٢٠ ضعف التيار المقرر).

Error limits for protective current transformers class P and PR

Accuracy class	Ratio error at rated primary current	Phase displacement at rated primary current		Composite error at rated accuracy limit primary current
	± %	± Minutes	± Centiradians	%
5P and 5PR	1	60	1,8	5
10P and 10PR	3	–	–	10

هذا يقودنا الى الفرق الرئيسي بين محولات التيار (CT) المستخدمة في القياس ومحولات التيار (CT) المستخدمة في الحماية والذي يكمن في وظيفتها الأساسية .حيث: –

- محولات التيار للقياس (Metering CT) تُستخدم لقياس التيار في ظروف التشغيل العادية، وتزويد معلومات التيار لأجهزة القياس. تتميز بدقة عالية في قياس التيار ضمن الحدود الاعتيادية.
- محولات التيار للحماية (Protection CT) فتستخدم للكشف عن تيارات الأعطال في المنظومة الكهربائية وتوفير معلومات التيار لأجهزة الحماية، مثل المرحلات (Relays)، لقطع التيار في حالة حدوث عطل، حيث تتميز بقدرتها على التعامل مع تيارات الأعطال العالية.

ب– مُستشعر التيار (Current Sensor Or Transducers)

هو جهاز يُستخدم لقياس أو كشف التيار الكهربائي المار في الدائرة الكهربائية، ويستخدم في العديد من التطبيقات مثل الحماية، والتحكم في الأحمال، والقياس. يقوم المستشعر بتحويل التيار إلى إشارة منخفضة وآمنة قابلة لمعالجتها بواسطة أجهزة القياس أو الحماية أو أنظمة التحكم، أي ان وظيفته هي وظيفة محولة التيار (CT) نفسها مع اختلاف مبدأ العمل والتقنية المستخدمة، وعمومًا هو أصغر حجمًا، وأكثر أمانًا.

المواصفات القياسية الدولية الحديثة IEC 61869-6، IEC 61869-10، IEC 61869-11

المواصفات القياسية الدولية القديمة (قبل سنة ٢٠٠٧) IEC 60044-8

الأنواع والتقنيات

1. Hall Effect Sensor

يستخدم ظاهرة هول لقياس المجال المغناطيسي الناتج عن مرور التيار، وبالتالي حساب التيار. يقيس التيار المتناوب (AC) أو المستمر (DC) دون تلامس مباشر (حسب قانون لورنتز). وهو على نوعين: –

A. Closed loop Hall effect.
B. Open loop Hall effect.

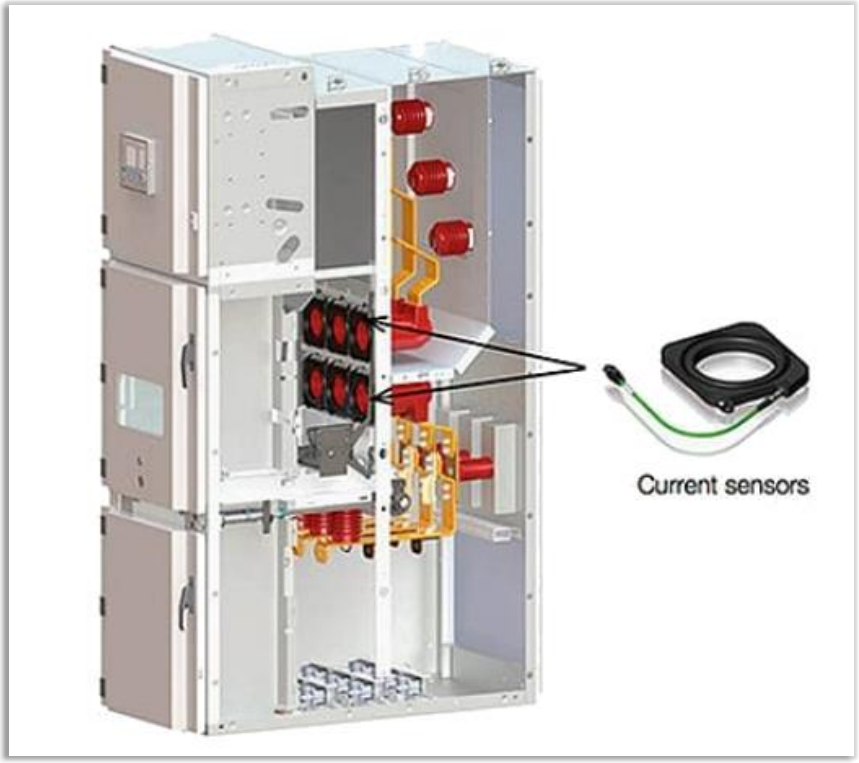
2. Rogowski Coil Sensor

ملف هوائي بدون قلب حديدي يلتف حول الموصل الذي يمر فيه التيار المراد قياسه. يقيس تغير المجال المغناطيسي، ويعطي إشارة متناسبة مع معدل تغير التيار باستخدام مبدأ الحث الكهرومغناطيسي (حسب قانون فاراداي)، يحتاج تكامل إلكتروني لإخراج قيمة التيار الفعلية.

3. Electronic Sensor

تعتمد على تقنية إلكترونية بالكامل ولا تُستخدم أي دائرة مغناطيسية فيه. يمكن قياس التيارات المستمر والمتناوب والنبضات مع عزل كلفاني بين الدائرتين الابتدائية والثانوية.

وهناك أنواع أخرى أقل شيوعًا وتستخدم في تطبيقات خاصة.



Video

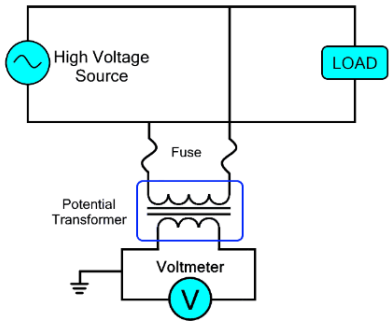
ج- محولات الجهد (Potential Transformer - PT)

ويطلق عليه أيضًا اسم محولة الفولتية (Voltage Transformer - VT). هو نوع من المحولات يُستخدم لقياس الجهد العالي في معدات الجهد المتوسط والعالي، يُستخدم لخفض الجهد العالي إلى مستوى يتناسب خطيًا مع قيمة الجهد الأصلي ومناسب للقياس باستخدام الفولتميتر العادي. يُخفّض الجهد الى 100V-120V ولكنه لا يرفع التيار بشكل ملحوظ لأن ممانعة أجهزة القياس والحماية عالية جدًا لذلك يكون التيار صغير جدًا يقاس بـ (mA). يُمكن قياس هذا الجهد بسهولة باستخدام الفولتميتر الاعتيادي. يتم توصيل المحولة على التوازي مع كل طور للخط الذي يحتاج إلى قياس الجهد. أي يتم استخدام ثلاث محولات جهد للخط الواحد بمعنى محولة واحدة لكل طور من الأطوار الثلاثة، وأحيانًا تستخدم محولات الجهد لقياس مجموع الجهود في الأطوار الثلاثة لغرض اكتشاف العطل الارضي وتُعرف بطريقة (Residual Connection). ونسبة التحويل (Turns Ratio)، هي نسبة جهد الخط أو المعدات المراد قياسها أي جهد الملف الابتدائي الى جهد الملف الثانوي (100V-120V).

المواصفة القياسية الدولية الحديثة IEC 61869-3

المواصفات القياسية الدولية القديمة (قبل سنة ٢٠٠٧) IEC 60044-2، IEC 60044-5

مبدأ عمله



يعتمد على قانون فارداي للحث الكهرومغناطيسي، حيث يُولد التيار المتناوب في الملف الابتدائي مجالًا مغناطيسيًا متناوبًا يحث جهدًا في الملف الثانوي يتناسب طرديًا مع الجهد الأساسي في الملف الابتدائي، وطرديًا مع عدد لفات الملف الثانوي. ومن خلال نسبة التحويل (Turns Ratio) للمحولة يمكن إيجاد قيمة الجهد الفعلي باستخدام القانون التالي: -

$$\frac{N_s}{N_p} = \frac{V_s}{V_p}$$

المكونات الرئيسية لمحولات الجهد (PT)

١- القلب الحديدي (Core)

مصنوع من صفائح فولاذية سيليكونية مغناطيسية (Silicon Steel Laminations)، أو سبائك النيكل والحديد، يعمل على تجميع الفيض المغناطيسي الناتج عن مرور التيار في الملف الأساس، ويوفر مسارًا له. يكون تصميمه مغلقًا (Closed Core) أو حلقيًا (Ring Type) لتقليل فقد الفيض.

٢- الملف الابتدائي (Primary Winding)

موصول على التوازي مع الخط. مصمم لتحمل جهد النظام (يصل إلى مئات الكيلوفولت في الجهد الفائق). عدد لفاته كبير للحصول على نسبة التحويل (Turns Ratio) المطلوبة.

٣- الملف الثانوي (Secondary Winding)

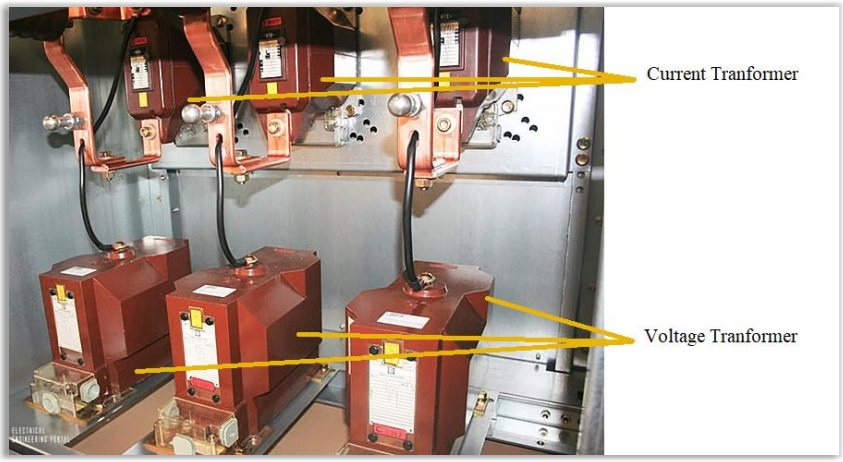
يعطي الجهد القياسي (100V, 110V or 120V)، ويتصل بأجهزة القياس أو الحماية. يكون معزول كهربائيًا عن الابتدائي لتحقيق الأمان.

٤- العزل (Insulation)

يُستخدم عزل بالغاز (SF_6) أو زيتي أو جاف راتنجي (Cast Resin) لعزل الملفات والقلب عن بعضها وعن الجسم المعدني. وفي الجهود العالية، يكون العزل مصممًا لتحمل الجهد العالي جدًا بين الملفات والأرضي.

٥- الهيكل الخارجي (Enclosure)

مصنوع من مادة عازلة (مثل الإيبوكسي) أو معدن مغطى بالعزل. يوفر حماية ميكانيكية وبيئية (رطوبة، غبار). تتصل به العوازل المبطنة (Bushings) لتوفير ممر آمن لأطراف التوصيل.



Video

أنواع محولات الجهد (PT)

- **تصنف حسب طريقة الربط مع أطوار الخط (الملف الابتدائي)**

١- محولة الجهد أحادية القطب (Single Pole VT)

تُستخدم لقياس الجهد العالي للطور (Phase Voltage)، حيث يكون الملف الابتدائي متصلاً بين الطور والأرض. يظهر للخارج طرف واحد فقط (P1) لتوصيله بأحد الأطوار، ويكون الطرف الثاني للمحولة مؤرض داخليًا (Internally Grounded).

٢- محولة الجهد مزدوجة القطبية (Double pole VT)

تُستخدم لقياس الجهد العالي للطور (Phase Voltage) أو الجهد بين طورين (Line Voltage)، يتميز بأن كلا طرفي ملفه الابتدائي معزولان عن الأرض. إمكانية توصيل الطرف الثاني بطرق مختلفة (أرضي مباشر أو مقاومة أو عزل أو الربط مع طور آخر)، مما يجعله فعالًا في تطبيقات تتطلب عزلًا عاليًا من الأرض لحماية المعدات من الأضرار.

- **تصنف حسب تركيبها الداخلي ومبدأ عملها**

١- محولات الجهد الكهرومغناطيسية (Electromagnetic Potential Transformer –EPT)

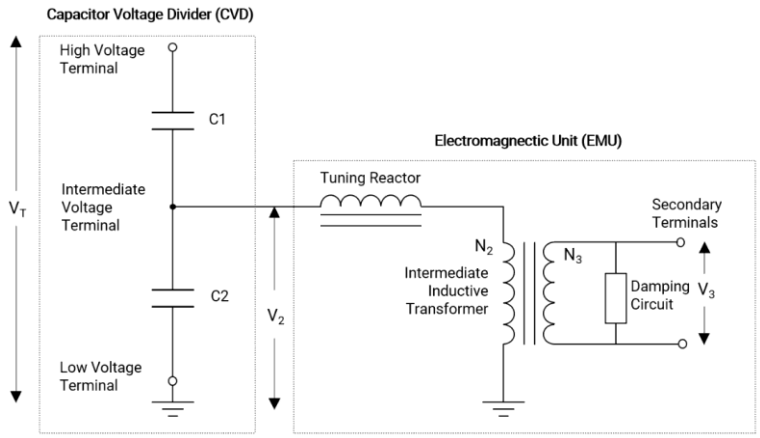
وتسمى أيضًا محولات الجهد الحثية (Inductive Voltage Transformer – IVT). تعمل بنفس مبدأ محولات القدرة العادية (قلب مغناطيسي + ملفات) أي تعتمد على مبدأ الحث الكهرومغناطيسي لخفض الجهد. تستخدم لنقل قيمة الجهد بنسبة تحويل دقيقة. تتميز ببساطتها وسهولة صيانتها. تستخدم على نطاق واسع في تطبيقات القياس والحماية الحديثة، هي الأكثر شيوعًا في شبكات الجهد المتوسط والجهد العالي حتى (245 kV).

٢- محولات الجهد السعوية (Capacitive Voltage Transformer – CVT)

وتتكون من: -

- مقسم سعوي (Capacitive Divider) لخفض الجهد الابتدائي إلى مستوى مناسب للمحولة الكهرومغناطيسية الثانوية (Intermediate Transformer).
- محولة كهرومغناطيسية ثانوية (Intermediate Transformer).
- مفاعل ضبط (Tuning Reactor) للحصول على الدقة المطلوبة.

تستخدم في أنظمة الجهد العالي جداً والفائق (132 KV وما فوق)، حيث يكون استخدام المحولات الكهرومغناطيسية التقليدية غير عملي. تتميز بحجمها الأصغر، وكفاءتها العالية، وإمكانية استخدامها لنقل إشارات الاتصالات (PLC – Power Line Carrier)، وانخفاض كلفتها مقارنة بالمحولات الكهرومغناطيسية التقليدية لنطاق الجهد نفسه. لكنها تتأثر بدقة أدائها بالتغيرات في التردد والسعة الضالة. (Burden Rated) وهو مماثل لما ذكرناه في محولة التيار (CT).



القيم الشائعة في المواصفة القياسية الدولية

Common IEC burden ratings

1.25 VA, 2.5 VA, 5 VA, 10 VA, 15 VA, 20 VA, 30 VA, 45 VA, and 60 VA.

درجة الدقة (Accuracy Class)

وهو مماثل لما ذكرناه في محولة التيار (CT). عدا إنه يعبر عن دقة الحماية في محولة الجهد (PT) بـ 3P أو 6P، بينما محولة التيار (CT) تستخدم 5P ، 10P ، 15P لأن تيارات الأعطال يمكن أن تكون مضاعفات أعلى بكثير من التيار المقرر.

د– مُستشعر الجهد (Voltage Sensor Or Transducers)

وهو جهاز يُستخدم لقياس أو أخذ إشارة من الجهد الكهربائي على الموصلات أو القضبان الناقلة (Busbars)، ثم تحويل هذه الإشارة إلى قيمة منخفضة وآمنة يمكن استخدامها لأغراض القياس والحماية والمراقبة وكشف الجهد، أي ان وظيفته هي وظيفة محولة الجهد (PT) نفسها مع اختلاف مبدأ العمل والتقنية المستخدمة.

- يعتمد على مبدأ مقسم الجهد (Voltage Divider) بدل الحث المغناطيسي في محولة الجهد (PT).
- أقل دقة من محولة الجهد (PT).
- استجابة أسرع جدًا للتغيرات السريعة في الجهد.
- صغير الحجم وخفيف الوزن.
- قليل الأعطال، عمر طويل، صيانة شبه معدومة.

وهو على نوعين: –

- مقسم الجهد السعوي (Capacitive Voltage Divider Sensor): صغير الحجم، شائع في الـ (RMU) الحديثة، ويستخدم للمؤشر (VPIS) وللحماية.
- مقسم الجهد المقاومة (Resistive Voltage Divider Sensor): دقة عالية في القياس، لكن أقل شيوعًا في الجهد المتوسط.

المواصفات القياسية الدولية الحديثة IEC 61869-6، IEC 61869-11

المواصفات القياسية الدولية القديمة (قبل سنة ٢٠٠٧) IEC 60044-7

٢- مرحلات الحماية (Relays)

وأيضًا تسمى مناولات الحماية، هو جهاز كهربائي أو إلكتروني ذكي يُستخدم في أنظمة القدرة الكهربائية لاكتشاف الأعطال أو الحالات غير الطبيعية (مثل زيادة التيار، انخفاض أو ارتفاع الجهد، تردد غير طبيعي، أو خلل في التتابع الزمني) واتخاذ إجراء سريع لفصل الجزء المتأثر من النظام لحمايته من التلف. وهو عنصر مراقبة وتحكم وحماية.

وظيفته

- مراقبة المتغيرات الكهربائية في نقطة معينة: -
  - الإدخال (Input): يستقبل إشارات من محولات القياس (CT, PT) لتمثيل التيار والجهد.
  - مقارنتها بقيم ضبط محددة مسبقًا (Setting Values).
  - كشف الخلل (Fault Detection)، عند تجاوز هذه القيم أو حدوث حالة غير طبيعية.
  - تحديد نوع العطل ومكانه (Fault Classification & Location).
- إصدار أوامر التحكم (Control Signal) مثل: -
  - إرسال إشارة فصل لدائرة الفصل (Trip Circuit) الى قاطع الدورة (CB).
  - تشغيل إنذار (Alarm).
  - تسجيل البيانات (Event Logging).
- حماية المعدات (محولات، مولدات، خطوط نقل، محركات)، ومنع توسع الأعطال وانتقالها لمناطق أخرى، ضمان سلامة الأشخاص العاملين قرب معدات المنظومة الكهربائية. المحافظة على استقرار واستمرارية الشبكة.

المواصفات القياسية الدولية سلسلة أجزاء IEC 60255 إطارًا عامًا لمرحلات الحماية

المواصفة القياسية الدولية IEC 61508 تهتم بالسلامة الوظيفية

المواصفات القياسية الدولية IEC 61850 على الاتصالات الرقمية في أنظمة الطاقة الكهربائية

أجيال مرحلات (Relays)

أ- الجيل الأول: المرحلات الكهروميكانيكية (Electromechanical Relays)

ظهرت منذ أوائل القرن العشرين حتى سبعينيات القرن الماضي تقريبًا.

آلية العمل

- تعتمد على الحركة الميكانيكية الناتجة عن تأثير المجالات المغناطيسية أو القوى الكهربائية.
- مكوناتها الأساسية: ملفات، نوابض، تروس، أقراص دوار (Induction Disk)، وأجزاء متحركة.

الخصائص

- موثوقة وعالية التحمل.
- زمن استجابة أبطأ مقارنة بالتقنيات الحديثة.
- دقة محدودة نسبيًا.
- حجمها كبير وتستهلك طاقة أكبر.

أمثلة: المرحلات الحرارية، مرحلات التيار الزائد (Electromechanical Overcurrent Relays).

Electromechanical Relays

ب–الجيل الثاني: المرحلات الإلكترونية ذات الحالة الصلبة (Solid-State Relays)

شائعة من السبعينيات حتى منتصف الثمانينيات.

آلية العمل

- تعتمد على المكونات الإلكترونية الصلبة (كالترانزستورات، الثايرستورات، أو الترياك) بدلاً من الملفات والملامسات الميكانيكية لعمليات الفتح والإغلاق.

الخصائص

- سرعة استجابة أعلى من الجيل السابق.
- دقة أفضل وإمكانية ضبط أوسع.
- حجمها أصغر نسبيًا ولا تحتوي على أجزاء متحركة.
- عدم وجود شرارة أو ضوضاء كهربائية أثناء التشغيل، لكنها تولد حرارة أثناء التشغيل.
- عمر طويل لعدم وجود أجزاء متحركة تتعرض للتآكل.
- محدودة الوظائف مقارنة بالأنظمة الرقمية الحديثة.

أمثلة: المرحلات الزمنية الإلكترونية (Electronic Timers)، مرحلات التيار والجهد الإلكتروني.

Solid-State Relays

ج– الجيل الثالث: المرحلات الرقمية (Digital Relays)

شائعة من منتصف الثمانينيات وحتى التسعينيات.

آلية العمل

- يتم تحويل الإشارات التناظرية من المحولات (CT/PT) إلى إشارات رقمية ومعالجتها.
- تعتمد على معالجات رقمية (Microprocessors) تم دمجها في المرحلات لمعالجة الإشارات وتحليل قيم القياس.
- يقوم بحساب القيم الكهربائية باستخدام خوارزميات رقمية.
- يقارن القيم مع القيم المبرمجة (Set Points).

الخصائص

- مرونة عالية وإمكانية برمجة وظائف متعددة في جهاز واحد.
- دقة وحساسية عالية مقارنة بالأجيال السابقة.
- تسجيل الأحداث والإنذارات.
- إمكانية الاتصال بأنظمة التحكم (SCADA).

أمثلة: المرحلات الرقمية متعددة الوظائف (Digital Multifunction Relays).

Digital Relays

د– الجيل الرابع: المرحلات الذكية (Numerical / Intelligent Relays)

شائعة من التسعينيات وحتى الوقت الحاضر.

آلية العمل

- تعتمد على المعالجات الدقيقة المتطورة (Microprocessor /DSPs) وتقنيات البرمجة المتقدمة. ولذلك تسمى أحيانًا (Microprocessor-based Relays).
- تستخدم الخوارزميات الذكية لمعالجة الإشارات وحماية الشبكات المعقدة.
- يتم تحويل الإشارات التناظرية من المحولات (CT/PT) إلى إشارات رقمية ومعالجتها.

الخصائص

جهاز واحد يوفر حماية، مراقبة، تسجيل بيانات، تشخيص أعطال، واتصالات متقدمة، وقياسات لحظية.

- سرعة استجابة عالية جدًا ودقة فائقة.
- تسجيل وتخزين الأحداث والإنذارات.
- دعم التحكم عن بُعد، إمكانية الاتصال بمنظومة سكادا (SCADA).
- إمكانية التكامل مع أنظمة Smart Grid.

أمثلة للمرحلات الذكية متعددة الوظائف (Multifunctions Relays)

- Siemens SIPROTEC
- Schneider Micom
- ABB RELION

الخصائص الأساسية لأي مرحل (Relay): –

- الحساسية (Sensitivity): قدرته على كشف الأعطال الصغيرة.
- الانتقائية (Selectivity): عزله الجزء المعطوب فقط دون التأثير على بقية النظام.
- السرعة (Speed): سرعة استجابته لتقليل الأضرار.
- الوثوقية (Reliability): العمل الصحيح عند الحاجة بنسبة عالية.
- الاستقرار (Stability): عدم استجابته للتغيرات العابرة غير الخطرة.

فيما يلي جدول لأهم مرحلات الحماية شائعة الاستخدام في المعدات المختلفة: –

رمز IEEE– رقم الوظيفة (Function Number)	مرحل الحماية (Function Name)	الوظيفة / التفسير
50	فصل الدائرة فورًا عند مرور تيار عالٍ جدًا (عطل قصير)	Instantaneous Overcurrent Relay
51	حماية ضد التيارات الزائدة المستمرة لمدة زمنية محددة	Time-Delayed Overcurrent Relay
50G	كشف تيار الأرضي غير الطبيعي بشكل لحظي	Instantaneous Earth Fault Relay
51G	حماية زمنية ضد الأعطال الأرضية	Time-Delayed Earth Fault Relay
27	فصل الدائرة عند هبوط الجهد تحت القيمة المسموح بها	Under Voltage Relay
59	حماية المعدات من تجاوز الجهد المسموح به	Over Voltage Relay
47	كشف فقدان أحد الأطوار أو انعكاس التسلسل الطوري	Phase Loss / Phase Sequence Relay
59N	مراقبة الجهد غير المتوازن للأرضي للكشف عن أعطال العزل	Residual Voltage Relay
87	حماية تفاضلية لجزء معين ضد أعطال القصر الداخلية	Differential Protection Relay
21	حماية خطوط النقل عن طريق قياس المعاوقة لتحديد موقع العطل	Distance Protection Relay
67N	يحدد اتجاه تيار الأرضي للفصل الصحيح بين أعطال داخلية وخارجية	Directional Earth Fault Relay
67	الحماية ضد تيار زائد مع تحديد اتجاهه على الخطوط ثنائية التغذية	Directional Overcurrent Relay
37	حماية الأحمال الدوارة أو المحركات عند استهلاك قدرة أقل من الطبيعي	Under Power Relay
32	حماية عند استهلاك قدرة أكبر من المسموح أو تدفق قدرة عكسي	Over Power Relay
81U	فصل الحمل أو التوليد عند انخفاض التردد عن الحد المسموح	Under Frequency Relay
81O	حماية الشبكة أو المولدات من الترددات العالية غير المرغوبة	Over Frequency Relay
27	حماية إضافية من الانخفاض المطوّل للجهد عن الحدود الآمنة	Sustained Under Voltage Relay
59T	حماية ضد الجهود العابرة والمرتفعة مؤقتًا (Surge)	Transient Over Voltage Relay
49	حماية المحركات أو المحولات من الارتفاع الحراري الزائد بسبب تيار الحمل العالي	Thermal Overload Relay
79	إعادة غلق القاطع تلقائيًا بعد إزالة أعطال مؤقتة في الشبكة	Auto Reclosing Relay
62	يمنع إعادة التشغيل غير الآمن للقواطع بعد فصلها لسبب طارئ	Lockout Relay
32R	منع تدفق الطاقة من الحمل إلى المصدر	Reverse Power Relay
12	حماية المحركات أو المولدات من السرعة المفرطة غير المسموح بها	Overspeed Relay
14	حماية المعدات الدوارة في حال هبوط السرعة تحت الحد الأدنى المطلوب	Underspeed Relay
78	حماية المولدات من فقدان التزامن مع الشبكة	Out-of-Step Relay

إنّ مرحلات الحماية متعددة الوظائف (Multifunction Relays) تقوم بوظائف أغلب هذه المرحلات.

٣- الفيوز (Fuse)

ويترجم الى اللغة العربية، الفاصم أو المصهر أو الصمام، وهو جهاز يعمل لمرة واحدة. يُوصل على التوالي داخل التركيب. يحتوي على سلك أو شريط معدني يمر التيار خلاله. الحرارة الناتجة عن الزيادة الكبيرة في التيار فوق قيمة التيار المقرر (Rated current)، تُسبب انصهار السلك أو الشريط المعدني بسرعة مما يؤدي إلى فصل مصدر التغذية عن الحمل. ويحدد مقياس القيمة المصممة للتيار بمساحة المقطع العرضي للسلك او الشريط المعدني المستخدم.

المواصفة القياسية الدولية IEC 60282-1

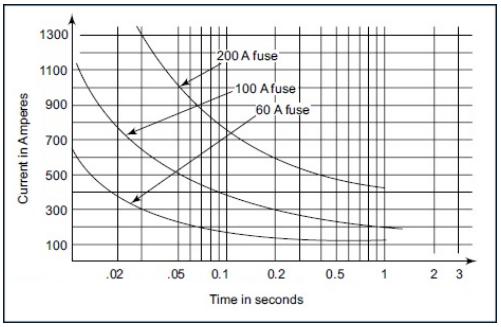
مبدأ عمل الفيوز (Fuse) العادي

يتكون الفيوز من عنصر معدني ينصهر عند وصول الحرارة الناتجة عن مرور التيار إلى قيمة معينة حسب تأثير جول (Joule Effect)، وينقطع التيار. حيث يتحول التيار الكهربائي المار في موصل مقاوم إلى حرارة. كما في المعادلة:-

$$Q = I^2 \times R \times t$$

- Q : كمية الطاقة الحرارية المتولدة
- I : التيار المار
- R : مقاومة العنصر
- t : الزمن الذي يستمر فيه مرور التيار

إذا كان التيار عاليًا جدًا مثل تيار دائرة القصر (Short Circuit) فالفصل يتم في جزء من الثانية. بينما إذا تجاوز التيار قيمة التيار المقرر (Rated current) للفيوز بنسبة ليست كبيرة (مثلاً ١٢٠-٢٠٠٪) لفترة كافية، يسخن العنصر المعدني وينصهر في وقت يستغرق عدة ثوانٍ أو دقائق. فزمن الفصل يعتمد على قيمة التيار. لذلك فأن الفيوز غير دقيق جدًا في فصل التيارات القريبة من قيمة التيار المقرر (Rated current) وقد يسمح بمرور تيار زائد لفترة طويلة. هذه العلاقة تُستخدم عمليًا في تصميم وحساب منحنيات انصهار الفيوز (Fuse Melting Curves)، وهي الأساس في مفهوم (I^2t) الذي يحدد سرعة فصل الفيوز حسب قيمة التيار.



التركيب الأساسي للفيوز (Fuse)

١- عنصر الانصهار (Fuse Element)

هو الجزء المعدني الذي يمر عبره التيار، وينصهر عند زيادة التيار فوق قيمة التيار المقرر (Rated current)، مما يقطع الدائرة.

٢- هيكل الفيوز (Fuse Body)

الهيكل الخارجي الذي يحتوي على عنصر الانصهار، وغالبًا يكون مصنوعًا من مادة عازلة كالزجاج أو البورسلين.

٣- وسط إطفاء القوس (Arc Quenching Medium)

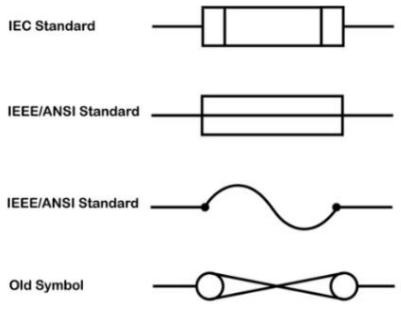
غالبًا ما تكون رمل السيليكا (في فيوزات (Fuses) الجهد المتوسط) توضع حول عنصر الانصهار لامتصاص الحرارة والمساعدة في إطفاء القوس الكهربائي بعد الانصهار.

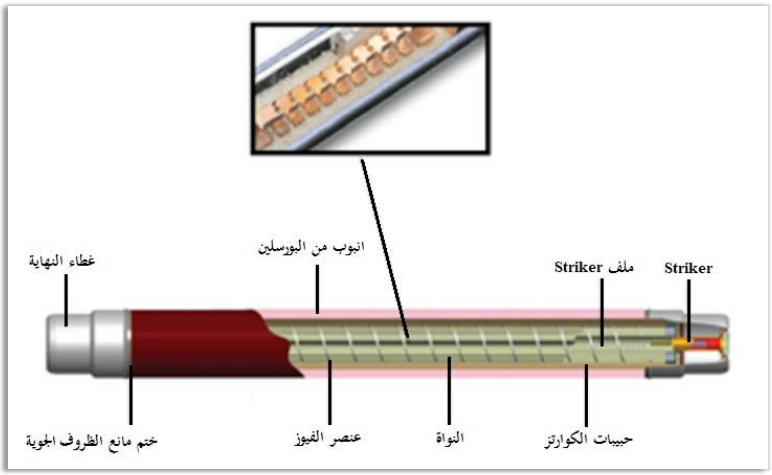
٤- أطراف التوصيل (End Terminals)

أجزاء معدنية في طرفي الفيوز (Fuse) تُمكّنه من الاتصال بالدائرة الكهربائية. قد تحتوي على مسامير تثبيت.

٥- مؤشر أو دبوس الانصهار (Striker Pin)

يتوفر في بعض أنواع الفيوز (Fuse) قطعة ميكانيكية تخرج تلقائيًا بواسطة آلية معينة عند انصهار الفيوز (Fuse)، وتُستخدم لإظهار أن الفيوز (Fuse) قد فصل، أو لتفعيل فصل مفتاح خارجي (Disconnector أو LBS).





مميزات وعيوب الفيوز (Fuse)

يتميز الفيوز (Fuse) بسرعة القطع مقارنة بقواطع الدورة (CB)، حيث يفصل في ربع دورة، بينما يحتاج القاطع إلى دروة كاملة على الأقل، ما يعني أن تيار دائرة القصر (Short Circuit) المار تكون مدته ضئيلة جدًا (Current-Limiting)، ولا يحدث أي ضرر في العناصر المحمية، خلاف قاطع الدورة (CB)، الذي قد يفصل بعد مرور وقت أطول تكون خلاله كل عناصر الدائرة قد تأثرت بدرجة ما. بالإضافة الى بساطة التركيب وانخفاض الكلفة.

وأهم عيوب الفيوز (Fuse)، أنه لا يوجد منها ثلاثية الأطوار، وتعمل فقط على طور واحد، ما يترتب على ذلك عند حدوث عطل فإنها تفصل لكن ليس في وقت واحد، وقد تفصل طور واحد فقط بينما باقي الأطوار في حالة توصيل، وهذا قد يسبب في بعض المشاكل (وقد تم التغلب على هذه المشكلة في تصميم السويج فيوز كما سيأتي)، ومن عيوبه أيضًا كما ذكرنا أعلاه أنه لا يتعامل بسرعة لفصل الدائرة مع العطل الأرضي (Earth Fault) ومع ارتفاع الأحمال (Overloading)، ولا يتأثر بتغير الجهد بشكل مباشر وفقط يقوم بحماية التيار من الارتفاع الكبير. كذلك لا يفرق بين الأعطال العابرة والأعطال المستمرة، ولهذا لا يفضل استخدامه في حماية الخطوط الهوائية، بل في حماية أجزاء من الشبكة الكهربائية مثل محولات التوزيع سواء الهوائية المعلقة أو الأرضية.

أنواع الفيوز (Fuse)

هناك أنواع متعددة من الفيوز تختلف حسب أغراض ومواقع الاستخدام، وحسب مستوى الجهد (من بضعة فولتات الى الجهد العالي)، وقيمة التيار ونوع التيار متناوب أو مستمر، سرعة الاستجابة، قدرة القطع، وطبيعة الحمل أو الأجهزة المحمية. من الأنواع الشائعة: –

أ– فيوز (High Rupturing Capacity Fuse – HRC Fuse)

ويُترجم إلى فيوز عالي قدرة القطع أو فيوز عالي سعة الانفصال، وهو أحد الأنواع المصممة لفصل الدائرة الكهربائية بأمان وسرعة عالية عند مرور تيار عالي جدًا مثل تيار دائرة القصر (Short Circuit). أحيانًا يسمى (Current-Limiting Fuse).

مميزات فيوز (HRC Fuse)

- عنصر الانصهار (Fuse Element) مصنوع عادة من الفضة أو النحاس أو سبيكة خاصة.
- قدرة على قطع تيارات الأعطال العالية (قد تصل 50-80kA).
- سرعته العالية في القطع (عادةً في أقل من ٥ ميلي ثانية في حالة دائرة القصر) تؤدي إلى إخماد التيار قبل أن يصل إلى قيمته القصوى المتوقعة، مما يقلل من الضرر على باقي مكونات الدائرة.
- آمن، لا يحدث انفجار جسم الفيوز نفسه أو تناثر حطامه.
- حماية موثوقة للأجهزة الحساسة.
- رخيص الثمن لكنه أغلى من الفيوزات العادية.

يُستخدم غالبًا في وحدات RMU (Ring Main Unit) لحماية محولات التوزيع الصندوقية (الكيوسكات)، ومحولات الجهد المتوسط في محطات المستهلكين في المنشآت الصناعية والتجارية، وحماية المحركات الكهربائية.

الأنواع الفرعية: –

- Cartridge Type HRC Fuse: شكل أسطواني مغلق.
- Bolted Type HRC Fuse: بمسامير تثبيت، سعات أعلى.

الجدول أدناه يبين قيم الفيوز المستخدم مع المحولة حسب سعتها وفق المواصفة الألمانية (DIN) المستخدمة في العراق. في مواصفات أخرى كالفرنسية أو غيرها توجد اختلافات بسيطة بالقيم.

Fusarc CF fuses DIN standard for transformer protection (rating in A) (1) (2) (3)

Operating voltage (kV)	Rated voltage (kV)	Transformer power (kVA)																
		25	50	75	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000
3	7.2	16 20 25	25 31.5 40	31.5 40 50	40 50 63	50 63 80	63 80 100	63 80 100	80 100	100 125	125 160	125 160	160	200	250			
5	7.2	10 16	16 20 25	25 31.5 40	31.5 40 50	31.5 40 50	40 50 63	50 63 80	63 80 100	63 80 100	80 100	100 125	125 160	125 160	160	200	250	
6	7.2	6.3 10	16 20 25	20 25 31.5	25 31.5 40	31.5 40 50	40 50 63	40 50 63	50 63 80	63 80 100	63 80 100	80 100	100 125	125	125	160	200	250
6.6	7.2	6.3 10	16 20 25	20 25 31.5	25 31.5 40	25 31.5 40	31.5 40 50	40 50 63	50 63 80	50 63 80	63 80 100	80 100	100 125	125	125	160	200	250
10	12	6.3	10 16	16 20	16 20 25	20 25 31.5	25 31.5 40	31.5 40 50	31.5 40 50	40 50 63	50 63 80	63 80 100	63 80 100	80 100	100 125	125	125	160
11	12	6.3	10	10 16 20	16 20 25	20 25 31.5	25 31.5 40	25 31.5 40	31.5 40 50	40 50 63	50 63 80	50 63 80	63 80 100	80 100	100 125	125	125	160
13.2	17.5	4	6.3 10	10 16	16 20 25	16 20 25	20 25 31.5	25 31.5 40	25 31.5 40	31.5 40 50	40 50 63	50 63 80	50 63 80	63 80 100	80 100	100		
13.8	17.5	4	6.3 10	10 16	10 16 20	16 20 25	20 25 31.5	25 31.5 40	25 31.5 40	31.5 40 50	40 50 63	50 63 80	50 63 80	63 80 100	80 100	100	100	
15	17.5	4	6.3 10	10 16	10 16 20	16 20 25	16 20 25	25 31.5	25 31.5 40	31.5 40 50	40 50 63	40 50 63	50 63 80	63 80	63 80 100	80 100	100	100
20	24		6.3	6.3 10	10 16	10 16 20	16 20 25	16 20 25	20 25 31.5	25 31.5 40	31.5 40 50	31.5 40 50	40 50 63	50 63	63 80	63 80 100	80 100	100
22	24		6.3	6.3 10	10	10 16	10 16 20	16 20 25	20 25 31.5	25 31.5 40	25 31.5 40	31.5 40 50	40 50 63	40 50 63	50 63 80	63 80 100	80 100	100
25	36		4	6.3	6.3 10	10 10	10 16 20	16 20 25	16 20 25	25 31.5	25 31.5 40	31.5 40 50	40 50 63	40 50 63	50 63	63	63	
30	36		4	6.3	6.3 10	6.3 10	10 16	10 16 20	16 20 25	16 20 25	25 31.5	25 31.5 40	31.5 40 50	31.5 40 50	40 50 63	50 63	63	63

ب– فيوز (Time Limit Fuse - TLF Fuse)

هو فيوز حراري–انصهاري مزوّد بآلية تأخير زمني محدد (Time Limit)، مصمم ليتم ربطه على مخرج محولات التيار (CT) ذات الجهد الواطئ (LV). ويكون حجمه صغير ورخيص الثمن. وعلى التوازي مع ملف الفصل (Trip Coil)، بحيث يسمح بمرور تيار العطل لفترة قصيرة جدًا (جزء من الثانية) قبل أن ينصهر، ويفعّل آلية الفصل الميكانيكية. يتميز بعدم الفتح الفوري عند مرور تيارات الاندفاع اللحظية (Inrush Current). يعمل ضمن نظام حماية وحدة التغذية الحلقية (RMU) ولوحات توزيع الجهد المتوسط. وسيأتي شرحه مفصلًا.

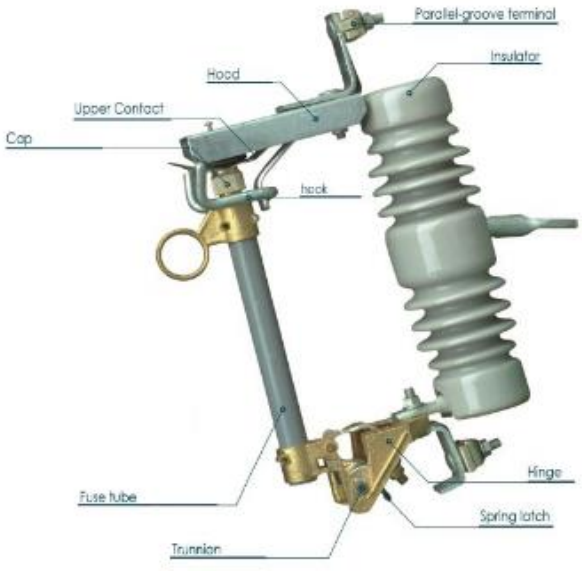
ج- فيوز (Drop-out Fuse / Expulsion Fuse)

ويُترجم إلى فيوز الطرد (Expulsion Fuse) أو فيوز الفصل (Dropout Fuse). هذه الأنواع مصممة لقطع التيار الكهربائي عند حدوث عطل في المحولة مثل دائرة القصر (Short Circuit). فعند مرور هذا التيار العالي يؤدي الى ذوبان الفتيل، ويتشكل قوس كهربائي يتم إخماده بواسطة غازات متولدة من مادة الفيوز (عادةً ما تكون مادة عضوية) ويتم طرد هذه الغازات خارج الأنبوب، مما يؤدي إلى قطع التيار.

مميزاته

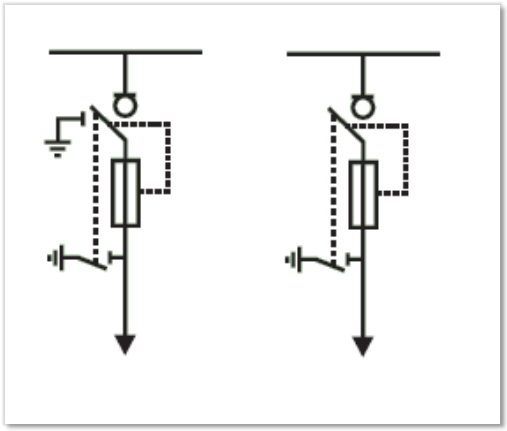
- مرئي: يمكن للمشغل أن يرى بسهولة الفيوز المفتوح.
- سهل الاستبدال: يمكن إعادة تركيبه في دقائق.
- قدرة قطع عالية (عادة 8-12kA) تناسب أعطال الخطوط ومحولات التوزيع (100-630 kVA).
- محدودية: قدرة القطع عالية لكنها أقل مقارنة بنوع (HRC Fuse).
- رخيص الثمن.

يُستخدم في شبكات التوزيع الكهربائية للجهد المتوسط في مفتاح (Cut Out) لحماية المحولات الهوائية المعلقة والخطوط الفرعية في بعض الأحيان.

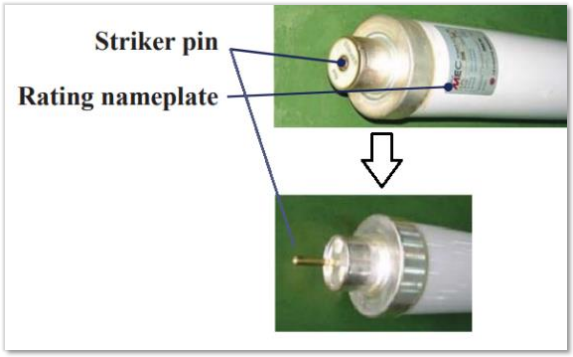


Video Video

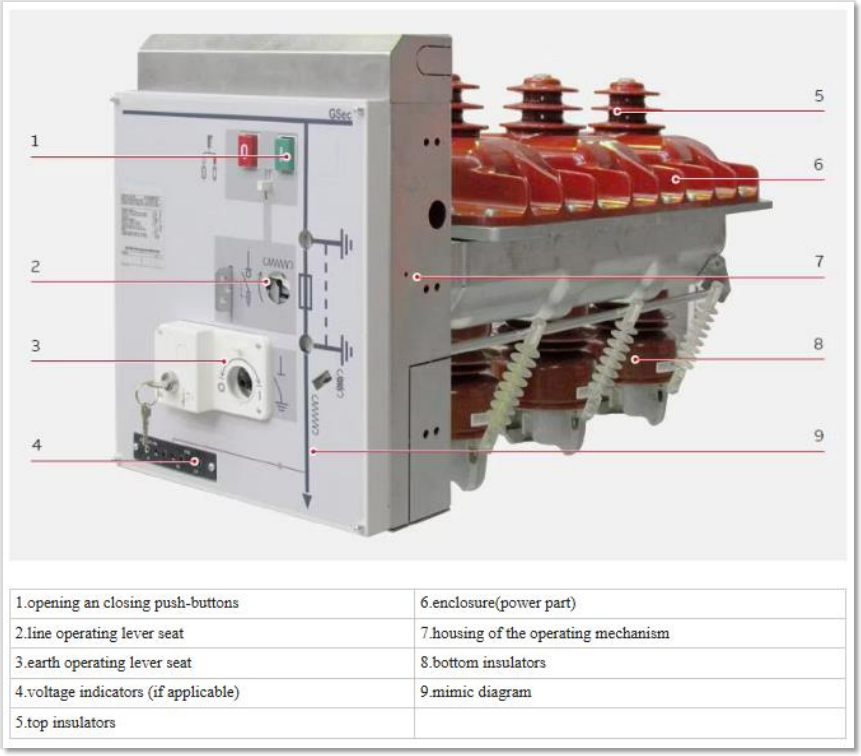
سويج فيوز (Switch Fuse)



هو تركيب أو جهاز يجمع بين مفتاح (مفتاح فصل الحمل (Load Break Switch) أو مفتاح العزل (Disconnector)) وفيوز (Fuse) للحماية في وحدة مدمجة واحدة، ويُستخدم لحماية وفصل دوائر الجهد الواطئ والجهد المتوسط بشكل آمن وفعال عند حدوث عطل ومرور تيار قصر أو تيارات أعلى من التيار المقرر، حيث ينصهر الفيوز (Fuse)، وعادةً ما يحتوي على آلية ميكانيكية (Striker Pin) مدمجة داخله. يؤدي انصهار الفيوز (Fuse) إلى إطلاق آلية (Striker Pin)، والتي تقوم بتفعيل آلية الفصل في مفتاح الحمل (LBS)، لتأمين فصل جميع الأطوار المتبقية تلقائيًا في وقت واحد، لضمان العزل الكامل ومنع التوصيل جزئيًا من الأطوار السليمة.



المواصفة القياسية الدولية IEC 62271-105



1.opening an closing push-buttons	6.enclosure(power part)
2.line operating lever seat	7.housing of the operating mechanism
3.earth operating lever seat	8.bottom insulators
4.voltage indicators (if applicable)	9.mimic diagram
5.top insulators	

استخداماته

- في الشبكة الهوائية يستخدم بشكل شائع في حماية المحولة الهوائية المعلقة على ركيزة (Cut Out Fuse)- كما مستخدم في العراق، أو بعض أنواع الفاصل سويج رأس القابلو، أو حماية بعض التفرعات.

  مفتاح العزل (Disconnector) + فيوز (Drop-out Fuse / Expulsion Fuse)

  (للعزل الآمن بعد العطل) (للحماية من تيارات القصر (Short Circuit))

- في المعدات (Switchgear) الأرضية سواء الداخلية أو الخارجية، وهو أيضًا مستخدم بشكل شائع في شبكة التوزيع في العراق: -

  مفتاح فصل الحمل (LBS) + فيوز (HRC Fuse)

  (للفصل أو التوصيل أثناء الحمل) (للحماية من تيارات القصر (Short Circuit))

- في كثير من تصاميم معدات (Switchgear) الحديثة للجهد المتوسط يكون مفتاح سويج فيوز مدمجًا مع مفتاح أرضي (Integral Earthing Switch) ومرتبط به ميكانيكياً داخل نفس الخلية مع (Interlocks). ويكون المفتاح ثلاثي المواضع (3-position Switch) أي توصيل/فصل/أرضي (On/Off/Earth). خصوصًا المعدات المعزولة بالغاز (GIS). وفي تصاميم أخرى يكون مفتاح التأريض منفصلًا عنه لكنه ميكانيكيًا مرتبط بـ (interlocked) لمنع التشغيل الخاطئ. هذا شائع في المعدات (Metal-Clad Switchgear) القديمة أو التصاميم المفتوحة (AIS التقليدية).

- يكون التأريض مفرد (Single Earthing) أي يكون لكل طور خط أرضي واحد. وهو كافي للحماية لكنه أقل أمانًا إذا حصل خلل ميكانيكي. يُستخدم غالباً في المعدات القديمة أو الاقتصادية.

- ويكون التأريض مزدوج (Double Earthing) أي يتم تأريض كل طور بنقطتين (Double Point Earthing). يعزز الأمان ويمنع بقاء أي جهد متبقي على القابلو أو المحولة. وهو الأكثر استخداماً في المعدات الحديثة حسب توصيات المواصفة القياسية الدولية IEC 62271-200 لمعدات الجهد المتوسط.

المواصفة القياسية الدولية IEC 62271-102 لمفاتيح التأريض

المواصفة القياسية الدولية IEC 62271-200 لمعدات الجهد المتوسط

المواصفة القياسية الدولية IEC 61936-1 لقواعد التركيبات الكهربائية العالية الجهد

أمثلة عن المعدات الحديثة التي تحتوي سويج فيوز مدمج مع المفتاح الأرضي.

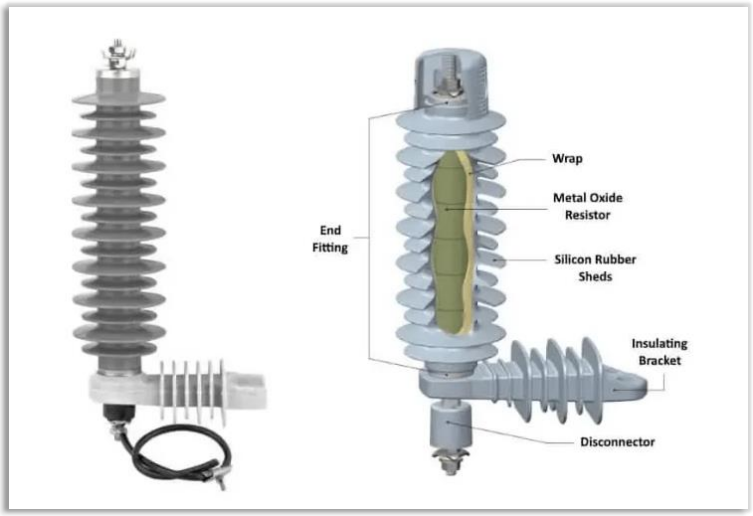
- ABB SafeRing / SafePlus GIS RMU
- Schneider RM6 / SM AirSeT
- Siemens 8DJH RMU

Video Video

٤– مانعة الصواعق (Surge Arrester)

هو جهاز حماية يستخدم داخل المعدات (Switchgear) – أو على خطوط النقل والتوزيع – وظيفته تفريغ الجهود العالية المفاجئة (Surges/ Overvoltages) الناتجة عن: –

- الصواعق الرعدية (Lightning Surges).
- عمليات الفصل والتوصيل (Switching Surges).
- الأعطال في الشبكة.

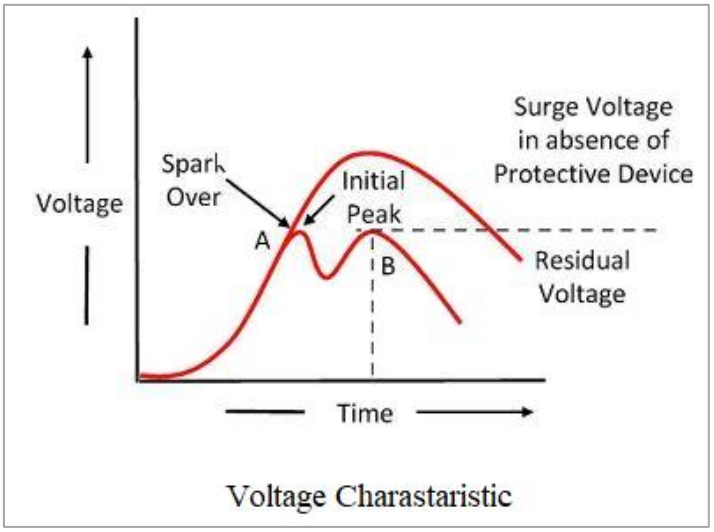


حيث يقوم الجهاز بتحويل تيار الجهد الزائد وتفريغه إلى الأرض، مما يحد من التأثير الضار على المحولات، المفاتيح، القابلوات، والمعدات الحساسة، ويسمح بتكرار هذه الوظيفة عدة مرات دون تلف بالنسبة للأنواع الحديثة.

المواصفة القياسية الدولية IEC 60099-4

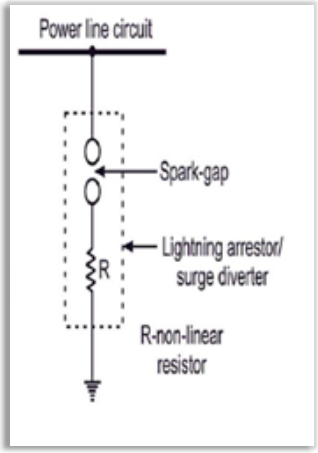
المواصفة القياسية الدولية IEC 60099-5

مواصفة وزارة الكهرباء العراقية D-14



أنواع مانعة الصواعق

أ. النوع ذو الفجوة الهوائية



النوع القديم من مانعات الصواعق للجهد المتوسط والعالي، كان يُعرف عادةً باسم مانعات الصواعق بفجوة الشرارة (Spark Gap Arresters) أو بفجوة الهواء (Air Gap Arresters)، لأنها تعتمد على وجود فجوة هوائية متسلسلة مع عناصر كربيد السيليكون المقاومة. الاعتماد على الفجوة يجعل الاستجابة أقل دقة، واحتمالية فشل الفجوة في إطفاء القوس واحتراقها، وتأثرها بالرطوبة والملوحة، أدى الى استخدام بديل أحدث وتوجد فقط في المحطات القديمة.

المكونات

- يتكون هذا النوع من مانعة الصواعق (Surge Arrester) من فجوات متسلسلة (Series Gaps) بين أقطاب معدنية، تكون مسافات الفجوات محسوبة بدقة. عادةً بين ٣ إلى ٥ فجوات أو أكثر حسب الجهد.
- مقاومة لا خطّية (Non-Linear Resistor)، وغالبًا تكون من مادة كاربيد السيليكون (SiC – Silicon Carbide). مقاومتها عالية عند الجهود الاعتيادية، وتنخفض بشدة عند ارتفاع الجهد.
- العازل الخارجي للحماية من الظروف البيئية ويكون غاليًا من مادة البورسلين.

مبدأ العمل

- عند الجهد الإعتيادي (Rated Voltage) تكون الفجوة عازلة تمنع مرور التيار، والجهد أقل من جهد انهيار الفجوة (Breakdown Voltage)، والمقاومة اللا خطّية عالية وتيار التسرب خلالها قليل جداً.
- عند حدوث ارتفاع جهد مفاجئ (Surge) تصل الفجوات إلى جهد الانهيار (Breakdown Voltage) فيحدث تفريغ شراري (Spark-over) داخل الفجوة وتصبح في حالة وصل كامل مما يسمح بمرور التيار الزائد إلى الأرض (Ground).
- المقاومة غير الخطية من مادة كاربيد السيليكون (SiC – Silicon Carbide) تخفّض تيار (Surge) إلى مستوى آمن، وتمتص جزءاً مهماً من الحرارة فتساعد على إطفاء القوس بعد التفريغ. التحدي يكمن في قدرة الفجوة على "إطفاء" القوس الكهربائي (الشرارة) وإعادة العزل بعد انتهاء الصاعقة وعودة الجهد إلى مستواه الطبيعي. فإذا فشلت الفجوة في إطفاء القوس، يستمر التيار بالمرور، مما قد يؤدي إلى فشل (احتراق) مانعة الصواعق حراريًا.

ب. نوع أوكسيد الزنك (Metal Oxide Varistor - MOV)

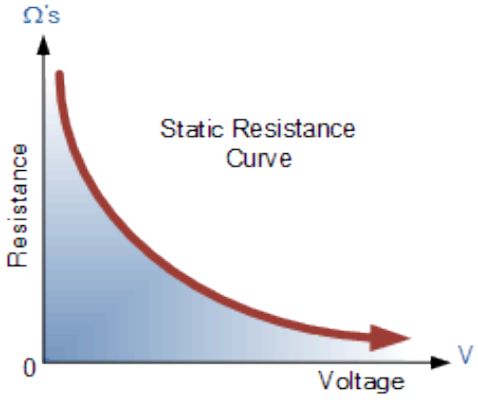
النوع الحديث والسائد حالياً بفضل وثوقيته العالية وقدرته الفعالة على التعامل مع فروقات الجهد. وقد أصبحت هي المعيار العالمي اليوم.

المكونات

- تتكون مانعة الصواعق (Surge Arrester) من هذا النوع من مقاومة متغيرة تتناسب عكسيًا مع الجهد مصنوعة عادةً من مادة تدعى Metal Oxide Varistor (MOV).
- هذه المادة مصنوعة من أوكسيد الزنك (ZnO) كمادة أساسية وإضافات من أكاسيد معدنية أخرى مثل البزموث والكوبالت والمنغنيز.

مبدأ العمل

- عند الجهد الطبيعي (Rated Voltage) تكون مقاومتها عالية جدًا، فتمنع مرور التيار.
- عند حدوث ارتفاع جهد مفاجئ (Surge) تقل مقاومتها فجأة، فتسمح بمرور التيار الزائد إلى الأرض (Ground)، ثم تعود لحالتها الطبيعية بسرعة.



➢ **أنواع مانعة الصواعق حسب التصميم الخارجي**

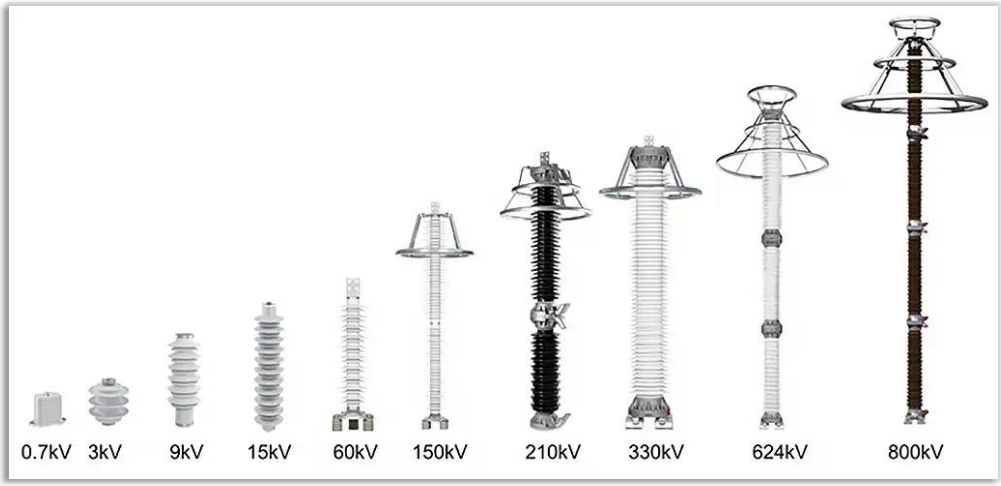
أ. مانعات الصواعق المملوءة بالغاز (SF_6 – Gas-filled Arresters)

ب. مانعات الصواعق ذات الغلاف البورسليني (Porcelain Housing Arresters)

ج. مانعات الصواعق ذات الغلاف البوليمري (Polymeric / Silicone Rubber)

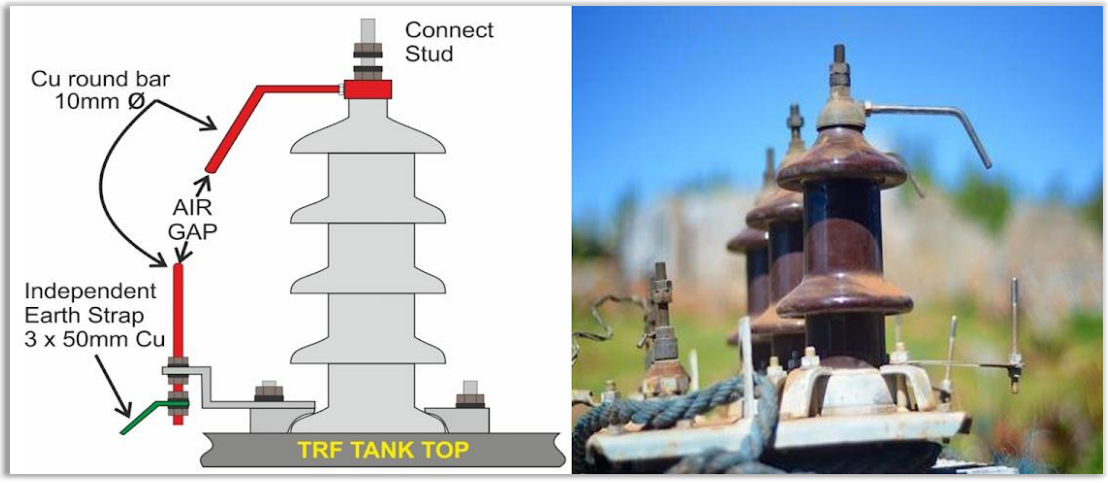
➢ **وتصنف أيضًا حسب الجهد**

كما في الشكل أدناه: –



ملاحظات: –

- قضيب مانعة الصواعق (Lightning Rod): التي توضع أعلى المباني، وظيفتها حماية المبنى من ضربات الصواعق المباشرة. ولا علاقة لها بهذا الجهاز.
- قرون القوس الكهربائي/ قرون تفريغ (Arcing Horns)، أو (Spark Gaps) التي تُشاهد على العوازل المبطنة للمحولات (Bushings). لا تُسمّى مانعات صواعق بالمعنى الحديث (ليست Surge Arresters)، فهي أقطاب معدنية مثبتة على جانبي العازل لتكوين فجوة محسوبة تسمح بحدوث قوس خارجي عند زيادة الجهد، وبالتالي حماية العازل من التلف بتوجيه القوس خارج جسم العازل وتوفر له مساراً آمناً للتفريغ وتحافظ على سطح العازل من الاحتراق وانهياره. وظيفتها تشبه وظيفة مانعة الصواعق.



٥- ملحقات أخرى بأجهزة الحماية

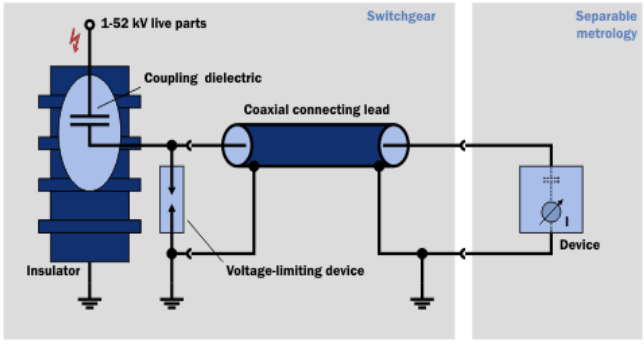
أ- منظومة كشف الجهد (Voltage Detection system - VDS)

ويسمى أيضًا (Voltage Detector) هو جهاز يُستخدم للتحقق من وجود أو عدم وجود الجهد على دوائر الجهد المتوسط أو العالي داخل المعدات أو لوحة المفاتيح الكهربائية.

الوظيفة

هو التحقق اليدوي من غياب الجهد وضمان أن الدائرة أو القابلو معزول وآمن للعمل، ومنع حوادث الصعق الكهربائي الناتجة عن وجود جهد غير متوقع. والجهاز يتيح الوصول إلى منافذ اختبار (Test Points) لفحص الجهد يدويًا، قبل البدء بأي أعمال تشغيل أو صيانة. أجهزة كشف الجهد محمولة أو مدمجة مثبتة ضمن المعدات.

مبدأ العمل



يتم سحب إشارة صغيرة جدًا من الجهد الرئيسي عن طريق مقسم الجهد السعوي (Capacitive Voltage Divider) – تكون قيمة المتسعة الداخلية المناسبة بما يتوافق مع السعة عند مخرج مكون مقسم الجهد (Capacitive Coupling) أو مقسم جهد مقاومات (Resistive Divider) – هذه الإشارة تُخفض إلى مستوى آمن ويتم إرسالها عبر نقاط اختبار (Test Points) يمكن توصيلها بجهاز اختبار وكشف الجهد المحمول أو المدمج. لا يمكن الاعتماد عليه للقياس الدقيق لقيمة الجهد، فقط وجود أو عدم وجود الجهد.

المواصفة القياسية الدولية IEC 61243-5

المواصفة القياسية الدولية الحديثة IEC 62271-213

ب– منظومة مؤشر الجهد (Voltage Presence Indicating System - VPIS)

ويسمى أيضًا (Voltage Indicator) هو نظام مدمج في معدات الجهد المتوسط (Switchgear) وظيفته إعطاء إشارة واضحة بصريًا بوجود الجهد على الأطراف دون الحاجة لقياس مباشر بأجهزة محمولة.

الوظيفة

هو إعطاء إشارة دائمة واضحة بصريًا بوجود الجهد (LED لكل طور. هذه الإشارة الناتجة من مقسم الجهد السعوي (Capacitive Voltage Divider) لا تستخدم كاختبار نهائي لغياب الجهد، وإنما كمؤشر فقط، وإذا لم يكن مصباح المؤشر مضاءً، فهذا لا يؤكد بشكل قاطع عدم وجود الجهد، حيث قد يكون المصباح نفسه معيبًا وفيه جهد خطير.

مبدأ العمل

مشابه لما ذكرنا أعلاه في (Voltage Detection system - VDS). غير إن مقسم الجهد السعوي (Capacitive Voltage Divider) يكون مصمم لتغذية دائرة إلكترونية بتيار صغير جدًا ثابت يكفي لإضاءة مصابيح (LEDs).

يقدم ميزة "Voltage Output" لتوصيله بأجهزة أخرى، والتي يمكن استخدامها لإجراء مقارنة الأطوار واختبار مؤشر وجود الجهد. ولكنه لا يشمل وظيفة (Voltage Detection system - VDS) كاختبار غياب الجهد.

المواصفة القياسية الدولية IEC 62271-206

المواصفة القياسية الدولية الحديثة IEC 62271-213

ج- (Voltage Detecting and Indicating System - VDIS)

هو منظومة مدمجة تجمع بين وظائف نظام المؤشر (VPIS) ونظام الكشف (VDS) في وحدة واحدة. هذا التكامل يعزز من إجراءات السلامة التشغيلية خاصة في الجهد المتوسط، ويوفر في المساحة. فكرة الدمج تعود الى انه يتم توصيل مقسم الجهد السعوي (Capacitive Voltage Divider) على أطراف الدائرة، ثم تُستخدم نفس الإشارة للجزئين: -

- جزء الفحص اليدوي (VDS): عبر نقاط اختبار آمنة لجهاز خارجي.
- جزء الإظهار الدائم (VPIS): عبر مصابيح LED مدمجة.

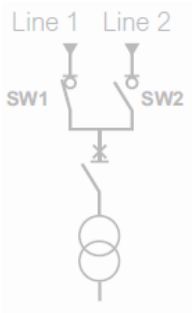
المواصفة القياسية الدولية IEC 62271-213: 2021

Video Video

الفصل الثاني

وحدة التغذية الحلقية وتطبيقاتها

(Ring Main Unit - RMU)



مقدمة تعريفية عن وحدة التغذية الحلقية (Ring Main Unit - RMU)

هي وحدة مدمجة من معدات توزيع الطاقة الكهربائية في شبكات الجهد المتوسط (عادة من (11kV) أو (33kV))، تُستخدم في الشبكات الحلقية التي ترتبط بجهتي تغذية (مصدرين) مختلفين يشكلان حلقة مغلقة. تُعد من أهم معدات التوزيع في الأنظمة الحديثة، خصوصًا في الشبكات الأرضية في المدن والمجمعات السكنية والبنايات التجارية والمنشآت الصناعية لذلك تعتبر معدات من الصنف الثانوي (Secondary Switchgear). تكون على شكل محولات صندوقية (كيوسكات) أو غرف مبنية أو معدات في صناديق معدنية خارجية منفصلة.

وظيفتها الرئيسية

- التحكم: توفير إمداد مستمر بالطاقة للمستهلك من خلال فتح وغلق المفاتيح لتبديل مصدر التغذية وعزل العطل في حال حدوثه، مما يسمح بتحويل مسار الطاقة الكهربائية دون انقطاع، مما يعزز الوثوقية.
- الحماية: توفر حماية لمحولة التوزيع من الدوائر القصيرة أو زيادة الأحمال. وظيفتها الرئيسية

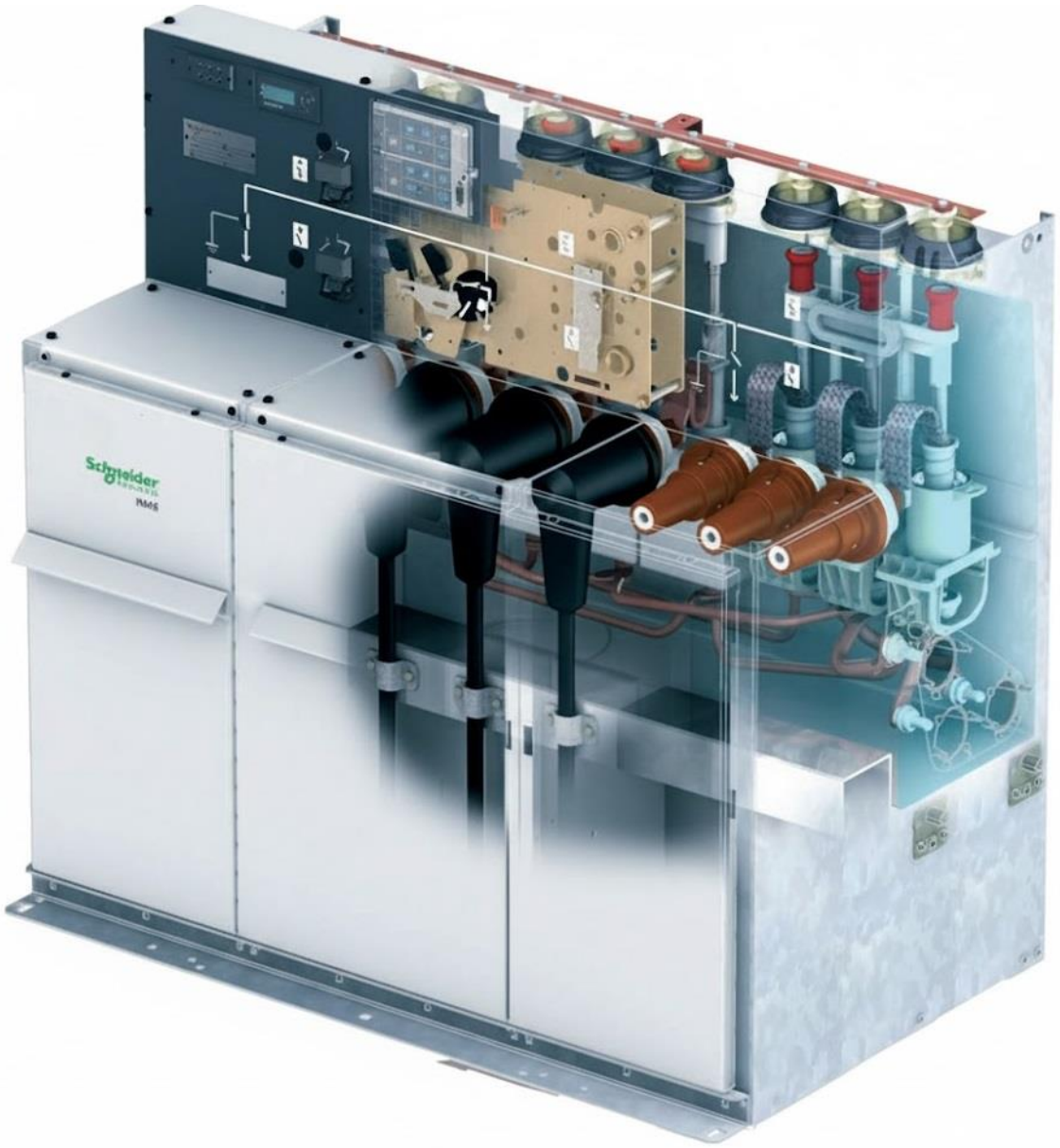
IEC لا توجد مواصفة قياسية دولية محددة تغطي وحدة التغذية الحلقية (RMU) كوحدة متكاملة، وإنما يتم تطبيق المواصفات الدولية ذات الصلة على المكونات والأجهزة الداخلة في تركيبها بصورة مستقلة.

Video Video

مكونات وحدة التغذية الحلقية (RMU)

- غلاف معدني يُصنع من الفولاذ المقاوم للصدأ أو الألومنيوم، مما يحمي معدات التشغيل ومكونات التحكم من العوامل الخارجية كالرطوبة والغبار والحرارة.
- منافذ التغذية الداخلة (Incoming Feeder) والخارجة (Outgoing Feeder). وتسمى (الخانات) لتشكيل حلقة التغذية (Ring). تحتوي هذه المنافذ على مفاتيح الفصل أثناء الحمل (Load Break Switches)، لفصل وعزل الأجزاء المعطوبة من الشبكة لصيانتها، أو فصل أحد مصدري التغذية.
- منفذ المحولة – وقد يكون أكثر من منفذ في بعض التصاميم – يحتوي على مفتاح تغذية المحولة ومعدات الحماية لها وللشبكة، حيث يتم اختيار النوع حسب الحاجة، مثل: –
  - قاطع دورة (CB): يُستخدم للحماية وقطع التيار الكهربائي تلقائيًا عند الحمل الزائد أو الأعطال.
  - سويج فيوز (Fuse): يُستخدم لحماية المحولة من تيارات دائرة القصر (Short Circuit) العالية.
- أجهزة القياس والحماية مثل محولات التيار (CT) أو مستشعرات التيار، ومحولات الجهد (PT) أو مستشعرات الجهد، كاشف الجهد (VDS) ومؤشر الجهد (VPIS) أو المنظومة المشتركة (VDIS)، ومؤشرات العطل ومؤشر ضغط الغاز في حالة العزل بالغاز (GIS)، مرحل الحماية (Relay)، وغيرها.
- القضبان الناقلة (Busbars)، وهي موصلات معدنية (عادة نحاسية أو ألمنيوم) تُستخدم لتجميع وتوزيع الطاقة الكهربائية بين أجزاء ومفاتيح الخلايا داخل الوحدة بطريقة آمنة وموثوقة.
- في بعض الأنواع الأكثر تطورًا، تتضمن لوحة تحكم، تُمكّن المشغّل من عرض معلومات وافية حول النظام بأكمله، وإدارة وظائف عملية المفاتيح. ويمكن الارتباط بمنظومة سكادا (SCADA)، حيث تتحكم لوحة التحكم في مكونات معدات التشغيل الخاصة بوحدة التغذية الحلقية (RMU)، بينما يقوم نظام سكادا (SCADA) بمراقبة وحدة التغذية الحلقية (RMU) والتحكم فيها عن بعد، وهذا غير مستخدم في العراق.

- المفتاح الأرضي (ES)، يؤرض ويمنع الصدمات الكهربائية غير المقصودة أثناء الصيانة. يكون مدمجًا مع المفاتيح الكهربائية الأخرى كما في أغلب التصاميم الحديثة أو يكون منفصلًا عنها كما ذكرنا سابقًا.



RM6 - Ring Main Unit

Schneider Electric

أنواع وحدة التغذية الحلقية (RMU) وطرق تصنيفها

تتوفر عالميًا أنواع ونماذج كثيرة من وحدات التغذية الحلقية (Ring Main Unit - RMU)، والتي تُصمَّم لتؤدي وظائف محددة ضمن الشبكة الكهربائية، خصوصًا في شبكات التوزيع ذات الجهد المتوسط. وتختلف هذه الوحدات في تصميمها الداخلي، ومكوناتها التقنية، وأحجامها، لتلائم مختلف متطلبات التشغيل في المنشآت الصناعية، أو المناطق الحضرية.

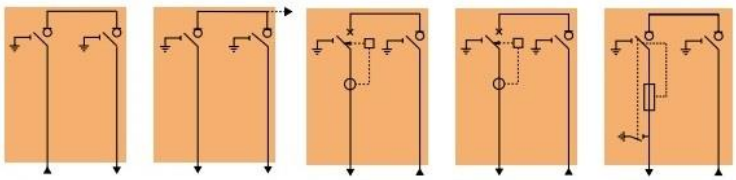
أنواع وحدة التغذية الحلقية (RMU) حسب التكوين الأساسي وعدد المنافذ

ومن بين أبرز طرق التصنيف وأكثرها استخدامًا، هو التصنيف حسب التكوين الأساسي وعدد المنافذ، حيث يتم الأخذ بعين الاعتبار عدد المنافذ التي تتكوّن منها وحدة (RMU) – والتي تسمى أيضًا الخانات أو اللوحات (Panel Blocks) أو الخلايا (Cells) أو المنافذ (Ways) أو المقصورات (Compartments) أو الحجرات الصغيرة (Cubicles) – بالإضافة إلى وظيفة كل خانة من حيث نوع المفتاح الموجود فيها، والوظيفة التي يؤديها والذي يرتبط ارتباطًا مباشرًا بآلية تغذية الأحمال الكهربائية، والمرونة التشغيلية للشبكة الحلقية، مع إمكانية الفصل والعزل عند الأعطال لتحقيق التوازن بين الأداء الفني والتكلفة الاقتصادية المقبولة.

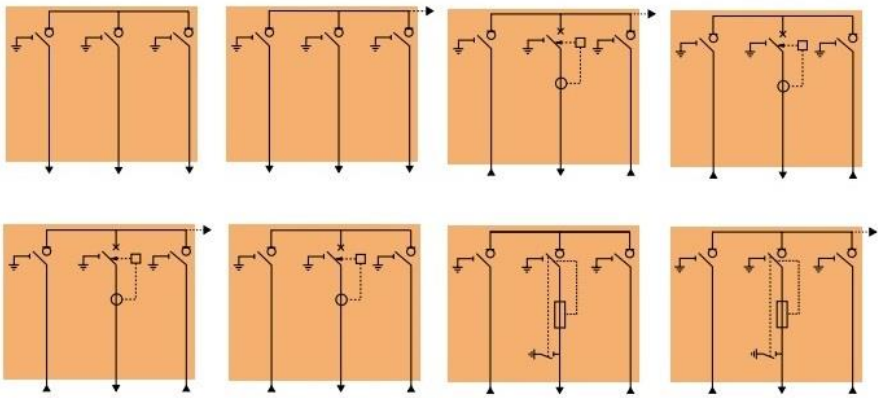
فيما يلي الأنواع الأساسية حسب عدد ونوع المفاتيح

- تختلف التسميات والرموز بين الشركات وفي مواقع الإنترنيت بشكل كبير.

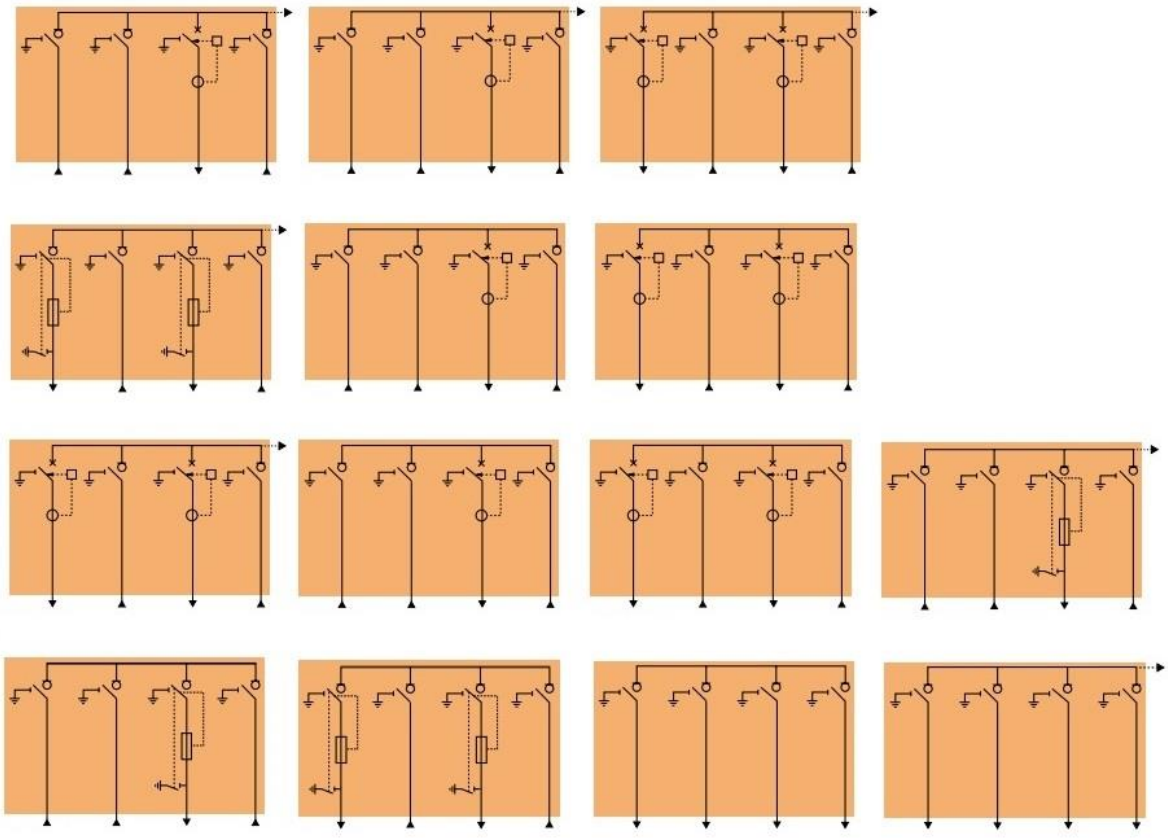
- ثنائية المنافذ



- ثلاثية المنافذ

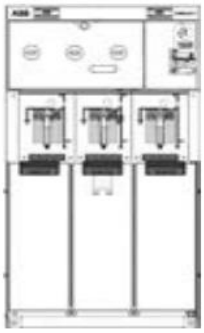


- رباعية المنافذ



- وتوجد أكثر من ذلك وحسب الحاجة، وخصوصًا في حالة كونها قابلة للتمديد (Extensible) فيمكن تجميع وإضافة منافذ جديدة.

سنذكر الأنواع الأكثر استخدامًا وشيوعًا في شبكة توزيع العراق فقط وكما يلي: –

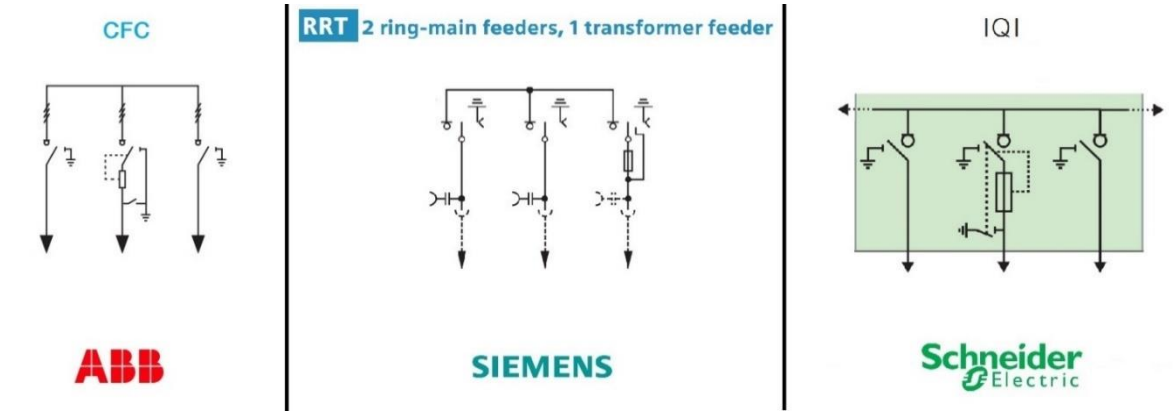


١– ثلاثية المنافذ (L F L)

يحتوي كل منفذ على مفتاح أي تتكون من ثلاثة مفاتيح أي (2+1) RMU.

مفتاح فصل (LBS) + سويج فيوز (SF) + مفتاح فصل (LBS)

لاحظ اختلاف التسميات والرموز بين الشركات الثلاثة، كما في الشكل.



وظائف أجزاءه

- منفذا التغذية الحلقية: مفتاحا فصل (2 LBS) على كل من القابلو الأول والقابلو الثاني – اللذان يمكنهما تغذية الوحدة (RMU) من جهتين أو مصدرين – للتحكم بفصل وتوصيل التغذية الحلقية، بحيث يتحقق دخول القابلو للوحدة وخروجه الى الشبكة.
- تغذية وحماية المحولة: مفتاح سويج فيوز (Switch Fuse - SF) لتغذية المحولة وحمايتها وحماية حلقة المغذي. وهو جهاز يجمع بين: –

مفتاح فصل (LBS) + فيوز (HRC Fuse) للحماية

- مفتاح فصل (LBS): مصمم لفصل وتوصيل المحولة تحت ظروف التشغيل العادية ويمكن تشغيله يدويًا. عند حدوث عطل دائرة قصر (Short Circuit)، يتحمل مرور تيار العطل العالي لفترة زمنية قصيرة، ولكن غير مخصص لقطع هذا التيار العالي بمفرده.

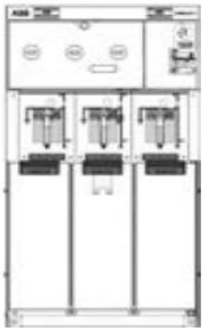
- فيوز (High Rupturing Capacity Fuse – HRC Fuse): عند مرور تيار عطل مرتفع (Short Circuit)، ينصهر الفيوز أولًا لقطع التيار بسرعة عالية، مما يحمي المحولة والقابلو والمعدات المرتبطة بوحدة التغذية الحلقية (RMU). يؤدي انصهار الفيوز إلى إطلاق آلية ميكانيكية (Striker Pin) مدمجة داخله، والتي تقوم بتفعيل آلية الفصل في مفتاح الحمل (LBS)، لتأمين فصل جميع الأطوار المتبقية تلقائيًا في وقت واحد، لضمان العزل الكامل ومنع التوصيل جزئيًا من الأطوار السليمة. يعتمد زمن انصهار الفيوز على خصائصه التصميمية (Time - Current Characteristics)، حيث يتميز بقدرة على فصل تيارات القصر العالية (Short Circuit) بسرعة فائقة، قد تصل إلى (أقل من 10ms)، مما يقلل من تأثيرات العطل على باقي أجزاء الشبكة.

المميزات

- يعتمد على (Load Break Switch) مع فيوزات بدلًا من قواطع دورة (CB) مع مرحلات (Relays).
- يستخدم مع محولات توزيع (عادة أقل من 3MVA).
- إعدادات الحماية ثابتة ولا يمكن برمجتها أي تعتمد على قيمة الفيوز (Fuse).
- هذا التصميم يوفر حماية أساسية ضد تيار دائرة القصر العالي (Short Circuit)، ويفصل الدائرة بسرعة فائقة، قد تصل إلى (أقل من 10ms).
- لا توفر حماية ضد العطل الأرضي (Earth Fault) أو التيار الزائد (Overcurrent) التي قد لا تصهر الفيوز (Fuse) بسرعة.
- موثوقية عالية وعدم الحاجة لمصدر طاقة كهربائية خارجي ولا بطاريات. لأنه ميكانيكي بالكامل (Self-Actuated).
- سهولة التشغيل والصيانة.
- تكلفة منخفضة.

هذا النوع هو الأكثر شيوعًا في العراق.

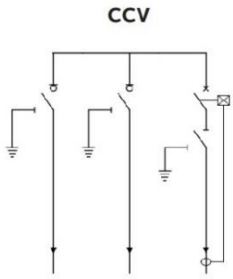
٢- ثلاثية المنافذ (L CB L)

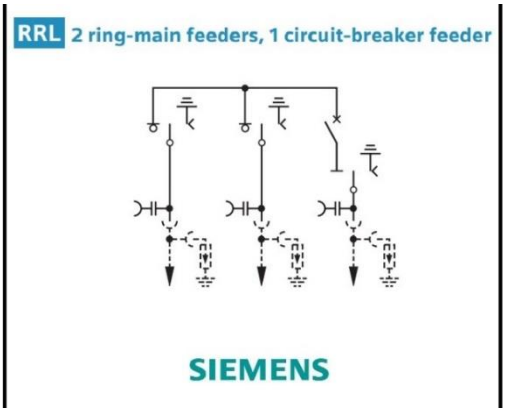


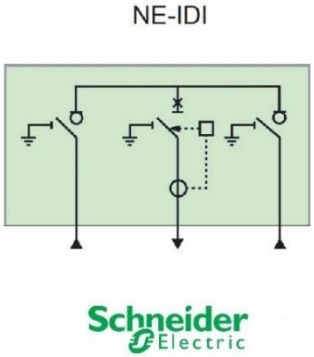
يحتوي كل منفذ على مفتاح أي تتكون من ثلاثة مفاتيح أي (2+1) RMU.

مفتاح فصل (LBS) + قاطع دورة (CB) + مفتاح فصل (LBS)

.







وظائف أجزاءه

- منفذا التغذية الحلقية: مفتاحا فصل (2 LBS) على كل من القابلو الأول والقابلو الثاني اللذان يغذيان الوحدة (RMU) للتحكم بفصل وتوصيل التغذية الحلقية، بحيث يتحقق دخول القابلو للوحدة وخروجه الى الشبكة.
- تغذية وحماية المحولة: قاطع دورة (CB) مع مرحل (Relay) مع محولات تيار (CT) لتوفير حماية وتحكم بمنفذ تغذية المحولة وحماية حلقة المغذي، وفق الآلية التالية: -

◂ محولات التيار (CT): تركب على مخرج الـ (RMU) باتجاه المحولة. وتقيس التيار بدقة على كل طور وترسله إلى المرحلات (Relays). نسب التحويل كالآتي: -

50:5 , 100:5 , 150:5

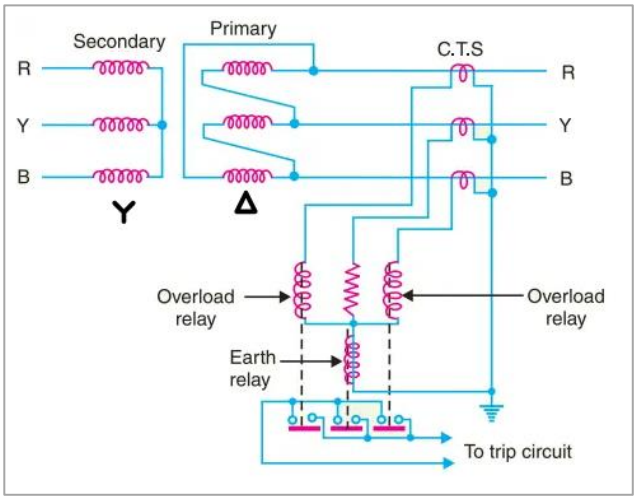
- المرحلات (Relays): وهي من نوع المرحلات ذاتية التغذية (Self-Powered Relays) تُستخدم في المعدات التي ليس لديها مصدر مستقل بالطاقة الكهربائية، قد تكون من الأنواع الإلكتروميكانيكية أو الرقمية لمراقبة ظروف التشغيل، مثل التيار والجهد والتردد والزمن، بالاعتماد على قيم محولات التيار (CT)ومقارنتها مع القيم المضبوطة وإذا ما تجاوزت القيمة حدًا معينًا، يقوم بإصدار أوامر إلى ملف الفصل (Trip Coil) في قاطع الدورة (Circuit Breaker). لفصل الدائرة الكهربائية تلقائيًا عند حدوث خلل (مثل قصر الدائرة، تحميل زائد، أو فقدان طور). مرحلات الحماية من الأحمال الزائدة أو الأعطال الأرضية هي: –

I. Overload Relay
II. Earth Fault Relay

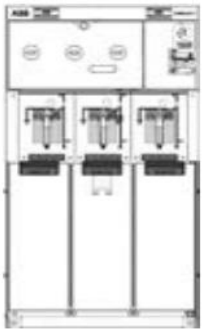
- قاطع الدورة (Circuit Breaker): عند صدور أوامر الفصل من المرحل (Relay) على شكل تيار كهربائي يمر في ملف الفصل الكهربائي (Trip Coil) والمتصل بنوابض الملامسات في قاطع الدورة (CB)، يتولّد مجالًا مغناطيسيًا يؤدي إلى سحب ذراع ميكانيكي أو تحرير نابض مشدود مسبقًا، مما يؤدي إلى فصل ملامسات قاطع الدورة (CB).

المميزات

- إمكانية الضبط الدقيق لقيم التيار والزمن عبر المرحلات (Relay Settings).
- حماية أفضل ضد الأعطال الأرضية والتيارات المنخفضة التي قد لا يفصلها الفيوز (Fuse).
- مرونة عالية في التنسيق مع أنظمة الحماية الأخرى بالشبكة (Selectivity).
- عمر تشغيلي أطول مقارنة بالفيوز (Fuse)، حيث لا تحتاج لاستبدال بعد كل عطل.
- ذاتية التشغيل أي لا تتطلب مصدر تغذية (DC) ولا بطاريات أو أجهزة إلكترونية خارجية. مما يزيد من أداء وموثوقية وظيفة الحماية.
- إمكانية تسجيل الأحداث (Event Recording) وتحليل الأعطال (Fault Analysis).
- إمكانية دمجها في أنظمة الشبكات الذكية (SCADA) بسهولة.



٣- ثلاثية المنافذ (L CB L)



يحتوي كل منفذ على مفتاح أي تتكون من ثلاثة مفاتيح أي (2+1) RMU.

مفتاح فصل (LBS) + قاطع دورة (CB) + مفتاح فصل (LBS)

وظائف أجزاءه

- منفذا التغذية الحلقية: مفتاحا فصل (2 LBS) على كل من القابلو الأول والقابلو الثاني اللذان يغذيان الوحدة (RMU) للتحكم بفصل وتوصيل التغذية الحلقية، بحيث يتحقق دخول القابلو للوحدة وخروجه الى الشبكة.
- تغذية وحماية المحولة: قاطع دورة (CB) مع فيوز (TLF) مع محولات تيار (CT) لتوفير حماية وتحكم بمنفذ تغذية المحولة وحماية حلقة المغذي، وفق الآلية التالية: -

مفتاح فصل (LBS) + قاطع دورة (CB) مع فيوز (TLF) + مفتاح فصل (LBS)

- محولات التيار (CT): تركب على مخرج الـ (RMU) باتجاه المحولة. وتقيس التيار بدقة على كل طور وترسله إلى فيوز (Time Limit Fuse-TLF). نسب التحويل كالآتي: -

50:5 , 100:5 , 150:5

- **فيوز (Time Limit Fuse-TLF):** هو فيوز (Fuse) خاص بزمن محدد (زمن تأخير) يتم ربطه على مخرج محولات التيار (CT) ذات الجهد الواطئ (LV). ويكون حجمه صغير ورخيص الثمن. يتحمل تيار التشغيل العادي والارتفاعات اللحظية القصيرة (Inrush Current) للمحولة. وينصهر في زمن قصير جدًا عند مرور تيار عطل دائرة قصر (Short Circuit).

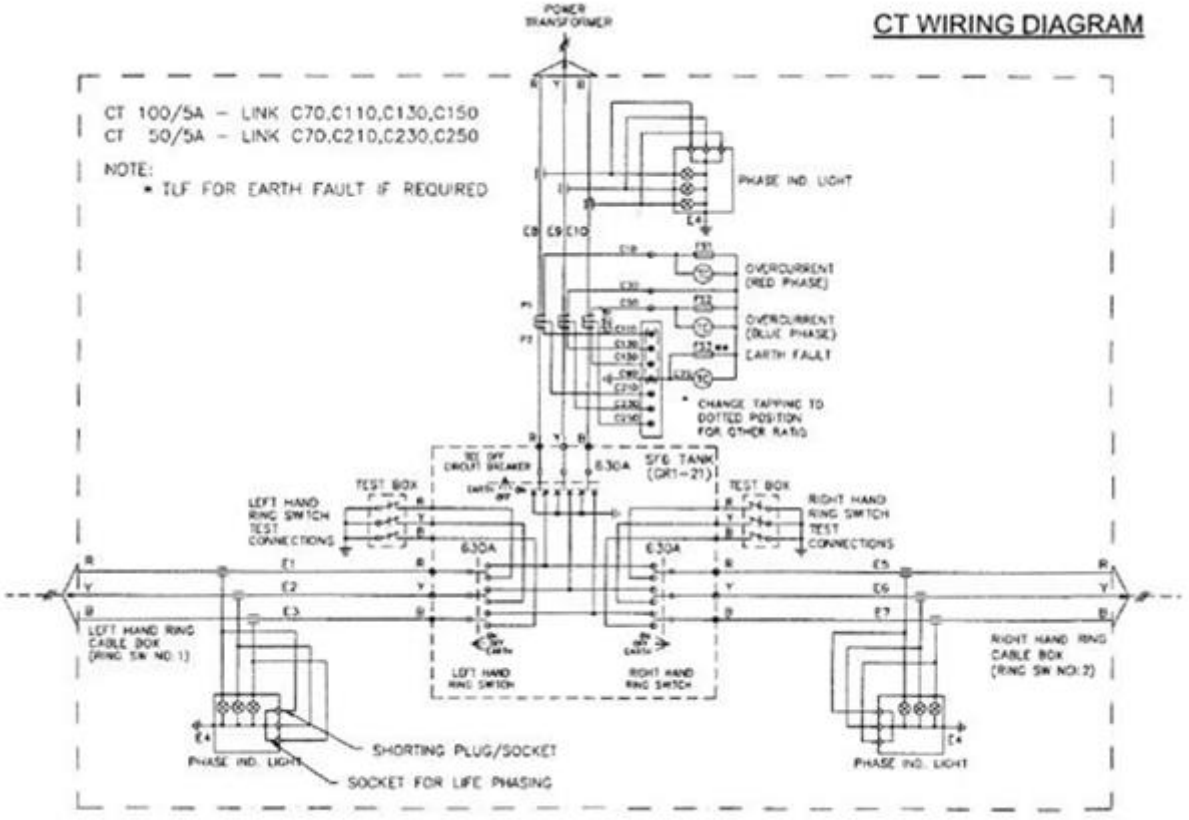
- **ملف (Trip Coil) لقاطع الدورة (Circuit Breaker):** ملف فصل كهربائي متصل بنوابض الملامسات في قاطع الدورة (Circuit Breaker). يولّد مجالًا مغناطيسيًا عند مرور تيار معين فيه (قادِم من دائرة فيوز TLF بعد انصهاره)، يؤدي إلى سحب ذراع ميكانيكي أو تحرير نابض مشدود مسبقًا، مما يؤدي إلى فصل قاطع الدورة (CB).

المميزات

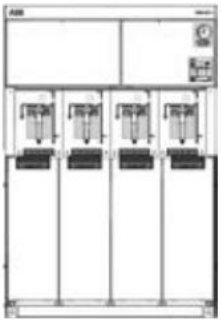
- سرعة استجابة عالية لتيارات دائرة القصر العالية (Short Circuit).
- انتقائية أفضل مقارنة بنظام فيوز (Fuse) فقط.
- تعتمد على محولات التيار (CT) كإشارة للعطل.
- ذاتية التشغيل أي لا تتطلب مصدر تغذية (DC) ولا بطاريات أو أجهزة إلكترونية خارجية.
- منخفض الكلفة.

مطابقة للمواصفة البريطانية ENA TS 12-6.

إن هذا النوع أصبح غير شائع الاستخدام في العراق حاليًا.



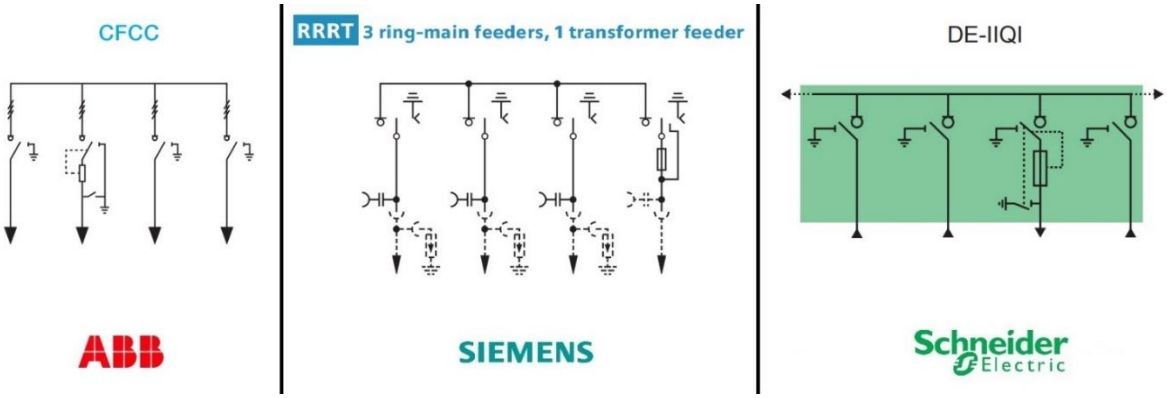
٤- رباعية المنافذ (L L F L)



يحتوي كل منفذ على مفتاح أي تتكون من أربعة مفاتيح أي (3+1) RMU.

وهي مشابهة للنوع الأول - ثلاثية المنافذ (L F L) – أعلاه، والفرق فقط إنها تحتوي على أربعة منافذ بدلًا من ثلاثة، وكما مبين أدناه: -

مفتاح فصل (LBS) + مفتاح فصل (LBS) + سويج فيوز (SF) + مفتاح فصل (LBS)



وظائف أجزاءه

- منافذ التغذية الحلقية: ثلاثة مفاتيح فصل (3 LBS) على كل من القابلو الأول والقابلو الثاني والقابلو الثالث التي تغذي الوحدة (RMU) للتحكم بفصل وتوصيل التغذية الحلقية، بحيث يتحقق دخول القابلو للوحدة وخروج قابلو عدد ٢ الى الشبكة لتشكيل تفرع أو نقطة ربط بين حلقتي تغذية منفصلتين (Inter Ring)، بحيث يمكن تمرير التغذية من حلقة إلى أخرى عند الحاجة.
- تغذية وحماية المحولة: مفتاح سويج فيوز (Switch Fuse - SF) لتغذية المحولة وحمايتها وحماية حلقة المغذي. وهو جهاز يجمع بين: -

مفتاح فصل (LBS) + فيوز (HRC Fuse) للحماية

وعمله ومميزاته مشابهة تمامًا للنوع الأول - ثلاثية المنافذ (L F L) – أعلاه. إضافة الى انه يمكنه الربط بين حلقتي مغذيات لزيادة الوثوقية.

أنواع وحدة التغذية الحلقية (RMU) بطرق تصنيف أخرى

وهناك طرق أخرى لتصنيف وحدات التغذية الحلقية (RMU)، وذلك حسب الاختلافات بينها، مثل: –

➢ **تصنف وحدة التغذية الحلقية (RMU) حسب قابلية التمديد وإضافة أجزاء لها**

- وحدة التغذية الحلقية (RMU) القابلة للتمديد (Extensible)

تتميز بإمكانية توسيعها مستقبلاً عند الحاجة. يمكن إضافة خلايا تحتوي (مكونات ومفاتيح) يتم تجميعها حسب الحاجة والوظائف المحددة لها لتكون مجموعة كاملة وقابلة للتمديد من خلال وصلات جاهزة للتوسعة.

- وحدة التغذية الحلقية (RMU) الغير قابلة للتمديد (Non Extensible)

قطعة واحدة مدمجة مصممة حسب الحاجة والوظائف المحددة. وغير قابلة للتمديد.

➢ **أو تصنف وحدة التغذية الحلقية (RMU) حسب موقعها الداخلي أو الخارجي**

- وحدة التغذية الحلقية (RMU) الداخلية (Indoor)

تُستخدم وحدة التغذية الحلقية (RMU) هذه في داخل المباني السكنية والتجارية والمنشآت الصناعية لتغذيتها بالطاقة الكهربائية، والتي يتم التحكم في درجة حرارتها.

- وحدة التغذية الحلقية (RMU) الخارجية (Outdoor)

تتحمل وحدة التغذية الحلقية (RMU) الخارجية الظروف الجوية القاسية (هطول الأمطار أو الغبار أو حرارة الشمس) بفضل غلافها المقاوم للعوامل الجوية.

- **أو تصنف وحدة التغذية الحلقية (RMU) حسب القضبان الناقلة (Busbars)**

- وحدة التغذية الحلقية (RMU) ذات القضيب الناقل المنفرد (Single Busbar)

تُعد وحدة التغذية الحلقية (RMU) هذه أقل تعقيدًا وأقل كلفة، نظرًا لاستخدامها مجموعة منفردة أي قضيب ناقل واحد لكل طور من الأطوار الثلاثة.

- وحدة التغذية الحلقية (RMU) ذات القضيب الناقل المزدوج (Double Busbar)

يمنح استخدام مجموعتين من القضبان الناقلة – أي قضيبين ناقلين لكل طور من الأطوار الثلاثة – هذه الوحدات مزيدًا من الوثوقية. في حال تعطل أحدهما، يستمر العمل في القضيب الناقل الآخر، وبالتالي يظل النظام مستمرًا بالعمل. وتكون ذات سعة أعلى أي يمكنها نقل تيار أكبر (Rated current).

- **أو تصنف وحدة التغذية الحلقية (RMU) حسب الوسط العازل بين أجزاء معداتها**

- وحدة التغذية الحلقية (RMU) المعزولة بالهواء (AIS)
- وحدة التغذية الحلقية (RMU) المعزولة بالغاز (GIS)
- وحدة التغذية الحلقية (RMU) المعزولة بالمادة الصلبة (Solid-Insulated)

وقد شرحناها سابقًا في أنواع المعدات (Switchgear) في الفصل الأول من الكتاب.

- **أو تصنف وحدة التغذية الحلقية (RMU) حسب التصميم والتركيب الداخلي لمعداتها**

- Metal-Enclosed
- Metal-Clad

وقد شرحناها سابقًا في أنواع المعدات (Switchgear) في الفصل الأول من الكتاب أيضًا.

تطبيقات عملية على استخدام وحدة التغذية الحلقية (RMU)

١- محطات التوزيع الصندوقية (الكيوسكات)

هي من أهم الأمثلة على استخدام وحدة التغذية الحلقية (RMU) والمنتشرة بكثرة في المدن والمجمعات السكنية. تسمى أيضًا (Compact Substation) أو (Compact Secondary Substations - CSS)، وهي عبارة عن وحدات توزيع طاقة مدمجة تحتوي على محولات ومفاتيح كهربائية ومعدات أخرى داخل صندوق أو حاوية واحدة لتوزيع الطاقة. توفر بيئة مغلقة وآمنة للمعدات الكهربائية وللأشخاص، مما يقلل المخاطر ويضمن تشغيلها بكفاءة وأمان في المناطق السكنية والتجارية والصناعية. تُستخدم عادة في شبكات توزيع الجهد المتوسط/ الواطئ. وظيفتها الأساسية هي خفض الجهد المتوسط (يختلف حسب النظام المطبق في كل بلد، وفي العراق (11kV) أو (33kV)) إلى جهد واطئ (416/240V) لتغذية المستهلكين.

المواصفة القياسية الدولية IEC 62271-202

مواصفة وزارة الكهرباء العراقية D-6 , D-6A

Video Video

المكونات

١- معدات الجهد المتوسط (MV Switchgear) – وحدة التغذية الحلقية (RMU): وفيها منفذا التغذية الحلقية (دخول القابلو للوحدة وخروجه الى الشبكة)، مفتاحا فصل (2 LBS) على مدخل القابلوات، مفتاح تغذية المحولة مع الحماية، وتكون أنواع المفاتيح (L L F L) (L CB L) (L F L)، كما شرحناه آنفًا.

٢- محولة التوزيع (11/0.4kV) أو (33/0.4kV): لتحويل الجهد المتوسط (في العراق (11kV) أو (33kV)) إلى جهد واطئ (416/240V) مناسب لتغذية المستهلكين. حولها فراغ هوائي من الجوانب لضمان التهوية والتسريب الحراري، تتراوح سعاتها (400kVA–1600kVA).

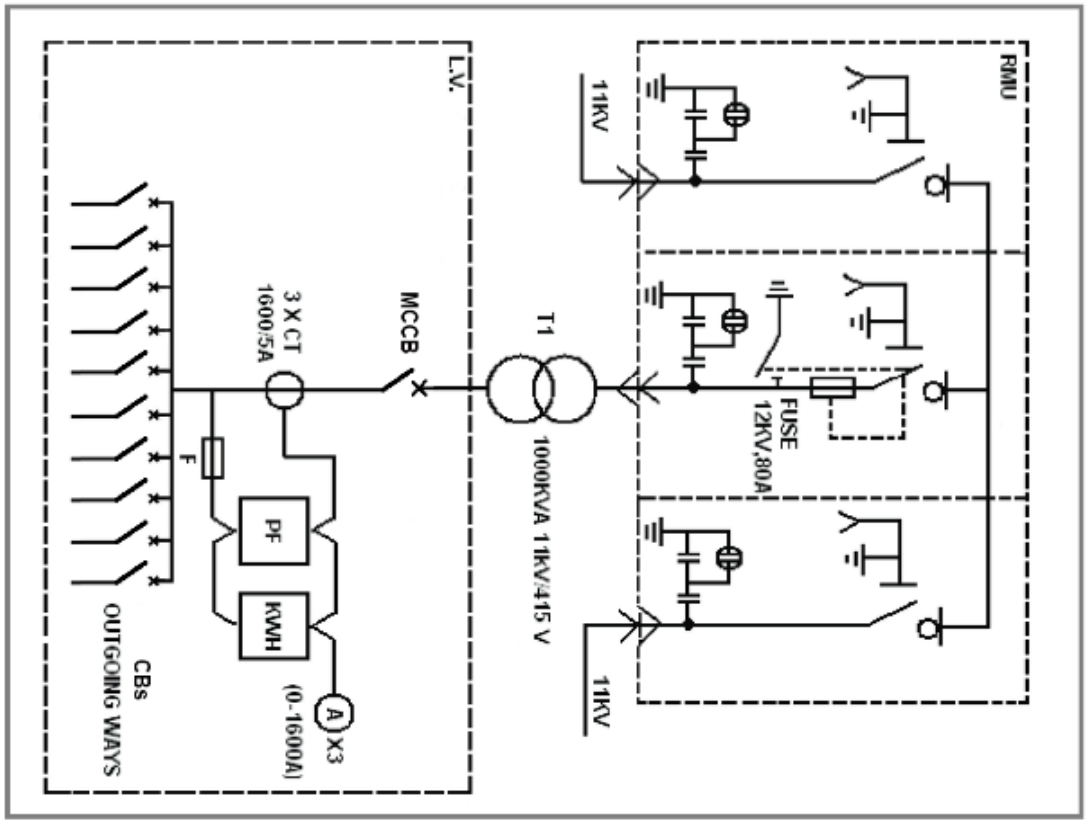
٣- لوحة الجهد الواطئ (LV Panel): تحتوي على: –

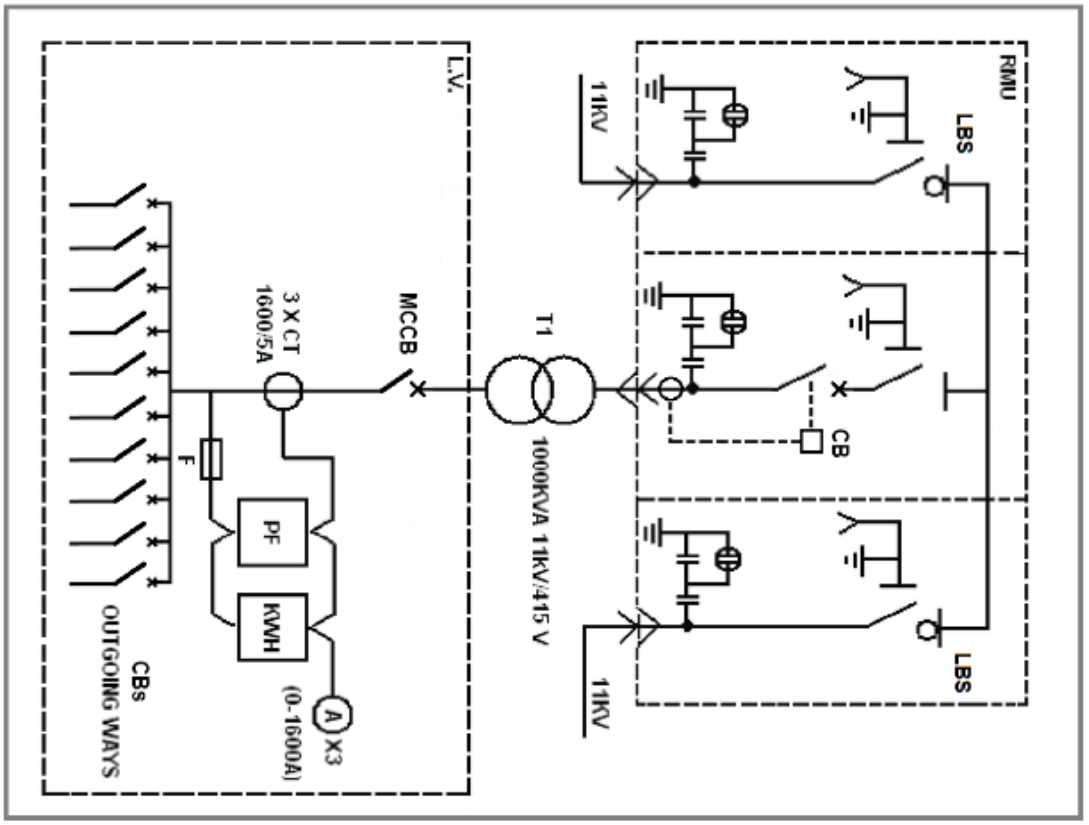
- القضبان الناقلة (Busbars).
- وقواطع الدورة للجهد الواطئ مثل القاطع الرئيسي (Main Circuit Breaker – /ACB) وقواطع الدورة الفرعية (Outgoing Circuit Breakers) لتغذية الخطوط الفرعية أو الأحمال المختلفة مع الحماية الفردية لكل خط.
- أجهزة القياس والمراقبة: مثل الفولتميتر، الأميتر، مؤشرات الحمل.
- منظومة تحسين معامل القدرة: تحتوي متسعات، كونتاكتورات، قد تكون منظومة أوتوماتيكية مع مرحل (Relay) للتحكم أو يدوية.
- منافذ قابلوات الخطوط الفرعية التي تغذي الأحمال.

٤- التأريض (Earthing): لتأريض جميع المعدات وتوفير مسار آمن لتيارات التسرب. بواسطة قضيب ناقل شريطي (Earthing Bar) ممتد من معدات الجهد المتوسط (وحدة التغذية الحلقية (RMU)) الى لوحة الجهد الواطئ (LV Panel)، ويربط البدن الخارجي للمحولة لتأريضها مع المعدات ثم يرتبط بقضيب يؤرض ويدفن مجاور محطة التوزيع الصندوقية (الكيوسك). ولا يرتبط بالمحايد (Neutral) الخارج من المحولة (والناتج عن الربط النجمي لأطوار ملفاتها الداخلية) تلافيًا لحصول صدمات خطيرة عند الربط الخاطئ، لذا يربط كل منهما بقضيب تأريض (Rod) مستقل يؤرضان ويدفنان، يبعد أحدهما عن الآخر مسافة ٨ متر.

٥- صندوق معدني أو خرساني: يغلف جميع المكونات لحمايتها من الظروف الجوية والعوامل الخارجية ويحقق التسريب الحراري.

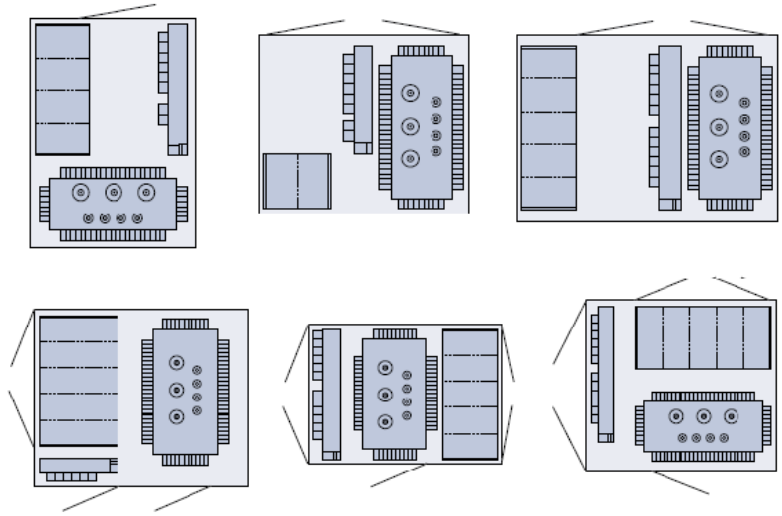
مخططات (S.L.D) لمحطة التوزيع الصندوقية (الكيوسك)

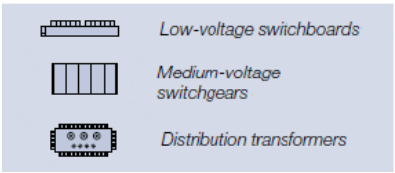




مخططات ترتيب المعدات (Layout Diagrams) في محطة التوزيع الصندوقية (الكيوسك)

يتم ترتيب هذه المكونات داخل الهيكل المعدني أو الخرساني للكيوسك بأشكال وأوضاع مختلفة وكما مبين في الأشكال التالية: –





ملاحظة: –

في بعض البلدان يتم تجزئة الكيوسك إلى وحدات أو حاويات منفصلة تُربط مع بعضها عبر قابلوات أرضية، بدل أن تكون وحدة متكاملة في حاوية كبيرة. هذا الأسلوب منتشر خصوصًا في أوروبا والخليج والعربي وماليزيا وكوريا الجنوبية وغيرها، وله أسباب فنية وتنفيذية كسهولة الصيانة وتبديد أفضل للحرارة وأمان أعلى، وأيضًا يمكن وضعها بسهولة في الأماكن الضيقة. فتكون على شكل ثلاث وحدات منفصلة: –

- معدات الجهد المتوسط (MV Switchgear) – وحدة التغذية الحلقية (RMU)، في حاوية منفصلة.
- محولة التوزيع، وحدة منفصلة في حاوية أخرى.
- لوحة الجهد الواطئ (LV Panel)، في وحدة منفصلة أخرى.

أو تتكون من وحدتين فقط: –

- معدات الجهد المتوسط (MV Switchgear) – وحدة التغذية الحلقية (RMU)، في حاوية منفصلة.
- محولة التوزيع ولوحة الجهد الواطئ (LV Panel)، وحدة واحدة في حاوية، ولكنها منفصلة عن معدات الجهد المتوسط (MV Switchgear) أي وحدة التغذية الحلقية (RMU).

٢- محطات المستهلكين

تُعدّ جزءًا أساسيًا من عملية توزيع الطاقة الكهربائية للمستهلكين، لذا من الضروري تركيب المحطة في غرفة مبنية لدى المستهلك بمواصفات خاصة تُناسب أعمال التركيب والصيانة. بالإضافة إلى متطلبات السلامة، تُحدد مواصفات غرفة المحولات والمعدات، وخاصةً أبعادها، وتوزيع المحولات والمعدات في غرفتها الخاصة، وبتصاميم متعددة تناسب جميع أنواع المعدات وعدد المحولات، بشكل عام فإن مكونات ومعدات محطات المستهلكين تشابه معدات ومكونات المحطات الصندوقية (الكيوسكات) من حيث انها تحتوي على: -

- معدات الجهد المتوسط- وحدة التغذية الحلقية (RMU).
- لوحة الجهد الواطئ (LV Panel).
- محولة توزيع لتحويل الجهد المتوسط (عادة (11kV) أو (33kV)) إلى جهد واطئ.
- منظومة التأريض (Earthing).

وتختلف عن المحطات الصندوقية (الكيوسكات) بما يلي: -

- وجود عدادات قياس الطاقة وملحقاتها.
- وجود محولة واحدة أو أكثر في بعض الأحيان.
- قد تكون التغذية من مصدرين يشكلان حلقة تغذية كما في المحطات الصندوقية (الكيوسكات) أو قد تكون التغذية بمغذي واحد أو فرع من مغذي.

مواصفة وزارة الكهرباء العراقية D-8 , D-7

مواصفة وزارة الكهرباء العراقية D-20 لصندوق المقياس.

Video

٣- غرف الأزرار (Control Rooms Or Switchgear Room)

هي غرف أو قاعات في المنشآت الصناعية والمجمعات السكنية والتجارية، مخصصة لوضع المعدات (Switchgear)، بما فيها لوحات التوزيع والتحكم الكهربائية وأنظمة الحماية، والمفاتيح وقواطع الدورة الكهربائية للجهد الواطئ أو المتوسط في مكان واحد بشكل منظم وآمن. وهي مشابهة لمحطات المستهلكين ولكنها تتعامل مع أحمال أكبر وقدرات أعلى.

وظيفتها الأساسية هي استلام الطاقة الكهربائية من المغذي الرئيسي القادم من محطة التحويل (مصدر واحد أو تغذية حلقية من أكثر من مصدر) وتوزيع الطاقة على مغذيات فرعية أو محولات داخل المنشأة أو المجمع باستخدام معدات وأجهزة تحكم وحماية، بحيث يمكن تشغيل المعدات وفصلها ومراقبتها دون الدخول مباشرة إلى غرف المحولات أو خطوط التغذية. تحتوي عادة على: -

- مفاتيح وقواطع رئيسية وفرعية (Circuit Breakers, Switches).
- أجهزة قياس وحماية وملحقاتها مثل المرحلات (Relays)، والفيوزات.
- لوحات توزيع (Distribution Panels) للجهد الواطئ.
- عدادات قياس الطاقة وملحقاتها.

في المنشآت الصناعية، توزع التغذية مباشرة لمباني خطوط الإنتاج أو الآلات للتحكم والتشغيل، بينما في المجمعات السكنية والتجارية تكون مرتبطة بلوحات توزيع المبنى لتغذية الطوابق والمرافق والخدمات الكهربائية الأخرى، مع إمكانية الوصول السريع للصيانة والتدخل عند الأعطال.

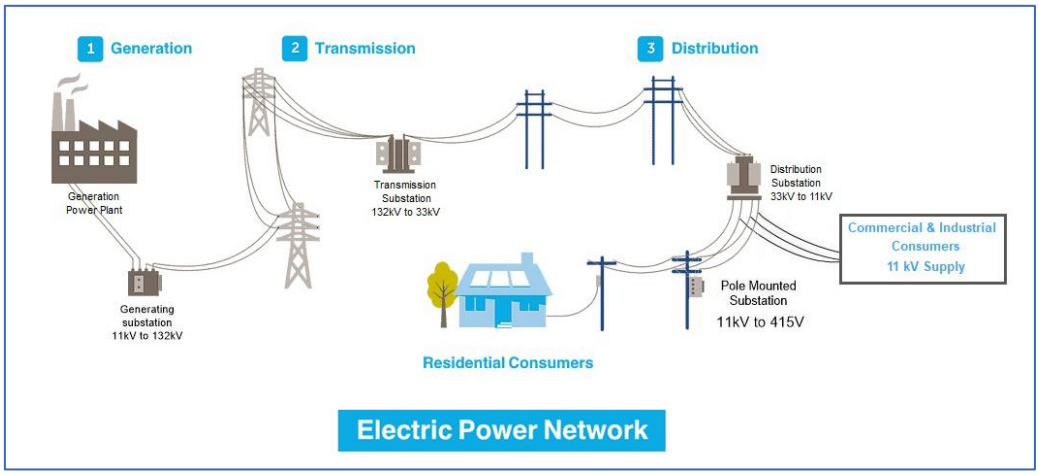
الفصل الثالث

محطات التحويل الثانوية

(Substations)

مقدمة تعريفية عن محطات التحويل الثانوية (Substations)

محطات التحويل الثانوية (Substations) هي منشآت كهربائية تلعب دورًا محوريًا في ربط مكونات المنظومة الكهربائية ببعضها، تقوم هذه المحطات بتغيير مستوى الجهد الكهربائي، سواء برفع الجهد أو خفضه، لضمان الحد الأدنى من الخسائر في التوزيع والنقل، ويحافظ على جودة الطاقة، ويوفر الحماية والتحكم في تشغيل الطاقة الكهربائية للشبكة. وبالتالي يضمن استمرارية التغذية. معداتها من الصنف الأساسي (Primary Switchgear).



محطات التحويل الثانوية (Substations) في المنظومة الكهربائية تنقسم الى ثلاث مراحل رئيسية للجهد: –

١– المحطات الرافعة في محطات الإنتاج (Generation): بعد إنتاج الطاقة الكهربائية بجهود متوسطة، يتم رفع الجهد بواسطة المحطات الرافعة الى (400kV) أو (132kV)، لضمان وصوله لمناطق بعيدة.

٢– محطات نقل الطاقة (Transmission): بعد نقل الطاقة الكهربائية لمسافات طويلة بجهود فائقة 400kV أو 132kV، يتم خفض الجهد بمحطات النقل من (400kV) الى (132kV) ومن (132kV) الى (33kV) قرب مراكز الحمل.

٣– محطات توزيع الطاقة (Distribution): تستقبل الطاقة الكهربائية من محطات النقل ذات الجهد العالي، ثم تقوم بخفض الجهد في مراكز الحمل من (33kV) الى (11kV) مناسب للتوزيع، بمغذيات تصل إلى المستهلكين عبر محولات التوزيع التي تخفض الجهد بدورها الى الجهد الواطئ ليكون مناسبًا للاستهلاك.

تتكون هذه المحطات بجميع أنواعها بشكل رئيسي من جزئين: –

- أولًا: محولات القدرة (Power Transformers) التي تقوم بتغيير الجهد.
- ثانيًا: المعدات (Switchgear) التي تغذي الأحمال مع التحكم والحماية.

Video

محطات التوزيع الثانوية (Distribution Substations)

محطات التوزيع الثانوية تعتبر عقدة أساسية في شبكة توزيع الطاقة الكهربائية، فهي ترتبط بمحطات نقل الطاقة من جهة وشبكة التوزيع من جهة ثانية، لتغذية خطوط ومغذيات الجهد المتوسط التي توصل الكهرباء مباشرة إلى المناطق السكنية والتجارية والصناعية، وتشمل نطاقات جهد شائعة مثل: (10kV ، 11kV ، 12.47kV ، 13.8kV ، 22kV ، 33kV) وغيرها. في العراق محطات التوزيع الثانوية تكون بجهد (33/11kV) وسنشرح على هذا الأساس.

الوظيفة الأساسية لمحطة التوزيع الثانوية

- خفض الجهد مثلًا من (33kV) إلى (11kV) – كما مستخدم في شبكات التوزيع في العراق.
- تأمين الوثوقية بتعدد المحولات (٢ أو ٣ عادةً) لتغطية أي عطل أو خروج محولة من الخدمة.
- الحماية عبر قواطع الدورة (CB) وأجهزة حماية حديثة (Relays).
- التحكم من خلال المفاتيح أو أنظمة الأتمتة مثل نظام سكادا (SCADA).

سعات محطات التوزيع الثانوية (33/11kV)

- **محطة بسعة (2×31.5 MVA)**: تتكون من محولتي قدرة، سعة المحولة الواحدة **31.5 MVA**
- **محطة بسعة (3×16 MVA)**: تتكون من ٣ محولات قدرة، سعة المحولة الواحدة **16 MVA**
- **محطة بسعة (2×16 MVA)**: تتكون من محولتي قدرة، سعة المحولة الواحدة **16 MVA**
- **محطة بسعة (2×10 MVA)**: تتكون من محولتي قدرة، سعة المحولة الواحدة **10 MVA**
- **محطة بسعة (2×5 MVA)**: تتكون من محولتي قدرة، سعة المحولة الواحدة **5 MVA**
- **محطة بسعة (1×31.5 MVA)**: تتكون من محولة قدرة واحدة سعتها **31.5 MVA** – وهي محطات صغيرة سريعة النصب، لكنها أقل وثوقية.

هذه السعات الشائعة والمستخدمة في العراق. وهناك سعات أخرى مستخدمة عالميًا ولكن أقل شيوعًا.

لا توجد مواصفة قياسية دولية محددة تغطي محطة التوزيع كوحدة متكاملة، وإنما يتم تطبيق المواصفات الدولية ذات الصلة على المكونات والأجهزة الداخلة في تركيبها بصورة مستقلة.

مواصفات وزارة الكهرباء العراقية لمحطات التوزيع الثانوية D-01A و D-01B و D-01C.

أجزاء ومكونات محطات التوزيع الثانوية

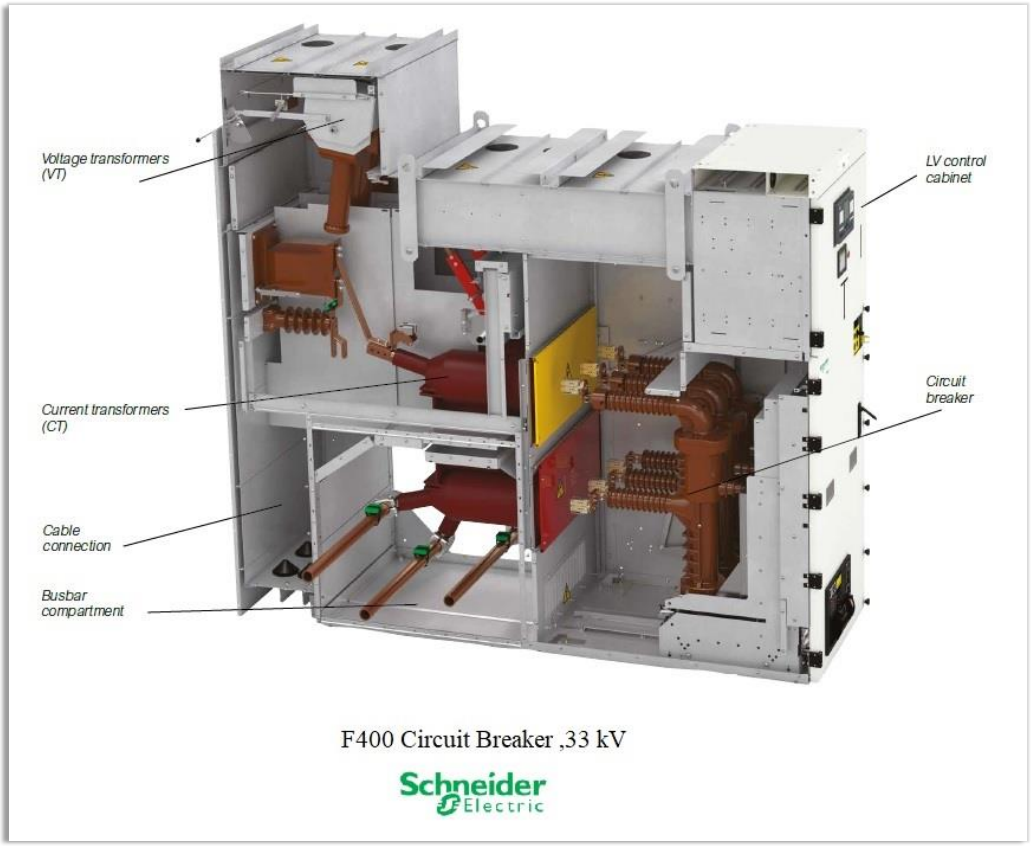
تتكون هذه المحطات كما أسلفنا من جزئين: –

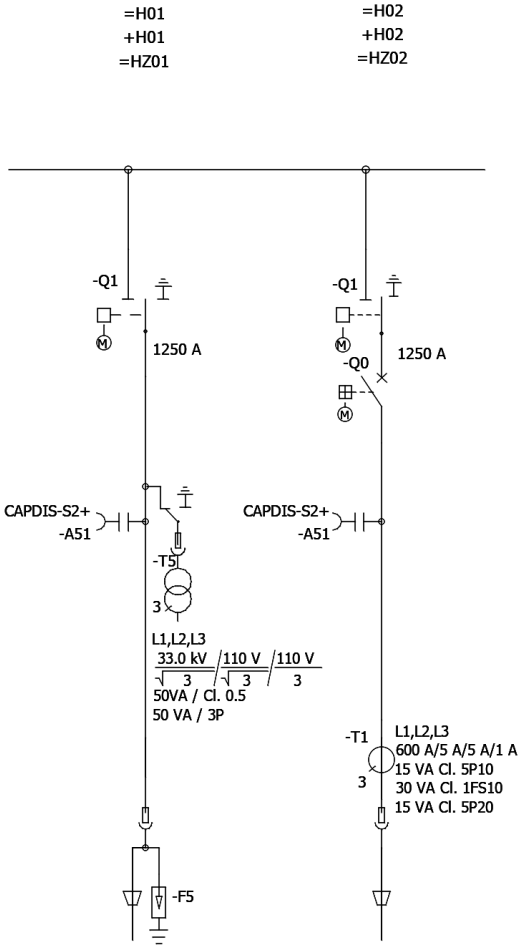
أولًا: المعدات (Switchgear): من الصنف الأساسي (Primary Switchgear). وتضمن تغذية الأحمال مع التحكم والحماية، الجزء العلوي من كل خانة (خلية) يحتوي على أجهزة القياس والحماية التي تعمل بالتيار المستمر (DC). لكل محولة قدرة مقطع (Section) خاص بها من المعدات التي تنقسم الى قسمين: –

١– معدات جهد (33kV)

أ– خانة خاصة بالمغذي الوارد أي المصدر (Incoming Feeder) تحتوي على مفتاح فاصل عزل (Disconnector - DS) أو مفتاح فصل الحمل (Load Break Switch - LBS).

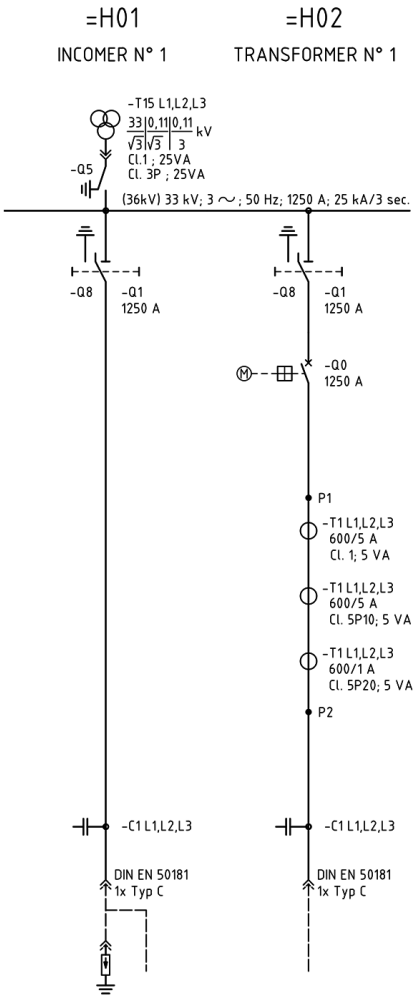
ب– خانة خاصة بتغذية محولة القدرة (Transformer Feeder)، تحتوي على قاطع دورة (CB) يكون قابل للسحب (Draw Out) في حالة كون المعدات من النوع (AIS) أو يرتبط معه مفتاح عزل (Disconnector - DS) في حالة كون قاطع الدورة (CB) من النوع (Fixed Type) والمعدات من النوع (GIS).





NXPLUS C 33 kV GIS SWITCHGEAR

SIEMENS



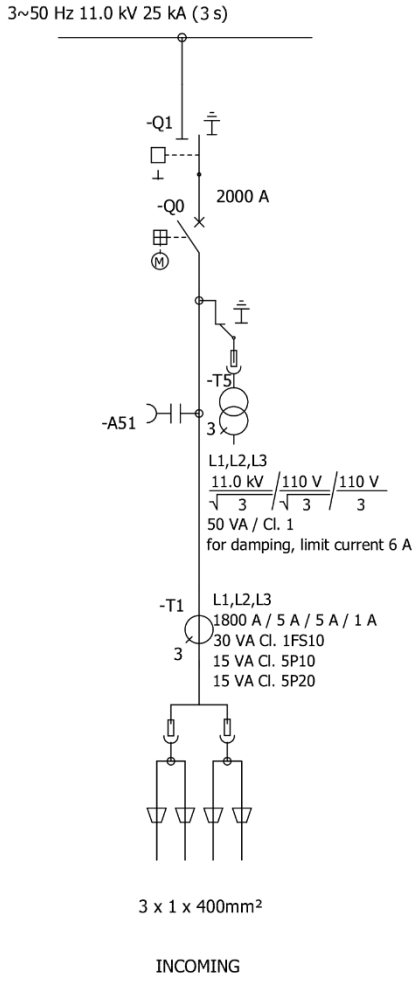
F400 33 kV AIS SWITCHGEAR

Schneider Electric

٢- مقطع معدات جهد (11kV)

تُعرف مجموعة معدات الجهد (11kV) المتصلة بخرج كل محولة قدرة باسم "مقطع" (Section).

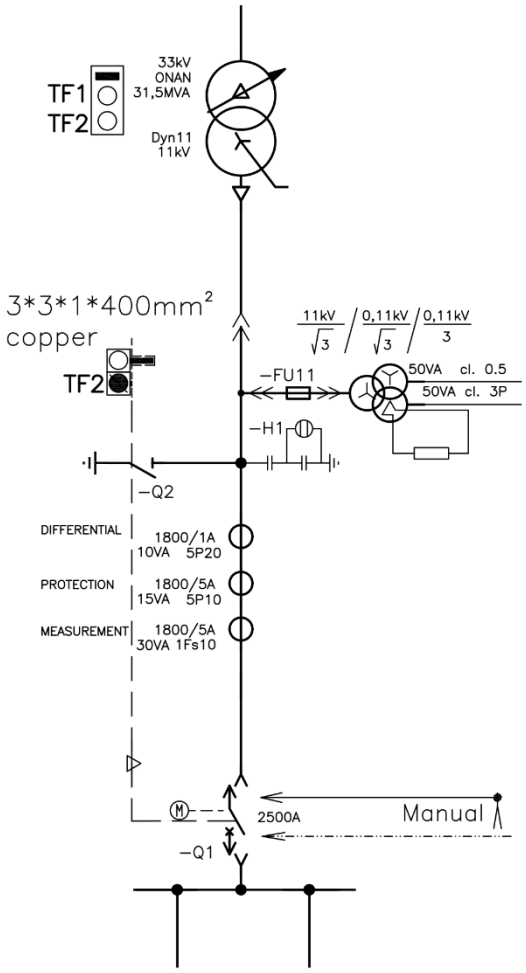
أ- خانة خاصة بمغذي المحولة الوارد منها (Incoming Transformer). تحتوي على قاطع دورة (CB) يكون قابل للسحب (Draw Out) في حالة كون المعدات من النوع (AIS) أو يرتبط معه مفتاح عزل (Disconnector - DS) في حالة كون قاطع الدورة (CB) من النوع (Fixed Type) والمعدات من النوع (GIS). هذه الخانة تغذي القضبان الناقلة (11kV - Busbars).



NXPLUS C 11 kV GIS SWITCHGEAR

For Incoming Tr.

SIEMENS

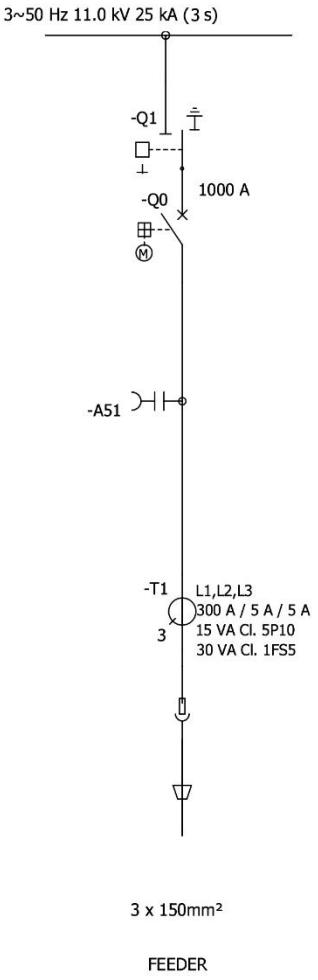


MCset 11 kV AIS SWITCHGEAR

For Incoming Tr.

Schneider Electric

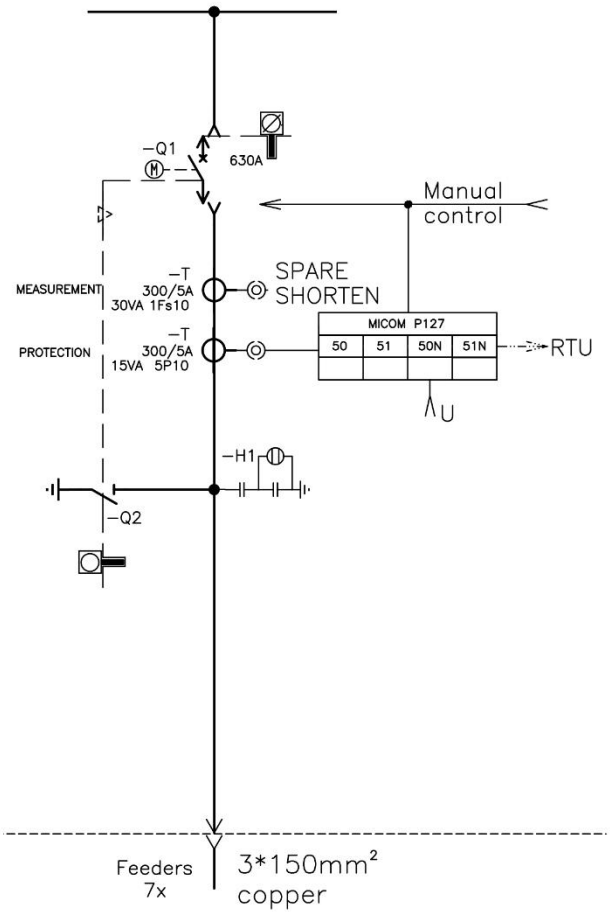
ب- خانات المغذيات الخارجة من المحطة (Outgoing Feeders) تحتوي كل منها على قاطع دورة (CB) سعة 630A، يكون قابل للسحب (Draw Out) في حالة كون المعدات من النوع (AIS) أو يكون معه في الخانة نفسها مفتاح عزل (Disconnector - DS) في حالة كون قاطع الدورة (CB) من النوع (Fixed Type) والمعدات من النوع (GIS). تتغذى من القضبان الناقلة (11kV - Busbars).



NXPLUS C 11 kV GIS SWITCHGEAR

For Outgoing Feeders

SIEMENS

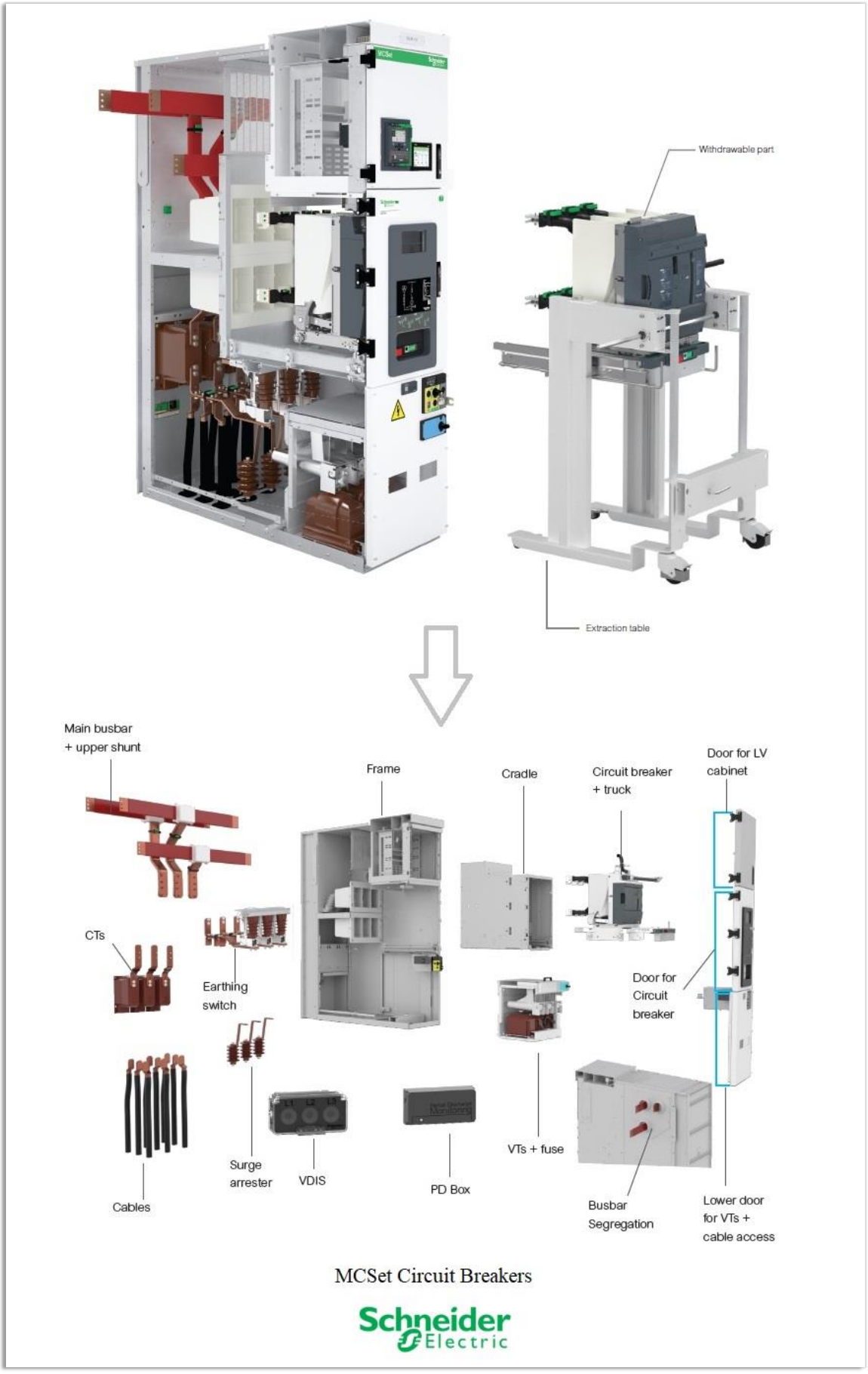


MCset 11 kV AIS SWITCHGEAR

For Outgoing Feeders

Schneider Electric

Video


Withdrawable part
Extraction table
Main busbar
+ upper shunt
Frame
Cradle
Circuit breaker
+ truck
Door for LV
cabinet
CTs
Earthing
switch
Door for
Circuit
breaker
Surge
arrester
VDIS
PD Box
VTs + fuse
Busbar
Segregation
Lower door
for VTs +
cable access
Cables
MCSet Circuit Breakers
Schneider
Electric

عدد المغذيات الخارجة يعتمد على سعة محولة القدرة، وكما موضح أدناه: –

- **محطة سعة (2×31.5 MVA)**: تحتوي على محولتي قدرة ومقطعين من المعدات، كل مقطع عدد المغذيات الخارجة منه (٧) أي مجموعها (١٤) مغذي.
- **محطة سعة (3×16 MVA)**: تحتوي على ٣ محولات قدرة و٣ مقاطع، كل مقطع عدد المغذيات الخارجة منه (٤) أي مجموعها (١٢) مغذي. ويمكن أن تكون المغذيات الخارجة من المقطع الثاني فقط مغذيين، وبهذه الحالة يمكن ربط المحولة الثانية على التوازي بعد تحقيق المزامنة والشروط الأخرى.
- **محطة سعة (2×16 MVA)**: تحتوي على محولتي قدرة ومقطعين من المعدات، كل مقطع عدد المغذيات الخارجة منه (٤) أي مجموعها (٨) مغذيات.
- **محطة سعة (2×10 MVA)**: تحتوي على محولتي قدرة ومقطعين من المعدات، كل مقطع عدد المغذيات الخارجة منه (٢) أي مجموعها (٤) مغذيات.
- **محطة سعة (2×5 MVA)**: تحتوي على محولتي قدرة ومقطعين من المعدات، كل مقطع عدد المغذيات الخارجة منه (١) أي مجموعها (٢) مغذيات.
- **محطة سعة (1×31.5 MVA)**: تحتوي على محولة قدرة واحدة أي مقطع واحد من المعدات، عدد المغذيات الخارجة منه (٧).

Video

ج- خانة خاصة بمجموعات المتسعات (Capacitor Bank) في كل مقطع، تحتوي على قاطع دورة (CB) يكون أيضًا قابل للسحب (Draw Out) في حال كون المعدات من النوع (AIS) أو يكون معه في الخانة نفسها مفتاح عزل (Disconnector - DS) في حالة كون قاطع الدورة (CB) من النوع (Fixed Type) والمعدات من النوع (GIS)، (كما في مواصفات وزارة الكهرباء العراقية D-01B و D-01C)، ويكون موقع نصب المتسعات خارج غرفة المعدات وتوضع على هيكل معدني مرتفع أو تحاط بسياج وأقفال منعًا لحدوث حالات صعق للعاملين في المحطة.

المتسعات (Capacitors)

إنّ وجود مجموعات المتسعات (Capacitor Bank) في محطات النقل والتوزيع الثانوية شيء شائع وضروري لزيادة كفاءة الشبكة وضمان توفير الطاقة الكهربائية للمستهلكين بشكل فعال. الغرض الأساس من استخدام المتسعات في شبكات النقل والتوزيع للطاقة الكهربائية هو تحسين معامل القدرة (Power Factor Correction)، لتحقيق الأغراض الفنية والاقتصادية الآتية: -

- التقليل من القدرة الغير فعالة (Reactive Power - Q): في شبكات التوزيع تكون الأحمال أغلبها حثّية (محركات، محولات توزيع، خطوط هوائية)، المتسعات لديها فعل معاكس لتعويض القدرة غير الفعالة الحثية (Q_L) مما يقلل منها، وبالتالي تقليل التيار غير الفعال (Reactive Current) أي نقل القدرة الفعالة (Active Power - P) نفسها بأقل تيار ممكن.
- تقليل الخسائر في الشبكة: تقليل التيار الكلي (لنفس الحمل)، يقلل خسائر الموصلات ($P_{Losses}=I^2R$) في المحولات والمغذيات.
- تحسين الجهد: تقليل التيار الكلي (لنفس الحمل)، يقلل هبوط الجهد ($V_d=IR$)، ويرفع مستوى الجهد خصوصًا في نهايات المغذيات.
- تحرير سعة إضافية للمحولات والمعدات: عندما يقل التيار الكلي (لنفس الحمل)، تتحرر سعة أكبر في المحولات والمعدات والخطوط لتغذية أحمال فعلية إضافية.

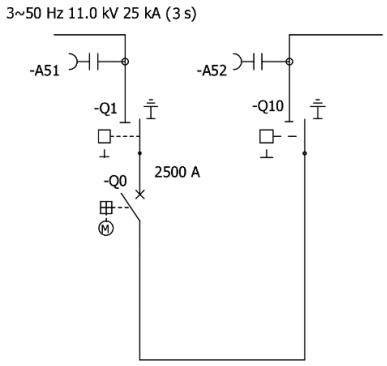
- في المحطات الثانوية تحسب سعة هذه المتسعات نسبة ١٠٪ من قيمة سعة محولة القدرة في المحطة. ففي محطات (2×31.5 MVA) تستخدم متسعات ذات سعة (3 MVAR) لكل مقطع، وفي محطات (3×16 MVA) تستخدم متسعات ذات سعة (1.5 MVAR) لكل مقطع.

- يتم التحكم بإدخال واخراج هذه المتسعات على مراحل حسب الحمل من خلال جهاز تحكم (Controller) يضبط عند قيمة معامل قدرة (PF) معين حسب القدرة غير الفعالة الموجودة في الشبكة.

د- خانة خاصة برابط القضبان (Bus Section)، تحتوي على قاطع دورة (CB) يكون أيضًا قابل للسحب (Draw Out) في حالة كون المعدات من النوع (AIS) أو يرتبط معه مفتاحي عزل (Disconnector - DS) كل واحد من جهة مقطع في حالة كون قاطع الدورة (CB) من النوع (Fixed Type) والمعدات من النوع (GIS)، كما في مواصفة وزارة الكهرباء العراقية، أو مفتاح فصل الحمل (LBS) كما في بلدان أخرى.

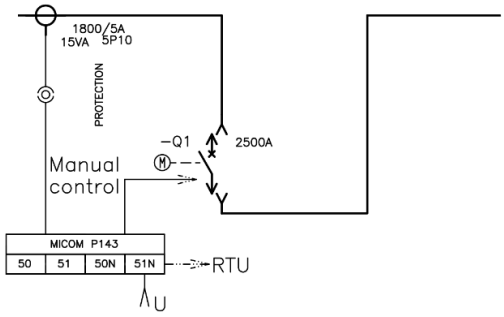
مهمته ووظيفته ربط وتوصيل مقطع بمقطع آخر من معدات المحطة، (أي مقطع (١) بمقطع (٢) أو مقطع (٢) بمقطع (٣) في حالة محطة مكونة من ٣ محولات و٣ مقاطع)، في حالة حصول عطل في إحدى محولات القدرة في المحطة أو معدات جهد (33kV) أو قاطع الدورة (CB) جهد (11kV) الخارج من المحولة أو في المصدر أو قابلو المصدر الذي يغذيها بحيث يمنع تغذية مقطع معدات (11kV) والمغذيات الخارجة منه، فيمكن تغذية هذا المقطع من محولة القدرة الأخرى عن طريق المقطع المجاور، مع الاخذ بنظر الاعتبار توزيع الاحمال حسب الحدود المسموح بها لمحولة القدرة وتجنب انفصالها بالحمل الزائد، مما يزيد الوثوقية والمرونة التشغيلية ويُسهل عمليات المناورة عند حدوث الأعطال وعند إجراء الصيانة.

في هذه الخانة ترفع القضبان الناقلة بشكل عمودي (Bus Riser) من أحد المقطعين لترتبط بقاطع الدورة (CB)، وفي بعض التصاميم توجد خانة خاصة مجاورة تسمى رافع القضبان (Bus Riser) تقوم بهذه الوظيفة.



NXPLUS C 11 kV GIS Bus Section SWITCHGEAR

SIEMENS



MCset 11 kV AIS Bus Section SWITCHGEAR

Schneider Electric

هـ- خانة خاصة بتغذية المحولة المساعدة (Auxiliary Transformer)، تحتوي على قاطع دورة (CB) سعة 630A، خاص بها مماثل لقواطع الدورة (CB) الخاصة بالمغذيات يكون قابل للسحب (Draw Out) في حالة كون المعدات من النوع (AIS) أو يكون معه في الخانة نفسها مفتاح عزل (Disconnector - DS) في حالة كون قاطع الدورة (CB) من النوع (Fixed Type) والمعدات من النوع (GIS)، ومنه يخرج القابلو نحو المحولة المساعدة ثم إلى لوحة الجهد الواطئ (416/240V) الخاصة بخدمات المحطة. في بعض التصاميم توضع المحولة التي تكون ذات سعة صغيرة داخل الخانة نفسها.

٣- الملحقات

أ- المحولة المساعدة (Auxiliary Transformer 11/0.4 kV):

وتسمى أيضًا محولة الخدمة، وهي محولة صغيرة ذات سعة قليلة نسبياً (على الأغلب 250kVA وفي المحطات المتنقلة تكون 50kVA أو 100kVA) يتم تركيبها داخل المحطة. تتغذى عادةً من مقطع معدات جهد (11kV) وتقوم بخفضه إلى جهد واطئ (416/240V) لتوفير التغذية الكهربائية اللازمة لإنارة المحطة وتشغيل أنظمة التكييف والتهوية والتدفئة إن وجدت، إضافة إلى تشغيل بعض أجهزة القياس والحماية والاتصالات والتحكم وشاحنات البطاريات. هذه المحولة ضرورية لأن المحطة تحتاج دائماً إلى مصدر طاقة داخلي مستقر لتبقى أنظمة المراقبة والحماية عاملة حتى في حالات الطوارئ أو انقطاع أحد المصادر الرئيسة، ولهذا يتم بوسطتها شحن البطاريات من خلال شاحنات البطاريات الخاصة بها.

ب– لوحة توزيع التيار المتناوب للجهد الواطئ (LV AC switchboard or Panel)

وهي لوحة خاصة بتوزيع التيار المتناوب (AC) بجهد واطئ (416/240V) ثلاثي الأطوار، رباعي الأسلاك داخل المحطة، وتكون اللوحة من النوع (Metal Clad, Indoor Type)، وتحتوي على قاطعي دورة رئيسيين الاول للتغذية من المحولة المساعدة (محولة الخدمة) (11/0.4kV)، والاخر للتغذية من مصدر خارجي يقوم بتأمين مصدر للجهد الواطئ (416/240V) عند حدوث أي مشكلة في تأمين هذا الجهد من المحولة المساعدة أي لزيادة الوثوقية. كلا القاطعين من النوع المصبوب (Molded Case Circuit Breakers - MCCB) جهد واطئ، بتيار مقنن لا يقل عن (400A)، يوفر الحماية من الحمل الزائد (Over Current) ودائرة القصر (Short Circuit). وكذلك قواطع دورة أخرى أصغر للخطوط الخارجة من اللوحة لتغذية أقسام المحطة.

تكون اللوحة مزودة بمقياس جهد (فولتميتر) ومقياس تيار (أميتر)، ومرحل انخفاض الجهد (AC Under-Voltage Relay)، ومرحل تسلسل طور (Phase-Sequence Relay)، ومرحل استشعار عطل أرضي (Earth Fault Sensing Relay)، ومؤشر إنذار مناسب (Alarm Indication).

المواصفات القياسية الدولية (القديمة) سلسلة IEC 60439 للوحات الجهد الواطئ

المواصفات القياسية الدولية الحديثة سلسلة IEC 61439 للوحات الجهد الواطئ

المواصفات القياسية الدولية سلسلة IEC 60947 لمكونات وأجهزة لوحات الجهد الواطئ

ج– شاحنات البطاريات (Battery Chargers)

هي أجهزة تُستخدم لشحن بطاريات التيار المستمر (DC) الموجودة في محطات التحويل الثانوية، من خلال تحويل الطاقة الكهربائية القادمة من لوحة التيار المتناوب (LV AC switchboard or Panel) من جهد متناوب (AC 400/230 فولت) إلى جهد مستمر (DC) ثابت (عادة 110V) ومعدل تيار مناسب لشحن البطاريات وتغذية لوحة توزيع التيار المستمر (DC Distribution Panel) لتشغيل جميع دوائر التحكم والحماية في معدات المحطة في الوقت نفسه. وتُعدّ جزءًا أساسيًا من نظام ال (Station DC System).

وتكون ثنائية اي مكونة من شاحنتين (Charger 1 + Charger 2) تكون الاولى بالعمل والثانية بوضع الاحتياط، وتكون جاهزة لتدخل الى العمل بصورة تلقائية عند حدوث أي مشكلة في الشاحنة الأخرى لزيادة الوثوقية واستمرار تغذية دوائر التحكم والحماية في معدات المحطة عن طريق لوحة توزيع التيار المستمر (DC Distribution Panel).

الشاحنات تصمم بحيث تكون ذاتية التبريد (Self-Cooling)، أي أنها تعمل من دون مراوح وتعتمد فقط على الزعانف المعدنية والتهوية الطبيعية للتخلص من الحرارة، وهذا النوع يُستخدم عادة في القدرات الصغيرة أو عندما تكون الغرفة مكيفة وجيدة التهوية (كما في مواصفات وزارة الكهرباء العراقية). وفي المقابل هناك شاحنات تحتوي على مراوح داخلية مدمجة، تعمل بشكل أوتوماتيكي عند ارتفاع درجة الحرارة، ويكون هذا ضرورياً مع الأحجام الكبيرة أو في المواقع التي تصل فيها درجات الحرارة إلى مستويات عالية. إنّ اختيار طريقة التبريد يعتمد أساساً على قدرة الشاحنة والتيار الخارج منها، وعلى درجة حرارة الغرفة ووسائل التهوية أو التكييف المتوفرة، إضافة إلى مستوى الحماية من الظروف البيئية والمعبر عنه بدرجة (IP). ومن حيث مصدر التغذية الكهربائية يمكن أن تكون الشاحنات مصممة إما للعمل على مصدر ثلاثي الأطوار أو على مصدر أحادي الطور (Single Phase Source)، كما في مواصفات وزارة الكهرباء العراقية.

Video

د– البطاريات (Batteries)

بطاريات المحطة هي المصدر الاحتياطي لتغذية لوحة توزيع التيار المستمر (DC Distribution Panel) عند انقطاع التيار أو تعطل الشاحنات. وظيفتها الأساسية هي ضمان وجود الجهد المستمر (DC) واستمرارية التغذية بالطاقة اللازمة لجميع دوائر التحكم والحماية، بحيث تبقى المحطة في أمان حتى عند حدوث عطل وفقدان مصدر التيار المتناوب (AC) أو توقف شاحنات البطاريات.

تُركّب على شكل مجموعات بطاريات (Battery Bank) وتُربط على التوالي لتوفير جهد مستمر (DC) بقيمة (110V أو 220V) حسب تصميم المحطة. وغالباً ما تكون موضوعة في غرفة خاصة أو حاوية مهيأة للتهوية ومعالجة الأبخرة. ويتم شحنها باستمرار للحفاظ على جهدها ممتلئاً دائمًا.

➢ **أنواع البطاريات حسب التركيب الكيميائي**

١– بطاريات الرصاص الحمضية (Lead-Acid Batteries)

- المميزات: موثوقة، رخيصة، تتحمل التفريغ العميق نسبيًا.
- العيوب: ثقيلة، تحتاج تهوية جيدة، وحساسة للحرارة.

تنقسم الى نوعين: –

أ– بطاريات الخلية الرطبة (Flooded Type)

- تحتاج إلى صيانة دورية (فحص مستوى الحامض والتعويض بالماء المقطر).
- عمرها: ١٠—٢٠ سنة.

ب– بطاريات الخلية الجافة أو المغلقة (VRLA – Valve Regulated Lead Acid)

تُعرف أيضًا بـ AGM أو Gel Batteries.

- لا تحتاج إلى صيانة تقريبًا، وتُستخدم في المحطات الحديثة أو الداخلية.
- عمرها: ٥—١٠ سنوات.

٢- بطاريات النيكل – كادميوم (Ni-Cd)

- تُستخدم في المحطات عالية الأهمية (مثل محطات النقل (400/132kV) أو (132/33kV)).
- المميزات: تتحمل درجات الحرارة العالية، أداء ممتاز في التفريغ العالي والمفاجئ.
- العيوب: غالية الثمن، ولها تأثير بيئي (الكادميوم مادة سامة).
- عمرها طويل (حتى ٢٠–٢٥ سنة).
- في العراق أغلب محطات التوزيع تستخدم مجموعة بطاريات تتكون من ٩٢ خلية، جهد كل خلية 1.2V، وبمجموع كلي 110V.

٣- بطاريات الليثيوم – آيون (Li-Ion)

- بدأ استخدامها حديثًا في بعض المحطات الحديثة أو المحطات المدمجة.
- المميزات: وزن خفيف، شحن سريع، كثافة طاقة عالية، صيانة قليلة.
- العيوب: تكلفة مرتفعة، تتطلب أنظمة إدارة دقيقة (Battery Management System).

المواصفات القياسية الدولية سلسلة IEC 60896 لبطاريات رصاص – حامض (Lead Acid)

المواصفة القياسية الدولية IEC 60623 لبطاريات نيكل–كادميوم (Ni-Cd)

هـ– لوحة توزيع التيار المستمر (DC Distribution Panel)

وهي لوحة خاصة بتوزيع التيار المستمر (DC) جهد واطئ (عادةً 110V)، تستقبل التيار المستمر (DC) من شاحنات البطاريات، ومن البطاريات كمصدر احتياطي، وتقوم بتوزيعه على دوائر الحماية والتحكم والقياسات والإشارات داخل المحطة، بالإضافة إلى بعض الأجهزة الحيوية مثل الإنذار وأنظمة الاتصالات سكادا (SCADA) ومحركات التيار المستمر الصغيرة المستخدمة في شحن نوابض المفاتيح والقواطع. تحتوي اللوحة على قواطع دورة (CB) خاصة بالتيار المستمر (DC) لحماية جميع دوائر التحكم والحماية من الحمل الزائد (Over Current) ودائرة القصر (Short Circuit)، وتحتوي على مؤشرات للجهد والتيار للمراقبة. بعض اللوحات تحتوي على مفاتيح فصل لتسهيل الصيانة دون فصل باقي الأحمال. بعض تصاميم اللوحات تكون مدمجة بشاحنات البطاريات.

المواصفات القياسية الدولية سلسلة IEC 60947

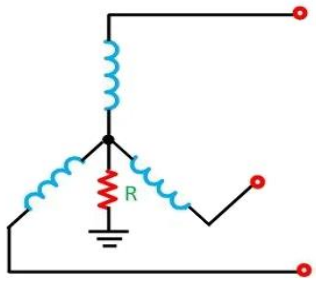
مخطط المسار يكون بهذا الشكل: –

و– مقاومة التأريض (Neutral Earthing Resistor - NER)

وأيضًا تسمى (Neutral Grounding Resistor - NGR)، وهي جهاز كهربائي يُستخدم في محطات التحويل وتوليد الطاقة للحد من تيار العطل الأرضي إلى مستوى آمن. توضع بين نقطة التعادل أو المحايد (Neutral point) للمحولة والأرض، ففي حالة حدوث عطل أرضي (Earth Fault)، يؤدي الى مرور تيار العطل الارضي عبر مقاومة التأريض ومنها الى محولة القدرة. وجود هذه المقاومة يسمح بتدفق تيار كافٍ لتشغيل أنظمة الحماية والكشف عن العطل، ولكن يحد منه لتقليل الإجهاد الحراري والميكانيكي للمعدات وتجنب تلفها وزيادة سلامة الأفراد.

المواصفة القياسية الدولية IEC 60076-25

تأريض محايد محولة القدرة (Neutral Earthing)



أطوار الملف الثانوي لمحولة القدرة – كما سيأتي – تربط على شكل (Y)، وتكون النقطة المشتركة بين ملفات الأطوار الثلاثة هي نقطة التعادل أو المحايد (Neutral point).

طرق التأريض

تُؤرَض نقطة المحايد (Neutral point) عادةً باستخدام إحدى الطرق: –

١- تأريض مباشر (Solid Earthing): ربط المحايد (Neutral point) مباشرة بالأرض. كما في محولات التوزيع (11/0.4kV).

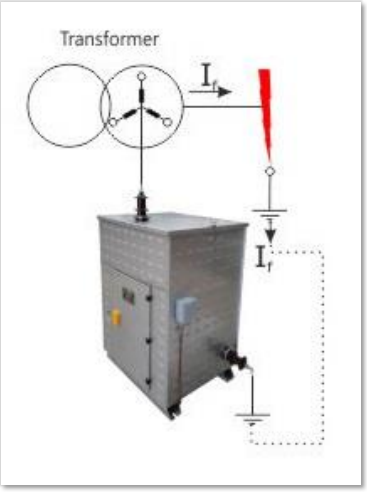
٢- تأريض عبر مقاومة (Neutral Earthing Resistor): وضع مقاومة بين نقطة المحايد (Neutral point) والأرض للحد من تيار الخطأ الأرضي. يسمح بتيار عطل أرضي كبير نسبيًا لتأمين كشف سريع.

أ- التأريض بمقاومة واطئة (Low Resistance Earthing): يسمح بتيار عطل أرضي كبير نسبيًا (عادةً 200-1000 A) يسهل كشفه وفصله. وهو المستخدم في محطات التوزيع متعددة المغذيات الطويلة والمتفرعة.

ب- التأريض بمقاومة عالية (High Resistance Earthing): يسمح بمرور تيار صغير جدًا عند حدوث عطل أرضي (عادةً 10A≥). بحيث يكفي لكشف العطل عبر أجهزة الحماية ولكن لا يفصل قاطع الدورة (CB) مباشرة، بل يستمر النظام بالعمل مؤقتًا بدون التسبب بأضرار فورية، فيُعطي فرصة للبحث عن العطل وإزالته بدون انقطاع الخدمة، ولكن عيبه هو صعوبة تحديد موقع العطل الأرضي واحتمالية استمرار العطل والتسبب بأضرار على المدى الطويل، لهذا هو غير عملي في الشبكات الواسعة، وانما يفضل استخدامه في المواقع ذات الأهمية العالية والمنشآت الصناعية حيث استمرارية التغذية أهم من الفصل الفوري (مثل المصانع البتروكيميائية، محطات توليد، مراكز البيانات).

٣- تأريض عبر رادّة حثية (Reactance Earthing): أقل شيوعاً، وضع رادّة حثية (ملف – محاثة) بين نقطة المحايد (Neutral point) والأرض للحد والتحكم بمستوى تيار الخطأ الأرضي.

الغرض والأهمية



- استقرار جهد الشبكة ومنع ظاهرة تأرجح الجهد.
- تقليل مخاطر زيادة الجهد عند الأعطال الأرضية على الأشخاص والمعدات.

ملاحظة مهمة: -

- الملفات المربوطة على شكل دلتا (Δ) ليس لها نقطة محايد (Neutral point)، لذلك لا يتم تأريضها عادة، وفي بعض الحالات الخاصة إذا كان مطلوب نقطة محايد (Neutral point)، فيمكن تأريضه باستخدام محولة تأريض (Earthing Transformer)، مثل: -
  - Zig-Zag Earthing Transformer
  - Auto-Transformer Earthing Type
- تأريض محايد (Neutral) محولة القدرة أعلاه لا علاقة له بالأرضي الذي يقوم بتأريض المعدات (Earthing).

Video

مكونات مقاومة التأريض

- عناصر المقاومة (Resistor Elements):

تصنع عادةً من عدة طبقات من سبيكة النيكل والكروم المقاومة للحرارة (Nickel-Chromium) أو الفولاذ المقاوم للحرارة (Stainless Steel Grid Resistors). تكون على شكل طبقات أو شبكات معدنية أو مراحل مثبتة داخل هيكل عازل. كل منها مقاومة ذات قيمة معينة (حسب تصميم الشركة المصنعة) بحيث يكون المجموع النهائي لهذه المقاومات هي (21.1 Ω) حسب مواصفات وزارة الكهرباء العراقية. تكون مصممة لتحمل الحرارة العالية (تصل الى أكثر من 600°C) الناتجة عن مرور تيار العطل الأرضي لفترة محددة (٣٠ ثانية حسب مواصفة وزارة الكهرباء العراقية) مع الحفاظ على قيمة المقاومة المحددة.

- هيكل أو حاوية خارجية (Enclosure):

صندوق أو خزان معدني مقاوم للعوامل الجوية (Outdoor Type). يُستخدم لحماية مكونات المقاومة الداخلية من العوامل البيئية والتلف الميكانيكي. غالباً يكون مطلي بطلاء مقاوم للتآكل (Galvanized or Painted Steel). يحتوي على فتحات تهوية أو مراوح لتبريد عناصر المقاومة.

- أجهزة القياس والحماية:
  - محولة التيار (Current Transformer - CT): نسبة التحويل (5 : 150-300) لقياس تيار العطل وتشغيل مرحل الحماية الخاص بنقطة المحايد (Neutral Relay).
  - محولة الجهد (Potential Transformer - PT): لمراقبة فرق الجهد عبر المقاومة.
  - مانعة الصواعق (Lightning Arrester): تركّب على مقاومة التأريض أو على محايد (Neutral).
- مقاومة تفريغ (Discharge Resistor):

أحياناً تضاف للتأكد من تفريغ الشحنة بعد انتهاء العطل.

- العوازل (Insulators):

تُستخدم لعزل عناصر المقاومة عن الهيكل المعدني وتثبيتها. تتحمل الجهد بين المحايد والهيكل المؤرض.

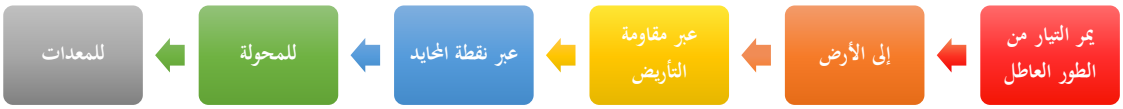
- أطراف التوصيل (Terminals):
  - نقطة توصيل طرف المقاومة مع نقطة محايد (Neutral point) محولة القدرة.
  - نقطة توصيل أخرى مع القضيب الموصل بالأرض.
- مفتاح الفصل (Disconnector - DS):

يُركّب معها لعزل المقاومة عن الشبكة عند الحاجة، مما يسمح بعمليات الصيانة والتشغيل بأمان.

وظيفة مقاومة التأريض مع الحماية

في الحالة الطبيعية (بدون عطل)، التيار لا يمر عبر مقاومة التأريض، لأنها متصلة بين نقطة المحايد (Neutral point) للمحولة وبين الأرض، وجهد المحايد يكون قريب من الصفر، فلا يوجد فرق جهد كبير عبر المقاومة. أمّا عند حدوث عطل أرضي (Earth Fault) أي حصول تماس مباشر بين أحد أطوار الخط والأرض، فسيؤدي الى:-

١- انخفاض جهد الطور العاطل: تقريباً إلى الصفر لأنه أصبح متصل مباشرة بالأرض.
٢- ارتفاع جهد الطورين السليمين الآخرين الى قيمة ($V_{ph}\times\sqrt{3}$) تقريباً. هذا قد يسبب إجهاد أكبر على عوازل المعدات.
٣- تشكل مسار تيار عطل عبر مقاومة التأريض الى محولة القدرة عبر نقطة المحايد (Neutral point) تكون قيمته محدودة بسبب مقاومة التأريض.



٤- كشف العطل:

- يمر التيار عبر محولة التيار (CT) المركّبة على مقاومة التأريض أو في خط المحايد.
- يرسل الإشارة الى مرحل المحايد (Neutral Relay).
- مرحل المحايد (Neutral Relay): يقوم بتحليل الإشارات ومقارنتها مع القيم المحددة مسبقًا، وعند التحقق من وجود عطل، تصدر أمر فصل إلى قاطع الدورة (CB)، الذي يقوم بفصل محولة القدرة من جهتي (33kV) و(11kV) عند حصول عطل أرضي فشلت في فصله الحمايات الأخرى الخاصة بالمعدات.

٥- مراحل الحماية تتضمن:

- المرحلة الأولى: حماية قاطع المغذي (11kV) الذي حدث فيه العطل.
  - مرحل الحماية الأرضية (Earth Fault Relay)
- المرحلة الثانية: حماية قاطع المحولة الرئيسي جهد (11kV).
  - مرحل الحماية الأرضية (Earth Fault Relay)
- المرحلة الثالثة: حماية المحايد من العطل الأرضي.
  - مرحل المحايد (Neutral Relay)، كما في النقطة (٤).

٦- في حال عدم عمل مراحل الحماية هذه واستمرار مرور تيار العطل الأرضي عبر المقاومة: -

- قد يؤدي إلى ارتفاع جهد نقطة المحايد، فيسبب إجهاد ميكانيكي وكهربائي على العوازل الحاملة للطبقات مما يؤدي الى تكسر هذه العوازل وتلف الطبقات المعدنية للمقاومة.
- ارتفاع درجة الحرارة في المقاومة تدريجيًا حتى تصل إلى حد الانصهار، مما يسبب خروج مقاومة تأريض المحايد عن العمل وفصل قطب المحايد عن المحولة.
- الاستمرار في مرور تيار العطل الأرضي داخل ملفات محولة القدرة، يسبب ضعف العزل الكهربائي بين اللفات الداخلية، وبالتالي تقليل العمر التشغيلي للمحولة، وإمكانية تلف المحولة في بعض الحالات الحرجة.

ملاحظة: لاحظ الفرق: -

- مرحل الحماية الأرضية (Earth Fault Relay): كشف تيار العطل الأرضي عند حدوث تماس بين أحد الأطوار والأرض. يقيس التيار غير المتزن (Residual Current) الخارج من محولة القدرة أو القاطع. ضمن حماية المعدات على مستوى خرج المحولة والمغذيات.
- مرحل المحايد (Neutral Relay): مراقبة تيار أو جهد المحايد مباشرة عند نقطة المحايد عبر مقاومة التأريض، حيث يقيس التيار المار عبرها أو يراقب جهد نقطة المحايد (Neutral) بالنسبة للأرض.

ز- وحدة التحكم الطرفية (Remote Terminal Unit - RTU)

لوحة موجودة داخل المحطة سنتكلم عنها لاحقًا ضمن موضوع منظومة سكادا (SCADA).

كما توجد منظومات مساعدة أخرى كالإنارة والتبريد والتهوية وإطفاء الحرائق وكاميرات المراقبة لحماية المحطة في حالات الطوارئ.

ثانيًا: محولات القدرة (Power Transformers)

هي الجزء الرئيسي في محطة التوزيع الثانوية. تقوم بخفض الجهد المتوسط من (33kV) إلى (11.5kV)، ورفع التيار ليتم توزيعه على المغذيات والخطوط التي تغذي المناطق السكنية والتجارية والصناعية، تكون هذه المحولات ثلاثية الأطوار وتربط على شكل (DY11) أي إن أطوار الملف الابتدائي تربط على شكل (Δ) وأطوار الملف الثانوي على شكل (Y)، يمثل الرقم "١١" موقع عقارب الساعة (أي أن جهد الملف الثانوي متأخر عن جهد الملف الابتدائي بـ ٣٠°). تتميز هذه المحولات بسعاتها العالية فهي مصممة عادة بسعات (5, 10, 16, 31.5 MVA)، هذه المحولات معزولة بالزيت، وبعض محولات القدرة تكون مزودة بأنظمة تبريد للحفاظ على درجة حرارتها ضمن الحدود المسموح بها في المواصفات المعتمدة، بالإضافة إلى وجود أجهزة حماية وتحكم لتأمين تشغيلها بشكل آمن ومستمر بوثوقية عالية، الكفاءة العالية للمحولات ناتجة من تقليل الخسائر.

تحتوي المحطات أكثر من محولة، ففي حال حدوث عطل أو توقف لأحد المحولات يمكن تحويل الأحمال إلى محولات أخرى بواسطة رابط القضبان (Bus Section)، لضمان استمرارية التغذية الكهربائية، وزيادة الوثوقية.

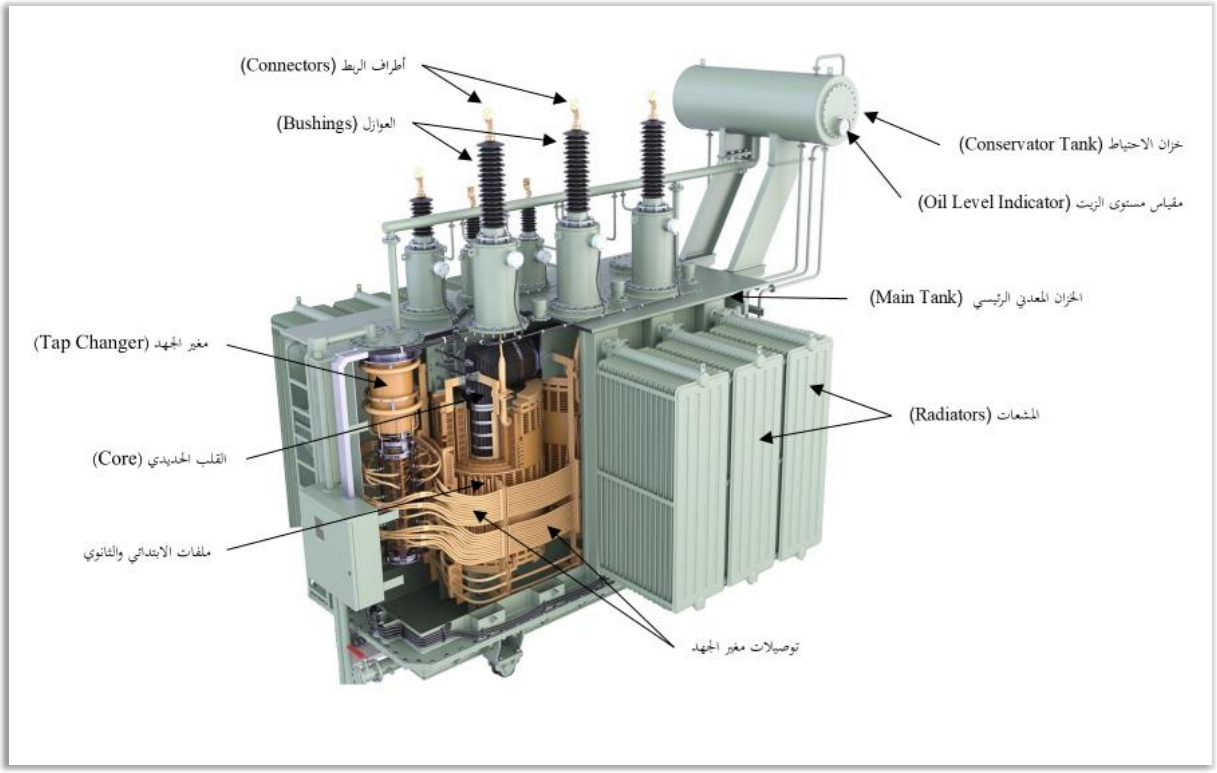
المواصفات القياسية الدولية سلسلة IEC 60076 الخاصة بمحولات القدرة

مواصفة وزارة الكهرباء العراقية D-01

Video

أجزاءها ومكوناتها

تتكون من مجموعة أجزاء رئيسية وأخرى مساعدة تعمل معًا لضمان عملها بكفاءة عالية وأمان، وكما يأتي: -



- **القلب الحديدي (Core)**

- مصنوع من الفولاذ السليكوني عالي الجودة (حديد ممغنط يحتوي على نسبة من مادة السليكون)، يهدف إلى تقليل خسائر الهسترة (Hysteresis).
- يتكون من صفائح رقيقة معزولة عن بعضها بسمك يتراوح بين (0.1-0.3 mm) لتقليل خسائر التيارات الدوامة (Eddy Currents)، قلة خسائر الهسترة وخسائر التيارات الدوامة يؤدي الى قلة الخسائر الحديدية أي خسائر اللا حمل (No Load Losses).
- يحقق فيضًا مغناطيسيًا مركزًا داخل القلب.

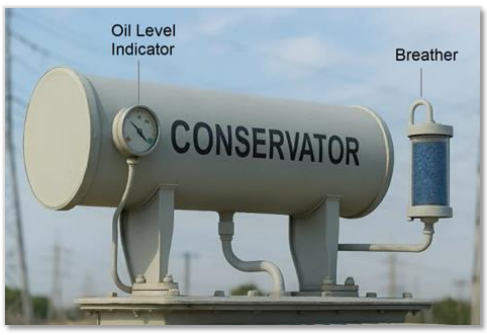
- **ملفات الابتدائي والثانوي**

- تتكون من موصلات (أسلاك أو أشرطة) نحاسية أو ألمنيوم.
- تُلف حول القلب الحديدي بشكل أسطواني أو قرصي.
- معزولة جيداً لتحمل الجهد العالي.
- ملف الجهد الأعلى (33kV) عادة يُلف بعدد لفات أكثر من موصلات أقلّ سمكًا.
- ملف الجهد الأوطأ (11kV) يُلف بعدد لفات أقل بموصلات أسمك (أشرطة أو قضبان مسطحة).
- نسبة عدد لفات الملف الثانوي الى عدد لفات الملف الابتدائي تمثل نسبة تحويل الجهد.

- **الخزان المعدني الرئيسي (Main Tank)**

- يحتوي على القلب الحديدي والملفات، والأجزاء المعدنية والخشبية الخاصة بتثبيت أجزاء المحولة.
- مملوء بالزيت العازل الذي يقوم بعمليتي التبريد والعزل الكهربائي عن سطح الخزان في آن واحد.
- القلب والملفات معزولة عن قاعدة الخزان بمادة عازلة (مثل الخشب).

- **خزان الاحتياط (Conservator Tank)**



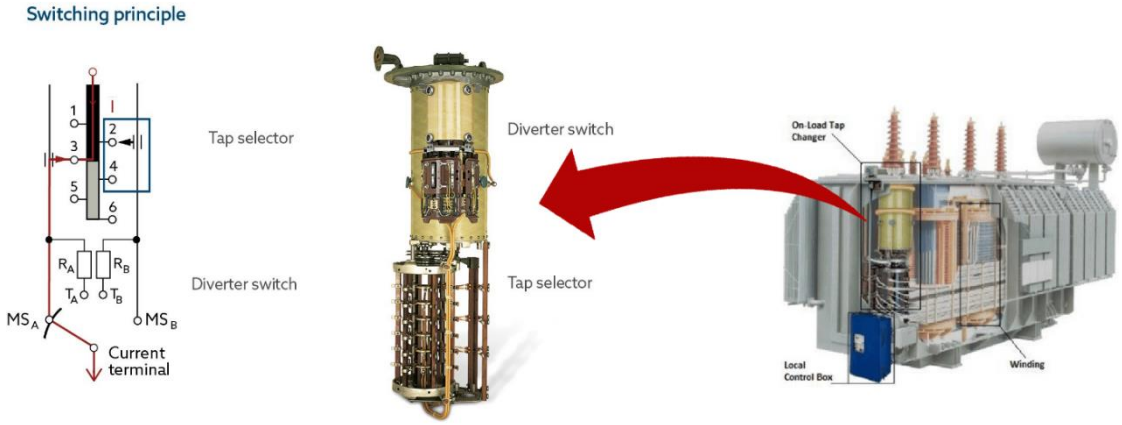
- يسمح بتمدد الزيت وانكماشه مع تغير درجة الحرارة.
- يعوض أي نقص في زيت الخزان الرئيسي.
- يضم عادة جهاز مانع الرطوبة (Breather): الذي يحتوي على مادة السيليكا جيل لامتصاص الرطوبة من الهواء الداخل إلى الخزان. قد يكون في أعلاه أو أسفله.

- **مغير الجهد (Tap Changer)**

هو جهاز له آلية ميكانيكية وكهربائية داخل المحولة يُستخدم لتغيير نسبة التحويل (Turns Ratio) بين الملفات الأولية والثانوية، بهدف رفع أو خفض الجهد الخارج حسب الحاجة، دون تغيير المحولة نفسها.

- من العناصر المهمة يُستخدم لضبط جهد الخرج من الملف الثانوي، مثلًا عند (11.5 kV).
- يهدف إلى استقرار الجهد بتعويض التغيرات في جهد شبكة النقل وظروف الأحمال على شبكة التوزيع.
- يعمل من خلال تغيير عدد لفات الملف على جهة الابتدائي ليساعد على استقرار الجهد ضمن الحدود التشغيلية المقررة.
- منه نوعان: –
  - On-Load Tap Changer (OLTC): يعمل أثناء تشغيل المحولة ومرور تيار الحمل
  - Off-Load Tap Changer (NLTC): يعمل فقط عند إطفاء المحولة

المواصفة القياسية الدولية IEC 60214



يحتوي على: –

١- مفتاح (Diverter Switch): لفصل وتوصيل التيار أثناء الانتقال بين النقاط، مع وجود مقاومات انتقالية لتقليل الشرارة والحرارة.

٢- مجموعة ميكانيكية لتغيير مواقع النقاط (Diverter).

٣- مجموعة تروس وقضبان تنقل الحركة من صندوق التحكم الذي يحتوي على اسطنبور التحكم الكهربائي والتحكم اليدوي (Motor Drive Unit).

Video

هناك نوعان: –

١– القديم، يكون من النوع الزيتي (Oil Type) أي إنّ عملية التغيير تكون داخل خزان الزيت، ويحتاج الى صيانة مستمرة.

٢– الحديث، ويكون من النوع المفرغ من الهواء (Vacuum Type)، عملية التغيير واخماد الشرارة تكون داخل حيز مفرغ من الهواء، ولا يحتاج الى صيانة (Free Maintenance).

- **العوازل المبطنة (Bushings)**

◂ مصنوعة من البورسلين أو المواد البوليمرية، وقد تكون مملوءة بالزيت أو غاز (SF_6) لتحسين العزل في الجهود الفائقة.

◂ تُستخدم لتمرير الموصلات (وتثبيتها ميكانيكيًا) من الملفات داخل المحولة إلى خارجها وتوصيلها بالشبكة بأمان مع ضمان العزل الكهربائي.

◂ تثبت على سطح الخزان الرئيسي للمحولة.

◂ توجد مع بعض الأنواع ما يسمى بقرون الشرارة (Arcing Horns) لتوفير حماية إضافية من التفريغ الكهربائي في حالة حدوث ارتفاع غير طبيعي في الجهد.

◂ في الجهد العالي يُستخدم نوع خاص اسمه (Capacitive Graded Bushing) ويتكون من: –

- موصل مركزي (Conductor).
- طبقات متناوبة من العازل أمّا ورق مشبع بالزيت أو الـ (Resin).
- صفائح معدنية رقيقة أو طبقات موصلة متدرجة موزعة على طول العازل.

◂ الطبقات المعدنية والعازل بين كل طبقتين تشكّل سلسلة من المتسعات (Capacitors in Series). وهذا التصميم يُحقق هدفين رئيسيين: –

- توزيع الجهد بشكل متدرج على طول العازل بدل أن يتركز الجهد عند قاعدة الـ (Bushing) فقط، مما يمنع الانهيار العازل.
- تسهيل القياس والمراقبة.

Video

المواصفة القياسية الدولية IEC 60137

- **المشعات (Radiators)**

- زعانف أو أنابيب معدنية تثبت على جدران الخزان الرئيسي الجانبية.
- يمر عبرها الزيت الساخن ليبرد بالهواء الخارجي.
- تعمل على الحفاظ على درجة حرارة التشغيل ضمن الحدود المسموح بها.
- يختلف عددها حسب تصميم المحولة والمواصفات الحرارية المطلوب تحقيقها.
- أحياناً تكون مزودة بمراوح أو مضخات زيت حسب أنظمة التبريد المستخدمة.

- **مقياس مستوى الزيت (Oil Level Indicator)**

لمراقبة مستوى الزيت في خزان التمدد والتنبيه عند حدوث تسرب أو نقصان.

- **زيت المحولات**

هو زيت سائل يُستخدم داخل المحولات الكهربائية، وكذلك في مفاتيح المعدات الزيتية والمتسعات أحيانًا.

أهم وظائفه

١– **العزل الكهربائي** بين الملفات وأجزاء المحولة الداخلية.

٢– **التبريد** بنقل الحرارة من الملفات إلى جدران الخزان والمشعات الحرارية.

٣– **إخماد القوس الكهربائي** في أماكن الفصل أو التحميل الزائد.

٤– **حماية المعادن** من الأكسدة والرطوبة داخل الخزان.

يجب أن يكون الزيت نقيًا وخاليًا من الرطوبة والغازات لضمان عزل جيد وأداء حراري مستقر، وتُجرى عليه فحوصات دورية لفحص خصائصه مثل قوة العزل، ومحتوى الرطوبة، والحموضة، واللزوجة، بالإضافة إلى تحليل الغازات الذائبة (DGA – Dissolved Gas Analysis) فيه للكشف المبكر عن أي أعطال وشيكة.

Video

معالجة الزيت

يصنف زيت المحولات من حيث المعالجة بمواد مثبطات الأكسدة (Oxidation Inhibitors) الى نوعين: -

- الزيت المثبَّط (Inhibited Oil):
  - زيت معالَج بإضافة مواد مضادة أو مُثبِّطة للأكسدة (عادةً مركبات الفينول مثل DBPC أو BHT).
  - هذه الإضافات تُبطئ تفاعل تأكسد الزيت أي تفاعله مع الأوكسجين وتمنع تكوين الأحماض (التي تُتلف العزل الصلب للملفات)، والرواسب (Sludge).
  - بالتالي إطالة عمر الزيت التشغيلي بشكل كبير. خاصة في المحولات التي تعمل بدرجات حرارة عالية.
- الزيت غير المثبَّط (Uninhibited Oil):
  - زيت نقي بدون معالجة أو إضافات كيميائية مُثبِّطة للأكسدة.
  - يتميز بأنه أبسط في التركيب الكيميائي ولا يحتوي على إضافات قد تتحلل مع الزمن، يعتمد بالكامل على قدرته الذاتية على مقاومة الأكسدة، ويحتاج الى عمليات تجديد وتنقية دورية للزيت.
  - لكنّه يتأكسد أسرع عند التعرض للهواء والحرارة. وعمره التشغيلي أقصر.

أنواع زيوت المحولات

النوع	المصدر	المزايا	الإضافات	الملاحظات
زيت معدني (Mineral Oil)	من النفط الخام	أرخص وأكثر استخدامًا	متوفر بنوعين Inhibited,Uninhibited	قابل للاشتعال، تأثير بيئي متوسط
زيت اصطناعي (Synthetic Ester)	صناعي	مقاومة عالية للرطوبة، غير سام	Uninhibited، مقاوم طبيعي للأكسدة	كلفة أعلى
زيت طبيعي نباتي (Natural Ester)	من زيوت نباتية (زيت FR3)	صديق للبيئة، نقطة وميض عالية	Uninhibited، مقاوم طبيعي للأكسدة	كلفة أعلى، نقطة تجمد عالية، امتصاص للرطوبة
زيت GTL (Gas To Liquid)	من الغاز الطبيعي مثل (Shell Diala GTL)	نقاء عالي، استقرار كيميائي ممتاز	متوفر بنوعين Inhibited,Uninhibited	تقنية حديثة

المواصفة القياسية الدولية IEC 60296

Video

أنظمة تبريد محولات القدرة

تُصمم للحفاظ على درجة حرارة الزيت والملفات ضمن الحدود المسموح بها، وتُصنف حسب وسط العزل (زيت أو هواء) وطريقة الدوران (طبيعي أو إجباري). الأنظمة الأكثر شيوعاً هي: –

١- ONAN (Oil Natural Air Natural)

التبريد يعتمد على حركة الزيت الطبيعية داخل الخزان حيث يصعد الزيت الساخن للأعلى وينزل الزيت البارد للأسفل، ويبرد الزيت عبر المشعات بالهواء الطبيعي المحيط – وهذا النوع هو المستخدم في محطات التوزيع في العراق وفق مواصفة وزارة الكهرباء العراقية D-01.

٢- ONAF (Oil Natural Air Forced)

حركة الزيت طبيعية لكن التبريد بالهواء يتم بواسطة مراوح تركب على المشعات لزيادة معدل التبادل الحراري– وهذا النوع هو المستخدم في محطات النقل (132kV) في العراق.

٣- OFAF (Oil Forced Air Forced)

الزيت يُجبر على الدوران باستخدام مضخات، والهواء يُجبر على المرور عبر المشعات بواسطة مراوح، وهو نظام فعال للمحولات ذات السعات الكبيرة.

٤- ODAF (Oil Directed Air Forced)

الزيت يُدفع بمضخات ويوجه مباشرة إلى الملفات قبل مروره بالمشعات، ثم يبرد بالهواء القسري بواسطة مراوح. يعتبر نسخة محسّنة من النوع السابق.

٥- OFWF (Oil Forced Water Forced)

الزيت يُجبر على الدوران بمضخات ويُبرَّد بمبادل حراري مائي يمر فيه ماء بارد، ويُستخدم للمحولات ذات السعات الكبيرة جداً أو في محطات ذات ظروف خاصة.

٦- AN (Air Natural)

يُستخدم في المحولات الجافة الصغيرة، حيث يتم التبريد بالهواء الطبيعي مباشرة دون استخدام الزيت.

٧- AF (Air Forced)

أيضاً للمحولات الجافة لكن مع استخدام مراوح لزيادة التبريد.

أجهزة حماية محولة القدرة

إنّ محولة القدرة هي أهم عناصر المحطة لذا وجب اتخاذ كافة الاجراءات اللازمة لحمايتها وتجهيزها بمجموعة من أجهزة الحماية لضمان تشغيلها بصورة آمنة ومستقرة، حيث تعمل هذه الأجهزة على الكشف المبكر عن الأعطال الداخلية والخارجية مثل ارتفاع حرارة الزيت والملفات أو ارتفاع الضغط أو حدوث دائرة قصر داخلية، وتقوم إمّا بإصدار إنذار أو فصل المحولة لحمايتها من التلف. وتُعتبر هذه الأجهزة عنصرًا أساسيًا لإطالة عمر المحولة التشغيلي الى أقصى ما يمكن وتقليل مخاطر الأعطال الكبيرة للحفاظ على استمرارية التغذية الكهربائية، وتتضمن ما يلي: –

١– مرحل الغاز/ البوخلز (Buchholz Relay)

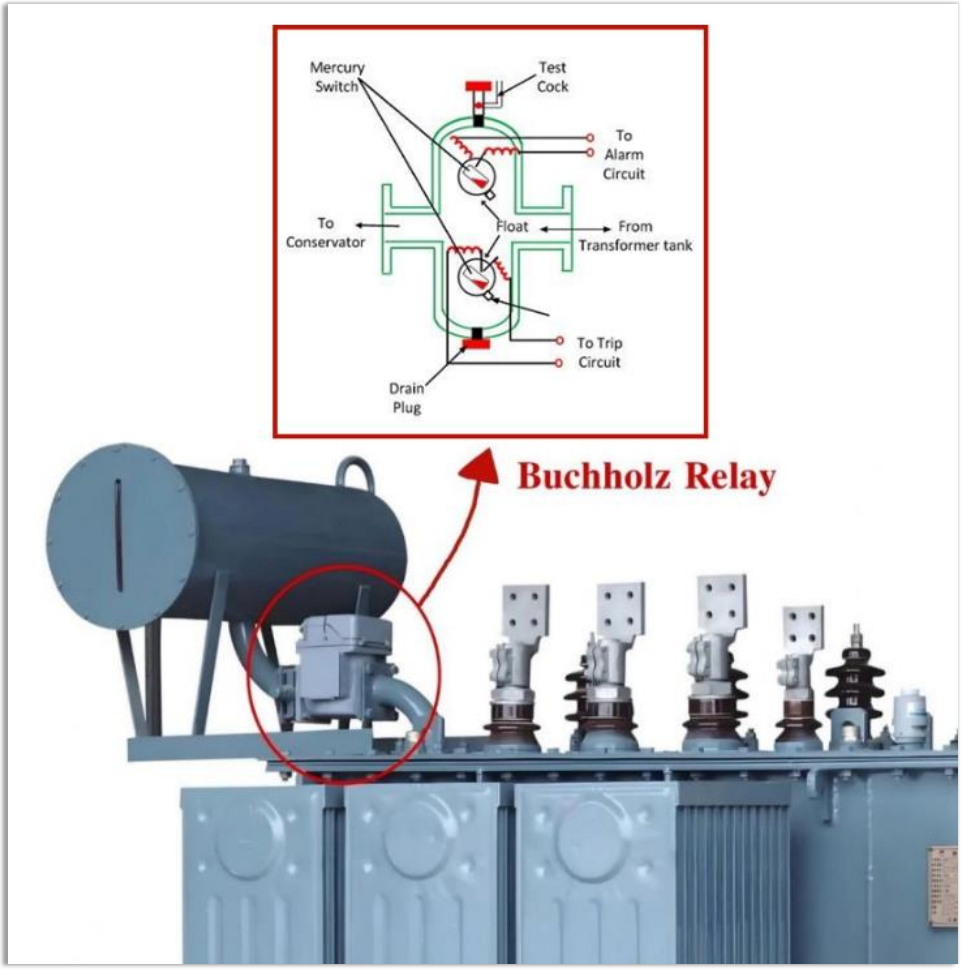
هو أحد أهم أجهزة الحماية في محولات القدرة المملوءة بالزيت، ويُستخدم للكشف المبكر عن الأعطال الداخلية.

- **مبدأ عمله**

  - عند حدوث عطل داخل المحولة مثل قصر بين لفات الملفات أو تسرب في العزل، ينتج غاز من تحلل الزيت ومادة العزل.
  - هذا الغاز يتجمع في غرفة المرحل (Buchholz Relay) المثبتة على الأنبوب الواصل بين الخزان الرئيسي وخزان التمدد (Conservator).
  - تجمع الغاز يؤدي إلى تحريك عوامة داخل المرحل، فتعطي إشارة إنذار (Alarm) في حال الأعطال الطفيفة.
  - عند الأعطال الشديدة أو تطور ضغط غازي مفاجئ، يتدفق الزيت بسرعة عبر المرحل فيحرك عوامة أخرى تغلق دارة فصل (Trip) لقطع المحولة فورًا.
  - عند انخفاض مستوى الزيت لوجود نضوح في المحولة، سيتم تشغيل مرحلة الإنذار (Alarm)، وإذا واصل مستوى الزيت الانخفاض ووصلت إلى قيمة أقل سيتم تشغيل مرحلة الفصل (Trip).

Video Video

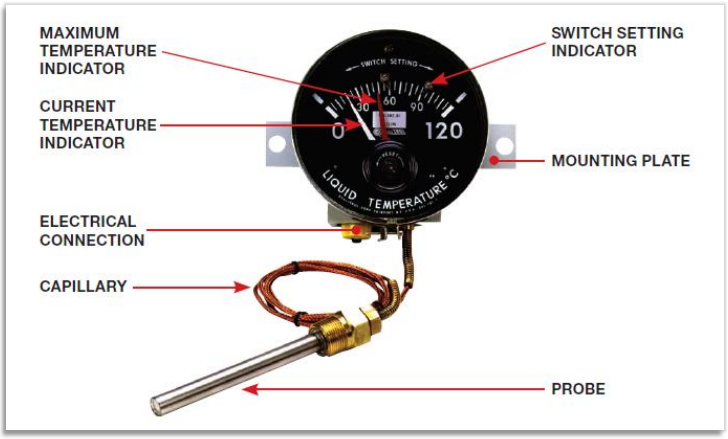
- **مكوناته الرئيسية**
  - جسم معدني أسطواني يحتوي على:
    - عوامتين :(Float switches) واحدة للإنذار والأخرى للفصل.
    - أنبوب زجاجي أو نافذة لملاحظة الغازات المتجمعة.
  - يثبت على أنبوب الزيت بين الخزان الرئيسي وخزان التمدد.
  - مكان مخصص لفحص الغازات المتجمعة في الجهاز للتأكد من حدوث هذا العطل.
- **مميزاته**
  - يكشف الأعطال في مراحلها المبكرة.
  - يعمل تلقائيًا وموثوق الأداء.

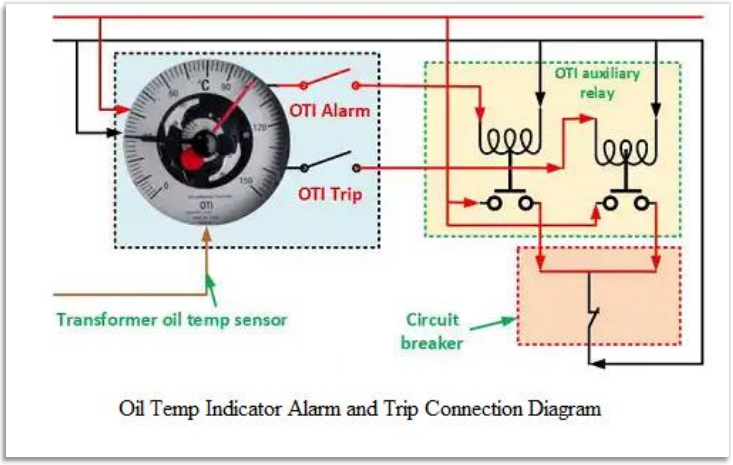


٢- حماية درجة حرارة الزيت (Oil Temperature - OTI)

وهي الحماية الخاصة بمتابعة حالة زيت المحولة ومدى كفاءته في أداء وظيفتي العزل والتبريد .فعندما تعمل المحولة ضمن حدود الحمل الطبيعي، تبقى درجة حرارة الزيت المقاسة بواسطة مقياس حراري (محرار) مثبت في الحيز المخصص لذلك عند أعلى الخزان، ضمن الحدود الطبيعية التي تضمن التشغيل الآمن.

- لكن عند زيادة الحمل، ترتفع درجة حرارة الزيت عن مستواها الطبيعي، مما يؤدي إلى تشغيل مرحلة الإنذار (Alarm) عند وصوله الى درجة حرارة معينة كي يتم اتخاذ الإجراءات اللازمة، مثل تخفيف الحمل أو فحص خواص الزيت.
- إذا استمرت الحرارة بالارتفاع ووصلت إلى قيمة أعلى سيتم تشغيل مرحلة الفصل (Trip).
- إنّ استمرار ارتفاع الحرارة من دون معالجة يسرّع من تدهور الخواص الكيميائية والكهربائية للزيت، فتزداد كثافته وتقل حركته، مما يضعف من كفاءة التبريد. ومع تكرار هذه الظروف التشغيلية وازدياد الأعطال، تتحلل المواد العازلة داخل الزيت أكثر فأكثر وتفقد خصائصها، الأمر الذي يؤدي إلى ارتفاع إضافي في درجات الحرارة وصولًا إلى مرحلة الفصل (Trip) إذا لم تتخذ الإجراءات اللازمة مع الإنذار (Alarm) في حينه.





Oil Temp Indicator Alarm and Trip Connection Diagram

٣- حماية درجة حرارة الملفات (Winding Temperature - WTI)

يُستخدم لقياس حرارة ملفات الجهد العالي أو الجهد الواطئ داخل المحولة، بهدف منع ارتفاع درجة الحرارة إلى حد قد يسبب تدهور العزل وتقليل العمر التشغيلي للمحولة أو تلفها وعطبها، ويتم ذلك من خلال مراقبة درجة حرارة الملفات.

لا يمكن قياس حرارة الملفات مباشرة لأنها داخل الزيت وداخل الملفات، لذلك فهذه الحماية تعمل وفق مبدأ تجريبي، حيث يعتمد على جهاز يُسمى مؤشر حرارة الملفات (Winding Temperature Indicator – WTI). هذا الجهاز يعمل بالاعتماد على محولة تيار (CT) تُركب على أحد الأطوار الثلاثة، حيث يُمرَّر التيار الخارج منها إلى ملف تسخين صغير (Heater Coil) موضوع بجانب حساس حراري مغمور في الزيت. وظيفة هذا الملف هي توليد تسخين إضافي يحاكي الحرارة التي تنتج فعلًا في ملفات المحولة نتيجة مرور التيار. وبذلك تصبح القراءة الحرارية ناتجة عن مجموع حرارة الزيت الفعلية مضافًا إليها الحرارة المحاكية للملفات، مما يجعل القيمة دائمًا أعلى من حرارة الزيت وحدها، وهو ما يعطي مؤشرًا حقيقيًا على حالة تحميل الملفات. هذا الجهاز يُستخدم للكشف عن حالات زيادة الحمل وكذلك تأثر الزيت بمرور الزمن. ويحتوي عادة على مرحلتين أساسيتين: -

- **مرحلة الإنذار (Alarm)**: تعمل عند وصول الحرارة إلى قيمة معينة، حيث يجب عندها اتخاذ إجراءات لتقليل الحمل وتفعيل أنظمة التبريد (كالمراوح) إن وُجدت، إضافةً إلى التأكد من حالة الزيت وخواصه وصلاحيته.
- **مرحلة الفصل (Trip)**: تعمل إذا استمرت الحرارة بالارتفاع ووصلت إلى مستوى خطير، وعندها يتم فصل المحولة عن الشبكة لحمايتها من التلف.

٤- الحماية من الضغط (Pressure Relief Valve)

وهو جهاز معدني دائري أو بيضوي يُركّب على غطاء المحولة العلوي (Top Cover). مزوّد بغطاء نابضي (Spring-loaded) أو غشاء (Diaphragm) ينفتح عند الضغط المحدد. يحتوي على (Contact Switch) يعطي إشارة إلى منظومة الحماية. مهمته تفريغ الضغط المتولد داخل المحولة بسبب تولد غازات مختلفة نتيجة تحلل الزيت ومكونات العوازل، تبدأ هذه الغازات بالبحث عن طريق للخروج. ومهمة هذه الحماية توفير طريق خروج آمن يفتح تلقائيًا لتفريغ الضغط الزائد داخل الخزان لمنع انفجاره وإلحاق ضرر بالمحولة وملفاتها، وعند عمل هذه الحماية يقوم (Contact Switch) بإرسال إشارة (Trip) إلى منظومة الحماية لفصل تغذية محولة القدرة. في جميع هذه الحمايات يجب ان يتم فحص المحولة بصورة دقيقة، ففي حال كون الفحوصات تؤشر الى الحالة الجيدة للمحولة وصلاحيتها للعمل فيتم اعادتها للعمل، أو تبديل المحولة في حال كون الفحوصات تؤشر الى عطب المحولة.

٥- حماية مغير الجهد (Gas Receiver Relay)

هو جهاز حماية خاص بمغير الجهد (Tap Changer) يكون على شكل وعاء (حاوية اسطوانية) يحتوي على العوامة والحساسات بداخله، يُركَّب عادة على الخزان الخاص بمغير الجهد (Tap Changer) معزولة عن الخزان الرئيسي للمحولة، وله حيز خاص في خزان الاحتياط لتزويده بالزيت عند وجود أي نقص أو نضوح، وكذلك ممر باتجاه واحد لخروج الغازات.

أثناء عملية رفع أو خفض الجهد يقوم الجزء المتحرك (Diverter Switch) بالتحويل بين نقاط التوصيل في مغير الجهد (Tap Changer) وحينها تتولد شرارة أو قوس كهربائي يؤدي إلى تحلل جزء من الزيت وانبعاث غازات. في الحالات الطبيعية تكون كمية الغازات صغيرة ومحدودة، لكن عند حدوث عطل داخلي مثل دائرة القصر أو انهيار في العزل فإن الغاز يتولد بكميات كبيرة وبسرعة ويتراكم إلى الأعلى فيجبر العوامة على النزول، فتصدر إشارة فصل للمحولة لحمايتها من التلف. وتسمى مرحلة الفصل (Trip Stage) وهي المرحلة الوحيدة التي يعمل بها هذا الجهاز عند العطل. هذا الجهاز يشبه في وظيفته مرحل الغاز/ البوخلز (Buchholz Relay) المستخدم مع خزان المحولة الرئيسي، لكنه مخصص لمغير الجهد (Tap Changer).

منظومة سكادا (Supervisory Control And Data Acquisition - SCADA)

من أهم ملحقات المعدات في المحطة، ذكرناها هنا في نهاية موضوع محطات التوزيع لأنها ترتبط بجميع المعدات (Switchgear) والملحقات ومحولة القدرة.

ما هي منظومة سكادا (SCADA)؟

هي اختصار لعبارة (Supervisory Control And Data Acquisition) أي "**التحكم الإشرافي وجمع البيانات**". وهي منظومة تستخدم للمراقبة الآنية (Real-Time) والتحكم عن بُعد في العمليات التشغيلية للمنشآت الصناعية ومحطات إنتاج ونقل وتوزيع الطاقة الكهربائية، إضافة إلى استخدامها في منصات النفط وخطوط الأنابيب النفطية والغازية ومحطات معالجة المياه وغيرها.

في المحطات الثانوية تُعد منظومة (SCADA) النظام المركزي الذي يقوم بمراقبة وتشغيل جميع معدات المحطة عن بُعد وبشكل آني. تعمل كحلقة وصل بين معدات المحطة ومحولة القدرة من جهة ومراكز السيطرة من جهة أخرى. تستقبل جميع إشارات القياس من أجهزة القياس والمستشعرات، كما تتكامل هذه المنظومة مع أنظمة الحماية من خلال الاتصال المباشر بمرحلات الحماية (Protection Relays) وتبادل المعلومات معها. تقوم بتسجيل الأحداث المهمة مثل حالات الإطفاء (Trip)، الإنذارات، وتغيّر حالات التشغيل للمفاتيح الكهربائية، وتوثيق دقيق للتسلسل الزمني للأحداث بما يسهم في تحليل الأعطال، وتحسين سرعة الاستجابة، وتقليل مدة الانقطاع، وزيادة الوثوقية. وتتيح لمراكز السيطرة إمكانية المراقبة الآنية وتلقي الإنذارات والتحكم عن بُعد بتنفيذ أوامر التشغيل/ التوصيل (Close) والفصل/الإطفاء (Open) للمفاتيح وقواطع الدورة (CB).

الأجزاء الرئيسية لمنظومة سكادا (SCADA)

١. أجهزة الاستشعار والمشغلات الميدانية

- أجهزة القياس والاستشعار: مهمتها جمع البيانات من معدات المحطة ومحولة القدرة، مثل (التيار، الجهد، التردد، القدرة، درجة الحرارة، مستويات البطاريات، ومؤشرات الصحة العامة للأجهزة).
- المشغلات: تُنفذ الأوامر الصادرة من النظام لتنفيذ إجراءات فيزيائية، مثل تنفيذ أوامر التشغيل/ التوصيل (Close) والإطفاء/الفصل (Open) للمفاتيح وقواطع الدورة (CB).

٢. وحدات التحكم الطرفية (Remote Terminal Unit - RTU)

وهي وحدات متصلة بأجهزة القياس والاستشعار والمشغلات في المعدات ومحولة القدرة، وتقوم بجمع بيانات القياسات وحالات المعدات وتجميعها، ثم تحويلها إلى بيانات رقمية وإرسالها إلى نظام الاشراف في منظومة (SCADA). كما تستلم أوامر التشغيل/ التوصيل (Close) والفصل/الإطفاء (Open) للمفاتيح وقواطع الدورة (CB) من مركز السيطرة عبر شبكة الاتصالات في منظومة (SCADA)، وينفذها بواسطة المشغلات في معدات المحطة. وبذلك تعمل وحدات (RTU) كحلقة وصل أساسية بين أجهزة المحطة الميدانية ونظام الإشراف المركزي.

٣. شبكة الاتصالات

شبكة تربط جميع مكونات المنظومة ببعضها، وتنقل البيانات بين وحدات التحكم الطرفية (RTU) ومراكز السيطرة. تعتمد على بروتوكولات اتصال قياسية (محددة في المواصفات القياسية أدناه)، وقد تكون الشبكة سلكية مثل (RS232 , RS485) أو ألياف ضوئية، أو لاسلكية حسب التصميم، ويمكن الربط عن طريق شبكة الإنترنيت.

٤. وحدة التحكم الرئيسية (Master Terminal Unit - MTU)

وهي بمثابة العقل المركزي لمنظومة (SCADA) في مركز السيطرة، حيث تستقبل البيانات من وحدات التحكم الطرفية (RTU) الموجودة في المحطات، وتقوم بمعالجتها وتخزينها وتُجري التحليلات اللازمة وتتخذ القرارات بناءً على البيانات الواردة، وتُرسل الأوامر للتحكم في المعدات.

٥. واجهة المستخدم الرسومية (Human Machine Interface - HMI)

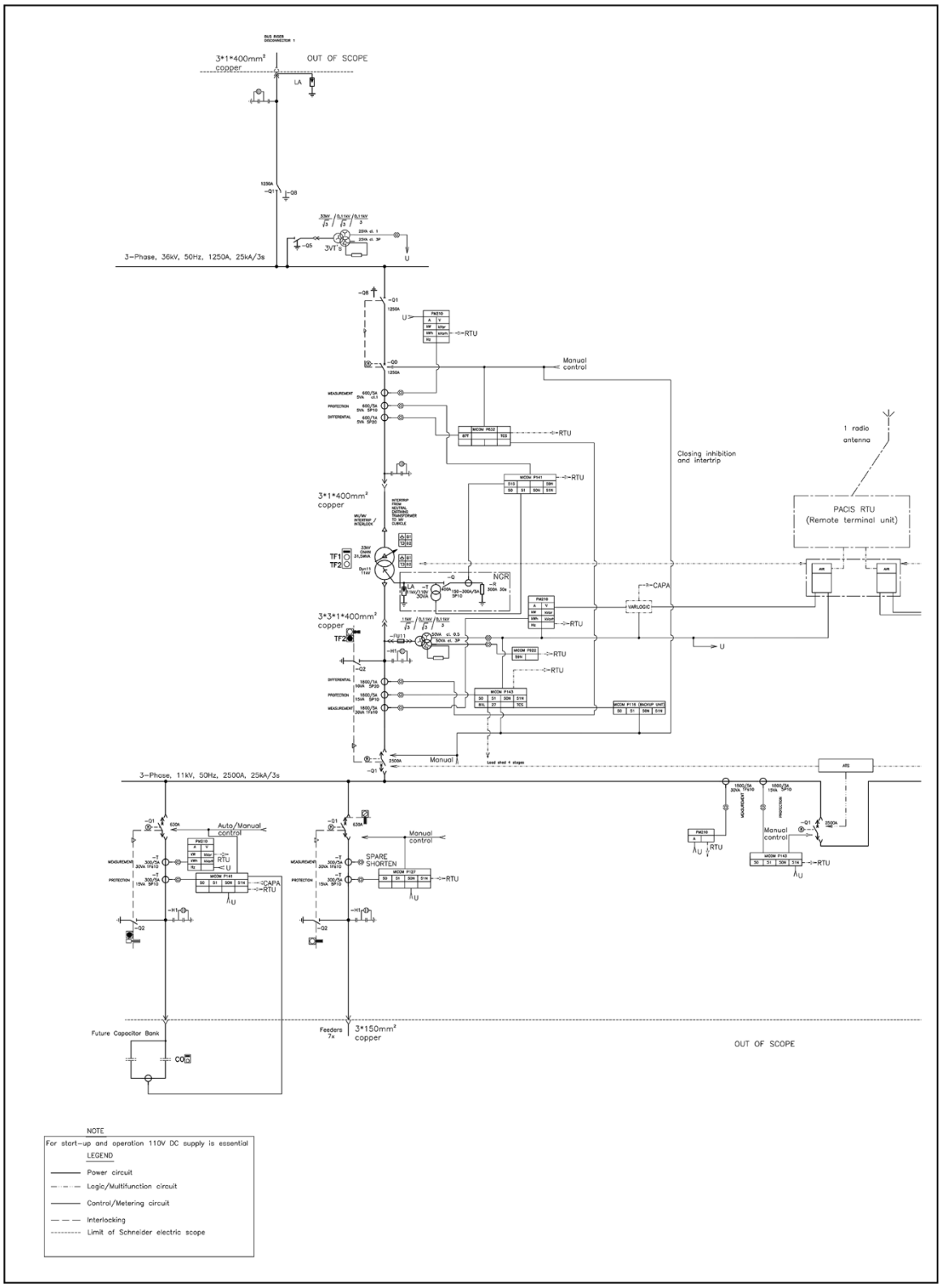
وهي واجهة التشغيل التي يتفاعل معها المشغل لمراقبة العمليات بصورة سهلة وسلسة. تعرض البيانات الآنية للمحطة بصورة واضحة، وتتيح للمشغل إصدار أوامر التشغيل أو الإطفاء والتحكم المباشر بالمحطة، تكون بمستويين: –

- مستوى مركزي: تقع في مركز السيطرة للمراقبة والتحكم الشامل إلى جانب الـ (MTU) المرتبطة بها مباشرةً.
- مستوى محلي: تقع داخل المحطات الثانوية الحديثة تكون خاصة بها، للتشغيل والصيانة المباشرة.

تُمثل منظومة (SCADA) أساسًا لعمليات أتمتة المحطات الثانوية، وتقلل من الأخطاء البشرية، وهي حجر الأساس لمنظومات المقاييس الذكية وشبكات التوزيع المؤتمتة وصولًا إلى تحقيق مفهوم الشبكة الذكية (Smart Grid).

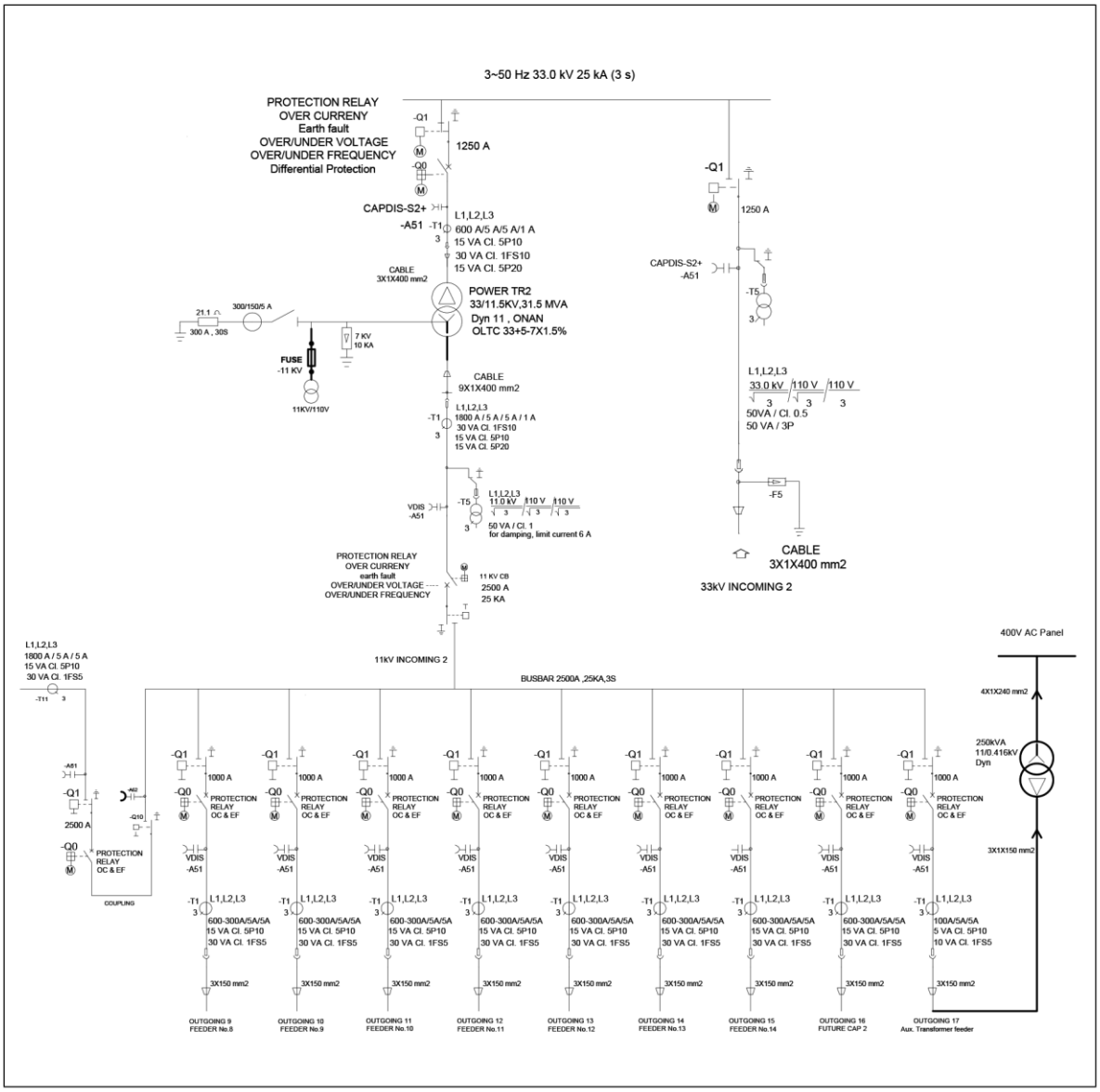
المواصفة القياسية الدولية IEC 61850

المواصفة القياسية الدولية IEC 60870-5-101/104



مخطط محولة واحدة ومقطع واحد أي نصف محطة

2x31.5 MVA AIS 33/11 kV Substation



مخطط محولة واحدة ومقطع واحد أي نصف محطة

2x31.5 MVA GIS 33/11 kV Substation

SIEMENS

محطات التوزيع الثانوية المتنقلة (Mobile Substation)

هي عبارة عن محطة توزيع ثانوية مدمجة بالكامل تقوم بوظيفة محطات النقل الثابتة نفسها، والفرق إنه يتم تثبيتها على عربة مقطورة (Trailer) لشاحنة (واحدة أو أكثر حسب السعة التصميمية) بحيث يمكن نقلها وتشغيلها بسرعة، وتعتبر من الحلول العملية والمرنة التي تلجأ إليها شركات الكهرباء لتأمين التغذية الكهربائية لأحمال كبيرة ظهرت بشكل مفاجئ أو لحل الاختناقات بشكل مؤقت لحين إكمال بناء محطات ثابتة.

سعات محطات التوزيع المتنقلة (33/11kV)

- **محطة متنقلة بسعة (1×31.5 MVA)**: تتكون من محولة قدرة واحدة سعتها **31.5 MVA**
- **محطة متنقلة بسعة (1×25 MVA)**: تتكون من محولة قدرة واحدة سعتها **25 MVA**
- **محطة متنقلة بسعة (1×16 MVA)**: تتكون من محولة قدرة واحدة سعتها **16 MVA**
- **محطة متنقلة بسعة (1×10 MVA)**: تتكون من محولة قدرة واحدة سعتها **10 MVA**
- **محطة متنقلة بسعة (1×5 MVA)**: تتكون من محولة قدرة واحدة سعتها **5 MVA**

أجزاءها ومكوناتها

تكون أجزاءها ومكوناتها مشابهة للمحطة الثابتة (المشيدة على الأرض) وهي أيضًا من جزئين: -

أولًا: المعدات (Switchgear)

التي تضمن تغذية الأحمال مع التحكم والحماية، وهي مقطع واحد (Section) لأن محولة القدرة واحدة، وتكون في غرف مشيدة على عربة مقطورة (Trailer) لشاحنة، بطريقة الهياكل المعدنية المغلفة بألواح عازلة حراريًا متضمنة كافة ملحقات ومتطلبات قاعة المعدات في مثيلاتها في المحطات الثابتة. وتنقسم الى قسمين: -

١- معدات جهد (33kV)

٢- مقطع معدات جهد (11kV)

٣- الملحقات

ثانيًا: محولة القدرة (33/11kV) (Power Transformer)

يكون بناء المحطة المتنقلة وتوزيع أجزاءها كالآتي: -

- محطة التوزيع المتنقلة (33/11kV) قد تُبنى على عربة واحدة أو على عربتين، ويعتمد ذلك سعة محولة القدرة (MVA)، وعدد مغذيات (11kV) الخارجة منها.
- محطة التوزيع المتنقلة تكون على عربة واحدة: سعة محولة القدرة (5-16 MVA).
- محطة التوزيع المتنقلة تكون على عربتين: سعة محولة القدرة (25 MVA) فما فوق.
  - العربة الأولى: تضم محولة القدرة والمحولة المساعدة ومعدات (33kV). ولوحة تحكم (RTCC)، ومقاومة التأريض (NER).
  - العربة الثانية: تضم معدات (11kV)، لوحة توزيع التيار المتناوب (AC) للجهد الواطئ، والبطاريات (110V)، وشاحنة البطاريات مع لوحة توزيع التيار المستمر (DC).
- قد يختلف التصميم حسب الشركة المصنعة وحسب طلب الجهة المستفيدة.

مميزات المحطات المتنقلة:

- المرونة العالية: يمكن نقلها وتشغيلها في أي موقع خلال ساعات قليلة.
- حلول طوارئ: تعويض محولات خارجة عن الخدمة بسبب عطل في المحطات الثابتة.
- لتأمين التغذية الكهربائية سريعًا لأحمال كبيرة ظهرت بشكل مفاجئ.
- دعم الأحمال الموسمية: مثل زيادة الطلب في الصيف أو عند المناسبات الكبرى.
- استخدامها في حل الاختناقات بشكل مؤقت لحين إكمال بناء محطة ثابتة.
- سعاتها محدودة مقارنة بالمحطات الثابتة الكبيرة.

المواصفة القياسية الدولية IEC 62271-202 للمحطات مسبقة الصنع

Video

محطات التوزيع المسبقة الصنع (E-House)

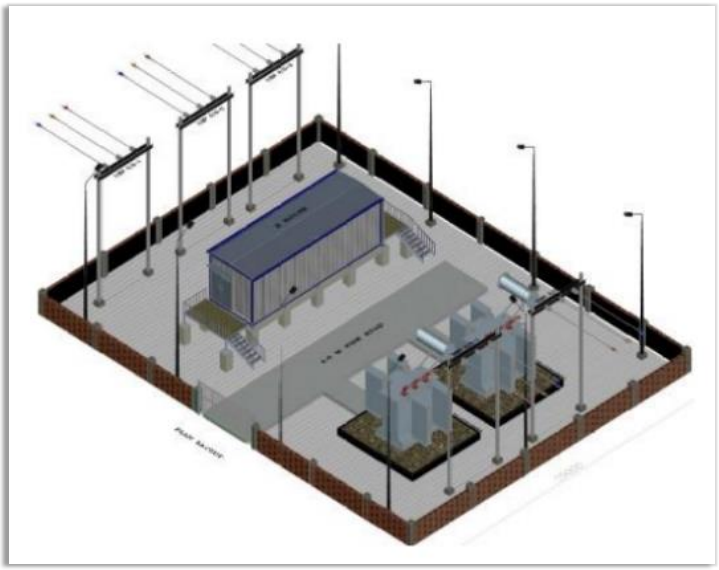
هو مبنى كهربائي مسبق الصنع (Prefabricated Substation)، يُصمّم خصيصًا ليحتوي على كل التجهيزات الكهربائية والإلكترونية الخاصة بالتحكم والتوزيع، يُصنع كاملًا في المصنع، يُفحص ويُختبر، ثم يكون جاهزًا للتشغيل بمجرد نقله إلى الموقع وربطه بالشبكة. يصنع من هيكل معدني معزول حراريًا، مقاوم للعوامل الجوية (مطر، رطوبة، غبار).

مميزاتها

- سريعة الإنجاز.
- سهلة النقل والتركيب.
- جاهزة للعمل في بيئات قاسية.

التطبيقات العملية

- غرف أزرار المواقع الصناعية والتعدين وحقول النفط والغاز والبنى التحتية والمواقع الخاصة.
- منظومات التحكم بالمتسعات لتحسين معامل القدرة في شبكات الطاقة الكهربائية.
- لوحات توزيع وتحكم مولدات الديزل.
- معدات تجميع وتحويل مولدات الرياح والطاقة الشمسية.
- محولات التوزيع الصندوقية (كيوسك)، تسمى في بعض البلدان (E-House).
- محطات التوزيع (33/11kV)، كما مستخدمة في العراق بكثرة في الآونة الأخيرة.
- محطات النقل (132/33kV).



في حالة محطات النقل والتوزيع يفضل استخدام أكثر من محولة قدرة ذات سعة صغيرة لضمان الوثوقية في حال عطل محولة القدرة أو خط التغذية فيمكن التغذية من الأخرى، وهو أفضل من التغذية من محولة واحدة ذات سعة كبيرة تنعدم فيها الوثوقية.

سعات محطات التوزيع المسبقة الصنع (E-House)

- **محطة بسعة (2×31.5 MVA)**: تتكون من محولتي قدرة، سعة المحولة الواحدة **31.5 MVA**
- **محطة بسعة (2×16 MVA)**: تتكون من محولتي قدرة، سعة المحولة الواحدة **16 MVA**
- **محطة بسعة (2×10 MVA)**: تتكون من محولتي قدرة، سعة المحولة الواحدة **10 MVA**
- **محطة بسعة (2×8 MVA)**: تتكون من محولتي قدرة، سعة المحولة الواحدة **8 MVA**
- **محطة بسعة (2×5 MVA)**: تتكون من محولتي قدرة، سعة المحولة الواحدة **5 MVA**
- **محطة بسعة (1×31.5 MVA)**: تتكون من محولة قدرة واحدة سعتها **31.5 MVA**، ما يُكافئ نصف محطة ثابتة. كما مستخدمة في العراق بكثرة في الآونة الأخيرة.

المحطات الوسطية (Intermediate Substation)

وهي محطات تقع في مركز الحمل لغرض تقسيم سعة المغذي جهد (33kV) الى مغذيات فرعية جهد (33kV) أيضًا لكنها ذات سعات أقل، تقوم بتوزيع تغذية جهد (33kV) الى المستهلكين بواسطة محولات توزيع (33/0.4kV) (ذات سعات مساوية لسعات محولات (11/0.4kV)) في المناطق ذات كثافة الحمل العالية. سميت بالمحطات الوسطية لأنها تتوسط بين محطات النقل (132/33kV) والمستهلكين بدون الحاجة لمحطات التوزيع (33/11kV) ومغذيات جهد (11kV).

تتكون المحطة الوسطية بنوعيها (AIS & GIS) من: -

- مصدري تغذية رئيسي جهد (33kV) عدد٢.
- مقطع معدات جهد ٣٣ ك.ف عدد٢، ويتألف من: -
  - خانة قاطع دورة (CB) رئيسي.
  - قضبان ناقلة (Busbars).
  - قواطع دورة (CB) للمغذيات الفرعية (عدد ٤ لكل مقطع).
  - قاطع رابط القضبان (Bus Section).
- الملحقات
  - المحولة المساعدة (Auxiliary Transformer 33/0.4 kV)
  - لوحة توزيع التيار المتناوب للجهد الواطئ (LV AC switchboard or Panel)
  - شاحنات البطاريات (Battery Chargers)
  - البطاريات (Batteries)
  - لوحة توزيع التيار المستمر (DC Distribution Panel)
  - منظومة (Remote Terminal Unit - RTU)

وكافة المعدات تحتوي على منظومة حماية. فهي مشابهة لمحطات التوزيع (33/11kV) والفرق الرئيسي بينهما هو عدم وجود محولتي قدرة (33/11kV) وعدد المغذيات الفرعية الخارجة هي ٨ مغذيات.

مواصفة وزارة الكهرباء العراقية D-01D, D-01E

محطات النقل الثانوية

محطات النقل الثانوية تعتبر جزء أساسي من منظومة نقل الطاقة الكهربائية، وموقعها يكون بين شبكات النقل الرئيسية (الجهد العالي) أو بينها وبين شبكات التوزيع (الجهد المتوسط). من ناحية التكامل مع شبكة التوزيع، محطة النقل الثانوية تمثل نقطة تقاطع بين خطوط النقل الطويلة ومراكز الحمل؛ تخرج منها خطوط نقل بجهود عالية أو فائقة – تصل الى حوالي (765 kV) أو جهد مستمر أكثر من (1000 kV-DC) بسعات تصل الى أكثر من (1500 MVA) – تنقل الطاقة إلى محطات نقل أخرى (ذات جهد أدنى) أو محطات التوزيع (ذات جهد متوسط) أو إلى مستهلكين صناعيين مباشرةً، وغالبًا ما تُجهّز المحطة بآليات للتوزيع الحلقي أو التشغيل المتوازي لزيادة الوثوقية من خلال إتاحة تبادل الحِمل بين الخطوط المختلفة وبالتالي تقليل زمن انقطاع الخدمة. نطاق الجهد العالي يبدأ من أعلى من (35kV) (حسب التصنيف الأوربي ومواصفات IEC) أو يبدأ من أعلى من (69kV) (حسب التصنيف الأمريكي). في العراق شبكات النقل تستخدم جهد (400kV) وجهد (132kV). ومستويين من محطات النقل هما: –

- **محطات النقل (400/132kV)**
- **محطات النقل (132/33kV)، وتلحق بها محطات (132/33/11kV) ومحطات (132/11kV)**

بشكل عام محطات النقل مشابهة لمحطات التوزيع بالوظيفة والتركيب إلا إنها أكبر في الجهد والسعة. المحولات والمعدات (من الصنف الأساسي (Primary Switchgear)) وتكون بحجم أكبر لأنها تحتاج الى عزل أكبر بسبب ارتفاع الجهد، وموصلات أكبر لأن سعاتها أكبر. وقد تحتاج الى تقنيات أكثر تطورًا في الجهود العالية.

سعات محطات النقل الثانوية

- **محطات النقل (400/132kV)**: خفض الجهد من 400kV إلى 132kV
  - **محطة بسعة (2×250 MVA)**: تتكون من محولتي قدرة، سعة المحولة الواحدة **250 MVA**
  - **محطة بسعة (3×250 MVA)**: تتكون من ٣ محولات قدرة، سعة المحولة الواحدة **250 MVA**
  - **محطة بسعة (4×250 MVA)**: تتكون من ٤ محولات قدرة، سعة المحولة الواحدة **250 MVA**
  - **محطة بسعة (5×250 MVA)**: تتكون من ٥ محولات قدرة، سعة المحولة الواحدة **250 MVA**
  - **محطة بسعة (6×250 MVA)**: تتكون من ٦ محولات قدرة، سعة المحولة الواحدة **250 MVA**
  - **محطة بسعة (4×500 MVA)**: تتكون من ٤ محولات قدرة، سعة المحولة الواحدة **500 MVA**
- **محطات النقل (132/33kV)**، **ومحطات (132/33/11kV)**: خفض الجهد من 132kV إلى 33kV أو الى 11kV.
  - **محطة بسعة (3×50 MVA)**: تتكون من ٣ محولات قدرة، سعة المحولة الواحدة **50 MVA**
  - **محطة بسعة (3×63 MVA)**: تتكون من ٣ محولات قدرة، سعة المحولة الواحدة **63 MVA**
  - **محطة بسعة (3×90 MVA)**: تتكون من ٣ محولات قدرة، سعة المحولة الواحدة **90 MVA**

هذه هي أنظمة الجهد والسعات الشائعة في شبكات نقل الطاقة في العراق، وقد تختلف عن الأنظمة المعتمدة في البلدان الأخرى.

Video

ملاحظات مهمة حول محولات القدرة ذات الجهد الفائق مثل (400/132kV)

- **النوع**: بعض هذه أنواع المحولات تكون محولات ذاتية (Auto Transformers)، وذلك بهدف: –
  - تقليل الحجم والوزن مقارنة بالمحولات التقليدية.
  - خفض الكلفة نظرًا لقلة كمية النحاس والحديد المستخدمين.
  - رفع الكفاءة نتيجة تقليل الخسائر الفنية.
- **التركيب**: غالبًا تكون هذه المحولات أحادية الطور (Single Phase Units)، أي أن كل طور يُركب في خزان منفصل (Separate Tank)، للأسباب التالية: –
  - تسهيل النقل والنصب في الموقع نظرًا لضخامة الحجم.
  - إمكانية استبدال طور واحد عند حدوث عطل دون الحاجة إلى إخراج المحولة بالكامل من الخدمة.
  - تقليل الوزن الفردي لكل وحدة بما يناسب قدرات الرافعات ووسائل النقل.
  - زيادة الوثوقية: ففي حال تعطل أحد الأطوار، يمكن في بعض الحالات تشغيل النظام على طورين فقط مؤقتًا بتشكيل (Open-Delta Operation) لتأمين جزء من الحمل والحفاظ على استمرارية التغذية إلى حين إصلاح أو استبدال وحدة الطور المعطوبة.

محطات النقل الثانوية المتنقلة (Mobile Substation)

هي عبارة عن محطة نقل (132/33kV)، أو (132/33/11kV) أو (132/11kV) مدمجة بالكامل تقوم بوظيفة محطات النقل الثابتة نفسها، والفرق إنه يتم تثبيتها على عربة مقطورة (Trailer) لشاحنة (واحدة أو أكثر حسب السعة التصميمية) بحيث يمكن نقلها وتشغيلها بسرعة، وتعتبر من الحلول العملية والمرنة التي تلجأ إليها شركات الكهرباء لتأمين التغذية الكهربائية لأحمال كبيرة ظهرت بشكل مفاجئ أو لحل الاختناقات بشكل مؤقت لحين إكمال بناء محطات ثابتة. فهي من هذه الناحية مشابهة لمحطات التوزيع المتنقلة الي ذكرناها سابقًا.

سعات محطات النقل المتنقلة

- **محطة متنقلة بسعة (1×63 MVA)**: تتكون من محولة قدرة واحدة سعتها **63 MVA**
- **محطة متنقلة بسعة (1×45 MVA)**: تتكون من محولة قدرة واحدة سعتها **45 MVA**
- **محطة متنقلة بسعة (1×31.5 MVA)**: تتكون من محولة قدرة واحدة سعتها **31.5 MVA**
- **محطة متنقلة بسعة (1×25 MVA)**: تتكون من محولة قدرة واحدة سعتها **25 MVA**
- **محطة متنقلة بسعة (1×15 MVA)**: تتكون من محولة قدرة واحدة سعتها **15 MVA**

أجزاءها ومكوناتها

تكون أجزاءها ومكوناتها مشابهة للمحطة الثابتة (المشيدة على الأرض) وهي أيضًا تتكون من المعدات ومحولة القدرة والملحقات. تكون موزعة كالآتي: –

- محطة النقل المتنقلة قد تُبنى على عربة واحدة أو على عربتين، ويعتمد ذلك سعة محولة القدرة (MVA)، وعدد مغذيات (33kV) أو (11kV) الخارجة منها.

لم نذكر التفاصيل لأن التصاميم تختلف بشكل كبير حسب الشركات المصنعة وحسب طلب الجهة المستفيدة.

Video

تم بعونه تعالى وحوله وقوته