جمهورية العراق
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
الجامعة التقنية الجنوبية
المعهد التقني / الشطره
قسم الكهرباء/ فرع الشبكات

الضغط العالي

المرحلة الثانية

مدرس المادة::المهندس عماد علاو ي محسن

٢٠١٨/ ٢٠١٩

تمهيد:

نظرا للطلب المتزايد على استخدام الطاقة الكهربائية في البلدان المختلفة فقد اصبح انتاج كميات كبيرة منها ضرورة ملحة.ولنقل هذه الكميات الكبيرة من القدرة الكهربائية عبر خطوط النقل الكهربائية فقد تم الاتجاه الى نقلها عبر خطوط نقل ذات جهود فائقة وذلك لعدة مزايا ،منها

- تحقيق كفاءة نقل عالية

- تقليل التكاليف الاقتصادية لخط النقل

- الحصول على تنظيم جيد للجهد في جميع اجزاء الخط بتقليل المفاقيد

وفي بعض البلدان وصلت الجهود التي تنقل عبر خطوط النقل الى قيم تتراوح مابين (765 - 11100 KV)

ونظرا لارتباط متطلبات العزل للاجهزة والمعدات والعوازل الكهربائية التي تعمل عند جهود عالية بمستوى الجهد . فقد بات من الضروري الاهتمام بتقنية الجهد العالي والتي استخدمت تطبيقاتها في العديد من المجالات منها :

- معدات اشعة X للتطبيقات الصناعية والطبية والتي تتطلب جهود عالية تصل في بعض الاحيان الى 100KV

- تقليل التلوث البيئي عن طريق المركبات الكهروستاتيكية والتي توفر ايضا بيئة خالية من الشوائب العالقة في الهواء والضرورية للعديد من الصناعات مثل صناعة الرقائق الالكترونية .

- معامل ابحاث الجهد العالي ويتم انتاج جهود عالية مترددة ومستمرة ونبضية تصل الى 6MV او اكثر وذلك لاغراض اختبارات العزل للاجهزة والمعدات والعوازل الكهربائية لدراسة مدى تحملها للظروف التشغيلية قبل تركيبها في موقع العمل ، او لتطوير عوازل عوازل جديدة محسنة ومقاومة للظروف البيئية ، او بغرض معرفة مدى تطابقا مع المواصفات القياسية ، حيث تتطلب المعدات التي تعمل عند الجهود العالي تصميما دقيقا لعزلها الكهربائي .

وان دراسة الضغط العالي تنصب على انواع الجهود العالية وطرق توليدها والاجهزة المستخدمة لقياسها ، وعلى تاثير الجهود العالية على الاجهزة والمعدات الكهربائية ، ومعرفة انواع العوازل ومدى تاثرها اوانهيارها نتيجة استخدام الجهود العالية ، بالاضافة الى معرفة الجهود العالية المتواجدة في الطبيعة مثل الصواعق او ظاهرة البرق ، وكذلك انصب الجهد على الدراسة في المختبرات من اجل الحصول على نتائج افضل في تحسين متطلبات العزل الكهربائي للاجهزة والمعدات الكهربائية ، بالاضافة استخدام معدات الوقاية من الجهود العالية مثل مانعات الصواعق .

مقدمة

تستعمل معدات اختبار الفولتية في :

١- مختبرات البحوث.

٢- مختبرات الفحص (الاختبار) الروتيني.

يتغير العمل المنجز في مختبرات البحوث الى حد بعيد من مؤسسة الى اخرى وان نوع العدد المستعملة تتغير وفقا لذلك .وتحتوي مختبرات البحوث على اجهزة لتوليد وقياس الجهود العالية .

يتعلق الفحص الروتيني باختبار المعدات مثل

المحولات (Transformer)

مجموعة المفاتيح الكهربائية (Switchgear)

القابلوات (Cables)

.....الخ

وان كفاءة الناتج من اهم العوامل الاساسية . تستعمل معدات الجهود العالية لدراسة سلوك العزل تحت كل الظروف التي من المحتمل إن تواجهها الاجهزة.

تجري الاختبارات ايضا بجهود اعلى من الفولتية التشغيلية الاعتيادية (working voltage) للحصول على عامل الامان على طول ظروف التشغيل ولضمان إن تكون فولتية التشغيل عالية جدا ولا واطئة جدا .

توليد الجهود العالية

ولا بد لاي مختبر جهد عال إن يحتوي على اجهزة لتوليدة الجهود العالية التاية :

١- الجهود العالية المترددة Alternating High Voltage

٢- الجهود العالية المستمرة Direct High Voltage

٣- الجهود العالية النضية Impluse High Voltage

توليد الجهد العالي المتردد

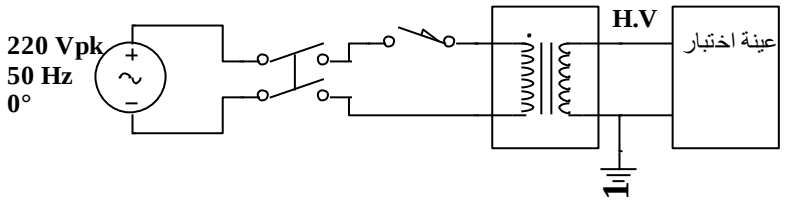
قد اعتمدت طريقتان لتوليد الجهد العالي المتردد هما :
- محولات الجهد العالي
- دوائر الرنين

اولا: توليد الجهد العالي المتردد باستخدام محولات الجهد

من الممكن توليد الجهد العالي المتردد باستخدام محولات الجهد ، وهي محولات رفع تختلف عن محولات القدرة بزيادة عزل الملفات للتتحمل الاجهادات الناشئة عن القصر في حالة انهيار العينة تحت الاختبار . ويمكن توليد الجهد العالي بترتيب المحولات بطريقتين هما :

١- توليد الجهد العالي باستخدام محول مفرد Single Unit Transformer

تستخدم محولات مفردة لتوليد الجهد العالي المتردد لغرض اختبار الاجهزة والعوازل الكهربائية لضمان تحملها للاجهادات التي تنشأ عن الجهود التي تم تركيب تلك الاجهزة والعوازل للعمل عليها ، والشكل التالي يبين دائرة محول مفرد



يتم تغذية المحول عن طريق مصدر جهد متردد متغير(٠ – ٢٢٠ V) وبتردد ٥٠ HZ مما يؤدي الى امكانية التحكم في مقدار الفولتيةالعالية الخارجة من الملف الثانوي تبعا لفوتية المصدر والداخلة الى الملف الابتدائي .

٢- توليد الجهد العالي المتردد باستخدام عدة محولات على التعاقب Multi Transformer

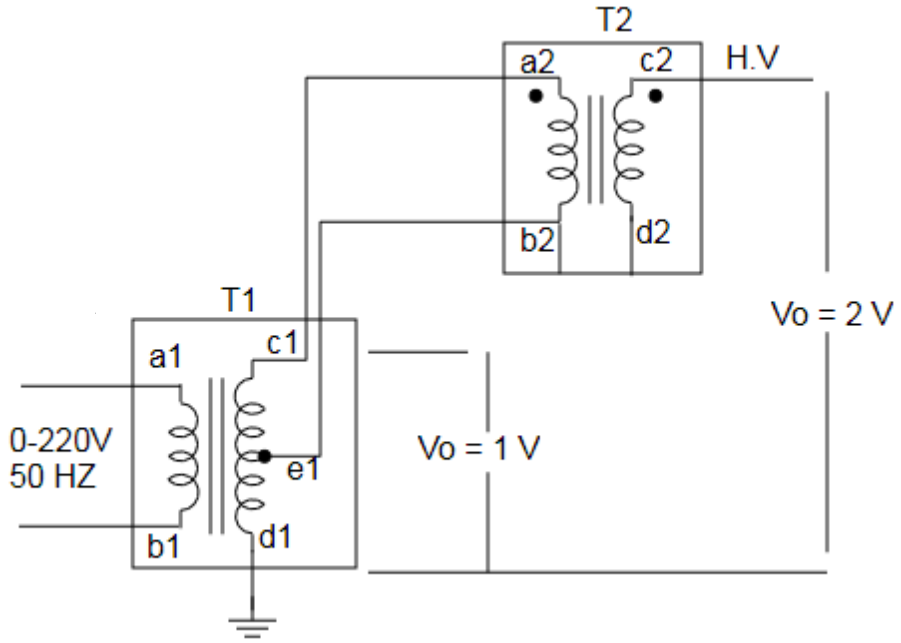
وكما سبق ذكره بأن مستوى العزل لملفات هذه المحولات يختلف عن محولات القدرة بحيث تتحمل الاجهادات القاسية مثل الفولتيات الزائدة الزائلة نتيجة للومضة العابرة الناتجة عن انهيار العوازل الكهربائية للاجهزة اثناء الاختبار ، وحيث انه سبق ذكر بان جهد الاختبار عادة ما يكون اعلى من الجهد الذي تعمل عنده الاجهزة والعوازل لذلك فان مستوى العزل المطلوب للمحولات المفردة عادة ما يكون عال ومكلف مما يؤدي الى تصنيع محولات كبيرة الحجم وغالية الثمن وصعبة النقل والتركيب .

إن هذه الصعوبات يمكن التغلب عليها باستخدام عدة محولات تصنع بحجم اصغر وتكلفة اقل ويمكن توصيلها على التعاقب لنحصل على جهد يتناسب مع عدد المراحل او الوحدات .

يبين الشكل التالي عدة محولات مربوطة على التوالي حيث يربط مصدر الفولتية الواطئة الى اطراف الملف الابتدائي b_1a_1 من المحولة الاولى T_1 الموصلة من خلال البدن الى الارضي . وتوصل اطراف الملف الابتدائي من المحولة الثانية T_2 الى النقطتان c_1e_1 ، الطرف d_2 من الملف الثانوي للمحولة الثانية يربط الى بدنها .

يجب عزل المحولة الثانية عن الارض بعازل تتناسب شدة عزله مع فرق الجهد بين كل وحدة والارض ، وحيث إن جميع الوحدات متماثلة لذلك فان الجهد الخارج من المحولات بعد توصيلها يساوي حاصل ضرب عدد المراحل n في مقدار الجهد الخارج من كل مرحلة اي

$$Vo = n\ V$$



وحيث إن الاطار المعدني لكل محولة هو نقطة التوصيل للتوصيل مع بقية المحولات ، لذلك فانه يكون معرضا لجهد عال مما يؤدي الى تشكيل خطورة على المستخدم ولتحقيق متطلبات السلامة فانه يجب عزل المحول داخل منطقة الاختبار او عزل الدائرة بالكامل عن المستخدم.

مثال : دائرة توليد جهد عال متردد تحتوي على اربع محولات وكل محولة تجهز 100KV ، بحيث وصلت المحولات على التعاقب فما هي الفولتية الخارجة.

الجواب :

$$Vo = n\ V$$

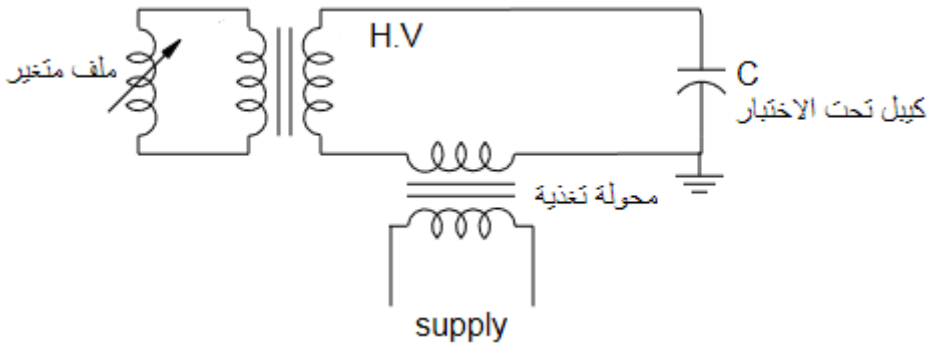
$$= 4 \times 100 \times 10^3$$

$$= 400\ KV.$$

ثانيا: توليد الجهد العالي المتردد باستخدام دوائر الرنين

قد تنشأ حالة الرنين Resonant عند الاختبار بدوائر الجهد العالي العادية - كما في دائرة توليد الجهد العالي المتردد باستخدام محولات الجهد – وعندها قد يؤدي ذلك الى تدمير وحدات الاختبار المختلفة .

وقد امكن استخدام هذه الظاهرة السيئة بالنسبة لنظام القدرة ايجابيا في توليد جهد عال متردد خال من الرنين عند التوافيق الاخرى . الشكل التالي يبين لنا دائرة مبسطة لرنين التوالي حيث يتضح فيها بان العنصر المراد اختباره هو عنصر سعوي وعادة ما يكون كابلا .



وحيث إن الرنين المطلوب احداثه يجب إن يكون عند التردد الطبيعي والذي يحدث عندما تتساوى الممانعة الحثية X_L مع الممانعة السعوية X_C . لذلك يمكن الحصول على رنين بمعايرة الملف المتغير ليحدث لنا الممانعة الحثية تتساوى مع الممانعة السعوية عند تردد معين والذي سيكون هو التردد الطبيعي .
ويمكن الحصول على التردد الطبيعي الذي يحدث عنده الرنين كاتالي:

إن الشرط لحصول الرنين هو إن تتساوى الممانعة الحثية مع الممانعة السعوية

$X_L = X_C$

$\omega_L = \frac{1}{\omega_C}$

$2\pi F_O L = 1/ 2\pi F_O C$

$(2\pi F_O)^2 LC = 1$

$2\pi F_O = 1/\sqrt{L\,C}$

- $F_O = 1/2\pi\sqrt{L\,C}$

ومن مميزات استخدام دوائر الرنين لتوليد الجهد العالي ما يلي :

١- تحسين شكل موجة الجهد العالي المتردد بالتخلص من الرنين غير المرغوب فيه ، وتوهين التوافيق المصاحبة لجهد المصدر والناتجة ايضا عن دوائر المغنطة في محول الجهد العالي . وسينعكس ذلك ايجابيا على دقة قياس الجهد المتولد بهذه الطريقة خاصة عند استعمال قنطرة شيرنق لقياس التفريغات الجزئية . وتتراوح قيمة الجهد المتولد بهذه الطريقة نسبة للفولتية الاساسية مابين ٢٠ – ٣٠ مرة .

٢- إن القدرة المطلوبة من المصدر لتوليد جهد عال اقل من السعة الظاهرية KVA في دائرة الاختبار الرئيسية . وتمثل حوالي 5% من السسعة الاساسية عند معامل قدرة يساوي واحد .

٣- عندما يحدث انهيار كهربائي لعينة تحت الاختبار مثل الكابلات ، فان اطراف الدائرة الكهربائية يحدث لها قصر . عند ذلك يتلاشى الرنين بسبب فقد الموالفة بين الممانعة الحثية والممانعة السعوية وبالتاي يهبط الجهد الى القيمة المنخفضة له والتي كانت قبل الموالفة . مما يوفر حماية لدائرة الاختبار من الاجهادات التي تنشأ عند حدوث قصر وانخفاض الجهد الى الصفر بين اقطاب الاختبار .

٤- حازت هذه الطريقة على موافقة جماعية من مصنعي الكابلات واصبحت جزءا من مواصفات الهيئة الدولية للمقاييس IEC وغيرها ، نظرا لانها امنة واقتصادية .

٥- يمكن استخدام هذه الطريقة مع المحولات على التعاقب والمكونة من عدة وحدات لتوليد الجهد العالي .

- واما بالنسبة لعيوبها ف العيب الاساسي هو إنه يجب إن يتحمل الملف المتغير المستخدم للموالفة كامل الجهد والتيار الذين يتولدان بعد الموالفة وحدوث الرنين . ولذلك يمكن الموالفة وتغيير قيمة الحث بمعايرة ثغرة هوائية في القلب الحديدي للملف المتغير وتغيير مسافتها ميكانيكيا .

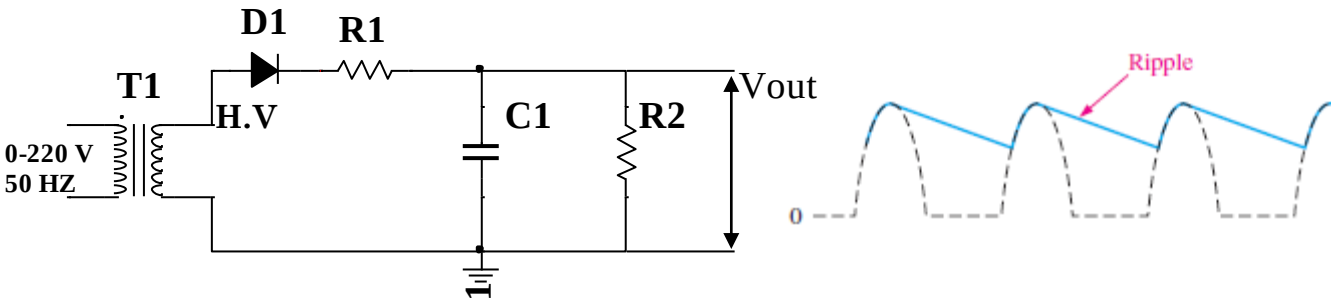
توليد الجهد العالي المستمر

تستعمل فولتيات التيار المستمر بصورة رئيسية في
- انظمة نقل الطاقة الكهربائية HVDC
- مختبرات البحث العلمي لاختبار العناصر الكهربائية ذات السعات العالية مثل القابلوات والتي تأخذ تيارات كبيرة اذا ما اختبرت بفولتيات التيار المتناوب .

ويوجد طريقتان لتوليد الجهد العالي المستمر هما:
١- باستخدام دوائر التوحيد Rectification
٢- باستخدام المولد الكهروستاتيكي Electostatic Generator

اولا: توليد الجهد العالي المستمر باستخدام دوائر التوحيد
يمكن الحصول على جهد عال مستمر بتحويل الجهد العالي المتردد وذلك عن طريق الموحدات السليكونية .
وابسط انواع الموحدات هو الدايود Diode من النوع Si . وبما إن قيمة الجهد العكسي العظمى Peak Revers Voltage لها محدود الى اقل من ٢٥٠٠ فولت ، لذلك فانه يمكن الحصول على موحدات لها جهد مقنن يصل الى عدة مئات من الكيلوفولتات بتوصيل عدة دايودات على التوالي ووضعا في اطار مملوء بمادة عازلة .
وتنقسم دوائر التوحيد من حيث العمل الى ثلاثة اقسام هي : دوائر توحيد نصف موجة ، دوائر توحيد موجة كاملة ودوائر مضاعفة الجهود . ويعتمد هذا التقسيم على عدد الموحدات وطريقة توصيلها في الدوائر المختلفة كما سياتي :

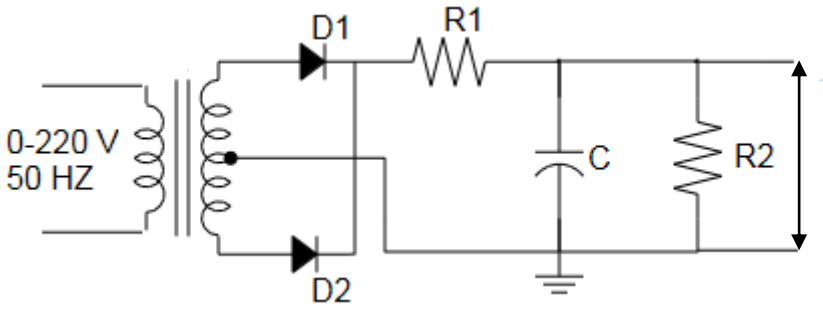
أ- دائرة توحيد نصف موجة Half-Wave Rectification
تستخدم دوائر توحيد نصف الموجة بصورة واسعة خاصة في مجال الالكترونيات لتوليد جهد مستمر وذلك بتوحيد الجهد المتردد . وتستخدم نفس المبادئ لتوليد الجهد العالي المستمر بتوحيد الجهد العالي المتردد .

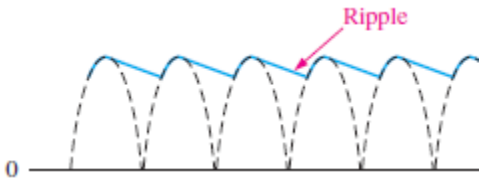


هذا الشكل يمثل دائرة توحيد نصف موجة حيث يرتبط الدايود بمحول الجهد العالي من خلال طرفه الموجب ، حيث يسمح الدايود بمرور نصف الموجة الموجب دون النصف السالب ، وعند نصف الموجة الموجب يكون الدايود في حالة انحياز امامي ، مما يجعل المكثف يشحن حتى يصل الى القيمة العظمى للجهد Vmax .
اما في النصف السالب فيكون الدايود في حالة الانحياز العكسي ويبقى الجهد عبر المكثف كما هو بينما يرتفع الجهد عبر الملف الثانوي للمحولة الى 2Vmax . لذلك لابد إن يأخذ في الاعتبار إن يتحمل الدايود عند تصميمه 2Vmax .
توفر المقاومة R1 حماية للموحد من زيادة التيار عند انهيار عينة الاختبار وحدوث قصر .

ب- دائرة توحيد موجة كاملة Full-Wave Rectification

في دائرة توحيد نصف موجة يتم الاستفادة من النصف الموجب للموجة دون النصف السالب لذلك يمكن الاستفادة من الجهد كاملا باستخدام دائرة موحد موجة كاملة لينتج لنا جهد عال مستمرا ذو تنظيم افضل وتشوهات اقل .





في الدائرة اعلاه تم توصيل موحدين (دايودين) الى المحولة ذات التفريعة الوسطية من الجهة الموجبة للدايود .

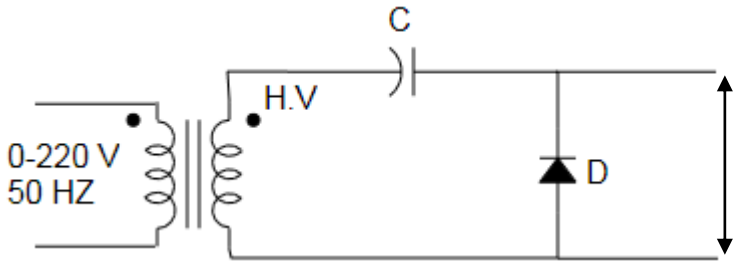
بينما ربطت بقية العناصر مابين الطرف السالب للدايودات والتفريعة الوسطية للمحولة . في الجزء الموجب من الموجة يكون D1 في حالة انحياز امامي وD2 في حالة انحياز عكسي وبالتالي يقوم المكثف بالشحن حتى يصل الى Vmax من قيمة الجهد العالي . وفي الجزء السالب من الموجة يكون D2 في حالة انحياز امامي وD1 في حالة انحياز عكسي وبالتالي يقوم المكثف بالشحن حتى يصل الى Vmax من قيمة الجهد العالي . وكما نلاحظ بان قطبية الجهد عبر المكثف تبقى موجبة دائما ، وذلك تبعا لطريقة توصيل D2 .
لابد إن يأخذ في الاعتبار إن يتحمل الدايود عند تصميمه 2Vmax .

ج- دوائر مضاعفة الجهود Voltage Multiplier Circuits

يمكن الحصول على ضعف الجهد بعمل تعديلات بسيطة على الدوائر السابقة ، مع الاخذ في الاعتبار القيم المقننة للجهود التي تتحملها عناصر الدائرة ، مثل المكثفات والدايودات .
وفيما يلي استعراض اشهر انواع الدوائر المضاعفة للجهد

ج-١- دائرة فيلارد Vilard

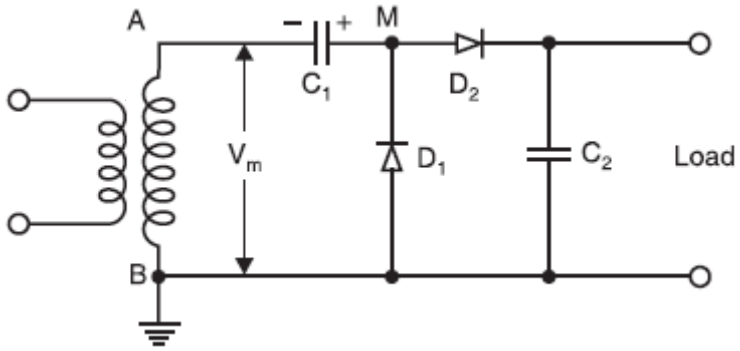
تعتبر دائرة فيلارد من ابسط الدوائر المضاعفة للجهد . والشكل التالي يبين الدائرة وطريقة عملها



عندما يكون جهد المصدر (الجهد العالي المتردد) في النصف الثاني من الموجة (سالب) ، فان الموحد D يكون في حالة انحياز وبذلك يقفل الدائرة بحيث يشحن المكثف الى القيمة العظمى لجهد المصدر Vmax .وفي النصف الموجب يكون الموحد في حالة انحياز عكسي ويصبح الجهد الخارج من الدائرة يساوي ضعف الجهد (جهد المصدر بالاضافة الى جهد المكثف C).

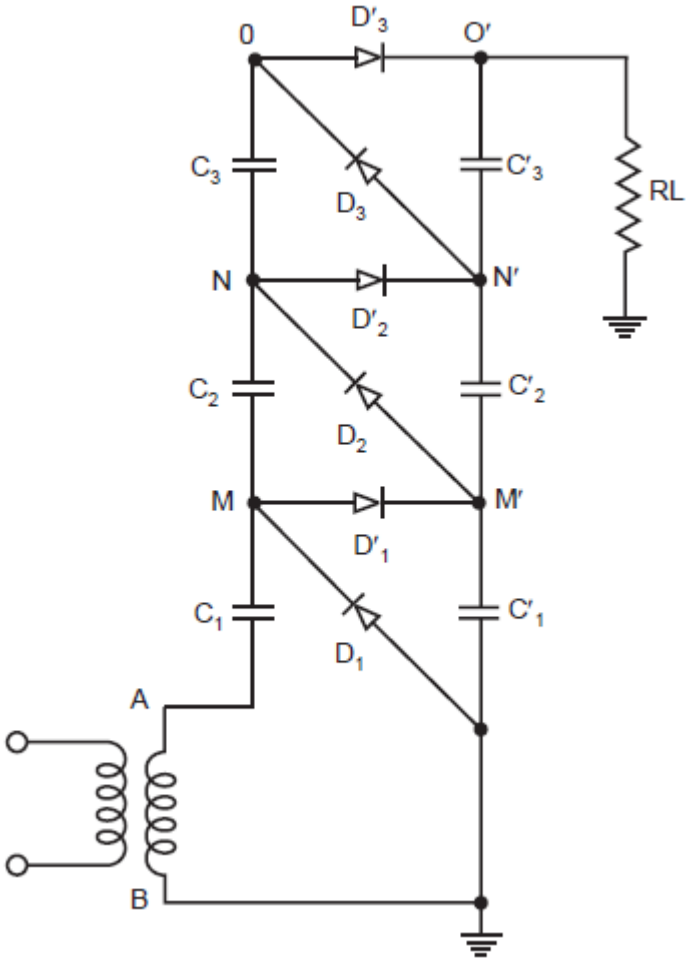
ج-٢- دائرة كوكروفت- والتون Cockroft-Walton

تعتبر دائرة كوكروفت- والتون تطوير لدائرة قراياخر Greinacher الذي طور دائرة فيلارد السابقة باضافة موحد موحد ومكثف كما في الشكل التالي



وتتميز هذه الدائرة باضافة عنصر التنعيم الذي هو عبارة عن المكثف C2 ، حيث يتعذر في الدائرة السابقة تنعيم الجهد الخارج .وتعمل الدائرة عندما يكون الجهد عند النقطة A سالب ،اي في النصف السالب من موجة جهد المصدر العالي المتردد حيث يوصل D1 ويشحن المكثف C1 حتى يصل الى القيمة العظمى Vmax .وفي النصف الموجب من الموجة ،اي عندما يكون الجهد عند النقطة A موجب ،فان الجهد عند النقطة M يساوي صعف القيمة العظمى للجهد اي 2Vmax (جهد المصدر بالاضافة الى جهد المكثف C1) ويكون الموحد D1 في حالة انحياز عكسي ، بينما يكون الموحد D2 في حالة انحياز امامي عندها يشحن المكثف C2 بضعف القيمة العظمى 2Vmax . ويتم اختيار المكثف C2 بحيث تقلل تشوهات جهد الخرج الى اقل من 50% .

- يبين الشكل التالي دائرة كوكروفت – والتون المتعدد المراحل لتوليداضعاف الجهد العالي المستمرالذي يمكن الحصول عليه من الدائرة السابقة . ونحصل على الخرج المطلوب بتوصيل عدة مراحل من الموحدات والمكثفات مع الدائرة الاساسية لقراياخر .



عندما يكون الجهد عند النقطة A سالب اي في النصف السالب من الموجة يكون D1 موصلا عندها يشحن C1 حتى يصل الى القيمة العظمى من جهد المصدر Vmax ، وفي النصف الموجب من الموجة اي تكون النقطة A موجبة ،فان الجهد عند النقطة M سيكون ضعف القيمة العظمى لجهد المصدر 2Vmax ،نظرا لان D1 سيكون في حالة انحياز عكسي بينما D'1 سيكون في حالة انحياز امامي وبالتالي يشحن المكثف C'1 الى ان يصل 2Vmax . ويكون الجهد عند النقطة M' يساوي 2Vmax حيث يمثل جهد المرحلة الاولى.

يكون الجهد المسلط على المكثف C2 عبرD2 يساوي 2Vmax وبالتالي يشحن المكثف C2 الى جهد يصل الى 2Vmax ، وعندما يكون جهد النقطة A موجب يكون D'2 في حالة احياز امامي عند ذلك يشحن المكثف C'2 حتى يصل الى 2Vmax . ويكون جهد النقطة 'N يساوي 4Vmax (مجموع جهد C'1 و C'2) .
وهكذا يسمر الحال الى بقية المراحل.
وحيث إن الدائرة تتابعية فاننا نجد إن المكثفات C'1وC'2 و C'3 ... تشحن كل منها بجهد قدره 2Vmax .
وبالتالي فان النقاط 'M و 'N و 'O ... ترتفع الى جهود 2Vmax و 4Vmax و 6Vmax ... بالترتيب .
وبالتالي يكون جهد الخرج هو

$$Vo = 2n\ Vmax$$

n : عدد المراحل
استطعنا الحصول على اصعاف الجهد باضافة عدة مراحل لدائرة قراياخر حيث إن الجهد الخارج في حالة عدم تحميل الدائرة يكون $Vo = 2n\ Vmax$. اما في حالة تحميل الدائرة بعينة اختبار مثلا فان الجهد لا يكون على تلك الصورة ولا يمكن إن يصل الى هذه القيمة حيث يحدث هبوط في الجهد ΔVo . كما يحدث تشوهات في شكل الموجة δV .
وتحسب التشوهات من العلاقة التالية :

$$\delta V = \frac{I\ n\ (n+1)}{2fC}$$

بينما يحسب الهبوط في الجهد من العلاقة التالية :

$$\Delta Vo = \frac{I}{fC}\left(\frac{2n^3}{3} + \frac{n^2}{2} - \frac{n}{6}\right)$$

ويصبح الجهد الخارج كالتالي :

$$Vomax = 2nVmax - \Delta Vo$$

كما نلاحظ بان الجهد الخارج يتزايد مع زيادة عدد المراحل بشرط إن لاتزيد على عدد معين ، ولكن عند عدد معين من المراحل يتناقص الجهد الخارج خطيا مع تيار الحمل عند تردد ثابت . لذلك كان لابد من معرفة العدد الامثل للمراحل والذي يكون عنده الجهد الخارج اعلى ما يمكن .
وبالتالي نحصل على عدد المراحل بالعلاقة التالية :

$$n = \sqrt{\frac{Vmax\ fC}{I}}$$

مثال : احسب عدد المراحل المثالية n_{opt} لمولد كوكروفت- والتون متعدد المراحل اذا كان جهد المصدر $Vmax = 100KV$ وتردده 60HZ وسعة المكثف $C=0.1\mu F$ وتيار الحمل $I=5mA$.
الحل :

$$n_{opt} = \sqrt{\frac{Vmax\ fC}{I}}$$

$$= \sqrt{\frac{100\times10^3 \times60\times0.1\times10^{-6}}{5\times10^{-3}}} = 11$$

مثال : مولد كوكروفت – والتون بعشر مراحل n=10 وسعة المكثف لجميع المراحل C=0.1μF وجهد المصدر Vmax=100KV عند تردد 60HZ واذا كان التيار المطلوب انتاجه I=5mA ، احسب ما يلي :
١- تشوهات الجهد δV ، ٢- الهبوط في الجهد ΔVo و٣- الجهد الخارج Vomax .

الحل :

$$1-\ \delta V=\frac{I\,n\,(n+1)}{2fC}=\frac{5\times10^{-3}\times10\times(10+1)}{2\times60\times0.1\times10^{-6}}=45833V=45.833\ KV$$

$$\%\delta\ V=\frac{\delta V}{2nVmax}=\frac{45.833\times10^{3}}{2\times10\times100^{3}}\times100=\ 2.29\ \%$$

$$2-\ \Delta Vo=\frac{I}{fC}\left(\frac{2n^{3}}{3}+\frac{n^{2}}{2}-\frac{n}{6}\right)=\frac{5\times10^{-3}}{60\times0.1\times10^{-6}}\left(\frac{2\times10^{3}}{3}+\frac{10^{2}}{2}-\frac{10}{6}\right)$$

$$=595833V=595.833KV$$

$$\%\ \Delta Vo=\frac{\Delta Vo}{2nVmax}=29.8\%$$

$$3-Vomax=2nVmax-\Delta Vo=2\times10\times100\times10^{3}-595.833\times10^{3}=140416\approx1.4MV$$

الجهد الخارج يساوي 1.4MV تقريبا بينما يفترض إن يساوي 2MV وذلك بسبب الهبوط في الجهد .

الجهد النابض Impulse voltages

١- تعريفه:هو عبارة عن جهد ذو اتجاه واحد يرتفع بسرعة الى اقصى قيمة اثناء مقدمة الموجة wave front ،ثم يتناقص حتى يصل الى الصفر اثناء مؤخرة او ذيل الموجة wave tail .

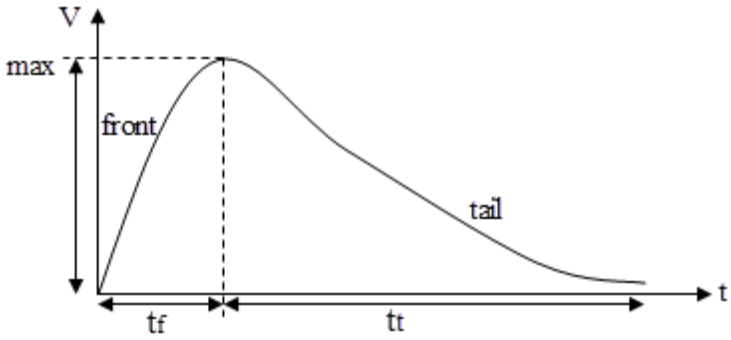
٢- اسبابه:يحدث الجهد النابض نتيجة لتعرض خطوط نقل الطاقة والاجهزة المصاحبة لها الى :

أ- ضربات الصواعق

ب- عمليات الفصل او التوصيل لدائرة من دوائر النقل بواسطة القواطع الكهربائية

- وعند حدوثهما يصحبهما موجات حادة وعند وصول هذا النوع من ا لموجات(والتي تحمل فولتيات عالية جدا) الى المحولات الكهربائية تحدث اجهادات غير متساوية على ملفات المحولة قد تؤدي الى انهيار نظام العزل.

٣- شكل موجة الجهد النابض:



الشكل القياسي للموجة النبضية

t_f :هو زمن مقدمة الموجة الذي تصل فيه الى اقصى قيمة لها.

t_t :هو زمن ذيل او مؤخرة الموجة الذي تتناقص فيه حتى الصفر.

يكون الفرق عادة بين الموجة النبضية الناتجة عن الصواعق وتلك الناتجة عن توصيل وفصل الدوائر الكهربائية هو زمن مقدمة وذيل الموجة ،لذلك قامت هيئة IEC بتحديد الفرق عادة بين الموجة النبضية الناتجة عن الصواعق وتلك الناتجة عن توصيل وفصل الدوائر الكهربائية ، حيث وصفت موجة الصواعق بالرمز 1.2/50

t_f= ١.٢µs , t_t=50 µs

وموجة الوصل والفصل بالرمز 250/2500

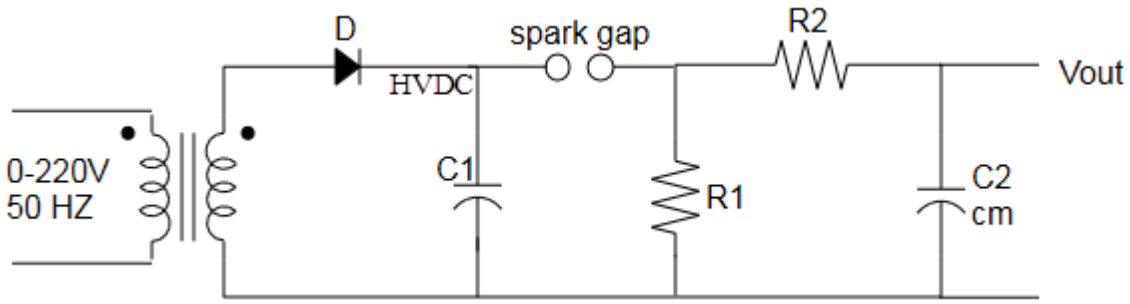
t_f= 250µs , t_t=2500 µs

- توليد الجهود العالية النبضية **Impulse Voltages**

يمكن توليد الجهود النبضية الخاصة بالصواعق والوصل والفصل في معامل الجهد العالي الخاصة بمصانع الاجهزة والعوازل وكذلك في معامل الابحاث لتستخدم في فحص مدى تحمل الاجهزة والعوازل للاجهادات الناتجة عن الجهود النبضية باستخدام

١- مولد نبضي احادي المرحلة single-stage impulse generator
٢- مولد نبضي متعدد المراحل multi-stage impulse generator
وكما يلي دوائرتوليد الجهد النبضي مع التوضيح

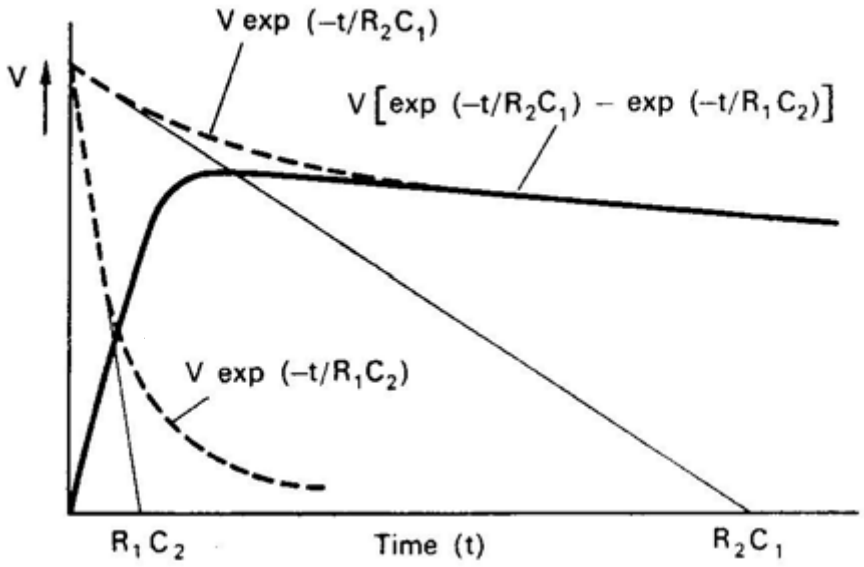
١- مولد نبضي احادي المرحلة



عندما تسلط فولتية مستمرة على اطراف الدائرة فان c_1 يشحن الى القيمة المطلوبة V،وعندما تفرغ الشحنة يحدث انهيار على الثغرات الكروية والي تعمل كمفتاح يوصل عند الانهيار ،وتظهر بعدها فولتية على المتسعة c_2 والتي يمكن ان تكون عينة اختبار.
يمكن التحكم في زمن مقدمة وذيل الموجة من خلال المقاومتان R_2 و R_1 وتكون معادلة الجهد الخارج كالاتي:

$$v(t) = V\left[e^{\left(-\frac{t}{R_2C_1}\right)} - e^{\left(-\frac{t}{R_1C_2}\right)}\right]$$

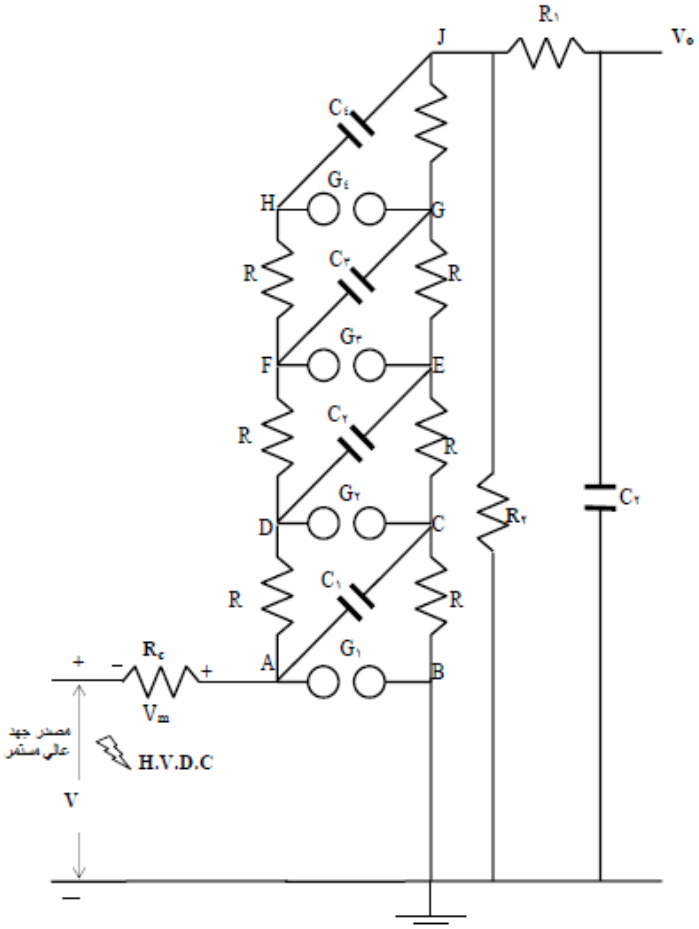
ويمكن التحكم في زمن مقدمة وذيل الموجة النبضية بتغيير قيم عناصر الدائرة او عن طريق تغيير قيم عناصر مولد دفعي او تموري يحاكي المولد النبضي الحقيقي، بحيث يمكن مشاهدة الموجة على اوسليسكوب وقياس زمن المقدمة والذيل ثم ضبط قيم عناصر الدائرة على المولد الحقيقي .
وبرسم المنحني الذي يمثل المعادلة اعلاه والتي هي عبارة عن الفرق بين منحنيين تناقصيين اسيين ينتج شكل الموجة النبضية القياسية كما في الشكل ادناه .ويتضح من المنحني بان المقاومةR_1 والمكثف C_2 تتحكمان في شكل مقدوة الموجة حيث يمثلان ثابت الزمن لشحن المكثف C_2 ، فكلما كان ثابت الزمن اصغر كلما وصلت الموجة في مقدمتها للقيمة العظمى اسرع وبالتالي فان زمن المقدمة سيكون قليل . اما بالنسبة لزمن ذيل الموجة فانه يحدد ب R_2 و C_1 ، حيث يحدد ثابت الزمن R_2C_1 ذيل الموجة وزمن تناقصها .



الشكل القياسي للموجة النبضية

٢- هذه الدائرة تمثل مولد مكون من اربعة مراحل موصلة بمصدر مستمر،حيث يشحن عدد من المتسعات على التوازي خلال المقاومات ويفرغ على التوالي خلال ثغرات الشرارة الكروية عند انهيارها حيث تعمل كمفتاح.

- المتسعات من C_1الى C_2 يتم شحنها خلال المقاومات R وعندما يتم شحنها بالكامل بجهد مقداره V فان تيار الشحن يتوقف وتكون النقاط (A,D,F,H) موجبة القطبية اي مساوية لجهد المصدر.
وتكون النقاط (C,E,G,J) سالبة القطبية اي مساوية لجهد الارض.
- عندما يبدأ التفريغ تنهار اول ثغرة شرارة ثم يتوالى بعد ذلك انهيار بقية الثغرات على التعاقب وتصبح المتسعات موصلة على التوالي ومقاومات الشحن دائرة مفتوحة ،ولذلك يكون الجهد الخارج يساوي مجموع الجهود المخزونة في المتسعات أو حاصل ضرب جهد المصدر في عدد المراحل



- $V_O = n \times V$

n :عدد المراحل

R_1 ,C_2 يتحكمان في مقدمة الوجة النبضية

R_2 وبقية المتسعات تتحكم في ذيل الموجة

ملاحظة: لضمان عملية التتابع في انهيار الفجوات الهوائية يجب ان تكون على مستوى عمودي واحد بحيث تساعد الاشعة فوق البنفسجية من الشرارة في الفجوة الاولى بقية

الفجوات ممايضمن تجهيز الالكترونات في بقية الفجوات لابتداء الانهيار.

طرق قياس الجهد العالي

من الضروري قياس الجهد العالي بدقة في اختبارات الصناعة (اختبار الاجهزة والوازل المنتجة في المصانع) وكذلك في معامل الابحاث والتأكد بدقة من سلامة الاشخاص والمعدات المستعملة . لابد كذلك من حماية الفنيين المتعاملين مع معدات الجهد العالي واجهزة القياس من الجهود الزائدة التي يمكن ان تحدث ،ولذلك فان موقع ووضعية الاجهزة من الامور الهامة جدا التي يجب ان ينتبه اليها المهندسون والفنيون .وهناك العديد من الطرق والاجهزة المستعملة في قياس الجهد العالي ويمكن تصنيفها كما يلي :

نوع الجهد المراد قياسه	طريقة قياس الجهد
أ- الجهود المستمرة	١-مقاومة توالي مع مايكروأميتر ٢-مجزىء جهد باستخدام المقاومات ٣-ثغرات الشرارة
ب- الجهود المترددة	١-معاوقة توالي مع اميتر ٢-مجزءات الجهد (باستخدام مقاومات او متسعات) ٣-محولات الجهد ٤-فولتميتر كهروستاتيكي ٥-ثغرات الشرارة
ج-الجهود النبضية	١-مجزءات الجهد مع راسم اشارة ٢-فولتميتر القيمة العظمى ٣-ثغرات الشرارة

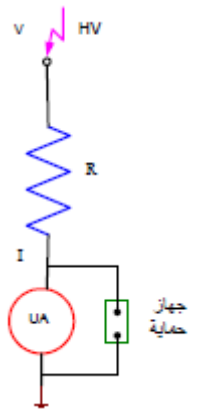
أ-الجهد المستمر:

يتم قياس الجهد العالي المستمر بتمديد مدى جهاز القياس وذلك باستخدام مقاومة عالية القيمة على التوالي للحد من التيار المار في جهاز القياس ويتراوح التيار عادة من ١ الى ١٠ مايكروأمبير لمدى القياس الكامل للجهاز.واما الطرق المستخدمة في قياس الجهد العالي المستمر فهي كما يلي :

١- مقاومة عالية موصة على التوالي مع مايكروأميتر:

يتم قياس الجهد العالي المستمر باستخدام مقاومة عالية جدا(عدة مئات من الميكا أوم) تربط على التوالي مع المايكروأميتر كما في الشكل .

وبوجود جهد عالي يمر تيار I في المقاومة العالية R ويقاس هذا التيار باستخدام مايكروأميتر .حيث يعطى جهد المصدر بالمعادلة التالية:



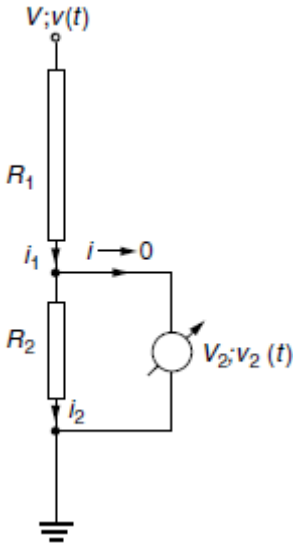
$V = I R$

- يستخدم عنصر الحماية مثل زنر دايود(zener diode) يربط على التوازي مع جهاز القياس كحماية من الجهد العالي الفجائي.
- يمكن إهمال قيمة الانخفاض في الجهد على جهاز القياس حيث إن معاوقة الميكروأميتر عدة أوم فقط مقارنة بعدة مئات من الميجا أوم لمقاومة التوالي R .
- تختار القيمة الأومية لمقاومة التوالي بحيث يسمح لتيار يت ا روح بين 1 و 16 أمبير بالمرور للمدى الكامل لجهاز القياس.

٢- مجزىء جهد باستخدام المقاومات:

يستخدم مع مجزئات الجهد جهاز قياس عبارة عن فولتميتر كهروستاتيكي او فولتميتر ذو مقاومة عالية وتعطى قيمة الجهد العالي بالمعادلة التالية :

$$V_2 = V\left(\frac{R2}{R1+R2}\right)$$



حيث ان V_2 هو الجهد المستمر على ذراع الجهد المنخفضR_2.

تعمل المقاومات على تجزئة الجهد حسب قانون مجزيء الجهد ويمكن قياس الفولتية على المقاومة الثانية باستخدام جهاز القياس يربط على التوازي مع المقاومة الثانية ،يمكن ان يكون التيار المار في الجهاز يساوي صفر عندما تكون المقاومة عالية جدا.

- ويلغي تأثير درجة الحرارة والجهد على العناصرفي استخدام مجزئات الجهد.
- يستخدم مكثف (تحكم في الجهد) يوصل على التوازي مع R_2 لتجنب حدوث شرارة أوعطب لعناصر المقاومة والذي يمكن إن يحدث نتيجة التغيير المفاجئ في الجهد(مثل عمليات الفتح أو شرارة السطح أو قصر المصدر الكهربائي).

ب-الجهد المتردد :

١-محولات الجهد:

محولات الجهد هي اقدم الاجهزة المستعملة في قياس الجهد العالي المتردد وهي بسيطة جدا في تركيبها ويمكن تصميمها لتناسب معظم الجهود.نسبة التحويل لمحولات الجهدهي:

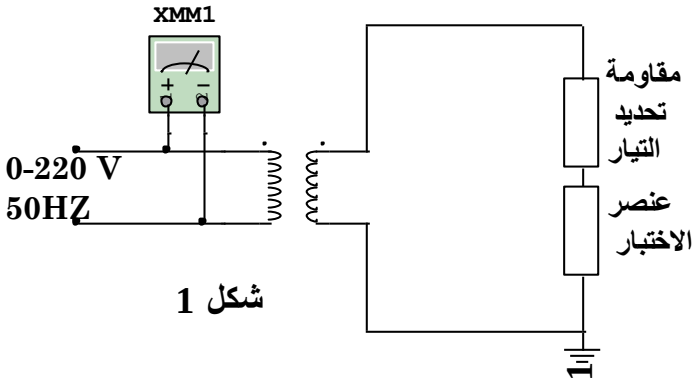
$$\frac{V1}{V2} = \frac{N1}{N2}$$

V1:هو الجهد الابتدائي

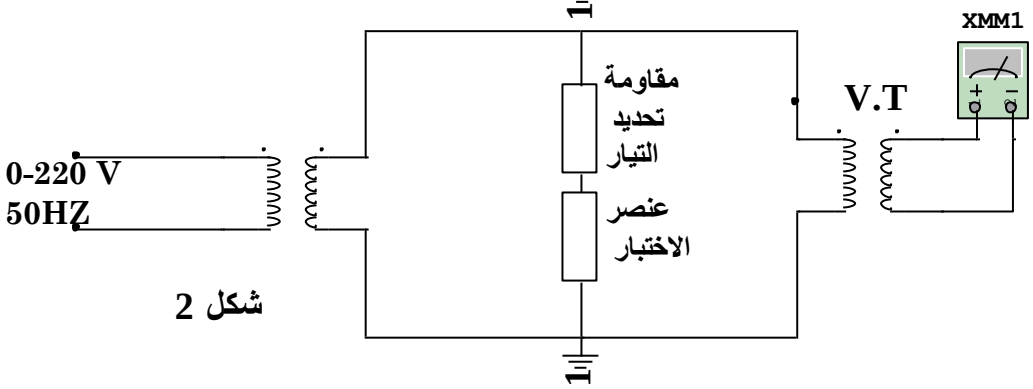
V2:هو الجهد الثانوي

N1:عدد لفات الملف الابتدائي

N2:عدد لفات الملف الثانوي



شكل 1



شكل 2

في الشكل الاول تكون فولتية الملف الابتدائي مقاسة .والفولتية عبر الحمل غير مقاسة يمكن ايجادها من خلال نسبة التحويل ويكون التيار المسحوب بواسطة عنصر الاختبار جدا قليل وهذا سبب لحدوث كورونا ربما يتسبب بخطاي اخذ بالاعتبار في الفولتية المقاسة.

ويمكن قياس الفولتية على الملف الثانوي كما في الشكل الثاني عبر محولة الفولتية (V.T) .

هذه الأجهزة تعاني من الأخطاء في نسبة التحويل وكذلك زوية الطور والتي تتسبب فيها معاوقة التمغنط معاوقة التسريب لملفات المحول .وهذه الأخطاء يمكن معالجتها عن طريق ضبط نسبة التحويل باستخدام التفريع (tapping) على جهة الجهد العالي أثناء التحميل .محولات الجهد لاتستطيع قياس الجهود العابرة ذات الارتفاع السريع وكذلك الجهود المترددة ذات التردد العالي ولكن توافقيات الجهد تقاس عادة بدقة كافية.

عند اختبا رات العازلات والكابلات....وهكذا ، والتي تعتبر سعوية بطبيعتها، يحدث ارتفاع في الجهد على الحمل الموجود على محول الاختبار وتعطي ملفات الجهد قيم جهود أقل من القيم الحقيقية الموجودة على عينة الاختبار.

٢- فولتميتر القيمة العظمى:

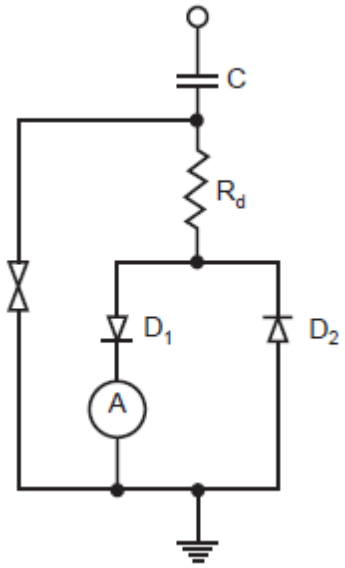
في بعض التطبيقات يكون مطلوباً قياس القيمة العظمى لموجة الجهد المتردد وذلك للحصول على شدة العزل القصوى للعوازل الصلبة.....وهكذا .القيمة العظمى للجهد في الموجات غير المنتظمة لاتساوي $\sqrt{2}$ مضروباً في القيمة الفعالة لذلك فإن جهاز قياس القيمة العظمى هام جداً في تطبيقات الجهد العالي.

فولتميتر القيمة العظمى مع مكثف توالي:-

عند توصيل متسعة مع مصدر جهد متردد فأن تيار الشحن يساوي:

$$I_c = C\int_0^t V\,dt = jwcv = j\,2\,\pi fc\,v$$

V: القيمة الفعالة للجهد



إذا استخدمنا موجد نصف موجة فإن المتوسط الرياضي للتيار الموجد يتناسب مع القيمة العظمى للجهد المتردد. قراءة التيار المستمر للجهاز تتناسب مع القيم العظمى للجهد أو Vm :

$$Vm = \frac{I}{2\pi fc}$$

يستخدم D1 لتوحيد نصف الموجة الموجب بينما يستخدم D2 لتوحيد نصف الموجة السالب من التيار المتردد وهذا الترتيب مناسب لنصف الموجة الموجب او السالب لذلك فهو مناسب عندما تكون انصاف متماثلة ومتساوية. قراءة التيار المستمر للجهاز تتناسب مع القيمة العظمى للجهد Vm :

I:قراءة التيار المستمر باستخدام الاميتر

تستخدم مقاومة على التوالي مع مكثف للتخلص من اي خطأ قد يحصل في موجة الجهد وبالتالي فان نصف الموجة لايحتوي الا قيمة واحدة عظمى للتيار .

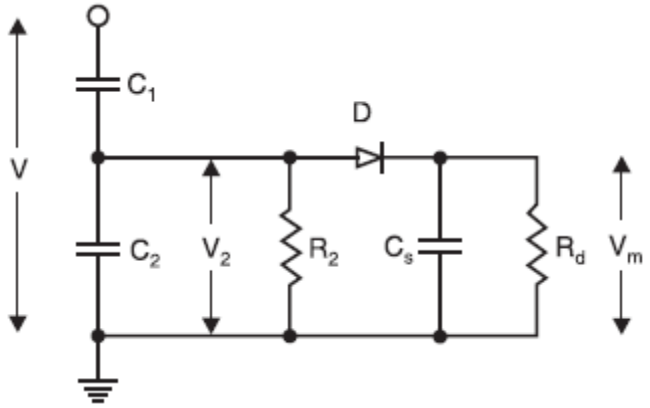
الخطأ في القراءة الناتج من استخدام المقاومة هو:

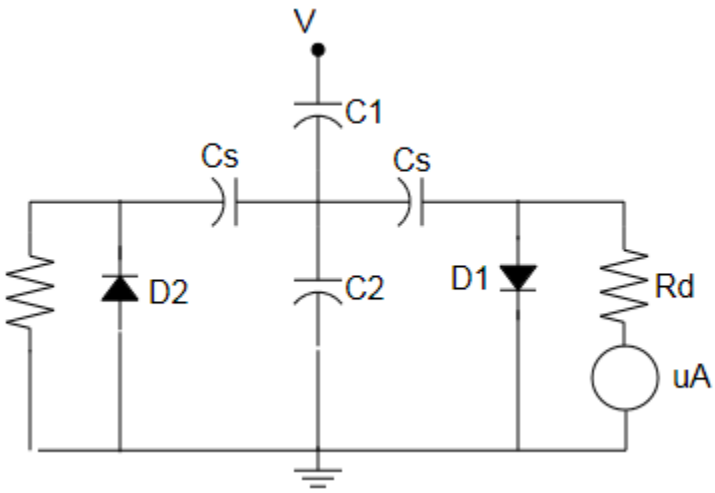
$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{V - Vm}{V}$$

فولتميتر القيمة العظمى مع مجزئ جهد:-

يبين الشكل التالي فولتميتر القيمة العظمى مع مجزئ جهد (C_1 و C_2) حيث يعمل الجهد عبر C_2 في شحن المكثف C_S وتوضع مقاومة R_d للسماح بتغيير Vm عندما تنخفض V_2 ، وتشحن C_S لجهد يتناسب مع القيمة العظمى المراد قياسها الثابت الزمني للتفريغ C_sR_d يصمم بحيث يت ا روح من 1 إلى١٠ ثواني.

وهذا يسمح بزيادة أخطاء التفريغ والتي تعتمد على تردد مصدر الجهد ولمعادلة أخطاء الشحن والتفريغ الناتجة عن المقاومات تعدل الدائرة كمافي الشكل ادناه وتقاس القيمة العظمى بواسطة مايكرو أميتر.



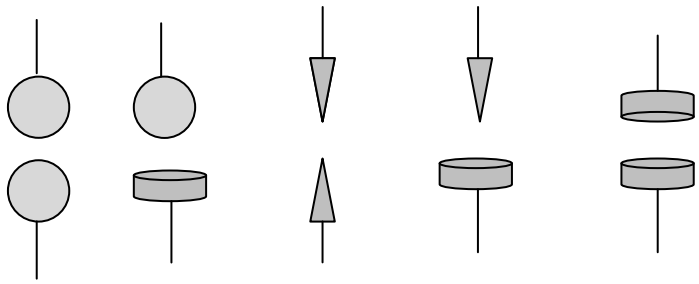


٣- ثغرات الشرارة :

ثغرات الشرارة ذات المجال الكهربائي المنتظم لها دائماً جهد شرارة (sparkover voltage) معروف داخل سماحية معروفة تحت حالات بيئية ثابتة. لذلك فيمكن استخدام ثغرات الشرارة لقياس القيمةالعظمى للجهد لو علمت قيمة مسافة الثغرة بين الكرتين .ويحدث جهد الشرارة عند جهد KV_{peak} ٣٠ لمسافة ثغرة مقدارها ١ سم في الهواء عند درجة حرارة $20^{\circ}C$ وضغط مقداره1 ضغط جوي (760 torr) لثغرة شرارة كروية او اي ثغرة ذات مجال كهربائي منتظم .

هناك عدة انواع من ترتيب الاقطاب االكهربائية لقياس الجهد والتيار العاليين وكما يلي :

كروي – كروي
كروي – مسطح
مدبب – مدبب
مدبب – مسطح
مسطح – مسطح



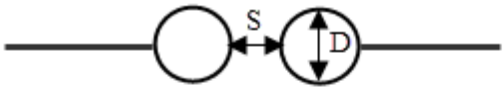
وعادة ما تستخدم ثغرات الشرارة الكروية (لان بقية الاقطاب دقة القياس لها اقل) لقياس الجهد العالي وتكون مناسبة لقياس كل انواع الجهود.

ولا تعتمد ثغرات الشرارة وبالذات ثغرات الشرارة الكروية على شكل موجة الجهد وبالتالي فهي مناسبة جداً لكل أنواع وأشكال الموجات من الجهد المستمر حتى الجهد الدفعي الذي له زمن مقدمة موجة صغيرة Short rise time $\geq 0.5uS$ وكذلك فهي مناسبة لقياس القيمة العظمى للجهد العالي ذي تردد موجات الراديو(حتى 1 ميجا هيرتز).

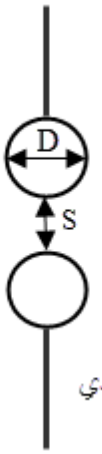
سطح الكرات لا بد أن يكون نظيفاً ولا يحتوي على رطوبة والفولتية المقاسة هي تلك المسلطة بين الكرتين و تكون المسافة S حسب الرسم المرفق هي التي تعطي قيمة spark over voltage.
وعند استخدام مثل هذه الأجهزة فإنه تم اعتماد الدقة 3% لمتوسط خمس قراءات معينة ،أما لأخذ و تحديد الفولتية الدفعية فإنه يحدد حدين لضبط النتيجة باختلاف يقدر ب 2% بحيث أنه بتطبيق الحد الأدنى للجهد يحدث من 2 إلى ٤ شرارة سطحية وعند تطبيق الحد الأعلى للجهد يحدث من ٦ إلى ٨ شرارة سطحية ومتوسط هذين الحدين يؤخذ على أنها جهد ال 50% شرارة سطحية. يجب عمل العديد من الومضات العابرة الابتدائية قبل بدأ القياسات الحقيقية .أما الكرات فتصنع من النحاس أو الألمنيوم أو البرونز.
عندما تزداد المسافة بين الكرات ، فان المجال المنتظم سيصبح مشوه ، والدقة بالقياس تفشل . هناك حدود لدقة القياس تعتمد على النسبة بين المسافة بين الكرات (S او d) و قطر الكره (D) .

$d < 0.5\ D$, accuracy = ± 3 %
$0.75\ D > d > 0.5\ D$, accuracy = ± 5 %

وتوضع الثغرات الكروية على شكلين هما:
أ-في الوضع العمودي مع تأريض الكرة السفلى
ب-في الوضع الافقي مع توصيل الكرتين بالمصدر او تاريض احداهما.



تغرات الشرارة بشكل افقي



تغرات الشرارة بشكل عمودي

في الوضع الافقي لابد من وضع الكرتين متماثلتين في الحجم على نفس البعد عن الارض في حالة قياس القيمى العظمى للجهد المتردد او الجهد المستمر نزيد قيمة الجهد المسلط تدريجيا بانتظام حتى تحدث الشرارة في الثغرة (flash over) .
العوامل المؤثرة على جهد الشرارة السطحية للثغرات الكروية هي:
أ -الأشياء القريبة المؤرضة.
ب - الظروف البيئية والرطوبة.
ت - الإشعاعات الساقطة على كرات القياس.
ث - قطبية وزمن مقدمة الموجة لموجة الجهد المراد قياسه.
أ- تاثير الاجسام المورضة المجاوره:
تتاثر دقة قياس الفولتية لثغرات الشرارة بالاجسام المورضة الموجودة حول الثغرات حيث حدد كافيل تأثير الأشياء القريبة المؤرضة بوضع الكرة المؤرضة داخل أسطوانة مؤرضة وقد لاحظ أن جهد الشرارة قد انخفض. مقدار الانخفاض في جهد الانهيار معطى بالمعادلة التالية:

$$\Delta V = m \cdot \log(\frac{B}{D}) + C$$

حيث إن:

ΔV: نسبة الانخفاض في جهد الانهيار

B: قطر الأسطوانة المؤرضة

D: قطر الكرات

C و m : ثوابت

S: المسافة بين الثغرات

- يمكن تقليل ثاثير الاجسام المحيطة بالثغرات بوضع مستوى مورض قريبا بما فيه الكفاية من الثغرات

- لو تم تغطية الكرتين وجعل مدى النظافة لهما تامة فإن فولتية الإنهيار سوف تنخفض .

ب- ثاثير الظروف البيئية والرطوبة:

للظروف الجوية تأثير على spark over voltage حيث يعتمد جهد الشرارة للثغرات الكروية على كثافة الهواء والتي تتغير بتغير كل من درجة الحرارة (T) والضغط الجوي (p) . لذا هنالك عامل تصحيح يستخدم لتحويل فولتية الانهيار للظروف الجوية القياسية التي يساوي عندها الضغط الجوي 760 torr ودرجة الحرارة ٢٠ ^{0}C والمعادلة التصيح عند الظروف القياسية كالاتي :

$$V = k \cdot V_o$$

V : فولتية الانهيار عند كثافة الهواء النسبية

V_0 : فولتية الانهيار عند الظروف الجوية القياسية

K : معامل يعتمد على كثافة الهواء δ ويعبر عنها بالمعادلة التالية :

$$\delta = \frac{p}{760} \cdot \frac{293}{273+T}$$

اما p ضغط الهواء مقاسا ب ملم الزئبقي .

أما العلاقة بين K و δ فيمكن أن تعطى حسب الجدول التالي:

δ	**0.70**	**0.75**	**0.80**	**0.85**	**0.90**	**0.95**	**1.0**	**1.05**	**1.10**	**1.15**
k	**0.72**	**0.77**	**0.82**	**0.86**	**0.91**	**0.95**	**1.0**	**1.05**	**1.09**	**1.12**

هذا ويلاحظ بأن Spark over Voltage تزداد مع الرطوبة بمقدار 3% عندما تكون الرطوبة طبيعية($8g/m^3$)

أما الرطوبة وتأثيرها فإنه يعتمد أيضاً على:

١- قطر الكرة ٢- المسافة بين الكرات .

وبالتالي يمكن استنتاج العلاقات بين جهد الانهيار والرطوبة كالاتي :

١- تزداد فولتية الإنهيار مع الضغط الجوي لبخار الماء وعند ثبات الرطوبة يزداد التغير في جهد الانهيار مع زيادة المسافة بين الكرات.

٢- يزداد تاثير الرطوبة مع زيادة حجم الكرات المستعملة وتبلغ اقصى تاثير لها مع ثغرات الشرارة ذات المجال الكهربائي المنتظم .

ت – تاثير الإشعاعات الساقطة على كرات القياس:

عند تسليط أشعة فوق بنفسجية أو أشعة X على الكرات - حيث يساعد في عمليات التأين مابين الكرتين ويسرع في الانهيار ويكون هذا التاثير مميزا في مسافات الثغرة الصغيرة - فإن موثيقيتها تزداد وخصوصاً إذا كانت الفولتية أقل من 50KV وقطر الكرات أقل من 12.5cm لهذا السبب توضع مصابيح بخار الزئبق كمصدر لهذه

الأشعة بإتجاه الكرات يتم تسليطها على الكرات أو توضع كبسولة من الراديوم داخل الكرة بوزن 0.5 ملغم ويكون مكانها قريب من نقطة الشرر كي تصبح فولطية الإنهيار ثابتة إلا أن تأثير الإشعاع يتناقص تدريجياً مع طول الفرجة .

ث- تاثير قطبية وزمن مقدمة الموجة لموجة الجهد المراد قياسه:

لوحظ أن جهد الانهيار للموجات الدفعية ذات القطبية الموجبة مختلفة عن تلك التي للموجات الدفعية ذات القطبية السالبة .النتائج العملية أوضحت أن الأختلاف في جهد الشرارة للموجات الموجبة و السالبة لاتزيد عن 1% للكرات ذات الأقطار من 6.25 إلى 25 سم .للكرات الأقل من2سم فإن الاختلاف في جهد الشر ارة للموجة الدفعية ذات القطبية السالبة والموجبة ذات الموجة 1/50ميكروثانية يكون في حدود 8% .وكذلك فإن زمن مقدمة وذيل الموجة أيضاً له تأثير كبيرعلى جهد الانهيار للثغرة .وتكون ثغرات الشرارة الكروية غير مناسبة لموجة جهد ذات زمن مقدمة مقداره أقل من 0.5 ميكروثانية وزمن ذيل الموجة أقل من ٥ ميكروثانية حيث إن جهود الانهيارتكون غير متطابقة.

وهناك فروق حاصلة في فولتية الانهيار نظرا للنسبة بين المسافة بين الثغرات الى نصف قطر الكرة :

$1 < S/R < 1.6$: تزيد فولتية الدفعة الموجبة قليلا على فولتية الدفعة السالبة

$S/R > 1.6$: تهبط فولتية الدفعة الموجبة اسفل الفولتية السالبة بمقدار 6%

$S/R=2$: فولتية الدفعة الموجبة عند قطر كرة 6.25 سم تزيد على فولتية الدفعة السالبة بمقدار 10.4% .

خطوات القياس :

عند اجراء القياسات للفولتيات المستمرة والمتناوبة يجب وضع مقاومة مقدارها ١٠٠ كيلواوم الى ١ ميكااوم بين المصدروالكرتين بهدف تحديد تيارالإنهياروحتى توهن التذبذبات العالية غير المرغوب بها و التي تظهر عند بداية تشكل الإنهيارأوعند نهايته والتي قد تتسبب بحدوث الومضة العابرة الشاردة للفرجة .

تصبح اكثر اهمية في حالة وجود تفريغ في الشريحة (العينة) او في دائرة الفحص الكهربائية حيث قد تتسبب في حدوث الفولتيات الانتقالية الزائدة.

عند قياس فولتية الدفع لاتزيد قيمة المقاومة عن ٥٠٠ اوم لمنع الاهتزازات في دائرة الثغرة.

انهيار العوازل الكهربائية

قد تحدث انهيارات في العوازل المستخدمة للعزل الكهربائي ويمكن تصنيف هذه العوازل على ثلاثة اقسام حسب طبيعة المادة المستخدمة في صناعة العازل وكما يلي:

١-أنهيار العوازل الغازية.

٢-أنهيار العوازل السائلة.

٣-أنهيار العوازل الصلبة.

وسنوح هذه الانهيارات كما يأتي

أ-أنهيار العوازل الغازية :

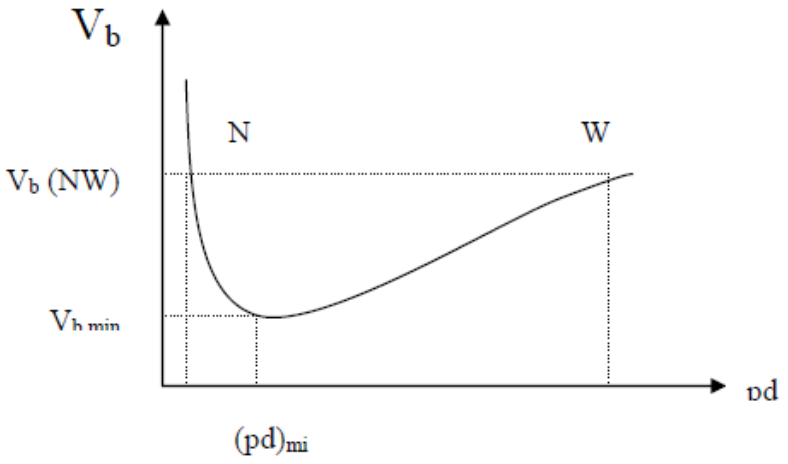
تستخدم العوازل الغازية بصورة كبيرة في المعدات الكهربائية واهم هذه الغازات المستعملة هي الهواء وغاز سادس فلوريد الكبريت وبنسبة اقل النيتروجين والفريون وثاني اكسيد الكاربون.
وتحدث مختلف الظواهر داخل العوازل الغازية عندما يسلط عبرها جهد كهربائي حيث يسري تيار كهربائي صغير جدا بين الاقطاب الكهربائية المعزولة بالغاز،وعندما تزداد شدة المجال الكهربائي ويحدث التأين ومن ثم يزداد التيار زيادة كبيرة ويحدث الانهيار الكهربائي وتحدث شرارة موصلة قوية بين الاقطاب ويسمى اقصى جهد يفقد بعده العازل خاصيته بجهد الانهيار للغاز العازل.

وفيما يلي بعض مفاهيم طرق الانهيارفي الغازات:

١- قانون باشن :

انهيار العوازل الغازية لايعتمد فقط على المسافة بين القطبين d بل يعتمد على حاصل ضرب ضغط الغاز p والمسافة بين القطبين p*d بحيث يتحقق جهد الانهيار breakdown وحسب العلاقة التالية

$V_b = f(p*d)$ ويمثل الشكل التالي العلاقة بين جهد الانهيار وحاصل ضرب ضغط الغاز والمسافة بين القطبين وكما موضح بالجدول الجهد الادنى $V_{b\,min}$ للشرارة للعديد من الغازات والذي يعتمد على الحد الادنى من حاصل ضرب الضغط للغاز في المسافة بين القطبين كما يعتمد على حالة الواد المصنع منها المهبط cathode.



$V_{b\,min}$ (فولت)	$(pd)_{min}$ Torr.cm	الغاز
352	0.55	الهواء
240	0.65	النيتروجين
230	1.05	الهيدروجين
450	0.7	الأوكسجين
507	0.26	سادس فلوريد الكبريت
420	0.57	ثاني أكسيد الكربون
245	4.0	النيون
155	4.0	الهليوم

٢- ظاهرة التأين :

الغاز في وضعه العادي يكون عازلا تماما وعند وضع جهد بسيط بين الاقطاب يسري تيار كهربائي بسيط وبزيادة الجهد تزداد شدة المجال الكهربائي E ويتاين الوسط العازل بين القطبين مما يؤدي الى انهيار العازل وفقدانه خاصية العزل. ويوجد عدة آليات للتأين منها :

التأين بالتصادم ،التأين الضوئي ،التأين الحراري ،التأين بالتفاعل بين الجزيئات التي تحتفظ بالطاقة لمدة طويلة والطاقة.

وفيما يلي شرح لبعض هذه الاليات :

أ- التأين بتصادم الالكترونات:

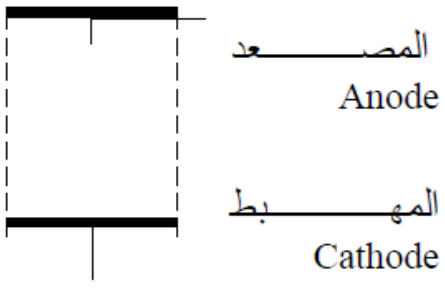
ربما يكون التاين بتصادم الالكترونات من اهم الوسائل لانهيار الغازات breakdown gases ولفهم هذه الطريقة نفترض وجود لوحين موصلين متوازيين بينهما مسافة d وغمسا في غاز عازل ضغطه p وعند تسليط جهد كهربائي بين اللوحين يظهر مجال كهربائي منتظم بينهما وعندما يسقط اشعاع خارجي مثل الاشعة فوق البنفسجية تخرج اللكترونات حرة من المهبط cathode .وعند خروج الالكترونات بشحنة e في مجال كهربائي E يكتسب عجلة بقوة مقدارهاeE باتجاه المصعد Anode ويكتسب طاقة الحركةالتالية:

$$U=e\,E\,X = \text{٠.٥}\ M\ V^2$$

X:المسافة بين القطبين

m : كتلة الالكترون

V : سرعة الالكترون



ب- التأين الحراري :

عند ارتفاع درجة الحرارة تكتسب الالكترونات الحرة الحركة طاقة حرارية.وعند اصطدام تلك الالكترونات بذرة متعادلة تفقد هذه الطاقة والتي قد تكون كافية لتأين تلك الذرة.

- آلية تاونزند townsend breakdown mechanism

بافتراض ان عدد الالكترونات المنبعثة من الكاثود n_o الكترون وعندما تصطدم هذه الالكترونات بالجزيئات المتعادلة تتكون الايونات الموجبة والالكترونات السالبة ويسمى هذا اصطدام تأيني.
وتعرف α بانها العدد المتوسط للتصادمات التأينية للالكترون لكل سنتيمتر في اتجاه المجال الكهربائي (وتعتمد α على ضغط الغاز والمجال الكهربائي).عند اي مسافة X من الكاثود نفترض ان عدد الالكترونات اصبحت n_x الكترون وعندما يتحرك هذا العدد من اللالكترونات لمسافة d_x تزداد عدد اللالكترونات ب(α x d_x) عندما X= 0 فان

$$n_x = n_o$$

وعندما $dn_x=\alpha\, n_x$ فان $n_x = n_o \exp(\alpha\, x)$

عدد اللالكترونات التي تصل الى الانود (X= d) ستكون $n_d= n_o \exp(\alpha\, d)$

لذلك فان متوسط التيار الكهربائي داخل الثغرة الهوائية والتي تساوي عدد اللالكترونات العابرة في الثانية هو:

$$I=I_o \exp(\alpha\, d)$$

I_O : هو التيار المبدئي عند المهبط.

٣- ظاهرة الاضمحلال:

أ-الاضمحلال باعادة الاتحاد

اعادة الاتحاد تحدث متى ما وجدت شحنات موجبة وسالبة.وان طاقة الجهد والطاقة الحركية النسبية لالكترون-ايون او ايون- ايون متحدين ثانية تتحرر على شكل مقدار من الاشعاع.يتناسب معامل اعادة الاتحاد طرديا مع تركيز الايونات الموجبة والايونات السالبة او الالكترونات

$$dn/dt = \alpha\, n^{٢}$$

$$n+=n-= n$$

ب-الاضمحلال بالترابط

في بعض الغازات تستطيع الالكترونات إن ترتبط بذرة او جزيئة متعادلة لتكوين ايونات سالبة.
وتكوين الايونات السالبة عملية في غاية الاهمية للغازات ذات العزل الكهربائي العالي الشديد .
إن معامل اعادة الاتحاد η هو المقابل لمعامل تاوزند الاول للتاين α (وهو عدد الاتحادات الناتجة من حركة الكترون مسافة سم واحد باتجاه المجال).

مثال:في تجربة لغاز ما وجد ان تيار الاستقرار(steady state) هو ٥.٥×١٠^{-٨} عند ٨kv ومسافة مقدارها ٠.٤ سم بين الاقطاب. بالاحتفاظ بقيمة المجال الكهربائي ثابتة وتقليل المسافة الى ٠.١ سم وجد إن التيار اصبح 5.5×10^{-9} احسب قيمة المعامل الابتدائي لتاونزند α .

الحل:

$I=I_O \exp(\alpha d)$

$I_1 = I_O \exp(\alpha d_1)$, $I_2=I_O \exp(\alpha d_2)$

$I_1/ I_2 = I_O \exp(\alpha d_1) / I_O \exp(\alpha d_2)=\exp \alpha (d_1 - d_2)$

$٥.٥ \times ١٠^{-٨} / 5.5\times10^{-9} = \exp\alpha(0.4- 0.1)$

$10=\exp\alpha(0.3)$

باخذ ln للطرفين

$Ln10= 0.3\ \alpha$

$\alpha = Ln10/0.3= 7.676$ cm

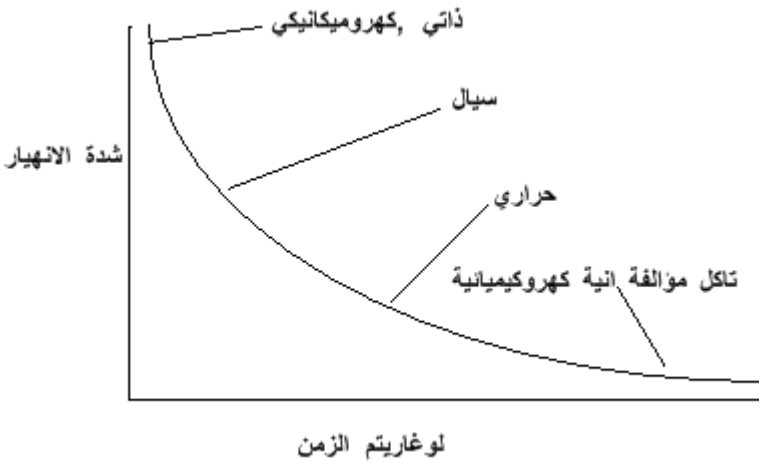
ب- انهيار العوازل الصلبة:

تستخدم العوازل الصلبة في كل انواع الدوائر الكهربائية والمعدات لعزل الموصلات الكهربائية كما إن لها شدة عزل اكبر من العوازل الغارية والعوازل السائلة .ولابد إن يتوفر في العازل الجيد الخصائص التالية :

١- شدة ميكانيكية عالية ٢- فقد كهربائي قليل ٣- خالي من الفراغات الغازية والرطوبة

٤- مقاوم للتلف الحراري والكيميائي .

إن ميكانيكية فشل انهيار العازل الصلب تتغير بزيادة زمن تسليط الفولتية ومن المناسب تقسيم مقياس زمن تسليط الفولتية الى اجزاء تعمل عندها ميكانيكيات مختلفة كما مبين



١- الانهيار الحراري

عند تسليط مجال على عازل في درجة حرارة الغرفة يكون التيار الموصل قليل جداولكن قيمته تزداد بزيادة درجة الحرارة للعازل .ان الحرارة المتولدة من قبل التيار سوف توصل جزئيا الى المحيط لترفع درجة حرارة العازل والتي تؤدي الى زيادة المعدل للحرارة .اذا كان معدل توليد الحرارة في اية نقطة في العازل تفوق تلك التي فيها تصرف الحرارة خارجا تنتج حالة عدم الاستقرارية ويمكن خضوع العينة للانهيار الحراري .

٢- انهيار السيال

عندما يمر الكترون داخل الحيز الموصل للعازل عند المهبط سوف ينحرف نحو المصعد تحت تاثير طاقة كسب المجال يمكن ان يكتمل الانهيار

٣- الانهيار الذاتي(الباطني)

تزداد الشدة الكهربائية للمادة الصلبة بسرعة تحت فولتيات مسلطة لفترة قصيرة جدا الى الحد الاعلى التي تسمى بشدة المجال الذاتية.وتحصل هذه القيمة عمليا تحت احسن الظروف العملية عندما تزال كافة المؤثرات الخارجية بحيث إن القيمة تعتمد على المادة ودرجة الحرارة فقط.

يحدث هذا الانهيار خلال ازمان بحدود 10^{-8} ثانية والاجهادات المطلوبة للانهيار الذاتي هي اكثر من 10^6 فولت لكل سم

٤- الانهيار الكهروميكانيكي

تتحطم بعض المواد التي تعاني من تشوه بدون تشقق عندما تفوق قوى الضغط الكهروستاتيكي شدة الضاغط الميكانيكي عليها وتنشأ قوى الضغط نتيجة التجاذب بين شحنات السطح التي تظهر عند تسليط الفولتية ،عندما المجال حوالي 10^6 لكل فولت يكون الضغط المبذول عدة كغم لكل سم^{٢} .

اذا لم تصل الشدة الذاتية الكهربائية الى $d/d_o = 0.6$ فان اية زيادة في الفولتية تجعل السمك للمادة غير مستقر وتنهار المادة.

d_o: سمك المادة بالامتار

d :التضاءل في السمك تحت تاثير الفولتية المسلطة V

يكون جهد الضاغط الناتج كهربائيا

$$V^2 = d^2 \frac{2Y}{\varepsilon_o \varepsilon_r} \ln(\frac{d_o}{d})$$

ج- انهيار العوازل السائلة:

تستخدم العوازل السائلة في العزل الكهربائي ومن هذه العوازل زيوت العزل الكهربائي

زيوت العزل الكهربي هي منتجات بترولية ذات جودة عالية تستخدم في المحولات والقواطع الكهربائية وأنواع أخرى من المعدات الكهربائية.

حيث لتلك الزيوت وظيفتان أساسيتان واحدة فيزيائية والأخرى كهربائية

-الوظيفة الفيزيائية هي التبريد أي تشتيت الحرارة لكي يفي لهذا الغرض بطريقة مناسبة يجب أن يكون زيت العزل في حالة سريان حر بدون ترك رواسب مما يعطى مدة خدمة أكبر مع لزوجة أقل ومقاومة جيدة ضد الأكسدة وتكوين رواسب (شوائب)

-أماالوظيفة الكهربية لزيوت العزل هي العزل الكهربي مما يمنع حدوث شرارة (قوس كهربي) بين موصلين لهما فرق جهد عالي.

مميزات زيوت العزل

١- قوة العزل الكهربية العالية

٢- اللزوجة المنخفضة

٣- خلوها من الحوامض غير العضوية والقلويات والكبريت المسبب للتآكل

٤- مقاومتها الجيدة للاستحلاب. (الاستحلاب هو تكون سائل فى شكل كريات معلقة عند إضافته لسائل آخر ورفضه الامتزاج. حيث يفترض بالزيت العازل الجيد قدرته العالية على الاختلاط بسهولة دون حدوث استحلاب)

٥- خلوها من الرواسب الطينية تحت ظروف التشغيل العادية

٦- يجب أن يكون نظيفا لا يحتوي على الماء و المواد الصلبة العالقة و لا يؤدي إلى الترسبات و كذلك لا يحتوي على الشعيرات القطنية الموجودة في الهواء.

الملوثات للزيت العازل

١- الأكسدة: وهى أكثر الأسباب شيوعا لتدهور الزيت. ويبذل مصنعو المحولات جهودا مضنية للتأكد من إحكام غلق الخزان أو الصندوق لعزله عن الهواء الجوى. ويتم إجراء التجفيف بعناية ومعالجة التفريغ لإزالة الهواء والرطوبة قبل إحكام غلق الخزان بعد ملئه بالهواء الجاف أو النيتروجين لتقليل تعرضه للأكسجين

٢- التلوث: الرطوبة هى الملوث الرئيسى بين ملوثات الزيت المحتملة، فقد يؤدى وجودها إلى إيجاد مصدر للمنتجات التفاعلية مع الزيت فى وجود الحرارة، كما تؤدى أيضا إلى تقليل الخواص العازلة للزيت. وتستخدم نفس الاحتياطات المستخدمة لحماية الزيت من الأكسدة فى حمايته من الرطوبة

٣- الحرارة الزائدة: وهى من أعداء الزيت، فهى تسبب تحلل الزيت نفسه و/أو تزيد معدل أكسدته. وأفضل وسيلة للحماية ضد الحرارة الزائدة هو تجنب التحميل الزائد للمحول

٤- تفريغات الكورونا: وقد يؤدى تكون الشرارة والتسخين الزائد الموضعى إلى انهيار جزئ الزيت منتجا الغازات والماء مما يؤدى إلى تكون الأحماض والرواسب الطينية.

الانهيار في الزيت العازل

يمكن أن يتلوث زيت العزل الكهربائي بواسطة الشوائب أو عند اندثاره (deterioration) من جراء الاستعمال حيث يمكن تحديد تفكك الزيت أو انحلاله أثناء الاشتغال تبعا إلى ظروف استعمال أو اشتغال المعدات الكهربائية في حالات عديدة يكون فيها الزيت في حالة تماس مباشر مع الهواء و بذلك يكون معرضا للأكسدة و تزداد هذه الحالة بزيادة درجة الحرارة أو بوجود العوامل المساعدة الأخرى مثل أجزاء المعادن أو المركبات المعدنية الذائبة أو كلاهما و عندها يحصل تغير في لون الزيت و كذلك في حامضيته (acidity) و نتيجة لذلك تقل مقاومته النوعية (resistivity) و في مراحل متقدمة من الأكسدة يمكن ان تلاحظ طبقة المواد المترسبة بشكل منفصل عن الزيت

-أن حصول بعض التغيرات في صفات و خواص العزل الكهربائي لزيت المحولات تعطي انطباعا عن انحلال بعض المواد المستخدمة و هذه التأثيرات يمكن أن تأثر على كلا من العوازل سواءاً كانت عوازل ورقية او الزيت نفسه و يمكن أن تتداخل مع صفات العزل الكهربائي للمنظومة بشكل عام و بالتالي نقلل من عمرها التشغيلي . ان هذه الملوثات أو المواد المنحلة في الزيت تعطي دليلا لحدوث واحد آو أكثر من التغيرات في الخواص الكهربائية أو الفيزيائية أو الكيميائية ، أن زيادة ظهور الرائحة الغير طبيعية و تغير اللون للزيت يمكن أن يكون دليلا واضحا على نوع و طبيعة التلوث أو طبيعة انحلال الزيت . يتم فحص الزيت سنويا أثناء الصيانة الدورية و ذلك بأخذ نموذجين من الزيت إحداهما من أسفل المحولة و الأخر من أعلى المحولة و يتم إرسال النماذج إلى المختبر لإجراء كافة الفحوصات الفيزيائية و الكيماوية و الكهربائية عليها و أذا ظهرت النتائج غير متطابقة للمواصفات القياسية المعتمدة يتم عندها أجراء المعالجات اللازمة للزيت لتمكينه من أداء وظيفته بالشكل المطلوب .

ظاهرة البرق(الصواعق lightning)

البرق هو تفريغ كهربائي بين الغيوم او بين الغيوم والارض ويكون لامع وساطع للغاية ومرئي للكهرباء الساكنة المتجمعة على السحب و تحدث الصاعقة في طبقات الجو بسبب تكون شحنات كهربائية موجبة وسالبة وتوزعها في السحب بحيث العازلية بين الغيوم والارض غير كافية او ليست كبيرة وعند تلك النقطة يحدث التفريغ ويحدث على شكل جريان او سيل من التيار الكهربائي حيث أن شدة التيار الكهربائي الذي تولده ومضة البرق الواحدة يصل إلى أكثر من ٢٠٠ ألف أمبير ، وهذا ما يجعل دراسة البرق معقدة جداً وإن درجة الحرارة داخل شعاع البرق كبيرة جدا .

وهناك عدة انواع من حالات البرق منها :

النوع الاول هو مايحدث بين الغيمة والارض حيث تحدث ومضات البرق نتيجة التقاء الشحنة الكهربائية السالبة في أسفل الغيمة مع الشحنة الكهربائية الموجبة الموجودة على سطح الأرض . ويسمى هذا النوع «برق غيمة-أرض» وهو النوع الاكثر ملاحظة بالنسبة لنا.

أما النوع الثاني فهو ما يحدث بين غيمة وغيمة أخرى ، وبما أن الوسط الذي تتجمع فيه الغيوم يمتلئ بالحقول الكهربائية فإن احتمال تلامس الشحنات المتعاكسة والتقائها كبير جداً حيث تلتقي الشحنات الموجبة الموجودة في أحد أطراف الغيمة مع شحنات سالبة قريبة وموجودة على أطراف غيمة مجاورة وتحدث ومضات البرق التي تشكل ٧٥ % تقريباً من مجموع ضربات البرق على سطح الكرة الأرضية . ويعرف هذا النوع بـ برق« غيمة – غيمة» .

أما النوع الثالث فهو ما يحدث بين الغيمة والهواء حيث تلتقي الشحنات الموجبة في أعلى الغيمة مع الشحنات السالبة في الهواء المحيط بها . وقد تكون الغيمة محمَّلة بشحنات سالبة في الأعلى ويكون الهواء القريب منهامشحوناً بشحنة كهربائية موجبة ، وعندما تكون كمية الشحنة الكهربائية كافية يحدث هذا النوع من أنواع البرق والذي يعرف بـ « برق غيمة – هواء» وهذا النوع من أنواع البرق قليل الملاحظة.

تفسير حدوث ظاهرة البرق:

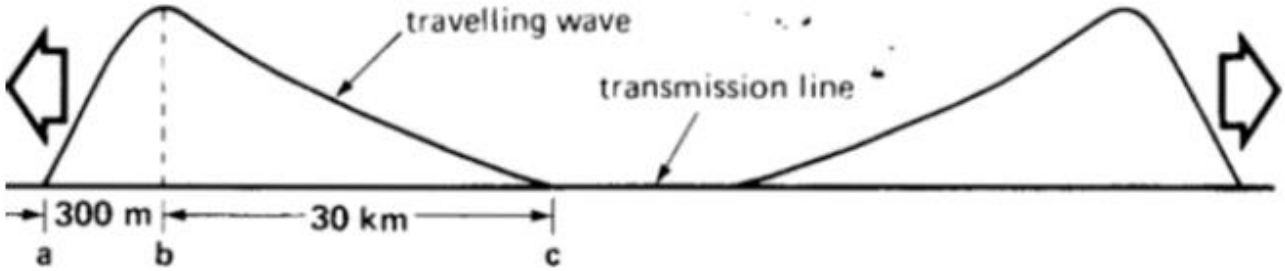
عند قدوم العاصفة الرعدية يكون الجزء السفلي للسحابة مشحون بشحنات سالبة ويكون الجزء العلوي ذو شحنة موجبة وعند اقتراب السحابة من الاجسام تتكون شحنات سالبة اسفل السحابة بالحث الكهروستاتيكي لذلك ينشا فرق جهد بين اسفل السحابة والاجسام ،وبالاستمرار تتراكم الشحنات الموجبة والسالبة على الاجسام والاسحابة على التوالي الى إن يزداد هذا الجهد حتى يصل (٢٠-٢٥) كيلو فولت لكل سم ،عندها يحدث تاين للهواء وبذلك يكون الهواء موصلا جيدا للكهرباء وبالتالي يكون العمل كعمل متسعة وبذلك يبدا التفريغ للشحنات عندها يحدث البرق.يتضح مماسبق إن الهواء بين السحابة والارض قد اصبح يمثل مكثف هوائي مشحون ، فاذا زاد فرق الجهد بين طرفي هذا المكثف الافتراضي عن جهد الانهيار للهواء (3×10^6 V/m = 30KV/cm) فسيحدث تفريغ للشحنة على صورة شرارة بين السحابة والارض .

فعليا يبدأ الهواء المجاور للسحابة في التأين بتأثير الشحنة الهائلة بالسحابة ويتكون مايعرف ب Leader Stream (مجرى التدفق) ، ويبدأ هذا هذا الخيط الرفيع المتأين من الهواء في التمدد طالما السحابة لاتزال قادرة على إن تمده بالشحنات مكونا مسار موصلا للتيار حتى يقترب من الارض وعندما يلامس الارض او اي جسم عليها تنتقل الشحنات الموجبة التي كانت مقيدة على الارض لتسلك نفس المسار الذي صنعه ال Leader Stream مرتفعة للاعلى ويحدث تفريغ هائل نتيجة اتصال الشحنات الموجبة للارض بالسالبة في السحابة ويحدث الشرارة العظمى التي نسميها بالبرق Lightning

مخاطر الصاعقة :

كثيراً ما تسببت بحرائق في الأبنية والغابات، وقتل العديد من الأشخاص وتحدث الصواعق عادة على الأبنية المرتفعة والتي تكون أقرب إلى الغيوم المشحونة وقد تؤدي الى اضرار في خطوط نقل القدرة ومحطات توليد الطاقة الكهربائية . ورغم قصر مدة التفريغ الا انها تكون كافية لانهيار العزل لاي من الموصلات المستخدمة في انظمة نقل القدرة اذا وصلت الصاعقه اليها . الصواعق هي مصدر قوي للتغير المتسارع في الجهد الكهربائي Impulse Transient وينتج عن ذلك مرور تيار هذه الصواعق الى الاحمال الكهربائية ويؤدي الى حدوث زيادة كبيرة في الجهد .

بصفة عامة ينشأ عن اصطدام صاعقة البرق بخطوط النقل الكهربائي ارتفاع لحظي حاد في جهد نقطة الاصطدام مما ينشأ عنه توليد الموجات الراحلة Travelling Wave حيث ترحل يمينا وشمالا كما في الشكل ادناه

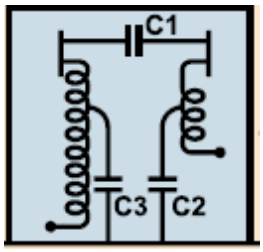


حتى تصل الى نهاية الخط من الجهتين حاملة معها شحنة طاقة هائلة ثم تنعكس هذه الموجات عند نهاية الخط .

وتتكرر هذه العملية حتى تفقد هذه الموجة قوتها نتيجة استنفاذ طاقتها في مقاومة الخط الاومية.ويتميز هذا النوع من الصواعق المباشرة Direct Strokes بارتفاع حاد فى الجهد يصل إلى مليون فولت/ميكروثانية بالإضافة إلى قيمة تيار عالية تصل إلى 200 KA ، فإذا لم يتم تفريغ هذه الشحنات قبل وصولها لملفات المحولات والأحمال فإنها يمكن أن تدمر كل شئ.

كما أن هذه الطاقة الهائلة الزاحفة على الخط تتسبب فى عمل قوس كهربى Electric Arc على عوا زل الأبراج أثناء زحفها على الخط لاسيما على سلاسل العوازل القريبة من نقطة الاصطدام ، لكن لحسن الحظ فإن طاقة الصاعقة تضعف كلما تحركت لمسافة أطول بسبب استهلاك الطاقة خلال مقاومة الخط وبسبب حدوث تفريغات

خلال ال Arc Gaps المركبة على سلاسل العوازل وعندما تصل الصاعقة إلى المحول فإن المحول يقوم بدور فعال جدا فى مواجهتها ، فرغم أننا نعلم أن المحول ينقل الجهد من الجانب الابتدائى للثانوى حسب ال Turns Ratioإلا أن هذا الكلام صحيح فقط فى مدى الترددات المنخفضة ، أما فى حالة وجود ترددات عالية فإن المحول سيمثل معاوقة عالية جدا $XL = 2\pi f$L بسبب التردد العالى .ومن ثم فلن تستطيع الصاعقة الانتقال للجانب الثانوى من خلال الحث المغناطيسي مثلما يحدث فى المحول مع الجهد العادي.
لكنها للأسف قد تستطيع الوصول للجانب الثانوى من خلال الcoupling capacitor, C1 بين الملفات كما في الشكل والتى تقدم مسا را بديلا للموجات ذات التردد العالي و هذا يؤدي إلى زيادة الجهد الكهربائي في الجانب الثانوي من المحول بقيمة أكبر حتى من التى كانت متوقعة من نسبة عدد اللفات " turns ratio " ما لم تحل هذه المشكلة بطريقة ما .



كما يوجد طرق أخرى لعبور تيار الصواعق إلى الجهة الأخرى عبر موصل الأرضي" ground conductor path " فهناك عدد من الممرات التي من الممكن أن يدخل عن طريقها تيار الصواعق إلى نظام التأريض و هوموضح في الشكل ادناه عن طريق عدد من الخطوط المنقطة" dotted lines " وبالطبع فمن أهم مشاكل الصواعق أنها ترفع الجهد إلى قيم مدمرة على كافة الأجهزة التى تقع في طريقها حتى مكان تفريق الشحنات . كما قد يرتفع الجهد على موصلات منظومة التأريض إلى عدة آلاف من الفولت ، الأمرالذى يؤدى لتلف الأجهزة الإلكترونية المؤرضة بتلك المنظومة. لذا كان من الضروري اتخاذ احتياطات الامان للحماية او التقليل من مخاطر الصواعق .

<u>طرق الحماية من تأثير الصواعق في شبكات الجهد العالي</u> :

يتم حماية المعدات الكهربائية من زيادة الجهد الناتج من الصواعق بتركيب مانعة صواعق Lighting arrestor ويتم حماية خطوط النقل بواسطة سلك الأرضى المركب فى أعلى ابراج خط النقل .
الزيادة الفجائية في الجهد على الشبكة الكهربائية الناتجة عن الصواعق الكهربائية يمكن تجنبها او التقليل من اخطارها في الواقع بالوسائل التاية :
١- حماية الخطوط الهوائية باستخدام خطوط ارضية تركب في اعلى ابراج خط النقل
٢- استخدام القضبان الارضية
٣- استخدام اجهزة الحماية :
- ثغرات التفريغ
- انابيب الحماية على الخطوط
- مانعات الصواعق

١- حماية الخطوط الهوائية باستخدام خطوط ارضية تركب في اعلى ابراج خطوط النقل :
هو موصل كهربائي موجود على التوازي مع الموصلات الرئيسية لخط النقل الكهربائي الموضوعة على نفس البرج ويكون في اعلى البرج ومؤرض عند كل الابراج ويعمل على حماية خط النقل الكهربائي من الشحنات المتولدة من السحب وكذلك تفريغ الصواعق الى الارض عبر البرج ، وتعتمد الحماية الفعالة للخط الارضي على ارتفاع الخط الارضي عن مستوى سطح الارض وزاوية الحماية غالبا تكون 30^{o} بالنسبة لخطوط النقل .

٢- استخدام القضبان الارضية :
القضبان الارضية التي تستخدم يكون قطرها حوالي ١٥ مم وطولها يتراوح بين ٢.٥ الى ٣ متر وفي الارض الصلبة يزداد طول القضيب ويمكن ان يصل لعمق ٥٠ متر . وتصنع عادة من الحديد المجلفن او النحاس . ويعتمد عدد القضبان الارضية والمسافات بينهما وعمق الدفن على القيمة المطلوبة للمقاومة الارضية .
ويمكن استخدام اسلاك الموازنة العكسية counter poise wires وتدفن هذه الاسلاك على عمق يتراوح بين ٠.٥ الى ١.٠ متر وموازيا لموصلات خطوط النقل الكهربائي وتوصل بارجل الابراج . طول هذه الاسلاك

يتراوح بين ٥٠ الى ١٠٠ متر . وقد وجد إن هذه الاسلاك اكثر فعالية من القضبان الارضية وتقلل قيمة معاوقة الصاعقة بفعالية والتي يمكن إن تصل الى ٢٥ اوم . ولا يوثر عمق الدفن على مقاومة الاسلاك ومن المطلوب استخدام اطوال اكبر او عدد منها على التوازي بدلا من استخدام سلك واحد .

٣- اجهزة الحماية :

في المناطق التي يكثر حدوث الصواعق فيها لابد من وجود اجهزة حماية من الصواعق الكهربائية على التوازي مع الخطوط الكهربائية . وعلى الخطوط الكهربائية نستخدم نوعين من الاجهزة تعرف بثغرات التفريغ او الانفجار وانابيب الحماية . وغالبا مايثبت باطراف الخطوط الكهربائية ونقاط التوصيل الكهربائية على الخطوط ومحطات التوزيع الكهربائية مانعات الصواعق .

اجهزة الحماية من الصواعق :

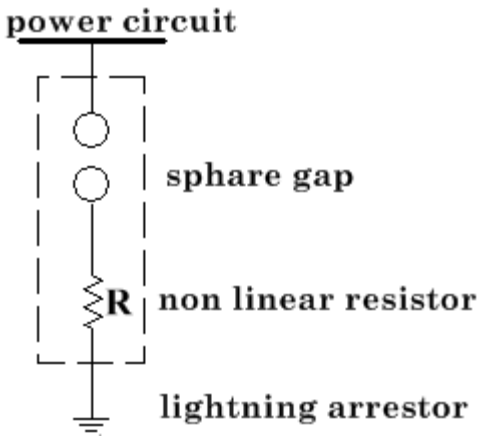
١- مانعات الصواعقlightning arrester:

تستخدم لحماية الأجهزة والمعدات الكهربائية المركبة بالخطوط الهوائية اوغيرها من المحطات الكهربائية والمباني من زيادة الجهد Over Voltage الناتج من العوامل الجوية (صاعقة).وهي عبارة عن معدن موصل جيد للتيار الكهربائي يوضع فى أعلى المبانى ويوصل بسلك نحاس الى الأرض يعمل على تسهيل تسرب الشحنات الكهربائيه الناتجه من أحتكاك السحب الى الأرض. وهى ببساطة عبارة عن مقاومة غير خطية تتغير قيمتها بتغير الجهد الواقع عليها فتكون قيمتها كبيرة جدا عند الجهود العادية المسموح بها و عند حدوث ارتفاع مفاجيء فى الجهد تقل قيمتها وتعمل Short مما يؤدى إلى تسريب الشحنة الكهربية إلى الأرض و بذلك يتم حماية المعدات من الجهد ولكل مستوى جهد فى الشبكة الكهربائية توجد له قيمة معينة لل Over voltage لا يتعدها فمثلا خط نقل جهد ٦٦ كيلوفولت تكون أقصى قيمة لزيادة الجهد هى 325 كيلوفولت طبقا للمواصفات القياسية IEC.

هناك نوعين من مانعات الصواعق هما :

النوع الأول (Valve Type Arrester) :

هو مانع من النوع الصمامى ، ويتكون هذا النوع من Non Linear Resistor Element مركب على التوالي مع Spark Gap كما في الشكل فأما ال Non-linear Resistance فتكون قيمتها كبيرة جداً فى الحالة العادية أى عند جهد الشبكة الطبيعى. وأما ال Gap Unit فيكون لديه فراغ Gap بمسافة معينة ، بحيث يكون ال Arrestorغيرقادرعلى توصيل التيار فى الحالة العادية .وعند حدوث الصاعقة يزداد الجهد بصورة كبيرة و ينكسر عزل الهواء فى ال gapو تصبح قيمة المقاومة صغيرة جداً و يتم تفريغ التيار للأرض. وقد تم استخدام هذا النوع لعدة عقود من الزمن حتى ظهر النوع الثاني وهو ال Metal-Oxide Arrestersفى منتصف سبعينات القرن الماضى.



النوع الثانيMetal-Oxide (ZnO) Arrester :
هو مانع يستخدم أكسيد الزنك ، ففى هذا النوع تم استبدال الو Non-linear Resistance المصنعة من كربونات السيليكون Silicon-Carbide بأخرى من Metal-Oxide التى تتمتع بـNon-linearity characteristics أعلى من نظيرتها. وتم أيضا الاستغناء عن Series Gap فى هذا النوع و بذلك يكون قد قضى على مشكلة الحرارة المرتفعة التى كانت تنتج من حدوث breakdown لل spark gaps ، كما يقلل من إحتمالات الفشل التى كانت تحدث نتيجة لتغير ال breakdown voltage الخاص بال spark gap بسبب تغير أحد الظروف مثل الضغط أو درجة الحرارة أو التلوث.
و يصنع هذا النوع عادة من أكسيد الخارصين (Zinc Oxide) الذي يمتاز بانهيار مقا ومته عند قيمة محددة للجهد ثم استردادها مرة أخرى عند انخفاض هذه القيمة ، مما يوفر حماية و أداء أفضل للarrestor وتزود هذه الأجهزة بعدادات لقياس تيار الصاعقة و لحصر عدد المرات التى مرت فيها الصواعق خلاله وهذه المعلومات هامة فى تقييم صلاحية الLA و يجب تغير مجموعة الاقراص(التى تتكون منها المقاومة الغير خطية)الموجودة داخل مانعة الصواعق بعد عدد معين من مرات التفريغ و هذا العدد يتم تحديده بواسطة الشركة المصنعة . واذا لم يتم استبدال وفحص الأقراص فقد نتفاجأ بحدوث صاعقة وتنهار مانعة الصواعق و المعدة معها. كذلك يوجد عداد آخر لقياس تيار ال SS معاير بالمللى امبير ، وفى حالة زيادة هذا التيار بمرور الوقت فإن هذا قد يكون مؤشرا للانهيار الحراري لمانعة الصواعق وعوازل الخط الكهربائي أيضا.
علما بأن ال LA قد يوضع أيضا ليس فقط عند نقطة دخول الخطوط الهوائية للمحطة بل أيضا يوضع مباشرة قبل المحول وذلك لوجود إحتمال أن الصاعقة ضربت أى عنصر من عناصر المحطة الموجودة فى منطقة التفريعات(بالهواء الطلق)وبالتالى فهناك إحتمال أن تصل للمحول(وهو العنصر الأهم والأغلى بمحطة المحولات) ولذا وجبت حمايته بوضع LA إضافى .

المعدات والهياكل التي يجب حمايتها من تاثير الصواعق:

- جميع الهياكل المعدنية العالية والمنخفضة
- الابنية العالية نسبيا
- القمم المدببة كالماذن والابراج
- المباني التي تحوي مواد قابلة للاشتعال
- خطوط نقل القدرة
- محطات التوليد ومحطات توزيع القدرة الكهربائية
- المستشفيات ومراكز الاتصالات والتقنية.

التفريغ الهالي (Corona)

تنتج ظاهرة التفريغ الهالى الـ Corona فى حالة وجود مجال كهربائى غير منتظم و يمكن ملاحظة هذة الظاهرة على خطوط النقل كوميض لامع مائل للزرقة على شكل هالة و تكون هذة الظاهرة مصاحبة بصوت ازيز .
وبالطبع ينتج عن وجود هذه الظاهرة حدوث مفاقيد للقدرة الكهربائية تسمى Corona Losses تتمثل فى هالة من الضوء يميل للون البنفسجى أو الأزرق ، والصوت المصاحب للظاهرة إضافة إلى حدوث تداخلات مع موجات الراديو Radio Interference وتحدث ظاهرة(التفريغ الجزئى Partial Discharge)أو الكورونا فى أى وسط عازل بالقرب من جهود كهربائية فى الخدمة ، سواء كان ذلك خطوط النقل أو فى أى عازل آخر مثل الزيت مثلا داخل ال CB ، ففى حالة خطوط النقل يتأين الهواء المحيط حول موصلات الجهد العالي وتزداد الظاهرة وضوحا كلما كان سطح الموصل غير منتظم وأيضا كلما زادت الرطوبة والتلوث فى الوسط العازل حيث تزداد نسبة ذرات الهواء المتأين حول الموصل.
وتحدث هذه الظاهرة عندما يتجاوزشدة المجال الكهربائى electric field عند سطح الموصل الحد المعروف ب disruptive potential gradientوهو الحد الذى يساوى فى حالة الهواء الجوى (30 kV/cm مع ملاحظة أن هذه القيمة تتغير مع الضغط الجوى ولذا فمشكلة الكورونا أكثر وضوحا فى الأماكن المرتفعة عن سطح الأرض)ويترتب على ذلك أن يصبح الهواء المحيط بالموصل ليس عازلا كاملا بل تصبح له درجة من درجات التوصيل a conductive plasma فقط فى منطقة محيطة بالموصل .لكن قد تزداد هذه الطبقة الموصلة مع الوقت حتى ينكسر العزل بين الموصلات ويحدث انهيار كامل من خلال شرارة كهربائية.

اسباب حدوث ظاهرة الكورونا :

- ارتفاع الجهد الكهربائى : فمن أهم أسبابها ارتفاع الجهد على الخطوط وبالتالى يزداد شدة المجال وتزداد احتمالية تأين الذرات حول الموصل.
- انخفاض شدة العزل : ومن أسبابها أيضا انخفاض شدة العزل نتيجة تلوث أو رطوبة مثلا . تذكر أن المجال الكهربائي يتأثر بقيمة الجهد ولا علاقة له بقيمة التيار ومن ثم فالظاهرة لا تتأثر بقيمة التيار فى الخطوط.
- تقارب الموصلات : ومن أسبابها أيضا تقارب المسافات بين الأجزاء الحاملة للجهد (ومن ثم فدائما هناك مسافة كافية بين موصلات خطوط النقل لتجنب الوصول لقيمة الجهد الذي تحصل عنده) .
- عدم انتظام المجال الكهربائى : مع التأكيد على أن أكثر الأماكن تأثرا بهذه الظاهرة هى الأماكن غير المنتظمة السطح حيث يصبح توزيع المجال فيها غير منتظم فيزداد فى نقاط(يحدث فيها التأين)ويقل فى نقاط أخرى (الاسطح المنتظمة مثل اسطواني اسطواني ,والغير منتظم مثل كروي كروي...).

و تتاثر ظاهرة الكورونا او التفريغ الهالي بالعوامل التالية:
1 – حالة سطح الموصل (كلما ازدات خشونة السطح ازاد المجال الكهربائى الغير منتظم وزاد ظهورالكورونا)
2– حالة الغاز المحيط (نسبة الرطوبة – درجة الحرارة – نوع الغاز – الضغط الجوى)
٣ – شكل الموصلات الكهربية و المسافة بينها
يمكن ان توجد ظاهرة الكورونا داخل المواد العازله مثل الزيت والكابلات الكهربائيه وتكون خطيرة حيث انها تسبب انهيار المتانه الكهربائيه (قوه العزل الكهربائي)

تاثيرات الكورونا:

- حدوث مفاقيد للقدره الكهربائيهLosses
- تؤدي إلى زيادة التيار الكهربائي وبالتالى إرتفاع درجة حرارة الموصل
- سماع صوت ازيز
- إهتزاز الموصل
- تداخلات مع موجات الراديو

طرق للحد من ظاهرة الكورونا :

- زيادة المسافه الفاصله بين الاطوار- لتقيل شدة المجال - ولكن ذلك سيؤدي إلى زيادة حجم البرج وإرتفاع التكلفه
- زيادة مساحة مقطع الموصل وبالتالي يقل قيمة المجال على سطح الموصل وأحد طرق زيادة المقطع هو استخدام bundled conductorsوالذي يجعل موصل الطورالواحد عبارة عن موصلين او اكثر ثم عمل دائرة قصرعلى هذه الموصلات وبالتالي يزيد المقطع المكافئ لكل موصل ومن ثم يقل المجال المحيط به فلا تتأين ذرات الهواء (لاحظ الشكل ادناه).

- تجنب استخدام الاسطح الحادة في خطوط النقل وغيرها لتجنب الارتفاع في فولتية الانحراف ،لذا تستخدم وسائل تعليق لها حواف مستديرة ، كذلك الحال بالنسبة للمباعد بين الاطوار وكذا الحال بالنسبة لخامد الاهتزازات .
- تجنب الارتفاع في الجهد لانه احد اهم الاسباب الرئيسية .

-استخدام ما يعرف بـ Corona Rings حيث تتصل بالموصل المعدني الحامل للجهد مباشرة عند نقطة اتصاله بسلسلة العزل (اي مابين سلسلة العزل والموصل) فاذا حدثت الكورونا فانها تحدث على الحلقة وليس على سلسلة العزل.

قوانين تخص التفريغ الهالي

- فولتية التمزيق الحرجة :

$$E_{0,rms} = 21.2\times \delta\times m_0\times r\times \ln (d/r) \qquad kV \text{ to neutral}$$

m_0 : معامل عدم الانتظام

m_o = ١ للموصلات المصقولة الناعمة

= ٠.٨٣ للكابلات المقطوعة

δ: معامل تصحيح كثافة الهواء

r : نصف قطر الموصل بالسم

d : الفراغ بين الموصلا ت

(kv/cm) ٢١.٢: قيمة قوة انهيار الهواء ب rms

$$\delta = \frac{p}{760} \times \frac{273+20}{273+t} = \frac{0.386\,p}{273+t}$$

P:الضغط

t : درجة حرارة الهواء

- فولتية بداية الهالة المرئية :

$$E_{v,rms} = 21.2\times m_v \times \delta \times r \times [1+\frac{0.3}{\sqrt{\delta \times r}}] \times \ln(\frac{d}{r})\ kv$$

m_v:معامل عدم انتظام الهالة المرئية

m_v= ١ للموصلات الناعمة

= ٠.٧٢ للاسلاك المقطعة

- خسائر القدرة بسبب الهالة :

$$Pc = \frac{243}{\delta} \times (f + 25) \times \sqrt{\frac{r}{d}} \times (E - E_{o,rms})^2 \times 10^{-5}\ kw/km/phase$$

f: التردد HZ

E: فولتية الطور (الخط الى المتعادل) KV

ملاحظة: تؤخذ الفولتيات عند الطقس العاصف بنسبة ٨٠%من الطقس المعتدل

مثال:حدد فولتية التمزيق الحرجة ،فولتية بداية الهالة المرئية ،وخسائر القدرةفي الخط بسبب الهالة ،سواء في ظل ظروف الطقس المعتدل فضلا عن ظروف الطقس العاصف لـ 100kmطول ثلاثة اطوار،132kv خط يتكون من الموصلات ذات القطر 1.04cm ,مرتبة على شكل مثلث متساوي الأضلاع مع 3m التباعد.درجة حرارة البيئة المحيطة هو 40^0 C والضغط هو 750 torr . تردد التشغيل هوHZ 50.[يمكن أن تؤخذ عوامل عدم انتظام كما mo = 0.85, mv = 0.72].

الجواب :

معامل تصحيح كثافة الهواءδ تعطى ب

$$\delta = \frac{p}{760}\frac{273+20}{273+t} = \frac{0.386\,p}{273+t} = \frac{750}{760}\frac{293}{313} = 0.925$$

$E_{0,rms}$ = 21.2 δ m_o r ln (d/r) kV to neutral

= 21.2 x 0.925 x 0.85 x 0.52 x ln (3/0.0052)

= 55.1 kV

$$\boldsymbol{E_{v,rms}} = 21.2\,x\,0.925\,x\,0.72\,x\,0.52\,x\ln\left(\frac{3}{0.0052}\right)x\left[1+\frac{0.3}{0.925\,x\,0.52}½\right]$$

= 66.9 kV

$E_{0,rms}$ (عند الطقس العاصف)= 55.1× 0.80 = 44.08 kv

$\mathbf{E_{v,rms}}$(عند الطقس العاصف) = ٦٦.٩ × ٠.٨٠ = 53.52 kv

P_c(تحت شروط الطقس المعتدل)

$$=(243/0.925).(50+25)\sqrt{\frac{0.0052}{3}}\left(\frac{132}{\sqrt{3}}-55.1\right)^2\times10^{-5}\times100\ \text{kW/phase}$$

=365.6 kw/phase

P_c(تحت شروط الطقس العاصف)

$$=(243/0.925).(50+25)\sqrt{\frac{0.0052}{3}}\left(\frac{132}{\sqrt{3}}-44.80\right)^2\times10^{-5}\times100\ \text{kW/phase}$$

= 847 kw/phase

P_c (total)=3× 365.6 =1096.8 kw for three phase

P_c (total)= 3×847 = 2541 kw

كابلات الجهد العالي

الكابلات هى وسيلة من وسائل نقل القدرة وتوزيعها من المصدر إلى مناطق الاستهلاك او اجهزة الاستخدام حيث يصعب مد الخطوط الهوائية وتصنف الكابلات بصورة عامة تبعا للمادة العازلة المستخدمة او ضمنيا الجهد .

ومن خلال الجدول التالي سيتم عمل مقارنة بين الخطوط الهوائية و الكابلات الأرضية كوسائل لنقل القدرة لتوضيح مميزات وعيوب كل منها .

درجة المقارنة	الخطوط الهوائية	الكابلات الأرضية
الناحية الاقتصادية	اقتصادية (رخيصة)	غير اقتصادية (غالية الثمن)
الاستخدام	فى الأماكن الخالية (الصحارى والمزارع)	فى الأماكن المزدحمة بالسكان (المدن)
الشكل الجمالي	تشوه الشكل الجمالي	لا تشوه الشكل الجمالي
الجهود المنقولة	تستخدم فى الجهود العالية	تستخدم فى الجهود القليلة
طريقة تحديد الأعطال	سهلة وبالعين المجردة وتحتاج لزمن قليل	صعبة وتستخدم لها أجهزة وتحتاج لزمن أكبر
تكاليف إصلاح العطل	تكلفة قليلة أحيانا	مكلفة دائما
عدد الأعطال	كثيرة الأعطال	قليلة الأعطال
الخطورة الناتجة منها	كثيرة الخطورة وقليلة الأمان	أمان أكثر وخطورة أقل
تعطل المرور	لا ينتج عنها تعطل المرور	ينتج عنها تعطل المرور
الصيانة والإصلاح	تحتاج إلى صيانة باستمرار	قليلا ما تحتاج إلى صيانة

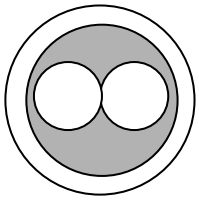
تصنيف الكابلات من حيث الجهود المنقولة:

- كابلات الجهد المنخفض 1kv
- كابلات الجهد المتوسط 11kv - 66kv
- كابلات الجهد العالي 66kv - 132kv
- كابلات الجهد الفائــق 132kv - 500kv

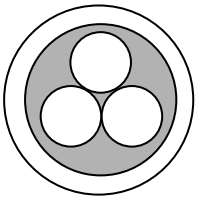
الموصل *CONDUCTOR* :

وهو الذى يقوم بنقل التيار الكهربائي من مكان الى آخر ويكون الموصل عادة من النحاس أو الألمونيوم ورغم ما يتميز به النحاس عن الألمونيوم كهربائيا فأن الألمونيوم هو الشائع للاستخدام نظرا لرخص ثمنه وسهولة الحصول علية وأيضا سهولة تشكيلة .

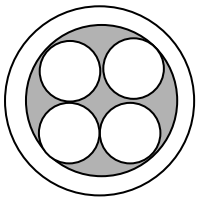
ويكون الموصل إما مصمت أى شعرة single core واحدة أو مجدول multi core بمعنى إن متعدد الشعيرات ويتميز المجدول عن المصمت بالمرونة وزيادة الأسطح مما يجعله يتحمل تيار كهربائي أكثر من المصمت ولذلك يستخدم الموصل المجدول للمقاطع الكبيرة وللأحمال والجهود العالية على عكس المصمت كما انه من الممكن أن يكون الموصل إما دائري أو قطاعي الشكل حسب نوع الكابل .



كابل ٢ موصل شكل دائرى



كابل ٣ موصل شكل دائرى



كابل ٤ موصل شكل دائرى

تصنيف الكابلات من حيث مادة العزل المستخدمة:

١. كابلات معزولة بالورق المشبع بالزيت (كابلات زيتى) .
٢. كابلات معزولة بمادة ال P . V . C (البولى فينيل كلورايد) .
٣. كابلات معزولة بمادة البولى إيثلين المتشابك [X . L . P . E] كروس لينكد بولي إيثلين.
٤. كابلات معزولة بمادة البولى إيثلين [P . E] .
٥. كابلات معزولة بمادة البولى إيثلين المطاطي [E . P . R] .

و مما سبق يتضح لنا أن الكابلات تسمى باسم مادة العزل المستخدمة مما يدل على مدى أهمية العزل فى صناعة الكابلات وهو أهم مكونات الكابل ونظرا لهذه الأهمية فإنه يجب أن تتوافر فى مادة العزل بعض المواصفات مع الأخذ فى الاعتبار أنه من الصعب توافر كل مواصفات وخصائص العزل الجيد فى مادة واحدة

خصائص المـادة العـازلــة:

١. أن تكون لها مقاومة نوعية عالية .
٢. أن يكون لها جهد انكسار عالي .
٣. ألا تقبل امتصاص الرطوبة من الوسط المحيط بها .
٤. لا تتفاعل مع الأحماض والقلويات الموجودة بالتربة .
٥. أن تكون لها خاصية الصلابة و المرونة معاً .
٦. لا تتأثر أو تتغير مكوناتها بارتفاع درجة الحرارة الناتجة عن تيار الحمل العادي أو أقصى حمل أو الحرارة الناتجة عن تيار القصر .
٧. لا تقبل سريان الحريق .
٨. أقل فقد كهربائى ممكن أثناء التشغيل .
٩. ضمان حمل التيار الكهربائي بأمان حتى أقصى جهد أسمي بين الموصلات .

أعماق وضع الكابلات:

توضع الكابلات فى خنادق يتم حفرها على الأعماق الأتية فوق طبقة رمل ١٠ سم

1kv	٤٥ سم
2.3:11kv	٧٠ سم
22: 33kv	١٠٠سم

وفى حالة وجود عدد من الكابلات تكون هناك مسافة أفقية فى حدود من ٢٠ :٤٠ سم لتلافى تأثير الحرارة الناتجة عن كل كابل وتغطى الكابلات بطبقة أخرى من الرمل ثم بلاطات خرسانية أو طوب ثم طبقة من التراب الناعم بسمك ٢٠ سم ثم الردم .