

الباب الأول

المقدمة

(1.1) مدخل :-

نظرا للطلب المتزايد على استخدام الطاقة الكهربائية في البلدان المختلفة فقد اصبح انتاج كميات كبيرة منها ضرورة ملحة. ولنقل هذه الكميات الضخمة من القدرة الكهربائية عبر خطوط النقل الكهربائية تم الاتجاه الى نقلها عبر خطوط نقل ذات جهود عالية وذلك لعدة مزايا منها: تحقيق كفاءة نقل عالية, تقليل التكاليف الاقتصادية لخط النقل , والحصول على تنظيم جهد جيد في جميع اجزاء الخط بتقليل المفاويع. و في البلدان الصناعية مثل أمريكا و أوروبا و روسيا وصلت الجهود التي تنقل عندها الطاقة الكهربائية إلى قيم تتراوح ما بين 765 إلى 1100 كيلو فولت . ونظرا لارتباط متطلبات العزل للأجهزة و المعدات و العوازل الكهربائية التي تعمل عند جهود عالية بمستوى الجهد فقد بات من الضروري الاهتمام بتقنية الجهد العالي. ومن هذا المنطلق فانه يمكن القول بان الجهود العالية تستعمل لاختبار عازلية المعدات مثل:(المحولات,المولدات,المحركات,...الخ) تحت بيئة أو ظروف التشغيل العادية و الطارئة .

(2.1) الأهداف :-

أهداف هذا المشروع متمثلة في معرفة و دراسة طرق توليد الجهود العالية بمختلف أنواعها (متردد , مستمر , نبضي) , و كذلك البحث بدقة عن طرق قياس الجهود العالية , و من ثم دراسة آلية انهيار المواد العازلة تحت تأثير الجهد العالي سواء أكانت صلبة , سائلة , أم غازية .

(3.1) المنهجية :-

تم جمع المعلومات المتعلقة بدراسة الجهود العالية و طرق توليدها و قياسها و كذلك دراسة آلية انهيار المواد العازلة المعرضة للجهود العالية من المراجع المتخصصة في هذا المجال بالإضافة الي معمل الجهود العالية جامعة الخرطوم.

(4.1) هيكلية المشروع :-

يحتوي هذا المشروع على خمسة أبواب , حيث الباب الأول عبارة عن مقدمة تحتوي على مدخل للمشروع وكذلك على أهداف المشروع المراد تحقيقها و كذلك على المنهجية و هيكلية المشروع . فيما يتناول الباب الثاني دراسة التقنيات المختلفة لتوليد الجهد العالي المتردد و المستمر و الجهود النبضية. ويتضمن الباب الثالث التقنيات المختلفة لقياس الجهود العالية .كما سيتم في الباب الرابع استعراض العوازل الكهربائية المستخدمة في خطوط نقل القدرة من حيث المواد المكونة لها و زيادة كفاءتها . بينما يتحدث الباب الخامس عن خلاصة المشروع و كذلك التوصيات و المراجع .

الباب الثاني

طرق توليد الجهود العالية

مقدمة:

تستخدم أجهزة الجهد العالي في معامل الأبحاث لدراسة سلوك العوازل الكهربائية ومدى تحملها للجهود المطبقة عليها في مواقع العمل وذلك لتحديد عامل الأمان لعملها. ولا بد لأي معمل جهد عالي أن يحتوي على أجهزة لتوليد الجهود المرتفعة التالية:

1. الجهود العالية المترددة.

2. الجهود العالية المستمرة.

3. الجهود العالية النبضية أو الدفعية.

وكذلك تجهيزات لقياس تلك الجهود. وسنستعرض فيما يلي الأنواع المختلفة للجهود وطرق توليدها والدوائر المستخدمة لذلك.

(1.2) توليد الجهود العالية المترددة:

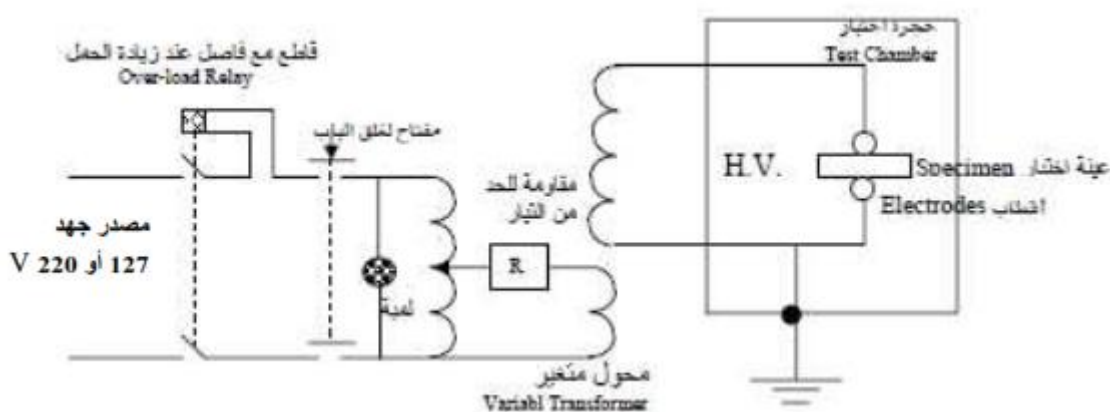
اعتمدت طريقتان لتوليد الجهد العالي المتردد وهما:

(1.1.2) توليد الجهود العالية المترددة باستخدام محولات الجهد:

1. توليد الجهد العالي باستخدام محول مفرد:

تستخدم محولات مفردة لاختبار الأجهزة والعوازل لضمان تحملها للإجهادات التي تنشأ عن هذه الجهود. والشكل (1.2) يبين التجهيزات الأساسية لمعمل جهد عال يحتوي على محول مفرد. يتم تغذية المحول المتغير عن طريق مصدر جهد يعمل عند ذبذبة 60 هيرتز، مما يؤدي إلى إمكانية التحكم في مقدار الجهد الذي يغذي الملف الابتدائي لمحول الرفع المفرد وبالتالي نحصل على جهد

عالي متردد من الطرف الثانوي يتناسب مع نسبة عدد الملفات لطرفي المحول كما يوجد قاطع كهربائي حساس لزيادة الحمل وقاومة للحد من التيار في حالة حدوث قصر. ويتضح من الشكل أيضا الجزء الخاص بالاختبار من المعمل والذي يوجد به محول الجهد العالي والجزء الخاص بالتحكم والقياس ويتولد بهذه الطريقة جهد يمكن التحكم في قيمته بحيث يتراوح ما بين صفر فولت إلى جهد يصل إلى 200 كيلوفولت وعادة ماتنقسم هذه المحولات من حيث الجهد الخارج والسعة إلى قسمين: (1) محولات نقالة لها جهد خارج يصل إلى 50 كيلوفولت وسعة ظاهرية تتراوح ما بين 1 إلى 2 كيلوفولت أمبير. (2) محولات كبيرة وثابتة خرج الجهد لها يصل إلى 200 كيلوفولت وسعتها الظاهرية تصل إلى 100 كيلوفولت أمبير.

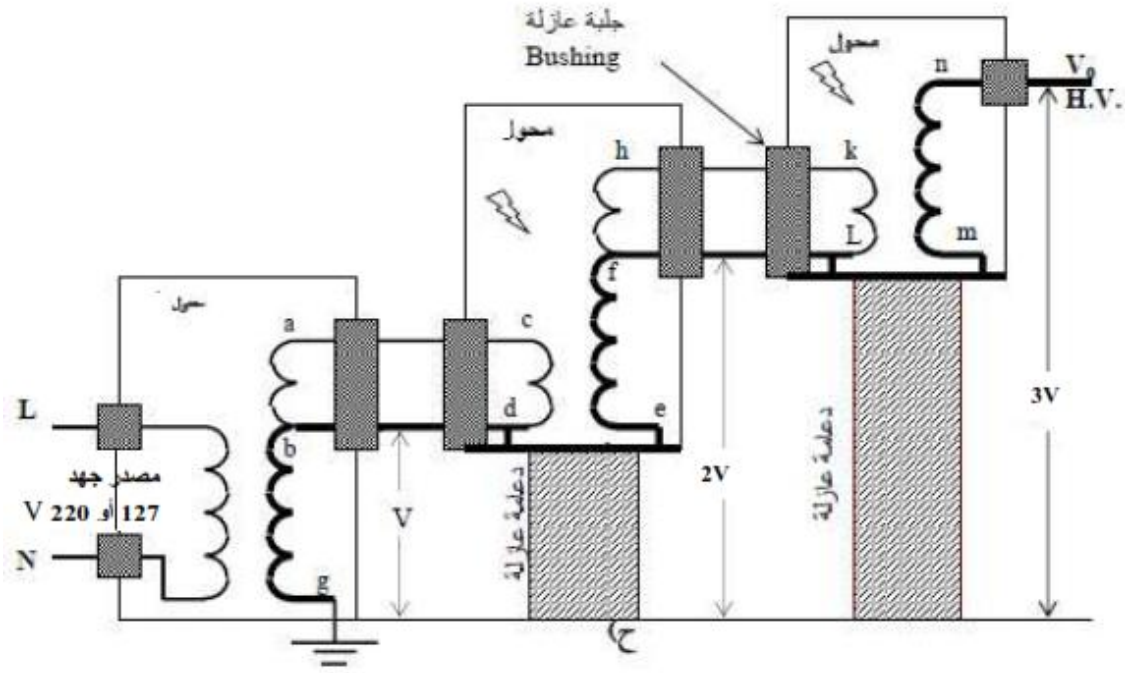


شكل (1.2) توليد الجهد العالي باستخدام محول مفرد

مستوى العزل المطلوب للمحولات المفردة عادة ما يكون عال ومكلف مما يؤدي إلى تصنيع محولات كبيرة الحجم وغالية وصعبة التحميل والتركيب. لذلك فإنه من الأنسب تصنيع محولات ذات حجم أصغر وتكلفة أقل ويتم توصيلها على التوالي لنحصل على يتناسب مع عدد المراحل أو الوحدات.

2. توليد الجهد العالي باستخدام محولات موصلة على التوالي:

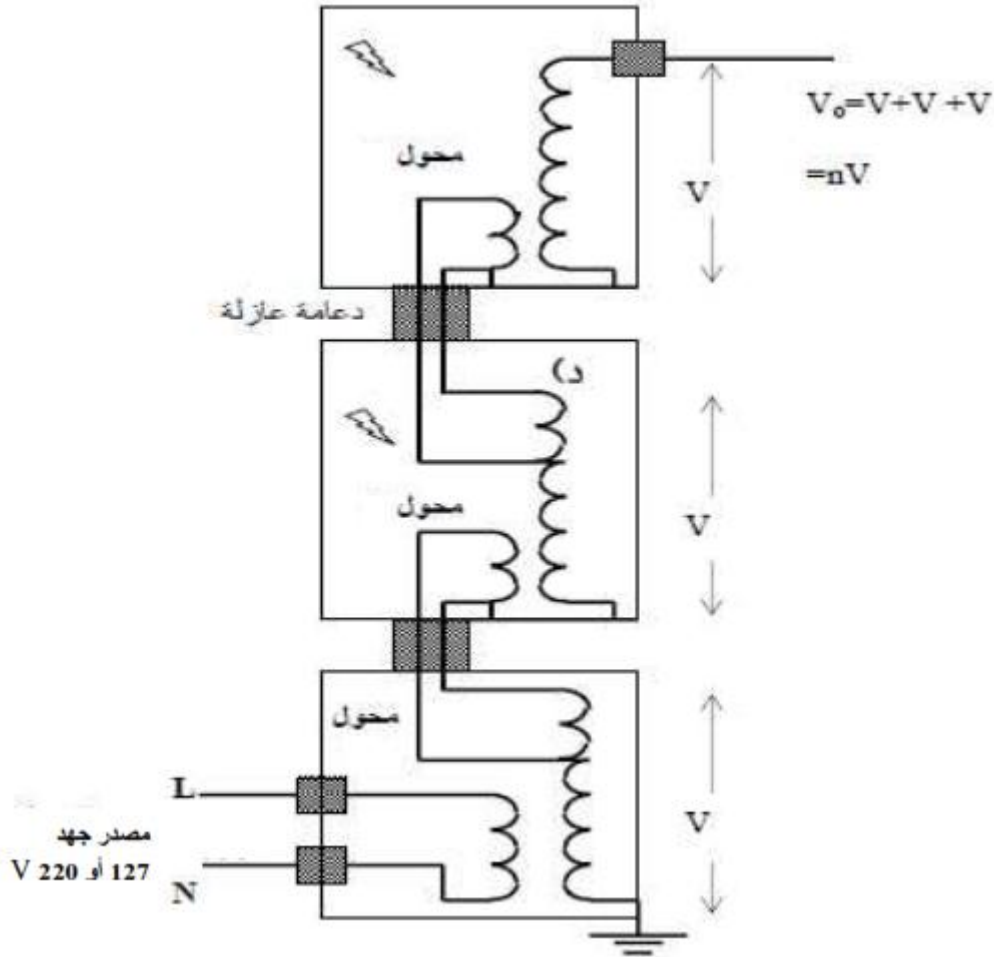
تستخدم وحدات المحولات الموصلة على التوالي لتوليد جهود عالية تصل إلى عدة مئات من الكيلوفولت والتي يتعذر على المحولات المفردة توليدها. الشكل (2-2) يوضح المحولات الموصلة ببعض على التوالي.



شكل (2.2) توليد الجهد العالي باستخدام عدة وحدات موصلة على التوالي أفقيا

يتم توصيل ملفات الوحدات ببعض على التوالي، ويوصل مصدر الجهد بالمحول الأول فقط بينما يوصل الملف الابتدائي لكل وحدة بتفريعه من الملف الثانوي للمحول الذي قبله بحيث يكون الجهد عبرها يساوي جهد المصدر. وحيث إن جميع المحولات متماثلة لذلك فإن الجهد الخارج من المحولات يساوي حاصل ضرب عدد المراحل في الجهد الخارج من كل مرحلة. وحيث إن الأطار المعدني لكل محول هو نقطة التوصيل المشتركة للتوصيل على التوالي. لذلك فإن الإطار المعدني يكون معرضا لجهد عالي مما يؤدي إلى تشكيل خطورة على المستخدم. ولذلك يجب عزل المحول المتعدد المراحل داخل منطقة الاختبار في معمل الجهد العالي، بالإضافة إلى عزل كل وحدة عن

الأرض بعازل تتناسب شدة عزله مع فرق الجهد بين كل وحدة والأرض. ويوجد شكلان لتوصيل المحولات على التوالي وهما التوصيل الأفقي والذي يأخذ حيزا من الفراغ كما هو موضح بالشكل (2-3) والتوصيل الرأسى والموضح بالشكل (2-4).

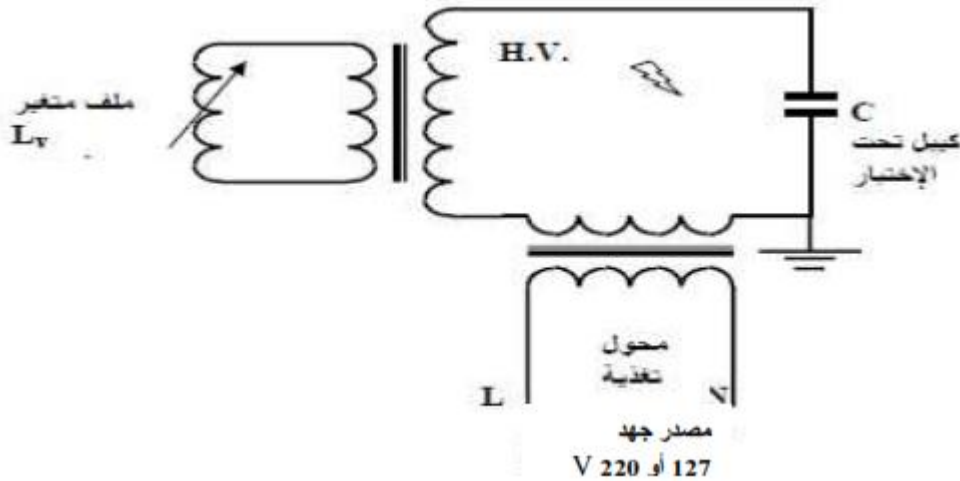


شكل (3.2) توليد الجهد العالي باستخدام عدة وحدات موصلة على التوالي رأسيا ويتساوى التصميمان من ناحية مبدأ العمل والخرج ولكن التصميم الرأسى يوفر حيزا أكبر ويستخدم في المعامل التي لديها سقف مرتفع ومساحة أفقية أقل. كما يختلف التصميم الرأسى من حيث المتطلبات الكهربائية والميكانيكية بأن العوازل بين كل وحدة والأخرى يجب أن تتناسب مع الجهد المطبق عليها بالإضافة إلى النقل الملقى عليها من الوحدات العلوية.

(2.1.2) توليد الجهود العالية المترددة باستخدام دوائر الرنين:

عادة ماتحفز التوافق الناشئة عن المصدر الرئيسي للجهود والتيارات المغنطة في المحولات الاهتزازات الطبيعية عند ترددات مختلفة مما يؤدي إلى تشوهات وتضخيم لقيمة جهد الخرج في الجهة الثانوية من المحول الذي يغذي حملاً حثياً، وذلك عن طريق رنين التوالي. الرنين المفاجئ الذي يحدث عن تردد القدرة ينتج عنه انفجارات أثناء اختبار كبلات الجهد العالي. وقد أمكن استخدام هذه الظاهرة السيئة إيجابياً في توليد جهد عالٍ متردد خالٍ من الرنين عند التوافق الأخرى. الشكل (2-4) يبين لنا دائرة مبسطة لرنين التوالي حيث يتضح فيها بأن العنصر المراد اختباره هو عنصر سعوي.

والذي يحدث عندما (f) وحيث إن الرنين المطلوب إحداثه يجب أن يكون عند التردد الطبيعي لذلك يمكن الحصول على رنين (X_C). مع الممانعة السعوية (X_L) تتساوى الممانعة الحثية لذلك يمكن الحصول على رنين بمعايرة الملف المتغير ليحدث لنا ممانعة تتساوى مع ممانعة الكيل (f) المراد اختباره عند تردد المصدر والذي سيكون في هذه الحالة هو التردد الطبيعي.



شكل (5.2) توليد الجهد العالي المتردد باستخدام دائرة رنين

ويمكن اشتقاق معادلة التردد الطبيعي الذي يحدث عنده الرنين كالتالي:

يحدث الرنين عندما تتساوى الممانعة الحثية مع الممانعة السعوية.

وبالتعويض تصبح العلاقة كالتالي:

$$\omega L = 1/\omega C$$

$$\therefore 2\pi f L = 1/(2\pi f C) \quad (2.1)$$

حيث تصبح علاقة التردد الطبيعي كالتالي

$$F_o = 1/(2\pi\sqrt{LC}) \quad (2.2)$$

ومن مميزات استخدام دوائر الرنين لتوليد الجهد العالي المتردد مايلي:

- تحسين شكل موجة الجهد العالي المتردد وذلك بالتخلص من الرنين غير المرغوب فيه عند ترددات غير تردد المصدر وتوهين التوافيق المصاحبة لجهد المصدر والناجمة أيضاً عن دوائر المغنطة في محول الجهد العالي. وسينعكس ذلك إيجاباً على دقة قياس الجهد المتولد بهذه الطريقة خاصة عند استعمال قنطرة شيرنق لقياس التفريقات الجزئية كما تتراوح قيمة الجهد المتولد بهذه الطريقة بين 10 الى 20 ضعف القيمة العظمى للموجة الأساسية للجهد.
- إن القدرة المطلوبة من المصدر لتوليد جهد عالٍ متردد بهذه الطريقة أقل من السعة الظاهرية عند معامل KVA في الدائرة الرئيسية. وتمثل حوالي 5% من السعة الأساسية KVA قدرة يساوي واحد.

- عندما يحدث انهيار كهربائي لعينة تحت الاختبار مثل الكيبيلات، فإن أطراف الدائرة الكهربائية لا يحدث له قصر. ولكن بدلاً من ذلك تفقد المؤلفة بين الممانعة الحثية والسعوية حيث يتلاشى

الرنين عند التردد الطبيعي والذي هو في هذه الحالة تردد المصدر وبالتالي يهبط الجهد إلى القيمة المنخفضة والتي كانت قبل المؤالفة. مما يوفر حماية لدائرة الاختبار من الاجهادات التي تنشأ عند حدوث قصر وانخفاض الجهد بين أقطاب الاختبار إلى الصفر فجاءة.

- حازت هذه الطريقة على موافقة جماعية من مصنعي الكيبلات وأصبحت جزءاً من مواصفات الهيئات الدولية للمقاييس IEC .

- يمكن استخدام هذه الطريقة أيضاً مع المحولات الموصلة على التوالي والمكونة من عدة وحدات لتوليد جهود عالية جداً.

أما بالنسبة لعيوبها فالعيب الأساسي هو أنه يجب أن يتحمل الملف المتغير المستخدم للمؤالفة كامل الجهد والتيار الذين يتولدان بعد المؤالفة وحدث الرنين. ولذلك يمكن المؤالفة وتغيير قيمة الحث بمعايرة ثغرة هوائية في القلب الحديدي للملف وتغيير مسافتها ميكانيكياً.

(2.2) توليد الجهود العالية المستمرة:

يوجد طريقتان لتوليد الجهود العالية المستمرة هما: (1) باستخدام دوائر لتوحيد الجهود العالية المترددة. (2) باستخدام المولدات الكهروستاتيكية.

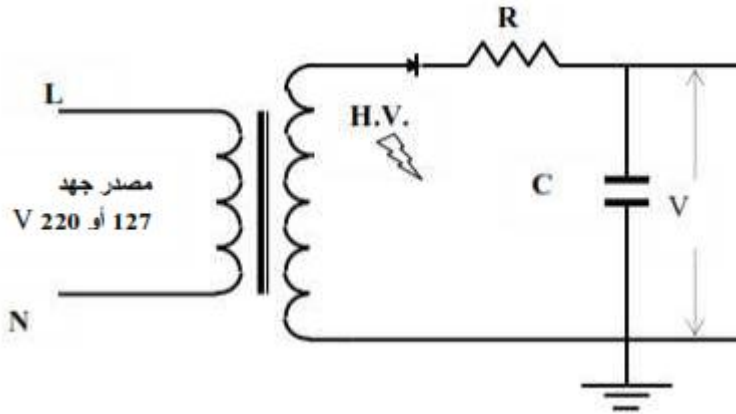
(1.2.2) توليد الجهود العالية المستمرة باستخدام دوائر التوحيد:

يمكن الحصول على جهد مستمر عالٍ بتحويل الجهد العالي المتردد وذلك عن طريق الموحدات السليكونية. وبما أن قيمة الجهد العكسي العظمى لها محدود أقل من 2500 فولت، لذلك فإنه يمكن الحصول على موحدات لها جهد مقنن يصل إلى مئات الكيلوفولت بتوصيل عدة دايودات بالتوالي. وتنقسم دوائر التوحيد من حيث العمل إلى ثلاثة أقسام هي: (أ) دوائر توحيد نصف الموجة. (ب) دوائر توحيد كامل الموجة. (ج) الدوائر المضاعفة للجهود. وفيما يلي سنستعرض هذه الأنواع.

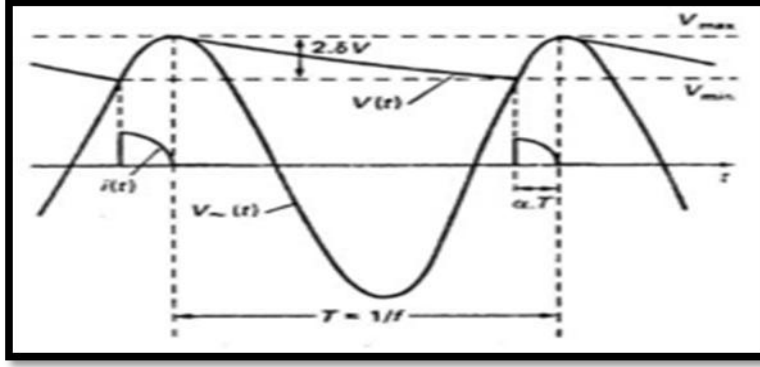
(أ) دائرة توحيد نصف الموجة:

تستخدم دوائر توحيد نصف الموجة بصورة كبيرة خاصة في مجال الإلكترونيات لتوليد جهد مستمر وذلك بتوحيد الجهد المتردد. الشكل (2-6) يوضح دائرة توحيد نصف موجة حيث يوجد موحد موصل بمحول جهد عالٍ لتوليد جهد عالٍ متردد. ويوصل الموحد عندما تكون نصف الموجة للجهد المتردد V_{max} موجبة. مما يجعل المكثف يشحن عند القيمة العظمى أما في النصف السالب من موجة الجهد فيكون الموحد في الإنحياز الخلفي ولا يعمل ويبقى الجهد عبر المكثف هو نفسه بينما يرتفع الجهد عبر طرف الجهد العالي للمحول إلى القيمة العظمى V_{max} . لذلك لابد أن يؤخذ في الاعتبار أن يتحمل الموحد ضعف الجهد $2V_{max}$ عند انهيار عينة الاختبار . وتوفر المقاومة حماية للموحد عند زيادة التيار وحدث قصر .

الشكل (2-7) يوضح شكل موجة الجهد. وتستخدم هذه الطريقة لتوليد جهد عالٍ مستمر يصل إلى 30 كيلو فولت.



الشكل (6.2) توليد الجهد العالي المستمر باستخدام دائرة توحيد نصف موجة

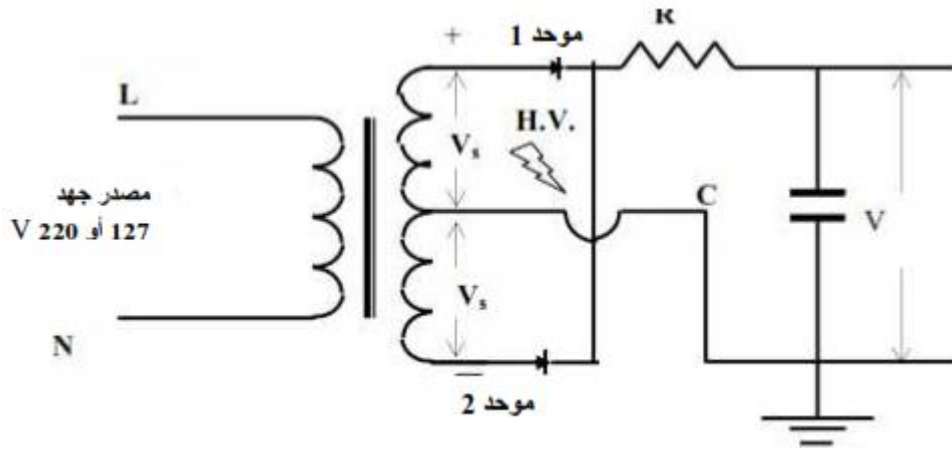


الشكل (7.2) توليد الجهد العالي المستمر باستخدام دائرة توحيد نصف موجة

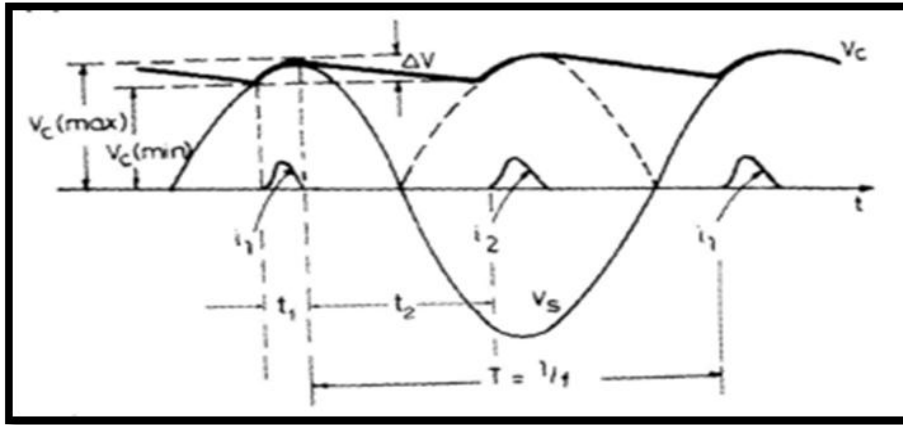
(ب) دائرة توحيد كامل الموجة:

تستخدم دوائر توحيد كامل الموجة لاستغلال كامل الجهد لينتج لنا جهد عالٍ مستمر ذو تنظيم أفضل وتشوهات أقل. ويمكن توحيد كامل الموجة باستخدام طريقة المحول ذي التقريفة الوسطية. الشكل (8-2) يوضح الدائرة المستخدمة لتوليد جهد عالٍ مستمر بتوصيل محول جهد عالٍ متردد ذو تقريفة وسطية بموحدين متصلين بمكثف.

وذلك بي توصيل الموحد 1 عندما تكون نصف موجة الجهد المتردد موجبة وتوصيل الموحد 2 عندما يكون نصف الموجة سالب. وكما نلاحظ من الدائرة في الشكل (8,2) بأن قطبية الجهد عبر المكثف تكون موجبة دائماً، وذلك نتيجة لطريقة توصيل الموحد 2. ويجب الأخذ في الاعتبار تصميم الموحدات أن تتحمل ضعف جهد توحيدها $2V_{max}$.



شكل (8.2) توليد الجهد العالي المستمر باستخدام دائرة توحيد كامل الموجة



شكل (9.2) توليد الجهد العالي المستمر باستخدام دائرة توحيد كامل الموجة

(ج) الدوائر المضاعفة للجهد:

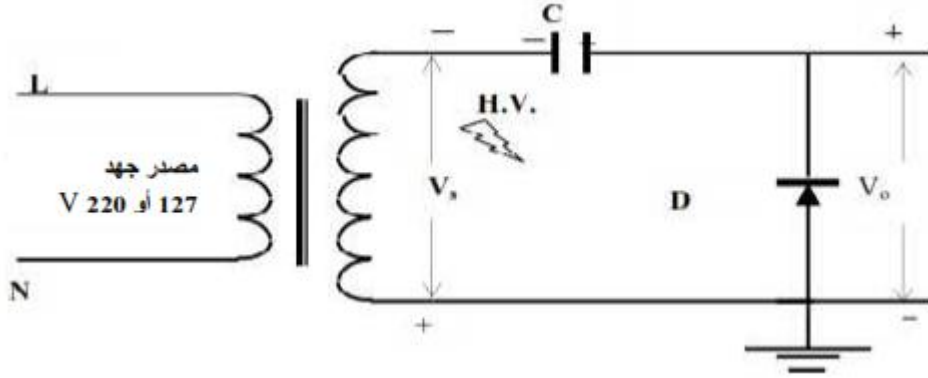
يمكن الحصول على ضعف الجهد أو مضاعفاته بعمل تعديلات بسيطة للدوائر السابقة، مع مراعاة القيم المقننة للجهود التي تتحملها الدائرة، مثل الموحدات والمكثفات. وفيما يلي أشهر أنواع الدوائر المضاعفة للجهد:

1. دائرة فيلارد

تعتبر دائرة فيلارد من أبسط الدوائر المضاعفة للجهد. والشكل (2-10) يبين الدائرة وطريقة عملها فعندما يكون جهد المصدر في النصف الثاني من الموجة (سالبة)، فإن الموحد D يقفل. وفي النصف الموجب للموجة يفتح الموحد وبذلك يشحن المكثف بشحنة مساوية للقيمة العظمى لجهد

المصدر V_{max} (الجهد يصبح الجهد الموجب الخارج من الدائرة V_o يساوي ضعف جهد

المصدر V_{max2})



شكل (10.2) توليد الجهد العالي المستمر باستخدام دائرة فيلارد المضاعفة للجهد

2. دائرة كوكروفت - والتون

تعتبر دائرة كوكروفت - والتون تطوير لدائرة قراينا الذي طور دائرة فيلارد بإضافة موحد ومكثف

كما موضح بالشكل (2-11). وتتميز هذه الدائرة بإضافة عنصر التنعيم الذي هو عبارة عن

سالبة، أي في النصف السالب من A، وتعمل الدائرة عندما يكون الجهد عند النقطة C_2 المكثف

موجة جهد المصدر العالي المتردد حيث يوصل الموحد D_1 ويشحن المكثف C_1 بجهد مساو للقيمة

العظمى لجهد المصدر V_{max} . وفي النصف الموجب من الموجة، أي عندما تكون النقطة A سالبة،

فإن الجهد عند النقطة B سيصبح مساوياً لضعف القيمة العظمى للجهد (جهد المصدر بالإضافة

للجهد المخزون في المكثف C) نظراً لأن الموحد D_1 سيصبح في الانحياز الخلفي، وسيصبح

الموحد D_2 في الانحياز الأمامي ويوصل ليشحن المكثف C_2 بضعف القيمة العظمى لجهد

المصدر. ويعمل المكثف C_2 كمستودع لتخزين الجهد عبر الحمل أثناء أنصاف الموجة التي يتم

فيها شحن المكثف C_1 . ويتم اختيار المكثف C_2 بحيث تقلل تشوهات جهد الخرج إلى أقل من

5%.

وبالنسبة لتوليد الجهود المرتفعة جداً والتي تزيد عن 1ميغافولت فيمكن الحصول عليها بتوصيل

في المكثف C (نظراً لأن الموحد D_1 سيصبح في الانحياز الخلفي، وسيصبح الموحد D_2 في الانحياز الأمامي ويوصل ليشحن المكثف C_2 بضعف القيمة العظمى لجهد المصدر. وتكون النقطة D عند جهد قدره $2V_{max}$ ويكون الجهد المطبق على المكثف C_2 عبر الموحد D_2 يتراوح بين $2V_{max}$ والصفر وبالتالي يشحن المكثف C_2 إلى جهد يصل إلى $2V_{max}$. يتراوح الجهد عند النقطة E ما بين $2V_{max}$ إلى $4V_{max}$ ويشحن المكثف C_4 عبر الموحد D_4 بجهد تصل قيمته $2V_{max}$ ، حيث إنه مواز للمكثف C_2 عندما يكون جهد المصدر المتردد عند النقطة A سالب. وتكون النقطة F في هذه الحالة عند جهد قدره $4V_{max}$ (مجموع الجهد في C_2 و C_4). وحيث إن الدائرة تتابعية فإننا نجد إن المكثفات C_2 و C_4 و C_6 و C_8 تشحن كل منها بجهد قدره $2V_{max}$. وبالتالي فإن النقاط D و F و G و L ترتفع إلى جهود قدرها $2V_{max}$ و $4V_{max}$ و $6V_{max}$ و $8V_{max}$ بالترتيب، وبمعنى آخر فإنه يمكن الحصول على جهد خرج يساوي $V_o = 2nV_{max}$ قبل تحميل الدائرة، حيث n تساوي عدد المراحل، والشكل (2-13) يبين لنا شكل موجة الجهد. ونتيح لنا هذه الدائرة الحصول على جهود عالية جداً. وفي هذه الدائرة لا بد من اختيار مكثفات وموحدات تتحمل ضعف جهد المصدر العالي المتردد (خرج المحول) بغض النظر عن جهد الخرج للدائرة. استطعنا الحصول عدة أضعاف الجهد باستخدام هذه الدائرة حيث إن الجهد الخارج في حالة عدم تحميل هو $V_o = 2nV_{max}$. أما في حالة تحميل الدائرة بعينة اختبار مثلاً فإن الجهد لا يصبح على تلك الصورة ولا يمكن أن يصل إلى $2nV_{max}$ حيث يحدث هبوط في الجهد ΔV_o ، كما ينشأ أيضاً تشوهات ripple في شكل الموجة δV ، كما يتضح في الشكل (2-14). وتحسب هذه التشوهات من العلاقات التالية:

$$\delta V = \frac{1}{fc} \cdot \frac{n(n+1)}{2} \quad (2.3)$$

بينما يحسب الهبوط في الجهد من العلاقة:

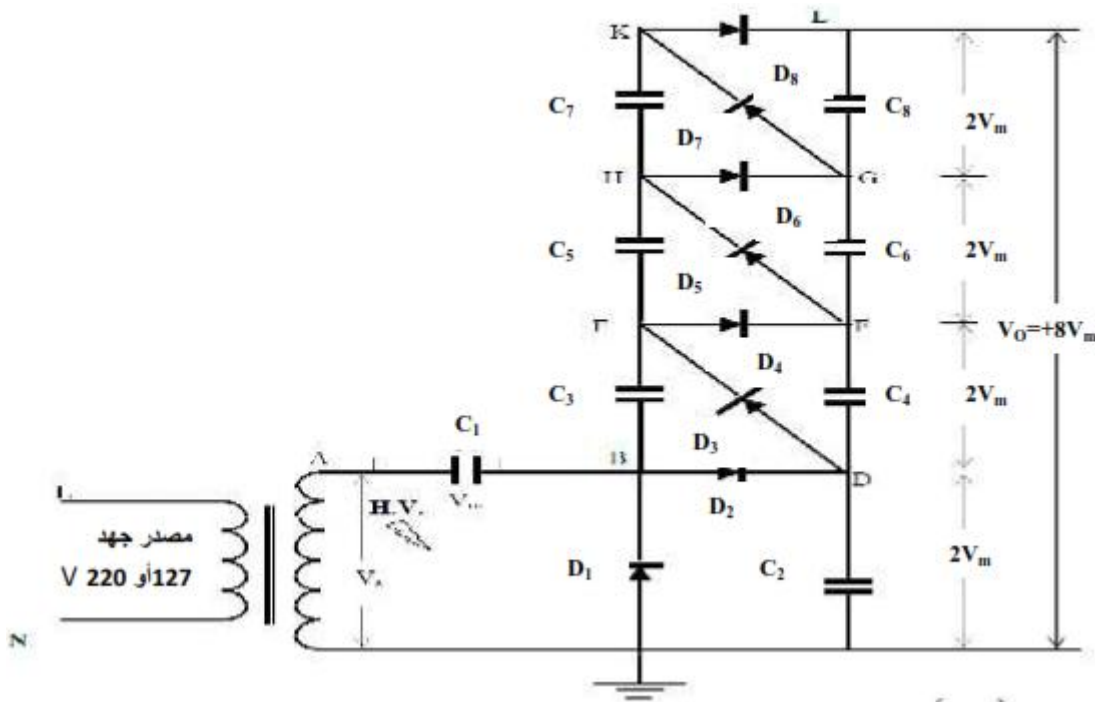
$$\Delta V = \frac{I}{fc} \left(\frac{2n^3}{3} + \frac{n^2}{2} - \frac{n}{6} \right) \quad (2.4)$$

ويصبح الجهد الخارج كالتالي:

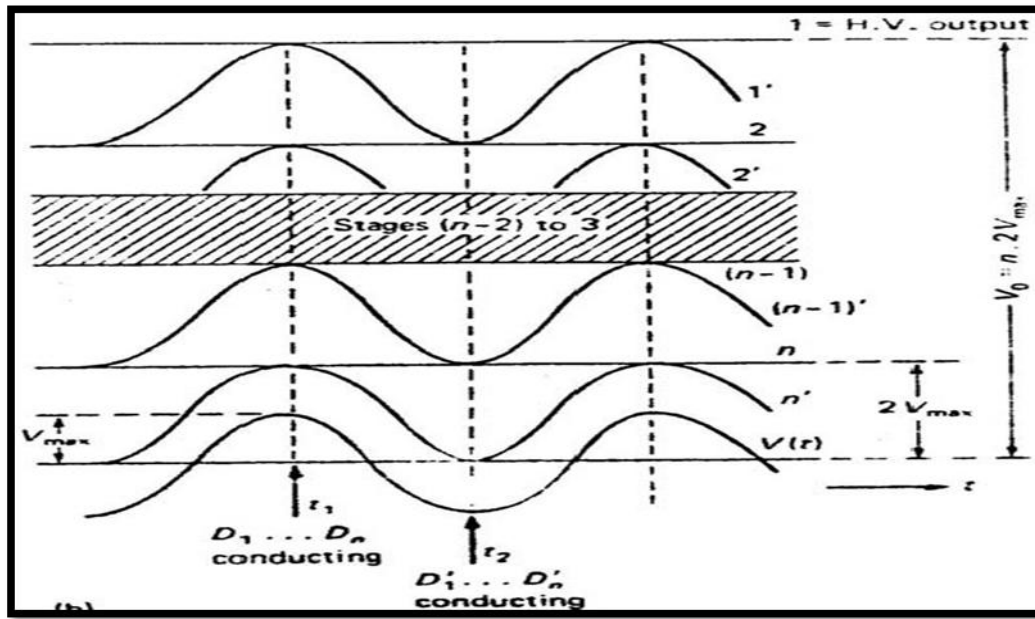
$$V_{o \max} = 2nV_{\max} - \Delta V_o \quad (2.5)$$

وكما نلاحظ بأن الجهد الخارج يتزايد مع عدد المراحل بشرط ألا تزيد عن عدد معين، ولكن عند عدد معين من المراحل يتناقص الجهد الخارج خطياً مع تيار الحمل I عند تردد ثابت. لذلك كان لابد من معرفة العدد الأمثل للمراحل n_{opt} والذي يكون الجهد الخارج أعلى ما يمكن، وبمفاضلة العلاقة السابقة بالنسبة لعدد المراحل نحصل على المعادلة التالية:

$$n = \sqrt{\frac{V_{\max} fc}{I}} \quad (2.6)$$

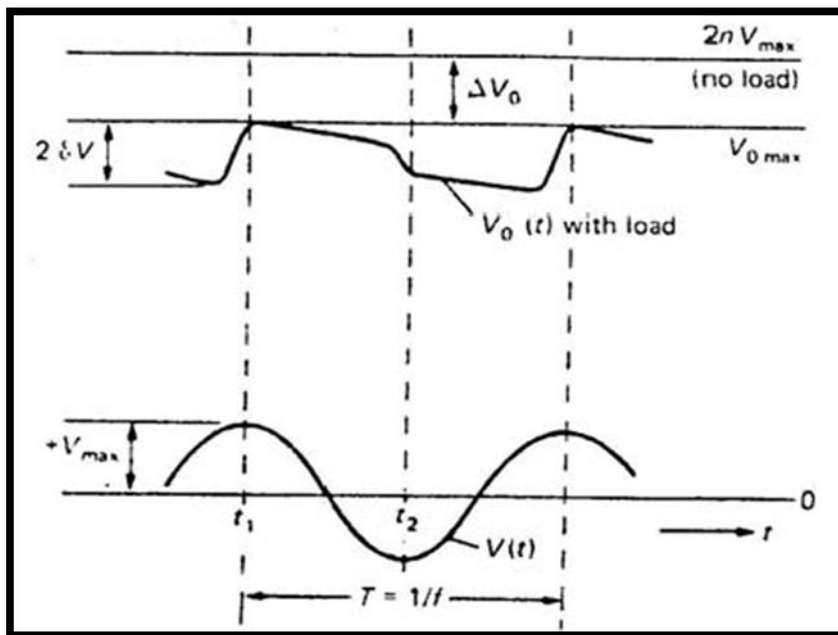


شكل (12.2) يوضح دائرة كوكروفت-والتون المتعددة المراحل



شكل (13.2) يوضح هبوط الجهد والتشوهات لدائرة كوكروفت-والتون متعددة المراحل قبل

التحميل



شكل (14.2) يوضح هبوط الجهد والتشوهات لدائرة كوكروفت-والتون المتعددة المراحل بعد

التحميل

(2.2.2) المولدات الكهروستاتيكية:-

يوجد العديد من المولدات الكهروستاتيكية لتوليد الجهود العالية المستمرة مثل: فان دي غراف وفيليسي وسيمز، حيث تعمل جميعها بنفس المبدأ لتوليد جهود عالية مستمرة تصل إلى ملايين الفولتات، ولكنها تختلف عن بعض من ناحية التصميم فقط. وفي هذا الفصل سنستعرض أكثرها استخداماً وهو مولد فان دي غراف (قام بتصميمه عام 1931 معتمداً على الأساسيات التي وضعها كلفن عام 1890). ويستخدم هذا المولد في العديد من معامل أبحاث الفيزياء النووية والتي تحتاج لجهود عالية مستمرة لتسارع الجسيمات لتكتسب طاقة عالية. حيث يستطيع أن ينتج في التسارع الواحد بروتونات لها طاقة تصل إلى 10 ميغا إلكترون فولت. نستطيع أن نتبع عمل المولد من الشكل (2-15). يقوم المؤين بتوليد تفريغ هالي Corona - بتطبيق جهد عالٍ مستمر متغير يتراوح ما بين 10 إلى 100 كيلوفولت على طرف حاد مدبب - والذي ينتج عنه شحنات يتم رشها على الحزام المعزول (عرضه تقريباً 50 سم) الذي يتم تدويره بواسطة محرك (سرعته ما بين 900 إلى 1800 متر/دقيقة). تجمع الشحنات على سطح إطار معدني معزول عن طريق أطراف معدنية ملامسة للحزام وموصلة بالإطار الداخلي للإطار المعدني. وجميع تلك الأجزاء من الجهاز محاطة بإطار معدني خارجي مؤرض، حيث يكون مع إطار الجهد العالي مكثف له سعة C، يقوم بخزن الشحنات المجمعة فيها. ويكون فرق الجهد بين إطار الجهد العالي والأرض في أي لحظة هو:

$$V=Q/C \quad (2.7)$$

حيث إن Q هي الشحنات المخزنة في المكثف. ويمكن حساب تيار الشحن المحمول عن طريق السير إلى الجمع من المعادلة التالية:

$$I= bv\sigma \quad (2.8)$$

حيث إن v هي السرعة (م/ث) و σ هي كثافة الشحنات على الحزام (كولوم/م²) وتعطى من العلاقة $\sigma = E \times \epsilon_r$ حيث هي شدة المجال الكهربائي التي يبدأ عندها تأين الوسط العازل وتساوي للهواء 30 كيلوفولت/سم² و ϵ_r للهواء هي $10^{-12} \times 8.85$ فاراد/م. ونجد أنه عند زمن معين t (s) تتجمع الشحنات $Q=It$ على إطار الجهد العالي الذي يمكن حساب جهده من المعادلة: $V=Q/C$ ، نجد أن الجهد العالي يستقر عند قيمة معينة، حيث يتوازن تيار الشحن مع تيار التفريغ والتي هي عبارة عن تيارات الحمل والمفايد الناتجة عن التفريغ الهالي والتيار المتسرب على سطح العازل، أي أن:

$$I_c = I_{Load} + I_{Leakage} + I_{Corona} \quad (2.9)$$

حيث إن:

$$I_{Corona} = a(V - V_o)$$

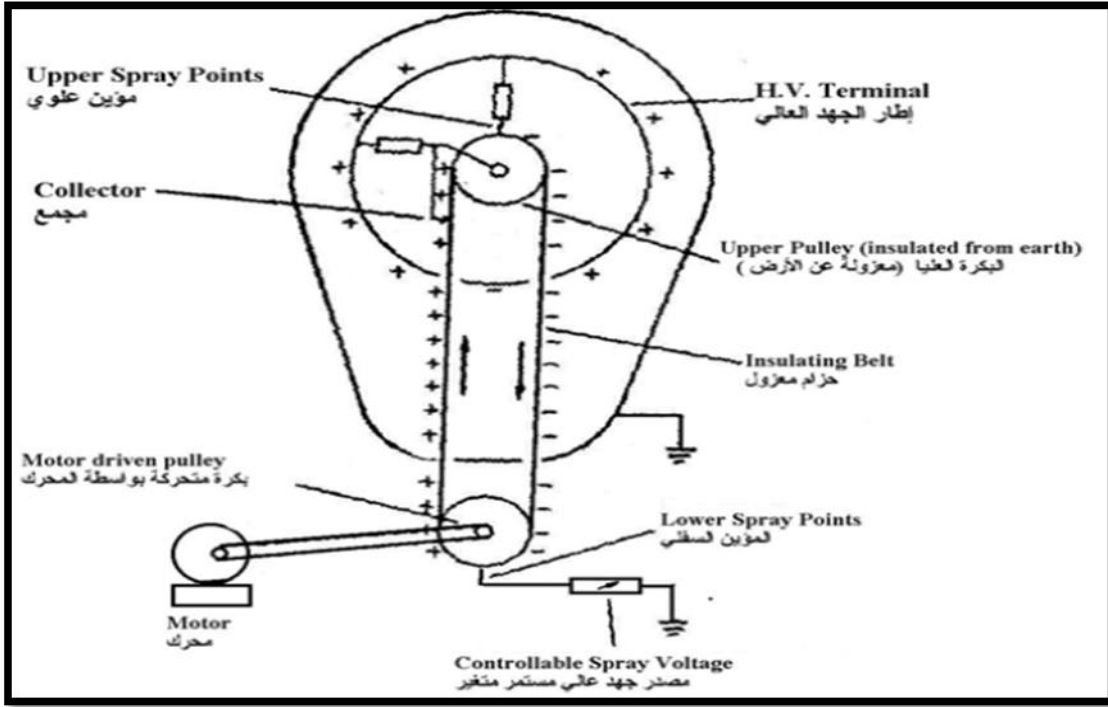
V_o هو الجهد العالي المتولد V , a عبارة عن ثابت

بالتعويض في المعادلة (2-6) تصبح كالتالي:

$$bv\sigma = I_{Load} + I_{Leakage} + a(V - V_o)^2 \quad (2.10)$$

ومنها نستطيع حساب الجهد العالي V المتولد ليصبح:

$$V = \sqrt{\frac{bv\sigma - I_{Load} - I_{Leakage}}{a}} + V_o \quad (2.11)$$



شكل (15.2) يوضح مولد فان دي غراف

(3.2) توليد الجهود العالية النبضية (الدفعية):

(1.3.2) تعريف الجهود العالية النبضية وخواصها:

تتعرض خطوط نقل الطاقة والأجهزة المصاحبة لها لإجهادات متكررة نتيجة للجهد العابر الناشئ عن الصواعق أو عند وصل أو فصل دائرة من دوائر النقل بواسطة القواطع الكهربائية. وتكون هذه الجهود الزائدة ، والتي هي عبارة عن جهود مسافرة نتيجة للصعقة، على شكل موجة نبضية ذات مقدمة منحدرية. ويكون الجهد النبضي عبارة عن جهد أحادي الاتجاه يرتفع بصورة سريعة، أثناء مقدمة الموجة، إلى القيمة العظمى V_{max} خلال زمن يسمى زمن المقدمة (Front Time) (t_f) ، وتتناقص بعدها تدريجياً إلى الصفر أثناء مؤخرة أو ذيل الموجة WaveTail ، خلال زمن يسمى زمن المؤخرة أو الذيل (Tail Time) (t_t) .

ويكون الفرق عادةً بين الموجة النبضية الناتجة عن الصواعق وتلك الناتجة عن توصيل وفصل الدوائر الكهربائية هو زمن مقدمة وذيل الموجة. وتختلف أشكال الموجات النبضية بصورة كبيرة من

وقت لآخر، حسب معاوقة نظام الطاقة الكهربائية وحالات التشغيل، كما تتغير القيمة العظمى للجهد حسب جهد الشبكة.

لذلك لابد من تمثيل موجة الجهد النبضي بصورة بسيطة وقياسية. وقد قامت الهيئة الدولية الكهروتقنية (IEC) International Electrotechnical Commission بوضع مواصفات قياسية تحدد شكل الموجة النبضية، ويوضح لنا الشكل (2-16) الشكل القياسي لموجة الجهد النبضي. كما قامت بتحديد الفرق بين الموجة النبضية الناتجة عن الصواعق وتلك الناتجة عن الوصل والفصل في دوائر الشبكة الكهربائية، حيث وصفت موجة الصواعق بالرمز $1.2/50$ (زمن المقدمة $t_f=1.2\mu s$ وزمن الذيل $t_r=50\mu s$) وموجة الوصل والفصل بالرمز $250/2500$ (زمن المقدمة $t_f=250\mu s$ وزمن الذيل $t_r=2500\mu s$). ويبين الشكل (2-17) كيفية تحديد زمن مقدمة الموجة وزمن ذيل الموجة على أي شكل أو صورة للجهد النبضي الناتج عن الصواعق. كما يبين الشكل (2-18) كيفية تحديد زمن المقدمة والذيل على الموجة النبضية الناتجة عن الوصل والفصل.

(2.3.2) توليد الجهود العالية النبضية باستخدام مولد مفرد:

وحيث أصبح من الضروري إنتاج هذا النوع من الجهود النبضية، الخاصة بالصواعق والوصل والفصل، في معامل الجهد العالي الخاصة بمصانع الأجهزة والعوازل التي تعمل عند جهود عالية وكذلك معامل الأبحاث، للتأكد من مدى تحمل تلك الأجهزة والعوازل للإجهادات الناتجة عن الجهود النبضية. لذلك فقد تم تصميم دائرة مفردة لتوليد الجهد النبضي، انظر الشكل (2-19).

فعند تطبيق جهد عالٍ مستمر على أطراف الدائرة (عن طريق إحدى دوائر توليد الجهد العالي المستمر السابقة) فإن المكثف C_1 يشحن إلى القيمة V ، والتي تكون كافية لانهايار ثغرة الشرارة الكروية (وتسمى أحياناً الثغرات الهوائية Air Gap) والمصنوعة عادةً من النحاس الأحمر (والتي

تنهار بالنسبة للهواء عندما تزيد شدة المجال الكهربائي E عن 30 كيلوفولت/سم). ولذلك فإن

الثغرة تعمل كمفتاح يوصل عند أنهيائها مما يجعل الجهد يظهر فجأة عبر المكثف C_2 والذي

يمكن أن يكون عينة اختبار (مثل الكيبلات والجلب العازلة وعوازل الجهد العالي المختلفة).

ويمكن التحكم في زمن مقدمة وذيل الموجة النبضية بتغيير قيم عناصر الدائرة أو عن طريق تغيير

عناصر دائرة مولد دفعي أو تموري يحاكي المولد النبضي الحقيقي، بحيث يمكن مشاهدة الموجة

على أوسيليسكوب وقياس زمن المقدمة والذيل ثم ضبط قيم عناصر الدائرة على المولد الحقيقي.

وبعد تحليل دائرة المولد النبضي المفرد أعلاه عن طريق حل المعادلات التفاضلية الناتجة ، نجد

أن الجهد الخارج يمثل بالعلاقة التالية:

$$V(t) = V \left[\exp \left(-\frac{t}{R_2 C_1} \right) - \exp \left(-\frac{t}{R_1 C_2} \right) \right] \quad (2.12)$$

وبرسم المنحنى الذي يمثل المعادلة أعلاه والتي هي عبارة عن الفرق بين منحنيين تناقصيين ينتج

شكل موجة الجهد النبضي القياسية كما في الشكل (2-20)، والتي سبق شرحها. ويتضح من

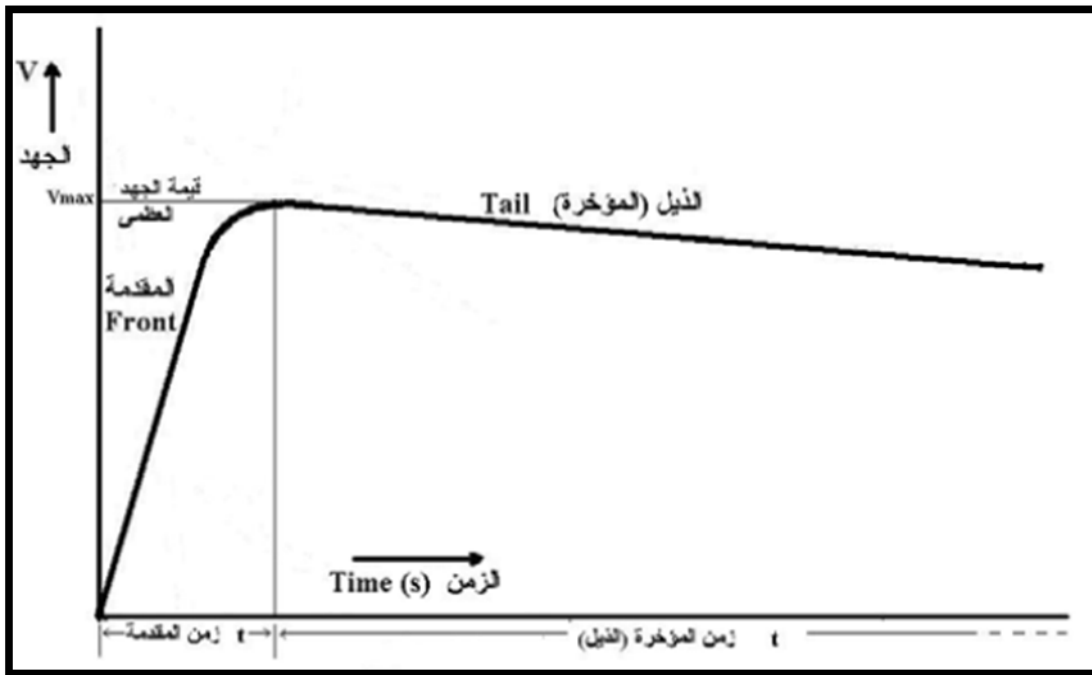
المنحنى بأن المقاومة R_1 والمكثف C_2 تتحكمان في شكل مقدمة الموجة حيث يمثل $R_1 C_2$ الثابت

الزمني لشحن المكثف C_2 ، فكلما كان الثابت الزمني أصغر كلما وصلت الموجة في مقدمتها

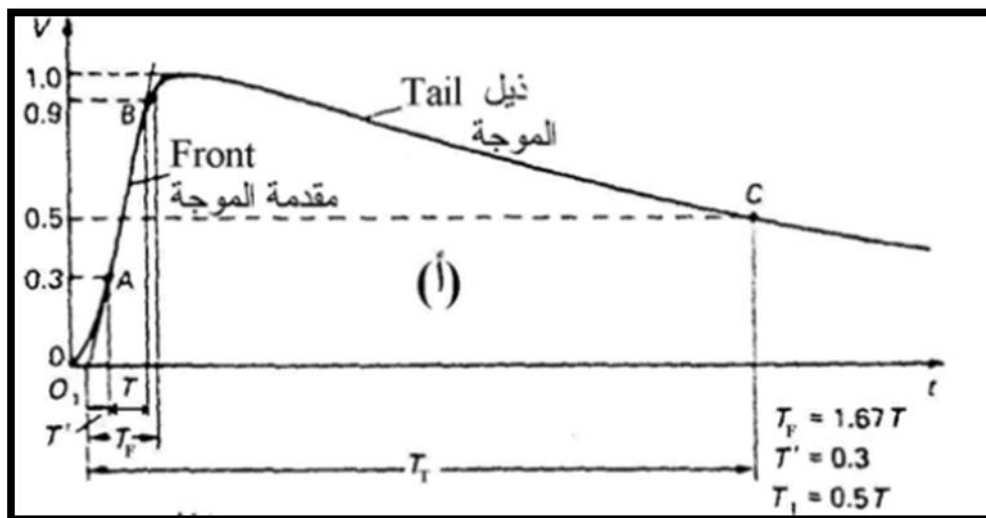
للقيمة العظمى أسرع وبالتالي فإن زمن مقدمة الموجة سيكون أقصر. أما بالنسبة لشكل ذيل الموجة

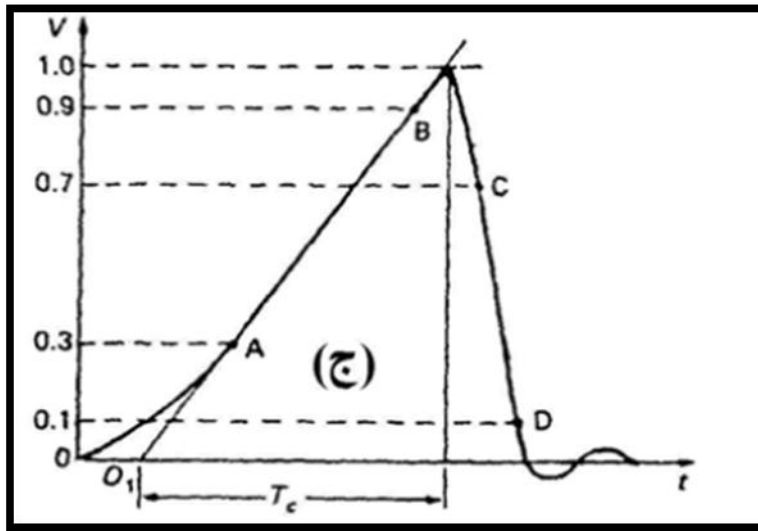
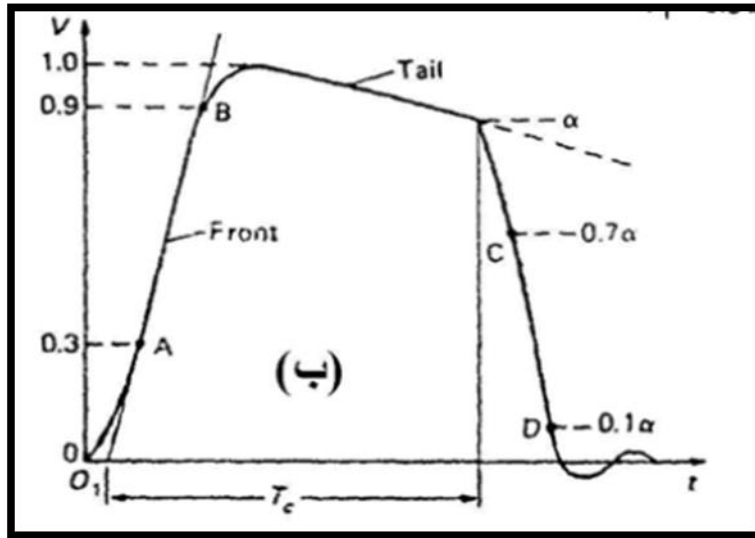
فإنه يحدد بالمقاومة R_2 والمكثف C_1 ، حيث يحدد الثابت الزمني $R_2 C_1$ ذيل الموجة وزمن

تناقصها.



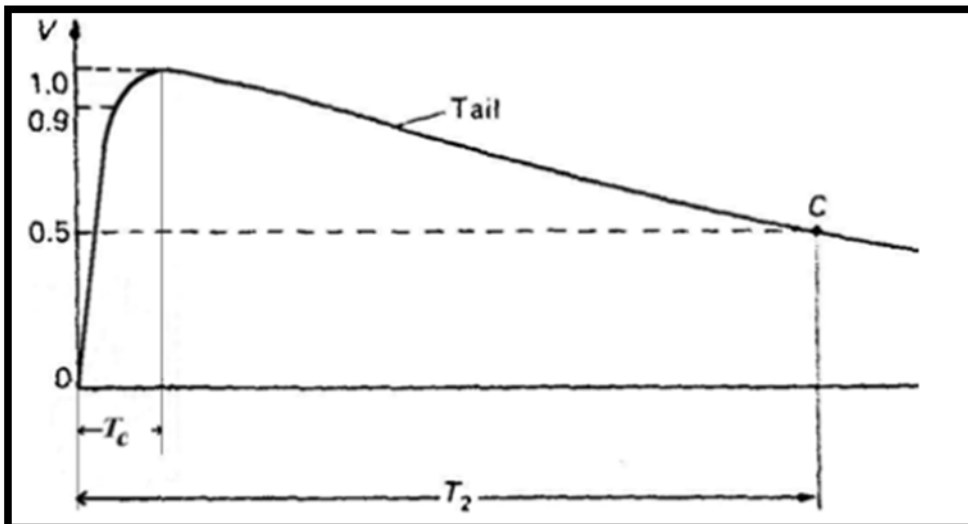
شكل (16.2) الشكل القياسي لموجة الجهد النبضي



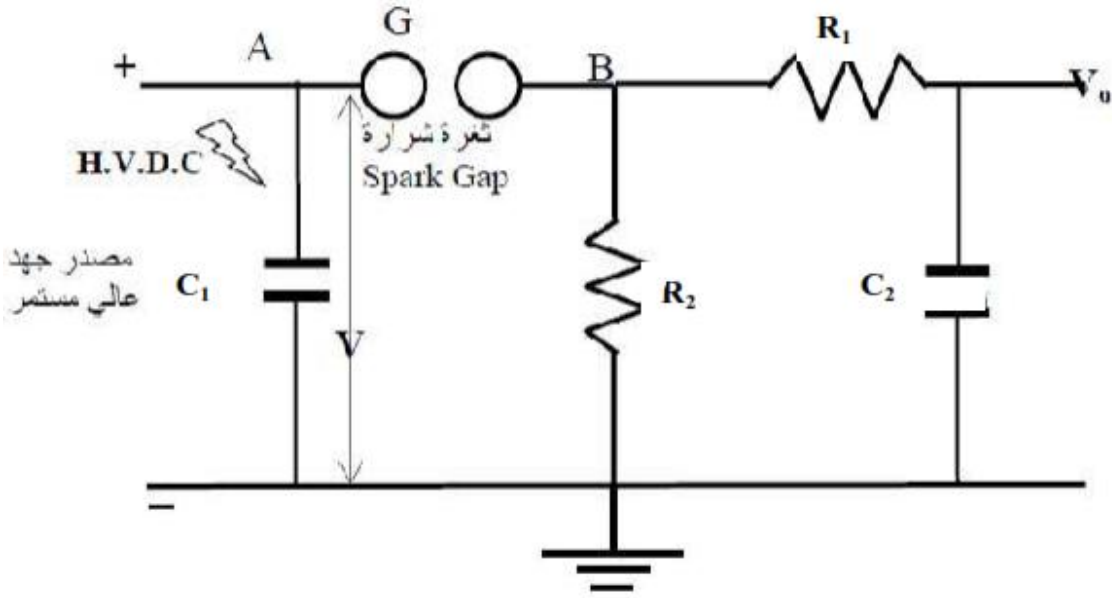


شكل (17.2) الشكل القياسي للموجة النبضية الناتجة عن الصواعق. (أ) الموجة الكاملة. (ب)

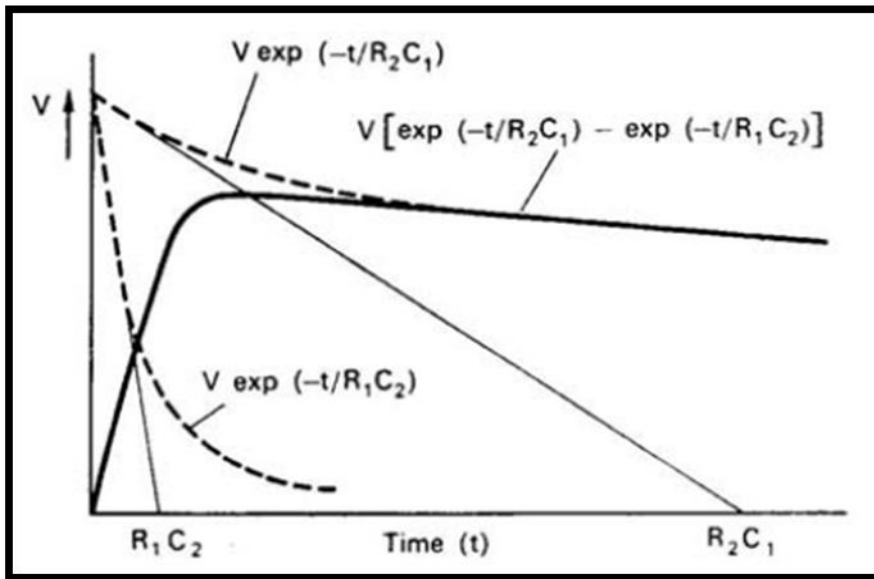
موجة مقطوعة عند الذيل. (ج) موجة مقطوعة عند المقدمة.



شكل (18.2) الشكل القياسي للموجة النبضية الناتجة عن الفصل والوصل



شكل (19.2) مولد نبضي مفرد



شكل (20.2) الشكل القياسي للموجة النبضية الناتجة عن الدائرة المفردة

(3.3.2) توليد الجهود النبضية باستخدام عدة مراحل متوالية من نوع ماركس

:Marx

وحيث إن جهد موجة الصواعق والفصل والوصل قد يتجاوز المليون فولت خاصة في الشبكات التي تعمل عند جهود فائقة، لذلك نجد أن تصميم مولد مفرد لإنتاج هذا الجهد المرتفع غير عملي. فالقيمة العظمى للجهد محدودة بجهد الشحن المستمر للدائرة كما أن تصميم مكثف جهد فائق إضافي يكون كبير الحجم وغالي الثمن. لذلك فإنه من الأنسب أن نولد جهداً عالياً نبضياً بتوصيل المولد المفرد بعدة وحدات من عناصر الدائرة بالتوالي. ولذلك فقد توصل ماركس عام 1924م إلى تصميم مولد متعدد المراحل يعطي جهداً مرتفعاً وفائقاً وفي نفس الوقت نستطيع أن نتحكم في شكل الموجة (زمن مقدمة الموجة وذيلها). حيث كانت فكرته في تصميم الدائرة باستخدام ثغرات الشرارة الكروية بحيث تعمل كمفاتيح تمكن المكثفات المتعددة أن تشحن بالتوازي وتفرغ بالتوالي عند انهيار الشرارة.

الشكل (2-21) يبين مولد مكون من أربعة مراحل موصل بدائرة شحن عبارة عن مصدر جهد عالٍ مستمر. ولتبسيط الدائرة لغرض تتبع عملها وتحليلها فإنه يمكن اعتبارها دائرة مركبة من دائرة شحن كما في الشكل (2-22(أ)) ودائرة تفريغ كما في الشكل (2-23(ب)). يتم تطبيق جهد عالٍ

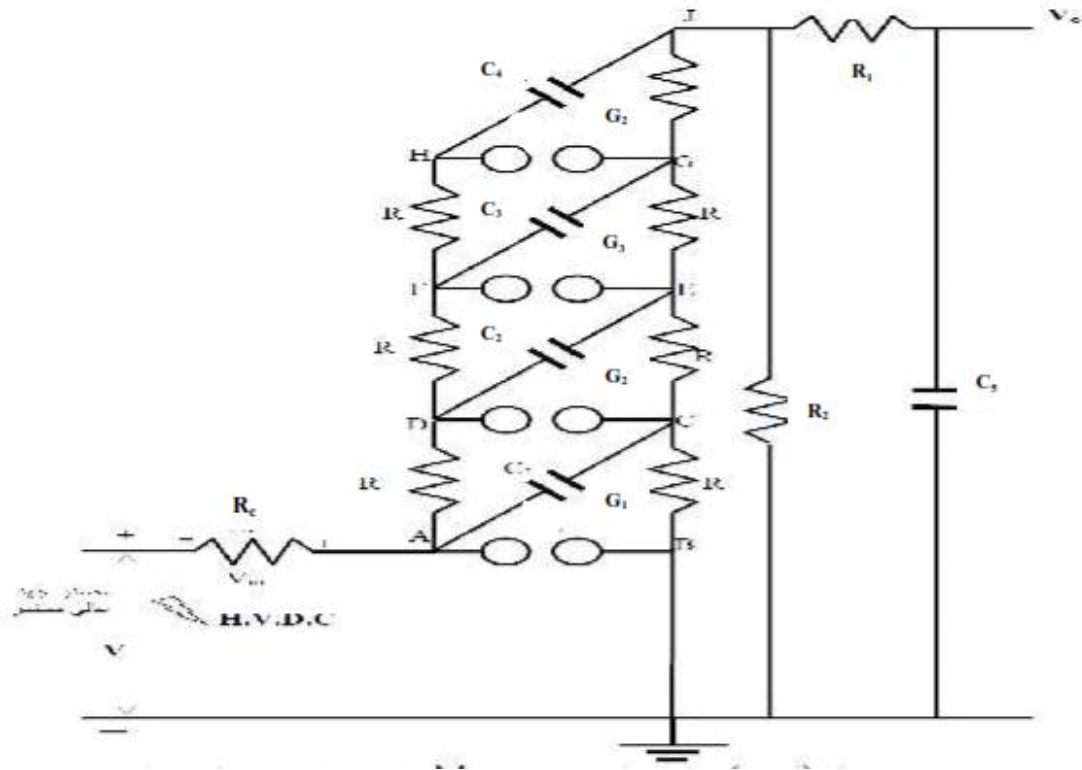
مستمر عن طريق دائرة الشحن وبالتالي فإن المكثفات من C_1 إلى C_4 يتم شحنها عبر المقاومة R والتي تتراوح قيمتها من 10 إلى 100 كيلو أوم. وعندما يتم شحن المكثفات بالكامل بجهد قدره V حسب القطبية الموضحة في الشكل (2-22(أ)) فإن تيار الشحن يتوقف وبالتالي فإن اللوح الأيمن من المكثف ومقاومة الشحن وكرات الشرارة تكون عند جهد مساوٍ لجهد المصدر V . ويبدأ تفريغ

المولد عند انهيار أول ثغرة شرارة (يحصل قوس كهربائي بين أطرافها عند زيادة شدة المجال

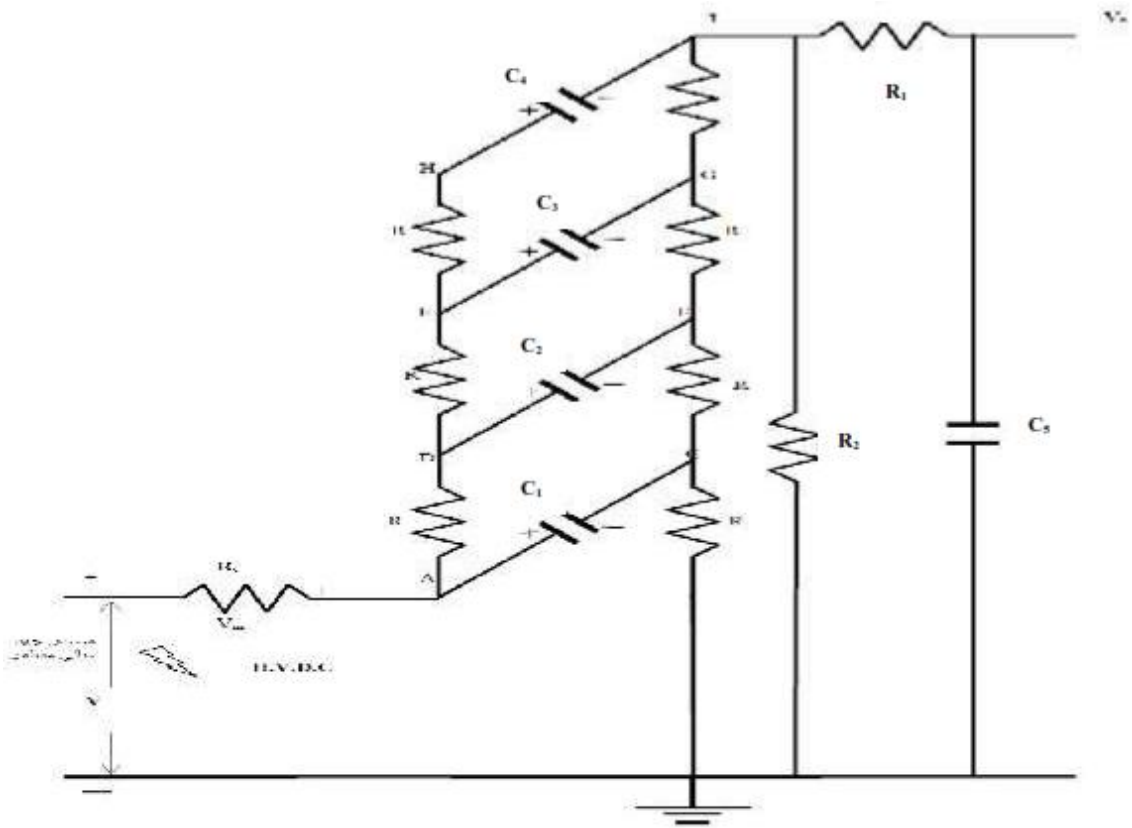
الكهربائي E فيها عن 30 كيلوفولت/سم عندما يكون الوسط العازل هواء) والتي يمكن أن تهيأ

بتعريضها لمصباح أشعة فوق بنفسجية UV أو عن طريق مقلاد Trigatron . ثم يتوالى بعد ذلك انهيار الثغرات الباقية تباعاً وتصبح المكثفات موصلة على التوالي وتفرغ جهدها عبر المكثف C_2 والذي هو مكثف الحمل للمولد، (انظر دائرة التفريغ في الشكل (2-22ب)) والتي اعتبرت فيها مقاومات الشحن دائرة مفتوحة نظراً لقيمتها الكبيرة).

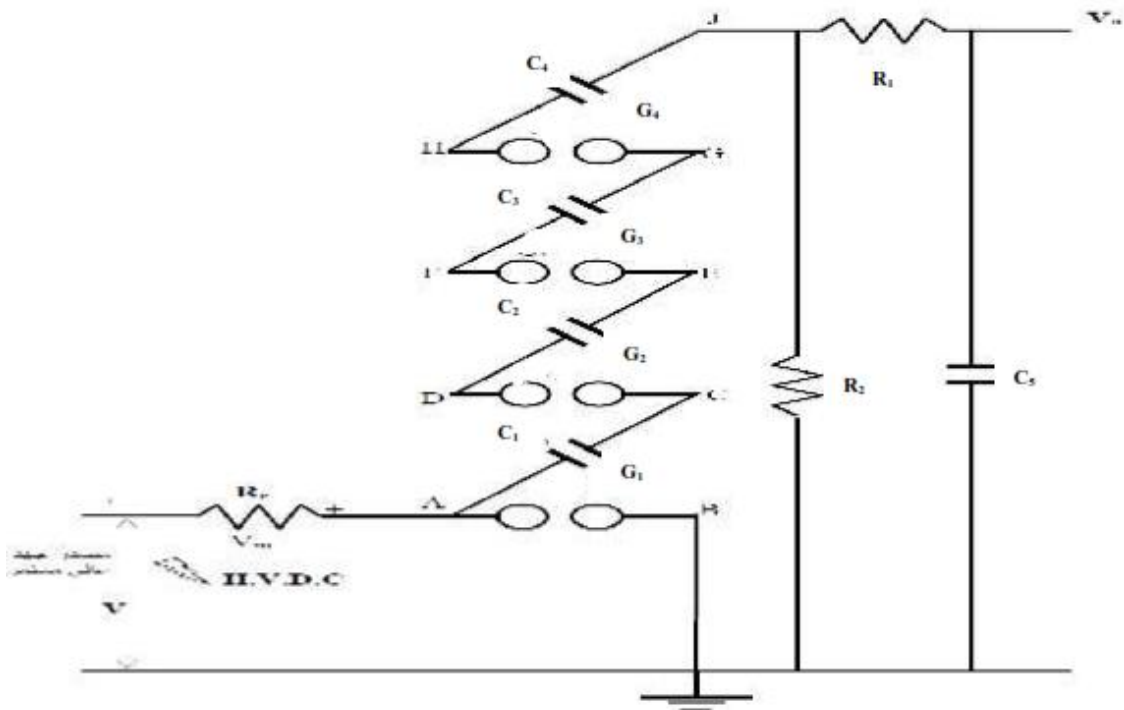
ولذلك فإن الجهد الخارج يساوي مجموع الجهود المخزنة في المكثفات أو حاصل ضرب الجهد في عدد المراحل، أن $V_o = n * V$ ، حيث n هو عدد مراحل المولد وتتحكم المقاومة R_1 والمكثف C_2 في مقدمة الموجة النبضية بينما تتحكم المقاومة R_2 والمكثفات الموصلة على التوالي (تمثل C_1) في ذيل الموجة. ويمكن تبسيط ذلك برسم دائرة مكافئة كما في الشكل (2-23) والتي تشبه دائرة المولد النبضي المفرد الذي سبق توضيحه في الشكل (2-19).



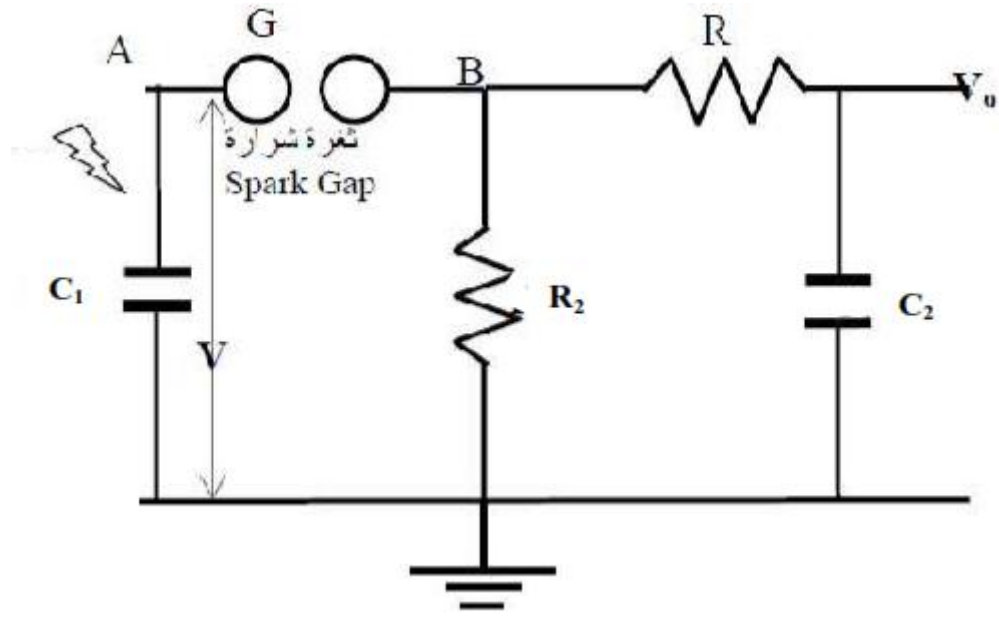
شكل (21.2) مولد ماركس النبضي متعدد المراحل



شكل (22.2) أ- دائرة الشحن لمولد ماركس النبضي متعدد المراحل

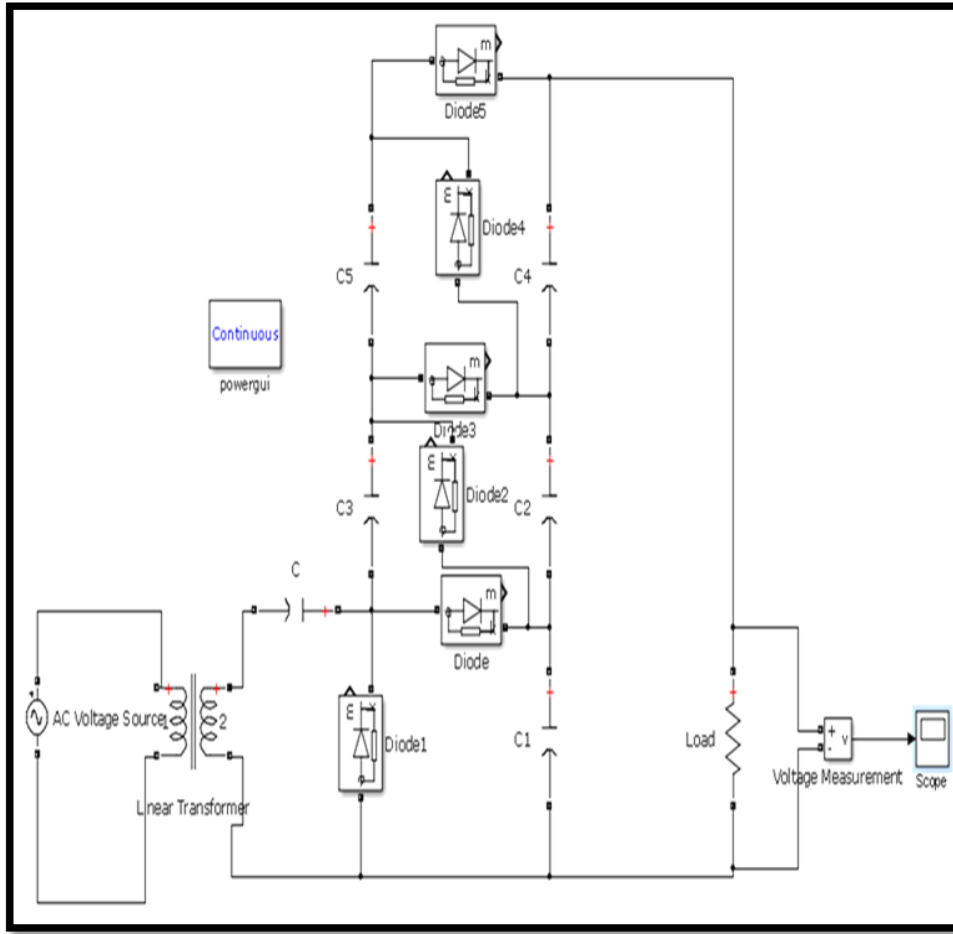


شكل (22.2) ب- دائرة التفريغ لمولد ماركس النبضي متعدد المراحل

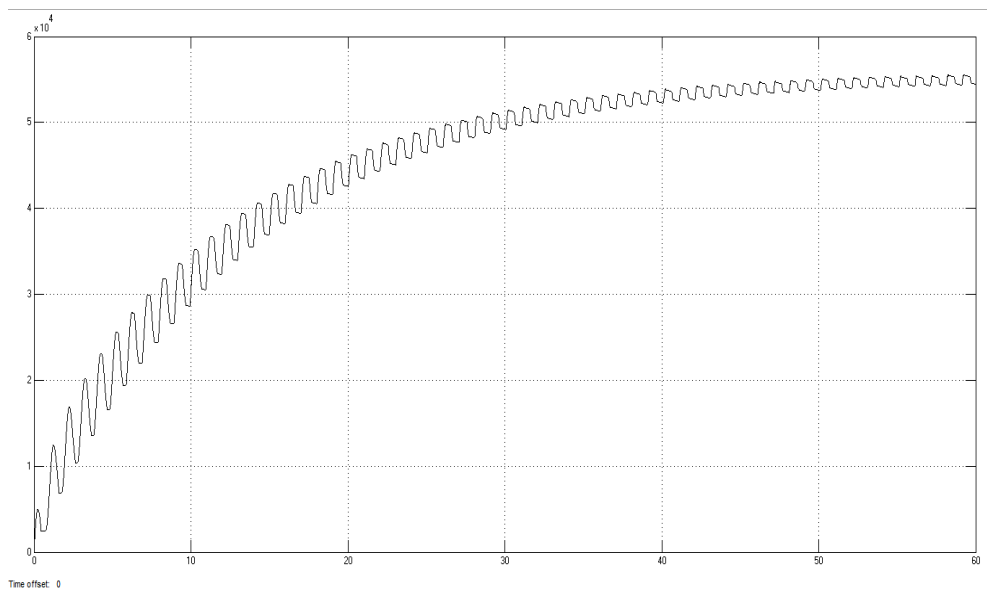


شكل (23.2) دائرة مكافئة ممثلة لمولد ماركس النبضي متعدد المراحل

مثال توضيحي :



شكل (24.2) يوضح دائرة كوكروفت والتون بالماتلاب



شكل (25.2) يوضح خرج الدائرة في الشكل (24.2)

الباب الثالث

إنهيار مواد العوازل الكهربائية

(1.3) انهيار العوازل الغازية :

(1.1.3) مقدمة :

تستخدم العوازل الغازية بصورة كبيرة في المعدات الكهربائية وأهم هذه الغازات المستعملة هي (الهواء وغاز سادس فلوريد الكبريت وبنسبة اقل النيتروجين والفيون وثاني اكسيد الكربون). وتحدث مختلف الظواهر داخل العوازل الغازية عندما يطبق عبرها جهد كهربائي حيث يسري تيار صغير جدا بين الاقطاب الكهربائية المعزولة بالغاز، ويستعيد الغاز العازل خصائصه الكهربائية عند فصل المصدر. على الجانب الآخر اذا كان الجهد كبيرا تزداد شدة المجال الكهربائي ويحدث التأين ومن ثم يزداد التيار الساري بين الاقطاب زيادة كبيرة ويحدث الانهيار الكهربائي وعندئذ تحدث شرارة موصلة قوية بين الاقطاب ويسمى اقصى جهد يفقد بعده العازل خاصية العزل بجهد الانهيار للغاز العازل.

(2.1.3) عمليات تأين الغازات العازلة:

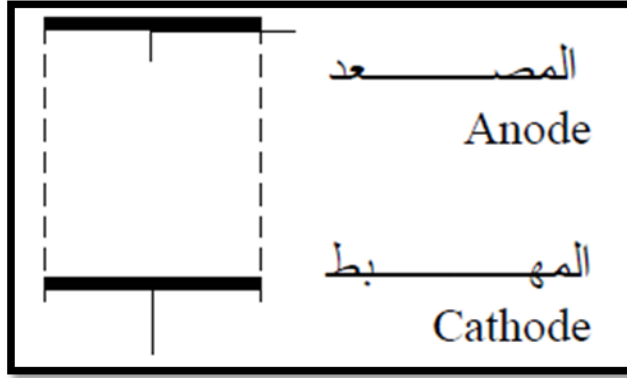
الغاز في وضعه الطبيعي يكون عازلا تماما وعند وضع جهد بسيط بين الاقطاب يسري تيار كهربائي بسيط وبتأين الجهد تزداد شدة المجال الكهربائي ويتأين الوسط العازل بين القطبين مما يؤدي الى انهيار العازل وفقدانه خاصية العزل، ويوجد عدة اليات للتأين منها:

1- التأين بالتصادم :

وتعتبر من اهم الطرق التي تؤدي الى انهيار العازل. ولفهم هذه الطريقة نفترض ان هناك لوحين موصلين متوازيين بينهما مسافة (d) وغمسا في غاز عازل ضغطه (p) وعند تطبيق جهد كهربائي بين اللوحين يظهر مجال كهربائي منتظم بينهما وباسقاط اشعاع خارجي مثل الاشعة فوق البنفسجية تخرج الكترونات حرة من المهبط (Cathode) وعند خروج الالكترون بشحنة (e) في مجال كهربائي يكتسب عجلة بقوة مقدارها (Ee) بتجاه المصعد (Anode) ويكتسب الطاقة الحركية التالية :

$$U = e E x = 0.5 mV^2 \quad (3.1)$$

حيث x هي المسافة التي يتحركها الالكترون من المهبط في اتجاه المصعد , و m هي كتلة الالكترون و V هي سرعة الالكترون.



الشكل (1.3) : غرفة التأين مع الأقطاب الكهربائية

الالكترون في حركته تجاه المصعد يصطدم بجزيئات الغاز فاذا كانت طاقة حركته كافية عند الاصطدام فانه يسبب تحلل الجزيئات او تاين الذرات الى ايون موجب والكترون سالب وتزداد عدد الالكترونات داخل الفجوة بين الاقطاب من خلال عمليات التصادم المتتالية مكونة كتلة هائلة

وتصل الى المصعد وتلاحظ وصول الالكترونات للمصعد كتيار كهربائي في الدائرة الخارجية فاذا وصلت اعداد هذه الالكترونات الى ارقام هائلة تتسبب في تكوين مسار موصل بين الاقطاب مسببة انهيار الفجوة الكهربائية بي الاقطاب.

2- التأين الضوئي (Photo Ionization) :

الالكترونات ذات مستويات الطاقة الاقل من طاقة التأين ربما تستطيع عند التصادم اثار ذرات الغاز الى مستويات اعلى.

تستمر الذرة في وضع الاثارة لمدة تتراوح بي (10^7) الى (10^{10}) من الثانية تعود بعدها الى حالة الاستقرار وتطلق كمية من طاقة الفوتون والتي تؤدي بدورها الى تاين ذرة محايدة اخرى عندما تكون طاقتها الكامنة مساوية او اقل من طاقة الفوتون وتسمى هذه الطريقة بطريقة التأين الضوئي. ولكي يحدث التأين يجب توفر الشرط التالي:

$$h\nu \geq e\phi \quad (3.2)$$

وعملية التأين الضوئي هي عملية ثانوية لالية تونسنند للانهيال والتي سيتم ايضاحها لاحقا وهي عملية مهمة في الية انهيار العوازل بواسطة عمود من الايونات وكذلك في بعض عمليات الانهيال بواسطة التفريغ الهالي (Corona) .

3- التأين بالتفاعل بين الجزيئات التي تحتفظ بالطاقة لمدة طويلة

والذرات (Metastables) :

الجزيئات التي تحتفظ بالطاقة لمدة طويلة نسبيا تكون في حالة عدم استقرار دائم لذلك فهي عند اصطدامها بذرة تفقد الطاقة التي اكتسبتها وربما تكون هذه الطاقة قادرة على تأين تلك الذرة.

4- التأين الحراري (Thermal Ionization):

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

(3.1.3) آلية تاونسند للإنهيار (Townsend Breakdown Mechanism) :

بافتراض أن عدد الإلكترونات المنبعثة من الكاثود (N_0) الكترون وعندما تصطدم هذه الإلكترونات بالجزيئات المتعادلة تتكون الأيونات الموجبة و الإلكترونات السالبة ويسمى هذا اصطدام تأيني . و تعرف (α) بأنها العدد المتوسط للتصادمات التأينية للإلكترون لكل سنتيمتر في اتجاه المجال الكهربائي , وتعتمد (α) على ضغط الغاز و المجال الكهربائي .

عند أي مسافة (x) من الكاثود نفترض أن عدد الإلكترونات أصبحت (N_x) الكترون و عندما يتحرك هذا العدد من الإلكترونات لمسافة (Dx) تزداد عدد الإلكترونات ب ($\alpha x Dx$) .

عند $x=0$ فإن عدد الإلكترونات $N_x=N_0$

و أيضا $dN_x = \alpha N_x dx$ أو $N_x = N_0 \exp(\alpha x)$

عدد الإلكترونات التي تصل الى الأنود ($x=d$) ستكون :

$$I = I_0 \exp (\alpha d) \quad (3.3)$$

حيث (I_0) هو التيار المبدئي عند المهبط (Cathode) .

(4.1.3) ازدياد التيار الكهربائي بوجود العمليات الثانوية :

مع ازدياد الجهد تزداد عمليات التأين و تزداد احتمالية اضافة الكترونات جديدة بواسطة آليات أخرى وتتسبب هذه الالكترونات الاضافية في زيادة الشحنات الكهربائية بين الأقطاب مما تتسبب في زيادة سريعة في التيار الكهربائي بين الأقطاب. ويمكن تلخيص الآليات الأخرى كالتالي :

أ- الأيونات الموجبة الناتجة من عمليات التأين داخل الثغرة بين الأقطاب تتحرك في اتجاه المهبط مما يكسبها طاقة كافية لتحرير الكترونات من الكاثود عند اصطدامها به وهو ما يسمى ب (تأين التصادم).

ب- الذرات المثارة تفقد الطاقة الزائدة على شكل فوتونات يمكن أن تؤدي لانبعاث الكترونات من خلال الانبعاث الفوتوني (Photo-emission) وهو ما يسمى ب (التأين الضوئي).

ت- الجزيئات التي تحتفظ بالطاقة المكتسبة لفترة طويلة (Metastable Particles) يمكن أن تتسبب في عملية تأين للذرات في حالة اصطدامها بذرر تكون الطاقة المكتسبة كافية لإحداث عملية تأين.

ث- التأين الحراري (Thermal Ionization) .

وسميت الالكترونات الناتجة من هذه العمليات (الالكترونات الثانوية . معامل التأين الثانوي لتاونسند γ و يعرف بأنه " عدد الالكترونات الثانوية الناتجة لكل أيون موجب, فوتون, جزيء مثار, جزيء محتفظ بالطاقة لفترة طويلة " .

القيمة الكلية ل (γ) هي مجموع المعاملات من الآليات المذكورة سابقا :

$$\Gamma = \gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3 \quad (3.5)$$

و تصبح معادلة التيار الكهربائي :

$$I = \frac{I_o \exp(\alpha d)}{1 - \gamma [\exp(\alpha d) - 1]} \quad (3.6)$$

ويذكر تاوونسد أن الغاز العازل ينهار عندما يصل التيار للمعادلة السابقة الى ما لانهاية أي أن

المقام يصبح صفر :

$$1 - \gamma [\exp(\alpha d) - 1] = 0 \quad (3.7)$$

$$\gamma [\exp(\alpha d) - 1] = 1 \quad (3.8)$$

وهو ما يسمى بشرط الانهيار .

و عادة فإن $\exp(\alpha d)$ تكون قيمتها كبيرة جدا لذلك تختصر المعادلة السابقة الى :

$$\gamma \exp(\alpha d) = 1 \quad (3.9)$$

ولفترة معينة و ضغط غاز معلوم فإن الجهد الكهربائي الذي يعطى قيم α و γ تحقق خاصية

الانهيار يسمى (جهد الانهيار) وتسمى المسافة المناظرة (مسافة الانهيار) .

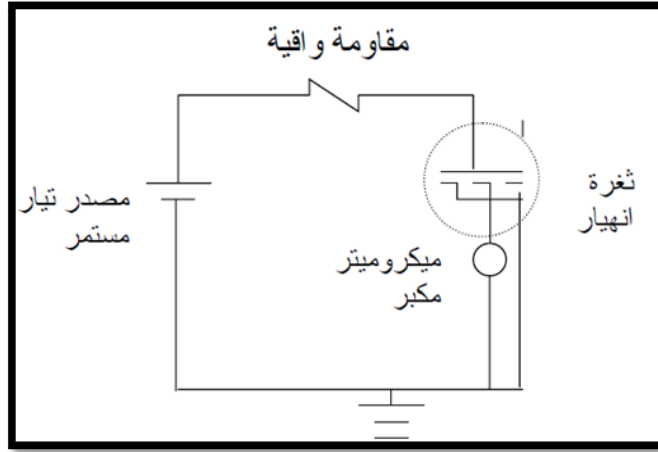
(5.1.3) تحديد قيم المعاملات α و γ عمليا :

يستخدم في هذه التجربة قطبين مستويين بينهما مجال كهربائي منتظم . يوصل قطب الجهد

العالي بمصدر جهد عال مستمر و متغير (يتراوح بين 2 الى 10 كيلو فولت) . يتكون قطب

الجهد المنخفض من قضيب مركزي و قضيب ستارة (Guard Electrode) , و يوصل القضيب

المركزي بالأرض من خلال ميكروميتر مكبر عالي المقاومة و تتراوح مقاومة الدخل للآميتر من (10^9) الى (10^{12}) أوم . ويؤرض قضيب الستارة مباشرة . و يقيس المايكروميتر المكبر تيارات صغيرة جدا في حدود (10^{-8}) الى (10^{-15}) أمبير . يوضع نظام الأقطاب هذا داخل غرفة تأين و التي يمكن ان تكون من الصلب اللين المطلي بمادة الكروم أو من الصلب الذي لا يصدأ أو غرفة زجاجية . و تصنع الأقطاب عادة من النحاس الأصفر أو الصلب الذي لا يصدأ. تفرغ الغرفة تفريغا عاليا بعدئذ تملأ الغرفة بالغاز المطلوب تحت الضغط المناسب لمسافة الثغرة بين الأقطاب و تترك لمدة نصف ساعة تقريبا ليملاً الغاز الغرفة بانتظام .

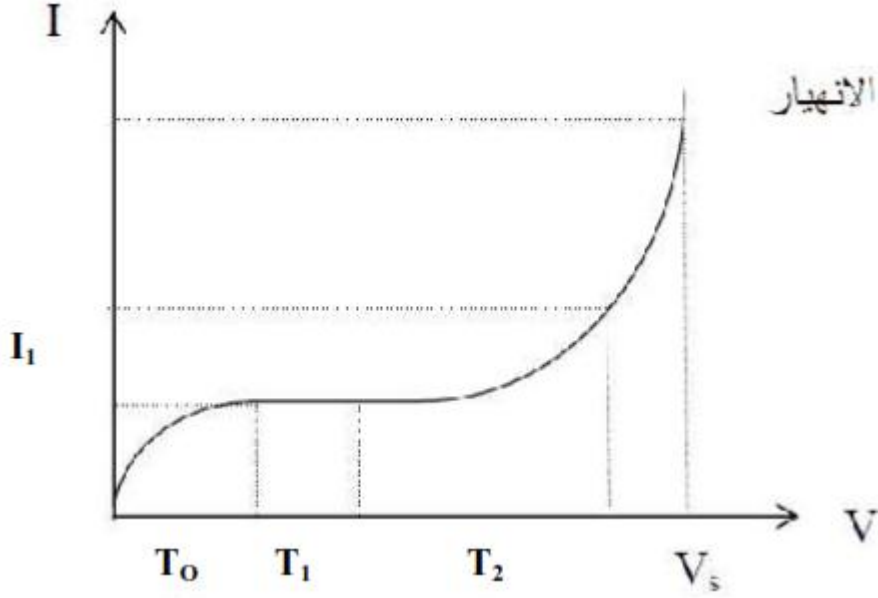


الشكل (2.3) : الترتيب العملي لقياس معاملات التأين

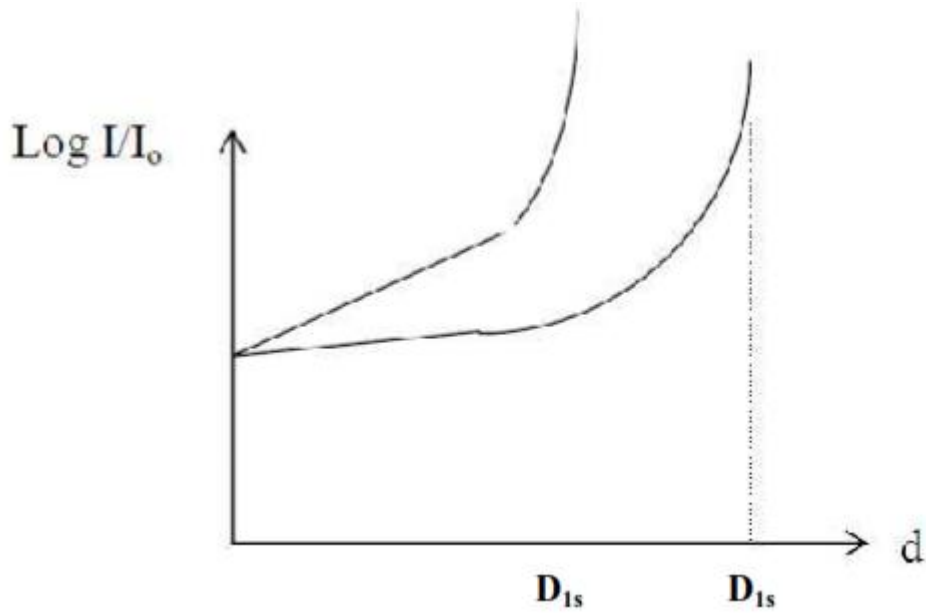
يسلط على المهبط أشعة فوق البنفسجية من خارج الغرفة و التي ينتج عنها خروج الالكترونات المبدئية (no) الاشعاع الفوتو - كهربائي .

عند تطبيق الجهد المستمر و يكون صغيرا تبدأ نبضات التيار من الظهور من خلال الالكترونات و الايونات الموجبة و بزيادة الجهد تدريجيا تختفي النبضات و نحصل على تيار مستمر . في المنطقة (T_0) يزداد التيار الكهربائي ببطء لكن بغير انتظام و ذلك مع ازدياد الجهد . في

المنطقة (T1) و كذلك المنطقة (T2) يزداد التيار تدريجيا و بانتظام طبقا لميكانيزم تاونسند بعد المنطقة (T2) يزداد التيار بصورة أكبر و تحدث الشرارة الكهربائية .



الشكل (3.3) : منحنى ازدياد التيار طبقا لتاونسند



الشكل (4.3) : العلاقة بين $\text{Log}(I/I_0)$ و مسافة الفجوة طبقا لتاونسند

ولتحديد قيم المعاملات (α و γ) لابد من الحصول أولاً على العلاقة بين التيار و الجهد لفجوات كهربائية مختلفة . ترسم العلاقة بين ($\log(I/I_0)$) و المسافة بين الأقطاب (d) عند قيمة متساوية للمجال الكهربائي (E) كما في الشكل (4,3) . ميل الجزء الأول للمنحنى يعطي قيمة (α) و بمعرفة هذه القيمة يمكن لنا إيجاد قيمة (γ) من المعادلة العامة للانهيـار لتاونسند .

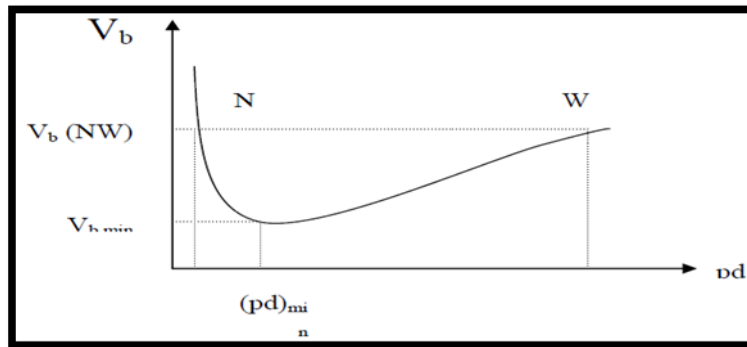
وبنظرة عامة للنتائج نرى أن قيم المعاملات (α و γ) تعتمد على النسبة بين المجال الكهربائي الى ضغط الغاز (E/P)

(6.1.3) جهد الشرارة – قانون باشن (Paschen's law) :

انهيار العوازل الغازية لا يعتمد على المسافة بين القطبين (d) بل يعتمد أيضاً على حاصل ضرب ضغط الغاز (P) بين القطبين و المسافة ($P*d$) بحيث يتحقق جهد الانهيار (Breakdown Voltage) بالعلاقة التالية :

$$V_b = f(P*d) \quad (3.10)$$

و يمثل الشكل العلاقة بين جهد الانهيار و حاصل ضرب ضغط الغاز و المسافة بين القطبين .



الشكل (5,3) : العلاقة بين جهد الانهيار و (ضغط الغاز X مسافة الثغرة)

(7.1.3) انهيار الغازات السالبة الكهربائية (Electronegative gases) :

التصاق الالكترونات بالذرات هي احد العمليات الداخلية بالغاز و التي تعطي جهد انهيار عال للغاز له هذه الميزة . و ظاهرة التصاق الالكترونات هي اجتذاب الكترونات حرة الحركة الى الذرة المتعادلة كهربائيا و تكوين أيون سالب و حيث ان الايون السالب مثل الأيون الموجب تماما له كتلة كبيرة جدا نسبيا لذلك فاحتمالية تحريره الكترونات من الذرات المتعادلة عند اصطدامه بها تكون ضعيفة ولذلك تمثل عملية التصاق الالكترونات طريقة فعالة لازالة الالكترونات و التي تلعب دورا عاما في عملية انهيار الغازات تحت الجهود المنخفضة . و يسمى الغاز الذي تلعب فيه عملية التصاق الالكترونات دورا فعالا غاز سالب الكهربائية .

عمليات الالتصاق الأكثر فعالية الموجودة بالغازات هي :

أ- الالتصاق المباشر و فيه تلتصق الالكترونات مباشرة بالذرات مكونة أيون سالب



ب- الالتصاق التحليلي و فيه تنقسم جزيئات الغاز الى الذرات المكونة لها و الذرة السالبة

الكهربائية تكون أيون سالب



الغاز الأبسط لهذا النوع هو الأوكسجين و الغازات الأخرى مثل سادس فلوريد الكبريت و الفيريون و

ثاني أكسيد الكربون و النيتروجين و الغازات التي تحتوي على الفلور و الكربون .

وفي هذا النوع من الغازات تعدل معادلة تاونسند لزيادة التيار و ذلك لأخذ عملية التصاق

الالكترونات في الحسبان . ويعرف معامل الالتصاق (η) بعدد التصادمات الالتصاقية بالكترون

واحد في سنتيمتر واحد في اتجاه المجال الكهربائي . و تحت هذه الظروف يمكن كتابة التيار

الواصل الى الأنود كما يلي :

$$I = I_0 \frac{\left[\frac{\alpha}{\alpha - \eta} \exp(\alpha - \eta)d \right] - \left[\frac{\eta}{\alpha - \eta} \right]}{1 - \left\{ \gamma \frac{\alpha}{\alpha - \eta} [\exp(\alpha - \eta)d - 1] \right\}} \quad (3.13)$$

و بمساواة المقام بالصفر يمكن أن نحصل على خاصية تاونسند للانهييار كما يلي :

$$\gamma \frac{\alpha}{\alpha - \eta} [\exp(\alpha - \eta)d - 1] = 1 \quad (3.14)$$

وهذه المعادلة توضح انه عندما تكون α أكبر من η تكون هناك دائما احتمالية لانهييار الغاز بدون

النظر لقيم α و η و γ . ولى الجانب الآخر اذا كانت η أكبر من α تقترب خاصية الانهييار

لتاونسند الى الشكل التقاربي :

$$\alpha = \eta / (1 - \gamma) \quad (3.15)$$

$$\gamma [\alpha / (\alpha - \eta)] = 1 \quad (3.16)$$

و عادة تكون γ قيمة صغيرة جدا ويمكن اعادة كتابة المعادلة السابقة كما يلي ($\alpha = \eta$) . وفي

هذه الحالة يمكن وضع حدود الانهييار للنسبة بين المجال الكهربائي الى الضغط (E/P) بحيث لا

يحدث اي انهيار لأقل من هذه الحدود بدون النظر لقيمة مسافة الفجوة بين الأقطاب و قيمة هذا

الحد يطلق عليه النسبة الحرجة بين المجال الكهربائي و ضغط الغاز .

(8.1.3) الانهيار في المجالات غير المنتظمة و التفريغ الهالي :

إذا كان المجال الكهربائي منتظماً فالزيادة التدريجية للجهد على الشعرة تحدث انهياراً كهربائياً للشعرة على هيئة شرارة بدون أي تفريغات ابتدائية . وعلى الجانب الآخر إذا كان المجال غير منتظم فالزيادة في الجهد تسبب أولاً تفريغات في الغاز تظهر عند النقاط التي يكون عندها أعلى قيم للمجال الكهربائي أي عند النقاط الحادة في الموصلات الكهربائية . هذه التفريغات تسمى التفريغ الهالي ويمكن ملاحظتها كوميض لامع مائل للزرقة وتكون مصاحبة بصوت أزيز . و ظاهرة التفريغ الهالي على خطوط النقل الكهربائي تؤدي إلى فقد القدرة الكهربائية و تؤدي لتلف العزل الكهربائي و يصاحب ظاهرة التفريغ الهالي أيضاً تداخل في موجات الراديو .

وتتأثر ظاهرة التفريغ الهالي بقوة بالعوامل الآتية :

أ- حالة سطح الموصل .

ب- حالة الغاز المحيط .

ت- شكل الموصلات الكهربائية.

المجال الكهربائي المطلوب لعمل ظاهرة تفريغ هالي لجهد متردد مرئية في الهواء على سطح

الموصل, يسمى مجال بدء ظاهرة التفريغ الهالي , لموصلين متوازيين نصف قطر كل منهما (r) .

$$E_w = 30md \left[1 + \frac{0.301}{\sqrt{dr}} \right] \quad (3.17)$$

و في حالة الاسطوانتين متحدتي المحور و نصف قطر الأسطوانة الداخلية r تصبح المعادلة :

$$E_c = 3 \ln d \left[1 + \frac{0.308}{\sqrt{dr}} \right] \quad (3.18)$$

حيث m هي معامل عدم انتظام سطح الموصل و d هو معامل التصحيح لكثافة الهواء النسبية و تعطي بالمعادلة :

$$d = \frac{3.92P}{(273 + T)} \quad (3.19)$$

حيث أن : (P) هو الضغط الجوي بوحدة (torr). (T) درجة الحرارة بالدرجة المئوية .

ويمكن التقليل من حدوث ظاهرة التفريغ الهالي بما يأتي :

- i. تنعيم أسطح الموصلات الكهربائية المستخدمة .
- ii. تجنب الأحرف الحادة للموصلات الكهربائية .
- iii. التنظيف المستمر لأسطح الموصلات من الغبار و الأتربة.
- iv. زيادة قطر الموصل في حالة الجهود العالية و الجهود الفائقة و ذلك باستخدام الموصلات عديدة الموصلات (bundle conductor) .
- v. زيادة ضغط الغاز .
- vi. تجنب وجود الرطوبة بالغاز .

(9.1.3) الاعتبارات العملية في استخدامات الغاز لأغراض العزل الكهربائي :

ظهرت في الأعوام القليلة الماضية أعمال كثيرة لتبني غاز معين للاستخدامات العملية , و لكي يستخدم غاز معين في التطبيقات الكهربائية فإنه لا بد أولاً من الإلمام بمعلومات عن الغاز بما في ذلك تركيبه و ما هي العوامل التي تؤثر على أدائه . و كلما زادت متطلبات التشغيل , زادت المتطلبات الكثيرة و العنيفة التي تكون مطلوبة من الغاز العازل .

الخصائص المفضلة المطلوب توفرها في الغاز العازل لتطبيقات الجهد العالي هي :

أ- شدة عزل عالية.

ب- اتزان حراري و عدم وجود نشاط كيميائي تجاه المواد المستخدمة .

ت- غير قابل للاشتعال و غير ضار بالصحة العامة .

ث- درجة حرارة تكثيف أقل .

ج- انتقال حراري جيد

(2.3) انهيار العوازل السائلة :

(1.2.3) مقدمة :

العوازل السائلة تستخدم لزيادة عزل كابلات الجهد العالي و المكثفات والمحولات و القواطع وهكذا. وبالإضافة لتوظيفها كعازل فلها وظائف أخرى مثل وسط ناقل للحرارة في المحولات و كوسط طافئ للشرارة في القواطع.

يعتبر زيت البترول من أكثر الزيوت استخداما كعوازل سائلة و تستخدم أيضا الهيدروكربونات الهالوجينية في بعض التطبيقات . و تستخدم زيوت السيليكون و الهيدروكربونات التي تحتوي على الفلوريد للتطبيقات ذات درجات الحرارة العالية . و حديثا تستخدم بعض الزيوت النباتية والأسترات.

(2.2.3) العوازل السائلة النقية و التجارية :

العوازل السائلة النقية هي السوائل النقية كيميائيا و لا تحتوي حتى على نسبة ($10^9:1$) من الشوائب و تركيبها الكيميائي بسيط . على الجانب الآخر فالعوازل السائلة التجارية تكون غير نقية كيميائيا و تحتوي على خليط من الجزيئات العضوية المركبة و التي لا يمكن بسهولة توصيفها أو اعادة انتاجها في تجارب متسلسلة.

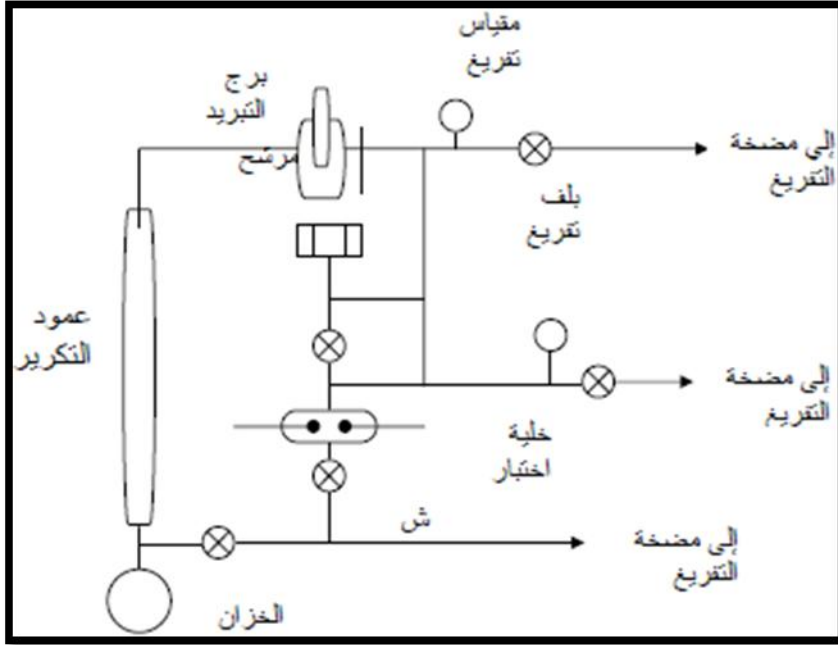
(3.2.3) التنقية :

الغبار المعدني و الرطوبة و الغازات المحللة و الشوائب الأيونية هي الشوائب الرئيسية الموجودة و التي تقل كثيرا من شدة عزل الزيوت . و هنالك عدة طرق توظف لتنقية الزيوت العازلة هي الترشيح (الفلتر) , من خلال ترشيح ميكانيكي و ترشيح كهروستاتيكي , و سحب الغازات و قوة الطرد المركزي و التقطير و التعامل الكيميائي . جزيئات الغبار المعدني يمكن إزالتها بواسطة الترشيح و الغازات مثل الأوكسجين و ثاني أوكسيد الكربون يمكن ازالتها بواسطة التقطير و ازالة الغازات و الشوائب الأيونية مثل بخار الماء يمكن ازالتها بواسطة أجهزة تجفيف أو التجفيف الفراغي و أحيانا يتم اضافة حمض الكبريتيك المركز الى العوازل السائلة و ترج جيدا لإزالة الشمع و الأجزاء المتبقية ثم تشطف بالصودا الكاوية و الماء المقطر .

(4.2.3) اختبار انهيار العوازل السائلة :

اختبارات الانهيار عادة ما تنجز داخل خلايا اختبار صغيرة لاختبار عينة الزيت بعد التنقية . الأقطاب الكهربائية المستخدمة داخل خلية الاختبار لقياس جهد الانهيار عادة ما تكون كرات قطرها يتراوح بين (0.5) الى (1.0) سنتيمتر و الثغرة بين الأقطاب تتراوح بين (100) الى (200)

مايكرومتر في بعض الأحيان تستخدم الأقطاب المستوية و التي هي عبارة عن مستويين متوازيين . جهد الاختبار يتراوح بين (50) الى (100) كيلو فولت.

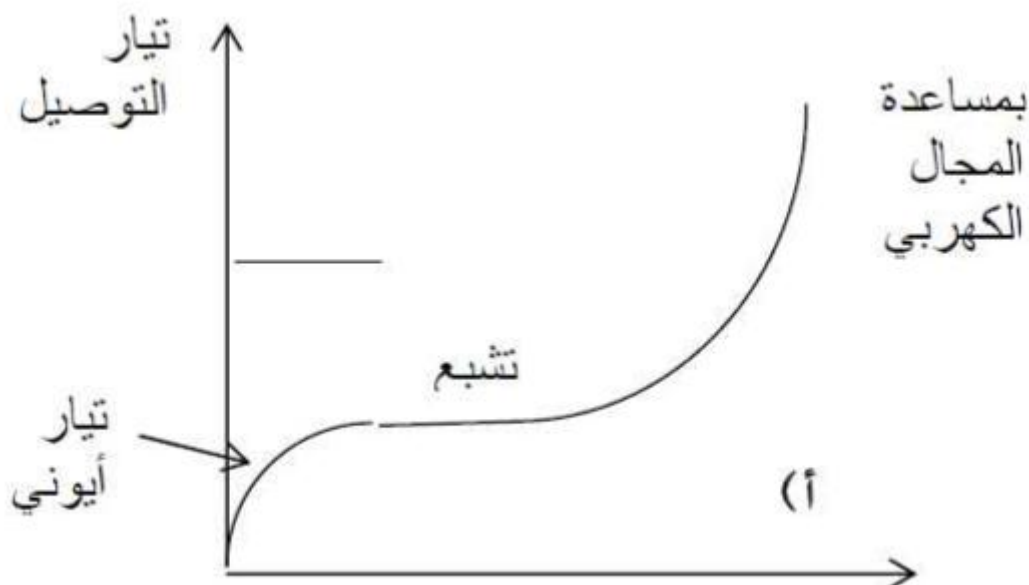


الشكل (6.3) : نظام تنقية الزيت مع خلية اختبار

(5.2.3) التوصيل و الانهيار في العوازل السائلة النقية :

عند المجال الكهربائي الصغير يتكون التيار الكهربائي نتيجة تحلل الأيونات و عند القيم المتوسطة للمجال الكهربائي يصل التيار الكهربائي الى قيمة التشبع و عند المجال الكهربائي العالي تتولد التيارات نتيجة انبعاث الالكترونات من المهبط (Cathode) نتيجة المجال العالي و التي تتضاعف بواسطة آلية تاونسند و تزداد التيارات حتى يحدث الانهيار.

الآلية الصحيحة لزيادة التيار غير معروفة بالضبط و يعتمد جهد الانهيار على المجال الكهربائي و مسافة الشعرة بين الأقطاب الكهربائية و درجة حرارة الكاثود بالإضافة الى لزوجة السائل و درجة حرارة السائل و كثافة السائل و التركيب الجزيئي له.



الشكل (7.3) : خصائص تيار التوصيل / المجال الكهربائي للهيدروكربون السائل

(6.2.3) انهيار العوازل السائلة التجارية :

كما ذكرنا سابقا أن العوازل السائلة التجارية غير نقية كيميائيا و تحتوي على شوائب مثل الفقاعات الغازية و الجزيئات المعلقة و هكذا . هذه الشوائب تتسبب في انخفاض شدة العزل لهذه السوائل انخفاضا ملحوظا وفي بعض الأحيان انخفاضا كبيرا . ويتأثر ميكانيزم الانهيار بوجود مثل تلك الشوائب بالإضافة الى أنه عند حدوث الانهيار الكهربائي لهذه السوائل تنتج غازات إضافية و فقاعات غازية وتتكون نواتج التحليل الصلبة لهذه السوائل.

وتعتمد آلية الانهيار لتلك السوائل على عدة عوامل هامة مثل طبيعة و حالة الأقطاب الكهربائية و الخصائص الفيزيائية للسائل و الشوائب و الغازات المتواجدة بالسائل .

1- وجود شوائب (Particles) :

عند تطبيق جهد عال ينشأ مجال كهربائي بين القطبين شدته (E) . و إذا كانت سماحية الشوائب (ϵ_1) (Particles permittivity) أكبر من سماحية العازل السائل (ϵ_2) فإنه ينشأ قوة تدفع بالشوائب للمسامحة التي يكون فيها المجال الكهربائي أعلى ما يمكن . فإذا كانت الشوائب كروية لها نصف قطر r فإن القوة تعطى بالعلاقة التالية :

$$F = \frac{1}{2} r^3 \frac{\epsilon_2 - \epsilon_1}{2 \epsilon_1 + \epsilon_2} \cdot \nabla E^2 \quad (3.19)$$

و عندما تتجه هذه الشوائب باتجاه المنطقة التي يكون فيها المجال الكهربائي أعلى ما يمكن فإنها تتابع حتى تصل ما بين القطبين مما ينشأ عنه توصيل ثم انهيار كهربائي . (Breakdown)

2- وجود الماء :

عند وجود قطرات من الماء في العازل السائل فإنها تستطيل في اتجاه المجال الكهربائي مما يؤدي الى التوصيل بين القطبين و حدوث الانهيار الكهربائي .

3- وجود فقاعات هوائية :

يوجد في بعض الأحيان فقاعات غازية في السائل العازل إما نتيجة لوجود شرخ في الاطار الخارجي أو وجود نتوءات في أحد الأقطاب . و عند تطبيق الجهد بين القطبين ينشأ مجال كهربائي شدته ($E=V/d$ (Kv/cm)) وحيث إن شدة العزل للهواء أقل منه للعازل السائل فإن الوسط الغازي داخل الفقاعة الغازية سينهار مما ينشأ عنه شرارة كهربائية و بخار مما يؤدي الى توليد المزيد من الفقاعات حتى تملأ الفراغ الموجود بين القطبين مما ينشأ عنه انهيار كامل للوسط العازل بين القطبين الكهربائيين.

(3.3) انهيار العوازل الصلبة :

(1.3.3) مقدمة :

تستخدم العوازل الصلبة في كل أنواع الدوائر الكهربائية و المعدات لعزل الموصلات الكهربائية . و لابد أن يتوفر في العازل الجيد الخصائص الآتية :

- أ- شدة ميكانيكية عالية .
 - ب- فقد كهربائي قليل .
 - ت- خالي من الفراغات الغازية (voids) و الرطوبة .
 - ث- مقاوم للتلف الحراري و الكيميائي .
- كما أن للعوازل الصلبة شدة عزل أكبر من العوازل الغازية و العوازل السائلة .

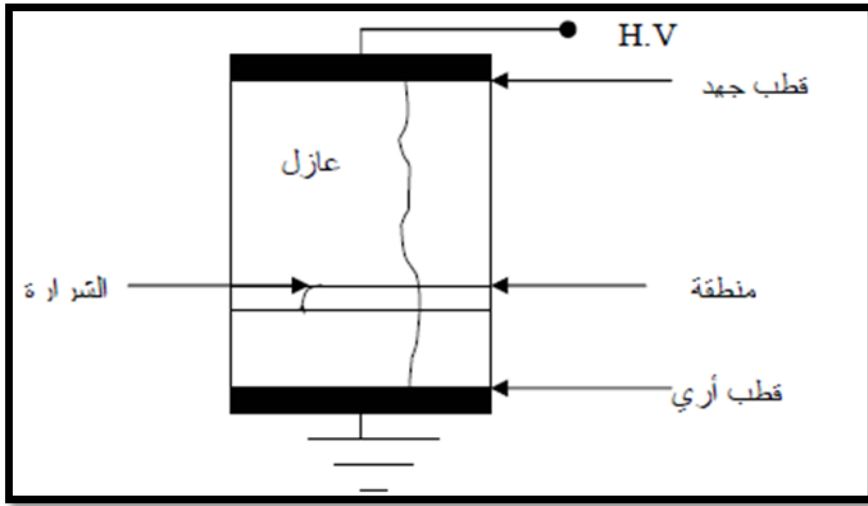
(2.3.3) الانهيار في العوازل الصلبة :

من عوامل الضعف في العوازل المصنوعة من اللدائن (Polymers) ضعفها في مقاومة الشرارة الكهربائية و التفريغ الكهربائي مما يجعلها عرضة للانهيار عند تعرضها للمجالات الكهربائية العالية . ويمكن أن يحدث الانهيار على السطح و تسمى هذه الظاهرة بظاهرة التسيير (Tracking) أو في لب العازل و تسمى هذه الظاهرة بظاهرة التشجير (Treeing) .

(3.3.3) انهيار سطح العازل (Tracking) :

يحدث هذا النوع من الانهيار على سطوح العوازل الصلبة المستخدمة في الأجهزة أو في الأماكن المعرضة للتلوث , مثل المواقع القريبة من البحر أو المناطق الصناعية , حيث تحمل الرياح

الأملاح و الغبار و مخلفات المصانع و التي تكون عادة مواد أيونية شبه موصلة و تسربها على أسطح العوازل . و عندما يكون السطح جافا يتسرب تيار ضئيل (Leakage Current) من النوع السعوي و عند تبلل السطح بالرطوبة أو الترشيح و الضباب و الرش فإن سطح العزل يصبح مبتلا و بذلك تزداد شدة و قيمة التيار المتسرب بصورة كبيرة و تكون قيمته حقيقية . و مع ازدياد حرارة العازل نتيجة لمرور التيار فإن سطح العازل المبتل يجف في بعض المناطق التي تكون فيها كثافة التيار أعلى ما يمكن , و عادة ما تكون هذه المناطق قريبة من أقطاب الجهد العالي , و تصل درجة الحرارة على السطح درجة الغليان مما ينتج عنه تبخير الرطوبة الموجودة على السطح و تكوين مناطق جافة صغيرة على شكل حزم (Dry Bands) تفصل بين القطبين فينطبق فرق الجهد بين القطبين على هذه المنطقة و التي تكون المسافة بين طرفيها صغيرة جدا فتزداد شدة المجال الكهربائي بين طرفيه حيث أن $E=v/d$ و d هي المسافة بين القطبين فتتأثر الشحنة الموجودة بين طرفي المنطقة الجافة و التي يكون الوسط فيها عبارة عن الهواء . و إذا استمر السطح في البلل فإن الشرارة ستستمر مما ينتج عنها حرارة ربما تكون كافية لتكسير الروابط التساهمية للعازل المصنوع من اللدائن (هيدروكربونات) مما يجعل الكربون يظهر على سطح العازل على شكل نقاط متفرقة بينما يصعد الهيدروجين على السطح و يلتقي مع الأوكسجين مما يتولد عنه ماء (H_2O) الذي يزيد بدوره عملية البلل و استمرار الشرارة و التي تؤدي في بعض الأحيان الى تآكل السطح (Erosion) الذي يضعف العزل ميكانيكيا.



الشكل (8.3) : يوضح كيفية حدوث إنهيار سطح العازل

(4.3.3) انهيار لب العزل (التشجير) Treeing :

عادة ما ينشأ هذا النوع من وجود جيوب هوائية مفرغة داخل العازل ، و عند تطبيق جهد عال بين قطبين كهربائيين أحدهما مدبب (Point Electrode) و الآخر مسطح (Plain Electrode) فإن الوسط الهوائي داخل العازل الصلب سينهار نظرا لأن شدة المجال الكهربائي (E) عند القطب المدبب هي أعلى ما يمكن و تفوق شدة الانهيار الكهربائي للهواء فينتج عنه تفريغ جزئي (Partial Discharge) يعمل على تآكل العازل داخليا ، و يحدث شرخ بسيط عند الحواف المدببة للجيب الهوائي نتيجة لتركز المجال الكهربائي عند هذه الحواف الحادة مما يزيد من نشاط التفريغ الجزئي و اتجاه الشروخ الصغيرة المايكروسكوبية باتجاه المجال الكهربائي ، الذي تقع خطوطه بين القطبين الكهربائيين ، و تفرعها على شكل شجيرات حتى تصل بين القطبين ، و نتيجة لتسرب الكربون على سطح هذه القنوات المايكروسكوبية فإنها تصبح موصلة فينهار العازل . و عادة ما تحدث هذه الظاهرة في الكابلات المصنوعة من مادة البولي إيثيلين و التي تعمل عند جهود عالية . و في المناطق ذات منسوب المياه العالي تتشرب الكابلات المصنوعة من مادة البولي إيثيلين نسبة من

الماء تختزن في الجيوب الهوائية الناتجة من عيوب التصنيع و عند تعرضها للمجال الكهربائي أثناء عمل الكابل تستطيل هذه الجيوب المائية حتى تصل بين الموصل و الغلاف المعدني المؤرض للكابل مما يؤدي الى انهيارها , و تسمى هذه الظاهرة بظاهرة التشجير المائي (Water Treeing) .

(5.3.3) الإنهيار الإلكتروميكانيكي :

عندما يتعرض العازل الصلب لمجالات كهربائية عالية يمكن أن يحدث الانهيار بسبب قوى الضغط الهروستاتيكية و التي يمكن أن تزيد عن أقصى قيمة ضغط ميكانيكية يتحملها العازل . لو افترضنا أن سمك عينة الاختبار (d_o) و تم ضغطها لسمك (d) تحت جهد كهربائي (V) فإن إجهاد الضغط الميكانيكي يكون متعادلا إذا كان :

$$\epsilon_o \epsilon_r \frac{V^2}{2d^2} = Y \ln\left[\frac{d_o}{d}\right] \quad (3.20)$$

حيث أن (Y) هو معامل يونج و تصبح المعادلة :

$$V^2 = d^2 \left[\frac{2Y}{\epsilon_o \epsilon_r} \right] \ln\left[\frac{d_o}{d}\right] \quad (3.21)$$

و غالبا يحدث الاتزان الميكانيكي عندما ($d/d_o=0.6$) or ($d/d_o=1.67$)

لذلك تكون أكبر قيمة للمجال الكهربائي قبل الانهيار هي :

$$E_{\max} = \frac{V}{d_o} = 0.6 \sqrt{\frac{Y}{\epsilon_o \epsilon_r}} \quad (3.22)$$

(6.3.3) الانهيار الحراري :

تزداد قيمة جهد الانهيار للعازلات الصلبة مع ازدياد سمك العازل حتى درجة معينة , بعده يتحدد التوصيل الكهربائي بالعازل بناء على الحرارة المتولدة داخله . وعند تطبيق الجهد على العازل يمر تيار توصيل صغير جدا خلال المادة . يتسبب التيار في زيادة درجة حرارة العزل و تنتقل الحرارة المتولدة للوسط المحيط بالتوصيل خلال العازل بالإشعاع من سطح العازل . ويحدث الاتزان عندما تتساوى قيمتا الحرارة المتولدة داخل العازل و الحرارة المفقودة بالتوصيل و الإشعاع .

الحرارة المتولدة تحت تأثير التيار المتردد هي :

$$W = \frac{E^2 f \epsilon_r \tan \delta}{1.8 \times 10^{12}} \quad \text{w/cm}^2 \quad (3.23)$$

بحيث أن f هو التردد بالهيرتز و δ هو زاوية الفقد و E هي القيمة الفعالة للمجال الكهربائي .

و تكون الحرارة المفقودة :

$$W_T = C_v \frac{dT}{dt} + \text{div}(K \cdot \text{grad} T) \quad (3.24)$$

حيث (C_v) هي الحرارة النوعية للعينة و (T) هي درجة حرارة العينة و (K) هي الموصلية للعينة و

t هو زمن الفقد الحراري . و يحدث الاتزان الحراري عندما تتساوى قيمة الحرارة المتولدة مع الحرارة

المفقودة و يحدث الانهيار عندما تكون كمية الحرارة المتولدة أكثر من كمية الحرارة المفقودة .

(7.3.3) التلف و الانهيار الكيميائي و الالكتروميكانيكي :

في وجود الهواء و بعض الغازات تحدث لبعض المواد العازلة تغيرات كيميائية عندما تتعرض هذه المواد لاجهاد كهربائي مستمر بعض التفاعلات الكيميائية الهامة التي يمكن أن تحدث للعوازل الصلبة هي :

1.التأكسد : في وجود الهواء أو الأوكسجين تتأكسد بعض المواد مثل المطاط و البولي إيثيلين مما يؤدي الى الزيادة في شروخ السطح .

1. التحلل المائي : في وجود الرطوبة أو بخار الماء على سطح العازل الصلب يحدث التحلل

المائي و تفقد المادة خصائصها الكهربائية و الميكانيكية . الخصائص الكهربائية لمواد مثل

الورق و القطن و المواد السليوليزية الأخرى تتضرر بصورة كبيرة من هذا التحلل المائي .

المواد البلاستيكية مثل البولي إيثيلين ينخفض عمرها الافتراضي بصورة ملحوظة .

2. التفاعل الكيميائي : حتى في غياب الإجهاد الكهربائي يمكن أن يحدث تأثير كيميائي كبير

على المواد العازلة نتيجة العديد من العمليات مثل عدم الاتزان الكيميائي عند درجات الحرارة

العالية , التأكسد و الشروخ في وجود الهواء و الأوزون , و التحلل المائي نتيجة وجود الرطوبة

و التسخين

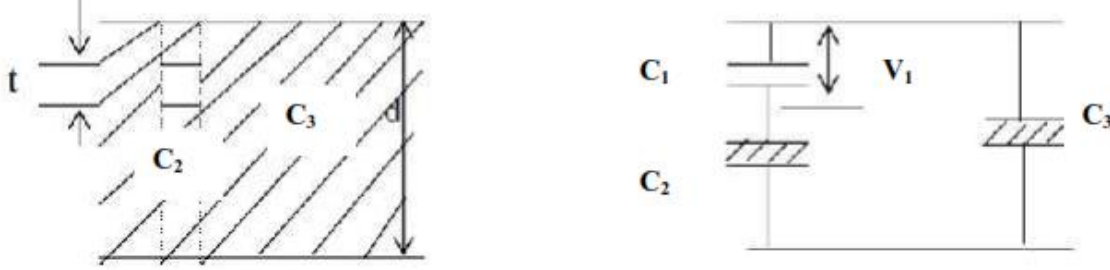
(8.3.3) الانهيار بسبب التفريغ الداخلي :

المواد العازلة الصلبة و بصورة أقل العوازل السائلة تحتوي على فقاعات هوائية داخل الوسط أو

عند الحدود بين الموصلات و العازل . و تمتلئ هذه الفقاعات بوسط له ثابت عزل أقل من تلك

التي للعازل . لذلك فإن شدة المجال الكهربائي داخل هذه الفقاعات أعلى منها خلال العازل لذلك

فإنه حتى تحت الجهد العالي فإن المجال الكهربائي داخل هذه الفقاعات ربما يزيد عن قيمين الانهيار و ربما يحدث الانهيار للعازل بدءا بالفقاعات .



الشكل (8.3) : التفريغ الكهربائي داخل الفقاعة و الدائرة المكافئة

بتقسيم العازل لثلاثة أجزاء , يمكن تكوين الدائرة المكافئة من (C1 و C2 و C3) حيث أن (C1) يمثل سعة الفراغ و (C2) يمثل سعة العازل على التوالي مع الفراغ و (C3) هي سعة الجزء المتبقي من العازل

بوضع جهد مقداره (V) عبر الأقطاب الكهربائية فإن قيمة الجهد الواقع على الفراغ (V1) هو :

$$V_1 = \frac{V d_1}{d_1 + \left(\frac{\epsilon_0}{\epsilon_1}\right) d_2} \quad (3.25)$$

حيث : (d1) و (d2) هما سمك الفقاعة و العازل على التوالي و لهما سماحية مقدارها (ϵ_0) و (ϵ_r) على التوالي .

و دائما تكون (d1) أقل بكثير من (d2) لذلك فإن :

$$V_1 = V \epsilon_r \left(\frac{d_1}{d_2} \right) \quad (3.26)$$

حيث أن (ϵ_r) هي السماحية النسبية للعازل .

الباب الرابع

طرق قياس الجهد العالي

(1.4) مقدمة :

من الضروري قياس الجهد العالي بدقة في اختبارات الصناعة وكذلك في معامل الأبحاث والتأكد بدقة من سلامة الأشخاص والمعدات المستعملة.

هناك العديد من الطرق والأجهزة المستعملة في قياس الجهد العالي ويمكن لنا تصنيفها كما في

الجدول (1-4)

جدول (1.4) تقنيات قياس الجهد العالي

نوع الجهد المراد قياسه	تقنية أو طريقة القياس
(أ) الجهود المستمرة	1- مقاومة توالي مع ميكرو أميتر 2- مجزئ جهد باستخدام المقاومات 3- ثغرات الشرارة
(ب) الجهود المترددة ذات التردد القوي	1- معاوقة توالي مع أميتر 2- مجزئات الجهد (باستخدام المقاومات أو المكثفات) 3- محولات الجهد (الكهرومغناطيسية أو السعوية)
(ت) الجهود عالية التردد والجهود الدفعية والجهود الأخرى سريعة التغيير	1- مجزئات الجهد مع راسم ذبذبات 2- فولتميتر القيمة العظمى 3- ثغرات الشرارة

(2.4) قياس الجهد العالي المستمر:

يتم قياس الجهد العالي المستمر عادة كما في قياس الجهود المنخفضة بتمديد مدى جهاز القياس وذلك باستخدام مقاومة عالية على التوالي للحد من التيار المار في جهاز القياس وبتراوح التيار عادة من 1 إلى 10 ميكروأمبير وتتمثل في الفقد الكامل للجهاز. وتحدث مشاكل عند قياس الجهود فوق العالية التي تزيد عن 1000 كيلوفولت وتتمثل في الفقد العالي في القدرة والتيارات التسريب ومحدودية الإجهاد الكهربائي على وحدة الطول وتغير المقاومة بتغيير درجة الحرارة... وهكذا. لذلك فإن استخدام مجزئات الجهد باستخدام المقاومات مع الفولتميتر الكهروستاتيكي يفضل أحياناً عندما نريد الحصول على دقة أكثر للقياسات. تتسبب كل من أجهزة مقاومات التوالي ومجزئات الجهد في سحب تيار من المصدر. ثغرات الشرارة مثل ثغرات الشرارة الكروية هي أجهزة تفريغ غازية وتعطي نتائج عالية الدقة للجهود العظمى (peak voltage) وهي طرق بسيطة جداً ولا تتطلب أي تركيبات خاصة ولكن قياساتها تتأثر بالعوامل الجوية مثل درجة الحرارة وكذلك تتأثر بوجود أي جسم معدني مؤرض بالقرب منها حيث إن المجالات الكهربائية داخل الثغرة تتأثر بوجود مثل تلك الأجسام المعدنية المؤرضة. ولكن في نفس الوقت فإن قياسات ثغرات الشرارة الكروية لا تعتمد على شكل موجة الجهد أو ترددها.

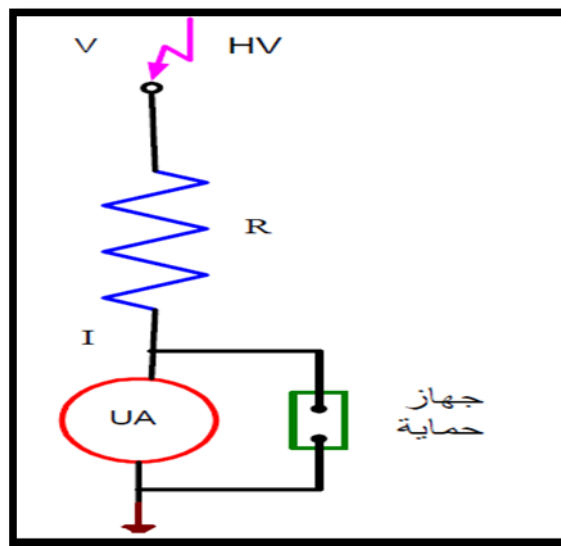
(1.2.4) مقاومة عالية موصلة على التوالي مع ميكرو أميتر:-

يُقاس الجهد العالي المستمر عادة باستخدام مقاومة عالية جداً (عدة مئات من الميغا أوم) على التوالي مع ميكرو أميتر، كما في شكل (4-1). وبوجود الجهد العالي يمر تيار I في المقاومة العالية المعاييرة R ويقاس هذا التيار باستخدام ميكرو أميتر ذو ملف تحرك. يعطى جهد المصدر بالمعادلة

$$V=IR$$

(4.1)

ويمكن إهمال قيمة الانخفاض في الجهد على جهاز القياس حيث إن معاوقة الميكروأميتر عدة أوم فقط مقارنة بعدة مئات من الميجا أوم لمقاومة التوالي R. ويستخدم جهاز حماية مثل ثغرة ورقية أو أنبوب نيون مضئ أو زنر دايمود مع مقاومة مناسبة على التوازي مع جهاز القياس كحماية من الجهد العالي الفجائي في حالة حدوث شرارة سطحية على المقاومات. وتختار القيمة الأومية لمقاومة التوالي بحيث يسمح لتيار يتراوح بين 1 و 10 أمبير بالمرور للمدى الكامل لجهاز القياس. وتصنع المقاومة من عدد من مقاومات السلك الملفوف على التوالي. ويختار الانخفاض الجهد في كل عنصر مقاومة بحيث نتجنب شرارة السطح ويسمح للمجال الكهربائي أن يكون في حدود 5 كيلو فولت/سم إذا كانت عناصر المقاومة في الهواء وأقل من 20 كيلو فولت/سم إذا كانت عناصر المقاومة مغموسة في الزيت. وتصمم الأطراف بحيث تكون خالية من ظاهرة التفريغ الهالي (corona) (غير مدببة أو حادة). وتستخدم سبيكة الكربون ذات المعامل الحراري الأقل من $10^{-4}/^{\circ}\text{C}$ عادة في تصنيع عناصر المقاومة.



شكل (1.4) مقاومة توالي مع ميكرو أميتر

العناصر المحددة في تصميم مقاومة التوالي هي:

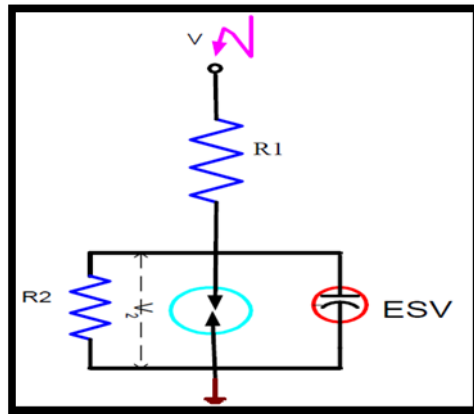
- 1- القدرة المفقودة وتحميل المصدر.
 - 2- تأثيرات درجة الحرارة واللاتزان الطويل المدى.
 - 3- اعتمادية الجهد لعناصر المقاومة.
 - 4- الحساسية للإجهادات الميكانيكية.
- وقد صممت مقاومة التوالي للجهود المستمرة حتى 500 كيلوفولت بدقة أفضل من 0.2%.

(2.2.4) مجزئات الجهد باستخدام المقاومات:-

يستخدم مع مجزئات الجهد باستخدام المقاومات جهاز قياس عبارة عن فولتمتر كهروستاتيكي أو فولتمتر ذو مقاومة عالية كما في شكل (4-2) ويلغي تأثير درجة الحرارة والجهد على العناصر في استخدام مجزئات الجهد. وتعطى قيمة الجهد العالي بالمعادلة:

$$V = \frac{R_1 + R_2}{R_2} V_2 \quad (4.2)$$

حيث ان V_2 هو الجهد المستمر على ذراع الجهد المنخفض R_2 .



شكل (2.4) مجزئات الجهد المستخدمة للمقاومات

مع التغيير المفاجئ في الجهد (مثل عمليات الفتح أو شرارة السطح أو قصر المصدر الكهربائي) يمكن حدوث شرارة أو عطب لعناصر المقاومة خلال مكثفات التسريب عبر عناصر المجزئ للأرض ولتجنب هذا الجهد العابر نستخدم على التوازي مع العناصر مكثفات تحكم في الجهد. وتستخدم أيضاً أطراف حرة من ظاهرة التفريغ الهالي لتجنب التفريغ غير المرغوب فيه عند أطراف الجهد العالي. تصنع مجزئات الجهد بدقة تصل إلى 0.05% حتى جهد 100 كيلوفولت، وبدقة تصل إلى 0.1% حتى جهد 300 كيلوفولت، وبدقة أفضل من 0.5% حتى جهد 500 كيلوفولت.

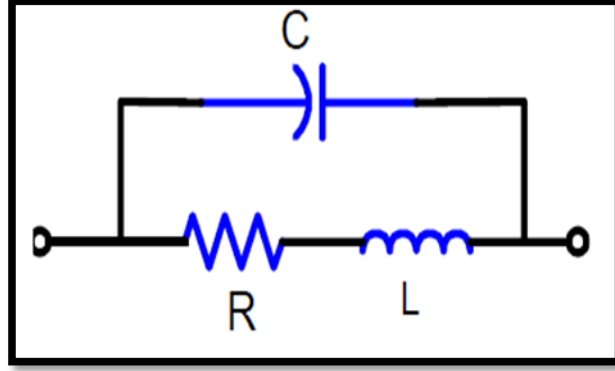
(3.4) قياس الجهد العالي المتردد والجهود النبضية (الدفعية):-

تستخدم طرق تقليدية عديدة لقياس الجهد العالي المتردد مثل فولتمتر مع معاوقة على التوالي، ومجزئات الجهد، ومحولات الجهد أو الفولتمتر الكهروستاتيكي مع اختلاف تصميمهم عن تلك التي تستخدم لقياس الجهد العالي ومن أهم العوامل التي يجب أن تؤخذ في الاعتبار تصميمات العزل وتحميل المصدر. عند قياس القيمة العظمى للجهد فقط يمكن استخدام فولتمتر القيمة العظمى (peak voltmeter) وثغرات الشرارة. أما عند قياس الجهد الدفعي والجهد المتردد ذو الترددات العالية تستخدم مجزئات الجهد مع راسم ذبذبات لتسجيل موجة الجهد وتستخدم ثغرات الشرارة عند قياس القيمة العظمى للجهد فقط وكذلك لأغراض المعايرة للأجهزة.

(1.3.4) فولتمتر معاوقة التوالي:-

لقياس الجهد المتردد فإن معاوقة التوالي يمكن أن تكون مقاومات فقط أو مفاعلات وحيث إن وجود المقاومة ينتج عنها فقد في القدرة الكهربائية فغالباً ما يفضل استعمال المكثفات كمفاعلات على التوالي. والأكثر من ذلك فإن التغيير في قيمة المقاومة مع درجة الحرارة تمثل مشكلة كبيرة وكذلك فإن الحث المتبقي (residual inductance) للمقاومة يزيد من قيمة المعاوقة الكلية وبالتالي يغير

من المقاومة الأومية لها. وحدات المقاومة العالية التي تستخدم في الجهود العالية يكون لها مكثفات تسرب وبالتالي فإن وحدة المقاومة يكون لها الدائرة الكافئة المبينة بالشكل (3-4).



شكل (3.4) الدائرة المكافئة للمقاومة الأومية العالية

عند السرعة الزاوية ω للجهد المتردد فإن معاوقة عنصر المقاومة تكون:

$$Z = \frac{R + j\omega L}{(1 - \omega^2 LC) + j\omega CR} \quad (4.3)$$

إذا تم إهمال ωL و ωC مقارنة بقيمة R فإن قيمة المعاوقة تصبح:

$$Z \approx R \left[1 + j \left(\frac{\omega L}{R} - \omega CR \right) \right] \quad (4.4)$$

ويمكن في هذه الحالة إهمال تأثير L و C وتصبح القياسات غير معتمدة على التردد إذا كان:

$$L/C = R^2 \quad (4.5)$$

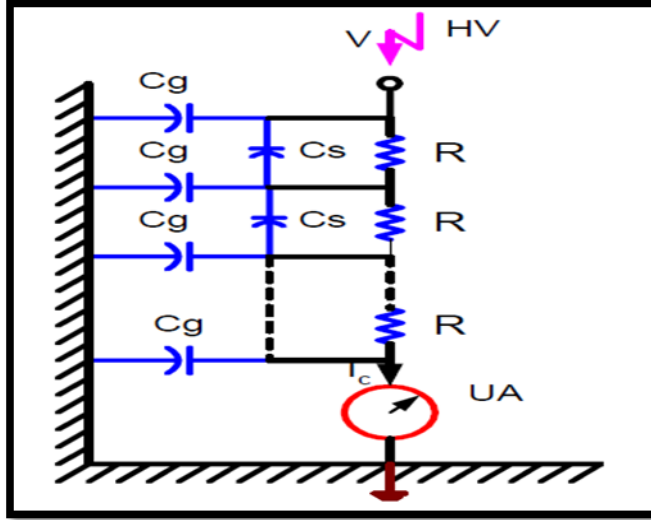
وفي حالة المقاومات الممتدة والضخمة لا تحقق هذه الدائرة المكافئة للمقاومة الكلية ويقرب كل

عنصر من عناصر المقاومة بهذه الدائرة المكافئة، أي أن وحدات المقاومة الداخلية تعامل معاملة

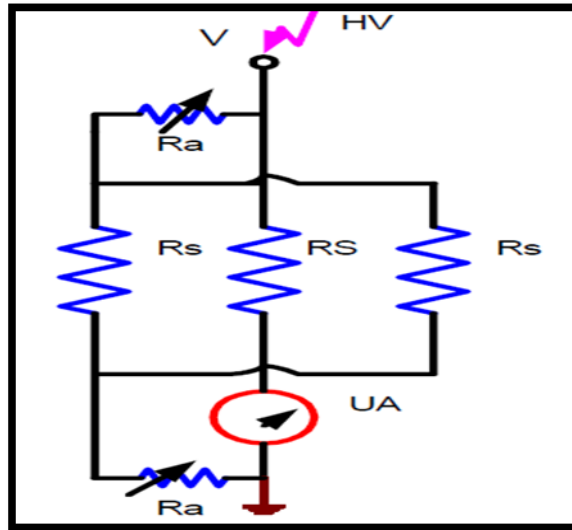
خطوط النقل الطويلة في حساب المقاومة الفعالة وأيضاً تؤثر الأرض أو مكثفات التسريب لكل

عنصر على التيار المار في كل وحدة وينتج عن ذلك وجود خطأ في قراءة الجهاز. ويوضح

الشكل (a4-4) الدائرة المكافئة لمقاومة الجهد العالي بإهمال الحث وكذلك يبين شكل (b4-4) مقاومة التوالي مع استخدام مقاومة تحجيب ومقاومة ضبط. ويمكن إلغاء تأثير مكثفات التسرب بحجب المقاومة R بلولب يحيط بالمقاومة R_s وتكون على التوازي مع المقاومة الفعلية ولكنها لاتساهم في التيار المار خلال جهاز القياس.



شكل (a4.4) مقاومة التوالي بإهمال الحث



شكل (b4.4) مقاومة التوالي مع مقاومة الحجب ومقاومة الضبط

فولتميتر مكثفات التوالي:

لتجنب العيوب السابقة تستخدم مكثفات التوالي بدلاً من المقاومات لقياس الجهد العالي المتردد.

التيار السعوي الذي يمر في جهاز القياس I_C تكون قيمته:

$$I_C = j\omega CV \quad (4.6)$$

حيث C هي السعة لمكثف التوالي

ω هي السرعة الزاوية

V هي الجهد العالي المتردد

وجود توافقيات في الجهد المتردد يحدث خطأ في القراءة نتيجة التغير الذي سيحدث في معاوقة

التوالي. القيمة الفعالة للجهد V مع وجود التوافقيات هو:

$$V = \sqrt{V_1^2 + V_2^2 + V_3^2 + \dots + V_n^2} \quad (4.7)$$

حيث إن V_1 و V_2 و V_n تمثل القيمة الفعالة للتوافقيات.

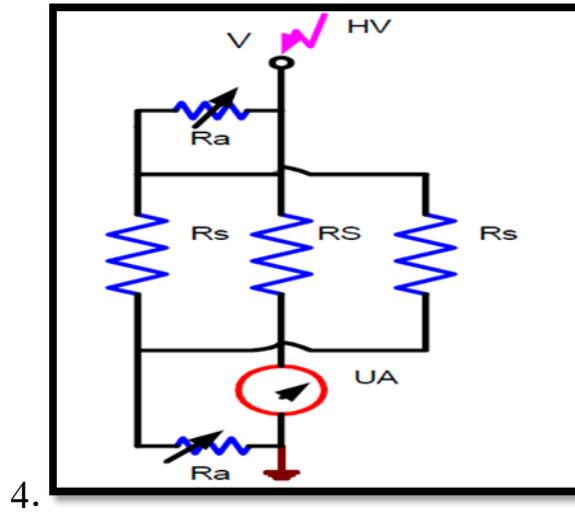
التيارات الناتجة عن التوافقيات هي:

$$I_1 = \omega CV_1$$

$$I_2 = 2\omega CV_2$$

لذلك فإن القيمة الفعالة الكلية هي:

$$I = \omega C \sqrt{V_1^2 + 4V_2^2 + \dots + n^2 V_n^2} \quad (4.8)$$



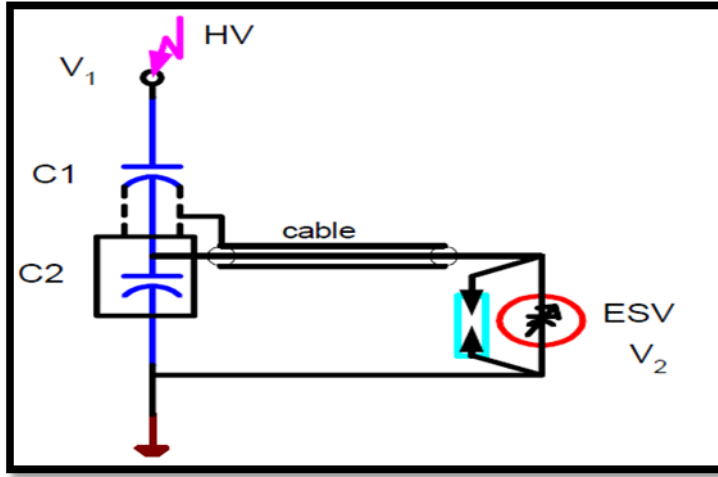
شكل (5.4) مكثف على التوالي مع مللي أمبير

مع 10% من التوافقيات الخامسة فقط نجد أن التيار يزداد بنسبة 11.2%. لذلك فالخطأ في قياس الجهد في هذه الحالة يمثل 11.2%.

وهذه الطريقة لا تفضل في القياس عندما يحتوي الجهد العالي المتردد على توافقيات ذات قيمة كبيرة. وقد استخدم فولتمتر مكثف التوالي مع محولات التوالي (cascaded transformers) وذلك بغرض قياس القيمة الفعالة حتى 1000 كيلوفولت.

(2.3.4) مجزئات الجهود باستخدام المكثفات ومحول الجهد السعودي:-

الأخطاء التي تحدثها التوافقيات يمكن تجنبها باستخدام مجزئات الجهد المستخدمة للمكثفات مع فولتمتر كهروستاتيكي أو راسمذبذبات. إذا وصل جهاز القياس بكابل طويل فلا بد من أخذ سعة الكابل في الحسبان في عمليات المعايرة للجهاز. يستخدم المكثف C_1 معزلاً بالهواء المضغوط أو غاز سادس فلوريد الكبريت أما المكثف C_2 فمن الممكن استعماله من المكثفات المعزولة بالميكافور أو الورق أو أي مكثف قليل الفقد. المكثف C_1 ذو ثلاثة أطراف ويوصل بالمكثف C_2 بكابل محجب وكذلك يحجب C_2 تحجيباً كاملاً في صندوق لتجنب مكثفات التسرب.



شكل (6.4) مجزئ الجهد السعوي

الهد العالي V_1 يعطى بالعلاقة:

$$V_1 = V_2 \left(\frac{C_1 + C_2 + C_m}{C_1} \right) \quad (4.9)$$

حيث إن C_m هي سعة جهاز القياس وكابل التوصيل والتوصيلات

V_2 هي قراءة جهاز القياس

ويضبط مجزئ الجهد السعوي مع محول جهد عازل مناسب بحيث يكونان دائرة رنين وهذا الترتيب يستخدم غالباً في قياس الجهد لأنظمة القوى ذات الجهود العالية والفائقة وتسمى محولات الجهد السعوية.

(3.3.4) محولات الجهد:-

محولات الجهد هي أقدم الأجهزة المستعملة في قياس الجهد العالي المتردد وهي بسيطة جداً في تركيبها ويمكن تصميمها لتناسب معظم الجهود. نسبة التحويل لمحولات الجهد هي:

$$\frac{V_1}{V_2} = a = \frac{N_1}{N_2} \quad (4.10)$$

حيث أن: V_1 و V_2 هما الجهد الابتدائي والجهد الثانوي

N_1 و N_2 هما عدد لفات الملف الابتدائي والملف الثانوي

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

عند اختبارات 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.

لو علمت قيمة المعاوقة النسبية لمحول الاختبار يمكن وضع هذا التصحيح للجهد المقاس بواسطة ملفات محول الجهد:

$$V_2 = V_{20} (1 + 0.01 v_X C / C_N) \quad (4.11)$$

حيث أن:

V_{20} جهد الدائرة المفتوحة لملفات محول الجهد ، C_N سعة الحمل المستخدم للاختبار.

C سعة عينة الاختبار ($C \leq C_N$) ، v_X نسبة الانخفاض في المفاعلة في المحول.

(4.3.4) الفولتميتر الكهروستاتيكي:-

مبادئ التشغيل:

قوة الجذب بين الكترودات مكثف ذو لوحين متوازيين بينهما مجال كهروستاتيكي هي:

$$F = \left| \frac{-\delta W_s}{dS} \right| = \left| \frac{\delta}{\delta S} \left(\frac{1}{2} C V^2 \right) \right| = \left| \frac{1}{2} V^2 \frac{\delta C}{\delta S} \right|$$
$$= \frac{1}{2} \epsilon_o V^2 \frac{A}{S^2} = \frac{1}{2} \epsilon_o A \left(\frac{V}{S} \right)^2$$

حيث أن:

V الجهد الموجود بين اللوحين.

C السعة بين اللوحين.

A مساحة اللوح.

S المسافة بين اللوحين.

ϵ_o السماحية المطلقة أو سماحية الهواء.

W_s الشغل المبذول في إزاحة اللوح.

عندما يكون أحد اللوحين حر الحركة فإن القوة المؤثرة على اللوح يمكن قياسها بالتحكم فيها بواسطة زنبرك أو معادلتها بواسطة وزن مع عداد. ويكون كافيا عند قياس الجهود العالية إزاحة أحد اللوحين جزء من المليمتر حتى عدة ملليمترات. يمكن استعمال الفولتميتر الإستاتيكي في قياس الجهود

المتردة والمستمرة حيث إن القوة المؤثرة تتناسب مع مربع الجهد.

التركيب:

يتكون الفولتميتر الإستاتيكي من لوحين متوازيين وحلقة تحجيب (guard ring) لتجنب ظاهرة التفريغ الهالي. وعادة يكون الفولتميتر الإستاتيكي له سعة صغيرة، تتراوح بين 5 إلى 5 بيكو فاراد ، ومقاومة عزل عالي، في حدود 10^{12} أوم، ولذلك فهو يعتبر من الأجهزة ذات معاوقة الدخل الكبيرة. ويحدد مستوى التردد العالي لتطبيقات الجهد المتردد من خلال الاعتبارات التالية:

أ- التردد الطبيعي للنظام المتحرك.

ب- تردد الرنين لأطراف التوصيل والحث المتسرب مع سعة الجهاز.

ت- تصرف الدائرة المحتوية على R و C لزنبرك التحكم (خلال مقاومة الاحتكاك

والمرونة).

ويمكن تحقيق قياس الجهد بتردد عالٍ يصل إلى 1.0 ميغاهيرتز وبتصميم خاص للفولتميتر

الاستاتيكي. دقة قياس الجهد العالي المتردد بواسطة الفولتميتر الإستاتيكي تكون أفضل من

0.25% +/- ودقته في قياس الجهد المستمر تصل إلى 0.1% +/- أو أقل. ويبين شكل (4-7)

رسم تخطيطي للفولتميتر الإستاتيكي ويتكون من الكترودات من أقراص مستوية ومتوازية وتفصلها

عن بعضها مسافات صغيرة. ويحاط الالكترود حر الحركة بحلقة تحجيب لجعل المجال الكهربائي

منتظماً عند المنطقة المركزية. ولقياس جهد ما بدقة يفضل زيادة قطر القرص وتقليل المسافة

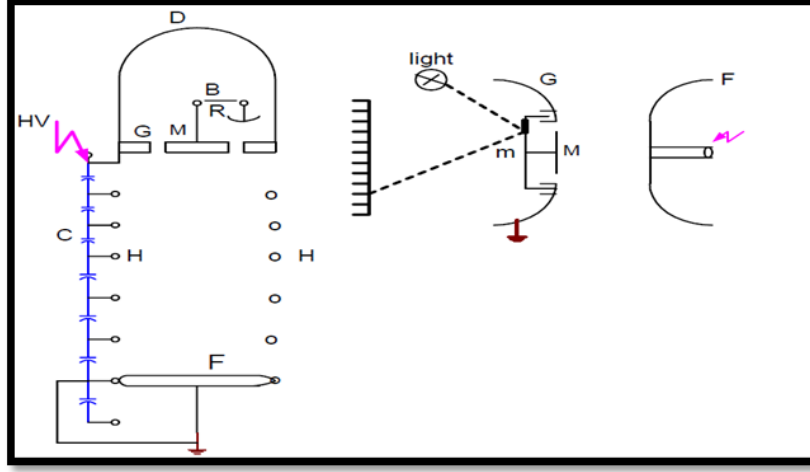
بينهما. مسافة الثغرة تتحدد بالإجهاد الآمن (V/S) المسموح به في الهواء وقيمه 5 كيلوفولت/متر

أو أقل. وتكبر الحركة البسيطة للألكترودات الحرة الحركة خلال وسائل بصرية (مثل لمبة بيان

مدى مثل التي تستخدم في جلفانومتر الملف المتحرك) وتستخدم مراوح هوائية لتقليل الاهتزازات

في نظام التحرك وكذلك يحافظ على أقل استطالة للزنبرك لتجنب التغيير في المجال الكهربائي.

ويتغير مدى الجهاز بتغير مسافة الثغرة بحيث إن V/S أو المجال الكهربائي لا يتعدى أقصى قيمة له في أي مدى ويمكن استخدام الأجهزة ذات المدى المتعدد للجهود الأكبر من $600 \text{ kV}_{\text{rms}}$.



شكل (7.4) فولتميتر كهروستاتيكي

توفر كتلة الاتزان عزم الاتزان المطلوب ويمثل القرص الحر الحركة القلب المركزي لحلقة التحجيب والتي لها نفس قطر المستوى الثابت. الغطاء D يحتوي على الاتزان الحساس B وأحد الذراعين يحمل حامل القرص المتحرك. ويحمل ذراع الاتزان مرآة لعكس شعاع الضوء وبذلك يتم تكبير حركة القرص المتحرك. حلقة التحجيب H توضع للحفاظ على المجال الكهربائي منتظماً مع زيادة المسافة بين الألكترودات وهي تحيط المسافة بين الأقراص F و M. ويحافظ على جهد حلقة التحجيب ثابتاً باستخدام مجزئ جهد سعوي والذي يحافظ على توزيعات منتظمة للجهد.

(5.3.4) فولتميتر القيمة العظمى للجهد المتردد:-

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.

فولتمتر القيمة العظمى مع مكثف توالي:-

عند توصيل مكثف مع مصدر هـ متردد فإن تيار الشحن يساوي:

$$i_o = C \int_0^t v dt = j\omega CV \quad (4.12)$$

حيث إن V هي القيمة الفعالة للجهد

إذا استخدمنا موحد نصف موجي فإن المتوسط الرياضي للتيار الموحد يتناسب مع القيمة العظمى

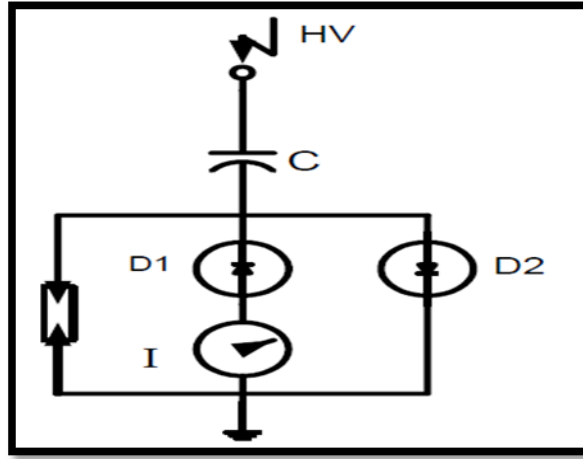
للجهد المتردد. ويبين شكل (4-8) شكلاً تخطيطياً لدائرة فولتمتر القيمة العظمى. قراءة التيار

المستمر للجهاز تتناسب مع القيم العظمى للجهد V_m أو:

$$V_m = \frac{I}{2\pi fC} \quad (4.13)$$

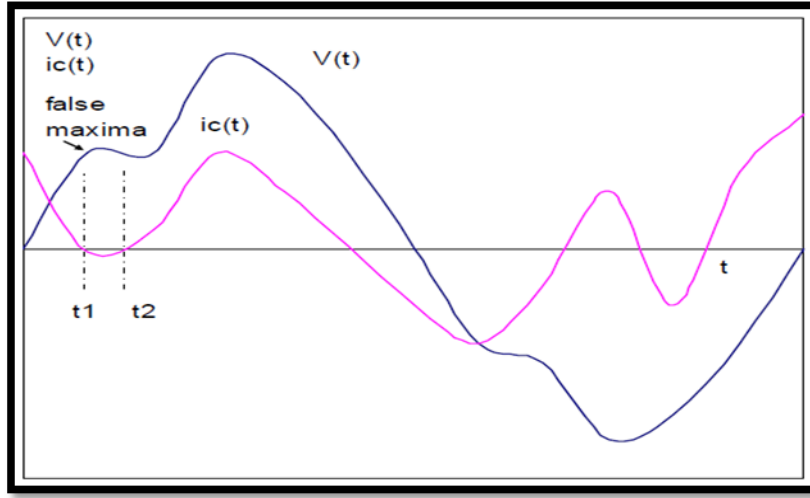
حيث إن: I هي قراءة التيار المستمر بواسطة الجهاز

C هي سعة المكثف.



شكل (8.4) فولتمتر القيمة العظمى مع مكثف توالي

الموحد D_1 يستخدم لتوحيد التيار المتردد في نصف الموجة بينما D_2 يوحد التيار في النصف الآخر لموجة التيار وهذا الترتيب مناسب فقط لنصف الموجة الموجب أو السالب لذلك فهو مناسب عندما تكون أنصاف الموجات متماثلة ومتساوية. إذا كانت موجة الجهد تحتوي على قيمة عظمى خاطئة كما في شكل (9-4) فإن تيار الشحن يغير قطبيته داخل نفس نصف الموجة لذلك فإن التيار المنعكس المار أثناء المدة $t_1 - t_2$ لن تتضمن في قيمة القيمة المتوسطة. حيث إن نصف الموجة لا يحتوي إلا على قيمة واحدة عظمى للتيار فإنه من السهل تحديد القيمة العظمى للخطأ بمشاهدة تيار الشحن على جهاز راسم الذبذبات وهذه المشكلة يمكن أيضاً تفاديها باستخدام مقاومة R على التوالي مع مكثف C حيث إن $(CR \ll 1/\omega)$ للجهود ذات تردد قوي.



شكل (9.4) موجة الجهد تحتوي على توافقيات

الخطأ في القراءة الناتج من استخدام المقاومة هو:

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{V - V_m}{V} = \left(1 - \frac{1}{1 + \omega^2 C^2 R^2} \right) \quad (4.14)$$

حيث إن V القيمة الحقيقية للجهد

V_m القيمة المقاسة للجهد

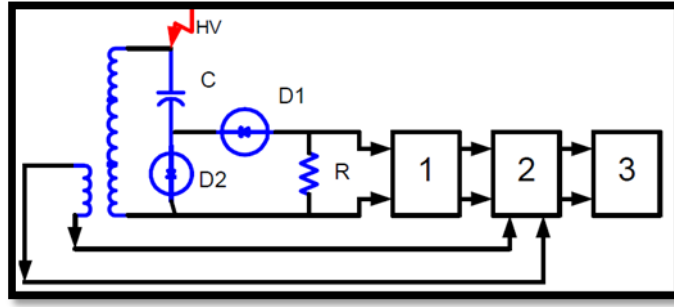
ولتحديد قيم الخطأ فلابد أولاً من تحديد القيمة الحقيقية للسرعة الزاوية ω .

يبين شكل (10.4) جهاز قياس القيمة العظمى الرقمي لقياس الجهد وفي هذا الجهاز تأخذ

قيمة متناسبة من إشارة الجهد التماثلية ثم تحول ظغلى تردد متوسط متناسب f_m . تقاس

النسبة بين التردد f_m/f باستخدام دائرة بوابة يتحكم فيها بواسطة تردد القوى f وعداد يفتح

لزمان محدد $\Delta t = p/f$.



شكل (10.4) جهاز قياس القيمة العظمى الرقمي

- 1- مغير الجهد للتردد 2- دائرة البوابة 3- عداد قراءة

أثناء هذه المدة فإن عدد الدفعات التي يتم تسجيلها n هي:

$$N = f_m \cdot \Delta t = p \cdot (f_m / f) = 2pCV_m AR \quad (4.15)$$

حيث أن: P ثابت الجهاز

$A = f_m / (Ri_m)$ عامل التحويل من التيار المتردد إلى المستمر

I_m هو التيار الموحد المار بالمقاومة R

وباختيار القيم المناسبة للمقاومة R وعدد الموجات الكاملة p يمكننا قراءة الجهد مباشرة بالكيلوفولت.

فولتميتر القيمة العظمى مع مجزئ جهد:-

يبين شكل (4-11) فولتميتر القيمة العظمى مع مجزئ جهد ويستخدم في هذا التصميم الجهد عبر

المكثف C_2 في شحن مكثف التخزين C_s وتوضع مقاومة التفريغ R_d للسماح بتغير V_m عندما تقل

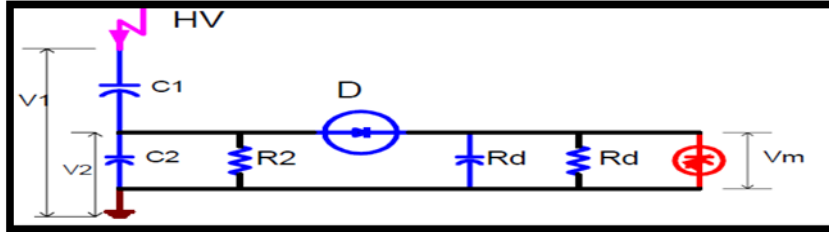
V_2 وتنشحن C_s لجهد يتناسب مع القيمة العظمى المراد قياسها. الثابت الزمني للتفريغ $C_s R_d$

يصمم بحيث يتراوح من 1 إلى 10 ثواني. وهذا يسمح بزيادة أخطاء التفريغ والتي تعتمد على تردد

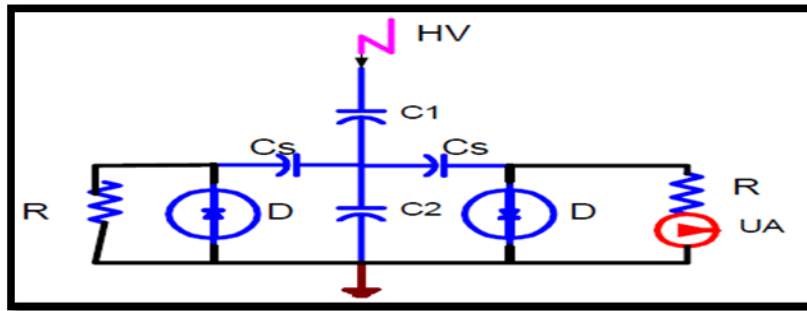
مصدر الجهد ولمعادلة أخطاء الشحن والتفريغ الناتجة عن المقاومات تعدل الدائرة كما بشكل (4-4)-

(12) وتقاس القيمة العظمى بواسطة ميكرو أميتر. ويوضح شكل (4-13) دائرة أخرى لمعادلة

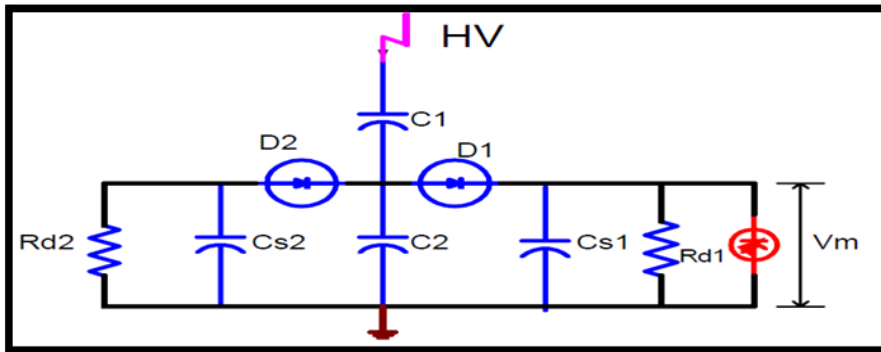
أخطاء الشحن.



شكل (11.4) فولتميتير القيمة العظمى مع مجزئ جهد



شكل (12.4) دائرة فولتميتير القيمة العظمى لمعادلة أخطاء الشحن والتفريغ



شكل (13.4) دائرة فولتميتير القيمة العظمى لمعادلة أخطاء الشحن

(6.3.4) ثغرات الشرارة:-

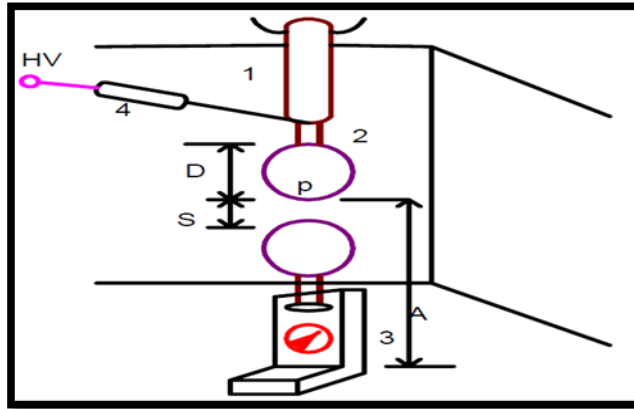
ثغرات الشرارة ذات المجال الكهربائي المنتظم لها دائماً جهد شرارة (sparkover voltage) معروف داخل سماحية معروفة تحت حالات بيئية ثابتة. لذلك فيمكن استخدام ثغرات الشرارة لقياس القيمة العظمى للجهد لو علمت قيمة مسافة الثغرة بين الكرتين. ويحدث جهد الشرارة عند جهد $30 \text{ kV}_{\text{peak}}$ لمسافة ثغرة مقدارها 1سم في الهواء عند درجة حرارة 20°C وضغط مقداره 1 ضغط جوي لثغرة شرارة كروية أو أي ثغرة ذات مجال كهربائي منتظم ولكن مع الخبرة وجدنا أن هذه القياسات مرنة فقط لشكل ثغرة معينة وعادة ماتستخدم ثغرات الشرارة الكروية لقياس الجهد العالي في بعض الحالات تستخدم ثغرات الشرارة ذات المجال الكهربائي المنتظم أو قضبان ثغرات الشرارة ولكن دقة القياس لها أقل. 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 $\mu\text{s} \geq 0.5$ وكذلك فهي مناسبة لقياس القيمة العظمى للجهد العالي ذي تردد موجات الراديو (حتى 1 ميغا هيرتز).

قياسات ثغرات الشرارة الكروية:-

ثغرات الشرارة الكروية يمكن استخدامها:

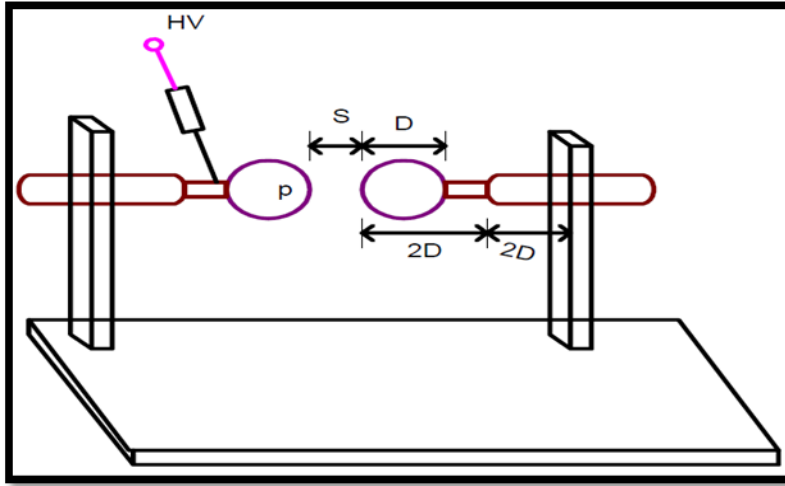
- (أ) في الوضع الرأسي مع تأريض الكرة السفلية.
- (ب) في الوضع الأفقي مع توصيل الكرتين بالمصدر أو تأريض احدهما.

في الوضع الأفقي لابد من وضع الكرتين متماثلتين وعلى نفس البعد عن الأرض. الكرتان المستخدمتان لابد أن تكونا متماثلتين في الحجم والشكل. شكلي (a14-4) و (b14-4) يبينان الشكل التخطيطي للوضعين الرأسي والأفقي للكرتين. يطبق الجهد المراد قياسه بين الكرتين وتعطى المسافة بين الكرتين القياس لجهد الشرارة. وتوصل مقاومة توالي بين المصدر والثغرة الكروية للحد من تيار الانهيار (أي التيار الذي يمر عند انهيار الثغرة بين الكرتين) وكذلك للحد من الاهتزازات غير المرغوب فيها في جهد المصدر عند حدوث الانهيار (في حالة الجهود الدفعية). قيمة هذه المقاومة تتراوح بين 100 إلى 1000 كيلو أوم للجهود المترددة والمستمرة وأقل من 500 أوم للجهود الدفعية.



شكل (a14.4) الوضع الرأسي لثغرات الشرارة الكروية

- | | | |
|-----------------------|--------------------------------|---|
| 1- قضيب تعليق عازل | 2- ساق الكرة | 3- تروس تشغيل ومحرك لتغيير مسافة الثغرة |
| 4- توصيلة جهد عالي | P نقطة الشرارة | D قطر الكرة |
| S المسافة بين الكرتين | A ارتفاع نقطة الشرارة عن الأرض | |



شكل (b14.4) الوضع الأفقي لشعرات الحرارة الكروية

في حالة قياس القيمة العظمى للجهد المتردد والجهد المستمر نزيد قيمة الجهد المطبق تدريجياً بانتظام حتى تحدث الحرارة في الشعرة وعادة يأخذ متوسط خمس قراءات لجهد الانهيار وذلك عندما تتفق هذه القراءات في حدود $\pm 3\%$.

وفي حالة الجهود الدفعية، للحصول على 50% جهد حرارة سطحية، يوضع حدان للجهد لايختلفان بأكثر من 2% بحيث أنه بتطبيق الحد الأدنى للجهد يحدث من 2 إلى 3 حرارة سطحية وعند تطبيق الحد الأعلى للجهد يحدث من 8 إلى 6 حرارة سطحية ومتوسط هذين الحدين يؤخذ على أنها جهد ال 50% حرارة سطحية. وفي أي حالة يقاس جهد الحرارة السطحية المبدئي قبل أخذ القياسات الحقيقية.

تصميم الشغرات الكروية:-

الشغرات الكروية تصنع من كرتين معدنيتين لهما نفس القطر مع الساق المعدنية للكرة وتروس التشغيل وعوازل التنبيت. وتصنع الكرات عادة من النحاس أو النحاس الأصفر أو الألومنيوم ويستخدم الألومنيوم فقط لرخص سعره.

الأقطار لقياسية المستعملة للكرات هي 2، 5، 6.25، 10، 12.5، 15، 25، 50، 75، 100، 150، 200سم. وتصمم وتختار المسافة بين الكرتين بحيث تحدث الشرارة السطحية بالقرب من نقطة الشرارة. تصمم الكرات وتصنع بحرص بحيث يكون سطحها ناعم الملمس ومنتظمة التقوس. ويقاس نصف قطر التقوس بجهاز قياس الكرات عند مختلف النقاط على المساحة المتضمنة داخل دائرة قطرها 0.3D حول نقطة الشرارة ويجب أن لا تختلف إلا في حدود $\pm 2\%$ من القيمة الأساسية. ويجب أن يكون سطح الكرات خالياً تماماً من الأتربة والغبار وأي طلاء ولا يحتاج السطح لأي صقل وإذا حدثت حفر على سطح الكرات نتيجة حدوث شرارة السطح فيجب إعادة تنعيم السطح. قطر ساق الكرة المستخدم وحلقة تدرج المجال الكهربائي إذا استخدمت مع الكرات والمسافة بين الكرات والأرض لابد أن تخضع للقيم القياسية المعطاة بالأشكال والجداول (4-2). ويجب وضع موصل الجهد العالي بحيث لا يؤثر على توزيعات المجال الكهربائي للكرات المستخدمة ويجب وضع مقاومة التوالي بعيداً عن أرجل الكرات على مسافة 2D من الكرة المطبق عليها الجهد العالي أو من نقطة الشرارة.

جدول (2.4) المسافات المختلفة لشعرات الشرارة

قطر الكرة (سم)	ارتفاع نقطة الشرارة عن الأرض		أقل بعد للكرات عن المباني الخارجية
	أقصى قيمة	أقل قيمة	
حتى 6.25	9D	7D	14S
10-25	8D	6D	12S
25	7D	5D	10S
50	6D	4D	8S
100	5D	3.5D	7S
150	4D	3D	6S
200	4D	3D	6S

العوامل المؤثرة على جهد الشرارة السطحية للشعرات 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) تأثير الأشياء القريبة المؤرضة:-

حدد كافيل تأثير الأشياء القريبة المؤرضة بوضع الكرة المؤرضة داخل أسطوانة مؤرضة وقد لاحظ

أن جهد الشرارة قد انخفض.

الانخفاض في جهد الشرارة يعطى بالمعادلة التالية:

$$\Delta V = m \cdot \log(B/D) + C \quad (4.16)$$

حيث إن: ΔV هي نسبة الانخفاض S مسافة الثغرة

m و C ثوابت D قطر الكرات

B هي قطر الأسطوانة المؤرضة

وقد لوحظ أن نسبة الانخفاض أقل من 2% للنسبة $0.5 \leq S/D$ و $0.8 \leq S/D$. كذلك فإن نسبة

الانخفاض حوالي 3% للنسبة $S/D \geq 1.0$.

(ب) تأثير الظروف البيئية:-

يعتمد جهد الشرارة للثغرات الكروية على كثافة الهواء والتي تتغير بتغير كل من درجة الحرارة

والضغط. إذا كان جهد الشرارة V تحت الاختبار في درجة حرارة T وضغط p وأن جهد الشرارة V_0

تحت الظروف القياسية من درجة الحرارة والضغط أي 20°C و 720 torr عندئذ:

$$V = kV_0 \quad (4.17)$$

حيث إن k دالة في معامل كثافة الهواء d ويعطى بالمعادلة الآتية:

$$d = \frac{p}{760} \frac{293}{273+T} \quad (4.18)$$

ويوضح جدول (3-4) العلاقة بين d و k.

جدول (3.4) العلاقة بين معامل التصحيح k ومعامل كثافة الهواء d

D	0.7	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	1.00	1.05	1.10	1.15
K	0.72	0.77	0.82	0.86	0.91	0.95	1.00	1.05	1.09	1.12

ويمكن استنتاج العلاقات الآتية بين جهد الشرارة والرطوبة من النتائج التي حصل عليها الباحثون:

1- يزداد تأثير الرطوبة مع زيادة حجم الكرات المستعملة وتبلغ أقصى تأثير لها مع ثغرات

الشرارة ذات المجالات الكهربائية المنتظمة.

2- يزداد جهد الشرارة مع الضغط الجزئي لبخار الماء في الهواء وعند ثبات الرطوبة يزداد

التغير في جهد الشرارة مع زيادة طول الثغرة.

(ت) تأثير الإشعاعات الساقطة:-

إسقاط الأشعة فوق البنفسجية أو أشعة إكس يساعد في عمليات التأين داخل الثغرة بين الكرتين

ويسرع بانهيائها ويكون هذا التأثير مميزاً في مسافات الثغرة الصغيرة. يكون الانخفاض في جهد

الشرارة في حدود 20% لمسافات ثغرة 0.1D و 0.3D مع قطر كرة يقدر ب 1.3 سم تحت تأثير

الجهود المستمرة. ويكون الانخفاض في جهد الشرارة أقل من 5% لمسافة ثغرة أكبر من 1.0 سم

وفي حدود 1.5% لمسافة ثغرة أكبر من أوتساوي 2سم. الأشعة الساقطة هامة في ثغرات الشرارة

الكروية الصغيرة ذات مسافة الثغرة الأقل من 1.0 سم وذلك للحصول على قيم متطابقة.

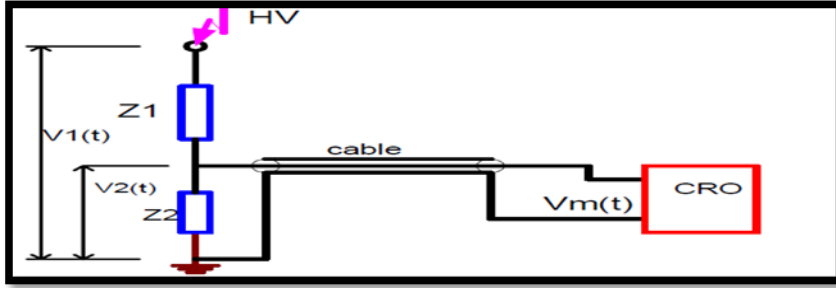
(ت) تأثير القطبية وموجة الجهد:-

لوحظ أن جهد الانهيار للموجات الدفعية ذات القطبية الموجبة مختلفة عن تلك التي للموجات الدفعية ذات القطبية السالبة. النتائج العملية أوضحت أن الاختلاف في جهد الشرارة للموجات الموجبة و السالبة لا تزيد عن 1% للكروت ذات الأقطار من 6.25 إلى 25سم. للكروت الأقل من 2سم فإن الاختلاف في جهد الشرارة للموجة الدفعية ذات القطبية السالبة والموجبة ذات الموجة $1/50$ ميكروثانية يكون في حدود 8%. وكذلك فإن زمن مقدمة وذيل الموجة أيضاً له تأثير كبير على جهد الانهيار للشجرة. وتكون ثغرات الشرارة الكروية غير مناسبة لموجة جهد ذات زمن مقدمة مقداره أقل من 0.5 ميكروثانية وزمن ذيل الموجة أقل من 5 ميكروثانية حيث إن جهود الانهيار تكون غير متطابقة.

(7.3.4) مجزئات الجهد لقياس الجهد الدفعي:-

مجزئات الجهد التي تستخدم في قياس الجهود ادفعية أو الجهود العالية المترددة أو الجهود العابرة ذات الارتفاع السريع في الجهد عادة ماتكون مجزئات جهد باستخدام المقاومات أو المكثفات أو عناصر مختلطة من المقاومات والمكثفات. ويوصل ذراع الجهد المنخفض للمجزئ عادة بجهاز تسجيل سريع للموجات أو جهاز قراءة القيمة العظمى من خلال كابل تأخير (delay cable). ويوضح شكل (4-15) رسمياً تخطيطياً لمجزئ جهد مع المعدات المستعملة. Z_1 تكون إما مقاومة أو مجموعة مقاومات على التوالي في حالة مجزئ الجهد باستخدام المقاومات أو مكثف أو عدة مكثفات في حالة مجزئ الجهد باستخدام المكثفات. ويمكن أيضاً أن تكون خليطاً من

المقاومات والمكثفات. Z_2 يمكن أن تكون مقاومة أو مكثف أو معاوقة R-C طبقاً لنوع المجرى. كل عنصر من عناصر المجرى المستخدم في الجهد العالي يكون له مقاومة ذاتية أو مكثف ذاتي وبالإضافة لذلك فإن عناصر المقاومات تكون لها حث متبقي ومكثفات تسريب عند الأطراف.



شكل (15.4) تخطيط لمجرى جهد مع كابل تأخير ورأس مذبذبات

العناصر التالية تتسبب في الأخطاء المختلفة للقياسات:

- 1- الحث المتبقي في عناصر المجرى.
- 2- مكثفات التسرب الآتية:
 - أ- بين عناصر المجرى.
 - ب- من أجزاء وأطراف العناصر للأرض.
 - ت- بين طرف توصيل الجهد العالي للعناصر أو الأجزاء.
- 3- أخطاء المعاوقات والتي تسببها:
 - أ- أطراف التوصيل بين المجرى وعينة الاختبار.
 - ب- أطراف الرجوع الأرضية والتيار الخارجي في أطراف التوصيل الأرضية.

4- الاهتزازات المتطفلة على الجهد الأصلي من خلال أطراف التوصيل وحث الكابل وسعة

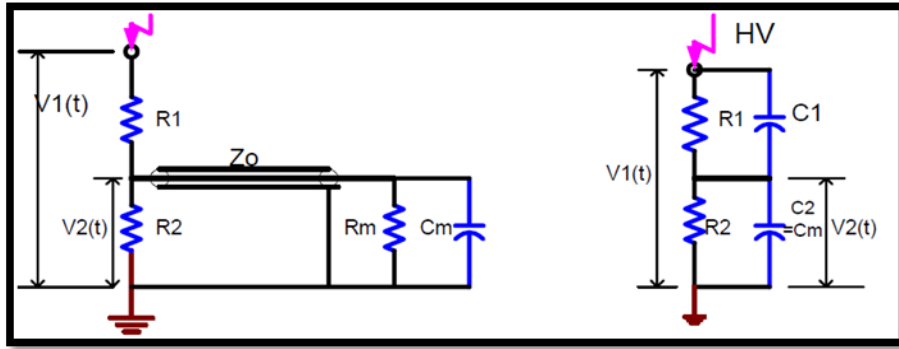
طرف الجهد العالي للأرض.

مجزئ الجهد باستخدام المقاومات لقياس الجهود الدفعية المنخفضة:-

مجزئ الجهد البسيط باستخدام المقاومات يتكون من مقاومتين R_1 و R_2 على التوالي كما في

الشكل (4-16) عامل التضعيف للمجزئ أو نسبة الجهد تعطى بالعلاقة الآتية:

$$a = \frac{V_1(t)}{V_2(t)} = 1 + \frac{R_1}{R_2} \quad (4.19)$$



شكل (16.4) : مجزئ الجهد باستخدام المقاومات

عملياً يوصل عنصر المجزئ R_2 من خلال كابل محوري لرأس مذبذبات. معاوقة الدفعة للكابل Z_0

تكون على التوازي مع معاوقة الدخل لرأس المذبذبات (R_m, C_m) وعادة ماتكون R_m أكبر من 1.0

ميغا أوم و السعة C_m تتراوح بين 10 إلى 50 بيكو فاراد. للترددات العالية والجهود الدفعية. النسبة

في حيز التردد تعطى بالعلاقة:

$$a = \frac{V_1}{V_2} = 1 + \frac{R_1}{R_2 / (1 + j\omega R_2 C_m)} \quad (4.20)$$

لذلك فإن النسبة دالة في التردد. لتجنب اعتادية نسبة الجهد a على التردد، يضاف إلى المجزئ

مكثف إضافي C_1 على التوازي مع R_1 وتجعل قيمة C_1 المجزئ غير معتمد على التردد ويمكن

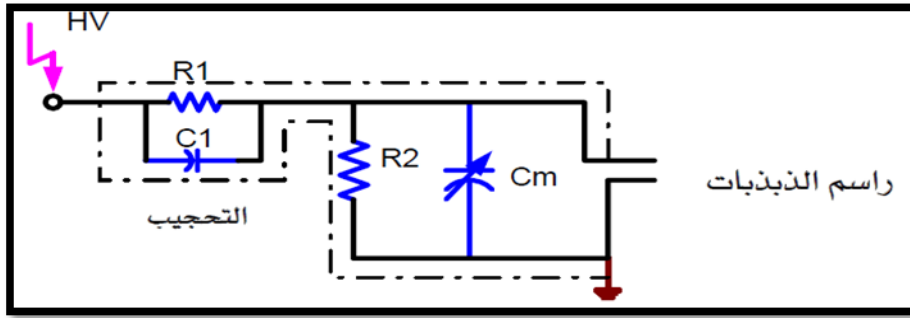
تحديد قيمة C_1 من العلاقة الآتية:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{C_1}{C_2} \quad (4.21)$$

وهذا يعني أن الثابت الزمني لذراعي المجزئ لابد أن يكونا متساويين. مجس راسم الذبذبات عادة

ما تضبط قيمة سعته بحيث تتضمنه قيمته C_m وكذلك تتضمن سعة الكابل المحوري. ويبين شكل

(17-4) رسماً تخطيطياً لدائرة مجس راسم الذبذبات.



شكل (17.4) رسم تخطيطي لدائرة مجس راسم ذبذبات لمجزئ جهد

مجزئات الجهد المستخدمة في قياس الجهود النبضية (الدفعية) العالية:-

تعتبر R_1 و R_2 في مجزئات الجهد المستخدمة للمقاومات والتي تستخدم في قياس الجهود

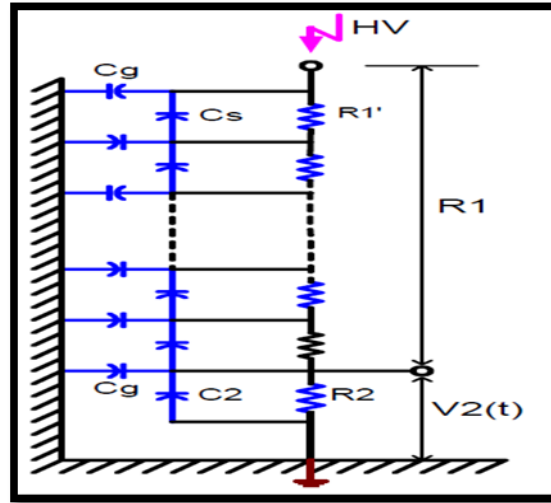
المنخفضة السابقة كمقاومات ذات أبعاد صغيرة. ولكن في حالة الجهود الأعلى من 100kV لم

تعد R_1 صغيرة الأبعاد وتصنع عادة من عدد من المقاطع ولذلك لم يعد المجزئ الذي يستخدم في

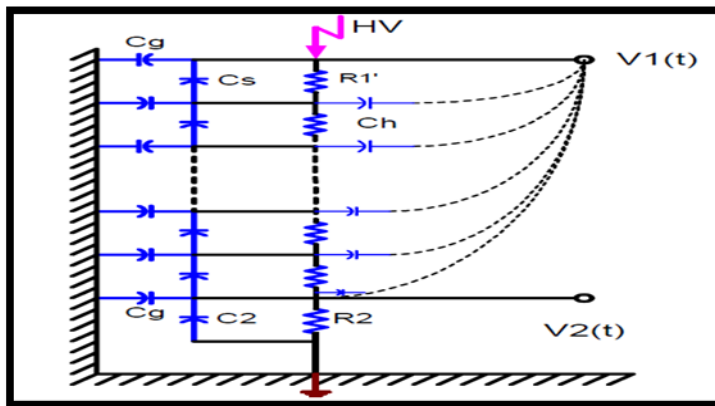
قياس الجهود العالية يعتبر كمقاومة صغيرة مجمعة العناصر ولكنه يعتبر كدائرة مكافئة موزعة مع

وجود مكثفات التسريب والمكثفات بين العناصر على التوالي كما في شكل (4-18).

المقاومة الكلية على التوالي R_1 تصنع من عدد n من المقاومات قيمة كل منها R_1/n وقيمة
المقاومة الكلية $R=nR_1/n$ وتمثل C_g السعة بين طرف كل مقاومة والأرض و C_s السعة بين أطراف
كل مقطع. حث كل عنصر عادة مايكون صغيراً ويمكن إهماله بالمقارنة مع المقاومة والسعة.
ويوضح شكل (4-19) الدائرة المكافئة بوضع حلقة تحجيب عند مختلف نقاط العناصر حيث C_h
تمثل سعة التسريب بين طرف الجهد العالي وحلقة التحجيب ووضع هذه الحلقة يقلل من التشوه
الموجود في المجزئ العادي.



شكل (4.18) مجزئ جهد باستخدام المقاومات مع مكثفات التسريب



شكل (4.19) الدائرة المكافئة لمجزئ الجهد باستخدام المقاومات

مجزئ الجهد باستخدام المكثفات:-

مجزئ الجهد باستخدام المكثفات مثالي لقياس الجهود النبضية وكذلك لقياس الجهود ذات مقدمة الموجة السريعة. ولا تعتمد نسبة السعة على التردد إذا كانت مقاومة التسرب كبيرة بقيمة كافية لإهمالها. ولكن في نفس الوقت فإن المجزئ يتصل بالمصدر عن طريق طرف توصيل طويل له حث ومقاومة متبقية لابد من أخذهم في الاعتبار. وأيضاً فإن المكثف المستخدم للجهد العالي تكون أبعاده كبيرة وبالتالي لا يعتبر كعناصر مجمعة ولذلك فإن الجهد الخارج على أطراف المجزئ للترددات العالية والجهود الدفعية يحدث بها تشوه كما في مجزئ الجهد باستخدام المقاومات.

مجزئات الجهد باستخدام المكثفات النقية:-

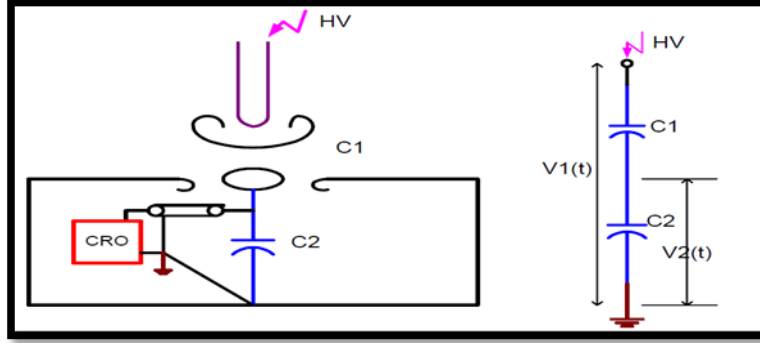
تستخدم مجزئات الجهد باستخدام المكثفات النقية لقياس الجهود العالية وتهمل فيها قيمة عناصر التسريب كما في شكل (4-20).

نسبة الجهد للمجزئ هي:

$$a = \frac{V_1(t)}{V_2(t)} = 1 + \frac{C_2}{C_1} \quad (4.22)$$

وتتكون السعة C_1 بين طرف الجهد العالي للمصدر وطرف الجهد العالي للعينة تحت الاختبار أو أي نقطة أخرى للقياس. ويوضع راسم الذبذبات في محيط السعة المحجبة C_2 وتتضمن C_2 سعة المكثف المستخدم وسعة أطراف التوصيل وسعة الدخل لراسم الذبذبات والسعات الأخرى للأرض. من مميزات هذا التوصيل أن الحمل على المصدر يمكن إهماله ولكن نسبة الجهد للمجزئ يمكن أن تتأثر بأي تغيير في مكان C_2 أو مصدر الجهد العالي أو وجود أي أشياء مؤرضة قريبة من C_1 .

تستخدم المكثفات المعزولة بالغاز المضغوط في وعاء أسطواني متحد المحور. يمكن الحصول على نسبة جهد دقيقة حتى 1:1000 لجهد دفعي قيمته العظمى 350 kV والحد الأعلى للتردد 10MHz. وللجهود الأقل (حتى 100kV) يمكن الوصول بالحد الأعلى للتردد إلى 200MHz.



شكل (20.4) مجزئ جهد باستخدام المكثفات والدائرة المكافئة

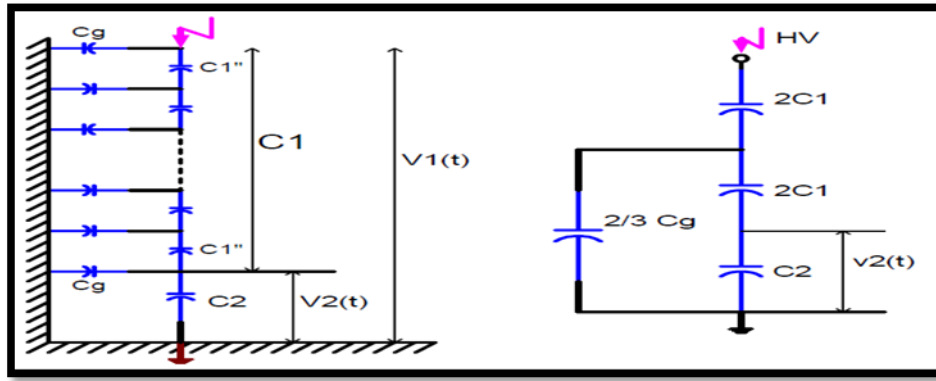
نوع آخر من المجزئات باستعمال المكثفات ويستعمل غالبا بجعل C_1 تتكون من عدد من المكثفات $C_1/$ على التوالي للجهد المطلوب V_1 ويبين شكل (4-21) مجزئ الجهد السعوي مع شبكة التوزيع ودائرتها المكافئة إذا كان $C_1 \ll C_2$ و $C_g \ll C_1$. توزيع الجهود على سلسلة المكثفات هو توزيع غير خطي ويتسبب في توزيع الموجة الخارجة لكن الخطأ في نسبة الجهد تكون ثابتة ولا تعتمد على التردد مقارنة بمجزئ الجهد المستخدم للمقاومات.

نسبة الجهد للمجزئ هي:

$$a = \frac{V_1(t)}{V_2(t)} \approx \left[1 + \frac{C_1}{C_2} \right] \left[1 + \frac{C_g}{6C_1} \right] \quad (4.23)$$

النسبة ثابتة وتعطي نسبة خطأ أقل من 5%. تكون الدائرة المكافئة مستقرة تماما حتى 1MHz

عندما تكون $C_1 = 3C_g$.



شكل (21.4) مجزئ الجهد السعوي مع شبكة التوزيع ودائرتها المكافئة

مجزئات الجهد المختلطة:-

لتحسين أداء المجزئات وموجة الجهد الخارجة المقاسة وتقليل التشوه الناتج في موجة الجهد يصنع مجزئ الجهد مستخدماً المقاومات والمكثفات بالإضافة إلى بعض أجهزة التعويض. وتعطى دائماً خصائص التردد العالي لمجزئ لجهد كدالة في زمن الخرج. في تقنيات النبضة يعرف زمن الارتفاع في موجة التيار بأنه الوقت المطلوب لكمية التيار للارتفاع من 10% إلى 90% من القيمة النهائية. ويوضح شكل (22-4) تعريف زمن الخرج. ويعرف زمن الخرج بالمساحة الداخلة بخرج جهد الوحدة للمجزئ أي أن:

$$T_{res} = \int_0^{\infty} [1-h(t)]dt = T_1 - T_2 + T_3 - T_4 + \dots \quad (4.24)$$

$$h(t) = \frac{aV_2(t)}{V_1} \quad \text{حيث إن :}$$

a نسبة الجهد للمجزئ $V_2(t)$ خرج المجزئ

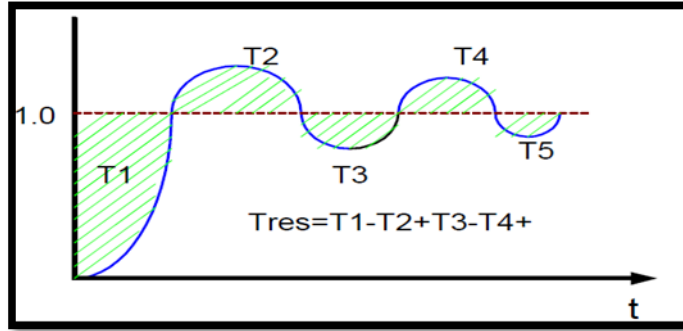
V_1 جهد الوحدة الداخلة للمجزئ

ويستخدم زمن الخرج لحساب قيمة الخطأ التي تكون في قياسات الجهد الدفعي المقطع. القيمة

النسبية للخطأ δ يعطى بالمعادلة الآتية:

$$\delta = \frac{T_{res}}{T_c} \quad (4.25)$$

حيث إن T_c هو زمن القطع.



شكل (22.4) تعريف زمن الخرج

مجزئات الجهد المحكمة المجال الكهربائي:-

توزيع الجهد الكهروستاتيكي أو السعوي لحلقة التحجيب الموضوعة أعلى مجزئ الجهد باستخدام

المقاومات لدفع المجال الكهربائي ليصبح منتظماً بجوارها وعلى طول المجزئ يمكن استخدامه

لقياس الجهد العالي. ويوضح شكل (4-23) الرسم التخطيطي للمجزئ. يكون التحجيب على هيئة

مخروط، R_1 هي مقاومة غير خطية وفي نفس الوقت فإن المقاومة لكل وحدة طول غير متساوية

ولكنها متغيرة. الميزة الرئيسية لهذا المجزئ هي أن السعة لكل وحدة طول تكون صغيرة ولذلك فإن

تأثير التحميل يقل وأحياناً فإن المقاومة R_2 مع حث الطرف وسعات التوازي تتسبب في حدوث

اهتزازات في الجهد الخارج. وهذه الاهتزازات يمكن تخفيضها بإضافة مقاومة إخماد R_d . يمكن

استخدام هذا المجزئ حتى جهد 2 ميجا فولت بزمن خرج أقل من 30 نانوثانية. يصنع عمود

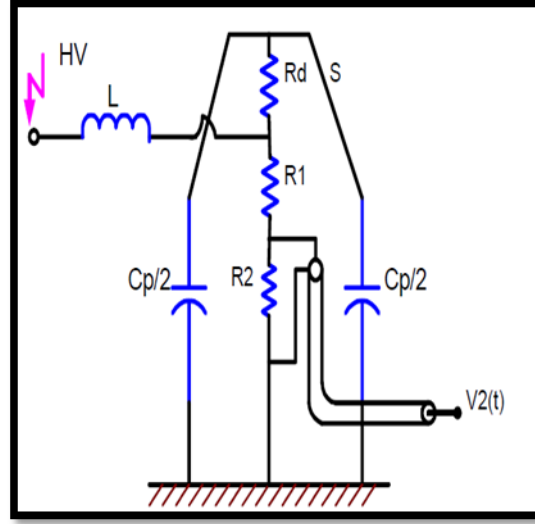
المقاومات R_1 من المحاكة وقيمتها تكون حوالي 20 كيلو أوم.

مجزئات الجهد المختلطة R-C:-

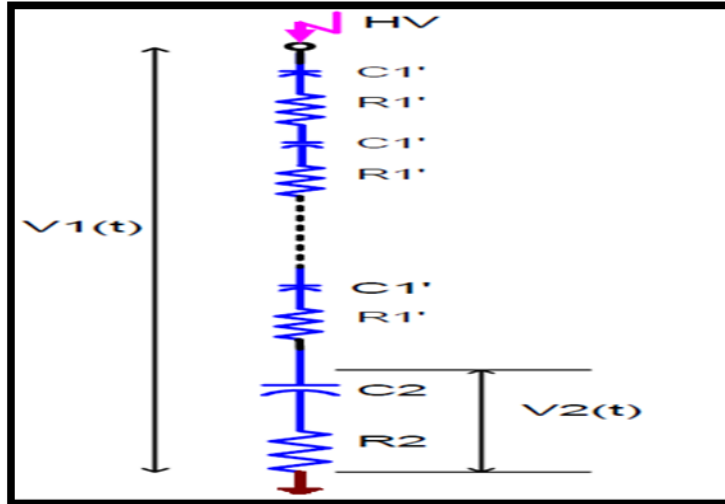
تستعمل مجزئات الجهد المختلطة العناصر (مقاومات ومكثفات) على التوالي أو علي التوازي.

التركيب الأفضل للمجزئ هو بجعل المكثفات على التوالي مع عناصر المقاومة، كما في شكل

(24-4) ويستخدم هذا لمجزئ حتى جهد 5 ميغافولت بزمان خرج أقل من 30 نانوثانية.



شكل (23.4) مجزئات الجهد المحكمة المجال الكهربائي مع مقاومة إخماد



شكل (24.4) الدائرة المكافئة لمجزئ جهد بمكثفات توازي مع عناصر المقاومة

الباب الخامس

الخلاصة و التوصيات

(1.5) الخلاصة :

في هذا المشروع تم دراسة طرق التوليد لأنواع الجهود العالية المختلفة وهي (الجهود المترددة و الجهود المستمرة و الجهود النبضية أو الدفعية) . كذلك تطرقنا الى كيفية قياس هذه الجهود و المرور على كل آلية للقياس مع الشرح المفصل و الدقيق. و كذلك درسنا انهيار المواد العازلة بأنواعها الثلاث (العوازل الغازية, العوازل السائلة, و العوازل الصلبة) . و لقد تم الحصول على كل هذه المعلومات من المراجع المتوفرة و المتناولة و معامل الجهد العاليي الوجد بجامعة الخرطوم نأمل توفر العديد من معامل الجهود العالية بالوطن الحبيب في المستقبل بإذن الله .

(2.5) التوصيات :

نظراً لقلّة معامل الجهود العالية في السودان فإننا نوصي بإنشاء عدد من المعامل أو للجهود العالية لأهمية تواجد هذا المعامل لتلبية احتياجات الفحص و التطوير من أجل دعم التنمية الصناعية و البحث و التطوير العلمي في هذا المجال.

المراجع

- 1- الإدارة العامة لتصميم و تطوير المناهج. "تقنية الجهد العالي", المؤسسة العامة للتعليم الفني و التدريب المهني, جدة, 1986.
- 2- E. Kuffel and W.S. Zeangle, "High-Voltage Engineering *Fundamentals*", Pergamon Press, 1984.
- 3- P. Das Begamudre, "Extra High Voltage AC Transmission Engineering", John Wiley & Sons, New York, 1986.