إعداد دراسة لاستخدام المواد في الصواعق الكيميائية

(تقرير تقدم عمل)

مسئول المشروع : هادي عباس شرقي (اختصاص فيزياوي)

المشاركون : فريق عمل دائرة الكيمياء

فريق عمل دائرة الفيزياء

خطة دائرة الكيمياء والمستحضرات لعام

٢٠٠٠ / ٢٠٠١

الخلاصة:

ان الهدف الأساسي من الخوض في مشروع مانعات الصواعق الكهربائية هو إعداد دراسة تطبيقه توضح فكرة عمل مفرغات الصواعق الكهربائية وتتضمن بالأساس التطبيق العملي **(دراسة التصاميم،إنتاج تطبيقي)** كبديل عن المنتج في قسم التطبيقات ذات الرأس المشع. وبالرغم من مشاركة فريق عمل دائرة الفيزياء في المنظمة إلا إننا لم نحصل على المعلومات الوافية للانتقال إلى الجانب التصنيعي إذ هناك معلومات معرفية غير متوفرة في القطر وقد طلب من دائرة السياسات مفاتحة الوكالة الدولية للطاقة الذرية لغرض تزويدنا بالمعلومات المتخصصة بهذا الموضوع على غرار المشروع اليوغسلافي للوكالة فقد تم إعداد التقارير النظرية بالتعاون مع دائرة الفيزياء وبما متوفر من معلومات داخلية وتم الحصول على معلومات شاملة حول الموضوع **(تقتصر للتفاصيل العملية والتصنيعية الدقيقة)**.



أن الهدف الأساسي لاعداد هذا المشروع (استخدام مانعات صواعق من النوع الكهربائي) هو الدراسة التطبيقية وتوضيح الأفكار النظرية وأساسيات مبدأ العمل لهذا النوع من مفرغات الصواعق الجوية .

يتضمن المشروع التطبيق العملي (دراسة ، تصاميم ، تطبيق) لمانعات الصواعق الكهربائية كبديل عن الأنواع المستخدمة في القطر وما ينتج في المنظمة وهي:-

١. عصا فرانكلن
٢. قفص فرفارداي
٣. مفرغات الصواعق الجوية ذات رأس مشع .

ولكل واحد من هذه الأنواع خصوصية الاستخدام والعمل في مجال حماية الأبنية والمنشآت في عموم القطر ، حيث أن مانعات الصواعق ذات الرأس المشع والمعتمدة من قبل الشركات والمنتجة في المنظمة منذ عام ١٩٨٤ لها القابلية على أحداث طبقة متأينة من الهواء فوق الرؤوس المدببة نتيجة وجود المواد المشعة مما يؤدي إلى حدوث مجال الحماية اكبر وأوسع من استخدام الأنواع الأخرى من المانعات :

وللظروف التي يمر بها قطرنا الحبيب وصعوبة الحصول على المواد المشعة بالإضافة إلى توصيات اللجان التفتيشية حول إمكانية استبدال مانعات الصواعق ذات الرؤوس المشعة بمانعات صواعق كهربائية ضمن مشروع تم طرحة على قسم الرقابة في المنظمة ودائرة الرقابة الوطنية .

بداء هذا الموضوع عام ٢٠٠٠ وبما متوفر من إمكانيات علمية مقترح بدراسة ريادية علما أن هذا الموضوع يعتبر من التكنولوجيا الحديثة جدا في العالم وقلة الأدبيات والمعلومات المنشورة عليه تم التعاون مع دائرة الفيزياء لغرض توفير مثل هذه المعلومات وكما جاء في الدراسة المقدمة من قبلهم التي تضمنت معلومات نظريه شاملة عن موضوع كهربائية الصواعق الجوية وحدوثها وتأثيراتها .

المحتويات

	الصفحة
١-١ الفصل الاول الظواهر الجوية الكهربائية	١
١-٢ الشروط البيئية لتكوين العواصف	١٦
١-٣ تكوين العواصف الرعدية	١٨
١-٤ شروط تكوين العواصف الرعدية	٢١
١-٥ تأثير الرياح	٢١
١-٦ العواصف الرعدية الدوارة	٢٤
١-٧ التركيب العمودي للعواصف الدوارة	٢٥
١-٨ نماذج اخرى	٢٦
١-٩ طرق التنبؤ عن العواصف الرعدية	٢٧
١-١٠ الاحوال الجوية التي تساعد على تكوين العواصف الرعدية	٣٥
١-١١ طرق التيار الكهربائي الارضي , التيار الكهرومغناطيسي والمغناطيسية الأرضية سمعية التردد	٣٦
١-١٢ طرق التيار الأرضي المغناطيسي	٣٦
١-١٣ اخطار العواصف الرعدية على الطيران	٣٨
١-١٤ السيطرة على الهطول اصطناعيا	٣٩
١-١٥ رادار الطقس	٤٢
الفصل الثاني كهربائية الجو	٤٧
٢-١ المجال الكهربائي الجوي	٤٧
٢-٢ قياس المجال الكهربائي قرب سطح الارض	٤٩
٢-٣ التأين الجوي	٥٣
٢-٤ التيار الكهربائي بين الجو والارض	٥٤
٢-٥ المجال الكهربائي قرب سطح الارض	٥٦
٢-٦ كهربائية الجو المضطرب	٥٩
٢-٧ نظريات كهربائية الزوابع الرعدية	٦٣
٢-٨ البرق والهطول	٦٤
الفصل الثالث الصواعق	٦٥
٣-١ شكل موجة الصاعقة	٦٧
٣-٢ تصنيف تفريغات الصاعقة المباشرة	٦٧
٣-٣ تركيب الصاعقة	٦٩
٣-٤ القيم العددية والحسابات للصاعقة	٧١
٣-٥ عملية التفريغ الرئيسية للصاعقة	٧٣
٣-٦ نفوذية الارض	٨٥
الفصل الرابع الحماية من الصاعقة	٨٨
٤-١ مقدمة عن التأريض	٨٨
٤-٢ اهمية التأريض	٨٨
٤-٣ حسابات قاطب التأريض	٨٨
٤-٤ حماية خطوط نقل القدرة الكهربائية من ضربة الصاعقة	٩٠
٤-٥ الوقاية من الكهربائية الجوية	٩٢
٤-٦ مانعات (كوامح الصواعق)	٩٣
٤-٧ مبدأ عمل مانعات الصواعق	٩٣

٤-٨ انواع مانعات الصواعق	٩٤
٤-٩ تقنيات القدرة الكهربائية	١٠٤
الفصل الخامس منظومات الارضي	١١٢
٥-١ الارض والامان	١١٣
٥-٢ طبيعة منظومة قاطب التأريض	١١٥
٥-٣ حساب مقاومة الأرض	١١٦
٥-٤ تأثير مقاومية التربة على مقاومية قاطب التأريض	١١٦
٥-٦ مقادير المقاومات المسموح بها لانظمة التأريض	١١٧
٥-٧ التوصيلية الكهربائية للتربة	١١٨
٥-٨ تصميم قواطب التأريض	١٢٢
٥-٩ مخططات التأريض	١٢٤
٥-١٠ فحص التربة	١٢٤
الفصل السادس والدوائر الكهربائية	١٣٣
ضوء الشمس والخلايا الشمسية	١٣٤
٦-١ خطوط عريضة عن تطور الخلايا الشمسية	١٣٤
٦-٢ العوازل	١٤٣
٦-٣ اهم العوامل المؤثرة في السماحية المركبة وظل الفقدان	١٥٩
٦-٤ انهيار العازل	١٥٩
٦-٥ مجهز القدرة	١٦١
٦-٦ المحولات الكهربائية	١٦٣
الاستنتاجات	١٨٩
المراجع	١٨٣
المرادفات	١٨٥


الفصل الاول
الظواهر الجوية
الكهربائية

كـــن

رقعـــة

ة فـــي

ـــحابة

ـحـوث

ج أدناه

الهوائية

ر تقريبا

غيرة ثم

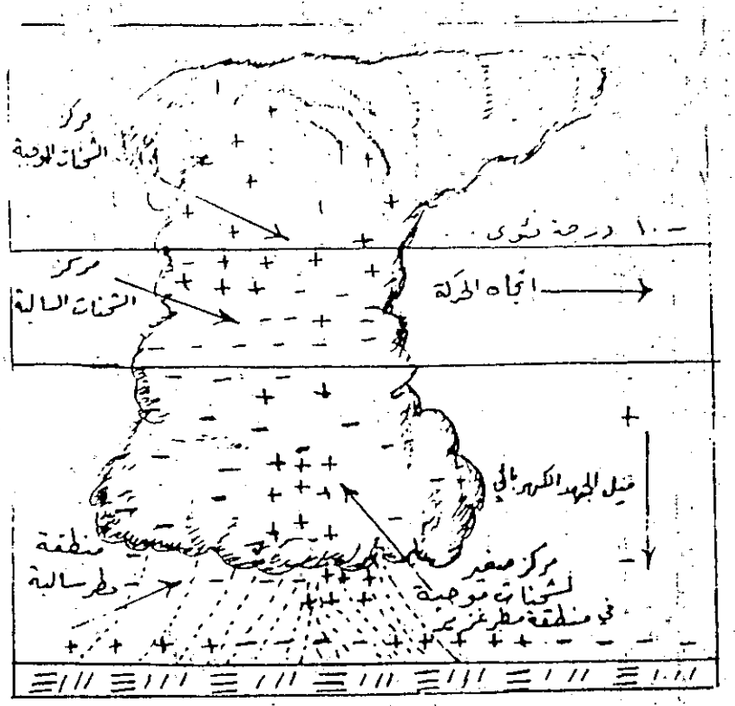
السحابة

الأخـــر

ع فـــي

ســـحابة

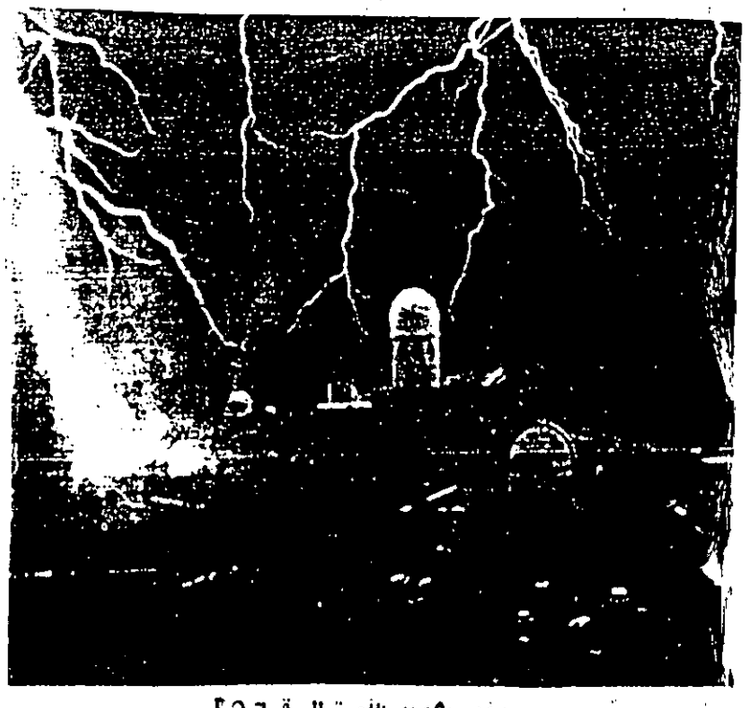
ل(1.1).



شكل (١٠٧)

توزيع الشحنات الكهربائية في سحابة رعدية [362]

والشحنة الموجبة(+) تتجمع على القطيرات الكبيرة في الأجزاء الخارجية للسحابة بصورة عامة. وحيث أن هناك على الدوام فرق في الجهد الكهربائي بين الأرض والجو وأن سطح الأرض عادة دائما سالب الشحنات بالنسبة للهواء ورغم أن الهواء ردئ التوصيل للكهربائية إنما استمرار تواجد الايونات الطليقة فيه يجعله غير عازل تماما ويحدث تجاذب بين الشحنات المختلفة في السحاب والأرض وينتج عن ذلك سريان تيار كهربائي وهذا ما يسمى بالتفريغ الكهربائي أو(البرق) وقد يحدث بين أجزاء السحابة نفسها أو بين السحب المختلفة وقد يتكرر هذا التفريغ عدة مرات في فترة قصيرة لا تتجاوز عشر الثانية (1/10 الثانية). ويتغير فرق الجهد من مكان لأخر في الأوقات المختلفة من السنة أو خلال الساعات المختلفة من اليوم ويكون عادة اكبر ما يمكن في الخريف والربيع وبداية الشتاء واقل ما يمكن صيفا شكل(1.2).



شكل (1.2) ظاهرة البرق [2]

ب – تفسير أخر للبرق هو أن الشحنات الموجبة تتجمع حول بلورات الجليد قرب قمة السحابة الرعدية وفي الأجزاء السفلى منها والتي تتألف من قطيرات الماء تحتفظ أيضا بالشحنات الموجبة محاطة بقطيرات ماء أخرى عليها شحنات سالبة، أما سطح الأرض فعادة عليه شحنات سالبة وعندما تتحرك فوقه سحب منخفضة تحمل شحنات موجبة فأنها تسبب تولد مزيدا من الشحنات السالبة على الأرض ونظرا لأن الهواء ردئ التوصيل للكهرباء فأنه يحتاج الى فرق عالي في الجهد الكهربائي بين السحابة والأرض لكي يتغلب على مقاومة الهواء ويحدث التفريغ الكهربائي بينهما. وأغلب التفريغ الكهربائي يحدث بين أجزاء السحابة نفسها وقد يحدث ايضا بين سحابة سالبة الشحنة في القاعدة وجزء من سطح الأرض موجب الشحنة وهذا يكون ذا تأثير تخريبي كبير وخطرها هائل على الأبنية والأشجار الموجودة على الأرض وعلى أي شخص موجود بالقرب منها شكل (1.3)



شكل (1-3) الاضرار التي تحدثها العواصف الرعدية الشديدة

جـ - أن الاحتكاك الشديد بين الهواء والجسيمات المائية أو الثلجية أو الجليدية الموجودة في السحابة الرعدية أثناء حركتها يسبب توليد شحنات عالية حيث تتجمع الموجبة منها في الأجزاء العليا من السحابة والشحنات السالبة في الأجزاء السفلى منها والأخيرة تسبب تولد شحنات موجبة على السطح الموجود أسفلها فعندما يصبح فرق الجهد الكهربائي عاليا يحدث تفريغ(برق) من السحابة إلى الأرض أو بين سحابة وأخرى أو ضمن السحابة نفسها.

كما توجد على السطح الخارجي لقطيرات الماء شحنات سالبة وتكون تحت هذا السطح طبقة أخرى موجبة الشحنات وخلال العواصف العنيفة وحركة التيارات الهوائية الشديدة في السحابة والاحتكاك المتولد من ذلك تنفصل الشحنات السالبة عن الطبقة الخارجية وتتجمع في الجزء المتوسط من السحابة والموجبة في الأجزاء العليا منها وقد تتكون تحت المنطقة السالبة منطقة أخرى موجبة الشحنة. وقد يحدث أيضا انفصال للشحنات عندما يتجمد الماء أو عندما تنصهر بلورات الجليد مع فروق في الجهد الكهربائي. وقد يحدث البرق على شكل كرات تسمى (البرق الكروي) وربما هذه الظاهرة هي السبب في الاعتقاد بظاهرة الصحون الطائرة في السماء. وأن هذا النوع من البرق يعطي أصواتا تشبه الصفير أثناء تحركها في الهواء. ويوجد برق يحدث على شكل خطوط أو شرائط تهبط إلى اسفل وتصل إلى السطح ويسمى (البرق الشريطي) وهناك البرق الصفيحي الذي يظهر على شكل صفيحة واسعة مضيئة ممتدة كثيرا والبرق المتفرع كالشوكة أو المذراة والبرق المتقطع بفترات زمنية قصيرة فيشاهد كتسلسل خرزات السبحة ولذا يسمى البرق الخرزي نسبة إلي خرزات السبحة.

- *الرعد*- هو تأثير جانبي للطاقة الهائلة التي تنبعث نتيجة التفريغ حيث يسخن الهواء الذي تمر خلاله الكهربائية فجأة في جزء صغير من الثانية الى درجة تصل (10) الآف درجة مئوية فالتمدد الفجائي للهواء وما يليه من تقلص يحدث الدوي العالي المعروف(بالرعد) وحيث ان الصوت يقطع مسافة(330) متر في كل ثانية في درجة حرارة الصفر المئوي فأنه يمكن تخمين

موقع العاصفة اذا حسبنا الزمن بالثواني بين رؤية البرق وسماع الرعد. وفي بعض الاحيان يمكن رؤية الوميض ولا يسمع صوت الرعد اذا كانت العاصفة على بعد اكثر من(25) كيلو متر عن موقع الراصد ويعرف هذا النوع بالوميض الحراري. وعند سماع الرعد على شكل انفجارات متتالية فان سبب هذه الظاهرة هي الانعكاس المتتالي للصوت بين اجزاء السحابة نفسها[2].

-*الزوابع الرعدية*- هي زوابع يسمع رعدها او يرى برقها من سطح الارض، ويقدر عددها بـ44 الف زوبعه يوميا.وهي نوع او صنف من السحب الركامية الممطرة .وهي سحب ركامية يرافقها البرق والرعد. وقد يرافقها الهطول،وقد يسمع الرعد لمسافة 20 كم وقد يكون قطرها بحدود 15كم وارتفاعها 12 كم كما هي الحالة في السحب التي تنشأ فوق البحيرات والجبال وتكون محلية المنشأ. اوقد تنتظم على شكل جدار لولبي كما هي الحالة في الاعاصير المدارية. وقد تكون على شكل سلسلة جبلية تتقدم الجبهة الباردة مصحوبة بالرياح العالية وتسمى خطوط المجفل (Squall Lines). وهي ترافق المنخفضات الجوية سواء كانت مدارية او في المناطق المعتدلة.

وتنمو هذه السحب عندما يكون الهواء في طبقات الجو العليا غير مستقر(جاف وبارد) والطبقة السطحية رطبة دافئة(كما يحصل عند هجوم الهواء القطبي فوق البحار الدافئة)، فتنمو السحابة بالحمل الحر (تيارات الحمل) او بالرفع القسري (Forced Convection) لوجود تضاريس ارضية (مناطق انكماش) او ما شابه ذلك. كما يحصل في زوابع المنخفضات والتضاريس. وتكون خارطة الرصد الجوي على التيفايغرام متميزة لهذا النوع من السحب لا سيما المصحوبة منها بالبرد[4].

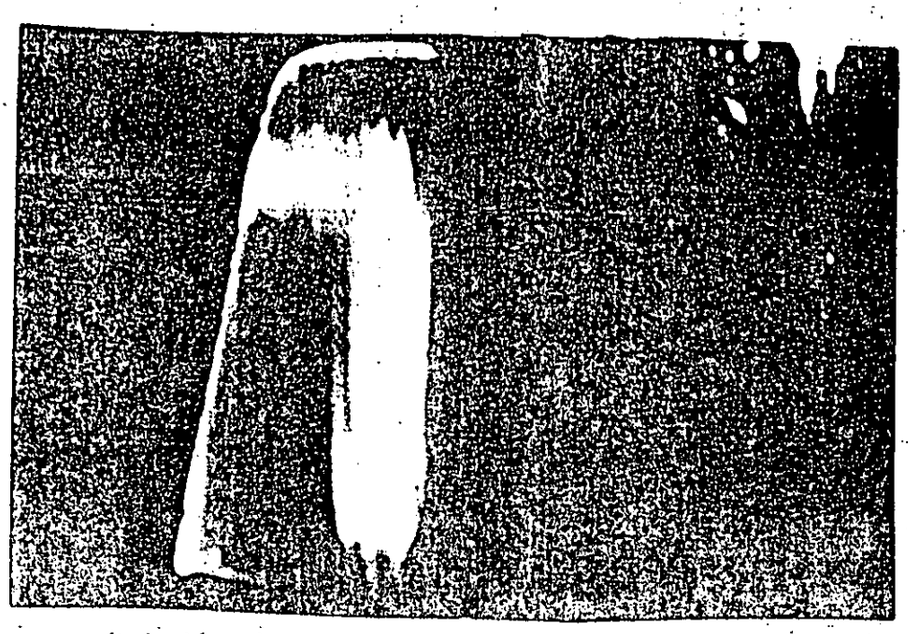
وتستمد هذه السحب طاقتها من الحرارة الكامنة للتكثف ومن التجمد الفجائي لقطـــرات المـــاء المفرطة التبريد، فتزداد خفة وسرعة الى ان تـــصل قممها الى الطبـــــقة الطخرومناخيـــة (Tropopause) ، حيث تنتشر قممها جانبيا مكونة السندان(Anvill) بسبب اســـتقرار الطبقـــة الطخروية، وتحمـــل الريـــاح العـــليا قممـــها بعـــيدا عن السحابة مكونة سحابا كاذبـــا(False Cirrus) .

ويمكن متابعة مراحل نمو السحابة ابتداء من سحابة ركامية نشطة ذات حافات حادة لا تلبث ان تجمد حافاتها وتصبح مشوشة (Glacinted) ثم يبدأ تكون الكهربائية والبرد في السحابة، بسبب التجمد السريع للقطرات المفرطة التبريد، بحيث تجمد القشرة الخارجية لهذه القطـــرات قبـــل باطنها فتنفجر مكونة شظايا صغيرة مشحونة موجبا تحمل الى الاعلى بواسطة تيارات الحمل اما الجزء الثقيل من القطرة المتبقية (سالبة الشحنة) فيسقط نحو الاسفل. وتقوم هذه الشظايا بتطعيم القطرات الاخرى وتجميدها.

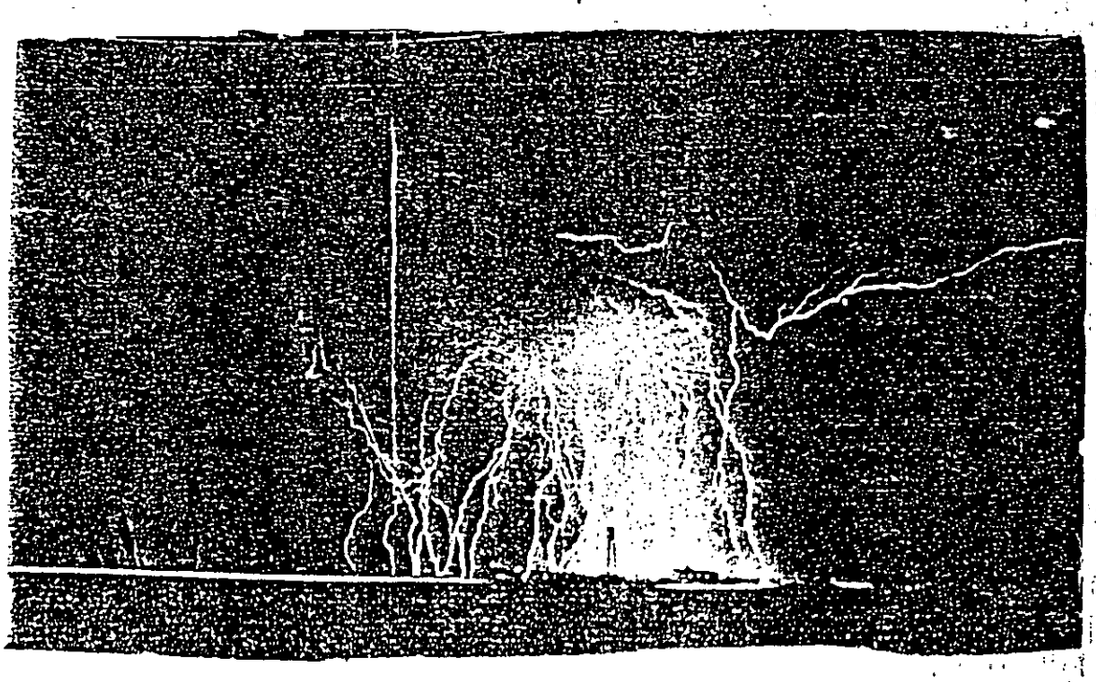
ويمكن تمييز عدد من الخلايا النشطة مطمورة داخل الزوبعة الرعدية باستخدام الرادار، حيـــث تشاهد اصدية متجاورة (الشكل 1-4) وقد تكون مندمجة في الزوابع العاتية، وهذه المراكز تشكل خطرا على الطيران بسبب ازدياد الحركة الاضطرابية للهواء بما تملكه من تيـــارات هوائيـــة صاعدة ونازلة وماء مفرط التبريد، ونشاط كهربائي وتكثف ونمو البرد...الخ، وان اســـتخدام الرادار كفيل بتجنبها او التقليل من خطرها.

وبالرغم من تعدد المصادر الممكنة في عملية الشحن في السحابة، فيبدو انها تعمل كلها مجتمعة، لتفسر طريقة توليد هذه الكميات الهائلة من الطاقة الكهربائية وبالسرعة الملموسة.

وعند مرور الشرارة الكهربائية بين قمة وقاعدة السحابة اوبين القاعدة والارض يتسخن الـــهواء كثيرا في مسار الشحنة ويتمدد مولدا الرعد (Thunder) اما الضوء الذاتج فيسمى البرق (Lightning) الشكل (1-5) ويكون التيار الكهربائي عاليا (عشرات الالوف من الامبـــيرات لجزء من الثانية) وفرق الجهد يقارب 150 مليون فولت. وكثيرا ما يكـــون المسار متشعبا (Forked) بسبب عدم انتظام خواص الهواء ، وقد ترى السماء تضاء فجأة عندما تكون بعيـــدة ويسمى البرق الطبقي (Sheet Lightning) . واحيانا تشاهد كرات مضيئة تطفو فـــي الـــهواء لبضعة ثوان وتسمى البرق الكروي (Ball Lightning) ولا زال تفسيره مجهولا [4].



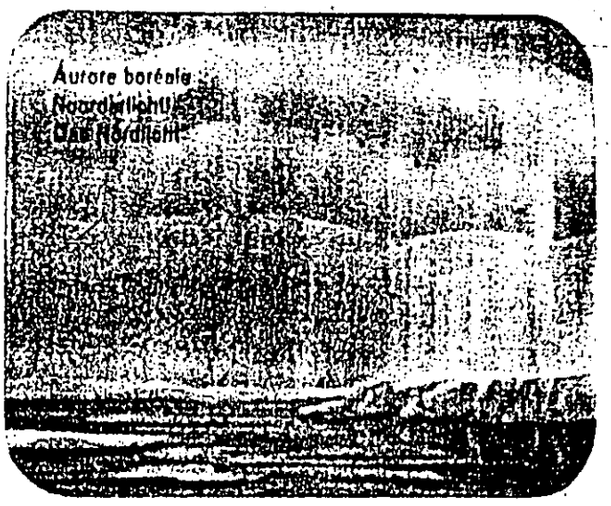
الشكل (١ - ٤) صدى الرادار من زوبعة رعدية مصحوبة بالبرد لاحظ الصدى من السندان الثلجي [٤].



الشكل (١ - ٥) البرق المنشعب من السحابة الى الأرض.

-أن -*التفريغ الكهربائي*- يؤدي الى تشويش الاستلام في الاجهزة اللاسلكية وتسمى (Atmospherics) او (Sferics) ويمكن الاستفادة منها في تحديد موقع الزوابع الرعدية البعيدة، وذلك باستلام هذه الاشارات بواسطة اجهزة الاستلام الاتجاهية (Radio Direction Finder) المستخدمة سابقا لتوجيه الطائرات والمستخدمة حاليا في تعقيب الراديوسوند[4].

-*الشفق القطبي (Aurora)*- ظاهرة مضيئة الشكل (1.7) تظهر في اعالي الجو بين 70 ، 400 كم وبمعدل 110 كم عند خط عرض 70° فوق خطوط العرض العليا (فوق النرويج وكندا). وتتكون من تأين الهواء المخلخل عند اصطدام الالكترونات السريعة القادمة من الشمس ولا سيما اثناء بلوغ الكلف الشمسي ذروته. واحيانا يبلغ نشاطها بحيث يمكن مشاهدتها حتى من المناطق المدارية : وتأخذ الوانا واشكالا جميلة. ولا سيما اللون الابيض المائل للخضرة او اللون الاصفر المخضر او الاحمر . وتأخذ اشكال الستائر او الحزم او الاشعة المتفرقة من نقطة.وتنتهي الظاهرة بتحركها نحو القطب، وتتلاشى الالوان لتصبح حزما من الضوء الابيض.



شكل (1-7) شكل القماش المتموج[2]

-*نار القديس المو (Staint Elmo's Fire)* -شرارة كهربائية مستمرة تقريبا وتكون متفاوتة الشدة تظهر فوق الأجسام المدببة فوق سطح الارض (مثل موانع الصواعق، صواري السفن، نصل الريح) او من الطائرة المحلقة (نهايات الاجنحة، الرفاسات) وتكون الوانها بنفسجية او تميل للخضرة، ويسهل رؤيتها في الليل. وهي ترافق الجو المصحوب بالزوابع الرعدية بسبب النشاط الكهربائي الجوي تحت هذه الظروف، ولاسيما في المراحل النهائية لدورة حياة الزوبعة.

- *وهج سانت المو*- تفريغ كهربائي مضئ ويتصف بانه مستمر ويكون عادة خفيف او متوسط الشدة حيث يشاهد في الغلاف الجوي وينبعث من النهايات المرتفعة عن سطح الارض كالابراج والقباب وصواري السفن ودوارات الرياح ومانعات الصواعق واطراف اجنحة الطائرات اثناء طيرانها... الخ ويظهر غالبا بلون بنفسجي او مائل للاخضرار ويشاهد بوضوح اثناء الليل. وتحدث هذه الظاهرة في بعض المناطق من العالم عندما يصبح المجال الكهربائي بالقرب من سطح العوارض المرتفعة قويا. [4]

الوهج القطبي- ظاهرة تشاهد في الطبقات العالية من الغلاف الجوي على شكل ضوء رائع منتشر كالطيف ذو لون أبيض مائل للاخضرار او اصفر مائل للاخضرار او بنفسجي وتشاهد الاهداب السفلى منه بلون احمر. ان الوهج القطبي قد يكون على شكل حزمة او اشعة او اقواس ستائر او صفائح أو قطع مضيئة او كالقماش المتموج ويظهر في المناطق المجاورة للقطب المغناطيسي الارضي ولذلك علاقة بالاضطرابات المغناطيسية وبنشاط البقع الشمسية ولوحظ ان زيادة الوهج القطبي له علاقة بدورة الـ (11) سنة لنشاط البقع الشمسية. ان انطلاق الجسيمات المشحونة التي تقذفها الشمس خلال الانفجارات الشمسية تؤثر على الغازات المخلخلة في الطبقات العليا من الغلاف الجوي وتسبب انبعاث شحنات منها يشبه ما يحدث في الانابيب المفرغة المعروف بمصابيح النيون المستخدمة للاضاءة وتعطي ذرات الاوكسجين المشحونة بريق احمر واصفر بينما ذرات النيتروجين المشحونة تعطي وميضا برتقالي وبنفسجي وهذا ما يحدث في اعالي الغلاف الجوي. ان الفيض الهائل من الالكترونات (سالبة الشحنة) تسيل الى التجمع نحو

الأرض بينما فيض البروتونات (موجبة الشحنة) تتجمع في اعالي الغلاف الجوي ويعمل المجال المغناطيسي الأرضي على ترتيب الذرات المشحونة في مسارات قريبة من القطبين المغناطيسين للأرض وهذا هو سبب مشاهدة الوهج القطبي في الاماكن ذات خطوط العرض العالية قرب القطبين المغناطيسين ففي نصف الكرة الشمالي يشاهد بين خطوط عرض (70-65) درجة شمالا في المناطق الممتدة من شمال النرويج وجنوب كرينلاند عبر الاسكا إلى سيبريا. ويمتد الوهج القطبي لعرض قد يصل حوالي (500) كيلو متر وفي نصف الكرة الجنوبي يشاهد على نطاق اقل بسبب قلة اليابسة في المنطقة القطبية. وبسبب تواجد نوعين مختلفين من الشحنات الموجبة والسالبة يحدث فرق الجهد وبالتالي ينتج التفريغ الكهربائي على شكل وهج كما سبق وصفه. ورغم أن الوهج القطبي يظهر للمشاهد أنه قريب من سطح الأرض ولكن في الواقع يمتد إلى ارتفاعات (1000) ألف كم. واحدى الطرق التي بواسطتها يمكن تقدير ارتفاع الغلاف الجوي هي تعيين ارتفاع قمة الوهج القطبي. يتغير بريق الوهج القطبي تغيرا كبيرا وفي الشكل(1.8) يشاهد احد أنواع الوهج القطبي.



شكل (1-3) شكل صفائح وقطع مضيئة [2]

الغيمة– هي تجمع من قطيرات الماء او جسيمات الثلج او من خليط منهما تطفو في الهواء بسبب خفتها، وتكون مرئية بتأثير الضوء الذي تعكسه أو تستطيره او تحجبه جسيماتها. والسحب احدى الشواهد المرئية للحركة الاضطرابية في الجو. وهي تنمو من الرفع الشبه اديباتيكي للهواء الرطب الى طبقات الجو العليا المخلخلة الضغط، فيبرد ويتشبع واحيانا يفوق درجة الأشباع، ثم يتكثف على جسيمات الهباء (Aerosols) والمسماة بنوبات التكثف(Condensation Nuclei) لتكون قطيرات السحابة، أو تتجمع على نوى الثلج(Ice Nuclei) لتكون بلورات الثلج، في درجات الحرارة التي تقل عن الصفر. وقد يكون الرفع قسريا كما يحصل عند مرور الهواء فوق الجبال وعند جبهات المنخفضات الجوية او جبهات نسيم البر والبحر. او بصورة حرة مثل صعود تيارات الحمل الدافئة في الجو غير المستقر[4].

وتعتبر عملية رفع الهواء المنتظمة على نطاق واسع من العوامل الاساسية في نمو الهطول فوق المنخفضات الجوية لأنها المسيطرة على اغلب السحب المسببة للهطول على نطاق واسع.

وهناك طرق اخرى ثانوية لتبريد الهواء الى درجة الاشباع، منها مزج الهواء الدافئ والرطب بالهواء البارد بطريقة التأفق (Advection) بمروره فوق سطح بارد (سطح ثلجي)، او بالتبريد الليلي الاشعاعي (Nocturnal Radiation Cooling) لسطح الأرض، أو لطبقة من الهواء الرطب. ولكن هذه العوامل محلية ومهمة عموما قرب سطح الأرض، وتكون مصحوبة بتكون الضباب والصقيع وبعض السحب الطبقية الواطئة، وهي قلما تولد الهطول. والجدول(1.1) يعطي ملخصا للسحب الرئيسة مع بعض خواصها المهمة. وبالرغم من قلة بخار الماء بالنسبة للعناصر الغازية في الجو الأرضي، حيث قلما تتجاوز نسبته 3 % الا انه من العناصر المهمة في توليد الطقس وفي نقل الطاقة من سطح الارض واليها على شكل طاقة محسوسة او غير محسوسة، محركا ماكنة الجو الأرضي والمائي. ان معدل ما ينقله اعصار استوائي(Hurricane) واحد من الماء في حياته يقارب 10^{11} طنا محررا طاقة حرارية تعادل طاقة 400 قنبلة هايدروجينية من

قدرة 20 ميكا طن، ولا يتحول منها الى طاقة حركية (رياح) سوى زهاء 3% وعلى سبيل المثال، فان السحب التجارية فوق المحيطات المدارية بين خطي عرض 30° تنقل من الطاقة ما يفوق طاقة جميع رياح الكرة الأرضية.

ان كتلة الهواء المتبخر سنويا يقارب $4.47 * 10^{14}$ طنا حصة اليابسة منه لا تتجاوز 14% ولا يعود اليها من الهطول سوى 22% أي ان إغالب الماء المتبخر يعود ثانية الى البحار والمحيطات على شكل هطول وتسرب (Run off) بدورة معدلها 40 الف سنة. وتحتوي السحب على كميات متفاوتة من الماء على شكل قطيرات يتراوح قطرها من (5-100) مايكرون وبتركيز (10-1000) قطيرة / سم^3 ويتراوح تركيز القطيرات الكبيرة (> 100 مايكرون) بين (1.5-10) قطيرة للتر في السحب البحرية. أما في السحب القارية فان التركيز يقارب عشرة اضعاف هذا العدد، ويبلغ معدل كمية الماء في السحب 1غم/م^3 ولكنه قد يقل عن ذلك في السحب الباردة او الرقيقة (3.0غم/م^3) ويتجاوزه في السحب الركامية النشطة والدافئة (5-10 غم/م^3).

ينمو البرد على جبل البرد الهس(المتكون من التجمد السريع لقطيرات الماء فيحبس فقاعات هوائية بداخله ويصبح ابيض اللون)، او القطرات المتجمدة، وتستمر بالنمو بجرف قطيرات السحابة المفرطة التبريد، وتسخن حبة البرد النامية بانطلاق الحرارة الكامنة الى بضع درجات مئوية، وعند مروزها خلال مناطق متباينة في التركيب الحراري والمحتوى المائي، تتكون طبقات من الثلج بعضه حليبي بسبب التجمد السريع وحبسه لفقاعات الهواء، والبعض الاخر شفاف بسبب التجمد البطئ لوفرة الماء المتجمع حولها، وهذا يتم بصعود ونزول حبة البرد مرارا خلال السحابة ولا سيما عندما يكون قص الريح (Wind shear) كبيرا، بحيث تعزل مناطق التيارات الصاعدة عن مناطق التيارات النازلة فيطول عمر الزوبعة، وعمر حبة البرد بداخلها كما في الشكل(1.9) لذلك فالهطول النامي في الارتفاعات العليا لا يسقط فوق مناطق

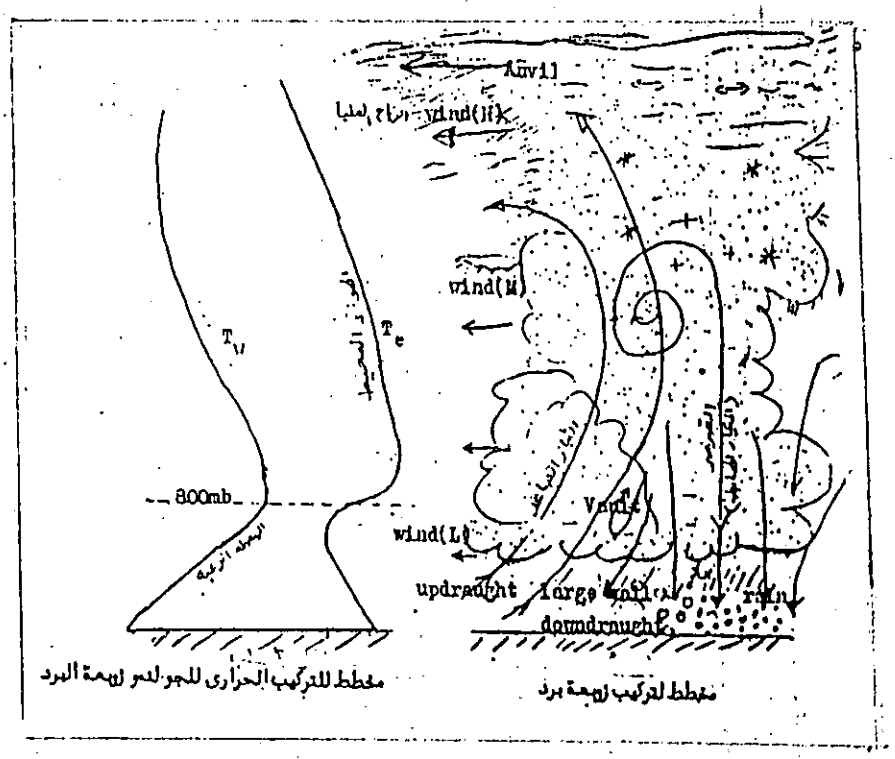
التيارات الصاعدة المتواجدة في الارتفاعات الواطئة فلا تتدمر، ويطول نشاط الزوبعة. ان هـذه الدورانية (Circulation) الناتجة من التيارات الصاعدة والنازلة والتي يفصلهما عن بعضهما البعض قص الريح، تسمى الخلية المثلى(Super Cell)، لذلك فان سحب البرد تحتاج الى هـذا النوع من الدورانية التي يديمها تغير سرعة الريح مع الارتفاع (قص الريح)، وهـذه الظـروف كثيرا ما تحدث في الزوابع الرعدية العراقية في الربيع والخريف ولو انها نادرا ما يرافقها البرد بسبب انصهاره عند سقوطه خلال الهواء الدافئ.

ان الرصدات العليا لدرجات الحرارة الجافة (T) والرطبة (Tw) لظروف الزوابع العنيفة والتـي يرافقها البرد الكبير فوق اليابسة مشابهة، لظروف تولد اعصار اليابسة او التورنادو(Tornado)، حيث تتميز بطبقة دافئة مستقرة تجاوز سطح الأرض، تعلوها طبقة جافة غير مسـتقرة فوقـها، وبعبارة اخرى فاننا نحتاج الى عدم استقرار حملي كامن كبـير(Potential Instability) مـع زيادة في سرعة الريح مع الارتفاع وتغير في اتجاهها(الشكل 1.9) ولقد وجد كل من

التقسيم الطبيعي للسحب الجدول (٦-١)

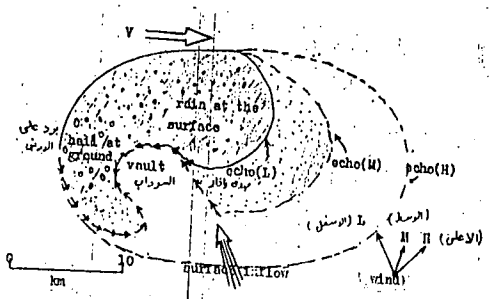
مصدر رفع الهواء	ارتفاع القاعدة (كم)	البعد الافقي (كم)	سمك السحابة (كم)	انواع السحب	سرعة تيار السحابة م/ث	نوع الهطول	مدة الجسيمة (دقيقة)	مخطط لاشكال الغيوم
التضاريس CROGRAPHY	سطح العارض (الجبل)	١٠ـ٣٠ ١٠٠	١ ٤	عدسية(موجية) طخارير مطرة Ns.	٢٠٠ـ٣٠ ١ ـ ٢٠	بلا مطر وثلج غزير	١٠ ٢٠٠	
الفرق بالاحتكاك (مضطرب) FRICTION	صفر-فر٣كم	٢٠ـ٢٠٠	٠٫٥ـ١	طخارير ؛ Ci طخارير Sc. So.	١٠ـ١٠٠	بلا زذاذ ثلج قليل	١٠٠	
الفرق الواسع (منتظم) CYCLONIC	٠٫٥ـ٢ كم ٧ـ١٢	١٠٠٠ ١٠٠٠	١ـ١٠ ١ـ١٠	سحب متوسطة Ac, As, Ns طخارير مطرة Ns سحب طبقية Cc, Cs, C	٥ـ٢٠ ٥ ـ ٢٠	مطر ثلج غزير ثلج لا يصل الارض	٥٠٠ ٥٠٠	
تيارات الحمل (محلية) CONVECTION	(ـ٢ ١ـ٢ ٥٫٠ـ٢٠		١ ٢ ١٠	ركام صغير Cu. ركام متوسط Cu Cg ركام مطر Cb.	١ـ٢٠٠ ٢٠٠ـ٥٠٠ ٣٠٠ـ٢٠٠٠	بلا زخات مطر مطر ثلج برد (غزير)	١٠ ٢٠ ٢٠	

العلماء(فوبوش) و(ميللر) و(سوولنر) علاقة وثيقة بين حجم البرد ودرجة الحرارة السطحية (T) وعمق الطبقة الرطبة، كذلك ازداد حجم البرد مع الزيادة في درجة الحرارة (ΔTI) بين مستوى التكثف الحملي (C.C.L.) وطبقة (-5°س) للحركة الاديباتيكية الجافة، ومع تغير درجة الحرارة بين الأديبات(-5 °س) للحركة الاديباتيكية الجافة، ومع تغير درجة الحرارة بين الاديبات الرطب والمحيط عند مستوى(-5س) (شكل 1:10) ولقد وجد ان البرد الكبير غالبا ما يتواجد عندما يكون ارتفاع مستوى تجمد درجة حرارة البصلة الرطبة بين(3.0-2.5 كم) ويصل ذروته عند 2.8 كم.



شكل (١٠٩) [3]

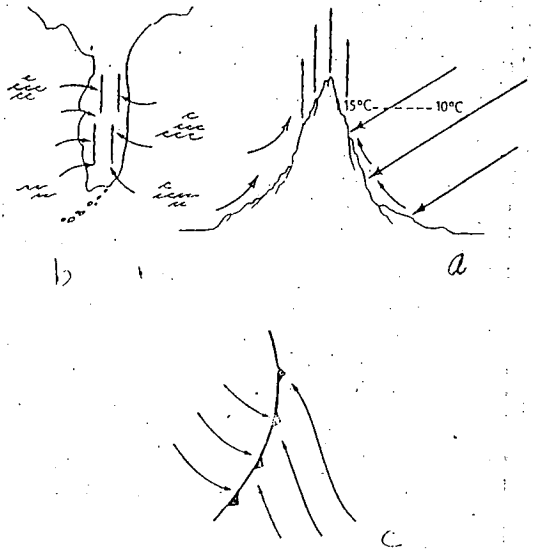
ولقد طور (شو والتز) مغامله الشهير (Showalter Stability Index) ويرمز لـــه اختصـــارا S.I، لغرض التنبؤ عن الزوابع الرعدية العنيفة وعن حجم البرد في الولايات المتحدة، ويعـرف هذا المغامل بانه الفرق بين درجة حرارة Te للهواء الخارجي عند مستوى 500 ملبار ولـــهواء المشبعة T_p عند نفس المستوى، لو اخذ الطرد الهوائي (Air Parcel) من مستوى 850 ملبـــار بالادبيات الجاف (ab) حتى يلتقي مع خط البصلة الرطبة في (b) ومن ثم ينقل مـــع الادبيـــات (bcp) الى مستوى 500 ملبار الشكل (1.10)، وتزداد احتمالية حدوث الزوابع والبرد كلمـــا كانت قيمة S.I سالبة وكان الجو الاعلى جافا، ولكنه لا تمنع قيمته الموجبة من حدوث البرد، لان عنصر الجفاف الاعلى مهم ايضا.



الشكل (١ - ١٠) [3]

2-1 الشروط البيئية لحدوث العواصف (Environmental conditions):

إن سبب حدوث العواصف الرعدية هو ارتفاع الهواء بقوة إلى أعالي الجو نتيجة لتولد تيارات الحمل بسبب ارتفاع درجات الحرارة في طبقات الجو السفلى أو نتيجة لصعود الهواء الرطب الدافئ. وهناك ثلاث طرائق تتم بواسطتها عمليات الرفع المؤدية إلى تكوين هذه العواصف وهي موضحة في الشكل(1.11).



شكل (1-11) [3]

هذه الطرائق تشترك في صفة واحدة، وهي أنها تؤدي إلى رفع عشوائي لهواء دافئ ورطب من المستويات السفلى إلى أعالي طبقة التروبوسفير(Troposphere) . ففي الطريقة الأولى شكل(a1.11) نلاحظ انه بوجود أشعة الشمس يسخن هواء اليابسة أسرع من هواء المناطق المجاورة والتي تتمثل هنا بالمسطحات المائية. وبذلك سيتواجد طرد من الهواء فوق اليابسة اسخن من المحيط يرتفع إلى الأعلى بفعل قوة الطفو (Buoyancy). وأن معظم العواصف الرعدية الناتجة بهذه الطريقة تحدث في أواخر النهار عندما يصل التسخين الشمسي إلى اعظم ما يمكن، لكن هذا لا يمنع من حدوث بعض العواصف الرعدية النشطة في الليل.

أما في الطريقة الثانية(شكل b1.11) فمن الملاحظ أن أشعة الشمس تسخن الهواء عند قمم الجبال اكثر من الهواء الموجود على نفس المستوى فوق الأراضي المستوية، وهكذا سيرتفع الهواء الموجود عند قمم الجبال بفعل قوة الطفو أيضا. أن عملية الرفع قد تحدث أيضا بفعل التجمع الأفقي(Horizontal Convergnce) لهواء مشبع في المستويات السفلى بمرافقة جبهة باردة وهذا ما توضحه الطريقة الثالثة (شكل c1.11).

3-1 تكوين العواصف الرعدية (Thunderstorm Development): [3,4]

لقد كانت هناك محاولات قليلة تهدف إلى دراسة العواصف الرعدية بصورة شاملة فطريقة تكوين العواصف الرعدية والمراحل التي ترافقها وتمر بها هي إحدى النتائج التي توصل إليها فوجيوارة(Fujiwara) من اليابان في حين الدراسة الفعلية حول ماهية العواصف الرعدية كانت من قبل بايرز وبراهام (Byers and Braham 1949) من الولايات المتحدة، اللذين أعطيا مفهوم الخلايا للعواصف الرعدية، حيث تبين لهما أنها قد تتكون من خلية مفردة أو من مجموعة من الخلايا كما أعطيا فكرة عن التوزيعات للتيارات الهوائية الهابطة والصاعدة ودرجة الحرارة والهطول. وقسما دورة حياة خلية العواصف الرعدية إلى ثلاث مراحل هي:

1- مرحلة النمو (Cumulus stage):

وتسمى أيضا بطور السحابة الركامي وتتصف هذه المرحلة بالتيارات الهوائية الصاعدة (Updrafts) الدافئة والمبتدئة من الأرض حتى تصل في بعض الأحيان إلى ما يقارب 60 متر / ثانية، فتزداد شدة نمو السحابة في جزئها العلوي. وهذه السرعة العظيمة تؤدي بدورها إلى سحب(جر) الهواء من الجوانب إلى داخل الخلية التي تعرف بعملية الاختلاط (Entrainment)، (شكل 1.12). في حين يتكون على مستوى سطح الأرض وأسفل الخلية منخفض جوي يصاحبه ارتفاع في درجات الحرارة وريح ساكنة أو خفيفة إضافة إلى عدم سقوط أمطار في هذه المرحلة وهذا ما يميز هذه المرحلة، لكن جسيمات الماء والبلورات الثلجية تبدأ بالنمو وتزداد حجما: تستمر هذه المرحلة حوالي 15 دقيقة، وقد يصل ارتفاع السحابة خلال هذه المرحلة إلى 10 كيلو متر فوق مستوى سطح الأرض.

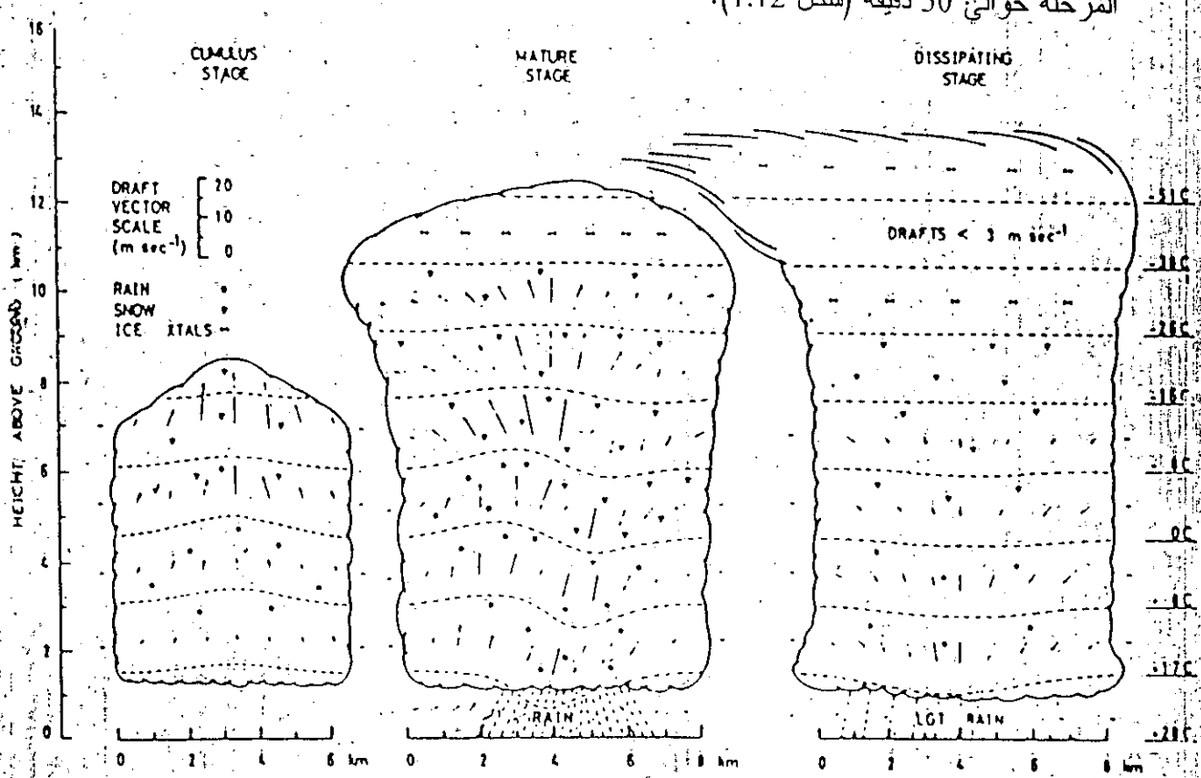
2- مرحلة النضوج (Mature stage):

تبدأ الأمطار بالظهور في هذه المرحلة بعد أن تصل إلى حجوم لا تستطيع عندها التيارات الصاعدة من التغلب على قوة الجاذبية الأرضية مع أن سرعة التيارات الصاعدة تزداد في هذه المرحلة. تظهر التيارات الهوائية الهابطة (Dawndraft) في هذه المرحلة وتبلغ سرعتها حوالي نصف سرعة التيارات الصاعدة وهي ما تميز مرحلة النضوج (شكل 1.12). وهذه التيارات

الهوائية الباردة الهابطة تتولد نتيجة للأمطار الساقطة والتي تسحب معها الهواء إلى الأسفل أثناء هطولها بسبب اللزوجة الناتجة من انزلاق الماء على الهواء وأيضا بسبب ثقل الهواء الموجود تحت السحابة مباشرة لبرودته الشديدة واحتجاب أشعة الشمس عنه، في حين أن جسيمات الماء والبلورات الثلجية الصغيرة والخفيفة الوزن ترتفع إلى الأعلى مع التيارات الصاعدة فتستمر بالنمو إلى أن تصل إلى الحجم الكافي لتنزل بهيئة أمطار غزيرة أو حالوب(Hail)، في نفس الوقت تنتشر التيارات الهابطة والواصلة إلى اسفل السحابة أفقيا وتزداد سرعة انتشارها مع اتجاه سير العاصفة. وفي نفس الوقت أيضا تستمر الأمطار بغزارة مع انخفاض درجات الحرارة وارتفاع مفاجئ للضغط الجوي. خلال هذه المرحلة تصل السحابة إلى ارتفاع يزيد عن 10 كيلو متر وقد يختلف هذا الارتفاع من منطقة إلى أخرى ومن فصل إلى أخر، وتظهر في قمة السحابة سُحب عالية سمخاقية(Cirrus) تكون نهاياتها مشابهة لسندان الحداد (Anyil)، والتي تظهر في اتجاه سير السحابة، أي وبمعنى أخر باتجاه سير العاصفة. تستغرق مرحلة النضوج هذه ما بين 15 إلى 30 دقيقة للسحابة الواحدة ما لم تظهر خلايا جديدة أخرى.

3- مرحلة الاضمحلال (Dissipating Stage):

في هذه المرحلة تنتشر التيارات الهوائية الهابطة في جميع أجزاء السحابة الرعدية، وبذلك فان السحابة تحتوي على تيارات هوائية هابطة و تنعدم التيارات الهوائية الصاعدة في هذه المرحلة تقريبا أو تكون ضعيفة جدا، وبذلك لا يتم تغذية الخلية أو السحابة فينقطع عنها مصدر الهواء الدافئ الرطب وتبدأ الأمطار بالتوقف وتتبخر السحب وتنتهي العاصفة، وقد تستمر هذه المرحلة حوالي 30 دقيقة (شكل 1.12).



شكل (1.12) يمثل نموذج بايرز وبراهام لخلية عاصفة رعدية [3].

1-4 شروط تكون العواصف الرعدية [3-5]

(Conditions of Thunderstorms Development):

بعد معرفة مراحل تكوين العواصف الرعدية يمكن أن نعتبر الشـــروط المدرجـــة أدنـــاه ضرورية لتشونها:

1- وجود هواء حار ورطب عند المستويات السفلى من طبقة التربوسفير، أي أن قيم درجة الحرارة الجهدية للبصلة الرطبة السطحية تكون عالية.

2-وجود عدم استقرارية حرارية(حملية شرطية) كبيرة خلال طبقات عميقة من الجو.

3-وجود رياح قصية شاقولية (Vertical Wind Shear).

4- وجود فعل مثير، وعلى وجه التحديد التسخين الشمسي الشديد لسطح الأرض خلال النـــهار، تلاقي الريح في اسفل الغلاف الجوي والرفع بواسطة التضاريس أو الجبهات الهوائية.

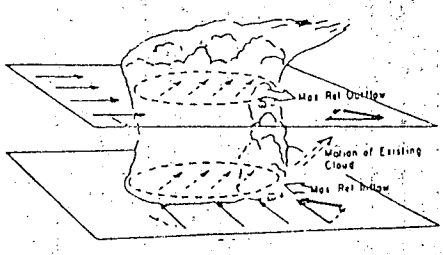
5- وجود رطوبة عالية في المستويات العليا من طبقة التربوسفير وبالتحديد عند المســـتوى 500 مليبار او 400 مليبار.

6- وجود جفاف في المستويات الوسطى(عند حوالي المستوى 700 مليبار). لكي يحصل التبريد في هذه المستويات بفعل تبخر جزء من الترسبات الساقطة على الأرض، مما يـــؤدي إلـــى زيادة كثافة الهواء وهبوطه نحو سطح الأرض وبالتالي سيعطي هذا الهواء قوة دافعة إضافية لتيارات الحمل وستسبب تيارات الحمل هذه مطرا أكثر وبالتالي تبريدا افضل للهواء الجاف، مما يؤدي إلى حدوث سلسلة مستمرة من التيارات الهابطة والتيارات الصاعدة.

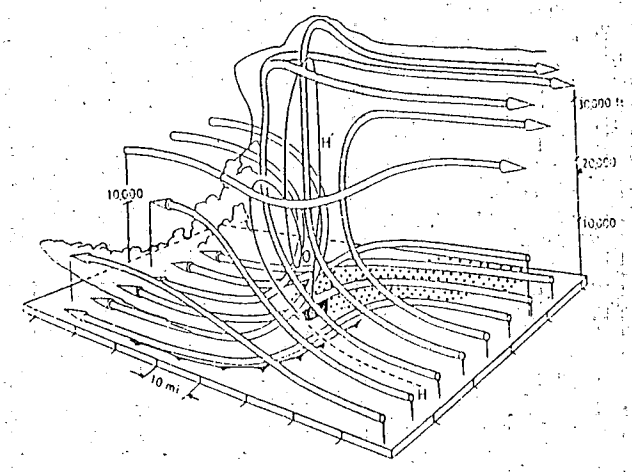
1-5 تأثير الرياح (Effect of the Wind):

منذ بداية الخمسينات بدأ استعمال الرادار بشكل واسع وفي كافة المجالات ومنـــها مجـــال الأنواء الجوية، وقد تم اكتشاف عدة عواصف رعدية تنمو بشكل كبير وتبقى لعدة ساعات مـــن خلال استخدام الرادارات المتطورة. في اغلب الأحيان كان يرافق هذه العواصـــف وجـــود رياح قصية (Wind Shear) قوية، فالشكل(1.13) يبين التداخل بين الرياح القصية مع

السحب العمودية، وكذلك يبين العملية الميكانيكية المفروضة. والناتجة من الفرق الضغطي الداينميكي حيث السحابة تعيد تكوين نفسها خاصة في الجانب الأمامي الأيمن. وفي الشكل (1-14) تظهر التيارات الهوائية الصاعدة والهابطة. كما نلاحظ في الشكل أيضا وجود جبهة



شكل (1-13) يوضح تغيير الرياح مع الارتفاع



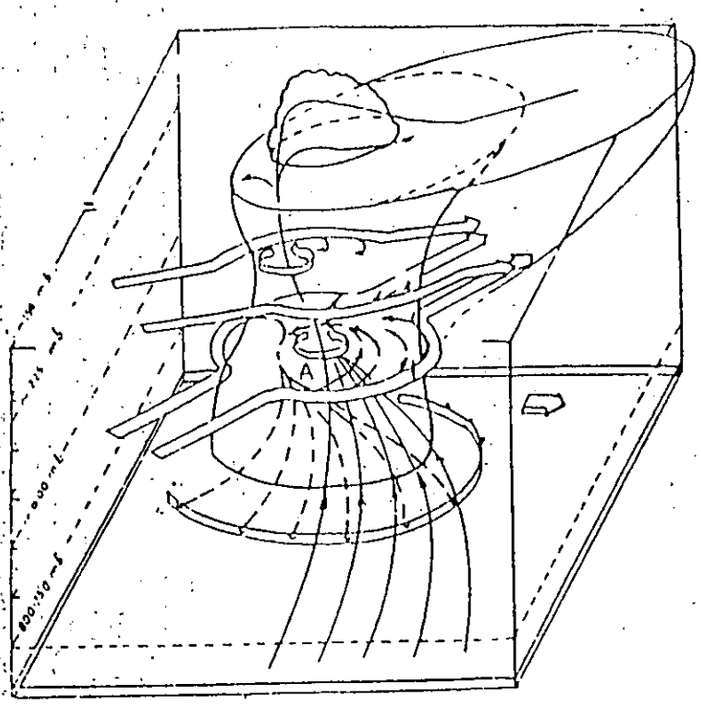
شكل (1-14) يوضح جريان الهواء خلال عاصفة رعدية[3].

هوائية باردة تمثل الجبهة العاصفة (Gust Front). المنحني(HOH) والمبين في الشكل يبين منطقة دخول نويات القطيرات المائية (H)؛ حيث تدخل داخل العاصفة فتكبر وتنزل كأمطار عند النقطة (O) أو قد ترفعها التيارات الهوائية الصاعدة إلى أعالي السحابة ومن ثم تسقط بعد أن يصل حجمها ووزنها إلى مقدار لا يمكن للتيارات الصاعدة من حملها معها فتسقط على هيئة حبيبات برد (H).

لقد أظهرت الدراسات المستمرة أن زيادة القص الرأسي يساهم بصورة أكبر في تكوين العواصف الرعدية ونموها، وقد أخذت هذه الدراسات تثير اهتماما اكبر لدى الباحثين، لذا فقد تمت دراستها بشئ من التفصيل للتأكد من هذا المفهوم، فمن هذه الدراسات تلك التي فرضت أن السحب الركامية أو الركامية المزنية تتحرك مع الرياح العامة في الطبقة المتواجدة فيها. ثم فرض أن الفقاعة الهوائية التي تدخل قاعدة السحابة تتحرك خلالها وتخرج من قمتها، فمن المتوقع أن تكون للفقاعة نفس سرعة السحابة، وفوق القمة ستصطدم مع القص المساوى للفرق بين سرعة الرياح في مستوى أعلى وبين سرعة السحابة، وهذا ما يدعى بالقص العلوي النسبي (Relative Top Shear). في نظرية الفقاعة، يفترض بان الفقاعة الأولى تعمل على تحسين الهواء بزيادة محتواه الرطوبي، بينما الفقاعة الثانية تنفذ من خلال السحابة بفترة زمنية أطول، فعلى هذا الأساس ستنمو السحب الركامية المزنية، لكن إذا كان القص العلوي النسبي قويا بما فيه الكفاية بحيث يحرك الطرد الهوائي المحسن بواسطة الفقاعة الأولى من موقعه، فالفقاعة الثانية سوف لن تلاقي أية مساعدة من هذا الطرد المحسن وبذلك ستتوقف عملية نمو السحابة.

6-1 العواصف الرعدية الدوارة (Rotating Thunderstorms):

الشكل(1.15) يبين كيف أن في مركز التيارات الصاعدة حركة دورانية قوية وذلك حسب النموذج الذي وضعه فرانكهوزر (Frankhausor)، هذا الشكل يبين أيضا بوضوح تداخل جريان الهواء المحيط مع العاصفة الرعدية.



شكل (1-15) يبين العواصف الرعدية الدوارة [3].

في العواصف الرعدية التي لها حركة راسية قويه واقوى من الرياح الأفقية فأن الدوران يكون من الأمور المتوقعة والمألوفة، وقد تتحول العواصف الرعدية هذه، إلى أعاصير (Tornadoes)، العواصف الرعدية الدوارة، تفسر النقاط التالية:

1-ظهوز العواصف الرعدية في المحيط الحاوي على قص قوي.

2-فترة حياة أطول للعواصف الرعدية الدوارة من تلك الغير دوارة.

3- الدوران في الأعاصير.

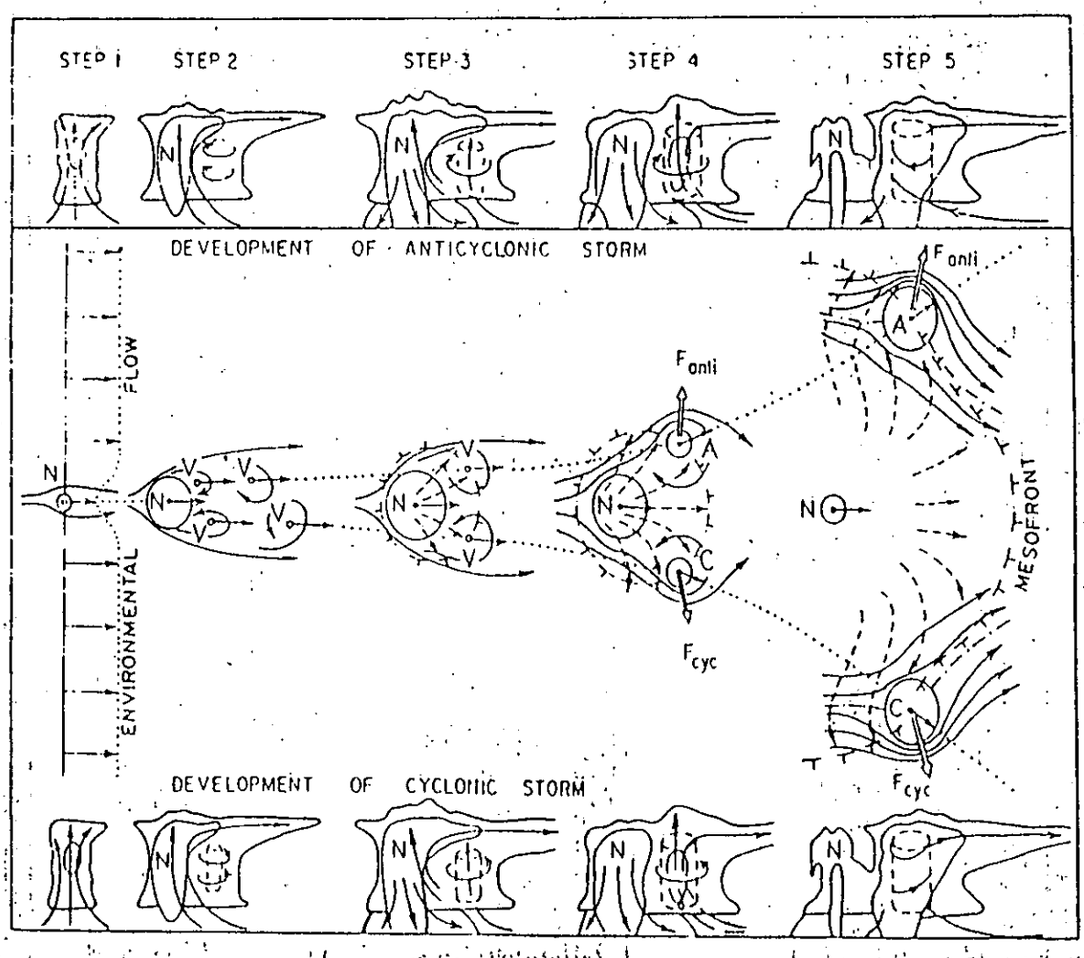
4- ميل العواصف الرعدية للحركة على يمين معدل الرياح في الطبقة المتواجدة فيها. على الرغم من أنها في بعض الأحيان قد تتحرك نحو اليسار أيضا.

أن حركة العواصف الرعدية باتجاه اليسار يمكن إرجاعها إلى الحركة الدورانية في مركز العاصفة. الشكل(1.16) يمثل مخططا يبين كيفية تكون العواصف الرعدية الناتجة من دوران المرتفعات والمنخفضات الجوية، كما أن المخطط يوضح أيضا كيفية انقسام الخلية العاصفة: من الواضح أن دوران مركز العواصف الرعدية قد يصبح قويا جدا بحيث يؤدي إلى هبوط الدوامة(Vortex) إلى السطح وهذا ما تم التأكد منه من خلال التجارب المختبرية.

7-1 التركيب العمودي للعواصف الرعدية.(Vertical Structure of Thunderstorms)

من خلال المخططات الثرموداينميكية يمكن ملاحظة ان منحني معدل الانحدار الحراري يكون اكثر ميلانا من منحني الاديباتيك المشبع للهواء المحيط قرب سطح الأرض في حالة العواصف الرعدية، حيث لا يوجد أي اختلاط بين هواء الطرد وهواء المحيط.

لقد وجد بايرز و براهام أن نسبة عملية الاختلاط (Entrainment) هو 100% عند صعود طبقة من الهواء بسمك 500 ملبيار، بحيث تنمو السحب الركامية إلى عواصف رعدية. ولكل هبوط في الضغط بما يعادل طبقة ذات سمك 500 ملبيار مع صعود الخلية العاصفة فأن كتلتها ستتضاعف من خلال عملية الاختلاط. وتعرف عملية الاختلاط بأنها عملية الخلط التي تحدث في الحدود الخارجية للسحابة نظرا لكون هواء المحيط ابرد واكثر جفافا من هواء الطرد الصاعد فيعمل هذا الخلط على تقليل كل من قوة الرفع للطرد ونسبة الخلط فيه وهي عملية ثرموداينميكية. ان معرفة السرعة العمودية للهواء في العواصف الرعدية يعتبر من الأمور المهمة لمعرفة داينميكية العواصف الرعدية، ميكانيكية السواقط وتوليد الشحنات. كما أن معرفة المتغيرات في الطقس عند سطح الأرض وتحت السحابة العاصفة يعطي معلومات مهمة حول تركيب الجزء السفلي لمثل هذه السحب. وقد وجد العلماء أن ارتفاع قمم السحب الرعدية تكون بحدود المستوى 200 ملبيار في بعض مناطق العالم أي ما يعادل 12 كيلو متر فوق مستوى سطح الأرض. الجدول (1.2) يبين الشروط النموذجية داخل سحابة عاصفة.



شكل (1-16) العواصف الرعدية الدوارة وكيفية التسامها [3].

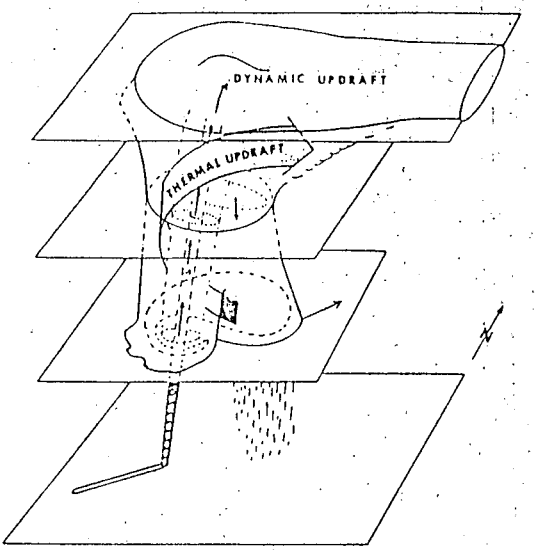
جدول (1.2) الشروط النموذجية داخل سحابة عاصفة.

المستوى	الارتفاع (كم)	درجة حرارة السحابة (°م)	تركيز الماء في السحابة	نسبة انجماد الماء	سرعة التيارات (م/ثا)
قمة السحابة	14	-80	--	كل الماء	0
تروبوبوز	11.5	-55	2	كل الماء	50
قمة المنطقة	10	-40	4	كل الماء	50
الفائقة	9	-30	4	جزء صغير	45
البرودة	6	-10	4	1×10^{-6}	30
قاعدة المنطقة الفائقة البرودة	4	0	3	--	20
قاعدة السحابة	2	10	0	--	10
سطح الأرض	0	25	--	--	0

1-8 نماذج أخرى(Other Models)[3]

إضافة إلى النموذج الذي وضعه الباحثان بايرز وبراهام حول وصف تكوين ومراحل نمو العواصف الرعدية. ظهرت نماذج قليلة أخرى ،أهمها النموذج الذي استند على الفرضية القائلة بأن العواصف الرعدية تعمل كحاجز للرياح، وبتطبيق المعادلات الرياضية التي تصف نماذج الجريان حول وداخل هذا الحاجز توصل الباحثون إلى اكتشاف نظرية الدوامة المزدوجة (Double Vortex).هذه النظرية لا تختلف من حيث الجوهر عن النماذج السابقة وخاصة في المقطع العمودي للخلية الرعدية العاصفة لكنها تختلف بعض الشئ في المقطع الأفقي.

هناك عدة مغالم مميزة لنظرية الدوامة المزدوجة(الشكل 1.17) وهي:



شكل (1-17) يوضح الفرق بين التيارات الصاعدة الداينميكية والتيارات الصاعدة الحرارية وذلك حسب نظرية الدوامة المزدوجة [3].

1- يحصل التدفق(Inflow) إلى داخل العاصفة الرعدية بشرط أن يدخلها من مقدمتها وعند مستويات واطئة.

2-التدفق الحراري في المستويات الواطئة يكون متوازيا بموازنة الزياح في المستويات الوسطى

3- الدوامة الناتجة من منخفض جوي هي اكثر ملائمة من الدوامة الناتجة من مرتفع جوي ،وتوفر الحماية اللازمة لتكون تيارات صاعدة أخرى ضمن دوامة المنخفض الجوي.

4- تحتوي دوامة المرتفع الجوي على الجزء الأعظم من السواقط المرافقة للتيارات الهوائية الهابطة في مركز الدوامة .

5- يتكون البرد من التيارات الحرارية الصاعدة في حين التيارات الصاعدة المساندة للأعاصير تتوفر من خلال التيارات الدينمكية الصاعدة .

6- يتطلب وجود بيئة ذات قص قوي (Strong Shear) لنمو العواصف الرعدية واستمرارها .

7- الخلايا التي تكون فيها الرياح عكس عقارب الساعة (Cyclonic Cells) والخلايا التي تكون فيها الرياح مع عقرب الساعة (Anticyclonic Cells) والمؤدية إلى تكوين عواصف رعدية يمكن أن تنقسم إلى دوامات منفصلة (Separate Rotating Vartex)

8- حركة العواصف الرعدية تعزى إلى الدوران والجر(سحب) والتأثر بتركيب الدوامة المزدوجة.

9- الأعاصير تعزى إلى سرع الريح العليا من خلال مساندتها للتيارات الدينميكية الصاعدة.

10- يتوفر مصدر من الطاقة للأعاصير من خلال رياح المحيط والتي تجري حول جوانب الدوامة المزدوجة العاصفة وفوق قمة التيارات الدينميكية الصاعدة.

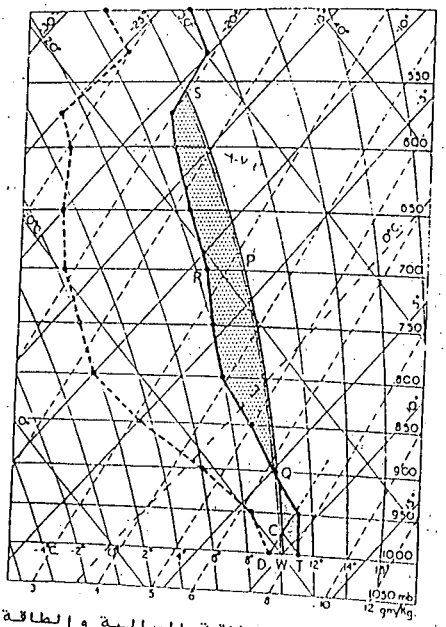
9-1 طرائق التنبؤ عن العواصف الرعدية[3]

تعتبر ظاهرة العواصف الرعدية من الظواهر الجوية المعقدة لذلك حاول الباحثون إيجاد طرائق ووسائل عديدة وفعالة لغرض التنبؤ عنها بادق ما يمكن، هذه الطرائق هي:

1- تحديد منطقة الطاقة السالبة والطاقة الموجبة (Negative and Positive areas):

يتم تحديد هاتين المنطقتين باستعمال المخططات الثرموداينميكية مثل مخطط التيفايكرام، فلتحديد المنطقتين السالبة والموجبة على هذا المخطط يتم الصعود من درجة الحرارة السطحية ومن عند المستوى الضغطي للسطح مع منحني الاديباتيك الجاف

(Dry adiabatic)، ومن درجة حرارة نقطة الندى السطحية مع خطوط نسبة الخلط إلى مستوى التكاثف الرفعي(Lifting Condensation Level- L.C.L) الذي يمثل نقطة التقاطع بينهما ومن ثم يتم الصعود مع منحني الاديباتيك المشبع (Adiabatic Saturation) حيث سيتقاطع مع منحني درجة حرارة الوسط الفعلية والذي يتم تثبيته على نفس المخطط سلفا.نقطة التقاطع هذه تعرف بمستوي التكاثف الحملي (Condensation Level-C.C.L Convective) بعد هذه النقطة يستمر بالصعود مع منحني الاديباتيك المشبع إلى أن يتقاطع مرة أخرى مع منحني الوسط فالمساحة المحصورة بين درجة الحرارة السطحية وبين مستوى التكاثف الحملي تعرف بمنطقة الطاقة السالبة في حين المنطقة المحصورة بين مستوى التكاثف الحملي وبين نقطة التقاطع الأخيرة مع منحني الوسط تعرف بمنطقة الطاقة الموجبة(الشكل 1.18).



شكل (1-18) تحديد منطقة الطاقة السالبة والطاقة الموجبة[3].

في المنطقة السالبة يتم رفع الرزمة الهوائية بصورة ميكانيكية(كأن يمر فوق جبل) حيث يكـــون هواء الرزمة أبرد من هواء المحيط إلى مستوى التكاثف الحملي، ويبدأ الهواء بعدها بـــالصعود تلقائيا بكونه اسخن من المحيط. لذا فأن الفرق بين مساحة هاتين المنطقتين تعطي دليلا عن طبيعة الكتلة الهوائية في المنطقة، فكلما كانت المنطقة الموجبة اكبر من المنطقة السالبة كلما كانت الكتلة الهوائية غير مستقرة وتعطي فرصا اكبر لحدوث عواصف رعدية.

2- دليل الرفع (Lifted index):

دليل الرفع الذي وضعه كالوي(Galway) يستخرج من خلال حساب معدل نقطة النـــدى للطبقة المحصورة بين السطح والمستوى 850 مليبار. ومع استخدام درجة الحرارة السطحية العظمى يتم إيجاد مستوى التكاثف الرفعي. ومن هذا المستوى ترفع الحزمة الهوائيـــة مـــع منحني الاديباتيك المشبع حتى المستوى 500 مليبار، فحاصل طرح درجة الحـــرارة لـــهذا المستوى عن درجة الحرارة الفعلية المقاسة لنفس المستوى يعطي دليل الرفع.

3- دليل شوالتر (Showalter Index)

هذه الطريقة تتمثل في إيجاد الفرق الجبري بين درجة الحرارة عند المستوى 500 مليبـــار والدرجة التي ستمتلكها عينة من الهواء إذا تم رفعها بطريقة اديباتيكية جافة مـــن المســـتوي 850 مليبار إلى مستوى تكاثفها الرفعي ثم بطريقة اديباتيكية مشبعة إلـــى المســـتوى 500 مليبار. القيم السالبة تمثل حالات غير مستقرة.

4-دليل راكليف (Rackliff index):

هذه الطريقة تحسب من خلال المعادلة التالية:

$$\Delta_T = \theta\, w_{900} - T_{500} \quad \text{.....(1-1)}$$

حيث أن: Δ_T= دليل راكليف (Rackliff index).

T_{500} = درجة حرارة المستوي 500 مليبار.

O_{w900}= درجة الحرارة الجهدية للبصلة الرطبة

(Wet Buld Potential Temperature) في المستوى 900 مليبار.

القيم العالية تمثل حالات غير مستقرة، وتبين لراكليف من خلال التطبيقات العملية أن القيم الأكثر من 30 تنذر بوقوع عواصف رعدية.

5- دليل بويدن (Boyden index):

أوجد هذا الباحث طريقة أخرى لقياس عدم الاستقرارية الجوية، وذلك من خلال المعادلة:

$$I = Z - T - 200 \quad \text{.....(2-1)}$$

حيث أن:

I= دليل بويدن (Boyden index)

T= درجة حرارة المستوى 700 ملبيار

Z= سمك الطبقة 700- 1000 ملبيار مقاس بالديكامتر

200 = ثابت

لقد أقترح بويدن الرقم 94 كقيمة حرجة(Critical value) للوصل إلى درجة عـــدم الاستقراريـــة.

6- دليل سيملا (Simila Index):

أوجد هذا الباحث دليلا لعدم الاستقرارية (ΔT) للطبقة بين المستوي 850 ملبيـــار و 500 ملبيار، على فرض أن يكون المستوى الذي يسـبق هـذه الطبقة هو مستوي التكاثف. ويتم إيجاد (ΔT) من خلال مخطط باعتباره دالة لدرجات الحرارة في هذين المستويين، في حين يتم إيجـاد دليل الرطوبة (Δv) دالة لدرجة الحرارة ونقطة الندى من مخطط أخر. ثم ترسم قيـــم (ΔT) و (Δv) على خـرائـط مـيـل الـعـواصـف الـرعـديـــــة (Thunderstorm Tendency Charts). أن ميل العواصف الرعدية تحـدد بمسـاعدة القيـم العددية للدلائل المختلفة وتكون كبيرة للقيم الموجبة الكبيرة لـ (ΔT) و (Δv).

7-دليل ميلر وستاريت (Miller and starrett index):

هذه الطريقة تتضمن إيجاد رسم بياني يمثل الفرق في درجات الحرارة بين المستويين850 ملبيار و 500 ملبيار من ناحية وبين درجة حرارة المستوى 500 ملبيار من ناحية أخرى، مـع رسم خط مستقيم يفصل حالات العواصف الرعدية عن غيرها.

8-دليل جيفرسون (Miller and Starrett Index):

أقترح جيفرسون بعض التحسينات لطريقة راكليف بحيث أنها أصبحت غير معتمدة علـى درجة الحرارة العامة لكتلة الهواء. كذلك أضاف درجة حرارة نقطة الندى للمستوى 700 ملبيار. وتعطى بالمعادلة التالية:

$$T_{m.j} = 1.6\,\theta_{w850} - T_{500} - 1/2T_{d700} - 8 \quad \ldots\ldots\ldots(3\text{-}1)$$

حيث أن: $T_{m.j}$= دليل جيفرسون المعدل (Modified Jeffersonindex).

θ_{w850}= درجة الحرارة الجهدية للبصلة الرطبة للمستوى 850 ملبيار.

T_{500} = درجة حرارة المستوي 500 ملبيار

Td_{700}= درجة حرارة نقطة الندى للمستوي 700 ملليبار

(1،6،1/2،8) تمثل ثوابت، ولقد أقترح هذا الباحث الرقم 28 كقيمة حرجة لدليله هذا.

9-دليل فابوش -ميلر (Fawbushi- Miller Index):

في هذه الطريقة تؤخذ الطبقة الرطبة السطحية للكتلة الهوائية بنظر الاعتبار، وهي الطبقة التي تقع فوق سطح الأرض مباشرة. أما حدودها العليا فهي مستوى الضغط الذي تصبح عنده الرطوبة النسبية أقل من 65 % وإذا ازداد الامتداد الشاقولي لهذه الطبقة عن 6000 قدم (كيلو مترين تقريبا) فيؤخذ أوطأ 150 ملليبار من الطبقة فقط، ويمكن إيجاد دليل الاستقرارية لفابوش ميلر بحساب الرطوبة النسبية لتحديد الطبقة الرطبة ثم تعين درجة حرارة البصلة الرطبة(Tw) لكل مستوى لكي يتم رسم منحني هذه الدرجة الحرارية للطبقة الرطبة. وبطريقة المساحات المتساوية يتم تعيين معدل درجة حرارة البصلة الرطبة للطبقة الرطبة ثم يتم الصعود مع منحني الاديباتيك المشبع من مركز المساحتين المتساويتين(نقطة التقاطع) وحتى المستوي 500 ملليبار حيث تقرأ درجة الحرارة وتكون القيمة الجبرية لناتج عملية طرح درجة الحرارة هذه من درجة الحرارة الفعلية للمستوى 500 ملليبار هي دليل الاستقرارية لفابوش - ملير وقد صنفت مدى قيم هذا الدليل كما هو موضح في الجدول(1.3)

جدول (1.3) تصنيف قيم دليل فابوش- ملير

قيم الدليل(T)	درجة الاستقرارية
T>+1	الجو مستقر نسبيا
0>T>-2	الجو غير مستقر بشكل ضعيف
-2>T>-6	الجو غير مستقر بشكل متوسط
T<-6	الجو غير مستقر بشكل شديد

10-دليل درجة حرارة نقطة الندى (Dewpoint Temperature Index)

يمكن إيجاد هذا الدليل برفع متوسط درجة حرارة نقطة الندى للطبقة الرطبة مع منحني الاديباتيك المشبع إلى المستوى 500 ملليبار، حيث تطرح درجة الحرارة في هذا المستوى من درجة الحرارة الفعلية لنفس المستوى. هنا يجب التأكيد على استخدام أوطأ 150 ملليبار من الطبقة في تعيين متوسط درجة حرارة نقطة الندى للطبقة الرطبة عندما يتجاوز عمق هذه الطبقة 6000 قدم(كيلو مترين تقريبا).

11-دليل عدم الاستقرارية الجافة (Dry Instability Index):

هذا الدليل يمكن إيجاده برفع درجة حرارة السطح مع منحني الاديباتيك المشبع إلى المستوي 600 ملليبار، ثم طرح درجة حرارة هذا المستوي من درجة الحرارة الفعلية ولنفس المســـتوي. وإذا كان هناك انقلاب حراري تحت المستوى 700 ملليبار فترفع درجة الحرارة إلى قمة الانقلاب بدلاً من درجة الحرارة السطحية.

12-دليل جورج لعدم الاستقرارية (George's Instability Index):

وهو ما يعرف بدليل (K) للاستقرارية، ويمكن إيجاده من خلال العلاقة التالية:

$$K= (T_{850}-T_{500}) + T_{d\,850} -(T_{700}- T_{d\,700}) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(4\text{-}1)$$

حيث أن K = دليل لعدم الاستقرارية.

T_{850}= درجة حرارة المستوي 850 ملليبار.

T_{500}= درجة حرارة المستوي 005 ملليبار.

T_{700}= درجة حرارة المستوي 700 ملليبار.

T_{d850}= درجة حرارة نقطة الندى للمستوي 850 ملليبار.

T_{d700}= درجة حرارة نقطة الندى للمستوي 700 ملليبار.

وقد وضع جورج (George) قيمة حرجة لدليله هذا وهو 30.

13- دليل(K') المحسنة (Modified K' Index):

وهي طريقة محسنة لدليل جورج حيث تتمثل بالعلاقة التالية:

$$K' = T_{d850}- (T_{700}-T_{d700}) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(5\text{-}1)$$

حيث أن: K= دليل عدم الاستقرارية المحسن.

T_{d850}= درجة حرارة نقطة الندى للمستوي 850 ملليبار.

T_{700}= درجة حرارة المستوي 700 ملليبار.

Td_{700} = درجة حرارة نقطة الندى للمستوي 700 ملليبار

وقد تم التوصل إلى النتيجة التالية الموضحة في الجدول (14).

جدول (1.4) تصنيف قيم دليل(K') المحسن .

قيم (K')	(K') < -8	(K') > -8	
التنبؤ	لا تحدث عواصف رعدية	حدوث العواصف الرعدية يعتمد على التغير اليومي لـ Td850	
		سالب	موجب
		لا تحدث عواصف رعدية	تحدث عواصف رعدية

14- **دليل كوكس (Cox Index):**

وضع كوكس (Cox) طريقة للتنبؤ عن العواصف الرعدية مغتمدا على أربع متغيرات وهي:

1- دليل الاستقرارية المستعمل في مركز إنذار الجو القاس .

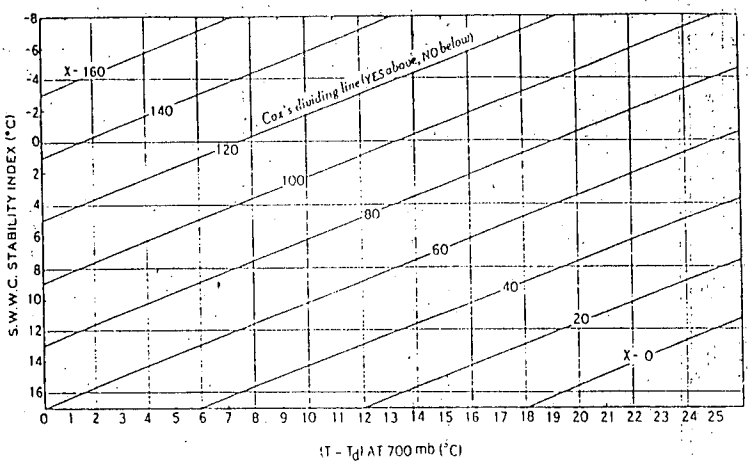
2- (Severe Weather Warning Center-Swwc) في الولايات المتحدة، ويتم إيجاده بالصعود مع منحني الاديباتيك المشبع من معدل درجة حرارة البصلة الرطبة لأوطأ 100 مليبار إلى المستوي 500 مليبار ثم تطرح درجة الحرارة لهذا المستوى من درجة الحرارة الفعلية لنفس المستوى.

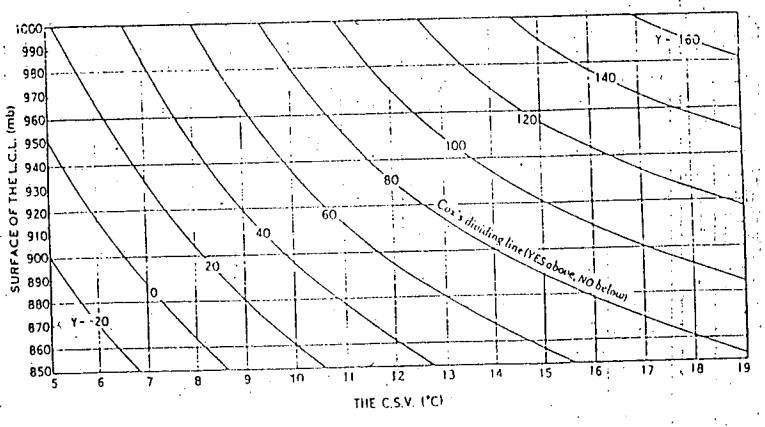
1- الفرق الجبري بين درجة الحرارة ودرجة حرارة نقطة الندى للمستوى 700 مليبار، اعتبرت كقيمة عددية تدل على مقدار الرطوبة المتوفرة في الطبقات الوسطى.

2- يتم إيجاد درجة الاستقرارية (C)(C-Stability Value-C.S.V) بالنزول مع المحني الاديباتيكي الجاف من المستوى 850 مليبار إلى المستوى 1000 مليبار ثم بالصعود مع المحني الاديباتيكي المشبع إلى المستوى 600 مليبار، وتقرأ درجة الحرارة فالفرق بين درجة الحرارة هذه ودرجة الحرارة الفعلية لنفس المستوى هو ما يعرف بدرجة الاستقرارية (C).

3- يتم إيجاد مستوى التكاثف الرفعي(Level-L.C.L Lifting Condesation) من تقاطع منحني نسبة الخلط السطحي مع منحني الاديباتيك الجاف المار من درجة الحرارة السطحية.

من النقطتين الأولى والثانية يرسم مخطط بياني، ومن النقطتين الثالثة والرابعة يرسم مخطط بياني آخر. فإذا ما أعطى كلا المخططين(نعم) فيمكن التنبؤ عن عواصف رعدية وإذا كان الجواب(لا) فيمكن التنبؤ عن عدم حصول عواصف رعدية، الشكل(1.19) يوضح هذه الطريقة.





شكل (1-19) مخططات كوكس (Cox) للتنبؤ عن العواصف الرعدية[13].

1-5- دليل المجموع الكلي (Total Totals Index -TTI):

وجد هذا الدليل الباحث ميلر (Miller) ويتم إيجاده من خلال العلاقة التالية:

$$TTI = T_{850}+T_{d850} - 2T_{500} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots(6\text{-}1)$$

حيث ان TTI = دليل المجموع الكلي.

T_{850} = درجة حرارة المستوى 850 مليبار.

T_{d850} = درجة حرارة نقطة الندى للمستوي 850 مليبار.

T_{500} = درجة حرارة المستوي 500 مليبار.

أما القيمة الحرجة المقترحة فهي 48 .

1-10 الأحوال الجوية التي تساعد على تكون العواصف الرعدية.

تتكون العواصف الرعدية نتيجة وجود هواء رطب في جو على درجة كبيرة من عدم الاستقرار وصعود الهواء تحت تأثير عامل من العوامل الاتية:

أ. التسخين الشديد لسطح الارض اليابسة اثناء النهار او نتيجة لمرور هواء بارد رطب على سطح ساخن بحيث يكون الفرق بين درجة حرارتها كبير. او نتيجة وجود طبقة من الهواء البارد فوق طبقة من الهواء الساخن في طبقات الجو العليا وتسمى العواصف الرعدية التي تنشأ في هذه الحالات(العواصف الرعدية للكتل الهوائية) ATR-MASS THUNDERSTORS

ب. صعود هواء رطب على اسطح الجبال والمرتفعات الارضية في جو على درجة كبيرة من عدم الاستقرار وتكون العاصفة الرعدية في هذه الحالة موجودة فوق الجبال او المرتفع فقط وتسمى هذا النوع عواصف التضاريس OROGRAPHIC THUNDERSTORMS وخاصة وهذا النوع من اشد الانواع خطورة على الطيران.

ج. صعود هواء رطب فوق الجبهات الجبهة الباردة وتسمى في هذه الحالة عواصف الجبهات FRONTAL STORMS

1-11 طرق التيار الكهربائي الأرضي، التيار الكهرومغناطيسي الأرضي والمغناطيسية الأرضية سمعية التردد[5]

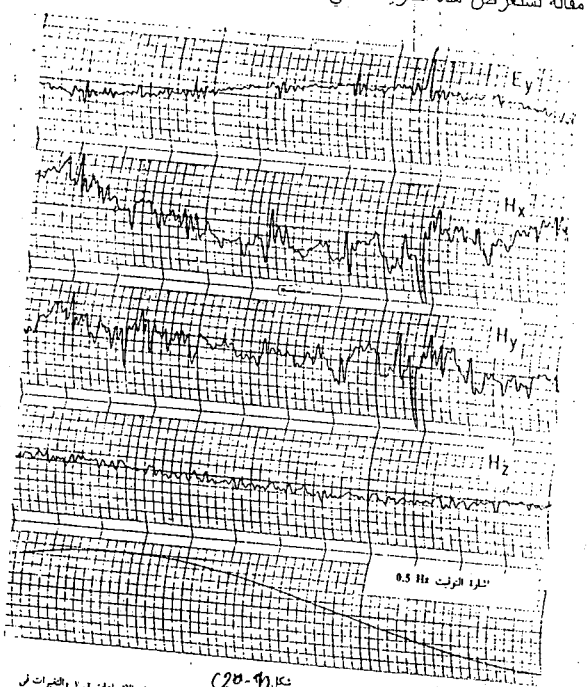
في استكشاف المقاومة النوعية يتم قياس انخفاض الجهد على السطح الناتج من تيار خارجي مسلط. والاختراق الحاصل مع الطريقة يتناسب تقريبا مع المسافة الفاصلة لأقطاب التيار. في عام 1939 أشار شلمبرجير Schlumberger إلى بعض التجارب في فرنسا، حيث استغنى عن التيارات الصناعية المسلطة، واستخدم بدلا منها تيارات أرضية طبيعية تماما. هذه التيارات التي دائما يشار إليها بالتيارات الكهربائية الأرضية، تسري في كل مكان خلال سطح الأرض في طبقات صفحية كبيرة، ولبعض الوقت كان الاستكشاف بالتيارات الكهربية الأرضية، هو الطريقة الكهربية الأكثر استعمالا في الاستكشاف البترولي. وبالرغم من إجراء مساحات تجريبية في الولايات المتحدة (داهلبيرج Dahlberg وبويسوننتاس وليوناردون Boissonnas and Leonardon) فان اكثر التطبيق تكثيفا للاستكشاف بالتيار الكهربي كان في أوربا وشمال أفريقيا. الطريقة قد استخدمت فقط في مدى محدود جدا للاستكشاف البترولي في الولايات المتحدة بسبب أنها موجهة أساسا لاستطلاع المناطق غير المستكشفة، وفي الوقت الذي أدخلت فيه كانت هناك مناطق قليلة في الولايات المتحدة، والتي كانت تعتبر مناسبة لها.

ويوجد عدد من الطرق مؤسسة على استعمال التيارات الكهربية الأرضية وتطبيقها على الاستكشاف البترولي- قد نوقش بواسطة فوزوف وآخرين .Vozoff et al - الأقدم يتضمن استخدام التيارات الكهربية الأرضية فقط. وطريقة الكهرومغناطيسية الأكثر تقدما في نشأتها والتي فيها ترتبط التيارات الأرضية الطبيعية مع تذبذباتها المغناطيسية المصاحبة، قد أصبحت الآن أوسع استخداما. وطريقة AFMAG (المغناطيسية الأرضية سمعية التردد) تقيس التذبذبات الطبيعية للمجال المغناطيسي الأرضي عند الترددات السمعية.

1-12 طريقة التيار الأرضي المغناطيسي[5]

تحث معظم التيارات الأرضية في الأرض بتغيرات في المجال المغناطيسي الأرضي مع الزمن. التيارات الأرضية ذات الأهمية في الاستكشاف يكون لها تردد عال، ومن الممكن أن تؤخذ على أنها تشويش إذا ما أخذت القياسات المغناطيسية التقليدية في الاعتبار. التيارات الكهربية والتقلبات المغناطيسية المسببة لها تكون مشابهة جدا في الشكل، كما هو موضح في شكل (1.20) بالرغم من أن هناك تخلفا طوريا" بين الاثنين. في 1953 بين كانيارد Cagniard كيف أن النسبة للمجال المغناطيسي المتردد إلى المجال الكهربي المتردد، الموقعة كدالة للتردد، وصل الجيوفزيائيون في الاتحاد السوفيتي U.S.S.R إلى نفس الاستنتاج بطريقة مستقلة. ولقد

نشر فوزوف Vozoff مقالة تستعرض هذه الطريقة، التي تلخص الحالة التي وصلت اليها هـذه الطريقة حتى 1971.



شكل (2D-1) إشارات كهرومغناطيسية أرضية نمطية توضح ، من أعلى الى أسفل ، التغير في المجال الكهربي في الاتجاهات x , y والتغيرات في المجال المغناطيسي في الاتجاهات x , y , z . الفترة الزمنية من ثورة الى ثورة التي يطلق الصيحة الجوية عند القاع هي 1 s .

التذبذبات المغناطيسية ذات التردد المنخفض(أقل من 1Hz) تقترن بالتيارات التي تسري في الايونوسفير،وهي طبقة مكهربة تحيط بالأرض بعد محيطها الجوي. الإشارات ذات التردد الأعلى تقترن عادة بظواهر جوية (ميتورولوجية) مثل العواصف الرعدية والدوامات الهوائية العنيفة. بعض التشويش يأتي من مصادر صنعها الإنسان مثل القطارات الكهربية.

عمليات الكهرومغناطيسية الأرضية تتضمن القياسات المتزامنة للمجالات الكهربية المتذبذبة والمجالات المغناطيسية عند نفس الوضع مع التسجيل على مدى ترددي يعتمد على عمق الهدف. كلما انخفض التردد، كبر عمق الاختراق. ومن قياسات السعات النسبية للإشارات المناظرة عند كل مركبة تردد، نستطيع أن نحسب المقاومة النوعية الظاهرية لأكبر عمق في الأرض تخترقه الطاقة عند هذا التردد. المجالات المناظرة التي تعين لها النسبة تتعامد مع بعضها، وتقاس عادة في الاتجاهات، شمال- جنوب، شرق- غرب، والراسي. للحصول على وصف كامل لتغيرات المقاومة النوعية في الاتجاه الرأسي، وبالتبادل في الاتجاهات الأفقية المتعامدة أيضا، يجب قياس مركبتين أفقيتين لكلا المجالين، والمركبة الرأسية للمجال المغناطيسي. يجب أذن تسجيل خمس كميات متغيرة.

13-1 اخطار العواصف الرعدية على الطيران [6 ,2]

تعتبر العواصف الرعدية من اشد الظواهر الجوية خطورة على الطيران اذ انها تظم بين جنباتها جميع الظواهر الجوية الخطرة على الطيران وفيما يلي الاخطار مرتبة حسب درجة خطورتها:

التيارات الراسية الشديدة والدوامات الهوائية.

تحتوي العاصفة الرعدية على تيارات صاعدة وتيارات هابطة شديدة وقد تبلغ سرعة التيارات الصاعدة والهابطة من الشدة بحيث تتمكن من رفع الطائرة الى اعلى او اسفل بعدل قد يبلغ 1000 متر في الدقيقة وبذلك لا يتمكن الطيار من التحكم بطائرته وفي مرحلة وجود التيار الصاعد بجانب التيار الهابط تتولد دوامات هوائية شديدة قد تتمكن من تحطيم الطائرة او بعض اجزائها وتكون هذه التيارات وما يصاحبها من دوامات من اشد ما يمكن في ثلثي الغيمة السفلي وفي الغيوم الانبوبية الشكل Roll Cloud الذي يتكون احيانا في مقدمة العاصفة ويكون ذلك دليل على ان هذه العاصفة من اشد الانواع خطورة على الطيران.

ب. البرد(الحالوب) Hail

يتكون البرد في العاصفة الرعدية نتيجة وجود تيارات هوائية صاعدة وهابطة شديدة. وحجم كرات البرد تتوقف على شدة التيارات الهوائية الصاعدة والهابطة في غيوم الركام المزني Cb وكلما اشتدت هذه التيارات كبر حجمها الى حجم كرة التنس او اكبر وتنحصر خطورة البرد في اصطدامه بسطح الطائرة مما قد يسبب تهشم بعض اجزاء الطائرة وتغيير شكلها الانسيابي.

واذا ما حدث في الارتفاعات العالية بدرجة كبيرة قد يسبب انفجار الطائرة نظرا للفرق الكبير بين الضغط في الخارج والضغط العالي داخل الطائرة.

جـ-تكون الجليد على الطائرة

يتكون الجليد على الطائرات في الغيوم الرعدية بدرجة شديدة نتيجة غزارة قطرات الماء فوق المبردة وشدة التيارات الهوائية الصاعدة والهابطة بهذه الغيوم ويتكون الجليد الشفاف فيما بين مستوى -11°م ومستوى -18 °م . على ان تكون الجليد على الطائرات في الغيوم الرعدية يختلف في مراحل النمو المختلفة للغيمة ففي مرحلة النمو يكون تكون الجليد بين مستوى التجمد ودرجة -18 °م اما في مرحلة النضج فان تكون الجليد يتبع اتجاه التيارات الرأسية ففي منطقة التيارات الصاعدة يتكون الجليد فوق مستوى التجمد- وفي رحلة الشيخوخة يتكون الجليد ايضا في طبقة رقيقة فوق مستوى التجمد.

د. التفريغ الكهربائي

تتميز الغيوم الرعدية بحدوث انفصال في الشحنات الكهربائية داخلها فتتجمع الشحنات السالبة في أعلى الغيمة والشحنات الموجبة في اسفلها وينتج عن ذلك تولد فرق جهد ولكن نظرا لان الهواء عازل كهربائي فانه يحول دون مرور تيار كهربائي اذا ما كان فرق الجهد صغيرا اما اذا وصل فرق الجهد المتولد بهذه الطريقة الى درجة عالية بحيث لا يتمكن الهواء من عزل الكهربائية يحدث التفريغ- رفع هذا التفريغ ترتفع درجة حرارة الممر الذي سارت فيه الكهربائية الى درجة عالية مما يسبب حدوث ضوء شديد يسمى البرق كما ينتج عن ذلك تمدد فجائي للهواء يسبب صوتا شديدا يسمى الرعد. وليس للبرق خطرا محسوس على الطائرات المعدنية ذات الاسطح الخارجية جيدة التوصيل ولكن خطورته تظهر على الطائرات المصنوعة من اجزاء خشبية اوبلاستيكية . كما ان البرق يسبب عمى مؤقت للطيار مما يفقده التحكم في القيادة كما انه يتداخل في الاتصالات اللاسلكية ويسبب تشويشا شديدا ومع هذا فالبرق يرشد الطيار اثناء الليل عن مكان العواصف الرعدية وبذلك يمكن تجنبها.

هـ. الهطول الشديد وانعدام الرؤية

يتميز الهطول النازل من العواصف الرعدية بالشدة كما ان الرؤية تكون منعدمة داخل هذه العواصف وخاصة اذا كانت قاعدة الغيم منخفضة.

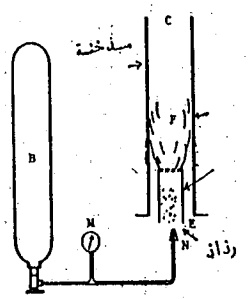
14-1 السيطرة على الهطول اصطناعيا [6 6 2]

ان تعرفنا للعوامل التي تؤدي الى نموالهطول او عدمه يمكننا من السيطرة الجزئية على هذه العمليات لغرض الحد من نشاطها المدمر ولا سيما من نمو البرد الكبير وفي تخفيض حدة الرياح وتبديد الضباب والسحب الواطئة فوق المطارات او لزيادة نشاطها للحصول على الهطول التي نحتاجها لاغراض الزراعة والشرب وتوليد القدرة الكهربائية ولمحاربة حرائق الغابات او لتحوير المناخ المحلي كزيادة درجة حررة الارض في المناطق الباردة بتبديد السحب الطبقية التي تحجب الاشعاع الشمسي، فلقد امكن رفع درجة الحرارة في منطقة موسكو مثلا بمقدار(8-7 س°) بهذه الطريقة.

وهناك عاملان مهمان في نمو الهطول يمكن استغلالهما للسيطرة على السحب وهما:

1- ينمو الهطول بطريقة التصادم والالتحام عند تواجد قطيرات كبيرة (50-30) مـــايكرون وبتركيز 50/م^3 للسحب البحرية، 200/م^3 للسحب العملاقة بتركيز 1000 بلورة/ لتر. وهذه الطريقة مفيدة للسحب الدافئة بصورة خاصة ولكنها اقل كفاءة بكثير مـــن تطعيـــم الســـحب المفرطة التبريد.

2- ان اغلب سحب الغروض الوسطي والعليا، هي سحب مختلطة لذلك يمكن تحفيزها بادخـــال بلورات الثلج او ايوديد الفضة بدرجة-10 °س للحصول على بلورات ثلجية وبتركيز مناسب (1 بلورة/لتر) في درجات اقل من -5 °س او برش قمتها بالجليد الجاف (ثـــاني اوكســيد الكاربون الجامد بدرجة -78 °س). كذلك فان الاهتزاز يؤدي الى تجميد القطيرات المفرطة التبريد، وتنقل هذه النويات عادة بواسطة صواريخ صغيرة، ولعل ارخص وانسب طريقـــة لتطعيم السحب الباردة هو بواسطة بخار ايوديد الفضة المرسل من مواقد ارضية تعمل بوقود البروبان او الكيروسين او الهايدروجين بتبخرة من محلوله في الاسيتون(الشكل 1.21) ولقد



الشكل (١ - ١٧)
موقد ارضي لبخار ايوديد الفضـــة AgI_2

3-استخدمت الصواريخ المحملة بايوديد الفضة في عديد من الاقطار مثل الاتحاد السوفيتي وايطاليا لايصال انفجارها ايضا في تجميد القطيرات بالاهتزاز ، اضافة الى الاقتصاد في كمية الأيوديد، ولتجنب تأثير اشعة الشمس في تقليل فعاليته، ويمكن الحصول على 10^{14} بلورة فعالة /غم من ايوديد الفضة بدرجة -10 °س، فيمكن تحت الظروف المناسبة اسقاط مليون طن من الماء من هذه السحب باستخدام (10-20) غم من ايوديد الفضة، ولا سيما عندما تكون قمة السحابة ابرد من (-10 °س). ولقد استخدمت هذه الطريقة بنجاح في الاتحاد السوفيتي لزيادة الهطول بمقدار 10-15% ولتبديد الضباب والسحب الطبقية الواطئة(-4 °س) وفي الحد من اضرار البرد لمقدار 75% في القفقاس وارمينيا، كذلك امكن زيادة الهطول في استراليا بهذه الطريقة بمقدار (26-32)% في مقاطعتي(نيوانكلند) و(نيوساوث ويلز) في شرق استراليا،كذلك امكن تخفيض سرعة الرياح في الاعاصير المدارية بحدود 15% ولا سيما على بعد (20-30) كم من مركزها باسقاط زهاء 35 كغم من الجليد الجاف او باسقاط قنابل من ايوديد الفضة فوق قمم السحب الركامية للأعصار.

ولا نحتاج في السحب المفرطة التبريد اكثر من (100-200) غم من الثلج الجاف او بضع غرامات من AgI لتطعيم الكيلومتر المكعب من السحابة. ولقد لوحظ ان السحب التي قممها تصل الى -15 °س لا تحتاج الى عملية الزرع لانها تمطر بصورة طبيعية، ولكن عملية الزرع تفيد احيانا انماط للتحكم في سقوط الهطول في المكان المناسب مثل الخزان او البحيرة او الحقل، اما الزرع المبكر في السحب الركامية فهو لغرض تبديدها لتجنب نمو البرد والرياح المدمرة، ولا شك ان العراق سيحتاج مستقبلا الى زيادة الهطول فوق الجبال الشمالية، لحاجتنا المتزايدة للري والشرب ولتوليد الطاقة الكهرومائية. وان انسب وقت لذلك هي اشهر كانون ثاني، شباط، اذار، نيسان، حيث يبلغ معدل الغطاء الشهري للسحب في الشمال من جميع الانواع قرابة 4.8 ثمنا

وللسحب الواطئة 3.5 ثمنا ولا بد من دراسة مناخية تفصيلية لانواع السحب في العـــراق قبـل الشروع باجراء التجارب عليها لان الزرع العشوائي قد يؤدي الى نتائج معكوسة.

وتقوم منظمة (W.M.O) بتجربة متكاملة لتحوير الطقس وزيادة الهطول (PEP) تنفيذا لمقررات المؤتمر السابع(1975). ابتداء من كانون الثاني 1979 في اسبانيا(قرب مدينة بلد الوليـــد). لان الموقع منبسط (مساحته 50 الف كم^2) وفيه معلومات عن الهطول لفترة 40 سنة. ولقد ســـاهمت فيه العديد من الدول بامكانيات علمية وتقنية متكاملة (رادار. تابع الطقس الاوربـــي Mcteosat، رادیو سوند، طائرات مجهزة بأجهزة قياس عناصر السحب، مختبرات تنبؤ، شبكة من مقـــاييس المطر...الخ) وسوف تكون التجربة ذات نتائج مهمة بسبب تكامل عناصر نجاحها.

ولكن وسائل الانذار المبكر كثيرة، حيث تستخدم الاقمار الاصطناعية الانوائية لارسال صور لـه الى المراكز الارضية، وبذلك يمكن تغيبه ومعرفة المناطق التي ستمر فوقـــها، كذلـك تســتخدم طائرات الاستكشاف والرادار، واجهزة رصد امواج المحيط على الشواطئ.

وباســتخدام الاجـــهزة اللاســلكية الاتجاهيـــة واجـــهزة قيـــاس الـــهزات الارضيـــة المجهرية (Microscisms)، كلها تساعد على تحديد موقعه، وتتبع حركته.

15-1 رادار الطقس Weather Radar [7 ، 4]

لقد وجد خلال الحرب العالمية بان اجهزة الرادار المتطورة والمصممة لرصد البواخر والطائرات قد تتعرض للتشوش اثناء عملها بسبب وجود التقلبات الجوية. ولقد بينـــت الدراســـات النظريـــة والعلمية التي اجريت خلال الاربعينات ان التشويش الذي يتعرض له الـــرادار يحـــدث بســـبب التشتت الكهرومغناطيسي المتولد عن الهطول. ولقد اجريت بعض التنقيحات والتوســـيعات علـــى الدراسات السابقة بحيث اصبحت غالبية الخصائص المقاسة للامواج الراداريـــة المرتـــدة عـــن الهطول يمكن التعبير عنها بدلالة الحجوم والاشـــكال والحركـــات والحـــالات الثرموداينميكيـــة لحشيمات الهطول.

لقد اصبحت اجهزة الرادار من ادوات الرصد الاساسية لدراسة نمو وتطور العواصف وتكـــون الهطول. كما اصبحت بعد ارتباطها بالحاسبات الا اكترونية من اهم الاجهزة لابحـــاث الانـــواء الجوية.

وقد قدم باتان بكتابه الذي صدر عام 1973 دراسة تفصيلية عن أسس الرادار وتطبيقاتـــه فـــي الانواء الجوية يمكن الرجوع اليها عند طلب المزيد من المعلومات.

أسس الرادار Principles of Radar [7]

تتألف المكونات الاساسية لجهاز الرادار من:

1- الجزء الباعث أو المرسل Transmitter

2- الجزء الهوائي Antenna

3- الجزء المستقبل أو المستلم Receiver

فالجزء الباعث او المرسل يولد نبضات او ومضات قصيرة Short Pulses مـــن الطاقـــة فـــي منطقة التردد الراديوي من الطيف الكهرومغناطيسي وهذه تجمع وتركز على شكل حزمة ضيقـــة قبل الهوائي. وإذا صادف ان قطعت هذه الومضات جسما يختلف بمعامل انكساره عن الهواء من حيث الخصائص فان تيارا محتثا يتولد في هذا الجسم والذي يؤدي بدوره الى تهيج الومضـــات ويتسبب في تشتت قسم من الطاقة. كما ان قسما من الطاقة المشتتة بشكل عام تتجه مرتدة نحـــو الهوائي، فإذا كانت المركبة المرتدة لهذه الطاقة المشتتة كبيرة بما فيه الكفاية فعنـــد ئـــذ يمكـــن التحسس بها عن طريق الجزء المستقبل او المستلم.

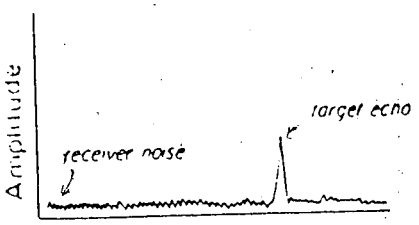
ان العمل الرئيسي للرادار هو قياس المدى Range والتحمل Bearing للتشـــتت المرتد Back Scattering للاجسام او الاهداف والمدى يقاس عادة بدائرة توقيت يمكنها ان تحســـب الزمـــن اللازم لارسال النبضة واستلام اشارتها. اما الاتجاه فيمكن تحديده عن طريق ملاحظـــة ارتفـــاع وزاوية سمت الرأس Azimuth للهوائي في لحظة استلام اشارة النبضة.

ان من اساسيات الرادار هو جهاز العارض(او شاشة العرض) A-Scope الذي يوضح رسما تخطيطيا Oscillograoh Trace يبين تغير السعة لنبضة عائدة مع تغير الزمن بعد انبعاثها كما في الشكل (1.22). وبما ان الطاقة تنتقل بسرعة قدرها (C) لذا فان الفترة الزمنية (t) بين الانبعاث والاستلام بالنسبة لمدى الهدف (r) تعطي بالعلاقة:

$$r = ct/2$$

وقد ظهر الرقم(1/2) بالمعادلة اعلاه بسبب كون الطاقة يجب ان تكمل رحلتها للمدى (R) ذهابا وايابا في زمن قدره(t).

ويبدو حساب الزمن عادة منذ بدء انبعاث كل نبضة وهذا- تحت بعض الظروف- يمكن ان يؤدي الى تحديد غير واضح للمدى. لنفرض ان هدفا معينا وضع على مسافة بعيدة من الباعث بحيث ان عودة النبضة لا تستلم الا بعد ان تنبعث نبضة اخرى. وفي هذه الحالة يحدث خطأ يتولد عنه ظهور مدى قريب.



شكل (١ - ٢٢) [7]

ولتردد معادلة لنبضة رادار معلومة يوجد مدى ذو نهاية عظمى تكون فيه الاهداف واضحة بشكل صحيح. وان الاهداف التي تقع بعد R_{max} والتي تحتفظ بطاقة كافية لكي يتحسس بـــها تظـــهر غموضا خلال نفس المدى. ويعطي اعظم مدى غير غامض بالعلاقة الاتية:

$$R_{max} = c/2\,fr$$

حيث يمثل fr تردد النبضة المعاد.

ولعل من اهم العوامل المهمة في الرادار والقيم النموذجية لرادار الجو تنحصر بما يلي:

1-قدرة القمة Peak Power أي القدرة الاتية في النبضة (Power Instantaneous) ويرمـز لها بالرمز p حيث:

$$10< p1<5\times103kw$$

2-التردد الراديوي(Radio Frequency) ويرمز لها بالرمز v حيث:

$$3<v<30\ GHz$$

وذلك للامواج التي تتراوح اطوالها بين(1) و(10) سنتيمترا.

3-تردد النبضة المعاد Pulse Repetition Frequency ويرمز لها بالرمز fr حيث:

$$200<fr<2000sec^{-1}$$

4-الفترة الزمنية للنبضة Pulse Duration ويرمز لها بالرمز r حيث:

$$0.1<r<5\mu sec$$

كما انه من بين العوامل المهمة في الرادار والتي تلعب دورا كبيرا في موضوع الانواء الجويـــة هي عرض الحزمة الرادارية Beamwidth والتي يمكن ان تحددعن طريق معرفة طول الموجة من جهة وحجم وشكل الهوائي من جهة اخرى. ويمكن ان يعرف عـــرض الحزمـــة الراداريـــة بالرجوع الى هيئة الهوائي والتي هي بدورها تمثل العلاقة البيانية بين الشـــدة المنبعثـــة كدالـــة للمسافة الزاوية عن محور الحزمة Beam Axis وتكون عادة مثل هـــذه الاشـــكال- بصـــورة عامة- مختلفة للمستويات التي تمر من المحور وباتجاهات مختلفة:

وقد استعمل العديد من الهوائيات التي تكون على شكل قطع مكافئ Paraboloidal ولوحظ بـان اشكال الحزم تكون متشابهة عموما لجميع المستويات التي تمر بالمحور.

وعلى العموم فان عرض الحزمة يمكن ان يعرف بانه المسافة الزاوية التي تفصل بين النقاط التي تقل عندها الشدة المنبعثة الى نصف قيمتها العظمى.

وتتصف هيئات الهوائي عادة بانتاج فصوص جانبية Sidelobes والتي هي بشكل عـام غـير مرغوب فيها الا ان تجنبها ليس بالامر اليسير. ويتم تصميم الهوائي عن طريق الحصول علـى توافق مقبول بين خواص الانتفاخات الرئيسية Mainlobes والانتفاخات الجانبية.



الفصل الثاني

كهربائية الجو

كهربائية الجو Atmospheric Electricity [4]

مقدمة

يعالج هذا الموضوع الظواهر الكهربائية الجوية لطبقات الهواء السفلي(التروبوسفير)، وبما أن طبقات الجو الأرضي تؤثر على بعضها البعض، ولو بدرجات متفاوتة، لذلك فسوف نتطرق إلى طبقة الأيونسفير بشيء من الإيجاز لأهميتها في المواصلات اللاسلكية، ولتأثيراتها على كهربائية الجو السفلي.

وتعتبر الزوبعة الرعدية من أكثر الظواهر الكهربائية شيوعا"، لكثرة حدوثها في الجو المضطرب. ولكن هناك العديد من الظواهر الكهربائية الجميلة، تظهر في مناطق من الكرة الأرضية، مثل الشفق القطبي ونار القديس الموء وغيرها،و هناك ظواهر كهربائية ملحوظة في الجو الصاحي، درست باستمرار منذ بداية هذا القرن، ولقد اتفق حديثا" بأن كهربائية الجو الصاحي ترتبط بكهربائية السحب الرعدية كما سنرى.

1-2 المجال الكهربائي الجوي:

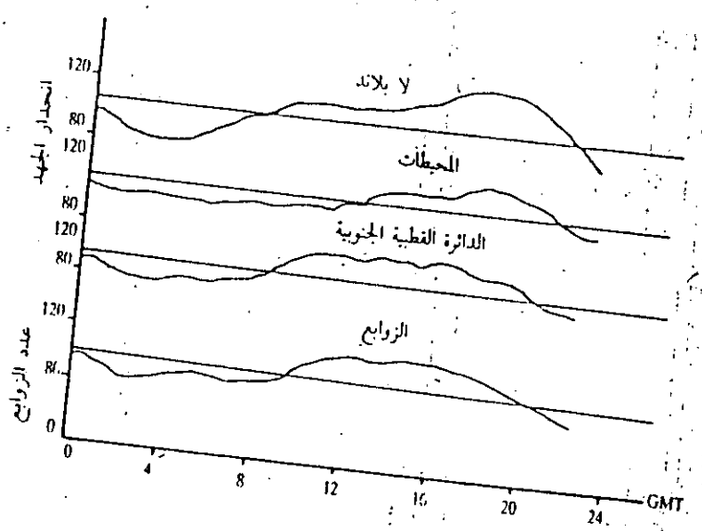
تعتبر المركبة الشاقولية للمجال الكهربائي الأرضي (E) من الظواهر الكهربائية المهمة في الجو ويعبر عنها احيانا بانحدار الجهد الكهربائي dV/dZ- أو بدلالة كثافة الشحنة السطحية (ρ) حيث:

$$E = \frac{-dV}{dZ} = \frac{\rho}{\varepsilon_0} \qquad (2\text{-}1)$$

وتهمل المركبة الأفقية للمجال في الجو الصاحي لصغرها.

وبالرغم من اعتبار الهواء عازل للكهربائية إلا أننا نتمكن دائما من التحسس وقياس المجال الكهربائي والتيار الكهربائي الذي ينساب من الجو متجها نحو الأرض أي أن هناك في الجو محصلة شحنات فضائية موجبة(Positive Space Charge) وعلى سطح الأرض شحنات سالبة الجدول(1-2) وبالرغم من التغييرات الكبيرة للمجال الكهربائي بجوار الزوابع الرعدية، إلا أنها لا تشكل إلا نسبة ضئيلة(تقل عن 1% من سطح الكرة الأرضية). ويقل المجال الكهربائي مع الارتفاع (الجهد يزداد مع الارتفاع).حيث يبلغ مقداره 130 ف / م قرب سطح الأرض، 120 ف / م فوق سطح البحر ليصل إلى 4 ف / م على ارتفاع 10 كم. وذلك بسبب زيادة التوصيلة الكهربائية للهواء (زيادة التأين) حيث تبلغ قيمتها على ارتفاع 18 كم زهاء مئة مرة على قيمتها

السطحية. ويعاني المجال الكهربائي الأرضي تغيرا يوميا وفصليا ولا سيما إذا قيس فوق البحر أو في المناطق القطبية بعيدا عن مصادر التلوث. ويبلغ ذروته في الساعة 19 بتوقيت كرينج وأدناه الساعة 4 بتوقيت كرينج (2.1) ولقد فسره العالم ويلسون (1922) بأنه يتزامن مع التغيير اليومي لعدد الزوابع الرعدية حول الكرة الأرضية (1-2).

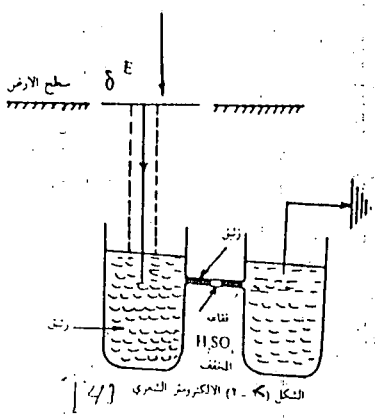


الشكل (1-2)

تغير المجال الكهربائي مع الوقت الدولي. لاحظ تزامنه مع نشاط الزوابع الرعدية حول الكرة الأرضية (ويبل) [4/1].

2-2 قياس المجال الكهربائي قرب سطح الأرض

لقد قاس ويلسون (1916-1920) المجال الكهربائي للشحنات الكهربائية التي تولدها الزوابع الرعدية، الالكترومتر الشعري (الشكل 2.2). فهو يتكون من قرص معدني مساحته ام^2 يحل محل جزء من سطح الأرض حيث يوضع في حفرة ويحاط بحلقة معدنية متصلة بالأرض، وفي مستواه (حلقة حارسة). ويمكن حجب المجال الكهربائي عن القرص بغطاء معدني متصل بالأرض. ويمكن جعل جهد القرص صفرا" من خلال ربطه بسلك مغمورة نهايته السفلى بحوض من الزئبق يقع على طرفي أنبوبة شعرية فيها فقاعة من حامض الكبريتيك، ويربط الطرف الأخر من حوض الزئبق بسلك تتغير سعتها بتغير مساحة هذا السطح. فإذا تغير المجال الكهربائي فوق القرص(بسبب الزوابع الرعدية مثلا) تولدت شحنة محتثة على سطحه مقدارها(δQ)



الشكل (٢ - ٢) الالكترومتر الشعري [47]

بفرض الالكترومتر الشعري من خلال السلك المار خلال الأنبوب. فإذا رفعت الكرة حول مفصل عند سطح الأرض، من سطح الأرض، إلى ارتفاع (h) حيث يكون الجهد الكهربائي(V) بالنسبة للأرض فإنها تكتسب شحنة محتثة قدرها(Q) وذلك لغرض البقاء على جهدها الأصلي(الصفر)، حيث:

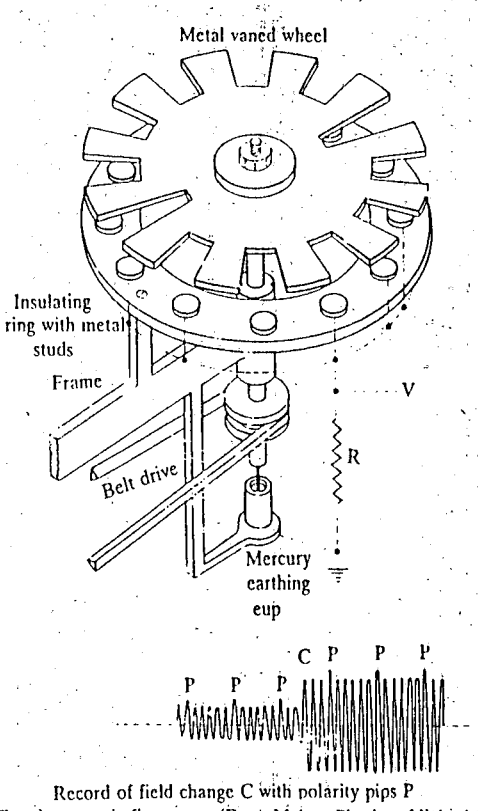
$$V + \frac{KQ}{r} - \frac{KQ}{2h} = 0 \qquad (2-2)$$

حيث (r) نصف قطر الكرة $K = 9 \times 10^9$ فولط.م/ كولمب والحد الثاني يمثل جهد الشحنة المحتثة على الكرة، والحد الثالث يمثل جهد صورة الشحنة(معاكسة بالإشارة للشحنة وعلى بعد (-h) وتقاس Q بالالكترومتر الشعري. ومن ثم يحتسب (V) ثم المجال الكهربائي(E)، حيث:....

$$E = V / h$$

ولغرض تسجيل المجال الكهربائي بصورة مستمرة استخدم العالمان (مالان) و(شونلاند) جهاز طاحونة المجال (Field Mill) كما في الشكل (2-4) فهو يتكون من قرصين الأعلى معدني ثابت ومشقق وموصول بالأرض والقرص الأسفل متحرك ومصنوع من مادة عازلة وفيه أزرار معدنية (Studs) مثبتة قرب محيطه. وتتصل مع بعضها بالأرض من خلال مقاومة كهربائية (R) بسبب حركة الشحنات المحتثة بين الأزرار والأرض، ويضخم هذا الجهد، ثم يسلط الجهد المضخم على قطبي المذبذب المهبطي أو على راسم الكتروني (Pen-Recorder).

ولاكتشاف قطبية المجال(سالب أو موجب) هناك شقان متقابلان عميقان عند القرص العلوي، وزران إضافيان في القرص الأسفل قريبان من محور الدوران، ففي كل دورة يزداد أو يقل المجال بالجهد المختث عند هذين الزرين الإضافيين وتسجل إشارة إلى الأعلى أو الأسفل (P) كما في الشكل (2.4) فإذا كان عدد الأزرار (N) وبدور القرص(m) دورة من الثانية فإن تردد الفولطية المحثثة (Nm).



Record of field change C with polarity pips P
The electrostatic fiuxmeter. (From Malan, Physics of lightning.

الشكل (٢ـ ٤) طاحونة المجال الكهربائي [4]

ويمكن صنع جهاز من هذا النوع يتحسس بمجالات تتغير بمعدل يقل عن ملي ثانية (mis). ويستخدم الجهاز الأخير في طائرات الأبحاث، لقياس المجالات الكهربائية داخل السحب لمعرفة توزيع الشحنات خلالها، لوضع نظرية متكاملة عن كهربائية السحب.

2-3 التأين الجوي

الأيون كلمة أطلقها(فرادي) على الجسيمات المشحونة من الذرات والجزيئات، وأن وجودها في الغاز أو السائل تجعله وسطا" موصلا" للكهربائية.

تتولد الأيونات في الجو الأرضي الأسفل بصورة رئيسة من امتصاص جزيئات الهواء للإشعاعات الكونية الثانوية، أو من الإشعاعات الصادرة من المواد ذات النشاط الإشعاعي الأرضي، أو من انشطار قطرات الماء أو بالاحتكاك بين جسيمات الثلج أو الرمل بتأثير الرياح. ويزداد مفعول الأشعة السينية والأشعة ما وراء البنفسجية القادمتين من الشمس مع الارتفاع حيث تلعبان دورا مهما في التأين الشديد للجو على ارتفاعات تتجاوز 50 كم. أما الأشعة الأولية فتكون قليلة التأين في أعالي الجو بسبب قلة الجسيمات هناك.

أن عملية التأين تتم بامتصاص الجسيمات المتعادلة الشحنة لطاقة إشعاعية أو طاقة حركية من جسيمة ذات طاقة عالية فتتفكك الجزيئة إلى ذراتها مثل(N_2, O_2) أو أكثر من الجسيمة المتعادلة، وتصبح الأخيرة أيونا موجب الشحنة بتحرر الكترون أما الالكترون فلا يلبث أن يتعلق بجسيمة متعادلة لتصبح أيونا سالبا أو يتعادل مع شحنة أيون موجب ولا سيما في الجو الأسفل وقد تكون الأيونات صغيرة (الكترون أو ذرة متأينة مثلا) كبيرة الانسيابية (Mobility) حيث تقارب1.5 سم^2 / ثا فولط، أو كبيرة و بطيئة الحركة انسيابيتها تقارب (10^{-4}-10^{-2}) سم^2/ ثا فولط، مثل جسيمة التراب أو الجزيئة المركبة أو قطرة الماء أو كتلة الثلج.

وتتسارع الأيونات بالمجال الكهربائي الأرضي مولدة تيارا كهربائيا، ولكن متوسط المسار الحر(Mean Free Path) لها قرب سطح الأرض- لا يتجاوز (10) أنسكتروم(0.001 مايكرون)، لذلك فإن هذه الأيونات تعاني الكثير من التصادم العشوائي المتعرج. وتسير بمعدل سرعة انجراف(Drift Velocity) تعتمد على شحنة وكتلة الأيون وعلى شدة المجال الكهربائي الأرضي، وعلى متوسط المسار الحر. وتعرف انسيابية (λ) الأيون (Mobility) بأنها النسبة بين سرعة الانجراف وشدة المجال الكهربائي المؤثرة عليه.

أما التوصيلة الكهربائية (Electrical Conductivity) فهي النسبة بين كثافة التيار الكهربائي(J) وشدة المجال الكهربائي المؤثر عليه (E) ويرمز لها (σ)

$$\underline{J} = \sigma \underline{E} \qquad (2\text{-}1)$$

$$\underline{V} = \lambda \underline{E} \qquad (2\text{-}3)$$

وتشكل الأيونات الصغيرة قرابة 95% من مجموع التوصيلة الكهربائية الجوية. وبما أن الأيونات الصغيرة تتدمر باستمرار باتحادها مع أيونات مغايرة في الشحنة أو بالتصاقها بجسيمات هباء كبيرة، فأن سرعة حدوث هذه العمليات يتطلب معرفة الكثافة العددية لهذه الأيونات في الجو فيكون تركيز الأيونات الصغيرة فوق سطح البحر أكثر منه فوق اليابسة.

أن سرعة إعادة الاتحاد(Recombination Rate) بين الأيونات المتباينة الشحنة تتناسب مع حاصل ضرب الكثافة الأيونية لكل نوع، فعندما يتعادل معدل الانتاج الأيوني(P) مع معدل التدمير الأيوني فأن

$$P = a\,n + b\,n\,N \qquad (2\text{-}4)$$

حيث n و N الكثافة العددية للأيونات الصغيرة والكبيرة على التوالي ومن كل الإشارتين، (a) معامل إعادة الاتحاد للأيونات الصغيرة (وقيمة تقارب ($1.6*10^{-6}$) سم^3/ ثا في الظروف القياسية)، (b) معامل الاتحاد بين الأيونات الصغيرة والكبيرة (وقيمته تقارب ($2*10^{-6}$) سم^3/ ثا في الظروف القياسية) ويشمل الأيونات المشحونة منها والمتعادلة، ويصبح الحد(an^2) مهما فوق 1 كم، أما الحد(b n N) فهو مهم قرب سطح الأرض.

2-4 التيار الكهربائي بين الجو والأرض

لقد أثبتت التجارب بأن هناك محصلة للشحنات الموجبة في الجو الأرضي(تقارب1,2 مرة كثافة الشحنات السالبة) تبلغ ذروتها في الجو الأسفل وينتج التيار الكهربائي الجوي من حركة الشحنات الموجبة في الجو الأرضي إلى سطح الأرض السالب الشحنة، ويتكون هذا التيار من المصادر التالية:-

أ -تيار التوصيل بين الجو والأرض

ب - تيار الهطول.

جـ- تيار الحمل.

ء -تيار الصواعق.

هـ -تيار الأسنة.

وتسمى المركبة الأولى للتيار بتيار الجو الصاحي(Fair Weather Current) ويمثل حركة شحنات نحو الأسفل للأيونات الموجبة حول الكرة الأرضية، في المناطق التي لا تحتوي على

الزوابع الرعدية، وهو يمثل أعلى مركبة للتيار بين الجو والأرض وتقدر كثافته($3*10^{-12}$) أمبير/ م^2 (1800 أمبير لمجموع الأرض) وهو يسري في المنطقة الموصلة للجزء الأسفل من الايونسفير إلى الأرض السالبة، وتدل القياسات بأن مقداره لا يتغير مع الارتفاع. أما تيار الهطول فهو يمثل الحركة نحو الأسفل للشحنة القادمة من السحب نحو الأرض محمولة على جسيمات الهطول في الأجواء المضطربة حيث تنقل شحنات موجبة وسالبة، ولكن القياسات تدل ان اغلب الشحنات موجبة، ولكن هناك تفاوت واسع في النتائج؛ بسبب التفاوت في شدة الهطول وطبيعته واختلاف ظروف التجربة وطرق الجمع والقياس له. ويتراوح تيار الهطول لمطر متصل من 1 إلى 100 مايكرو أمبير/ كم^2. أما في الزوابع الرعدية فقد تتراوح كثافته (10-2 ملي أمبير/كم^2). وهناك احتمال كبير بان القطرات الساقطة في طريقها إلى الأرض تلتقط شحنات إضافية من الهواء في اسفل السحابة وهي بذلك لا تمثل شحنات السحابة التي سقطت منها.

أما تيارات الحمل الناتجة عن الحركة المضطربة للهواء، فتنتقل شحنات بين الجو الأرض ولكن بصورة عشوائية وغير منتظمة، أو مغروفة. كذلك بالنسبة لتيارات الحمل النشطة داخل السحب الرعدية.

ان حركة الشحنات الكهربائية في الغلاف الجوي يكون بتيار كهربائي يسري الى الارض ويحمل شحنة موجبة اليه ؛ ومن الملاحظ فان كثافة هذا التيار قليلة نسبيا بحدود (3-10)PAmp /m^2 .ان مقدار التيار المتولد يساوي 1.5KAmp لكل الارض وهذا المقدار تقريبا ثابت وكثافته عمليا لا تعتمد على الموقع من خط العرض.

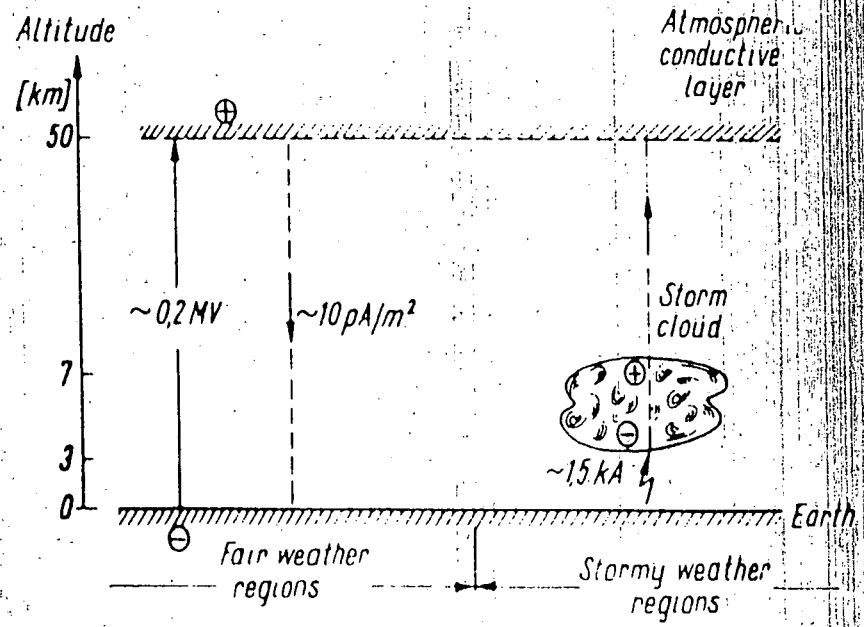
بناءا على ذلك فان الارض مشابهة الى حد كبير لمولدة عملاقة تنتج في الغلاف الجوي تيار مقداره 1.5 KA [8].

اذا كانت توصيلية الهواء متشابهة في كل خطوط العرض عندئذ فان شكل المجال الكهربائي بوجود التيار يكون منتظم ومشابه لمجال الكهربائية المستقرة (Electrostatic Field) في المكثفات. على كل حال فان توصيلية الهواء غير منتظمة وشدة المجال تكون اعلى بالقرب من سطح الارض لكن التوصيلية تكون اقل ما يمكن.

والان في حالة وجود السحب فان شكل المجال الكهربائي يوضح تغيره الاساسي. مليا شدة المجال في بعض المواقع يتغير بصورة كبيرة وتصل الى قيم اعلى من قيمة المجال في الاجواء الاعتيادية وان جهد الارض يكون اعلى من جهد السحاب او الغيوم . عند حدوث عملية التفريغ فان الشحنة السالبة سوف تحمل (تسري) من السحب الى الارض. في الحقيقة فان اغلبية التفريغ

للجو يحصل خلال الرعد . ان عملية التفريغ هذه تؤدي الى شحن الارض بشحنة موجبة .

يمكن توضيح العملية اعلاه بالشكل(2-5):



شكل (2-5) [9]

2-5 المجال الكهربائي قرب سطح الارض[4 ، 10]

ان شدة المجال الكهربائي يتغير بالنسبة للزمن . ان مقدار التغير قد يصل لعشرات الكيلوفولتات لكل متر. عندما تكون السماء صافية وجو مستقر فان خطوط المجال الكهربائي تكون عمودية على سطح الارض تشحن الارض بشحنة سالبة . تحت هذه الظروف يعرف المجال بانه مجال طبيعي. ان الشكل الغير نظامي للتضاريس يشوه المجال الكهربائي وان شدة المجال تعتمد على سير خط العرض الجغرافي. ويكون اعلى ما يمكن في منتصف خط العرض ويقل تدريجيا باتجاه قطب الارض .

ان معدل قيمة شدة المجال فوق الارض هي 100V/m.

لشرح المجال الكهربائي الطبيعي للارض يجب ان لا نهمل الشحنات الكهربائية الحرة الموجودة في الغلاف الجوي مثل الشحنات (الايونات) التي تنتج من الاشعاع الكوني والشمس. ان الايونات الكونية لكل وحدة حجم للهواء تزداد مع خط العرض.

ان الايونات التي تنتج عن الاشعاع الكوني هي الاكثر حركة وان شدة مجال مقداره 100V/m يمكن ان يتحرك بسرعة مقدارها 1 cm /Sec . الغبار والجسيمات المشابهة لها والتي تكون اكبر حجما وتتحرك بقوة وتعمل على امتصاص الشحنات للايونات الصغيرة.

ان توصيلية الأيونات والتي تنتج عن انجراف الايونات تزداد مع خطوط العرض. بعد ذلك فان التاين يزداد مع زيادة خطوط العرض وان كثافة الهواء الجوي تقل وبالنتيجة فان عدد الايونات سوف يزداد وان مسارهم الحر يصبح اطول. عندما تكون خطوط العرض عالية بصورة كافية فان التوصيلية تكون عالية كذلك وان الغلاف الجوي يصبح بشكل مشابه للموصل. وتحصل هذه الحالة عند خط عرض بعده 50Km فوق سطح البحر.

ونتيجة للتجارب التي اجريت فان معدل شدة المجال الكهربائي E فوق الارض غير منتظم لكنه يقل مع خطوط العرض وبالرجوع الى العلاقة التقريبية

$$E \approx -[90 \exp(-3.5\,h) + 40(-0.23h)]\ V/m \qquad (2\text{-}5)$$

حيث ان h هي بعد خط العرض ويقاس بالكيلومتر.

وبالرجوع الى العلاقة السابقة فان معدل شدة المجال الكهربائي على سطح الارض هو 130V/m ويقل مع خطوط العرض. فعند خط عرض 5Km فان المجال يقل الى 10% وخط عرض 10Km فانه يصل الى 3% من قيمته الابتدائية.

ان معدل فرق الجهد بين الارض والسطوح المتساوية الجهد لخطوط العرض n يمكن حسابه من العلاقة

$$U = \int_0^h E\,dh \cong 26[1 - (\exp - 3.5h) + 174[1 - \exp(-0.23h)]KV \qquad (2\text{-}6)$$

حيث U تمثل فرق الجهد عند خط عرض h= 20 Km فان فرق الجهد يساوي 0.2MV.

أما التيار المنقول بين الجو والأرض في المناطق التي تكثر فيها الزوابع الرعدية، فأن أغلب عمليات التفريغ بين السحابة والأرض (الصواعق) يصاحبها انتقال شحنات سالبة بمعدل 10 كولمب. مع العلم أن إغلب التفريغات (Discharges) تتم داخل السحب والقليل منها بين

السحابة والأرض (10% في الناطق المدارية، 40% في المناطق المعتدلة). وقد تولد الخلية النشطة في الزوبعة الرعدية عدداً من الصواعق في الدقيقة (قد يصل معدلها 3). فلو كان عمر الخلية 20 دقيقة فان التيار الذي تنقله قد يصل إلى أمبير واحد. ولقد خمن (بروكس) عدد الصواعق (Thunderbolts) حول الكرة الأرضية بقرابة 100 صاعقة / ثانية. ولو اعتبرنا أن 10% منها فقط تتم بين السحابة والأرض (لأن أغلبها في المناطق المدارية مثل جاوا ، فإن التيار الكلي قد يصل إلى 200 أمبير وهو لا يتعدى (1/9) التيار الكلي للجو الصاحي.

أما تيار الأسنة (Point Discharge Current) ، فهو ينشط أسفل الزوابع الرعدية بتأثير ظاهرة الأسنة (Action of Points) حيث تقوم شحنات السحابة بتوليد تيار بالحث، يسري خلال الأجسام الموصلة المدببة مثل الأشجار والأشواك والأعشاب والنهوائيات والجبال. وتهرب الشحنات(موجبة عموماً) المغايرة لشحنة السحابة نحو الجو، والشحنة المماثلة تتسرب نحو الأرض (سالبة عموماً). ولقد قدر مجموع الشحنات المنتقلة بهذه الطريقة بـ 150 كولمب/ م^2 في السنة (وهي تقارب تياراً كثافته السطحية 0.015 أمبير/كم^2). وذلك من قياس التيار المحث المار خلال موصلات اصطناعية في فترة مرور الزوبعة الرعدية فوقها.

ولقد لوحظ (في زوابع المناطق المدارية) أن النسبة المئوية للتيار الموجب الذي يغادر المدبب نحو الجو يزيد 2.5 مرة التيار السالب. مما سبق يمكن تصوير الأرض والجو بأنهما يشكلان قطبي متسعة كهربائية يمثل سطح الأرض، القطب السالب، والأيونسفير القطب يفصلهما وسط رديء التوصيل من الهواء، ويتسرب خلاله تيار صغير(تيار النضوج) مجموعة 1800 أمبير، ومقاومته الكهربائية تقارب 160 أوم ، وعليه فأن فرق الجهد بين الجو وسطح الأرض يقارب 0.3 ميكا فولط ، ولكن هذا الجهد لا يتغير بصورة خطية مع الارتفاع بسبب زيادة التوصيل الكهربائي للجو مع الارتفاع بالتأين.

وعليه فأن هذه المتسعة سوف تتفرغ شحنتها خلال ساعة تقريباً. لذلك فمن الضروري وجود مصدر شحن يعوض عن هذه العملية، ولا سيما لتيار الجو الصاحي. ويسمى التيار المعاكس بتيار التجهيز (Supply Current) ويجب أن ينقل هذا التيار المعاكس شحنات موجبة نحو الأعلى (أو شحنات سالبة نحو الأسفل) ولقد شغلت هذه المشكلة شاغل العلماء لمدة طويلة، لمعرفة مصدر هذا التيار، ولكن الإجماع الحالي بأن مصدره هي الزوابع الرعدية لأنها تنتشر على مساحات واسعة حول الكرة الأرضية.

فلقد أظهرت القياسات بأن هناك شحنات موجبة تنقل إلى الفضاء فوق قمم الزوابع الرعدية النشطة.. وأن البرق ينقل شحنات سالبة نحو الأرض كما ذكرنا سابقا". ولقد أظهرت القياسات بأن التيار الذي تولده الخلية لزوبعة رعدية يتراوح من 0.3 إلى 0.6 أمبير، لذلك فأننا نحتاج ما بين 3000، 6000 زوبعة رعدية بصورة مستمرة حول الكرة الأرضية لكي تولد 1800 أمبير من التيار المعاكس. ويبدو أن هذا الرقم يتفق مع المعلومات المناخية التي جمعها (بروكس) عن الزوابع.

6-2 كهربائية الجو المضطرب [7]

أن المجال الكهربائي للجو الصاحي يكون نحو الأسفل، ولكنه يتغير كثيرا" عندما يكون الجو مضطربا"، فعند وجود الضباب يزداد المجال إلى عشرة أضعاف قيمته المعتادة. وعند هبوب الزوابع الترابية ينعكس المجال ويصل إلى 10000 فولط/ م. وكذلك عند سقوط المطر المنتظم. أما في الزوابع الثلجية فيكون موجبا" عموما" ويصل إلى 10000فولط/ م.

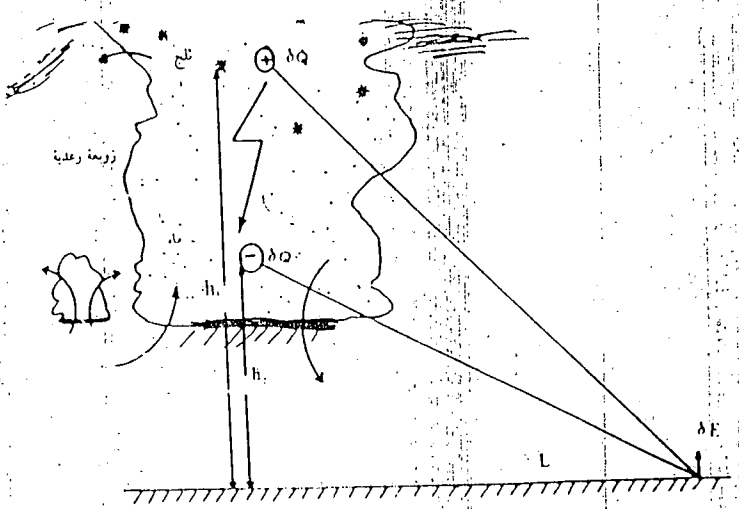
أما الزوابع الرعدية فتعطي مجالا" متغيرا" يعتمد على الجزء الذي يحدث فيه التفريغ الكهربائي. ولكن السحب الركامية النشطة التي تولد الهطول، هي المصدر الرئيسي لتوليد الكهربائية الجوية، أما السحب الأخرى ولا سيما الثلجية منها، فتعتبر مصادر ثانوية للشحنات الكهربائية ولكونها أقل حدوثا".

ولغرض دراسة توزيع الشحنات الكهربائية داخل السحب الرعدية هناك طريقتان، وهما:

أ-طريقة غير مباشرة: وهو قياس المركبة الشاقولية للمجال الكهربائي على سطح الأرض والمتولدة من شحنات السحب على أساس أن السحابة تعتبر ثنائية القطب الكهربائي لها عزم قدرة (δM). فلو فرضنا أن قمة السحابة تحتوي على شحنة موجبة(δQ) على ارتفاع h_1 وقرب قاعدتها شحنة سالبة (δQ) على ارتفاع (h_2) كما في المخطط (6-2) فأن التغيير في المجال

$$\delta E = \frac{2\delta Q\, h_2}{\left(h_2^2+L^2\right)^{3/2}} \qquad (2-6)$$

الكهربائي (δE) على بعد (L) منها يتم بطريقتين إما بحدوث التفريغ بين السحابة والأرض، أو من تفريغ داخل السحابة بين مركزي الشحنة. فإذا كان التفريغ بين السحابة والأرض، فأن التغير في المجال الكهربائي (δE) على سطح الأرض يعبر عنه بالمعادلة:



الشكل (٢ - ٥)

حساب المجال الكهربائي من زوبعة رعدية [4]

فلو كانت الزوبعة بعيدة(L أكبر بكثير من h)، فأن المعادلة الأخيرة تصبح:

$$\delta E = \frac{2\delta Q\, h_2}{L^3} = \frac{\delta M}{L^3} \qquad (2-8)$$

حيث $\delta M = \delta Q\, 2h_2$ وهو العزم الكهربائي المدمر بعملية التفريغ.

أما لو كان التفريغ الكهربائي قد حصل بين شحنتي السحابة، فأن التغير في المجال الكهربائي على سطح الأرض، يساوي:

$$\delta E = 2\delta Q\left[\frac{h_2}{(h_2^2+L^2)^{3/2}} - \frac{h_1}{(h_1^2+L^2)^{3/2}}\right] \qquad \cdots\cdots(2-9)$$

فللزوابع البعيدة($L>>h$) تصبح المعادلة(2-9) بالصيغة.

$$\delta E = 2\delta Q(h_2 - h_1)/L^3 = \frac{\delta M}{L^3} \qquad (2-10)$$

نلاحظ من المعادلة(2-9) بأن المجال يتلاشى($\delta M=0$) على بعد:

$$X = \left(\frac{L}{\ln 48L / a - 1} \right) \Big/ d$$

لذلك فإن المجال تنعكس إشارته إذا تجاوزنا المسافة في المعادلة(6 -2) فإذا كان توزيع الشحنات في السحب يتفق مع النموذج المفترض في المخطط (6. 2)، فأن قياس المجال كدالة للمسافة(L) يمكننا من التاكد من صحة الفرضية. فلقد وجد(ويلسون) بأن المجال الكهربائي يكون موجبا" للتفريغ بين السحابة والأرض، أي أنه يزيد من المجال الكهربائي الأرضي للجو الصاحي. أما التفريغ في داخل السحابة فأنه يعطي مجالا".. موجبا" للمسافات القريبة وساليا" للمسافات البعيدة.. مما يشير إلى أن مراكز الشحنات الموجبة الرئيسية تكون في أعلى السحب وللسالبة قرب قاعدتها. وتكون السحابة مُوجبة القطبية.

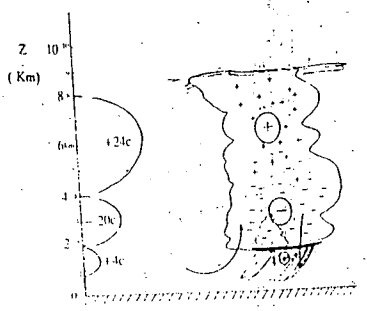
ولقد درس هذه الظاهرة بعناية العالم(شونلاند) على زوابع جنوب أفريقيا، حيث يطغى التفريغ داخل السحب على التفريغ بينها وبين الأرض، فوجد من دراسته لمجال 50 سحابة رعدية، بأن تغير المجال يكون موجبا ضمن مدى 7 كم، حيث يزيد 21 ضعفا على المجال السالب، والعكس يتم على بعد يزيد على بعد 15 كم، حيث يزيد التغير للمجال السالب عشرة اضعاف المجال الموجب.

ولقد أيد ذلك العالمان(ورمول) و(بيرس) على الزوابع البريطانية. ولقد وجد من هذه التجارب بأن قيمة العزم الكهربائي المذمر يقارب 100 كه لمب. فلو أخذنا معدل المسافة(h)

بين الشحنتين يتراوح بين 1,5-3,5 كم للتفريغ مع الأرض، و 5 كم للتفريغ داخل السحابة. لوجدنا أن الشحنة المتعادلة تتراوح من (10-30) كولمب في كل تفريغ، أو بمعدل 20 كولمب.

2. الطريقة المباشرة.

لقد استخدم كل من(سمبسون) وزملائه في مرصد(كيو) في بريطانيا الطريقة المباشرة لقياس المجال الكهربائي داخل السحب مستخدمين جهازا" بسيطا" محمولا" بالبالون ليصل الى ارتفاع 8 كم وهو يحتوي على سلك طويل شاقولي يمر فيه التيار الكهربائي بعد أن يمر خلال ورقة لاكتشاف قطبية التيار حيث تكون مطلية بمحلول(زرقة بروسيا) وعلى طرفيها قطبان من الحديد، وبعد دراسة مضنية لأكثر من خمسين سجلا"، أظهرت بصورة قاطعة بأن أعلى السحابة يكون موجب الشحنة على ارتفاع معدله 6 كم ومعدل الشحنة فيه 24 كولمب(-30 ^{0}س) ومن شحنات سالبة (20 كولمب) بين (7-2) كم تصل دروتها على ارتفاع 3 كم (-8^{0}س)، ومن شحنة موجبة ثانوية (4 كولمب) أقل ارتفاع من 2 كم درجة حرارة (1,5^{0}س) (المخطط 2.7). ولقد استخدمت طريقة الراديوسوند في الولايات المتحدة من قبل جابمان (1950) وكانت نتائجها تتفق مع نتائج (سمبسون) بصورة عامة حيث وجدت مراكز الشحنات الموجبة الثانوية عند درجة حرارة + 0.5 س.



المخطط (٣-٧)

توزيع الشحنات داخل الزوابع الرعدية (سمبسون وريتشون) [٧]

ولقد أيد هذه القياسات بصورة عامة العالم (كويتز) على قياساته لتيار التفريغ للزوبعة في خباية في المانيا(3 كم فوق سطح البحر) حيث كان الجهاز في أغلب الأحيان يقع داخل السحب الرعدية، فوجد أن مركز الشحنة الموجبة الثانوية تكون قريبة من قاعدة السحابة وعند مستوى درجة حرارة الصفر(س^{0}) وفي مركز منطقة الهطول.

أما قيمة المجال الكهربائي داخل السحب، فهي متغيرة تتراوح من (900-2000) فولط / سم وقد يتجاوز ذلك قبل التفريغ الكهربائي، ويبلغ ذروته قرب مستوى درجة حرارة الصفر(س^{0}) ويكون ضعيفا في السحب الركامية النامية ولكنه يشتد عندما ينزل منها الهطول. ويبدو أن المجال القوي يرتبط بالشحنات السالبة للسحابة ولشحنة الفضاء الموجبة في أسفل قاعدتها.

أن هذه القياسات تتفق مع التركيب الكهربائي البسيط لزوبعة رعدية ثنائية القطب شحنتها 20 كولمب تفصلهما مسافة 3 كم مع فرق جهد بينهما يقارب 10^{8}-10^{9} فولط. لذلك فان الطاقة المتبددة في كل تفريغ(صاعقة) تقارب 10^{9}-10^{11} جول، يتحول أغلبها إلى حرارة تسخن الهواء لبضع مايكرو ثواني إلى درجة حرارة 30000 ك ، فيتمدد مولدا" صوت الرعد. والضوء الناتج يسمى البرق.

7-2 نظريات كهربائية الزوابع الرعدية [4]

لقد وضعت العديد من النظريات لتفسير منشأ كهربائية السحب ولكنه من المحتمل أن أكثر من ظاهرة واحدة تلعب دورا في توليد كهربائية السحب

فأن أية نظرية ناجحة عليها أن تفسر الحقائق التالية:-

1-أن متوسط عمر الهطول النشاط الكهربائي من خلية منفردة في زوبعة رعدية تقارب 30 دقيقة.

2- أن معدل العزم الكهربائي المدمر في الصاعقة يقارب 100 كولمب. كم وتكون الشحنة المرافقة (20-30) كم.

3- تتولد الشحنات في الزوابع الرعدية الكبيرة بين مستويي -5 °س، -40°س ونصف قطر يقارب 2 كم.

4- الشحنة السالبة الرئيسية تتمركز عند مستوى -5 °س والشحنة الموجبة الرئيسة عند الارتفاعات العالية. وهناك مركز ثانوي للشحنات الموجبة، قد تتواجد قرب قاعدة السحابة عند مستوى درجة الصفر أو أسفله.

5- أن عمليات توليد الشحنات وفصلها ترتبط مع تطور عملية الهطول ومن المحتمل أن يكون الهطول على شكل برد هش.

6- يجب أن تتولد شحنة كافية للتعويض عن الشحنات المتفرغة خلال فترة (20-12) دقيقة من ظهور جسيمات الهطول بحجم يتحسس بها الرادار.

8-2 العلاقة بين البرق والهطول [7]

يصاحب البرق الهطول الشديد بالرغم من أن هذا الهطول قد لا يصل سطح الأرض في الجو الجاف الدافئ.

أن أغلب نظريات كهربائية السحب الرعدية تفترض الدور المهم للهطول في عملية تواجد وفصل الشحنات الكهربائية. وبما أن مراكز الشحنات المهمة تكون عند درجات حرارية تحت الصفر(س^0)، لذلك فهناك من يعتقد بأن تولد الكهربائية في السحب يرتبط بتواجد قطرات الماء المفرط التبريد، أو تواجد حالة التجمد. ولقد أيد ذلك دراسات(كويتنر) في محطة جبلية في المانيا؛ حيث لاحظ أن الهطول الشديد، شرط أساسي للنشاط الكهربائي في الزوابع الرعدية. وأن مركز منطقة البرق تتطابق مع المساحة التي يبلغ فيها الهطول ذروته. وأن الهطول الصلب يتواجد في 93% من السحب ولا سيما كتل الثلج (Snow Pellets) والبرد الهش (75% من الحالات) ولكن البرد الكبير نادر الحدوث نسبيا.

أن استخدام رادار الأنواء، أظهر زيادة شدة الصدى(الانعكاسية) تتوافق مع وصول البرد على سطح الأرض. وأن البرق يزداد مع زيادة الانعكاسية للجزء العلوي من السحابة. وباستخدام مقاييس المجال الكهربائي المحمولة على طائرات تخترق السحب الرعدية، أظهرت المناطق النشطة تكون مراكز للشحنات السالبة.

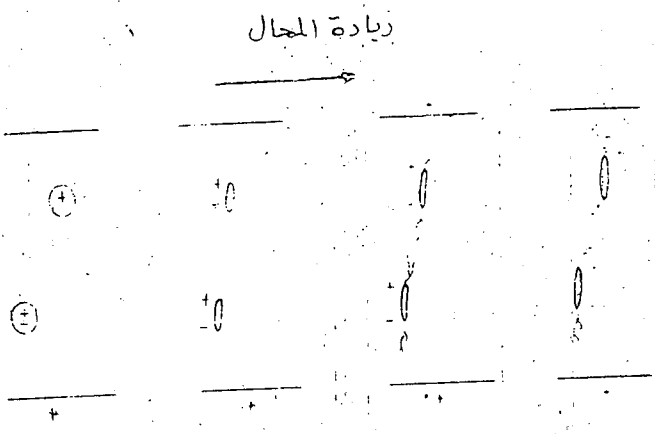
إن المجال يزداد بسرعة مع بدء الهطول. مشيرا إلى أن الهطول الابتدائي، يحمل شحنات سالبة نحو الأرض. تاركا الشحنات الموجبة في قمة السحابة، حيث لوحظ أن مراكز المجال القوي (2300 ف/ سم) تتواجد في عمود واسع من البرد السالب الشحنة والذي قد يصل إلى مستوى -40؟ س. أن هذا الراي يتفق مع الشحنة التي يولدها البرد النامي من الماء المفرط البرودة ولقد لوحظ (كماهو متوقع) وجود فرق زمني بين حدود البرق ووصول الهطول إلى سطح الأرض، قدره 3-2 دقيقة (زمن السقوط الحر)

الفصل الثالث
الطاقة
الكهربائية

3-الصواعق Lightning [12،13]

مقدمة تتعرض منظومات القدرة الكهربائية الى الفولتيات المفرطة (الزائدة) في حالتين، اولـــهما الصاعقة والثانية نتيجة عمليات فتح وغلق المنظومة. وقد وجد بان البرق يعد من العوامل المؤثرة والتي قد تؤدي بعض الاحيان الى تدمير او توقف المنظومة عن العمل. ومن اجل تسليط الضـوء على الحماية من الصاعقة لابد من فهم ماهية البرق وكيفية حدوثه.

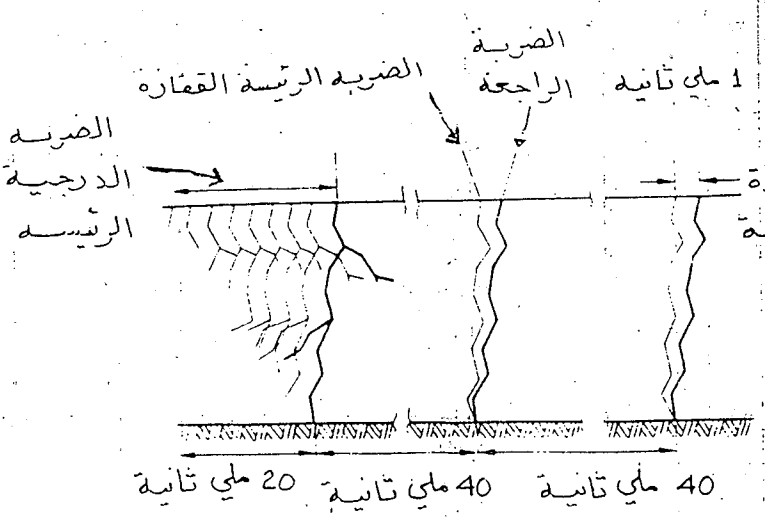
لناخذ اولا سحابة رعدية ولتكن هذه السحابة تحمل على سطحها الاعلى شحنة كهربائية موجبـــة وعلى السطح الاسفل شحنة سالبة ، فبذلك يتكون مجال كهربائي بيـــن الشـــحنتين الـــى الاعلـــى والأسفل ونظرا لما تحتويه السحابة من قطرات الماء فانها تتعرض لتاثير ذلك المجـــال فبذلـــك تستقطب وتستطيل شيئا فشيئا مما يؤدي الى حدوث التفريغ بيـــن النـــهايات مختلفـــة الشـــحنات للقطرات المتشابهة، وهذا اساس بداية التفريغ الكهربائي كما هو واضح في الشكل (3.1).



الشكل (3-1) تاثير المجال الكهروستاتيكي على قطرات الماء [13].

يحدث التفريغ الكهربائي بين اسفل الغيمة والارض المفتوحة بشكل مشابه ويكون على شكل ممرات ضوئية تبدأ تشعبة واحدة الى جانب الاخرى مقتربة نحو الارض ، وعندما تصل الى حد معين من الارض تبدأ شحنة كهربائية معاكسة بالصعود من الارض الى السماء بمسار مواز للاول ومشابه لها تماما. تسمى الافرع ام الممرات البراقة القادمة من الغيمة الى الارض بالضربة الصاعقة الرئيسية Leader Stroke وما يميز الاولى عن الثانية ، هو ان الاولى تكون اقل بريقا واقل سرعة ، ولكنها يمكن ان تتكون من عدة ضربات او ممرات ،بينما تتكون الثانية من ممر واحد.

يمكن ان تتكرر العملية اعلاه مع نفسها عدة مرات أي تنزل الضربة الى الارض وتعود بنفس المسار الاول وبذلك تدعى بالضربة اللاحقة Subsequent Stroke اذ تختلف عن الاولى بانها لا تكون درجية Stepped وسرعتها اكبر من الاولى، فبذلك تسمى في بعض الاحيان بالضربة الرئيسية القفازة Dartleader ويوضح الشكل (3.2) بعض من هذه المراحل.

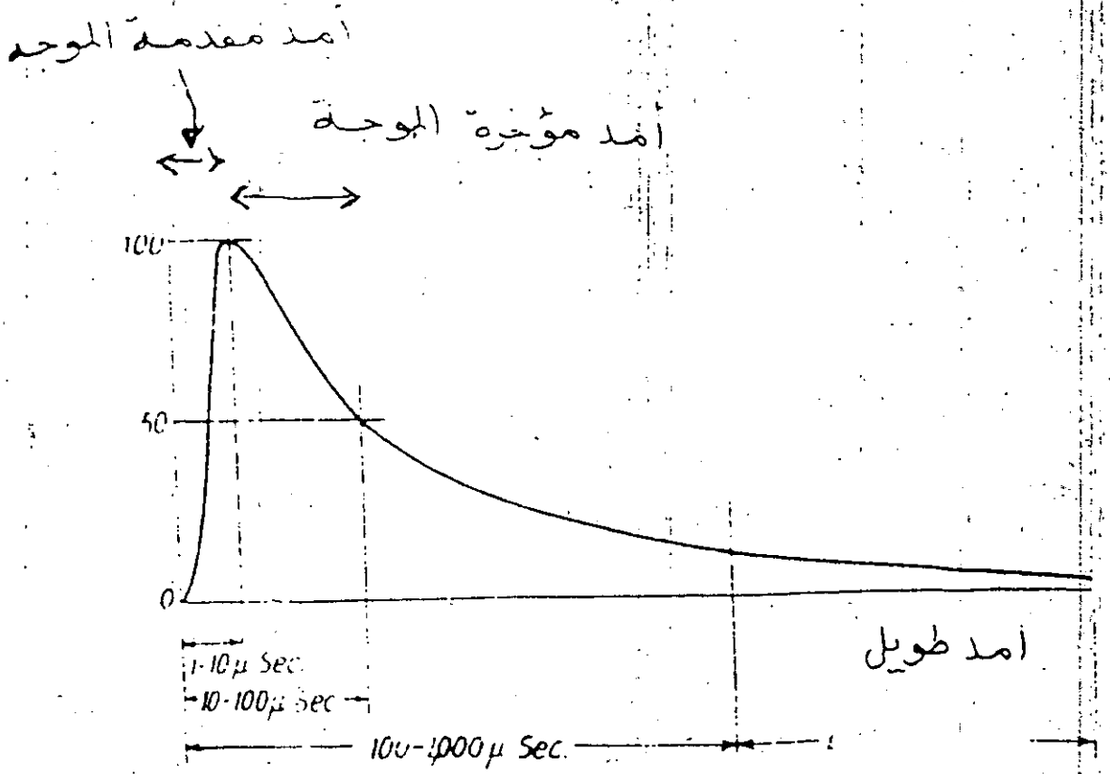


الشكل (3.2) مراحل تكوين التفريغ في الغيمة الى الارض. مأخوذة بالكاميرا من اليسار الى اليمين[12]

ومن الجدير ان نذكر بانه لوحظ بان 95% من حالات التفريغ تكون فيها شحنة التفريغ سالبة، كما يمكن ان يحصل التفريغ في اكثر من نقطة على سطح الارض.

3-1 شكل موجة الصاعقة Wave Shape of the Lightning

يكون الشكل العام لموجة البرق كما موضح في الشكل (3.3) حيث يتبين بان الموجة تبلغ ذروتها بفترة زمنية قصيرة جدا، ومن ثم تبدأ بالاضمحلال وبمعدل قليل.



الشكل (3-3) الشكل العام لموجة الصاعقة [13].

تصنيف تفريغات الصاعقة المباشرة:

Classification of Direct Lightning Discharge

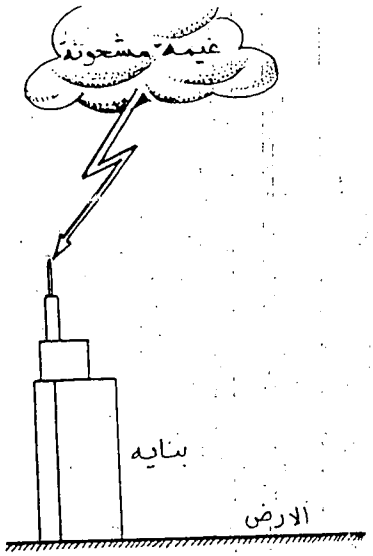
يمكن تصنيف ضربة البرق إلى نوعين رئيسين :

1- الضربة (أ)

2- الضربة (ب)

الضربة أ Stroke A

تنتج هذه الضربة وكما موضح في الشكل (3.4) بين غيمة مشحونة والتي تعمل على حث شحنات في أجسام ثابتة في الأرض كالبنايات العالية. أن هذه الشحنات المحتثة تسبب تركيز في الجهد عند النقاط المدببة مما قد يولد تركيز في الجهد عند هذه النقاط مسببا تأين الهواء المحيط بها. ونتيجة لهذا التأين تصبح شدة العزل للهواء المحيط قليلة فبذلك تتهيأ ظروفا مناسبة لبداية التفريغ. وكما هو واضح فأن التفريغ في هذا النوع لا يكون سريعا.

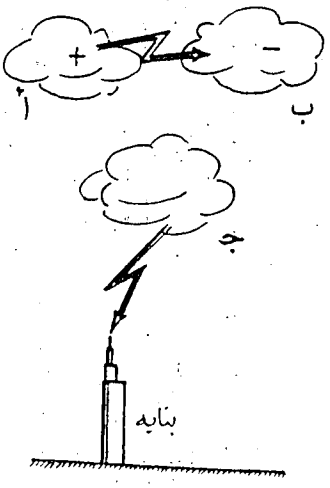


الشكل (3-4) الضربة نوع أ

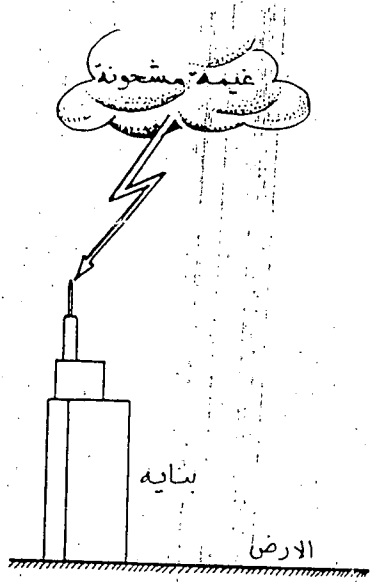
الضربة ب Stroke B:

على فرض أن هناك في الجو ثلاثة غيوم كما مبين في الشكل(3.5)، الغيمتين أ و جـ مشحونتين بشحنة موجبة والغيمة ب بشحنة سالبة. ولنفترض بأن الغيمة أ اقتربت كثيرا من الغيمة ب، فبذلك يحصل التفريغ بين الغيمتين، أي تصبح جـ طليقة مولدة تفريغا إلى الأرض.

وكما هو واضح فإن التفريغ من هذا النوع لا يستغرق وقتا وأنه يحصل بسبب حدوث تفريغ من النوع او من المتوقع أن يحصل في أي نقطة على الأرض بغض النظر عن موقعها وارتفاعها في ذلك تكون الحماية من الضربة نوع ب أصعب مما هي عليه من الحماية من الضربة نوع أ.



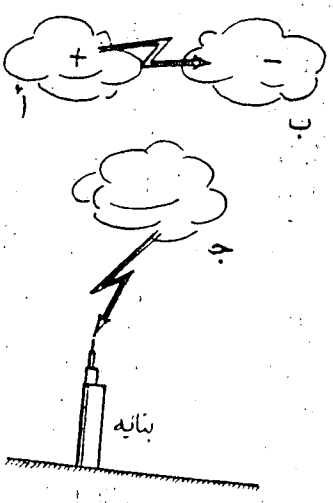
الشكل (3-5) الضربة ب



الشكل (3.4) الضربة نوع أ

الضربة ب Stroke B:

على فرض أن هناك في الجو ثلاثة غيوم كما مبين في الشكل(3.5)، الغيمتين أ و جـ مشحونتين بشحنة موجبة والغيمة ب بشحنة سالبة. ولنفترض بأن الغيمة أ اقتربت كثيرا من الغيمة ب، فبذلك يحصل التفريغ بين الغيمتين، أي تصبح جـ طليقة مولدة تفريغا إلى الأرض. وكما هو واضح فإن التفريغ من هذا النوع لا يستغرق وقتا وأنه يحصل بسبب حدوث تفريغ من النوع أو من المتوقع أن يحصل في أي نقطة على الأرض بغض النظر عن موقعها وارتفاعها في ذلك تكون الحماية من الضربة نوع ب أصعب مما هي عليه من الحماية من الضربة نوع أ.

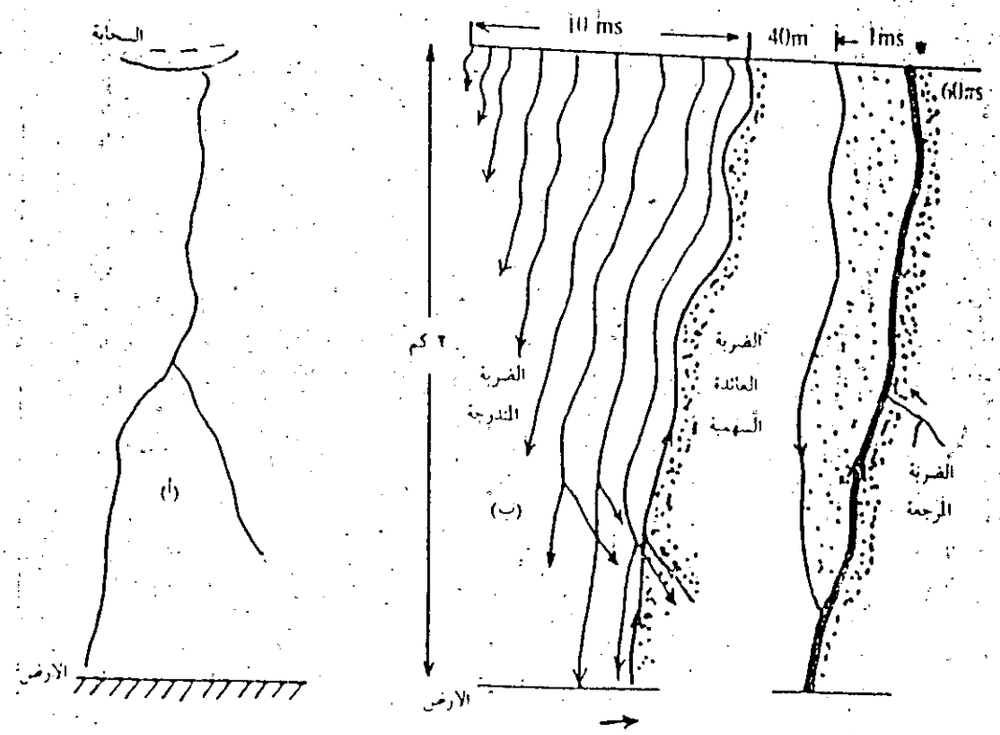


الشكل (3.5) الضربة ب

3-3 تركيب الصاعقة(Lightning Flash)

لقد أمكن توضيح التركيب التفصيلي للصاعقة باستخدام التصوير الخاطف مع تسجيل التغيرات السريعة للمجال الكهربائي المرافق لها، ولعل أغلب المعلومات المستحصلة عن الصاعقة كان من استخدم آلة التصوير التي صممها(بويز) عام 1962. وهي تتكون أساساً من عدستين لامتين مثبتتين على طرفي ذراع من قرص يدور بسرعة، في مقدمة الآلة، ويصور البرق على ورق حساس يتحرك أفقيا ويقع خلف العدستين، فتتولد صورتان للعدستين مخورتلن باتجاهين متعاكسين، فمن معرفة دوران العدستين وبمقارنة الصورتين الناتجتين من العدستين مع صورة عدسة ثابتة، يمكن حساب سرعة واتجاه عمليات التفريغ الكهربائي للسحاب. فبإمكانها متابعة عمليات التفريغ بتفريق زمني يقارب مايكرو ثانية.

ولقد أظهرت هذه الصور بأن ما يبدو للعين المجردة بانه تفريغ واحد للبرق، إلا أنه في الحقيقة يتكون من عدد من الضربات (Strokes) المتعاقبة (4-14 ضربة) تسلك نفس المسار في الهواء، تفصلها فترات توقف زمنها يقارب 50 ملي ثانية، مع العلم أن معدل عمر الصاعقة الكلي يقارب 250 ملي ثانية. فإذا كان التفريغ الكهربائي للصاعقة بين السحابة والأرض، فإنها تقوم بنقل شحنة سالبة للأرض من المنطقة السالبة في السحابة. ويساعدها على ذلك الشحنة الثانوية الموجبة أسفل السحابة. وتكون الصاعقة مسبوقة بسيل من الشحنات (Streamer) تتجه نحو الأرض، وتكون على شكل سلسلة من الخطوات (Steps) كما في المخطط (3.6) كل منها



الشكل (3-6)

(أ) شكل الصاعقة التي تصورها آلة تصوير ثابتة.

(ب) صاعقتان بين السحابة والأرض كما تصورها آلة تصوير متحرك ورقها الحساس أفقياً.

تكون شديدة البرق بسبب التأين المفاجئ للهواء ومعدل طولها 50 مترا، وتسمى الضربة الأولى بالضربة المتدرجة القيادية (Stepped Leader) ويكون قطرها(10-1م)، وهي تصل الأرض بسرعة تقارب 3×10^{6}-10^{7} م/ ثا خلال الخطوة. ويكون معدل سرعة التفريغ الأول أبطأ، بسبب التوقفات وتأخذ مسيرا متعرجا ومتشعبا أحيانا متنقلة بين جيوب من الشحنات الفضائية موجبة (Positive Space charges) والمتوزعة عشوائيا في الهواء ويسمى البرق الناتج بالبرق المتشعب (Forked Lightning). وتقوم الضربة القيادية بتأين الهواء في طريقها، لتمهد الطريق للضربة الراجعة من الأرض والتي تسلك نفس المسير ولكن بشدة أقوى وسرعة أكبر بسبب تأين المسير.

ويعتقد أن العزل الكهربائي للهواء ينهار بواسطة شعلة قيادية من الشحنات (Pilot Leader) ضعيفة غير منظورة تسبق الضربة المتدرجة القيادية الأولى.

وعندما تقترب الضربة القائدة من سطح الأرض بمسافة (50-5) م، ينطلق سيل من الشحنات (Streamer) من نقطة على سطح الأرض لكي تقابل الضربة القائدة، ثم تبدأ الضربة المعاكسة الرئيسة (Return Stroke) بسرعة متجهة نحو السحابة وسالكة نفس المسير المتأين للضربة القائدة، ويكون بريقها أشد من الضربة القائدة وتسير بسرعة ($1.5*10^{8}$-$2*10^{7}$) م/ثا وتستغرق زهاء 60 مايكرو ثانية وتحمل التيار الرئيسي للتفريغ (100-10 كيلو أمبير) مارا خلال مقطع لا يتجاوز قطره على بضع سنتمترات. وتستمر بإزالة الشحنة من السحابة لفترة إضافية تصل 600 مايكرو ثانية.

وأحيانا تتكرر سلسلة العمليات أعلاه، تفصلها فترة تقارب 40 ملي ثانية(الشكل 6 : 3) ولكن الضربة القيادية اللاحقة لا تكون متدرجة بل تسير مباشرة نحو الأرض معطية خطا مضيئا متصلا طوله يقارب 40 م يليه مسير أضعف إنارة يمتد حتى السحابة، وتسمى الضربة هذه بالقائدة السهمية (Dart Leader) أما التفريغ داخل السحب، فيصعب تحليله بسبب تواجد قطيرات المطر بحيث لا نرى سوى إنارة منتشرة، وتسمى بالبرق الطبقي(Sheet Lightning)

4-3 القيم العددية او الحسابات للصاعقة

ان قياس قوة الصواعق وشدة الضربات تكون من الصعوبة لأنها تعتمد على المتغيرات السريعة اللحظية بالاضافة الى المخاطر التي يتعرض لها الشخص من جراء هذه القياسات. النتائج كثيرا ما تكون متغيرة لان القيم العددية ليست من السهولة تعريفها ومن المهم جدا ان نفرق بين قيم شدة المجال في الفضاء الحر والمجال المتولد نتيجة لفولتيات خطوط الضغط العالي. ان قياس هذه الخطوط تكون اسهل كثيرا لأنها تتعامل مع بعد واحد، في حين انه في الفضاء الحر فان المجال الذي يتولد نتيجة الصواعق يتغير عشوائيا وفوق منطقة كبيرة، وهذه أحد النقاط التي تحدد مواصفات موصلات الصواعق التي يمكن استخدامها.

ان الخطوات اللحقة مبنية على عدد كبير من الملاحظات وانها تعمل على تحديد شدة المجال المتولد نتيجة الصواعق الرعدية. فمثلا أن مقدار الفولتية المتولدة بين السحابة والارض تقدر ما بين MV (10-100) وان شدة المجال المتولد خلال الظروف الجوية الطبيعية هو حوالي 150 V/m وتزداد خلال الزوابع الرعدية الى عدة الاف من الفولتيات لكل متر وتصل اثناء فترة التفريغ من V/m (50-200) وتصل الى 300 kV/m قرب الارض.

ان التوزيع الخاص للمجال بين الارض والسحابة غير معروفة مع ذلك فان شدة المجال كمعدل اقل من 3MV/m والتي تمثل شدة الانهيار في الهواء. كذلك ان شدة المجال يتغير بوضوح مع الزمن وهذا التغير يحدث خلال فترة زمنية تتراوح بين μ sec (20-25). والذي يعتبر زمن تفريغ الصاعقة نفسها.

وهناك أراء مختلفة بخصوص قيمة شدة التيار الناتج من عملية التفريغ. والقيم المقدرة تتراوح من عدة امبيرات الى 50kA وقد تصل الى قيم عالية جدا بحدود kA(5-100) . أن المدى أو البعد الفضائي لأعلى شدة مجال تحدث نتيجة الزوابع الرعدية الظاهرة أو مرئية لا تزيد على km(2-4) في أي اتجاه من الاتجاهات وأن مقدار التذبذب في أرتفاع السحابة عن

الأرض يتراوح بين (0.2-0.4 km) واذا قارنا هذة القيم بالقيم المتولدة نتيجة لخطوط الضغط العالي ، فان فولتية الاضاءة تصل مابين kV(1000 -500) وباضافة قليل من الغازات تصل الى حدود ما بين kV(5000 -3000). أن فولتية النبضة لها زمن زيادة بحدود 5- (20)μ sec وتصل الى 100 μ sec ، أن شدة المجال الناتج عادة لبداية النبضة هوبحدود kV/m(0.3-3) يزيد الى 15kV/m وهذا يؤدي الى ان المعدل الزمني لزيادة الفولتية هو بحدود V(1000-100) وتصل الى 5000kV/μ sec . واخيرا فان قيمة التيار يمكن حسابها بسهولة من خلال الفولتية والممانعة وهذه القيمة هي A(10000-1000) وتصل الى 500000A.

ان الجدول 1-3 يعطينا كل النتائج السابقة لمعلمات الصاعقة

Table (3-1) measured and estimated lightning parameters

Parameter	In free space	On line
Voltage (MV)	10-20-100	0.5-1-5
Field strength (kV/m)	50-200-300	0.5-5-20
Time duration(μ sec)= frontrise back decay	5-10-20	50-20-100
Current strength(kA)	10-100-500	1-10-50
Temporal behavior	Mostly overdamped	Single or multiple impulse
Spetial extent (km)	0.2-2-4	10-30

5-3عملية التفريغ الرئيسية للصاعقة:

ان عملية تفريغ الصاعقة تحدث بين سحابة وسحابة وبين السحابة والارض كما مبين في الشكل (3.7). ان قناة التفريغ l لها قطر يتراوح من 1cm الى عدة ديسمترات. عند ظهور او تكون هذه القناة بصورة واضحة فان هبوطا بالفولتية خلالها وبحدود 10 V/cm نتيجة تفريغ القوس الكهربائي وهذه القيمة تصل الى 100kV من طول الضربة وهذه تعتبر قيمة بسيطة بالمقارنة مع الفولتية المؤثرة والفعالة للسحابة المتولدة نتيجة عملية التفريغ الناتج من الضربة. لهذا فان التفريغ الكهربائي يشابه شرارة التفريغ بين صفيحتين كبيرتين بشكل متسعة او مكثف. في الحقيقة هذه المتسعة تقصر Shorted بواسطة موصل مركزي وان سلوكها بالنسبة للزمن يمكن حسابه بواسطة السعة بين الارض والسحابة والحث الذاتي لقناة الصاعقة.

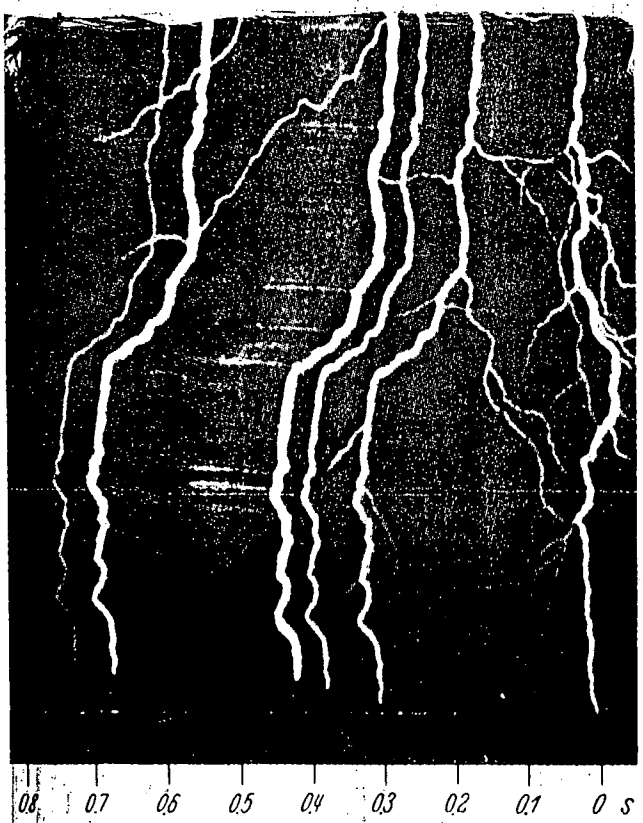


Fig. 3.7 [2]

ولغرض توضيح عملية تفريغ الصاعقة يمكن ان تبني دائرة مكافئة كما مبين في الشـــكل (3.8) وهذه الدائرة عبارة عن صفيحة دائرية من الالكترودات Electrodes بقطـــر D والمسـافة a تساوي معدل بعد السحابة عن الارض وهذه سوف تشحن بمقدار فولتية E ويتم تفريغها بسـرعة عن طريق فجوة التفريغ F والحث الذاتي L والمقاومة R والتي تمثل قناة التفريغ كما مبين فـي الشكل (3.8) لذلك فان سعة هذه المتسعة يمكن حسابها بسهولة على اعتبار ان الحث الذاتي لقنـلة التفريغ بدورها دائرة مفتوحة غير مؤثرة لذلك يمكن حساب المجال المغناطيسي

$$We = F^2/(2\pi v^2) \qquad (3\text{-}1)$$

حيث ان F هي شدة المجال الكهربائي وان الطاقة المغناطيسية

$$Wm = B^2/(8\pi) \qquad (3\text{-}2)$$

حيث Bهي مقدار الحث المغناطيسي وتساوي F^2/v

$v = 3 * 10^{10}$ cm/sec.

حيث ان v هي سرعة الضوء

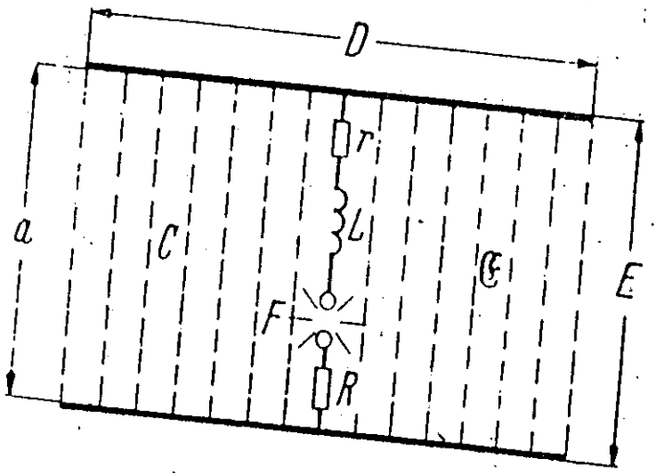


Fig. 3.8 [8]

وعندما يكون التذبذب بطيء جدا أي ان هناك فراغ بين خطوط الالكتروذات لذلك فـــان موجـــة المجال الكهربائي يبدو لها فرق طوري وعندئذ فان شدة المجال الكهربائي يمكن حسابه $F=e/q$ حيث e تمثل الفولتية بين الصفيحتين ، هنا يهمل أي تشوه في خطوط المجـــال عنـــد حافـــات المتسعة على فرض ان هذه الخطوط مستقيمة. وهذه الحالة تحدث عندما القطر D يكون اكـــبر بكثير من a لكن عندما لاتكون هذه الحالة فان أي قيمة لـــ D(القطر) يمكن استخدامها لضمـــان حساب تأثير هذه الحافات. اذن فان محصلة الطاقة الكهربائية المخزونة هي علـــى اعتبـــار ان الفراغ هو الوسط الذي

$$W_e=\frac{1}{8a}\frac{e^2 a D^2 \pi}{\nu^2 a^2 4}$$

حيث D هو قطر السحابة وان مساواة هذه المعادلة بالطاقة المخزونة في المتسعة

$$W_e=\frac{1}{2}Ce^2 \qquad (3-5)$$

ومن خلال المعادلتين اعلاه يمكن حساب سعة المتسعة

$$C=\frac{D^2}{16r^2 a} \qquad (3.-6)$$

هذه الصيغة الفعلية لسعة المتسعة ذات الصفائح الدائرية

ان الحث المغناطيسي B يتولد بواسطة التيار اللحظي على فرض حدوث قدح الصاعقة عنـــد مركز الصفيحة عن طريق قطر القناة d . .هذه الحالة تؤدي الى زيادة المجال المغناطيسي علـــى شكل خطوط متعددة المركز حول هذه القناة كما مبين في الشكل (3.9) d هي قطر قناة التفريـــغ

ان شدة المجال الثانوي Ba

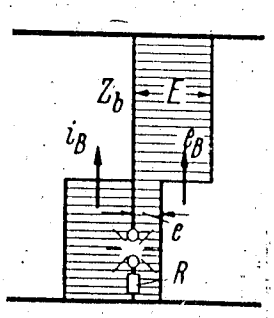


Fig. 3.9 [3]

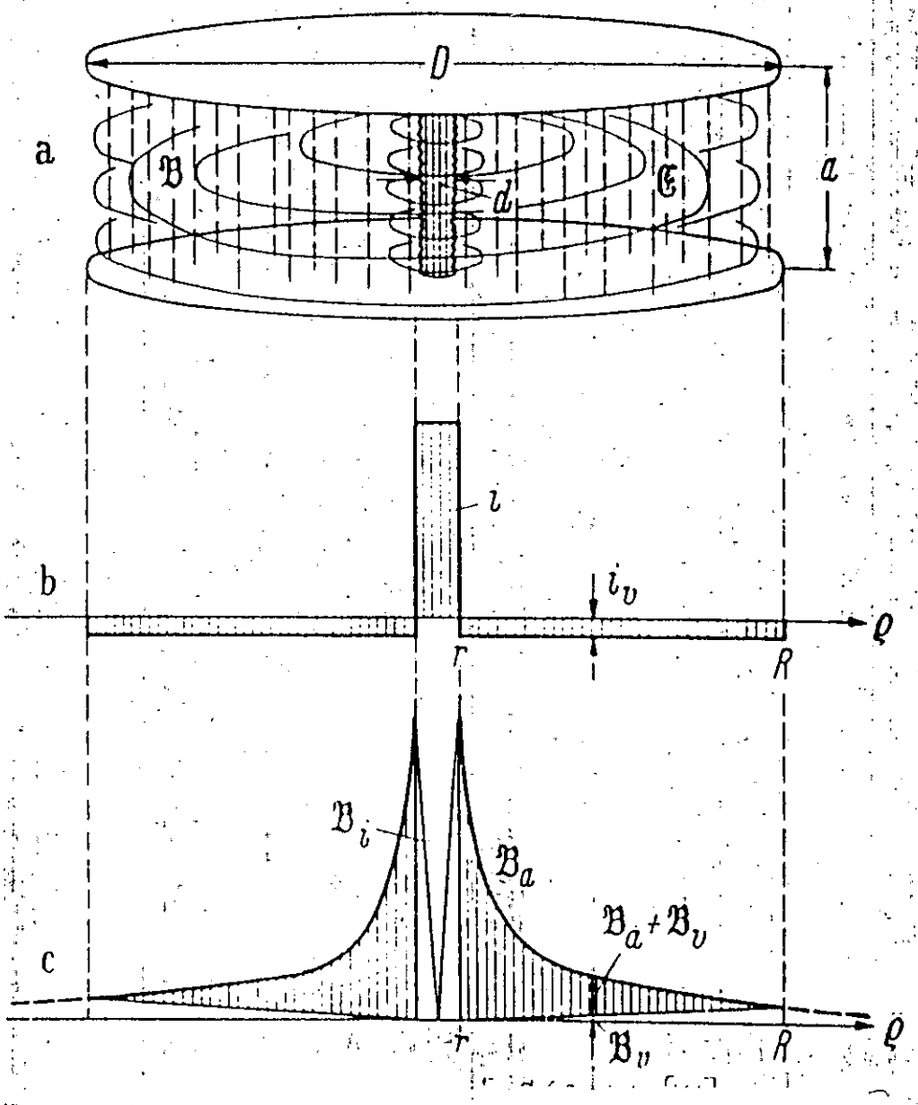
يمكن حسابه من خلال القانون الاساسي للتكامل الخطي والذي يساوي 4π مرة لتيار الدائرة المغلقة Enclosed current والذي يشابه للقيمة المتولدة نتيجة مروره خلال مسار اسطواني لـه نصف القطر ρ لهذا يمكن كتابة العلاقة

$$2\pi\rho\, Ba = 4\pi\, I \qquad (3\text{-}7)$$

$$Ba = 2i/\rho \qquad (3\text{-}8)$$

ان الشكل (3.10c) يمثل شدة المجال والذي يقل بشكل قطع زائد بزيادة نصف القطر ρ ان المجال المغناطيسي لقناة التيار i يصل عند حافات الصفائح الى مالا نهاية، مع هذا فان هناك تيار ازاحة Displacement Current يتولد في المكثف نتيجة التغير الزمني للمجال الكهربائي والذي في الحقيقة يسري لتكوين مسار الرجوع للضربة. وبسبب ان المجال الكهربائي F يتوزع بصورة غير منتظمة فان تيار الرجوع يكون ايضا غير منتظم التوزيع.

والشكل (3.10b) تيار الضربة الرئيسية i وكذلك تيار الازاحة i_v في الهواء.



ان كثافة التيار لتيار الضربة الاساسية هي كبيرة جدا وذلك لانها تتولد خلال قناة ضيقة بالمقارنة مع كثافة التيار لتيار الازاحة الذي يكون صغير جدا وذلك لانه يتوزع على مساحة كبيرة جـــدا.

ان مجموع تيار الازاحة يكون مساوي للتيار الناتج عن عملية التفريغ الرئيسية لكن مساره يكون باتجاه معاكس لاكمال الدائرة.

ان كل خط دائري للقوة واي نصف قطر ρ مقدم باغلاق تيار الازاحة فقط والتي تتناسب طرديا مع مساحة السطح المغلقة. فاذن تتناسب في نفس الوقت مع مربع نصف القطر

$$\rho = R = D/2$$

وهذه تؤدي الى ان شدة المجال المغناطيسي او الحث المغناطيسي Bv المتولد من تيار الازاحـــة يساوي

$$2\pi\rho\, Bv = -4\pi\,(\rho/R)^2\, i \qquad (3\text{-}9)$$

حيث ان R هي نصف قطر السحابة

$$Bv = -\,(2i\rho/R^2) \qquad (3\text{-}10)$$

ان الشكل (3.10c) يوضح قيمة المجال المغناطيسي Bv الناتج عن تيار الازاحة والذي يـــزداد خطيا مع نصف القطر ρ لكن عند حافات الصفائح تكون ρ = R فان قيمـــة Bv مســـاوية فـــي المقدار ولكن بقطبية مغاكسة لـــ Ba والتي تتولد عن طريق تيار التفريغ الرئيسي.لهذا فان الطاقة الكهرومغناطيسية تتغير حسب تغير المسافة بين الصفائح. ان شدة الطاقة المغناطيسية في الفراغ خارج قناة التفريغ

$$W_m^{(air)} = \frac{1}{8\pi}(Ba+Bv)^2 = \frac{i^2}{2t}\left(\frac{1}{\rho}-\frac{D}{R}\right)^2 \qquad (3\text{-}11)$$

ولغرض حساب محصلة الطاقة المغناطيسية نقوم باجراء تكامل للحجم الداخلي للمتسعة باستخدام طريقة الاسطوانة ذات ارتفاع a ومحيط 2πρ وسمك dρ عندئذ نحصل على :

$$W_m^{(AIR)} = a\int_r^R W_m 2\pi d\rho /$$

$$= a\,i^2\int_r^R (\frac{1}{\rho} - \frac{2\rho}{R^2} + \frac{P_3}{R^4})\,d\rho$$

$$= a\,i^2 |n\frac{R}{r} - \frac{3}{4} + (\frac{r}{R})^2 - \frac{1}{4}(\frac{r}{R})^4| \qquad (3-12)$$

واذا كانت مقاومة منطقة التوصيل(منطقة التوصيل) صغيرة جدا فانه يتولد تيار عالي نتيجة التفريغ والذي يتمركز على سطح قناة التفريغ. أن ظاهرة (Skin Effect) تؤدي الى تفريغ الصاعقة خلال الانبوب المجوف وفي هذه الحالة فان المعادلة 12- 3 سوف تعطينا الطاقة المغناطيسية الكاملة. ومع ذلك فان المقاومة الحقيقية للقناة تكون كبيرة بقيمةكافية لتجنب تأثير Skin Effect لهذا فان شدة التيار تكون منتظم فوق مساحة مقطع القناة وفي هذه الحالة فانه سيتولد مجال مغناطيسي Bi داخل القناة والذي يتغير بصورة خطية مع نصف القطر الاكبر من وبشكل مماثل يتناسب مع Bv عندما يكون نصف القطر بين r و R وبالتعويض عن R في المعادلة 10- 3 يمكن حساب

$$B_i = \frac{2i\rho}{r^2} \qquad (3-13)$$

وهذا المجال يكون مشابه في القطبية لـ Ba ومساوية له في المقدار في الحالة التي يكون فيها

$$\rho = r$$

ان الطاقة المتولدة نتيجة المجال المغناطيسي الداخلي يمكن حسابها ايضا عن عن طريق تكامل

شدة الطاقة السعوية في المعادلة 3-4 فوق القناة ذات نصف القطر r

$$W'_m = ai^2 \int_0^r \frac{\rho^3}{r^4} d\rho = \frac{ai^2}{4} \qquad (3-14)$$

ونحن ان جمعنا هذه المعادلة مع المعادلة 3-12 مع اهمال الحد $(r/R)^2$ و $(r/R)^4$ وذلك لانه

$r<<R$ عندئذ يبقى الحدين الاول والثاني ويمكن تبسيطها الى العلاقة

$$W_m = ai^2 (\ln \frac{D}{d} - \frac{1}{2}) \qquad (3-15)$$

وعند مساواة هذه بالطاقة المغناطيسية نتيجة التيار المحتث فان

$$W_m = \frac{1}{2} L i^2 \qquad (3-16)$$

ومن العلاقتين الاخيرتين يمكن حساب الحث الذاتي

$$L = 2a(\mathrm{Ln} \frac{D}{d} - \frac{1}{2})$$

ومن خلال المغادلة 3-16 والتي يمكن حساب قيمة C والمعادلة 3-15 والتي من خلالها

يمكن حساب قيمة L عندئذ يمكن حساب التردد المتولد نتيجة عملية التفريغ

$$v = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{2\sqrt{2r}}{D\sqrt{\mathrm{Ln}.\frac{D}{d} - \frac{1}{C}}} \cong \frac{2.88}{D} * 10^5 \qquad (3-17)$$

اذا كانت D بالكيلومترات فان الممانعة

$$\sqrt{\frac{L}{C}} = 4\sqrt{2}\frac{va}{D}\sqrt{Ln\frac{D}{d}-\frac{1}{2}} \equiv 500\frac{a}{D}\Omega \qquad (3.8)$$

ومن الصعوبة قياس قطر القناة d ان زمن الانفجار الموضح في الصورة (3.11) يقودنا الى تقدير قيمة d الى حوالي 10cm على اساس السمك الظاهر والمسافة المعروفة.

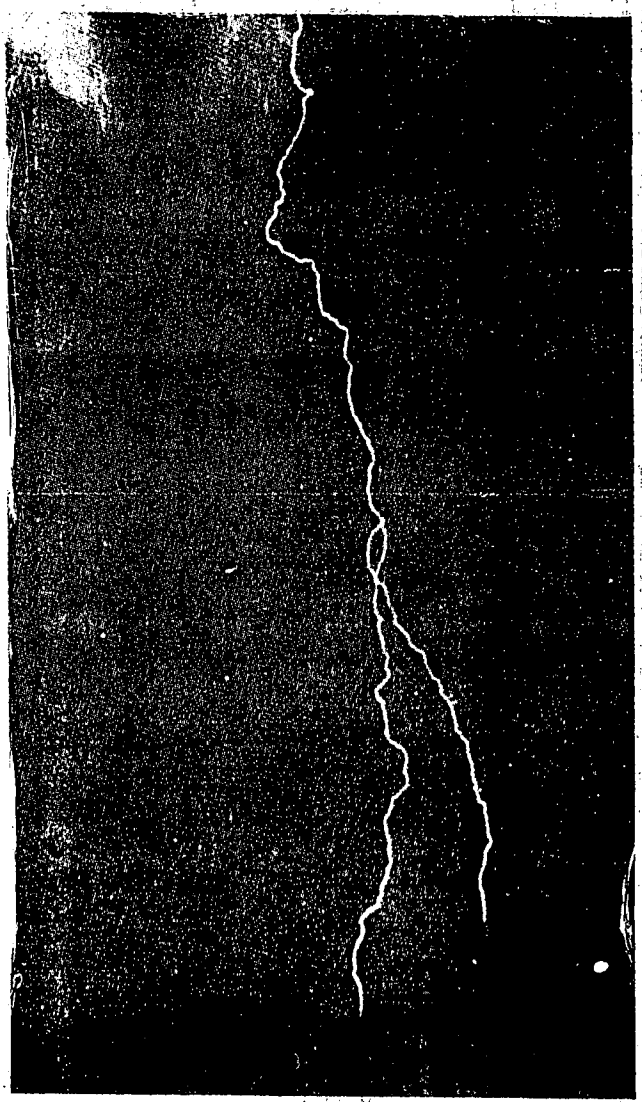


Fig. 3.11 [2]

الباحث Schonland قام بقياسها بين cm (10-25) لأقوى تفريغ مع هذا فانها تتغير مع التيار الكلي وبالتالي مع المتسعة اذن تعتمد على قطر السحابة أي نسبة $d/D * 10^{-4}$ وهذه النسبة امكن قياسها عمليا بصورة تقريبية الى حد ما اكثر من كل المتغيرات. ومن العلاقات (3-17) يمكننا ملاحظة ان قيمة التردد تتناسب عكسيا مع قطر السحابة D في حين ان الممانعة تتناسب طرديا مع ارتفاع السحابة a وذلك لان عند زيادة a فان الحث الذاتي يزداد بنفس النسبة وان الشدة تقل. واذا افترضنا ان فولتية القطب تكون متساوية او مشابهة بين كل النقاط المتعاكسة وهذا يؤدي الى ان الطول الموجي يكون كبير بالمقارنة مع ابعاد المتسعة. ان الطول الموجي يمكن حسابه من حاصل قسمة سرعة الانتشار والتردد حسب العلاقة

$$\lambda = 2\pi \frac{v}{V} = \frac{\pi D}{\sqrt{2}} \sqrt{\mathrm{Ln}\frac{D}{d} - \frac{1}{2}} \equiv 6.53D \qquad (3-17)$$

من العلاقة الاخيرة نلاحظ ان الطول الموجي هو عدة اضعاف قطر المتسعة وبحيث ان اقصر الاطوال الموجية تظهر بطريقة التوافقيات. ولغرض حساب سلوك هذه التوافقيات يمكننا استخدام معادلات ماكسويل. ان قيمهم تكون صغيرة بالمقارنة مع الفرضيات الاساسية هنا. لهذا عمليا يكون تأثيرهم فقط على المحاور الجزئية. اذن اذا كان الرعد الموضح في الشكل (3.12) له قطر D= 1km والتفريغ الناتج من الضربة داخل قناة ذات قطر d= 1cm فان التردد يكون

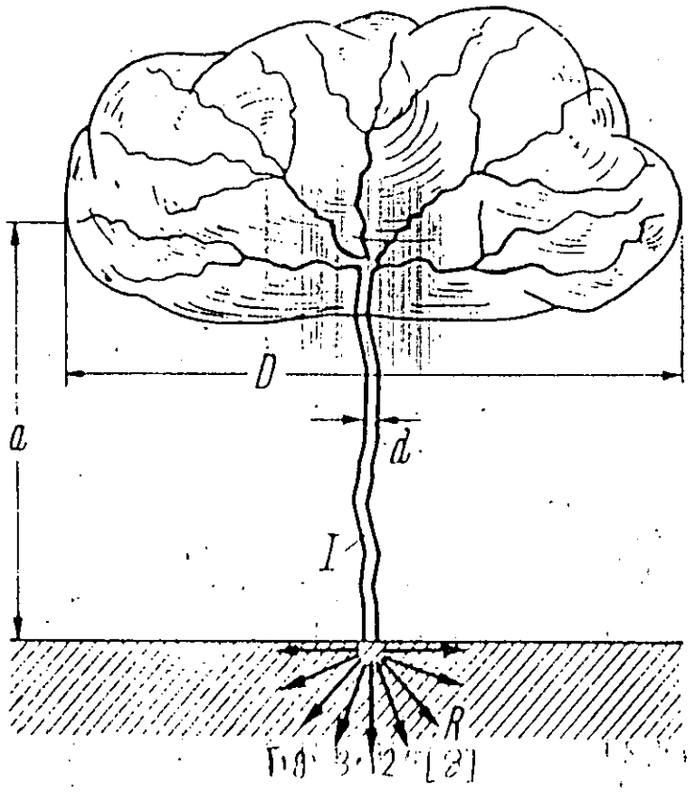


Fig. 3.12 [8]

$$V = \frac{2\sqrt{2}.3.10^{-5}}{1.\sqrt{m.1000/0.1 - \frac{1}{2}}} = \frac{8.5*10^{5}}{2.95} = 2.88*10^{5}\,cy/2\mu sec.$$

$$= 45.800 cy/sec.$$

ان مقدار الممانعة عندما يكون ارتفاع السحابة a = 1km يمكن حسابه من العلاقة 14-24

$$\sqrt{\frac{L}{C}} = 4\sqrt{2}*3*10^{10}*1*2.95*10^{-9} = 500\Omega$$

ان مقدار تيار الصاعقة يمكن حسابه باستخدام علاقة مشابهه

$$I = E\sqrt{\frac{L}{C}} = \frac{D}{4\sqrt{2}v\sqrt{LnD/d - 1/2}}\frac{E}{q} \cong \frac{DE}{500a} \quad (3-20)$$

حيث D بالكيلومتر وهنا ايضا نعوض عن $d/D = 10^{-4}$ بصورة تقريبية لغرض حساب E بالفولت I بالامبير من المفيد ان نضرب بعامل الابعاد 10^{a}. ان الكمية E/a يمثل معدل انهيار فولتية المجال في الهواء ومرة اخرى اذا اهملنا التاثير القليل للمقدار d/D كما فعلنا سابقا فان شدة التيار سوف تعتمد على قطر السحابة وتتناسب طرديا معه.

ان شدة التيار وتردد تفريغ الصاعقة لا يعتمد على ارتفاع السحابة لكن بصورة رئيسية تتناسب طرديا مع مساحة السحابة.

عندما يكون D= 1cm ومعدل انهيار شدة المجال E/a = 100 k V/m يمكن حساب تيار الصاعقة

$$I = \frac{1*1000*10^{9}}{4\sqrt{2}*3*10^{5}*2.95} = 200.000A$$

وقيمة التيار هذه عالية جدا ولذلك فان عملية التفريغ تؤدي الى حدوث اشعاع في المنطقة القريبة وبطول موجي

$$\lambda = \frac{n}{\sqrt{2}} 1000 * 2.95 = 6550\mathbf{m}$$

وهذا معناه ان هناك كمية من الطاقة نتيجة عملية التفريغ هذه وان الاشعاع يكون واضح لمسافات بعيدة جدا والذي يؤدي الى حدوث الصاعقة.وفي نفس الوقت يتولد احتكاك كبير نتيجة خافية الصوت ولمديات مختلفة من قطر السحابة . فان الجدول 2-3 يعطينا التردد وكذلك التيار لقيم مختلفة من شدة انهيار المجال. التردد مقاس بالكيلو دورة/ثانية ،زمن زيادة مربع الموجة يقاس بالمايكروثانية والتيار يقاس بالكيلو امبير.

جدول (2-3) علاقة نصف قطر الغيمة بالتردد

Cloud Diameter D(m)							
100	200	500	800	1000	2000	3000	5000
460	230	92					

من خلال الجدول اعلاه نرى ان حدود التردد بين 10-500 kc/sec وتيار الازدياد (Risetim) بين .(0.5-30)μ sec .

ان شدة التيار للسحابة الصغيرة ولقوة انهيار واطئة تساوي 10kA وتصل الى اعلى من 500kAللسحابة الكبيرة لقوة انهياركبيرة للفولتية وذلك بسبب عدة عوامل يمكن ان تعطي الزيادة في قوة الانهيار وان قيم التيارات المعطاة تمثل اعلى ما يمكن من هذه القيم.

ان الهلاكة المستخدمة للمتسعة ذات الصفائح المتوازية يمكن تطبيقها بصورة جيدة على الهوائي من النوع المظلي والذي يستخدم لنشر او توزيع ارسال التردد السمعي كما مبين في الشكل (3.13) ان التردد الحقيقي معطى بصورة تقريبية في المعادلة 18- 3 والطول الموجي في المعادلة 19- 3 وعلى اعتبار D هي القطر مركز المظلة. و d قطر الدعامة الوسطية (أي حاملة المظلة) للحث الذاتي والمتسعة فان المعادلتين 3-15 و 3-24 و 3-6 لايمكن الاعتماد عليهم لغرض الحسابات وذلك لان الارتفاع a من الصعوبة تقديره بسبب عدم الترابط. ان اسلاك الهوائي في الفضاء لها سعة واطئة وحث عالي بالمقارنة مع صفائح التوصيل[9]

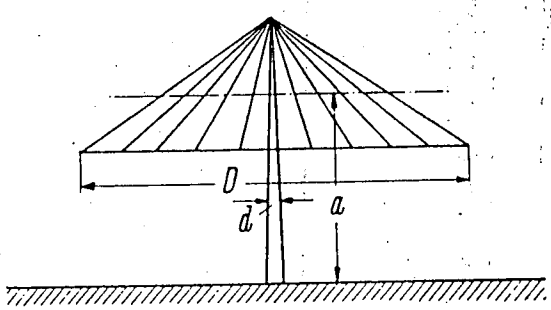


Fig. 3. 13 [8]

جدول (3-3) علاقة نصف قطر الغيمة مع التردد وزمن الصعود

Cloud Diameter								
	100	200	500	800	1000	2000	300	5000
Frequency , V/2π (Ks/sec)	460	230	92	58	46	23	15.2	9.2
Rise Time ,τ/4(μsec)	0.55	1.1	2.8	4.4	5.5	11	16.5	27.5

الجدول (4-3)يبين تردد وتيار الصاعقة لفولتيات انهيار للمجال الكهربائي

Lightning Frequency and Current

Break Down Field Strength E/a (kV/m)	Current , I (kA)							
50	10	20	50	80	100	200	300	500
100	20	40	100	160	200	400	600	1000
200	40	80	200	320	400	800	1200	2000
300	60	120	300	480	600	1200	1800	3000

3-6 نفوذية الارض:قد تمكنا من التحليل العام والموسع لعملية تفريغ الصاعقة. الآن سوف نبحث وبتفصيل اكثر التاثيرات الابتدائية والمرتبطة بهذه العملية. بسبب ان بداية التفريغ التمهيدي للصاعقة ينتشر فقط بجزء من سرعة الضوء. هذه العملية الابتدائية تحدث ببطيء بالمقارنة مع الزمن المستغرق لانتشار النبضات المنتقلة. لهذا اذا تخلينا هذه العملية كما موضحة في

الشكل (3.9) فان ضربة الصاعقة تنتشر ببطيء من السحابة المشحونة الى الارض. واذا اخذنا بنظر الاعتبار ان المجال الكلي لاكمال الضربة الى الارض كشحنات الكتروستاتيكية وفقط بعد حدوث التفريغ التمهيدي فان قناة التوصيل تستطيع ان تقوم بعملية التفريغ الاساسية او حدوث الضربة وذلك بسبب ان تيار الصاعقة وكما مبين بالشكل (3.13) يتوزع بانتظام في كل الاتجاهات وكنقطة للدخول ان مقاومة نفاذية الارض R تساوي

$$R = S/\pi d$$

ان s تمثل مقاومة الارض الدقيقة او المخددة والتي تساوي $10^4\Omega/cm$ اذن فان كان قطر القناة $d = 10cm$ فان مقاومة نفاذية الارض تساوي

$$R = 10^4/\pi*10 = 318\Omega$$

وبالاعتماد على مقاومية الارض وقطر قناة التفريغ فان مقاومة نفوذية الارض تتراوح بين 30Ω الى 3000Ω.

ان عملية التفريغ الآن تبدأ وكما موضح بالشكل (3.13) فاذا كان خط التفريغ مؤرض بواسطة مقاومة كما في الشكل (3.11) وبالرغم من ذلك فان هذه القيم تحذف عند التردد الحقيقي. اذا كان قطر المظلة =200m وقطر الدعامة $d = 2m$ اذا كان الطول الموجي الحقيقي.

$$\lambda = \pi * 200\sqrt{\frac{Ln100 - 0.5}{2}} = 700m$$

ان الذبذبات الكهرومغناطيسية لهذا الطول الموجي والتي تعطينا تردد قيمته 333kG/sec والتي تشع في الفضاء. اذا تم تخفيز او تنشيط الهوائي بواسطة نبضة حادة. ونتيجة لتجارب عملية عددية تم الاتفاق على انه من المناسب استخدام متسعة صغيرة مع الصفائح المتوازية. فاذا كان قطر الصفيحة 1m وقطر قناة القدح 1mm فان المعادلة 8-3 تعطينا قيمة التردد

ويمكن حساب شدة التيار اثناء عملية التفريغ عندما تكون فولتية الانهيار لشدة المجال = 10kV/cm من العلاقة 2-3

$$I = \frac{100 * 10^9}{4\sqrt{2} * 3 * 10^{10} * 254} * 10 * 10^3 = 2400 Amp$$

وهذه القيمة تعتبر عالية جدا. واذا كان ممانعة قناة التفريغ $Z_B = 500\Omega$ ومقاومة الارض تساوي 300 Ω وفولتية السحابة تساوي 20.000V فانها تعطي زيادة لتيار الضربة الابتدائي.

$I_B = 20.000 * 10^3 / 500 * 300 = 25,000A$

وان نسبة فولتية التفريغ الى فولتية الصاعقة يمكن حسابها من العلاقة

$eB/E = 500/500 * 300 = 63$ Percent

وفولتية الارض عندنقطة وصول الضربة الى فولتية الصاعقة يمكن حسابها من العلاقة

$e/E = 300/500 + 300 = 37$ percent

هنا سوف تدخل ممانعة قناة تفريغ الصاعقة في الحسابات من خلال حساب الحث الذاتي لكل وحدة طول.

$$Z_B = \frac{L}{a} v = 2v(Ln \frac{D}{d} - \frac{1}{2})$$

$Z_B = 2.3 * 10^8 * 8.7 * 10^{-9} = 520\Omega$ فان $D/d = 10^4$ ولما ان نسبة الاقطار

ولاي حدود للاقطار فان هذا المتغير سوف يحدد بهذه القيمة فلهذا فان قناة الصاعقة بامكانها ان تصلح معدل هذه الممانعة 500 Ω والتي بدورها تساوي لقيمة مماثلة للخطوط المفتوحة وهي لا تعتمد على طول الضربة.

ان الخطوة الأولى لضربة النبضة Pulse Strart الى الارض ذات تيار يمكن حسابه من خلال العلاقة

$$i_B = \frac{E}{Z_B + R}$$

ويتم تفريغ النبضة بفولتية يمكن حسابها من العلاقة

$$e_B = -\frac{Z_B}{Z_B + R}$$

ومقدار الفولتية في نقطة وصول الضربة الى الارض تساوي


الفصل الرابع
الحماية من
الصاعقة

4- الحماية من الصواعق [13]

4- 1 التأريض

مقدمة

يستخدم التأريض للحماية من الصواعق وذلك لكون الشحنات الاستاتيكية خطرة جدا على الاجهزة والمنظومات التي تستخدم الهوائيات مثل التلفزيون والراديو واجهزة الاتصالات بصورة عامة يجب ان تتأرض هذه المنظومات بصورة منفصلة بواسطة الواح التأريض وذلك لان التيار العالي في واحد من الانظمة مثلا وفي الأماكن التي تحتوي تأريض لمجهزات القدرة سوف لا تشكل خطرا التيار العالي والفولتية العالية على الاجهزة الاخرى.

4-2 اهمية التأريض

يمكن تحديد اهمية مظومات التأريض بثلاث نقاط رئيسية :

1- لتجنب حالات الخروج عن الفولتيات المفروضة اما بالنسبة للاجهزة والموصلات والتي تعتبر خطرة اذا زادت عن قيمتها وقد تسبب الانفجار.

2- ان هذه المنظومات تسمح للتيار للمرور بامان في حالة فوق التيار (Over Current) فعند وجود الأرضي يعمل على حماية الاجهزة وبدون خطر.

3- تستخدم هذه المنظومات لاخماد خطورة انحدار جهد الأرض والتي تنتج عن الاستخدام الغير صحيح لوحدات الحماية او لدوائر السيطرة.

4-3 حسابات قاطب التأريض

تستخدم طريقة المسمار الارضي (Earth Spike) لقياسات قاطب التأريض المقاومة

$$(Ve-V_1) = Ier_{cc} + I_1r_{e1} + I_2r_{e2}) - (I_1r_{11} + Ier_{c1} + I_2r_{21})$$

عمليا ومن التجارب فان قيمة I_1r_{11} هي صغيرة جدا وعند وضع مسمار التأريض ببعد جيد عن الأرض فان قيمة r_{12} و r_{c2} و r_{c1} هي كذلك صغيرة جدا فلهذا يمكن اختصار العلاقة السابقة

$$(Ve-V_1) = Ier_{cc}$$

وذلك لان r_{11} و r_{22} كبيرة جدا.

حساب مقاومية الارضي

باستخدام فحص وينر (Wenner's Test) لقياس مقاومية الارض تستخدم اربعة مسامير تغرس في الارض وبابعاد متساوية L التيار ايسري خلال المسمار الاول ويخرج من المسمار الرابع وكما مبين في الشكل التالي .

$$^{14}r_{23} = [r_{12} + r_{13} - r_{24} - r_{13}]$$

حيث ان $^{14}r_{23}$ تمثل الفولتية بين 2 و 3 ومقسم بالتيار 1,4

لكن لاغراض الحسابات فاننا نفرض ان

$$r_{12} = r_{34}$$

$$r_{13} = r_{24}$$

فلهذا

$$^{14}r_{23} = 2\,[r_{12} - r_{13}]$$

وعلى فرض ان حجم المسامير تكون صغيرة بالمقارنة بالمسافة بينهم

بصورة تقريبية فان

$$r_{12} = p / 2\pi L$$

او

$$r_{12} = 2p / 4\pi L$$

$$r_{13} = 1/2\ \pi\ 12$$

لهذا

$$^{14}r_{23} = p / 2\pi L \quad \text{or} \quad p = 2\pi L\,^{14}r_{23}$$

حيث ان p تمثل المقاومية لقاطب التأريض

4-4 حماية خطوط نقل القدرة الكهربائية من ضربة الصاعقة:

Protection of Transmission Line Against Lightning.

يمكن حماية خطوط نقل القدرة الكهربائية باستخدام الوسائل الآتية:

أنواع المؤرضات:

أ. **خط الأرضي: Ground Wire**

يتم حماية خطوط نقل القدرة الكهربائية من الصاعقة وذلك بحجب هذه الخطوط من الصاعقة باستخدام خط خاص يربط مع جسم البرج Tower الموصل بالأرض والذي يسمى بخط الأرضي أو الأرضي Ground Wire هناك عدة عوامل يجب مراعاتها عند تصميم خطوط نقل القدرة نذكر منها:

المواصفات الهندسية.

1- خط الأرضي: يجب أن يثبت في موقع بحيث يكون قادرا على حجب الخطوط الأخرى من البرق، ويجب ان يتحمل شد ميكانيكي وأن يقاوم التآكل.

2- المباعدة بين الموصلات: بحيث أن تكون المسافة بين الموصلات والبرج وبين الموصلات والأرضي مناسبة، وذلك تجنبا من حصول تفريغات بين هذه النقاط.

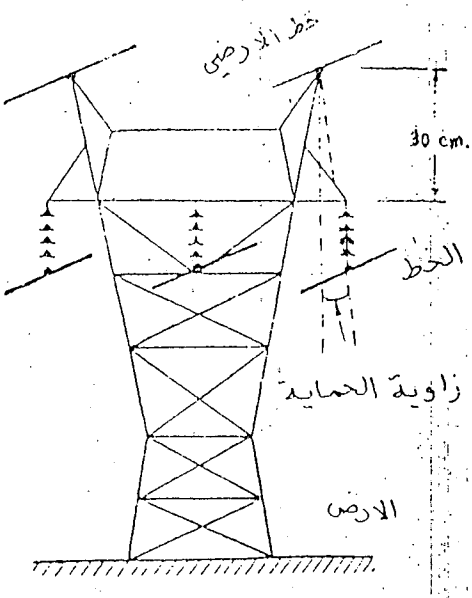
3- إزاحة خط الأرضي بحيث أن تكون المسافة بين خط الأرضي وموصلات الخطوط الأخرى كافية لتجنب حصول قفز الشرر Flas Hover بين خط الأرضي والخطوط الأخرى.

4- مقاومية أرضي البرج: بحيث ان تكون المقاومية بين الرج والأرضي قليلة وذلك لجعل مسار التفريغ ذو مقاومة قليلة جدا.

5- موقع خط الأرضي Location of Ground Wire:

يجب أن يثبت خط الأرضي بعيدا عن موصلات الخطوط الأخرى، كما يجب أن لا تكون فوقهما مباشرة وذلك تجنبا من حدوث دائرة قصر في حالة حركة الموصلات تحت تأثير الرياح والثلوج.

تعرف زاوية الحماية Angle of Protection بانها الزاوية المحصورة لبن العمود المار خلال الأرضي من نقطة البرج والخط الذي يربط نقطة تعليق الخطوط الأخرى مع خط الأرضي، و كما هو موضح في الشكل(1-4). كما يجب أن لا تتعدى هذه الزاوية 30 درجة.



الشكل (4-4) موقع خط الارضي بالنسبة الى خطوط نقل القدرة[2]

ومن الجدير بالذكر أن لخط الأرضي مساوئ نذكر منها ما يأتي:

(1) يرفع كلفة خطوط النقل.

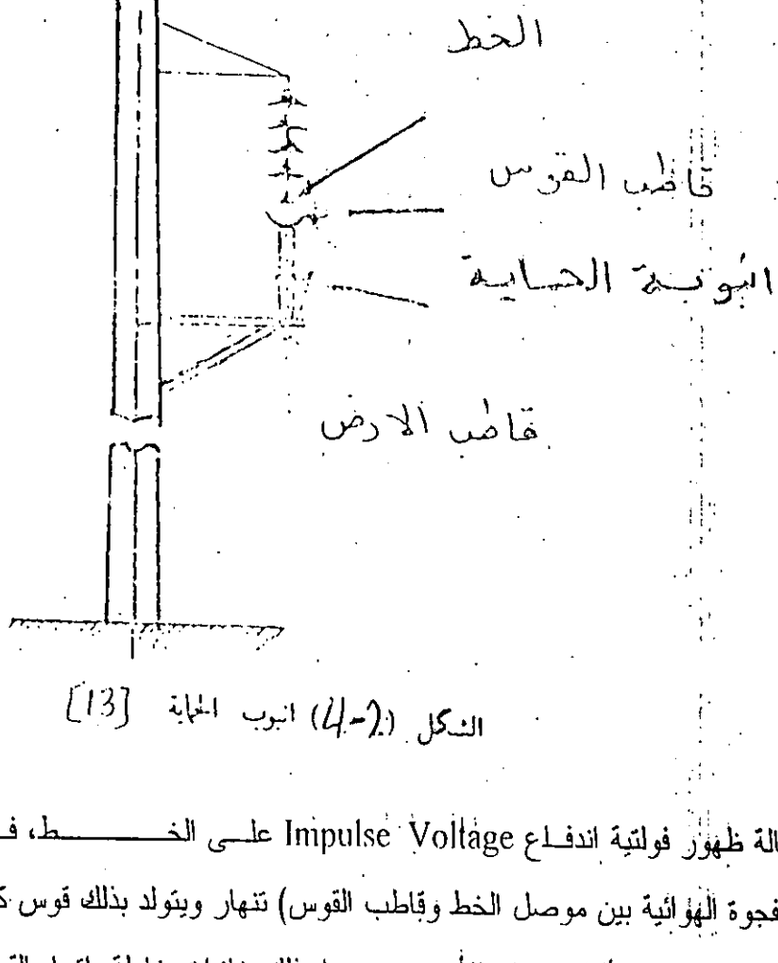
(2) احتمالية قطع الخط أو تلامسه مع الخطوط الأخرى مما قد يسبب دائرة قصر.

لذلك ينصح باستخدام خط الأرضي في المناطق المعرضة كثيرا للصواعق أو في الأماكن المهمة التي تتطلب حماية خاصة، أو يستخدم لمسافات معينة من المحطات الثانوية.

أ. استخدام أنبوب الحماية(المعدات المساعدة)

Line Protection Using Protector Tube (Auxilliary Device)

يوضح الشكل (2-4) ربط وتركيب أنبوبة الحماية، إذ يتألف من أنبوب ليفي t ube Fibre وفي نهايته قواطب. يثبت هذا الأنبوب بحيث يكون أسفل الخط مباشرة على شرط أن يكون قاطب القوس الكهربائي في الجزء العلوي منه وعلى مسافة معينة من خط النقل، وأن القاطب الأخر يربط في أسفل الأنبوب ويؤرض عن طريق جسم البرج.



الشكل (2-4) انبوب الحماية [13]

وفي حالة ظهور فولتية اندفاع Impulse Voltage على الخط، فإن فرجة التوالي(الفجوة الهوائية بين موصل الخط وقاطب القوس) تنهار ويتولد بذلك قوس كهربائي، نتيجة لذلك يتبخر جزء من الياف جدار الأنبوب محررا بذلك غازات خاملة باتجاه القوس لإخماد الشرارة وهذا ما يسبب إطفاء القوس ويمنع إعادة الإشعال بعد مرور التيار في لحظة الصفر.

5-4 الوقاية من الكهربائية الجوية - [11-13]

أن التفريغ الكهربائي الخرزى والذي تنتج عنه ظاهرة البرق يسبب خسائر مادية كبيرة إضافة للخسائر التي قد تحدث في الأرواح ويمكن تلافي ذلك أو تقليل الخسائر بوضع مانعة الصواعق على الأبنية. حيث أن التفريغ الكهربائي يسلك الطريق الأقل مقاومة ولذا فانه يصيب الأجزاء العليا من الأبنية وغيرها كصوارى السفن وقمم الأشجار. **تتألف مانعة الصواعق من**عمود معدني يثبت في أعلى نقطة من البناية ويربط بسلك موصل(نحاس) تدفن نهايته الأخرى في الأرض ويقوم هذا العمود بنقل كافة الشحنات إلى الأرض أو إعادة بعث فيض الالكترونات إلى الهواء حيث من صفاتها أنها تتجمع في النهايات المدببة فيسهل انطلاقها من نهاية عمود مانع الصاعقة

إذا لم يكن مرتبط بسلك التوصيل الأرضي. وبذلك نحافظ على البنايات من الاحتراق وعند إيصال هوائي التلفزيون بالأرض يقوم بنفس الغرض(فإذا كنت في مكان ولاحظت وجود سحب رعدية فلا تقف تحت شجرة منفردة في حقل مكشوف وابتعد عن المراكب والمياه عند حدوث العاصفة وستكون في أمان إذا بقيت داخل سيارتك).أن الأبنية الخشبية ذات مقاومة كهربائية عالية لذا فهي معرضة للدمار إذا لم تجهز بمانعة ضواعق مرتبطة بالأرض حيث ان التفريغ الكهربائي هائل جدا يصل إلى(30) ثلاثين مليون فولت وشدته(100) ألف أمبير ويحدث ذلك في زمن قصير جدا ولذا لا يمكن استخدامه أو الاستفادة من هذه الكهربائية رغم أن الطاقة المتولدة تزيد بكثير على الطاقة المتولدة من القنبلة الذرية.

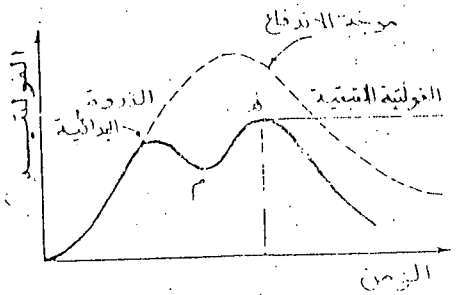
ويمكن تقليل الشحنات المتولدة في السحابة برش شظايا وقطع معدنية فيها حيث تخفف من شدة العاصفة.

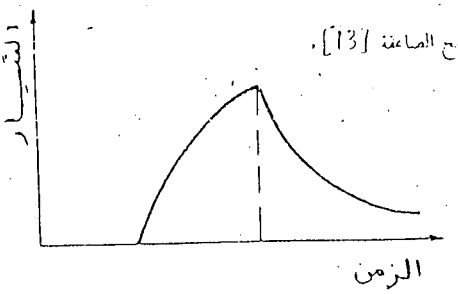
مانعات(كوامح الصواعق) Lightning Arrestors

يتبين مما سبق بأن خط الأرضي يحمي فقط الخطوط من تأثيرات الزيادة في فولتية الخط نتيجة الصاعقة، ولكن كما هو معروف فإنه يتولد أيضا في منظومات القدرة الكهربائية اندفاعات لا تقل خطورة عن الصاعقة وهذه ناجمة عن عمليات الفتح والغلق في المنظومة وتلك التي لا يستطيع خط الأرضي التخلص منها. لذلك لا بد من وجود معدات أخرى تحمي المنظومة من هذه الاندفاعات وغيرها وتسمى هذه المعدات بـ مصرف التمور Surge diverter.

4-7 مبدأ عمل مانعات الصواعق Lightning Arrestor Mechanism

تحث الغيوم المشحونة في خطوط النقل فولتيات على شكل اندفاعات، فعندما تصل هذه الاندفاعات الى مانع الصاعقة وتكون هذه الفولتية كافية لانهيار فرجة الحاجز، يتولد قوي كهربائي كما مؤشر في النقطة م الموضحة في الشكل(3- 4). ومن الجدير بالذكر أن مانع الصاعقة يجب أن يوفر ممانعة قليلة جدا فقط في لحظة وصول الاندفاع الى الحاجز، وأن يكون له ممانعة عالية جدا قبل وبعد وصول الاندفاع الى الحاجز. إن من أهم مواصفات مانعات الصواعق ما يأتي:





الشكل (4-4) خصائص الفولتية والتيار لكوابح الصاعقة [13].

المواصفات الكهربائية لمانعات الصواعق.

(1) لا يمر أي تيار في حالة عمل النظام بشكل طبيعي وأن يهيأ مسارا بسيطا للتيار عند وصول الاندفاع.

(2) ان يتحمل تيار التفريغ الكبير ولفترة زمنية معينة دون أن يتعرض للتلف.

(3) يعمل على قطع مرور التيار ثانية بعد التخلص من الزيادة في الفولتية بالتفريغ وذلك عندما تصبح الفولتية أقل من فولتية انهيار الفجوة مباشرة.

4-8 انواع مانعات الصواعق (Types of Arrestors)

يمكن تقسيم مانعات الصواعق الى مايلي:

1- مانعة ذو فرجة قضيب - قضيب (Rod- Gap Arrestor)

2- مانعة ذو فرجة كره -كره (Sphere- Gap Arrestor)

3- مانعة ذو ثغرة قرنية(Horn Gap Arrestor)

4- مانعة نوع الطارد (Expalsion Type Arrestor)

5- مانعة اندفاعه الصاعقة مع فرجة حماية

(Impulse Lightning Arrestor with Prptective)

6- مانعة نوع الكتروليتي(Electrolyic Type)

7- مانعة نوع اوكسيد الرصاص(Leadoxid Type)

8- مانعة نوع الرصاصة الكروية المطلية باوكسيد الرصاص.

9- مانعة نوع الثايرايت كربيد السيلكون(Thyrite Type)

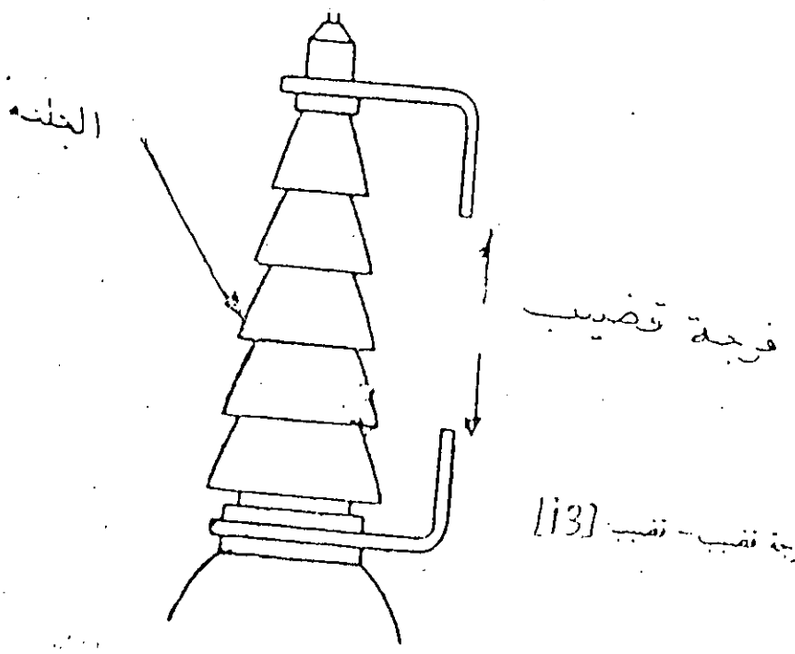
10- مانعة نوع صمامي (Valve Type)

11- مانعة ذات راس مشع (Radioactive)

وفيما يلي شرحا مختصرا عن كل نوع من الأنواع السالفة الذكر.

مانعة بفرجة قضيب- قضيب

يعتبر هذا النوع من الكوامح من ابسط الأنواع، كما مبين في الشكل(4.4) إذ يتكون من فرجة قضيب - قضيب ذات مساحة مقطع مقدارها 12-5 مليمتر مربوطة بين الخط الأرضي. تضبط المسافة للفرجة بحيث يحصل الانهيار بفولتية 20% اقل مما تحتاجه الجلية Bushing لقفز الشرر، كما يجب أن تكون المسافة بين الفرجة والجلية اكثر من 1/3 من مسافة الفرجة وذلك تجنبا لحصول شرارة بين القضيب والجليه.



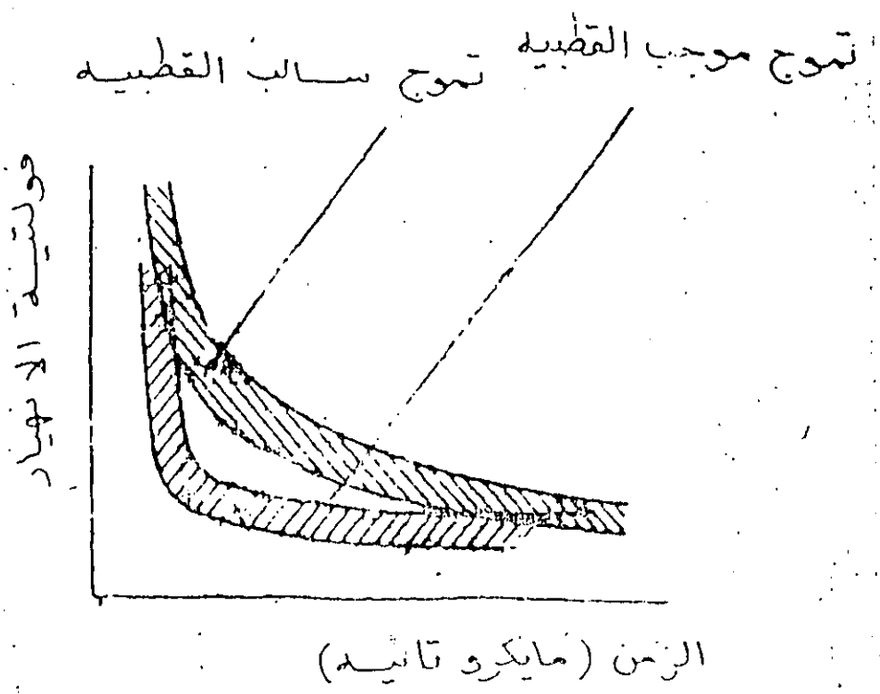
الشكل (4-4) حاجز ذي فرجة قضيب- قضيب [13]

يعتمد ضبط مسافة الفرجة على فولتية المنظومة، وفيما يأتي يوضح الجدول(4-1) ذلك:

الجدول (4-1)علاقة مسافة الفرجة مع فولتية المنظومة.

فولتية المنظومة(كليو فولت)	مسافة الفرجة(سم)
33	6-61
66	6-33
132	4-62
275	117.6

كما انه لا يمكن معرفة فولتية الانهيار لفرجة قضيب – قضيب بشكل دقيق وذلك لان فولتية الانهيار، وكما هو معروف تعتمد على عدة عوامل مثل درجة الحرارة والرطوبة... الخ، لذلك فان فولتية الانهيار يجب ان تقع ضمن مدى معين، كما انها تعتمد على القطبية، كما موضح في الشكل(4.5).

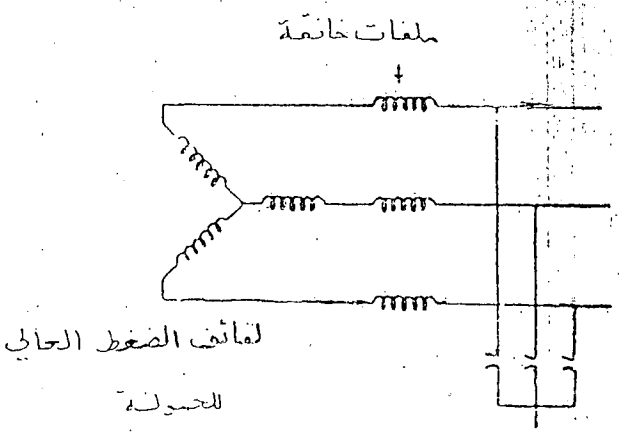


الشكل (4-5) مميزات فرجة قضيب – قضيب (فولتية الانهيار - زمن) [13].

ب- **كامح ذو فرجة كرة-كرة:**

يتضح من التسمية بان الفرجة عبارة عن كرات ذوات انصاف أقطار محدودة ومتساوية، ترتبط احداهما مع الأرضي والأخرى مع الخط كما موضح في الشكل(4.6).

يتم اختيار أقصر طول للفرجة بحيث لا يحصل التفريغ خلال عمل المنظومة بالشكل الطبيعي ولكن يبدأ التفريغ بالشروع متى ما ازدادت الفولتية عن هذه القيمة مولدة قوسا كهربائيا يأخذ بالارتفاع إلى الأعلى مع ازدياد تدريجي في طول القوس إلى أن ينطفأ ذاتيا.وعلى الرغم مما سبق ذكره فأن انقطاع الشرارة ليس بالأمر السهل حيث أن فولتية قليلة ممكن أن تديم الشرارة، ونتيجة لذلك فأن المرجل يعمل على تشغيل قاطع الدورة، فبذلك يعمل على قطع التغذية، وهذا ما دعا إلى إجراء بعض التحويرات وإنتاج ما يسمى بالكامح ذي الثغرة القرنية.



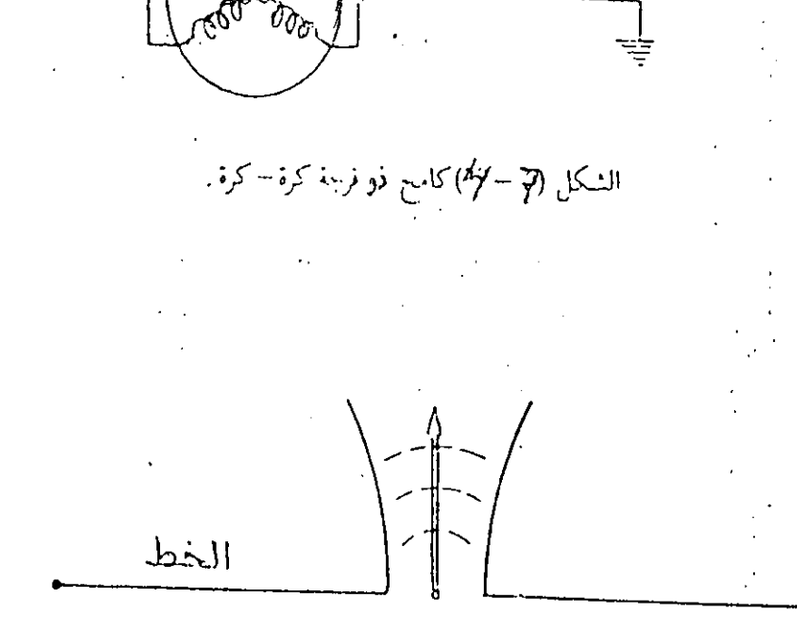
الشكل (6 – 4) لاربط كوامح الثغرة القرنية مع الملفات الخانقة [13].

جـ- الكامح ذي الثغرة القرنية:

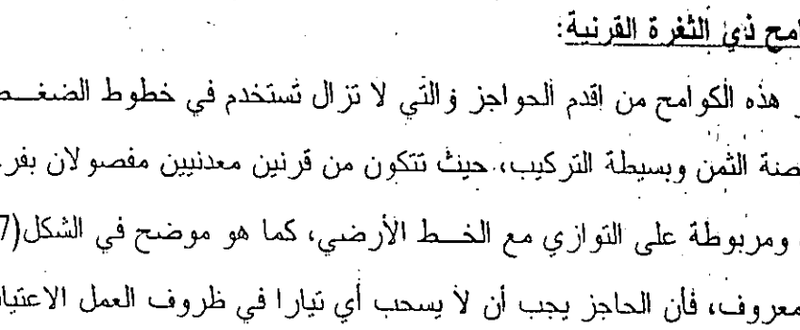
تعتبر هذه الكوامح من اقدم الحواجز والتي لا تزال تستخدم في خطوط الضغط الواطئ، لانها رخيصة الثمن وبسيطة التركيب، حيث تتكون من قرنين معدنيين مفصولان بفرجة صغيرة من الهواء ومربوطة على التوازي مع الخط الأرضي، كما هو موضح في الشكل(7-4).

وكما هو معروف، فان الحاجز يجب أن لا يسحب أي تيارا في ظروف العمل الاعتيادية ولكن متى ما ارتفعت الفولتية اكثر من ذلك فان الفرجة تنهار وتعمل على ازالة الفولتية الزائدة الى الأرض. وكما هو واضح ايضا من الشكل أعلاه، فان القوس الكهربائي يبدأ بالشروع من اسفل الثغرة نحو الأعلى حيث تزداد مساحة الثغرة فبذلك يلاقي التيار مقاومة اقل كلما اتجه نحو الأعلى.قد تستغرق هذه العملية من 3 إلى 5 ثواني، لذا تستخدم هذه الانواع من الحواجز في منظومات الفولتيات الواطئة. يبين الشكل(4.8) ربط الحواجز مع المكثفات الخانقة SEMES CHOKES في منظومة ثلاثية الأطوار.

كما تربط مقاومات على التوالي مع المانعات وذلك لتحديد تيار الثغرة.



الشكل (7-4) كامح ذو فرجة كرة- كرة.



الشكل (8-4) كامح بثغرة قرنية [13].

هذا ونلاحظ الجدول(2-4) يبين ضبط مسافة الثغرة مع فولتية المنظومة.

الجدول(2-4)) يبين ضبط مسافة الثغرة مع فولتية المنظومة

الفولتية الاعتيادية(كيلوفولت)	ضبط الفرجة(سم)
10	1.5
15	2.5
20	3.75
25	400
30	5.25
40	7.75
50	10

د- **مانعة اندفاع الصاعقة مع فرجة الحماية:**

كما هو واضح من الشكل(4.9) بأن هذا النوع من الكوامح يتكون من:

1- فرجة القدح

2- فرجة ثانوية

تعمل فرجة القدح على إزالة الفولتية الزائدة إلى الأرض، بينما تمنع الفرجة الثانوية من إعادة الضربة ثانية عندما تعود المنظومة إلى حالة عملها الطبيعية.

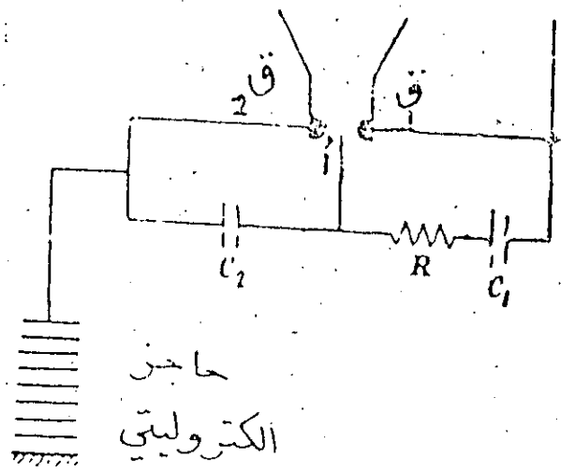
وكما هو واضح بأن الفرجة الرئيسية تتكون من قاطبين ق1 و ق2 بشكل أنصاف كرات. يكون القاطب ق1 مربوطا مع الخط، بينما يكون القاطب ق2 مربوطا مع الأرضي من خلال مانع الصاعقة الالكتروليتي.

وكما ويضاف قاطب مساعد(أ) بين القاطبين الرئيسين ويكون مربوطا مع مانع الصاعقة من خلال المتسعة C_2 ،كما وأن هذا القاطب يربط مع الخط من خلال المقاومة R والمتسعة C_1 .

عندما تكون المنظومة في حالة عمل مستقرة فان ممانعة المتسعة C_1 تكون كبيرة مقارنة مع المقاومة R وعندما تتحقق الحالة $C_1 = C_2$ فان جهد النقطة(أ) يساوي منتصف فرق الجهد بين ق1 و ق2، فبذلك لا يتأثر المجال بين ق1 و ق2، لذا لا يحصل التفريغ.

أما في حالة حصول ازائلة على الخط، فان ممانعة المتسعات C_1 و C_2 تقلان كثيرا عن المقاومة R، وهذا يجعل جهد النقطة أ مساو لجهد النقطة ق2، أي بمعنى آخر أن النقطة ق2 قد زحفت

واصبحت وكانها النقطة(أ)، وكان الفرجة قد تقلصت، لذا يحصل قفز الشرر بين(أ) وق2. ويتبع ذلك انهيار الفرجة بين ق1 و ق2.



الشكل (9-42) كاسح اندفاع الساعقة مع فرجة الحماية[13]

هـ- **المانعة الالكتروليتية:**

يتعمد مبدأ عمل هذه المانعة على حقيقية أن ترسيب طبقة رقيقة من مادة هايدروكسيد الالمنيوم على لوح من الالمنيوم المغمور في سائل الكتروليتي يوفر مقاومة عالية لفولتية قليلة وتردد اعتيادي، وبة فر كذلك مقاومة قليلة لفولتية وتردد عاليين. ومن الجدير بالذكر بأن طبقة الأوكسيد تبدأ بالتكوين ثانية حال زوال الفولتية الزائدة ويصبح التيار صفرا بعد إتمام تكوين طبقة الاوكسيد.

تتركب هذه المانعة من سلسلة من هذه الخلايا، مرتبة واحدة فوق الأخرى، فبذلك يمكن أن تصنع بحيث تستخدم لأية قيمة من فولتية المنظومة. ومن مساوئ هذه المانعات نذكر منها ما يلي:

(1) يتطلب صيانة ومراقبة مستمرين.

(2) من المحتمل أن ينجمد السائل الالكتروليتي وخاصة في المناطق الباردة جدا.

و- مانعة نوع اوكسيد الرصاص:

أن مبدأ عمل هذه المانعة يستند على مبدأ التغير الذي يمكن أن يحصل في مقاوميه بعض الأملاح غير العضوي بالتسخين، ومن هذه الأملاح اوكسيد الرصاص PbO_2 الذي يعتبر موصلا جيدا للكهربائية في درجة حرارة المحيط، وعازلا جيدا للكهربائية لدرجات حرارة أعلى من ذلك، وهذا السلوك يعود إلى تكوين الرصاص الأحمر كما مبين من المعادلة:

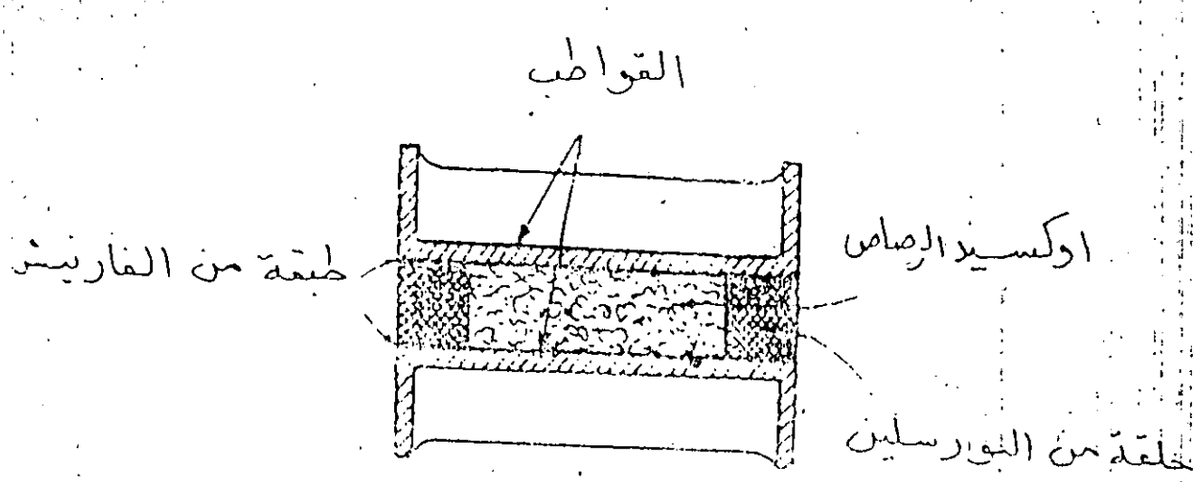
$$Pb_2O_4 \xrightarrow{\text{تسخين إلى } 150 \text{ درجة مئوية}} PbO_2$$

وعند درجة حرارة اكثر من ذلك فأن الرصاص الأحمر يتحول إلى أوكسيد الرصاص الذي يعتبر مادة عازلة للكهربائية بدرجة كبيرة.

أن تركيب الخلية مبين في الشكل(4.10) حيث تتكون من قاطبين حديدين لهما مقاطع دائرية مكسية بطبقة من الغارنيش ومن جهة واحدة فقط. حيث تنهار طبقة الفارنيش عندما تتعرض إلى الفولتية الزائدة. كما أن القواطب تفصلهما حلقة داخلية من البورسلين ثخنها 1 سم كما يملا الفراغ المتكون بين القواطب بمسحوق اوكسيد الرصاص.

ومن مزايا هذا الكامح أنه لا يحتاج إلى مراقبة يومية فبذلك يمكن استخدامه في المناطق النائية.

أما من مساوئه فهي أن حساسيته ضعيفة.



الشكل (4.10) كامح من اوكسيد الرصاص [13]

هـ - مانعة من نوع الرصاصة الكروية المطلية باوكسيد الرصاص:

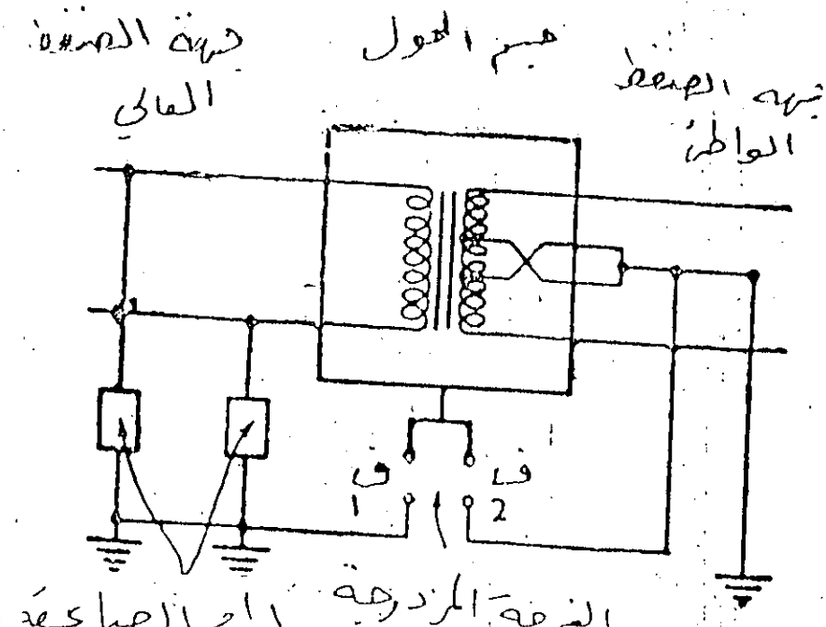
تتكون خلايا هذه المانعة من مجموعة من كرات مطلية باوكسيد الرصاص، كما أنها تربط على التوالي مع فرجة القدح.

يتحمل الأنبوب الواحد فولتية بحدود 25 كيلو فولت في المنظومات المؤرضة مباشرة بينما يقل تحملها إلى 18 كيلو فولت في المنظومات غير المؤرضة أو المؤرضة بواسطة محاثة. عند حصول زيادة في الفولتية، تنهار فرجة القدح، وتسلط هذه الفولتية على عمود الكرات فبذلك يحصل التفريغ، وبعد انتهاء التفريغ فأن مقاومة عمود الكرات تزداد وبذلك يقل التيار إلى أن يصبح صفرا من خلال فرجة التفريغ.

ي- مانعة الثايرايت:

تتصف مادة الثايرايت بأن له مقاومة قليلة لفولتيات عالية ومقاومة كبيرة لفولتيات واطئة، بحيث يمكن أن تصل ناتج قسمة القيمة الكبيرة على القيمة الصغيرة بحدود 200: إلى 1 أو 300 إلى 1.

يبين الشكل(4.11) تركيبة هذا النوع من المانعات، إذ يتألف من أقراص من مادة الثايرايت مرتبة واحدة فوق الأخرى وعلى التوالي مع الفرجات. كما أن هذه الأقراص وفرجات التوالي تثبت في داخل وعاء من البورسلين، كما يوجد في القمة والقاعدة قاعدتين مصبوبتين ومن مادة الالمنيوم، كما أنهما توصلان بالوعاء من خلال سمنت معامل بالبخار بالإضافة إلى ذلك تربط القمة المصبوبة مع الخط بواسطة كلابات ماسكة، وتربط القاعدة السفلى بالأرضي.



الشكل (11-4) طريقة الحماية ذي النقاط الثلاثة [12]

في حالة حصول زيادة في الفولتية فأن أقراص الثايرايت تبدي ممانعة لمرور التيار ومـــن ثـــم ممانعة كبيرة بعد زوال الاندفاع وبذلك يصبح التيار صفرا من خلال فرجات القدح.

ومن فائدة استخدام مجموعة فرجات القدح على التوالي، هي ضمان عمل المانعة بوقت قصـــير حال بلوغ الفولتية اللازمة لتشغيل المانعة وقطع التيار حال رجوع المنظومة للعمل بـــالصورة الاعتيادية.

ومن مساوئ هذا النوع من المانعات وهو وجوب حمايتها من الأتربة والرطوبة.

م -مانعة الصواعق ذات الرأس المشع: وتتألف من الاجزاء الاتية: [١٧]

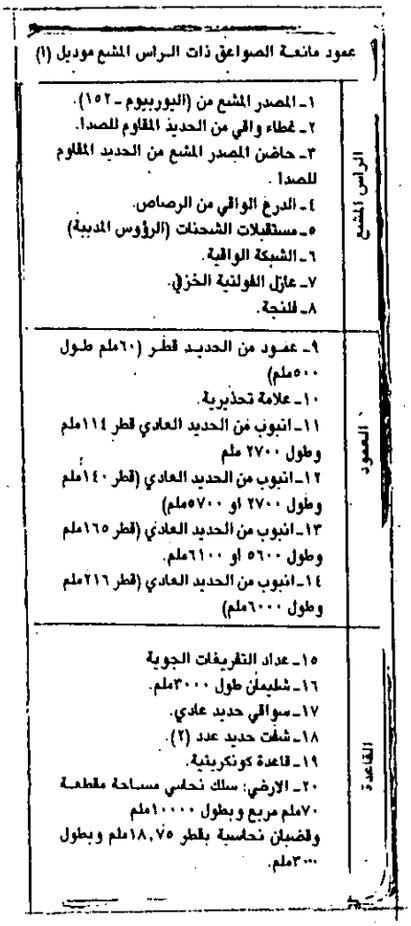
1- الراس المشع (اليوربيوم -152)

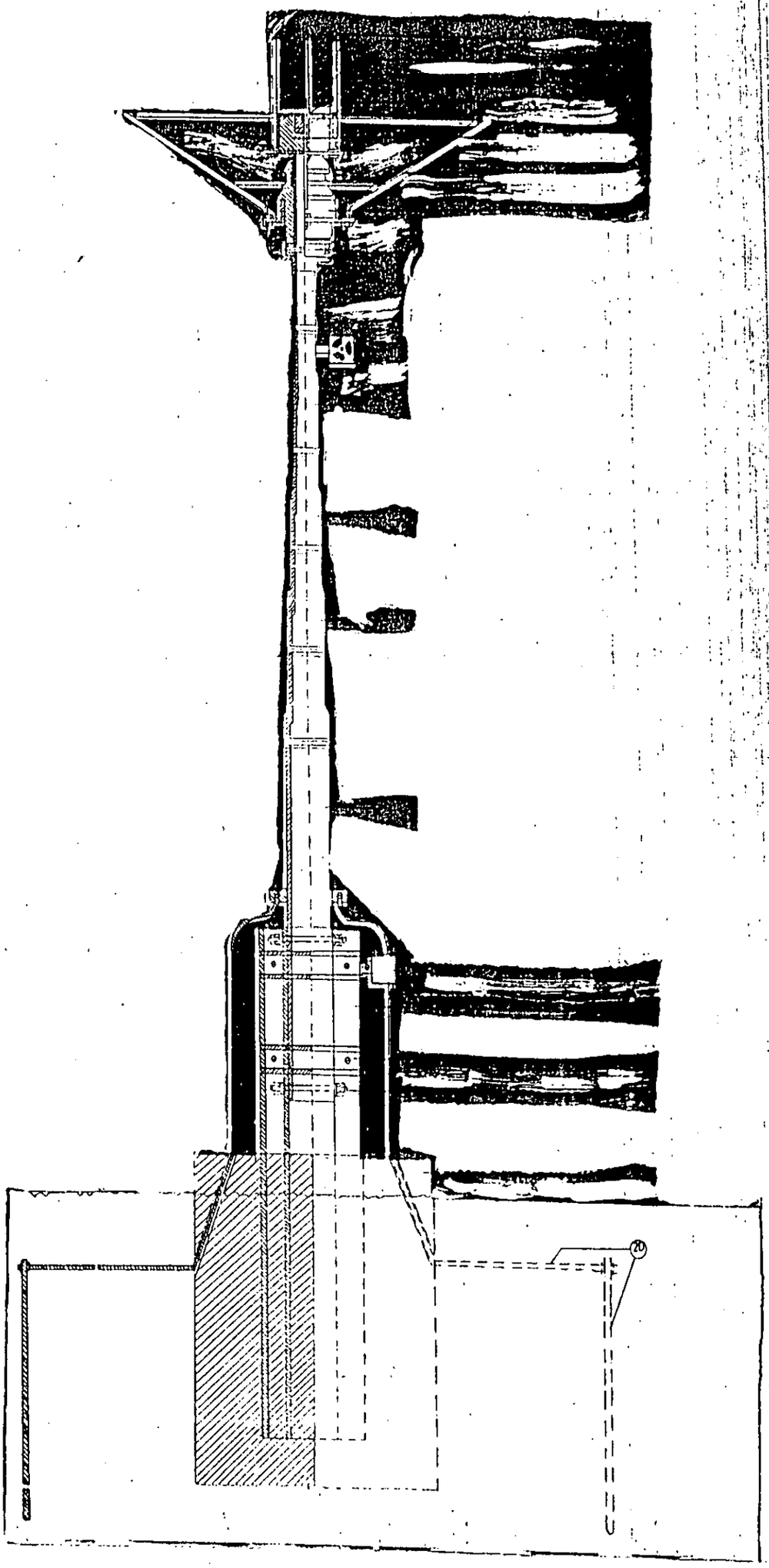
2- عمود الاسناد (ارتفاعات مختلفة لأسناد الراس المشع)

3- قاعدة تثبيت عمود الاسناد

4- الارضي والتوصيلات الارضية

والشكل (12-4) ذلك:





شكل (12-4) مانعة السواحل ذات الرؤوس المثلثة [14]

يتطلب من معدات نظام القدرة ان تعمل وبشكل جيد تحت الظروف المختلفة (المستقرة وغير المستقرة) اذ تحمل التيارات الاعتياديةعندما تعمل تحت الظروف المستقرة وينجم عن ذلك ارتفاع في درجة حرارتها الى الحد المسموح به. اما عند الحالات غير المتقرة كالافراط في الحمل او حصول دائرة قصيرة او ارتفاع مفاجيء في الفولتية نتيجة الصاعقة او حالات الفتح اوالغلق للنظام فان التيار يتضاعف وبشكل كبير وينجم عن ذلك اجهادات حرارية وكهرودينميكية. ومن المواصفات الجيدة لمعدات نظام القدرة تحملها للاجهادات لفترة قصيرة بحيث لا تؤدي الى تلف ميكانيكي او انهيار في العوازل بسبب الفولتية المفرطة.

اصبح واضحا بان الظروف غير المستقرة يجب ان لا تستمر لفترة طويلة وهذا يتطلب استخدام اجهزة الحمايةالمختلفة للحالات المختلفة.

1-الفواصم Fuses

لقد اخترع الفاصم في عام 1880 م من قبل اديسون، وهو عبارة عن جهاز لحماية الدائرة من الاضرار الناجمة عن مرور تيارات اكثر من القيمة التي تتحملها. وذلك بسبب حصول عطل في الدائرة باكملها او في جزء منها،اذ يعمل على فتح الدائرة من خلال عنصر الفاصم.ويعتبر من اضعف توصيلات الربط في الدائرة الكهربائية ويكون تركيبه بسيطا لذلك لا يتطلب تصميمه خبرة كبيرة ومتخصصة.

ان للفاصم القابلية على حماية الدائرة الكهربائية عندما تتعرض الى الصدمة الكهربائية Electric Shock.ففي المنظومات المؤرضة مباشرة Solidly Earthed ، يمكن للفاصم ان يوفر حماية ضد الصدمات الكهربائية التي تنجم عن تلامس جسم الانسان مع الاجسام المعدنية التي يتوفر فيها جهد كهربائي الذي يسبب مرور التيارات المتسربة في الارض وتوليد الشرارة في المعدات الكهربائية اضافة الى التآكل الذي تتعرض له العوازل الكهربائية. لجعل هذه الحماية ذات كفاءة عالية يجب ان يكون سلك التاريض موصلا مستمرا لا يحتوي على اي انقطاع في اجزاءه وان يكون له مقاومة كهربائية قليلة جدا. وذلك لكي يمثل مسارا بسيطا للتيارات العالية التي سوف تعمل على قطع الصهيرة (عنصر الفاصم) خلال وقت مقبول.

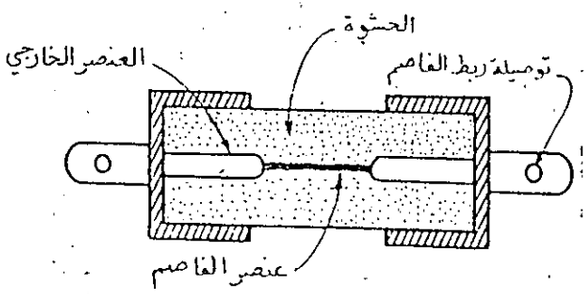
تستخدم فواصم الضغط العالي لذلك وهي على نوعين :

أ-فواصم نوع الخرطوشة (ذات سعة فصم عالية):حيث يتكون جسم الفاصم الاسطواني من مادة السيراميك تثبت على نهايتيه تركيبات معدنية (براص) على شكل اقداح كما موضح في الشكل (4.13).يملأ تجويف الاسطوانة بالحشوة Filler والتي غالبا ما تكون من الرمل الناعم النظيف، ومن فوائد هذه الحشوة ، حجز القوس الكهربائي وامتصاص

طاقة القوس. وقد تستخدم في بعض الاحيان مواد كيمياوية معينة تعمل على اطفاء القوس مثـــل حامض البوريك.

تستخدم هذه الفواصم عند فولتية مقدارها 33kV وسعة تيار قصر دائرة قدرة 8760A .

تستخدم بعض انواع صهيرات حلزونية لتقليل تأثير الاهليل عند الفولتيات العالية ،وفي البعـــض الاخر يربط عنصرين على التوازي. وتصنع حاليا فواصم بمقننات 200A عند فولتية 6.6 kV و 11kV و 50 A عند فولتية 33kV.



الشكل (3) تركيب فاصم ذي سعة قطع عالية [13]

2- قواطع الدورة Circuit Breaker Function

ان الفواصم تستخدم على الاغلب في دوائر الفولتية الواطئة ، في حين ، اذا تعدت الفولتية وعلى سبيل المثال 3.3 kV فان عملية الفصل تتحقق باستخدام قواطع الدورة. ومن الجدير بالذكر ان الفرق بين الفاصم وقاطع الدورة هو ان صهيرة الفاصم تنصهر ويجب ان تستبدل ثانية بينما يعمل قاطع الدورة على فتح وغلق الدائرة مرات عديدة دون استبدال أي جزء فيه.

تصنيف قواطع الدورة Classification of Circuit Breaker

تصنف قواطع الدورة للفولتيات العالية الى قواطع الدورة الزيتية وقواطع الدورة عديمة الزيت (اللازيتية).

ا- قواطع الدورة الزيتية Oil Circuit Breakers

يمكن تقسيم هذا النوع من القواطع الى :

1-قواطع الدورة الزيتية الضخمة Bulk Oil Curcuit Breaker والتي تستخدم كميات كبيرة من الزيت.

2- قواطع الدورة الزيتية الصغيرة Low Oil Cuircuit Breaker والتي تستخدم كميات قليلة من الزيت.

ب- قواطع الدورة اللازيتية:

يمكن تقسيم هذا النوع من القواطع الى :

1- قواطع الدورة المائية.

2-قواطع الدورة الغازية.

3-قواطع الدورة الهوائية النفاثة Air - Blast Circuit Breaker

4-قواطع الدورة لغاز سلفارهكسا فلوريد SF_6.

ان للزيت المستخدم في قواطع الدورة محاسن ومساوئ ومن محاسنه:

ا- امتصاص طاقة القوس الكهربائي وذلك بتحليل الزيت.

ب- للغازات المتكونة بالتحليل خصائص تبريد جيدة.

ت- قابلية الزيت البارد على الحركة باتجاه منطقة القوس الكهربائي.

ث- قابلية العزل الجيدة.

كما ان للزيت مساوئ نذكر منها :

أ- سريع الاشتعال.

ب- يمكن ان يكون مع الهواء خليط انفجاري.

ت- يحتاج الى صيانة.

يعتمد سريان الزيت نحو منطقة القوس بعد ان يكون التيار صفرا على ما يأتي:

أ- ضغط عمود الزيت فوق الملامسات.

ب- الضغط المتولد بسبب تيار القوس.

ت- الضغط الناجم عن ربط وسائل خارجية.

ظاهرة القوس الكهربائي Phenomena of Arc

القوس الكهربائي عبارة عن عمود من غاز متاين (الكترونيات وايونات)، إذ تجذب الالكترونات نحو نقطة التلامس الموجبة(المصعد، الانود) والايونات نحو نقطة التلامس السالبة (المهبطة، الكاثود)، يعتقد ان الالكترونات البدائية تتولد نتيجة انبعاث المجال Field Emission والانبعاث الحراري Thermal Emission. يزداد عدد الالكترونات نتيجة التصادم وفق المعادلة :

$$n = n_o e^{\alpha d}$$

حيث ان :

n_o = عدد الالكترونات البدائية.

α= معامل تاونزند الاول للانهيار.

d= المسافة بين القواطب.

كما ان التاين يعتمد على عدة عوامل، مثل شدة المجال الكهربائي والضغط ودرجة الحرارة....الخ.

ومن اجل اطفاء القوس الكهربائي، يجب تحقيق واحدة او اكثر من النقاط التالية:

1-اطالة القوس.

2-تبريد القوس.

3-تقطيع القوس.

4-تحديد مجال القوس.

قواطع الدورة الزيتية:

تعتبر قواطع الدورة الزيتية من اقدم القواطع ، ويعتبر الزيت الوسط الذي تنفصل فيه نقطة التلامس، التي تتكون نتيجة لتكوين القوس فقاعات غازية تعمل على اطفاء القوس خلال مرور التيار في لحظة الصفر.

يمكن استخدام قواطع الدورة الزيتية في دوائر التيار المستمر

3-المرحلات Relays

تتعرض منظومات القدرة الكهربائية الى حالات عمل غير اعتيادية ، التي قد تسبب حالة عطل محدثة بذلك اضرارا كبيرة في اجهزة ومعدات المنظومة.لذا فقد تم التفكير في اجهزة تقوم بحماية المنظومة من حالات عمل طبيعية، والتي تسمى بالمرحلات. فمن فوائد المرحلات مايلي:

1-فصل التغذية عن الجزء الذي حصل فيه العطل او انه في حالة عمل غير اعتيادية وذلك باعطاء اشارة مناسبة الى قاطع الدورة.

2-تعطي المرحلات اشارة واضحة لنوع العطل الحاصل.

3-تحديد مكان وموقع العطل.

متطلبات مرحلات الحماية الاساسية:

يجب ان تتصف مرحلات الحماية بما يلي:

1-السرعة: اذ يجب ان يفصل الجزء العاطل المعين من الدائرة وبسرعة كبيرة وذلك للاسباب الاتية:

ا- التقليل من احتمالية تعرض الانسان الى الخطر.

ب- التقليل من الاثار الناجمة عن حالة الاضطرابات في الشبكة.

ج -التقليل من تغيير فولتية المستهلك، وبذلك تقل الاضرار الاقتصادية نتيجة العطبات في الاجهزة المستخدمة في المعمل او البيت.

ء- جعل محطات التوليد المربوطة على التوازي متزامنة مع الشبكة الرئيسية.

2- الاختيارية Selectivity

يقصد بها قابلية المرحلة في تحديد النقطة التي وقع فيها العطل واختيار اقرب قواطع الدورة لكي يفصل الجزء المعين دون حدوث اضرار.

وبذلك يمكن تقسيم منظومة القدرة الى مناطق تحدد بما يلي:

1- المولدات او وحدات محول- مولد.

2-المحولات

3- القضبان العمومية Busbars.

4- خطوط النقل.

5- دوائر التوزيع.

2- **الحساسية Sensitivity**:يقصد بها قابلية اجهزة الحماية المخصصة لذلك الجزء على تاكيد حصول حالة الاضطراب وبشكل دقيق ، وفي حالات معينة يتطلب المعرفة الدقيقة لنوع العطل وتحديد موقع حدوثه،علما بان نظم الحماية ذات الحساسية العالية معقدة التصميم وغالية الثمن.

4-**الوثوقية Reliability**:يقصد بها امكانية عمل لمرحلات الحماية تحت جميع الظروف ولمختلف انواع العطل.

5- **البساطة Simplicity**:يقصد بها بساطة في التركيب والتثبيت وسهولة الصيانة والمراقبة ، وهذه الميزة مرتبطة مع الميزة السابقة ارتباطا وثيقا.

6- **الناحية الاقتصادية Economy** يقصد بها كلفة مرحل الحماية والتي تؤثر على كلفة المنظومة بشكل عام، وتعتبر الناحية الاقتصادية احدى النواحي المهمة التي يجب ان يأخذها مهندسو التصاميم في الاعتبار.

انواع الحماية Type of Protection:يوجد نوعان من الحماية، الحماية الرئيسية primary Protection والحماية الساندة Back -Upprotection. ان الحماية الرئيسية هي الخط الاول للدفاع ، حيث ان المرحلات الرئيسية هي التي تقوم بازالة الخطأ اولا وباقصى سرعة. كما هو معروف فان الوثوقية في اجهزة الحماية لاتصل 100% فلذلك وجب وجود حماية الدعم، حيث تقوم بتأدية وظيفتها بعد فشل الاولى بوقت قصير.

تصنيف المرحلات Classification of Relays:تصنف المرحلات اعتمادا على تركيبها ومبدأ اشتغالها.

1- مرحلات الجذب الكهرومغناطيسية *Electromagnetic Attraction Relays*

2- مرحلات الحث الكهرومغناطيسي او مرحلات الحث

Electromagnetic Induction Type Relays

3- المرحلات الكهروحرارية *Electro Thermal Relays*

4- المرحلات الكهروفيزياوية *Physico- Electric Relays*

5- المرحلات الالكترونية *Static Relays*

6- المرحلات الكهروحركية *Electrodynamic Relays*

كما تصنف المرحلات اعتمادا على استخداماتها الى مايلي:

1- مرحلات التيار المنخفض والفولتية والقدرة المنخفضة:

2- مرحلات التيار المفرط والفولتية المفرطة والقدرة المفرطة:

3- مرحلات اتجاهية او مرحلات القدرة المعكوسة:

4- مرحلات اتجاهية او مرحلات التيار المعكوس:

5- مرحلات فرقية

6- مرحلات المسافة

كما وتصنف المرحلات اعتمادا على زمن التشغيل الى:

1- المرحلات الانية

2- مرحلات تاخر زمني محدد

3- مرحلات تاخر زمني معكوس

4- مرحلات ميزات التاخر الزمني العكسي الادنى المحدد


الفصل الخامس
منظومات
الارضي

5 -منظومات الأرضي:

نظام التاريض Grounding System

يعتبر التاريض من الأمور المهمة جدا في منظومات حماية القدرة. ولكي يكـــون لنظـام التاريض فعالية وكفاءة عاليتين، يجب أن يتضمن المقدرة على ما يأتي:

1- توفير مسار ذو ممانعة قليلة للأشخاص والأجهزة المراد حمايتها.

2- تحمل تيارات التمور وتيار العطل المتكررة.

3- أن يقاوم التآكل الذي تسببه التربة في الأرض نتيجة تأثير المواد الكيمياوية الموجودة في داخلها.

4- المواصفات الهندسية لا يتطلب إنشاؤه ضياع مجهودات كبيرة.

أن السؤال الذي يطرح نفسه الان هو ما هي قيمة المقاومة الأرضيـــة. أنـــه مـــن الصعب تقدير قيمتها بالاوم، ولكن يجب أن نذكر بأنه كلما كانت مقاومة الأرض قليلـة، كلما أصبح التاريض أكثر فاعلية. بالإضافة إلى ذلك فان مقاومة الأرض اللازمة لحماية الأشخاص أو الأجهزة تستحق بذل مجهودات كبيرة من اجل جعلها من أوم واحد ولكـن من الناحية العملية يعتبر الحصول على مقاومة قليلة بهذا الشكل لمنظومة التوزيـــع أو خطوط النقل صعب المنال. ولكن قد يحصل أحيانا أن تصل مقاومة الأرض في بعـض المناطق أقل من 5 أوم.

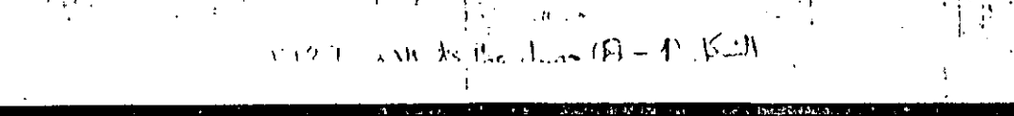
هنالك قيم قياسية لمقاومة الأرضي والتي يجب أن تؤخذبنظر الاعتبار عند التصميم حيـــث أن مقاومة الأرضي للمحطات الثانوية يجب أن لا تتعدى أوم واحد. أما مقاومة الأرضي لمحطـات التوزيع الثانوية فان اعظم قيمة مسموح بها هي 15 أوم. أما في المحطات الثانوية(أكثر من 66 كيلو فولت) فأن ترتيب الشبكة المدفوعة Barried Grid لـــهذه المحطـــات يوفـــر المقاومـــة المطلوبة. ولكن نجد مشكلة كبيرة في المنظومات التي تكون فولتيتها اقل من 33 كيلـــو فولـــت والتي تستخدم القضبان Rods في التأريض. ان شبكات التأريض في المحطات الثانوية تعتمـــد على عمل الشبكة والقضبان معا أن للحصيرة Mat ممانعة أولية أكثر بكثـــير مـــن مقاومـــة الأرضي للترددات الواطئة.وهذا يقلل من فعالية تصريف التمـــورات إلـــى الأرض. وعـــلى النقـــيض مـــن ذلـــك فان لقـــبـــان التـــاريـــض مـــمانعـــة تمور Impedance Surge تقارب نصف المقاومة عند الترددات الواطئة، وهذا يرجع إلى انـــهيار التربة القريبة من القضبان بسبب انحدار الفولتية العالي. ولهذا السبب يجب أن توضع القضبـــان بالقرب من كوامج الصواعق للمحطات. كما انه من الممكن استخدام القضبان للتـــاريض فـــي خطوط الضغط العالي(66 و 132 كيلو فولت). عندما تكون اعظم مقاومة مسموح لها لا تتعدى

15 أوم ويمكن استخدامها أيضا في خطوط التوزيع (33 إلى 0.4 كيلو فولت) عندما تكون أعظم مقاومة مسموح بها 25 أوم.

تتوفر طرق عديدة لتقليل مقاومة الأرضي وهذه تتضمن استخدام قضبان على التوازي أو معاملة التربة بالمواد الكيمياوية ، كما إن الطين يستخدم بكثرة لتقليل مقاومة الأرض في المناطق التي تكون فيها مقاومية التربة عالية، أي اكثر من 300 أوم- متر.

5-2 الأرض والأمان Earthand Safety:

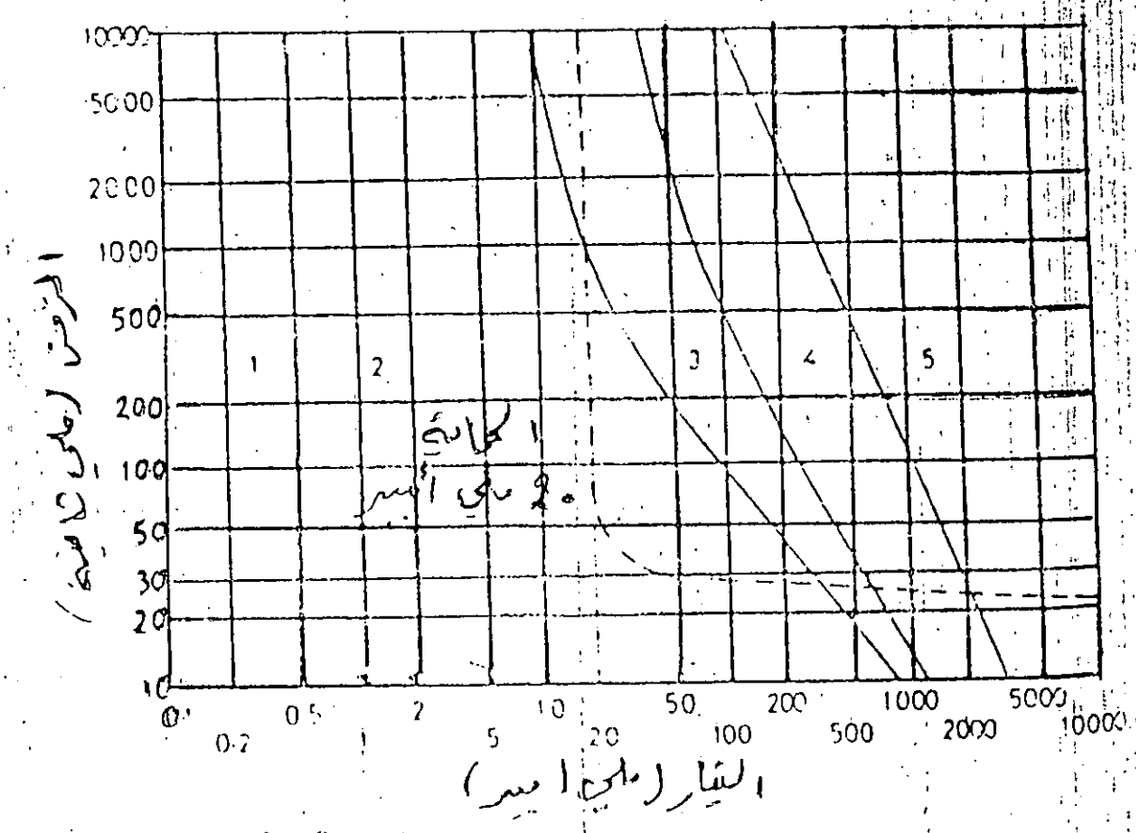
لغرض زيادة التوضيح يجب دراسة الجانب الأخر من الموضوع، إلا وهو الأرض، إذ يجب أن تكون مساحة الأرض الملامسة للقضبان كافية بحيث تمثل قيمة معينة من المقاومة وبالحدود المسموح لها ويجب ان تكون قيمتها قليلة وأن لا تتغير كثيرا على مدار السنة. لغرض فهم السبب في أن تكون مقاومة الأرض قليلة، نحتاج أن نطبق المبادئ الأساسية في الهندسة الكهربائية، إلا وهو قانون أوم (E = I.R) حيث تمثل E الفولتية مقاسة بالفولت ويمثل I التيار. وعلى سبيل المثال تامل المنظومة المبينة في الشكل(5.1) فإذا فرضنا أن الفولتية للأرض تساوي 240 فولت(مصدر فولتية الخط فيه 415 فولت) وبمقاومة مقدارها(4) أوم، وعلى فرض ان احد أسلاك المنظومة قد تلامس مع جسم المحرك المؤرض من خلال مقاومة 20 أوم، وكما مبين في الشكل(5.1). وطبقا لقانون أوم، فأن تيارا قيمته(240/24) أمبير سوف يمر خلال نقطة العطل بين جسم المحرك والأرض فإذا ما صادف وأن لامس شخص غاري القدمين مؤرض مباشرة جسم المحرك فانه قد يتعرض إلى جهد مقداره 200 فولت(120 أوم



الشكل (1 - 5) حساب

ومن الممكن أن يكون هذا المقدار من الجهد قاتلا وذلك اعتمادا على مقاومة الشخص التي تتغير من شخص إلى آخر مع مساحة اللمس.

لقد أثبتت البحوث و التجارب بان التيارات القياسية التي يتحملها الرجل والمرأة هي بحدود 15 ملي امبير و 8 ملي أمبير على الترتيب. كما أن التيارات التي هي بحدود(80) ملي أمبير تعتبر قاتلة. يبين الشكل(5.2) المناطق الخطيرة عندما يلامس الشخص مصدر فولتية تيار متناوب وبتردد 50 او 60 هرتز. عند تحديد التيار المار في الإنسان والزمن الذي يستغرقه لهذا التعرض، والمبين في المناطق 1 و2 و3 في الشكل (5.2)، فان احتمالية القتل بالكهرباء في هذه المناطق تكون محدودة جدا. ولكن قد تحصل حالات قد يتأذى الشخص من جراءها وهي سقوطه من اماكن مرتفعة نتيجة الصدمة مما يسبب له جروح في جسمه.



الشكل (2—5) تأثير التيار على جسم الانسان [13]

5-2 طبيعة منظومة قاطب التاريض.

Nature of an Earthed Electrode System

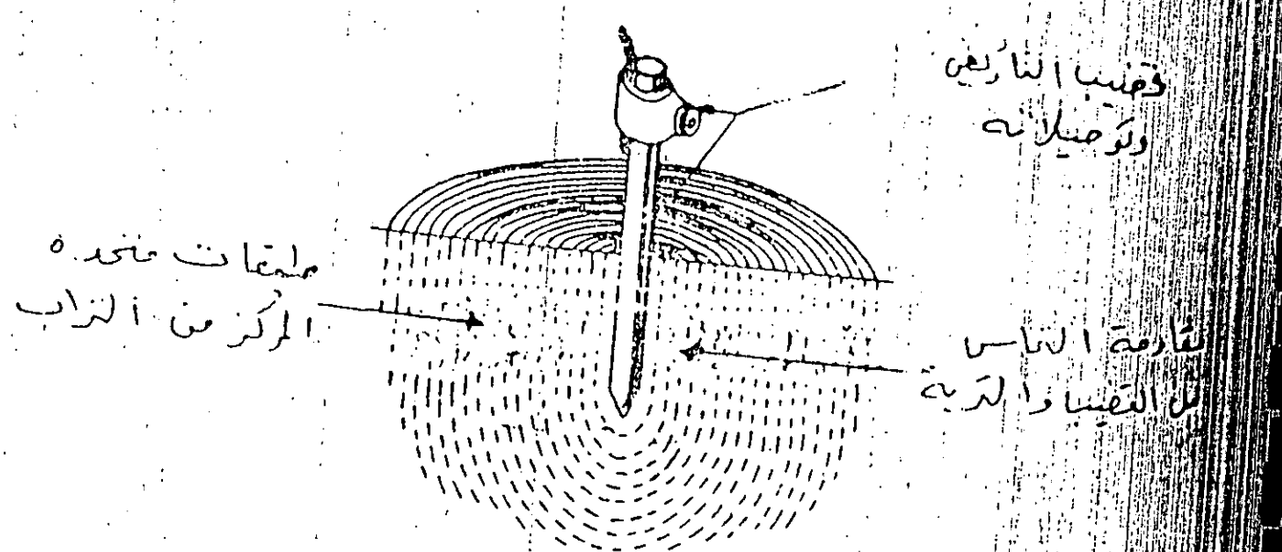
تتكون مقاومة قاطب التاريض من ثلاث مركبات وهي:

1-مقاومة قضيب التاريض نفسه وتوضيلاته.

2-مقاومة التماس بين قضيب التاريض والأرض الملامسة له.

3-مقاومة الأرض المحيطة بالقضيب.

يمكن أن تستخدم لأغراض التاريض قضبان أو كتل من معدن أو هياكل معدنية، والتي يكون لها وبشكل عام مساحة مقطع كبيرة نسبيا، فبذلك يمكن إهمال مقاومة التماس. أن قضيب الأرضي الذي له مقاومية منتظمة والمثبت في الأرض يحمل تيارا في جميع الاتجاهات وعلى هذا الأساس إذا تفحصنا الشكل(5.3) والذي يمثل قاطب الأرضي المثبت في الأرض والمحاط بطبقات من التراب متساوية في السمك، فان طبقة الأرض القريبة من القضيب تكون المساحة السطحية لها أقل مما هي عليه للطبقات الأعمق فبذلك تمثل مقاومة أكثر من الطبقات الأخرى، وتقل المقاومة كلما ابتعدنا عن القضيب إلى أن نصل إلى المسافة بحيث لا تؤثر طبقات الأرض الأخرى على المقاومة.



الشكل (5-3) مقاومة نظام قاطب التاريض [13].

5-3 حساب مقاومة الأرض Calculating Earth Resistance:

إن إيجاد معادلة واحدة تحدد مقاومة الأرض لمنظومة تاريض مختلفة أو معقدة جداً، ولكون المسألة معقدة لهذه الدرجة، فقد تستخدم أحيانا وفي بعض المنظومات الطول التقريبية لإيجاد المقاومة. أن جميع المعادلات التي تعبر عن المقاومة مشتقة في الأساس من العلاقة العامة ($R= pL /A$) والتي تفرض بان مقاومة الأرض منتظمة والتي هي بعيدة عن الحقيقية في اكثر الأحيان. وبشكل عام تستخدم معادلة خاصة لحساب مقاومة الأرض والتي هي بالشكل التالي:

$$R = \frac{\rho}{2\pi L}\left[\ln\left(\frac{4L}{a}\right) - 1\right]$$

حيث ان:

P= معدل مقاومة الأرض مقاسة بـــ أوم-سم

L= طول قاطب التاريض مقاسا بـــ سم.

A= نصف قطر قاطب التاريض مقاسا بـــ سم.

R= مقاومة قاطب التاريض نفسه مقاسا بـــ أوم.

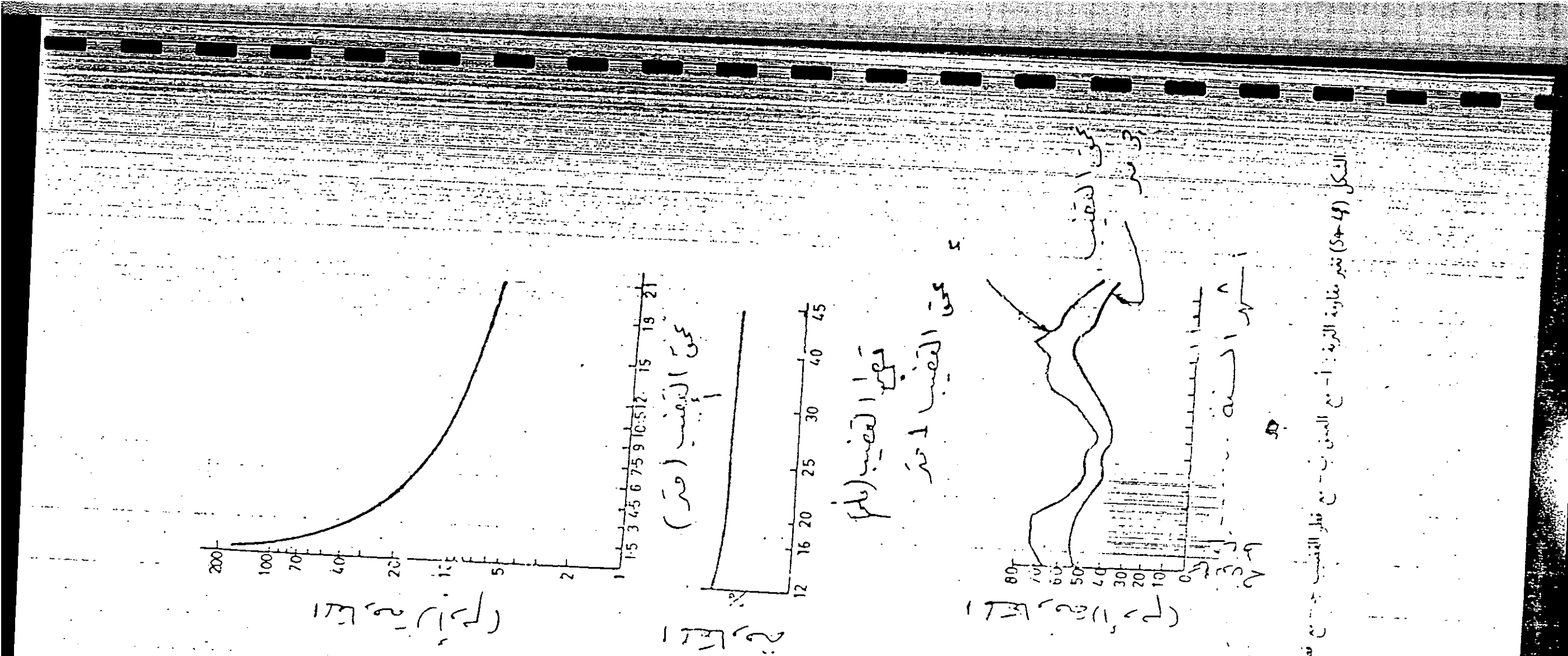
5-4 تاثير ابعاد قاطب التاريض Effect of Rod Size on Resistance:

تقل المقاومة كلما ازداد طول القاطب انغماسا في الأرض، وبشكل عام فان زيادة طول القاطب إلى الضعف يعني تقليل المقاومة بنسبة 40 % بينما لا تؤثر زيادة القاطب كثيرا على المقاومة تقل نسبة لا تتعدى 10%.

5-5 تاثير مقاومة التربة على مقاومة قاطب التاريض [13، 15، 16]

Effect of Soil Resistivity on Earth Electrode Resistance

كما هو واضح من معادلة حساب المقاومة إلى الأرض أنها تعتمد اعتمادا كثيرا على مقاومية التربة كما أن مقاومية التربة تختلف من منطقة إلى اخرى ومن فصل إلى آخر، هذا بالإضافة إلى اعتمادها الكبير نسبة الرطوبة وتركيز المعادن والأملاح.ولكون مقاومية الارض تعتمد مباشرة على نسبة الرطوبة ودرجة الحرارة فانه من الواضح أن مقاومة الأرض تختلف من فصل إلى آخر وعلى مدار السنة، وهذا ما توضحه المنحنيات في الشكل(4-5).



الشكل (4-5) تغير مقاومة التربة: أ- مع العمق ب- مع نظر التغلب جـ- مع ميل التربة [13]

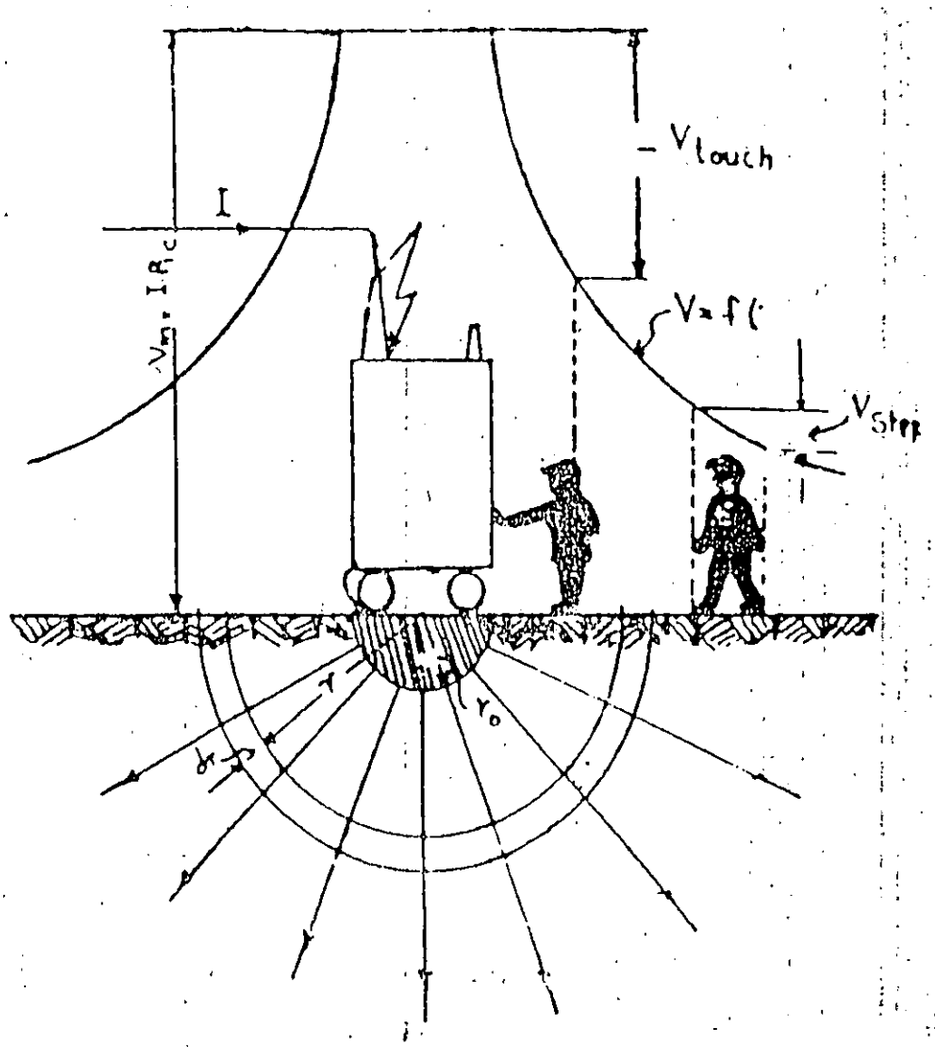
وبما أن الاستقرار في نسبة الرطوبة ودرجة الحرارة يكون فقط على مسافة معينة من سطح الارض لذلك يجب تثبيت نظام التأريض على بعد معين من سطح الارض.

5-6 مقادير المقاومات المسموح بها لانظمة التأريض

Permissible Value of Resistances of Earthing Arrangement

كلما كانت قيمة مقاومية نظام التأريض صغيرة سوف يعطي أداء جيد لكافة أنواع أنظمة التأريض. على كل حال، ان تقليل ممانعة نظام التأريض يرفع من كلفتها، لذا ومن اجل كلفة معقولة فان القيم المسموح بها تكون ثابتة. أما بالنسبة للتأريض الاعتيادي فأن قيمة الممانعة المسموح بها لنظام التأريض يمكن إيجادها بموجب متطلبات نظام العمل. أن القيم المسموح بها لممانعة الأنظمة والخاصة بالوقاية من الصاعقة فانها تقع بين 5 أوم إلى 30 أوم.

عند أخذ محول ما كمثال، أن خزان هذا المحول يربط مع قاطب التأريض الذي يكون بشكل نصف كروي والذي يقع ضمن أرضية المحطة الثانوية كما في شكل (5.5).وبفرض أن



الشكل 5 – 5 توزيع الجهد على جسم المحول عند حصول قفز الشرر [13]

حدوث قفز الشرر على أحد جنبات المحول، فان تيار دائرة القطب مع الأرض I سوف يؤدي الى تكوين هبوط في الفولتية حيث أن R تمثل مقاومة مسار قفز الشرر خلال قاطب التأريض. ليست هناك صعوبة في إيجاد قيمة المقاومة R بالنسبة لقاطب التأريض النصف مروي وذلك لأن شكل المجال الكهربائي في الأرض يكون بسيطا، كما مبين في الشكل (5.5) .أن مقاومة الطبقة الأولى للأرض بين السطوح المتساوية الجهد لكرات ذوات أنصاف أقطار r و r + dr هي :

$$dR = \rho \frac{dr}{2\pi r^2}$$

وهكذا فان المقاومة الثابتة للتأريض للقاطب نصف الكروي ذو نصف قطر r_o تساوي

$$R = \int_{r_o}^{\infty} dR = \frac{\rho}{2\pi r_o}$$

عند سريان التيار I من القاطب، فان قاطب نظام التأريض سوف يزيد من الجهد بالتأكيد، كما أن الأجزاء المجاورة للسطح من الأرض سوف يزداد الجهد عليها أيضا. أن الجهد على نقاط السطح في الأرض والواقعة على مسافة r من مركز نظام التأريض تساوى:

$$V_r = \int_{r}^{\infty} dR = I.\frac{\rho}{2\pi r}$$

حيث تمثل P مقاومية الترتيبة:

5-7 الخواص الكهربائية للتربة: Electrical Characteristics of Soil [17].

تمثل التوصيلية الكهربائية للتربة وخصائص التمور التي فيها من أبرز المميزات الكهربائية:

التوصيلية الكهربائية للتربة: Electrical Conductivity of Soil

تعد الربة التي يسري فيها التيار الخارج من نظام التأريض مركبة وغير متجانسة، وان الاجزاء الرئيسية لمكونات التربة هي الاجسام الصلبة والتي تكون من اصل غير عضوي او من اصل عضوي ومن الماء. ان التوصيلية الكهربائية للمكونات الصلبة للتربة عند ظروف الجفاف تكون قليلة جدا بحيث يمكن اهمالها، كما انه من الناحية الكيمياوية فان الماء النقي له ايضا مقاومية عالية جدا.

على كل حال فان الاملاح المختلفة والقلويات الموجودة في التربة تعطي مقدار التوصيلية الكهربائية للتربة.لذلك فان مقاومية التربة تعتمد بصورة كبيرة على تركيبها الكيمياوي وعلى مقدار الرطوبة فيها. كما ان مقدار الرطوبة لا يعتمد على مقدار الرطوبة المعلقة فيها وعلى وجود الماء في التربة المجاورة فقط، بل يعتمد على الهياكل الترابية، حيث ان اجسام التربة الصغيرة تحتفظ بكمية اكبر من الماء والعكس صحيح.

من الشائع جدا ان تكون التربة هجينية من الرمل والطين والغرين، تنتج الرمال والطين من تأثيرات الريح وعوامل التعرية على التلال والصخوز. حيث يكون مصدرها غير عضوي، يتكون الرمل عادة من بلورات نصف شفافة من الكوارتز كروية الشكل وذات اقطار تتراوح بين 0.2 ملليمتر الى 2 ملليمتر. كما ان هيكلها يكون ذا نفاذية عالية وليس له قابلية على التماسك باضافة الرطوبة. ان للطين هيكل شبه غروي ويتكون من اجسام ذات ابعاد صغيرة جدا تتراوح قطر الواحدة منها باجزاء من الأف الملليمتر، كما ان للطين قابلية على احتواء الماء اكثر من الرمل. ان للتربة الغرينية هيكل شبه غروي، وان نسبة احتواءه على الرطوبة تكون كبيرة جدا، وانه غني بالالكتروليتات، تكون التربة الغرينية هشة مقارنة بالتربة الطينية.

يبين الجدول 1-5 المقاومية لعدد من انواع التربة عند الظروف الطبيعية.

الجدول 1-5 المقاومية لعدد من انواع التربة عند الظروف الطبيعية

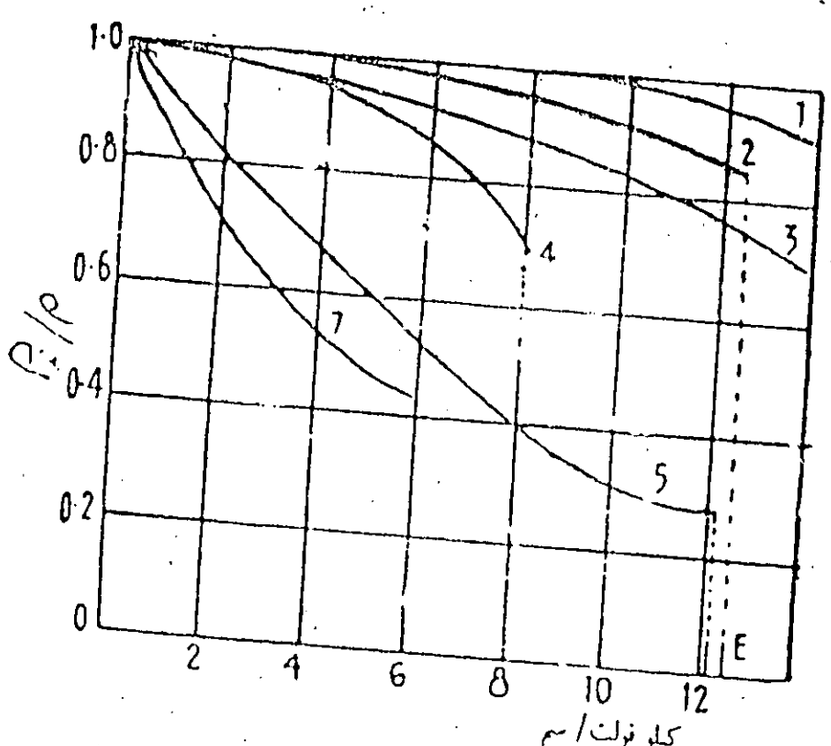
نوع التربة	المقاومية(اوم-متر)
الرمل Sand	400 أو أكثر
التربة الرملية Sandy Soil	300
التربة الخصبة Leam	100
الطين Clay	60
التربة القطنية السوداء black cotter Soil	50
النسيج النباتي النصف متفحم	20
ماء النهر river Water	50-10

مميزات الاندفاع للتربة: Impulse Characteristic of Soil

لغرض حساب ممانعة التموجات العارمة لنظم التأريض، وذلك لغرض استخدامها في الوقاية من الصاعقة، فإنه هنالك ضرورة لمعرفة ليس فقط مقاومية التربة، ولكن مميزات الاندفاع لها أيضا. أي إيجاد مدى اعتماد مقاومة التربة على شدة المجال الكهربائي وعلى شدة مجال الانهيار للتربة.

وبموجب الدراسات عند المجال المنتظم، فأن المقاومة النوعية لكافة أنواع التربة تل بزيادة شدة المجال إلى أن تصل إلى قمة الانهيار. يبين الشكل(5.6) منحنيات تغير المقاومية للتربة والماء المترطب لها مع شدة المجال، حيث تعطى النسبة $\rho i / \rho$ بدلالة شدة المجال، أي أن

$$\rho i / \rho = f(E)$$



الشكل (5.6) تغير مقاومية التربة مع شدة المجال

1- ماء الشرب ρ = 3000 أوم - متر 2- رمل ρ = 450 أوم - متر

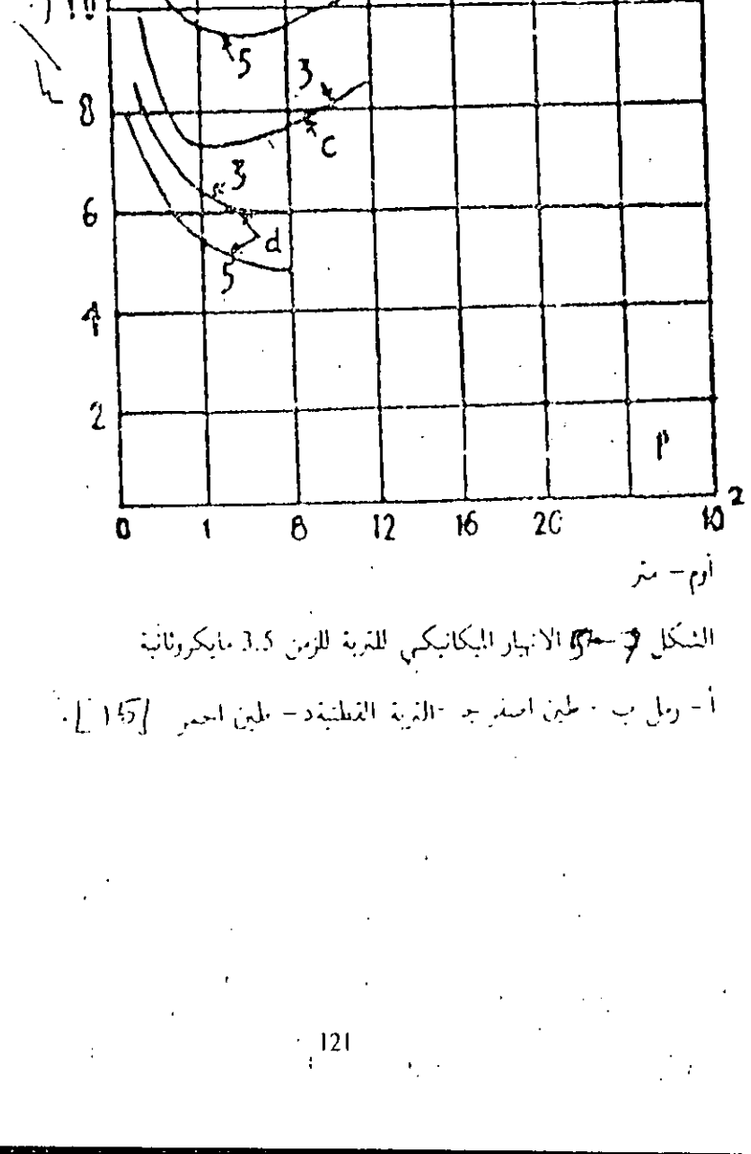
3- رمل ρ = 3000 أوم - متر 4- طين 70 أوم - متر

5- طين ρ = 3000 أوم - متر

في الشكل(5.7)أن طبيعة التربة ونسبة الرطوبة فيها هي التي تحدد الخواص المختلفة لأنواع التربة.

يبين الشكل (5.7) شدة الانهيار لنماذج مختلفة من التربة أثناء عملية الانهيار عند مقدمة الموجة وعند فترات زمنية مختلفة وقبل بدء التفريغ مباشرة.

نجد من منحنيات الشكل (5.7) أن انخفاض مقاومة التربة يسبب زيادة حادة في شدة الانهيار لتلك التربة وأن هذه الشدة تتناسب مع مقدار احتواء التربة على الرطوبة. وعندما تكون جافة فأن الانهيار يحدث في مساحات التربة، أي داخل التجاويف. ونتيجة لذلك فأن للطبيعة الفيزياوية والكيمياوية للتربة تأثير قليل على شدة التفريغ للتربة الجافة، ولذلك فأنها تكون ذات قيمة متساوية.



الشكل (5.7) الانهيار الميكانيكي للتربة للزمن 3.5 مايكروثانية

أ- رمل ب - طين اصفر جـ -التربة الطينية د- طين احمر [145].

5-8 تصميم قواطب التاريض: Design Earthing Electrode

يشمل تصميم قواطب التاريض أبعادها الفيزياوية، وكذلك تحديد مقدار عمقها في التربة وكما يأتي:

أ- تصميم القواطب Electrode Design

أن قواطب التاريض لمنظومات التوزيع ذات 33 كيلو فولت فأقل، تستخدم قضبان يكون قطرها أكبر من 20 مليمتر وبطول يبلغ 3 متر وتغرس في التربة بحيث يكون البرأس العلوي على عمق يتراوح من 0.5 متر إلى 0.75 متر.

أما في المناطق التي تكون للتربة فيها مقاومية عالية، والتي تكون فيها المقاومة المسموح بها محدودة، تستخدم منظومة التأريض ذات القواطب المتعددة. ففي حالة استخدام قاطبين، يجب أن تتعدى المسافة بينهما ضعف طول القاطب. أما إذا دعت الضرورة إلى استخدام ثلاث قواطب، فانها تثبيت بشكل مثلث بحيث أن طول ضلع المثلث يكون أكبر من ضعف طول القاطب. أن المقاومة الكلية في هذه الحالة تمثل ربط مقاومتين أو ثلاث على التوازي، وبذلك تقل المقاومة الكلية الى النصف او الثلث، في بعض الاحيان يكون من الصعب ترك مسافات طويلة بين القواطب، فبذلك يصبح من الضروري تقليل المقاومة بربط القواطب على التوازي، تستخدم لهذا الغرض علاقة عملية للقواطب المختلفة المربوطة على التوازي وهي:

أ. قاطبين على التوازي:

$$\frac{\text{مقاومة قاطبين على التوازي}}{\text{مقاومة قاطب واحد}} = \frac{X+1}{2}$$

حيث أن:

X تمثل المسافة بين القاطبين.

ب -ثلاث قواطب على التوازي وبترتيب مثلثي:

$$\frac{\text{مقاومة ثلاث قواطب على التوازي}}{\text{مقاومة قاطب واحد}} = \frac{2X+1}{3} \quad (17-5)$$

$$\frac{kX+1}{N} = \frac{\text{مقاومة N من القواطب على التوازي}}{\text{مقاومة قاطب واحد}}$$

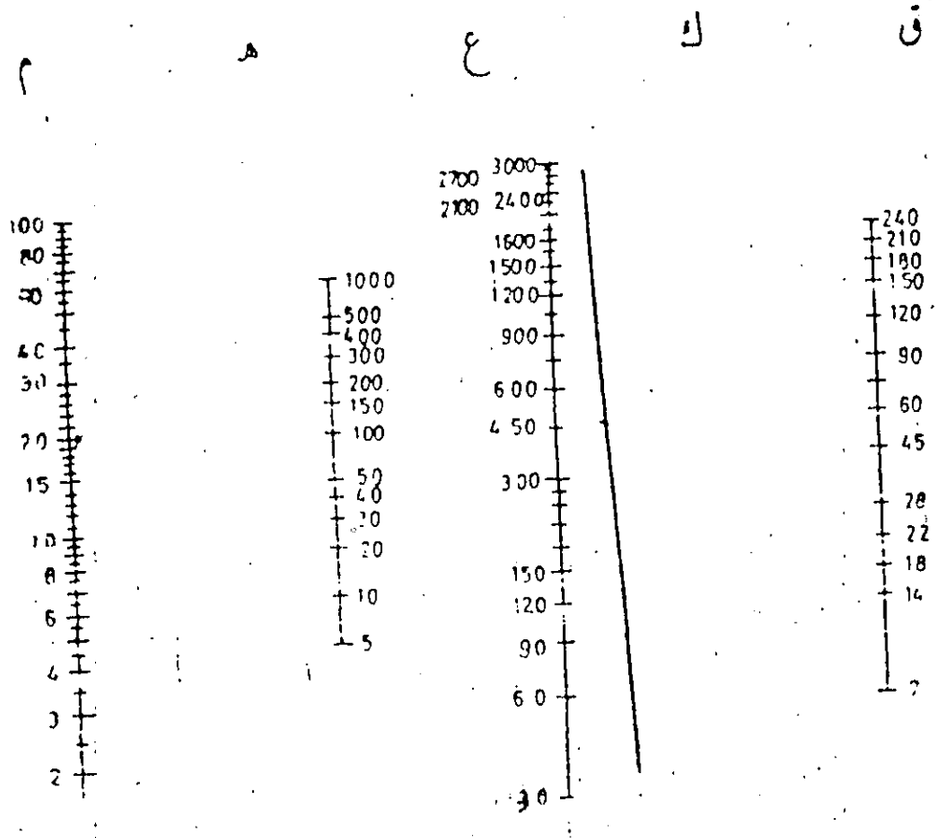
جـ- ولعدد من القواطب في المربع الواحد، تصبح

حيث ان N تُمثل عدد القواطب، و K ثابت يعتمد على عدد القواطب ويتغير من 5.8 إلى 24.95.

ب. نومو جرام التأريض grounding nomogram

من أجل إيجاد عمق القضيب وبشكل تقريبي، وذلك لإيجاد المقاومة فانه يفضل استخدام نومو جرام التأريض والمبين في الشكل (5.8)، فعلى سبيل المثال، إذا كان المطلوب الحصول على مقاومة مقدارها 20 أوم في تربة ذات مقاومية 100 أوم- متر، يجب استخدام قضيب ذي قطر 18 مليمتر ومثبت على عمق 6 متر.

1. أختر المقاومة المطلوبة على المقياس م.
2. أختر المقاومية الظاهرية على المقياس هـ.
3. ضع مسطرة على المقياس م والمقياس هـ بحيث تقطع المقياس ك.
4. عين نقطة على المقياس ك.
5. ضع مسطرة على المقياس ك والمقياس ق بحيث تقطع المقياس ع.
6. تبين نقطة التقاطع مع المقياس ع العمق المطلوب للمقاومة المؤشرة على المقياس م.



شكل 5-8 [171]

5-9 مخططات التأريض Earthing Scheme

(أ) منظومات القدرة Power System

يتم تأريض منظومة القدرة من عدة نقاط وذلك لتحقيق ما يأتي،

(1) تقليل كلفة الأجهزة.

(2) تقليل كلفة التشغيل والصيانة.

(3) اكثر أمانا.

(4) تحسين من كفاءة أجهزة الحماية.

(5) تحسين أداء منظومات الإضاءة.

تستخدم لتأريض المنظومات طريقيتين:

(أ) منظومة مؤرضة بصورة فعلية: Effectively Earthed System

تؤرض محايدات المولدات والمحولات وموصلات المحايدات عند نقاط متعـــددة للمحطـات الثانوية وعلى امتداد الدائرة.

(ب) منظومة مؤرضة بصورة غير فعلية: Noneffectively Earthed System

في هذه الطريقة تؤرض محايدات المنظومة من خلال مقاومات أو محاثات.

(ج) الخطوط والمحطات الثانوية Lines and Substations

أن تأريض الخط مهم جدا، وذلك للأسباب الآتية:

(1) يساهم في تشغيل مرحلات الحماية عند حصول عطل.

(2) المحافظة على سلامة الأشخاص العاملين.

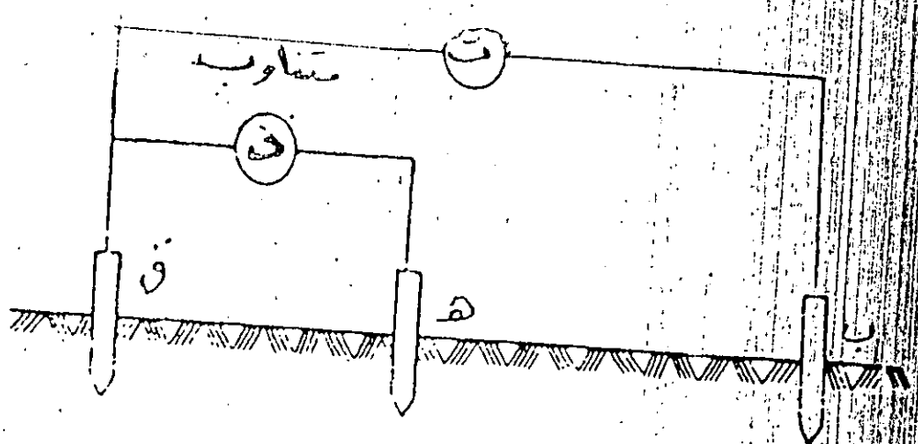
(3) يقلل من التداخلات في خطوط الاتصالات.

5-10 فحص التربة Earth Testing

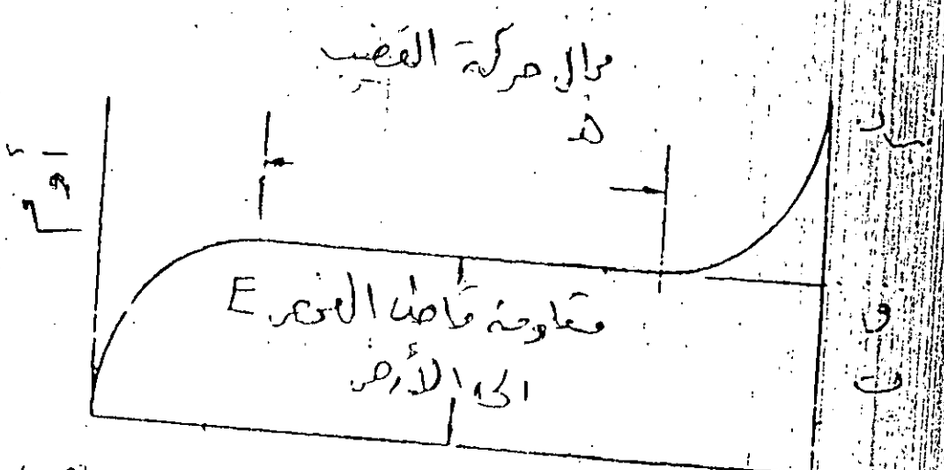
أ. المنهجية Methodology

يستخدم لفحص التربة بهذه الطريقة جهاز ميجر الذي يعتمد على أساس الهبوط في الجـــهد، تأمل الخالة الموجودة في الشكل (5.9)، وبفرض أن جهدا سلط بين الأنبوب ب والقضيب ق

المثبتا في الأرض على مسافة بعيدة جدا من ق، وأن التيار المار يقاس بوساطة اميـترت. فـاذا ثبتنا قضيب اخر وليكن هـ بين الأنبوب ونقاط مختلفة من التربة المحيطة بـالأنبوب ق، فـان الفولتميتر ف سوف يقيس فرق الجهد بين الأنبوب والنقاط المختلفة في التربة المحيطة، وبتطبيق قانون اوم، فرق الجهد هذا سيتناسب طرديا مع مقاومة التربة إلى النقطة المقاسة، لذلك يمكن رسم علاقة المقاومة مع المسافة من نقطة ق، وكما هو واضح من الشكل (5.10). فانه كلمـا ابتعـد القضيب هـ من الأنبوب ق تبدأ المقاومة بالازدياد، ومن ثم يبدأ معدل الزيادة بالانخفاض إلى أن يختفي، فبذلك يمكن إهمال الزيادة في المقاومة عند هذا الحد، ومن الجدير أن نذكر، انـه يمكـن الحصول على العلاقة نفسها وذلك بتغيير موقع القاطب ب في الاتجاه الآخر. ومن الناحية العملية،



الشكل 5.10 فحص التربة باستخدام طريقة هبوط الجهد [145]



الشكل 5.10- تأثير مسافة المقاومة للقضيب ب على منحني هبوط الجهد [145].

فأن هذه المساحة تمثل المساحة التي تحتوي على مقاومة الأنبوب إلى الأرض بأكملها، وبذلك تسمى بمساحة المقاومةResistance Area هذا وتتطلب عملية القياس ما يأتي:

(1) يجب أن يثبت قاطب التيار ب بعيداً جدا من القاطب تحت الفحص ق بحيث أن مساحة المقاومة لهما لا تتداخلان.

(2) يجب أن يثبت قاطب الجهد خارج مساحات المقاومة، بمعنى أخر على الجزء الثابت من منحني المقاومة.

(3) يجب أن يوضع قاطب الجهد هـ على امتداد الخط الذي يربط ب مع ق.

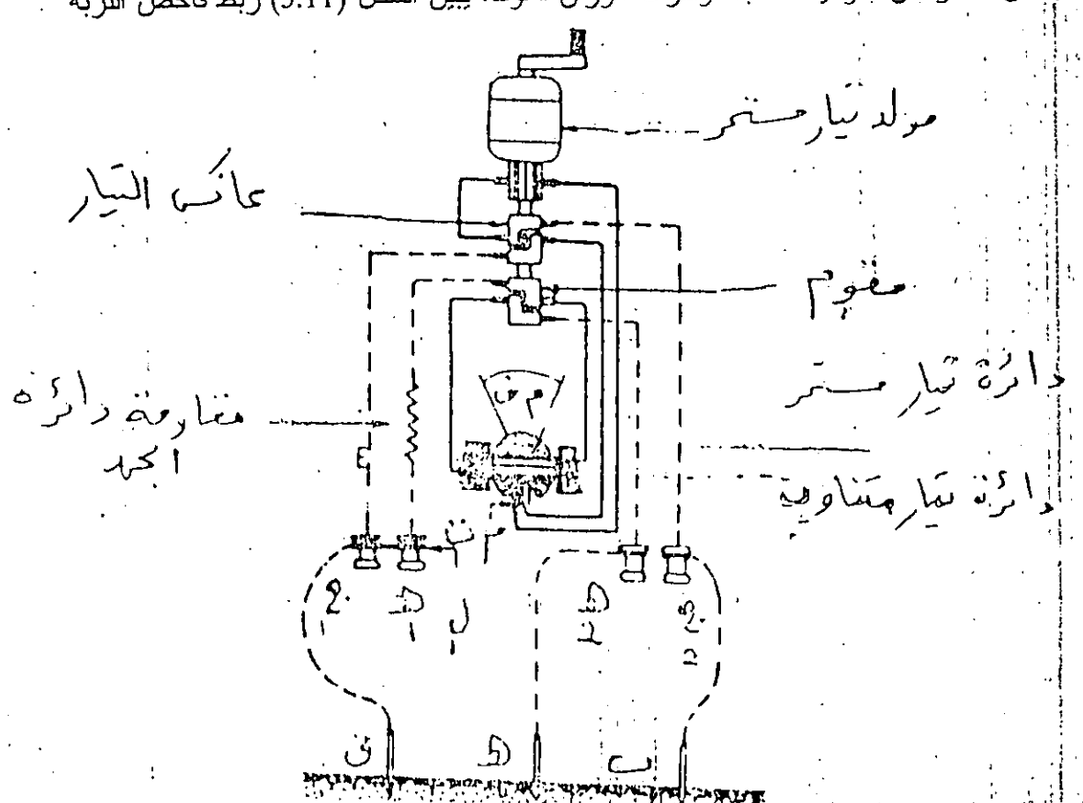
(ب) فاحص التربة Earth Tester

يستخدم فاحص التربة لقياس مقاومة قاطب التأريض والمقاومية للتربة، حيث يتألف من أربعة أطراف، كما أنه يولد فولتية تيار متناوب، يمثل هذا الجهاز من اميتر نوع ملف متعاكس(مقياس النسبة)، ومولدة تدار يدويا ومصممة خصيصا بحيث تمرر تيار متناوب إلى الملف وتيار مستمر خلال أجهزة القياس.

يتألف الأميتر من ملفين مثبتين على محور واحد بحيث يكون بينهما زاوية ثابتة، ويتحركان داخل مجال مغناطيسي دائم م ث.

وهكذا فأن تيارا يتناسب مع التيار الكلي الكار في دائرة الفحص سوف يمر من خلال ملف التيار م ت، بينما سيحمل ملف الجهد م ف تيارا يتناسب مع هبوط الجهد على المقاومة تحت الفحص.

أن منظومة ملف التعاكس تجعل الجهاز وكأنه اوميتر حقيقي يعطينا القراءة مقاسة بالأوم بغض النظر عن الفولتية المطبقة وسرعة دوران المولد. يبين الشكل (5.11) ربط فاحص التربة



الشكل (5.11) مخطط فاحص التربة

عند استخدام فاحص التربة، يجب أن يثبت قاطب التيار على مسافة معينة من قاطب الأرض تحت الفحص، ومن ثم تؤخذ ثلاث قراءات لثلاث نقط مختلفة لقاطب الجهد، تؤخذ القراءة الاولى عندما يكون الجهد في منتصف المسافة بينهما، ومن ثم تؤخذ القراءة الثانية عندما يكون القاطب على بعد 3 متر من قاطب الأرض تحت الفحص، كما أن القراءة الثالثة تؤخذ عندما يكون قاطب الجهد على بعد 3 متر من القاطب الآخر(قاطب التيار)، فإذا ما تساوت القراءات الثلاثة السابقة وبنسبة خطأ معقولة، فانه يؤخذ معدل هذه القراءات. أما إذا كانت نسبة الخطأ في القراءات كبيرة، فان قاطب التيار يثبت في مكان أبعد من موقعه الأول، ومن ثم يعاد أخذ القراءات الثلاثة. وهكذا تعاد العملية إلى ان يتم الحصول على ثلاث قراءات بنسبة خطأ مقبولة.

أما قياس مقاومية الأرض فيتم بإزالة النقطة ل1، فبذلك تستخدم القاطبين الخارجيين كقواطب تيار مربوطين على الأطراف ج1 وج2، كما تستخدم القاطبين الداخليين كقواطب جهد مربوطين على الأطراف هـ1 وهـ2. كما تثبت القواطب على مسافات متساوية وعلى امتداد خط واحد. فبذلك يؤشر المقياس قيمة المقاومة المقاسة، ومن ثم يمكن إيجاد المقاومية من تطبيق العلاقة التالية:

$$\rho = 2\pi a R$$

حيث أن:

ρ = المقاومية مقاسة بـ أوم- متر

A = المسافة بين القواطب مقاسة بـ متر.

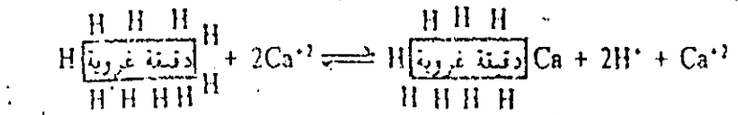
R = المقاومة مقاسة بالأوم.

17 الايونات الموجبة القابلة للتبادل السائدة في الترب:

يعتمد نوع الايونات السائدة على معقد التبادل في الترب على المادة الام وعلى الظروف اللجوية وخصوصا الامطار ومستوى التجوية والغسل الذي مرت به المعادن المكونة للتربة. فلو وضعنا كمية صغيرة من التربة فوق ورق ترشيح في قمع واضفنا محلول خلات الامونيوم لتمر خلال التربة فان الايونات الموجبة في الراشح ستتكون من واحد او اكثر من عناصر الكالسيوم والمغنسيوم والبوتاسيوم والصوديوم والهيدروجين. يعود ذلك الى ايونات الامونيوم التي تقوم بالتبادل على مواقع التبادل والتي تزيح الايونات الاخرى من اعلى سطوح معقد التبادل لانزالها مع الراشح. يسود ايون الكالسيوم والمغنسيوم على معقد التبادل قرب المناطق الجافة كما في معظم الترب العراقية حيث توجد املاح الكالسيوم والمغنسيوم كالكلوريدات والكبريتات وغيرها في معظم ترب القطر.

اما في ترب المناطق الرطبة فان التجوية والغسل المستمرين قد ادتا الى خفض نسبة الايونات القاعدية الموجبة للكالسيوم والمغنسيوم والبوتاسيوم وزيادة مماثلة في نسبة ايونات الهايدروجين والالمنيوم على معقد التبادل واصبحت الترب حامضية التفاعل.

تعتمد درجة تميء الايون على قوة جذبه لجزيئات الماء المستقطبة مما يؤدي الى احاطة الايون بغلاف من الماء يتحدد سمكه بحجم الايون وتركيز شحنته. فعندما تكون الظروف الأخرى متماثلة فان قوة امدصاص الايون على السطوح تزداد كلما قل سمك الغلاف المائي حول الايون . فلو نظرنا الى السلسلة اعلاه نجد بان الصوديوم يمسك بقوة تقل عن قوة مسك الايونات الاحادية الاخرى بسبب زيادة سمك الغلاف المائي المحيط بالصوديوم مقارنة بالغلاف المحيط بالامونيوم او البوتاسيوم اللذان يمتلكان لافا مائيا متقارب السمك. كذلك يلاحظ من السلسلة بان الهيدروجين لم يدرج في السلسلة لان قوة جذبه على السطوح العروية تعتمد بدرجة كبيرة على نوع السطوح الغروية من حيث كونها عضوية ام سيليكاتية فعند امدصا هذا الايون على السطوح السالبة في الاطيان السيليكاتية حيث تكون مصادر شحنتها بعيدة عن السطح فان قوة مسك الايون تكون ضعيفة مقارنة بالقوة التي تمسك بها الايونات الموجبه الاخرى الاحادية الشحنة. اما قوة مسك الهيدروجين على سطوح الغرويات العضوية حيث تكون الشحنات السالبة قريبة جدا من السطح فتكون كبيرة لان الهيدروجين يكون اصرة تكافئية (Covalent Bond) مع مجموعات الهايدروكسيل وغيرها من المجاميع العضوية الفعالة.



تتاثر نسبة الايونات الموجبة الممدصة على معقد التبادل بتركيز الايونات الذائبة في المحلـــول. فكمية الايون الممدص على معقد التبادل لا تُعتمد على القوة التي يجذب بها الى السطوح فحسب بل انها تتاثر بكمية الايونات الذائبة في المحلول. فمثلا عند اختلاف نسبة ايونين متساويين فـــي قوة المسك على سطح معين فان الايون الذي يوجد في المحلول بتركيز اعلى سيوجد بنسبة اعلى على معقد التبادل من الايون القليل التركيز في المحلول. كذلك فان وجـــود تركـــيز عـــال فـــي المحلول من ايون يمسك بقوة قليلة على المعقد سيزيد من نسبته على المعقد كما يلاحظ في وبين الجدول انه بالرغم من ان قوة مسك الصوديوم على معقد التبادل تكون ضعيفة فان نســـبة الصوديوم على المعقد قد ازدادت بدرجة كبيرة مع زيادة تركيزه في المحلول.

تعتمد قابلية الأيونات الموجبة على التنافس وكميتها على معقد التبادل على نوع الايونات الســالبة في محلول التربة. فعلى سبيل المثال عند اضافة كاربونات الصوديوم الى مادة دبالية فان التفاعل سيكون كما يلي :

$$2R - OH + Na_2CO_3 \Leftrightarrow 2R - ONa + H_2CO_3$$

الكاربونات تتحد مع الهيدروجين لتكون حامض الكاربونيك القليل التاين. ولو كان الملح المضاف ان وجود مجموعة الكاربونات تساعد على ازالة الهيدروجين بواسطة الصوديوم حيـــث ان هـــو كبريتات الصوديوم فان تكون حامض الكبريتيك الشديدي التاين سوف لا يســـاعد علـــى ازالـــة الهيدروجين من المادة العضوية لان الهيدروجين سيبقى عالي التركيز في المحلول.

سعة تبادل الايونات الموجبة

يقصد بسعة تبادل الايونات الموجبة في التربة كمية الايونات الموجبة الممسوكة في التربة بشكل قابل للتبادل عند رقم حموضة معين. وتقدر عادة هذه الكمية بالمليتكافئ من الايونات الموجبة في كل مائة غرام من التربة أو مكوناتها.

والمكافئ عبارة عن تلك الكمية المساوية كيمياويا إلى غرام واحد من الهايدروجين. يسمى عـــدد ذرات الهايدروجين أو أي عنصرا أخر في مكافئ واحد بعدد أفوكادرو(Avagadros number) والذي يكافئ $6.02x10^{23}$. اما المليمكافئ فيســـاوي 0.001 مكـــافئ والـــذي يســـاوي بالنســـبة للهايدروجين 0.001 غرام. فإذا كانت السعة التبادلية لملعقة تربة تساوي مليمكافئ واحـــد فـــان التربة تحتوي على $602x10^{20}$ موقع امتصاص سالب الشحنة. وبما أن هناك علاقة بيـــن وزن الايونات وعدد المكافئات فان بالامكان استعمال هذه العلاقة لإيجاد عدد المليمكافئات من كل ايون على معقد التبادل عند معرفة وزنها على معقد التبادل والوزن المكافئ. وعند وجود أكثر من نوع واحد من الايونات على معقد التبادل فان بالامكان ايجاد سعة تبادل الايونات الموجبة للتربة مـــن

جمع مجموع مليمكافئات تلك الايونات الممدة على معقد التبادل وبهذا فان سعة تبادل الايونات الموجبة لهذه التربة هو 13 مليمكافيء لكل 100 غم من التربة.

وبالامكان قياس سعة تبادل الايونات الموجبة للتربة بتحليل جميع الايونات على معقد التبادل ثم حساب مجموعها كما في المثال اعلاه. ان هذه الطريقة مطولة وتحتاج الى تحاليل عديدة لذلك تستعمل طريقة تحتاج الى عمل اقل وهو ان تشبع التربة بايون واحد ومن ثم تقدر كمية هذا الايون وتحسب عدد المليمكافئات من هذا الايون في 100 غرام من التربة. ويستعمل لهذا الغرض اما ايون الامونيوم NH^{+4} او ايون الصوديوم Na^{+1}.

وعند معرفة عدد المليمكافئات من كل ايون على معقد التبادل في طبقة معينة من التربة فان بالامكان ايجاد الوزن الكلي للايونات من كل نوع من تلك الطبقة.

العوامل المؤثرة على سعة تبادل الايونات الموبة في التربة:

تعتمد قابلية التربة على مسك وتبادل الايونات الموجبة على مالايقل عن ثلاث عوامل وهي :

1- نسبة ونوع المعادن الطينية في التربة

2- نسبة المادة العضوية المتبلة في التربة .

3- رقم حموضة التربة.

فاذا كان رقم حوضة التربة مساو او اكبر من 6 فان بالامكان تقدير قابلية التربة على تبادل الايونات الموجبة اعتمادا على مكوناتها المعادلة التالية:

CEC(للتربة) = CEC(للطين) x نسبة الطين + CEC(للمادة العضوية)x نسبة المادة العضوية المتبدلة

تاثير نسبة ونوع المعادن الطينية على قابلية تبادل الايونات الموجبة:

يبين الجدول 1-5 قابلية تبادل الايونات الموجبة لترب مختلفة النسجة من مناطق مختلفة من العراق . ويلاحظ ان قابلية تبادل الايونات الموجبة تعتمد بصورة عامة على نسبة الطين عند ثبات نسبة المادة العضوية. كذلك فان نوع الطين يؤثر تاثيرا كبيرا على هذه القابلية كما يتضح في الجدول (2-5) . ويعود ذلك الى الاختلاف الكبير في قابلية الاطيان المختلفة على تبادل الايونات.

تاثير نسبة المادة العضوية على سعة تبادل الايونات الموجبة:

بينت العديد من الدراساتبان تاثير المادة العضوية على تبادل الايونات الموجبة في التربة يكون مكافئا اذا لم يزد على تاثير المعادن الطينية.والجدول 5-3 يبين مثل هذا التاثير للمادة العضوية على سعة تبادل الايونات الموجبة في الافاق المختلفة في مقد التربة. حيث يتضح بان للمادة

العضوية تاثير أكثر اهمية من تاثير نسبة الطين على سعة تبادل الايونات الموجبـــة فـــي هـــذه التربة. جدول 5-2 تاثير نسبة الطين على قابلية التربة على تبادل الايونات الموجبة.

جدول (5-1)

نسجة التربة	محتوى الطين	نسبة المادة العضوية	CEC
	%	%	ملیمكافيء/100غم
مزيجة رملية	10.2	0.55	12.9
مزيجة غرينية	17.9	0.72	18.0
مزيجة طينية غرينية	30.7	1.0	25.7
طينية غرينية	47.6	0.78	30.7

جدول5-2 تاثير نوع الطين على قابلية تبادل الايونات الموجبة في التربة

النسجة	محتوى الطين%	سعة تبادل الايونات الموجبة ملیمكافيء/100غم	الموقع
	الطين السائد من نوع 1:2		
رملية	1	2	فلوريدا
مزيجة رملية	11	8	اريزونا
مزيجة غرينية	20	19	العراق
مزيجة غرينية	28	26	ايوا
مزيجة طينية غرينية	35	36	اريرونا
طينية	58	49	تكساس
	الطين السائد من نوع 1:1 واكاسيد الحديد والالمنيوم		
طينية	56	14	بورتوريكو
طينية	72	19	بورتوريكو

جدول 5-3 تاثير نسبة المادة العضوية على سعة تبادل الايونات الموجبة لاعماق مختلفة من مقد التربة.

العمق (سم)	المحتوى الطيني %	المادة العضوية %	CEC ملیمكافيء/100غم
0-7.5	15.4	20.2	40.5
7.0-28	16.6	2.8	22.3
28-56	15.7	1.2	18.4
56-72	8.5	1.1	11.9

تاثير رقم الحموضة على سعة تبادل الايونات الموجبة:

يدل رقم الحموضة على تركيز ايونات الهايدروجين الفعالة في المحلول. يوجد حسابيا عن طريق ايجاد القيمة العالية للوغاريتم فعالية او تركيز أيونات الهيدروجين في المحلول. ويوجد رياضيا بواسطة المعادلة التالية:

$$PH = - \text{لو } [H^+]$$

حيث يعني PH رقم الحموضة و هو تركيز ايونات الهيدروجين في المحلول مقاسة بالمكافئات في اللتر(ايون غرامي/لتر).

يعتمد رقم حموضة التربة على تفاعلها فاذا كان رقم التفاعل اقل من 7 فان التربة تكون حامضية التفاعل اما اذا كان الرقم قريبا من 7 فان تفاعل التربة يكون متعادلا اما الترب القاعدية التفاعل فان رقم حموضتها يكون اكبر من 7.

فعندما يكون المحلول حامضيا فان تركيز ايونات الهيدروجين يزيد على تركيز ايونات الهيدروكسيل في المحلول وفي المحلول القاعدي يكون العكس صحيحا. اما في المحاليل المتعادلة فيتساوى تركيز ايوني الهيدروكسيل والهايدروجين.



الفصل السادس

الدوائر

الكهربائيـــة

6- ضوء الشمس والخلايا الشمسية

SOLAR CELLS AND SUNLIGHT

تقوم الخلايا الشمسية بتحويل ضوء الشمس مباشرة إلى طاقة كهربائية مستفيدة من الخصائص الالكترونية لنوع معين من المواد تعرف بأشباه الموصلات(Semiconductors).

الخلايا الشمسية [18، 19]

مبادئ العمل، التقنية وتطبيقات المنظومة

الخلية الفلطائية الضوئية الشمسية: الخلية الشمسية: نبيطة تمكن من تحويل الإشعاع الشمسي مباشرة الى كهرباء باستخدام التأثير الكهرضوئي. وفيها تندفع التيارات المتولدة بالإشعاع ، بالتأثير الكهرضوئي، عبر دائرة خارجية بفعل مجال كهرمغنيطي داخلي.

في التطبيقات العملية تركب مجموعات من الخلايا في وحدات وتنظم الوحدات في مطورات او صفوفا (على التوالي او التوازي او بنسق مؤتلف من كليهما). والتطبيقات العملية للخلايا الفلطائية الضوئية مقتصرة حاليا على الحالات التي تتطلب مورد كهربائي في الظروف التي تناسب بخاصة ميزات هذه الخلايا- اي حيث يتطلب في المواقع النائية، مصادر قدرة خفيضة، مثلا في المضخات الشمسية وأجهزة التشوير البصرية والاتصال عن بعد ولإعادة شحن البطاريات وكمصادر قدرة للأقمار الصناعية وفي التحليل بالكهرباء .....الخ. وأما توسيع نطاق استخدام الخلايا الفلطائية الضوئية إلى مجالات أخرى كمحطات تحويل مباشر لتوليد القدرة مثلا فيعتمد مباشرة على انخفاض تكاليف الوحدات المجمعة منها.

تيار دائرة القصر للخلية الشمسية: التيار الذي تمدنا به الخلايا الشمسية عند تقصير الدائرة في الظروف المعيارية ودرجة 300 ك(إلا إذا حددت ظروف أخرى).

فلطية الدائرة المفتوحة للخلية الشمسية: الفلطية المتولدة بين طرفي الخلية الشمسية في دائرة مفتوحة، في الظروف ك هـ1 ودرجة 300 ك(ما لم تحدد ظروف أخرى).

كفاية الخلية الشمسية: نسبة القدرة الذروية التي تمدنا بها الخلية الشمسية إلى الإشعاعية الشمسية الساقطة على الخلية في الظروف المعيارية هـ 1 ودرجة 300 ك(ما لم تحدد ظروف أخرى).

القدرة الذروية للخلية الشمسية: القدرة الكهربائية القصوى التي يمكن الحصول عليها من خلية شمسية في ظروف معيارية ك هـ 1 ودرجة 300 ك(ما لم تحدد ظروف أخرى).

مقاومة التوالي للخلية الشمسية: المقاومة الموصولة على التوالي مع خلية شمسية مثالية المنتجة لهبوط في الجهد الكهربائي(الفلطية) الأومي داخل الخلية نفسها.

الخلية الشمسية المثالية هي خلية افتراضية عديمة المقاومة الداخلية.

مقاومة مجرى التيار في الخلية الشمسية: مقاومة موصولة على التوازي مع خلية شمسية مثالية ينتج عنها مفقودات بتسرب التيار داخل الخلية نفسها.

الخلية الشمسية هي خلية افتراضية عديمة المقاومة الداخلية.

الكفاية البصرية للخلية الشمسية: نسبة الإشعاعية الشمسية على الجزء الحساس للضوء من الخلية إلى الإشعاعية الشمسية على الخلية كلها.

الاستجابة الطيفية للخلية الشمسية: تيار دائرة القصر الذي تمدنا به الخلية الشمسية لكل وحدة إشعاعية في نطاق ضيق من الأطوال الوجية(لا يتجاوز 10 نانومتر غالبا)، معبرا عنه كدالة بالنسبة للطول الموجي على درجة 300 ك(ما لم تحدد ظروف أخرى).

كثافة الحشو: نسبة مساحة الخلية الشمسية المغطاة بالمعدن إلى المساحة الكلية للخلية.

عامل التعبئة: نسبة القدرة الذروية التي يمكن الحصول عليها من خلية شمسية إلى حاصل ضرب فلطية الدائرة المفتوحة في تيار دائرة القصر.

نسبة التركيز الهندسي: نسبة مساحة جزء الخلية الشمسية الحساس للضوء إلى مساحة الخلية.

نسبة التركيز الفعلي: حاصل ضرب نسبة التركيز الهندسي في الكفاية البصرية للخلية.

نظام الخلية الشمسية الهجينة: خلية شمسية تشتمل على نظام تبريد يتم فيه الانتفاع بالطاقة الحرارية التي يجمعها وسط التبريد.

1-6 خطوط عريضة عن تطور الخلية الشمسية [19-23]

OUTLINE OF SOLAR CELL DEVELOPENT

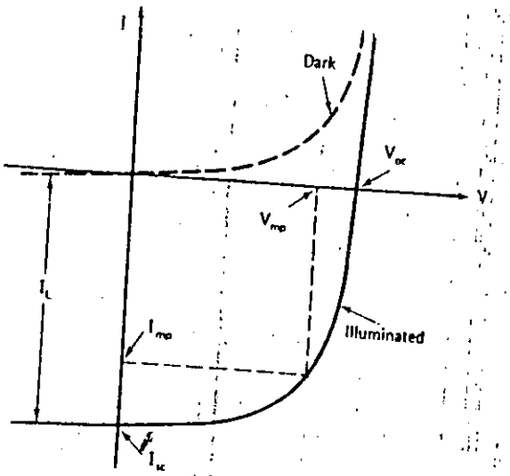
يعتمد عمل الخلايا الشمسية على الظاهرة الفوتوفولطائية (Effect Photovoltaic).لقد نشر عن هذه الظاهرة أول مرة في عام 1839 من قبل العالم بيكورل Becquerel الذي لاحظ أن الفولتية بين الأقطاب المغمورة في محلول الكتروليتي تعتمد على الضوء الساقط. وفي عام 1876 لوحظت هذه الظاهرة في جميع النبائط التي تشمل على مادة السلنيوم Se. وتبع ذلك ابتكار الخلايا الضوئية(Photocells) المصنوعة من هذه المادة واوكسيد النحاسوز (Cuprous Oxide). على الرغم من أن أول ما نشر عن الخلية السليكونية كان سنة 1941 فلم يعرف عن الخلية السليكونية بشكلها الحالي إلا في عام 1954. واعتبرت هذه النبيطة(Device) في حينه أعظم ابتكار لأنها كانت أول تركيب فوتوفولطائي يقوم بتحويل الضوء إلى طاقة كهربائية وبكفاءة مقبولة. وتم استخدام هذه الخلايا كمصادر قدرة في السفن الفضائية في عام

1958 وفي بداية الستينات أصبح استخدام الخلايا للأغراض الفضائية أمرا مألوفا، وبقي هذا من أهم استخدامات الخلايا لعقد من الزمن.

شهدت بداية الستينات فترة إبداعية لتطوير الخلية السليكونية مع تزايد واضح في كفاءة تحويل الطاقة. وفي الوقت ذاته تقريبا كانت هناك صحوة اهتمام في استخدام هذه النبائط في التطبيقات الأرضية. وفي نهاية السبعينات فاق حجم الخلايا المنتجة للاستخدامات الأرضية تلك المنتجة للاستخدامات الفضائية، ورافق هذه الزيادة في الإنتاج انخفاض كبير في أسعار الخلية الشمسية. قد شهدت بداية الثمانينات إنتاج تجريبي لتقنيات احدث تهدف إلى خفض تكاليف الخلايا الشمسية للعقد القادم. وأن هذا الانخفاض في الأسعار يشجع التوسع المستمر في التطبيقات التجارية في استغلال الطاقة الشمسية.

معالم خرج الخلية الشمسية SOLAR CELL OUTPUT PARAMETERS

تستخدم عادة ثلاث معالم (Parameters) لدراسة ما يخرج من الخلية الشمسية شكل(1.6).



الشكل (1.6) خواص الخرج الثنائي القطب في الظلام وعندما يضاء [19].

واحد هذه المعالم هو تيار الدائرة القصيرة (Short Circuit Current) I_{sh} ويساوي التيار المتولد بواسطة الضوء عند الظروف المثالية. أما المعلم الثاني فهو فولتية الدائرة المفتوحة(Open Circuit Voltage)، V_{oc} وبجعل I يساوي صفرا في المعادلة (4-43) تكون القيمة المثالية لهذا المعلم:

$$V_{oc} = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{I_L}{I_o} + 1\right)$$

وتتحدد قيمة V_{oc} بخصائص شبه الموصل لاعتمادها على I_o . والقدرة الخارجة عند أي نقطة العمل(Opereting Point) في الربع الرابع تكون مساوية لمساحة المستطيل المحدد كما موضح في الشكل (6.1). أما النقطة العاملة المعينة (I_{mp} وV_{mp}) تجعل هذه القدرة أكبر ما يمكن. أما المعلم الثالث فهو عامل الملئ Fill Factor (FF) ويعرف كما يلي:

$$FF = \frac{V_{mp} I_{mp}}{V_{OC} I_{SC}}$$

وهذا المعلم هو مقياس لمدى مربعية خصائص الخرج. وقيمته بالنسبة للخلايا ذات الكفاءة المقبولة تكون بين 0.7 و 0.85. أما في الخلايا المثالية فيكون FF دالة لفولتية الدائرة المفتوحة Voc فقط وبتحديد الفولتية العيارية بـ voc, as Voc/(kT/q) فأن القيمة المثالية(القصوى) لـ FF موضحة في الشكل (6.2). فهناك معادلة تجريبية تعبر عن هذه العلاقة عندما تكون 10 < voc وبدقة اربعة مراتب عشرية:

$$FF = \frac{v_{OC} - \ln(v_{OC} + 0.72)}{v_{OC} + 1}$$

أما كفاءة تحويل الطاقة η فيمكن التعبير عنها بالصيغة الآتية:

$$\eta = \frac{V_{mp} I_{mp}}{P_{in}} = \frac{V_{OC} I_{Sc} FF}{P_{in}}$$

حيث ان pin هي القدرة الكلية للضوء الداخل الى الخليه. ومعدل كفاءة تحويل الطاقة للخلايا الشمسية التجارية عادة تقع بين 12 الى 14 %.

الخسائر في الكفاءة EFFICIENCY LOSSES

ان الشكل (6.3) يبين مقطعا عرضيا لخلية شمسية حقيقية من نوع p-n . أن كفاءة الخلية الحقيقية عادة تكون أقل من الحدود المثالية ويعود سبب ذلك إلى خسائر مختلفة.

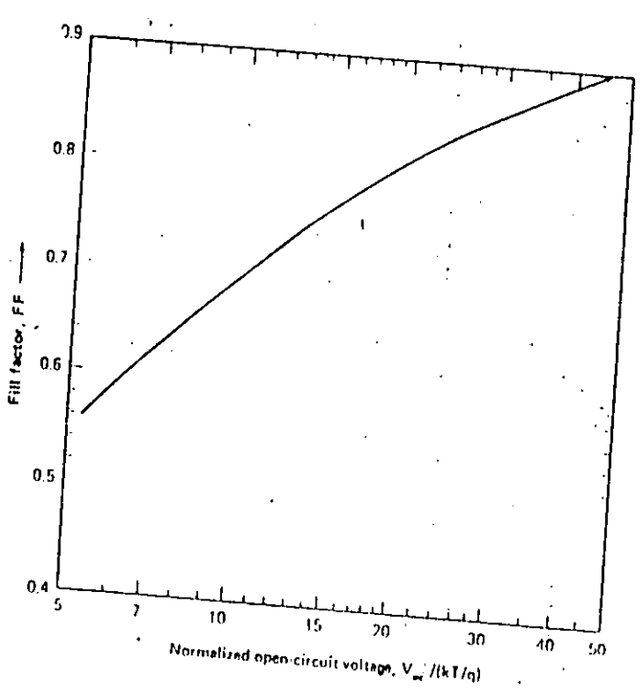
1- الخسائر في تيار الدائرة القصيرة Short-Circuit Current Losses

يوجد ثلاثة أنواع من الخسارة في الخلايا الشمسية والتي يمكن أن يقال بأنها ناتجة من الخاصية البصرية للمادة وهي:

1-أن سطح السليكون عاكس لقسم كبير من الضوء الساقط عليه وعند طلاءه بغشاء غير عاكس(Antireflection) كما في الشكل(6.3)، تقل نسبة الخسارة بمقدار10%.

2- أن ضرورة عمل الأقطاب المعدنية لكل من جانبي نوع n- ونوع p- ينتج شبكة معدنية على سطح الخلية المعرض لضوء الشمس وهذا التركيب المعدني يمنع 5 إلى 15% من الضوء الساقط من الدخول إلى الخلية.

3- وأخيرا إذا كان سمك الخلية غير كاف فأن بعض فوتونات الضوء التي تملك طاقة معينة لا تتفاعل مع المادة وتستطيع النفاذ مباشرة إلى الخارج وهذا يحدد أقل سمك مطلوب من مادة شبه موصل لصناعة الخلية. وأن أشباه الموصلات ذات الفجوة غير المباشرة عادة تحتاج إلى سمك أكثر من ذات الفجوة المباشرة كما مبين في النتائج المحسوبة لكل من السليكون وGaAs في الشكل (6.4).

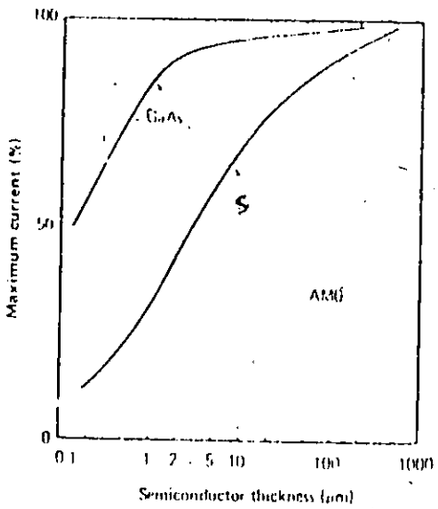


شكل 6.4 القيمة المثالية لعامل الملء كدالة لفولتية الدائرة المفتوحة المعيارية الى الفولتية الحرارية.

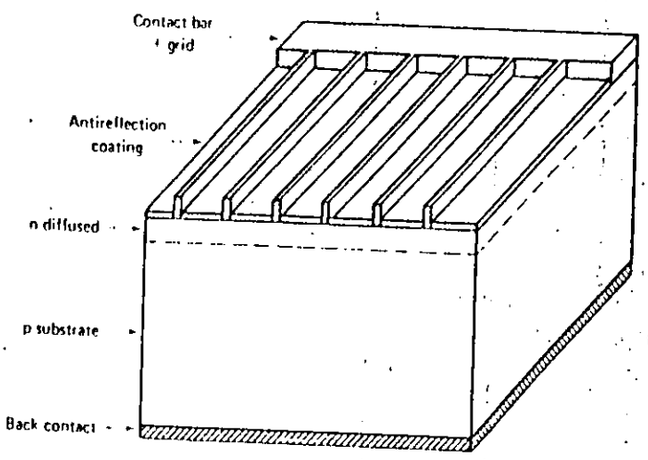
وهناك سبب آخر للخسارة في تيار الدائرة القصيرة وهو عملية إعادة الاتحاد في المادة وسطوح شبه الموصل ولقد بينا في الفصل الرابع أن أزواج الكترون- فجوة المتولدة قرب المفرق تسهم نفسها في I_{sc} وتملك الحاملات المتولدة بعيدا عن منطقة المفرق احتمالية كبيرة للرجوع والاتحاد قبل أن تكمل الحركة من نقطة التوليد إلى قطبي النبيطة.

2- الخسائر في فولتية الدائرة المفتوحة: Open-Circuit Voltage Losses

ان العملية الأساسية التي تحدد قيم V_{oc} هي عملية إعادة الاتحاد في شبه الموصل وتم توضيح ذلك في محاولة الفولتية V_{oc} في الفقرة 1 فان أوطأ إعادة الاتحاد في شبه الموصل يعني أعلى فولتية V_{oc} وأن عمليتي إعادة الاتحاد داخل المادة وسطحها تكونان مهمتين.



الشكل 6.5 تأثير سمك الخلية على النسبة المئوية لاعلى تيار متوقع توليده من الخلية الشمسية . لاحظ الفرق بين شبه الموصل ذي الفجوة المباشرة (GaAs) وذي فجوة غير مباشرة (Si) .



الشكل 6.6 بين السمات الرئيسة للخلية الشمسية . الابعاد باتجاه عمودي مكبر بشكل على غير حقيقته مقارنة بالابعاد العرضية لغرض التوضيح [19]

ان أحد العوامل المهمة التي تحدد من قيمة V_{fic} هو إعادة الاتحاد خلال مستويات القنص في منطقة الاستنزاف. ويكون هذا النوع من إعادة الاتحاد فعال في مثل هذه المناطق. وبالرجوع إلى العلاقة الرياضية لهذه العملية نحصل على:

$$U = \frac{np - n_i^2}{\tau ho(n + n_1) + \tau co(p + p_1)}$$

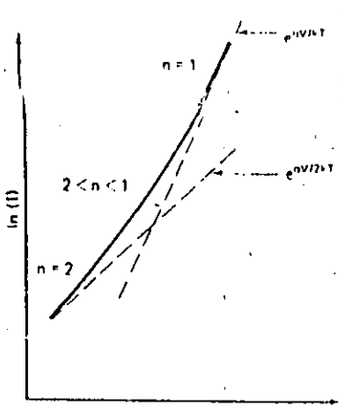
ويكون U عند ذروته عندما يكون كل من n_1 و p_1 وكذلك n و p صغير ويتحقق هذان الشروطان عندما يقع القنص قريب الفجوة المحظورة ضمن منطقة الاستنزاف. وعند تحليل خصائص ثنائي القطب p-n، في الفصل الرابع لحالة الظلام أهملت عملية إعادة الاتحاد في مناطق الاستنزاف بفرض أن عرض هذه المنطقة (W) صغير جدا تقريب 5 على أية حال، فان أهمية إعادة الاتحاد في هذه المنطقة قد تكون كبيرة في بعض الحالات.

ان إضافة عملية إعادة الاتحاد في منطقة الاستنزاف إلى خصائص ثنائي p-n في الظلام تزيد جدا اخر إلى خصائص التيار- فولتية وتكون المعادلة النهائية بالشكل الاتي:

$$I=I_o(e^{qV/kT}-1) + I_w(e^{qV/2kT}-1)$$

وعندما تكون I_o نفس القيمة السابقة ولـ : I_w قيمة:

حيث ε_{max} هي شدة المجال الكهربائي الأعلى في المفرق وقيمته معطاة بالمعادلة(4.4) في مفرق مطعم بصورة منتظمة على جانبيه.



الشكل 6.5 تخطيط شبه لوغارتيمي لخصائص تيار ـ فولتية لمفرق p-n متضمنا تأثير اعادة الاتحاد في منطقة الاستنزاف [19]

هذه الخصائص مخططة على ورقة بيانية شبه لوغارتمية(Semilogritmic) في الشكل (6.5) ويكون الحد الثاني من المعادلة(5.12) سائدا عند التيارات الواطئة بينما الحد الأول هو السائد عند التيارات العالية.

ومن الممكن كتابة المعادلة 5.12 بالشكل الأتي:

$$I=I_0(e^{qV/nkT}-1) \qquad (5.14)$$

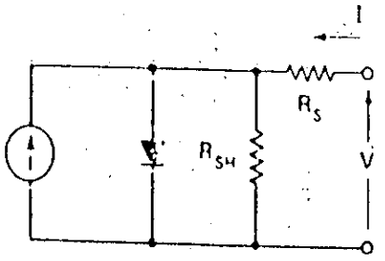
ويعرف n بعامل المثالية (Ideality Factor) ويتغير مع مستوى التيار كما يعمل I_o من المعادلة (5.12) وتتناقص n من 2 عند التيارات الواطئة إلى 1 عند التيارات العالية(3). وبما ان خصائص ثنائي p- n في الضوء هي نفس الخصائص في الظلام كما موضح في الشكل (6.5) مع الإزاحة نحو الأسفل في الربع الرابع ومن الممكن أن تلاحظ أن أضافة إعادة الاتحاد في منطقة الاستنزاف تعمل على تناقص قيمة V_{oc} .

3- الخسائر في عامل الملء Fill Factor Losses

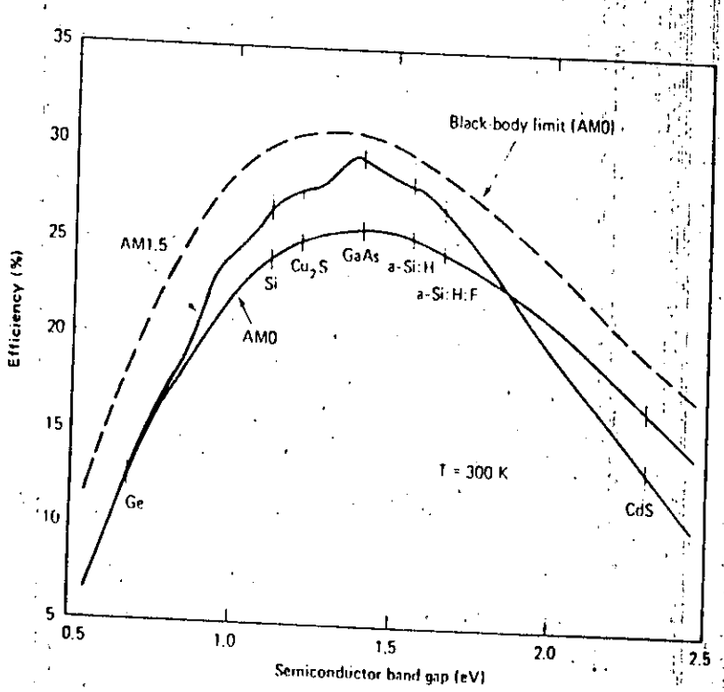
ان عملية إعادة الاتحاد في منطقة الاستنزاف تقلل أيضا من قيمة عامل الملء (Fill Factor) إذا كان عامل المثالية n المحسوب في الفقرة السابقة اكبر من واحد، فإن قيمة العامل الملء المثالي المحسوب (4.12) تكون عند فولتية V_{oc}/n . وتكون أقل من ذلك عندما يكون n يساوي واحدا. وبتعريف الفولتية المعيارية(Normalized) v_{oc} بـ $V_{oc}/(nkT/q)$ بصورة عامة فإن العلاقة التجريبية للعامل الملء تبقى سارية المفعول مع دقة لأربعة مراتب عشرية تقريبا لـ $v_{oc} > 10$

$$F F_o = \frac{v_{oc} - \ln(v_{oc} + 0.72)}{v_{oc} + 1} \qquad (5.15)$$

الخلايا الشمسية عامة تملك مقاومة متوازية متوالية ذاتية واخرى متوازية مترابطة معها ويبين الشكل (6.6) الدائرة المكافئة للخلية الشمسية.فهناك عدة اليات فيزيائية مسؤولة عن هذه المقاومات. والمصادر الرئيسة للمقاومة المتوالية R_S هي المقاومة الذاتية لنسبة الموصل المصنوعة منه الخلية ومقاومة الموصلات المعدنية والتوصيلات الكهربائية البينية (Interconnections) وكذلك مقاومة الوصل (Contact Resistance) بين المعدن وشبه الموصل . اما المقاومة المتوازية (Shunt Resistsnce) (R_{SH}) فتحدث نتيجة تسرب التيار خلال مفرق p-n حول حافة الخلية. وكذلك مناطق داخلية اخرى وذلك بسبب العيوب البلورية او وجود شوائب غير مرغوبة في منطقة المفرق. فكلا المقاومتين الذاتيتين تقابلان قيمة عامل



الشكل 6.6 الدائرة المكافئة للخلية الشمسية



الشكل 6.7 حدود الكفاءة كدالة للفجوة المحظورة عادة الخلية . ان الخطوط المستمرة تمثل حدوداً تجريبية للاضاءة بـ AM0 و AM 1.5 أما الخطوط المتقطعة مبنية على حركية الحرارة للخلايا الجسم الاسود تحت اشعاع AM0 .

الملء كما مبين في الشكل 8.5 . وكذلك قيم R_S العالية جدا وقيم R_{SH} الواطئة جدا تقللان تيار الدائرة القصيرة I_{Sh} وفولتية الدائرة المفتوحة V_{oc} على التوالي كما مبين في الشكل (6.7).

من الممكن ايجاد اهمية تأثير كل من R_s و R_{SH} على عامل الملء وذلك بمقارنة قيمتيهما مع المقاومة المميزة (Charactoristic Resistance) للخلية الشمسية والتي تعرف بما يأتي:

$$R_{CH} = \frac{V_{oc}}{I_{sc}} \qquad (5.16)$$

عندما يكون R_S اقل بقليل من هذا المقدار و R_{SH} اكثر بقليل منه فيكون هناك تأثير قليل لكل من R_S و R_{SH} على عامل الملء. وبتعريف المقاومة المعيارية ، r_S بـ R_S/R_{CH} يكون التغيير التقريبي لعامل الملء بوجود المقاومة المتوالية (القيمة الدقيقة مذكورة في الشكل (6.8)

$$FF = FF_o(1-r_S) \qquad (5.17)$$

عندما تمثل FF_o عامل الملء المثالي وعند اهمال المقاومة المتوالية يمكن اعادة قيمته التقريبية بصورة تقريبية من المعادلة (5.15). وهذه العلاقة تكون صحيحة لتقرب الى مرتبتين عشريتين عندما يكون v_{oc} >10 و r_S<0.4 وبتعريف المقاومة المتوازية المعيارية التي تساوي R_{SH}/R_{CH} فهناك علاقة مماثلة لتأثير المقاومة المتوازية والتي تتضمن ايضا v_{oc} الفولتية المعيارية المعرفة بـ $v_{oc} = Voc / (nKT/q)$ وهذه العلاقة.

$$FF = FF_o\left\{1 - \frac{(v_{oc} + 0.7)}{v_{oc}}\frac{FF_o}{r_{Sh}}\right\} \qquad (5.18)$$

وهذه العلاقة تكون صحيحة لتقرب الى ثلاثة مراتب عشرية للحالة v_{oc} >10 و r_{Sh}>2.5 عندما تكون المقاومتان المتوالية والمتوازية مهمتين، فان العلاقة التقريبية لمدى معين من القياسات ،هي المعادلة (5.18) مع تعويض FF_o بـ FF المحسوبة من المعادلة (5.17).

6-2 العوازل Insulators

هي المواد التي تكون الكترونات التكافؤ في ذراتها مرتبطة ارتباطا وثيقا بالذرة لهذا تحتاج الى مجال كهربائي شديد جدا للتخلص من جذب النواة، وبمعنى اخر ان العوازل لاتحتوي شحنات حرة ناقلة تحت الظروف الاعتيادية وتشمل اغلب المواد العضوية كالمطاط والكحول.

وتتميز حزم الطاقة فيها بما ياتي:

أ- لها حزمة تكافؤ مملوءة بالالكترونات.

ب- لها حزمة توصيل خالية من الالكترونات الحرة.

ت- لها ثغرة طاقة محظورة كبيرة نسبيا مما يجعل عدد الالكترونات المنتقلة الى حزمة التوصيل معدومة في درجات الحرارة الاعتيادية وايصالية واطئة جدا في درجات الحرارة العالية

يبين الشكل(6.8) مخططا لحزم الطاقه، حيث تكون حزمة التكافؤ في المواد العازلة مملوءة وتكون فجوة الحزمة EG بحدود 5 الكترون فولت أو أكثر، فلذلك يصعب على الالكترونات عبور هذه الفجوة الواسعة وبذلك تبقى حزمة التوصيل فارغة، وهذا مما يفسر عدم الايصالية في المواد العازلة للكهربائية.

خواص العزل الكهربائي Dielectric Properties

المقاومة الاومية للعازل

عند تسليط فرق جهد معين بين طرفي العازل فأن تيار Iin سيمر خلال ذلك العازل ويسمى تيار التسرب Leakage Current وهو على نوعين مختلفين بالاعتماد على نوع المقاومة في العازل هما:

اولا:- المقاومة الحجمية: وهي مقاومة العازل لتيارات التسرب التي تسري عبر حجم العازل.

ثانيا:- المقاومة السطحية:- وهي مقاومة العازل لتيارات التسرب التي تسري على سطح العازل والتي تختلف قيمتها عن التيارات التي تسري داخل الحجم وتأتي هذه التيارات بسبب الرطوبة والشوائب على السطح.

مقدار التيار المار خلال العازل(بفرض مقاومتين للعازل مربوطتين على التوازي تمثلان المقاومة الحجمية والسطحية) هو:-

$$I_m = RRs/R+Rs$$

تمثل R و Rs المقاومة الحجمية والسطحية للعازل على التوالي. كذلك ترتبط مقاومة العازل الحجمية(R) مع ابعاد العازل بالعلاقة:-

$$R=Ro\ d/A$$

حيث ان Ro المقاومة النوعية ($\Omega.cm$)

d سمك العازل

A المساحة السطحية لطرفي العازل، المقاومة النوعية يعبر عنها بدلالة التوصيلية الكهربائية(σ)

حيث ان:-

$$\sigma = 1/Ro$$

والمعامل الذي يصف الشكل الهندسي للعازل من خلال ابعاده يسمى بالطول الفعال(Effective Length) ويرمز له (Λ) أي ان:-

$$\Lambda=\Lambda/d$$

السماحية : Permittivity

اذا اخذنا لوحين معدنيين متوازيين مساحة كل منهما Λ والمسافة بينهما d، فانهما يكونان متسعة سعتها C_o فاذا كان الحيز بينهما فراغا فان:-

$$C_o= \varepsilon_o\Lambda/d$$

ويدعى ε_o بسماحية الفراغ وهي كمية ثابتة تساوي $(10^{-9}/36\pi)$ F/m

اما اذا استبدل الحيز الفارغ بين اللوحين بمادة عازلة فان السعة تزداد بحيث تصبح

$$C=\varepsilon A/d$$

تمثل ε سماحية المادة العازلة التي تفصل اللوحين وتدعى ε بالسماحية المطلقة ووحدتها (F/m)

ايضا نرى ان نسبة قيمة المتسعة عند وجود العازل الى قيمتها عند عدم وجود العازل هي:-

$$C/C_o=\varepsilon/\varepsilon_o$$

وتدعى هذه النسبة بالسماحية النسبية Relative Permittivity او ثابت العزل ويرمز لها s_r

وتمثل عدد مجرد من الوحدات وبهذا فأن

$$\varepsilon=\varepsilon_o\,\varepsilon_r$$

ان السعة كما هو معلوم تمثلب نسبة الشحنات الكهربائية التي تظهر على لوحي المتسعة عند

تسليط فرق جهد عبرهما فاذا كانت الشحنة هي Q وفرق الجهد V فأن

$$C= Q/V$$

ان وجود Q كولوم من الشحنات في مساحة A من اللوح يعني ان كثافة الشحنات في اللوح

هـــو $p(Coul/m^2)$ حيث:-

$$p= Q/A$$

ان فرق جهد V عبر المسافة d بين اللوحين يعني ان شدة المجال الكهربائي E هي :-

$$E=V/d$$

وهكذا نجد ان :-

$$C= P\Lambda$$

وعندما يكون الوسط فراغا فأن:-

$$p= \varepsilon_o E$$

اما في حالة وجود الوسط العازل فأن

$$p=\varepsilon_o\,\varepsilon_r\,E \qquad *$$

ان تغير المتسعة عند استخدام العازل يمكن ان يفسر باحد اسلوبين فالتغير ينجم اما عن تغير في V او في Q فاذا فرضنا ان V يبقى ثابتا عند ادخال العازل فأن زيادة السعة تكون نتيجة لزيادة في قابلية استيعاب الشحنات. ففي المعادلة ($Q=CV$) نجد ان الشحنة تزداد بنسبة εr.

ان وجود شحنات فائضة في المتسعة عند وجود العازل يعني ان العازل يمكن ان يستوعب هذه الشحنات وبهذا لا بد ان تتولد في العازل شحنات معاكسة تقوم بمعادلة تأثير الشحنات الفائضة، اما الاسلوب الاخر الذي يمكن من خلاله تفسير زيادة السعة بوجود العازل فهو بافتراض ان تبقى Q ثابتة وفي هذه الحالة لايمكن تفسير زيادة السعة الا لان V هي التي تهبط او بالاحرى ان E هي التي تهبط الى قيمة $(E/\varepsilon r)$ ان القيمة الجديدة للمجال لا بد ان تكون محصلة المجال E ومجال معاكس له ينشأ داخل العازل وهذا المجال الداخلي لا بد ان ينشأ بدوره نتيجة وجود شحنات مستقطبة على سطحي العازل وبهذا نرى ان ايا من التفسيرين على ظهور الشحنات على سطح العازل بفعل المجال الكهربائي الخارجي. ويمكن استنتاج علاقة تربط بين الخاصيتين التي يتصرف بهما العازل(المقاومة والسعة) حيث اذا تساوت مساحة مقطع العازل مع مساحة لوحي المتسعة أي ان العازل يملأ جميع المتسعة فأنه في الحالات الكهروستاتيكية نحصل على:-

$$RC=\varepsilon_0 \varepsilon r/\sigma$$

ويمكن من معرفة σ و ε_r ايجاد R بدلالة C وبالعكس.

الاستقطاب Polarization

عند تسليط مجال كهربائي عبر وسط عازل فأن الشحنات السالبة والموجبة الوجودة داخل العازل تقع تحت تأثير المجال فتندفع الشحنات الموجبة باتجاه المجال واما الشحنات السالبة فتتحرك بالاتجاه المعاكس. ان هذه الشحنات خلافا لما عليه في المعادن لا تستطيع الحركة داخل المادة العازلة بصورة مطلقة بل ان حركتها تكون مقيدة وتختلف درجة الحركة حسب طبيعة الشحنة وموقعها في المادة فعلى مستوى الذرة مثلا نجد ان الكترونات التكافؤ على الرغم من تحركها

$$p = \sigma_b . A . d \quad (coul.m)$$

وبقسمة حجم العازل على طرفي المعادلة اعلاه نحصل على لجزيئات المستقطبة:

$$p = \sigma_b \quad (col.m^2)$$

أي ان الاستقطاب يساوي كثافة الشحنة السطحية للشحنات المقيدة على العازل. فاذا كان الوسط يحتوي على جزيئات عدة فان عزم ثنائي القطب لجزيئة واحدة هو

$$p = \int r \, dq$$

حيث r يمثل الجزيئة عن نقطة الاصل.

يمكن التعبير عن عزم ثنائي القطب ليغطي جميع جزيئات المادة داخل عنصر من الحجم(ΔV) بالعلاقة:

$$p = (1/\Delta V) \Sigma p$$

تعتمد درجة استقطاب الوسط على المجال الكهربائي وعلى خواص جزيئات ذلك الوسط ويمكن كتابة دالة بين E و P حيث ان:

$$P = P(E)$$

وهذه علاقة نقطية، تتغير P اذا تغيرت E داخل العازل فالمواد التي تتلاشى فيها P عن تلاشي E تسمى العوازل غير القطبية حيث للعوازل ذات الاتجاه الواحد فان العلاقة بين PوE :

$$P = X E$$

حيث ان X تمثل المتأثرية الكهربائية وهي كما موضح في العلاقة اعلاه انها تمثل النسبة بين كثافة الاستقطاب P والمجال الكهربائي الماكروسكوبي في مادة ما ويمكن تعريف الاستقطاب من خلال مفهوم الحث الكهربائي Electric Induction او الازاحة الكهربائية Electric Displacement (D) حيث :-

$$P = D - \varepsilon_0 E$$

يعرف عزم ثنائي القطب الجزيئي لوحدة المجال المستقطب بفاعلية الاستقطاب او الاستقاطبية Polarizability (وهي تمثل قالبية الجسم لان يظهر أي عزم ثنائي محتث فوق الصفر اثناء تطبيق المجال الكهربائي ورمزها α أي ان:

$$P = \alpha E$$

فإذا كان لدينا N من الجزيئات في وحدة الحجم والمستقطبة نتيجة تأثير المجال الكهربائي الخارجي، يمكن حساب الاستقطابية الناشئة عنها من العلاقة:-

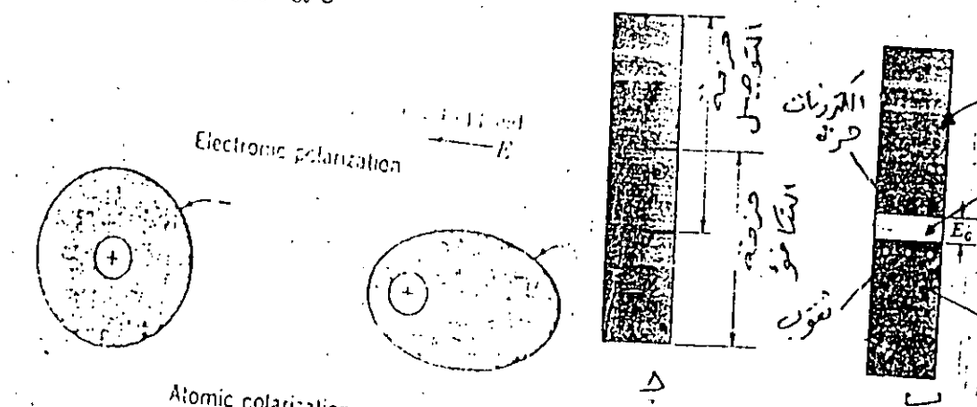
$$\alpha = \frac{3\varepsilon_o(\varepsilon_r - 1)}{N(\varepsilon_r - 2)}$$

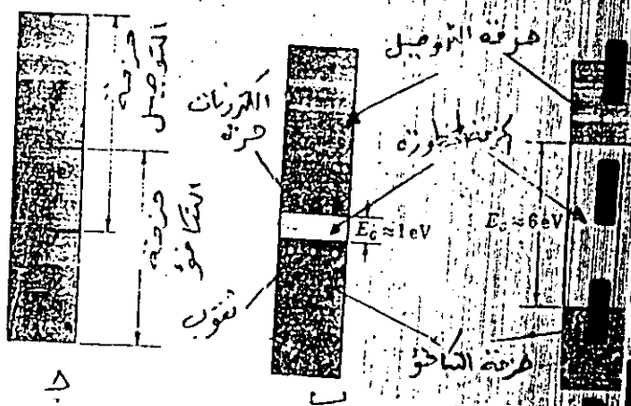
تعرف المعادلة اعلاه بمعادلة كلوزيوس- موسوني (Clausius-Mossotti eq.) وهي مهمة جدا لانها تصنف العلاقة بين الاستقاطبية α وثابت العزل ε_r.

ان ثنائيات الاقطاب الناشئة في المواد العازلة لابد ان تتحرك او تتذبذب بأثير الحرارة التي تكسب ثنائيات الاقطاب هذه طاقة حركية نتيجة المجال الكهربائي فإذا تعرض العازل لمجال كهربائي تردده في نطاق التردد البصري، يسمى هذا الاستقطاب بالاستقطاب الالكتروني (Polarization Electronic) او الاستقطاب البصري Optical polarization حيث يحدث بسبب الفصل بين مركز الشحنات الموجبة في النواة ومركز الشحنات السالبة للالكترونات الذيكان منطبقا قبل تسليط المجال كما في الشكل(6.9a). نتيجة للفصل الذي يحدث بين مركزي نقل الشحنات السالبة والموجبة عند تكوين الجزيئة ينشأ نتيجة هذا الفصل سواء كانت ثنائيات الاقطاب الناشئة دائمية او مؤقتة تسمى بالاستقطابية الذرية او الايونية(Atomic or Ionic Polarization) وهي نصف الاستقطاب في جميع الجزيئات. وتبرز اهميتها في المجالات الكهربائية عندما يكون ترددها تحت الحمراء كما في الشكل (6.9b) ويرافق الاستقطاب الايوني نوع اخر من الاستقطاب نتيجة دوران ثنائي القطب حول محور

التنافر حيث تترتب ثنائيات الاقطاب باتجاه المجال المسلط، يسمى هذا النوع بالاستقطاب الاتجاهي او الدوراني(Orientational polarization) الشكل(6.9c). هناك نوع اخر من الاستقطابية يجب اخذه بنظر الاعتبار خصوصا في المواد السيراميكية وهي الاستقطابية البينية (Interfacial polarization) وتظهر نتيجة للعيوب في التشكيل او في الفراغات او نتيجة عدم التجانس في المادة او بسبب الاطوار المنفصلة الناشئة داخل المادة او نتيجة ذرات شائبة فتتخلخل المادة حواجز نتيجة هذه العيوب او الشقوق حيث تعمل على وقف سير الشحنات المتعاكسة على طرفي الحاجز، وبذلك تنفصل هذه الشحنات داخل المادة نفسها مما يؤدي الى نشوء ثنائيات اقطاب في المادة وتمتد في مناطق كبيرة داخلها تعتمد على تجانس المادة ومدى خلوها من العيوب والشوائب، ويرمز لهذه الاستقطابية بالرمز σ_o وكما موضح في الشكل(6.9-d) ان جميع انواع الاستقطابية يمكن توضيحها بالعلاقة

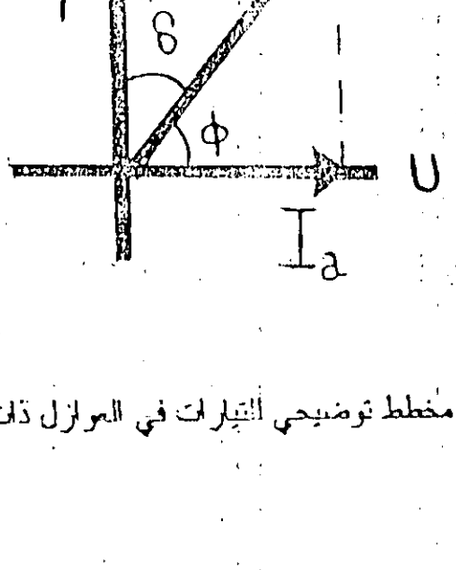
$$\alpha=\alpha_o+\alpha_d+\alpha_I+\alpha_e$$



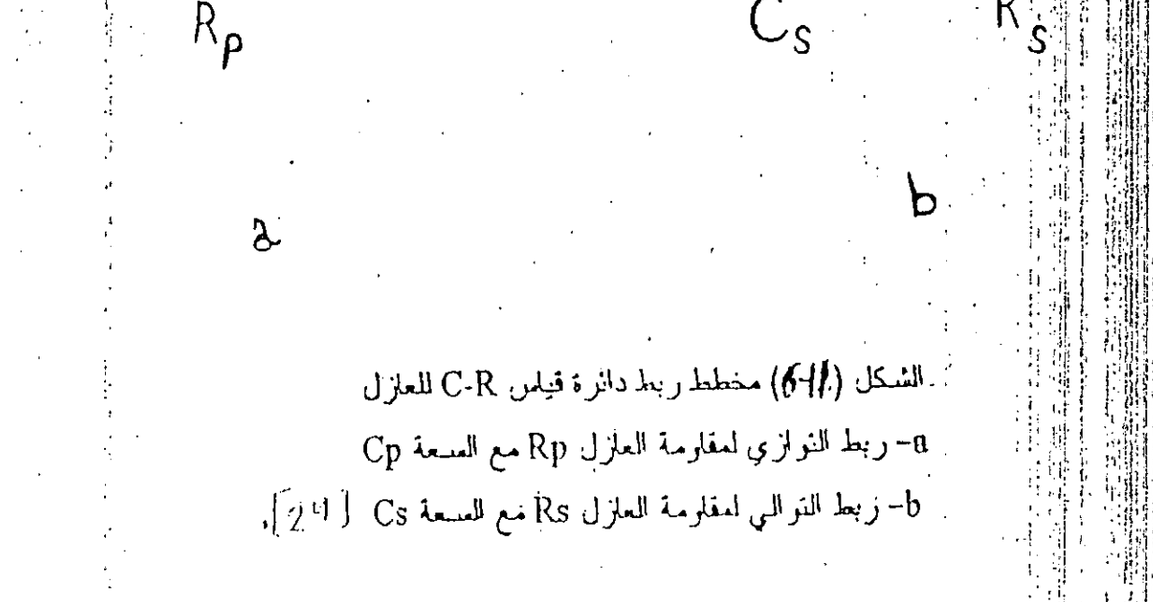


الشكل 6-8 مخطط حزم الطاقة في :
أ- عوازل كهربائية
ب- أشباه الموصلات
ج- موصلات كهربائية

الشكل (6-9) : تمثيل تخطيطي لآليات الاستقطاب المختلفة



الشكل (6-10) : مخطط توضيحي التيارات في العوازل ذات الفقدان العزلي.



الشكل (6-11) مخطط ربط دائرة قياس C-R للعازل

a- ربط التوازي لمقاومة العازل Rp مع السعة Cp

b- ربط التوالي لمقاومة العازل Rs مع السعة Cs [24].

الفقدان العزلي Dielectric Losses

عند تسليط مجال كهربائي على أي مادة فأن التبدد في الطاقة يكون على شكل حرارة، فالموصلات والعوازل تشترك في هذا النوع من التبدد وبنفس العلاقة التي تمثل مقدار الطاقة المفقودة لوجود الزمن ($P_w=U^2/R$) ولكن العوازل تمتاز بالخصوصية الآتية: التبدد في القدرة يكون متغيرا ومعتمدا على: تردد فولتية المصدر وعلى نوع وشكل المادة العازلة. هنا الضياع في القدرة يعرف كفقدان عزلي (Dielectric Losses)، ويصف الضياع تحت تأثيراي فولتية متغيرة على العازل، لذلك فعند التكلم على غفقدان نعني الضياع تحت تأثير الفولتيات المتناوبة.

عند تسليط فولتية متناوبة (U) على متسعة، وعلى فرض انه لا يوجد هناك فقدان(عازل مثالي) في هذه الحالة يمر طور التيار(I) خلال المتسعة ويتقدم على طور الفولتية(U) بزاوية 90° وهذا التيار يعد مثاليا.في الحقيقية زاوية الطور ϕ اقل بقليل من 90° والتيار الكلي(I) المار خلال المتسعة يتحلل الى مركبتين قطبيتين، التيار الفعال(المؤثر) Ia باتجاه الفولتية، والاخر التيار المفاعل(السعري) Ir عمودي على اتجاه الفولتية كما في الشكل(6.10). زاوية الطور تكون في اقصاها عند90° للمتسعات ذات نوعية عالية. الزاوية (δ) تمثل زاوية فقد العازل، ومن المخطط الطوري يمكن حساب التيار الكلي من التيار الفعال(الذي يمر في مقاومة العازل) والتيار (Ir) الذي يمثل حالة متسعة صرفة أي ان :

$$I= Ia + j\, Ir$$

حيث ان $j=(-1)^{1/2}$ وظل زاوية الفقدان يعطي بالعلاقة:

$$\tan\delta= Ia/Ir$$

في بعض الاحيان توصف العوازل بوساطة معامل النوعية Q (Quality Factor) الذي يمثل معكوس قيمة ظل الفقدان أي ان:

$$Q= 1/\tan\delta= \cot\delta = \tan\phi$$

من السهولة إيجاد تعبير نحصل منه على قيمة القدرة الضائعة في العازل (P_w) لمتسعة سعتها C من منحنى مخطط الطور أي ان:

$$(P_w = 5.56 \times 10^{-11} U^2 f \Lambda \varepsilon_r \tan \delta)$$

إذ ان **f** تردد فولتية المصدر.

تدرس حالات الفقد على اعتبار مقاومة العازل **R** مربوطة مع متسعة C صرف في حالتين توالي (Series) او توازي (Parallel). كما في الشكل (6.11) ومن المخطط الطوري لحالة التوازي نحصل على:-

$$Ir = U\omega Cp$$

$$Ia = U/Rp$$

$$\tan\delta = Ia/Ir = 1/\omega\, Cp\, Rp$$

$$\tan\delta = \omega\, Cs\, Rs$$

والعلاقة بين (Rp,Rs) وبين(Rs,Cs) باعتبار الفقد لحالتي التوالي والتوازي متساويا هي:-

$$C_s = Cp(1+\tan^2\delta)$$

$$R_s = Rp/(1+ 1/\tan^2\delta)$$

السماحية المركبة Complex permittivity

لقد بينا ان التيار المتناوب يسبق الفولتية بزاوية اقل من 90° بقليل وذلك لوجود العـــازل بيـــن لوحي المتسعة الذي يعمل بوصفه مقاومة مربوطة مع متسعة. يعطي التيار رياضيا بالعلاقة

$$I=j\omega CV$$

حيث ω التردد الزاوي $(2\pi f)$ للفولتية المتناوبة j يصف حالة الطور بين I و V .

وبالتعويض عن مقدار السعة نحصل على:-

$$I = j\omega(\varepsilon_o \varepsilon r A/d) V$$

ان المتغير الوحيد الذي يمكن ان يستوفي هذا الشرط هو ان يستعاض عن ε_r بالكمية:

$$\varepsilon r=\varepsilon'_r- j\varepsilon''_r$$

$$I = j\omega\varepsilon_o[(\varepsilon'_r -j\varepsilon''_r) A/d]V$$

$$Ia=[\omega\varepsilon_o \varepsilon''_r A/d] V$$

$$Ir= [\omega\varepsilon_o \varepsilon'_r A/d] V$$

ويتبين من الشكل(6.10) ان:

$$\tan \delta = Ia/ Ir$$

أي ان:-

$$\tan\delta=\varepsilon''_r/\varepsilon'_r$$

ان وجود مركبة للتيار بطور الفولتية نفسه واخرى عمودية عليها يني ان المتسعة (C) في واقع الحال ما هي بمتسعة نقية صرفة بل انها تتمثل بمتسعة نقية C_p توازنها مقاومة R_p وبـــذا فـــان التيار الناشئ بوجود V هو

$$Ia+ j Ir\omega C_p V + V/R_p$$

$$R_P = \frac{d}{\omega \varepsilon_0 \varepsilon'_r A}$$

$$C_P = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon'_r A}{d}$$

ويسمى العامل ε''_r بمعامل الفقدان العزلي.

ان تمثيل المتسعة العملية بمقاومة ومتسعة ووجود تيار بطور الفولتية نفسه يعني ان المتسعة تبدد قدرة قدرها VIa او V^2/R_p وكلما اقتربت المتسعة من الحالة المثالية. تضاءلت القدرة المفقودة حيث تقترب ε_r من الصفر وكذلك الزاوية δ ويعبر عادة عن فقد القدرة بالمتسعة بدلالة الزاوية δ ولذا تسمى هذه الزاوية بزاوية الفقد(Loss Angle) ويسمى ظل زاوية الفقد $\tan \delta$ بظل الفقد (Loss Tangent) وهكذا نجد ان $\delta = 0$ في حالة العازل المثالي. ويمكن التعبير عن الخاصية التي تتناول القدرة المفقودة في العازل بدلالة التوصيلية فكما هو معروف ان:

$$R = \frac{l}{\rho} \frac{d}{A}$$

ان التوصيلية σ هي:-

$$\sigma = \omega \varepsilon_0 \varepsilon''_r$$

ويجدر ان نوضح هنا امرا بالغ الاهمية قد يغفله الكثيرون هو ان التوصيلية المبينة في اعلاه لا تمثل التوصيلية في المعادن واشباه الموصلات بل تمثل التوصيلية المتناوبة التي هي مقياس القدرة المفقودة عند تسليط مجال متناوب عبر العازل وليست هي مقياس لكمية الشحنات التي يمكن ان تنتقل خلال المادة من قطب الى اخر. اذن فالتوصيلية المتناوبة في العازل هي مقياس للحرارة التي قد تتولد نتيجة دوران ثنائيات الاقطاب في مواضعها او اهتزاز الشحنات بتغير اتجاه المجال المتناوب ولهذا نجد ان σ تعتمد على التردد. ويمكن اخذ التوصيلية التي تنجم عن

انتقال الشحنات خلال المادة بالنظر عندما يكون التيار مستمرا او عند الترددات الواطئة وفي كل الاحوال يمكن عد التوصيلية المادة مكونة من مركبتين

$$\sigma = \sigma\ a.c + \sigma\ d.c$$

حيث $\sigma\ d.c$ تمثل التوصيلية المادة للتيار المستمر وتكاد لا تتغير مع التردد واما $\sigma\ a.c$ فهي التوصيلية التي تعبر عن الفقد في العازل بسبب حركة ثنائيات الاقطاب بانواعها.

مما تقدم يظهر لنا ان سماحية العازل ε_r ليست كمية حقيقية فقط بل انها كمية مركبة مؤلفة من جزء حقيقي ε_r وهو مقياس السعة واستقطاب ثنائيات الاقطاب وجزء خيالي ε_r يمثل الفقد في العازل.

3- 6 اهم العاوامل المؤثرة في السماحية المركبة وظل الفقدان

التردد: تعتمد السماحية على حركة الشحنات وثنائيات الاقطاب في العازل فتأثير هذه الحركة يؤدي الى تغير اتجاه المجال وبسبب تناوب المجال الكهربائي يتبدل اتجاه المجال، وهذا التناوب يؤدي الى تغير اتجاه ثنائيات الاقطاب، لذلك فأن شدة تناوب المجال الكهربائي المتمثلة بتردد الفولتية المسلطة ينعكس تأثيره على مدى تأثير ثنائيات اقطاب المادة بهذا المدى من التردد، هذا يعني ان الاستقطاب الكهربائي سيتغير بتغير المجال وهذا يعتمد على نوعية استقطابية المادة(الالكترونية،الايونية،الاتجاهية) حيث ان حركة الشحنات المستقطبة هي اساسا اما حركة اهتزازية وهذه ترتبط بالاستقطاب الالكتروني والاستقطاب الايوني او حركة دورانية ترتبط بدوران ثنائيات الاقطاب عند تسليط مجال كهربائي فأن الاستقطاب الالكتروني والايوني ينجمان عن فصل بين الشحنات الموجبة والسالبة وهذا الفصل يولد قوة تحاول ارجاع الشحنات الى وضعها المستقر وعند زوال المجال الخارجي فأن ترددا محددا يدعى بالتردد الطبيعي سيبقى ظاهرا على المنظومة المستقطبة، وان الاستقطاب يواكب تردد المجال(تستطيع ثنائيات الاقطاب الدوران مع التردد)، اما اذا كان التردد المؤثر للمجال عاليا جدا فأن المنظومة لا تستطيع اللحاق

ومواكبة تغير المجال، وفي حالة توافق تناوب المجال الكهربائي مع التردد الطبيعي للمنظومة يحصل ما يسمى بالامتصاص الرنيني(Resonance Absorption) حيث تمتص المنظومة اقصى قدرة ممكنة من المجال المسلط. يظهر من الحسابات النظرية ان التردد الطبيعي لاهتزاز السحابة الالكترونية حول مركز الاستقرار في الذرة هو بحدود 10^{16} rad/s ويقع هذا في الجزء فوق البنفسجي من الطيف الكهرومغناطيسي وتؤيد النتائج العملية هذه الحقيقية، اما في النظام الايوني المؤلف من ايونات مستقطبة فان التردد الطبيعي يقع في الجزء تحت الحمراء أي بحدود $.10^{14}$ rad/s

اما اذا كانت هناك استقطابية اتجاهية (دورانية) فيشار الى الاستقطاب بعملية الاسترخاء (Relaxation Process) حيث يمكن توضيح هذه العملية من خلال تسليط مجال كهربائي مستمر، فنلاحظ اصطفاف ثنائيات الاقطاب باتجاه المجال وان هناك زمنا لكي تأخذ جميع ثنائيات الاقطاب وضعها الجديد وهذه العملية تسمى بالاسترخاء وكذلك في حالة زوال المجال الكهربائي. يبدو من هنا ان هناك اعاقة لحركة ثنائي القطب، ويمكن توضيح الاسترخاء من خلال شحن المتسعة وتفريغها، حيث تعتمد سرعة الشحن والتفريغ على المقاومة المربوطة ن قطبيها فكلما كانت المقاومة اصغر كانت مدة التفريغ اقصر وكذلك بالنسبة للمدة اللازمة خن فمن خلال دائرة توالي لمتسعة C ومقاومة R، يمكن الوصول الى العلاقة بين التردد ω ($\varepsilon'_r, \varepsilon''_r$) حيث تسمى العلاقات بمعادلات ديباي (Debye equ) وهي:-

$$\varepsilon'_r(\omega) = \varepsilon_{r(\infty)} + \frac{\varepsilon_{r(s)} - \varepsilon_{r(s)}}{1 + (\omega)^2 \tau^2}$$

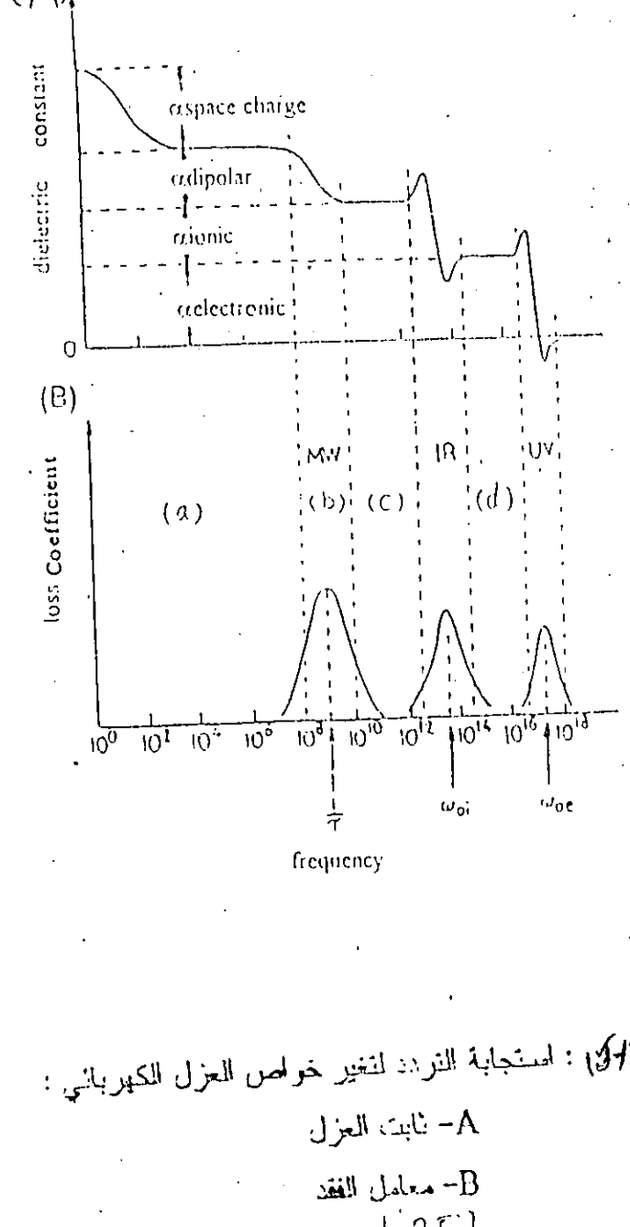
$$\varepsilon''_r(\omega) = (\varepsilon_{r(s)} - \varepsilon_{r(\infty)}) \frac{\omega\tau}{1 + (\omega)^2 \tau^2}$$

t: يمثل زمن الاسترخاء Relaxation Time وهو الزمن اللازم لكي تصل فيه متجه الاستقطاب الى 1/e من قيمته العظمى قبل تفريغ المتسعة من الشحنة.

أما المادة التي تنشأ فيها الاستقطابيات الثلاثة $(\alpha_d + \alpha_i + \alpha_e)$ تظهر فيها كل هذه الانواع عند الترددات الواطئة وتمثل الجزء (a) من الشكل(6.12) حيث تكون السماحية $(\varepsilon'_r \approx \varepsilon_{r(s)})$ ستاتيكية مستقرة ويكاد يكون الفقد صفرا حيث يكون الفقدان ناشئا عن التوصيلية الستاتيكية(σd.c) فقط، وعند بلوغ التردد $1/\tau$ عند الموجات الراديوية والمايكروية المشار اليها في الجزء (b) من المنحني يتعذر على ثنائيات الاقطاب الدائمة متابعة تغير المجال ولذا فأن تأثير الاستقطابية الدورانية يتلاشى ويبقى تأثير $(\alpha_i + \alpha_e)$ قائما فقط، متمثلا ذلك في الجزء (c) من المنحني اما الفقد ε_r عند الجزء (b) فيكون عاليا وذلك عندما يتزامن متغير المجال مع تردد ثنائي القطب ما بين مواضع الاستقرار. اما تأثير الاستقطاب الايوني α_i فيبدأ بالاضمحلال عند التردد (ω_{oi}) ويقع هذا التردد في المنطقة تحت الحمرء من الطيف ويحدث عندئذ ارتفا في الفقد بسبب توافق التردد مع التردد الطبيعي للايونات المكونة لثنائي القطب، اما في الجزء (d) فلا يبقى سوى تأثير الاستقطابية الالكترونية α_e وهذه بدورها تضمحل عند تجاوز الترددات فوق البنفسجية وهي تتوافق مع التردد الرنيني لاهتزاز السحابة الالكترونية المحيطة بالنواة .

درجة الحرارة: درجة الحرارة لا تؤثر في عمليات الاستقطاب الالكتروني للعوازل غير القطبية، والاستقطابية الالكترونية للجزيئات لا تعتمد على درجة الحرارة وبسبب التمدد الحراري للمادة فأن النسبة بين عدد الجزيئات الى الطول الفعال(٨) للعازل تتناقص عندما تتزايد درجة الحرارة، ففي هذه الحالة تتناقص(εr) بزيادة درجة الحرارة وهذه تحدث لبعض المواد البوليمرية والعضوية. وفي المواد القطبية فأن ثنائيات القطب تجد الصعوبة في الدوران ذاتيا عند مدى درجات الحرارة المنخفضة وعند زيادة درجة الحرارة فأن دوران ثنائيات الاقطاب يصبح سهلا

وهذا يزيد من السماحية ومن ذلك المواد الفيزوكهربائية، حيث ان السماحية لهذه المواد ترتفع بشكل حاد بزيادة درجة الحرارة كما في الشكل (6.13) والسبب هو ان الطاقة الحرارية المرتفعة تعمل على نمو المناطق الموجهة Oriented Domains (وهي مناطق تترتب فيها ثنائيات الاقطاب المستديمة) وعند وصول درجة الحرارة الى درجة كوري .Curie Temp. فأن هذه المناطق تضمحل مما يؤدي الى ازالة ترتيب ثنائيات الاقطاب وتحول المادة الى الحالة الباراكهربائية paraelectric حيث ان السماحية في هذه الحالة تهبط تدريجيا بزيادة درجة الحرارة تسبب الاهتزازات الحرارية وعدم الترتيب. اما تغير الفقد ε" و δtan مع درجة الحرارة، نلاحظ tan δ تعطي زيادة عندما تتزايد درجة الحرارة، هذه الزيادة تأتي من حالة تناقص R_o للعازل، ففي درجات الحرارة العالية تكون هناك علاقة وثيقة بين معلمات العازل ودرجة الحرارة. وتأتي الزيادة في tan δ ايضا من الزيادة في تيار التوصيل المار في العازل والتيار الممتص من العازل. ويحصل الفقدان العزلي بعد وصول الثنائيات الى اعظم حالة توازن مع المجال المسلط عند درجة حرارية محددة. في الحقيقة ان الارتفاع في درجة الحرارة يؤدي الى هبوط في اللزوجة. فالطاقة التي تصرف في العازل تأتي نتيجة الاحتكاك الناتج بسبب دوران ثنائيات الاقطاب.وارتفاع درجة الحرارة يقلل من الطاقة اللازمة للتغلب على مقاومة الوسط اللزج(الاحتكاك الداخلي للمادة) وهذا يعني زيادة سرعة تراص ثنائيات الاقطاب وظهور الفقد بوقت مبكرة فتزداد(tan δ) وكذلك (ε'r).

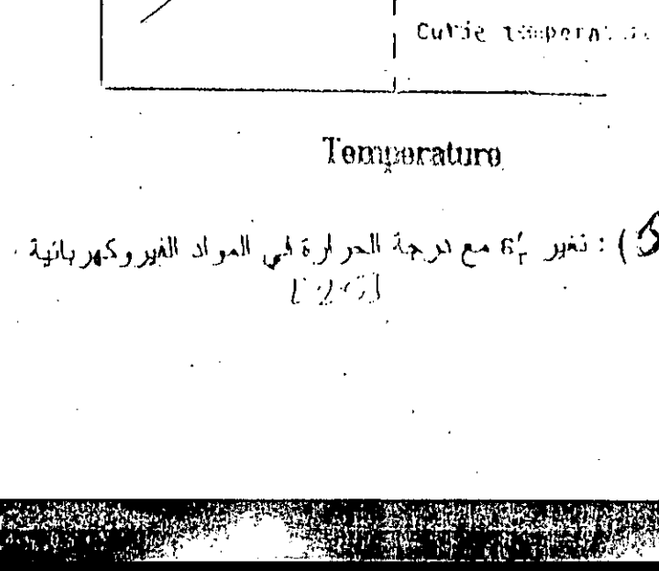


الشكل (2-5) : استجابة التردد لتغير خواص العزل الكهربائي :

A- ثابت العزل

B- معامل الفقد

[25]



الشكل (3-2) : تغير ε'_r مع درجة الحرارة في المواد الفيروكهربائية .

[26]

4- 6 انهيار العازل Dielectric Breakawn

من الصفات المهمة للعازل التي يجب ان تؤخذ بالحسبان في العديد من التطبيقات مدى تحمل العازل للاجهاد الكهربائي دون ان ينهار، ويقصد بانهيار العازل فقدان العازل لخاصية العزل وتحوله الى موصل، وتقاس متانة العازل بدلالة المجال الكهربائي E_b وهو يمثل المجال الذي عنده ينهار العزل فاذا كان لعازل ما سمك d متر وكان فرق الجهد المسلط بين طرفيه الذي ينجم عند الانهيار هو Vb فولت فأن

$$E_b = V_b/d \quad (\text{volt/m or kvolt / mm})$$

تعتمد متانة العزل E_b على العديد من العوامل منها ذاتية تتعلق بتركيب المادة من حيث مكوناتها وتركيب بلوراتها والعيوب او الشوائب الموجودة فيها. ومنها خارجية تعتمد على شكل الاقطاب التي تستخدم لتسليط الجهد الكهربائي، والمادة المصنوعة منها وطبيعة سطح المادة كما ان متانة الانهيار تعتمد على الظروف التي تجري فيها قياس المتانة من درجة حرارة ورطوبة.

ان حدوث الانهيار يعني ظهور شحنات متحركة داخل المادة باستطاعتها الانتقال خلال المادة من طرف الى اخر ويكون مصدر هذه الشحنات اما من داخل المادة وذلك نتيجة تحررها من مستقراتها بفعل الطاقة المكتسبة نتيجة المجال الكهربائي المسلط او قد تكون ناتجة عن انتقال الشحنات من القطب المعدني الى داخل العازل وتمكنها من اجتيازه، ومن العوامل التي قد تؤدي او تساعد على الانهيار ارتفاع درجة الحرارة للعازل بفعل مرور التيار الناتج عن حركة الشحنات هذه. هناك عدة متغيرات تحدث للعازل عند تأثير المجال الكهربائي مثل التوصيل الكهربائي. الاستقطاب Polarization، الفقدان العزلي Dielectric Losses... فزيادة الفولتية على العازل تؤدي الى زيادة تيار التسرب والتيار السعوي للفولتية المتناوبة وعند الاستمرار بزيادة الفولتية المسلطة الى ان تصل الى اعظم قيمة لها في حالة انهيار العازل، عند هذه اللحظة

يمر تيار التوصيل خلال العازل وبصورة متزايدة. بعدها تبدأ الفولتية بالتناقص بسبب تنـــاقص مقاومة العازل. هذه التوصيلية غالبا ما تمثل دائرة قصر بين اقطاب المصدر.

تكون هيئة الانهيار على شكل صهر موقعي او ثقب او منطقة محترقة او نافذة.

مجهز القدرة : (Power Supply) [11]

يتم استخدام مجهزات القدرة ذات الجهد العالي لغرض تكوين منطقة متأينة تحيط بالرأس المدبب للمانعة تعمل كوسط ناقل للشحنات الكهربائية. أي عملية تأيين ذرات الغازات المكونة للهواء والمكونة بالدرجة الأساس من غاز النيتروجين والأوكسجين وبالتالي فأن هذه الايونات الموجبة تعمل على سحب الشحنات السالبة الموجودة في أسفل السحابة والحصول على عملية التفريغ الكهربائي.

مكونات المجهز :

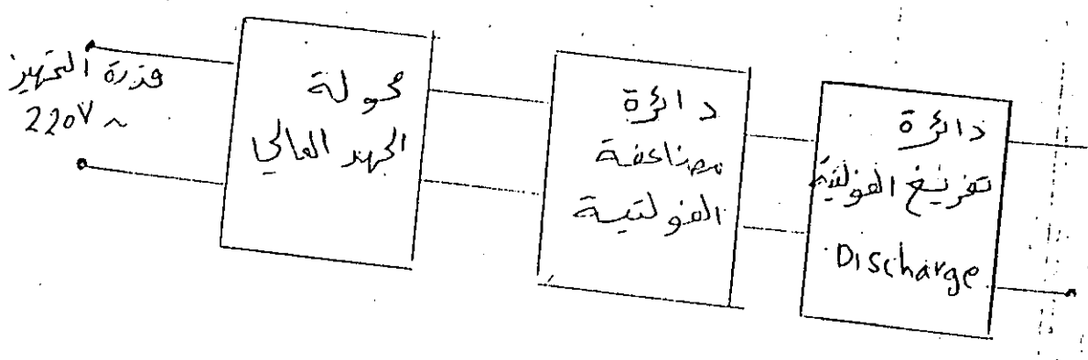
يتكون المجهز من الاجزاء الاساسية التالية :-

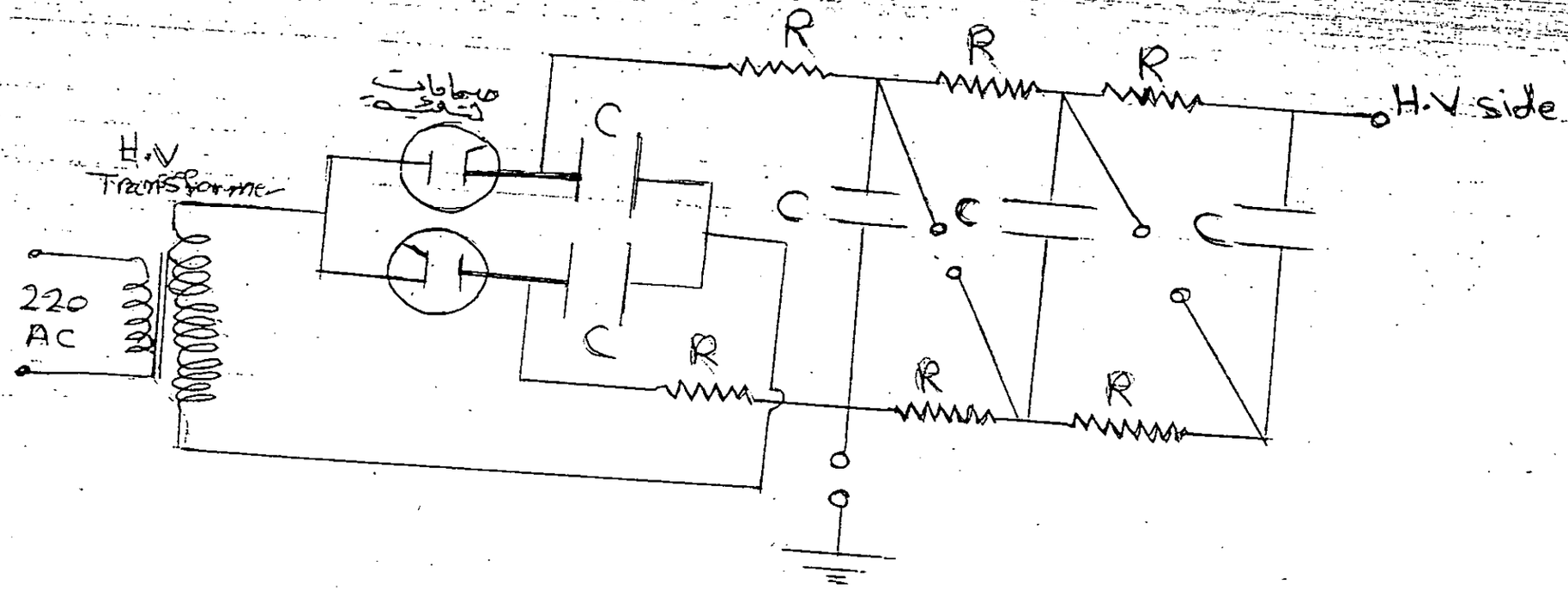
١- محولة عالية الفولتية (H.V transfomer) .

٢- صممات ثنائية تتحمل الجهد العالي .

٣- مكثفات عالية الفولتية .

٤- مقاومات تتحمل جهد عالي .





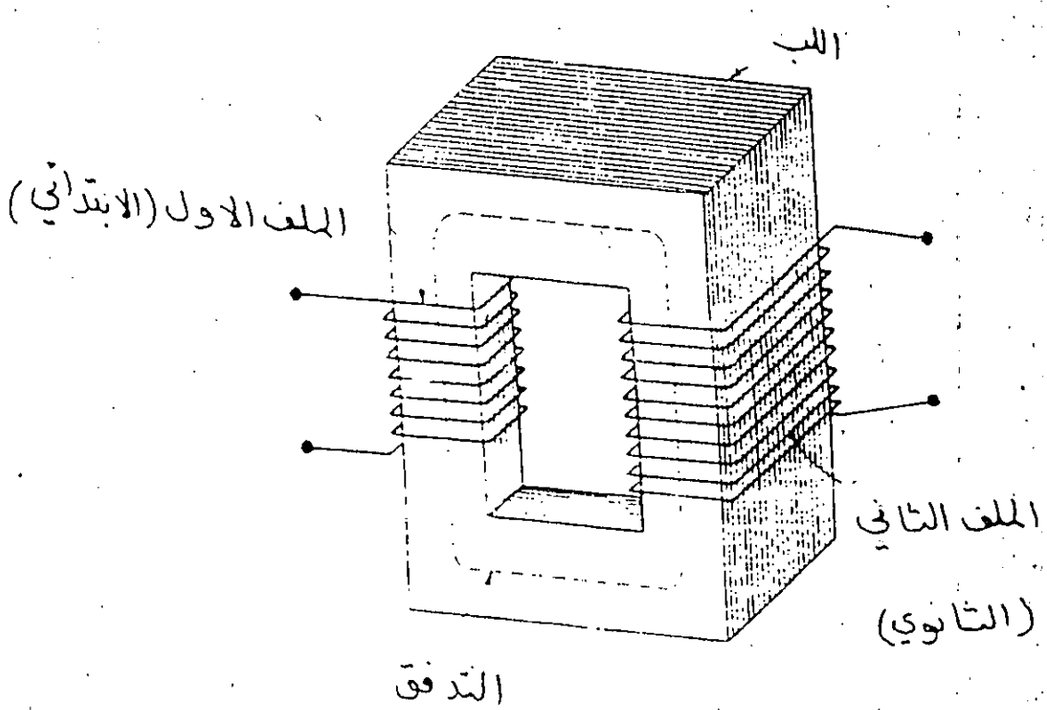
الشكل (ـ ـ ـ) ومكونات مجهزا لضربة [11]

تركيبة المحولات Construction of Transformers

قبل البدء بدراسة المحولات من الضروري معرفة ماهية المحـــول الكـــهربائي. أن المحـــول الكهربائي هو جهاز كهرومغناطيسي ساكن Static Electromagnetic يعمل على تحويـــل الطاقة الكهربائية ذات التيار المتناوب من شكل الى اخر وبالتردد نفسه. واذا اهملنا المفـــاقيد فان القدرة على جانبي المحول تبقى ثابتة وعلى هذا الاساس اذا استعمل المحول لرفع الفولتية Step Up فان التيار سينخفض والعكس صحيح ايضا فان التـــيار سيزداد اذا استعمل المحول لخفض الفولتية Step Down. ان القدرة الداخلة والخارجة في المحول يفترض ان تبقى كما هي ولكن وجود المفاقيد داخل المحول يجعل من القدرة الخارجة اقل من القدرة الداخلة. يعتمد مبدأ عمل المحول على ظاهرة الحث المتبادل بين ملفتين مشتبكين مع بعضهما بواسطة مجـــال مغناطيسي مشترك بينهما.

ان ابسط انواع المحولات هو المحول الاحادي الطور والذي يتكون من ملفين غير متصليـــن كهربائيا تربطهما دائرة مغناطيسية Magnetic Circuits ذات معاوقة مغناطيســـية واطئـــة Low Magnetic Reluctance كما مبين في الشكل (6-14) حيث يمثل الملف الاول ملـــف الدائرة الابتدائية Primary Circuit ويمثل الملف الثاني ملف الدائـــرة الثانويـــة Secondary Circuit عند ربط الملف الابتدائي بمصدر كهربائي متناوب فان تدفقا مغناطيسيا متناوبـــا φ_m سوف يتكون خلال الدائرة المغناطيسية قاطعا له تردد المصدر نفسه. يسري هذا التدفـــق خلال اللب في الدائرة قاطعا لفائف الملف الثانوي ويكونا فيه قوة دافعـــة كهربائيـــة محتثـــة بموجب قانون الحث الكهرومغناطيسي. تعتمد القوة الدافعة المغناطيسية في الملف الابتدائـــي على عدد اللفات وكذلك فان القوة الدافعة المغناطيسية في الملف الثانوي تعتمد ايضا على عدد اللفات لذلك فان القوة الدافعة المغناطيسية في الملف الابتدائي تساوي

$$F_1 = N_1 . I_1 \qquad (6-1)$$



الشكل 6-14 محول احادي الطور [13]

وان القوة الدافعة المغناطيسية في الملف الثانوي تساوي

$$F_2 = N_2.I_2 \qquad (6\text{-}2)$$

حيث تمثل N_1 و N_2 عدد الملفات في الملف الابتدائي والثانوي على الترتيب ويمثل I_1 و I_2 تياري الابتدائي والثانوي. وبما ان التدفق مشترك وان المعاوقة المغناطيسية لكل من لملف الابتدائي والثانوي ثابتة لذلك فان القوة الدافعة المغناطيسية في الملف الاول تساوي القوة الدافعة المغناطيسية في الملف الثانوي في المقدار وتعاكسها في الاتجاه أي ان:

$$N_1.I_1 = N_2.I_2$$

من المعادلة 6-2 نجد ان الملف الذي يحمل تيارا كبيرا تكون عدد اللفات فيه قليلة اما الملف الذي يحمل تيارا منخفضا فان عدد اللفات فيه يكون اكبر.

تتالف العناصر الاساسية للمحول من اللفائف واللب الحديدي Iron Core حيث تثبت اللفائف على اللب الحديدي. يسهل اللب الحديدي ذو النفاذية العالية Permeability High عملية نقل التدفق من احد الملفات الى الاخر وبمعاوقة قليلة. هنالك نوعين رئيسيين من انواع اللب يستخدمان من قبل مصنعي المحولات لهما الاداء نفسه ولكنهما يختلفان من حيث المظهر فقط وهما:

أ. نوع اللب Iron Core- Type

ب. نوع اللب الهيكلي Shell- Type

يتكون اللب الحديدي كما في الشكل 6-15 من رقائق Laminabions مربعة او مستطيلة معزولة ومرصوصة سويا لتكون هيكل اللب الحديدي الذي تثبت عليه اللفائف.

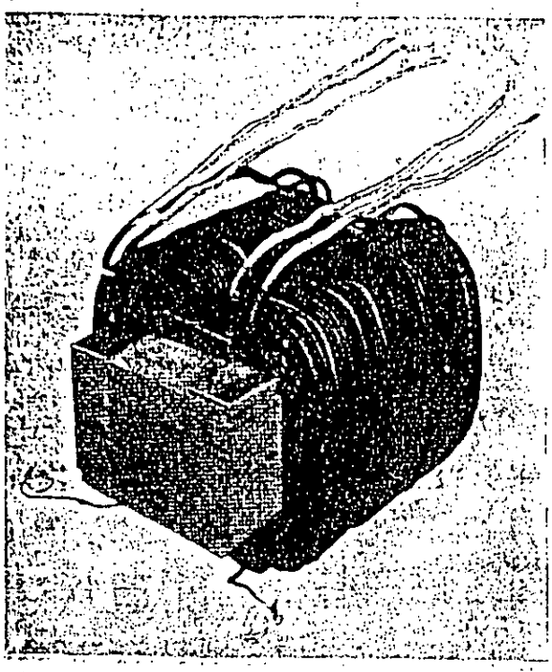
عند تصنيع الرقائق الحديدية او الفولاذية فان نسبة عالية من السيليكون توضع فيها وانها تعامل معاملة حرارية خاصة وذلك للحصول على نفاذية عالية وكذلك لتقليل فقد التخلفية. ومن الجدير بالذكر ان الرقائق تستخدم لغرض تقليل الفقد الناجم عن التيارات الدوامية وكلما قل ثخن الرقيقة الواحدة فان التيار الدوامي سوف تقل قيمته. تعزل الرقائق هذه بواسطة مادة عازلة من الوارنيش كما لاحظنا ذلك سلفا في مكائن التيار المستمر. في المحولات الاعتيادية والتي تعمل عند التردد ٥٠ هرتز فان سمك الرقائق يكون بحدود ٠,٣٥ ملي متر. يبين الشكل ٢-٣أ وضع اللفائف على لب من النوع الهيكلي ويبين الشكل (٦-٢٦) صورة لمحولة متكاملة ذات لب هيكلي.

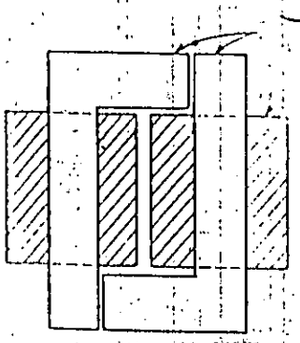
يكون مقطع اللب في المحولات الصغيرة مستطيلا او مربعا حيث تكون الملفات الاسطوانية ذات مقطع دائري او مستطيل ويكون مقطع اللب في المحولات الكبيرة دائريا او قريبا من الدائرة وذلك لانه يفضل في العادة استخدام الملفات دائرية المقطع لاسباب ميكانيكية واقتصادية.

تصنف لفائف المحول من حيث طريقة وضعها حول اللب الى صنفين هما:

أ. اللفائف متحدة المركز concentric windings حيث توضع لفائف الفولتية الواطئة حوا اللب مباشرة وتوضع حولها اسطوانة لفائف الفولتية العالية.

ب. اللفائف الشطيرية sandwish windings توضع لفائف الفولتية الواطئة والتي تكون بشكل حلقات لفائف حول اللب ثم توضع فوقها حلقات لفائف الفولتية العالية ومن ثم توضع حلقات لفائف الفولتية الواطئة وهكذا





شكل (٦-١٥) [13]

توضع بين ملفي الفولتية العالية والفولتية الواطئة عوازل كهربائية كما توضع عوازل مشابهة بين ملف الفولتية الواطئة واللب الحديدي نظرا لسهولة عزل ملفات الفولتية الواطئة فانه من المعتاد ان توضع حول اللب مباشرة. تتكون العوازل هذه من اسطوانات من ورق الباكليت او من اغلفة الالفانيد كما ان عوازل الموصلات يمكن ان تكون من الورق او القطن او من اشرطة زجاجية. يستخدم الزيت في المحولات الكبيرة اضافة الى العوازل الاخرى وذلك لزيادة العزل للفولتيات العالية كما ان الزيت يستخدم لاغراض التبريد ايضا أي للتخلص من الحرارة التي تتكون في لفائف المحول.

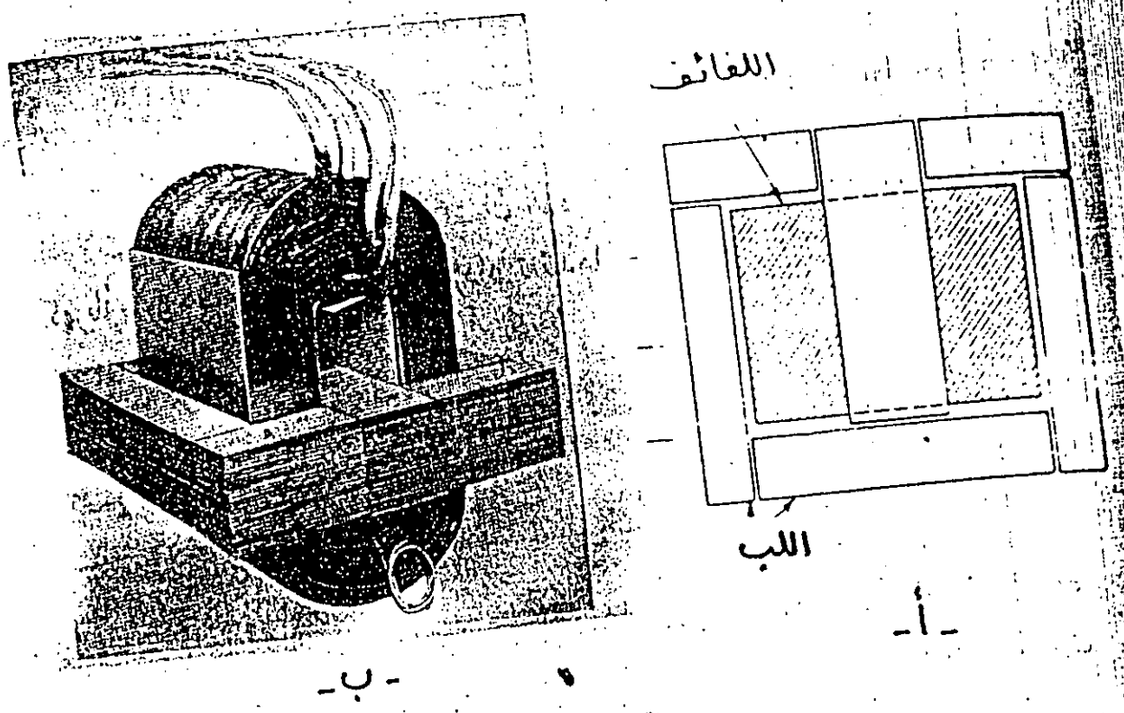
يمكن توصيل ملفات المحول بالدائرة الكهربائية او بالشبكة الكهربائية الخارجية عن طريق الاسلاك او القضبان النحاسية مباشرة كما في المحولات المبردة بالهواء وتستخدم الجلبات العازلة Insulating Bushings لغرض توصيل الملفات بالشبكة الكهربائية في المحولات الزيتية Oil Transformers. ان هذه الجلبات عبارة عن موصل محاط بعازل كهربائي وان لها تصاميم مختلفة ويزداد تعقيدها كلما ازدادت الفولتية التي تعمل على ايصالها من والى المحول الزيتي.

طرق تبريد المحولات Cooling Methods of Transformers

تعتمد طرق تبريد في المحولات على مقدار مقنن المحول فكلما زاد مقنن المحول كلما تضاعفت المفاقيد وتضاعفت معها الحرارة المتولدة في المحول لذلك تستخدم عدة طرق لتبريد المحول لغرض تقليل المفاقيد وهي:

(i) التبريد الطبيعي بالهواء Air Natural Cooling

في هذه الطريقة يلامس الهواء لفائف المحول بصورة طبيعية حيث يعمل على تسريب الحرارة وتستخدم هذه الطريقة في المحولات الصغيرة والتي تكون في حدود عدة كيلو فولت امبير.



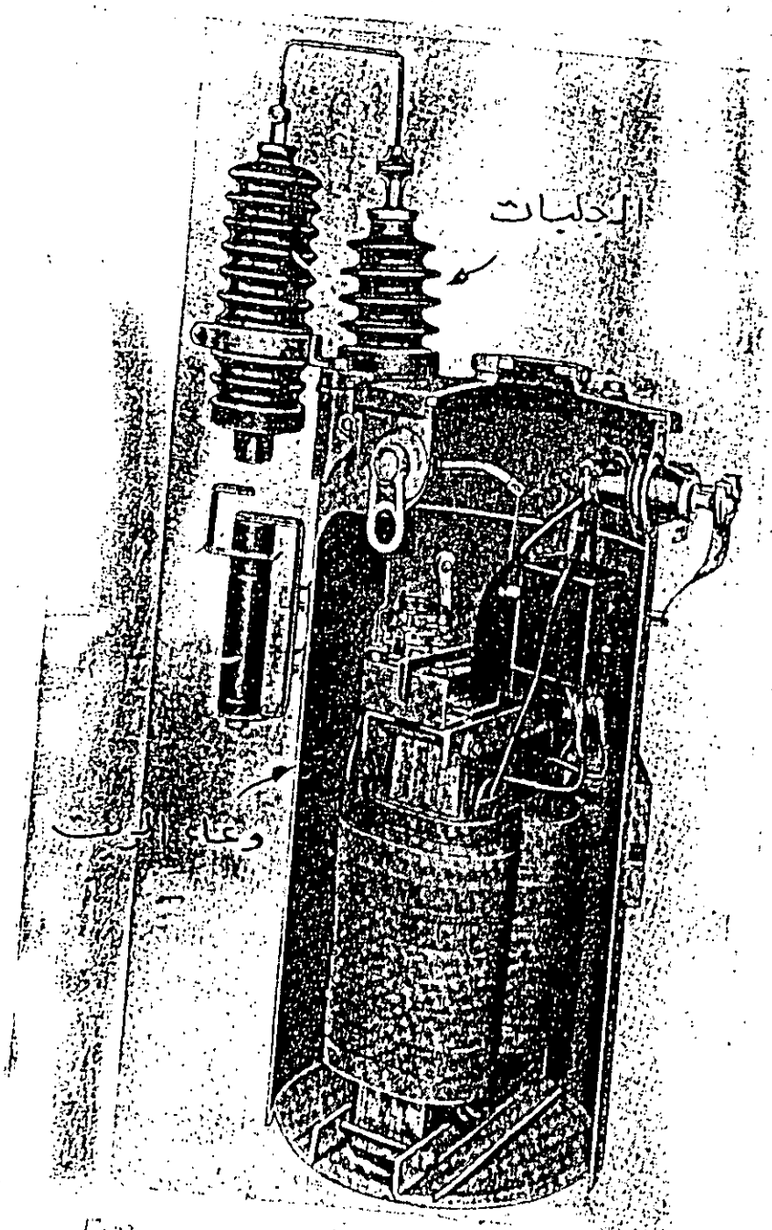
الشكل ١٥-٨أ. مخطط اللب الميكلي ب. محولة متكاملة ذات لب هيكلي. [13].

(ii) التبريد القسري بالهواء **Air Forced Cooling**

يضخ الهواء بواسطة مروحة ليلامس اللفائف حيث يعمل على تخليصها من الحرارة ويكون مقنن هذه المحولات اعلى من مقنن المحولات في(i) بقليل.

(iii) التبريد الطبيعي بالزيت **Oil Natural Cooling**

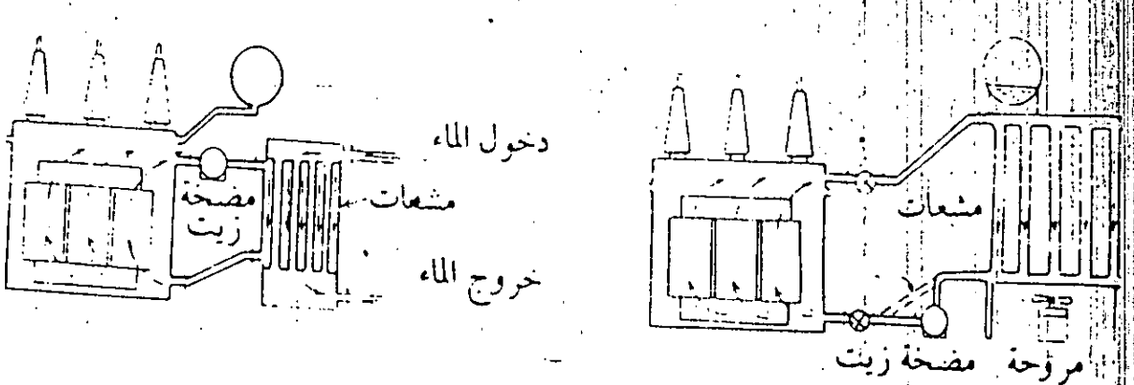
تبرد معظم المحولات متوسطة الحجم باستخدام الزيت الذي يسري ضمن مسارات التبريد ويلامس الملفات واللب والتي تكون ساخنة عند تحميل المحول حيث يأخذ الزيت الحرارة منها ومن ثم يرتفع الى اعلى ليحل محله زيت بارد من اسفل وعاء المحول وتنتقل الحرارة من الزيت الساخن الى سطح الوعاء حيث يتم اشعاعها الى الهواء المحيط بالمحول فيبرد الزيت ومن ثم يهبط الى الاسفل وهكذا. يبين الشكل 6-17 مقطعا لتركيبة محول حيث تظهر اللفائف داخل الوعاء الزيتي.



الشكل 6-17 مقطع لتركيبة محول زيتي نوع اللب [13].

(iv) التبريد القسري بالزيت Oil Forced Cooling

في المحولات الكبيرة ذات الفولتية العالية والمقنن العالي يستخدم التبريد القسري للزيت وذلك للتخلص من الحرارة العالية التي تتكون بسبب المفاقيد الكبيرة لذلك يسحب الزيت من المحول بوساطة مضخات الزيت ومن ثم يبرد بطرق مختلفة ويعاد ضخه الى المحول كما في الشكل 6-18



الشكل 6-18 أ. تبريد الزيت قسريا بواسطة المشعات الهوائية ب. تبريد الزيت قسريا بواسطة الماء الذي يحيط بالمشعات [13].

أسس عمل المحول Prinicple of Transformer Operation

لغرض تسهيل فهم مبدأ عمل المحول للقارئ المبتدئ نفرض ان المحول هو محول مثالي أي انه عديم المفاقيد ولا يوجد فيه تسرب مغناطيسي Magnetic Leakage وان مقاومة اللفائف فيه تساوي صفرا. ومن ناحية اخرى فان المحول المثالي يتكون من ملفين نقيين (المقاومة في كل منها تساوي صفر). وبالطبع ان مثل هذه المحولات يستحيل الحصول عليها بصورة عملية.

معادلة الق .ذ.ك في المحول E.m.f Equation in a Transformer

من ملاحظة المحول الموضح في الشكل 6-19 حيث يجهز ملفه الابتدائي بالفولتية المتناوبة ويترك الملف الثانوي مفتوحا لذلك تحدث في الملف الاول قوة دافعة كهربائية بموجب قانون الحث الكهرومغناطيسي والذي ينص على ان التغيير في وصليات التدفق ($d\Psi/dt$) يؤدي الى احتثاث قوة دافعة كهربائية أي ان.

$e_1 = -(d\Psi/dt)$

حيث ان e_1 الق. د.ك المحتثة في الملف الاول و Ψ وصلية التدفق. وبما ان وصلية التدفق Ψ تساوي

$\Psi = N_1 . \varphi$

حيث تمثل φ التدفق مقاسا بالويبر و N_1 عدد لفات الملف الابتدائي.

لذلك فان الق .د.ك في الملف الابتدائي تساوي $e_1 = - N_1 (d\Psi/dt)$

ونفرض ان الفولتية الابتدائية جيبية Sinusoidal لذلك فان التدفق الذي يكون عادة متعامدا مع الفولتية وتكون الفولتية مزاحة بمقدار ٩٠ درجة أي بشكل جيبتمامي فان موجة التدفق تكون جيبية لذلك نجد بأن

$\varphi = \varphi_m . Sin\ \omega t$ (6-3)

حيث تمثل φ_m قيمة التدفق القصوى ω السرعة الزاوية t الزمن. بتعويض المعادلة ٢-٧ في المعادلة ٢-٦ نحصل على

$e_1 = N_1 . \varphi_m . \omega\ Cos\ \omega t$ (6-4)

من المعادلة ٢-٨ نجد ان القيمة القصوى للقوة الدافعة الكهربائية المحتثة E_{1m} تساوي

$E_{1m} = \omega . N_1 . \varphi_m$ (6-5)

كما ان قيمة جذر متوسط التربيع(ج.م.ث) او القيمة الفعالة تساوي

$E_1 = E_{1m} /(2)^{0.5} = (\omega . N_1 . \varphi_m) /(2)^{0.5}$

وبما ان السرعة الزاوية $\omega = 2\pi f$ لذلك فان قيمة ج.م.ث للـ ق.د.ك تساوي

$E_1 = 4.44.f .N_1.\varphi_m$ (6-6)

حيث يمثل f تردد المصدر

وبالطريقة نفسها يمكن ايجاد معادلة الـ ق.د.ك المحتثة في الملف الثانوي والتي تساوي

$E_2 = 4.44.f. N_2.\varphi_m$ (6-7)

نسبة التحويل في المحول Transformation Rabio in a Transformer

من المعادلتين (6-6) و (6-7) يمكن الحصول على النسبة الاتية.

$a = E_1/ E_2 = N_1/ N_2$

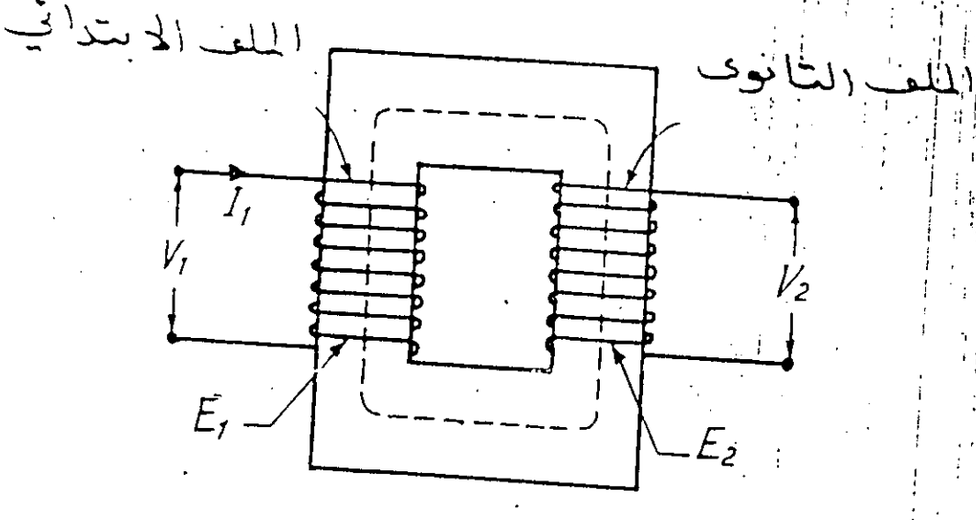
حيث تمثل a نسبة التحويل في المحول. وبالرجوع الى المعادلة 6-2 فان نسبة التحويل تساوي النسبة بين التيار في دائرة الثانوي الى التيار الابتدائي أي ان

$a = I_2/ I_1$

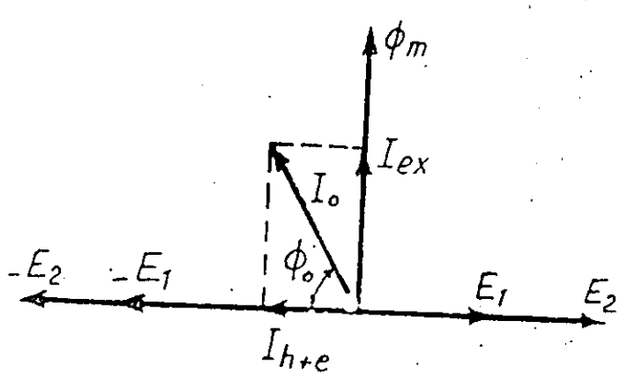
لذلك فان المحول عندما يرتفع الفولتية فانه يخفض التيار وعندما يخفض الفولتية فان التيار يرتفع وهذا هو اساس عمل المحول.

المحول عند اللا حمل Transformer on no Load

في الفقرتين السابقتين فرضنا ان المحول مثالي أي عديم المفاقيد والان نأخذ محولا حقيقيا تم تجهيزه بالفولتية المتناوبة V1 على اطراف ملفه الابتدائي لاحظ الشكل 6-19 عند هذه الحالة يسري تيار في الملف الابتدائي وذلك لان الملف الثانوي ترك مفتوحا، ويدعى التيار الذي يسري في الملف الابتدائي بتيار اللا حمل No Load Current حيث ان التيار في الملف الثانوي يساوي صفرا. يتكون التيار اللاحملي من مركبتين مركبة تيار المغنطة (Excitation Current)(I_{ex}) والتي تعمل عن تجهيز اللفائف بالتدفق المغناطيسي وتكون هذه المركبة بالطور نفسه مع التدفق المغناطيسي كما في الشكل 6-20 . اما المركبة الثانية فهي مركبة تيار فقد الحديد حيث انها تكون بسبب وجود المفاقيد الحديدية (التخلفية+ التيارات الدوامية) لذلك يطلق عليها مركبة فقد التخلفية والتيار الدوامي (Hysteresis and Eddy Current Component)(I_{h+e}) وتكون متعامدة مع المجال أي انها منطبقة مع الـ ق.د.ك لاحظ الشكل.



الشكل 6-19 محول احادي الطور عند اللاحمل [13]



الشكل 6-20 مخطط المتجهات للمحول عند اللاحمل [13]

يمكن ايجاد مركبة تيار فقد الحديد I_{h+e} اذا علمنا مقدار فقد التخلفية وفقد التيار الدوامي والـــ ق.د.ك في الملف الابتدائي.

$$I_{h+e}= E_{h+e} / E_1$$

حيث تمثل P_{h+e} فقد الحديد مقاسا بالواط ، كما ان مركبة تيار المغنطة يمكن ايجادها من التيار اللاحملي أي ان.

$$I_m = \sqrt{I_0^2 - I_{h+e}^2}$$

وكذلك فان عامل القدرة اللاحملي no load power factor والذي يساوي جيبتمـــام زاويـــة اللاحمل يمكن ايجاده من العلاقة الاتية

$$\cos \varphi_0 = I_{h+e} / I_0$$

مخططات المطاورات في المحول Phasor Diagrams in a Transformer

في المحول الحقيقي نجد ان لفائف المحول لها محاثة Inductance شأنها شأن اية لفائف يمر فيها تيار متناوب كما ان هذه اللفائف لها مقاومة داخلية ايضا لذلك فان لكل من لفائف الملـف ابتدائي والملف الثانوي ممانعة معينة. تدعى ممانعة الملف الابتدائي Z_1 وهي تمثل

$$Z_1=r_1 + jx_1 \qquad (6-8)$$

حيث تمثل r_2 المقاومة الداخلية للفائف الملف الثانوي وX_2 المفاعلة الحثية للفـــائف الملـف الثانوي.

$$Z_2= r_2+jx_2 \qquad (6-9)$$

نظرا لوجود ممانعة في دائرة الملف الابتدائي فان الفولتية الابتدائية تساوي

$$V_1=E_1 +I_1Z_1 \qquad (6-10)$$

لذلك فان الـــ ق.د.ك E_1 تكون عادة اقل من V_1 وكذلك فان الفولتية في الملف الثـــانوي V_2 تقل عن الـــ ق.د.ك E_2 بمقدار الهبوط في ممانعة الثانوي أي ان

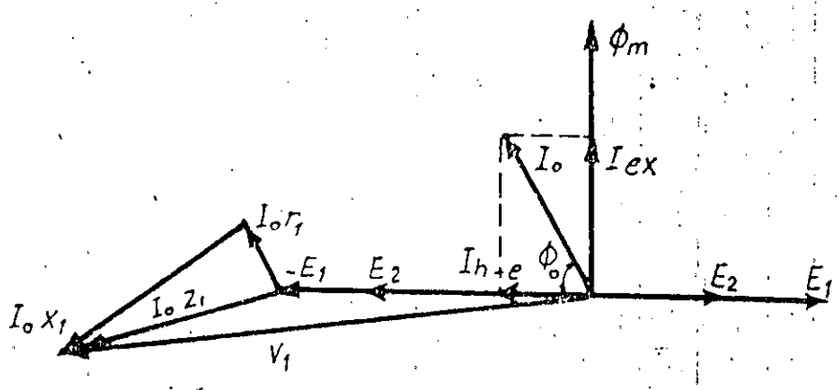
$$V_2=E_2-I_2 . Z_2 \qquad (6-11)$$

ولغرض توضيح ذلك فقد استخدمت طريقة رسم المتجهات في المحول لايجاد الفولتيات والتيارات المجهولة فيها. يمكن توضيح مخططات المتجه في حالتي اللاحمل والحمل.

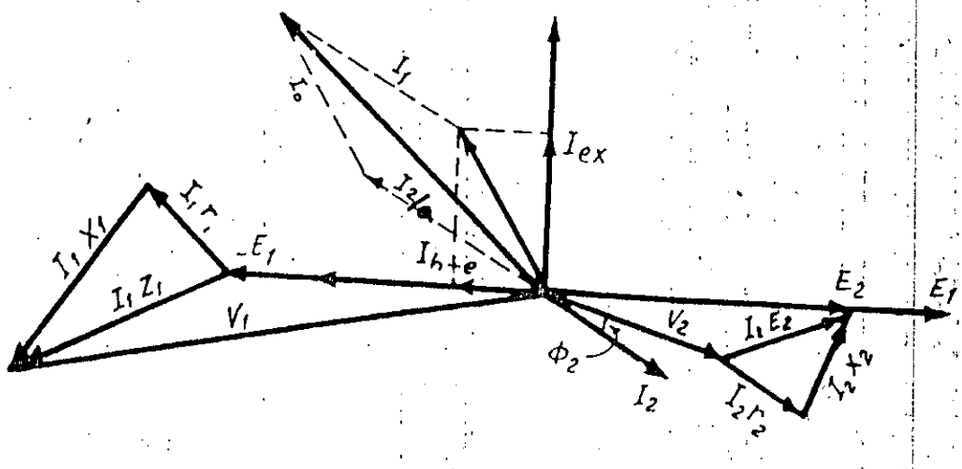
(١) مخطط المطاورات للمحول عند اللاحمل

يبين الشكل٢٩-٦ مخطط المطاورات لمحول حقيقي غير محمل. عندما يكون المحـــول غـــير محمل($I_1=I_0$) فان مرور تيار اللاحمل I_0 خلال مقاومة الملف الابتدائي يولـــد قـــوة دافعـــة كهربائية معاكسة وباتجاه مضاد لتيار اللاحمل نفسه، وللتغلب على هذه القوة الدافعة يجـــب ان تحتوي فولتية الابتدائي على مركبة تساويها في لمقدار وتعاكسها في الاتجاه كما مبيـــن فـــي الشكل٢٩-٦ حيث تمثل الفولتية E_1 و I_0Z_1 مركبة في الفولتية المسلطة V_1. وعندما ينعكـــس اتجاه اسهم المتجهين E_1 و I_0r_1 يمكن الحصول على الـــ ق.د.ك المعاكسة والـــهبوط علـــى المقاومة على الترتيب. في حالة تغذية المحول بالتيار ينشأ تدفق في اللب الحديدي وان هـــذا

التدفق لا يمر كله في الملف الثانوي حيث ان جزءا قليلا من التدفق الذي يقطع الملف الابتدائي لا يقطع الملف الثانوي ويطلق على التدفق المشترك الذي يقطع كلا من الملف الإبتدائي و الملف الثانوي بالتدفق المتبادل (ρ_m) يطلق على جزء التدفق الذي يقطع الملف الابتدائي فقط بالتدفق المتسرب للابتدائي (ρ_{c1}) . وفي حالة ربط المحول على حمل ينشأ بسبب مرور تيار في دائرة الثانوي تدفقا يقطع الملف الثانوي فقط ويطلق عليه التدفق المتسرب (ρ_{c2}) لذلك فان المحول تسري فيه ثلاثة انواع من التدفقات (ρ_m ، ρ_{c1} ، ρ_{c2}) كما انه هنالك قوتين دافعتين مغناطيستين في المحول F_1 ، F_2. يمكن تمثيل الفولتيات التي تتسبب عن التدفق المتسرب بمقدار الهبوط في الفولتية في مفاعله الابتدائي I_1X_1 وكذلك الهبوط في مفاعله الثانوي I_2X_2. يوضح الشكل ٢١-٦ مخطط المطاورات لمحول ملفه الثانوي مفتوحا حيث تمثل E_2 في هذا المخطط الـ ق.د.ك المتولدة في الملف الثانوي والتي تكون بسبب التدفق المتبادل ρ_m كما ان E_1 تمثل الـ ق.د.ك المتولدة في الملف الابتدائي والناجمة عن التدفق ρ_m ايضا. من المخطط نجد بأن V_1 تختلف عن E_1 بمقدار الهبوط الذي يسببه تيار اللاحمل I_0 عند مروره في دائرة الملف الإبتدائي، وعلى كل حال فأن هذا المقدار من الهبوط يكون قليلاً لذلك يمكن اهماله عند الحلول التقريبية.



الشكل 21 -6 مخطط المطاورات لمحول عند اللاحمل. [13]



الشكل 22 -6 مخطط المطاورات لمحول محمل [13].

(ii) مخطط المطاورات لمحلول محمل

Phasor Diagrams of a Transformer on Load

عندما يربط حملا على دائرة الثانوي لمحلول ما فأن تيارا I_2 يمر في الملف الثانوي وان اتجاه هذا التيار يعتمد على طبيعة الحمل سواء كان الحمل مقاومة نقية او حملا حثيا او حملا سعويا. من ناحية اخرى فأن التيار في لفائف الثانوي يسبب توليد تدفقا خاصا به ρ_2 وان هذا التدفق يعاكس التدفق ρ_m الناجم عن التيار اللاحملي I_0 تدعى القوة الدافعة المغناطيسية في دائرة الثانوي($F_2=N_2.I_2$) بالقوة الدافعة للمغنطة. يعمل التدفق الثانوي المعاكس ρ_2 على اضعاف التدفق الرئيسي ρ_m لحظيا وبعد ذلك فان الـ ق.د.ك E_1 تهبط وبمساعدة فولتية الجهيز V_1 والتيار I_1 يبدأ بالصعود تبعا للتيار I_1.

وبمعنى آخر فانه اذا كانت V_1 ثابتة تظل هي الاخرى ثابتة تقريبا عند قيمتها في حالة اللاحمل ومن ثم يبقى التدفق ρ_m ثابتا كما يبقى I_{ex} ثابتا وكذلك I_{n+e}. لذلك فان اضافة القوة الدافعة المغناطيسية (ق.د.غ) في الملف الثانوي($F_2= N_2.I_2$) الى الـ ق.د.غ للملف الابتدائي ($F_1= N_1.I_1$) فان المجموع يكون كافيا فقط لابقاء التدفق عند القيمة المناظرة للـ ق.د.ك E_1 أي ان I_0N_1 هو المحصلة الاتجاهية لكل من F_1 و F_2 أي ان

$$I_0. N_1= I_1.N_1+ I_2. N_2$$

وبقسمة طرفي المعادلة على N_1 يمكن الحصول على قيمة التيار I_1 عندما يكون المحول محملا أي ان

$$I_1 = I_0 + \left|-\frac{I_2}{a}\right|$$

أي ان التيار I_1 يساوي المجموع الاتجاهي لكل من تيار اللاحمل والتيار (I_2/a) والان يمكن رسم مخطط المطاورات عند تحميل المحول ولنأخذ حملا حثيا كما في الشكل ٢-٩ حيث يتأخر التيار I_2 عن الفولتية V_2 بزاوية قدرها ρ_2. عندما يكون الحمل سعويا فأن التيار I_2 الذي يسري في دائرة الثانوي سوف يسبق الفولتية V_2 على اطراف الحمل بزاوية قدرها ρ_2 تساوي صفرا.

الدائرة المكافئة للمحول Equivalent Circuit of a Transformer

يتكون المحول الكهربائي من دائرتين كهربائيتين هما دائرة الابتدائي ودائرة الثانوي تربطهما دائرة مغناطيسية وتختلف قيم الفولتية والتيار في كل منها اعتمادا على نسبة التحويل a . لذلك ومن اجل تبسيط هذه الحالة وتسهيل عملية اجراء حسابات التيارات الفولتية في المحول فقد استخدمت طريقة الدائرة المكافئة حيث يمكن تمثيل المحول بدائرة مكافئة تحمل خصائص المحول الحقيقي نفسها. يجري تمثيل دائرة اللاحمل من مركبتي تيار المغنطة وتيار فقد الحديد على انها دائرة مكونة من مقاومة r_m يمر فيها تيار فقد الحديد ومفاعله X_m يمر تيار المغنطة مربوطتين على التوازي، تقع هذه الدائرة بين الملف الابتدائي ودائرة الملف الثانوي كما في الشكل ٦-٢٢ أ و ب. من ملاحظة الشكل ٦-٢٢ أ نجد بأن هنالك اختلافا بين قيم الفولتية والتيار في دائرة الابتدائي عن نظيرتها في دائرة الثانوي ولغرض توحيد الفولتيات يمكن ان تنسب دائرة الابتدائي الى الثانوي او بالعكس. وعندما تنسب دائرة الثانوي الى الابتدائي نجد ان

$$E_1=aE_2$$

$$I'_2 = I_2/a$$

عند هذه الحالة فان نسبة الهبوط في الفولتية على مقاومة الابتدائية سيكون مساويا لنسبة الهبوط في الفولتية على مقاومة الثانوي أي

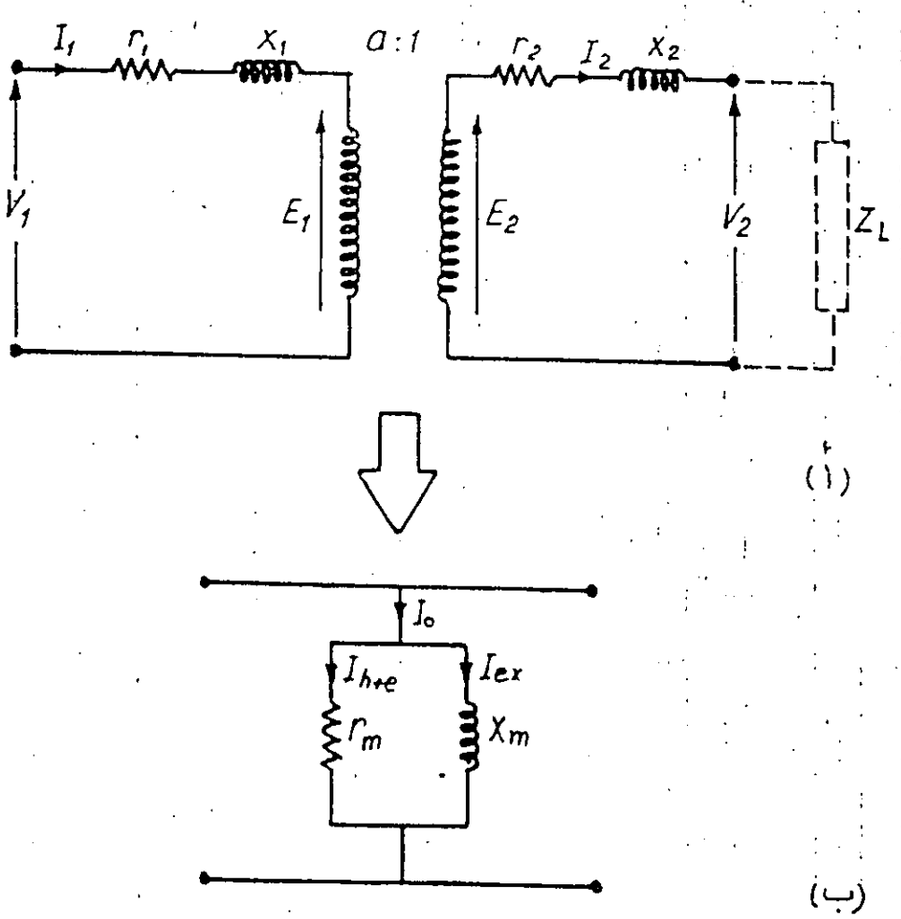
$$(I_1 . R_2)/ V_1 = (I_2 r_2)/ V_2$$

اذن

$$r'_2 = a^2 . r_2$$

أي ان المقاوم r_2 عندما ينسب الى الملف الابتدائي فانه يضرب بالمقدار a^2 وبنفس الطريقة فان المفاعلة X_2 عندما تنسب الى دائرة الابتدائي فانها تساوي

$$X'_2 = a^2 . X_2$$



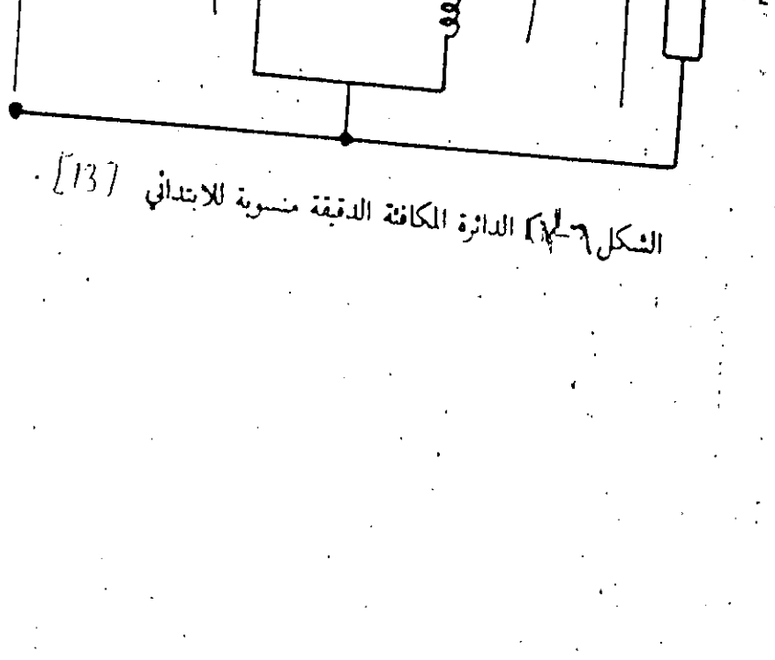
الشكل (4-13) أ. مخطط لمحول حقيقي

ب. مخطط الدائرة المكافئة لدائرة المغنطة [13]

كذلك فان الحمل Z_L عندما ينسب الى دائرة الابتدائي فانه سوف يكون $a^2.Z_L$. كما ان فولتية الاطراف V_2 سوف تكون بصيغة $(a.V_2)$ يوضح الشكل ٦-٢٣ الدائرة المكافئة الدقيقة المحلول منسوب الى الملف الابتدائي، حيث نجد ان عناصر دائرة الابتدائي لم تتغير وان عناصر دائرة الثانوي هي التي تغيرت.

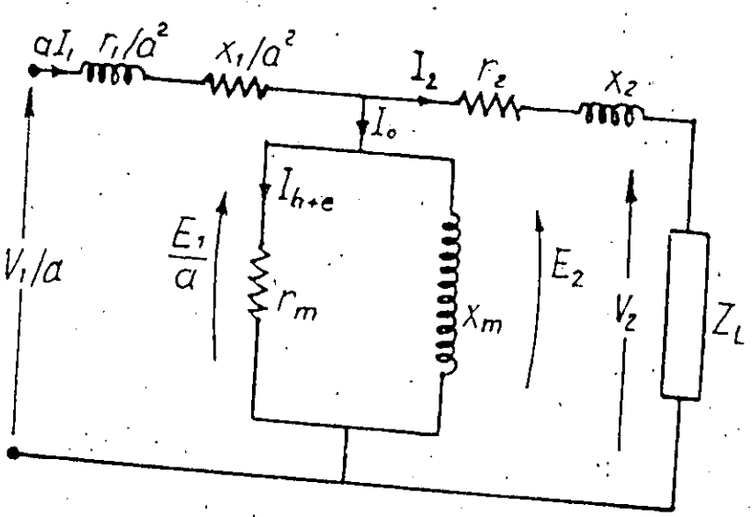
وبنفس الطريقة يمكن رسم الدائرة المكافئة للمحول منسوبة للملف الثانوي وبذلك تصبح عناصر دائرة الابتدائي كما يلي.

$E_1 = E_1/a$
$V_1 = V_1/a$
$R_1 = r_1/a^2$
$X_1 = X_1/a^2$
$I_1 = a.. I_2$



الشكل ٦-٢٣ الدائرة المكافئة الدقيقة منسوبة للابتدائي [13].

اما عناصر دائرة الثانوي فانها تبقى كما هي لاحظ الشكل ٢-١٢
من ملاحظة الشكلين ٦-٢٢ و ٦-٢٣ نجد ان عناصر دائرة اللاحمل (r_m و X_m) دائرة المغنطة) لم تتاثر بنسبة التحويل. وبعد معرفة عناصر الدائرة المكافئة يمكن للقارئ رسم مخطط المطاورات باستخدام الدائرة المكافئة الدقيقة.



الشكل ٦-٢٣ الدائرة المكافئة الدقيقة منسوبة للثانوي [13].

يمكن تبسيط الدائرة المكافئة الدقيقة وذلك باهمال الهبوط في الفولتية على دائرة الابتدائي وذلك لانه قليل جدا مقارنة بقيم الفولتيات في المحول لذلك يمكن رسم الدائرة المكافئة التقريبية منسوبة للابتدائي كما في الشكل ٦-٢٤ . كما يمكن التعبير عن مقاومات الدائرة المكافئة التقريبية للمحول بالمقاومة المكافئة التقريبية Re منسوبة للابتدائي أي ان

$$R_e = r_1 + a^2 r_2$$

وكذلك يمكن التعبير عن المفاعلة المكافئة التقريبية للابتدائي بالصيغة الاتية

$$X_e = X_1 + a^2 X_2$$

كما يمكن رسم الدائرة المكافئة التقريبية منسوبة للثانوي ويعبر عن مقاومات الدائرة المكافئة بالمقاومة التقريبية "Re منسوبة للثانوي أي ان

$$R_e'' = r_2 + r_1/a^2$$

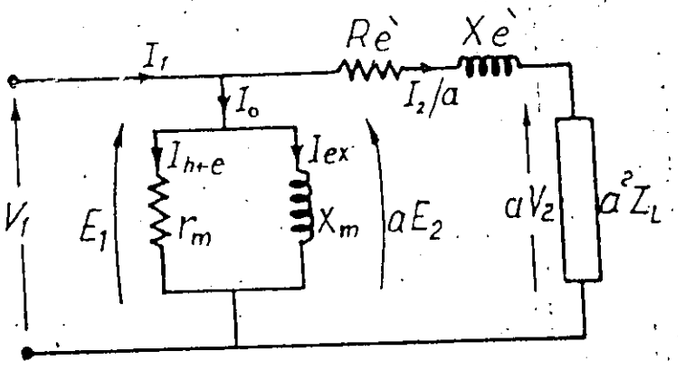
وبنفس الطريقة يعبر عن المفاعلة المكافئة التقريبية منسوبة للثانوي بـ

$$X_e'' = X_2 + X_1/a^2$$

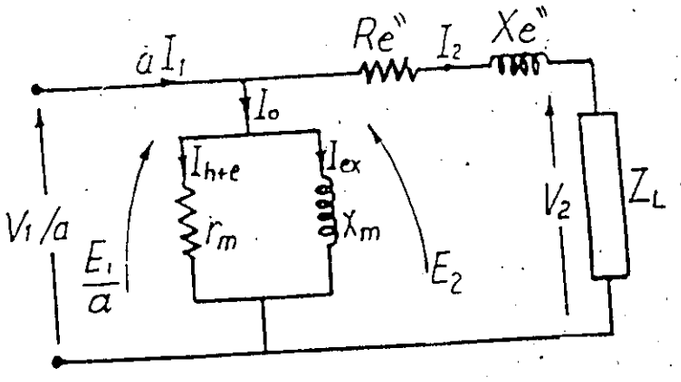
كذلك يمكن رسم مخطط الدائرة المكافئة التقريبية منسوبة لثانوي كما في الشكل ٦-٢٥ في معظم التطبيقات العملية يمكن تبسيط الدائرة المكافئة اكثر حيث يهمل تيار اللاحمل وبذلك تحذف دائرة اللاحمل. يوضح الشكل ٦-٢٦ا مخطط للدائرة المكافئة التقريبية للمحول منسوبة للابتدائي ويوضح الشكل ٦-٢٦ب الدائرة المكافئة التقريبية منسوبة للملف الثانوي.

باستخدام الدائرة المكافئة يمكن حساب عامل تنظيم الفولتيـة Voltage Regulation يمثـل تنظيم الفولتية مقدار التغيير في الفولتية على طرف الثانوي بين حالتي الحمل واللاحمل فـي المحول ويمكن التعبير عنه بالصيغ الاتية.

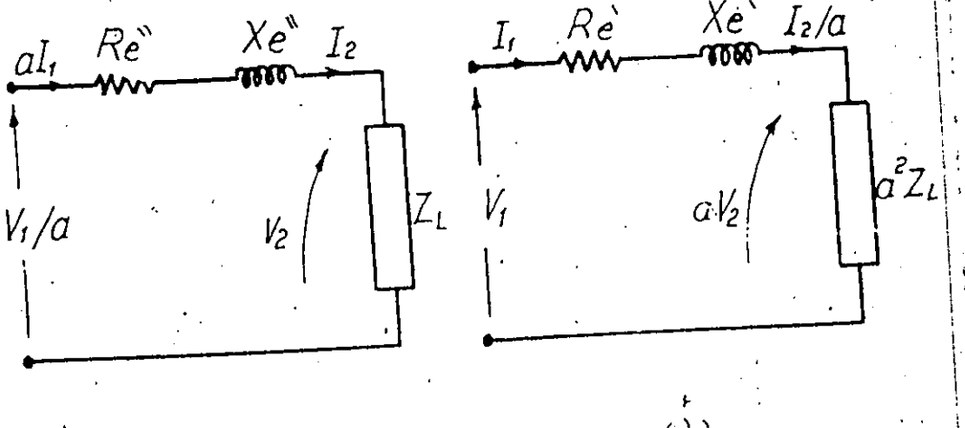
$$V.R = \frac{V_1 - a V_2}{V_1} * 100\%$$



الشكل (٦-٤) الدائرة المكافئة التقريبية منسوبة للابتدائي [13]



الشكل (٦-٥) الدائرة المكافئة التقريبية منسوبة للثانوي [13]



(ب) (أ)

الشكل (٦-٦) أ. الدائرة المكافئة التقريبية منسوبة للابتدائي.

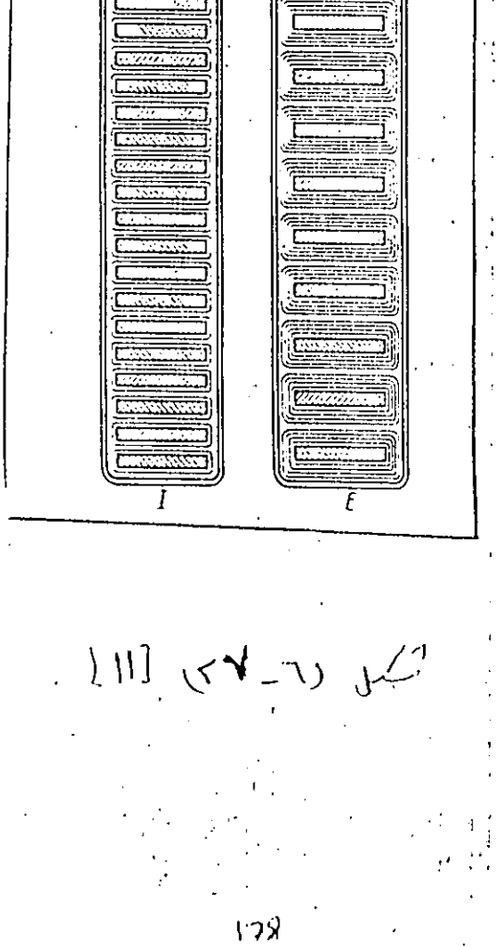
ب. الدائرة المكافئة التقريبية منسوبة للثانوي [13].

المحولات الكهربائية [11]

المواصفات العامة للمحولات العالية الفولتية

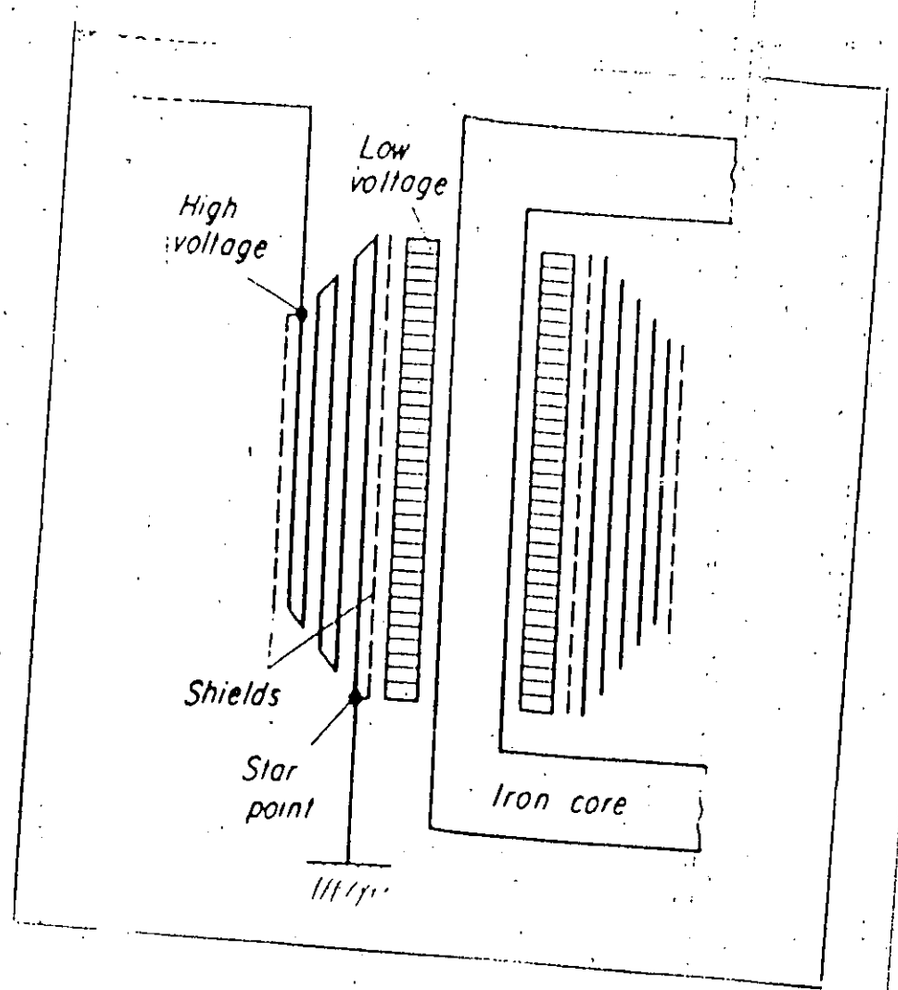
عند تصميم وبناء المحولات العالية الفولتية يجب مراعاة النبضات السريعة المتحركة أو المتنقلة التي تؤثر على ملفات المحولات ، عمليا" من الجيد أن توضع عدة لفات إضافية للعوازل وتحدود من ٥ ـ ١٠٪ من عدد اللفات الكلي والشكل أدناه يوضح مساحة مقطع اللفة الداخلية (I) ونهاية الملف (E) للمحولة ، وعند نهاية الملف هناك موصلات مستقلة محمية بعدت طبقات من صفائح العوازل ،

وهناك طريقة أخرى للحماية واستخدام حلقة دائرية الغرض منها توزيع هذه النبضات (step pulse) على عدد كبير من الملفات بدلا" من أن يكون تأثيرها على نهاية الملف فقط .



شكل (٦-٢٧) [11]

كذلك يجب أن نحمي قلب المحولة من تأثير الفولتية العالية وذلك عن طريق إحاطة الملفات بملفات أسطوانية عالية الفولتية مرتبة مركزيا" وهذا يعطي أكبر سعة ممكنة بين لفة ولفة وكذلك فان نهاية الملفات ترتب مع ملفات قصيرة في الخارج لتقليل تأثير الفولتية العالية على القلب والشكل أدناه يوضح هذه الطريقة .



شكل (٦-٢٨)

الاستنتاجات:

في الأجواء الصافية الأرض اعتياديا لها شحنات سالبة بالنسبة للهواء. منحدر الجهد الكهربائي الموجود في الغلاف الجوي يتجه نحو الاسفل تقريبا 100 فولت/متر الاحتكاك الشديد للهواء بالظاهرة الجوية المائية او البخار المائي الجوي بمختلف اشكاله داخل الغيمة الرعدية تبنى او تكون شحنات كهربائية عالية لهذه الغيوم مع عناقيد من الشحنات الموجبة في القسم السفلي من الغيمة . والنتيجة النهائي في الشحنات الموجهة من السطح السفلي والعكس في الجو الصافي كما موضح في الرسم عندما يصبح كبير لحد كافي يحدث تفريغ برق من الغيمة الى الارض. من غيمة الى غيمة او من داخل الغيمة الواحدة ، التمدد السريع والتقلص بسبب للحرارة العالية للهواء على طول مسار التفريغ يسبب تقريبا صوت انفجار يدعى الرعد. وينعكس بالتعاقب برجوعه من الغيوم المجاورة امتداد البرق ببساطة ينور السماء بصورة عامة بسبب اثر البرق المحجوب بالغيوم او اسفل الافق كثيرا وبالجو الرعدي على البحر، الفولتية العالية او فرق الجهد يكبر او يزيد بين السفينة والهواء او الغيوم التي فوقها.

ان تكوين العواصف الرعدية يعزي إلى عدة متغيرات، منها عدم الاستقرارية الجوية، الرطوبة المتوفرة في الطبقات الوسطى من الغلاف الجوي، التسخين السطحي والقوة الرافعة إضافة إلى عوامل فيزيائية وداينميكية أخرى.

ان العواصف الرعدية تنشأ عادة من السحب الركامية (Clouds Cumulus) التي تتطور في مرحلة لاحقة إلى سحب ركامية مزنية (Cumulonimbus Clouds) ذات اللون الداكن والممتدة راسيا على شكل أبراج ضخمة إلى ارتفاعات عالية، وتنمو هذه السحب عندما يكون الهواء في طبقات الجو العليا غير مستقر ويحتوي على كمية كافية من الرطوبة.

هذه العواصف الرعدية يرافقها عادة ظاهرتي البرق والرعد كما تتسبب عنها زخات مطرية قد تكون غزيرة أحيانا وترافقها رياح شديدة أيضا في بعض مراحلها، وقد تتطور العواصف الرعدية إلى اعاصير (Tornadoes) في مناطق معينة من العالم إذا كانت الظروف مناسبة، لذلك كانت دراستها من الأمور المهمة فظهرت عدة نظريات في كيفية تكوين وتطور هذه العواصف الرعدية وما يرافقها من ظواهر جوية.

ان العواصف الرعدية هي من اشد الظواهر الطبيعية الموجودة من حيث العنف في عصف الرياح وهي عبارة عن غيمة في أشد حالات نضوجها وتكون قاعدة هذه الغيمة قريبة من سطح الأرض على ارتفاع يتراوح ما بين 500- 1500 م وتمتد راسيا إلى اعلى وتصل قمتها الى ارتفاعات عالية تبلغ حوالي 5 الى 6 كم في خطوط العرض المتوسطة والى حوالي 12 كم في

المناطق الحارة، كما تتميز بأن الجو فيها يكون على درجة عالية من عدم الاستقرارظواهر

العاصفة الرعدية هي

1-زخات مطر شديدة

2-برد حالوب

3-عصف رياح شديدة

4-برق ورعد متكرر الحدوث

5-مطبات هوائية شديدة

وتضم العاصفة الرعدية بين طياتها الظواهر الجوية الخطرة التالية مرتبة حسب درجة خطورتها.

التيارات الهوائية الصاعدة والهابطة والمطبات الهوائية الشديدة.

ب. البرد(الحالوب).

ج. تكون الجليد على الطائرات.

د. التفريغ الكهربائي.

هـ. الهطول الشديد وانعدام الرؤية.

يمكن تقسيم المراحل المختلفة لنمو الغيمة الرعدية الى ثلاث مراحل بحيث تتغير الصفات الأساسية في كل مرحلة على الوجه التالي

أ. مرحلة النمو او مرحلة الركام Cumulus Stage

وهذه اولى مراحل نمو الغيمة وتكون في هذه المرحلة عبارة عن غيمة ركامية صغيرة تتميز بالصفات التالية:

اولا: تكون درجة الحرارة في السحابة اعلى منها خارج السحابة.

ثانيا: تتميز الغيمة بالتيارات الهوائية الصاعدة.

ثالثا: تمتص الغيمة الهواء المجاور من الجوانب مما يساعد على زيادة حجمها باستمرار.

ويستمر نمو الغيمة بينما يحدد فيها الانفصال الكهربائي فرق الجهد الكهربائي باطراد في هذه المرحلة وهناك نظريات كثيرة تشرح كيفية حدوث الانفصال الكهربائي داخل الغيمة واهم هذه النظريات.

تقول ان تحطيم قطرات الماء الساقطة بواسطة التيارات الصاعدة تحدث الانفصال الكهربائي فتتجمع الشحنات الموجبة على القطرات الصغيرة جدا الى ان تتركز في قمة الغيمة بينما تبقى الشحنات السالبة على القطرات الكبيرة نسبيا وهذه تتركز بالقرب من قاعدة الغيمة، وبذلك يزداد فرق الجهد الكهربائي زيادة مطردة حتى يصل الى حد تتحطم معه مقدرة الهواء على العزل

الكهربائي فيحدث التفريغ الكهربائي على شكل شرارة كهربائية من مركز الشحنات الموجبة الى مراكز الشحنات السالبة وتسخن هذه الشرارة الهواء الذي يقع في طريقها تسخينا شديدا فيتمدد تمددا مفاجئا وبسبب ذلك الفرقعة التي تسمع كرعد.يحدث جهد كهربائي من جراء تمركز الشحنات الموجبة في قمة الغيمة وتمركز الشحنات السالبة اسفل الغيمة وفرق الجهد يصل الى مئات الالاف من الفولتات للمتر الواحد في وسط الغيمة.عندما يُحدث التفريغ يمر من اعلى الغيمة الى اسفلها مسار التفريغ الكهربائي يسخن بشدة ولحظيا فالتمدد السريع للهواء المجاور من جراء التسخين الفجائي وتقلصه بسرعة يسبب تقريبا حدوث انفجار يدعى الرعد وينعكس الصوت بالتعاقب برجوعه كصدى من الغيوم المجاورة.

ونتيجة لهذه الحركة العنيفة التي تخلط اجزاء الغيمة بعضها بالبعض تلتحم ملايين القطيرات المائية وتسقط تحت تأثير ثقلها على شكل زخات عنيفة وتسحب معها تيارا هابطا من الهواء وتنتقل الغيمة بهذا من مرحلة النمو الى مرحلة النضج.

ب. مرحلة النضج:

تتميز الغيمة في هذه المرحلة بالصفات التالية:

اولا: وجود تيارات هابطة جنبا الى جنب مع التيارات الصاعدة.

ثانيا: تكون الغيمة ابرد مما يجاورها من الهواء في منطقة التيارات الصاعدة.

ثالثا: تبلغ سرعة التيارات الصاعدة والهابطة ما بين 30-60 عقدة.

رابعا: تبلغ الغيمة اقصى نشاطها من حيث الرعد والبرق في هذه المرحلة.

خامسا: يرافق هبوط التيارات الهوائية سقوط زخات قوية من المطر والحالوب.

في هذه المرحلة يمكن معرفة قوة الغيمة عبر الوقت الدوري بين كل تفريغ برق واخر او حساب عدد تفريغ البرق بالنسبة للوقت وفي الغيمة الفعالة 10-15 تفريغ او اكثر بالدقيقة الواحدة وفي الغيمة الضعيفة بين برق واخر قد تكون دقيقة او دقيقتين.

ج. مرحلة الاضمحلال

عندما تضعف التيارات الصاعدة بزوال اسبابها تتغلب التيارات الهابطة وتسود كافة اجزاء الغيمة وتدخل الغيمة بذلك في مرحلة الشيخوخة والفناء وتتميزها هنا بالصفات التالية:

اولا: تسود التيارات الهابطة كافة اجزاء الغيمة.

ثانيا: تكون الغيمة ابرد مما جاورها من الهواء في نفس المستوى.

ثالثا: يقل نشاط الغيمة بشكل ملحوظ ونشاط البرق والرعد يقف في الغيمة مع استمرار زخات المطر.

المصادر References

1- القران الكريم سورة البقرة والنور.

2 -عبد المنعم جميل السلطان " الجو عناصره وتقلباته" دار الحرية للطباعة 1985.

3- لؤي مينساك شاشا" التنبؤ عن العواصف الرعدية في بغداد" اطروحة ماجستير علوم في الادواء الجوية /الجامعة المستنصرية 1992.

4- د. فياض النجم و د. حميد مجول " فيزياء الجو والفضاء" الجزء الاول الدواء الجوية، الطبعة الاولى/ وزارة التعليم العالي والبحث العلمي 1982.

5-ملتون ب . دوبرين " مقدمة في الاستكشاف الجيو فيزيائي" ترجمة د. اسماعيل شعبان اسماعيل ود. هاني محمد محفوظ ود. طه محمد السيد عبد الله / دار ماكجروهيل للنشر.

6-فياض النجم " الادواء الجوية" / جامعة بغداد 1980.

7 -رجبرز ر.ر " فيزياء الغيوم" ترجمة د. محي الدين عباس و د. رشيد حمود النعيمي / جامعة الموصل 1984.

8-Reinhold Rudenberg " Electrical Shock Waves In Power Systems " Harvard / University Press /1968.

9- W. Fordham Cooper " Electrical Safety Engineering" الطبعة الثانية / Butterworth.

10- Elsevier " Electromagnetic Compatibility in Radio Engineering " / Students in Electrical Electronic Engineering .

11- Hart, William C. and Edgar W Malone "Lightning and Lightning Protection1979".

12- البحث الالي و شبكة المعلومات العالمية الانترنيت.

13- د. فاروق خليل صفوري و اود ابلحداس يولان" تقنيات الهندسة الكهربائية" جامعة الموصل 1991.

14- كراس " Radioactive Lightning Arrester" /منظمة الطاقة الذرية العراقية

15- زيتون ويلسون و كرايشتوف شتارزوينكي" ميكانيك التربة والاساسات" الجزء الاول ترجمة د. يوسف المسلات /مديرية مركز التعريب 1985.

16- د. عبد الهادي يحيى الصائغ و د. فاروق صدع الله العمري " الجيولوجيا العامة" طبعة ثانية /جامعة الموصل 1977.

17- د. عبد الله نجم العاني"مباديء علم التربة"/ وزارة التعليم العالي والبحث العلمي 1980.

18- "مصطلحات الطاقة مسرد متعدد اللغات " /الكويت 1983.

19- مارتن . أز. كربن " الخلايا الشمسية" ترجمة د. يوسف مولود حسن /الموصل .

20- الصندوق العربي للانماء الاقتصادي والاجتماعي منظمة الاقطار العربية المصدرة للبترول في الوطن العربي / الجزء الثاني /الكويت 1980.

21- جي . ان . هي " الكون الراديوي" ترجمة عبد الكريم العامراني./دار الشوون الثقافية العامة افاق عربية 1993.

22- عصام محمود علي الدعيمي" تحليل ودراسة المجمع الشمسي الهوائي" اطروحة ماجستير في الانواء الجوية/ المستنصرية 1989.

23- نصير لبيب توفيق عزو " تأثير بعض العناصر الجوية على كفاءة عمل محطة ضخ شمسية" اطروحة ماجستير علوم في الانواء الجوية /الجامعة المستنصرية 1989.

24- وليام .هـ. هايت، جونيور" الكهرومغناطيسيات الهندسية" ترجمة د. عادل عبد القادر محسن/ دار ماكجروهيل للنشر 1981.

25- جاسم محمد ياسين "تحضير مادة الباريوم ثيتانيت ودراسة تأثير اليونرونات السريعة واشعة كاما على خواصها الكهربائية " اطروحة ماجستير / التكنولوجيا 1998.

26- Corona , Vol. 1 'Engineering Dielectrics 'Bartnikas/Mc Mahon Measurement and Interpretation.

Air- gap	فرجة او فجوة هوائية
Arc	قوس
Alto Stratus	طخارير متوسطة الارتفاع ، طبقي متوسط
Analysis	تحليل
Arctic	قطبي
Anvil Cloud	سحابة سندانية القمة
Arcing time	زمن القوس
Atmospherics (Sferics)	الاضطرابات الجوية الكهربائية
Atmospheric Turbance	الاضطراب الجوي، فوضوية الهواء الجوي
Atmospheric Electricity	كهربائية الجو
Arc discharge	تفريغ القوس
Backup protection	حماية الدعم او الإسناد
Cloud	سحابة ، غمامة
Cumulonimbusineus	سحابة رعدية ناضجة، المزن السنداني
Circuit breaker	قاطع الدورة
Differential relay	مرحل فرقي
Disturbance	اضطراب جوي
Distance relay	مرحل مسافة
Electrometereors	الظواهر الجوية الكهربائية
electric shoke	صدمة كهربائية
Earthing	تاريض
Excessive	مفرط اوزائد
Fault	عطل
Flash-over	قفز الشرر،ومضة عابرة
Fuse	فاصم او مصهر
Grounding system	نظام التاريض
Grounding rods	قضبان التاريض
High voltage	فولتية عالية
Instantencous relay	مرحلات انية
Inverse time-Lag.	تاخر زمني معكوس
Lightning	صاعقة

Lightning Conductor	مانعة الصواعق
Lightning arrestor	كامح الصاعقة
Network	شبكة
Over current	تيار مفرط
Over load	حمل مفرط
Over voltage	فولتية مفرطة
Relay	مرحل
Reliability	وثوقية
Selectivity	اختيارية
Sensitivity	حساسية
Short circuit	دائرة قصيرة او دائرة قصر
Spark	شرارة
Static relays	المرحلات الالكترونية او مرحلات الحالة الصلبة
Surge diverter	مصرف التمور
Thunder	زعد
Thunderstorm	زوبعة رعدية
Thermal relay	مرحل حراري
Unearthed	غير مؤرض
Wave	موجة
Wave form	شكل الموجة