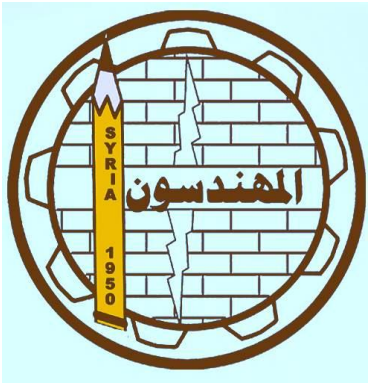


الجمهورية العربية السورية
نقابة المهندسين السوريين

" أسس الحماية الخارجية من الصواعق "

الأستاذ الدكتور المهندس محمد نضال الريس

استاذ هندسة التوتر العالي بجامعة دمشق

رئيس لجنة الهندسة الكهربائية المركزية في نقابة المهندسين السوريين

٢٠٢٠م

مقدمة :

شغلت ظاهرة الصواعق فكر الإنسان منذ القديم وحتى عصرنا هذا ، بحثاً عن أسبابها وآثارها ووسائل دفع أضرارها ، بل وربما للاستفادة منها .

ونجد إشارات حول هذا الموضوع ترجع إلى حوالي ٢٠٠ ق . م ، ظهرت لدى الحثيين والصينيين واليونان ... الخ .

واعتقد الرومان أن الإنسان النائم لا تصيبه الصاعقة وإن ورق الغار يحمي من الإصابة بالصواعق ، لذا كان القيصر الروماني Tilerius يضع إكليلاً من الغار كلما دنت العاصفة .

كما عمل الرومان على ربط أشكال الصواعق واتجاهها وألوانها بالحوادث وتوقع الأحداث من حسن أو سوء طالع تحدد للقياصرة مجال تحركهم . وقد شلت هذه المراقبات والتوقعات حكم يوليوس قيصر في فترة زمنية حاسمة من أيام حكمه .

ومن أقدم الآراء لتفسير نشوء الصواعق ما قدمه أرسطو ، من أن الغيوم تتكون من أبخرة لمواد كيميائية تتجمع في البرودة ، وعند انفصالها عن بعضها تشتعل . وكان التصور في القرون الوسطى بأن الصاعقة هو اشتعال ذاتي لأبخرة كبريتية ، وجزيئات هوائية متواجدة تحت ضغط عال .

وقد حدث عام ١٧٥٠ تطور في هذا المجال ، عندما بعث بنيامين فرانكلين برسالة إلى أحد أعضاء الجمعية الملكية في لندن ، يقترح فيها إجراء ما سمي بتجربة البيت المدرع ، والتي اهتم بها العديد من العلماء . وبناء على ذلك تم في عام ١٧٥٢ الحصول على شرارة بطول ٤ سم من قضيب معدني معزول عن الأرض وعلى ارتفاع عال في الجو عند مرور سحابة فوقه . وبذلك قدم البرهان على أن الصاعقة تمثل ظاهرة كهربائية .

وقد تطورت البحوث العلمية بعد ذلك في هذا المجال . فتمت دراسة فيزيائية البرق ، وآلية تراكم الشحنات الكهربائية داخل الغيوم ، وكيفية نمو وتطور قناة البرق بين هذه الغيوم والأرض . كما تم تحديد القيم المميزة للصواعق ، والآثار الكهربائية والحرارية والكهروديناميكية والكهرطيسية والصوتية الناتجة عنها على الإنسان والمنشآت .

واستناداً إلى هذه الدراسات والأبحاث وضعت الهيئات الهندسية الكهربائية المواصفات القياسية الوطنية والعالمية لإقامة نظم حماية موثوقة من الصواعق على الأبنية والمنشآت .

وقد ازداد الاهتمام بهذا الموضوع بصورة خاصة بعد ازدياد التطور العمراني والتقني وازدياد استخدام التجهيزات الإلكترونية والمحوسبة وعالية التحسس لآثار الصواعق المباشرة وغير المباشرة .

١ – فيزيائية حدوث الصواعق :

" ألم تر أن الله يزجي سحاباً ثم يؤلف بينه ، ثم يجعله ركاماً ، فترى الودق يخرج من خلاله . وينزل من السماء من جبال فيها من برد فيصيب به من يشاء ، ويصرفه عن من يشاء . يكاد سنا برقه يذهب بالأبصار " . النور/٤٣ /

قدمت الدراسات والأبحاث العلمية مجموعة من النظريات والتصورات حول فيزيائية وآلية نشوء العواصف الرعدية والصواعق . ونظراً لأهمية فهم هذه الآلية عند مناقشة واختيار نظام الحماية الملائم ، فإننا سنستعرض أهم هذه النظريات :

١–١– نشوء شحنات حقل الصواعق :

يسود في الأحوال الاعتيادية فوق سطح الكرة الأرضية حقل كهربائي تبلغ شدته نحو 100V/m . وينشأ هذا الحقل الكهربائي الدائم عن وجود شحنات موجبة في طبقة الهيفي ساييد الناتجة عن الأشعة الكونية وأشعة غاما والموجودة على ارتفاع ١٠٠ إلى ١٥٠كم أو٢٠٠ إلى ٧٠٠كم وللكرة الأرضية شحنة سالبة في حدود $-5 , 4.10^5C$.

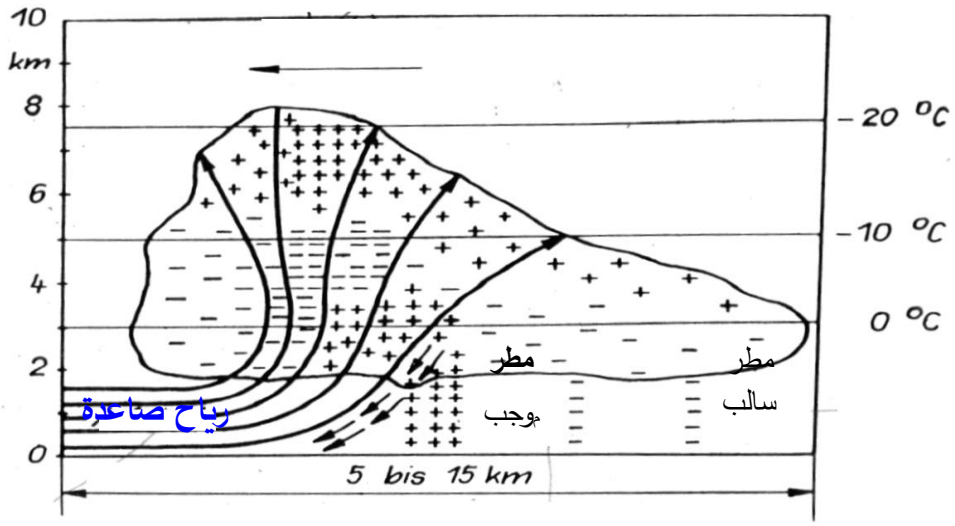
وتعتبر شدة هذا الحقل الكهربائي السائد والمسماة "شدة حقل الطقس الجيد" والبالغة 100V/m غير كافية لحدوث انفراغات صواعق . بل لابد من حدوث بعض العمليات التي تتسبب في نشوء شحنات إضافية في هذه الأجواء وتؤدي بالتالي إلى ازدياد قيمة شدة الحقل الكهربائي فيها. ولم تقدم الأبحاث الجارية حول هذا الموضوع إجابة تفصيلية جازمة حول دقائق وكنه هذه العمليات . لكن هذه الدراسات أكدت من ناحية أخرى أن الرطوبة والرياح الصاعدة ضرورية لحدوث هذه العمليات ، وأن الرياح الصاعدة التي تنشأ عند ارتفاع كتل هوائية إلى الأعلى نتيجة عواصف حرارية أو نتيجة التقاء جبهة حارة مع جبهة باردة ، يمكن أن تصل سرعتها إلى حدود 8 إلى 15 متراً في الثانية .

ويمكن تلخيص العمليات المؤدية إلى نشوء شحنات إضافية والتي يمكن أن تحدث في كثير من الأحيان على التوازي ، كما يلي :

- **استقطاب قطرات الماء** : الموجودة في الجو بتأثير الحقل الأرضي الأساسي
- أو نتيجة الاستقطاب لهذه القطرات تحت تأثير احتكاك في الهواء
- **نشوء شحنات حرة** : نتيجة انقسام قطرات الماء بالتيارات الهوائية حيث تنشأ قطرات بقطبيات مختلفة
- إضافة لذلك فقد بينت الأبحاث أنه عند تجمد قطرات الماء تنشأ قطيرات بشحنة موجبة بينما تحتوي القطرة الكبيرة على كمية كبيرة من الشحنات السالبة .

١-٢ الفصل الماكروسكوبي للشحنات الموجبة والسالبة :

نظراً لأن القطرات السالبة في السحابة أثقل من القطرات الموجبة فإنها تهبط نحو الأسفل، بينما تصعد القطرات الموجبة نحو الأعلى مما يؤدي إلى حدوث فصل في شحنات السحابة.



بنية سحابة الصواعق وتوزع الحرارة والشحنات فيها

ويتراكب حقل الأرض الطبيعي (حقل الطقس الجيد) بشدة حقل 100V/m مع حقل السحابة – الأرض بحيث تصل شدة الحقل بين السحابة والأرض بشكل وسطي إلى نحو 0.3kV/ cm . ولو أردنا في مثل هذه الحالة حساب كمون سحابة مشحونة على ارتفاع ٢٠٠٠م لوجدنا أن كمون هذه السحابة يصل إلى حدود 60MV .

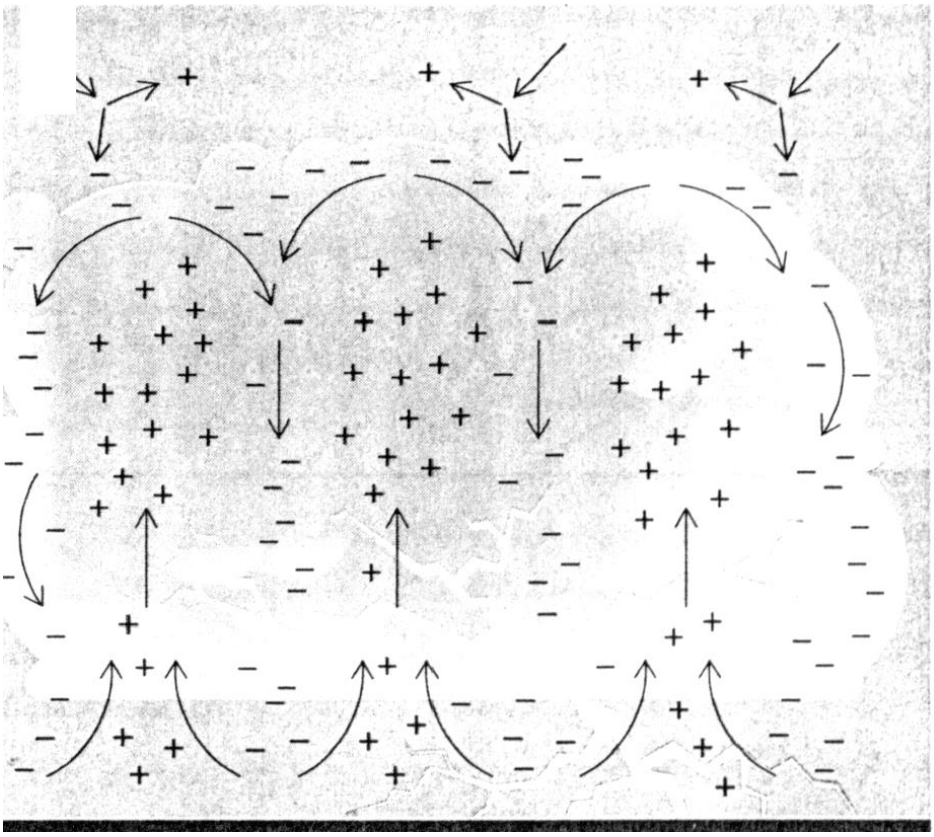
ومن جهة أخرى فقد تم في السحب قياس شدات حقل تصل إلى 5- 10kV/ cm ، علماً أن شدة الحقل الموضعية بين قطرات المياه المشحونة والجو المحيط قد تزداد بصورة أكبر بكثير من هذه القيم . مما يؤدي إلى نشوء شدات حقل تتجاوز المتانة الكهربائية للهواء مما تساعد على بدء عمليات الإنفراغ المنطلقة من هذه السحب .

١-٣- نشوء السحب المشحونة(سحب الصواعق) :

بينت الأبحاث وجود نموذجين من العواصف التي تولد شحنات كهربائية ساكنة في السحب ، وهما عواصف الحمل الحراري (العواصف الحارة) والعواصف الجبهية (الأمامية) .

١-٣-١- عواصف الحمل الحراري :

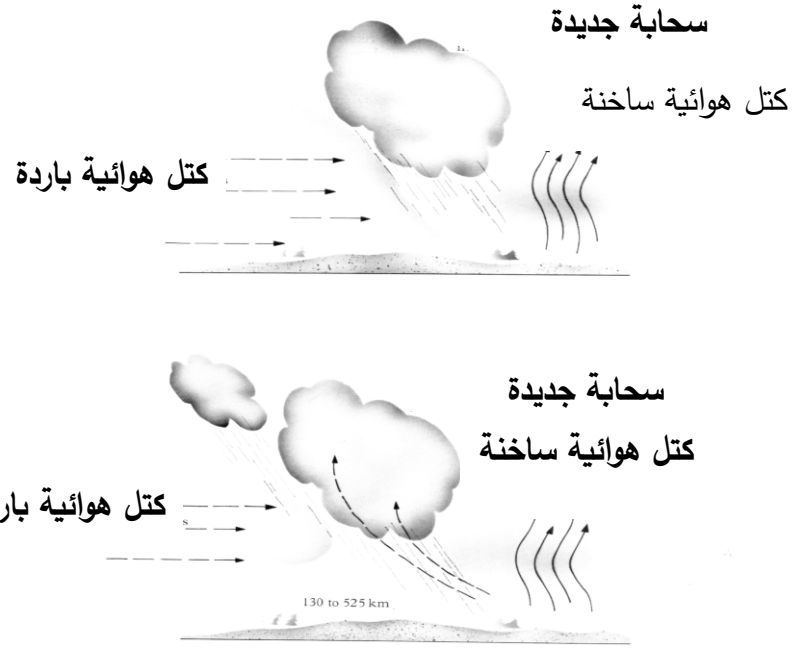
تحدث عاصفة الحمل الحراري غالباً في المناطق الجبلية.. ويمكن أن يصل ارتفاع قمة السحابة إلى أعلى من (12 km) كما هو مبين في الشكل



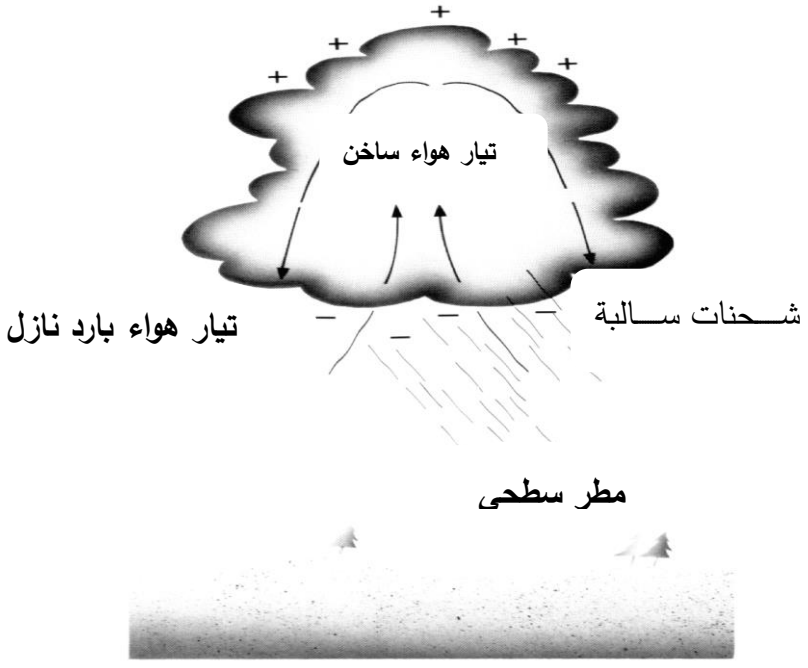
١-٣-٢- العواصف الجبهية :

يسود في العواصف الجبهية مناطق حرارية ناتجة عن تأثير وتصادم جبهة الهواء الباردة المتقدمة مع كتلة الهواء الرطبة الدافئة التي ترتفع إلى أعلى الجبهة الهوائية الباردة المتقدمة أمامياً .

وعند ارتفاع كتلة الهواء الدافئة وبنتيجة الحالة التكرارية لتصادم الذرات تنشأ طبقات الغيوم التي يمكن أن تمتد في هذه الحالة إلى أكثر من عدة عشرات من الكيلو مترات ، والتي تحتوي على عدد ضخم من الخلايا غير المرئية وبارتفاع يتراوح بين (7.5- 18 km).



ويؤدي التوزع الطبيعي لهذه الجزيئات لزيادة الشحنات السالبه المتواجدة في قاعدة السحابة. وبالتالي زيادة عدد الشحنات الموجبة على الأرض . وخاصة عند اقتراب هذه السحب من الأرض . إذ يمكن أن تبعد قاعدة الغيمة عن الأرض إلى أقل من 1 km



وتستمر عمليات تراكم الشحنات داخل السحابة مع استمرار العمليات السابقة . كما أن شدة الحقل الموضعية بين قطرات الماء والهواء المحيط تزداد بصورة كبيرة جداً مما يتسبب في نشوء شدات حقل عالية ضمن السحابة ، أو بين السحب أو بين سحابة والأرض تتجاوز المتانة الكهربائية للهواء ، مما يؤدي بالتالي إلى بدء عمليات الإنفراغ البرقي بين السحب أو بين السحابة والأرض .

١-٤- أنواع وأشكال الشرارات البرقية:

تتسبب أنواع الإنفراغات المختلفة التي تصدر عن السحب المشحونة بنشوء شرارات برقية مختلفة . وقد بينت الدراسات أنه لا توجد شرارتين برقيتين متشابهتين تماماً . وبصورة عامة يمكن تمييز الأشكال التالية التي يمكن أن تأخذها الشرارات البرقية .

١-٤-١- الشريط البرقي :

هو سلسة من الشرارات المتتالية (المتعاقبة) والتي تظهر بشكل خيطي ، و تدعى الانفراغات في هذه الحالة بانفراغات سحابة – سحابة ، والتي يكون احتمال حدوثها أكبر بكثير من حدوث انفراغات سحابة مع الأرض بنسبة تصل من /٦/ إلى /١/ أو أكثر من ذلك .

١-٤-٢- العرق البرقي :

ويطلق اسم العرق البرقي على الإنفراغ البرقي المنطلق من داخل السحابة المشحونة نحو الأرض ، على شكل شظية شديدة اللمعان.

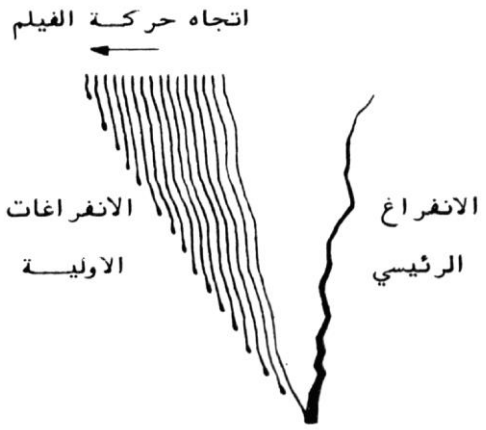
١-٤-٣-تصنيف الانفراغات البرقية :

تصنف الانفراغات البرقية تبعاً لاتجاه انفراغ الليدو الأول وتبعاً للقطبية . وهنا يمكن أن نفرق بشكل عام بين أربعة أنواع من الانفراغات البرقية التي تحدث بين الغيوم والأرض : صاعقة تنطلق من شحنات موجبة ، أو سالبة في الغيوم وتتجه هابطة إلى الأرض (برق هابط موجب أو سالب) ، وصاعقة تنطلق من الأرض باتجاه صاعد لتصل إلى الشحنات الموجبة ، أو سالبة (برق صاعد موجب أو سالب) . ولنذكر هنا حقيقة هامة وهي أنه بحدود 50% من حوادث الإنفراغات البرقية الأرضية يكون كل منها مؤلف من نوعين أو أكثر من الأنواع السابقة وهذا ما يسمى بالبرق المتعدد .

وتبين الدراسات أن حدوث إنفراغات الليدر السالبة (الصواعق السالبة) يكون بنسبة ٩٠٪ من الإنفراغات البرقية الحادثة على الأراضي السهلية بينما الإنفراغات الموجبة غالباً ما يتكرر حدوثها في المساحات ذات التلال المرتفعة .

١-٤-٤ مراحل نمو الإنفراغ البرقي :

إن أفضل الطرق لدراسة مراحل نمو الصاعقة هي التصوير باستخدام فلم متحرك أو كاميرا متحركة . حيث تمكن الصور الناتجة بهذه الطريقة من تحديد فيما إذا كان الإنفراغ البرقي

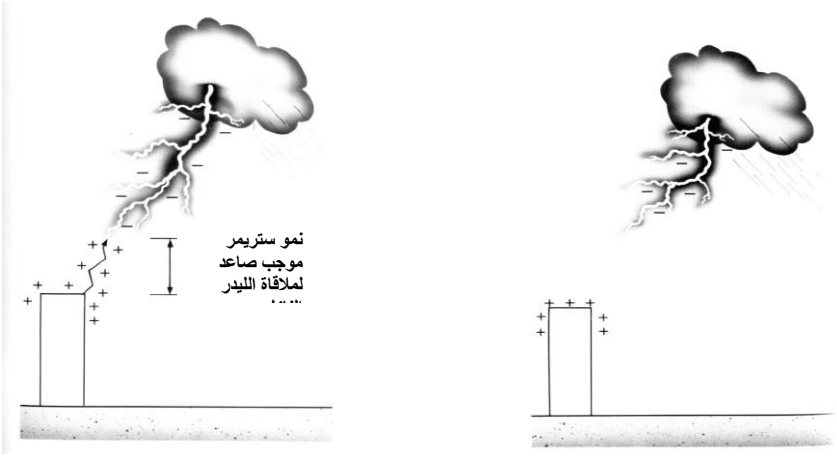


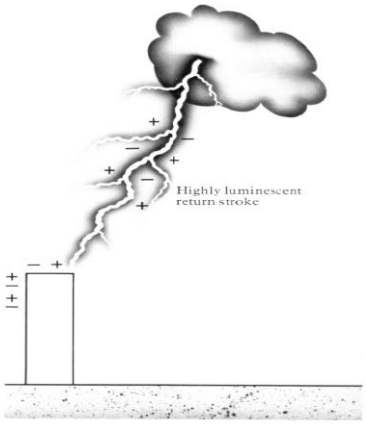
(الصاعقة) يتجه من السحابة نحو الأرض أو بالعكس. ويمكن بواسطة الكاميرا المتحركة التأكد فيما إذا كانت الصاعقة ناجمة عن انفراغ واحد أو عن عدة إنفراغات.

وفيه نتبين نشوء مجموعة الإنفراغات الأولية ضعيفة الإضاءة نسبياً المتحركة نحو الأرض على عدة مراحل (الإنفراغات القائدة المرحلية المتتالية) ، وهي عبارة عن أقنية متأنية حرارياً (ليدر) التي تتقدم مسافة ١٠ إلى ١٠٠متر ثم تتوقف .) والزمن الذي يفصل بين مرحلتين ويسمى زمن الاستراحة يتراوح بين (30- 90 ms) . يعقب هذا التوقف استراحة يتم خلالها تجمع شحنات جديدة مستمدة من السحابة ، ثم ينشأ ليدر جديد ينمو مسافة أطول . وبمثل هذه المراحل المتنامية (Stepped leader) تتمكن الصاعقة من قطع المسافة الكبيرة بين السحابة والأرض . وبقرب سطح الأرض أي عند نهاية المرحلة قبل الأخيرة "يقرر" "رأس الصاعقة" موقع الإصابة . وأهم العوامل المؤثرة في تحديد موقع الإصابة هي الأجسام المرتفعة (الأعمدة ، الأبراج) ، وكذلك إلى حد ما الإنفراغات العكسية (إنفراغات الاصطياد) ، التي تنمو من سطح الأرض باتجاه الصاعقة ، وذلك إذا أصبحت شدة الحقل فوق سطح الأرض نتيجة الاقتراب لصاعقة كبيرة بما فيه الكفاية .

وعندما تصل هذه الإنفراغات الأولية إلى الأرض، يبدأ تيار الصاعقة بالمرور من الأرض نحو السحابة (الإنفراغ الرئيسي) عبر قناة شديدة الإضاءة يتم فيها تعديل الشحنات الناتجة عن الإنفراغات الأولية (النبضة الأولى)

وبعدئذ يمكن أن يعقب ذلك نشوء إنفراغات برقية لاحقة في نفس القنال (إنفراغ لاحق = النبضة اللاحقة) وذلك في حال تدفق كميات من الشحنات من أجزاء أخرى من السحابة إلى موقع الصاعقة (وأيضاً جزئياً نتيجة صاعقة بين سحابة وأخرى). وقد جرت مراقبة حدوث ٤٠ إنفراغ رئيسي في بعض الحالات .





١-٤-٥ خصائص الصواعق والإنفراغات البرقية :

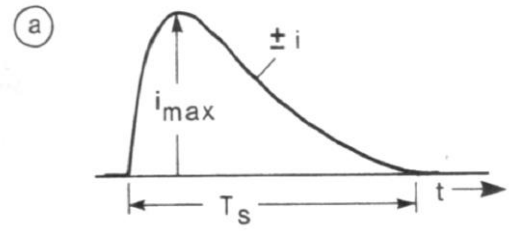
لتحديد إجراءات الحماية من الصواعق ولتصميم التجهيزات المعرضة للصواعق لابد من معرفة مجموعة من المحددات المميزة للصواعق . ونظراً لأن قيم هذه المحددات ذات طبيعة احتمالية ، فإنه يتم اعتماد القيم الإحصائية لهذه المحددات ، ومن أهم هذه المحددات المميزة للصواعق هي :

- **المسار الزمني لتيار الصاعقة** $i=f(t)$
- **القيمة العظمى لتيار الصاعقة**
- **الميل الأعظمي لتزايد تيار الصاعقة الزمني** $(di/dt)_{max}$
- **شحنة الصاعقة** Q
- **القدرة النوعية لتيار الصاعقة**
- **الزمن الجبهي وزمن نصف الظهر**
- **قطبية الصاعقة**

المسار الزمني لتيار الصاعقة :

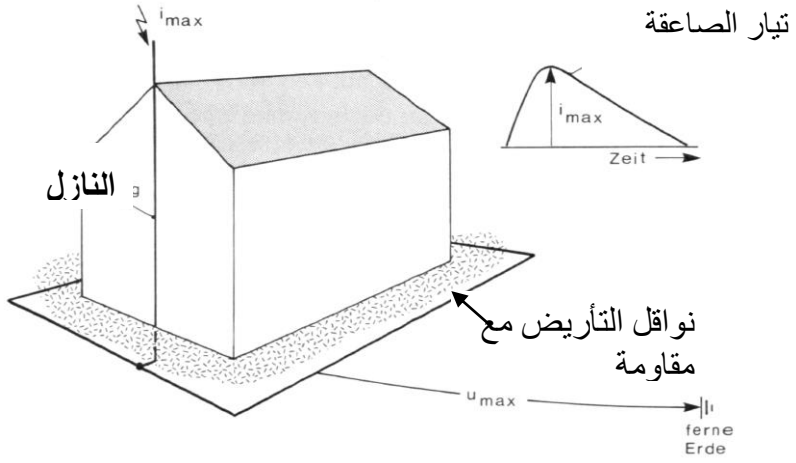
تبين الدراسات أن المسار الزمني لتيار الصاعقة بين السحب والأرض يمكن أن يأخذ عدة أشكال مختلفة . ففي حال إنفراغ صاعقة سالبة بين سحابة والأرض مثلاً فإن التيار يتصاعد بشكل كبير ويبلغ قيمته الاسمية البالغة بضع عشرات من الكيلو أمبير خلال بضع عشرات من الميكرو ثانية ، ويبدأ بعد ذلك بالتناقص وتبلغ شحنة الموجة بضع أمبير ثانية.

كما نلاحظ من الشكل (2-2) لحالة انفراغ موجب بين السحابة والأرض أن نبضات تيار الانفراغ الموجبة يستغرق فترة زمنية أكبر بحوالي ١٠ مرات من نبضات التيار السالبة . وبالتالي نحصل على وشحنات أكبر منها في حالة الإنفراغات السالبة .



القيمة العظمى لتيار الصاعقة :

إن معرفة القيمة العظمى لتيار الصاعقة $\hat{i}_{max}$ ضروري جداً من أجل معرفة فرق الكمون الناشئ بين نقطة تفريغ تيار الصاعقة بالأرض ونقطة أخرى تبعد بضعة أمتار

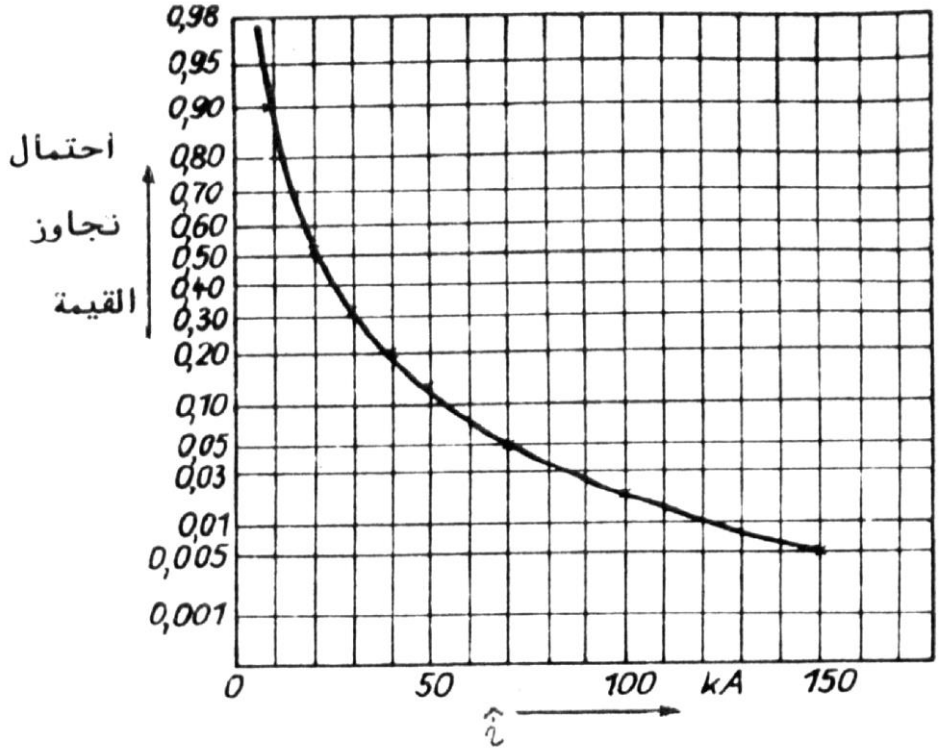


ويتحدد ارتفاع كمون نقطة التفريغ عن نقطة أخرى من الأرض تبعد عنها بضعة أمتار بالعلاقة التالية :

$$U_{Max} = i_{Max} \cdot R_e \ [V]$$

i_{Max} : القيمة العظمى لتيار الصاعقة بالأمبير [A]
Re: قيمة المقاومة الأرضية بالأوم

ونظراً لاختلاف قيم تيارات الصواعق المسجلة في المواقع المختلفة ، فإنها تعطى عادة على شكل منحنيات توزع احتمالي للقيم المختلفة للتيار لاحتمال تجاوز قيم شدة التيار العظمى للصواعق.
والمنحني يوضح مثلاً أن ٩٠٪ من تيارات جميع الصواعق هي أكبر من10 kA.وأن ١٪ من تيارات جميع الصواعق هي أكبر من 120 kA.



منحني احتمال تجاوز
قيم شدة التيار العظمى للصواعق

والمنحني يوضح مثلاً أن ٩٠٪ من تيارات جميع الصواعق هي أكبر من10 kA.
وأن ١٪ من تيارات جميع الصواعق هي أكبر من 120 kA.

لتصميم نظم الحماية من الصواعق بشكل موثوق يتم اعتماد قيم تيار الصاعقة كأساس في التصميم ونميز بحسب قيم هذه التيارات بين ثلاث أنواع من درجات الحماية من الصواعق تبعاً لنوع وأهمية المنشأة المراد حمايتها وذلك بموجب النظم الهندسية الكهربائية العالمية.

(صواعق تيارها حتى 100kA):
١- **درجة الحماية4-3**: ونستخدم لحماية المباني السكنية والزراعية والمعامل التي لا تحوي على مواد خطرة قابلة للاشتغال أو للانفجار.
(صواعق تيارها حتى 150kA):
٢- **درجة لحماية (2)**: وتستخدم لحماية المنشآت التي تحوي على مواد قابلة للاشتعال أو للانفجار مستودعات (أخشاب – متفجرات).
(صواعق تيارها حتى ٢٠٠kA)
٣- **درجة الحماية (1)**: وتستخدم لحماية المنشآت التي تسبب إصابته بصاعقة إلى كارثة بشرية أو بيئية (محطات نووية – معامل كيمائية) .

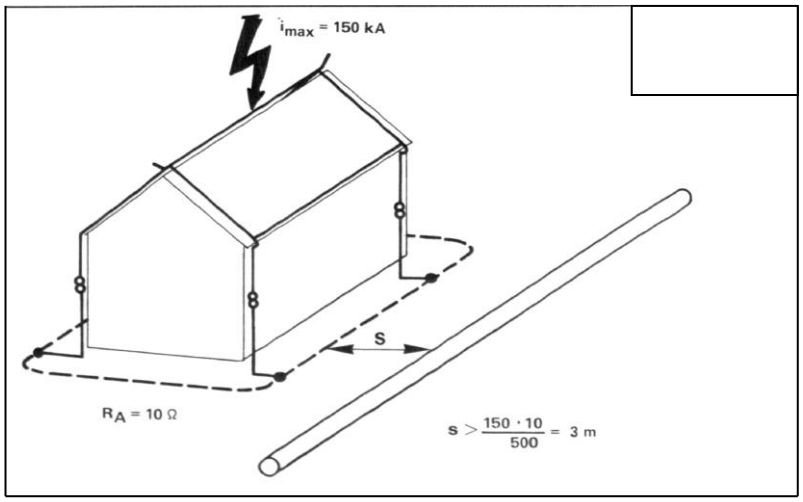
وتعبر درجة الحماية عن فعالية نظام الحماية .وقد تحدث إنفراغات على سطح الأرض عندما يرتفع فرق الكمون إلى قيم كبيرة لذا يجب أن تكون المسافة بين أرضي الحماية من الصواعق والأجزاء المعدنية الأخرى المطمورة بالأرض أكبر من المسافة S أي:

$$S > \frac{i_{\max} \cdot RA}{E_d} \quad [m]$$

شدة الحقل الخرق للأرض Jؤخذ عادة : $E_d = 500\ kV / m$

RA: مقاومة الأرض بـ [Ω].

I_{Max}: القيمة العظمى لتيار الصاعقة بـ KA.



إن ارتفاع المرحلة قبل الأخيرة لرأس الصاعقة (المرحلة التي تحدد مكان الإنفراغ) يتعلق بالقيمة العظمى لتيار الصاعقة .

ويلاحظ من هذه العلاقة أن رأس الصاعقة ذات التيار الضعيف يقترب من الأرض أكثر بكثير من رأس الصاعقة ذات التيار القوي وذلك حسب قانون كولومب في التجاذب بين الشحنات . ومن ناحية أخرى يتعلق مجال الحماية من الصواعق (المجال الفراغي الذي لا يمكن إصابة الأشياء الموجودة ضمنه إصابة مباشرة بصاعقة) بارتفاع المرحلة قبل الأخيرة لرأس الصاعقة ، وكلما كانت درجة الحماية المطلوبة كبيرة كلما كانت قيمة تيار الصاعقة المأخوذة بعين الاعتبار صغيرة ويبين الجدول المعطي في النظم العالمية ارتفاع المرحلة قبل الأخيرة حسب درجة الحماية المطلوبة والقيمة الاسمية لتيار الصاعقة .

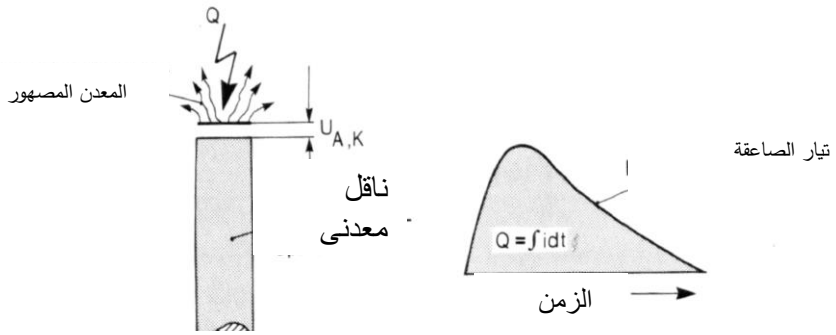
القيمة العظمى لتيار الصاعقة بـ [kA]	ارتفاع المرحلة قبل الأخيرة بـ [m]	درجة الحماية
10.6	45	عادية
6.1	30	عالية
3.7	20	عالية جداً

شحنة الصاعقة Q :

إن معرفة شحنة الصاعقة $Q = \int idi$ ضرورية لمعرفة كمية الطاقة المنتقلة إلى نقطة الإصابة حيث يسري التيار على شكل قوس كهربائي ,تتعلق هذه الكمية بشحنة الصاعقة وتوتر كل من المهبط والمصعد وتعطى بالعلاقة التالية :

$$W = Q.U_{AK}[J]$$

Q: شحنة الصاعقة بـ كولومب(أمبير ثانية) $U_{A.K}$: توتر المهبط والمصعد بـ[V]



وتعطى القيمة Q اللازمة لتصميم نظام الحماية من الصواعق بالجدول :

درجة الحماية	الصاعقة بـ[As] شحنة تيار نبضي	القيمة الحدية لشحنة شحنة تيار مستمر
3-4	50	100
2	75	150
1	100	200

وتسبب الطاقة W صهر حجم معين من المعدن المستخدم في نظام

يبين الجدول التالي القيم المميزة لبعض المعادن المستخدمة في نظام الحماية من الصواعق:

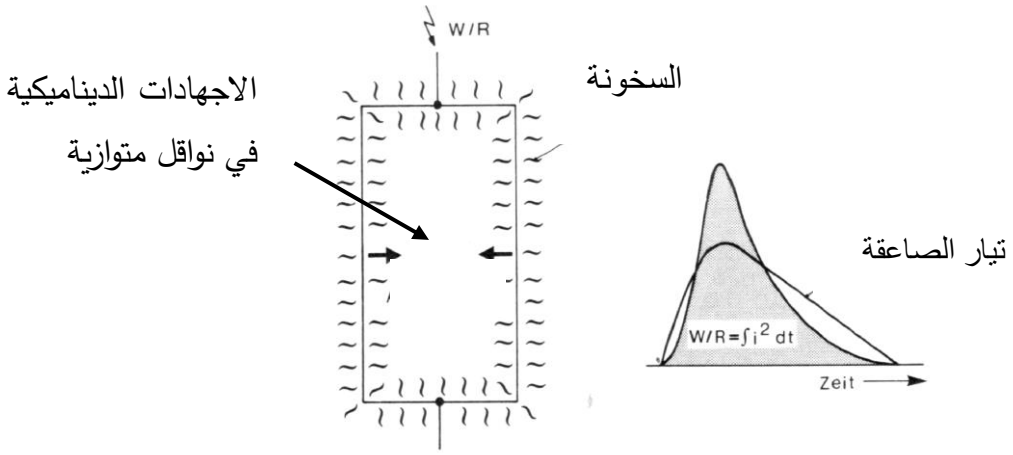
القيمة	ألمنيوم	حديد	نحاس
γ [kg/m^3]	2700	7700	8920
Cs [J/kg]	397 - 10^3	272 - 10^3	209 – 10^3
Cw [J/kg.k]	908	469	385
ϑ_s[c$^\circ$]	658	1530	1080

القيم المميزة لبعض المعادن المستخدمة في نظام الحماية من الصواعق.

وقد بينت التجارب التي أجريت على صفائح معدنية من أجل قيمة ثابتة لـ Q تساوي /As 100/ خرق صفائح من الحديد أو النحاس سماكتها /1.5/مم بقطر /8-4/مم . وخرق صفائح من النحاس والحديد سماكتها /2/مم بقطر /12-4/مم وصفائح ألمنيوم ذات سماكة /3/مم بقطر /13-7/مم عند قيمة لـ Q تساوي /200As/.

القدرة النوعية للصاعقة وآثارها الحرارية والديناميكية

إن معرفة القدرة النوعية لتيار الصاعقة $W/R = \int i^2 dt$ يساعد في تحديد مقدار ارتفاع درجة حرارة الناقل الذي يسري فيه تيار الصاعقة والإجهادات الديناميكية التي تحدث فيه.



أثر القدرة النوعية لتيار الصاعقة في النواقل التي يسري فيها.

الآثار الحرارية للصاعقة :

إن كمية الطاقة W التي تتحول حرارياً في ناقل مقاومته R تعطى بالعلاقة التالية :

$$W = R \cdot \frac{W}{R} [j] \qquad (6\text{-}2)$$

R: مقاومة الناقل وتتعلق بدرجة الحرارة **[Ω]**

W/R: القدرة النوعية **[Ω/j]**

ومن أجل تصميم نظام الحماية من الصواعق تؤخذ القيم الحديّة للقدرة النوعية لتيار الصاعقة من الجدول التالي .

درجة الحماية	القيمة الحدية لـ [J/ Ω] W/R
3-4	$2.5 \cdot 10^6$
2	$5.6 \cdot 10^6$
1	$10 \cdot 10^6$

القيم الحدية للقدرة النوعية لتيار الصاعقة

وتؤخذ بقية القيم اللازمة لحل المعادلة السابقة من الجدول التالي وهي القيم المميزة للمعادن المستخدمة في نظام الحماية من الصواعق .

القيمة	ألمنيوم	حديد	نحاس
ρ [Ω.m]	29.10^{-9}	29.10^{-9}	$17.8.10^{-9}$
α[1/k]	$4.0.10^{-3}$	$6.5.10^{-3}$	$3.92.10^{-3}$

بعض القيم المميزة للمعادن المستخدمة في نظام الحماية من الصواعق

_ مقدار ارتفاع درجة الحرارة لبعض مقاطع النواقل المستخدمة في نظام الحماية ومن أجل قيم مختلفة للقدرة النوعية .

q بـ mm^2	ألمنيوم			حديد			نحاس		
	MJ/Ω بـ W/R			MJ/Ω بـ W/R			MJ/Ω بـ W/R		
	2.5	5.6	10	2.5	5.6	10	2.5	5.6	10
4	.	.	.	.	.	.	.	.	.
10	564	.	.	.	.	.	169	542	.
16	146	454	.	1120	.	.	56	143	309
25	52	132	283	211	913	.	22	51	98
50	12	28	52	37	96	211	5	12	22
100	3	7	12	9	20	37	1	3	5

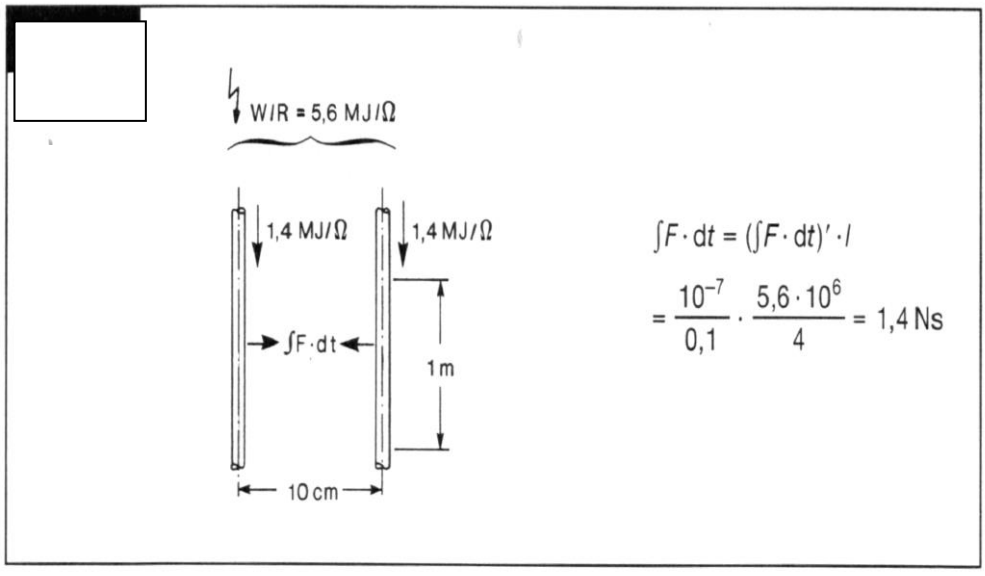
ارتفاع درجة الحرارة في عدة نواقل مختلفة نتيجة سريان تيار الصاعقة

الآثار الديناميكية للصاعقة:

إن القوة النبضية في واحدة الطول ($\int Fdt$) للنواقل المتوازية الشكل (2-8) التي يسري فيها نصف تيار الصاعقة أي ربع القدرة النوعية تعطى بالعلاقة التالية :

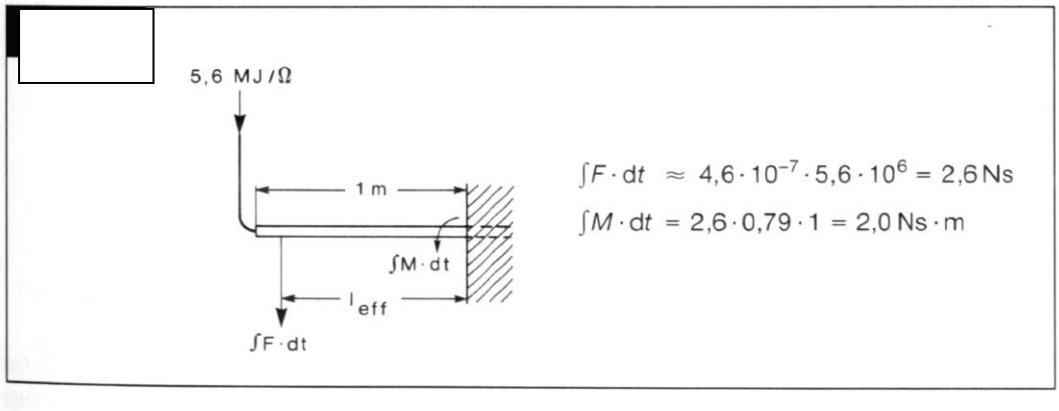
الإجهادات الديناميكية في ناقلين آ– ناقلين متوازيين ب– ناقل مثبت من أحد طرفيه

مثال:



وفي حال إصابة ناقل مثبت من أحد طرفيه بصاعقة عمودية على محوره تتفرغ قناة الصاعقة فيه عبر قوس كهربائي قطره **r** وينتج عن ذلك حدوث قوة باتجاه قناة الإنفراغ

مثال :



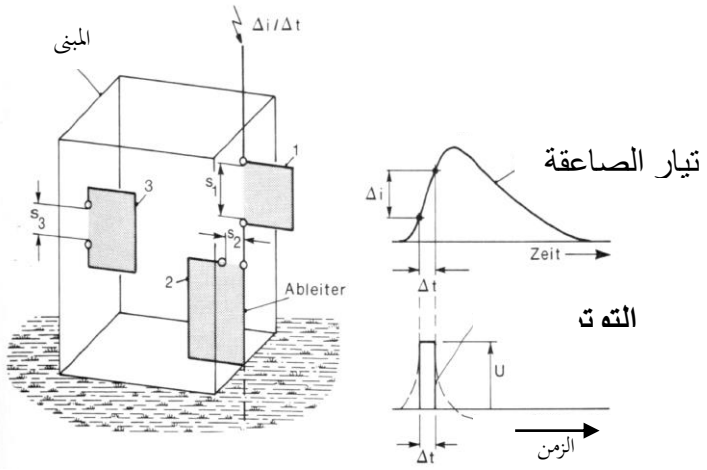
الميل الأعظمي لتزايد تيار الصاعقة الزمني :

إن معرفة القيمة العظمى لتغير تيار الصاعقة خلال الزمن الجبهي Δt لنبضة التيار ضرورية من أجل حساب قيمة التوترات التحريضيةالتي تسببها الحقول الكهرطيسية الناتجة عن تيار الصاعقة في الأجسام المغلقة والمفتوحة الموجودة قرب مكان سريان تيار الصاعقة.

وتؤخذ قيم di/dt اللازمة لتصميم نظام الحماية من الصواعق من الجدول

درجة الحماية	القيمة الحدية [kA/µs] (di/dt)
عادية	100
عالية	150
عالية جداً	200

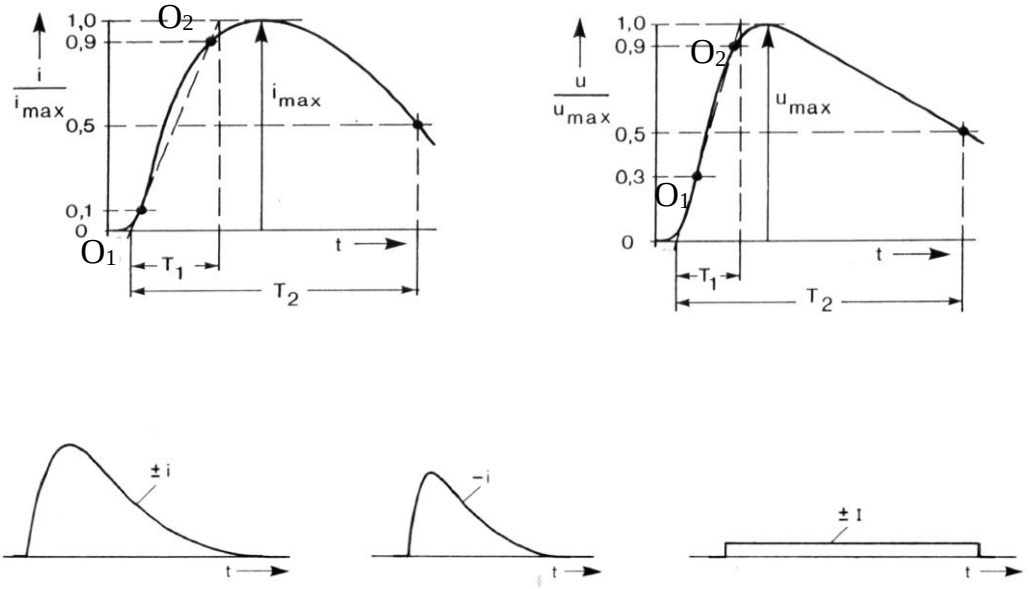
القيم الحدية لتغير تيار الصاعقة بالنسبة للزمن



الزمن الجبهي وزمن نصف الذيل:

على الرغم من الطبيعة الاحتمالية لتيار الصاعقة ،فإنه توجد عدة قيم معتمدة عالمياً لشكل نبضة التيار ، وتتراوح قيمة الزمن الجبهي للنبضات المعتمدة بين (1-10)µs ، وزمن نصف الظهر بين (10-200)µs ، $T_1/T_2 = 4/10\mu s$ ، أو $T_1/T_2 = 8/20\mu s$.

أما بالنسبة لنبضة التوتر البرقي فتأخذ أيضاً عدة أشكال ، لكن الشكل المعتمد عالمياً هو 1.2/50µs ، ، ويتم تحديد الزمن الجبهي لنبضة التوتر و نبضة التيار كما في الشكل



نبضة طويلة	النبضة اللاحقة	النبضة الأولى
400A, 0.5 s	50 kA, 0.25/100 µs	200 kA,10/350µs

قطبية الصاعقة:تبين الإحصائيات والدراسات أن ٨٥ إلى ٩٥٪ من الصواعق المسجلة ذات قطبية سالبة .

الآثار الناتجة عن الصواعق :

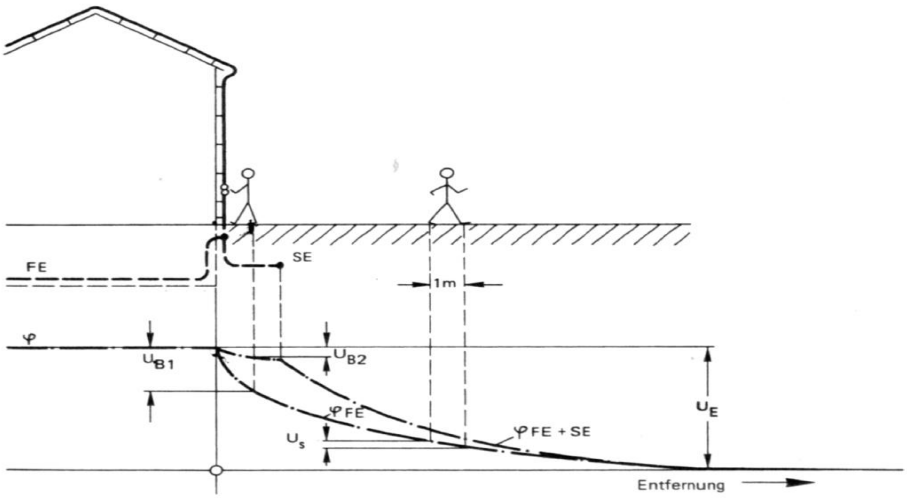
الصاعقة البرقية هي عبارة عن شرارة غير طويلة الأمد . ويقدر تزامن وجود حوالي (٢٠٠٠) عاصفة في أي لحظة من العام ، والتي تقذف من ٣٠ إلى ١٠٠ شرارة برقية إلى الأرض في كل ثانية . فإذا ما صحت هذه التقديرات ، فإنه في كل عام تقذف إلى الأرض أكثر من ٣ بليون شرارة برقية تؤثر على الإنسان والحيوان والمنشآت والشبكات الكهربائية .

١- <u>أثر الصواعق على الإنسان والحيوان :</u>

يمكن أن يصاب الإنسان إصابة مباشرة أو غير مباشرة بصاعقة أثناء وجوده في الطبيعة وغالباً ما تؤدي هذه الإصابة إلى وفاته حيث بينت الإحصائيات العالمية أن أكثر من ٩٠٪ من الصواعق التي تصيب الإنسان إصابة مباشرة تكون مميتة .

١-١- <u>توتر الخطوة وتوتر التماس</u>:

يتشكل نتيجه تفريغ تيار الصاعقة بالقطب الأرضي على سطح الأرض توزيع كمون مميز بشكله الشبيه بالقمع ، فتظهر أكبر قيمة للكمون عند القطب المؤرض ويقل ذلك الكمون على سطح الأرض بسرعة مع الابتعاد عن ذلك القطب وينتج هذا التوزيع لأن أكبر غزارة للتيار تكون بالقرب من القطب الأرضي وبالتالي تظهر أكبر قيم لهبوط التوتر قرب ذلك القطب . ومع الابتعاد عنه يزداد المقطع الإجمالي للأرض وتصغر غزارة التيار مما يؤدي إلى تناقص هبوط الجهد ويبين الشكل توتر الخطوة وتوتر التماس على سطح الأرض.



و يمكن أن تحدث بعض الأضرار الصحية على جسم الإنسان عند هذا التوتر حيث يشعر الإنسان بألم أثناء تطبيقه عليه. وتتعلق مقاومة جسم الإنسان للتيار الكهربائي بطريقة سريان التيار وبزمن سريانه ففي مجال التوترات العالية مثل توتر الصواعق ليس لمقاومة الجلد أي تأثير حيث تكون المقاومة الداخلية للعضلات والعظام وشرايين الدم هي المقاومة الفعالة ويبين الجدول مقاومة جسم الإنسان من أجل طرق مختلفة لسريان التيارلهذا الجسم بعين الاعتبار ، إن مقاومة الأرض تحت القدم الموصولة على التسلسل مع

طريق التيار	مقاومة الجسم بـ Ω
ذراع – ذراع	١٢٠٠
ذراع – قدم	١٢٠٠
ذراع – قدمين	٩٠٠
ذراعين – قدم	١٠٠٠
ذراعين – قدمين	٥٥٠
	١٢٠٠
	٤٠٠

مقاومة الجسم تزيد من قيمة التوتر الكلي المسموح بتطبيقه على الجسم . ويتعلق مقدار هذه الزيادة بالمقاومة النوعية للأرض وبالزمن الجبهي وزمن نصف الظهر لموجة التوتر . ويبين الجدول التوتر المسموح به على جسم الإنسان وعلاقته بالزمن الجبهي وزمن نصف الظهر

نوع نبضة التيار	النبضة السالبة الأولى		النبضة السالبة اللاحقة		صاعقة موجبة	
توتر الخطوة المسموح به عند	(i=80 kA) T1 kV	T2 kV	(i=40 kA) T1 kV	T2 kV	(i=400 kA) T1 kV	T2 kV
ρ = 100 Ωm	83	25	250	28	42	18
200	115	35	350	40	58	25
500	215	65	650	73	108	47
1000	380	115	1150	130	190	84

توترالخطوة المسموح به وعلاقته بالمقاومة النوعية

ويبين الجدول قيمة توتر الخطوة وتوتر التماس المسموح بها على جسم الإنسان وعلاقتها بالمقاومة النوعية للتربة.

تيار الصاعقة	النبضة السالبة الأولى		النبضة السالبة اللاحقة		صاعقة موجبة	
توتر الخطوة المسموح به	T1 kV	T2 kV	T1 kV	T2 kV	T1 kV	T2 kV
ρ = 100 Ωm	58	17	173	20	29	13
200	65	20	195	22	33	14
500	88	26	260	30	44	19
1000	125	38	375	43	63	28

توتر التماس المسموح به وعلاقته بالمقاومة النوعية

إن الأضرار التي يمكن أن تحدث على جسم الإنسان نتيجة الإصابة بصاعقة تتراوح بين : شلل في الأطراف أوتلف في الدماغ ومركز الجملة العصبية .فقدان أو ضعف في السمع والبصر أو حروق من الدرجة الثالثة وبشكل خاص في مكان دخول التيار أو فقدان الوعي أوتوقف في القلب أو اضطراب في عمله .

٢- أثر الصواعق على المنشآت:

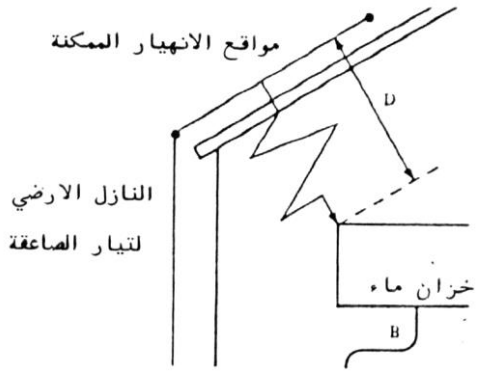
٢-١- أثر الإصابة المباشرة:

إن الأبنية التي تصاب بالصواعق غالباً ما تشغل فيها النيران والتي ينتج عنها أخطار كبيرة.

إن تداعي وانهيار المبنى يمكن أن يكون فيه خطورة على الأشخاص داخله وخارجه والذي يمكن أن يسبب الموت أو الاختناق..

وعندما تضرب الصاعقة البرقية بناء غير محمي فإن الشرارة البرقية ستحاول العبور للأرض عبر أصغر ممانعة ، والتي يمكن أن تكون دارة نقل كهربائية أو أنابيب المياه مما يتسبب في تدمير كبير داخل المبنى .

كذلك فإن الانهيارات الجانبية الكهربائية تسبب في أضرار كبيرة وقد أصبحت من أهم الأمور التي يجب أن تؤخذ بالاعتبار عند تصميم نظام حماية لمبنى حاوي على خزان ما . ويبين المثال التوضيحي التالي خطورة الانهيارات الجانبية عند سقوط الصاعقة على بناء محمي من الصواعق كما في الشكل. حيث يجري التيار عبر الممانعة المحددة بواسطة النواقل ، والتي ستؤدي إلى نشوء هبوط توتر يمكن أن يصل حتى (1MV) وبشكل لحظي .



الانهيارات الجانبية نتيجة مرور تيار الصواعق

مما يمكن أن تسبب في حدوث انهيارات جانبية مع التجيزات المعدنية القريبة و تمديدات المياه المجاورة . والتي يمكن أن تؤدي إلى أضرار كبيرة على الأشخاص داخل المبنى وعلى التجهيزات الحساسة الموجودة ضمن البناء ، ومن الأسباب التي تؤدي إلى حدوث انفراغ جانبي هي

نظام حماية سيئ و نوازل غير سليمة ونظام حماية ذو ممانعة أو إعاقة عالية.

٢-٢ أثر الحقول الكهرطيسية :

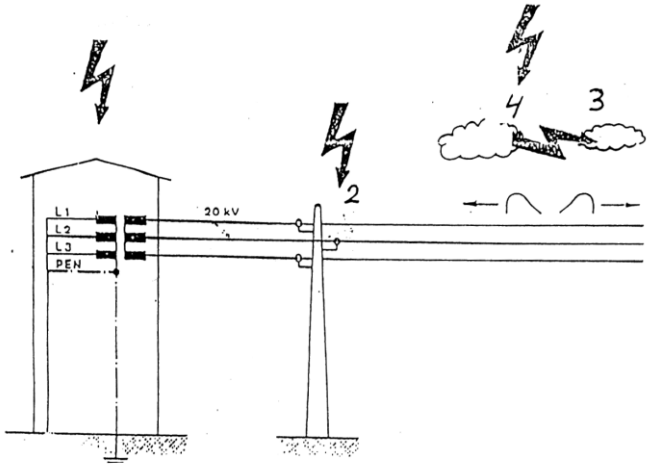
بينت الإحصاءات أن أغلب الخسائر الناتجة عن الانفراغات البرقية ينتج عن التوترات المتحرضة في الأجسام المعدنية والتجهيزات الكهربائية نتيجة الحقل الكهرطيسي المرافق لقناة البرق وقد أكدت القياسات أن الأجهزة الكهربائية الموجودة في دائرة نصف قطرها ١ كم يمكن أن تتأثر بهذه الحقول .والخسائر الناتجة عن هذه الحقول الكهرطيسية تعرف بالخسائر الناتجة عن الإصابات غير المباشرة بصاعقة ، وهو موضوع المحاضرة الاخرى

٣- أثر الصواعق على شبكات نقل القدرة :

٣-١ زيادة توتر الخط نتيجة الاصابة المباشرة بالصواعق :

تتعرض خطوط نقل وتوزيع القدرة الكهربائية بحكم امتدادها وارتفاع تعليق نواقلها إلى الإصابة بالإنفراغات البرقية حيث تسبب هذه الإنفراغات تحريض توترات زائدة في هذه الشبكات تتنقل على شكل موجات مسافرة على الخطوط حتى تصل إلى المحطة فتسبب تلف بعض التجهيزات فيها . ويمكن للإنفراغات البرقية أن تصيب المحطة إصابة مباشرة بصاعقة ، وهذا الاحتمال صغير كذلك يمكن أن تصيب الصواعق خطوط الأطوار إصابة مباشرة ، مما يؤدي إلى نشوء

توتر كبير جداً على الخط . وتتعلق زيادة التوتر بشكل أساسي بمقاومة الخط الكلية (الممانعة الموجبة Z_W + مقاومة الخط R_L) . أن مقاومة الخط R_L صغيرة إذا ما قورنت بالممانعة الموجبة Z_W (Z_W تساوي تقريباً 500Ω)



وبالتالي فإن القيمة العظمى لموجة التوتر يمكن حسابها من العلاقة التالية معتبرين أن تيار الصاعقة سوف يتوزع بالاتجاهين :

$$\hat{u} = \frac{\hat{i}_o}{2} z_w$$

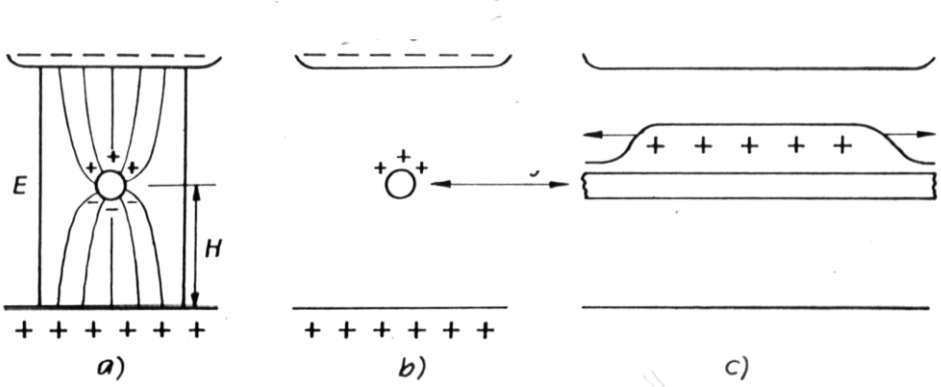
i_o القيمة العظمى لتيار الصاعقة بـ kA

وينتشر هذا الارتفاع المفاجئ في التوتر على شكل موجة مسافرة على طرفي الناقل ويؤدي ذلك بطبيعة الحال إلى انهيار العوازل أو إصابة الأجزاء الحساسة غير المحمية في المحطات . ويتعلق احتمال إصابة خطوط الشبكة إصابة مباشرة بصاعقة بالمساحة التي تغطيها هذه الخطوط وهي مساحة مستطيل عرضه ٤ أضعاف ارتفاع أعلى ناقل في الشبكة وطوله طول الشبكة .

٣-٢ زيادة توتر الخط نتيجة الإصابة غير المباشرة :

عند حدوث انفراغ برقي بين سحابتين تتحرض في الشبكة توترات زائدة . فعند اقتراب سحابة ذات شحنة معينة ولتكن سالبة من ناقل هوائي فإن الحقل الناتج بين السحابة والأرض سوف يؤثر على الناقل عن طريق الشحن بالتأثير ويؤدي إلى فصل الشحنات الكهربائية كما هو مبين في الشكل يمكن أن تتفرغ (الشحن السالبة) إلى الأرض عبر عوازل التعليق والبرج وذلك

بسبب سوء العازلية مثلاً . وبالتالي فإن الناقل يبقى مشحوناً بالشحن الموجبة وإذا حدث انفراغ برقي مع غيمة أخرى أو مع الأرض فإن شحنات السحابة المؤثرة سوف تتعدل خلال فترة قصيرة جداً (من مرتبة الميكرو ثانية) فتتحرر الشحنات الموجودة على الناقل لأنها لم تعد مقيدة بحقل السحابة . وبالتالي فإن هذه الشحن سوف تنتقل على طرفي الناقل على شكل موجات مسافرة وتكون قطبية التوتر المتحرض دائماً بعكس التيار البرقي وقيمة التوتر المحرض تكون غير خطرة على عازلية التجهيزات الكهربائية في المحطة .



فصل الشحنات على الناقل نتيجة الحقل بين الأرض والسحابة

لكن أغلب التوترات الزائدة المتحرضة بالشبكة والتي تشكل خطراً على عازلية التجهيزات الكهربائية يسببها سقوط الصاعقة بالقرب من هذه الشبكة ويتعلق مطال هذه التوترات بميل موجة التيار البرقي وارتفاع أبراج التعليق وبعد نقطة الإصابة عن الشبكة وتعطى قيمة هذه التوترات بالعلاقة:

$$u = \frac{30.h.k.I_o}{x}\ [kV] \qquad (4-3)$$

h: ارتفاع ناقل الشبكة عن الأرض بـ m

k: ثابت ويساوي 1.2

I_o: تيار الصاعقة بـ kA

x: بعد نقطة الإصابة عن الشبكة

فتبلغ قيمة التوتر المتحرض في شبكة كهربائية ارتفاع التعليق لنواقلها ١٠م من أجل إنفراغ برقي شدة تياره 50KA عند سقوط الصاعقة على مسافة ١٠٠م .

$$u = \frac{30x10x1.2x50}{100} = 180\ kV$$

وباعتبار أن عوازل الخط يجب أن تتحمل توتراً نبضياً قيمته خمسة أضعاف التوتر الاسمي للشبكة لذلك تكون هذه التوترات المتحرضة في الشبكة عند سقوط الصاعقة بالقرب منها خطرة جداً في الشبكات التي تعمل على توتر أقل من 24 kV .

طرق الحماية من الصواعق:

أجريت بعد اكتشاف الطبيعة الكهربائية للصواعق في أواسط القرن الثامن عشر تجارب لحماية الأشخاص والأبنية والمنشآت وتجهيزات الشبكة الكهربائية . وقد تم اختراع أبر فرانكلين ، لتفريغ الصواعق في عام ١٧٥٠ . كما اكتشف شفايجر في عام ١٩٣٦ طريقة لتحديد مجال الحماية العائد لإبر الحماية من الصواعق ، وذلك بمراعاة ارتفاع هذه الإبر وارتفاع رأس الصاعقة .

ومن جهة اخرى قد أجريت منذ عام ١٩١٤ محاولات لزيادة مجال الحماية لإبر الحماية من الصواعق باستخدام مواد مشعة في رأس هذه الإبر . **لكن جميع هذه الأبحاث باءت بالفشل . وجرى إقفال ملف الإبر المشعة في نهاية الثمانينات ، بإصدار القوانين بمنعها ، وذلك بعد أن أثبتت الأبحاث عدم جدواها من جهة ، وضررها البيئي الإشعاعي من جهة أخرى . وأعقب ذلك محاولات جادة لطرح ما سمي بالإبر النبضية ، كبدائل عن الإبر المشعة الممنوعة . لكن النظم الهندسية الكهربائية العالمية والوطنية عدا النظام الفرنسي أجمعت على رفض أو عدم اعتماد هذه الإبر كوسيلة موثوقة للحماية من الصواعق ، وذلك بعد أن بين كم كبير من الأبحاث الحديثة فشل هذه الإبر في تحقيق الحماية الموعودة من الصواعق .**

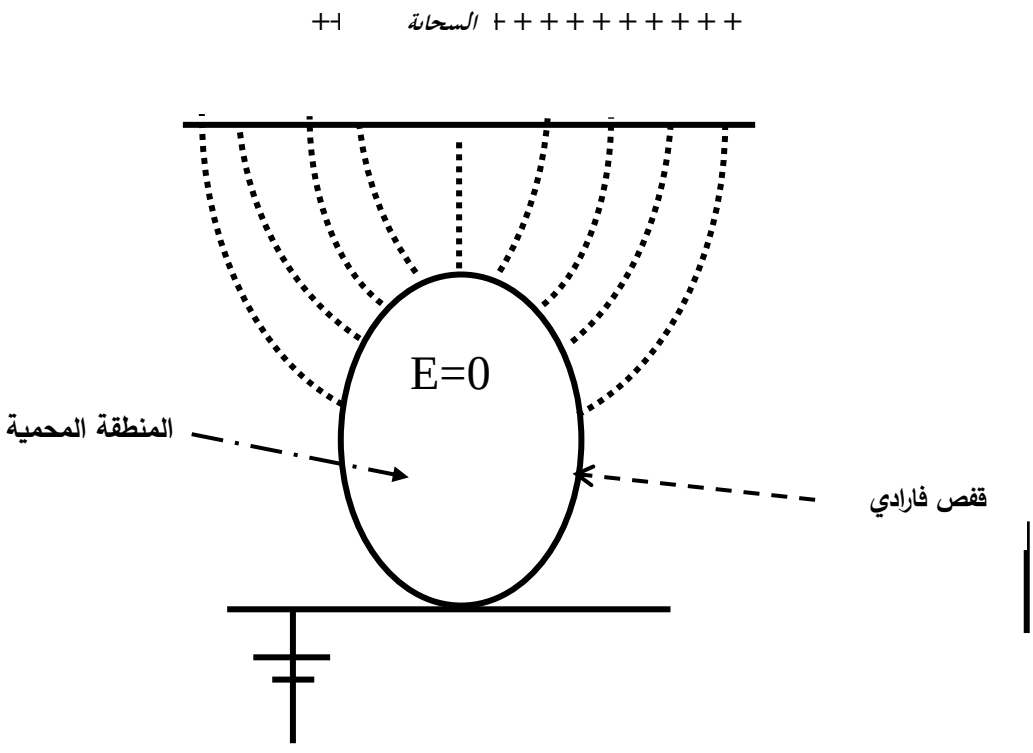
ومن جهة أخرى ، ونتيجة لتزايد التجهيزات الكهربائية الحساسة والمحوسبة منخفضة (كأجهزة الاتصالات الهاتفية ، والحواسب ، والآلات المحوسبة ، والتليفزيونات ...) ، **فقد أظهرت مجموعة كبيرة من الأبحاث العلمية أهمية استخدام تجهيزات حماية داخلية تركب في الشبكات الداخلية ، لحماية هذه التجهيزات من الحقول الكهرطيسية الناشئة عن قناة تفريغ الصاعقة ، والموجات المسافرة والتوترات الزائدة الناتجة عن الإصابات المباشرة وغير المباشرة بالصواعق .**

لذلك صنفت نظم الحماية من الصواعق إلى نظم حماية خارجية ، ونظم حماية داخلية .

١) نظم الحماية الخارجية من الصواعق :

يمكن تلخيص نتائج الكم الهائل من الأبحاث العلمية المخبرية والميدانية التي أنجزت حول وسائل الحماية الخارجية من الصواعق ، استناداً إلى أساسيات الهندسة الكهربائية النظرية وقوانينها ، والمناقشات في الهيئات والمؤتمرات العلمية الهندسية الكهربائية الاختصاصية كمؤتمرات الـ CIGRE ، ومؤتمرات الحماية من الصواعق ، ومؤتمرات هندسة التوتر العالي العالمية ISH ، بأن الوسيلة الوحيدة والمضمونة للحماية الخارجية للأبنية والمنشآت من أخطار الصواعق يتمثل في تنفيذ شبكات حماية من الصواعق تحجب الصواعق والحقول الخارجية عن هذه الأبنية والمنشآت . وأطلق عليها اسم شبكات قفص فاراداي حيث تقوم هذه الشبكات :

١- بتحجيب البناء ومحتواه من تأثير الحقول الكهربائية الخارجية الناشئة عن الأجواء العاصفة المشحونة حيث ينطلق خطوط الحقل الكهربائي (النبعي) من السحب العاصفة لتنتهي عند هذا القفص كمسرى مقابل إلى الأرض . ولا يمكنها تجاوز هذا القفص إلى داخل البناء . وبذلك تكون شدة الحقل داخل المنطقة المحمية بالقفص مساوية للصفر.



التحجيب المثالي بواسطة كرة معدنية (قفص فاراداي)

٢-وتمنع بذلك إصابة البناء ، أو أي جزء من أجزائه بالصواعق . إذ أن الصاعقة ستنمو بعد نشوئها من السحابة على امتداد مسار خطوط الحقل بين السحابة والقفص المحيط بالبناء .

وستنتهي عند إحدى نقاط هذا القفص المعدني ، لتكمل مسارها نحو الأرض عبر النوازل المعدنية المنخفضة الأومية للشبكة ، إلى الشبكة الأرضية ذات المقاومة الأومية المنخفضة .

ولا يمكن لإبرة معدنية – حسب قوانين الكهرباء والحقول المعروفة – أن تقوم مقام هذا القفص بتحجيب بناء أو منشأة ذات امتداد أفقي كبير . ويمكن الاستعانة بإبر فرانكلين كلواقط مساعدة للصواعق لتحسين أداء قفص فاراداي أو لحماية مواقع مرتفعة غير واسعة الامتداد .

وقد اعتمدت الهيئات الهندسية الكهربائية العالمية والدولية والأوربية عدا الفرنسية هذا المبدأ كنظام وحيد موثوق لحماية المباني والمنشآت من الصواعق ، وبينت تفاصيله في مواصفاتها القياسية ، مثل :

• المواصفة القياسية الهندسية الكهربائية العالمية	**IEC61305**
• المواصفة القياسية الهندسية الكهربائية السورية	**1329**
• المواصفة القياسية الهندسية الكهربائية الأوربية	**CENELEC**
• المواصفة القياسية الهندسية الكهربائية الإنكليزية	**BS 6651**
• المواصفة القياسية الهندسية الكهربائية الألمانية	**VDE 0185**
• المواصفة القياسية الهندسية الكهربائية البلجيكية	**NBN C 18-100**
• المواصفة القياسية الهندسية الكهربائية الدانمركية	**DS 453**
• المواصفة القياسية الهندسية الكهربائية الأمريكية	**NFPA 780 LP1-175**
• المواصفة القياسية الهندسية الكهربائية الأسترالية	**AS 1768**

وقد رفضت أو لم تعتمد هذه النظم أي نظام آخر مغاير للحماية من الصواعق ، مثل الإبر النبضية أو المشعة .

وتتفق كافة هذه المواصفات القياسية على أن نظام الحماية لأي بناء أو منشأة يتكون من :

- شبكة الحماية العلوية
- وشبكة النوازل
- وشبكة التأريض .

وأن نظام الحماية من الصواعق كل لا يتجزأ ، ولا يمكن تحقيق المهمة المناطة به إن لم تنفذ المكونات الثلاث بصورة صحيحة وفق النظم الهندسية .

- **<u>فشبكة الحماية العلوية</u>** يجب أن تنفذ بصورة صحيحة وبفتحات مدروسة وبنواقل ملائمة لضمان حماية كل جزء من البناء .

ويتم التأكد من أن كامل المبنى المراد حمايته يقع ضمن مجال الحماية للشبكة الهوائية بإحدى الطرق التالية :

١. زاوية الحماية .
٢. نظرية الكرة المتدحرجة .
٣. أبعاد التعشيق (أبعاد فتحات قفص فراداي) .

ويمكن لمصمم نظام الحماية اختيار الطريقة التي يريد للتأكد من أن كامل المبنى المراد حمايته يقع ضمن مجال الحماية بمراعاة الأمور التالية :

- طريقة زاوية الحماية تستخدم فقط من أجل جزء صغير من المبنى المراد حمايته، وهذه الطريقة غير صحيحة (لا يمكن استخدامها) من أجل مبنى يزيد ارتفاعه عن نصف قطر كرة الصاعقة المقابل لدرجة الحماية المطلوبة (انظر الجدول ٣-١).
- طريقة الكرة المتدحرجة تناسب المباني ذات الأشكال المعقدة.
- طريقة قفص فراداي تستخدم في حماية جميع المباني، وبشكل خاص المباني الأفقية.
- نظرية الكرة المتدحرجة تعتمد على الأسس النظرية لنمو قناة الصاعقة (على شكل قناة أسطوانية بين الغيمة (السحابة) والأرض)، وتستخدم هذه النظرية للتأكد من دقة الحماية للمبنى عندما تكون زاوية الحماية لقضبان فرانكلين أو أبعاد فتحات قفص فراداي غير مؤكدة بدقة.
- بواسطة نظرية الكرة المتدحرجة يمكن تحديد أجزاء المبنى التي تصيبها كرة الصاعقة (الكرة المتحرجة) وبالتالي احتمال إصابتها بصاعقة، و يجب تمديد شبكة نواقل على كل الزوايا التي تصيبها الكرة المتدحرجة.
- تحدد كرة الصاعقة أبعاد فتحات قفص فراداي.
- يجب أن يحدد شكل الشبكة الهوائية في نظام الحماية من الصواعق بدقة في المذكّرة الحسابية.

- **وشبكة النوازل** يجب أن تنفذ بعددها الصحيح وبصورة نظامية ومدروسة لضمان تجزئة تيار الصاعقة ، وعدم حدوث انهيارات جانبية أو نشوء حقول كهرطيسية تتسبب بأضرار داخلية في المبنى قد تكون أشد وأدهى .
- **وشبكة الأرضي** يجب أن تنفذ بصورة صحيحة لضمان تفريغ مأمون للتيار بمقاومة صغيرة ، ولتفادي ارتفاع كمون نقاط الربط مع الشبكة الأرضية . وأن تمنع نشوء توتر خطوة كبير قد يؤدي لصعق الإنسان والحيوان.

الطرق غير المعتمدة في النظم الهندسية الكهربائية العالمية :

بالرغم من اتفاق كافة النظم الهندسية الكهربائية العالمية والدولية – عدا النظام الفرنسي – في رفض أو عدم اعتماد أي نظام مغاير لشبكة قفص فاراداي أو إبر فرانكلين في حماية المنشآت والمباني من الصواعق ، فإنه تنزل إلى الأسواق بين الفينة والأخرى منتجات بأسماء مختلفة كالإبر النبضية أو المشعة يدعي عارضوها بأفضليتها أو صلاحيتها كبدائل عن الطرق المعتمدة في النظم الهندسية الكهربائية العالمية والدولية .

كما قد تعطى هذه المنتجات تسميات علمية خاطئة ومضللة أحياناً ، كأن يروج لها تحت اسم " مانعات الصواعق المشعة أو النبضية .. " مثلاً ، وذلك لأنها قد توحي لغير المختص بأنها تمنع حدوث الصواعق ، بينما هي في الواقع ليست إلا لواقط إبرية (إبر فرانكلين) قد تجذب

الصواعق القريبة فقط ، وقد لا تجذبها . بل وقد تكون وبالاً على الأشخاص والأبنية والتجهيزات المتواجدة في منطقة تركيبها ، فتتسبب في إصابتهم . وكثيراً ما تروج معلومات بعيدة عن الحقائق العلمية والواقع العملي حول فعالية هذه الإبر في التقاط الصواعق ، وعن امتداد مناطق حمايتها إلى مسافات خيالية . مما قد يؤدي إلى احتمال حدوث كوارث بشرية ومادية خطيرة عند الركون إلى هذه المعلومات في استخدام تلك الإبر .

وتعتمد هذه المنتجات التي تعرض في هذا المجال والتي تشمل الإبر المشعة والإبر النبضية على فكرة إحداث تأيين قسري مبكر أمام رأس الإبر المستخدمة كلواقط وذلك قبل نشوء الليدر النازل للصواعق بفترة كبيرة ، بهدف توجيه الصاعقة نحوها ، والتوصل بذلك إلى مجال حماية أكبر للموقع الذي ركبت عليه هذه الإبر .

وقد أدت الأبحاث العلمية التي أجريت حول هذه الإبر في كافة جامعات العالم ، ونشرت في المجلات والمؤتمرات العلمية التخصصية إلى تقديم الأسباب العلمية الموضوعية التي دفعت جميع النظم الهندسية الكهربائية والعالمية ، عدا النظام الفرنسي ، إلى رفض أو عدم اعتماد هذه الإبر .

تنفيذ نظم الحماية الخارجية من الصواعق :

بعد أن تعرفنا على الأسس النظرية لنظام الحماية من الصواعق وبيننا أن نظام الحماية الخارجي الفعال والوحيد الذي يتوافق مع أسس الهندسة الكهربائية وتعتمده جميع النظم الهندسية في العالم هو نظام قفص فراداي أو قفص فراداي المدعم بإبر فرانكلين سوف نبين مكونات هذا النظام وكيفية تنفيذه بشكل صحيح استناداً إلى المواصفات القياسية الدولية، وبمراعاة مجموعة من المعطيات مثل **احتمال الإصابة بالصاعقة وسويات الحماية،وكثافة الإنفراغات البرقية الأرضية:**

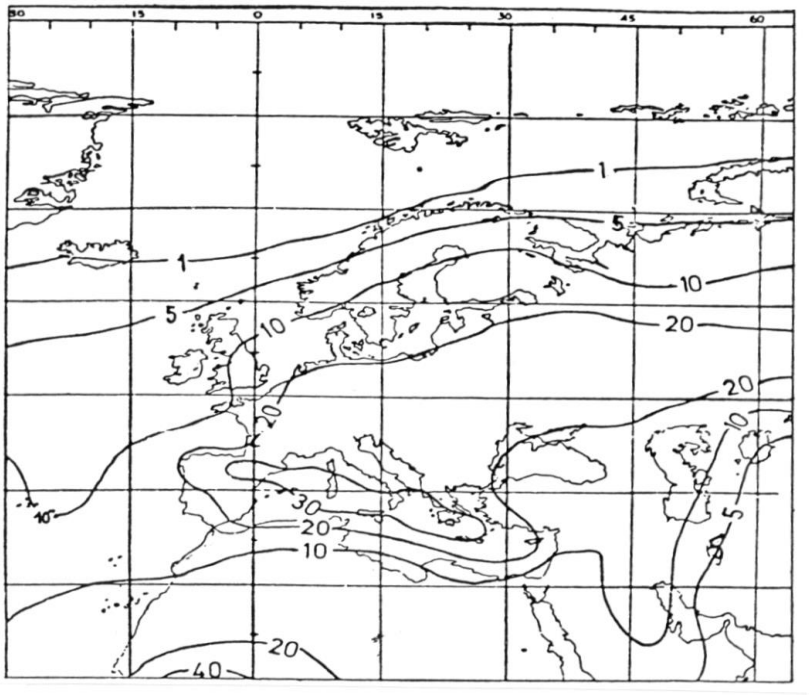
فتتعلق **كثافة الإنفراغات البرقية** في منطقة ما بكثافة الصواعق الرعدية فيها وتحدد الأرصاد الجوية هذه الكثافة وذلك بتعريف ما يسمى بالأيام العاصفة (عدد أيام السنة التي يسمع فيها صوت الرعد من برج رصد محدد) وتحدد كثافة الإنفراغات البرقية الأرضية على الكيلومتر المربع الواحد في السنة بالعلاقة التالية :

$$N_g = 0.04 \cdot T_d^{1.25}$$

N_g : عدد الانفراغات البرقية الأرضية في العام /كم٢

T_d : عدد الأيام العاصفة في السنة .

ويبين الشكل خريطة الصواعق الرعدية السنوية في العالم .



وتحدد كثافة الإنفراغات البرقية في العام على الكيلومتر مربع الواحد تقريباً بتقسيم عدد الأيام العاصفة على عشرة.

<u>درجة الحماية :</u>

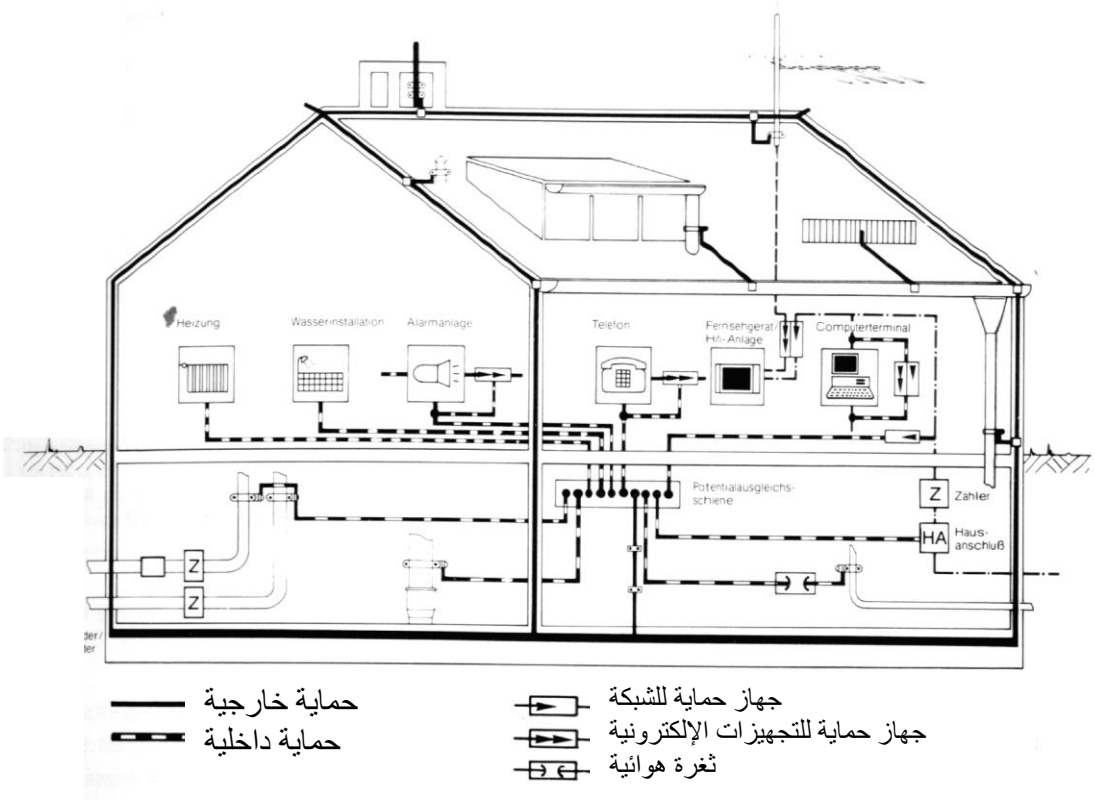
لتقدير الخسائر التي تسببها الانفراغات البرقية التي تصيب مبنى ما يجب تحديد درجة الحماية لهذا المبنى والمقصود بدرجة الحماية هو فعالية نظام الحماية المركب على سطح المبنى وتقسم درجات الحماية حسب المواصفات القياسية الدولية إلى أربع درجات

.

فعالية نظام الحماية	درجة الحماية
0.98	1
0.95	2
0.9	3
0.8	4

أنواع نظم الحماية :

يشمل نظام الحماية من الصواعق جميع التجهيزات والنواقل المعدنية المستخدمة في الحماية الخارجية والداخلية للموقع المدروس .



– **الحماية الخارجية** وتعني مجموع النواقل المعدنية المركبة على المحيط الخارجي للموقع المراد حمايته المعدّة لالتقاط شحنة الصاعقة وتفريغها في الأرض عبر الطريق المختار .

– **الحماية الداخلية** وتعني جميع التجهيزات والإجراءات التي يجب أخذها بعين الاعتبار لمنع تأثير الحقول الكهرطيسية الناتجة عن تيار الصاعقة التي تحرض في الأجسام المعدنية الموجودة ضمن الموقع المراد حمايته توترات تحريضية تؤدي إلى تلفها .

والجدير بالذكر أن نظام الحماية من الصواعق لا يمنع الصاعقة من اصابة المبنى المحمي، إذ لا توجد حتى الآن أجهزة أو طريقة ما تمنع تشكل الصاعقة وسقوطها، كذلك لم تثبت أي جهة علمية وجود أجهزة تستطيع تحديد مكان سقوط الصاعقة .

من المفيد جداً في الأبنية المزمع إنشائها إجراء مناقشة بين المهندس المصمم لنظام الحماية من الصواعق والمهندس الإنشائي الدارس والمهندس المنفذ لنظام الحماية عند إنشاء البناء وهذا يلغي الكثير من الأعمال غير الضرورية ويخفض كلفة التنفيذ بشكل كبير جداً .

يوجد نوعان من أنظمة الحماية الخارجية من الصواعق :

- نظام حماية غير معزول :

حيث تكون النواقل المعدنية المستخدمة لالتقاط شحنة الصاعقة وتفريغها في الأرض غير معزولة عن الموقع المراد حمايته ويتكون هذا النظام من شبكة هوائية (لواقط) ونوازل أرضية (نواقل نازلة) وشبكة تأريض .

- نظام الحماية المعزول :

حيث تكون النواقل المعدنية المستخدمة لالتقاط شحنة الصاعقة وتفريغها في الأرض معزولة عن الموقع المراد من خلال مسافة محددة أو مادة عازلة .

وتوجد تجهيزات يمكن أن تؤدي دوراً في الحماية من الصاعقة ولكنها غير مركبة خصيصاً لهذا الغرض مثل أعمدة الإنارة في الحدائق والملاعب والأسقف والجدران المعدنية للمنشآت وحديد التسلح للأبنية .. الخ .

يعتمد النظام الأكثر فعالية للحماية الخارجية من الصواعق كما بينا سابقا على:

- **شبكة هوائية معدنية تمدد على سطح المبنى تسمى (اللواقط المعدنية)**
- **وتربط إلى آبار التأريض بواسطة نواقل معدنية تسمى النوازل** أما معدنها فيجب أن يتحمل جميع الإجهادات الناتجة عن تفريغ تيار الصاعقة (ارتفاع درجة الحرارة – الإجهادات الديناميكية –الانصهار) حيث يمكن أن يكون من النحاس أو الألمنيوم أو الفولاذ المغلفن على شكل أمراس أو رقائق مبسطة ونورد فيما يلي الحد الأدنى لمقطع النواقل المسموح باستخدامها :

نحاس	$35\ mm^2$
ألمنيوم	$70\ mm^2$
حديد مغلفن	$50\ mm^2$

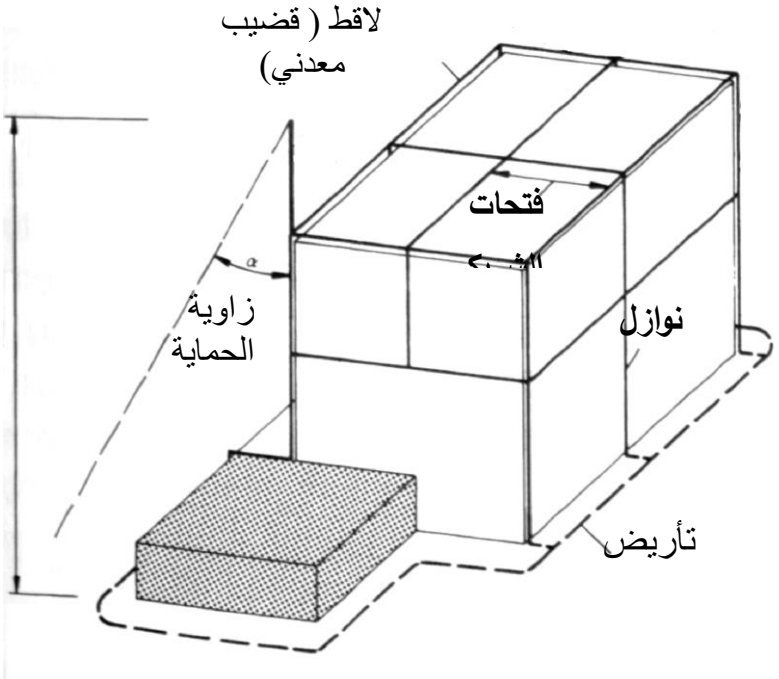
- **وتنتهي النوازل الى شبكة تأريض ذات مقاومة منخفضة.**

الشبكة الهوائية في نظام قفص فاراداي :

– تكون اللواقط في نظام الحماية غير المعزول على شكل نواقل تمدد بشكل أفقي على سطح المبنى حيث تشكل هذه النواقل فيما بينها شبكة معدنية (قفص فردي) يمكن أن تدعم بقضبان مدببة وتعرف باسم (قضبان فرانكلين).

تمدد النواقل المعدنية على الحواف الخارجية لأعلى المبنى (ستارة السطح مثلاً) وتحيط به تماماً كذلك تمدد نواقل أخرى على السطح بحيث تكوّن مع الأولى شبكة متصالبة تتحدد أبعاد فتحاتها بدرجة الحماية المطلوبة حسب الجدول

أبعاد فتحات الشبكة بـ m	درجة الحماية
5×5	1
10×10	2
15×15	3
20×20	4



– تثبت نواقل الشبكة الهوائية بواسطة مثبتات بأبعاد أفقية متساوية لا تزيد عن ١٠٠سم، وتكون المثبتات من المعدن أو البلاستيك، . وفي حال عدم سماح المهندس الإنشائي باستخدام مثبتات تحتاج إلى تثقيب على السطح يمكن استخدام مثبتات من مكعبات بيتونية أو قرميدية ١٠ × ١٠ × ١٠ سم .كما في الشكل:

و يفضل أن تكون النواقل المعدنية المستخدمة في الشبكة من معدن واحد وعند ربط نواقل معدنية من الحديد أو الألمنيوم مع نواقل نحاسية يجب الأخذ بعين الاعتبار أن نقطة الوصل سوف تتأثر بالصدأ ولهذا تستعمل وصلات خاصة مصممة لهذه الغاية مكونة من وجهين كل منهما يتطابق مع المعدن المراد وصله ويجب أن يتم التلامس بشكل جيد في نقطة الوصل .

– ينصح عند اختيار مواد الحماية من الصواعق في الأماكن التي تحوي على أبخرة ومواد كيميائية مراجعة أخصائي في المعادن لاختيار المعدن المناسب .

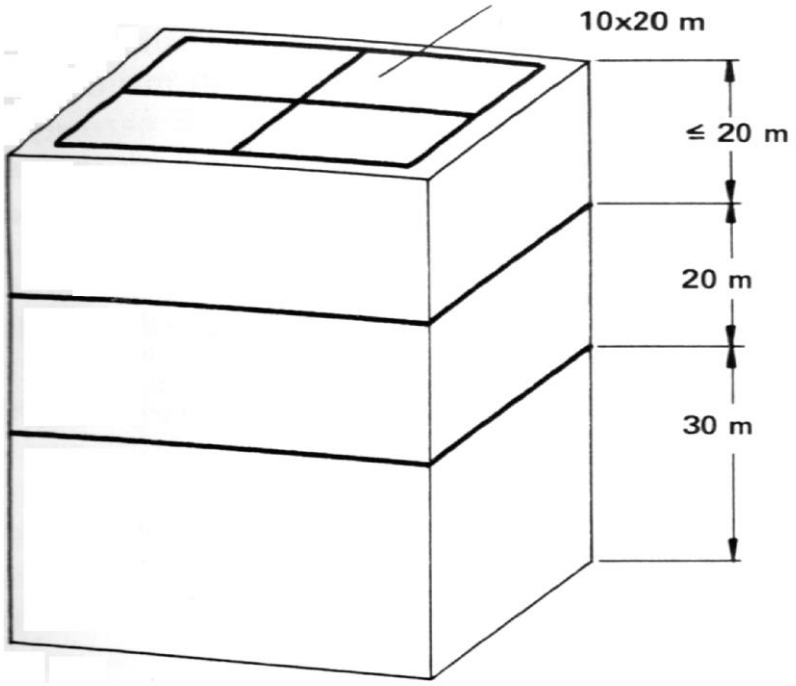
– أثناء تمديد الشبكة الأفقية يجب تجنب الانحناءات الحادة في الشبكة بحيث يكون الانحناء على شكل قوس دائري وليس بشكل زاوية قائمة أو حادة .

– تمدد النواقل بحيث لا تجري قطرات المطر الساقطة عليها ثانية على أشياء معدنية أخرى كما تمنع منعاً باتاً أن تغمر النواقل بمياه الأمطار كذلك تمدد هذه النواقل بحيث لا يمكن للشبكة الكهربائية أن تسقط عليها.

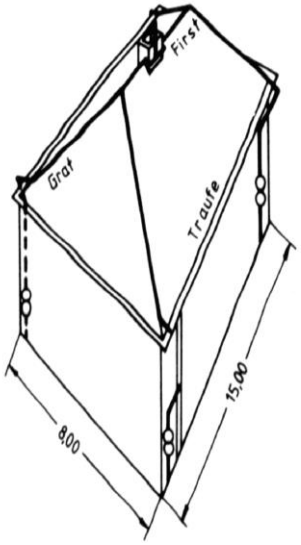
– توصل نواقل الشبكة ببعضها البعض من جميع الزوايا بواسطة وصلات مصممه لهذه الغاية .

– تمدد نواقل معدنية تحيط بالبناء كل 20m من ارتفاعه الشكل في المباني التي يزيد ارتفاعها عن ٣٠ م ولا تحوي نواقل نازلة على جدرانها الخارجية ونورد فيما يلي بعض الأمثلة عن كيفية تمديد شبكة النواقل على سطوح الأبنية من أجل أشكال مختلفة لها .

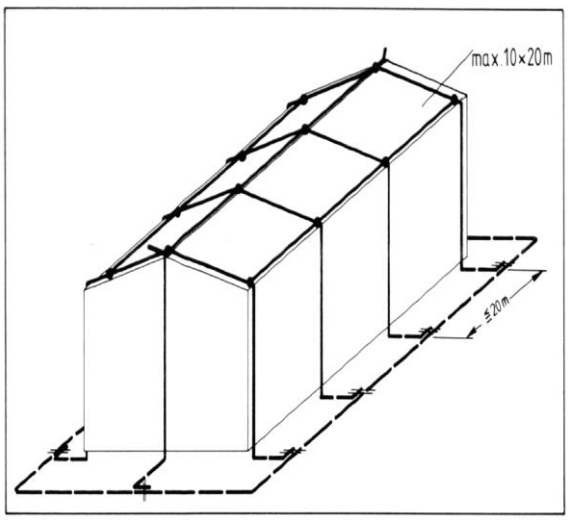
فتحات الشبكة



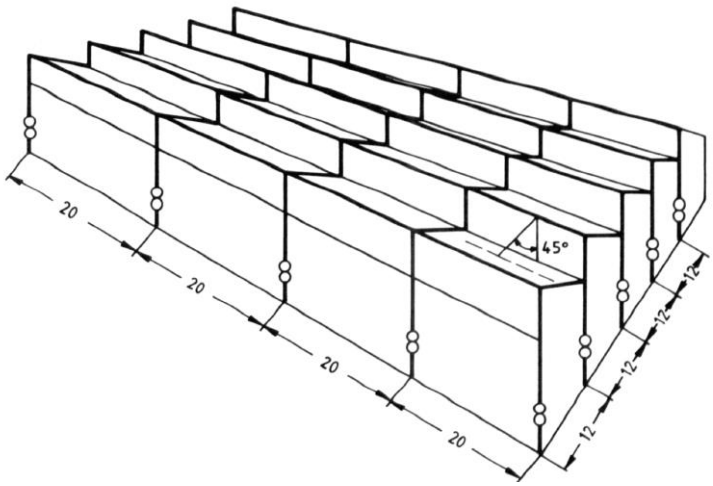
– تبين الأشكال كيفية تمديد النواقل على سطح جمالوني و كيفية تمديد النواقل على سطح له شكل خيمة أما من أجل سطح له عدة جمالونات فتمدد هذه النواقل على قمة الجمالون



فتحات

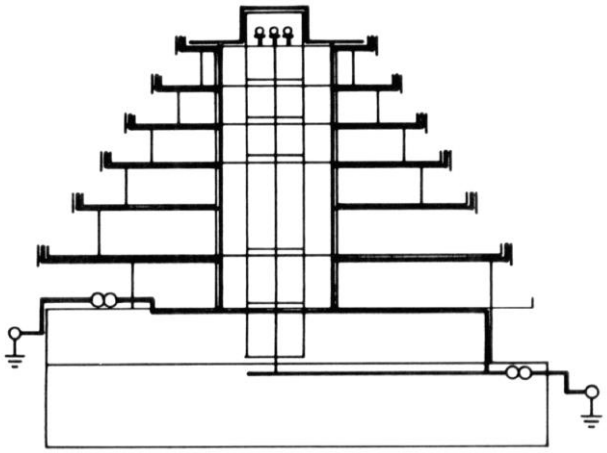


– وعند عدم إمكانية المحافظة على أبعاد ثابتة لفتحات الشبكة (١٠م × ٢٠م) بسبب زيادة



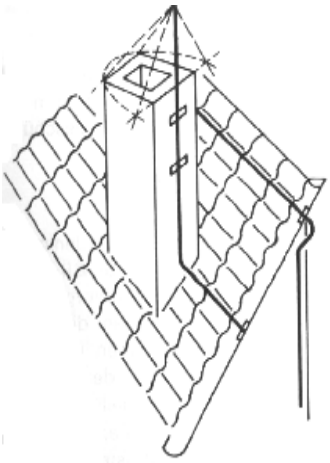
المسافة بين نقطتين متتاليتين للجمالون عن ١٠ م يمكن زيادة أبعاد فتحة الشبكة بحيث تصبح ١٢ م × ٢٠ م أو ١٠ م × ٢٣ م دون خوف لأن قمة الجمالون تؤمن زاوية حماية قدرها ٤٥ درجة .

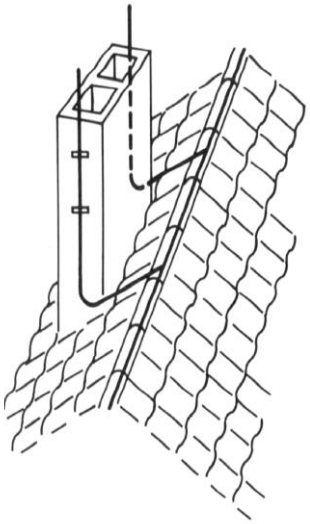
– من أجل بناء على شكل تراسات متعددة تمدد النواقل كما هو مبين في الشكل



وفي أعلى الكتل البارزة من السطح تركب إبر مدببة يتراوح ارتفاعها بين ٥٠ – ١٠٠ سم توصل مع شبكة النواقل

– ويبن الشكل كيفية تركيب هذه الإبر على مداخن البناء ومن أجل مداخن قليلة العرض يكتفي بإبرة واحدة أما المداخن العريضة فتحتاج إلى اثنتين أو أكثر من هذه الإبر .





عند تمديد النواقل بالقرب من المداخن يجب أن آخذ التآكل بعين الاعتبار بشكل خاص جميع الكتل المعدنية الموجودة على السطح والتي يزيد ارتفاعها عن ٣٠ سم أو مساحتها عن ١ م٢ يجب أن تربط مع نواقل الحماية الممددة على السطح .

يمكن أن تعتبر الصفائح المعدنية التي تغطي المبنى المراد حمايته نواقل هوائية (لواقط) إذا حققت الشروط التالية :

أ- أن تؤمن ناقلية كهربائية جيدة بين أجزائها المختلفة .

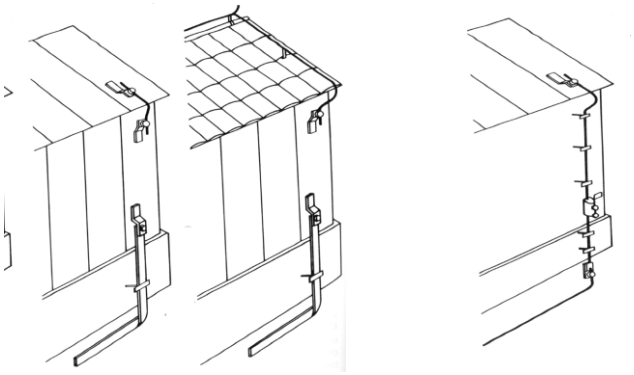
ب- أن لا تقل سماكة الصفيحة المعدنية عن القيم المعطاة في الجدول التالي

مستوى الحماية	المادة	السماكة [mm]
1 - 4	Fe	4
	cu	5
	Al	7

إذا كان ضرورياً منع حدوث خرق في هذه الصفائح أما إذا لم يكن مهماً منع حدوث خرق فيجب أن لا تقل سماكة الصفيحة المعدنية عن٠.٥مم .

- وتستثنى المواد غير المعدنية الموجودة على أو فوق الصفيحة من المجال المراد حمايته .

لا نحتاج في هذه الأبنية إلى تمديد نواقل معدنية على السطح وإنما تربط النوازل الأرضية مباشرة مع الصفائح أما إذا كان الجدار معدنياً كما هو الحال في المستودعات فلا نحتاج إلى نوازل أرضية أيضاً وإنما يكتفى بتأريض أسفل المعدن.



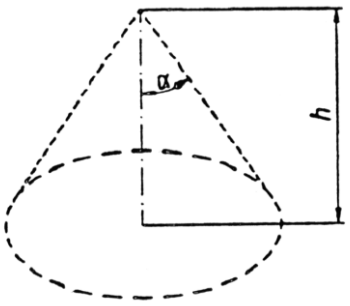
.١

تمديد النواقل في بناء ذو سقف وجدران معدنية– تمديد النواقل في سقف معدني

وعندما يكون سقف البناء مصنوعاً من مادة غير ناقلة (أترنيت مثلاً) ومثبتاً على أجزاء معدنية تحقق الشروط المطلوبة في نظام الحماية من الصواعق فإن حماية هذا السقف لا يختلف كثيراً عنه عند تركيب الحماية على السطح حيث تركب لواقط مدببة تثبت على الأجزاء المعدنية تحت السقف بشكل جيد، و البعد بين لاقط مدبب وآخر يليه m 5 .أما ارتفاع اللاقط المدبب فوق السطح فلا يقل عن 30cm سم

الشبكة الهوائية واللواقط في نظام ابر فرانكلين :

وتتكون من قضبان معدنية لها رؤوس مدببة تحقق الشروط المطلوبة للمواد المستخدمة في نظام الحماية من الصواعق، وتركب على سطح المبنى بشكل شاقولي. ومجال الحماية للقضيب المدبب هو قاعدة مخروط رأسه رأس الابرة المدبب.وتدعى هذه القاعدة دائرة الحماية ويتحدد نصف قطرها بارتفاع رأس المخروط عن السطح وفق جدول ارتفاع الأبرة وزاوية الحماية المبين لاحقا. وحتى تكون الحماية بواسطة قضيب فرانكلين فعالة يجب أن يقع كامل المبنى المراد حمايته ضمن مخروط الحماية وفي حال عدم وقوع كامل المبنى ضمن هذا المخروط يتم زيادة طول القضيب أو تستخدم عدة قضبان.



ابر فرانكلين

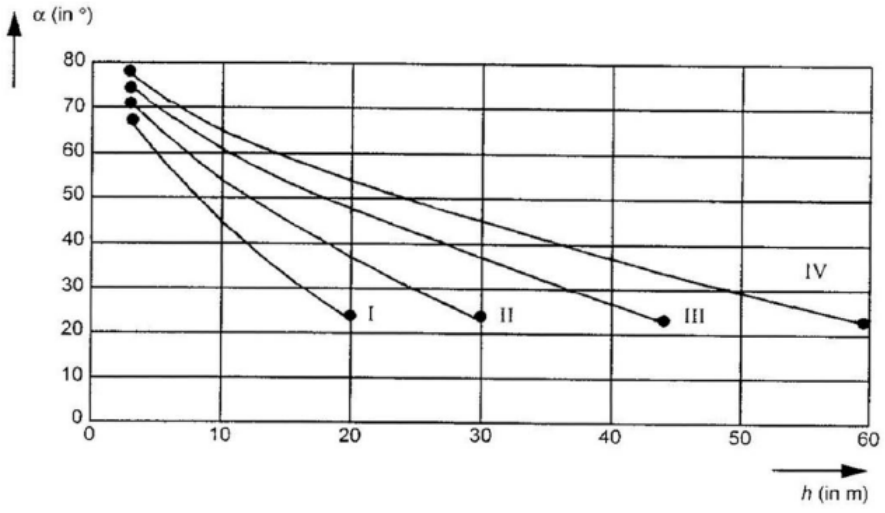
تقوم جميع أنواع اللواقط بنفس الوظيفة، ولكن عند اختيار نوع اللواقط يجب أخذ الملاحظات التالية بالحسبان:

- تستخدم اللواقط الهوائية على شكل إبر فرانكلين في نظام الحماية المعزول، وفي المباني ذات الأبعاد القليلة، أو في حماية جزء صغير من المباني ذات الأبعاد الكبيرة. وارتفاع هذه الإبر في نظام الحماية غير المعزول يجب أن يتراوح بين $(2-3)\ m$ حتى لا تزيد إمكانية الإصابة بصاعقة من جهة، ولسهولة التنفيذ من جهة ثانية.
- لا تستخدم إبر الحماية (إبر فرانكلين) في المباني التي يزيد ارتفاعها عن ارتفاع المرحلة الأخيرة للصاعقة المقابل لدرجة الحماية المطلوبة، واستخدام الإبر في هذه الحالة لا يمنع إصابة المبنى بصاعقة، حيث يمكن لكرة الصاعقة أن تلامس جدار المبنى.

عند تصميم الشبكة الهوائية يجب التأكد من أن كامل المبنى المراد حمايته يقع ضمن مجال الحماية، وتعد طريقة تنفيذ الشبكة الهوائية مناسبة إذا تحققت متطلبات الجدول (٣-١) لأبعاد فتحات قفص فراداي وزاوية الحماية لقضيب فرانكلين حسب درجة الحماية.

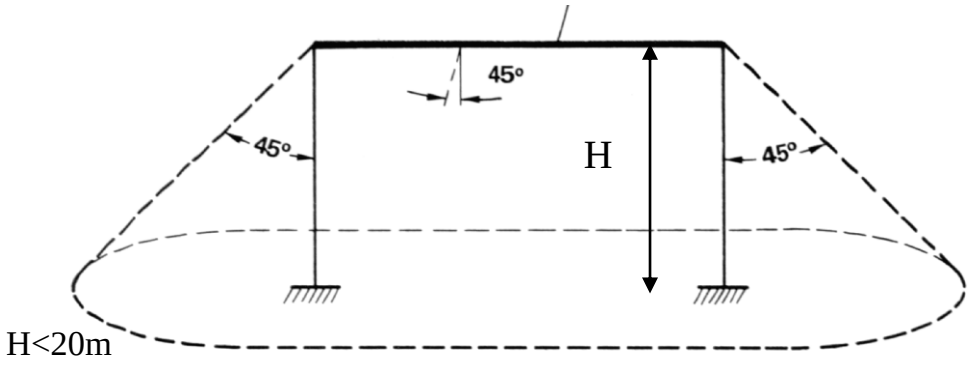
الجدول (٣-١) زاوية الحماية للشبكة الهوائية حسب مستوى الحماية.

درجة الحماية	نصف قطر كرة الصاعقة [m]	أبعاد شبكة الحماية [m]	زاوية الحماية α [°]
I II III IV	20 30 45 60	5×5 10×10 15×15 20×20	انظر الشكل



ملاحظة 1: عند أبعاد أكبر من البعد المبين بالنقطة ● لا يمكن استخدام نظرية زاوية الحماية وإنما استخدام نظرية قفص فراداي أو نظرية الكرة المتدحرجة.
ملاحظة 2: h – ارتفاع العمود المعدني (عمود الحماية) عن مستوى الحماية.
ملاحظة 3: لا تتغيّر زاوية الحماية من أجل $h < 2\ m$.

في الأبنية التي يقل ارتفاعها عن ٢٠م وعند استخدام أكثر من لاقط مدبب (مدببين مثلاً) البعد بينهما ٥ م فإن مجال الحماية لهما بالإضافة إلى مجال الحماية لكل منهما هو المساحة التي تحصرها زاوية قدرها ٤٥ْ درجة أيضاً لمستقيم وهمي يصل رأسيهما وهي عبارة عن مستطيل عرضه مساوي ضعفي الارتفاع .



أما إذا كان البعد بين لاقطين مدببين ارتفاعهما H أقل من ٣٠ م فان مجال الحماية لهما بالإضافة إلى مجال الحماية لكل لاقط مدبب هو المساحة بينهما التي تحصرها زاوية قدرها ٤٥ درجة لمستقيم وهمي يصل رأسيهما على ارتفاع h وهي عبارة عن مستطيل عرضه يساوي 2 h.

و يعطى الارتفاع h بالعلاقة

$$h = H - \Delta H$$

وإن قيم ΔH تؤخذ من المنحنيات المبينة في المراجع

يجب أن تربط جميع الإبر اللاقطة مع بعضها البعض جيداً بنواقل تحقق الشروط المطلوبة للمواد المستخدمة في نظام الحماية من الصواعق، وإذا كانت البعد بين لاقطين المدبين أكثر من ٣٠م فإن مجال الحماية لها هو مجال الحماية لكل واحد منها على حدة فقط.

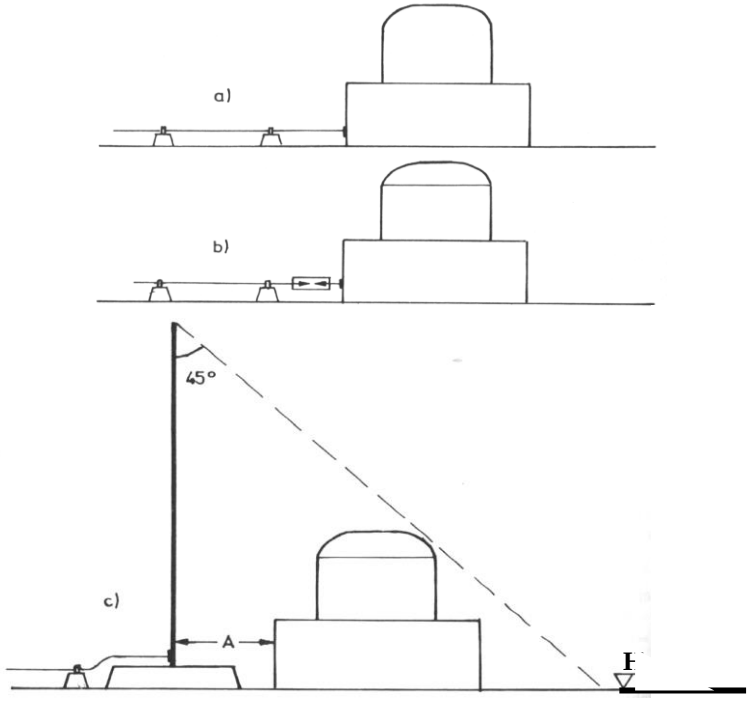
–وفي الأبنية ذات الإمتداد الأفقي المحدود والإرتفاعات العالية نسبياً (المآذن –أبراج الكنائس – خزانات المياه –المداخن المرتفعة للمعامل) يمكن الإكتفاء بقضيب حماية واحد يربط إلى الأرض بواسطة خط نازل أرضي واحد على الأقل.

– وعندما يزيد إرتفاع الأبنية المذكورة أعلاه عن ٢٠م يجب أن يركب لها حماية أفقية (ناقل معدني يحيط بها لكل إرتفاع قدره ٢٠م) إذا لم توجد نوازل أرضية على محيطها.

– يفضل إستخدام نظام قضيب فرانكلين في الحماية من الصواعق عند وجود مناسيب مختلفة لسطح المبنى المراد حمايته للإستفادة من فرق الإرتفاع في زيادة مجال الحماية للقضيب حيث يركب القضيب المدبب في أعلى البناء

– كذلك يفضل إستخدام هذا النظام عند وجود أجهزة كهربائية على السطح وفي هذه الحالة يثبت القضيب المدبب على بعد لايقل عن ٥٠ سم من هذه الأجسام والشكل يبين كيفية حماية الأجهزة الكهربائية المتواجدة على السطح.

– وفي حال وصل هذه الأجهزة مباشرة مع نواقل الحماية المستخدمة في قفص فان جزءاً من تيار الصاعقة سوف يسري في هذه الأجهزة مسبباً حدوث توترات زائدة في لوحات التوزيع الكهربائية التي تغذيها ولمنع سريان هذا الجزء من التيار تستخدم ثغرات هوائية عندئذ يمكن وصل هذه التجهيزات بنظام الحماية من الصواعق أو يمكن أن يتم حماية هذه الأجهزة بواسطة قضبان فرانكلين .



النوازل:

هي نواقل معدنية تصل بين الشبكة الهوائية(اللواقط) وبين آبار التأريض مهمتها امرار التيار الذي يسري في اللواقط عند الاصابة بصاعقة الى الأرض ويجب أن تتحمل جميع الاجهادات الناتجة عن مرور التيار ويكون الحد الأدنى لمقطعها المسموح باستخدامه كما هو مبين بالجدول

المعقطع mm^2	المعدن
١٦	نحاس
٢٥	ألمنيوم
٥٠	حديد مغلفن

يجب أن يمدد نازل أرضي واحد لكل طول محدد من محيط البناء حسب درجة الحماية ومحيط البناء و توزع بالتساوي اعتباراً من إحدى زوايا البناء وذلك من أجل تأمين عدة مسارات تفرعية للتيار. أما إذا كان محيط المبنى لا يقبل القسمة على الأعداد المبينة في الجدول يضاف نازل واحد مهما كان حاصل القسمة وتوزع المسافة بين النوازل بالتساوي (مثلاً لبناء محيطه 185 m ودرجة حمايته من الدرجة الثالثة يجب تمديد ١٠ نوازل أرضية البعد بين النازل والذي يليه/18.5 m)

البعد الوسطي بين النوازل بـ m	درجة الحماية
١٠	١
١٥	٢
٢٠	٣
٢٥	٤

وعند تعذر المحافظة على السافة المحددة بين نازل وآخر لأي سبب من الأسباب
(أبواب عريضة مثلاً) يجب المحافظة على عدد النوازل ثابتاً وزيادة هذا العدد في أحد الجوانب بحيث لا يقل بين نازل وآخر يليه عن ٥ م .

يجب أن يسلك النازل الأرضي أقصر طريق بين الشبكة الهوائية والأرض قدر الامكان كما يجب تفادي تشكل الزوايا الحادة في النازل الأرضي وإذا تعذر ذلك بين نقطتين يجب أن لايقل طول الفجوة S عن ٥٠ سم بين هاتين النقطتين .

– يتم استخدام وصلة قابلة للفك على كل نازل تركب على ارتفاع٢ م عن سطح الأرض تستخدم لقياس مقاومة التأريض.و في حال العمل الطبيعي تكون مغلقة. ويفضل أن يكون عدد الوصلات مساوياً لعدد المآخذ الآرضية كي نتمكن من قياس مقاومة التأريض لكل مأخذ على حده .

تحمى النوازل الأرضية بين الأرض ووصلة التفتيش من الصدمات الميكانيكية واللمس بتركيبها ضمن قساطل بلاستيكية متينة.

يجب أن لايقل البعد بين النازل والأرضي وفتحات الابواب والنوافذ المعدنية عن ٥٠سم

– في الأبنية العالية ذات الامتداد الافقي المحدود(أبراج –كنائس– مآذن –مداخن)

يستخدم النازل واحد حتى ارتفاع 20m ويستخدم نازلان أو أكثرعندما يزيد هذا الارتفاع عن 20m .

توصل النواقل النازلة مع بعضها بنواقل حلقية أفقية قرب مستوى الأرض تسمى نواقل تساوي الكمون وحلقات اضافية كل 20m ارتفاع .

– إذا كان الجدار مصنوعاً من مادة غير قابلة للاحتراق يمكن أن تتوضع النوازل الأرضية على سطح الجدار أو داخله أما إذا كان الجدار مصنوعاً من مادة سريعة الاشتعال فتوضع النواقل النازلة على سطح الجدران شريطة ألا يشكل ارتفاع درجة حرارتها الناتجة عن مرور تيار الصاعقة فيها خطراً على مادة الجدار .

– إذا كان الجدار مصنوعاً من مادة قابلة للاشتعال وكان ارتفاع درجة حرارة النوازل الأرضية يشكل خطراً عليه عندها تمدد النواقل النازلة بحيث لا يقل البعد بينها وبين البناء المراد حمايته عن 10 cm وإذا فرضنا أن تيار الصاعقة سوف يسري في ناقل نازل واحد فقط فان ارتفاع درجة حرارة الناقل تعطى بالجداول المارة سابقا، وتؤخذ القيم الكبيرة لارتفاع د رجة الحرارة بعين الاعتبار على الرغم من زمن تأثيرها الصغير جداً أما في حال استخدام أكثر من نازل واحد فيحسب ارتفاع درجة الحرارة لتلك الحالة .

– يمنع تركيب النوازل الأرضية ضمن المجاري أو المزاريب النازلة حتى ولو كانت مغطاة بمادة عازلة لأن الرطوبة الزائدة ضمن هذه المجاري تسبب تآكلاً شديداً للنواقل المعدنية الممددة فيها

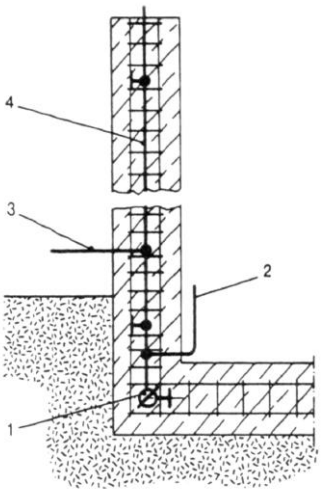
– يمكن اعتبار الأجزاء المعدنية من البناء نواقل نازلة شريطة تحقيقها استمرارية كهربائية جيدة ودائمة بين الشبكة الهوائية وآبار التأريض وأن تحقق هذه الأجزاء

– يمكن استعمال حديد تسليح الأعمدة البيتونية كنواقل نازلة اذا كانت تؤمن ناقلية كهربائية جيدة بين الشبكة الهوائية وآبار التأريض وقد اثبتت تجارب أجريت في السويد وسويسرا أن حديد التسليح العادي يمكن استخدامه كنوازل عند الشروط التالية التالية :

أ – لحام ٥٠٪ تقريباً من قضبان الربط الشاقولية والأفقية أو ربطها باحكام .

ب – لحام القضبان الشاقولية أو تراكبها على طول يعادل ٢٠ مرة من قطرها كحد أدنى وربطها باحكام بحيث تحقيق استمرارية كهربائية لفولاذ التسليح بين الوحدات الاسمنتية المتجاورة مسبقة الصنع .

– عندما لاتستطيع قضبان التسليح تأمين ناقلية كهربائية جيدة فان نواقل خاصة يجب امدادها في الأعمدة تصل بين الشبكة المعدنية ومآخذ التأريض ، 2m



1. تأريض بواسطة الأساسات.
2:وصلة تساوي الكمون .
3:وصلة لربط الأجسام المعدنية .
4:النازل يربط كل ٢م بشكل جيد مع حديد التسليح.

تمديد نواقل اضافية ضمن حديد التسليح للأعمدة

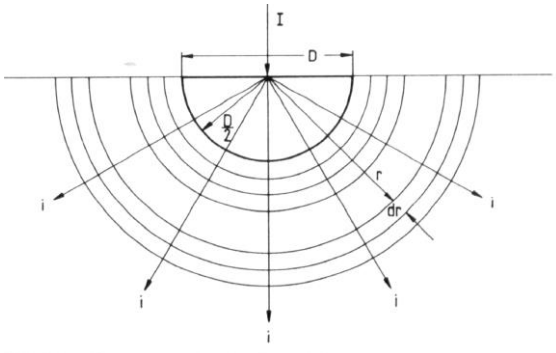
– وعند إستخدام حديد التسليح أو نواقل خاصة ممددة في الأعمدة كنوازل أرضية تركب وصلة التفييش المستخدمة في قياس مقاومة التأريض عند بداية النواقل التي تصل بين النواقل النازلة وآبار التأريض وفي حال التأريض بواسطة حديد الأساسات تركب هذه الوصلة على السطح في نقطة وصل النواقل النازلة مع الشبكة الهوائية (اللواقط).

الشبكة الأرضية:

الشبكة الأرضية هي مجموعة النواقل المعدنية المطمورة في الأرض لتفريغ تيار الصاعقة فيها .

مفهوم مقاومة التأريض:

المقصود بمقاومة التأريض هي المقاومة بين القطب الأرضي وقطب أخر موجود خارج مجال تأثير القطب الأرضي أي التيار المار في القطب الأرضي الذي لايسبب أي فرق توتر في مجال القطب المساعد وهذا المفهوم يمكن فهمه بسهولة عند أخذ مفهوم التدفق في مجال القطب الأرضي بعين الاعتبار



يبين الشكل قطب تأريض على شكل نصف كره يفرغ من خلاله تيار I هذا التيار سوف يتوزع بالأرض في جميع الإتجاهات فإذا فرضنا أن المقاومة النوعية للأرض متجانسة وبتقسيم الأرض بالقرب من القطب الأرضي إلى عدة قطاعات صغيرة عرض كل منها dr ونصف قطره ro حيث يشكل كل قطاع مقاومة طولها dr ومقطعها $2\pi r^2$ (مساحة القطاع) ومادة هذه المقاومة هي الأرض التي مقاومتها النوعية ρ ، فان مقاومة قطاع ما تعطى بالعلاقة التالية:

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

والمقاومة الكلية التي يجتازها التيار هي مقاومة جميع القطاعات من سطح الكرة ذات نصف القطر r =D/2 حتى r→∞ تكتب هذه العلاقة رياضياً كمايلي:

$$R_E = \frac{\rho}{2\pi} \sum_{r=D/2}^{r=\infty} \frac{dr}{r^2} \qquad (٩-٥)$$

أن حل هذا المجموع (تكامل رياضي) سهل جداً معR/D

وتعطى مقاومة التأريض بالعلاقة:

$$R_E = \frac{\rho}{\pi D} \qquad [\Omega] \qquad (٥-١٠)$$

وهي الشكل المعروف لمقاومة التأريض على شكل نصف كرة .

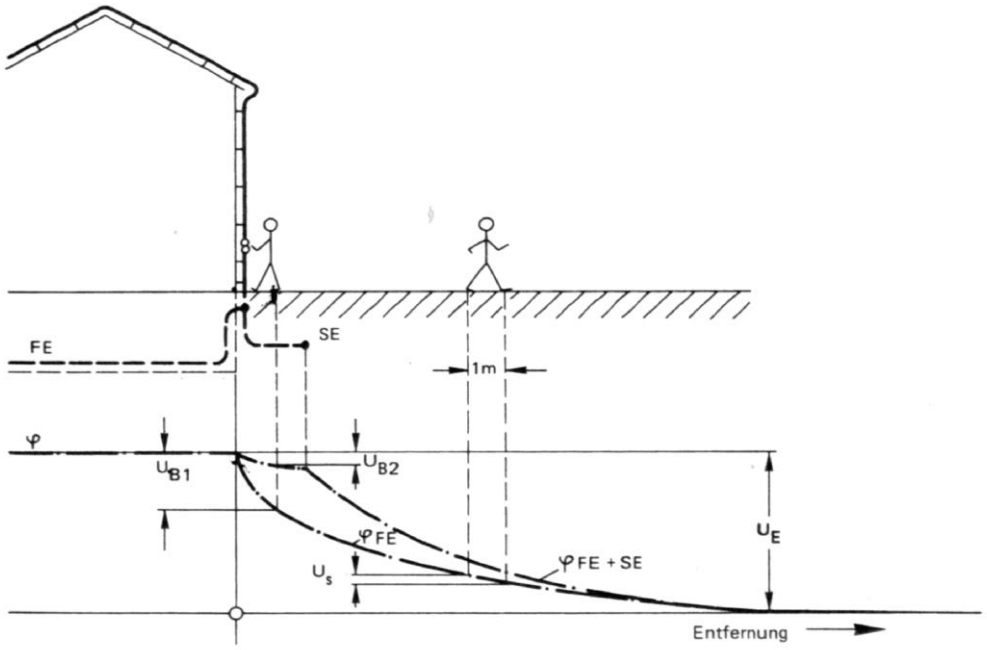
حيث:

ρ المقاومة النوعية بـ Ω.m

D قطر القطب الأرضي بـ m

ولا يوجد قيمة محددة لمقاومة التأريض في نظام الحماية من الصواعق ، وإن عدم حدوث توترات عالية خطيرة أثناء تفريغ التيار بالأرض (توتر الخطوة –توتر التماس) أهم بكثير من تحديد قيمة معينة لمقاومة التأريض الشكل (٥-٢٨)

فتوتر الخطوة هو التوتر الذي يطبق على جسم الإنسان عندما يسري التيار في الأرض بين رجليه أما توتر التماس فهو التوتر الذي يطبق على جسم الإنسان عندما يسري التيار فيه بين يديه أو بين يد ورجل والأرض .



φ:كمون الأرض. U_E:توتر الأرضي.

FE: تأريض الأساسات. U_B: توتر التماس .

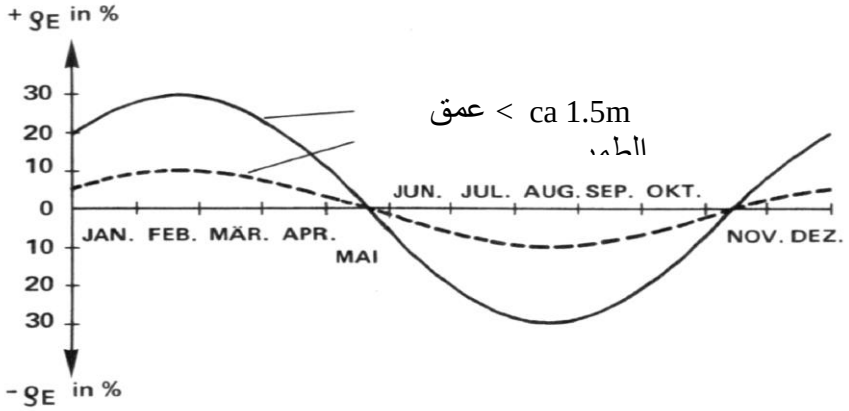
SE: تأريض حلقي. U_S :توتر الخطوة .

أن **<u>قيمـة مقاومـة الأرض</u>** تحددها المقاومة النوعية للتربة التي طمرت فيها آبار التأريض وتتعلق هذه الأخيرة بطبيعة التربة الجدول رقم (٥-٦) وبدرجة الحرارة ففي أشهر الصيف تبلغ قيمتها الصغرى بسبب عامل التمدد الحراري للأرض

(α = 0.002 – 0.04) أما في أشهر الشتاء فتبلغ قيمتها العظمى

نوع التربة	P= (Ω – m) المقاومة النوعية للتربة
مياه البحر	0.3
مياه نهر أو بحيرات	10-100
مستنقعات	20-40
أرض زراعية (وحل)	90-150
أرض رملية رطبة	400-200
أرض رملية جافة	1000-2000
أرض صخرية	100-3000
أرض غضارية	500-1500
بيتون	150-500

علاقة المقاومة النوعية للتربة بطبيعتها



تغير المقاومة النوعية للتربة السطحية خلال أشهر السنة

ومن الأخطاء الشائعة معالجة التربة إذا كانت مقاومتها النوعية كبيرة وذلك بإضافة ملح وفحم ،ولكن الأبحاث والتجارب بينت أن لهذه المواد أثراً عكسياً على المعدن المستخدم في التأريض إضافة إلى تسربها بالتربة خلال بضعة أشهر. ومن المتعارف عليه حالياً هو إضافة سيليكات الألمنيوم الذي لا ينحل بالماء ولا يسبب صدأ المعدن المستخدم وبهذه الطريقة يمكن تخفيض مقاومة التربة للأرض الكلسية إلى النصف والأرض الصخرية حوالي ١٠٪ ولا تحتاج التربة إلى معالجة عندما تكون المقاومة النوعية لها اقل $300\Omega.m$.

وقد بينت الدراسات أن تغير قيمة المقاومة النوعية للتربة تتعلق بعمق طمر آبار التأريض، ففي حال آبار التأريض على عمق أقل من 150cm فإن الفرق بين القيمة العظمى والقيمة الصغرى للمقاومة النوعية للتربة تقريباً 60% من القيمة الوسطى لها وفي حال طمر المآخذ على عمق أكبر من 150cm فإن الفرق عن القيمة الوسطى يكون بحدود 20% إن تغير قيمة المقاومة النوعية للتربة بالنسبة إلى أشهر العام يكون جيبياً تقريباً وبالإعتماد على ذلك يمكن حساب القيمة العظمى المتوقعة لمقاومة الأرضي عند قياس هذه القيمة في يوم محدد من السنة، ففي حال إستخدام التأريض بواسطة الأوتاد فإن قيمة مقاومة الأرضي المقاسة في حالة أرض رطبة تضرب بالعامل /3/ وفي حالة أرض جافة تضرب بالعامل /2/ وفي حال إستخدام التأريض السطحي فإن قيمة مقاومة الأرضي المقاسة للأرض الرطبة تضرب بالعامل /4/، وللأرض الجافة تضرب بالعامل /2/.

مفهوم المقاومة الأرضية النبضة R_{st}:

هي النسبة بين القيمتين الأعظميتين لتوتر وتيار شبكة التأريض اللتين لاتحدثان عادة بشكل متزامن أو آني وتستخدم للدلالة على فعالية شبكة التأريض.

وعند إستخدام أقطاب التأريض الطويلة مثل التأريض الحلقي أو التأريض بواسطة الأوتاد فإن قيمة مقاومة الأرضي أثناء مرور تيار الصاعقة في هذه الأوتاد (مقاومة الأرض النبضية) R_{st} لا تساوي قيمة مقاومة الأرض الساكنة R_A المقاسةأو المحسوبة عند مرور تيار متغير فيها ذي تردد مساوٍ أو قريب من ٥٠ هرتز إذا كان طول هذه الأقطاب يزيد عن تسعة أمتار.

ويمكن إعتبار أقطاب التأريض الطويله عبارة عن عدد من رباعي الأقطاب π موصولة على التسلسل وهذا يؤدي إلى إنقاص الطول الفعال وبالتالي زيادة R_{st} بالمقارنة مع R_A كذلك تؤدي شرارات الانفراغ التي تحدث في الأرض أثناء تفريغ تيار الصاعقة إلى خفض قيمة مقاومة الأرض النبضية بالمقارنة مع مقاومة الأرض الساكنة وذلك بزيادة نصف قطر الوتد الأرضي.

الطول الفّعال لأقطاب التأريض:

يمكن إعتبار وتد التأريض إسطوانة محورية الشكل (٥-٢٩) وتيار الصاعقة الذي يسري في الوتد ذي الطول L ونصف القطر r يتوزع أفقياً في الأرض إلى عدة تيارات جزئية وتشكل التيارات الجزئية بذلك إسطوانة نصف قطرها ra فإذا إفترضنا المقاومة النوعية للتربة المحيطة بقطب التأريض ρ_E وثابت العازلية ε_r والسماحية μ_r ρ_E يمكن أن تأخذ عدة قيم ، كذلك يتغير ε_r بين عدة قيم حسب متانة التربة ورطوبتها فهي تساوي (١) للهواء و(٨) للماء أما μ_r فتساوي الواحد تقريباً.

ومن أجل جزء طوله 1m من الوتد فإن الشكل يعبر عنه برباعي أقطاب .

وعلى هذا الجزء من الناقل تظهر المقاومة الطولانية $R^/$ والتحريضة الطولانية $L^/$ والسعات العرضانية $C^/$ (مقسومة إلى جزأين $C`^/2$) والناقلية العرضانية $G^/$ مقسومة إلى جزأين أيضاً $G^/2$ وباهمال $R^/$ على إعتبار أنها صغيرة جداً بالمقارنة مع المقاومة الصدمية للأرض كذلك يهمل $C^/$ بالمقارنة مع G لأن التيار السعوي الذي يسري في $C^/$ صغير جداً بالمقارنة مع التيار الأومي الذي يسري في $G^/$ عندئذ تعطى $L^/$ و$G^/$ لجزء الناقل بالعلاقتين التاليتين:

$$L\epsilon = \frac{\mu_0}{2\pi}\ln\frac{r_a}{r}$$

$$G\epsilon = \frac{2\pi}{f_E}.\frac{1}{\ln r_a/r}$$

ويطرح السؤال نفسه حول قيمة r_a حيث أن r_a لها تأثير لوغارتمي فقط ويمكن إعتبارها تساوي الواحد .

$$L\epsilon = 0.200\ln l/r$$

$$G\epsilon = \frac{2\pi}{f_E}.\frac{1}{\ln l/r}$$

حيث:

L :طول الوتد بـ m

R : نصف قطر التوتد بـ m

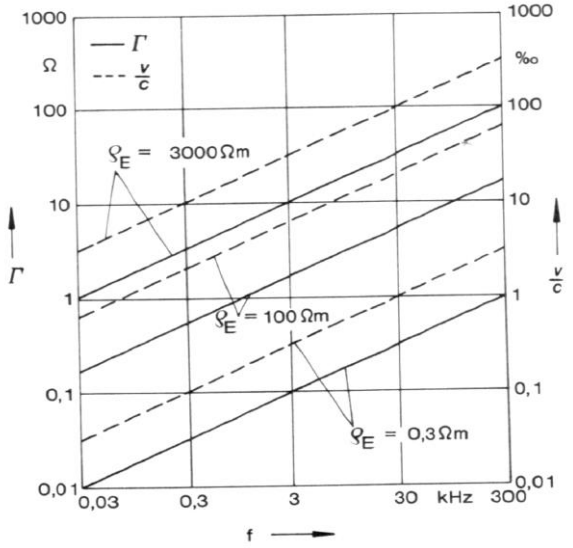
ρ_E: المقاومة النوعية للتربة بـ Ω.m

وإذا إعتبرنا جزء الوتد المبين في الشكل ناقلاً تتحرك عليه موجات مسافره وبإعتبار ممانعته الموجيه r وسرعة الموجة v(من أجل تربة طبيعية C`=0 , R`=0) عندئذ تعطى r و v بالعلاقتين التاليتين:

$$r = \sqrt{\frac{2\pi f l \varepsilon}{G \varepsilon}}$$

$$v = \sqrt{\frac{4\pi f}{l \varepsilon G \varepsilon}}$$

يبين الشكل علاقة كل من المقاومة الموجية r والسرعة الموجية v المحسوبة بالنسبة لسرعة الضوء c بالتردد وبأخذ تغير المقاومة النوعية للتربة بعين الإعتبار من الشكل (٥-٢٩) نرى أن المقاومة الموجية r من أجل تردد



الممانعة الموجية وسرعة الموجة في قطب أرضي

r = 1cm l = 10 cm

يقارب l00kHZ ومقاومة نوعية تبلغ حوالي ρ_E **100Ω.m** = تبلغ حوالي 10Ω أما v/c فتبلغ قيمة صغيرة جداً من أجل القيم المذكورة حيث لاتتجاوز هذه القيمة 0.03 .

ولكل وتد طول يسمى الطول الفعال L_{eff} لأن السرعة الموجية في الوتد صغيرة جداً اذا ماقورنت بسرعة الضوء وإن زيادة طول الوتد عن الطول الفعال لا يسبب أي خفض في قيمة مقاومة الأرض الصدمية .

إن الطول الفعال للوتد يعطى بالعلاقة:

$$L_{eff} = \sqrt{\frac{T_1}{l \varepsilon G \varepsilon}} = 0.9\sqrt{T_1 . f_E} \ [m]$$

T_1 : الزمن الجبهي لتيار الصاعقة بـ µs

L` : تحريضية الوتد المحسوبة للمتر الواحد بـ H/m

G' ناقلية مادة الوتد محسوبة للمتر الواحد S/m

ρ_E : المقاومة النوعية للتربة بـ Ω.m

أما مقاومة الأرض الصدمية R_{st} فتعطى بالعلاقة:

$$R_{st} = \frac{1}{G\varepsilon L_{eff}} [\Omega]$$

G' ناقلية مادة الوتد محسوبة للمتر الواحد s/m

L_{eff} :الطول الفعال للوتد بـ m

وإذا إعتبرنا T1 تساوي 10µs من أجل النبضة الأساسية للتيار

أو T1=0.25 µs ومن أجل النبضة اللاحقة لتيار الصاعقة

فإن:

$$l_{eff} = 2.9\sqrt{\rho_E}\ [m]$$

من أجل نبضة التيار الأساسية الموجبة أو السالبة

أو :

$$l_{eff} = 0.45\sqrt{\rho_E}\ [m]$$

من أجل ذيل النبضة اللاحقة لتيار

أما التأريض السطحي فيمكن إعتباره على شكل إسطوانة محورية وبالتالي:

$$G\varepsilon = \frac{3.14}{\rho_E} \cdot \frac{1}{\ln l/r} \qquad (٢١-٥)$$

el

$l_{eff/10\,\mu s} \approx 1{,}3\sqrt{10 \cdot 30} = 23\,m$

Da $l < l_{eff/10\,\mu s}$, ist / wirksam!

$l_{eff/0{,}25\,\mu s} \approx 1{,}3\sqrt{0{,}25 \cdot 30} = 3{,}6\,m$

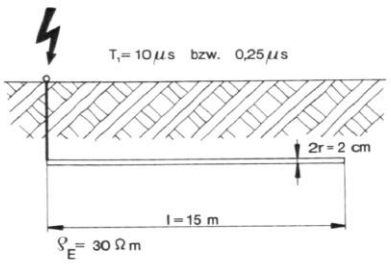
$G' =$ (5-3-2) 014 S/m

0,01

$R_{st/10\,\mu s} = \frac{1}{0{,}014 \cdot 15} = 4{,}8\,\Omega$

$R_{st/0{,}25\,\mu s} = \frac{1}{0{,}014 \cdot 3{,}6} = 20\,\Omega$

$R_A = 4{,}7\,\Omega$ (siehe Kapitel 11.4)



إن الطول الفعال لطول سلك التأريض L_{eff} ومقاومة الأرض النبضية يعطيان بالعلاقتين التاليتين:

$$l_{eff} \approx 1.3\sqrt{T_1.\rho_E} \quad [m]$$

$$R_{st} = \frac{1}{G\epsilon.l_{eff}} \quad [\Omega]$$

T_1 : الزمن الجبهي لنبضة تيار الصاعقة بـ µs

f_E : المقاومة النوعية للتربة بـ Ω.m

L : طول سلك التأريض بـ m

r : نصف قطر سلك التأريض بـ m

مثال :

مثال

$l_{eff/10\mu s} \approx 2{,}9\sqrt{30} = 16\,m$

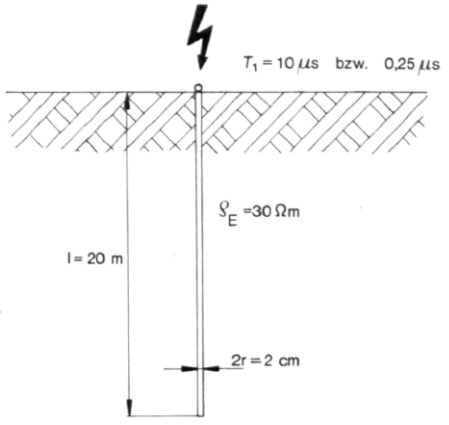
$l_{eff/0{,}25\mu s} \approx 0{,}45\sqrt{30} = 2{,}5\,m$

$$G' = \frac{6{,}28}{30} \cdot \frac{1}{\ln \frac{20}{0{,}01}} = 0{,}028\,S/m$$

$$R_{st/10\mu s} = \frac{1}{0{,}028 \cdot 16} = 2{,}2\,\Omega$$

$$R_{st/0{,}25\mu s} = \frac{1}{0{,}028 \cdot 2{,}5} = 14\,\Omega$$

$R_A = 1{,}8\,\Omega$



الأستاذ الدكتور المهندس محمد نضال الريس

استاذ هندسة التوتر العالي بجامعة دمشق

رئيس لجنة الهندسة الكهربائية المركزية في نقابة المهندسين السوريين

٢٠٢٠م