

النمذجة الفيزيائية لانتقاء الطاقة

بواسطة خط مانعة الصواعق

د. هاني محمد*

د. إبراهيم عى الأجلل**

المقدمة:

في مجال خطوط التوتر العالي أكبر من 66Kv توجد أحياناً أحمال كهربائية صغيرة متناثرة هنا وهناك. هذه الخطوط ممكن استعمالها في تغذية مثل هذه الأحمال دون استعمال الطرق التقليدية المعروفة (خطوط التوزيع من مراكز التغذية الرئيسية، محطات الديزل، محطات التحويل... الخ) وذلك لقلة الجدوى الاقتصادية لاستعمال مثل هذه الطرق وخاصة إذا كانت هذه الأحمال بعيدة عن مراكز التغذية الرئيسية أكثر من نصف القطر الاقتصادي. فمثلاً لتغذية حمل صغير بحدود عشرات الكيلوات بعيداً عن مراكز التغذية 50 كم يحتاج إلى بناء خطوط إضافية وإلى محولات... الخ وهذا يتطلب نفقات إضافية بالإضافة إلى المصاريف الاستثمارية الأخرى والضياعات الكهربائية الإضافية. فهذا يكون غير مجدياً من الناحية الاقتصادية

(*) كلية الهندسة - سرت.

(**) كلية الهندسة - هون

لذلك يجب البحث عن طرق أخرى لتغذية مثل هذه الأحمال وخاصة أنها تكون واقعة ضمن مجال خطوط التوتر. من بين الطرق عزل خط مانعة الصواعق لمسافة محددة (حسب قدرة الحمل) عن الأرض مع الحفاظ على وظيفتها الأساسية (حماية خطوط التوتر من الصواعق المباشرة بواسطة الفجوات الهوائية). وإمكانية نجاح هذه الطريقة تم عمل نموذج فيزيائي في المختبر بكلية الهندسة بجامعة خليج سرت وأثبتت النتائج صحة الطريقة.

النمذجة الفيزيائية:

تعد النمذجة الوسيلة الأكثر فاعلية للتحليل ووضع الاحتمالات المتوقعة للأنظمة بشكل عام، فهناك النمذجة الرياضية والنمذجة الفيزيائية - وتمتلك النمذجة الرياضية الأفضلية عند التحليل وإعطاء النتائج الدقيقة والصحيحة إلا أنها أحياناً لا تستطيع عكس جميع العمليات الفيزيائية التي تحدث في النموذج الطبيعي ولهذا لا بد من النمذجة الفيزيائية للنموذج الطبيعي سواء في المختبرات أو في المكان الطبيعي المخصص للنموذج.

تناولت الدراسة تصميم نموذج لخطوط التوتر العالي وخط مانعة الصواعق في المختبر.

عند اختيار النموذج الكهربائي اختير النموذج الفيزيائي والذي يشبه هندسياً إلى حد كبير خط التوتر الطبيعي.

صمم هذا النموذج في مختبر (كلية الهندسة - جامعة خليج سرت) ليعمل على ترددات عالية والسبب أنه بازدياد التردد تقل الأبعاد الهندسية وكذلك حجم العناصر الكهربائية التابعة للنموذج في المختبر مما يسهل عملية التحليل والبحث، إلا أن الزيادة العالية جداً في التردد تزيد من ضياعات الإشعاع مما يسبب في احتمال حدوث نسبة خطأ كبيرة في القيم المقاسة سواء كانت جهداً أم تياراً في خطوط النموذج ولهذا يجب أن يكون هناك حدٌ للتردد المسموح به عند عمل الأبحاث المخبرية على النموذج الفيزيائي.



ضياعات الإشعاع ليست بسيطة ولا يمكن إهمالها إلا إذا تحقق الشرط

التالي :

$$\frac{D}{r} \leq 0.02 \quad \dots\dots\dots (1)$$

حيث إن :

r : طول الموجة الكهرومغناطيسية .

D : المسافة بين خطوط التوتر العالي .

بالاعتماد على شرط العلاقة (1) ممكن أن تحدد قيمة التردد الحرجة

بالنسبة للنموذج الفيزيائي بالعلاقة التالية :

$$F_{Kr} = 0.02 \frac{V}{D} \quad \dots\dots\dots (2)$$

حيث :

V : سرعة الطاقة الكهرومغناطيسية في الفضاء .

$$V = 3.10^8 \text{ m/s}$$

وعندما تكون $f \gg f_{Kr}$ فإن جزءاً كبيراً من الطاقة يشع في الوسط المجاور لخطوط التوتر العالي مما يصعب عملية نقل القدرة على طول خطوط التوتر العالي .

حتى تكون قياسات الجهد الواقع على خط مانعة الصواعق في المختبر صحيحة يجب أن تكون المقاومة الداخلية لجهاز القياس أكبر من مقاومة الدائرة السعوية للنموذج وفي هذه الحالة يمكن استعمال مقياس عددي .

معنى ذلك أن :

$$Z_{imp.1} > Z_{sys} \quad \dots\dots\dots (3)$$

حيث :

$$Z_{sys} = \frac{1}{\omega(C_A^m + C_K)} \quad \dots\dots\dots (4)$$

C_A^m : السعة الجزئية بين مانعة الصواعق والأرض.

C_K : سعة كابل الوصل.

وكما هو معروف بأن الضجيج وحصر الأجهزة الكهربائية في مجال محدد يسبب وجود ترددات إضافية وعالية بالنسبة للترددات الصناعية ولهذا يجب أن يكون هناك حد للتردد المستعمل في المختبر بالاعتماد على العلاقة:

$$F_m = 10F$$

حيث:

F_m : تردد النموذج في المختبر.

F : التردد الصناعي.

عند الدراسة يتراوح التردد $f_m = (0.5 - 100 \text{ KHz})$.

سنبين فيما يلي العلاقة بين الأبعاد الهندسية وتردد النموذج الفيزيائي والطبيعي.

من المعروف من نظرية الاحتمالات في النظم الكهربائية أنه بالإمكان الحصول على نموذج فيزيائي للمجال الكهرومغناطيسي في عازل يشكل مجالاً ذا أبعاد هندسية للنموذج المشابه للطبيعي عندما تتحقق الفرضية التالية:

$$\Pi = L^2 \cdot \omega^2 \cdot \mu_0 \cdot \epsilon_0 \dots\dots\dots (5)$$

حيث:

L : الأبعاد الهندسية للنموذج الفيزيائي (أو الطبيعي).

ω : التردد الزاوي للنموذج الفيزيائي أو (الطبيعي).

$\mu_0 \cdot \epsilon_0$: النفاذية المطلقة الكهربائية والمغناطيسية للوسط.



عند نمذجة خط التوتر العالي في المختبر وعلى الطبيعة يستعمل نفس الوسط ولهذا وعلى أساس مساواة الفرضية المشابهة بالنسبة للنموذج الفيزيائي والنموذج الطبيعي نحصل على:

$$l_M^2 \cdot \omega_M^2 \cdot \mu_{om} \varepsilon_{om} = l_n^2 \cdot \omega_n^2 \cdot \mu_{om} \varepsilon_{om}$$

وبما أن:

$$\mu_{om} \varepsilon_{om} = \mu_{om} \varepsilon_{om}$$

عندها:

$$l_M^2 \cdot \omega_M^2 = l_n^2 \cdot \omega_n^2 \dots\dots\dots (6)$$

$$\omega = 2\pi f \text{ وكما هو معروف}$$

وتصبح المعادلة (6) كالتالي:

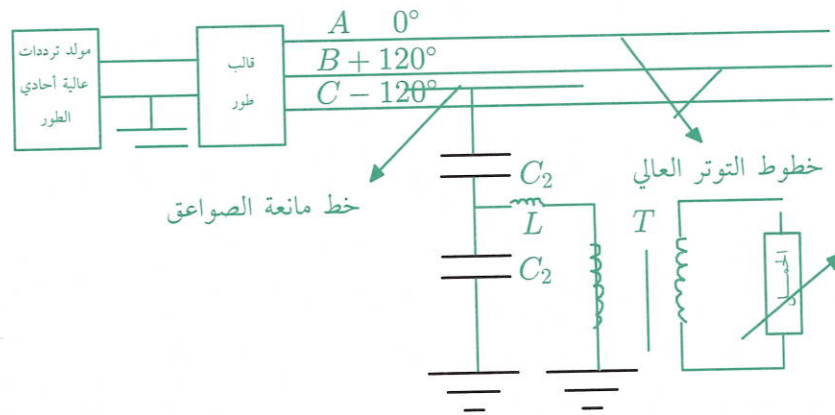
$$L_m^2 \cdot f_m = L_n^2 \cdot f_n \dots\dots\dots (7)$$

من المعادلة (7) نرى أنه عند زيادة التردد بالنسبة للنموذج الفيزيائي نحصل على تقليل الأبعاد الهندسية للنموذج ولهذا اخترنا في الدراسة النسبة بين أبعاد النموذج الفيزيائي والنموذج الطبيعي (1/150) والذي يقابل التردد (5-7.5 KHZ) إذن نستطيع القول بأن أفضل تردد عند انتقاء الطاقة من خطوط التردد العالي بواسطة خط مانعة الصواعق في المختبر يتراوح بين (0.5- 150KHZ).

النموذج الفيزيائي الذي صمم لدراسة إمكانية تغذية الأحمال الريفية (الصغيرة) من خطوط التوتر العالي بواسطة مجزآت الجهد عبارة عن خط توتر عالي مصغر مئة مرة.

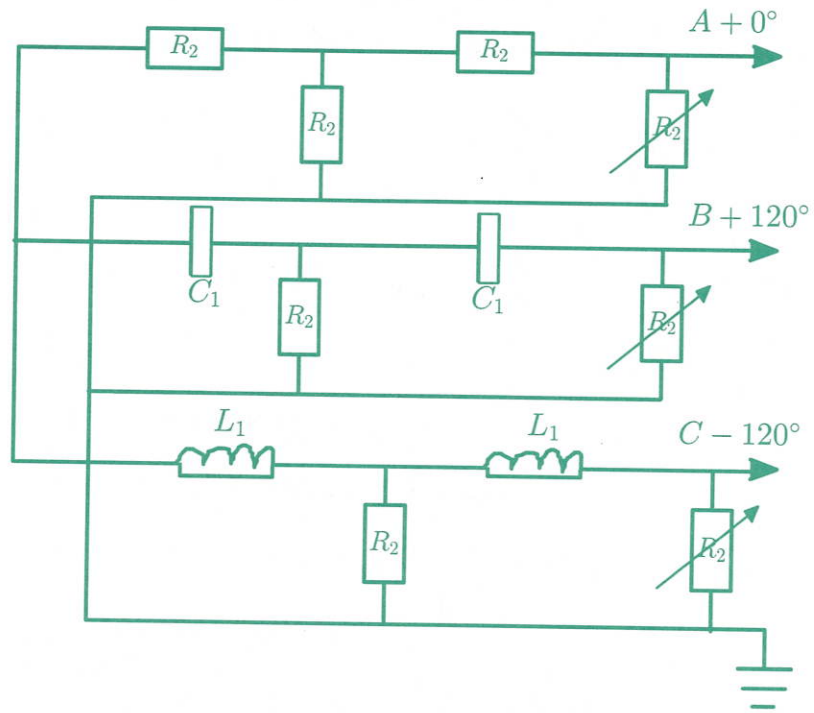
وخط مانعة الصواعق بنصف قطر (0.17 mm) والمسافة بين خطوط التوتر العالي ومانعة الصواعق تراوحت (20-50 mm) وطول كل منهما (3.6 m).

استعمل في الدراسة كمصدر تيار متناوب مولد ترددات عالية أحادي الطور، ومن أجل الحصول على تيار متناوب ثلاثي الطور صمم قالب طور، يحول التيار أحادي الطور إلى تيار ثلاثي الطور شكل (1) وهو عبارة عن ثلاثة أعداد من رباعيات الأقطاب السلبية والتي فيها أقطاب الدخل متوازية، رباعي الأقطاب الأول مشكل من الدائرتين في الشكل (2) مكافئتين ذات النصف الحلقي والمتكونة من العنصرين R-C التي تؤمن انحراف الطور بمقدار $+120^\circ$ أما رباعي الأقطاب الثالث فيتكون من مقاومات فعالة.



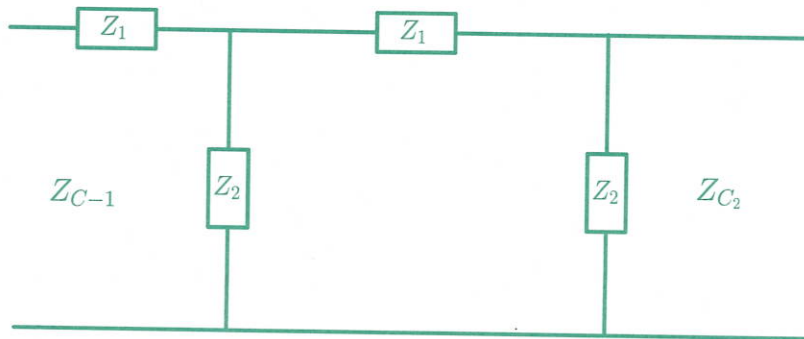
الشكل (1)

النموذج الفيزيائي لانتقاء الطاقة من خطوط التوتر العالي بممانعة الصواعق



الشكل (2)

أ: مخطط قالب الطور



ب: تمثيل قالب برباعي الأقطاب

من أجل نمذجة خط مانعة الصواعق وكذلك خطوط التوتر العالي
أجريت حسابات لمعرفة سعة ومحاثة النموذج الفيزيائي حسب المعادلة
التالية:

$$L_m = \frac{m_0 l_m}{2\pi} \left[L_n \frac{\sqrt[3]{2} d_m}{r_n} + 0.25 \right] \dots\dots\dots (8)$$

$$C_m = \frac{2\pi\epsilon_0 l_m}{L_n \left[\frac{\sqrt[3]{2} d_m}{r_n} \right] \frac{1}{\left[1 + \frac{d_m}{h_{eq}} \right]^2 \sqrt{1 + \frac{d_m}{h_{eq}}}}} \dots\dots\dots (9)$$

حيث:

l_m : طول خط النموذج الفيزيائي.

$m_0 \epsilon_0$: النفاذية المغناطيسية والكهربائية.

d_m : المسافة بين خطوط التوتر النموذج cm (4-6).

r_n^m : نصف قطر الخطوط.

h_{eq}^m : ارتفاع نقطة التعليق لخط مانعة الصواعق (النموذج).

h_{eq} : ارتفاع خطوط التوتر (النموذج).

وعند إهمال مركبة المقاومة الفعالة عندها ممكن أن نجد المقاومة
الموجبة للنموذج من العلاقة التالية:

$$Z_l^m = \sqrt{\frac{L_m}{C_m}} \dots\dots\dots (10)$$

بالنسبة للخط المتمائل رباعي الأقطاب وعندما تكون

$$Z_c = Z_l \dots\dots\dots (11)$$

عندها مقاومة الحمل للنموذج الفيزيائي.

$$Z_{L.m} = \frac{\eta \cdot Z_l^m}{1 - \eta} \dots\dots\dots (12)$$

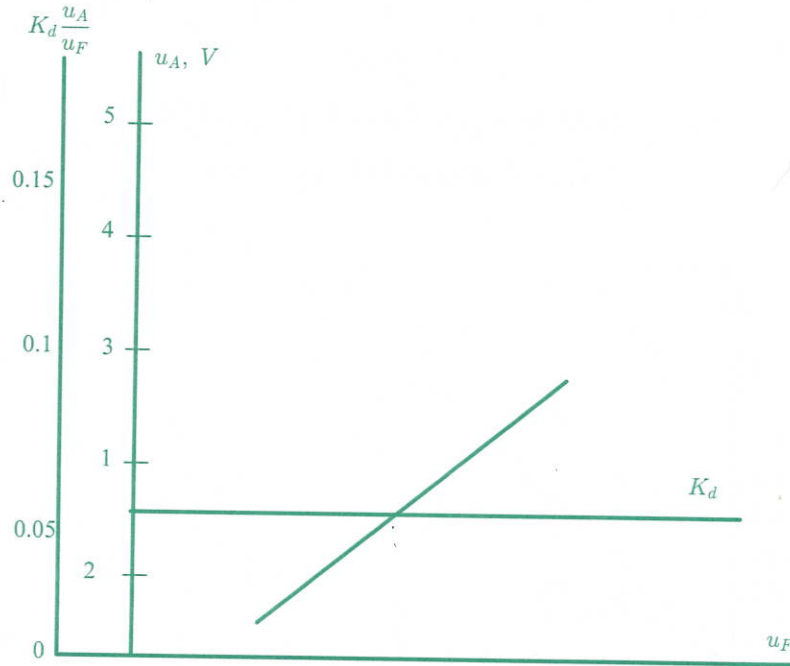
حيث η : المردود.

وبإعطاء قيمة لمردود الخط أو حسابه ممكن أن نجد مقدار حمل خط



النموذج من العلاقة (12). بواسطة النموذج الفيزيائي في المختبر أجريت عدة أبحاث ودراسات على أنظمة عمل خطوط التوتر العالي المختلفة، وتجزئة الجهد بواسطة المجزئات السعوية (المكثفات) أو مانعة الصواعق، طبعاً أجريت الدراسة عند ترددات مختلفة (7.5, 5, 0.5) Khz وعلى سبيل المثال أجريت الدراسة لنظام عمل النموذج بدون حمل وكذلك معرفة العلاقة بين جهد خط التوتر العالي والجهد الواقع على مانعة الصواعق المعزولة عن الأرض.

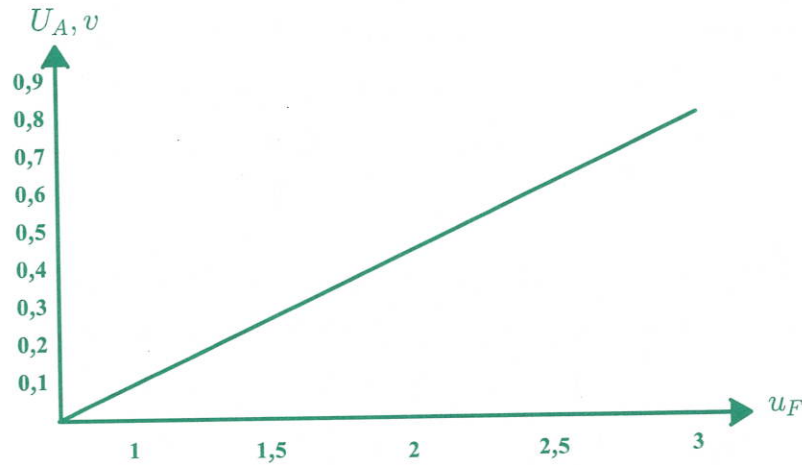
بعد الحصول على نتائج الدراسة على النموذج الفيزيائي رسمت من خلال هذه النتائج العلاقة بين الجهد وطول الخط والمسافة بين الخطوط، وكذلك السعات العاملة حسب الأشكال (5.4.3).



الشكل (3)

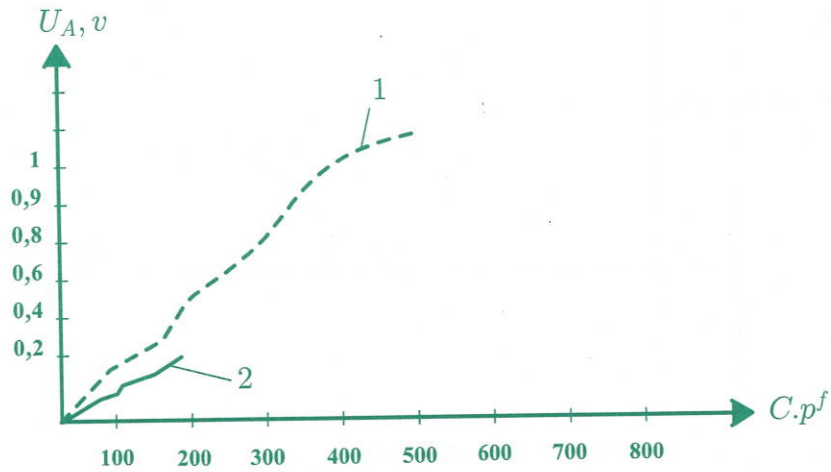
مخطط العلاقة بين الجهد المتولد على مانعة الصواعق
وجهد الطور لخطوط التوتر العالي

وكذلك العلاقة بين معامل التجزئة وجهد الطور لخط التوتر العالي .
المسافة بين خط التوتر ومانعة الصواعق 5cm .



الشكل (4)

العلاقة بين الجهد المتولد على مانعة الصواعق
وطول خط مانعة الصواعق المعزول



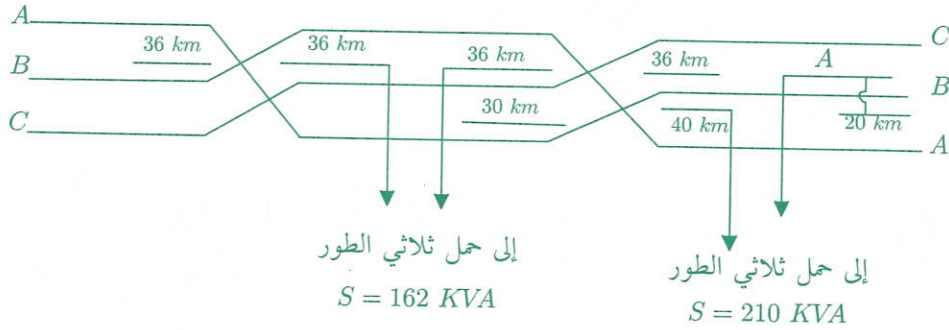
الشكل (5) العلاقة بين الجهد U_a والسعة C



1 - علاقة الجهد المتولد على المانعة والسعة عند وصل مكثف بين المانعة وخط التوتر.

2 - علاقة الجهد المتولد على المانعة والسعة عند وجود مكثف بين خط التوتر والمانعة.

للحصول على مصدر تيار لتغذية الأحمال ثلاثية الطور بواسطة خط مانعة الصواعق نجري عملية تعاقب الخطوط للأطوار العاملة ونحسب الطول المناسب لعزل المانعة عن الأرض وهذا يعتمد على مقدار القدرة أو الجهد اللازم للحصول عليه وقد أوردنا مثلاً على ذلك وضحناه على الشكل (6).



الشكل (6)

يبين مجزئين لمانعتين للصواعق مختلفتين
على نفس خطوط التوتر العالي 330 Kv

ولتسهيل الدراسة والأبحاث المتعلقة في النموذج الفيزيائي ومقارنتها في النموذج الطبيعي أوردنا هنا لوغارتم لحساب العناصر الضرورية للنموذج كما يلي:

- عامل التجزئة:

$$K_d^m = \frac{U_F^m}{U_{eq}^m} = \frac{U_F^n}{U_{eq}^n}$$

- السعة الكلية للمجزىء:

$$C_{\varepsilon}^m = K_d^m \cdot C_l^m$$

حيث: C_l^m : السعة بين المانعة والخطوط.

- سعة المكثف الستاتيكي الموصول مع مانعة الصواعق.

$$C_{2k}^m = C_2^m - C_{nn}^m$$

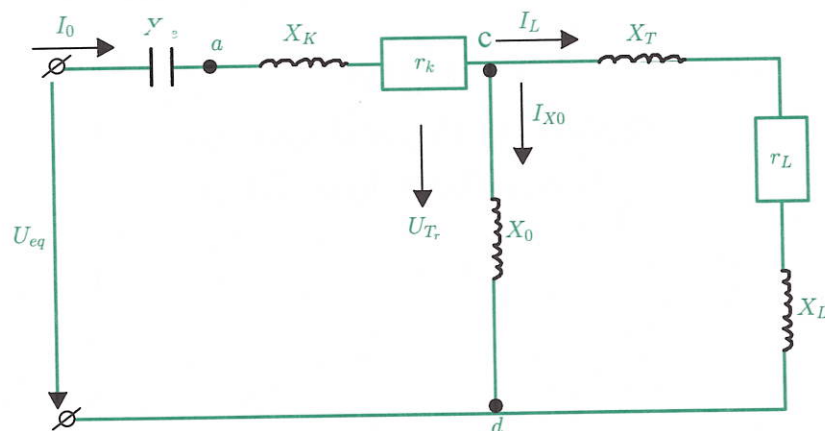
حيث: C_{nn}^m : السعة الذاتية.

- المحاطة للنموذج (المعوض لسعة المجزىء):

$$L^m = \frac{1}{(4\pi^2 \cdot f^{2m} \cdot C_{\varepsilon}^m)}$$

$$I_o^m = \frac{U_{eq}^m \sqrt{K_d^m - 1}}{2\pi \cdot f^m \cdot L^m}$$

- وحسب الدائرة الحسابية المكافئة لمجزىء الجهد بواسطة مانعة الصواعق شكل (7) نبذل الحمل والمحول الخافض للجهد بالمانعة Zaed.



الشكل (7)

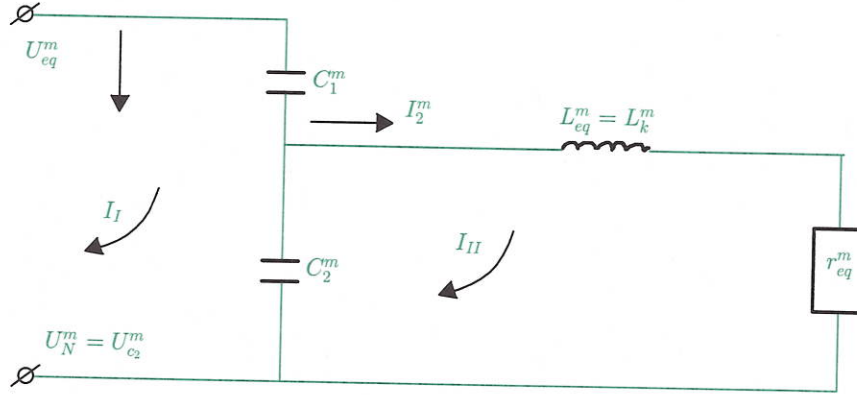
الدائرة الحسابية المكافئة للمجزىء السعوي (مانعة الصواعق).



نوجد المقاومة الفعالة للدائرة:

$$Z_{aed} = \frac{U_{eq}^m}{I_o^m}$$

عندئذ قيمة المقاومة الفعالة المكافئة للمجزىء في الشكل (8).



الشكل (8) الدائرة المكافئة للنموذج للمناعة

$$r_{eq}^m = r_{acd}^m + r_k^m$$

المقاومة الفعال لا تعتمد على التردد ولهذا تؤخذ بالتساوي سواء للنموذج أو الطبيعي.

$$r_{eq}^m = r_{eq}^m$$

- الجهد على مانعة الصواعق يساوي إلى جهد الذراع السفلي

للمجزىء.

$$U_N^m = U_{c2}^m = I_o^m \sqrt{(L_k^m)^2 + (r_{eq}^m)^2}$$

عندها تكون القدرة المنتقاة من خط مانعة الصواعق:

$$S_F^m = U_N^m \cdot U_{KL}^m \cdot \omega^m \cdot L_N^m$$

حيث: L_N^m : طول خط مانعة الصواعق للنموذج.

بعد حساب القدرة المطلوبة لتغذية حمل معين (صغير) وحسب توتر خطوط النقل يتم تحديد الطول اللازم عزله من خط مانعة الصواعق.

ويتم عزل الطول المطلوب بواسطة إحدى طرق العزل والتي منها الفجوات الفراغية، وبواسطة هذا الطول يتم الحصول على القدرة المطلوبة لتغذية الأحمال الأحادية الطور كما بالشكل (1) أو ثلاثية الأطوار كما بالشكل (6)، ويمكن استخدامها في التغذية الرئيسية أو كمصدر للتغذية الاحتياطية أو الاثنين معاً.

ونلاحظ ازدياد القدرة المنتقاة من خط مانعة الصواعق لنفس الطول بازدياد حمولة الشبكة وذلك بسبب ثبوت الجهد وازدياد التيار في خطوط التوتر الذي يؤدي إلى زيادة شدة المجال المغناطيسي لخطوط التوتر والمتغير مع الزمن (هذا المجال ينتج مجالاً كهربائياً حسب قانون فارداي) وبزيادته يزداد المجال الكهربائي الموجود ضمنه خط مانعة الصواعق وبذلك تزداد القوة الدافعة الكهربائية المتولدة في خط مانعة الصواعق وتزداد الطاقة المنتقاة من هذا الخط.

وفي حالة الإصابة المباشرة بالبرق لخط المانعة المعزول يتفرع تيار البرق (حيث إن ارتفاع التيار عند إصابة الصاعقة يتراوح بين 3 كيلو أمبير كحد أدنى و200 كيلو أمبير كحد أعلى) في مكان إصابة البرق إلى نصفين ينتقلا في كلا اتجاهات الخط على شكل موجات تيارية ويتعلق في هذه الموجات موجات توترية ذات نفس شكل الموجات التيارية وتتحول مانعة الصواعق في لحظة لا تتعدى الميكروثانية إلى دارة قصر عبر الفجوات الهوائية التي تعزلها عن الأبراج المؤرضة عند زيادة الجهد بصورة كبيرة عن جهد القفزة للفجوات الهوائية.

ويمر تيار البرق إلى الأرض عبر جميع المفراغات الموصولة مع بعضها

بواسطة خط مانعة الصواعق، ويبقى الوضع على هذا الحال حتى يضمحل الارتفاع الطارئ في الجهد والتيار وتعود مانعة الصواعق إلى حالتها الأولى ويحصل كل ذلك في زمن لا يتعدى الميكروثانية وبذلك لا يتأثر الحمل المغذي بواسطة مانعة الصواعق وخاصة أن الحمل مزود بحماية عند زيادة التيار أو الجهد.

الخلاصة:

الدراسة أثبتت ما يلي:

- أن أفضل طريقة من الناحية الاقتصادية لتغذية الأحمال الصغيرة والبعيدة عن مراكز التغذية الرئيسية والموجودة في مجال خطوط التوتر العالي هي استخدام خط مانعة الصواعق بعد عزله عن الأرض.
- يتناسب الجهد الواقع على خط مانعة الصواعق المعزول عن الأرض طردياً مع جهد خط التوتر العالي. ولا يعتمد على تردد التيار المتناوب أو القدرة بواسطته. ويزداد هذا الجهد أيضاً عند تقليل المسافة بين مانعة الصواعق وخط التوتر العالي.
- يمكن تقليل الضياعات الكهربائية الإضافية في خطوط التوتر العالي بعدة مرات عند عزل خط مانعة الصواعق لمسافات محددة.
- يمكن إجراء دراسة كاملة بواسطة هذا النموذج لخطوط التوتر العالي من حيث الجهد في بداية ونهاية الخط، القدرة، ضياعات القدرة، حالة العطل... الخ.



المراجع

- 1 - مجزآت الجهد السعوية - يورينكوف ف.أ. - منشورات الطاقة - 1985 - موسكو.
- 2 - تقنية مجزآت الجهد - د. بسام عطيه، د. هاني محمد - مجلة التمحيي - 1998 - العدد الثاني.
- 3 - حساب تيار الإزاحة في خطوط التوتر العالي - د. هاني محمد، د. إبراهيم علي الأجل - مجلة التمحيي - 1999 - العدد الثالث.