حساب تيار الإزاحة في مجال خطوط التوتر العالي

د. هاني محمد د.عماد العداسي د. إبراهيم الاجطل

كلية الهندسة – جامعة التحدي

مقدمة:

عند قيام الإنسان بأي عمل داخل مجال خطوط نقل القدرة الكهربائية (صيانة، ربط خطوط جديدة...الخ) فإن من أهم المؤثرات الأساسية لشدة المجال الكهربائي لهذه الخطوط على جسم الإنسان هو تسرب التيار خلاله إلى الأرض، ويدعى هذا التيار بتيار الإزاحة ويكون إلى حد كبير ذو تأثير خطر على حياة الإنسان. يمكن تحديد قيمة هذا التيار بالقياس سواء على خطوط التوتر العاملة أو في المختبرات الخاصة بالقدرة، وذلك بعمل نماذج خاصة تمثل الحالة المدروسة. وعملية بناء أو إعادة بناء خطوط توتر غير تقليدية تعتبر عملية غير مجدية من الناحية الاقتصادية لهذا من الأفضل استعمال النمذجة الفيزيائية والرياضية التي تعطى امكانية مقارنة الاحتمالات الورادة بالنسبة للخطوط المختلفة، ولهذا فمن الضروري اختبار نموذج خاص لجسم الإنسان وموقعه بالنسبة لخطوط التوتر العالي.

موضوع البحث:

لحساب شدة التيار الذي يتعرض له جسم الانسان العامل عند وجوده في مجال خطوط التوتر العالي تم إجراء بحث ودراسة عدة طرق نمذجة جسم الانسان، من بين هذه الطرق

1- عمل نموذج لجسم الانسان من اسطوانات معدنية ذات قياس $1{,}8 \times 1$ متر كما في الشكل (1) ومساحة سطح هذه الاسطوانات مساوياً لمساحة سطح جسم

الانسان مع الأخذ بعين الاعتبار تأثير وعدم تأثير جميع الاطوار (الفازات) على النموذج (جسم الانسان المعدني).

2- عمل نموذج بشكل اهليجي بإرتفاع 1.8 متر مكافئ لجسم الانسان بالحجم والسمك.

3- نموذج يتكون من كرة واسطوانتين كما هو موضح في الشكل (2) ونصف قطر الكرة 0.2 متر وتمثل رأس الإنسان واسطوانة ذات ارتفاع 0.4 متر ونصف قطرها 0.25 متر وتمثل القدمين مع الفخذين حتى الحوض. الاسطوانة الأخرى بارتفاع 1.2 متر ونصف قطرها 0.4 متر وهي تمثل جسم الإنسان من الكتفين حتى أسفل الحوض.

هذه النماذج الثلاثة ساعدت في دراسة وبحث الخطوة التي يتعرض لها جسم الإنسان عند قيامه بأي عمل في مجال خطوط التوتر العالي. يجب الإشارة هنا إلى أننا حصلنا على قيم تيار الإزاحة لخطوط التوتر العالي التقليدية والمتراصة ذات الجهود 330، 500، 750، 1150 ك.ف. لأن معظم الشبكات الكهربائية في البلدان العربية تعمل على جهود لاتزيد عن 220 ك.ف. والقليل منها فقط يعمل على جهود أكبر من هذه.

وتيار الإزاحة بالنسبة لهذه الشبكات معروف وهو أقل خطورة منه للشبكات ذات التوتر العالي وفوق العالي، وبما أن الشبكات الكهربائية في البلدان العربية في تطور مستمر لهذا هناك أهمية مميزة لهذا البحث الخاص بإيجاد قيم تيار الإزاحة لخطوط التوتر العالي وفوق العالي.

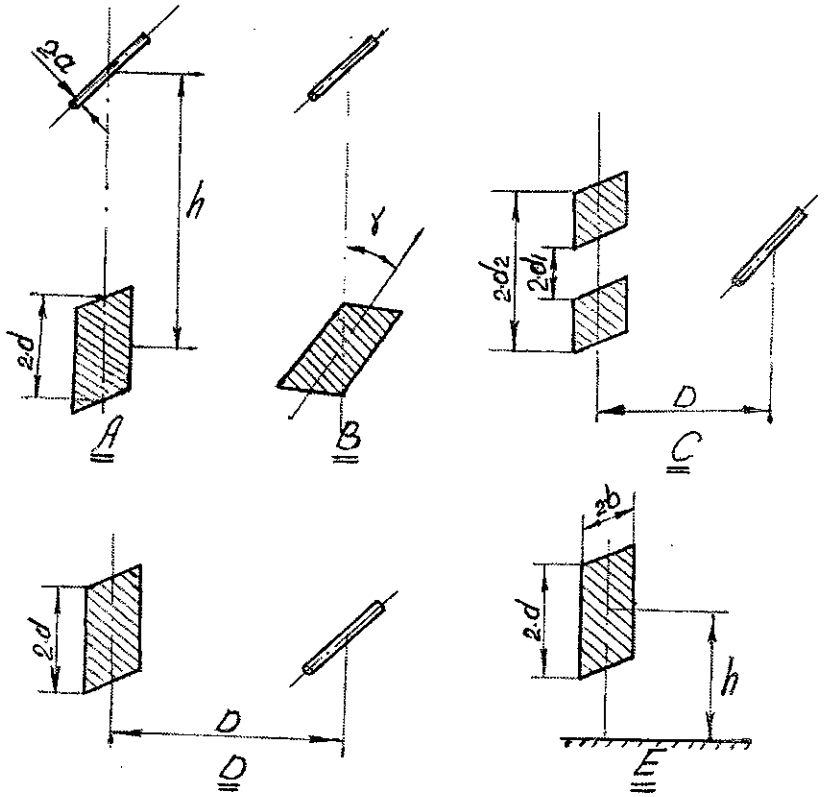
وقد تم إجراء البحث على الإنسان في ثلاثة مواقع عند قيامه بعمل ما على خطوط التوتر العالي كما هو موضح على الشكل 6:

* الأول على الأرض وتحت خط الطرف مباشرة.
* الثاني على البرج على مستوى الخطوط.
* الثالث فوق مكان تعليق الخط النهائي (الطرف) مباشرة.

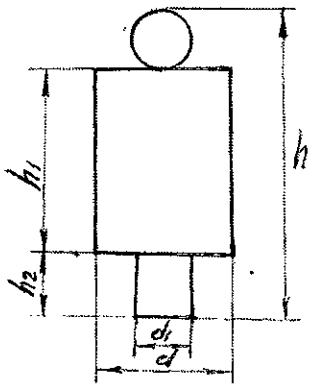
وقد أجريت الدراسة للخطوط التالية والمبينة بالشكل 3:

1- التقليدية
2- المتراصة ذات الفاز العادي.
3- المتراصة الاهيليجية
4- المتراصة الدائرية.

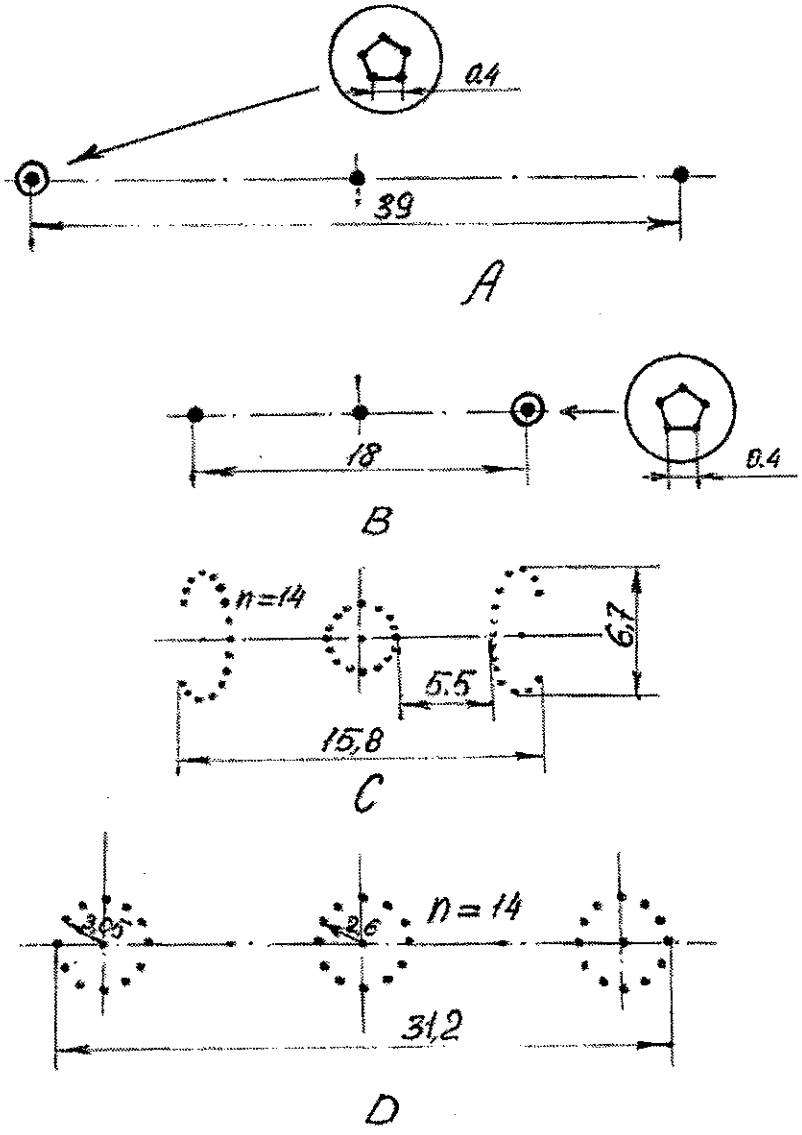
وقد أخذت الخطوط المتراصة الإهيليجية والدائرية حسب المعطيات الملائمة وذات الأفضلية الهيكلية كما جاء في المرجع 1.



شكل رقم (1) نماذج مختلفة لجسم الإنسان كقطع معدنية



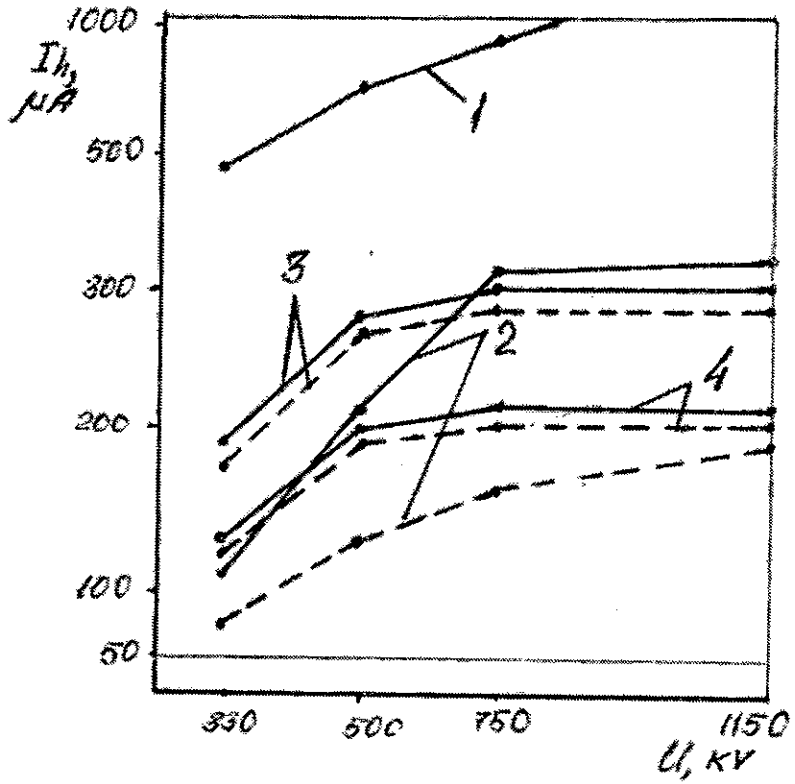
شكل رقم (2) نماذج لجسم الإنسان يتكون من كرة واسطوانتين



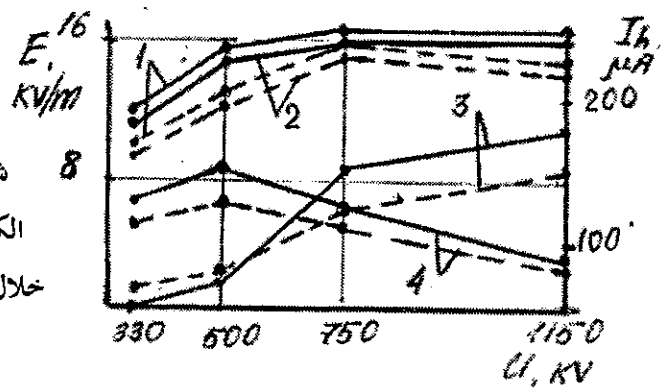
شكل رقم (3) موقع خطوط التوتر ذات 750 ك. ف. في الفراغ

A– خطوط تقليدية.

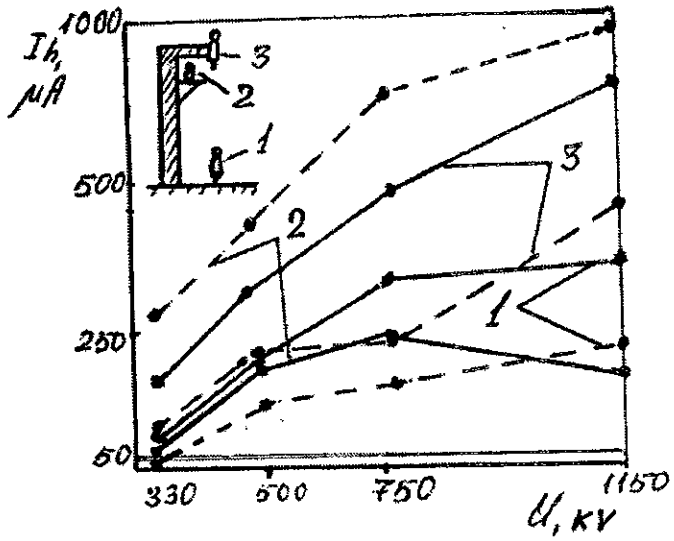
D, C, B– خطوط متراصة ذات أشكال: عادية، اهليجية، دائرية.



شكل رقم (4) قيمة تيار الإزاحة خلال جسم الإنسان إلى الأرض
عند استعمال نماذج مختلفة لجسم الإنسان



شكل رقم (5) القيمة المتوسطة لشدة المجال الكهربائي (الخطوط المقطعة) وتيار الإزاحة ه خلال جسم الإنسان إلى الأرض (الخطوط المتق



شكل رقم (6) قيمة تيار الإزاحة عند مواقع مختلفة لجسم الإنسان بالنسبة للخطوط

---------- الخطوط التقليدية

———— الخطوط المتراصة

حساب السعة (الإنسان – الطور (الغاز)) تم إجراءه عندما يكون الإنسان (نموذج الإنسان) على الأرض وتحت الطور مباشرة بالعلاقة التالية حسب المرجع 2.

$$C = \frac{2\Pi.\varepsilon}{Arch\left(\frac{h^2 - d^2 - \alpha h}{\alpha d}\right)} \quad \text{.....} \quad (1)$$

حيث: $\varepsilon = \varepsilon_0 = 8.854.10^{-12}$ فراد/متر

α– نصف القطر المكافئ لخطوط الأطوار، متر.

2d– ارتفاع الأسطوانة، متر.

h– المسافة بين الخط ومنتصف جسم الإنسان وهو على الأرض، متر.

كما وتناولنا دراسة تأثير تيار الإزاحة لبقية الأطوار الأخرى على جسم الإنسان.

فعند وجوده تحت طور واحد وليكن C كما هو موضح في الشكل lA وهذه الطريقة تختلف عن الطرق الموضحة في المرجع 3، لذلك يؤخذ في الاعتبار تأثير تيار الإزاحة للطور الواحد دون النظر إلى تيار الإزاحة الناتج عن الأطوار الأخرى.

وعند حساب تأثير تيار الإزاحة على جسم الانسان أخذ موضع النموذج بالنسبة للطورين الأخرين A و B وذلك بإدارة النموذج بزاوية γ بالنسبة لمحور الإسطوانة في الوضع الأول والشكل lB يوضح ذلك.

وباختبار النتائج التي تم الحصول عليها باستعمال القياسات الخاصة بالنموذج التي أشرنا إليها سابقاً وبعده عن خطوط التوتر وجدنا أن الفرق في الحسابات حسب العلاقة (1) وحسب القوانين الواردة في المرجع (2) وعند الزاوية $\gamma = 90°$ لم تزيد عن 0.12٪ ولهذا السبب سعة جسم الإنسان بالنسبة للطورين A و B أجريت حسب العلاقة (1)

أما السعة المكافئة وكذلك الجهد المكافئ بالنسبة (الإنسان – الخط) فتم حسابها كالتالي:

$$C_{heq} = C_{hA} + C_{hB} + C_{hc} \qquad (2)$$

$$U_{eq} = \frac{U_f}{\sqrt{3}.C_{heq}} (C_{hA} + \alpha^2 C_{hB} + \alpha C_{hc}) \qquad (3)$$

حيث: α - معامل الطور.

U_F - جهد الطور

وبما أن السعة بين (جسم الإنسان – الأرض) أكبر بكثير من السعة بين (جسم الإنسان – الخط) فإن القيمة الأولى هي التي تحدد تيار الإزاحة ويمكن التعبير عن ذلك بالعلاقة:

$$I_h = 2 . \Pi . f C_{heq} U_{eq} \qquad (4)$$

وعند وجود جسم الإنسان على البرج فلحساب السعة بين (الخط – الإنسان) يمكن استعمال العلاقة التالية : 2

$$C_h = \frac{2.\Pi.\varepsilon}{\text{Arch}\frac{\sqrt{(d_2^2+D^2)\left[d_2^2+(D-a)^2\right]}-(d_2^2-d_1^2)}{\sqrt{d_2^2-d_1^2}\left[\sqrt{d_2^2+D^2}-\sqrt{d_2^2+(D+a)^2}\right]}} \qquad (5)$$

بالنسبة لخطوط التوتر العالي 330 ك.ف. – 750 ك.ف . حسب الشكل 1C أخذنا قيمة $O = d_1$ وحسبنا السعة كالتالي:

$$C_h = \frac{2.\Pi.\varepsilon}{\ln\left(\frac{2D^2}{2d}\right)} \qquad (6)$$

أما بالنسبة لخطوط التوتر 1150 ك.ف. (الشكل 1d) فيمكن حساب السعة الكهربائية بين (جسم الإنسان على البرج – الأرض) وفق العلاقة التالية:

$$C_{eq} = \frac{C_0}{2-\frac{C_0}{2\Pi\varepsilon(h-d)}} \qquad (7)$$

حيث:

$$C_0 = \frac{16\varepsilon d}{\frac{d}{b}\text{Arch}\frac{b}{d}+\text{Arch}\frac{d}{b}} \qquad (8)$$

يجب الإشارة هنا إلى أن الرموز الموجودة في المعادلات من (1) حتى (8) على أساس الشكل 1. والسعة المكافئة (الإنسان على البرج – الخط) حسبت بالعلاقة (5) و (6) أما للنظام ثلاثي الطور فحسب العلاقة (2)، والسعة بين (جسم الإنسان – الأرض فبالعلاقة (7)، أما العلاقة (4) فتستخدم لحساب تيار الإزاحة المار عبر جسم الإنسان وهو على البرج، في حالة وجود جسم الانسان عند نقطة تعليق الخط (فوق الخط مباشرة) تحدد السعة بالعلاقة (1) ونسبة الخطأ بالنسبة للفازين A و B لم تتعدى 0.5 – 1.0 ٪.

ولحساب السعة بين (الإنسان – الأرض) استخدمت العلاقة (7) و (8)، أما حساب تيار الإزاحة فبالعلاقة (4).

عند عمل نموذج لجسم الإنسان (كرة – اسطوانتين) يحسب تيار الإزاحة المار خلال جسم الإنسان إلى الأرض بالعلاقة التالية حسب المرجع 3.

$$I = \frac{10.8 E_{am} . h^2}{\ln(2h/d)} \left(1 - \frac{0.3}{x^2}\right) \qquad (9)$$

حيث x- المسافة بين مسقط الطور على الأرض والنقطة الواقع عليها جسم الإنسان.

h– ارتفاع جسم الانسان.

d– نصف قطر الإسطوانة العلوية (نموذج جسم الإنسان).

$$E_{am} = (E_0 + E_1 + E_{1.8})/3 \qquad (10)$$

العلاقة (10) تعطي المتوسط الحسابي لشدة المجال الكهربائي عند الارتفاع 0 و 1 و 1.8 متر عن سطح الأرض.

أما حساب شدة المجال الكهربائي فقد أجري بالطرق المعروفة في أسس الهندسية الكهربائية وبالاعتماد على قانون جاوس.

الأشكال 4، 5، 6 توضح نتائج الحسابات التي تم الحصول عليها بالنسبة للخطوط التقليدية والمتراصة، وجميع البارومترات موجودة في الجدول 1.

قيم تيار الإزاحة المار خلال جسم الإنسان إلى الأرض للخطوط التقليدية والمتراصة لعدة جهود اسمية مختلفة وللأطوار العادية مبينة على الشكل 4، والأرقام التي على الشكل تشير إلى الآتي:

1– استعمل اسطوانة واحدة مع عدم الأخذ بعين الاعتبار تأثير الفازات المجاورة للفاز المؤثر.
2– استعمال أسطوانة بأخذ تأثير جميع الفازات بعين الاعتبار.
3– نظام (كرة – اسطوانتين).

4- استعمال الشكل النصف اهليجي.

أما الخط المستقيم فيبين القيمة المسموح بها لتيار الإزاحة والتي لاتؤثر على حياة الإنسان وهي تعادل 460 µA.

الدراسة توضح أنه عند عمل نموذج للإنسان من اسطوانة معدنية لايمكن اهمال تأثير جميع الأطوار على النموذج (الإنسان) لأن هذا يؤدي إلى عدم دقة النتائج الحسابية مع العلم أنه عند زيادة الجهد الأسمي للخط فإن الخطأ في النتائج إذا ما أهمل تأثير جميع الأطوار على النموذج سوف يزداد.

المقارنة للنتائج الحسابية عند عمل نموذج الإنسان من اسطوانة معدنية والنظام (كرة - اسطوانتين) المنحنيات 2 و 3 على الشكل 4 تبين أن الخطأ في النتائج يقل عند زيادة الجهد الأسمي للخط. مثلاً للخطوط التقليدية تساوي حوالي % 37 عند جهد أسمي قدره 330 ك.ف. أما عند الجهد الأسمي 1150 ك.ف. للخط فإن الخطأ في النتائج الحسابية يكون حوالي %17، أما للخطوط المتراصة فهو يساوي على التوالي %66 و %45.

إذا ما قورنت هذه النتائج مع النتائج القياسية الواردة في المرجع 4، فإن الأفضلية تعود إلى الطريقة التي استعملنا فيها نظام (كرة - اسطوانتين).

على الشكل 5 قدمنا القيمة المتوسطة لشدة المجال الكهربائي تحت الأطوار الجانبية E_m وتيار الإزاحة المار خلال جسم الانسان إلى الأرض عند نمذجة جسم الإنسان (كرة - اسطوانتين) لخطوط مختلفة الجهد الأسمي، والنتائج التي حصلنا عليها تفيد بأن تيار الإزاحة تحت خطوط التوتر العالي المتراصة ذات الفازات العادية يتراوح بين % 95 و %98 من تيار الإزاحة تحت الفازات التقليدية، أما تحت الخطوط المتراصة ذات الغازات الدائرية فكانت % 65÷33، أما الأهليجية فكانت % 48-33.

الشكل 6 يبين تيار الإزاحة المار خلال جسم الانسان لعدة أوضاع للنموذج بالنسبة لخطوط التوتر العادي وأوردنا منها ثلاثة أوضاع وهي:

1- على الأرض. 2- على البرج. 3- فوق نقطة تعليق الخطوط.

بالنسبة للخطوط التقليدية والمتراصة ذات الفازات العادية. من هذا الشكل يتضح أن تيار الإزاحة المار خلال جسم الإنسان يكون أعظيماً عندما يكون الإنسان فوق نقطة التعليق بالنسبة للخطوط العادية (الوضع 3 على الشكل 6).

جدول رقم (1) المعطيات للخطوط التي أجريت عليها الدراسة

U_{nom} KV	نوع خطوط النقل	عدد خطوط الطور الواحد	المسافة بين الأطوار، متر	ارتفاع نقطة تعليق الخط، متر	أبعاد الطور (مقياس الطور، متر	
					العمود	الأفقي
330	عادية	2	9.2	18.5	0.24	18.4
300	متراصة:					
	عادية	2	5.5	18.5	0.24	6.4
	أهليجية	8	0.3	13.5	2.8	8.6
	دائرية	8	3.0	13.5	2.8	13.4
500	عادية	3	12	22.5	0.3	24.4
500	متراصة:					
	عادية	3	7.5	22.5	0.3	7.9
	أهليجية	10	3.75	17.4	6.8	10.7
	دائرية	10	3.75	17.4	5	22.3
750	عادية	5	19.5	27.5	0.6	39.4
750	متراصة:					
	عادية	5	9.0	27.5	0.6	10.4
	اهليجية	14	5.0	21.0	6.7	15.8
	دائرية	14	5.0	21.0	6.1	31.2
1150	عادية	8	22.4	30.0	0.95	31.2
1150	متراصة:					
	عادية	8	13.0	30	0.95	14.4
	اهليجية	20	7.0	28	9.7	22.5
	دائرية	20	7.0	28	9.4	48.4

أما بالنسبة للخطوط المتراصة فتكون القيمة الأعظمية لتيار الإزاحة عندما يكون الإنسان على البرج الحامل للخطوط في الوضع 2 على الشكل 6.

عند وجود الإنسان في وسط البرج المعدني فإن متوسط شدة المجال الكهربائي يقل بمعدل 1,5 ÷ 2 مرة.

في جميع الحالات التي تم دراستها وجد أن قيمة تيار الإزاحة المار خلال جسم الإنسان يزيد بكثير عن القيمة المسموح بها، ويكون تيار الإزاحة أكبر ما يمكن عند وجود الإنسان في مجال تأثير خطوط التوتر العادية. أما الخطوط المتراصة الاهليجية للجهود 330 و 500 ك.ف. والمتراصة الدائرية ذات الجهود 750 و 1150 ك.ف. فإن تيار الإزاحة يكون أقل ما يمكن.

جميع النتائج التي حصلنا عليها وقدمت في الأشكال 4 – 6 أخذت للإنسان وهو في وضع الوقوف، أما في وضع الجلوس فتكون قيم تيار الإزاحة أقل من القيم التي حصلنا عليها وتؤكد ذلك النتائج العملية المدونة في المرجع 3.

النتائج التي حصلنا عليها تؤكد ضرورة استعمال أدوات وأجهزة حماية للإنسان العامل في مجالات خطوط التوتر العالي.

الخلاصة

1- من أجل الأمن الصناعي أثناء القيام بأعمال في مجال خطوط التوتر العالي يجب معرفة قيم تيار الإزاحة وخاصة عند استعمال أنواع جديدة للأبراج والخطوط يتم ذلك بالنمذجة الرياضية.

2- لدراسة تأثير خطوط التوتر العالي على جسم الإنسان يستخدم النموذج المقترح (كرة - اسطوانتين).

3- تيار الإزاحة الناتج عن مجالات الخطوط المتراصة الأهيلجية ذات الجهود 330 و 500 ك.ف. يكون أكبر وبالتالي أخطر من تيار الإزاحة المتولد في مجالات الخطوط المتراصة الدائرية ذات الجهود 750 ÷ 1150 ك.ف.

4- يجب اتخاذ الإجراءات اللازمة للحماية عند القيام بأي عمل في مجالات الخطوط ذات التوترات 330 - 1150 ك.ف.

المراجـع

1- Cortina R., Garbagnati E., Pigini A., "Switching impluse strengh of phase - to - earth" UHF extrnal insulation.

2- Shelipa Duglas J., "Calculation of optimum preventive maintenance intervals for electrical equipment" IASS (IEE Ind. Appl. Soc)., 15th Annu. Meet, Cincinati, 1980, Vl 1-2 N. Y, 1980.

3- كيرانف ف. ج. "نمذجة المجالات الكهربائية لدراسة تأثيرها على الإنسان" مجلة الطاقة – والمواصلات، 1984، العدد الأول، ص 123– 133 (باللغة الروسية).

4- يوسل و. ي، كدانف ي. س. "حساب السعات الكهربائية" – لينيغراد، مطبعة الطاقة، 1981، ص 288 (باللغة الروسية).