

دراسة توزع منحنيات الحقل الكهرطيسي الناتج عن خط نقل القدرة ثلاثي الطور فوق الأرض

الدكتور نبيل متوج*

(تاريخ الإيداع 17 / 6 / 2015. قُبل للنشر في 17 / 8 / 2015)

□ ملخص □

يتألف خط نقل القدرة من ثلاثة نواقل ثلاثية الطور تتوضع في المستوي $z=d$ فوق سطح الأرض. أجريت الدراسة على مجموعة من النواقل الثلاثة المتوازية ذات تباعد أفقي متساو. يتوضع الناقل المركزي الأول في المستوي $y=0$ بينما يتوضع الناقلين الثاني والثالث في المستويين $y=\pm 3m$ على الترتيب. تم تحديد مركبات الحقل الكهرطيسي في النقاط القريبة من خط النقل عالي الجهد الذي يرتفع عن سطح الأرض بمقدار 15m بالطريقة التحليلية. وبعد إيجاد منحنيات توزع شدة الحقل الكهرطيسي بتابعية البعد عن الخط المركزي y ، لاحظنا أن شدة الحقل الكهربائي لها قيمة عظمى عند الموضع $y=\pm 9m$ ، وحقل التحريض المغناطيسي من مرتبة الميكروتسلا.

الكلمات المفتاحية: خط نقل القدرة ثلاثي الطور؛ الحقل الكهرطيسي؛ تشكيلة النواقل المتوازية أفقياً.

* مدرس - قسم العلوم الأساسية - كلية الهندسة المعلوماتية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

Studying of the distributions of electromagnetic field resulting from the three-phase transmission line over earth

Dr. Nabil Mutweg *

(Received 17 / 6 / 2015. Accepted 17 / 8 / 2015)

□ ABSTRACT □

The power line consists of three wires, three-phase in the plane $z=d$ over the earth surface. This study was carried out on the equally spaced horizontally conductor configuration. The central conductor 1 lies in the plane $y=0$ while conductors 2 and 3 in the planes $y=\pm 3$ m, respectively.

The components of electromagnetic field at all points near high- voltage transmission line is determined in analytical method. This study shows that the electric field strength has a maximum value at position $y= \pm 9$ m, but the values of the magnetic induction field is of the order micro -tesla.

Keywords: three-phase transmission line ; electromagnetic field ; horizontal conductor configuration.

* Assistant Professor, Department of Essential Science, Faculty of Information Engineering, Tishreen University, Latakia- Syria.

مقدمة:

تعتبر موجات الحقول الكهريائية بتردد 50Hz حقولا كهرساكنة حيث يشحن خط النقل بشحنة موجبة خلال نصف الموجب الموجب والأرض تكون سالبة بالنسبة له، ويشحن بشحنة سالبة خلال نصف الموجة السالب والأرض موجبة بالنسبة له، أي يتشكل مكثف خط النقل - هواء - الأرض بممانعة عالية للتردد المنخفض . إن التعرض للحقل الكهريائي الناتج عن خط النقل عالي التوتر له تأثيرات متنوعة على الكائنات الحية ، وعلى تآكل أنابيب نقل النفط المغمورة في الأرض. من هنا كان لا بد لنا من دراسة توزيع منحنيات الحقل الكهريائي الناتج عن خطوط نقل القدرة في المنطقة المجاورة له [1]. من المعروف أن تقصي بعض الحقائق العلمية حول القشرة الأرضية يتطلب تطبيق اشارات كهريائية تردداتها من مرتبة 10 Hz ~ f ، ولدراسة الحقائق في مياه البحار تطبق اشارات في المجال f = (100 - 25) Hz لكن لدراسة الحقائق العلمية حول الكائنات الحية تستخدم اشارات تردداتها في المجال f = (0.9 - 1.8) GHz .

بما أن خطوط النقل تمتد في الجو فوق سطح الأرض ، وبالتالي لا بد لنا من عرض ميزات الهواء والأرض للإشارات الكهريائية من الناحية السماحية ϵ والناقلية σ الكهريائيتين، والنفاذية μ المغناطيسية جدول 1:

جدول 1: يتضمن الناقلية الكهريائية، السماحية الكهريائية والنفاذية المغناطيسية للهواء والأرض.

الهواء			الأرض		
ϵ_0	μ_0	$\sigma_0 = 0$	ϵ	μ_0	$\sigma_1 \neq 0$

1.1 الحقل الكهريائي في الإحداثيات الكارتيزية:

تعطى مركبات الحقل الكهريائي في أية نقطة في الهواء المحيط بخطوط النقل عالية التوتر بالعلاقة التالية:

$$\vec{E}(x, y, z) = E_{0x}(x, y, z)\vec{e}_x + E_{0y}(x, y, z)\vec{e}_y + E_{0z}(x, y, z)\vec{e}_z \quad ; (1)$$

$$E_{0x}(x, y, z) = A(e^{ik_0r_1} [\frac{ik_0}{r_1} - \frac{1}{r_1^2} - \frac{i}{k_0r_1^3} - \frac{x^2}{r_1^2} (\frac{ik_0}{r_1} - \frac{3}{r_1^2} - \frac{3i}{k_0r_1^3})] - e^{ik_0r_2} [\frac{ik_0}{r_2} - \frac{1}{r_2^2} - \frac{i}{k_0r_2^3} - \frac{x^2}{r_2^2} (\frac{ik_0}{r_2} - \frac{3}{r_2^2} - \frac{3i}{k_0r_2^3})] + 2e^{ik_0r_2} \{ \frac{k_0}{k_1} (\frac{z+d}{r_2}) (\frac{ik_0}{r_2} - \frac{1}{r_2^2}) - \frac{k_0^2}{k_1^2} [\frac{ik_0}{r_2} - \frac{1}{r_2^2} - \frac{i}{k_0r_2^3} - \frac{y^2}{r_2^2} (\frac{ik_0}{r_2} - \frac{3}{r_2^2} - \frac{3i}{k_0r_2^3})] \}) \quad (2)$$

$$E_{0y}(x, y, z) = A[e^{ik_0r_1} \frac{xy}{r_1^2} (\frac{ik_0}{r_1} - \frac{3}{r_1^2} - \frac{3i}{k_0r_1^3}) - e^{ik_0r_2} \frac{xy}{r_2^2} (\frac{ik_0}{r_2} - \frac{3}{r_2^2} - \frac{3i}{k_0r_2^3}) (1 - \frac{2k_0^2}{k_1^2})] \quad (3)$$

$$E_{0z}(x, y, z) = A \left[e^{ik_0 r_1} \left(\frac{x}{r_1} \right) \left(\frac{z-d}{r_1} \right) \left(\frac{ik_0}{r_1} - \frac{3}{r_1^2} - \frac{3i}{k_0 r_1^3} \right) - e^{ik_0 r_2} \left(\frac{x}{r_2} \right) \left(\frac{z+d}{r_2} \right) \left(\frac{ik_0}{r_2} - \frac{3}{r_2^2} - \frac{3i}{k_0 r_2^3} \right) + 2 \frac{k_0}{k_1} e^{ik_0 r_2} \left(\frac{x}{r_2} \right) \left(\frac{ik_0}{r_2} - \frac{1}{r_2^2} \right) \right] \quad (4)$$

$$r_1 = [x^2 + y^2 + (z-d)^2]^{1/2}$$

$$r_2 = [x^2 + y^2 + (z+d)^2]^{1/2}$$

$$A = \omega \mu_0 / 4\pi k_0 \quad (5)$$

2.1 مركبات حقل التحريض المغناطيسي:

ونحصل على مركبات حقل التحريض المغناطيسي من معادلة مكسويل التالية:

$$\text{rot} \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = i\omega \vec{B} \quad (6)$$

3.1 المعادلة الموجية العامة للحقل \vec{E}

انطلاقاً من معادلات مكسويل لوسط متجانس خطي نحصل على المعادلة الموجية للحقل الكهربائي [2,3]:

$$\nabla^2 \vec{E} = -\vec{\nabla} \frac{\rho}{\varepsilon} + \mu \sigma \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} + \varepsilon \mu \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} \quad (7)$$

بما أن الوسط متجانس فإن $\vec{\nabla} \frac{\rho}{\varepsilon} = 0$ وبالتالي تختزل المعادلة الموجية (7) باستخدام المؤثر الزمني

$$\frac{\partial}{\partial t} \equiv i\omega \quad \text{إلى صيغة معادلة Helmholtz (8):}$$

المعادلة الموجية للحقل \vec{E} في الهواء :

$$\nabla^2 \vec{E} = -\omega^2 \varepsilon_0 \mu_0 \vec{E} = k^2 \vec{E} \quad (8)$$

$$\nabla^2 E_i - k^2 E_i = 0 \quad ; i = x, y, z$$

$$k = i\omega \sqrt{\mu_0 \varepsilon_0} = \alpha + i\beta$$

حيث α ثابت الاضمحلال (التخامد) ويساوي الصفر في الهواء، β ثابت الطور (العدد الموجي).

المعادلة الموجية للحقل \vec{E} للأرض ($J_c \gg J_d$)

$$\nabla^2 \vec{E} = i\omega \sigma \mu_0 \vec{E} = k^2 \vec{E} \quad (9)$$

$$k^2 = i\omega \mu_0 \sigma$$

$$k = (1+i) \left(\frac{\omega \mu_0 \sigma}{2} \right)^{1/2} = \alpha + i\beta$$

4.1 الحقل الكهرومغناطيسي في المستوي ($x=0$ or $y-z$ plane)

للحصول على مركبات الحقل الكهربائي نبدل في المعادلات (5 - 2) بـ $x=0$ نجد [4] :

$$E_{0x}(0, y, z) \approx a(k_0 d) \left\{ \frac{(z+d)^2 - y^2}{[(z+d)^2 + y^2]^2} + e^{\frac{i2\pi}{3}} \left(\frac{(z+d)^2 - (y+L)^2}{[(z+d)^2 + (y+L)^2]^2} \right) + \dots \right. \\ \left. e^{-\frac{i2\pi}{3}} \left(\frac{(z+d)^2 - (y-L)^2}{[(z+d)^2 + (y-L)^2]^2} \right) \right\} \quad (10)$$

$$E_{0y}(0, y, z) \approx b \left\{ y \left[\frac{1}{(z-d)^2 + y^2} - \frac{1 - 2(k_0/k_1)^2}{(z+d)^2 + y^2} \right] + \right. \\ \left. e^{\frac{i2\pi}{3}} (y+L) \left[\frac{1}{(z-d)^2 + (y+L)^2} - \frac{1 - 2(k_0/k_1)^2}{(z+d)^2 + y^2} \right] + \right. \\ \left. e^{-\frac{i2\pi}{3}} \left[\frac{1}{(z-d)^2 + (y-L)^2} - \frac{1 - 2(k_0/k_1)^2}{(z+d)^2 + (y-L)^2} \right] \right\} \quad (11)$$

$$E_{0z}(0, y, z) \approx b \left\{ \frac{z-d}{(z-d)^2 + y^2} - \frac{z+d}{(z+d)^2 + y^2} + \right. \\ \left. e^{\frac{i2\pi}{3}} \left[\frac{z-d}{(z-d)^2 + (y+L)^2} - \frac{z+d}{(z+d)^2 + (y+L)^2} \right] + \right. \\ \left. e^{-\frac{i2\pi}{3}} \left[\frac{z-d}{(z-d)^2 + (y-L)^2} - \frac{z+d}{(z+d)^2 + (y-L)^2} \right] \right\} \quad (12)$$

5.1 مركبات حقل التحريض المغناطيسي

انطلاقاً من معادلة مكسويل (6) نجد المركبات الثلاثة لحقل التحريض المغناطيسي في المستوي $x=0$:

$$B_{0x}(0, y, z) \approx a' \left\{ \frac{y(z+d)}{[(z+d)^2 + y^2]^2} + e^{\frac{i2\pi}{3}} \left(\frac{(y+L)(z+d)}{[(z+d)^2 + (y+L)^2]^2} \right) + \right. \\ \left. e^{-\frac{i2\pi}{3}} \left(\frac{(y-L)(z+d)}{[(z+d)^2 + (y-L)^2]^2} \right) \right\} \quad (13)$$

$$B_{0y}(0, y, z) \approx b' \left\{ \frac{4(z+d)(k_0 d)}{k_1^2 [(z+d)^2 + y^2]^2} \left[1 - \frac{2[(z+d)^2 - y^2]}{(z+d)^2 + y^2} \right] - \right. \\ \left. \frac{z-d}{(z-d)^2 + y^2} + \frac{(z+d)}{(z+d)^2 + y^2} + \right. \\ \left. e^{\frac{i2\pi}{3}} \left(\frac{4(z+d)(k_0 d)}{k_1^2 [(z+d)^2 + (y+L)^2]^2} \left[1 - \frac{2[(z+d)^2 - (y+L)^2]}{(z+d)^2 + (y+L)^2} \right] - \right. \right. \\ \left. \left. \frac{z-d}{(z-d)^2 + (y+L)^2} + \frac{(z+d)}{(z+d)^2 + (y+L)^2} \right) + \right. \\ \left. e^{-\frac{i2\pi}{3}} \left(\frac{4(z+d)(k_0 d)}{k_1^2 [(z+d)^2 + (y-L)^2]^2} \left[1 - \frac{2[(z+d)^2 - (y-L)^2]}{(z+d)^2 + (y-L)^2} \right] - \right. \right. \\ \left. \left. \frac{z-d}{(z-d)^2 + (y-L)^2} + \frac{(z+d)}{(z+d)^2 + (y-L)^2} \right) \right\} \quad (14)$$

$$\begin{aligned}
B_{0z}(0, y, z) \approx b' & \left\{ \frac{y}{(z-d)^2 + y^2} - \frac{y(1-2(k_0/k_1)^2)}{(z+d)^2 + y^2} + \right. \\
& \frac{4y(k_0d)}{k_1^2[(z+d)^2 + y^2]^2} \left[1 + \frac{2[(z+d)^2 - y^2]}{(z+d)^2 + y^2} \right] + \\
e^{i\frac{2\pi}{3}} & \left(\frac{y+L}{(z-d)^2 + (y+L)^2} - \frac{(y+L)(1-2(k_0/k_1)^2)}{(z+d)^2 + (y+L)^2} + \right. \\
& \frac{4(y+L)(k_0d)}{k_1^2[(z+d)^2 + (y+L)^2]^2} \left[1 + \frac{2[(z+d)^2 - (y+L)^2]}{(z+d)^2 + (y+L)^2} \right] + \\
e^{-i\frac{2\pi}{3}} & \left(\frac{y-L}{(z-d)^2 + (y-L)^2} - \frac{(y-L)(1-2(k_0/k_1)^2)}{(z+d)^2 + (y-L)^2} + \right. \\
& \left. \left. \frac{4(y-L)(k_0d)}{k_1^2[(z+d)^2 + (y-L)^2]^2} \left[1 + \frac{2[(z+d)^2 - (y-L)^2]}{(z+d)^2 + (y-L)^2} \right] \right) \right\} \quad (15)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
r_1 &= [x^2 + y^2 + (z-d)^2]^{1/2} \\
r_2 &= [x^2 + y^2 + (z+d)^2]^{1/2} \\
a &= i\omega\mu_0 I / \pi k_1^2 ; b = \omega\mu_0 I / 2\pi k_0 \\
a' &= -i2\mu_0 k_0 I / \pi k_1^2 ; b' = \mu_0 I / 2\pi \quad (16)
\end{aligned}$$

أهمية البحث وأهدافه:

بعد معرفة توزيع منحنيات الحقل الكهربي في المستوي العرضاني لخط نقل القدرة يمكننا التوقع بتأثيرات هذه الحقول على الكائنات الحية بالقرب من محطة خطوط نقل القدرة، وكذلك على الانابيب المعدنية المغمورة أو غير المغمورة الواقعة تحت هذه الخطوط. وتسمح لنا هذه الدراسة التحليلية بدراسة مساهمة آلية تآكل الانابيب المعدنية بفعل الحقل الكهربي.

طرائق البحث ومواده:

لإيجاد مركبات الحقل الكهربي يلزمنا معرفة صيغة الجهد والتيار، أي منابع الحقل الكهربائي والمغناطيسي

نفترض أن تيار الناقل المركزي والناقلين المجاورين لهم الصيغ الآتية [5,6]:

$$I_1(x) = I_1(0)e^{i_0 kx} \quad (17)$$

$$I_2(x) = I_1(x)e^{i2\pi/3} = I_1(0)e^{i(k_0x+2\pi/3)} \quad (18)$$

$$I_3(x) = I_1(x)e^{-i2\pi/3} = I_1(0)e^{i(k_0x-2\pi/3)} \quad (19)$$

ونفترض أن سعة التيارات الثلاثة واحدة بحيث يتحقق:

$$\sum_{i=1}^3 I_i(x) = 0 \quad (20)$$

يطبق فرق الكمون (الجهد) بين ناقلين، وبالتالي توّرع خطوط النقل إلى ثنائية (2,3) ; (1,3) ; (1,2) ثم ندون خصائص هذه الثنائيات جدول 2. لقد أخذت قيمة التوتر العالي 220 kV والتردد 50 Hz عند الحسابات.

جدول 2: يحتوي على تيار الناقل، الجهد والممانعة بدلالة نصف قطر سلك الناقل a.

الممانعة	الجهد	التيار في كل ناقل من الثنائية
$Z_{12} = 120Ln \frac{L}{a}$	$V_{12}(x) = Z_{12}I_{12}(x)$	$I_{12}(x) = \frac{1}{2}I_{1x}(x)$
$Z_{13} = 120Ln \frac{L}{a}$	$V_{13}(x) = Z_{13}I_{13}(x)$	$I_{13}(x) = \frac{1}{2}I_{1x}(x)$
$Z_{23} = 120Ln \frac{2L}{a}$	$V_{23}(x) = Z_{23}I_{23}(x)$	$I_{23}(x) = i \sin \frac{2\pi}{3}I_{1x}(x)$

تعطى ممانعة ناقلين بالصيغة الآتية بدلالة ممانعة الفراغ $\eta_0 = 120\pi$:

$$Z = \frac{V}{I} = \frac{\eta_0}{\pi} Ln \frac{L}{a}$$

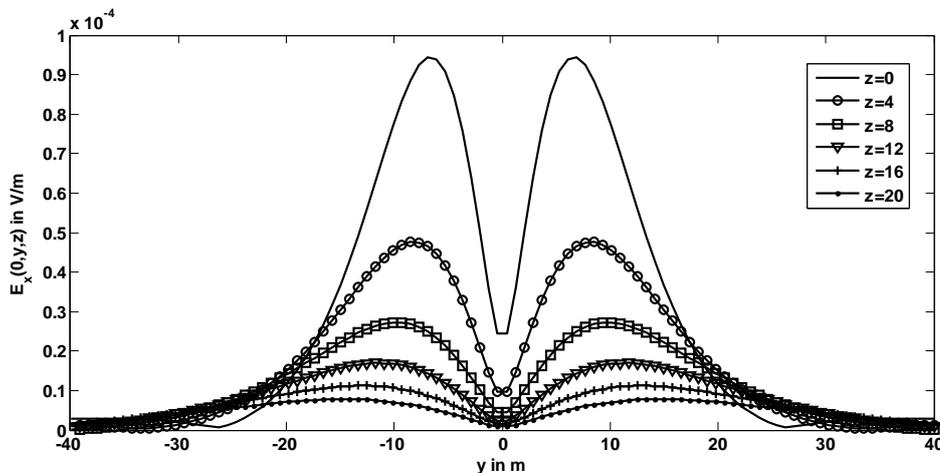
$$V = -\oint \vec{E} \cdot d\vec{l}$$

$$I = \oint \vec{H} \cdot d\vec{l} \quad (21)$$

النتائج والمناقشة:

منحنيات الحقل الكهربائي والمغناطيسي:

تبيّن الأشكال (c,b,a,-1) و (c,b,a,-2) مخططات توزع شدة الحقل الكهربائي وحقل التحريض المغناطيسي الناتجين عن الأسلاك الثلاثة في المستوي $x=0$ بتابعية البعد عن الخط المركزي y . نلاحظ من الشكل (a,1) وجود قيمة دنيا لشدة الحقل الكهربائي E_{0x} عند الموضع $y=0$ لكن عند البعد $y = \pm 9$ m عن الخط المركزي نجد قيمة عظمى لشدة الحقل الكهربائي.



شكل (a,1): منحنيات توزع المركبة E_x بدلالة البعد عن الخط المركزي.

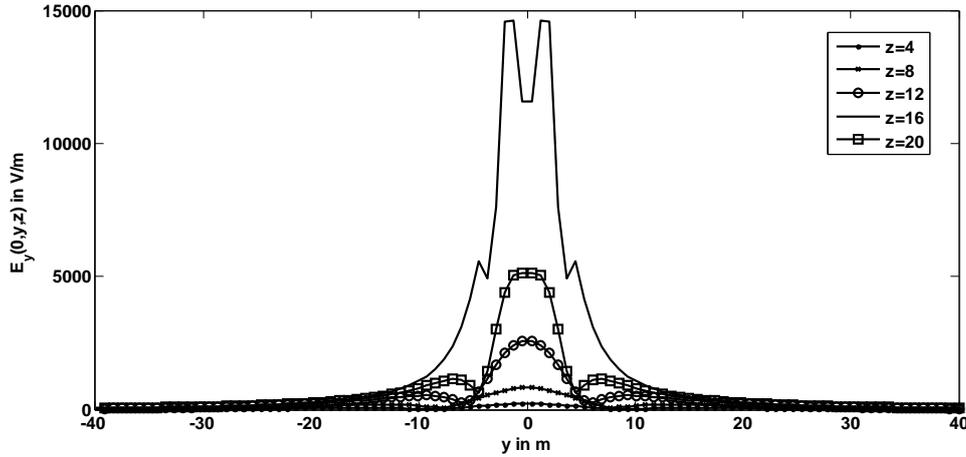
هناك عدة عوامل تؤثر في شدة الحقل الكهربائي تحت خط نقل القدرة هي [7]:

1. ارتفاع النواقل عن سطح الأرض
2. الشكل الهندسي للنواقل
3. الأجسام المجاورة لخطوط النقل
4. البعد العرضي عن محور خط نقل القدرة
5. ارتفاع نقطة القياس فوق الأرض
6. الجهد الفعلي المطبق على خط نقل القدرة.

تبدأ من سطح الأرض بالتناقص مع الارتفاع حتى القيمة $z=20$ m. ونرى السلوك نفسه بالنسبة للمركبة B_{0y} مع انقلاب في ترتيب القيم العظمى والدنيا للمنحنيات حيث تزداد شدة الحقل المغناطيسي مع الارتفاع عن سطح الأرض. وتتغير قيم هذه المركبة ما بين $(0.005 - 0.09)$ mV/m. توجد العلاقة بين شدة الحقل الكهربائي E عند المسافة D عن برج التوتر العالي، واستطاعة الإشعاع الكهرومغناطيسي P في الجملة الدولية [2]:

$$E = 300\sqrt{P} / D ; \quad (22)$$

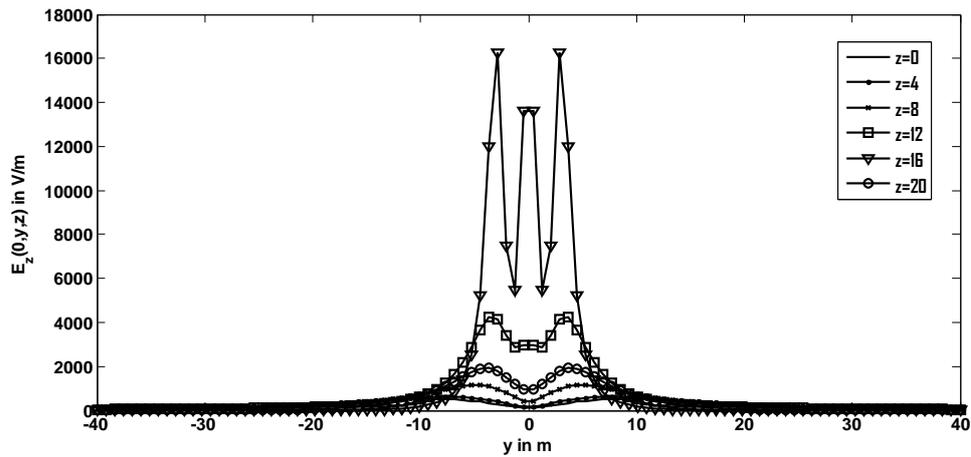
أما المركبة الكهربائية E_{0y} الشكل (b,1) فتأخذ قيمة عظمى عند الموضع المركزي متزايدة مع الارتفاع ، وقيما دنيا عند البعد $y=\pm 9$ m عن الخط المركزي، بينما تأخذ المركبة B_{0z} السلوك نفسه الشكل (b,2) . وفي هذه الحالة تكون العلاقة بين الحقل الكهربائي والحقل المغناطيسي $E=v B$ حيث $v=c$ سرعة الموجة في الفراغ.



شكل (b,1): منحنيات توزيع المركبة E_y بدلالة البعد عن الخط المركزي.

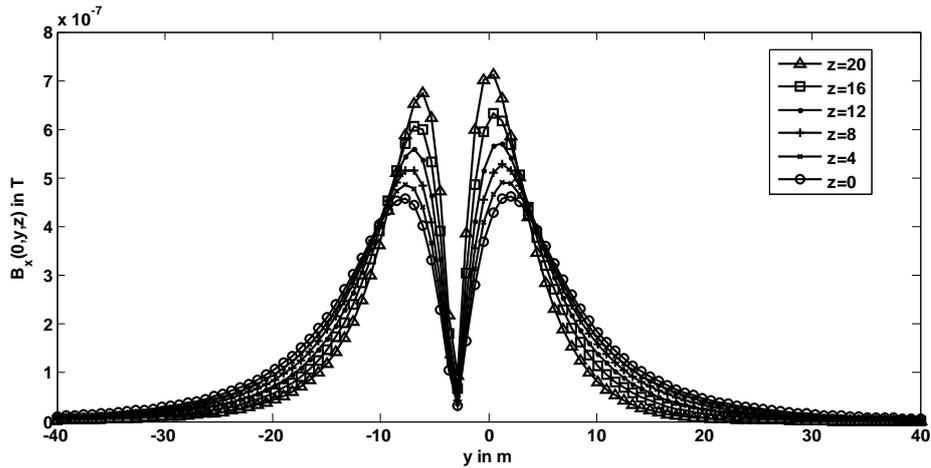
وتبلغ القيمة العظمى لهذه المركبة لشدة الحقل الكهربائي في المستوي $y-z$ حوال 15 kV/m عند ارتفاع $z=16$ m.

بالنسبة إلى المركبة E_z الشكل (c,1) نلاحظ ازدياد شدة الحقل الكهربائي بالمقارنة مع المركبة E_x لكن لهما تقريبا السلوك نفسه، بينما تأخذ المركبة B_{0x} نفس السلوك مع انقلاب في ترتيب المنحنيات، وبالتالي ترتيب القيم العظمى والقيم الدنيا لشدتي الحقل الكهربائي والحقل المغناطيسي [8].



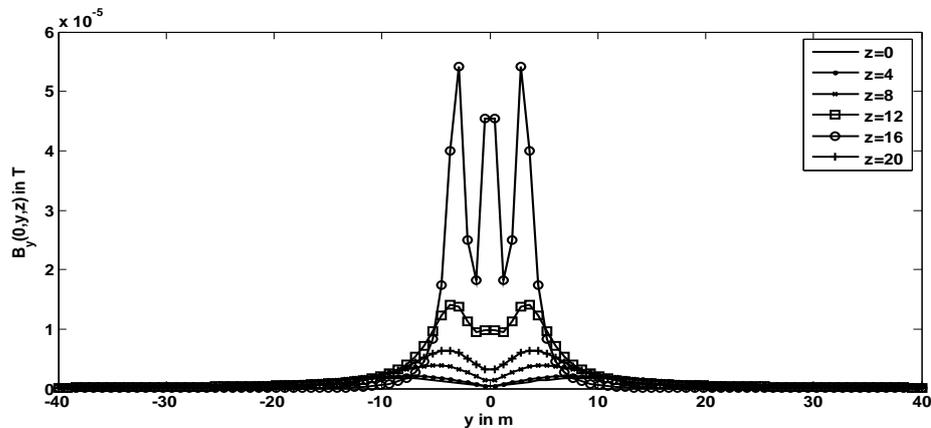
شكل (c,1): منحنيات توزيع المركبة E_z بدلالة البعد عن الخط المركزي.

نلاحظ أن شدة هذه المركبة تقع في المجال (1 - 17)kV/m في المستوي العرضي y - z ،
 تبيّن الأشكال (c,b,a,2) منحنيات توزيع كثافة الفيض المغناطيسي $B(0,y,z)$ في المستوي y - z .



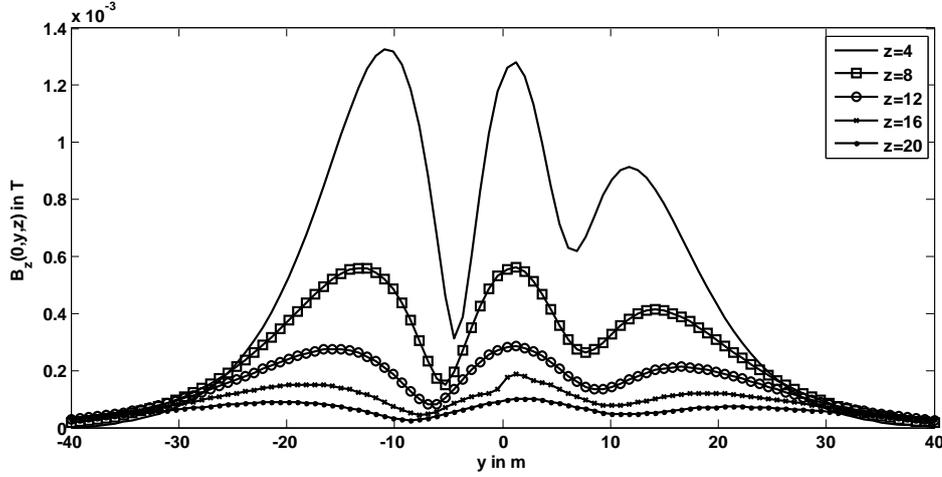
شكل (a,2): منحنيات توزيع المركبة B_x بدلالة البعد عن الخط المركزي.

نلاحظ من الشكل أن مجال تغيير كثافة التدفق المغناطيسي تقع في المجال (0.05 - 0.7) μ T.



شكل (b,2): منحنيات توزيع المركبة B_y بدلالة البعد عن الخط المركزي.

نلاحظ من هذا المخطط أن كثافة حقل التحريض المغناطيسي تقع في المجال $(500 - 5500)\mu T$ ، أي أن قيمة هذه المركبة أكبر بحوالي 1000 مرة من قيمة المركبة B_x .



شكل (c,2): منحنيات توزيع المركبة B_z بدلالة البعد عن الخط المركزي.

يبين لنا هذا المخطط أن كثافة حقل التحريض المغناطيسي تقع في المجال $(100 - 1300)\mu T$ ، أي أن قيمة هذه المركبة تحقق هذه المتراجحة $B_x \ll B_y < B_z$.

عندما نعتبر الأرض كناقيل مثالي $\sigma_1 \rightarrow \infty; k_1 \rightarrow \infty$ فإن المركبتين E_x و B_x تساويان الصفر حسب العلاقتين (13,10) في المستوي العرضي $y-z$ ، وتبقى فقط المركبتان $E_y = cB_z$ و $E_z = -cB_y$.

الاستنتاجات والتوصيات:

أدت هذه الدراسة إلى النتائج التالية:

1. تخضع قيم شدة الحقل الكهربائي الناتج عن خطوط نقل القدرة الكهربائية في المستوي $x=0$ إلى المتراجحة التالية: $E_x \ll E_y < E_z$ عند الارتفاع $z=16m$ فوق سطح الأرض.
2. تخضع قيم كثافة التدفق المغناطيسية الناتجة عن خطوط نقل القدرة الكهربائية في المستوي $x=0$ إلى المتراجحة التالية: $B_x \ll B_y < B_z$.
3. توجد قيمة دنيا لشدة الحقل الكهربائي E_{0x} عند الموضع $y=0$ وقيمة عظمى عند البعد $y = \pm 9 m$ عن الخط المركزي.
4. تبلغ قيم كثافة تدفق المغناطيسية من مرتبة μT . تبلغ مسافة الأمان الشاقولية للتوتر العامل المستخدم حوالي $4.5 m$ ، وعند التركيب حوالي $2.5 m$ ، [9]
5. بعد معرفة توزيع منحنيات الحقل الكهرومغناطيسي في المستوي العرضي يمكننا التنبؤ بتأثيرات هذه الحقول على الكائنات الحية بالقرب من محطة خطوط نقل القدرة، وكذلك على الانابيب المعدنية المغمورة أو غير المغمورة الواقعة تحت خطوط نقل القدرة.
6. تسمح لنا هذه الدراسة التحليلية بدراسة ظواهر تآكل الانابيب المعدنية بالحقل الكهرومغناطيسي.

المراجع:

- [1] Ronold W.,P.King and Tai T. Wu. The complete electromagnetic field of a three-phase transmission line over the earth and its interaction with the human body, American Institute of Physics, 1995.
- [2] محمد كامل عبد العزيز، مجيد عبد الرحمن الكنهل. الكهرومغناطيسية الهندسية، جامعة الملك سعود، 2005.
- [3] دارين محمد، دراسة تأثير الأمواج الكهريسية على صحة الانسان، قسم هندسة الاتصالات والالكترونيات- جامعة تشرين، رسالة ماجستير، 2009.
- [4] Thomas P., Harward Health Lett. 18,I,1993
- [5] Morgan M.G., measuring power frequency fields. Carnegie Mellon University, Pittsburgh,1992.
- [6] M.D.RAOUL ,Les effets sur la santé et l' environnement des champs electromagnetiques produits par les lignes a haute et tres haute tension , rapport de l' office parlementaire d' evaluation de choix scientifique et technogique ,France,29 janvier 2009.
- [7] R Matthes , A McKinalay, J Bernhardt Eds ,Exposures to static and low frequency electromagnetic fields, biological effects and health consequences (0-100 KHz).ICNIRP.2004.
- [8] Desjobert H, Hillion j ,Ado1phe M, Averlant G,Nafziger j.Effects of 50Hz magnetic fields on Cmyc transcript levels in non synchronized and synchronized human cells. Bioelectromagnetics.1995.16.277-283
- [9] Dib Djael, Mordjaoui Mourad, study of the influence high voltage power lines on environment and human health, Tebessa , Algeria, 2014.