متعدد القطبية الكهربائي

د. عبد القوي أحمد صالح *

ملخص البحث

- تناول الموضوع تحليلاً لمتعدد القطبية الكهربي ومنه تم التوصل إلى إيجاد معادلة لإمكانية حساب التأثير الذي قد يحدثه أي متعدد قطبية كهربي وعند أي نقطة أي تأثير الشحنات الكهربية عند تلك النقطة ؛
- كما تناولنا ثنائي ، رباعي ، سداسي و ثماني القطبية حتى العدد السادس عشر من الشحنات الكهربية مع وضع صيغة عملية لتوزيع تلك الشحنات الكهربية على أطوال متعدد القطبية الكهربي ومن خلال ذلك يمكن التوجيه أو التحكم في شدة المجالات الكهربية والتي قد تتطلبها مجالات البحث العلمي لاستخدامها في التجارب المعملية المختلفة ،
- كما تمكن المعادلة وبسهولة كبيرة ودون الرجوع إلى العمليات الحسابية المعقدة إيجاد تأثير المجالات الكهربية الناتجة عن الشحنات المكونة لعدد (m) من متعدد ي القطبية الكهربي عند أي نقطة تقع في اتجاه محاور أطوال متعددي القطبية الكهربي ، وهذا سيعمل أيضاً على توفير الوقت وكذا الإمكانات اللازمة للقيام بالتجارب المختلة.
- كما أوضحت النتائج التي تم التوصل إليها تقارباً كبيرا بين الصيغة المقترحة والصيغة التي يتم من خلالها حساب شدة المجال بقوانين الكهربية .

وموضوع البحث يتناول الشحنات المتساوية في المقدار والمختلفة في النوع وبصورة متماثلة ، ولعدد (2n) من الشحنات الكهربية حيث يمثل (n) رقم متعدد القطبية الكهربي والتي تأخذ أرقاما زوجية (2,4,6,8,...,m) وتم فيه التوصل إلى معادلة لإمكانية حساب شدة المجال الناتج عن أي من أرقام هذه

---

* أستاذ مساعد كلية التربية النادرة

الشحنات وكذا صيغة لعملية توزيعها على ما يسمى بطول متعدد القطبية الكهربي سواء ثنائي أو رباعي أو سداسي أو أي من العدد (n) التي يتم تناولها ، وهذا ما يتضح من خلال البحث .

المقدمة : تعتمد شدة المجال الكهربي الناتج عن أي شحنة وعند أي نقطة على عدد خطوط القوى الناتجة عن هذه الشحنة [١] [٢] فكلما زادت عدد الخطوط زادت شدة المجال الكهربي عند هذه النقطة وبالتالي القوة المؤثرة سواء كانت قوة جذب أو تنافراً حسب نوعية الشحنة ولإيجاد تأثير الشحنات الكهربية عند أي نقطة يفترض وجود شحنة اختباريه موجبة (+qo) عند تلك النقطة وبالتالي يتم تعريف القوة الناتجة عن تلك النقطة على أساس نوعية الشحنة ، وحسب قوانين فاراداي وكولوم للجذب والتنافر بين الشحنات المتشابهة والمختلفة تحدد القوه المؤثرة عند أي نقطة فعندما تكون الشحنة موجبة ينتج عنها قوة تنافر وعندما تكون الشحنة سالبة ينتج عنها قوة تجاذبيه، وتمثل شدة المجال الكهربي عند تلك النقطة [٣] [٤] في أنها عبارة عن قوة المجال الكهربي المؤثرة على وحدة الشحنة الموجبة (الإختبارية) (qo) والموضوعة عند تلك النقطة أي أن

$$E = F/q_o \qquad (N/C)$$

وبالتالي وبحسب قانون فاراداي [٥] يمكن التعويض عن القوة ومن ثم إيجاد شدة المجال الكهربي وحيث إن :

$$F = K\frac{q^1 q^2}{\Gamma^2}\hat{\Gamma}\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

حيث K ثابت التناسب ويساوي

$$K = 9*10^9 \left(\frac{\mathbf{Nm}^2}{C^2}\right) = \frac{1}{4\Pi E}$$

$\hat{r}$ - متجه المسافة بين النقطة والشحنة ، ويحدد اتجاه المجال في الفراغ .
وبما إن الشحنة q_1 عبارة عن الشحنة (q_0) والشحنة(q_2) تمثل الشحنة المطلوب حساب تأثيرها عند أي نقطة سواء كانت (q-) أو(q+) وهنا يتحدد اتجاه المجال الناتج وبالتالي يمكن القول أن :

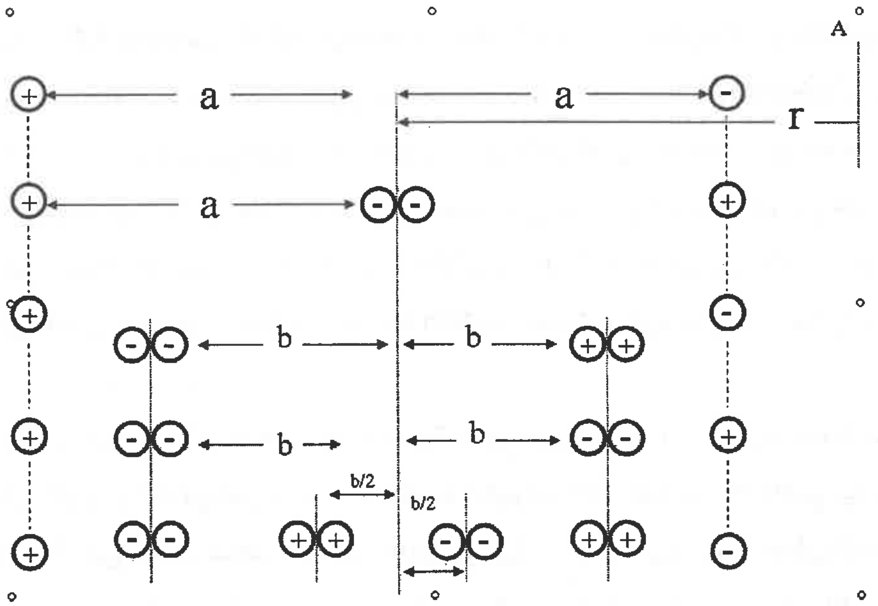
$$E = K\frac{qq_0}{r^2 q_0}\hat{r} = K\frac{q}{r^2}\hat{r}$$

ومن خلال هذه المعادلة يمكن حساب شدة المجال لأي شحنة وعند أي نقطة [٦] [٧] وكذا لعدد مجموعة من الشحنات الكهربية حيث يتم فيها حساب شدة المجال لكل شحنة على حدة ومن ثم يتم إيجاد المجال الكلي بحاصل جمع المجال لكل شحنة فقد تكون الشحنات مختلفة أو متساوية في النوع والمقدار وهذا لا يؤثر على النتيجة العامة للمجال وموضوع البحث يتناول الشحنات المتساوية في المقدار والمختلفة في النوع وبصورة متماثلة ولعدد (2n) من الشحنات الكهربية حيث يمثل (n) رقم متعدد القطبية الكهربي والتي تأخذ أرقاما زوجية (٢،٤،٦،٨ , ...,m) وتم فيه التوصل إلى معادلة الإمكانية حساب شدة المجال الناتج عن أي من أرقام هذه الشحنات وكذا صيغة لعملية توزيعها على ما يسمى بطول متعدد القطبية الكهربي سواء كان ثنائياً ، رباعياً ، سداسياً أو أياً من العدد (n) التي تم تناولها ؛ وهذا ما يتضح من خلال البحث .

موضوع البحث : عندما يكون لدينا عدد من الشحنات السالبة تساوي عدد الشحنات الموجبة وتكون جميعها متساوية في المقدار أي مساوية (q) وموضوعه جميعها داخل خط مستقيم مساوياً (2a) بحيث يكون توزيعها متماثلاً على طرفي نصفي الخط المستقيم (a) فيسمى ذلك بمتعدد القطبية الكهربي

وإذا كان يضم شحنتين موجبة وسالبة فيسمى بالتالي ثنائي القطبية الكهربي أو أربع شحنات اثنتان موجبة واثنتان سالبة يسمى بالتالي رباعي القطبية الكهربي ، وست شحنات سداسي ، وثمان شحنات ثماني ... وهكذا وتسمى الشحنة (q)

بشحنة متعدد القطبية الكهربي والخط (2a) بطول متعدد القطبية الكهربي كما يتضح ذلك من خلال الشكل (١) .



الشكل (١) عملية توزيع الشحنات الكهربية لمتعدد القطبية الكهربي

في الشكل :

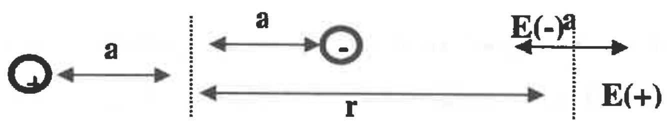
(r) عبارة عن المسافة بين النقطة المطلوب حساب شدة المجال عندها ومركز متعدد القطبية .

(b) مسافة افتراضية لوضع الشحنات الكهربية .

يتم توزيع الشحنات الكهربية على طول متعدد القطبية الكهربي بحيث تصبح الشحنات في الطرف الأيمن من نصف طوله الأيمن (a) مساوية لعدد الشحنات في نصف الطرف الأيسر أي إن توزيعها يكون في حالة متماثلة كما ذكرنا وتكون المسافات عند مركز متعدد القطبية متساوية بحيث إن كل نقطة من النقاط لا تحتوي على اكثر من شحنتين متساويتين في القطبية لان طبيعة توزيعها حسب الافتراض المقترح لا يحمل اكثر من شحنتين متساويتين متقاربتين كما يوضحه الشكل (١) مثلاً .

لثنائي القطبية [٨] [٩] الذي يحتوى على شحنتين موجبة (+) وسالبة (-) تم توزيعها على أساس (-+) ورباعي القطبية يحتوى على أربع شحنات اثنتان موجبة واثنتان سالبة وبالتالي يتم توزيعها بنفس الطريقة (+ - -+) وسداسي القطبية يحتوى بدوره على ست شحنات كهربية ثلاث موجبة وثلاث سالبة وتوزع كالتالي (-++ - -+) وثماني القطبية أيضاً يحتوى على ثمان شحنات كهربية أربع منها موجبة و أربع سالبة كذلك يتم توزيعها بنفس القانون السابق للتوزيع حيث نبدأ من الطرف الأيسر بالشحنة الموجبة الأولى ثم السالبة الأولى والسالبة الثانية والموجبة الثانية والموجبة الثالثة والسالبة الثالثة والسالبة الرابعة والموجبة الرابعة أي (+ - ++ - +-)

وهكذا لأي عدد من أعداد متعدد القطبية الكهربي والمطلوب هنا هو إيجاد شدة المجال الكهربي الناتج عن متعدد القطبية الكهربي عند النقطة A والتي تبعد مسافة (r) عن مركز متعدد القطبية الكهربي وفي إتجاه محوره سواءً كان ثنائياً أو رباعياً ، سداسياً أو ثمانياً أو أي نوع من أنواع متعدد القطبية الكهربي ، مع الأخذ بعين الاعتبار أن المسافة r أكبر بكثير من الطول a أي أن (r>>a) لجميع الحالات وسنبدأ بثنائي القطبية الكهربي [١٠] وفيه يتم توزيع الشحنات بالنسبة للنقطة A كما يوضح في الشكل (١)، عندها يمكن القول ان اتجاه المجال الناتج عن الشحنة (+) والشحنة السالبة (-) عند النقطة A كما يوضح في الشكل (٢) والذي يتضح من خلاله توزيع الشحنات لثنائي القطبية الكهربي :



شكل (٢) توزيع الشحنات الكهربية لثنائي القطبية الكهربي

وهنا يمكن إيجاد شدة المجال الكلية

$$E=E_{(+)}-E_{(-)}, \quad \ldots\ldots\ldots (٢)$$

حيث أن :
$$E_1 = k\frac{q}{(r+a)^2}, E_2 = K\frac{q}{(r-a)^2}$$

E1 تمثل الشحنة الموجبة وE2 عبارة عن الشحنة السالبة وبالتعويض في (٢) ينتج أن

$$E = Kq\left(\frac{1}{(r+a)^2} - \frac{1}{(r-a)^2}\right) = Kq\left(\frac{r^2 - 2ar + a^2 - r^2 - 2ar - a^2}{r^4 - 2a^2 r^2 + a^4}\right) = \left(\frac{-4ar}{r^4 - 2a^2 r^2 + a^4}\right)$$

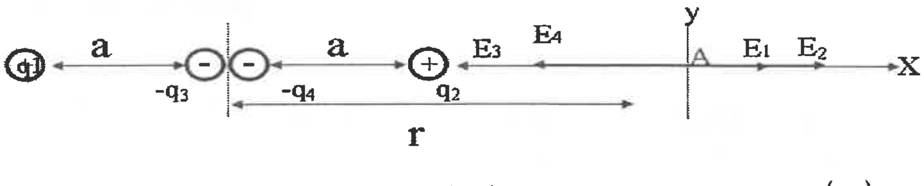
وبما أن (r>>a) إذا

يؤخذ عامل مشترك في المقام وبالتالي التخلص من (a) المنفردة لا ن قيمة (a) المنفردة صغيرة جدا بالنسبة لـ (r)

ومنها $$E_2 = kq\left(\frac{-4ar}{r^2(r^2 - a^2) + a^4}\right)$$

حيث أن : $$E_2 = kq\left(\frac{-4ar}{r^4}\right)\left(\frac{N}{c}\right) = 2K\frac{2aq}{r^3} = -2K\frac{Q2}{r^3}, Q2 = 2aq \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

(Q2) عزم ثنائي القطبية الكهربي والإشارة الناقص تعني وضع الشحنة الموجبة بالنسبة للسالبة فيمكن أن نبدأ بالشحنة الموجبة أو الشحنة السالبة ولا يغير هذا من قيمة المجال عند النقطة (A) . وكذلك بالنسبة لرباعي القطبية الكهربي والذي يمثل أربع شحنات كهربية شحنتان موجبة وشحنتان سالبة وجميعها متساوية في المقدار وتساوي (q) والمطلوب إيجاد شدة المجال الناتج عن هذه الشحنات عند نقطة تبعد مسافة (r) عن مركزه على اعتبار أن (r>>a) وهنا يتم توزيع الشحنات الأربع بالنسبة لمسافاتها المختلفة عن النقطة كما يوضح الشكل (١) . في البدء نحدد اتجاه الشحنات عند النقطة (A) كما في الشكل (٣)



شكل (٣) توزيع الشحنات لرباعي القطبية الكهربي

ومن خلال متجهات المجال يمكن إيجاد قيمة المجال الكلي عند النقطة (A) والناتج عن

(q4,q3,q2,q1) أي بحاصل جمعها على المحور (×) .

$$E_{(4)} = E_1 + E_2 - E_3 - E_4 ....(4)$$

وحيث
$$E_1 = k\frac{q}{(r+a)^2}, E_2 = K\frac{q}{(r-a)^2}$$

$$E_3 = E_4 = K\frac{q}{r^2}$$

بالتعويض عن قيمة E1 ، E2، E3، E4 ينتج أن :

$$E = kq(\frac{1}{(r+a)^2} + \frac{1}{(r-a)^2} - \frac{2}{r^2})$$

وبعد إجراء عملية التحليل للمعادلة باعتبار أن (r>>a) وبنفس الخطوات السابقة نحصل على:

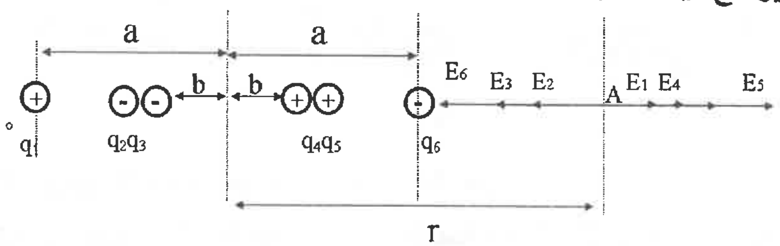
$$E = 3K\frac{2qa^2}{r^4} = 3k\frac{Q_4}{r^4} ....(5)$$

حيث أن

$$Q_4 = 2qa^2$$

Q4 عزم رباعي القطبية الكهربي

وأيضاً وبنفس الطرق السابقة وحسب التوزيع السابق للشحنات في الشكل (١) يمكن إيجاد شدة المجال الكهربي الناتج عن سداسي القطبية الكهربي عند النقطة (A) .
كما ذكرنا يحتوى سداسي القطبية على ست شحنات متساوية في المقدار، ثلاث منها موجبة وثلاث سالبة أولاً يتم تحديد اتجاهات مجالاتها عند النقطة (A) كما يوضح في الشكل (٤).



شكل (٤) توزيع الشحنات الكهربية لسداسي القطبية الكهربي وتحديد اتجاهاتها في الشكل :

ومن خلال متجهات المجالات يمكن إيجاد شدة المجال الكلي (E)

$$E_{(6)} = E_1 + E_2 + E_3 - E_4 - E_5 - E_6 ....(6)$$

وحيث أن

$$E1 = K\frac{q}{(r+a)^2}, E4 = E5 = K\frac{q}{(r+b)^2}$$

$$E_2 = E_3 = K\frac{q}{(r+b)^2}, E_6 = K\frac{q}{(r-a)^2}$$

حيث ، $b = a/2$

ومثلما تم حساب شدة المجال لثنائي ورباعي القطبية الكهربية نقوم بعملية التعويض للمعادلة السابقة ومنها ينتج :

$$E_6 = KQ(\frac{1}{(r+a)^2} + \frac{1}{(r-b)^2} + \frac{1}{(r-b)^2} - \frac{1}{(r-a)^2} - \frac{1}{(r+b)^2} - \frac{1}{(r+b)^2})$$

وبعد إجراء عملية التحليل مع التأكيد على أن (r>>a) نتوصل إلى

$$E_6 = 4K\frac{2qa^3}{r^5} = 4k\frac{Q_6}{r^5} ....(7)$$

حيث أن

$Q_6 = 2qa^3$ ويسمى بعزم سداسي القطبية الكهربي

وكذلك بالنسبة لقياس شدة المجال الناتج عن ثماني القطبية الكهربي فإذا تم اتباع نفس الطرق السابقة لإيجاد المجال في حالة ثنائي ورباعي وسداسي القطبية مع نفس التوزيع الموضح في الشكل (١) ، وبنفس القانون وكذا الأخذ بعين الاعتبار ان (r>>a) يمكن إيجاد شدة المجال له عند النقطة (A) أي عند نقطة تقع في اتجاه محوره وبعد عملية التوزيع للشحنات واخذ المسافات الموضحة في شكل (١) يمكن تحديد اتجاهات المجالات الناتجة عن الشحنات الثمان المكونة لثماني القطبية الكهربي والتي تمثل أربع منها موجبة و أربع سالبة وجميعها أيضاً متساوية وكذا تحديد اتجاهاتها . يمكن بالتالي إيجاد المجال الكلي عند النقطة (A) وبنفس الطرق السابقة توصلنا إلى أن

$$E_8 = 5k\frac{2qa^4}{r^6} = 5k\frac{Q^8}{r^6} \text{......... ....} \quad (8)$$

حيث $Q_8 = 2qa^4$ ويسمى بعزم ثماني القطبية الكهربي .

ومما سبق وبنفس الطرق السابقة تم حساب شدة المجال لعدد عشرة واثني عشر و أربعة عشر وستة عشر من متعددي القطبية الكهربي ومنها تم التوصل إلى معادلة لإيجاد متعدد القطبية الكهربي ذات المتسلسلة (n) كالتالي :

$$E_n = (\frac{n}{2}+1)k\frac{2qa^{n/2}}{r^{(n/2+2)}}, r >> a\text{..........................}(9)$$

حيث (n) عبارة عن رقم متعدد القطبية الكهربي وتأخذ أرقاماً زوجية (٢،٤،٦...m)
وكذا يمكن إيجاد شدة المجال لعدد (m) من متعددي القطبية الكهربي وذلك بحاصل جمع شدة المجال لكل متعدد قطبية وعلى النحو التالي :

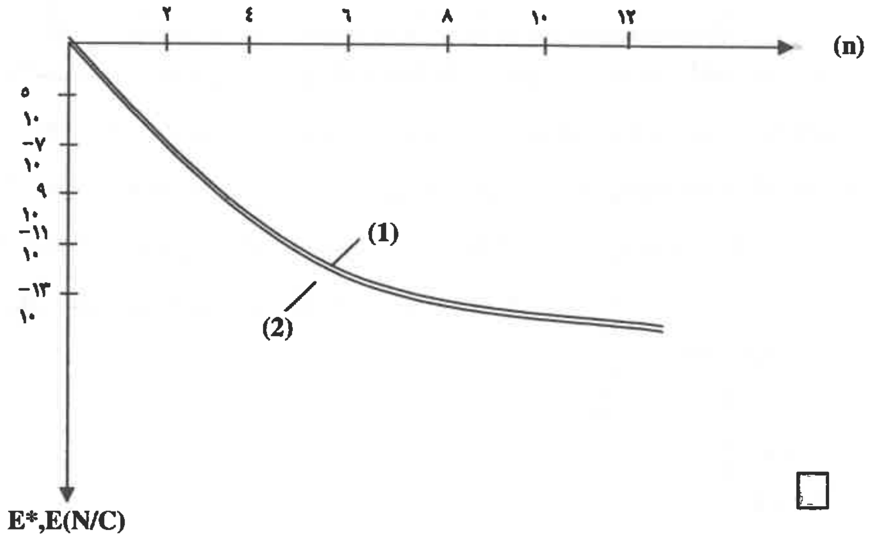
$$E_m = \sum_{n=2,4,\dots,m}^{m}(\frac{n}{2}+1)k\frac{2qa^{n/2}}{r^{(n/2+2)}}, r >> a\text{.................................}(10)$$

ويمكن تأكيد ذلك من خلال إيضاح بعض العمليات الحسابية لمتعددي القطبية الكهربي وعلى النحو التالي . فمثلا وعلى افتراض أن $a = 0.03m$, $r = 10m$ يمكن في هذه الحالة حساب شدة المجال الناتج لعدد (n) من متعددي القطبية الكهربي وبنفس الطرق السابقة التي أشرنا إليها أي بطريقتين
الطريقة الأولى باستخدام المعادلة المفترضة (٩) ، ***والطريقة الثانية*** بالاستعانة بقوانين كولوم في الكهربية ويوضح الجدول (١) نتائج العمليات الحسابية لها ، يرمز لشدة المجال في حالة العادلة (٨) لـ (E^*) وتضرب جميع النتائج بالمعامل (K) والشحنة (q)

جدول (١) العلاقة بين شدة المجال الكهربي ونوع متعدد القطبية

	r = 10 m a = 3 cm	
رقم متعدد القطبية الكهربي (n)	E* (M/C)	E (N/C)
2	12.000. 10 ⁻5	11.99 . 10 ⁻5
4	05.400.10 ⁻7	05.39 . 10 ⁻ 7
6	02.160.10 ⁻9	02.14 . 10 ⁻ 9
8	08.100.10 ⁻11	08.06 . 10 ⁻ 11
10	00,291.10 ⁻13	00,27 . 10 ⁻13

من خلال الجدول (١) نلاحظ التقارب الكبير بين نتائج حساب شدة المجال باستخدام المعادلة (٩) ونتائج شدة المجال باستخدام الطريقة المعروفة بالإستعانه بقانون كولوم والتي تتطلب لأجرائها عمليات حسابية مطولة خاصة كلما كانت (n) كبيرة ويرجع عدم التاطبق إلى التقريب المستخدم ($r >> a$) وكما يمكن إيضاح ذلك من خلال الشكل (٥) والذي يوضح منحنى العلاقة بين شدة المجال الكهربي ورقم متعدد القطبية (n)



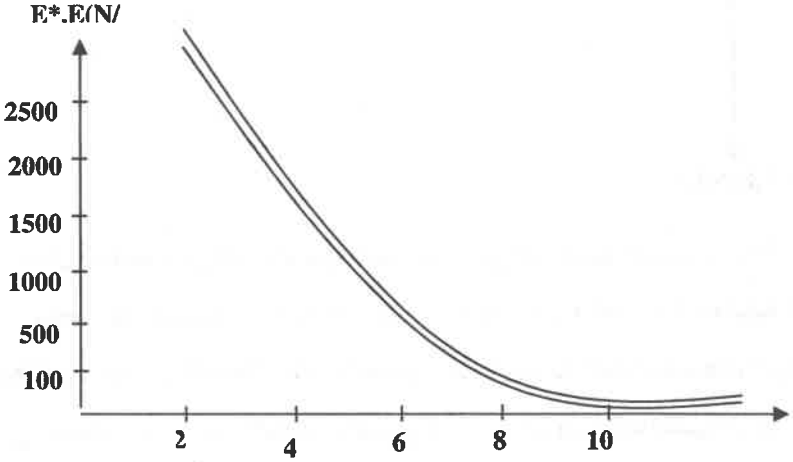
شكل (٥) منحنى العلاقة بين شدة المجال ورقم متعدد القطبية (n) .

وكذا تم حساب شدة المجال الكهربي لعدد من متعددي القطبية الكهربي بالنسبة للمسافة بين النقطة (A) المطلوب حساب شدة المجال عندها والمركز (r) ويوضح الجدول (2) شدة المجال الكهربي لرباعي القطبية بالنسبة للمسافة (r) عندما تكون ($a=3cm$) والتي تم اختيارها لحساب شدة المجال لعدد (n) من متعددي القطبية لكلا الحالتين .

جدول (2) العلاقة بين المسافة (r) وشدة المجال

a = 3 cm		
r (m)	E* (N/C)	E (N/C)
01	5400,000.10 ⁻6	5398,110.10⁻6
02	337, 500.10⁻6	337,409.10⁻6
03	0066,666.10⁻6	0066,477.10⁻6
04	0021,093.10⁻6	00211,095.10⁻6
05	0008,640.10⁻6	0008,639.10⁻6
10	0000,540.10⁻6	0000,539.10⁻6
15	0000,106.10⁻6	0000,105.10⁻6
20	0000,033.10⁻6	0000,032.10⁻6

كما يلاحظ من خلال النتائج الموضحة في الجدول (2)عدم التطابق بسبب التقريب (r >>a)وأيضا تقاربا كبيرا بين الحالتين ويقل هذا التقارب كلما كانت قيمة (r) قليلة أي أن النسبة بين (r) الي (a) تقل ويتضح ذلك عندما تكون (r =10m) ويمكن التأكيد على ذلك من خلال منحنى العلاقة بين شدة المجال الكهربي الناتج والمسافة (r) والموضحة في الشكل (٦)



شكل(٦) منحني العلاقة بين شدة المجال الكهربي والمسافة (r)

من الشكل (٦) يتضح تقريبا تطابق المنحنيين . كما أن شدة المجال عند النقطة (r=10m) عبارة عن نقطة متوسطة ، فعندما تزيد قيمة (r) عندها نرى شدة المجال تقل ببطيء بينما تزيد بشكل سريع كلما قلت قيمة (r)وهنا يمكن تحديد مجال الاختيار بالنسبة للمسافة (r) والمطلوب

حساب شدة المجال عندها.

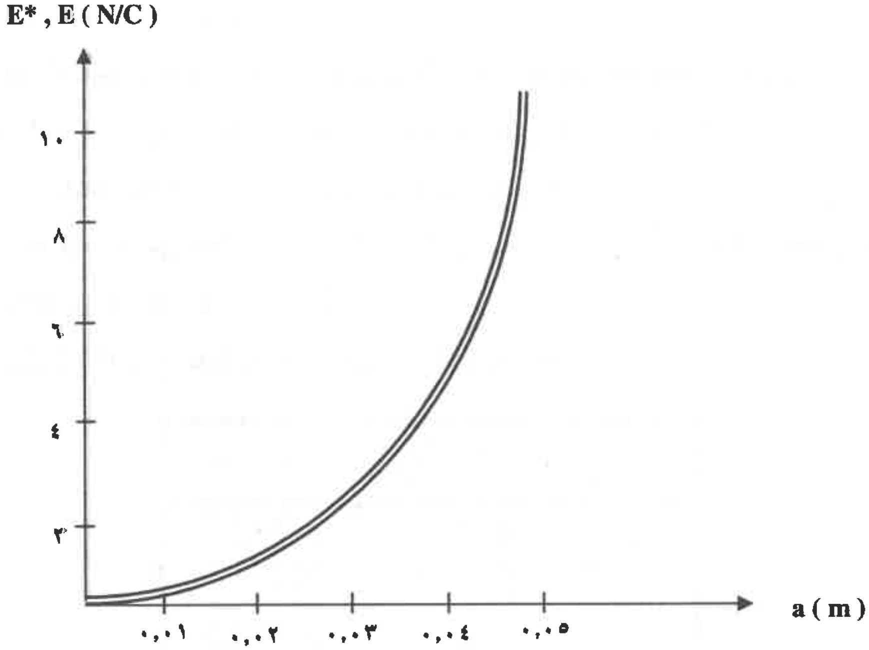
كما تم حساب شدة المجال الكهربي بالنسبة للطول (a) عندما تكون المسافة (r=10 m) .وتوصلنا إلى نتائج أوضحت بشكل أكبر هذا التقارب بين طريقة إستخدام المعادلة (٨) والاستعانة بقوانين الكهربية .

ويتضح ذلك من خلال الجدول (٣) والذي يبين علاقة شدة المجال والطول (a) عندما تكون المسافة (r=10m)

الجدول (٣) نتائج العلاقة بين الطول (a) وشدة المجال الكهربي

r = 10 m		
a (m)	E * (NIC)	E (NIC)
0,010	00,60.10 ⁻7	00,59.10⁻7
0,020	02,40.10⁻7	02,39.10⁻7
0,030	05,40.10⁻7	05,39.10⁻7
0,040	09,60.10⁻7	09,54.10⁻7
0,045	12,15.10⁻7	12,14.10⁻7
0.050	15,01.10⁻7	15,00.10⁻7
0,060	21,60.10⁻7	27,54.10⁻7

وهنا نرى تقاربا كبيرا بين الحالتين بالنسبة لحساب شدة المجال ولا يتعدى الفرق الواحد من المئه وهذه النسبة تقدير صغير جدا في العمليات الافتراضية كما نلاحظ انه كلما زادت قيمة الطول (a) زادت شدة المجال ويمكن توضيح ذلك من خلال منحنى العلاقات بين شدة المجال والطول (a)



شكل (٧) منحنى العلاقة بين شدة المجال الكهربي والطول (a)

من الشكل (٦) ، (٧) يلاحظ انه في حالة ثبات الطول (a) كلما كانت المسافة بين النقطة المطلوب حساب شدة المجال عندها ومركز متعدد القطبية (r) كبيرة كلما كان المجال أقل والعكس بالنسبة للطول (a) ففي حالة ثبات المسافة (r) وكلما زاد الطول (a) يزيد تبعا لذلك شدة المجال الكهربي وهذا يعني أن النسبة بين المسافة (r) إلى الطول (a) تؤثر على شدة المجال والعكس أي أن اختيار النسبة يمكن أن يؤدي إلى التحكم في شدة المجال الكهربي الناتج عن متعدد القطبية الكهربية .

ومما سبق يمكن التوصل إلى الآتي .

١. إيجاد علاقة لحساب شدة المجال الكهربي لاي من متعددي القطبة الكهربي.
٢. من العلاقة يمكن التحكم في شدة المجال عند أي نقطة يراد معرفة تأثير الشحنات الكهربية عندها .

٣. اختيار النظام الملائم أو المرتبة المناسبة وكذا القيم الملائمة للعمل بالنسبة لشدة المجال والتي تعطي افضل تأثير عند أي نقطة .

٤. سهولة حساب تأثير متعدد القطبية الكهربي دون الرجوع الى العمليات الحسابية المعقدة.

٥. التحكم في توجيه المجالات الكهربية الناتجة عن متعددي القطبية الكهربي .

٦. تغيير العزم بتغير إعداد متعددي القطبية الكهربي وعلى هيئة متسلسلة .

المراجع :

١. الكهرومغناطيسيات الهندسية ، وليام ٠. هايت ، جونيور ، ١٩٨١م .

٢. الكهربية والمغناطيسية ، د. محمد بن علي احمد ال عيسى ، ١٩٩٦م .

٣. الكهربية والمغناطيسية، مقرر بيركلي في الفيزياء، المجلد الثاني، ١٩٩٧م .

٤. تكنولوجيا الكهرباء والإلكترونيات ، أد وارد هوفس ، الجزء الخامس ١٩٧٧م

٥. تقنية الكهرباء واسس الالكترونيات ، ريكس ج . و آخرون ١٩٩١ .

٦. انتشار الموجات اللاسلكية ، كالاسوف م.و آخرون ١٩٧٥ م .

٧. الكهربية والمغناطيسية ، د. منصور محمد حسب النبي ، ١٩٩٢ م

٨. الكهربية والمغناطيسية ، د. منصور مجلي الكوفجي ، و آخرون ١٩٩٦م .

٩. سلسلة ملخصات شوم الكهربية والمغناطيسية ، ١٩٨٩ م .

١٠. الإشارات والدوائر الكهربية ، غانا روفسكي ، أ . و آخرون ، ١٩٩٤م .