مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية - سلسلة العلوم الهندسية المجلد (19) العدد (5) 1997
Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research –Engineering Science Series Vol. (19) No (5) 1997

حساب الحقل للعوازل ذات الطبقات الخارجية الناقلة وللمواد العازلة ذات الناقلة الحجمية المحدودة

الدكتور محسن خطيب*

(قبل للنشر في 1997/1/11)

ملخص

هذا المقال يصف طريقة حساب الحقول المركبة ذات المركبات السعوية والمركبات الأومية وذلك بشكل خاص عند تشكل طبقات سطحية ناقلة على السطوح الخارجية للعوازل (كمثال عملي تشكل طبقات اتساخ ناقلة على سطوح العوازل الخارجية) أو عندما تملك المادة العازلة ناقلية صحية محدودة.

طريقة الحساب هذه تستخدم الشحن المركبة وذلك عند تردد محدد. إن معالم العزل تراعى عند الشرط الحدي لتتابع التيار عند أية نقطة من هذه المعالم.

لقد تم توضيح هذه الطريقة من خلال أمثلة. ففي المثال الأول تم حساب توزع الكمون وشدة الحقل من أجل قيم مختلفة للناقلية السطحية وللناقلية الحجمية بالنسبة لسطح حدي عازل متناظر دورانياً بين قطبين مستويين. وفي المثال الثاني تم حساب توزع الكمون على عازل اسطواني دائري وذلك عند تردد 50Hz حيث نلاحظ أنه كملا زادت χ كلما تحسن توزع الكمون. وفي المثال الثالث تم حساب توزع الحقل لعازل ارتكاز بين صفيحتي توصيل $+1kv$ و $-1kv$ من أجل قيم مختلفة للناقلية السطحية G_s وللناقلية الحجمية χ_2.

وكنتيجة نلاحظ أن زيادة التردد لكل الأنظمة المحسوبة يؤدي إلى انزياح الحقل باتجاه الحقل الكهرساكن. وهذا صحيح لأن النسبة $\frac{\omega\varepsilon}{\chi}$ تزداد مع زيادة التردد.

* مدرس في قسم هندسة الطاقة الكهربائية – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.

مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية - سلسلة العلوم الهندسية المجلد (19) العدد (5) 1997
Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research –Engineering Science Series Vol. (19) No (5) 1997

THE FIELD COMPUTATION OF SURFACE CONDUCTIVE INSULOTIONS AND FOR LIMITED VOLUME CONDUCTIVE INSULATIONS

*DR:MOHSEN AL-KHATIB

(Accepted 11/1/1997)

❐ ABSTRACT ❐

The paper describes a new method for the computation at electric fields combined of electrostatic and ohmic components, that means surface conductivity and conductive volumes of insulating materials.

The basis of the method is the use of complex charges for a given frequency the contours of dielectric materials are regarded by the boundary condition of current continuity in any point of these contours.

The application is illustrated by three examples of insulators:

In the first example, I calculated the potential distribution and the field strength on a critical cylindrical symetrical surface between two plate electrodes at different values of surface conductivity and volume conductivity.

In the second example I calculated the potential distribution on a circular – cylindrical insulator at a frequency 50Hz, I found that as χ increases, that potential distribution will improve. In the third example, I calculated the field distribution at stutz insulator between two conductive plates +lkv and –lkv, at different values of surface – and volume conductivities (G,χ).

As a result it has be found that the increase of frequency leads proportionally to the field shifting in the electrostatic field – direction. This result is true since the ratio $\frac{\omega\varepsilon}{\chi}$ increase with the frequency increase.

*Teacher at Electrical power Department At Mechanical And Electrical Engineering Faculty -Tishreen University-Lattakia-Syria

يصف هذا البحث أسلوب حساب الحقول الكهربائية المركبة (المتراكبة) ذات المركبات السعوية والأومية، وذلك بشكل خاص عند تشكل طبقات سطحية ناقلة على السطوح الخارجية للعوازل أو عندما تمتلك المادة العازلة ناقلة حجمية محددة. تستخدم هذه الطريقة الحسابية مبدأ الشحن المركبة (المعقدة) وذلك عند تردد محدد، حيث تراعى معالم العزل عند الشرط الحدي لتتابع التيار عند أية نقطة من هذه المعالم، ويتم توضيح طريقة الحساب هذه من خلال ثلاثة أمثلة من أنظمة العزل.

1- مقدمة:

إنه لمن الأهمية حساب الحقول الكهربائية للعوازل ذات الطبقات السطحية الناقلة أو لمواد العزل التي تمتلك ناقلية حجمية محدودة، وبشكل خاص عند تطبيق توترات مستمرة، وكذلك للعوازل المتسخة، لماصات الصدمة، تحكم الأومي والمواد العازلة ذات زاوية الفقد العالية نسبياً. في حالتنا والتي هي حالة الحقل المركب ذي المركبات السعوية والأومية تكون كما في حالة الحقل الكهرستاتيكي (الحقل الكهرساكن) إمكانيات الحقل التحليلي للحساب محدودة جداً فمن حيث المبدأ من المستلزم استخدام طرق الحساب الرقمية للحقول الكهربائية وذلك بالنسبة للعوازل التقنية.

فيما يخص آفاق هذا الموضوع (الطبقات الناقلة السطحية) فإنه يوجد في [1و2] بعض الفرضيات من أجل تنفيذ الحسابات والمبنية على أساس الشحن المكافئة وذلك بمساعدة عينات من الشحن.

في هذا البحث يتم عرض طريقة تعتمد على تغير الشحن السطحية والتيارات السطحية مع الزمن.

2- مبدأ الحساب:

إن مبدأ الحساب يتم على أساس طريقة الشحن المكافئة للكهرباء الساكنة[3و4]. بحيث نعتبر أنه على سطوح الأقطاب الخارجية تتشكل شحن نقطية أو خطية أو حلقية أو من خلال الشحن السطحية وبالنسبة للسطح الخارجي للعازل يتم من خلال الشحن السطحية. إن مقدار قيمة الشحن الافرادية تحسب من الشروط الحدية في معالم نقطة محددة P_i عن طريق نظام المعادلات الخطية.

من أجل الأقطاب يصلح الشرط الحدي التالي:

$$\phi = \phi_{electrode} \quad (1)$$

ومن خلال الكهرباء الساكنة فإنه يصلح بالنسبة لنظام العزل:

$$\varepsilon_1 E_{n1} = \varepsilon_2 E_{n2} \quad (2)$$

حيث أن:

ϕ: الكمون،

E_n: مركبة شدة الحقل الناظمية،

ε ثابت العزل في الوسط الأول أو في الوسط الثاني.

عند الأخذ بعين الاعتبار مركبة شدة الحقل الأومية هذا يعني بتعبير آخر أنه عند الأخذ بعين الاعتبار الناقلية السطحية أو الناقلية الحجمية المحدودة للمادة العازلة، فإن ذلك يقود إلى تعميم الشرط الحدي أي المعادلة رقم (2). من أجل نقطة معالم ما لا على التحديد من السطح الحدي العازل يصلح ما يلي:

$$div\vec{\delta}_{total} = 0 \quad (3\text{-a})$$

أو عند الكتابة بالصيغة التكاملية من أجل عنصر سطحي (A) من السطح الحدي يكون:

$$\oint_A \vec{\delta}_{total} d\vec{A} = 0 \quad (3\text{-b})$$

إن كثافة التيار الكلية $\vec{\delta}_{total}$ تتألف من كثافة التيار $\vec{\delta}_v$ والتي تسببها الناقلية الحجمية أو النوعية χ، ومن كثافة التيار $\vec{\delta}_s$ والتي تسببها الناقلية السطحية ومن كثافة تيار الإزاحة $\frac{\overrightarrow{\partial D}}{\partial t}$

$$\vec{\delta}_{total} = \vec{\delta}_v + \vec{\delta}_s + \frac{\overrightarrow{\partial D}}{\partial t} \quad (4\text{-a})$$

ومن أجل التيارات المتناوبة ذات التردد الزاوي (ω) يمكن كتابة العلاقة السابقة بالصيغة العقدية كما يلي:

$$\vec{\delta}_{total} = \vec{\delta}_v + \vec{\delta}_s + j\omega\varepsilon\vec{E} \quad (4\text{-b})$$

إن الحدود الافرادية لهذا التيار تكون في الوسط العازل الأول والثاني متناسبة مع مركبة شدة الحقل (هذه الخاصية حسب الشكل 1):

$$\vec{\delta}_{v1} = \chi_1\vec{E}_1 \quad (5\text{-a})$$

$$\vec{\delta}_{v2} = \chi_2\vec{E}_2 \quad (5\text{-b})$$

$$\vec{\delta}_s = \chi_s\vec{E}_t = E_t G_s / d \quad (6)$$

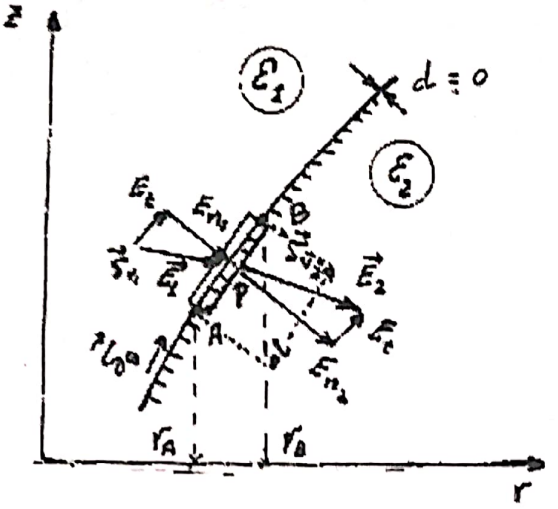
حيث أن:

χ_s: الناقلية النوعية للطبقة الناقلة السطحية،

G_s: الناقلية السطحية لواحدة المساحة من الطبقة السطحية الناقلة،

d: سماكة الطبقة الناقلة السطحية،

E_t: مركبة شدة الحقل المماسة لسطح العازل.



الشكل (1): مقطع في سطح حدي عازل $\varepsilon_1/\varepsilon_2$ في نظام متناظر دورانياً حيث أن محور التناظر هو المحور z.

من أجل المعالجة الرقمية فإن الحساب يتم وفق المعادلة (3-b)، والتي تقود مع المعادلات المنجزة أخيراً من أجل سطح جزئي على شكل كرة مثلاً إلى الصيغة التالية:

$$[(\chi_1 + j\omega\varepsilon_1)E_{n1} - (\chi_2 + j\omega\varepsilon_2)E_{n2}]/(r_A + r_B) + 2G_s\left(r_A \underline{E}_{tA} - r_B \underline{E}_{tB}\right) = 0 \quad (7)$$

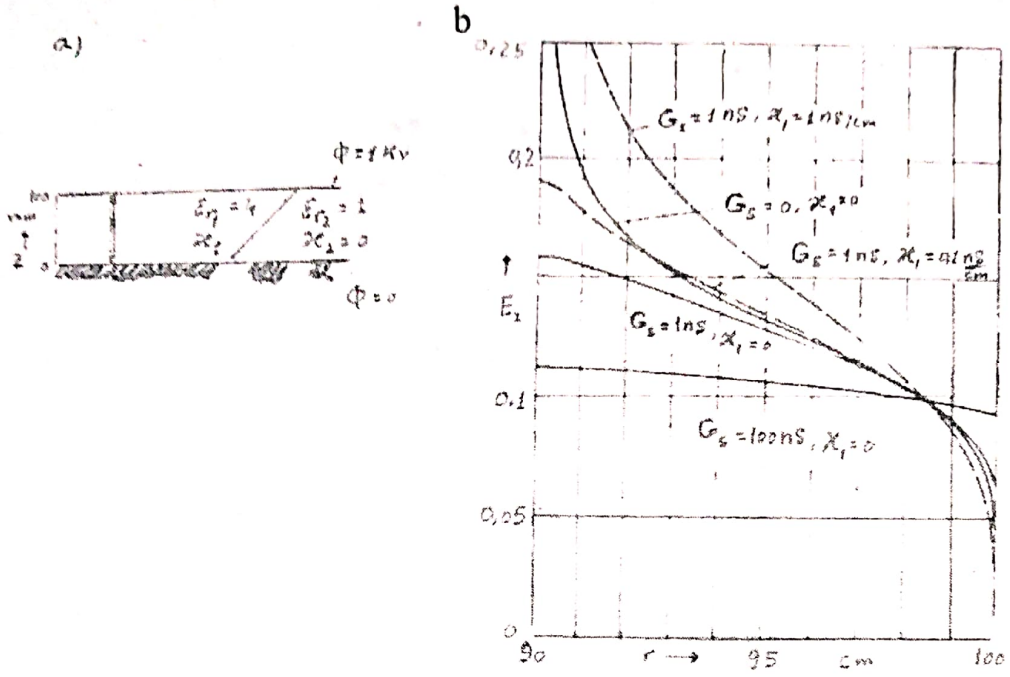
حيث يتم في هذه الحالة التحري عن شدات الحقل المماسية في النقطة A أو في النقطة B وعن شدات الحقل الناظمية في النقطة P وذلك كما في الشكل رقم (1).

إن شدات الحقول الافرادية لهذه المعادلة تحتوي في الارتباط مع عامل الكمون الواقعي P على كثافة شحن غير معروفة σ، فعلى سبيل المثال تصلح العلاقة التالية من أجل مركبة شدة الحقل E_x في الاتجاه x في نقطة ما من الحقل:

$$E_s = \sum_{i=1}^{n} \sigma_i \frac{\partial p}{\partial x} \quad (8)$$

حيث n هي العدد الحدي لصيغ الشحن من أجل عوامل الكمون والتي تعطى في [3و4]. ومن ثم كما هو معلوم[3و4] يمكن إنجاز نظام من المعادلات الخطية والتي تحتوي على قيم شحن مجهولة ينبغي التحري عنها. إن أسطر المصفوفة (ماتريكس Matrix) لنظام المعادلات هذا والمستنتجة من المعادلة (7) تحتوي على أجزاء حقيقية وتخيلية حيث يمكن تحديد الشحن بما في ذلك العقدي من نظام المعادلات.

إن هذه الطريقة يمكن استخدامها أيضاً في نظام ثلاثي الأبعاد، وإن البرنامج الحسابي اللازم يوضع بالنسبة للحقول المتناظرة دورانياً.



الشكل (2): توزع الحقل على مقطع كروي من العازل

(a) نظام المقطع الكروي بين مسريين مسطحين (الأبعاد بـــmm).

(b) مقدار شدة الحقل على السطح الحدي العازل على الجانب للوسط ε_{r2} من أجل $\chi_2 = 0$ ومن أجل قيم مختلفة لـــχ_1 عند التردد 50Hz.

3- أمثلة:

مثال (1):

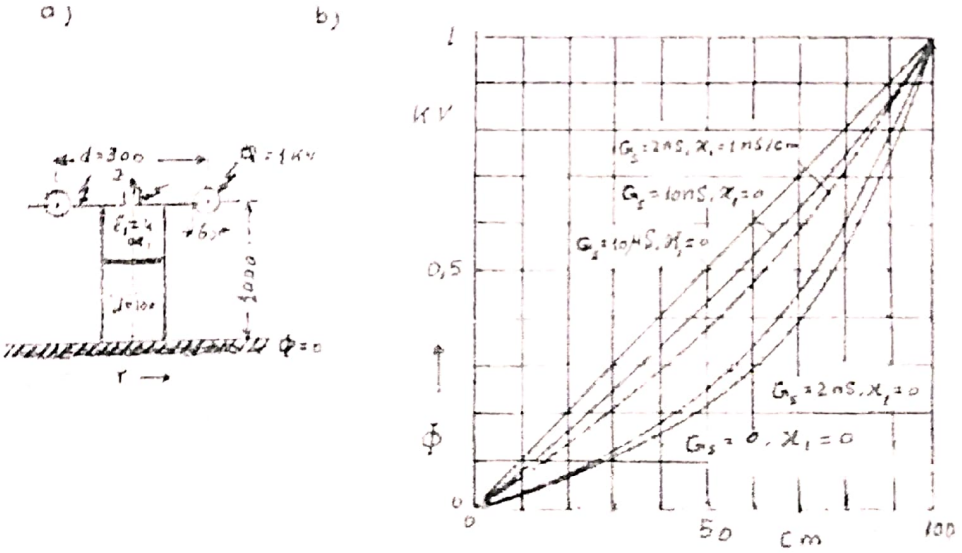
يبين الشكل (2-a) نظام اختبار على سطح حدي عازل متناظر دورانياً بـــين قطبـــين مستويين. سيتم في هذا المثال حساب توزع الكمون وشدة الحقل من أجل قيم مختلفة للناقليـــة السطحية والناقلية الحجمية.

يبين الشكل (2-b) مقدار شدة الحقل على طول السطح الحدي العازل على الجانب ذي الوسط $\varepsilon_r = 1$ وذلك من أجل $f = 50Hz$. إن المنحنيات المبينة صالحة من أجل عازل مثالي مع $\chi = 0$. كما نلاحظ من الشكل (2-b) فإنه من أجل قيم ناقليـــة ســـطحية $G_s = 100nS$ وأكبر فإن توزع شدة الحقل يتحدد من خلال المركبة الأومية للتيار فقط. في كل الأحوال فإن شدة الحقل غير ثابتة على طول السطح الحدي للعازل، وذلك لأنه عند سماكة طبقة ثابتـــة d يتغي نصف القطر r وكثافة التيار $\vec{\delta}_s$. وكما نلاحظ أيضاً أنه مـــع تنـــاقص قيمـــة الناقليـــة السطحية يقترب توزع الحقل من الحقل الكهرســـاكن ($G_s = 0$; $\chi_s = 0$). إن الأخـــذ بعـــين الاعتبار ناقلية حجمية محدودة χ_1 يؤدي إلى توزع الحقل بشكل غير منتظم، حيث يبين الشكل

(2-b) ذلك عند ناقلية سطحية ثابتة $G_s = 1nS$ من أجل قيمتين مختلفتين للناقلية الحجمية χ_1 $= 1nS/cm, \chi_1 = 0.1/cm$.

مثال (2):

نريد أن نبين في هذا المثال توزع الكمون على عازل أسطواني دائري. إن هذا النظام مبين تخطيطياً في الشكل (3-a)، وإن نتائج حساب منحنيات توزع الكمون مبينة في الشكل (3-b) وذلك عند تردد 50Hz، حيث نلاحظ أنه من أجل قيمة سطحية $G_s \geq 10\mu S$ ينتج عملياً توزع كمون متساوي القوة (Isodynamic potential distribution) والمنحني الأسفل على الشكل هو مطابق للحقل الكهرساكن. نلاحظ هنا أنه كلما زادت الناقلية الحجمية χ_1 كلما تحسن توزع الكمون كما يبين ذلك المنحني ذو البارامترات $G_s = 2nS/cm, \chi_1 = 1nS/cm$.

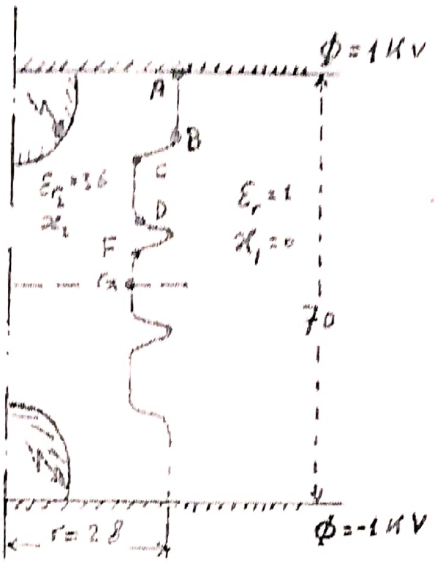


الشكل (3): توزع الكمون على عازل أسطواني دائري

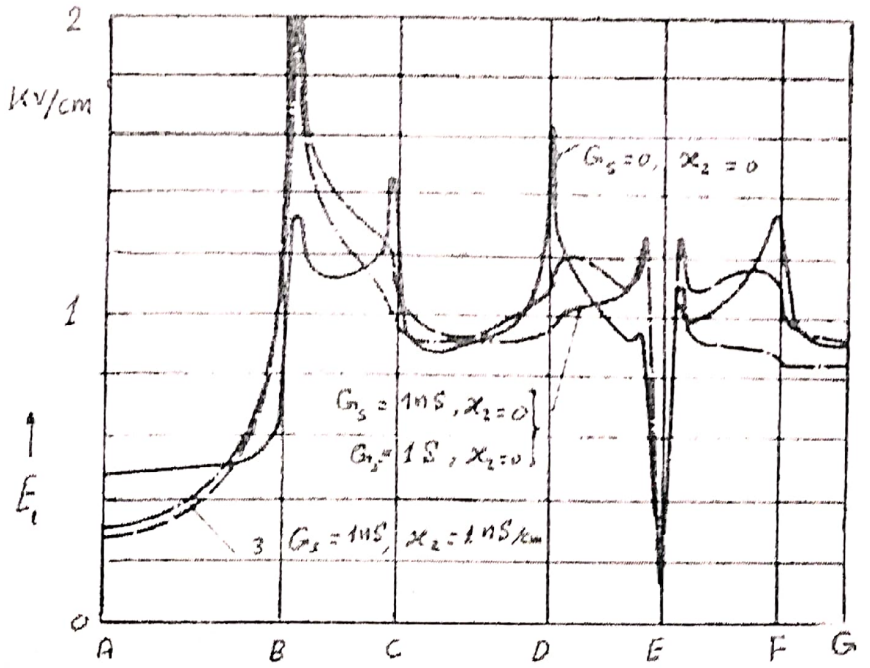
(a) نظام العازل الأسطواني (الأبعاد بـــmm).

(b) قيمة الكمون على طول العازل عند تردد 50Hz.

(a)



(b)



الشكل (4): توزع شدة الحقل بالنسبة لعازل ارتكاز

(a) نظام العزل: عازل ارتكاز بين صفيحتي توصيل ϕ = 1kv, –1kv (الأبعاد بـــmm).

(b) مقدار شدة الحقل على طول عازل الارتكاز من النقطة A وحتى النقطة G وذلك على الجانب $\varepsilon_{r1} = 1$ من أجل $\chi_1 = 0$ وبالنسبة لقيم مختلفة G_s, χ_2 عند تردد 50Hz.

مثال (3):

الآن نريد بوساطة هذه الطريقة التحري عن الحقل لعازل ارتكاز، والشكل (4-a) يبين هذا العازل.

بما أن الجهد الحسابي هنا كبير فقد تم وضع الارتكاز بين صفيحتي توصيل متناظرتين لكل واحدة منهما الكمون +1kv, –1kv، وتم الأخذ بعين الاعتبار نصف النظام فقط (بسبب التناظر) أي في النقاط المميزة من A وحتى G وذلك كما هو مبين في الشكل (4-a).

لقد عرضت بعض النتائج الهامة في الشكل (4-b) وذلك عند تردد 50Hz، حيث تم تمثيل مقدار شدة الحقل على الجانب $\varepsilon_r = 1$ على طول منشور العازل من A وحتى G. المنحني (1) يمثل الحالة الكهرساكنة ($G_s = 0, \chi = 0$)، ونلاحظ أن شدة الحقل العظمى بالقرب من النقاط B وكذلك النقاط C, D, F. عند الأخذ بعين الاعتبار قيمة الناقلية السطحية $G_s = 1S$ فإنه يسود على طول العازل نفس منحني توزع شدة الحقل.

بزيادة الناقلية الحجمية بشكل إضافي فإن توزع منحني شدة الحقل يصبح أسوأ، فعلى سبيل المثال من أجل $\chi_s = 1nS/cm, G_s = 1nS$ يبين المنحني رقم (3) توزع شدة الحقل.

إن زيادة التردد بالنسبة لكل الأنظمة يؤدي إلى الانزياح باتجاه الحقل الكهرساكن، وذلك لأن النسبة $\omega\varepsilon/\chi$ تزداد بزيادة التردد هذا يعني بتعبير آخر أن مركبة التيار السعوية تزداد بالمقارنة مع المركبة الأومية. إن ذلك يتجلى عند الإجهاد بتوتر نبضي الشكل.

4- خلاصة:

إن هذا البحث يصف حساب الحقل المركب المؤلف من مركبة سعوية وأخرى أومية، وهذا ينطبق على العوازل التي تتشكل على سطوحها الخارجية طبقات ناقلة سطحية أو عندما تمتلك المادة العازلة ناقلية حجمية محدودة.

تستخدم طريقة الحساب هذه الشحن المركبة (المعقدة) عند التردد المعطى. إن معالم العزل يتم أخذها بعين الاعتبار مع الشرط الحدي من أجل استمرارية التيار في كل نقطة من هذه المعالم، وقد تم توضيحها على ثلاثة أمثلة.

REFERENCES المراجع

[1]- Buchmann B.: Numerische Berechung von Mischfeldern. ISH. 1975 konf. Bd.1.

[2]- Takuma T., Kawamoro T.: Field Calculation including surface resistance by charge simulation method ISH mailand 1979, Nr.12, 01.

[3]- Singer H., Steinbegler H. Weiss B.: charge simulation method for the calculation of high-voltage fields. IEEE transpowersyst. 93-1974.

[4]- Singer H.: Flachentladungen zur feldberechnung von Hochspannungsystemen. SEV 65-1974.