تأثير شحنة الفراغ في التصميم النظري لقاذف الكتروني يعمل تحت ظرف التكبير المحدد

بشرى هاشم حسين

قسم الفيزياء، كلية التربية-ابن الهيثم ،جامعة بغداد

الخلاصة

اجريت دراسة نظرية حاسوبية في موضوع البصريات الالكترونية لتصميم قاذف الكتروني بأخذ تأثير شحنة الفراغ حسب توزيع الجهد المحوري لعدسة مغمورة ثنائية الاقطاب طولها L=14mm من خلال حل معادلة بواسون بأستخدام طريقة العناصر المحددة وهي احد طرائق التحليل ومن معرفة المشتقتين الاولى والثانية للجهد المحوري وحل معادلة الشعاع المحوري تم ايجاد الخواص البصرية للبعد البؤري، ومعامل الزيغ الكروي ومعامل الزيغ اللوني.

تم ايجاد افضل قيم للتيار التي تعطي قيم مقبولة لمعاملات الزيوغ الكروية واللونية بوجود شحنة الفراغ، اذ أستخدمت قيمة التيار $I=10^{-4}A$ وقيمة مساحة مقطع الحزمة $S=1mm^2$.

المقدمة

تعد البصريات الالكترونية فرعا من فروع الفيزياء التي تعنى بحركة سيل من الجسيمات المشحونة الالكترونات او الايونات في المجالات الكهربائية والمغناطيسية التي تم تبئيرها بهذه المجالات (1).

ان القاذف الالكتروني هو المصدر الرئيس للحزمة، الالكترونية اذ تتكون منظومة القاذف من كاثود واقطاب تبئير قرب الكاثود وجهد انود موجب نسبة الى جهد الكاثود ،اذ تستعمل المعادن لأمتلاكها الكترونات حرة كافية، يسخن السلك بتيار

كهربائي حتى يمرر الكترونات قليلة فعند تسليط مجال كهربائي قوي تتعجل الالكترونات الى الامام وتستخدم هذه التقنيات في شاشات التلفاز والحاسبات (2).

الجزء النظري

لكي نصمم قاذفا" الكترونيا بوجود شحنة الفراغ يجب ان نصمم عدسات كهروستاتيكية اولا وذلك بأختيار شكل الاقطاب وتحديد المسافة بين الاقطاب وعلى اساسها يحسب توزيع الجهد على الاقطاب بأستخدام برامج حاسوبية بلغة فورتران 77، ان البرامج المستخدمة في هذا البحث هي E11 و E21 التي وضعت من العالم Munro 1975 ، E11 برنامج يحسب توزيع الجهد U(z) لعدسات كهروستاتيكية متماثلة محوريا لمحور z بعد ذلك يستخدم هذا الجهد مدخلات لبرنامج E21 الذي يتم من خلاله حساب الصفات البصرية من بعد بؤري f وزيغ كروي Cs وزيغ لوني Cc (3).

ان طريقة العناصر المحددة هي الطريقة المستخدمة في هذا البحث لتصميم العدسة الكهروستاتيكية وهي اكثر دقة من الطرق الاخرى وذلك للكثافة العالية لنقاط الشبكة (4).

اساس عمل هذه الطريقة يكون من خلال تقسيم العدسة اي المنطقة المراد تحليلهاعلى عدد كبير جدا من المناطق الثانوية الصغيرة وتسمى بالعناصر المحددة.

يتم اولا حساب توزيع الجهد المحوري ثم تحل معادلة الشعاع المحوري لحساب مسار الالكترونات من خلال المعادلة الاتية: (5)

$$\frac{\partial^2 r}{\partial z^2}+\frac{U(z)}{2U(z)}\frac{\partial r}{\partial z}+\frac{U'(z)}{4U(z)}r=\frac{I}{2\pi\varepsilon_0(2\eta U)^{1/2}R} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots[1]$$

اذ R تمثل المسافة على المحور البصري (z) ، و η تمثل النسبة بين الشحنة/كتلة الألكترون وتساوي q/m، و π ثابت =3.14، و I يمثل تيار القاذف الألكتروني ويقاس بوحدة الامبير A و U', U" هي المشتقة الاولى والثانية للجهد المحوري U و r تمثل مسار الجسيمات المشحونة.

يتم حساب الخواص البصرية بعد حل معادلة الشعاع المحوري بأستخدام الطريقة العددية رنج-كتا من المرتبة الرابعة لأيجاد مسار الحزمة الالكترونية للعدسة الكهروستاتيكية، ولأيجاد قيمة معاملي الزيغ الكروي واللوني أستخدمت طريقة Simpson's rule(6).

$$Cs_O = \frac{U^{-1/2}}{16 r_o'^4} \int_{zo}^{zi} \left\{ \left[\frac{5}{4}\left(\frac{U''(z)}{U(z)}\right)^2 + \frac{5}{24}\left(\frac{U'(z)}{U(z)}\right)^4 \right] r^4(z) + \frac{14}{3}\left(\frac{U'(z)}{U(z)}\right)^3 \right.$$

$$\left. r'(z) r^3(z) - \frac{3}{2}\left(\frac{U'(z)}{U(z)}\right)^2 r'^2(z) r^2(z) \right\} U^{1/2}(z)\, dz \text{ ----------} [2]$$

$$Cc_O = \frac{U^{1/2}(z_o)}{r_o'^2} \int_{zo}^{zi} \left[\frac{1}{2}\frac{U'(z)}{U(z)} r'(z) r(z) + \frac{U''(z)}{4U(z)} r^2 \right] U^{-1/2}(z) dz \text{ -----} [3]$$

النتائج والمناقشة

في هذا البحث صمم قاذف الكتروني ذو عدستين مغمورتين ثنائيتي القطب متماثلتين، ان توزيع الجهد المحوري للعدسة يوضحه الشكل 1 الذي يبين توزيع الجهد لعدسة ثنائية القطب مغمورة بطول14mm ، كما ان الجهد على القطب الاول يختلف عن الجهد على القطب الثاني وان العدسة متماثلة، بعد اختيار العدسة نعمل على وضعها امام الكاثود لكي تبئر الحزمة الالكترونية التي يتم قذفها من الكاثود.

تمت دراسة تأثير تغير مساحة المقطع S في معاملات الزيوغ الكروية واللونية عند اخذ قيمة ثابتة للتيار مقدارها $I=10^{-4}$ A ،اذ نلاحظ من الشكل(2) ان معاملات الزيوغ الكروية واللونية تقل بصورة واضحة مع زيادة مساحة المقطع ابتداء من $S=1mm^2$ الى اقل قيمة لها عندما $S=3mm^2$ اذ نلا حظ ان قيم الزيوغ تتراوح

مابين 2.75 الى 2.35 بالنسبةالى الزيغ الكروي وان قيم الزيغ اللوني تراوحت ما بين 0.57 الى0.55 عند تغير مساحة المقطع 3>S>1.

الشكل 3 يبين تغير معاملات الزيوغ نسبة الى البعد البؤري مع تغير قيم التيار عند اخذ قيمة ثابتة لمساحة المقطع $S=1mm^2$ حيث ان معامل الزيغ الكروي واللوني يتغير بصورة واضحة مع تغير التيار، فعند قيمة I=0.0001 A فأن قيمة Cs/f تكون 2.76 و Cc/f تكون 0.57 وعند تغير قيمة التيار I=0.0005 A فأن قيمة Cs/f تكون 16.64 وCc/f تكون 0.78 وهذه القيم يمكن عدها جيدة مقارنة بالاعمال السابقة في هذا المجال (Munro 1975).

درست حالة التكبير المحدد التي تتمثل بفرعين هما :

1. حالة التكبير الواطئ
2. حالة التكبير العالي

حالة التكبير الواطئ :

تتم دراسة معامل الزيوغ Csi و Cci لهذه الحالة من حيث ان مسار الحزمة الالكترونية تبدا من مجال الجسم Zo وينتهي بمجال الصورة Zi.

يوضح الشكلان (4)و (5) العلاقة بين معاملات الزيوغ الكروية واللونية في مجال الصورة نسبة الى التكبير Csi/M و Cci/M كدالة لنسب الجهود المعجلة في حالة موقع الجسم Zo=-500mm وZo=-1000m . ان الشكل(4) يبين العلاقة بين معاملات الزيوغ الكروية نسبة الى التكبير مع نسب الجهود المعجلة ففي الموقع Zo=-500mm نجد ان قيم Csi/M تقل من 2.132الى 0.645 وعند زيادة نسب الجهود من 10 الى 30 وعند موقع الجسم Zo=-1000mm نجد ان قيم Csi/M تقل من 3.366 الى 1.14 عند زيادة نسب الجهود من 10 ألى 30 .

بينما يبين الشكل (5) تأثير نسب الجهود المعجلة في معاملات الزيوغ اللونية نسبة الى التكبير في الحالتين عندما Zo=-500mm و Zo=-1000mm ، حيث يلاحظ انه عند موقع الجسم Zo=-500mm فأن قيم Cci/M تقل من 0.349 الى 0.114 بزيادة نسب الجهود من 10 الى 30 وعند موقع الجسم Zo=-1000mm فأن قيم Cci/M تقل من 0.63 الى 0.203 بزيادة نسب الجهود من 10 الى 30 .لذلك نجد من الشكلين(4

و(5)أن افضل قيم لمعاملات الزيوغ الكروية واللونية تكون في حالة موقع الجسم Zo=-500mm كذلك تكون قيم التكبير عندما Zo=-1000mm ضعف قيم التكبير عندما موقع الجسم Zo=-500mm.

يتضح من الشكلين (4)و(5)ان قيم الزيوغ اللونية اقل من قيم الزيوغ الكروية التي يمكن الأفادة منها في تصميم العدسات للقاذف الألكتروني

ان الجدول (1) يبين مقارنة بين العمل الحالي بوجود شحنة الفراغ حيث تم الحصول على افضل قيما" عندما طول العدسة (L=14mm) ،وعمل الباحث (Munro 1975) وعمل الباحثة (Intihaa 2002) عند عدم وجود شحنة الفراغ و (L=16mm) لقيم معاملات الزيوغ الكروية واللونية نسبة الى التكبير في حالة التكبير الواطئ عندما يقع الجسم على مسافة Zo=-500mm ، اذ يلاحظ وجود فرق في النتائج ويرجع ذلك الى شكل العدسة وتوزيع الجهد على الاقطاب المؤثرة في الخواص البصرية للعدسة.

حالة التكبير العالي :

في هذه الحالة تمت دراسة خواص العدسة المغمورة للقاذف الالكتروني في مجال الجسم، اذ ان مسار الحزمة الالكترونية يبدأ من مجال الصورة Zi وتنتهي بمجال الجسم Zo .

يبين الشكل(6)و(7) علاقة معاملات الزيوغ الكروية واللونية نسبة الى التكبير كدالة لنسب الجهود عند ثبوت موقع الصورة في الحالتين Zi=500mm و Zi=1000mm ، الذي يظهر انخفاض قيم الزيوغ الكروية نسبة الى التكبير في الشكل (6)وانخفاض قيم الزيوغ اللونية نسبة الى التكبيرفي الشكل 7 بزيادة الجهد للعدسة، فعند موقع الصورة Zi=500mm ونسبة الجهد 10 تكون قيمة معاملات الزيوغ الكروية 0.097 وعند موقع الصورة Zi=1000mm تكون 0.03. اما عند زيادة نسبة الجهود 30 فأن قيم الزيوغ الكروية في حالة موقع الصورة Zi=500mm تكون 0.0086 وعند موقع الصورة Zi=1000mm تكون قيم معاملات الزيوغ الكروية 0.0033 .

ان الشكل (7)يبين انخفاض قيم معاملات الزيوغ اللونية في مجال الجسم نسبة الى التكبير بزيادة نسب الجهود المعجلة ففي حالة موقع الصورة عند المسافةZi=500mm ونسة الجهد 10 تكون قيمة معاملات الزيوغ اللونية 0.0159 وفي حالة موقع الصورة

Zi=1000mm تكون 0.0057 ،وعند زيادة نسب الجهود 30 تكـــون قـــيم معـــاملات الزيوغ اللونية عند موقع الصورة Zi=500mm هي 0.00153 وعند موقع الصـــورة Zi=1000mm فأن قيم معاملات الزيوغ اللونية تكون 0.00058 .

نلاحظ من الشـــكلين (6)و(7)ان قيم معاملات الزيوغ في حالة موقع الصورة Zi=1000mm هي تقريبا" نصف قيم معاملات الزيـــوغ فـــي المســـافة Zi=500mm وهذا يعني ان افضل قيم لمعاملات الزيوغ تكون عند موقع الصورة Zi=1000mm

يبين الجدول (2) يبين مقارنة بين العمل الحالي وعمـــل الباحـــث (Munro 1975) وعمل الباحثة (Intihaa 2002) لقيم الزيوغ الكروية واللونية نسبة الى التكبير في حالـــة التكبير العالي لعدسة ثنائيـــة القطـــب مغمـــورة عنـــدما تكـــون الصـــورة علـــى بعـــد Zi=1000mm، اذ نلاحظ ان قيم الزيوغ متفاوتة ويرجع ذلك الى الاختلاف في طـــول العدسة.

الاستنتاجات

1. وجد انه بزيادة قيم التيار تزداد قيم معاملات الزيوغ الكروية النســـبية واللونيـــة النسبية.
2. وجد انه تتغير مساحة المقطع مع معاملات الزيوغ الكروية النســـبية واللونيـــة النسبية حيث بزيادة مساحة المقطع فأن قيم الزيوغ تقل .
3. وجد ان قيم معاملات الزيوغ الكروية واللونية تقل بزيادة نسب الجهود المعجلة.
4. وجد انه في حـــــالة التكبيـــر الـــواطئ أفضل موقعا" للجســـــــم يكون عندما Zo=-500mm للحصول على اقل قيم لمعاملات الزيوغ الكروية واللونية.
5. وجد انه في حالة التكبيرالعـــــالي أفضـــل موقعـــا" للصـــورة يكـــون عنـــدما Zi=1000mm للحصول على اقل قيم لمعاملات الزيوغ الكروية واللونية.

المصادر

1. Zhigarev, A. (1975) "Electron Optics and Electron-Beam Devices" Mir Publishers Moscow.

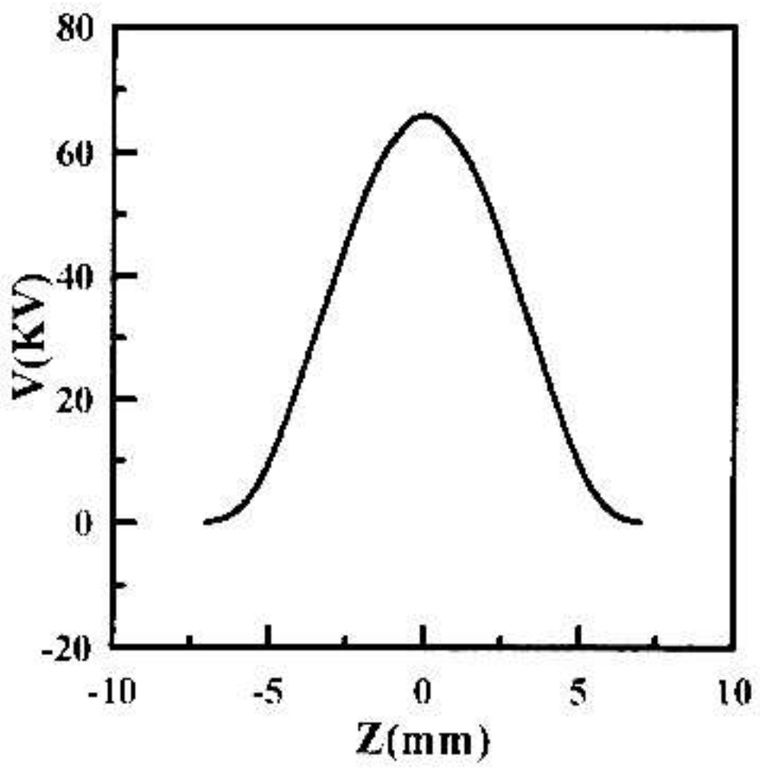
2. (www.Jan-ucc.nou /~wittke/Microprobp) last update 05/05/2003 Owners: medunn (design Page).quinn (content)
3. Munro, E. (1975) "A set of computer programs for calculating the properties of electron lenses" Department of Engineering Report CUED/B-Elect. TR45, University of Cambridge, UK.
4. Hawkes, P.W. (1972) "Electron optics and electron microscopy" Churchill Collage, London.
5. Kirestein, P.T., Gordon, S.K. and Willam, E.W. (1967) "Space-Charge Flow" McGraw-Hill New York, London.
6. Kiss, L. (1988) "Computerized investigation of electrostatic lens potential distribution" 12th IMACS World Congress, ed. R. Vicheretsky, Paris.
7. Intehaa, A. M. (2002) "Theoretical design of an electron gun lenses using numerical methods" Ms. c. Thesis, Collage of education for women, Baghdad University, Iraq.

جدول(1) موازنة العمل الحالي مع الدراسات المشورة سابقا"

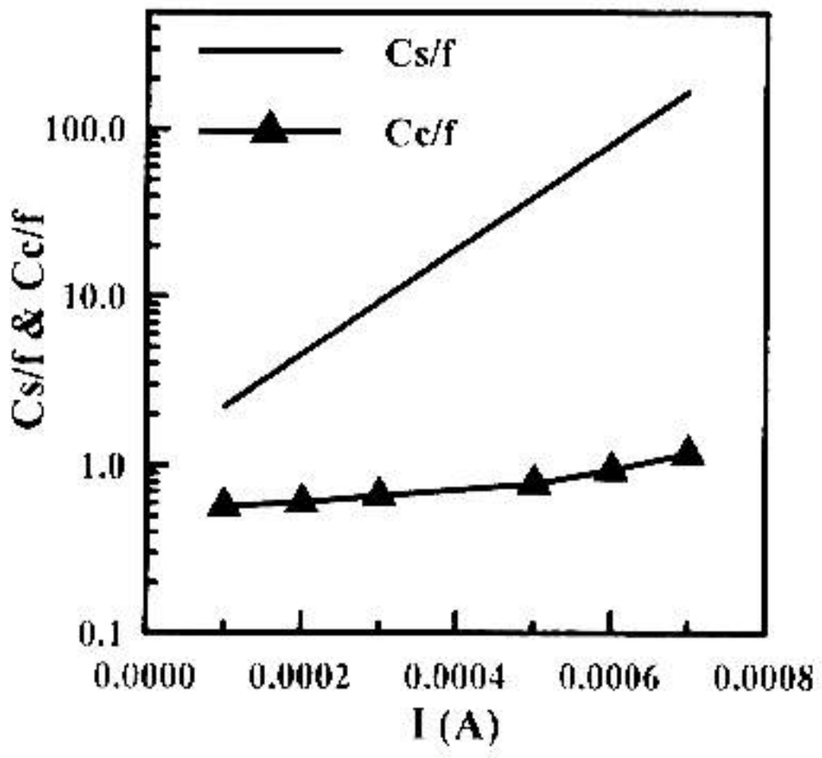
نسب الجهود	عدمMunro 1975 وجود شحنة فراغ L=16mm		الدراسة الحالية بوجود شحنة فراغ L=14mm		عدم Intihaa 2002 وجود شحنة فراغ L=16mm	
Vi/Vo	Csi/M	Cci/M	Csi/M	Cci/M	Csi/M	Cci/M
10	20165.4	7845	2.132	0.349	13.7	6.9
15	20489	12832.5	1.031	0.238	12	10.5
20	22105.8	16950.6	0.761	0.179	11	14.2
25	24243	22146.2	0.671	0.141	12.3	18
30	26833.7	27705	0.645	0.114	13.3	23

جدول (2) موازنة العمل الحالي مع الدراسات المشورة سابقا"

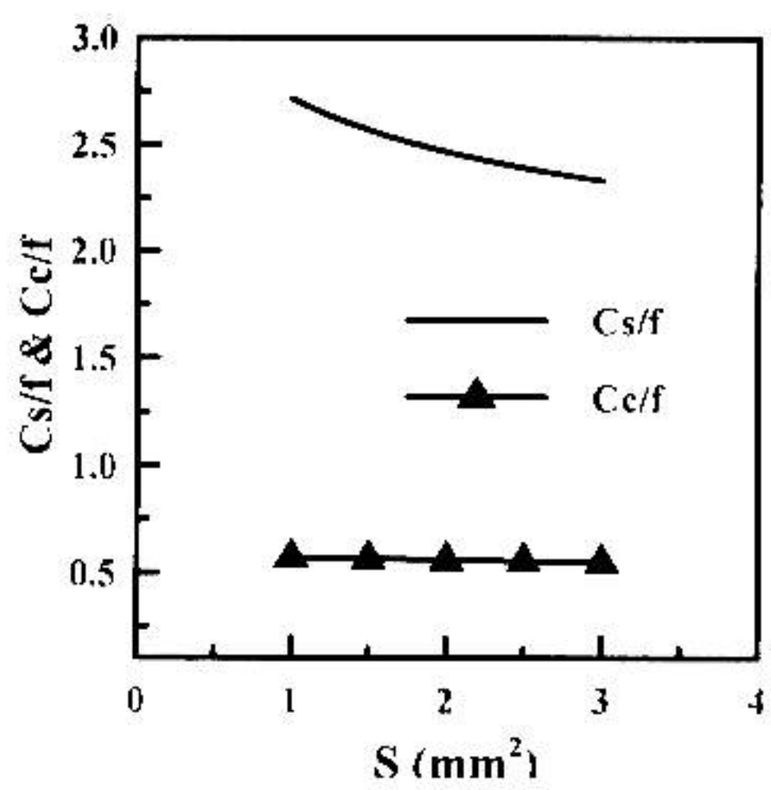
نسب الجهود	Munro 1975عدم وجود شحنة فراغ L=16mm		الدراسة الحالية بوجود شحنة فراغ L=14mm		Intihaa 2002 عدم وجود شحنة فراغ L=16mm	
Vi/Vo	Cso/M	Cco/M	Cso/M	Cco/M	Cso/M	Cco/M
10	2.12	0.45	0.03	0.0057	$1.2*10^{-4}$	$3*10^{-5}$
15	0.66	0.22	0.0096	0.0023	$1.7*10^{-5}$	$1*10^{-5}$
20	0.33	0.14	0.0054	0.0013	$3.6*10^{-6}$	$3.6*10^{-6}$
25	0.2	0.1	0.004	0.00085	$1.4*10^{-6}$	$1.35*10^{-6}$
30	0.14	0.078	0.0033	0.00058	$8.3*10^{-7}$	$9*10^{-7}$



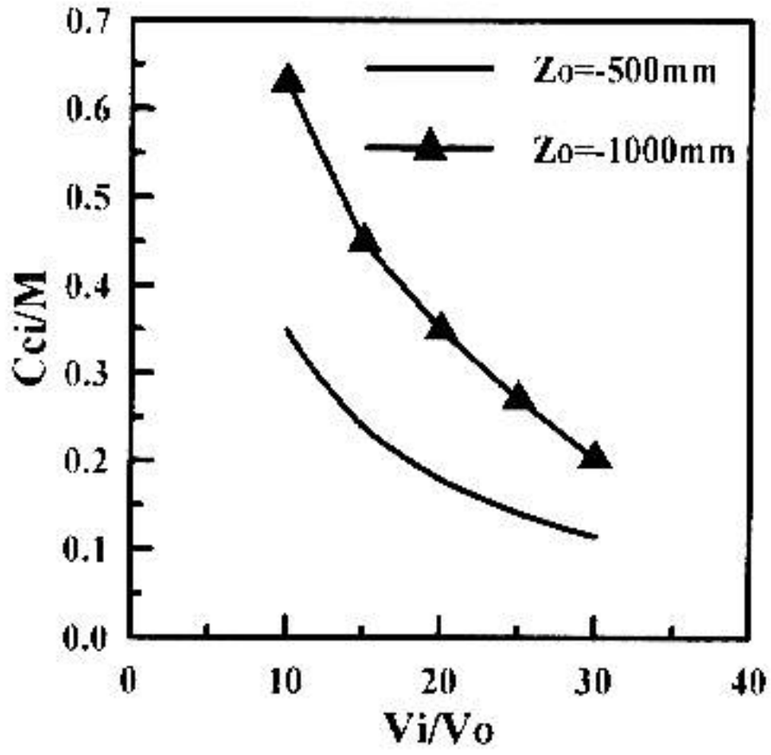
شكل (1)يمثل توزيع الجهد لعدسة ثنائية القطب مغمورة بطول 14mm



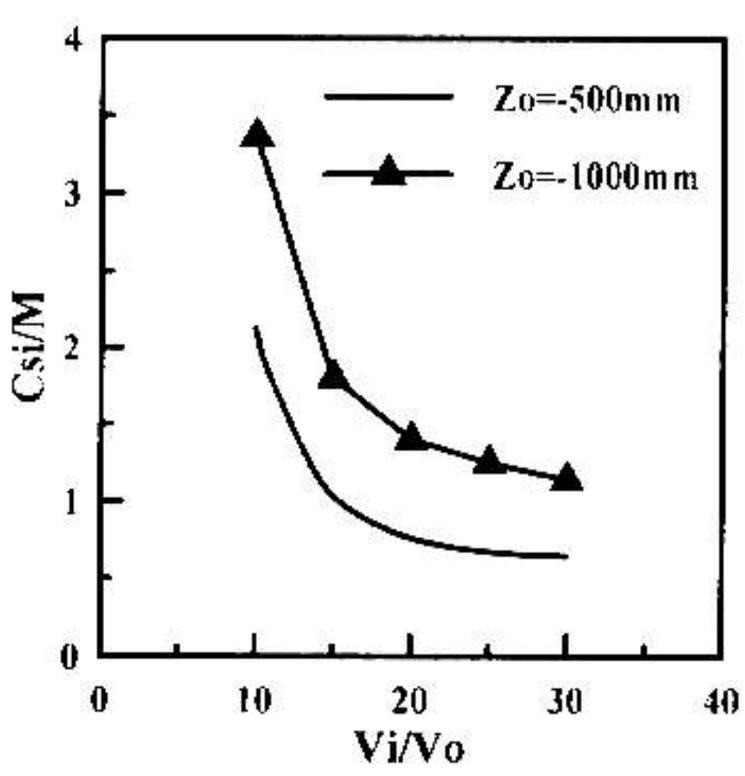
شكل (3) يمثل معاملات الزيوغ نسبة الى البعد البؤري مع التيار



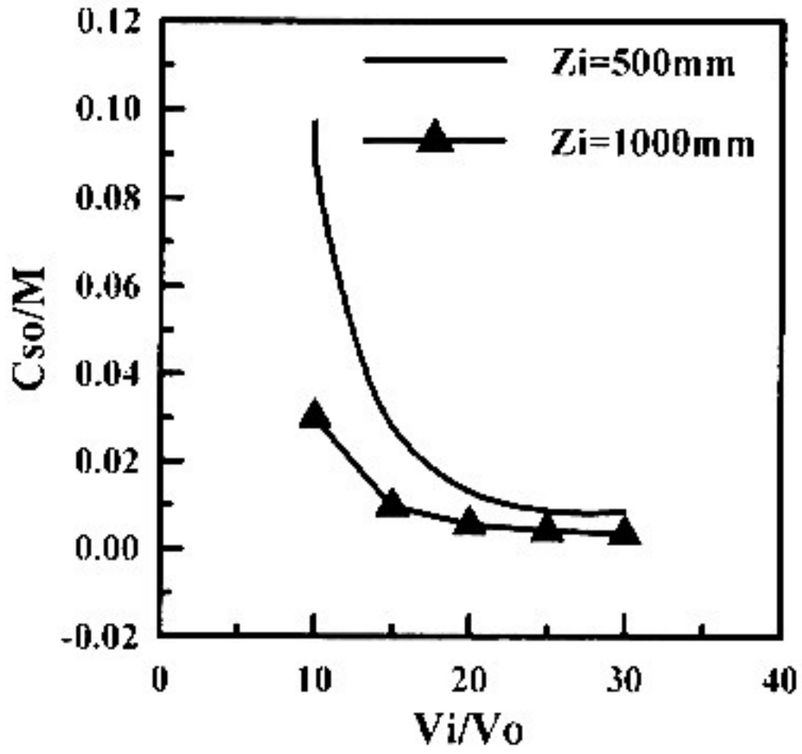
شكل (2) يمثل معاملات الزيوغ نسبة الى البعد البؤري مع المساحة S عندما $I=10^{-4}A$



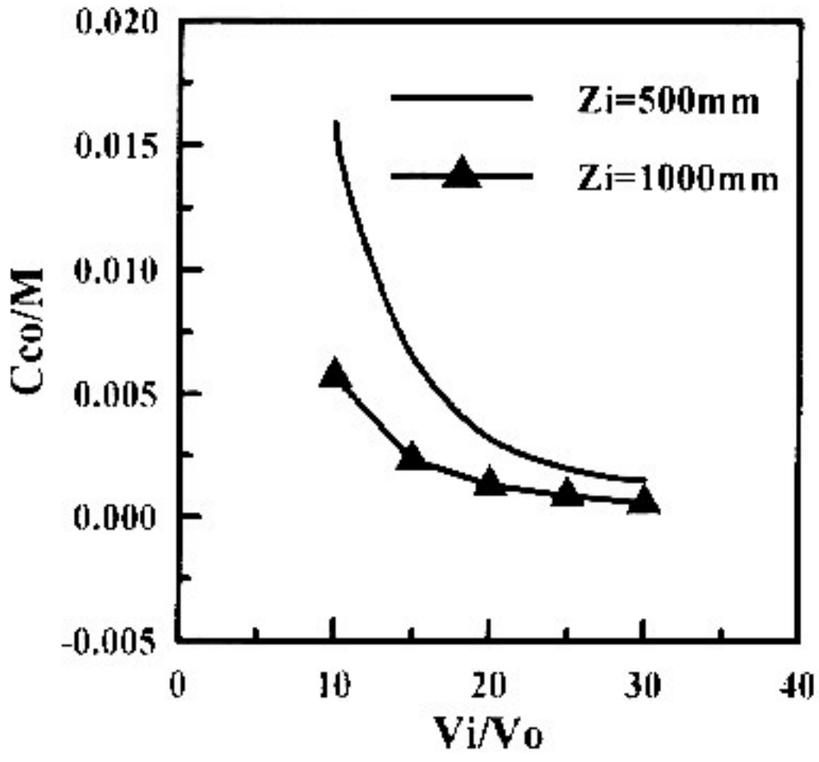
شكل (5)يمثل معاملات الزيوغ اللونية نسبة الى البعد التكبير مع نسب الجهود في حالة التكبير الواطئ



شكل (4)يمثل معاملات الزيوغ الكروية نسبة الى التكبير مع نسب الجهود في حالة التكبير الواطئ



شكل(6)يمثل معاملات الزيوغ الكروية نسبة الى التكبير مع نسب الجهود في حالة التكبير العالي



شكل(7)يمثل معاملات الزيوغ اللونية نسبة الى التكبير مع نسب الجهود في حالة التكبير العالي

The Space-Charge Effect on Theoretical Design of the Electron Gun Operated under Finite Magnification Condition

B. H. Hussein
Department of Physics ,College of Education Ibn Al-Haithem , University of Baghdad

Abstract

A computer theoretical study has been carried out in field of opto – electronices, to design an electron gun using the space charge effect.

The distribution of axial potential upon the two –electrode immersion lens of (L=14mm) has been carried out using Poisons equation and the finite element method; knowing the first and second derivation of the axial potential and the solution of paraxial ray equation, the optical properties of the focal length, (Spherical and Chromatic aberration Coefficients) been founds.

An acceptable values for Splerical and Chromatic aberration Coefficients aberration coefficients abtained when a current of ($I=10^{-4}$ A) applied with a been of uniform cross-sectional area $S=1mm^2$.