

بناء وتشغيل منظومة ليزر ثنائي اوكسيد الكربون بتوظيف المبرد الحراري

د. محمد صالح مهدي* د. نجم عبد الكاظم الربيعي* صباح عبد داود*

تاريخ التسلم: ٢٠٠٥/٥/٢

تاريخ القبول: ٢٠٠٧/٤/٥

الخلاصة

في هذا البحث ، جرى بناء و تشغيل منظومة ليزر ثنائي اوكسيد الكربون المستمر بتوظيف تقنية المبرد الحراري الواسطي لغرض زيادة معدل تبريد الوسط الفعال المستخدم وهي الخلطة الغازية (CO₂:N₂:He). اظهرت النتائج المستحصلة في البحث ان استخدام المبرد الحراري الواسطي يؤدي الى زيادة قدرة الليزر الخارجة الى (52 W) وهذه القيمة تعد تحسينا في اداء المنظومة مقارنة بحالة عدم استخدام المبرد الحراري الواسطي والتي اعطت قدرة ليزر خارجة مقدارها (5W). تعد تقنية استخدام المبرد الحراري الواسطي احد الحلول الكفيلة بزيادة معدل تبريد الوسط الفعال من خلال تهيئة منطقة وسطية تكون فيها سرعة سحب الغازات عالية.

Construction and Operating CO₂ Laser System with Heat Distribution Technique

Abstract

In this work , a CW CO₂ laser system was constructed and operated. This system employs an intermediate heat sink unit in order to increase cooling rate of the active medium, which is CO₂:N₂: He mixture. The obtained results in this work explain that using the heat sink unit causes the output laser power to increase to 52W compared to 5W obtained from the same system without using the heat sink unit. This heat sink technique can be considered as reasonable solution to increase cooling rate of the active medium throughout forming an intermediate region in which the gas flow rate is high.

المقدمة

منطقة التفريغ وامرارها خلال مبادل حراري (Heat Exchanger) بعد ذلك تمرر الى حجرة تحتوي على عوامل مساعدة (Catalysts) لكي تعيد الغازات المفككة نتيجة التفريغ الكهربائي ، و بعد ذلك يتم اعادة الغازات المبردة الى حجرة التفريغ. من خلال هذه المنظومات يمكن ان تتولد قدرة [2] 2Kw او اعلى من ذلك [3].

ان الجريان السريع للغاز خلال تنبوت يميل الى الاضطراب (Turbulence) وهذا يؤدي الى تشويش (Distortion) للمسار البصري بسبب اختلاف في قيمة معامل الانكسار. ان اغلب ليزرات الجريان السريع تستخدم التهيج المستمر (DC) للوسط الفعال، وهذا يؤدي الى بعض المشاكل فاذا كان جريان

ان الفائدة الرئيسية لجريان الغاز في منظومات ليزر CO₂ هي ازالة نواتج التحلل وخاصة CO التي تؤثر سلبيا على الفعل الليزري [1]. كما يمكن التحكم بسرعة جريان الغاز داخل انبوب التفريغ اذ ان ليزرات الجريان الطولي تنقسم الى جريان واطى (Low Flow) و جريان سريع (Fast Flow). يتم في ليزر الجريان الواطى سحب الخلطة الغازية بعد احتيازها منطقة التفريغ و دفعها خارج المظومة لانه لا يمكن الاستفادة منها لحدوث الفعل الليزري، وهذا يتطلب مصدر دائم للخلطة الغازية حيث يكون استهلاك الغازات كبير و مكلف. اما عند جريان الغاز بصورة سريعة فانه يتم سحب الخلطة الغازية بعد احتيازها

زمن الاسترخاء التصادمي (Collision Relaxation Time) وزمن الاسترخاء الانتشاري (Diffusion Relaxation Time) في الليزر التي تكون سرعة جريان الغاز فيها واطئة، مما يؤدي الى تقليل القدرة الخارجة لنفس مقدار قدرة الضخ.

هنالك نتائج يمكن استخلاصها من تأثير الجريان في عامل الريح يمكن تلخيصها كالآتي [8,9]:

١. يكون ربح الخليط المتكون من غازات (CO₂, N₂, CO) دائما قمل من ربح الخليط المتكون من غازات (CO₂, N₂) في احسن الظروف وذلك لان جزيئات CO تستهلك نسبة من طاقة التهيج التي يتم نقلها الى الخلطة الغازية
٢. ان الضغط الجزئي لثنائي اوكسيد الكربون الذي يعطي اعلى ربح في منظومات جريان الغاز يكون عادة اقل من الضغط الجزئي لثنائي اوكسيد الكربون في المنظومات المغلفة .

٣. ان افضل تيار تفريغ لخلطة تحتوي (CO₂-N₂) او (CO₂-CO) يبلغ حوالي نصف قيمة التيار المستحصل للخليط (CO₂-He) عند نفس قيمة القدرة الخارجة. كما ان افضل التيارات المستخدمة لانظمة جريان الغاز تكون بحدود مرتين للانظمة المغلفة .

تتلخص فكرة البحث بتصميم و تصنيع و تشغيل منظومة ليزر ثنائي اوكسيد الكربون المستمر بمرحلتي تفريغ والمستخدم في اجراء العمليات الصناعية كالقطع و التنقيب للمواد غير المعدنية ، و بتصميم جديد يتمثل بتوظيف مبدد حراري وسطي مابين المرحلتين لاجل سحب الغازات المستخدمة كوسط فعال بعد اجتيازها حيز التفريغ الكهربائي وهذا يقلل من تأثير تفكك الغازات الذي يؤثر بشكل

الغاز هادئا (Smooth) فان بعض الغاز سوف يسخن و يشكل منطقة ذات مقاومة واطة تحدث دائرة قصر (Short Circuit) للتيار خلالها مما يعمل على تسخينها اكثر حتى ينهار التفريغ و يتحول الى منطقة القوس (Arching) وهذا يؤدي الى توقف الفعل الليزري [4]

يعد تأثير جريان الغاز مهم جدا على القدرة الخارجة ، واعتمادا على حجم انبوب التفريغ المستخدم فان اعلى قدرة يمكن تحقيقها عندما تكون سرعة الجريان بمقدار يجعل الغاز يتبدل بمعدل (300cm³/min) على أفترض ان حجم انبوب التفريغ هو (1cm³) وهذا سببه النسبة السريعة لازالة الجزيئات المحتللة مثل (O₂, CO) اما عند الجريان التي تكون اكبر من (500cm³/min) فان القدرة الخارجة تتعزز بواسطة التبريد بالحمل حيث امكن تحديد نسبة القدرة المستحصلة من التبريد بالانتشار (Diffusion Cooling) الى التبريد بالحمل (Convective Cooling)

بالعلاقة الاتية [2]: -

$$\frac{P_D}{P_C} = \frac{A_m n_t}{D n} \dots\dots (1)$$

حيث ان Am معدل المسار الحر للجزيئات ثنائي اوكسيد الكربون في الخلطة الغازية (cm) و v السرعة الحرارية للجزيئات (m/s)، D قطر التفريغ الكهربائي (cm) و v سرعة جريان الغاز عبر انبوب التفريغ (m/s).

وبما ان النسبة (A_m/D) تكون صغيرة جدا عند ضغط بحدود (10mbar) وانبوب ذي قطر بحدود (1cm)، لذلك المقدره (p_d/p_c) صغيرة جدا حتى اذا كانت سرعة جريان الغاز (v) قليلة وعندما تزداد قيمة (v) و تقرب من قيمة (v_c) فان التبريد بالحمل يكون هو المتغلب اذ تصبح قيمة (p_c) اكبر بكثير من (p_d) [2,7]. يكون زمن عبور او انتقال الخلطة الغازية طويلا بالمقارنة مع

سلبى على عملية توليد الليزر ويعمل ايضا كمبرد للغازات.

الجزء العملي

تالفت منظومة الليزر المستخدمة من انابيب من زجاج الباركس بطول (70)cm بقطر داخلي (25mm) ولغرض تبريد هذه الانابيب احيطت بغطاء من زجاج الباركس لمرور ماء التبريد (Water Jacket) قطره الداخلي (52)mm ويحتوي غطاء التبريد فتحتين لدخول وخروج ماء التبريد. استخدمت مرآيا امامية ومرآيا خلفية، اذ كانت المرآيا الخلفية مصنوعة من النحاس (Cu) المطلية بالذهب (Gold-Coated) قطرها (5cm) ونصفت قطرها (10m) وانعكاسية تصل الى (99%).

اقطاب التفريغ مصنوعة من النحاس على شكل حلقة بطول (23mm) وقطرها خارجي (42mm) و (38mm) قطر داخلي. توجد في احد طرفيها اربعة مسامير مدببة بين كل واحد و الاخر زاوية مقدارها (90°) وطول كل مسمار مدبب (12mm) ويثبت داخل قطعة تثبيت القطب. اما قطع تثبيت القطب فهي عبارة عن اسطوانتين امامية و خلفية مواصفتها وابعادهما متشابهة تماما، والاسطوانة من مادة البيرسبكس بطول (130mm) و قطر خارجي (100mm) وتحتوي الاسطوانة من الاعلى فتحة علوية قياس (KF16) تتصل بالتجويف المركزي داخل الاسطوانة لدخول الغازات في المظومة.

الشكل (1) يوضح مخطط المبرد الحراري و هو عبارة عن اسطوانة من مادة البيرسبكس بطول (340mm) و قطر خارجي (120mm) توجد فتحتين مركزيين من الطرفين في كل واحد يتم تثبيت قطب الانود النحاسي بعد عمل فتحة بقطر (44.5mm) وطول (25mm) ومن ثم توسع الى (60mm) لاجل تثبيت الانبوب الزجاجي. بعد ذلك يتم قطع الاسطوانة من الوسط لاجل عمل تجويف احفرة بقطر (80mm) وطول (210mm) وتم اعادة

تجميع المبرد عن طريق عمل سن داخلي وخارجي في القطعتين علاوة على وجود (O-Ring) لمنع التسرب (Leak) وتوجد فتحة جانبية الغرض منها سحب الغازات عن طريق (KF40) وذلك لزيادة معدل سحب الغازات من حيز التفريغ. ووضع المبرد الحراري بمستوي موازي لمستوي انبوبي التفريغ و كانت اقطاب التفريغ الوسطية مدمجة مع المبرد الحراري و ذلك لتقليل نقاط الاتصال التي تزيد احتمالية تسرب الغازات (Gas Leakage) اثناء التفريغ.

استخدمت المضخة الدوارة ذات المرحلة الواحدة نوع (Leybold-Heraeus 58A) وكانت قاعة على اتصال ضغط انبوب التفريغ الى حوالي (10⁻²mbar) فيما كانت المضخة الدوارة ذات المرحلتين نوع (ALCAT 2100 CPT) قادرة على اتصال ضغط انبوب التفريغ الى حوالي (10⁻³mbar). المضخة الدوارة المستخدمة كانت مربوطة الى مقياس لدرجة الفراغ (Vacuum Gauge) نوع (Edwards PRM10) مربوط الى عداد رقمي يبين ضغط او درجة الفراغ داخل الانبوب الزجاجي تم قياس الضغط في منطقة دخول وخروج الغازات باستخدام مقياس نوع (Pirani Gauge). جرى استخدام خلطة غازية جاهزة من خلطة بالنسبة (10CO₂:6N₂:84He).

منظومة التبريد المستخدمة هي عبارة عن مبرد (Chiller) نوع (HAAKE CH) وهي قادرة على تثبيت درجة حرارة التفريغ عند (5° C) من خلال مسيطر (Controller) نوع (HAAKE F3).

النتائج والمناقشة

جرى اولاً معايرة منظومة الليزر المصنعة في هذا البحث بدون استخدام المبرد الحراري من خلال الكهربائي بضغط الخلطة الغازية داخل انبوب التفريغ، فقد جرى قياس فولتية التفريغ الكهربائي اللازمة لأحداث التفريغ الكهربائي التوجهي للخلطة الغازية يتطلب

قدرة الخرج الليزري بشكل مستمر. اذ ان زيادة ضغط الخلطة الغازية يعني زيادة عدد جزيئات الوسط الفعال وبالتالي مساهمة عدد اكبر من الجزيئات المنتجة لليزر. ان الزيادة في قدرة الخرج الليزري زيادة عدد جزيئات الوسط الفعال تتطلب زيادة مماثلة في كمية القدرة اللازمة لاجداث التفريغ الكهربائي و مع العمل عند القيمة المثلى لتيار التفريغ الكهربائي فان ذلك يتطلب زيادة فولتية التفريغ الكهربائي و هذا محدد بحجم الوسط الفعال المستخدم و حدوث الاقواس الكهربائية في عملية التفريغ عند الضغوط العالية. يؤشر الشكل ايضا ان القيمة المثلى لتيار التفريغ الكهربائي تكون عند نفس القيم المؤشر في الشكلين (2) و (3) وكما ذكرنا في الفقرة السابقة.

الاستنتاجات

في هذا البحث، جرى بناء وتشغيل منظومة ليزر ثنائي اوكسيد الكربون المستمر بتوظيف تقنية المبدد الحراري الوسطي لغرض زيادة معدل التبريد الفعال المستخدم

اظهرت النتائج المستحصلة في هذا البحث ان استخدام المبدد الحراري الوسطي يؤدي الى القدرة الخارجة من المنظومة الى (52W) وهذه القيم تعد تحسينا في اداء المنظومة مقارنة بحالة عدم استخدام المبدد الحراري الوسطي. تعد تقنية استخدام المبدد الحراري الوسطي احد الحلول الكفيلة بزيادة معدل تبريد الوسط الفعال من خلال تهيئة منطقة وسطية تكون فيها سرعة سحب الغازات عالية.

المصادر

1. Svelte, O., "Principles of Lasers", 3rd edition, Plenum Press New York, 1989, p.270.
2. Duley, W.W., "CO2 Lasers, Effects and Application", Academic Press (NY), 1976, pp1-124.

زيادة فولتية للتفريغ الكهربائي (2) و (3) يبينان ان استمرار الزيادة في الضغط الخلطة الغازية يتطلب زيادة فولتية التفريغ الكهربائي بسبب زيادة عدد جزيئات الوسط الفعال وبالتالي تقليل معدل المسار اتحر ما بين الجزيئات الوسط مما يتطلب فولتية اكبر لاجداث لأحداث التفريغ التوهجي .

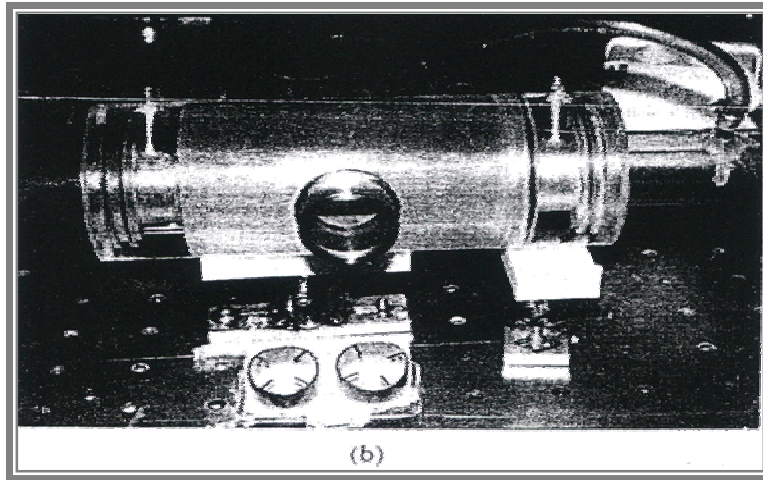
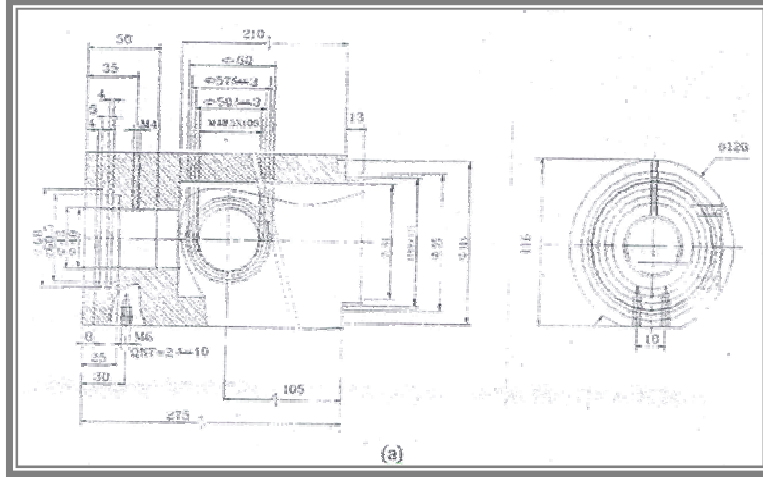
ومع ذلك فأن هنالك حدود لزيادة ضغط الخلطة الغازية حتى مع زيادة فولتية التفريغ الكهربائي يتم بعدها الاتجاه الى تصميم مختلف للتفريغ الكهربائي كما في ليزر التهيح المستعرض اذ يمكن الوصول الى الضغط الجوي او اعلى مع الفولطيات تفريغ اقل مما في حالة التهيح الطولي .

يوضح الشكلان (4) و (5) علاقة قدرة الخرج الليزري بتيار التفريغ الكهربائي لقسم مختلفة لضغط الخلطة الغازية. ويلاحظ من الشكلين ان قدرة الخرج الليزري تزداد بشكل مستمر مع زيادة قيمة تيار التفريغ اذ ان زيادة قيمة تيار التفريغ تعني زيادة مقدار القدرة الداخلة الى الوسط الفعال لذلك من البديهي ان تزداد قدرة الخرج الليزري تبعا لذلك.

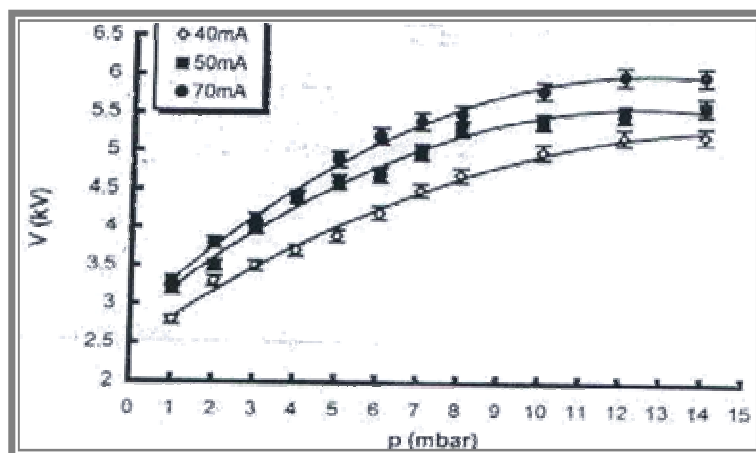
الا ان هذه الزيادة لا تكون مطلقة اذ كما يلاحظ من الشكل فان القدرة تبدأ بالهبوط عند قيمة محددة لتيار التفريغ و هذه القيمة تمثل افضل قيمة لتيار التفريغ الكهربائي والتي بعدها يكون معدل توليد حراري داخل الوسط الفعال كبير وهذا يخل بشرط التوزيع المعكوس للوسط الفعال مما يؤدي الى نقصان قيمة قدرة الخرج الليزري بشكل مستمر مع استمرار زيادة قيمة تيار التفريغ الكهربائي. تبدو القيمة المثلى لتيار التفريغ الكهربائي بحدود و (55Ma) للمنظومة في حالة استخدام المبدد الحراري والتي عندها تم الحصول على اعظم قيمة لقدرة الخرج الليزري .

الشكلان (6) و (7) يبينان تغير قدرة الخرج الليزري مع ضغط الخلطة الغازية داخل انبوب التفريغ لقيم مختلفة لتيار التفريغ الكهربائي. يلاحظ من الشكل ان الزيادة في ضغط الخلطة الغازية تعمل على زيادة

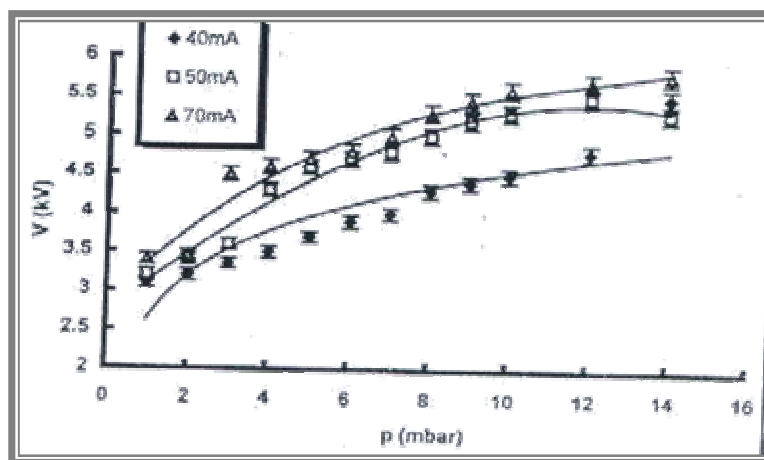
7. Shields, Hand Smith, A., Appl. Phys. Vol.16,1978,pp111-118.
8. Verdeyen,J.T., "Laser Electronics", Prentice-Hall, Inc., New Jersey, 1981, p.325,155.
9. Bekefi, J., "Principles of laser Plasmas", 1976, Ch.7.
10. Nighan ,W .L., Phys. Red. (A)Vol.2 ,No.5, 1970, pp.1989-2000.
3. Schulz G.J., "A Review of Vibration Excitation of Molecules", in Principles of laser Plasmas ,edited by G.Bekefi,1976,pp 33-88.
4. Cheo, P.k., "CO₂ Laser", Laser, edited by A. K. Levine and A. J. Maria, Marcel –Decker , Inc. New York, 1971, PP 111-267.
5. DeMaria , A. J. , Proceeding of IEEE, Vol.61, No.6, 1973, pp731-748.
6. Locke,E.V.and Hello ,R.A., IEEEJ.QE,Vol.10,No.2, 1974.



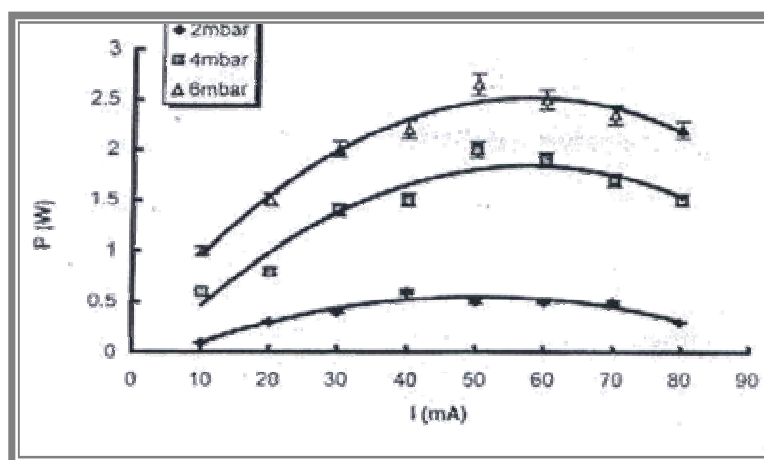
شكل رقم (١)
مخطط وصورة للمبدد الحراري الواسطي المستخدم في هذا
البحث



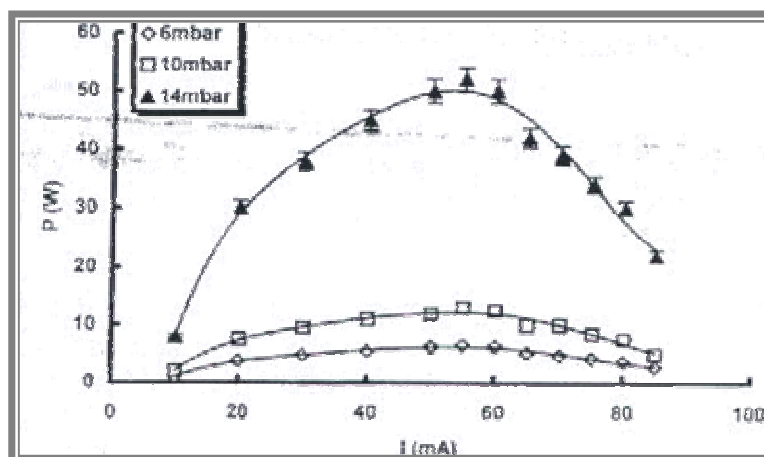
شكل رقم (٢)
علاقة فولتية التفريغ الكهربائي بضغط الغاز داخل أنبوب التفريغ للمنظومة بدون استخدام المبرد الحراري



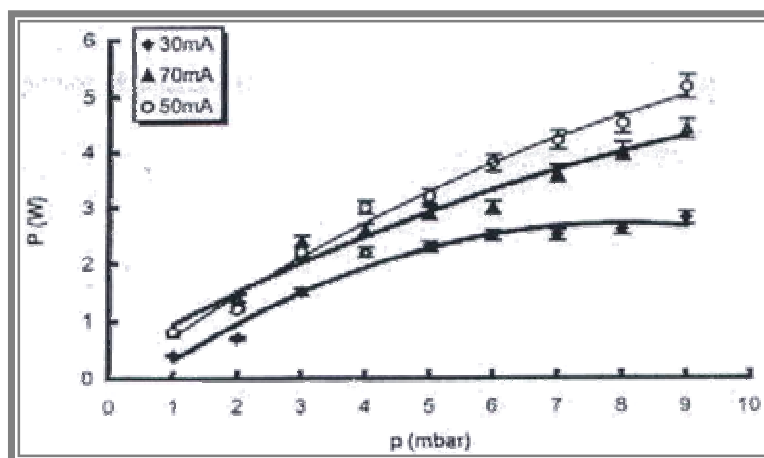
شكل رقم (٣)
علاقة فولتية التفريغ الكهربائي بضغط الغاز داخل أنبوب التفريغ للمنظومة في حال استخدام المبرد الحراري



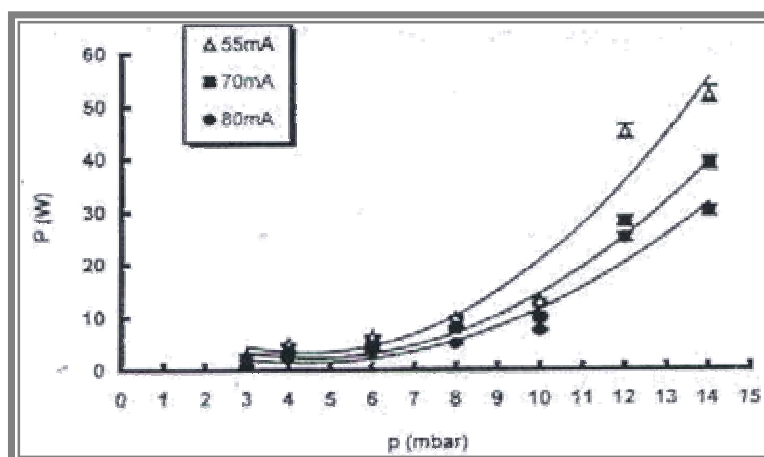
شكل رقم (٤)
علاقة قدرة الخرج الليزري بتيار التفريغ للمنظومة بدون استخدام المبرد الحراري



شكل رقم (٥)
علاقة قدرة الخرج الليزري بتيار التفريغ للمنظومة في حال استخدام المبرد الحراري



شكل رقم (٦)
علاقة قدرة الخرج الليزري بضغط الغاز داخل أنبوب التفريغ بدون استخدام المبرد الحراري



شكل رقم (٧)
علاقة قدرة الخرج الليزري بضغط الغاز داخل أنبوب التفريغ في حال استخدام المبرد الحراري