ربح الطاقة لمضخم MOPA في ليزر Nd:YAG النبضي

Energy gain for MOPA amplifier in pulsed Nd:YAG laser

الجفامي عصام*، صالح الدهر مصطفى**،الطالب خالد ***

* قسم الفيزياء، كلية العلوم، جامعة دمشق

** قسم الفيزياء، كلية العلوم، جامعة دمشق

***طالب دراسات عليا (ماجستير) قسم الفيزياء، المعهد العالي لبحوث الليزر وتطبيقاته(HILRA)، جامعة دمشق ***

❖ الملخص:

في هذا البحث سنقدم ظاهرة أساسية تتضمن نظرية تضخيم النبضة، حيث نعطي وصف لمضخم ليزر Nd:YAG النبضي ، وتتزمن تجريبيا التضخيم لمرحلة واحدة في ليزر Nd:YAG النبضي الذي يسمى مفهوم(MOPA) مضخم استطاعة هزاز -رئيسي مضخ بشكل مفصل تضخيم النبضة والمعادلات التي نحصل من خلالها كثافة الإسكان المعكوس وشدة جريان الفوتون وبالتالي لاحقاً نحسب طاقة الخرج المضخم والربح الناتج عن عملية التضخيم. وكذلك قمنا بدراسة تغيرات طاقة نبضة الخرج مع قيم مختلفة لجهد الضخ من أجل دخل ثابت للإشارة، وكذلك تغيرات خرج المضخم مع الدخل من أجل قيم جهد ضخ مختلفة للمضخم، وحسبنا الربح الناتج عن عملية التضخيم للنظام المدروس.

الكلمات المفتاحية : مضخم استطاعة هزاز – رئيسي (MOPA)، تضخيم النبضة، جريان الفوتون، الضخ، طاقة الخرج.

❖ مقدمة :

إن عملية تضخيم حزمه الليزر من العمليات الهامة والضرورية للحصول على استطاعات خرج ونبضات ذات طاقة عالية جدا، حيث إن الهزاز يحد من سطوع الأشعة الليزرية الصادرة منه، وخصوصا عند الحاجة لتوليد نبضات قصيرة جدا وأحادية اللون، ومن خلال عملية التضخيم يمكننا الحصول على استطاعات ذروة في مجال pw واستطاعات خرج متوسطة من 100w إلى 10kw وطاقات من [10 إلى [100 بمجردة إشعاع محدودة الانحراج، يتكون المضخم من مادة فعالة والتي تكون مضخوخة كما في الهزاز ، ولكن لا يوجد مرنان يختار خصائص الضوء، حيث تحدد هذه الخصائص بواسطة الضوء الصادر من هزاز الليزر، أما طريقة ضخ المادة الفعالة فتكون مشابهة لطرق ضخ الهزاز. [2]

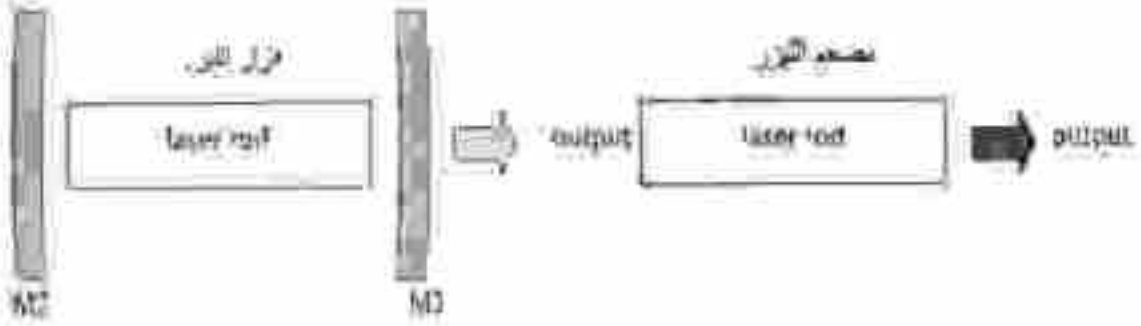
وبالتالي لزيادة شدة الحزمة نحتاج لاستخدام مضخمات إضافية، توضع في المواقع الخلفية وعلى خط الخرج لليزر، والتي تقوم بإضافة المزيد من الفوتونات (أي فوتونات إضافية للشعاع في تطابق مع شعاع الدخل)، حيث أن الإصدار المحرض يحدث في نفس اتجاه الفوتونات المعرضة، عادتا ما يتركب المضخم من وسط الربح نفسه الذي ينتج منه شعاع الدخل. [4]

يمكن من خلال عملية التضخيم زيادة الطاقة والاستطاعة الناتجة من الهزاز بخصائص طيفية وزمانية ومكانية معينة عن طريق إضافة مرحلة تضخيم واحدة أو أكثر إلى نظام الليزر، حيث إن الوظيفة الأساسية للمضخم هي زيادة سطوع الحزمة الليزرية، يمكن تحقيق تضخيم النبضة أو استطاعة حزمة الليزر المستمر الناتجة عن الهزاز باستعمال تقنيات متعددة، منها استطاعة هزاز – رئيسي (MOPA)، وهو محور بحثنا. [1,7]

❖ النظرية :

١) انطلاقة سريعة في مضخم MOPA :

يعتبر ترتيب(هزاز – مضخم) ابسط نوع من أنواع المنظومات الليزرية،عندما الطاقة المنتجة بواسطة هزاز الليزر غير كافية لأجل تطبيق معين، نضع خلف الهزاز مضخم فيصبح الخرج هو الدخل للمضخم الشكل(١). هذا الترتيب يدعى (هزاز - مضخم) او مضخم استطاعة هزاز فلك (MOPA).



الشكل(١): مخطط لنظام (هزاز – مضخم) المستخدم في الليزر Nd:YAG النبضي.

حيث تعبر النبضة القادمة من الهزاز المادة الفعالة للمضخم لمرة واحدة فقط، لكن بمرور وحيد للإشارة كاف لاستلاف أعلى أو كل الإسكان المعكوس للمضخم. فلك أفضلية إلى حد ما في استعمال ترتيب هزاز – مضخم أكثر من استخدام مضخم الهزاز أكبر. وذلك لأن استخدام هزاز كبير سينتج كفاءة حزمة أقل من الهزاز الصغير، حيث سيحدث تشوهات حرارية ومشاكل صوتية أخرى. ولابد الإشارة إلى ان المضخم في هذا النوع يملك كل الخصائص الطيفية الزمانية والمكانية للهزاز، ولكن طاقة أعلى من التي ينتجها الهزاز لوحده. [3]

يعتمد أسلوب اختيار مضخم معين على مستوى الطاقة والخصائص الزمنية والطيفية لإشارة الدخل، بالإضافة إلى طاقة أو استطاعة الخرج المطلوبة. من احل

انتزاع فعال للطاقة من معشم البضة، يجب أن تقترب كثافة الطاقة (شارة الدخل من كثافة الإشباع لمادة الليزر المستخدمة.

عند تصميم مضخمات الليزر يجب إن نأخذ العوامل التالية بعين الاعتبار:

١- الطاقة أو الربح المستخلص (المنتزع)، عند تصميم المضخم يكون هناك استبدال بين الطاقة أو الربح العالي المنجز.
٢- التغذية العكسية التي يمكن أن تؤدي إلى تضخمات طفيلية (تشوهات).
٣- إجهاد السطح أو حجم الضرر، حيث إن الطاقة أو القوة المفرطة المسلطة على العناصر البصرية المختلفة في المضخم، تأثيرات الانعراج أو التمركز الذاتي يمكن أن تقود إلى أضرار بصرية.
٤- تشوهات النبضة وجبهة الموجه التي يقدمها المضخم. [1,7]

حيث الطاقة العالية المطلوبة لليزر صعبة التحقيق باستخدام الهزاز فقط، ولذلك يحتاج لزيادة حدود طاقة أو استطاعة الخرج لليزر حيث تختلف دلائل الليزر مثل (زاوية انعراج حزمة الضوء، وحدانية اللون، طول النبضة، أداء التعديل) لذا يجب المحافظة على الخصائص المميزة لحزمة الليزر حيث لا يمكن الحصول على ذلك بزيادة الطول ولا قطر المادة الفعالة، علاوة على ذلك ،حزمة الليزر ستجتاز الوسط الفعال ذهابا وإيابا عدد من المرات ،بحيث الاستطاعة أو الطاقة ستكون عالية جدا ويمكن أن يحصل تهشم في الوسط الفعال باستعمال تقنية (Q-switch) أو قفل النمط نحصل على استطاعة ذروة عالية للغاية تتراوح بين (10^9-10^{12} watt) ،حيث تكون استطاعة الذروة عالية للغاية لان الطاقة تصدر في لحظة قصيرة جدا ،ولكن في الحقيقة طاقة الخرج بواسطة مثل هذا الهزاز باستطاعة الذروة العالية لا تكون بالضرورة كبيرة جدا، لذا، أفضل طريقة للحصول على نبض طاقة عالية وأداء ممتاز في تطبيق تقنية تضخيم الضوء.

يعتمد مضخم الليزر والهزاز على العمليات الفيزيائية نفسها (تضخيم الضوء بالاصدار المحفوز)، ويكمن الاختلاف الأساسي في غياب المجاوب في حالة مضخم الليزر، حيث يسمح الضوء المنبعث بكون المادة الفعالة في حالة التذالب إسكاني ،عندما إشارة النبضة الضوئية المولدة من الهزاز تعبر المادة الفعالة للمضخم، بحيث انتزداد الضوء المنبعث بشكل مع خط طيف الربح لوسط التضخيم.

يتولد الإشعاع المحفوز القوي بواسطة الجسيمات في الحالة المثارة تحت فعل الإشارة الضوئية الواردة، يكون مطابق للإشارة الضوئية الواردة، وبالتالي سيضخم مثل هذا الإشعاع، وبالتالي، المضخم يكون الآن قادر على إخراج حزمة الضوء بمستوى قوي وأكبر من شعاع الليزر الأصلي، حيث يحتاج مضخم الليزر لمادة فعالة تملك لسكان معكوس كافي لضمان كسب الربح عندما تعبر إشارة النبضة الضوئية عبره ليكون أعلى من الخسائر كلها للوسط، لمسمى هذه التقنية تضخيم الموجة المسافرة.

تملك دراسة تقنية تضخيم الموجة المسافرة الفوائد التالية :

- أولا: تعبر حزمة الليزر عبر وسط التضخيم في مرور وحيد، عتبة الضرر للوسط ترتفع بدرجة كبيرة هذا يكون تحت شروط كثافات استطاعة الخرج متماثلة، لا يتهشم وسط تشغيل المضخم بسهولة.
- ثانيا: عندما تحتاج الليزر طاقة عالية، تعتمد تقانية تضخيم الموجة المسافرة بمراحل متعددة، المضخم يوسع الفتحة لمرحلة حزمة الليزر بواسطة المرحلة حيث يتضاعف طول مادة التشغيل عند كل مرحلة، هذا يساعد لمنع التخريب الناتج عن الإشعاع الحارق والتمركز الذاتي.
- ثالثا: في نظام هزاز - مضخم، عرض النبضة وطول الخط الطيفي وزاوية انفراج حزمة الضوء، الخ، يمكن تحديدها من الهزاز بينما المضخم يحدد الطاقة أو الاستطاعة النبضة، لذا يدمج مضخم ثاني يحصل على خصائص لحزمة ليزر جيدة وتزيد إلى درجة كبيرة من سطوع خرج الليزر. [3,4]

٢) معادلات لمضخم النبضة(The equation of the pulse amplifier):

بفرض أن طول مادة تشغيل الليزر L، إن سعة الإشارة المنبوذة تحت داخل مادة التشغيل على طول اتجاه x، كما في الشكل(2). الإشارة الضوئية تكون مصحمة بانتظام أثناء سفرها حيث تستهلك الإسكان المعكوس بانتظام. كل من عدد الفوتونات والإسكان المعكوس لواحدة الحجم سكون تابع للزمن t والمكان، x ويرمز لهما على التوالي (x,t) Ø و(x,t)Δn.

للتبسيط نفرض إن الإسكان المعكوس في المقطع العرضي لمادة تشغيل المضخم موزع بانتظام ونهمل تأثير العرض للخط الطيفي ونوع الخط بالإضافة إلى الضج الضوئي والإشعاع الامتصاصي على عكس الإسكان. حيث تعطى معادلات المعدل وكثافة الإسكان المعكوس لثلاث وأربع سويات طاقة بالشكل:

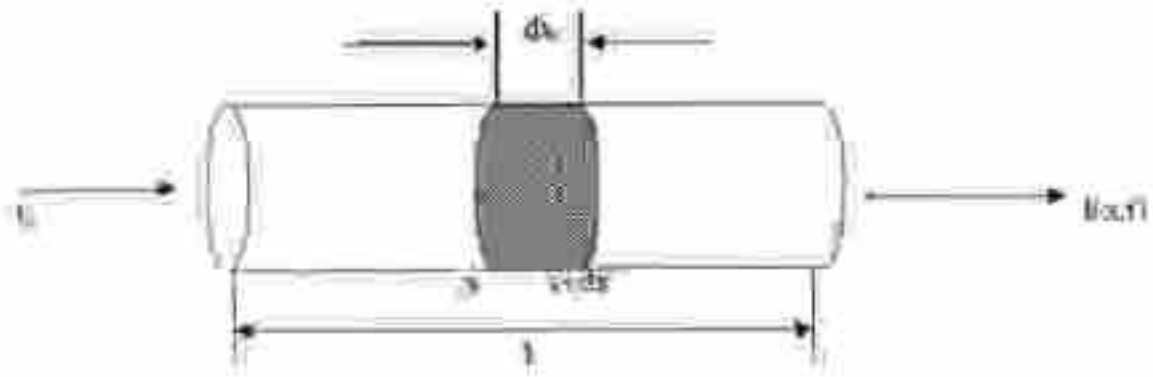
- نظام ثلاث سويات:

$$\frac{\partial \Delta n(x,t)}{\partial t} = -2\sigma \Delta n(x,t) I(x,t) \qquad (1)$$

- نظام اربع سويات:

$$\frac{\partial \Delta n(x,t)}{\partial t} = -\sigma \Delta n(x,t) I(x,t) \qquad (2)$$

أي ما يلي منذرى كيف سيتغير عدد الفوتونات في المادة الفعالة مع عنصر الحجم (x→ x+dx)، هناك عاملين يؤديان إلى هذا التغير في عدد الفوتونات هما:



الشكل(٢) مخطط تقضيب Nd:YAG بطول L المستخدم في MOPA.

الأول: بسبب الإشعاع المحفوف ضمن الزمن dt، عدد الفوتونات المولدة هي
$dx\,\sigma c\emptyset(x,t)\Delta n(x,t)dxdt$

الثاني: ضمن زمن dt، عدد الفوتونات الداخلة لعنصر الحجم x يكون $\emptyset(x,t)c.dt$
وعدد الفوتونات المتدفق خارج من x+dx يكون $\emptyset(x+dx,t)c.dt$

لذلك عدد الفوتونات الصافي الداخلة لعنصر الحجم x ضمن زمن dt يكون
$c.dt[\emptyset(x,t)\ \emptyset(x+dx)]$، نفترض أن كل هذه الخسائر للمصدر مهملة. حيث معدل التغير في عنصر الحجم داخل الزمن dt يجب أن يكون المجموع الجبري لعدد الفوتونات المولدة بالإشعاع المحفوف وعدد الفوتونات الصافي الداخل لعنصر الحجم أي بالشكل:

$$\frac{\partial n(x,t)}{\partial t}dxdt = [\emptyset(x,t) - \emptyset(x+dx,t)]cdt + \sigma c\emptyset(x,t)\Delta n(x,t)dxdt \quad (3)$$

لذا معدل تغير كثافة عدد الفوتونات يمكن أن يعبر عنه بمعادلة تفاضلية جزئية :

$$\frac{\partial n(x,t)}{\partial t} + c\frac{\partial \emptyset(x,t)}{\partial x} = \sigma c\emptyset(x,t)\Delta n(x,t) \quad (4)$$

عدد الفوتونات المتدفق عبر واحدة المقطع العرضي ضمن واحدة الزمن يسمى تدفق الفوتون ويرمز له $I(x,t)$، حيث يعطى بالشكل $I(x,t) = c\,\emptyset(x,t)$

وبالتالي المعادلة التي تصف معدل تغير شدة جريان الفوتون تكون:

$$\left[\frac{\partial I(x,t)}{\partial x} + \frac{1}{c}\frac{\partial I(x,t)}{\partial t}\right] = \sigma\Delta n(x,t)I(x,t) \quad (5)$$

إن معادلة معدل تغير شدة جريان الفوتون تكون دقتها من أجل ثانية أو أربع سويات طاقية،بالإضافة لمعادلات تغير كثافة الإسكان (1) و (2) هي معادلات أساسية لمحسمات الليزر.

نفرض أن شدة جريان الفوتون الداخلة لإشارة الدخل لتكون $I_0(t)$، تدخل مادة التشغيل عند $x=0$. أيضا نفرض قبل دخول الإشارة إلى المضخم، الإسكان المعكوس البدائي لمادة التشغيل تكون $\Delta n_0(x)$ ، حيث الشروط الحدية لمعادلة المعدل تكون:

$$I(0,t) = I0(t) \qquad (at \quad x = 0)$$

$$\Delta n(x, t < 0) = \Delta n_0(x) \qquad (at \quad 0 < x < L)$$

المعادلات التفاضلية (1) و (2)، هي مجموعة معادلات تفاضلية جزئية لا خطية. هذا استخدم طريقة التفريق (فصل المتغيرات) لحل هذه المعادلتين بدون أحد خسارة وسط التضخيم بعين الاعتبار ، يمكننا حساب شدة جريان الفوتون والإسكان المعكوس لإشارة النبضة الساقطة والتي تدخل المضخم عند أي موضع x عند أي لحظة (t) بالإضافة لطاقة نبضة الخرج وربح المضخم كما سنرى لاحقا. [5]

٣) نظرية مضخم النبضة (The theory of the pulse amplifier):

في هذا الفقرة ندرس حلول معادلة المعدل المضخم الليزر. كما ذكرنا سابقا من فرضيات، نفرض أن الموجة المستوية بالشدة الموحدة I_0 تدخل عند $x = 0$ مضخم الليزر بطول L للمضخم باتجاه x، بحدد اعتباراتنا لهذه الحالة حيث حزمة الليزر القادمة تكون على شكل نبضة (تضخيم نبضي)، نعتبر أولا حالة وسط تضخيم يعمل في نظام أربع سويات طاقة ولذلك نعتبر أن زمن النبضة τ_p حيث يكون $\tau \gg \tau_p \gg \tau_1$ ، حيث τ_1 و τ عمر حياة سويات الليزر الدنيا و الثنية لوسط التضخيم على التوالي. في هذه الحالة إسكان السوية الدنيا للمضخم يمكن أن يوضع مساوي للصفر. هذه الحالة الأكثر ملائمة لتكون مطبقة، على سبيل المثال، في حالة تضخيم بيضات ليزر Q-Swithed Nd:YAG من ليزر Nd:YAG، نفرض أيضا أن الربح المساوي للمضخم الأعلى والمضمحل التلقائي اللاحق يكون مهمل خلال عبور النبضة وحتى الانتقال يكون موسع بشكل متجانس.

لقد قام كل من فرنتز (Frantz) ونودهيك (Nodvik) في عام 1963 بإيجاد الحلول التحليلية للمعادلة (2) و(5)، فمن أجل المعادلة (2) معادلة تفاضلية خطية حيث Δn يكون تابع لـ t ، x بسبب حقيقة أن $I=I(x,t)$.

نجد الحل لأجل $u(x,t)$:

$$\Delta n(\infty) = \Delta n = \Delta n_0 \exp\left\{-\left(\frac{u}{\ln}\int_{-\infty}^{t} I\,dt\right)\right\} \qquad (6)$$

حيث $\Delta n_0=\Delta n(-\infty)$ يكون الإنقلاب قبل وصول الحزمة الممتد في تغيير معامل ربح الإشارة الصغيرة $g_0=\sigma.\Delta n$ بالتالي شدة طاقة النبضة F (طاقة لكل واحدة المساحة) تعطى بالعلاقة حتى زمن t.

$$F(x) = \int_{-\infty}^{t} I(x,t)dt \qquad (c1)$$

من المعادلة (6) يمكننا أن نعرف شدة طاقة الإشباع F_{sat} بالشكل:

$$F_{sat} = \frac{h\nu}{\sigma}\left(\frac{energy}{area}\right) \qquad (c2)$$

باستخدام g_0 ، g_0 يمكننا إعادة كتابة (6) بالشكل:

$$\Delta n = \Delta n_0 \exp\left\{-\left(\frac{F}{F_{sat}}\right)\right\}$$

وبما أن معامل الربح $g_0 = \sigma\Delta n$ بالتعويض نجد:

$$g_0 = \sigma\Delta n_0 \exp\left\{-\left(\frac{F}{F_{sat}}\right)\right\} \qquad (7)$$

حيث الإمكان المعكوس الكلي Δn_0 في وسط التضخيم يعتبر ثابت بالشكل :

$$\int_0^x \Delta n_0(x')dx' = \Delta n_0 x$$

نأخذ بعين الاعتبار، كما يمكن ملاحظته من I(τ)، شدة الطاقة I الظاهرة في كل هذه التعبير لها أبعاد I.dt و حيث تكون الطاقة لكل واحدة مساحة كما عبرنا عنها في ∆n، من هنا، لحساب الطاقة الضائعة، يجب طرح طاقة الإشعاع بواسطة مساحة المقطع العرضي للحزمة.

عندما تتكاثر النضدات عبر وسط الربح، سيحدث الإشباع عندما $I=I_{sat}$ وبذلك يتناقص الربح بـ e/1 .

كما ذكرنا سابقا باستخدام الشروط البدائية وحدود ملائمة حيث $\Delta n(0,x)=\Delta n_0$ و $I_0(t)=I(t,0)$.

n_0 إسكان سوية الليزر العليا للمضخم قبل وصول النبضة، $I_0(t)$ شدة النبضة المحقونة داخل المضخم، بالتالي حل المعادلة (5) و (2) سيكون:

$$I(x,t) = \frac{I_0(t-\frac{x}{c})}{(-\beta - \exp(-gx)\exp(\frac{-\alpha}{h\nu}\int_{-\infty}^{t-x/c} I_0(t')dt'))} \qquad (8)$$

حيث $g=\sigma.\Delta n_0$ هو معامل الربح غير المشبع للمضخم. من المعادلات التفاضلية (2) و (5) حصلنا لأجل الشدة الكلية للنبضة $F(x)$ المعطاة في المعادلة(8).

$$F(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} I(x,t)dt$$

بإجراء التكامل للمعادلة(2) المتعلقة بالزمن من $t=-\infty$ إلى $t=+\infty$ نجد:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\partial n}{F_{sat}} dt = \Delta n_0 - \Delta n(+\infty) = \Delta n_0 (1 - \exp(-\frac{F}{F_{sat}}))$$

حيث $\Delta n(\infty) = \Delta n_0 \exp(-\frac{F}{F_{sat}})$

بإجراء التكامل في طرفي المعادلة (5) بالنسبة للزمن وفي نفس الفترة الزمنية حيث $I(+\infty,x)=I(-\infty,x)=0$ نجد

$$\frac{dF}{dx} = \sigma \int_{-\infty}^{+\infty} \Delta n\, I\, dt = \sigma \Delta n_0 \int_{-\infty}^{+\infty} \exp\left[-\left(\frac{F(t)}{F_{sat}}\right)\right] I\, dt$$

بما أن $I\,dt = dF$ ، هذا يعني أن ربح عتبة الطاقة للمضخم تكون:

$$\frac{dF}{dx} = g_0 F_{sat} \left[1 - e^{-\left(\frac{F}{F_{sat}}\right)}\right] - \alpha F \qquad (9)$$

لأجل طول وسط الربح L والحل لـ (9) لشدة طاقة الخرج F للمضخم بإهمال الضياع α.

$$F = F_{sat} \ln\left\{1 + G_0\left[e^{\left(\frac{F_0}{F_{sat}}\right)} - 1\right]\right\} \qquad (10)$$

بالقسمة على F_{sat} شدة طاقة الدخل احصل على الربح $G = \frac{F}{F_0}$ تصبح المعادلة السابقة بالشكل:

$$G = \frac{F_{sat}}{F_0} \ln\left\{1 + G_0\left[e^{\left(\frac{F_0 G}{F_{sat}}\right)} - 1\right]\right\} \qquad (11)$$

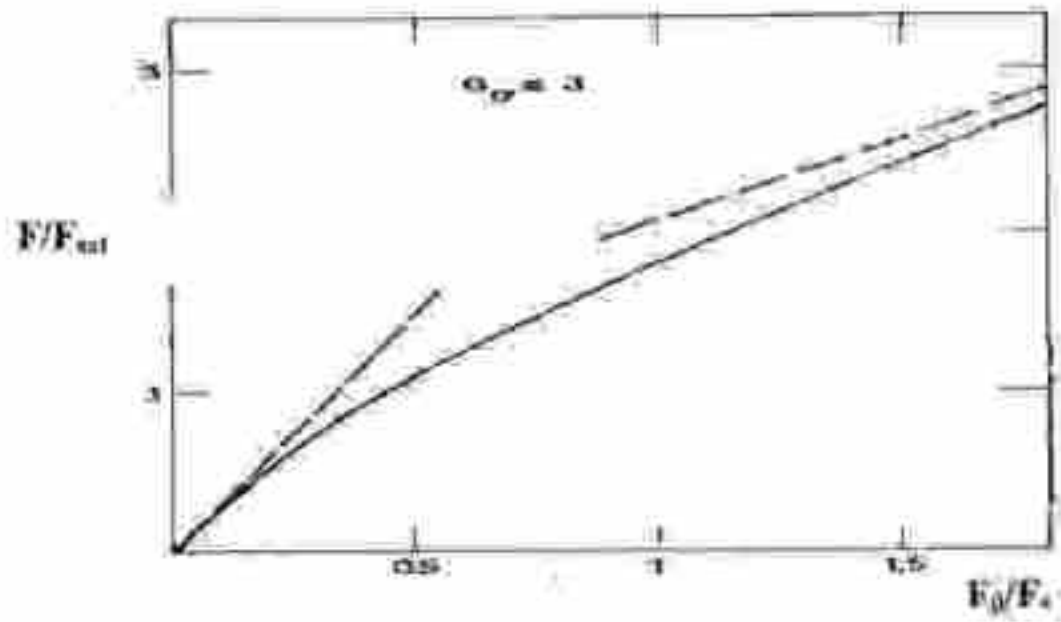
حيث F_0 يكون شدة طاقة الدخل، $G_0=\exp(g_0L)$ الربح الغير مشبع للمضخم.

1- عندما $1 >> \frac{F_0}{F_{sat}}$ حيث يمكن تقريب المعادلة السابقة بالشكل:

$$F = F_0 \exp(gL) \qquad (12)$$

حيث $G_0 = \exp(gL)$ الربح غير المشبع للمضخم، F_0 شدة الطاقة لحزمة الدخل.

حيث نلاحظ من الشكل(3) التمثيلي للمعدل $\frac{F}{F_{sat}}$ بدلالة $\frac{F_0}{F_{sat}}$ لأجل $G_0 = 3$، حيث نلاحظ من أجل $F_0 << F_s$ تمثل التقريب السابق للمعادلة (10) وشدة الخرج تزداد خطيا بشدة الدخل (نظام تضخيم الخطي). فرسم المعادلة السابقة (١١) في الشكل السابق كخط مستقيم ينطلق من المبدأ.



الشكل(3): شدة طاقة خرج الليزر F مقابل شدة طاقة الدخل F_0 للمضخم بمعامل ربح إشارة صغيرة $G_0 = 3$ شدة الطاقة لإشباع الليزر $F_{sat} = h\nu/\sigma$.

٢- عندما شدة طاقة الدخل تكون عالية $\frac{F_0}{F_{sat}} >> 1$، إشباع التضخم يبدأ بالحدوث، لأجل $F_0 >> F_{sat}$ (نظام إشباع عميق) يمكن تقريب المعادلة (10) إلى الشكل:

$$F(L) = F_0 + g_0 L F_{sat} \qquad (13)$$

هذه تظهر أنه عند شدة دخل عالية، شدة الطاقة تخرج خطيا مع الطول L للمضخم، أي شدة الخرج تكون متغير خطيا على الطول L للمضخم. [1,4,6,7]

حسابات ونتائج :

١- دراسة تغيرات خرج المضخم مع جهد الضخ من أجل دخل ثابت للإشارة الصادرة من الهزاز:

- نثبت دخل المضخم وذلك بتثبيت جهد الضخ للهزاز V_{exc}.
- نحصل على خرج هزاز (أي دخل مضخم) V_{amp} على الحساس حيث يمكن باستخدام التحويل الحصول على طاقة النبضة

Responsively=1.889 V/J

- بقسمة القيمة على نسبة التحويل في الحساس نحصل على خرج هزاز الذي هو دخل للمضخم $E_{amp}=E_{sensor}$.
- نأخذ قيم مختلفة لضخ المضخم ونجري عملية القياس الجدول ١.

V_{exc} (kv)	0.75	0.8	0.85	0.9	0.95	1
E_{sensor} (mj)	59.2	92.8	112	131.2	152	168
V_{amp} (kv)	E_{amp} (mj)					
0	44.8	64	67.2	91.2	104	116.8
0.3	48	68.4	70.4	95.1	107.8	120
0.4	52.8	70	78.4	97.6	110.4	126.4
0.5	59.2	78.4	88	107.2	120	132.8
0.6	70.4	88	97.6	118.4	128	145.6
0.7	84.8	102.4	110.4	131.2	139.2	161.6
0.8	99.2	118.4	126.4	148.8	155.2	180.8
0.9	118.4	136	148.8	169.6	176	204.8
1	142.4	156.8	169.6	196.8	196.8	233.6

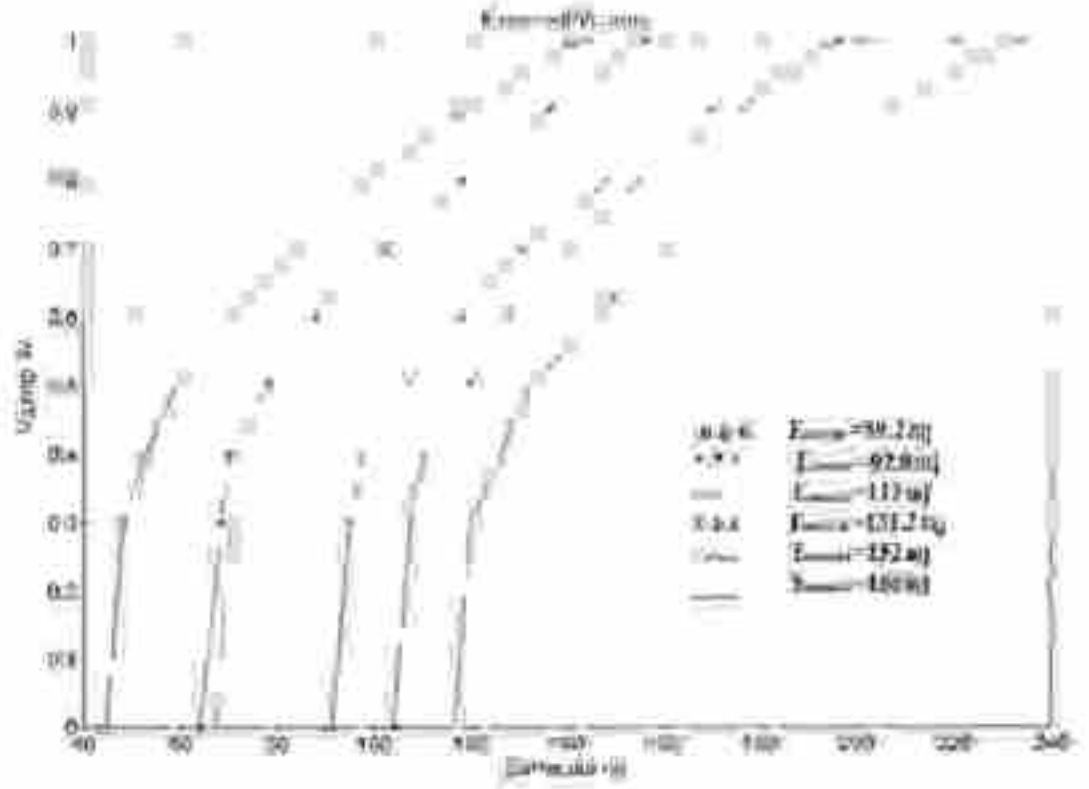
الجدول ١ : قيم لطاقات الخرج $E_{amp\,out}$ مع جهد الضخ ثابت للمضخم V_{exc} من أجل قيم مختلفة لطاقة النبضة $E_{amp\,in}$ الصادرة من الهزاز.

٢- دراسة تغيرات خرج مع دخل المضخم من أجل جهد ضخ ثابت للمضخم.

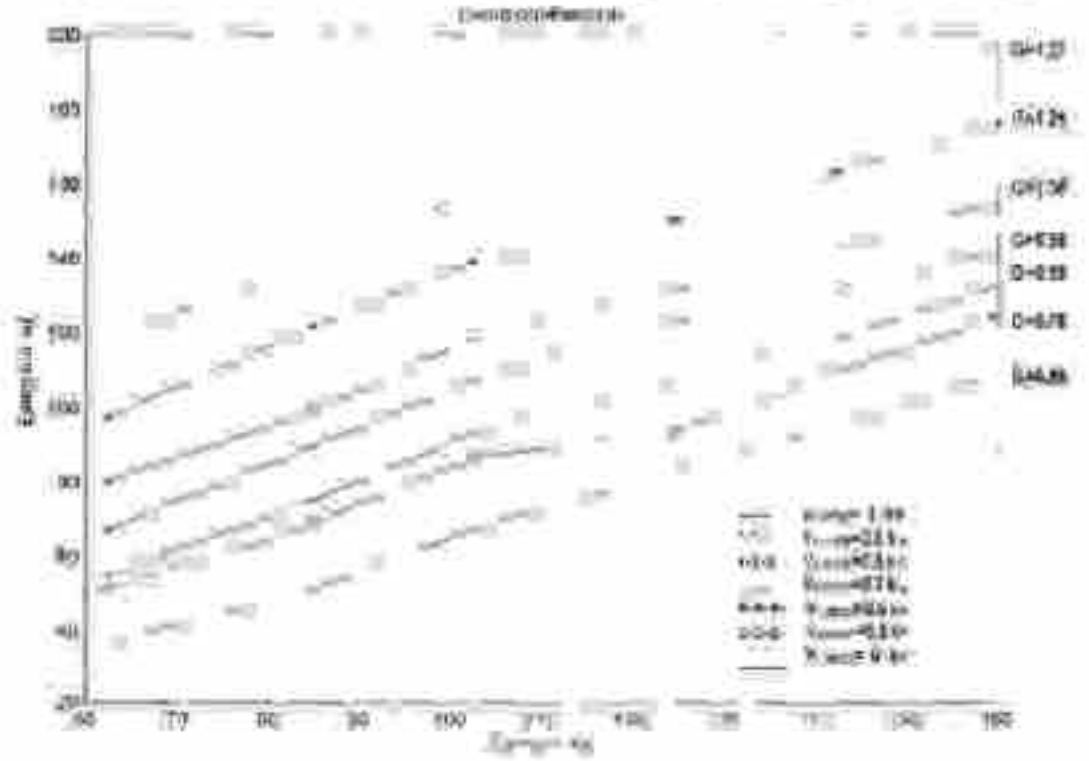
- نثبت جهد الضخ للمضخم لأحل قيم مختلفة V_{camp}، الجدول 2.
- نثبت دخل المضخم (خرج البازل) عند قيم مختلفة E_{maser}.
- نقيس خرج المضخم $E_{amplifié}$ من أجل كل قيم لـ $E_{amplifié}$ و V_{camp} .

V_{camp} (kv)		0.75	0.8	0.85	0.9	0.95	1
V_{maser} (mv)		312	424	512	624	712	800
$E_{maser} = E_{amplifié}$ (mj)		62.4	84.8	102.4	124.8	142.4	160
V_{camp}=0kv	$E_{amplifié}$(mj)	36.8	51.2	67.2	83.2	94.4	108.8
V_{camp}=0.5 kv	$E_{amplifié}$(mj)	51.2	68.8	86.4	93.8	108.8	124.8
V_{camp}=0.6 kv	$E_{amplifié}$(mj)	55.2	75.2	92.8	107.2	118.4	132.8
V_{camp}=0.7 kv	$E_{amplifié}$(mj)	67.2	89.6	107.2	123.2	131.2	142.4
V_{camp}=0.8 kv	$E_{amplifié}$(mj)	80	99.2	118.4	131.2	142.4	155.2
V_{camp}=0.9 kv	$E_{amplifié}$(mj)	97.6	121.6	139.2	150.4	163.2	176
V_{camp}=1kv	$E_{amplifié}$(mj)	118.4	139.2	158.4	166.4	185.6	196.8

الجدول ٢ : قيم طاقات الخرج $E_{amplifié}$ مع دخل ثابت ثابت للمضخم E_{maser} من أجل قيم مختلفة للضخ V_{camp}.



الشكل(4)تغيرات الخرج عند قيم ضخ مختلفة من أجل عدة قيم للدخل للمضخم.



الشكل (5)تغيرات الخرج مع الدخل عند قيم ضخ مختلفة للمضخم V_{comp}.

❖ استنتاجات :

- للتضخيم أهمية كبيرة في عمل منظومات الليزر ذات الطاقة العالية، وذلك للحصول على نبضة بطاقة عالية والمحافظة على مواصفات الحزمة وخصوصاً عند الحاجة لتوليد نبضات قصيرة جداً وأحادية اللون.
- وجدنا في الدراسة النظرية لعملية التضخيم من مرحلة واحدة لليزر NdYAG النبضي، أن المضخم يملك نفس العمليات الفيزيائية لليزار ونفس الوسط ونفس طريقة الضخ ولكن لا يوجد مرايا.
- قياس خرج الليزر قبل وبعد عملية التضخيم لنظام مزلز – مضخم لليزر NdYAG النبضي، والربح الناتج عن التضخيم.
- أوجدنا طاقة الخرج الناتجة عن عملية التضخيم وعلاقتها مع ضخ المضخم وطاقة الدخل للإشارة الصادرة من الليزار في نظام MOPA.

❖ المراجع

[1] KOECHNER W., 2006- **Solid State Laser Engineering** 6th ed. , Springer Science+ Business Media ,Inc, USA, 747p.

[2] MENZEL R., 2007- **Photonics** Linear and Nonlinear Interactions of Laser Light and Matter. 2nd ed., Springer-Verlag Berlin Heidelberg,USA, 1024p.

[3] Hitz B, Ewing J, Hecht J.,2001- **Introduction to laser technology** 3rd ed., IEEE press, USA,288p.

[4] SILFVAST W., 2004- **Laser fundamentals**. 2nd ed., William T. Silfvast 2004,642p.

[5] XINJU L., 2010- **Laser technology**.2nd ed., Science CRC Press Taylor & Francis Group, USA,410p.

[6] SVELTO O.,1998- **Principles of lasers**, 5th ed., Springer Science+ Business Media, London,620p.

[7] KOECHNER W., Bass M., 2003- Solid-State Lasers a Graduate Text., Springer- Verlag New York, Inc, USA,409p.

Energy gain for MOPA amplifier in pulsed Nd:YAG laser

EL.Gamy A. *, El-daher M. **, Altaleb Khaled ***
* Physics Dept, Faculty of Science, University of Damascus
** Physics Dept, Faculty of Science, University of Damascus
***Postgraduate Student (MSc) Dept. of Physics, HIERA
University of Damascus

Abstract

This chapter describes the basic phenomena involved in The theory of the Pulse Amplification. We will discuss the laser amplifier for pulsed Nd:YAG laser, and experimental study of single stage amplification of pulsed Nd:YAG laser, including a master-oscillator power amplifier (MOPA) concept.

We will express: pulse amplification, physical operations happening into the amplifier and equations which help us to calculate the variation of the intensity of photon flow and inverted population of the incident pulse signal entering the amplifier at any position x at anytime t as well as the energy of the output pulse and the amplifier's gain. We will study relation of the output energy with pumping at constant signal input for MOPA amplifier, and relation of the output energy with input energy at constant pumping voltage, then we calculate the gain of this amplifier.

KEYWORDS:

Master– oscillator power amplifier (MOPA), Pulse amplification, photon flow, pumping, output energy.