

تحسين عرض نبضة تعديل الجودة باستخدام خليتي بوكلز في تصميم مفتاح
الجودة الكهروضوئي بدلاً من خلية بوكلز المفردة

أ.م.د. عماد أسعد - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق

م. أكرم بشر - المعهد العالي لبحوث الليزر وتطبيقاته - جامعة دمشق

أ.د. المعتز عيسى - جامعة اليرموك الخاصة

الملخص

لقد تم في هذا البحث الحصول على نبضات تعديل الجودة بعرض $(16 - 18)ns$ باستخدام خليتي بوكلز في تصميم مفتاح الجودة الكهروضوئي بجهد ربع الموجة، والتي تميزت بتحسين في عرضها مقارنةً بنبضات تعديل الجودة التي حصلنا عليها عند استخدام خلية بوكلز المفردة في تصميم مفتاح الجودة الكهروضوئي، والتي بلغ عرضها $(20 - 24)ns$ ، وبمرزى ذلك إلى تناقص جهد ربع الموجة إلى النصف تقريباً، والذي أدى إلى تناقص آثار الضغط الكهربائي على خليتي بوكلز، ولكن هذا التحسن في عرض النبضة ترافق من جهة أخرى بتناقص في طاقة النبضة من $170mj$ إلى $120 mj$ ، وذلك لأن هذه النبضة تجتاز أربعة سطوح - نافذتان لكل خلية - بدلاً من سطحين للخلية المفردة .

الكلمات المفتاحية : مفتاح الجودة الكهروضوئي، جهد ربع الموجة، خلية بوكلز، نبضة تعديل الجودة
عرض النبضة، آثار الضغط الكهربائي

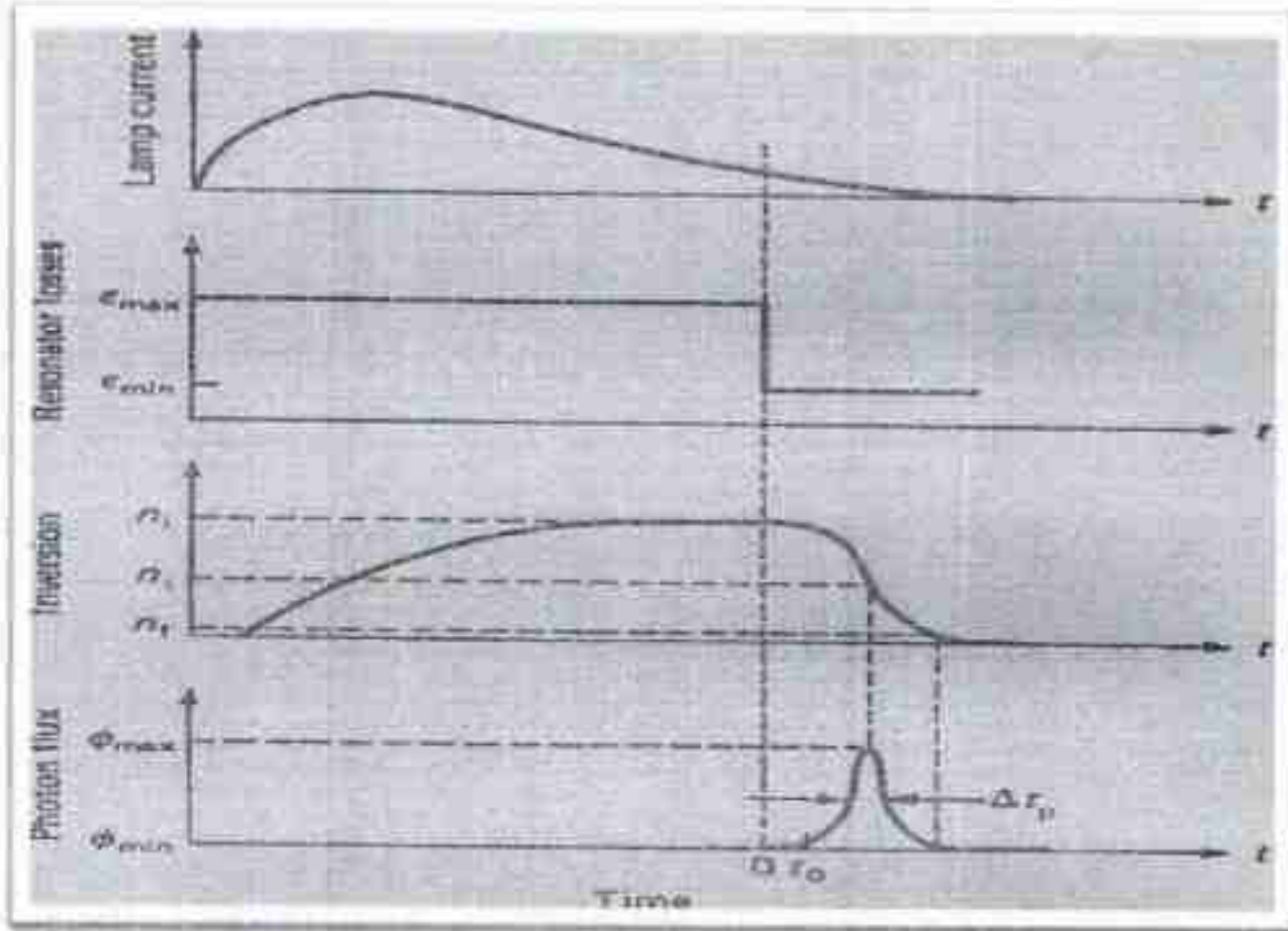
Pockels cell tow pockels cells - Q – Switch pulse -pulse width

a quarter-wave voltage an electro-optic Q – Switch

pulse energy the piezo electric effect

1 - مفتاح الجودة Q - switch

إن استخدام تقنية مفتاح الجودة في المجاوب الليزري ينتج عنه نبضات قصيرة جداً من رتبة النانوثانية، وذات استطاعة عالية تبلغ مرتبة الغيغا واط GW ، إذ يتم بواسطة إغلاق الطريق الضوئي في المجاوب أثناء زمن نبضة الضخ كما في الشكل (1 - a)، وفي هذه المرحلة - زمن نبضة الضخ - يكون عامل الجودة أصغرياً Q_{min} وتكون ضياعات المجاوب أعظمية ϵ_{max} ، كما في الشكل (1 - b)



الشكل (1) : تطور نبضة تعديل الجودة

وتعطى بالعلاقة التالية [1]:

$$\epsilon_{max} = \ln R + \delta + \xi_{max} \quad (1)$$

حيث :- $\ln R$ ضياعات المجاوب الناتجة عن انعكاسية المرايا.

- δ ضياعات المجاوب الناتجة عن الحيود والتبعثر والامتصاص.

- ξ_{max} ضياعات المجاوب بسبب مفتاح الجودة.

إن إغلاق الطريق الضوئي في المجاوب، يسمح بتخزين طاقة الضخ في الوسط الفعال كطاقة إثارة إلى سوية طاقة أعلى E_2 ، فيزداد إسكان هذه السوية n_2 ، ويبلغ الإسكان المعكوس $n_2 > n_1$ ويتجاوز إسكان العتبة n_{th} ، ويبلغ قيمة كبيرة قد تصل إلى مرحلة الإشباع في نهاية نبضة الضخ، كما في الشكل (1 - d)، وتعطى معادلة المعدل لتغير الإسكان المعكوس بالعلاقة التالية (2) :

$$\frac{\partial n}{\partial t} = -\gamma n c \quad (2)$$

حيث: γ - عامل تناقص الإسكان المعكوس .

n - الإسكان المعكوس .

c - سرعة الضوء .

ϕ - كثافة تدفق الفوتونات .

σ - المقطع العرضي للإسكان المعكوس .

عند ذلك أي في نهاية نبضة الضخ يتم تبديل الجودة في المجاوب بحيث يصبح عامل الجودة أعظمية Q_{max} ، والضياعات أصغرية ϵ_{min} كما في الشكل (1 - b) والتي تعطى بالعلاقة (3) :

$$\epsilon_{min} = \ln R + \delta \quad (3)$$

و ذلك بإلغاء عملية إغلاق (فتح) الطريق الضوئي في المجاوب مما يسمح بتدفق الفوتونات خلال زمن قصير جداً بسرعة وكثافة عالية وتعطى معادلة المعدل لتغير كثافة الفوتونات بالعلاقة التالية (4) :

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = \phi_p \left(c n \sigma \cdot \frac{l}{L} - \frac{\epsilon}{\epsilon_R} \right) \quad (4)$$

حيث: ϕ_p - كثافة الفوتونات الابتدائية.

$\frac{l}{L}$ - طول الوسط الفعال L طول المجاوب.

ϵ - معدل الضيايع الكلي في المجاوب .

ϵ_R - نور تكرار حركة الفوتونات في المجاوب . وعندما تتجاوز كثافة الفوتونات عتبة الإصدار الليزري تشع نبضة تعيدل الجودة (نبضة مفتاح الجودة) وذلك بعد زمن تأخير يدعى زمن بناء النبضة كما في الشكل (1 - d) ، [1,2].

وتوجد عدة أصناف لمفتاح الجودة وسوف نركز اهتمامنا عل مفتاح الجودة الكهرو ضوئي *Electro Optic Q - switch*.

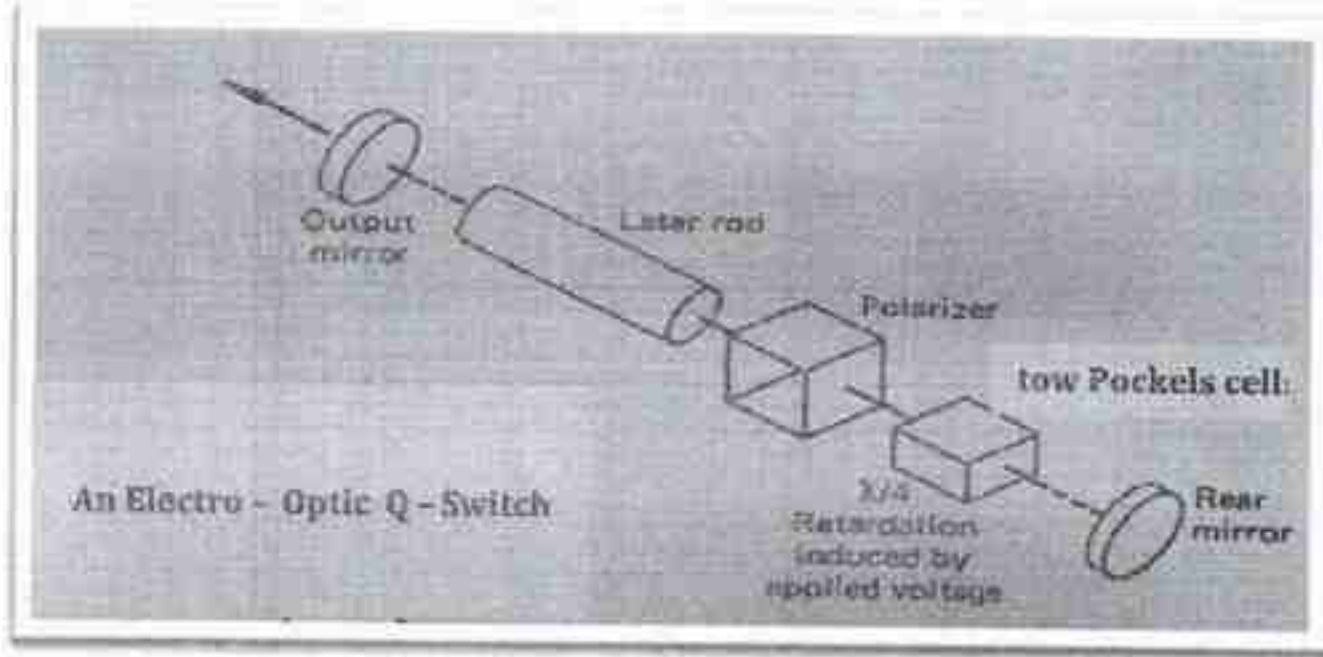
2 - التحليل النظري

2-1 - مفتاح الجودة الكهرو ضوئي

سوف ندرس في هذا البحث مفتاح الجودة الكهرو ضوئي بجهد ربع الموجة، المصمم على أساس خلتي بوكلز على التسلسل معاً، بدلاً من الخلية المفردة.

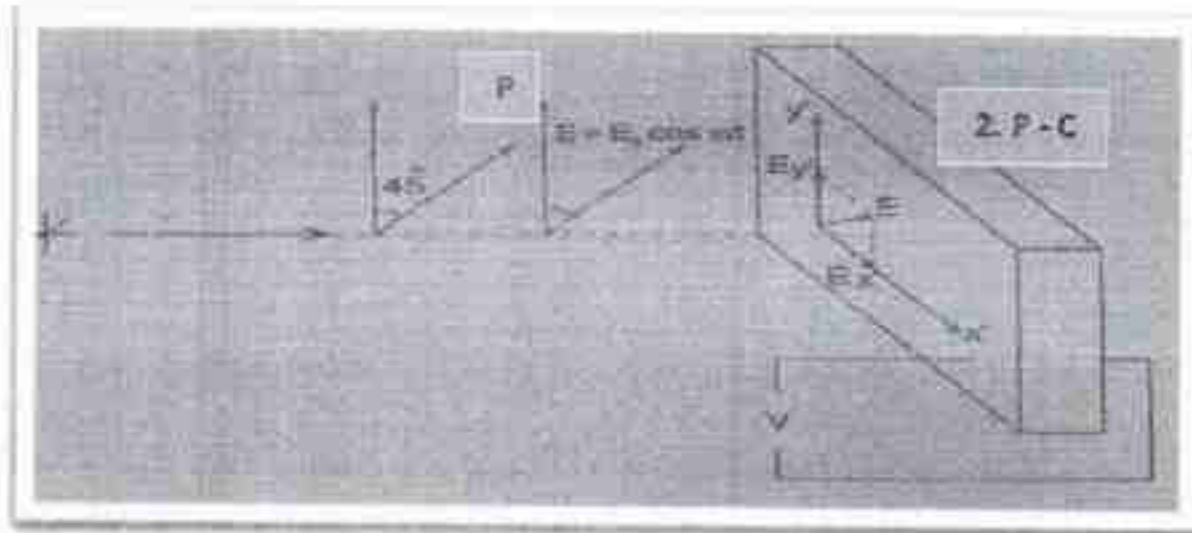
يصمم مفتاح الجودة الكهروضوئي عادةً على أساس خلية بوكلز *Pockels cell*، أو خلية كير *cell Kerr*، وبجهد ربع الموجة $V_{1/4}$ ، أو جهد نصف الموجة $V_{1/2}$ ، أما في بحثنا هذا فقد

نقد مفتاح الجودة الكهروضوئي على أساس خلتي بوكلز *two Pockels cells* بدلاً من الخلية المفردة، ويجهد ربع الموجة كما هو مبين في الشكل (2) [1].



الشكل (2): مفتاح الجودة الكهروضوئي بجهد ربع الموجة .

يوضح الشكل (2) ترتيب العناصر الضوئية في هذا النموذج، حيث تتوضع خلتي بوكلز المطبق عليها جهد ربع الموجة $V_{1/4}$ ، بين المرآة الخلفية للمجارب، ومقطب محور البصري يصنع زاوية $\alpha = 45^\circ$ مع المحور البصري للانكسار المضاعف المحرض في الخليتين، لذلك فإن اتجاه استقطاب موجة الليزر الواردة إلى الخليتين، سوف يصنع زاوية $\alpha = 45^\circ$ مع المحور البصري للانكسار المضاعف للخليتين كما في الشكل (3) ، [1,2,3].



الشكل (3) : يصنع اتجاه استقطاب الموجة $E = E \cos wt$ الواردة إلى الخليتين

زاوية مقدارها $\alpha = 45^\circ$ مع محور الانكسار المضاعف لهما .

أما آلية عمل هذا المفتاح فتقسم على مرحلتين [2] :

1 - 1 - 2 مرحلة تطبيق الجهد ($V_{1/4}$)

يطبق الجهد $V_1/4$ على خلية بوكلز كما في الشكل (4 - a) ، بالتزامن مع تطبيق نبضة الضخ على الوسط الفعال خلال الزمن $t = 0 - T$ ، وبتأثير هذا الجهد تصبح الخلية عبارة عن بلورة ثنائية المحور البصري *biaxial* وتتمتع بخاصية الانكسار المضاعف المحرض [1,2,3]. أما الوسط الفعال ويتأثر نبضة الضخ فإنه سوف يصدر موجة كهرومغناطيسية غير مستقطبة وتنفذ من المقطب P مستقطبة خطياً واتجاه استقطابها يوازي محور البصري والذي يصنع زاوية مقدارها $\alpha = 45^\circ$ مع محور الانكسار المضاعف ، وترد هذه الموجة إلى خليتي بوكلز وفقاً للمحور z الموازي لجهة تطبيق الحقل الكهربائي الخارجي على الخليتين، فتنشر فيه كموجتين على محوري الانكسار المضاعف المحرض (السريع والبطيء) ولكن بسرعة مختلفة نتيجة اختلاف قرانن الانكسار $n_y \neq n_x$ فيحدث بينهما فرق في الطور مقداره $\varphi = \pm \frac{\pi}{2}$ ، [1,2,3].

فإذا كانت معادلة الموجة الواردة إلى الخلية معطاة بالعلاقة :

$$\vec{E} = \vec{E}_0 \cos \omega t \quad (5)$$

فان معادلتى الموجتين على محاور الانكسار المضاعف x', y' كما هو موضح بالشكل (3) هي :

- على المحور x'

$$\vec{E}_{x'_1} = E_0/\sqrt{2} \cdot \cos(\omega t + kz) \vec{i} \quad (6)$$

- على المحور y'

$$\vec{E}_{y'_1} = E_0/\sqrt{2} \cdot \cos(\omega t + kz \pm \frac{\pi}{2}) \vec{j} \quad (7)$$

وتنفذ من الخليتين موجة هي محصلة الموجتين السابقتين ، $\vec{E}_{x'_1} \vec{E}_{y'_1}$

$$\vec{E} = \vec{E}_{x'_1} + \vec{E}_{y'_1} = E_0/\sqrt{2} \cdot [(\cos(\omega t + kz) \vec{i} \pm \sin(\omega t + kz) \vec{j})] \quad (8)$$

من المعادلتين (6) و (7) نستنتج أن الموجة الواردة على الخليتين، والمستقطبة خطياً نفذت منهما مستقطبة دائرياً كما في الشكل (4 - b) ، علماً أن شرط الاستقطاب الدائري هو [3]:

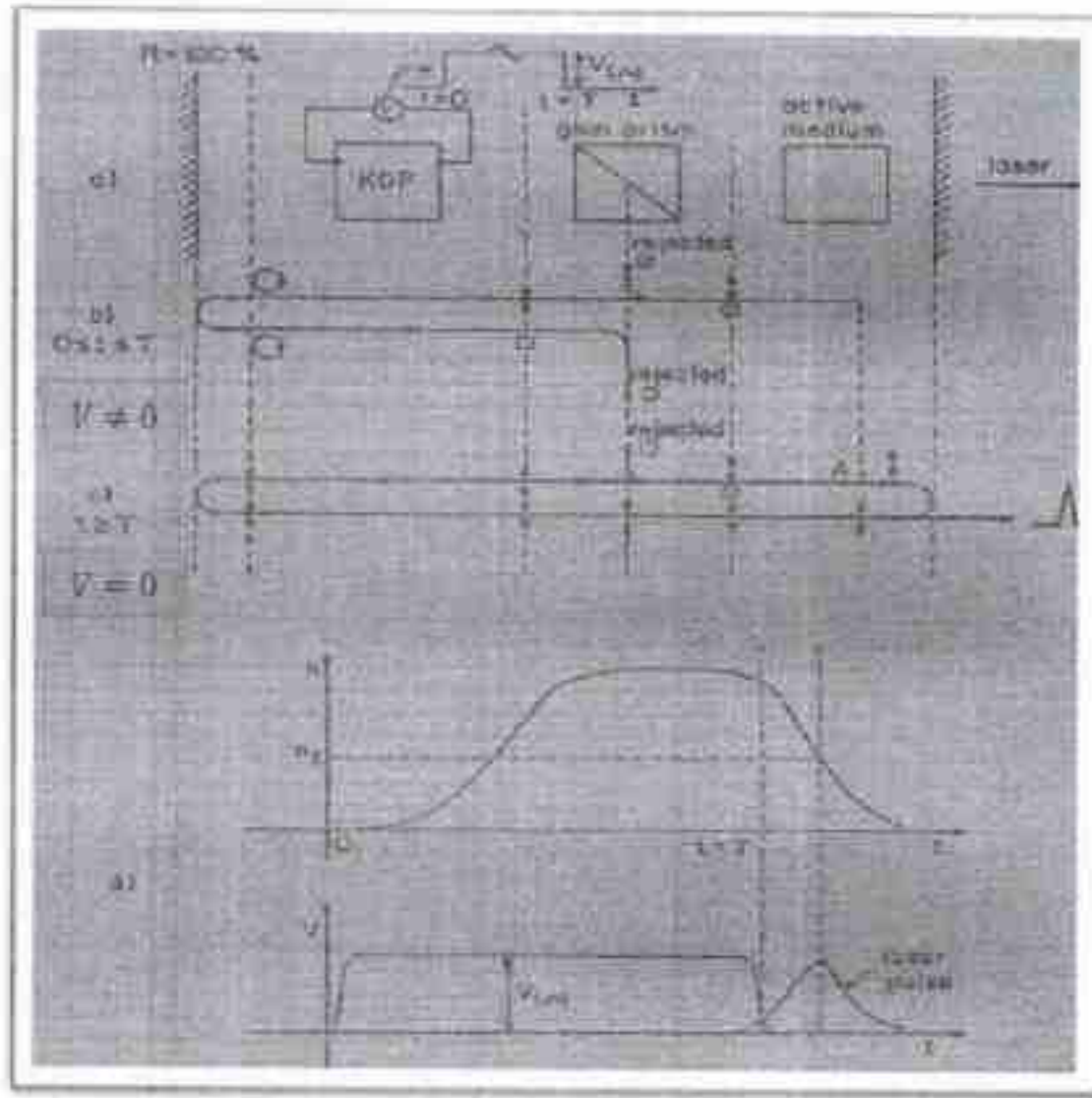
- فرق طور بين الموجتين $\varphi = \frac{\pi}{2}$

- طولية الموجتين $\vec{E}_{x'_1}$ ، $\vec{E}_{y'_1}$ متساوية هي $E_0/\sqrt{2}$

والشرطان السابقان محققان في المعادلتين (6) و (7) .

والمعادلة (8) تمثل معادلة موجة مستقطبة دائرياً .

وكما هو مبين في الشكل (4 - b) فإن هذه الموجة سوف تنعكس عن المرآة الخلفية، وتعود مرة أخرى إلى الخليتين ، وتم فيها نفس المعالجة السابقة، وتصبح معادلتى الموجتين المنتشرتين في الخليتين :



الشكل (4) : يبين الشكل (b) و (c) على التوالي اتجاه استقطاب الموجة النافذة من الخلية من أجل

$$V = 0 \text{ و } V = V_1/4$$

- على المحور x'

$$\vec{E}_{x_2'} = E_0/2 \cdot \cos(\omega t + kz) \vec{i} \quad (9)$$

- على المحور y'

$$\vec{E}_{y_2'} = E_0/2 \cdot \cos(\omega t + kz \mp \pi) \vec{j} \quad (10)$$

وتلغز من الخليتين موجة هي محصلة الموجتين السابقتين $\vec{E}_{x_2'}, \vec{E}_{y_2'}$:

$$\vec{E} = (E_0/2 \vec{i} - E_0/2 \vec{j}) \cos(\omega t + kz) \quad (11)$$

ومن المعادلتين (9) و (10) نستنتج أن الموجة النافذة من الخليتين أصبحت مستقطبة خطياً لأن شرط الاستقطاب الخطي كما نعلم [3]:

$$\varphi = n\pi$$

- فرق الطور بين الموجتين:

$$\vec{E} = (E_{0x}\vec{i} + E_{0y}\vec{j}) \cos(\omega t + kz) \quad \text{- ومحصلة الموجتين:}$$

الشرطان السابقان محققان في المعادلتين (10) و (11) والشكل (4 - b) يوضح هذه المرحلة.

وهكذا فإن الموجة المنعكسة عن المرآة الخلفية، والناشئة من الخلية، قد دار منحنى استقطابها بمقدار $\varphi/2 = \frac{\pi}{2}$ أيضاً، وأصبح عمودياً على المحور البصري للمقطب، لذلك فإن هذه الموجة لن تنفذ منه، وبذلك يمنع (يعاق) الإصدار الليزري لانعدام التضخيم في الوسط الفعال، وتعمل طاقة الضخ على زيادة إسكان سوية الليزر العليا بالذرات المثارة (n) لتبلغ قيمة تتجاوز فيها إسكان عتبة الإصدار الليزري n_{th} إلى قيمة عظمى تصل إلى مرحلة الإثباع أحياناً [1,2,5]. والشكل (4 - d) يوضح ذلك.

ومما سبق نلاحظ أن خلتي بوكلز، وتحت تأثير الحقل الكهربائي الخارجي، والناتج عن الجهد $V_{1/4}$ قد أعادت عملية الإصدار الليزري، وقامت بدور عنصر إغلاق (منع) أدى إلى استعمار طاقة الضخ كثافة إثارة للذرات إلى سوية الليزر العليا كي يبلغ الإسكان المعكوس.

2 - 1 - 2 - مرحلة عدم تطبيق جهد ربع الموجة ($V_{1/4}$)

يفصل الجهد $V_{1/4}$ عن خلتي بوكلز أي $V = 0$ خلال الزمن $t \geq T$ عند انتهاء زمن نبضة الضخ في اللحظة $t = T$ كما في الشكل (4 - c)، فتصبح خلتي بوكلز غير فعالتين ضوئياً، وتنفذ موجة الليزر منهما دون أي تغير في منحنى استقطابها، ولا تحدث فيهما ظاهرة الانكسار المضاعف المحرض بحيث تنتشر الموجة فيها كموجة واحدة.

إذا كانت معادلة الموجة:

$$E = E_0 \cos \omega t$$

فإنها تنتشر في الخليتين وتصبح معادلتها:

$$E = E_0 \cos(\omega t + kz) \quad (12)$$

وتعكس هذه الموجة عن المرآة الخلفية، وتنفذ من الخليتين مرة أخرى دون أي تغير في منحنى استقطابها، لذلك فإنها سوف تنفذ من المقطب، وبذلك يحدث التضخيم الليزري في الوسط الفعال، ويكون فعلاً جداً بسبب القيمة العظمى للإسكان المعكوس التي بلغت سوية الليزر العليا في المرحلة السابقة حيث $V = (V_{1/4})$ و $t = 0 - T$ ، ويتم تدفق الفوتونات بكثافة عالية يؤدي إلى نفاذ إسكان سوية الليزر العليا خلال فترة زمنية قصيرة جداً تشع فيه نبضة ليزرية باستطاعة عالية *high peak power* وعرض نبضة *pulse width* قصيرة جداً، والتي تدعى أحياناً بالنبضة العملاقة *giant pulse* [1,2,5] وتبلغ قيمتها (ذروة الاستطاعة) عندما يصبح الإسكان المعكوس في سوية الليزر العليا مساوياً لإسكان عتبة الإصدار $n_2 = n_{th}$ كما هو مبين في الشكل (4 - d) [1,2,5].

- إذا كانت سرعة تدفق الفوتونات من سوية الليزر العليا عالية جداً، فإن الإسكان المعكوس في سوية الليزر العليا (n_2) سوف يستنفذ بالكامل في تشكيل النبضة الليزرية [1].

- أما إذا كانت هذه السرعة غير كافية لاستفاد الإسكان المعكوس من سوية الليزر العليا (n_2)، فإن الجزء المتبقي منه في هذه السوية والذي تكون فيه $n_2 \geq n_{1/2}$ سوف يؤدي إلى إصدار محثوث لنبضة ليزرية صغيرة، والتي تعتبر من ضياعات الحجرة [1].

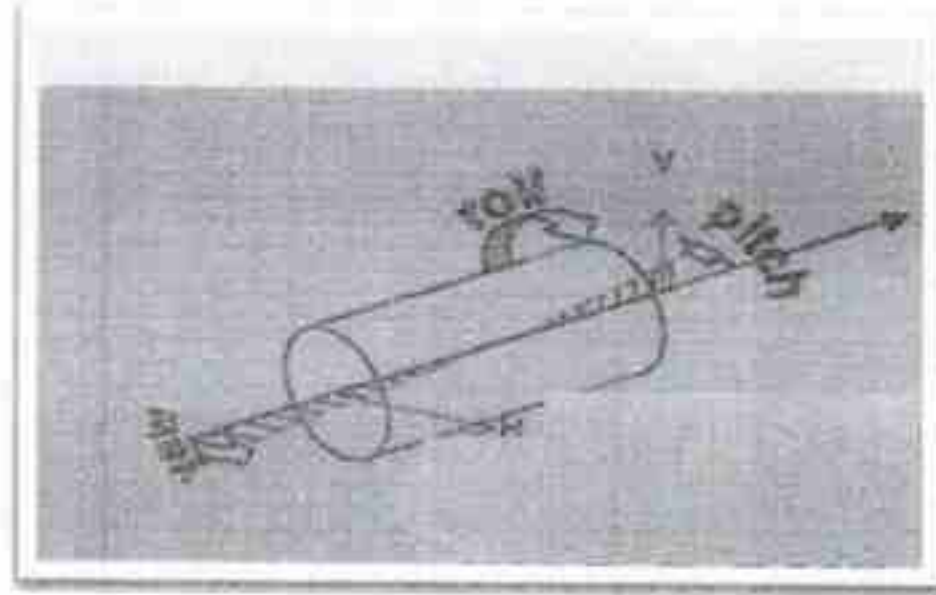
2-2- المقهوم النظري لعمل خلية بوكلز كمغلق *shatter*

تعتبر خلية بوكلز عنصر حساس جداً للتوجيه، والضبط بحيث ينطبق محورها البصري التخطيطي على المحور البصري للمجاوب الليزري، ولهذا التوجيه ثلاث أخطاء كما هو مبين في الشكل (5) [6,7] وهي:

1- خطأ في المستوى الأفقي *yaw*.

2- خطأ في المستوى العمودي *pitch*.

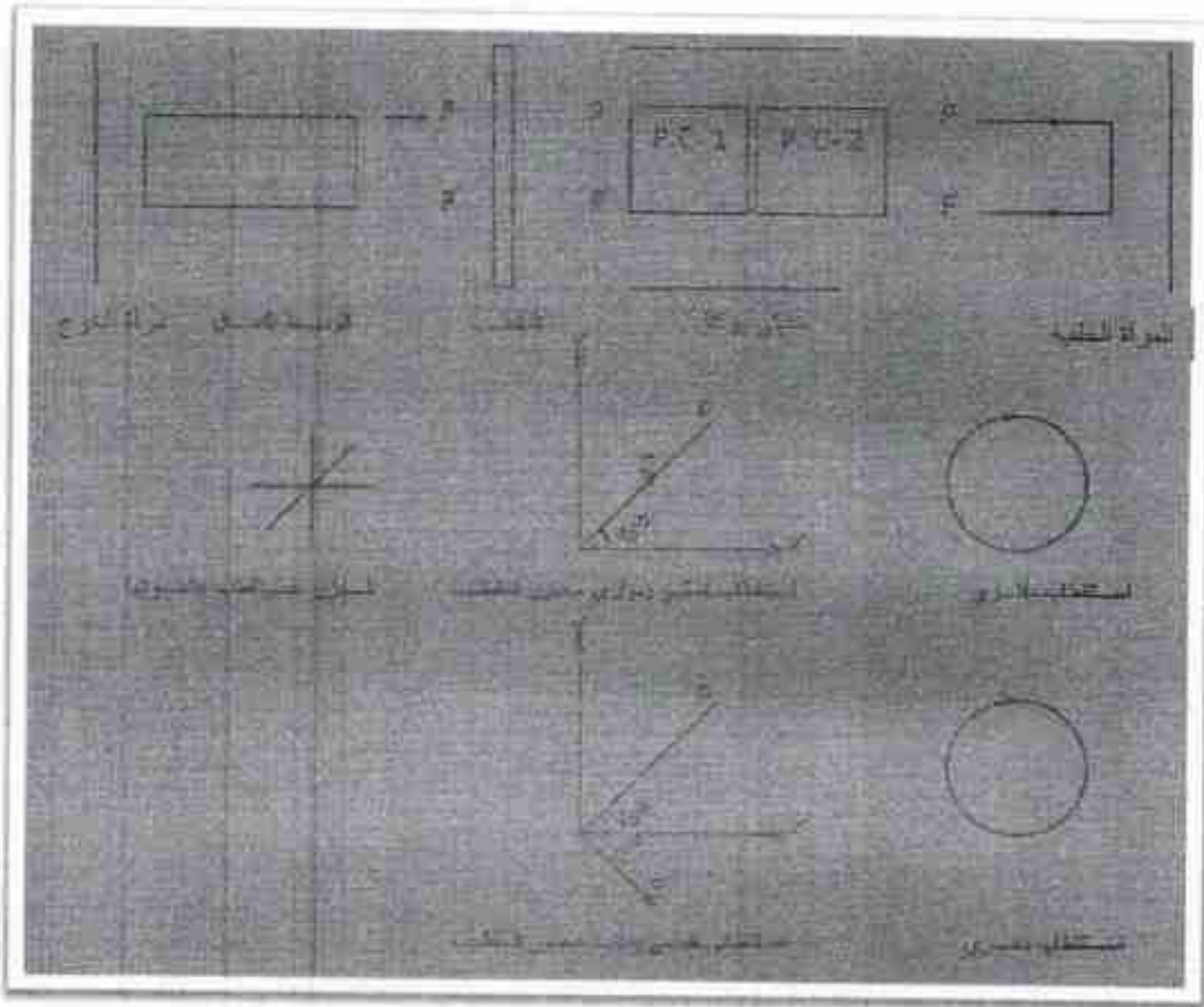
3- خطأ في الدوران الزاوي *rol*.



الشكل (5) : أخطاء التوجيه لخلية بوكلز

ويتم ضبط التوجيه الصحيح للخلية أحياناً بواسطة عمل خلية بوكلز كمغلق *shatter* (إغلاق الطريق الضوئي للمجاوب وبالتالي منع الإصدار الليزري) [2]. وبين الشكل (6) المجاوب الليزري الذي تعمل فيه خلية بوكلز كمغلق وفيه:

- تتوضع خلية بوكلز بين المرآة الخلفية، والمقطب P بحيث يصنع محوره البصري زاوية مقدارها 45° مع محور الانكسار المضاعف للخلية $X'OY'$ كما هو عليها في مفتاح الجودة.
- يصدر الوسط الفعال حزمة من الأشعة المستقطبة عشوائياً (النقطة a).
- تنفذ هذه الحزمة من المقطب مستقطبة خطياً واهتزازاتها الكهربائية توازي محوره البصري، والذي يصنع زاوية مقدارها $\alpha = 45^\circ$ مع محور الانكسار المضاعف لهما (النقطة b).
- يطبق على خلية بوكلز جهد ربع الموجة $V_{1/4}$ بشكل مستمر فتعمل عمل صفيحة ربع موجية.
- الضوء النافذ من خلية بوكلز يصبح مستقطب دائرياً (النقطة c).



الشكل (6): عمل خلية بوكلز كمغلق *shatter*

- تنعكس الحزمة عند المرآة الخلفية، وترد إلى الخلية مستقطبة دائرياً (النقطة c')، وتنفذ منها مستقطبة خطياً (النقطة b') ، وبذلك يكون اتجاه استقطاب هذه الحزمة قد تغير بزاوية $\theta = \frac{\pi}{2}$ عن اتجاهه الأصلي الموازي للمحور البصري للمقطب، وأصبح عمودياً عليه، وبالتالي فإن هذه الحزمة لن تنفذ من المقطب (النقطة a') ، ويصبح الطريق الضوئي مطلقاً في المجاوب وينعدم الإصدار الليزري.
- مما سبق نستنتج: أن خلية بوكلز أصبحت تعمل كمغلق *shatter*، وإن الجهد المطبق عليها هو $V_{1/4}$ ، وإن أخطاء الضبط أصبحت معدومة (أو شبه معدومة).

3- النتائج العملية

3-1- عمل خلية بوكلز كمغلق *Shatter*:

- استخدم لهذه الغاية الشكل رقم (4) ومن الناحية العملية استبدلت خلية بوكلز بخليتين على التسلسل معاً وقد نفذ عمل الخليتين كمغلق وقد تم الإغلاق عند $V_{1/4} = 1820 V$ بينما كان بالنسبة للخلية

المفردة مساوياً إلى $V_{1/4} = 3.5KV$ وحصلنا على النتائج المبينة في الجدول رقم (1):

طاقة النبضة الليزرية $E (mj)$	طاقة النبضة الليزرية عند الإغلاق $E_{sh}(mj)$	$(E_{sh}/E) \%$	النسبة المئوية للتخميد $[(E - E_{sh})/E] \%$
54	0.6	1.1	98.9
68.8	0.75	1.1	98.9
100	2	2	98
160	10	4.9	95.1

الجدول رقم (1): نتائج القياسات لعمل خلتي بوكلز كمغلق .

وبمقارنة هذه النتائج مع النتائج التي حصلنا عليها عند عمل خلية بوكلز المفردة كمغلق، والمبينة في الجدول رقم (2) يتبين أن النسبة المئوية للتخميد عند صل خلية بوكلز المفردة كمغلق كانت أفضل منها عند عمل الخليتين كمغلق بفارق بسيط لا يؤثر على دقة التوجيه الصحيح للخليتين معاً أما سبب ذلك الفرق فيعود إلى:

- صعوبة ضبط التوجيه بالدوران الزاوي *roll* للخليتين بالنسبة لبعضهما البعض .

- أخطاء التوجيه الناتجة عن أخطاء التصنيع للإطار الحامل للخليتين معاً المصنع يدوياً .

طاقة النبضة الليزرية $E (mj)$	طاقة النبضة الليزرية عند الإغلاق $E_{sh}(mj)$	$(E_{sh}/E) \%$	النسبة المئوية للتخميد $[(E - E_{sh})/E] \%$
80	0.6	0.75	99.2
124	1.6	1.3	98.6
184	2.9	1.5	98.5
232	4.4	1.9	98

الجدول رقم (2): نتائج القياسات لعمل خلية بوكلز كمغلق .

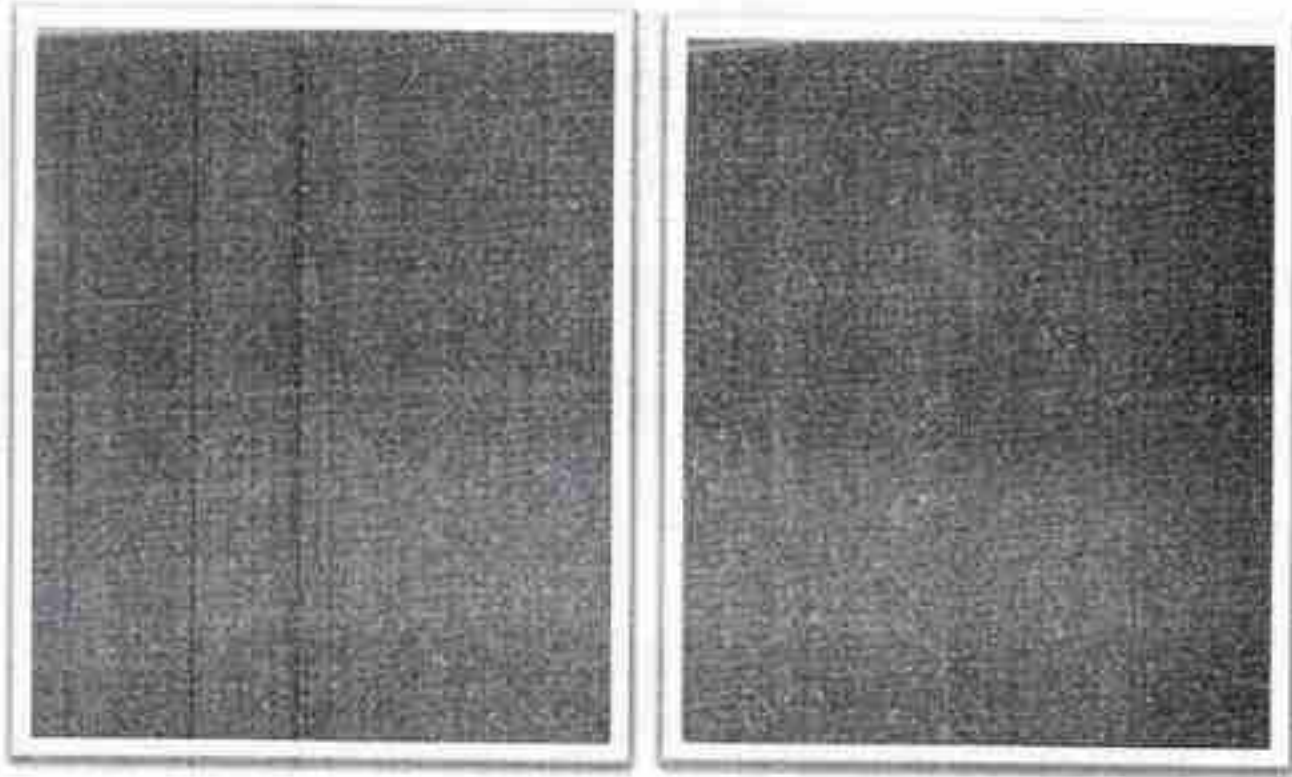
بعد أن تم تحديد جهد ربع الموجة $V_{1/4} = 1820V$ وتم ضبط التوجيه لخلتي بوكلز معاً أصبح بالإمكان استخدامهما في عمل مفتاح الجودة الكهروضوئي بدلاً من خلية واحدة وبجهد ربع الموجة .

3 - 2 - عمل مفتاح الجودة الكهروضوئي بخليتي بوكلز و بجهد ربع الموجة $V_{1/4}(V_{1/4})$

نفذ مفتاح الجودة الكهروضوئي *Electro - Optic Q - Swit* من خلال ليزر جسم صلب نبضي *Solid - state laser*، فيه الوسط الفعال عبارة عن قضيب من الـ *Nd:YAG*، ويستخدم في هذا المنبع مفتاح الجودة الكهروضوئي بجهد ربع الموجة $V_{1/4}$ والمنفذة بواسطة خلتي بوكلز من النوع

خلية بوكلز الطولية *Longtudinal pockels cell* ذات التركيب الكيميائي فوسفات ديتيريوم البوتاسيوم (KD_2PO_4) ، والتي يرمز لها بـ KD^*P .

و قد تمت كافة الخطوات العملية وفقاً للمفهوم النظري الموضح في الفقرة السابقة وحصلنا على نبضة تعديل الجودة والمبينة في الشكل (7 - a)، والتي يمكن مقارنتها مع نبضة تعديل الجودة عند استخدام خلية بوكلز المفردة و المبينة في الشكل (7 - b).



a

b

الشكل (7): a - نبضة تعديل الجودة 16 ns باستخدام خلية بوكلز. b - نبضة تعديل الجودة 20 ns باستخدام خلية بوكلز المفردة.

حيث: - المحور الأفقي للزمن وفق المقياس $t = 50 \text{ ns}$.

- المحور العمودي للمطال وفق المقياس $U = 100 \text{ mV}$.

أما نتائج القياسات التي حصلنا عليها فهي مرتبة في الجدول رقم (3).

5- مناقشة النتائج

- حدث نقص في طاقة نبضة الليزر وبالتالي نقص في طاقة نبضة (S - Q) عند استخدام خليتين من 170 mJ إلى 125 mJ ويعزى ذلك إلى أن الحزمة الليزرية تجتاز أربعة أسطح (اثان لكل خلية) بدلاً من سطحين.
- تم الحصول على عرض نبضة أقصر بمقدار (4 - 6) ns وشكل أفضل، أما تفسير ذلك فيعزى إلى انخفاض أثار الضغط الكهربائي *the piezo electric effect* والنتيجة عن انخفاض جهد ربع الموجة $V_{1/4}$ إلى 1820 V (عند استخدام خليتين) بدلاً 3500 V (عند استخدام خلية مفردة).

125	101	77	48	طاقة نبضة الليزر $E (mj)$
200	195	190	180	عرض نبضة الليزر $\Delta t (\mu s)$
625	517	405	266	استطاعة نبضة الليزر $P_E (W)$
109	90	70	45	طاقة نبضة $Q - S$ $E_{Q-S} (mj)$
16	17	18	18	عرض نبضة $Q - S$ $\Delta t_{Q-S} (ns)$
6.8	5.3	3.8	2.5	استطاعة نبضة $Q - S$ $P_{E_{Q-S}} (MW)$
10.9	10.2	9.4	9.3	معدل زيادة الاستطاعة $[(P_{E_{Q-S}})/P_E] \times 10^3$

الجدول رقم (3): نتائج القياسات لعمل ($Q - S$) باستخدام خلبيتي بوكلز.

170	135	90	52	طاقة نبضة الليزر $E (mj)$
220	210	200	180	عرض نبضة الليزر $\Delta t (\mu s)$
772	675	450	288	استطاعة نبضة الليزر $P_E (W)$
146	118	81	48	طاقة نبضة $Q - S$ $E_{Q-S} (mj)$
20	20	22	24	عرض نبضة $Q - S$ $\Delta t_{Q-S} (ns)$
7.3	5.75	3.7	2	استطاعة نبضة $Q - S$ $P_{E_{Q-S}} (MW)$
9.4	8.5	8.2	6.9	معدل زيادة الاستطاعة $[(P_{E_{Q-S}})/P_E] \times 10^3$

الجدول رقم (4): نتائج القياسات لعمل ($Q - S$) باستخدام خلية بوكلز مفردة.

مواصفات نبضة Q - S	منفذ بخلية مفردة Q - S	منفذ بخليتين معاً Q - S
طاقة نبضة الليزر $E(mJ)$	170	125
طاقة نبضة Q - S $E_{Q-S}(mJ)$	146	101
عرض النبضة $\Delta t_{Q-S}(ns)$	20-24	16-18
استطاعة النبضة $P_{Q-S}(MW)$	7.3	6.3
مردود الطاقة $(E_{QS}/E)\%$	85.5	80.8
النسبة المئوية للضياع $[(E - E_{QS})/E] \%$	14	19.2
معدل زيادة الاستطاعة $[(P_{Q-S})/P] \times 10^3$	9.4	10

الجدول رقم (5) : يبين المقارنة بين نتائج القياسات لعمل (Q - S) باستخدام خلية مفردة، و نتائج

القياسات لعمل (Q - S) باستخدام خليتين على التسلسل.

6 - أعمال مستقبلية

تبين نتائج المقارنة السابقة إمكانية الحصول على عرض نبضة أقصر وذلك بالحد من أثار الضغط الكهربائي بإحدى الحالتين التاليتين:

1- استخدام ثلاث خلايا بوكلز بدلاً من خليتين والذي يؤدي إلى تناقص جهد ربع الموجة المطبق على الخلايا وبالتالي انخفاض أثار الضغط الكهربائي عليها ، لكن من جهة أخرى سوف يؤدي إلى:

- ضياعات كبيرة نتيجة عبور الموجة الليزرية لستة أسطح بدلاً من أربعة (باستخدام خليتين) .
- الصعوبة في ضبط المحور التخطيطي للخلايا مع المحور البصري للمجاوب وهذا أيضاً ينتج ضياعات إضافية .

مما سبق نستنتج أن هذه الحالة مفيدة فقط في انقاص عرض نبضة تعديل الجودة.

2- إضافة صفيحة ربع موجية $\lambda/4$ إلى المجاوب الليزري - الذي يستخدم خلية مفردة - بين المقطب

وخلية بوكلز والذي يسمح بتطبيق جهود ربع الموجة $V_{1/4}$ خلال زمن فتح المجاوب (عند انعدام نبضة الضخ) بدلاً من تطبيقه خلال زمن إغلاق المجاوب (عند تطبيق نبضة الضخ) والذي يعتبر طويلاً مقارنة بزمن الفتح .

المراجع References

- 1- الدكتور ضيف الله تصور، الدكتورة نهلة داود، الدكتور عبد الباسط قيس الضوء الفيزيائي، جامعة تشرين . كلية العلوم 2006 – 2005 .
- 2 – *Textbook: J. T. Verdeyen Laser Electronics .3rd ed . Prentice – Hall, A. Yariv. Optical Electronics .*
- 3 – *W. koechner . Solid – State Laser Engineering . May 2005 .*
- 4 – *S. L Chin . Vol 1: Fundamentals of Laser Optoelectrics . 1989*
- 5 – *Earl L. Steele . Optical Laser in Electronics. November 1967 .*
- 6 – *LEYBOLD Physics Leaflets . Demonstrating the Pockles effect in a conosopic beam path .*
- 7 – *Cleveland Crystals , Inc Quick Notes for Pockles Cell Alignment 2008 .*