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

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$ns(18 - 16)$ نانو ثانية باستخدام خليتي بوكلز في تصميم مفتاح الجودة الكهروضوئي بجهد ربع الموجة، والتي تميزت بتحسن في عرضها مقارنةً بنبضات تعديل الجودة التي حصلنا عليها عند استخدام خليةبوكلزالمفردة في تصميم مفتاح الجودة الكيروضوئي،والتي بلغ عرضها$ns(24 - 20)$ نانو ثانية،ويعزى 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 ترافقمن جهة أخربتناقص في طاقة النبضة من $170mj$ميلي جول إلى $120\ mj$ ميلي جول،وذلك لأن هذه النبضة تجتاز أربعة سطوح – نافذتان لكل خلية – بدلاً من سطحين للخلية المفردة .

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

tow pockels cellsPockels cell- Q – Switch pulse-pulse width

an electro-optic Q – Switcha quarter-wave voltage

the piezo electric effectpulse energy

1 - مفتاح الجودة $Q - switch$

إن استخدام تقنية مفتاح الجودة في المجاوب الليزري ينتجعنه نبضات قصيرة جداً من رتبة النانو ثانيةns،وذات استطاعة عالية تبلغ مرتبة الغيغا واطGW، إذ يتم بواسطته إغلاق الطريق الضوئي في المجاوب أثناء زمن نبضة الضخكما في الشكل $(a-1)$، وفي هذه المرحلة –زمن نبضة الضخ – يكون عامل الجودة أصغرياًQ_{min} وتكون ضياعات المجاوب أعظمية ε_{max}،كما في الشكل $(b-1)$ وتعطى بالعلاقة التالية [1]:

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

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$(d-1)$ ،وتعطى معادلة المعدل لتغير الإسكان المعكوس بالعلاقة التالية[1]:

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

حيث: - γ عامل تناقص الإسكان المعكوس .

- n الإسكان المعكوس .

- c سرعة الضوء .

- ϕ كثافة تدفق الفوتونات .

- σ المقطع العرضي للإسكان المعكوس .

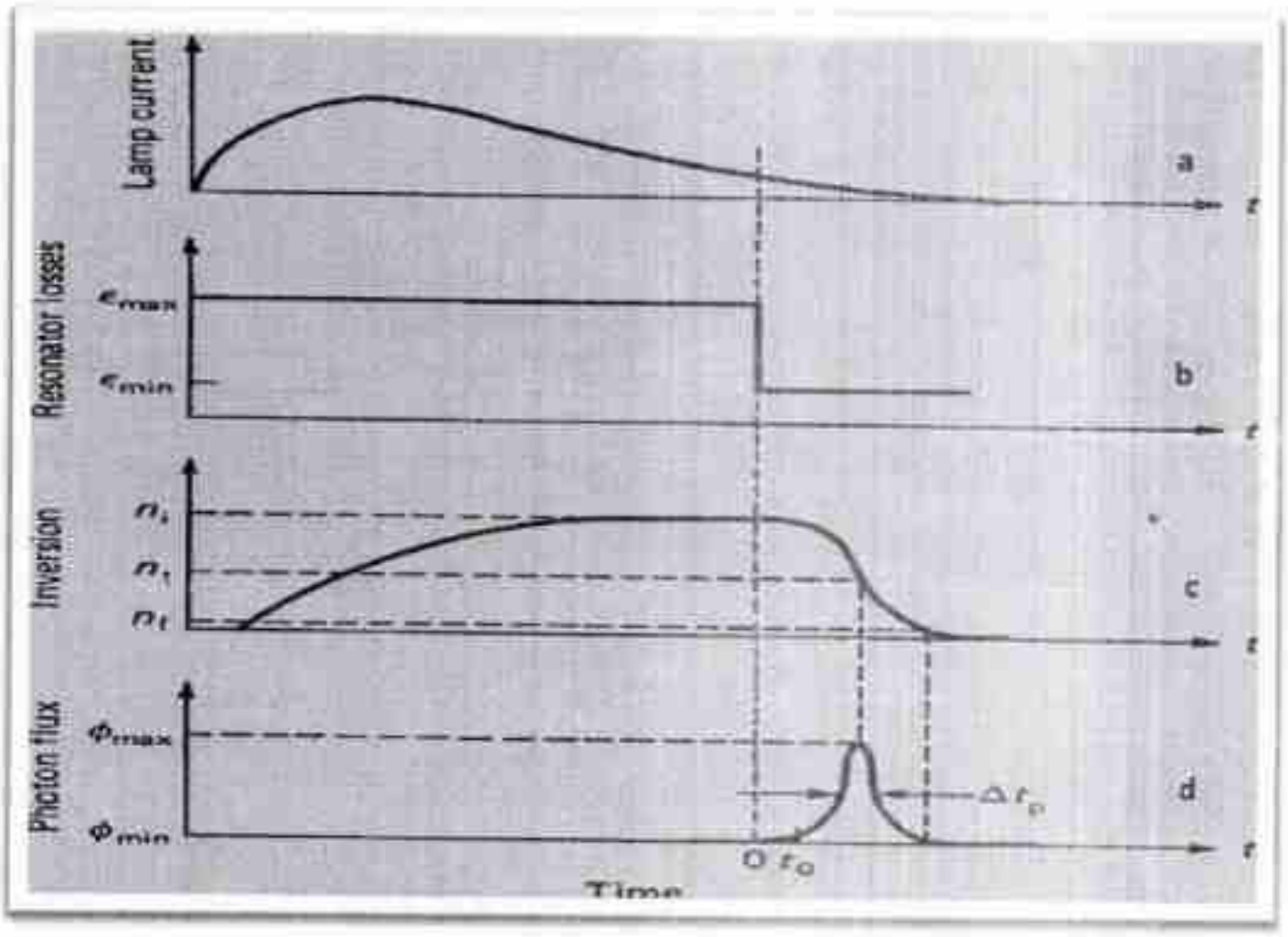
عند ذلك أيفي نهاية نبضة الضخ يتم تبديل الجودة في المجاوب بحيث يصبح عامل الجودةأعظمياً$Q_{\max}$، والضياعاتأصغرية$\varepsilon_{\min}$كما في الشكل$(b-1)$والتي تعطى بالعلاقة [1]:

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[1,2] :

حيث : - $\emptyset_p$ كثافة الفوتونات الابتدائية.

- $\frac{l}{L}$ l طول الوسط الفعال L طول المجاوب.
- ε معدل الضياع الكلي في المجاوب .
- t_R دور تكرار حركة الفوتونات في المجاوب .

وعندما تتجاوز كثافة الفوتونات عتبة الإصدار الليزري تشع نبضة تعديل الجودة (نبضة مفتاح الجودة) وذلك بعد زمن تأخير يدعى زمن بناء النبضة كما في الشكل[1,2]$(1-d)$.



الشكل (1) : تطور نبضة تعديل الجودة

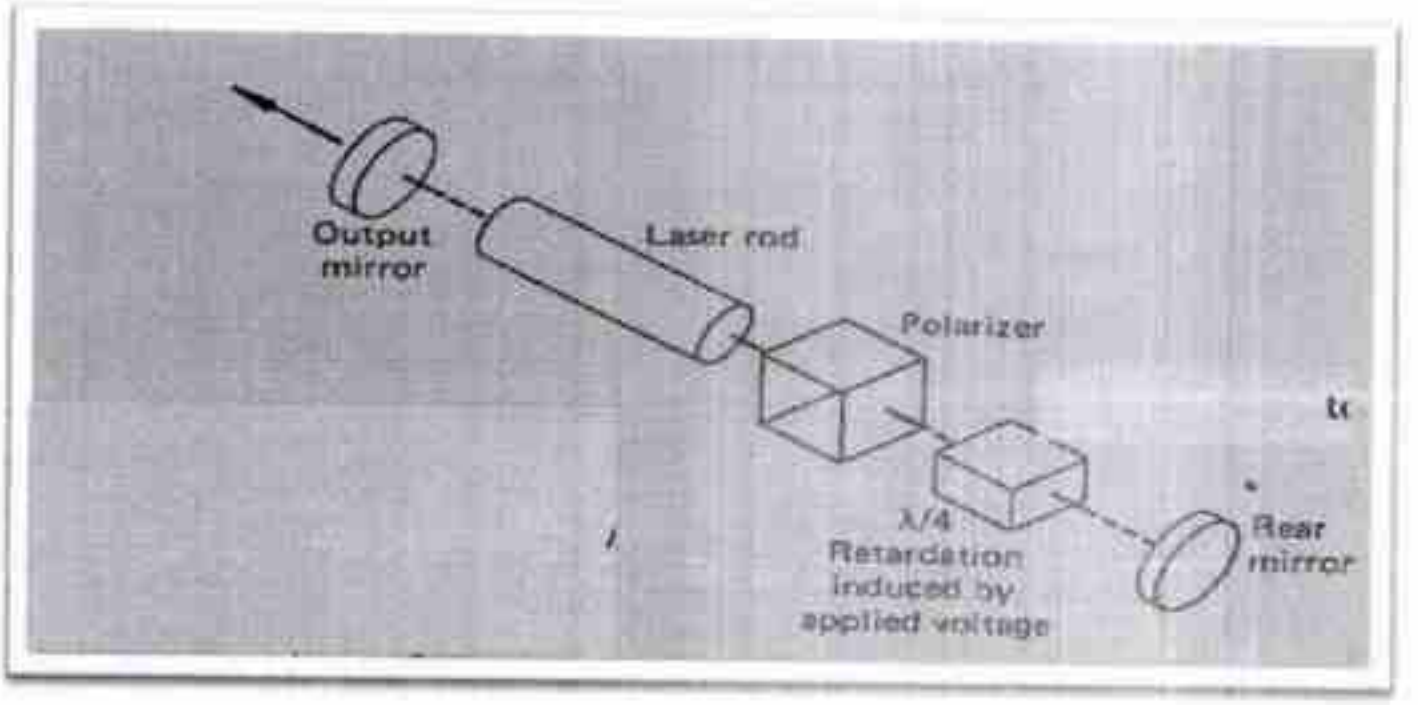
وتوجد عدة أصناف لمفتاح الجودة وسوف نركز اهتمامنا عل مفتاح الجودة الكهرو ضوئي $Electro\ Optic\ Q-switch$.

2 - التحليل النظري

2 – 1– مفتاح الجودة الكهرو ضوئي

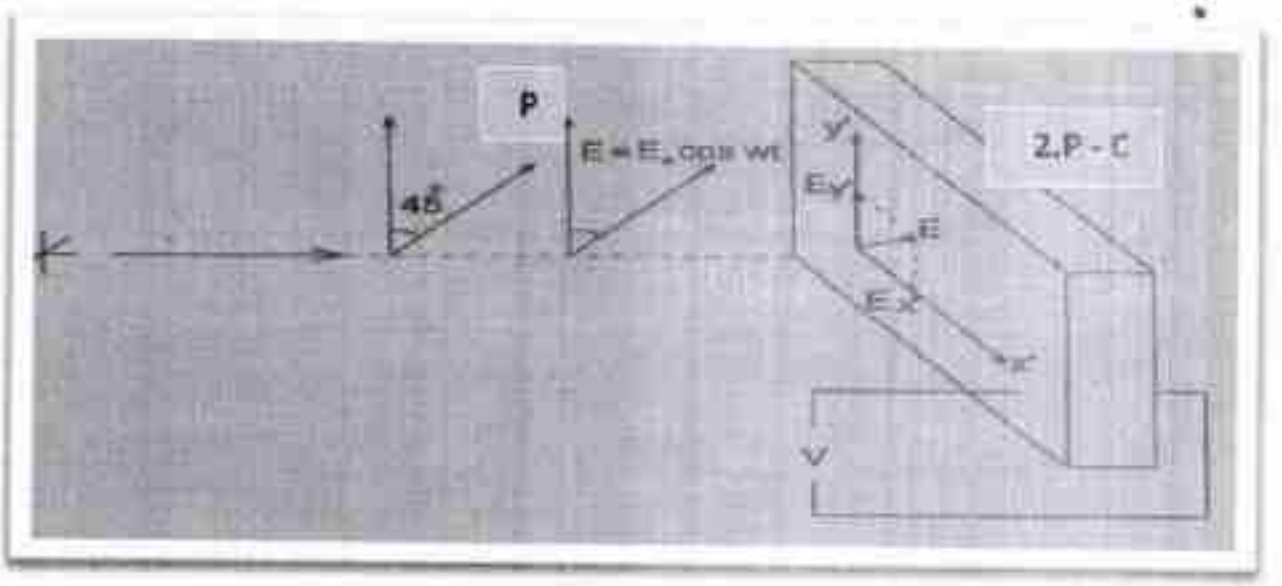
سوف ندرس في هذا البحث مفتاح الجودة الكهرو ضوئي بجهد ربع الموجة، المصمم على أساس خليتي بوكلز على التسلسل معاً، بدلاً من الخلية المفردة.

يصمم مفتاح الجودة الكهروضوئي عادةً على أساس خليةبوكلز $Pockels\ ceii$،أو خلية كير $cell\ Kerr$، وبجهد ربع الموجة $V_{1/4}$،أو جهد نصف الموجة $V_{1/2}$،أما في بحثنا هذا فقد نفذ مفتاح الجودة الكهروضوئي على أساس خليتي بوكلز $tow\ Pockels\ cells$بدلاً من الخلية المفردة، وبجهد ربع الموجةكما هو مبينفي الشكل(2) [1] .



الشكل(2): مفتاح الجودة الكهروضوئيبجهد ربع الموجة .

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



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

زاوية مقدارها $\propto = 45°$معمحور الانكسار المضاعف لهما .

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

2 – 1 – 1مرحلة تطبيق الجهد$V_{1/4}$($V_{\lambda/4}$)

يطبق الجهد $V_{1/4}$ على خلية بوكلز كما في الشكل $(a - 4)$ ، 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

وبتأثير نبضة الضخ فانه سوف يصدر موجة كهرو طيسية غير مستقطبةوتنفذ من المقطب P مستقطبة خطياً واتجاه استقطابها يوازي محوره البصري والذي يصنعزاوية مقدارها $\alpha = 45°$معمحور الانكسار المضاعف ، وترد هذه الموجة إلى خليتيبوكلز وفقا للمحور z الموازي لجهة تطبيق الحقل الكهربائي الخارجي على الخليتين، فتنتشر فيه كموجتين على محوري الانكسار المضاعف المحرض (السريع والبطيء) ولكن بسرعة مختلفة نتيجة لختلاف قرائن الانكسار $n_{y'}=n_{x'}$ فيحدث بينهما فرق في الطور مقداره $\varphi = \pm \frac{\pi}{2}[1,2,3]$.

فإذا كانت معادلة الموجة الواردة إلى الخلية معطاة بالعلاقة :

$$\vec{E} = \overrightarrow{E_0} cos\ \omega t \qquad (5)$$

فان معادلتي الموجتين على محاور الانكسار المضاعف y'، x'كما هو موضح بالشكل (3) هي

- على المحور x'

$$\overrightarrow{E_{x_1'}} = E_0/\sqrt{2} \cdot cos(\omega t + kz)\,\vec{i} \qquad (6)$$

- على المحور y'

$$\overrightarrow{E_{y_1'}} = E_0/\sqrt{2} \cdot cos(\omega t + kz \pm \tfrac{\pi}{2})\vec{j} \qquad (7)$$

وتنفذ من الخليتين موجة هي محصلة الموجتين السابقتين ، $\overrightarrow{E_{x_1'}}\overrightarrow{E_{y_1'}}$

$$\vec{E} = \overrightarrow{E_{x_1'}} + \overrightarrow{E_{y_1'}} = E_0/\sqrt{2} \cdot [(cos(\omega t + kz)\,\vec{i} \pm sin(\omega t + kz)\,\vec{j}] \qquad (8)$$

مناقشة

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

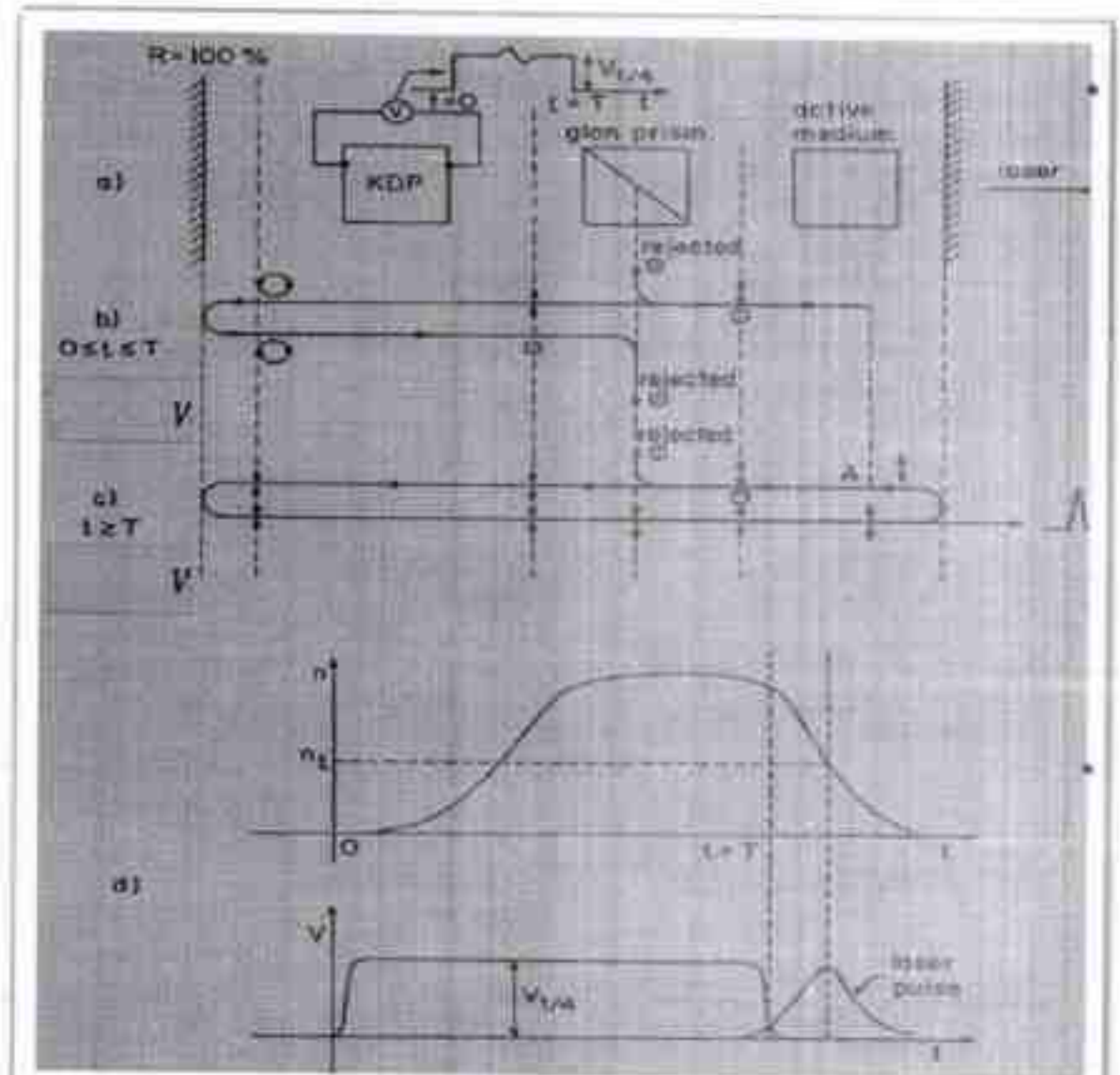
- فرق طور بين الموجتين $\varphi = \frac{\pi}{2}$

- طويلة الموجتين $\overrightarrow{E_{x_1'}}$ ، $\overrightarrow{E_{y_1'}}$ متساوية هي $E_0/\sqrt{2}$

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

والمعادلة (8) تمثل معادلة موجة مستقطبة دائريا .

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



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

$V = 0$ و $V = V_{1/4}$.

-على المحور x'

$$\overrightarrow{E_{x_2'}} = \vec{\imath} E_0/2 \,.\, cos(\omega t + kz) \qquad (9)$$

- على المحور y'

$$\overrightarrow{E_{y_2'}} = \vec{\jmath} E_0/2 \cdot cos(\omega t + kz \mp \pi) \quad (10)$$

وتنفذ من الخليتين موجة هي محصلة الموجتين السابقتين $\overrightarrow{E_{x_2'}}, \overrightarrow{E_{y_2'}}$:

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

مناقشة

ومن المعادلتين (10) و(11) نستنتج أن الموجة النافذة من الخليتين أصبحت مستقطبة خطياً لأن شرط الاستقطاب الخطي[3] كما نعلم:

- فرق الطور بين الموجتين: $\varphi = n\,\pi$

- ومحصلة الموجتين: $\vec{E} = (E_{o\,x}\vec{i} \mp E_{oy}\vec{j})cos(\omega t + kz)$

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

وهكذا فإن الموجة المنعكسة عن المرآة الخلفية، والنافذة من الخلية، قد دار منحى استقطابها بمقدار $\varphi/2 = \frac{\pi}{2}$ أيضاً، وأصبح عمودياً على المحور البصري للمقطب، لذلك فإن هذه الموجة لن تنفذ منه، و بذلك يمنع (يعاق) الإصدار الليزريلانعدام 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 الإشباع أحياناً[1,2,5]. والشكل (d – 4) يوضح ذلك.

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

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

يفصل الجهد $V_{1/4}$ عن خليتيبوكلز أي$V = 0$ خلال الزمن $t \geq T$ عند انتهاء زمن نبضة الضخ في اللحظة $t = T$ كما في الشكل $(c - 4)$، فتصبح خليتي بوكلز غير فعالتين ضوئياً، وتنفذ موجة الليزر منهما دون أي تغير في منحى 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:

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

وتنعكس هذه الموجة عن المرآة الخلفية، وتنفذ من الخليتين مرة أخرى دون أي تغير في منحى استقطابها، لذلك فإنها سوف تنفذ من المقطب، وبذلك يحدث التضخيم الليزري في الوسط الفعال، ويكون فعالاً جداً بسبب القيمة العظمى للإسكان المعكوس التي بلغتها 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 قمتها (ذروة الاستطاعة) عندما يصبح الإسكان المعكوس في سوية الليزر العليا مساوياً لإسكان عتبة الإصدار $n_2 = n_{th}$كما هو مبين في الشكل[1,2,5]($d - 4$).

- 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 لاستنفاذ الإسكان المعكوس من سوية الليزر العليا (n_2)، فإن الجزءالمتبقي منه في هذه السوية والذي تكون فيه $n_2 \geq n_{th}$ سوف يؤدي إلى إصدار محثوث لنبضة ليزرية صغيرة، والتي تعتبر من ضياعات الحجرة[1].

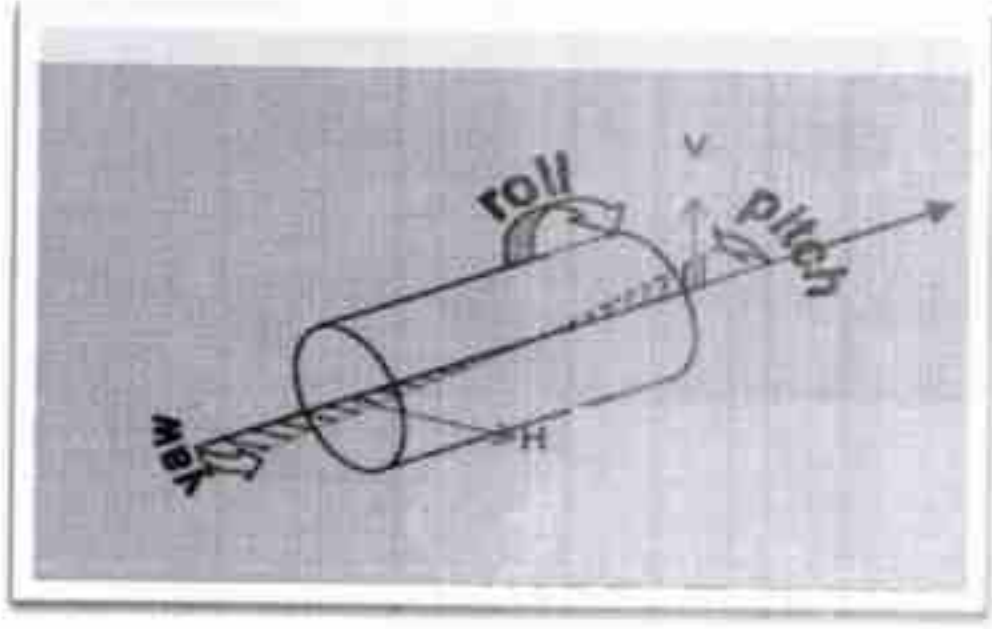
2 – 2–المفهوم النظري لعمل خلية بوكلز كمغلق ***shatter***

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

1– خطأ في المستوي الأفقyaw.

2– خطأ في المستوي العمودي$pitch$.

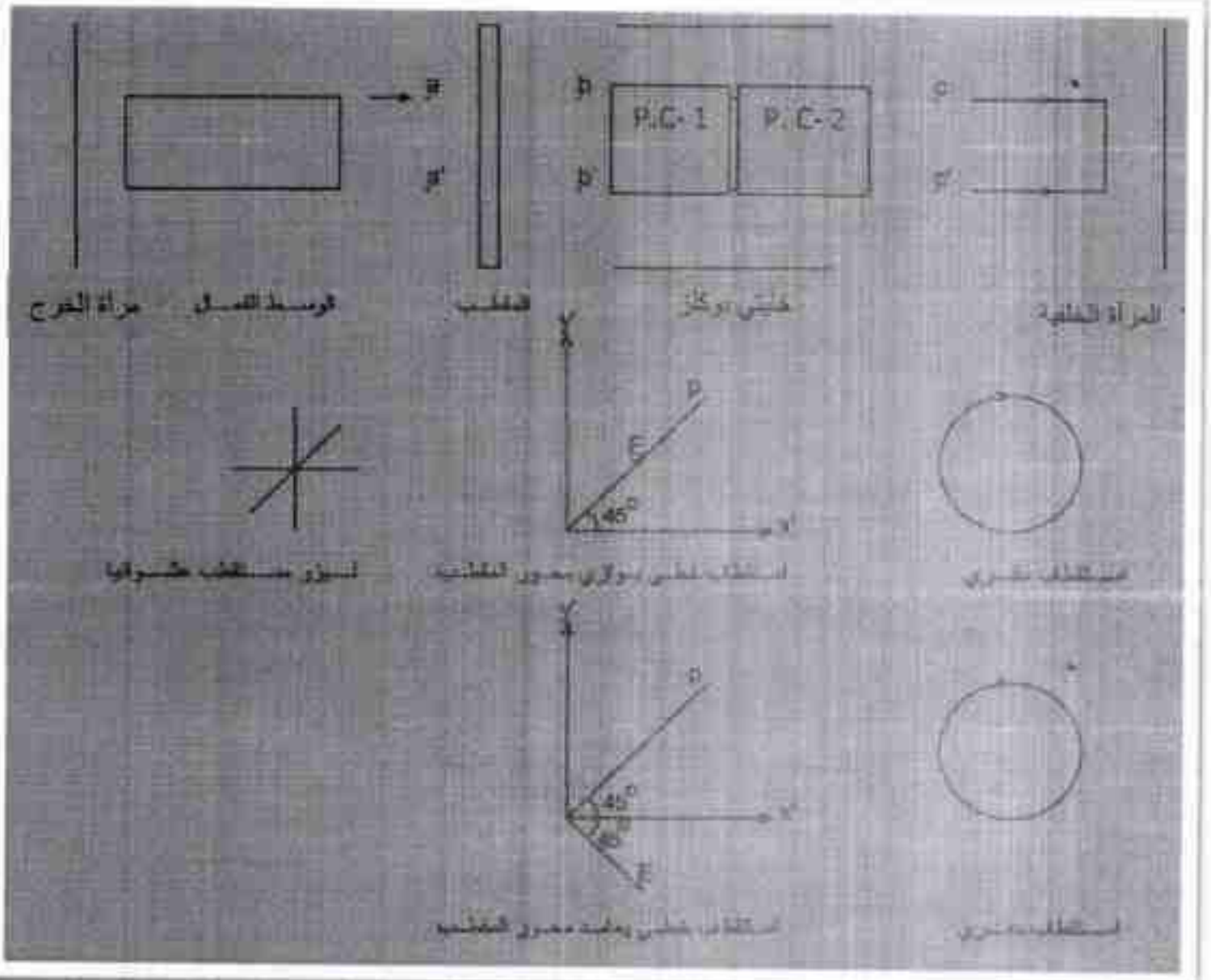
3– خطأ في الدوران الزاويrol.



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] . ويبين 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 $X'O\,Y'$ كما هو عملها 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 $\propto = 45^{\circ}$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 خطيا (النقطة b') ، وبذلكيكون اتجاه استقطاب هذه الحزمة قد تغير بزاوية $\theta = \frac{\pi}{2}$ عن اتجاهه الأصلي الموازي للمحور البصري للمقطب، وأصبح عمودياً عليه، وبالتالي فان هذه الحزمة لن تنفذ من المقطب (النقطة a') ، ويصبح الطريق الضوئيمغلقاً في المجاوب وينعدم الإصدار الليزري.

مما سبق نستنتج: إذا انعدم الإصدار الليزري من المجاوب، وفق ما سبق، يمكننا القول أن خلية بوكلز أصبحت تعمل كمغلق ***shatter***، وإن الجهد المطبق عليها هو $\mathbf{V_{1/4}}$، وإن أخطاء الضبط أصبحت معدومة (أو شبه معدومة).

3-النتائج العملية

3 – 1 – عمل خليتيبوكلز 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 $\mathbf{V_{1/4} = 1820\,V}$ بينما كان بالنسبة للخلية

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

طاقة النبضة الليزرية	طاقة النبضة الليزرية عند الإغلاق $E_{sh}(mj)$		النسبة المئوية للتخميد
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 خليتيبوكلز كمغلق .

وبمقارنة هذه النتائج مع النتائج التيحصلنا عليها عند عمل خلية بوكلز المفردة كمغلق، والمبينة في الجدول رقم (2) يتبين أن النسبة المئوية للتخميد عند عمل خلية بوكلز المفردة كمغلق كانت أفضل منها عند عمل الخليتين كمغلقبفارق 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	طاقة النبضة الليزرية عند الإغلاق $E_{sh}(mj)$		النسبة المئوية للتخميد
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

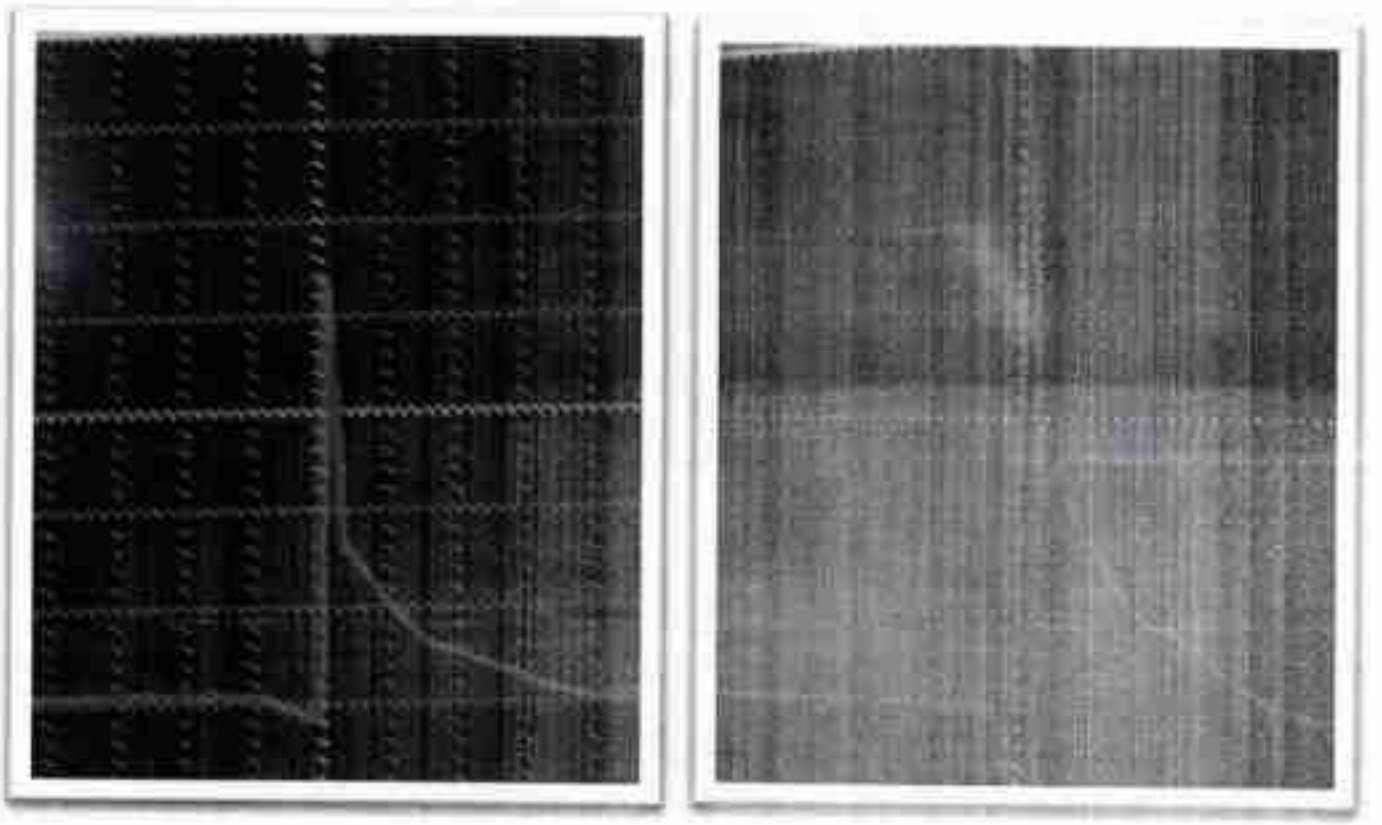
الجدول رقم (2) : نتائج القياسات لعمل خلية بوكلز كمغلق .

بعد أن تم تحديد جهد ربع الموجة= $1820VV_{1/4}$وتم ضبط التوجيه لخليتي بوكلز معاً أصبح بالإمكان استخدامهما في عمل مفتاح الجودة الكهرو ضوئي 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 الكهرو ضوئي$Electro - OpticQ - Swit$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 خليتي بوكلز منالنوع خليةبوكلز الطولانية $Longtudinal\ pockels\ cell$ذات التركيب الكيميائي فوسفات ديتيريوم البوتاسيوم (KD_2Po_4) ، والتي يرمز لها بـKD^*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 $(7 - b)$.



ba

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

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

- المحور العمودي للمطال وفق المقياس $U = 100mV$.

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 $(Q-S)$** عند استخدام **خليتين** من $170\ mj$ إلى $125\ mj$ ويعزى ذلك إلى أن الحزمة الليزرية تجتاز **أربعة أسطح** (اثنان لكل خلية) بدلاً من سطحين .
- تم الحصول على عرض نبضة أقصر بمقدار **ns(6 – 4) وشكل أفضل**، أما تفسير ذلك فيعزى إلى انخفض آثار الضغط الكهربائي *the piezo electric effect* والناتج عن **انخفاض جهد ربع الموجة** $V_{1/4}$ **الى 1820 V** (عند استخدام خليتين) بدلاً **3500 V**(عند استخدام خلية مفردة).

طاقة نبضة الليزر	48	77	101	125
عرض نبضة الليزر	180	190	195	200
استطاعة نبضة الليزر	266	405	517	625
طاقة نبضة $Q-s$	45	70	90	109
عرض نبضة $Q-S$	18	18	17	16
استطاعة نبضة $Q-S$	2.5	3.8	5.3	6.8
معدل زيادة الاستطاعة	9.3	9.4	10.2	10.9

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

طاقة نبضة الليزر	52	90	135	170
عرض نبضة الليزر	180	200	210	220
استطاعة نبضة الليزر	288	450	675	772
طاقة نبضة $Q-s$	48	81	118	146
عرض نبضة $Q-S$	24	22	20	20
استطاعة نبضة $Q-S$	2	3.7	5.75	7.3
معدل زيادة الاستطاعة	6.9	8.2	8.5	9.4

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

مواصفات نبضة $Q-S$	منفذ بخلية مفردة	منفذ بخليتين معاً
طاقة نبضة الليزر		**125**
طاقة نبضة $Q-S$	**146**	**101**
عرض النبضة	**20-24**	**16-18**
استطاعة النبضة	7.3	6.3
مردود الطاقة $(E_{QS}/E)\%$	85.5	80.8
النسبة المئوية للضياع	14	19.2
معدل زيادة الاستطاعة		

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 يؤديإلى**تناقص جهد ربع الموجة** المطبق على الخلاياوبالتالي 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 **ضياعاتإضافية** .

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

2- إضافة **صفيحة ربع موجية $\lambda/4$** إلىالمجاوب الليزري- الذي يستخدم خلية مفردة - بين **المقطب وخلية بوكلز**والذي يسمح بتطبيق **جهد ربع الموجة $V_{\lambda/4}$خلال زمن فتح المجاوب**(عند انعدام نبضة الضخ) **بدلاً من تطبيقه خلال زمن إغلاق المجاوب** (عند تطبيق نبضة الضخ) **والذي يعتبر طويلاً مقارنةً بزمن الفتح** .

References المراجع

1 – *W. koechner . Solid – State Laser Engineering .May* 2005

2 – *S. L Chin . Vol* 1: *Fundamentals of Laser Optoelectrics* . 1989

3- الدكتور ضيف الله نصور، الدكتورة نهلة داود،الدكتور عبد الباسط قبس الضوء الفيزياتي. جامعة تشرين . كلية العلوم 2006 – 2005 .

4 – *Earl L. Steele . Optical Laser in Electronics . November* 1967 .

5 – *Textbook: J . T. Verdeyen Laser Electronics .3rd ed . Prentice – Hall. A. Yariv. Optical Electronics .*

6 – *Cleveland Crystals , IncQuick Notes for Pockles Cell Alignmemt* 2008 .

7 – *LEYBOLD Physics Leaflets . Demonstrathngthe Pockles effect in a conoscopic beam path .*

References المراجع

1- الدكتور-ضيف الله نصور، الدكتورة نهلة داود،الدكتور عبد الباسط قبس 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 . Demonstrathngthe Pockles effect in a conoscopic beam path .*

8 – *Cleveland Crystals , IncQuick Notes for Pockles Cell Alignmemt* 2008 .