# تصميم محول قدح ليزري تسلسلي وتنفيذه*

المهندس عدنان حقي**

الدكتور هاشم ورقوزق*** الدكتور فواز سيوف****

## الملخص

تم وضع تصميم متكامل لمحول قدح توتر عالي $(16KV)$ بعرض نبضة $(1\mu sec)$، يعمل بمعدل تكرار أعظمي قدره ($PPS = 50$).

يشكل المحول المصمم الجزءَ الأساسي من دارة القدح التسلسلية في وحدة تغذية مفتاحية ليزرية (ليزر ياقوت، YAG Laser) التي تعمل بالنمط النبضي، قيمة تيار التفريغ الوسطية $(7.8A)$. نواة المحول من الفريت الحلقي، والملف الثانوي للمحول معزول بمادة التفلون الصناعي بسماكة $(100\mu m)$، ولُفَّ على النواة على شكل أربع طبقات في كل طبقة 40 لفة، وجرى العزل بين كل طبقتين بسماكة $(200\mu m)$ من التفلون، أمَّا الملف الابتدائي فيتألف من لفة وحيدة.

استخدمنا المعالج التحكمي ATMEGA32 للتحكم بمكونات النظام الليزري كلّها، وكذلك لتوليد نبضات دخل محول القدح ذات العرض الزمني $(1\mu sec)$ بمطال أعظمي قدره $(50V)$ وتم الحصول في خرج محول القدح على نبضات بعرض $(1\mu sec)$ بمطال أعظمي قدره $(16KV)$ وبمعدل التكرار المطلوب. كما استُخدِمَتْ نبضات خرج محول القدح المصمم لقدح المصباح طراز 2X125F الموجود في دارة التفريغ التسلسلية.

**الكلمات المفتاحية:**

القدح الخارجي، القدح الداخلي، ليزر جسم صلب، مواد العزل الكهربائية، المواد الفريتية، المحولات النبضية، محولات التوتر العالي.

* أعد البحث في سياق رسالة الدكتوراه للمهندس عدنان حقي بإشراف الأستاذ الدكتور هاشم ورقوزق والدكتور فواز سيوف.

** مهندس - المعهد العالي لبحوث الليزر وتطبيقاته - جامعة دمشق.

** أستاذ - قسم هندسة الطاقة -كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق.

**** المعهد العالي لبحوث الليزر وتطبيقاته - جامعة دمشق.

**1 - المقدمة:**

تحتاج معظم الأنظمة الليزرية الغازية والصلبة، النبضية منها والمستمرة إلى نبضة قدح ذات توتر عالٍ لتوليد الليزر بالمواصفات المطلوبة.

وتتجلى وظيفة نبضة القدح في تأيين الغاز الموجود داخل المصباح لجعل عملية التفريغ تتم في المصباح، أي تفريغ الطاقة المخزنة في المكثفات.

وفي الليزر المستمر يكفي نبضة قدح وحيدة لتوليد الليزر، أمَّا في الليزر النبضي فإننا نحتاج إلى نبضة قدح عند كل نبضة ليزر، وفي كلتا الحالتين لابدَّ من محول قدح توتر عالٍ لتأمين نبضة (أو نبضات) القدح لعمل النظام الليزري.

تُعدُّ طريقة الضخ باستخدام مصابيح القدح فعّالة فقط عندما تكون طاقة خرج الليزر المطلوبة كبيرة (أكبر من 1 J) فعند الطاقات الصغيرة يتم الضخ باستخدام مصفوفات من الثنائيات الليزرية بدلاً من المصابيح.

**2 - الهدف من البحث:**

تصميم محول قدح نبضي ذي توتر عالٍ يُستخدم لقدح مصباح تفريغ (Flash lamp).

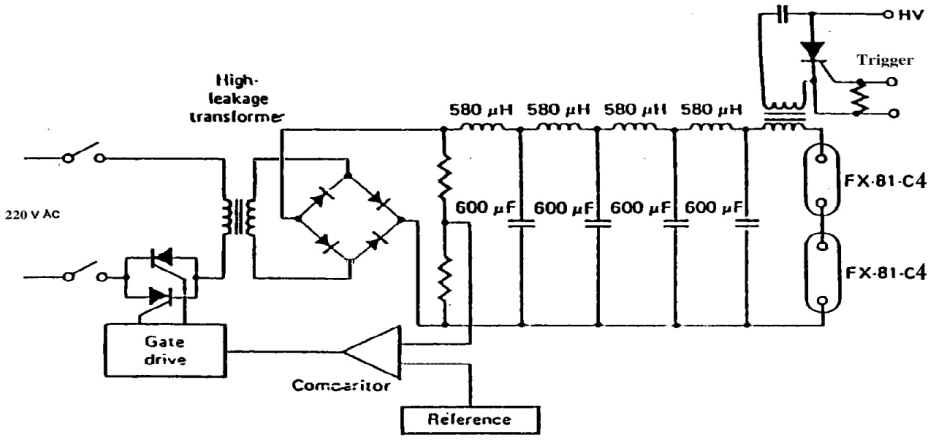
يدخل المحول المصمم في منظومة ليزر جسم صلب (YAG Laser) ذات قدح تسلسلي.

ولكن قبل البدء بحسابات محول القدح النبضي سنعرض بعض النماذج عن القدح الخارجي والتسلسلي، ونذكر ميزات كل منهما وعيوبه.

**3- القدح التسلسلي:**

يكون محول القدح في وحدات التغذية ذات القدح التسلسلي موصلاً على التسلسل مع دارة التفريغ [1].

ويبيّن الشكل (1) وحدة تغذية ليزرية تعتمد نظام القدح التسلسلي.




**الشكل (1) : وحدة تغذية مع محول التسريب العالي في الدخل**

تقوم هذه الدارة بشحن عدة مكثفات ويمكن أن يصل معدل التكرار إلى عشر نبضات في الثانية $PPS = 10$ .

تتألف هذه الدارة من محول التسريب العالي High (Leakage Transformer) وثايرستورين مربوطين على التضاد، ومن جسر تقويم موجة كاملة.

يمكن لهذه الوحدة أن تغذي ليزر جسم صلب Nd:YAG بعرض نبضة من مرتبة $5\ ms$ .

وتتألف دارة القدح من ثايرستور ومكثف ومحول القدح كما هو مبيّن في الشكل (1).

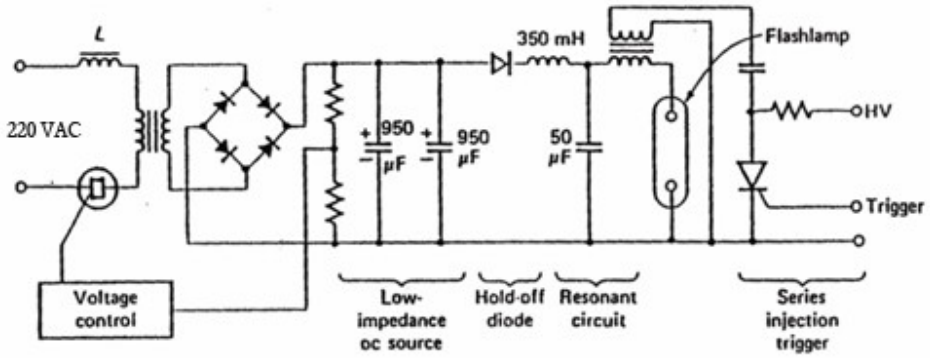
عندما تفرّغ المكثفة عبر أولي محول القدح يتولد توترٌ عالٍ في خرج المحول يؤدي إلى انهيار مصباح القدح.

قد صُممت ووحدة التغذية هذه لقدح مصباحي قدح طراز

(FX81-C4) مربوطين على التسلسل، ويتمتع هذا المصباح بالمواصفات الآتية: قطره يساوي $10\ mm$ وطوله $10\ cm$.

يمكن بناء وحدة التغذية هذه بواسطة وصل ثلاثة محولات وثلاثة مقومات موجة كاملة على التفرع عند التوتر $DC$.

لننتقل الآن إلى مناقشة موضوع الدارة الموضحة في الشكل (2).




**الشكل (2): دارة شحن تُستخدم من أجل معدل تكرار مرتفع للنبضة**

تغذي هذه الدارة ليزر جسم صلب Nd:YAG ويمكن أن يصل معدل التكرار إلى خمسين نبضة في الثانية $PPS = 50$.

يُقدَح هذا الليزر بمصباحٍ قطره يساوي $5\ mm$ وطوله $50\ cm$ ويعطي طاقة ليزر عظمى $20\ J$. ويمكن تغيير توتر شحن المكثفات وذلك عن طريق الترياك الموجود في دارة أولي المحول ويؤدي الملف الموجود في دارة أولي المحول دورَ محدد التيار.

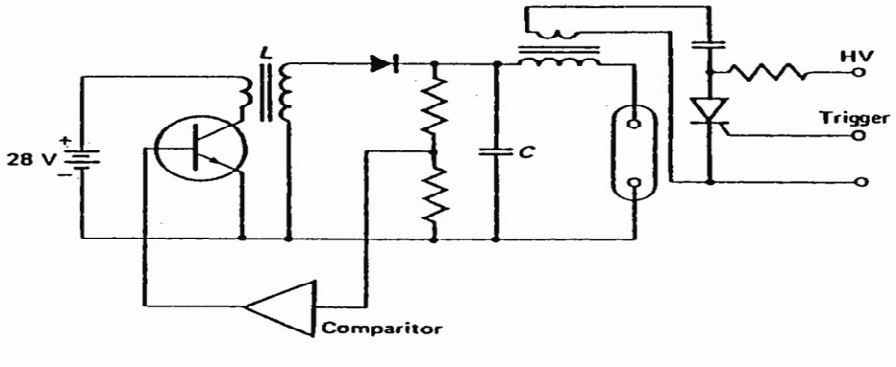
يتم التقويم عن طريق جسر كامل، كما يتم الترشيح بواسطة المكثفات $950\mu F$.

تتألف دارة الشحن من مكثف الطاقة $50\mu F$ والثنائي، والملف $350mH$. يُولِّدُ نبضة القدح عن طريق تفريغ المكثفة الصغيرة في ابتدائي محول القدح. أمَّا ثانوي محول القدح فهو موصول بشكلٍ تسلسلي مع شبكة تشكيل النبضة. والجدير بالذكر أن المصباح يبقى متأيناً لوقتٍ يقدر ببضع ميلي ثانية، وذلك بعد مرور تيار التفريغ فيه.

يمثل الشكل (3) أيضاً دارة تغذية، ويكون مصدر التيار فيها عبارة عن مدخرة أو منبع تغذية مستمر، ويتم نقل الطاقة عبر ملف المحول إلى مكثف الشحن.

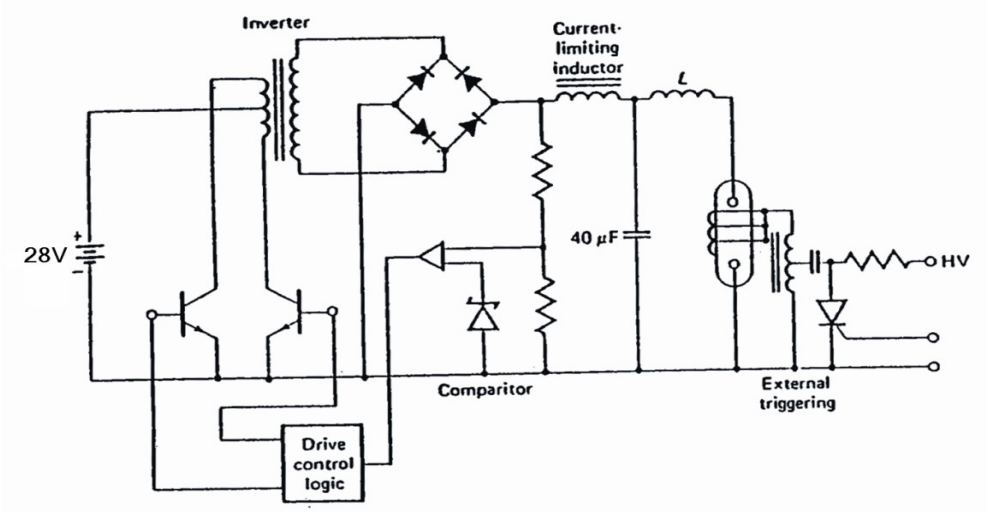
تتألف هذه الدارة من مبدلDC\ AC نوع Flyback. وعندما يكون الترانزستور بحالة قطع تنتقل الطاقة من أولي المحول إلى الثانوي، ومن ثَمَّ، يتم شحن المكثفات حتى التوتر $800\ VDC$.

يمكن أن يعمل الترانزستور بتردد من 1KHz إلى 10KHz ونحتاج من 100 إلى 1000 عملية نقل من الأولي إلى الثانوي، وذلك من أجل معدل تكرار يصل إلى عشر نبضات في الثانية $PPS = 10$.




**الشكل (3): دارة تغذية، مصدر التيار منبع تغذية مستمر**

**4 - القدح الخارجي:**




**الشكل (4): وحدة تغذية ليزرية ذات قدح خارجي**

يبيّن الشكل (4) مثالاً عن القدح الخارجي [1].

يتم في القدح الخارجي لف سلك حول مصباح القدح ووصله بطرف ثانوي محول القدح كما هو موضح في الشكل (4). في التطبيقات العسكرية مثل قوائس المسافة ومحدد الهدف يكون مصدر التيار مدخرة أو وحدة تغذية مستمرة $28\,VDC$ .

تتألف هذه الدارة من مبدل DC/ AC نوع دفع/ جذب ومحول رافع ومقوم توتر عالٍ وشبكة تشكيل النبضة ودارة قدح خارجية.

يمكن أن تزودنا هذه الدارة بقدرة تصل إلى $20\,J$ ومعدل تكرار يصل إلى عشر نبضات في الثانية $PPS = 10$ .

مصباح القدح في هذه الدارة من طراز (ILC L-213) قطره $4mm$ ويبلغ طول المنطقة الفعالة فيه $50mm$. أمَّا وظيفة الملف في الجزء الأيسر من الدارة فهي تحديد التيار.

يتزايد تردد المبدل خلال دور شحن المكثفات من 1kHz إلى 5kHz للحفاظ على سحب منخفض للتيار من المنبع $28\,VDC$ وبواسطة مقسم التوتر والمقارن يتوقف

الترانزستوران عن العمل عند وصول توتر المكثفات إلى الحد المطلوب. وتُولَّدُ نبضة القدح بتفريغ المكثف بأولي محول القدح عن طريق الثايرستور.

والجدير بالذكر أن وجودَ سلك خارجي ملفوف حول مصباح القدح يشكل خطراً، ولذلك لا نفضل هذه الطريقة من القدح.

**5 - مقارنة بين القدح التسلسلي والخارجي:**

تتولد في القدح التسلسلي نبضة القدح في ثانوي محول القدح الذي يكون مربوطاً على التسلسل مع المصباح، وتؤدي نبضة القدح ذات التوتر العالي إلى تأيُّن الغاز الموجود في المصباح.

و يسبب تيار المصباح الكبير تشبع محول القدح، لذلك يجب أن يكون ذا تحريضية منخفضة.

ولكل من الطريقتين السابقتين في القدح ميزات وعيوب. فأمَّا ميزة القدح الخارجي فهي تعطي التصميم مرونة ويكون محول القدح الخارجي ذا حجم ووزن صغير وأقطار أسلاكه دقيقة إذ إن الملف الثانوي ليس جزءاً أساسياً من دارة التفريغ، ولذلك تعد هذه الطريقة الأبسط والأسهل والأكثر شيوعاً.

من جهةٍ أخرى، فإن القدح التسلسلي يصبح هو الحل عندما لا يسمح بأن يكون التوتر العالي مكشوفاً. كما أن الملف الثانوي لمحول القدح يكون في طريقة القدح التسلسلي جزءاً أساسياً من دارة التفريغ، لذلك يجب أن تكون ممانعة الملف الثانوي لمحول القدح أصغرَ بكثير من ممانعة المصباح، وهذا يجعل محول القدح التسلسلي ضخماً وثقيل الوزن نسبياً.

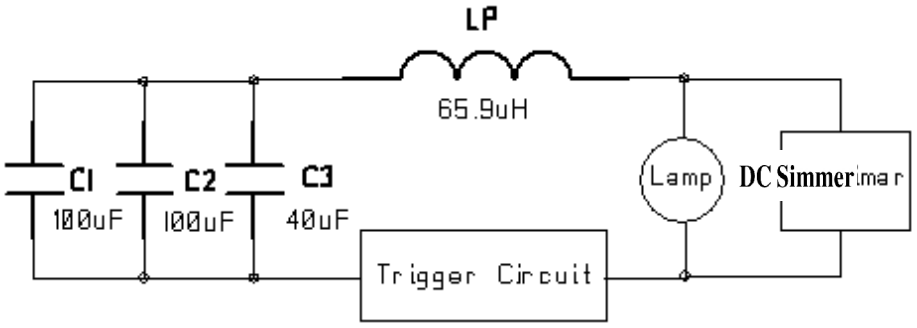
فضلاً عن أن النبضات الناتجة عن القدح التسلسلي تكون أكثر انتظاماً وتكراراً من القدح الخارجي. وقد لوحظ أن المصابيحَ التي يستخدم فيها القدح التسلسلي تكون ذات فعالية أكبر وأطول عمراً.

**6 - الجزء العملي:**

**6 -1- دارة توليد نبضة القدح:**

بفرض أنه لدينا دارة التفريغ (نمط القدح التسلسلي) الموضحة في الشكل (5) والمطلوب حساب مكونات دارة القدح جميعها بما فيها محول القدح TP5 ، كما هو مبيّن في الشكل (6).

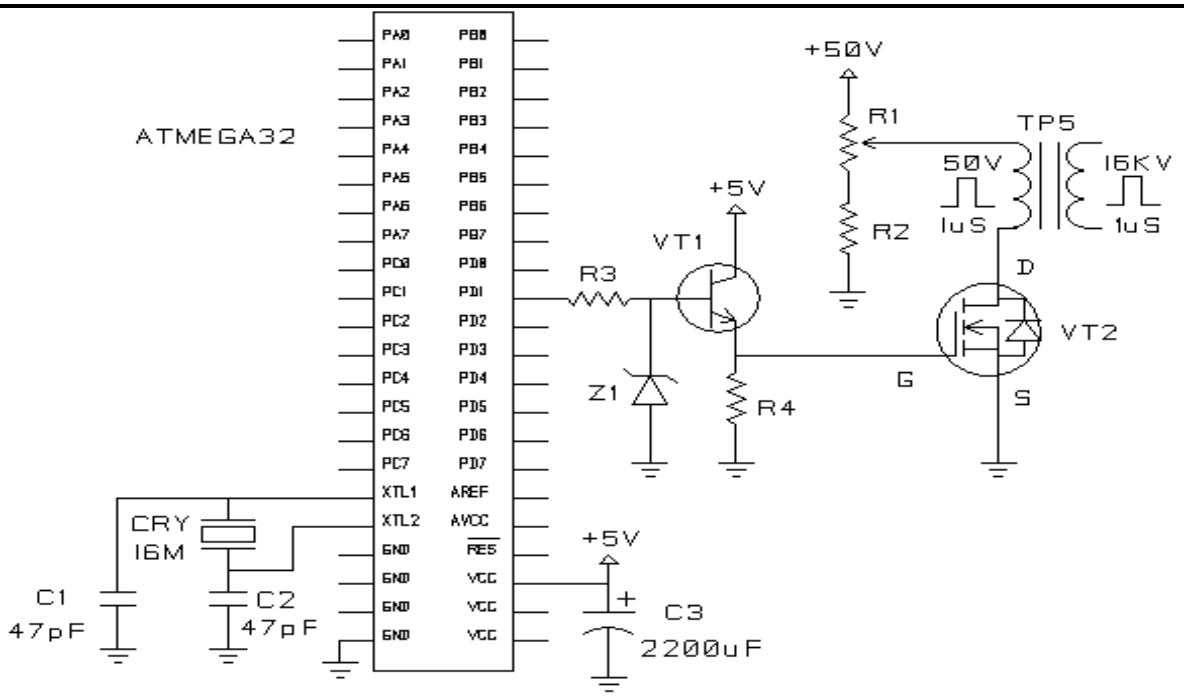
مصباح القدح المبيّن في الشكل (5) من طراز 2X125F (يُنظر الجدول (1)).




**الشكل (5): دارة التفريغ مع قيم العناصر**

DC Simmer هي وحدة تغذية توتر مستمر منخفضة التوتر والاستطاعة، وظيفتها تسخين المصباح باستمرار.

يبيّن الشكل (6) دارة تشكيل نبضة القدح العملية.




**الشكل (6): دارة تشكيل نبضة القدح العملية**

في الدارة المبيّنة في الشكل (6) لدينا:

الترانزستور VT1 طراز BC337 (BJT) الترانزستور VT2 طراز IFRP460 (MOSFET).

Z1 ثنائي زينر (Vz=5.1V) يُستخدم كمحدد للتوتر.

$R1 = 470\Omega \quad R2 = 3.3K\Omega \quad R3 = 1K\Omega \quad R4 = 0.5K\Omega$

تُراوح قيمة توتر نبضة دخل المحول TP5 بين 44V إلى $5_0$V وذلك حسب وضعية مقسّم التوتر المؤلف من المقاومتين $R1$ , $R2$ :

$$44V \leq U_1 \leq 50V$$

وتُراوح قيمة توتر نبضة خرج المحول $TP5$ حسب قيمة توتر الدخل $U_1$:

$$14KV \leq U_2 \leq 16KV$$

تُوَلِّدُ نبضة قدح يقع عرضها ضمن المجال الزمني: $0.2\mu sec \leq T_w \leq 2\mu sec$ (لتغطية أنواع مصابيح القدح كلّها (يُنظر الجدول (1)) وذلك عن طريق البوابة $PD1$ الخاصة بالمعالج التحكمي **ATMEGA32** وتستخدم هذه النبضة لقيادة الترانزستور $VT1$ الذي يقود بدوره الترانزستور $VT_2$ المربوط مع ابتدائي المحول الفريتي الحلقي $TP5$ وبالنتيجة، نحصل عند خرج المحول $TP5$ على نبضة القدح $VT2$ ذات العرض $1\mu sec$ وبمطال أعظمي قدره $16KV$ وتُستخدم هذه النبضة لقدح المصباح 2X125F.

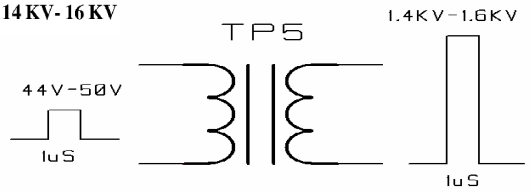
استخدمنا المعالج التحكمي **ATMEGA32** لتوليد نبضة القدح بالمواصفات المطلوبة لكل مصباح قدح، ومعدل التكرار، وللتحكم أيضاً بمكونات النظام الليزري كلّها.

ويقع معدل تكرار نبضات القدح في الأنظمة الليزرية الصلبة في المجال [ 1pps 50pps ].

إذاً، يجب إدخال معاملين عند بداية التشغيل هما عرض نبضة القدح، ومعدل تكرار هذه النبضة (يُنظر في الملحق البرنامج المكتوب بلغة C الخاص بتوليد نبضة القدح ومعدل تكرارها).

**6- 2 - تصميم محول القدح الفريتي $TP5$**[5]، [4] [3]:

يبيّن الشكل (7) محول القدح الفريتي $TP5$ المراد تصميمه. ويدخل هذا المحول في نمط القدح التسلسلي وبفرض أن تيار التفريغ الوسطي للدارة المبيّنة في الشكل رقم (7) هو $I_2 = 7.8A$ (نلاحظ أن تيار التفريغ الوسطي يمر في ثانوي المحول $TP5$ وذلك لأن الدارة تسلسلية).




**الشكل (7) - محول القدح الفريتي** $TP5$

ثابت تحويل المحول $TP5$:

$$K_{TP} = \frac{U_2}{U_1} = \frac{16000}{50} = 320$$

يُعطى تيار الابتدائي بالعلاقة الآتية:

$$I_1 = \frac{U_1}{R_{TR}} \cdot \frac{\tau}{T} \qquad (1)$$

إذْ $R_{TR} = 0.02\,\Omega$ هي ممانعة الملف الابتدائي التقريبية، $\tau = 1\mu sec$ عرض نبضة القدح.

معدل تكرار نبضات الليزر

$$T = 20msec \quad f = \frac{1}{T} = 50Hz.$$

$$I_1 = \frac{50}{0.02} \cdot \frac{10^{-6}}{20 * 10^{-3}} = 125mA$$

نعوض في المعادلة $(1)$

استطاعة المحول:

$$P_{TR} = U_1 \cdot I_1 = 50 * 125 * 10^{-3} = 6.25W$$

نختار نواة حلقية من الفريت طراز (600HH) بالقياسات الآتية: K55X32X9 [6].

يُحسب توتر اللفة الواحدة من العلاقة الآتية:

$$e_o = 4.44 f\ B_{max} \cdot S_c \cdot K_M \cdot K_z \cdot 10^{-8} \qquad (2)$$

بفرض أن عامل ملء المحول $K_M = 0.3$ وعامل مقطع المحول $K_Z = 1$.

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{1\mu S} = 100KHz$$

مساحة مقطع النواة المختارة $S_c = 1.035\ cm^2$.

كثافة الحقل العظمى $B_{max} = 0.7T$.

نعوض هذه القيم جميعها بالعلاقة رقم $(2)$ فنجد:

$$e_o = 99\ V$$

يُحسب عدد لفات الملف الابتدائي من العلاقة الآتية:

$$W_1 = \frac{U_1}{e_o} = \frac{50}{99} \approx 1T$$

يُحسب عدد لفات الملف الثانوي من العلاقة الآتية:

$$W_2 = \frac{U_2}{e_o} = \frac{16000}{99} \approx 162T$$

يُعطى قطر سلك الملف الابتدائي بالعلاقة الآتية:

$$d_1 = 1.13\sqrt{\frac{I_1}{\Delta I}}$$

حيث كثافة التيار $\Delta I = 2\ A/mm^2$.

$$d_1 = 1.13\sqrt{\frac{125*10^{-3}}{2}} = 0.283\,mm$$

نأخذ سلك الابتدائي من طراز **AWG 28** وذلك حسب التوصيف الأمريكي لأسلاك اللف.

يُعطى قطر سلك الملف الثانوي بالعلاقة الآتية:

$$d_2 = 1.13\sqrt{\frac{I_2}{\Delta I}}$$

حيث كثافة التيار $\Delta I = 2\ A/mm^2$.

$$d_2 = 1.13\sqrt{\frac{7.8}{2}} = 2.23\ mm$$

نأخذ سلك الثانوي من طراز **AWG 11** .

نلاحظ مما سبق أن قطر السلك الثانوي للمحول $TP5$ كبيراً جداً مقارنة بقطر سلكه الابتدائي، وهذا أحد عيوب دارة القدح التسلسلي.

**6 -3 - تحقيق المحول عملياً:**

نبدأ أولاً بلف الثانوي حول نواة المحول الحلقية، وعند الانتهاء من لفه نضع التفلون [2] بسماكة $200\mu m$ لعزله عن الابتدائي، ومن ثمّ نلف فوقه الابتدائي.

**1- الملف الثانوي:**

- نعزل سلك الملف الثانوي **AWG 11** بطبقتين من شريط التفلون بسماكة $200\mu m$.
- نلف الملف الثانوي المعزول بالتفلون على أربع طبقات في كل طبقة 40 لفة تقريباً، ونضع عازل التفلون بين كل طبقتين بسماكة $200\mu m$ وهذا العزل كافٍ لأن فرقَ التوتر بين كل طبقتين من طبقات الملف الثانوي لا يتجاوز $4KV$

**2- الملف الأولي:** يمكن تحقيق الملف الأولي المكون من لفةٍ وحيدة بطريقتين:

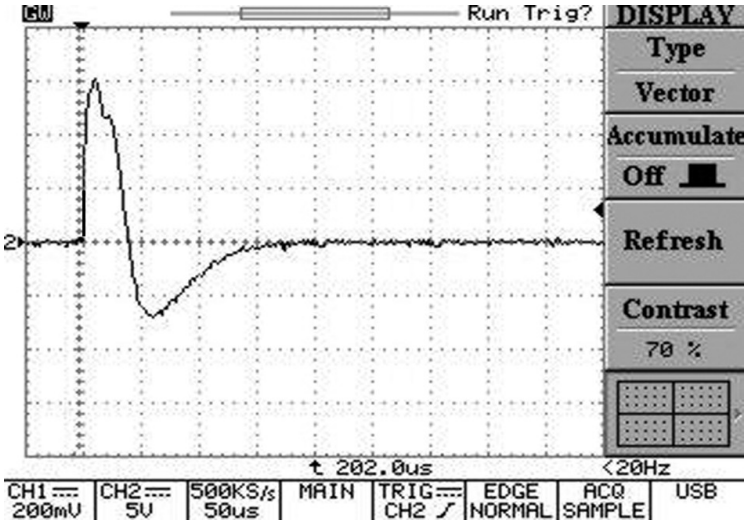
أ- نأخذ صفيحة رقيقة جداً من النحاس المرن ونلفها حول كامل نواة المحول، ثمّ نلحم سلكين عند بدايتها ونهايتها، وبذلك نكون قد حصلنا على الملف الأولي المكون من لفة وحيدة.

ب- نلف لفة وحيدة من السلك **AWG 28** حول نواة المحول، ونكرر العملية حتى نغطي النواة بالكامل، ثمّ نجمع بدايات اللفات بنقطة وحيدة، ونجمع نهايات اللفات بنقطة وحيدة، وبذلك نكون قد حصلنا على الملف الأولي المكون من لفة وحيدة.

**6 -4 - اختبار المحول عملياً:**

نُحمّل ثانوي المحول بحمل أومي وليكن على سبيل المثال 15KΩ ومن ثمّ نفرغ مكثفاً كيميائياً قيمته 470µF مشحوناً بتوتر 50V مباشرة في أولي المحول المصمم ونقيس إشارة خرج المحول الناتجة عن تفريغ المكثف السابق بواسطة راسم الإشارة (راسم الإشارة موصول مع مخمد نسبته (1/1000)) فنجد أن إشارة خرج المحول هي كما في الشكل (8).

نلاحظ من الشكل (8) أن مطال إشارة خرج المحول $V_{max} \approx 15KV$.



**الشكل (8): إشارة خرج المحول الناتجة عن تفريغ مكثف قيمته 470µF مشحون بتوتر 50V في أولي محول القدح المصمم (التدريج الأفقي 50µs/div التدريج الشاقولي 5KV/div)**

**7 - مناقشة النتائج والتوصيات:**

وجدنا من خلال الحسابات أن قيمة التيار الوسطي المار في ثانوي محول القدح التسلسلي كبير جداً، لذلك يجب أن يكون قطر سلكه كبيراً على الرغم من أن الاستطاعة المقدمة من محول القدح لا تتجاوز $6.25W$.

لما كانت الاستطاعة المقدمة من محول القدح لا تتجاوز $6.25W$ فهو ليس بحاجة إلى أي نوع من أنواع تبريد المحولات.

ويمكننا باستخدام المعالج التحكمي **ATMEGA32** أو أحد المتحكمات الأخرى أن نغطي مجموعة كبيرة من المصابيح بمحول القدح المصمم نفسه -موضوع البحث - وذلك ببرمجة عرض نبضة القدح ومعدل التكرار فقط.

إذا كانت وحدة التغذية الليزرية التي تعمل بنمط القدح التسلسلي تستجر تيارَ تفريغ وسطياً أقل من 7.8A فيمكن استخدام المحول المصمم، وذلك بتعديل نسبة تحويله لتناسب توتر قدح المصباح الجديد دون الحاجة إلى تعديل أقطار أسلاك الملفين الابتدائي والثانوي.

أما إذا كان تيار التفريغ الوسطي أكبر من 7.8A فيجب زيادة قطر سلك الملف الثانوي (أكبر من 2.23mm) لمحول القدح وتعديل نسبة تحويله.

نلاحظ من الشكل (8) أن إشارة خرج المحول تهتز بتخامد (هذا الأمر طبيعي في أنواع المحولات كلّها) ولكن ما يهمنا هو فقط أول نبضة لتحقيق قدح المصباح.

في بعض الأنظمة يمكن الاستغناء عن قضيب الياقوت (YAG) والاستفادة فقط من الضوء الصادر عن مصباح القدح (في هذه الحالة لا توجد نبضات ليزر) وتسمى هذه الأنظمة عندئذٍ (نبضة الضوء المكثفة، Intensity Pulse) Light أو اختصاراً أنظمة (IPL).

**8 - التطبيقات العملية لمحول القدح النبضي:**

يُستخدم هذا النوع من محولات القدح في كثير من التطبيقات الصناعية والطبية، ولكن سنذكر بعضها على سبيل المثال وليس الحصر.

أ- التطبيقات الصناعية:

1- معالجة المعادن: لمّا كانت طاقة خرج نبضة الليزر الناتجة عن الضخ باستخدام مصابيح القدح كبيرة، فهي مناسبة لتثقيب المعادن بسماكات مختلفة، ومعالجة السطوح، والكتابة على المعادن .....الخ.

2- أجهزة قياس المسافة: تقاس المسافة من خلال حساب الزمن الذي تستغرقه نبضة الليزر للوصول إلى الهدف والانعكاس عنه.

ب- التطبيقات الطبية:

1- معالجة عيوب النظر.

2- المعالجة التجميلية للجلد.

3- معالجة بعض الأورام السرطانية دون جراحة.

4- إزالة الشعر باستخدام أنظمة (IPL).

**9 - الخاتمة:**

صُمِّمَ في هذا البحث محول قدح نبضي ذي توتر عالٍ 16KV يُستخدم لقدح مصباح تفريغ (Flash lamp) طراز

2X125F، والمحول المصمم يدخل في منظومة ليزر جسم صلب (YAG Laser) ذات قدح تسلسلي.

ويكون سلك الملف الثانوي للمحول المصمم من طراز AWG11، وهو كافٍ لتمرير تيارات تفريغ وسطية لا تزيد على 8A.

ويمكن استخدام هذا المحول لقدح العديد من مصابيح القدح بإجراء تعديل بسيط في نسبة التحويل فقط.

إن استخدام المعالج التحكمي ATMEGA32 للتحكم بمحول القدح وبمكونات النظام الليزري كلّها أعطى التصميم النهائي مرونةً كبيرة من حيث سهولة تعديل هذا النظام وتطويره.

**10 - الملحق:**

يشمل الملحق على الجدول (1) الذي يبيّن المواصفات الفنية لبعض مصابيح القدح، والبرنامج المكتوب بلغة Cالخاص بتوليد نبضة القدح ومعدل تكرارها، وصورة لوحدة التغذية الليزرية المصممة (تشمل هذه الصورة دارة توليد نبضات القدح ومحول القدح).

**(المواصفات الفنية لبعض مصابيح القدح Flash lamps)**

| Lamp Number | Bore (mm) | Arc Length (mm) | Average Power (Watts) | Peak Current (Amps) | Operating Voltage Min | Operating Voltage Max | Minimum Trigger pulse KV | Minimum Trigger pulse µS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4X25F | 4 | 25 | 628 | 500 | 400 | 1400 | 16 | 0.2 |
| 4X50F | 4 | 50 | 1256 | 500 | 500 | 1750 | 16 | 0.4 |
| 4X75F | 4 | 75 | 1884 | 500 | 600 | 2100 | 16 | 0.6 |
| 4X100F | 4 | 100 | 2513 | 500 | 700 | 2450 | 16 | 0.8 |
| 5X50F | 5 | 50 | 1570 | 800 | 500 | 1750 | 16 | 0.4 |
| 5X75F | 5 | 75 | 2356 | 800 | 600 | 2100 | 16 | 0.6 |
| 5X100F | 5 | 100 | 3141 | 800 | 700 | 2450 | 16 | 1.0 |
| 5X125F | 5 | 125 | 3926 | 800 | 800 | 2800 | 16 | 0.4 |
| 6X50F | 6 | 50 | 1884 | 1100 | 500 | 1750 | 16 | 0.6 |
| 6X75F | 6 | 75 | 2826 | 1100 | 600 | 2100 | 16 | 0.8 |
| 6X100F | 6 | 100 | 3759 | 1100 | 700 | 2450 | 16 | 1.0 |
| 6X125F | 6 | 125 | 4711 | 1100 | 800 | 2800 | 16 | 1.2 |
| 6X150F | 6 | 150 | 5653 | 1100 | 900 | 3150 | 16 | 0.6 |
| 7X75F | 7 | 75 | 3298 | 1400 | 600 | 2100 | 18 | 0.8 |
| 7X100F | 7 | 100 | 4398 | 1400 | 700 | 2450 | 18 | 1.0 |
| 7X125F | 7 | 125 | 5497 | 1400 | 800 | 2800 | 18 | 0.2 |
| 7X150F | 7 | 150 | 6597 | 1400 | 900 | 3150 | 18 | 1.2 |
| 7X200F | 7 | 200 | 8796 | 1400 | 1100 | 3850 | 18 | 1.6 |

**الجدول (1) المواصفات الفنية لبعض مصابيح القدح**

**(البرنامج الخاص بتوليد نبضة القدح ومعدل تكرارها)**

```
//The asigned value to OCR1A determines the pulse rate
OCR1A = Pulse_Rate

//Timer 1 output compare A interrupt is enabled, so that every 2 interrupts a pulse should be generated
//Timer 1 output compare A interrupt service routine
interrupt [TIM1_COMPA] void timer1_compa_isr(void){
  if (State == ExeProg){
        // Executing & number of pulses to be generated is > 0
    delay_us(10);                    // Delay after charging
    if (InpPinPulseRate == 0){          // This Interrupt occurs 2, only when InpPinPulseRate == 0 generate the pulse
      delay_us(10);                  // another Delay
      PinTrigger = 1;
```

```
{
                    // trigger = 1
                delay_us(Pulse_Width);
                    // Pulse Width
                PinTrigger = 0;
                    // trigger = 0
            {
            {
```

**(صورة لجزء من وحدة التغذية الليزرية المصممة)**

**الشكل (9): جزء من وحدة التغذية الليزرية**

**(1 - دارة توليد نبضات القدح، 2 - محول القدح النبضي)**

## المراجع

[1] Walter Koechner, "Solid-State Laser Engineering", 5th Edition, pp. 46-54 ,1999.

[2] L. A.Dissado, G. Mazzanti, and G. C. Montanari, "The role of trapped space charges in the electrical aging of insulating materials", *IEEE Trans. DEIS*, vol.4, no. 5, pp. 496 506, Oct 1997.

[3] Жучков В,"Расчёт трансформатора импульсного блока питания" , Радио 1987, №11, с. 43.

[4] Косенко С, "Расчёт импульсного трансформатор двухтактного преобразователя", Радио 2005, №4, с. 35 37, 44.

[5] Немцов М. В, "Справочник по расчёту параметров катушек индуктивности" ,Энергоатомиздат, 1989, с. 192, ил.

[6] Матвеев Г. А, Хомич В. И, "Катушки с ферритовыми сердечниками", Энергия, 1967. 64 с., ил.

تاريخ ورود البحث إلى مجلة جامعة دمشق 2010/11/30.