



Stabilny sterownik półprzewodnikowych laserowych diod impulsowych dla dalmierza laserowego

MARCIN JAKUBASZEK, MAREK ZYGMUNT,
MICHAŁ MUZAL, ANDRZEJ MŁODZIANKO

Wojskowa Akademia Techniczna, Instytut Optoelektroniki, Zakład Technologii
Optoelektronicznych, 00-908 Warszawa, ul. S. Kaliskiego 2,
mjakubaszek@wat.edu.pl, mzygmunt@wat.edu.pl, mmuzal@wat.edu.pl

Streszczenie. W artykule przedstawiono podstawowe metody sterowania impulsowymi diodami laserowymi stosowanymi w układach nadajników dalmierzy laserowych wraz ze wskazaniem ich wad i zalet. Na podstawie tej analizy zaproponowano układ sterownika oraz przedstawiono teoretyczne podstawy jego działania. Układ testowy został wykonany i przebadany w Instytucie Optoelektroniki Wojskowej Akademii Technicznej.

Słowa kluczowe: półprzewodnikowe diody laserowe, sterowniki impulsowych diod laserowych, dalmierze laserowe

1. Wstęp

Podczas wykonywania pomiaru odległości impulsowym dalmierzem laserowym mierzony jest odstęp czasu pomiędzy wyemitowanym impulsem laserowym a jego echem odbitym od obiektu, do którego mierzymy odległość. Licznik mierzący czas jest uruchamiany w momencie emisji impulsu laserowego, a jego zatrzymanie następuje po odebraniu sygnału echa. Impulsem służącym do zatrzymania licznika jest zmiana stanu na wyjściu komparatora porównującego sygnał echa odebranego przez fotodiodę z założonym poziomem odniesienia. Na dokładność pomiaru czasu, a zatem dokładność pomiaru odległości, ma wpływ wiele czynników, wśród nich są stabilność parametrów impulsu laserowego, czas jego trwania i wartość mocy w szczycie. Stałość parametrów emitowanego promieniowania jest szczególnie

istotna, gdy w procesie estymacji czasu wykorzystywane są statystyczne metody przetwarzania sygnału oraz estymatory bazujące na sygnale echa.

Kształt impulsu laserowego, emitowanego przez diodę laserową zastosowaną w nadajniku dalmierza, powinien być tak dobrany, aby szerokość pasma zajmowanego przez ten sygnał pokrywała się z pasmem fotoodbiornika. Stosowanie impulsów o kształtach zbliżonych do prostokątnych wymusza konieczność używania odbiorników o szerokim paśmie. Przy założeniu stałej mocy emitowanej przez nadajnik laserowy, stosunek sygnału echa do szumu będzie mniejszy dla impulsów laserowych o kształcie prostokątnym niż dla impulsów o kształcie zbliżonym do połowy sinusoidy.

W przypadku laserów półprzewodnikowych układem, który decyduje o parametrach emitowanego impulsu, jest zarówno dioda laserowa, jak i jej układ sterowania. Zadaniem sterownika jest wymuszenie przepływu odpowiedniego prądu przez laser półprzewodnikowy, w taki sposób, aby wyemitować impuls optyczny o zadanych parametrach.

Oferowane komercyjne sterowniki impulsowych diod laserowych nie zawsze mogą być zastosowane podczas budowy dalmierza laserowego. Głównym ograniczeniem w tym zakresie są ich wymiary mechaniczne i napięcia zasilania, w niektórych przypadkach cena, czas dostawy od producenta itd.

Celem poniższego artykułu jest zaprezentowanie możliwości konstrukcji prostego sterownika impulsowej diody laserowej do celów dalmierzowych.

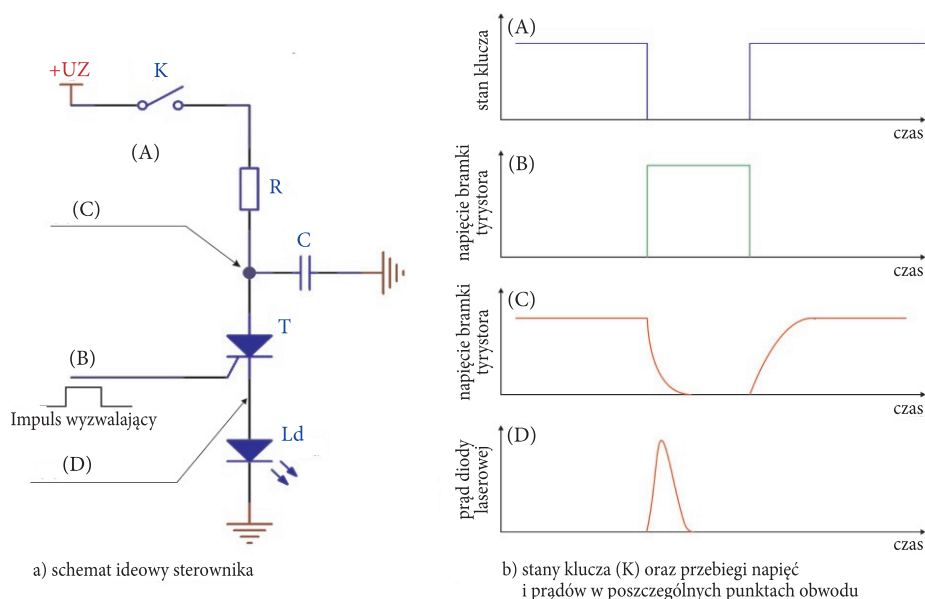
2. Układy sterowników impulsowych półprzewodnikowych diod laserowych stosowane w dalmierzach

Sterowniki impulsowych diod laserowych w większości przypadków składają się z bufora pojemnościowego rozładowywanego w kontrolowany sposób przez klucz elektroniczny o regulowanej rezystancji. W zależności od konstrukcji i dobranych elementów możliwe jest uzyskiwanie impulsów prądowych o dowolnym kształcie oraz o różnym czasie trwania.

Jako klucz mogą posłużyć elementy półprzewodnikowe takie jak tyrystor, tranzystor bipolarny, tranzystor lawinowy czy tranzystor MOSFET.

Zastosowanie poszczególnych rodzajów klucza pozwala na stworzenie sterownika o unikatowych właściwościach. Użycie w konstrukcji uprzednio wymienionych elementów elektronicznych wiąże się z koniecznością odpowiedniego sterowania nimi.

Sterownik oparty na tyrystorze został przedstawiony na rysunku 1a. Jako podstawę działania wykorzystano zjawisko szybkiego przełączenia się tyrystora w stan przewodzenia pod wpływem dodatniego napięciowego impulsu sterującego bramką.



Rys. 1. Układ sterownika oparty na tyrystorze

Po włączeniu zasilania kondensator C ładuje się do napięcia zasilania poprzez rezystor R oraz włączony klucz K. Czas ustalania się napięcia na kondensatorze związany jest z jego pojemnością oraz wartością rezystancji R.

W celu wyemitowania impulsu laserowego podawany jest sygnał wyzwalający na bramkę tyrystora, powodujący jego włączenie. Równocześnie z podaniem impulsu wyzwalającego rozłączany jest klucz K, powodujący odcięcie napięcia zasilania z anody tyrystora.

Czas włączania tyrystora mieści się w zakresie do kilkuset ns. W tym czasie rezystancja między anodą a katodą maleje o kilka rzędów wielkości. W wyniku tego zgromadzony w kondensatorze ładunek przepływa przez tyrystor i diodę laserową. Ze względu na bardzo małą rezystancję tyrystora w stanie otwarcia oraz małą rezystancję dynamiczną diody laserowej, w obwodzie płynie impuls prądu o krótkim czasie trwania i dużej wartości natężenia. Przepływ prądu o wartościach powyżej progu akcji laserowej skutkuje jej rozpoczęciem. W konsekwencji prowadzi do wyemitowania impulsu w zakresie optycznych długości fal.

Po rozładowaniu kondensatora tyrystor wyłącza się automatycznie w przypadku, gdy zostanie zdjęte napięcie sterujące jego bramki oraz napięcie z anody, co uzyskuje się poprzez rozłączenie klucza K.

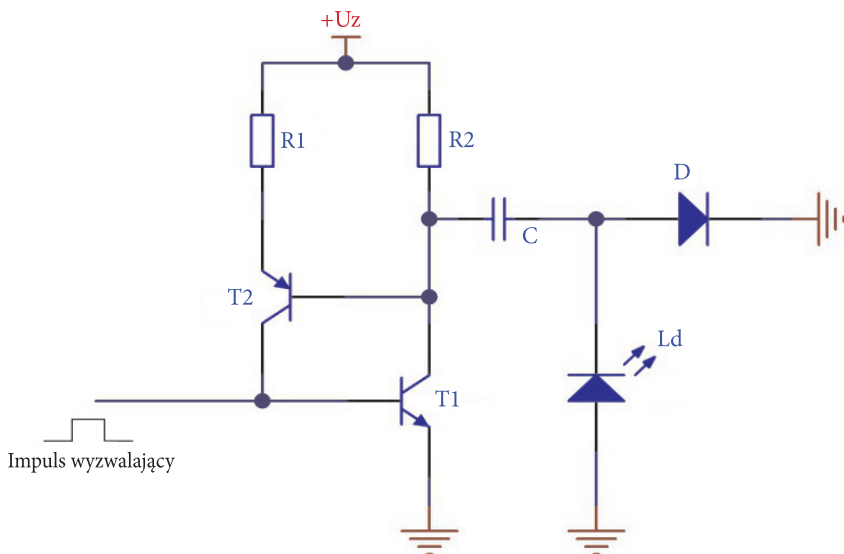
Ponowne włączenie klucza powoduje naładowanie kondensatora poprzez rezystor R, ze stałą czasową RC . Układ w takiej konfiguracji wymaga kluczowania napięć zasilania (U_z) i bramki, jak zostało to przedstawione na rysunku 1b.

Zaletą tego układu jest możliwość zmian napięcia U_z w szerokim zakresie, co wpływa na możliwość regulacji prądu.

Do poprawnej pracy układu przedstawionego na rysunku 1a należy stosować odpowiednie kluczowanie napięć na bramce oraz napięć zasilających, co jest jednym z głównych czynników ograniczających możliwości wykorzystania tyrystorów do tego typu układów. Wyłączenie tyrystora może nastąpić także, gdy prąd płynący przez niego spadnie poniżej wartości prądu podtrzymania i zostanie odłączone napięcie z bramki. Ustalanie tej wartości prądu tak, aby był poniżej wartości prądu podtrzymania poprzez dobór odpowiednio dużej rezystancji R , skutkuje zmianą stałej czasowej ładowania kondensatora C , a to wpływa na zmniejszenie wartości częstotliwości pracy sterownika.

Dla układów sterowników, wykorzystujących jako klucz tyrystory, pracujących z częstotliwościami rzędu dziesiątek kHz, kluczowanie napięcia zasilania obniża pobór prądu w trakcie pracy. Oczywiście jest, że układ kluczowania napięć powoduje rozbudowę układu elektronicznego oraz zwiększenie wymiarów mechanicznych.

Układ tyrystorowy sterownika diody laserowej można zastąpić układem tranzystorowym — jak to zostało przedstawione na rysunku 2.



Rys. 2. Układ sterownika oparty na tranzystorach bipolarnych

Po włączeniu zasilania kondensator ładuje się poprzez rezystor R_2 i diodę półprzewodnikową do napięcia zasilania U_z . Impuls wyzwalający podany na bazę tranzystora T_1 powoduje, że napięcie na kolektorze tranzystora T_1 spada. Spadek napięcia na kolektorze tranzystora T_1 otwiera tranzystor T_2 , który podaje prąd do bazy tranzystora

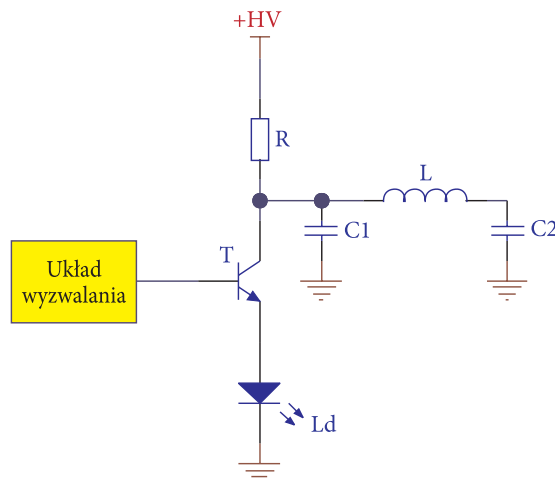
T1. Poprzez nasycony tranzystor T1 oraz diodę laserową Ld rozładowuje się kondensator C. Ze względu na małą rezystancję kolektor–emiter włączanego tranzystora T1 oraz małą rezystancję diody laserowej, w obwodzie popłynie duży prąd. Spowoduje to rozpoczęcie akcji laserowej i wyemitowanie impulsu laserowego.

W układzie z tranzystorami bipolarnymi w konfiguracji tyrystora ze względu na występujące samopodtrzymanie włączenia obu tranzystorów, w celu ponownego naładowania kondensatora C należy odłączyć od układu napięcie zasilania i napięcie sterujące bazą tranzystora T1. Podobnie jak w przypadku sterownika opartego o układ tyrystorowy, istnieje konieczność odpowiedniego kluczowania napięć zasilania oraz prądów bazy tranzystora T1.

Zyskiem wynikającym z zastosowania takiej konfiguracji jest czas włączenia tranzystorów na poziomie od kilku do kilkunastu ns, a zatem możliwe jest uzyskanie impulsów prądowych o krótkich czasach trwania. Niewątpliwą zaletą układu przedstawionego na rysunku 2 jest możliwość stosowania napięcia zasilania niższego niż w przypadku układów tyrystorowych.

Istnieje możliwość rozbudowania układu przedstawionego na rysunku 2 w taki sposób, aby nie było konieczności stosowania kluczowania napięcia zasilania. Należy wówczas podłączyć bazę tranzystora T2 do układu wyzwalania. Ze względu na zastosowany tranzystor impulsy wyzwalania muszą mieć ujemną wartość względem napięcia zasilania U_z .

Układ sterownika oparty na tranzystorze lawinowym przedstawiony jest na rysunku 3. Zasada działania opiera się na efekcie lawinowego przebicia w kierunku kolektor–emiter tranzystora. Układ wyzwalania podaje impuls prądowy na bazę tranzystora, a ponieważ napięcie zasilania H_V jest bliskie napięciu przebicia kolektor–emiter, minimalny prąd bazy powoduje przepływ dużego prądu kolektora. Dodatkowo,



Rys. 3. Układ sterownika oparty na tranzystorze lawinowym

ze względu na istnienie pola elektrycznego o dużej wartości na złączach półprzewodnikowych wewnątrz tranzystora, poruszające się nośniki prądu elektrycznego powielają się. Następuje dalszy wzrost prądu. Powstały impuls prądu przepływa przez diodę laserową, czego następstwem jest wyemitowanie impulsu laserowego.

Układy oparte o tranzystory lawinowe wymagają napięć zasilania o wartościach od kilkudziesięciu do setek woltów w zależności od użytego typu tranzystora. Ze względu na krótkie czasy trwania zjawiska lawinowego sterowniki tego typu generują impulsy prądowe o czasach trwania do kilkunastu nanosekund.

W celu wydłużenia czasu trwania impulsu prądowego oraz uformowania jego kształtu w prostokątny, stosuje się dodatkową gałąź L-C (L-C2 na rysunku 3) [1]. Zwielokrotnienie gałęzi L-C pozwala na dokładniejsze przybliżenie kształtu impulsu do prostokątnego.

Bardzo duży wpływ na proces powielania lawinowego ma napięcie zasilania. Fluktuacje tego napięcia przekładają się na fluktuacje wartości prądu, a tym samym na stabilność mocy impulsu laserowego. Dodatkowo parametry tranzystora lawinowego silnie zależą od temperatury, więc do poprawnej pracy konieczne jest stosowanie stabilizacji termicznej punktu pracy tranzystora.

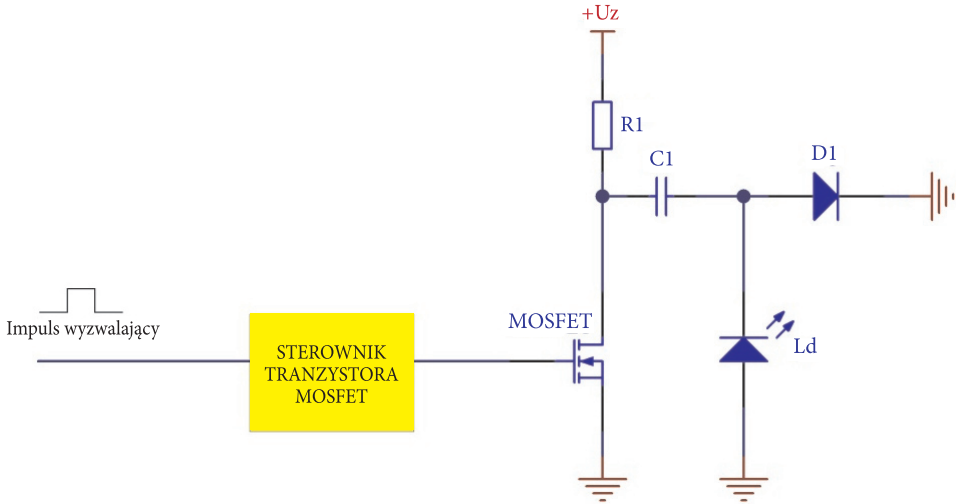
3. Układ sterownika półprzewodnikowej diody laserowej oparty na tranzystorze MOSFET

Niedogodne cechy układów opartych na działaniu tyrystorowym, czyli konieczność zdejmowania napięcia zasilania z układu przed ponownym wygenerowaniem impulsu oraz precyzyjnej stabilizacji warunków pracy, jak jest to w układzie z tranzystorem lawinowym, można wyeliminować, stosując jako element kluczujący tranzystory typu MOSFET.

3.1. Zasada działania

Zasada działania sterownika impulsowej diody laserowej, przedstawionego na rysunku 4, opiera się, podobnie jak w wymienionych powyżej układach, o rozładowanie kondensatora poprzez klucz elektroniczny. W tym przypadku kluczem jest tranzystor MOSFET.

Po włączeniu zasilania kondensator C1 ładuje się do napięcia U_z poprzez rezystor R1 oraz diodę D1. Aby wyemitować impuls laserowy, należy podać impuls napięciowy na wejście sterownika tranzystora MOSFET. Układ ten służy do wzmocnienia sygnału wyzwalającego do wymaganego poziomu. Impuls napięciowy z wyjścia sterownika tranzystora MOSFET podawany jest na bramkę tranzystora, co powoduje jego włączenie. W rezultacie rezystancja dren-źródło maleje o dziewięć rzędów wielkości w czasie kilku ns.



Rys. 4. Schemat sterownika diody laserowej

Po włączeniu klucza tranzystorowego zgromadzony w kondensatorze C1 ładunek przepływa w obwodzie Ld, C1 oraz kanale tranzystora MOSFET. Mała rezystancja w obwodzie rozładowania kondensatora (kilkaset mΩ) sprawia, że impuls prądowy trwa od kilku do kilkudziesięciu ns oraz ma wartość maksymalną rzędu dziesiątek amperów. Przepływ tego prądu przez diodę laserową skutkuje rozpoczęciem emitowania impulsu laserowego.

Do opisu układu z rysunku 4 można użyć schematu zastępczego jaki jest przedstawiony na rysunku 5.

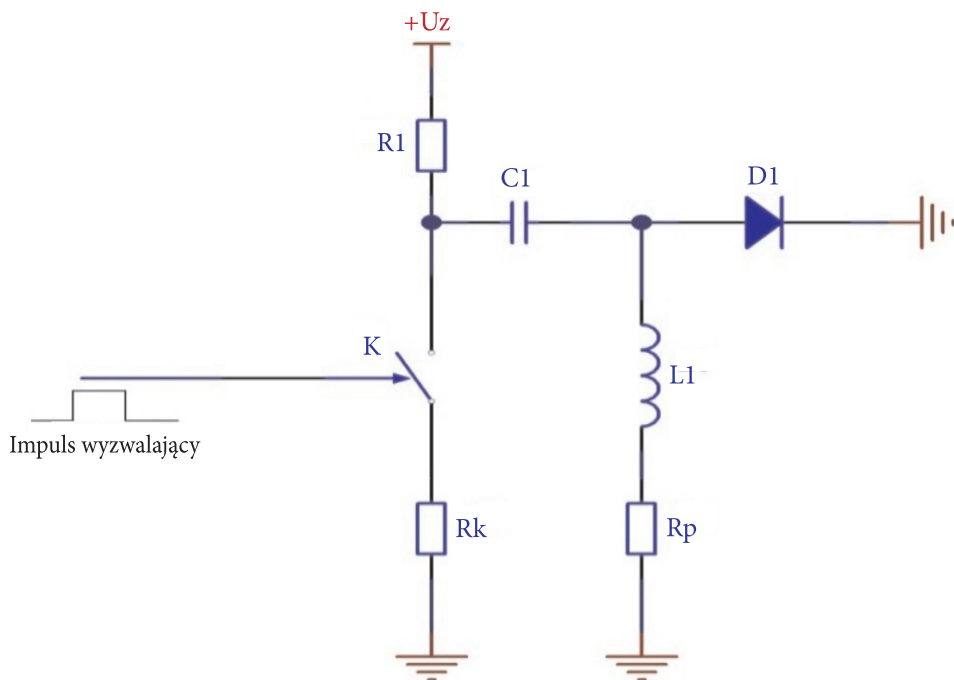
W schemacie zastępczym uwzględnione zostały dodatkowe indukcyjności obwodu w postaci cewki L1 oraz rezystancja klucza R_k .

Rozpatrując układ przedstawiony na rysunku 5 można zauważyć, że rozładowanie kondensatora odbywa się w obwodzie R_p, L_1, C_1, R_k , który może być traktowany jako obwód rezonansowy. Prąd w tym obwodzie po zamknięciu klucza można wyznaczyć z drugiego prawa Kirchhoffa:

$$C_1 L_1 \frac{d^2 u_{c_1}(t)}{dt^2} + (R_p + R_k) C_1 \frac{du_{c_1}(t)}{dt} + u_{c_1}(t) = 0, \quad (1.1)$$

gdzie $u_{c_1}(t)$ jest funkcją napięcia na kondensatorze, natomiast wartość chwilowa prądu płynącego przez kondensator ($i(t)$) jest równa:

$$i(t) = C_1 \frac{du_{c_1}(t)}{dt}. \quad (1.2)$$



Rys. 5. Schemat zastępczy układu

Uwzględniając warunki początkowe:

$$i(0) = 0, \quad (1.3)$$

$$u_{C_1}(0) = U_z. \quad (1.4)$$

oraz podstawiając zależności:

$$\frac{R_p + R_k}{L_1} = \alpha, \quad (1.5)$$

$$\frac{1}{L_1 C_1} = \omega_0^2. \quad (1.6)$$

Rozwiązaniem równania 1.1 jest funkcja postaci:

$$i(t) = U_z C_1 \left(\frac{\omega_0^2}{-2\sqrt{\alpha^2 - \omega_0^2}} \right) \times (e^{(-\alpha + \sqrt{\alpha^2 - \omega_0^2})t} - e^{(-\alpha - \sqrt{\alpha^2 - \omega_0^2})t}). \quad (1.7)$$

Powyższe zależności obowiązują do momentu pojawienia się pierwszego miejsca zerowego w równaniu (1.2). Wynika to z faktu, że prąd wymuszony napięciem zaindukowanym na cewce L_1 jest odprowadzany z obwodu poprzez diodę D_1 .

Prezentowane równanie (1.7) wymaga znajomości wszystkich parametrów oraz zakłada ich niezmiennosc w funkcji prądu. W rzeczywistym układzie rezystancja kanału tranzystora MOSFET jest funkcją prądu drenu. Sumę indukcyjności obwodu szacuje się na poziomie nie większym niż 10 nH. Należy zauważyć, że dioda laserowa wprowadza dodatkową indukcyjność szeregową. W zależności od typu obudowy diody laserowej jest to wartość od pojedynczych do kilkudziesięciu nH.

Maksimum funkcji opisującej prąd (1.12) występuje wówczas, gdy pierwsza pochodna wyrażenia (1.13) jest równa 0:

$$i'(t) = 0. \quad (1.8)$$

Na tej podstawie uzyskuje się wyrażenie:

$$e^{r_1 t} - e^{r_2 t} = 0, \quad (1.9)$$

gdzie

$$r_1 = -\alpha + \sqrt{\alpha^2 - \omega_0^2}, \quad (1.10)$$

$$r_2 = -\alpha - \sqrt{\alpha^2 - \omega_0^2}, \quad (1.11)$$

na podstawie którego wyznaczany jest czas wystąpienia maksimum.

$$t_{\max} = \frac{\ln\left(\frac{r_1}{r_2}\right)}{r_2 - r_1}. \quad (1.12)$$

Podczas pracy układ sterownika wymaga napięcia zasilania U_z , z którego pobiera prąd o średniej wartości:

$$I_{Zsr} = \frac{1}{T} \left(\int_0^{t_{on}} \frac{U_z}{R_1} dt + \int_0^{T-t_{on}} \frac{U_z}{R_1} e^{-\frac{t}{R_1 C_1}} dt \right), \quad (1.13)$$

gdzie: T — okres powtarzania impulsów;

U_z — napięcie zasilania;

R_1 — rezystancja ograniczająca prąd ładowania;

t_{on} — czas trwania impulsu wyzwalającego;

C_1 — pojemność magazynująca ładunek.

Rozwiązaniem zależności jest funkcja postaci:

$$I_{Zsr} = \frac{U_z}{TR_1} \left[t_{on} - R_1 C_1 \left(e^{-\frac{T-t_{on}}{R_1 C_1}} - 1 \right) \right]. \quad (1.14)$$

Zakładając, że $T \gg t_{on}$, wyrażenie na prąd średni można uprościć do:

$$I_{Zsr} = \frac{U_z}{T} \left(\frac{t_{on}}{R_1} + C_1 \right). \quad (1.15)$$

Średni prąd pobierany ze źródła zasilania U_z liniowo zależy od napięcia zasilania oraz częstotliwości powtarzania impulsów.

3.2. Badania sterownika

W celu przeprowadzenia badań własności sterownika wykonano układ praktyczny przedstawiony na rysunku 6a.

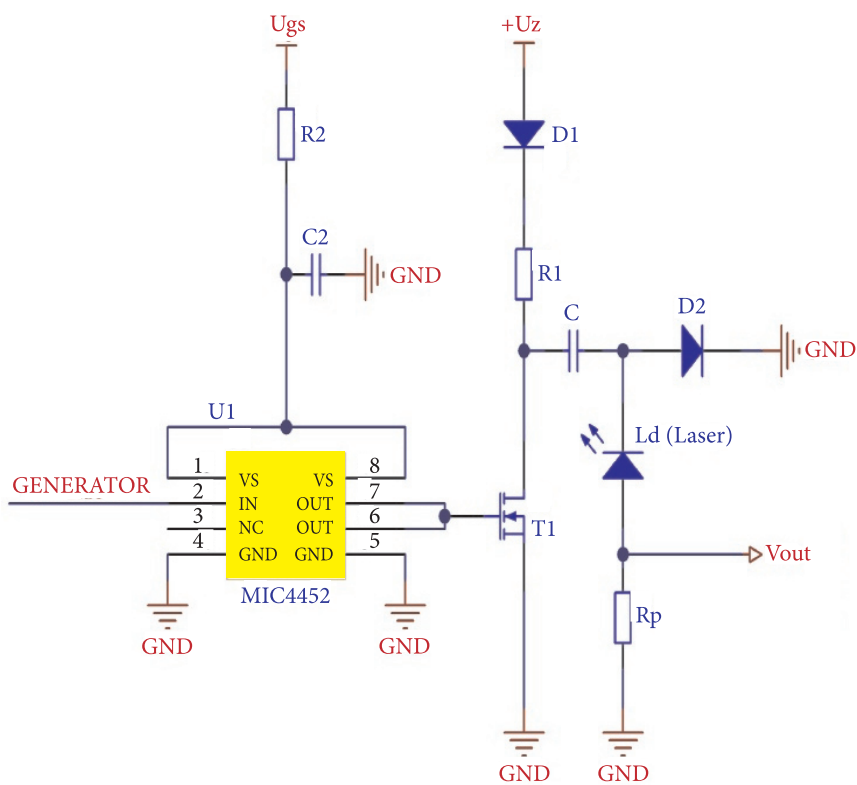
Sterownik półprzewodnikowej diody laserowej składa się z dwóch bloków funkcjonalnych: sterownika tranzystora MOSFET oraz klucza elektronicznego. Sterownikiem tranzystora MOSFET jest dedykowany układ scalony firmy MICREL (MIC 4452) wyzwany poziomem TTL (0-3,3 V) i regulacją zasilania U_{gs} w zakresie od 4 do 18 V. Układ ten został zastosowany ze względu na dużą wydajność prądową wyjścia, konieczną do szybkiego włączania tranzystorów o dużych pojemnościach bramki względem źródła [7].

Drugim blokiem funkcjonalnym jest klucz elektroniczny oparty na tranzystorze MOSFET (Si4410 firmy International Rectifier) z kondensatorem magazynującym energię oraz jego układem ładowania. Tranzystor tego typu został użyty ze względu na podaną katalogową szybkość narastania prądu drenu (typowo 8 ns) oraz niską rezystancję w stanie otwarcia (13,5 m Ω) [8].

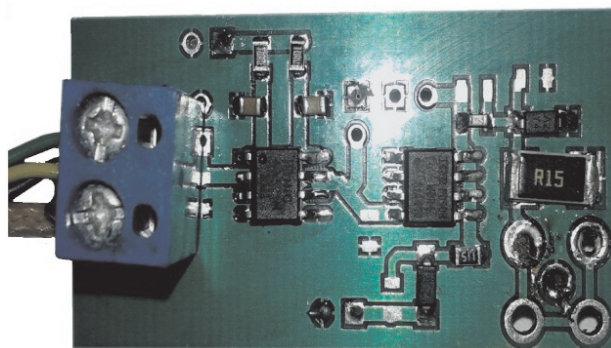
Układ ładowania kondensatora to szeregowe połączenie rezystancji R_1 (510 Ω) kondensatora C oraz diod półprzewodnikowych D_1 , D_2 (1N4148). Kondensator ładuje się ze stałą czasową wynikającą z rezystancji w obwodzie ładowania do napięcia zasilania U_z . Dobór odpowiedniej wartości rezystora R_1 wynika z częstotliwości pracy sterownika oraz minimalizacji pobieranego prądu ze źródła napięcia U_z .

Dioda półprzewodnikowa w obwodzie ładowania kondensatora powinna być tak dobrana, aby nie ograniczała prądu ładowania. Stosowanie diody D_1 jest celowe dla zabezpieczenia tranzystora przed odwrotną polaryzacją.

Dioda D_2 służy zarówno jako integralny element obwodu ładowania kondensatora C , jak i układ zabezpieczenia diody laserowej przed uszkodzeniem na skutek zaindukowanego napięcia na jej indukcyjnościach. Aby ta dioda nie ograniczała



a) schemat ideowy sterownika



b) praktyczna realizacja układu sterownika (bez diody laserowej)

Rys. 6. Schemat ideowy sterownika oraz praktyczny układ

znacząco prądu rozładowania, musi mieć możliwie najkrótszy czas przejścia w stan blokowania. Dla zastosowanej diody czas ten wynosi 4 ns [9].

Emisja impulsu laserowego odbywa się poprzez rozładowanie nagromadzonego w kondensatorze ładunku. Dzieje się tak wtedy, gdy na bramkę tranzystora podany zostanie impuls napięciowy taki, aby rezystancja kanału była możliwie najmniejsza.

Rezystancja kanału jest minimalna, jeśli tranzystor pracuje w obszarze nasycenia. Dla tranzystora zastosowanego w projekcie sterownika jest to wartość napięcia na bramce powyżej 4,5 V.

Zastosowanie wyższych napięć bramki pozwala na szybsze otwarcie tranzystora, jednakże, aby układ mógł być stosowany w nadajnikach dalmierzy laserowych, przyjęty został standardowy poziom zasilania bramki równy 5 V.

Istotną rolę odgrywa także czas trwania impulsu wyzwalającego. Aby sterownik tranzystora MOSFET (MIC 4452) wygenerował impuls sterujący bramką tranzystora MOSFET, czas trwania impulsu wejściowego musi być dłuższy niż 20 ns. Ze względu na występujące w strukturze tego układu klucze tranzystorowe i ich opóźnienia w wyłączeniu, czas trwania impulsu wyjściowego ulega wydłużeniu o 20 ns.

W przedstawionym na rysunku 6 układzie istotną cechą jest rozładowanie kondensatora C. Prąd drenu tranzystora MOSFET zaczyna narastać z opóźnieniem ok. 60 ns względem impulsu wyzwalającego. Czas rozładowania kondensatora zależy od jego pojemności. Aby uzyskać poziom ładunku w kondensatorze taki, że jego przepływ powoduje powstanie prądu poniżej progu akcji laserowej, ustawiono czas trwania impulsu wyzwalającego na poziomie 400 ns. Powyższą wartość czasu trwania sygnału wyzwalań dobrano tak, aby uzyskać rozładowanie kondensatora o maksymalnej użytej w badanym układzie pojemności z uwzględnieniem opóźnień.

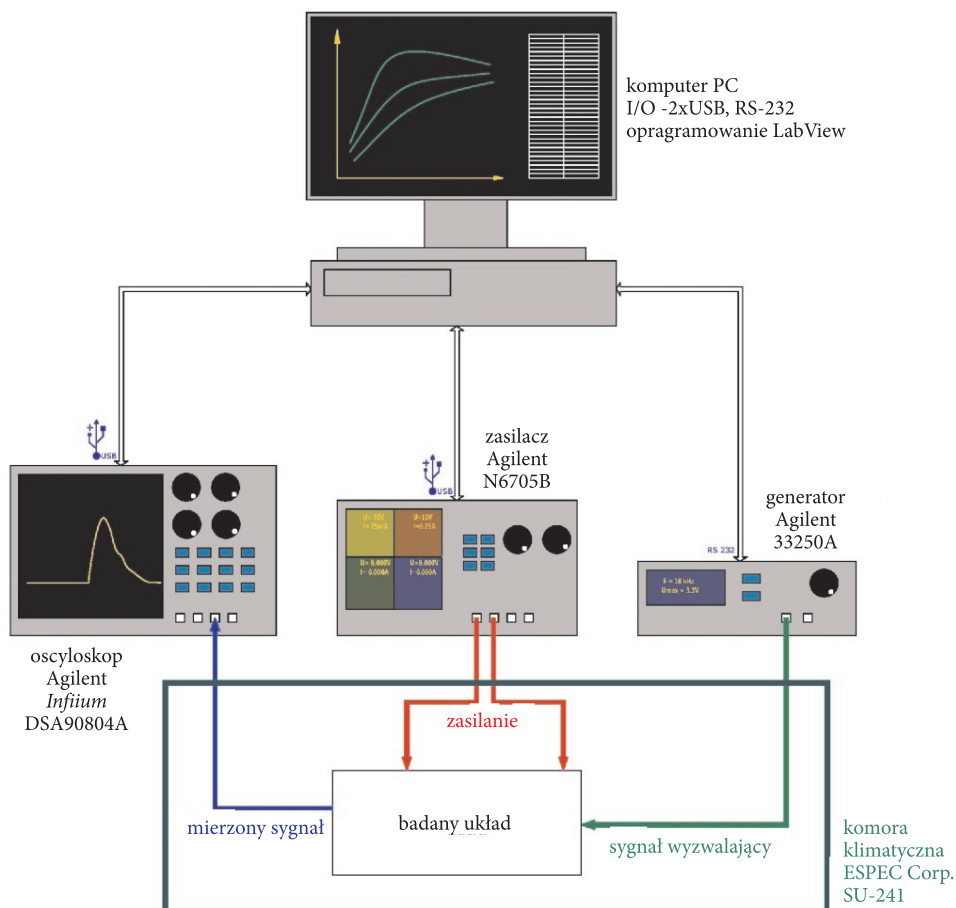
Po przyłożeniu impulsu napięciowego na bramce o parametrach wymienionych poprzednio, rezystancja kanału, czyli rezystancja dren-źródło, maleje z wartości kilkunastu megaomów do wartości około 20 mΩ w czasie 8 ns. Kondensator zaczyna się wówczas rozładowywać, a obwód rozładowania zamyka się poprzez diodę laserową Ld oraz rezystor Rp (0,075 Ω).

Podstawowym zadaniem sterownika jest wymuszenie przepływu prądu przez diodę laserową o stałych parametrach niezależnych od warunków zewnętrznych. W celu ustalenia wpływu napięcia zasilania oraz temperatury przeprowadzono badania sterownika w układzie badawczym przedstawionym na rysunku 7.

Pomiary zostały przeprowadzone w następujących warunkach:

- temperatura układu 25°C stabilizowana przy pomocy komory klimatycznej SU-241 (poza pomiarami o zmiennych warunkach temperaturowych);
- częstotliwość powtarzania impulsów — 1 kHz;
- czas trwania napięciowego impulsu bramki — 400 ns;
- wartość napięcia U(G-S) — 5 V;
- rezystor pomiarowy $R_p = 0,075 \Omega$;

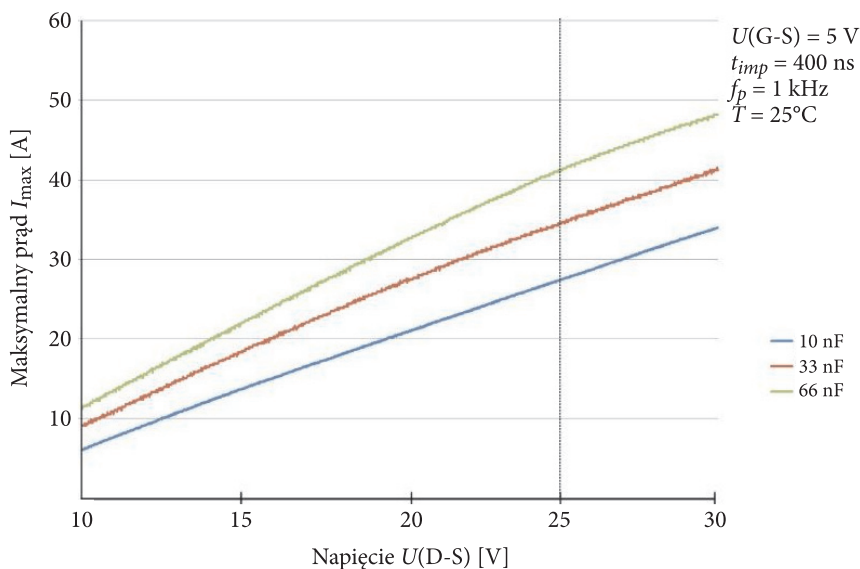
- dioda laserowa zastąpiona elementem przewodzącym o indukcyjności mniejszej niż 1 nH i rezystancji mniejszej niż 5 m Ω .



Rys. 7. Układ pomiarowy do badania parametrów sterownika

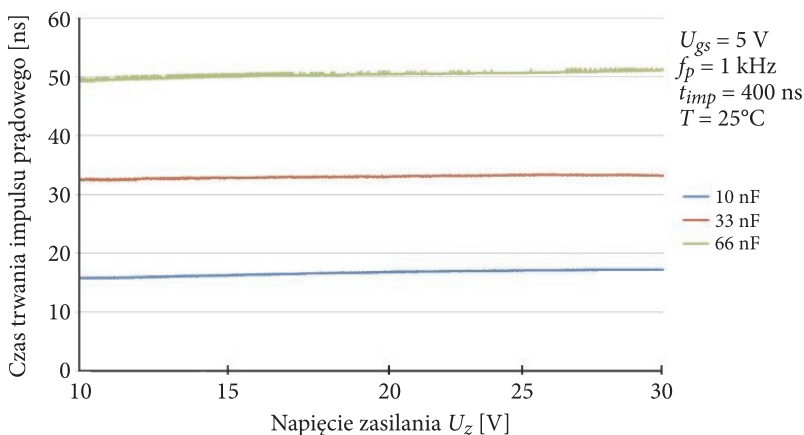
Pomierzone wartości prądu maksymalnego w funkcji napięcia zasilania zostały przedstawione na rysunku 8. Jak można zauważyć, maksymalna wartość impulsu prądowego zależy od zastosowanej pojemności, zmienia się liniowo w funkcji napięcia.

Otrzymane wartości maksymalne impulsu są niższe niż wynikające z zależności teoretycznych. Spowodowane jest to rezystancją klucza tranzystorowego, która jest silnie zależna od wartości prądu płynącego przez kanał tranzystora. Według danych katalogowych tranzystor MOSFET (Si4410 International Rectifier) może przenosić impulsy prądowe o maksymalnej wartości 50 amperów. Wynikiem tego jest pojawienie się nieliniowości na charakterystyce w zakresie prądów powyżej 40 amperów [3].



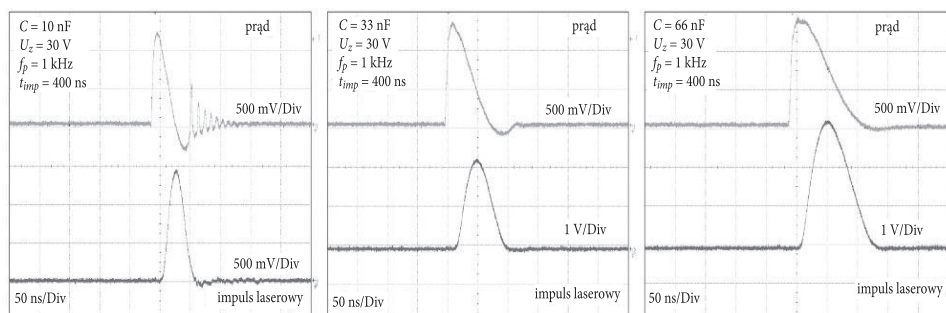
Rys. 8. Charakterystyka prądowa sterownika w funkcji napięcia zasilania U_z ($T = 25^\circ\text{C}$, z obciążeniem $75 \text{ m}\Omega$)

Pomierzone wartości czasu trwania impulsu prądowego na poziomie równym połowie amplitudy zostały przedstawione na rysunku 9. Przy zmianie napięcia o 20 V czas trwania impulsu zmienił się maksymalnie o 3 ns . Szerokość impulsu prądowego zależy od wartości pojemności. Wynika to ze stałej czasowej rozładowania kondensatora przez obwód złożony pojemności, rezystancji oraz indukcyjności.



Rys. 9. Charakterystyka czasu trwania impulsu prądowego w funkcji napięcia zasilania U_z ($T = 25^\circ\text{C}$, z obciążeniem $75 \text{ m}\Omega$)

Kształty impulsów prądowych zostały przedstawione na rysunku 9. Jako elementu aktywnego użyto diody laserowej QPGAS1S09H firmy Exelitas [10]. Jak można zauważyć, nie są one odzwierciedleniem prądowego impulsu pompującego.



Rys. 10. Kształty impulsów prądowych i wywołanych impulsów laserowych (dioda laserowa QPGAS1S09H)

Kształt impulsów laserowych zależy od wielu czynników, nie tylko od kształtu impulsu pompującego wzbudzającego ośrodek czynny. Składnikami wpływającymi na kształt impulsu optycznego są parametry lasera, między innymi takie jak: czas życia elektronów w stanie wzbudzonym, straty w rezonatorze, sprawność zwierciadeł [2].

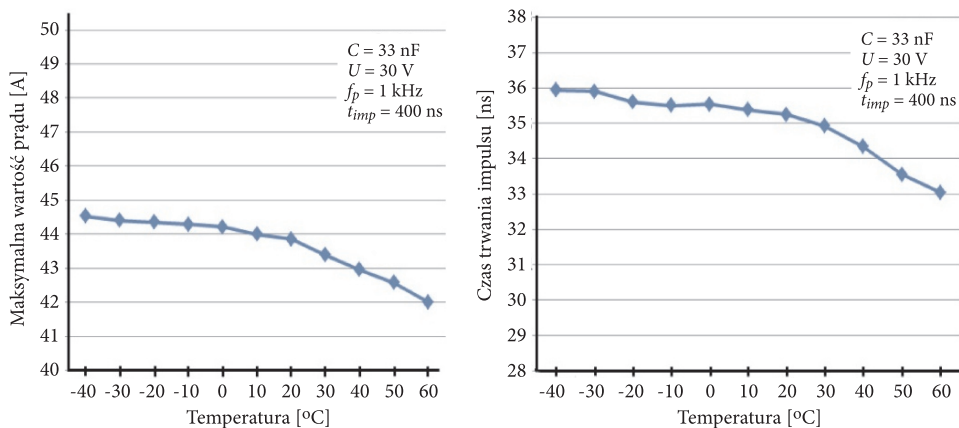
Zastosowanie półprzewodnikowej diody laserowej zamiast sztucznego obciążenia obniżyło wartość maksymalną prądu oraz wydłużyło czas trwania impulsu. Zmiana tych parametrów jest wynikiem dodatkowych indukcyjności i rezystancji dołączonych szeregowo do obwodu rozładowania kondensatora i wprowadzanych przez diodę laserową.

Stabilność parametrów impulsów prądowych generowanych przez sterownik w funkcji temperatury została przedstawiona na rysunku 11. Są to wyniki uśrednione z 10^6 pomiarów wartości impulsów przeprowadzonym w czasie 1000 s. Można zauważyć, że wartość maksymalna prądu zmienia się w badanym zakresie temperaturowym o 2,5 A. W stosunku do wartości pomierzonej dla temperatury 20°C zmiany wartości prądu wynoszą maksymalnie +1,1% dla ujemnego przedziału temperatur oraz -4,5% dla dodatniego zakresu.

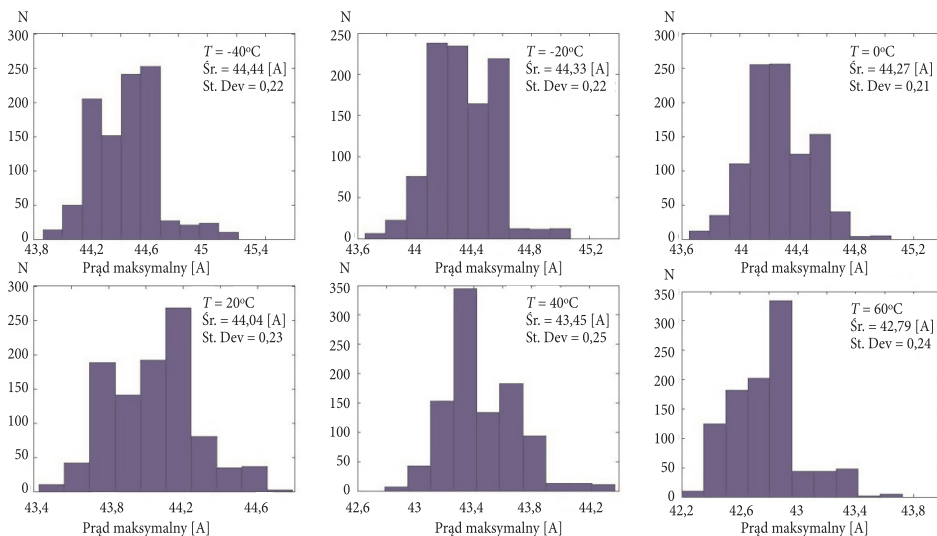
W badanym przedziale temperatur pomierzone wartości czasu trwania impulsu prądowego nie zmieniają się więcej niż o 3 ns. Względem wartości czasu trwania impulsu pomierzonego dla 20°C zmiany czasu trwania wynoszą +2,2% dla ujemnego zakresu temperatur oraz -6,3% dla dodatniego.

Wyniki pomiarów dla serii pomiarowej 1000 impulsów zostały przedstawione na rysunku 12, gdzie n oznacza liczbę wystąpień danej wartości prądu maksymalnego w serii pomiarowej. Z przedstawionych wykresów można zauważyć, że rozrzut

maksymalnej wartości prądu rośnie wraz z temperaturą. Przesunięcie środka ciężkości histogramu wykreślonego dla temperatury $+60^{\circ}\text{C}$ spowodowane jest brakiem wymiany ciepła elementów sterownika z otoczeniem. Następstwem tego zjawiska jest wzrost rezystancji w obwodzie rozładowania kondensatora powodujący zmniejszenie prądu maksymalnego.

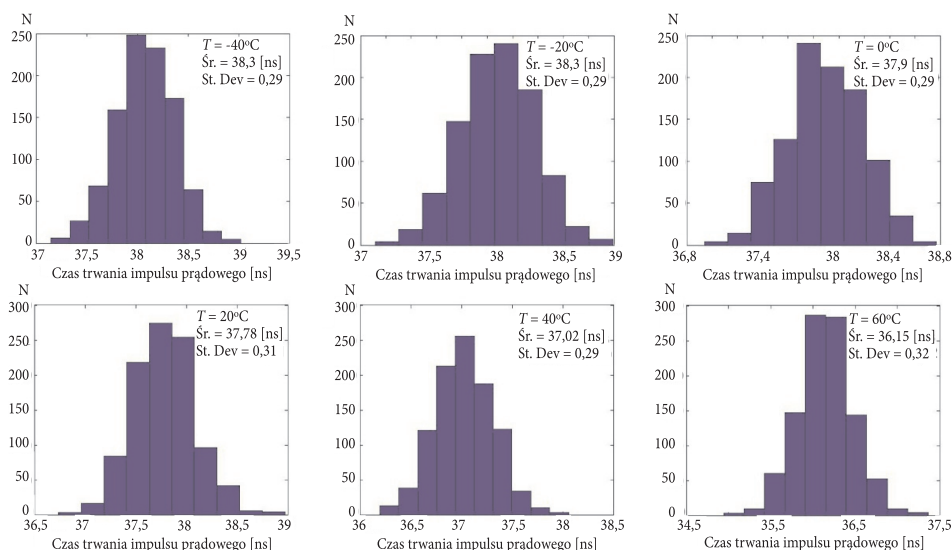


Rys. 11. Zmiany parametrów impulsów prądowych w funkcji temperatury (pomiary na sztucznym obciążeniu $0,075 \text{ m}\Omega$)



Rys. 12. Rozrzut wartości maksymalnej prądu dla 1000 impulsów ($f_p = 1 \text{ kHz}$, $C = 33 \text{ nF}$, $g_s = 5 \text{ V}$, $U_z = 30 \text{ V}$) w funkcji temperatury

Czas trwania impulsów prądowych generowanych przez sterownik jest także zależny od temperatury układu. Wyniki pomiarów czasu trwania impulsów prądowych w postaci histogramów z serii 1000 pomiarów zostały przedstawione na rysunku 13. Rozrzut wartości czasu trwania impulsu prądowego zwiększa się w miarę wzrostu temperatury. Spowodowane jest zwiększeniem się szumów termicznych elementów, z jakich wykonany jest sterownik, i ich wpływem na pomiar.



Rys. 13. Rozrzut czasu trwania impulsu prądowego dla 1000 impulsów ($f_p = 1$ kHz, $C = 33$ nF, $U_{gs} = 5$ V, $U_z = 30$ V) w funkcji temperatury

4. Wnioski

Układy precyzyjnego zdalnego pomiaru odległości wykorzystujące impulsowe diody laserowe wymuszają konieczność stosowania sterowników laserowych zapewniających stabilną pracę emitera promieniowania optycznego. Fluktuacje mocy emitowanej przez nadajnik wpływają na wartość sygnału echa na detektorze i powodują powstanie błędów podczas określania odległości lub w skrajnych przypadkach uniemożliwiają pomiar. W tym celu dąży się, aby nadajniki dalmierzy laserowych generowały w serii pomiarowej promieniowanie laserowe o możliwie najwyższej stabilności.

Wymagany poziom stałości generowanego promieniowania laserowego zależy od założeń dotyczących pracy dalmierza, takich jak: czas pomiaru, zasięg dalmierza, sposób odbioru sygnału echa optycznego, sposób określania momentu czasu dla zatrzymania licznika czasu itd. Istotnym elementem jest, aby moc promieniowania zmieniała się w minimalny sposób w serii pomiarowej.

Do budowy stabilnego nadajnika dla dalmierza laserowego może zostać użyty sterownik z elementem gromadzącym ładunek elektryczny o konstrukcji zaproponowanej na rysunku 6.

Proponowany układ sterownika może generować impulsy prądowe o wartościach od kilku do kilkudziesięciu amperów z czasem trwania od kilkunastu do kilkuset nanosekund. Wartość prądu wymuszenia można regulować poprzez ustawianie odpowiedniego napięcia zasilania klucza MOSFET, natomiast czas trwania impulsu prądowego można regulować doбором odpowiedniej wartości pojemności.

Stabilność generowanego prądu diody laserowej stwarza warunki do stabilnej generacji impulsów laserowych. Wykonane pomiary wskazują, że mimo prostej budowy sterownika, jest on w stanie generować powtarzalne impulsy prądowe z niewielkim rozrzutem wartości prądu i czasu trwania. Wynika to z faktu, że za podstawę działania przyjęto właściwości elektryczne oparte na elementach biernych (całkowite rozładowanie kondensatora poprzez klucz na tranzystorze MOSFET). Niewielkie zmiany parametrów impulsów prądowych, mogące wpływać na stabilność generowanego promieniowania, ujawniające się głównie w zmiennych warunkach termicznych, wynikają zarówno ze zmian parametrów tranzystora MOSFET, jak i zmian pojemności kondensatora w funkcji temperatury.

Optyczne impulsy generowane przez nadajnik laserowy, wykorzystujący omawiany powyżej sterownik oraz diody laserowe firm Exelitas lub Laser Diode Inc. [10, 11], mają kształt zbliżony do krzywej rozkładu normalnego, w związku z tym układ detekcyjny dalmierza może mieć węższe pasmo, a przez to urządzenie może mieć lepsze parametry.

Prosta budowa sterownika oraz miniaturyzacja elementów elektronicznych będąca następstwem postępu technologicznego pozwala na miniaturyzację układu nadajnika dla dalmierza laserowego. W porównaniu z komercyjnymi układami sterowników, koszt wykonania takiego układu jest dużo niższy niż koszt zakupu profesjonalnego sterownika. Ma to szczególne znaczenie przy procesie produkcyjnym urządzeń.

LITERATURA

- [1] Z. BIELECKI, K. CHMIELEWSKI, *Application of avalanche effect in transistors for shaping of the pulse driving diode laser*, Opto-Eletr. Rev., 1996.
- [2] B. MROZIEWICZ, M. BUGAJSKI, W. NAKWASKI, *Lasery półprzewodnikowe*, PWN, Warszawa, 1985, 294-297.
- [3] U. TIETZE, CH. SCHENK, *Układy półprzewodnikowe*, WNT, Warszawa, 2009, 193-196.
- [4] M. TADEUSIEWICZ, *Teoria obwodów*, WPL, Łódź, 1993, 268-276.
- [5] W. KRYSICKI, L. WŁODARSKI, *Analiza matematyczna w zadaniach*, cz. II, PWN, Warszawa, 2011, 288-289.
- [6] www.osram-os.com
- [7] www.micrel.com/_PDF/mic4451.pdf

- [8] www.irf.com/product-info/datasheets/data/si4410dy.pdf
- [9] www.nxp.com/documents/data_sheet/1N4148_1N4448.pdf
- [10] www.exelitas.com
- [11] www.laserdiode.com

M. JAKUBASZEK, M. ZYGMUNT, M. MUZAL, A. MŁODZIANKO

Stable pulsed laser diode driver for rangefinder

Abstract. This article presents comparison of methods of driving pulse laser diodes. Based on the results of shown analyses, the new design of pulse laser diode driver, using MOSFET transistor, was developed. The driver allows stable pulse laser pumping that is required for stable pulse laser emission in high accuracy lasers' rangefinders. Design and theory of operation of the driver is shown, as well as working parameters acquired by testing of the prototype module.

Keywords: pulse laser driver, pulse laser rangefinders, semiconductor pulse laser driver

