

Grzegorz WICZYŃSKI  
Politechnika Poznańska

## ZASTOSOWANIE PROSTOKĄTNYCH IMPULSÓW PRĄDOWYCH DO BADANIA DIOD LED

**Streszczenie.** W artykule omówiono zastosowanie prostokątnych impulsów prądowych do badania diod LED. Założono badanie diod LED dla wymuszeń znacznie większych od dopuszczalnych dla pracy ciągłej. Wykazano, że zastosowanie wymuszeń prądowych o dużych amplitudach ( $I_m > 5A$ ) jest możliwe tylko dla bardzo małych wartości współczynnika wypełnienia. Przedstawiono schemat blokowy opracowanego układu generatora prostokątnych impulsów prądowych. Na podstawie przyjętego schematu zastępczego przeprowadzono analizę składowej przejściowej związanej z przełączaniem prądów.

## APPLICATION OF RECTANGULAR CURRENT PULSES TO INVESTIGATION OF LEDS

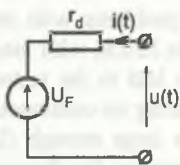
**Summary.** The subject of this paper concerns problems with impulse current driving applied to semiconductor photoemitters, such as LEDs, with intention to study their properties. It was assumed that the given LED had to be tested at the input functions significantly larger than those permissible during its continuous operation. It was shown, that using an input current of amplitudes large enough ( $I_m > 5A$ ) is only possible at very low values of the filling factor. Furthermore, the diagram scheme of a rectangular current impulse generator (which was designed) and the principal stages of its operation, were presented. Basing on a proposed substitute scheme, the analysis of the transient component referring to current switching, was carried out, showing how some selected scheme elements affect this process.

## 1. WSTĘP

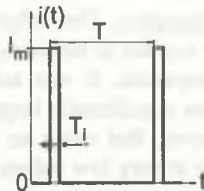
Fotoemitery elektroluminescencyjne są często stosowanymi źródłami promieniowania optycznego czujników pomiarowych. Wynika to m.in. z małych wymiarów zewnętrznych, dużej wytrzymałości mechanicznej, niskiej ceny jednostkowej (zwłaszcza diod LED). Jednym z podstawowych problemów wynikających z wykorzystania diod LED jest mała moc generowanego promieniowania [1, 2, 3]. Jest on rozwiązywany poprzez rozwój technologii stosowanej w produkcji złącz. Możliwe jest także zastosowanie impulsowego zasilania. Nieciągłe zasilanie znacznie zwiększa obszar pracy diody LED. Zdeterminowany on jest obciążalnością i dynamiką diody oraz możliwościami generacji sygnału prądowego o wymaganym kształcie. W przypadku niektórych aplikacji postulowane jest umieszczenie źródła promieniowania wraz z układem zasilania w jednej, zwartej obudowie (np. czujniki stosowane w badaniach biomedycznych). Jest to możliwe tylko w przypadku zastosowania małogabarytowego źródła promieniowania zasilanego z układu o zwartej konstrukcji. W artykule określono obciążalność diody LED dla zasilania impulsowego. Przedstawiono opracowany układ generatora prostokątnych impulsów prądowych. Dokonano także analizy składowej przejściowej generowanego impulsu. Dla przyjętego schematu zastępczego sformułowano warunki na niewystępowanie składowej przejściowej (czyli wierne odwzorzenie wymuszenia skokowego).

## 2. DOPUSZCZALNY OBSZAR PRACY DIODY LED

Na rysunku 1 przedstawiono przyjęty schemat zastępczy diody LED. Założono, że dana jest dopuszczalna wartość średniej mocy czynnej wydzielanej w złączu diody LED.



Rys. 1. Schemat zastępczy diody LED  
Fig. 1. Equivalent circuit of the LED



Rys. 2. Przebieg czasowy impulsów prądowych  
Fig. 2. Current pulse waveform

Do określenia dopuszczalnego obszaru pracy przyjęto kryterium wydzielonej mocy średniej. Założono, że dioda LED zasilana jest prostokątnymi impulsami prądowymi (rys. 2) oraz że czasy  $T$ ,  $T_i$  i pojemność cieplna złącza zapewniają niewystępowanie chwilowych wartości temperatury destrukcyjnie oddziałujących na złącze.

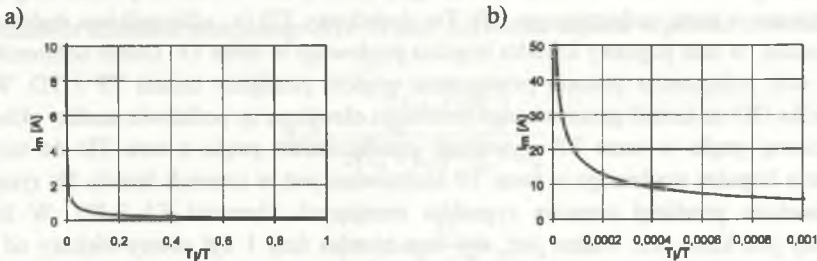
Po uwzględnieniu oznaczeń elementów z rysunku 1 i przebiegu prądu z rysunku 2 oraz wykonaniu przekształceń otrzymano zależność na moc średnią wydzieloną w złączu diody LED:

$$P_{AV} = \frac{1}{T} \int_0^T u(t)i(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T [(U_F + r_d I_m) I_m] dt. \quad (1)$$

Związek pomiędzy wartością prądu  $I_m$  a współczynnikiem wypełnienia impulsów prądowych przedstawia zależność:

$$I_m = \frac{-U_F + \sqrt{U_F^2 + 4P_{AV}r_d \frac{T}{T_i}}}{2r_d}. \quad (2)$$

Na rysunku 3 przedstawiono wykres prądu  $I_m$  w/g równania (2) dla przykładowych wartości  $P_{AV}$ ,  $U_F$ ,  $r_d$ .



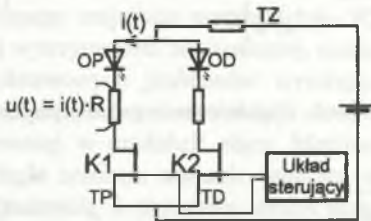
Rys. 3. Przebieg zależności amplitudy impulsu  $I_m$  od współczynnika wypełnienia  $T_i/T$   
Fig. 3. Pulse magnitude versus pulse-duty factor  $T_i/T$

Ograniczeniem w zastosowaniu impulsowego zasilania diod LED są zjawiska ciepłne związane z nagrzewaniem się złącza pod wpływem wydzielanej w nim mocy. Pomimo zasilania krótkimi impulsami zjawisko to ogranicza obszar pracy. Wynika to z małej wartości pojemności cieplnej łącza i z niemożności odprowadzenia ciepła do obudowy (radiatora). W związku z tym mało skuteczne jest chłodzenie wymuszone. Dla odpowiednio dużych wartości mocy zachodzi szybki przyrost temperatury złącza.

### 3. GENERATOR PROSTOKĄTNYCH IMPULSÓW PRĄDOWYCH

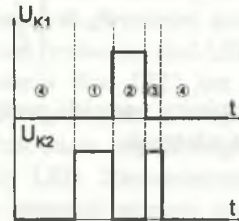
Do badania diod LED w zakresie pracy nieciągłej niezbędny jest generator impulsów prądowych umożliwiający uzyskanie impulsów o wymaganych amplitudach ( $I_m > 5A$ ) i wiernie odtwarzających wymuszenie skokowe. Ze względu na brak generatorów

spełniających stawiane wymagania opracowano układ przeznaczony do zasilania fotoemiterów elektroluminescencyjnych. Na rysunku 4 przedstawiono uproszczony schemat blokowy generatora.



Rys. 4. Uproszczony schemat blokowy generatora

Fig. 4. Simplified block diagram of the generator



Rys. 5. Sygnały sterujące kluczami K1 i K2  
Fig. 5. Control signals for keys K1 and K2

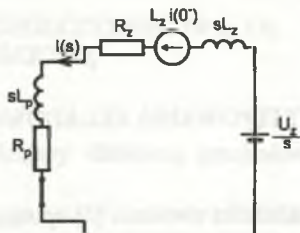
Badany fotoemiter elektroluminescencyjny (zwany odbiornikiem podstawowym OP) umieszczono w torze podstawowym TP. Tor dodatkowy TD (z odbiornikiem dodatkowym OD) dodano w celu poprawy kształtu impulsu prądowego w torze TP. Dobór odbiornika OD ma na celu polepszenie procesu przełączania prądów pomiędzy torami TP i TD. Wpływ odbiornika OD na kształt generowanego przebiegu określono na podstawie analizy składowej przejściowej prądu w torze TP wywołanej przełączeniem prądu z toru TD do toru TP. Generacja impulsu prądowego w torze TP realizowana jest w czterech fazach. Na rysunku 5 przedstawiono przebiegi czasowe sygnałów sterujących kluczami K1 i K2. W fazie 1 załączany jest klucz K2. Ważne jest, aby czas trwania fazy 1 był równy/większy od czasu ustalania się prądu w torze TD. W fazie 2 następuje przełączenie prądu z toru TD do toru TP poprzez jednoczesne wyłączenie klucza K2 i załączenie klucza K1. Czas trwania fazy 2 jest czasem impulsu  $T_i$  i jest ograniczony przez moc wydzielaną w badanym obiekcie OP. Faza 3 polega na przełączeniu prądu z toru TP do toru TD (jednoczesne wyłączenie klucza K1 i załączenie klucza K2). Czas trwania fazy 3 określony jest czasem całkowitego przekazania prądu do toru TD. Stromość opadającego zbocza impulsu prądowego w tej fazie zależy od szybkości klucza K1. Odpowiednio duże wartości szybkości zmian prądu płynącego przez indukcyjność  $L_p$  prowadzą do powstawania przepięć w torze TP. W fazie 4 następuje wyłączenie klucza K2 i zanika prąd w torze TZ.

#### 4. SKŁADOWA PRZEJŚCIOWA IMPULSU PRĄDOWEGO

Ze względu na przyjęte zasilanie fotoemiterów impulsami tylko o dwóch stanach:  $i=0$  oraz  $i=I_m$  odbiornik OP zastąpiono rezystorem odwzorowującym napięcie na nim. Założono idealną komutację kluczy K1 i K2. Na rysunku 6 przedstawiono przyjęty schemat zastępczy.



Indukcyjność  $L_p$  jest ekwiwalentem indukcyjności toru TP (włączenie z badanym obiektem OP). Rezystancja  $R_p$  jest ekwiwalentem spadków napięć na rezystancjach toru TP i napięcia na zaciskach badanego obiektu OP. Indukcyjność  $L_z$  i rezystancja  $R_z$  charakteryzują tor zasilania TZ. Wprowadzenie napięcia źródłowego  $L_z i(0^-)$  wynika z tego, że w chwili początkowej w torze TZ płynął prąd  $i(0^-)$ .



Rys. 6. Operatorowy schemat zastępczy torów TZ i TP

Fig. 6. Laplace transformed equivalent circuit

Na podstawie schematu zastępczego (rys. 6) prąd  $I(s)$  można zapisać w postaci równania (3)

$$I(s) = \frac{\frac{U_z}{s} + L_z i(0^-)}{s(L_z + L_p) + R_z + R_p}, \quad (3)$$

gdzie:

$$i(0^-) = \frac{U_z}{R_z + R_d}.$$

Składnik  $i(0^-)$  równania (3) opisuje składową ustaloną prądu w fazie 1. Warunek początkowy  $i(0^-)$  wynika z przyjętego założenia, że czas trwania tej fazy jest równy/większy od czasu ustalania się prądu w torze TD. W wyniku przekształceń zależność opisująca prąd  $I(s)$  przyjmuje postać:

$$I(s) = \frac{U_z}{R_z + R_d} \cdot \frac{L_z}{L_z + L_p} \cdot \frac{s + \frac{R_z + R_d}{L_z}}{s \left( s + \frac{R_z + R_p}{L_z + L_p} \right)} \quad (4)$$

Przebieg czasowy prądu  $i(t)$  określa równanie (5)

$$i(t) = \frac{U_z}{R_z + R_p} \left[ 1 + \frac{L_z(R_p - R_d) - L_p(R_z + R_d)}{(R_z + R_d)(L_z + L_p)} e^{-\frac{R_z + R_p}{L_z + L_p} t} \right]. \quad (5)$$

Prąd  $i(t)$  jest sumą dwóch składowych: ustalonej  $I_u$  i przejściowej  $i_n$ . Wartość składowej ustalonej wynika z napięcia zasilania i wypadkowej rezystancji torów TP i TZ. Wartość składowej przejściowej dla przyjętego schematu zastępczego (rysunek 6) warunkowana jest także indukcyjnościami występującymi w torach TP i TZ. Z postulatu na wierność odtworzenia wymuszenia skokowego przez generowany impuls prądowy wynika warunek na brak składowej przejściowej.

## 5. WARUNKI NIETYSTĘPOWANIA SKŁADOWEJ PRZEJŚCIOWEJ

Na podstawie analizy składnika równania (5) opisującego składową przejściową można stwierdzić, że warunkiem jej niewystępowania jest zerowanie się licznika. Z tego bezpośrednio wynika zależność:

$$L_z(R_p - R_d) = L_p(R_z + R_d). \quad (6)$$

Po przekształceniu otrzymano równanie (7), na podstawie którego można sformułować dwa przypadki niewystępowania składowej przejściowej

$$R_p = \frac{L_p}{L_z} R_z + R_d \left( \frac{L_p}{L_z} + 1 \right). \quad (7)$$

### Przypadek 1

Przy założeniu, że  $L_p \ll L_z$  (co zazwyczaj zachodzi w rzeczywistym układzie omawianego generatora), między wartościami  $R_p$  i  $R_d$  zachodzi związek:

$$R_p = R_d. \quad (8)$$

Jest to przypadek praktycznie stosowany. W celu zapewnienia symetrii torów TP i TD stosuje się jako obiekty OP i OD elementy tego samego typu.

### Przypadek 2

Po podstawieniu  $L_p = k_L L_z$  oraz  $R_p = k_R R_d$  do równania (7) otrzymano zależność:

$$k_R = 1 + k_L \frac{R_z + R_d}{R_d}. \quad (9)$$

Z równania (9) wynika, że można zapewnić niewystępowanie składowej przejściowej dla indukcyjności  $L_p \neq 0$ . Wynika to ze wzajemnej kompensacji oddziaływania indukcyjności  $L_z$  oraz  $L_p$ . Zachodzi ona dla  $k_R > 1$ , czyli dla  $R_p > R_d$ . W rzeczywistym układzie trudno określać

wartość współczynnika  $k_L$  oraz tak dobierać odbiornik OD, aby uzyskać wymaganą wartość współczynnika  $k_R$ . Praktycznie ogranicza to zastosowanie tego przypadku do sytuacji, w których badane są duże serie elementów tego samego typu.

## 6. WPŁYW WARTOŚCI WSPÓLCZYNNIKÓW $k_R$ I $k_L$ NA SKŁADOWĄ PRZEJŚCIOWĄ

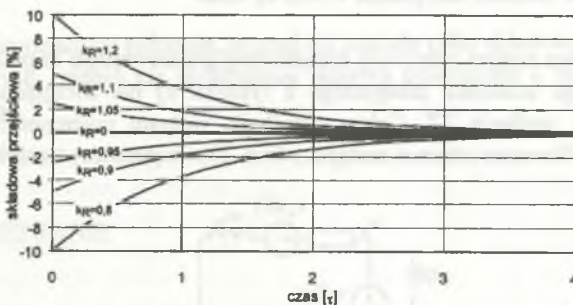
Składnik równania (5) opisujący składową przejściową  $i_n(t)$  zmodyfikowano do następującej postaci:

$$i_n(t) = I_v \frac{R_d(k_R - 1) - k_L(R_z + R_d)}{(R_z + R_d)(1 + k_L)} e^{-\frac{R_z + k_R R_d}{L_z(1 + k_L)} t} \quad (10)$$

gdzie:

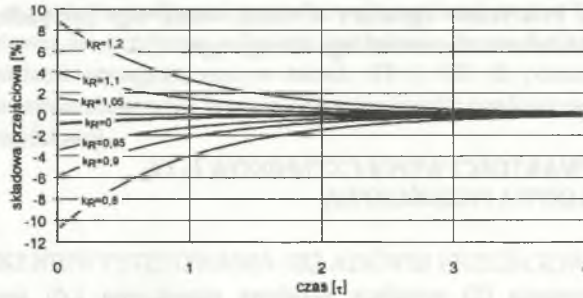
$$I_v = \frac{U_z}{R_z + R_p}$$

Na rysunkach 7 i 8 przedstawiono zależności pomiędzy asymetrią torów TP i TD (wyrażoną współczynnikiem  $k_R$ ) a przebiegiem składowej przejściowej przy założeniu  $k_L=0$  i  $k_L=0,01$ . Wartości chwilowe składowej przejściowej odniesiono do składowej ustalonej i wyrażono w procentach.

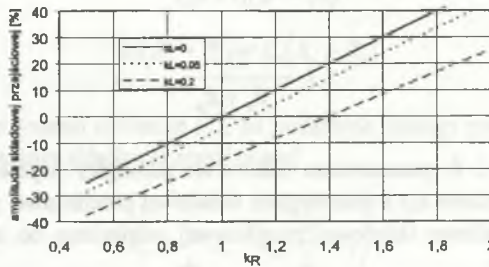


Rys. 7. Przebieg składowej przejściowej dla wybranych wartości  $k_R$  dla  $k_L=0$   
Fig. 7. Transient component waveforms for several values of  $k_R$  and  $k_L=0$

Na rysunku 9 przedstawiono zależność amplitudy składowej przejściowej od asymetrii torów TP i TD (wyrażonej współczynnikiem  $k_R$ ) dla założonych wartości  $k_L$ . Wartości amplitud składowej przejściowej odniesiono do składowej ustalonej  $I_u$  i wyrażono w procentach.

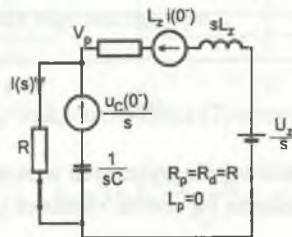


Rys. 8. Przebieg składowej przejściowej dla wybranych wartości  $k_R$  dla  $k_L=0,01$   
 Fig. 8. Transient component waveforms for several values of  $k_R$  and  $k_L=0,01$



Rys.9. Zależność amplitudy składowej przejściowej od wartości  $k_R$  dla wybranych wartości  $k_L$   
 Fig. 9. Magnitude of transient component versus  $k_R$  value

Przeprowadzona analiza składowej przejściowej generowanego impulsu prądowego (na podstawie przyjętego schematu zastępczego z rysunku 6) nie uwzględnia oddziaływania pojemności  $C$  toru zasilania TZ. Celem określenia wpływu pojemności  $C$  na składową przejściową zmodyfikowano schemat zastępczy (rys. 10) i wyznaczono zależność na prąd  $i(t)$ .



Rys. 10. Zmodyfikowany operatorowy schemat zastępczy  
 Fig. 10. Modified Laplace Transformed equivalent circuit



Do schematu zastępczego z rysunku 6 dodano kondensator o pojemności  $C$  wraz z napięciem źródłowym  $u_c(0^-)$ . Dodanie napięcia źródłowego  $u_c(0^-)/s$  wynika z tego, że w chwili początkowej na zaciskach kondensatora wystąpiło napięcie  $u_c(0^-)$ . Analizę przeprowadzono dla stanu symetrii torów TP i TD.

Założenia:  $R_p=R_d=R$ ,  $L_p=0$ .

Korzystając z metody potencjałów węzłowych zapisano równanie (11)

$$V_p \left( \frac{1}{R} + sC + \frac{1}{sL_z + R_z} \right) = u_c(0^-)C + \frac{U_z + L_z i(0^-)}{sL_z + R_z} \quad (11)$$

gdzie:  $i(0^-)$  ma wartość zgodnie z równaniem (3), a

$$u_c(0^-) = U \cdot \frac{R}{R_z + R} \quad (12)$$

Korzystając z równania (11) wyznaczono zależność na prąd  $I(s)$ :

$$I(s) = \frac{V_p}{R} = \frac{1}{s} \cdot \frac{U_z}{R + R_z} \quad (13)$$

Z równania (13) otrzymano zależność (14):

$$i(t) = \frac{U_z}{R + R_z} = \text{const} \quad (14)$$

Równanie (14) jednoznacznie pokazuje, że prąd  $i(t)$  posiada tylko składową ustaloną. Oznacza to, że dla przyjętych założeń nie stwierdzono wpływu pojemności  $C$  na kształt przebiegu impulsu prądowego.

## 7. PODSUMOWANIE

W artykule wykazano możliwość zastosowania prostokątnych impulsów prądowych do zasilania diod LED. Określono obszar pracy ze względu na dopuszczalną moc wydzielaną w złączu diody. Omówiono warunki pracy opracowanego generatora impulsów prądowych. Dla przyjętego schematu zastępczego wykazano możliwość generacji impulsów prądowych wiernie odtwarzających wymuszenie skokowe. Na tej podstawie stwierdzono możliwość zastosowania diod LED zasilanych z przedstawionego generatora impulsów prądowych jako zdefiniowanego źródła promieniowania optycznego. Dla uzyskanych wartości amplitud

impulsów większych od 5A [4] moc promieniowania diod LED pozwala na jej stosowanie w prześwietlaniu słabo przezroczystych obiektów (np. biologicznych). Zwarta konstrukcja generatora w połączeniu z małymi wymiarami diody LED pozwalają na umieszczenie tego układu w jednej obudowie. Taki układ wykorzystywany jest w badaniach dynamiki fotoemiterów elektroluminescencyjnych oraz w spektrofotometrii.

## LITERATURA

1. Driscoll F., Coughlin R.F.: Przyrządy półprzewodnikowe i ich zastosowania. WNT, Warszawa, s. 325÷327, 1978.
2. Smoliński A.: Optoelektronika światłowodowa. WKŁ, Warszawa, s. 138÷153, 1985.
3. Wiczyński G.: Analiza obciążalności diody LED przy sterowaniu impulsowym. Zeszyty Naukowe WSI w Opolu, Elektryka nr 203, Metrologia z. 40, t. 2, 1994, s. 169÷176.
4. Wiczyński G.: Generator prostokątnych impulsów prądowych. XXVII Międzyuczelniana Konferencja Metrologów MKM'95, Zielona Góra, 1995, t. 2, s. 427÷434.

Recenzent: Dr hab. inż. Józef Parchański, prof. Pol. Śl.

Wpłynęło do Redakcji dnia 24 października 1996 r.

## Abstract

The subject of this paper concerns problems with impulse current driving applied to semiconductor photoemitters, such as LEDs, with intention to study their properties. It was assumed that the given LED had to be tested at the input functions significantly larger than those permissible during its continuous operation. The analysis of power load ability under one criterion assumed (i.e., the power to be emitted within the studied device), was performed. Limitations determining the permissible amplitudes of driving signals, as well as impulse duration, were formulated. It was shown, that using an input current of amplitudes large enough ( $I_m > 5A$ ) is only possible at very low values of the filling factor. Furthermore, the diagram scheme of a rectangular current impulse generator (which was designed) and the principal stages of its operation, were presented. It was clearly emphasized that current switching applied as replacing current turn-on and turn-off is of great importance. Basing on a proposed substitute scheme, the analysis of the transient component referring to current switching, was carried out, showing how some selected scheme elements affected this

process. As a result, the conditions such as no transient component is present in the current impulse, have been given. Also, signals created by transient component at different asymmetry and inductance of the generator circuits have been presented. Assuming full symmetry, it was pointed out that any capacity of the generator driver does not affect the impulse shape. Possibility to appear overvoltage when in the utilized generator system the changes in current are at high rate, was noticed.