

SYSTEM DO POMIARU SZUMÓW ELEMENTÓW OPTOELEKTRONICZNYCH W SZEROKIM ZAKRESIE PRĄDÓW

Damian SPRAWKA¹, Barbara STAWARZ-GRACZYK²

- ADVA Optical Networking Sp. z o.o., ul. Łużycka 8C, 81-537 Gdynia
tel. +48 507 828 529 e-mail: dsprawka@advaoptical.com
- Politechnika Gdańska, Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki, ul. G. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk
tel.: +48 58 347 1886 e-mail: bstawarz@eti.pg.gda.pl

Streszczenie: W artykule zostanie zaprezentowany opis systemu pomiarowego zawierającego zaprojektowaną głowicę pomiarową do pomiarów szumów generowanych przez elementy optoelektroniczne. Przedstawione zostaną wyniki testów funkcjonowania systemu pomiarowego dla diod LED dla prądu wynoszącego $I_D = 2$ mA. Pomiar odbywał się w zakresie małych częstotliwości czyli do 1 kHz. Głowica pomiarowa została zbudowana w sposób minimalizujący wpływ zakłóceń zewnętrznych na działanie układu.

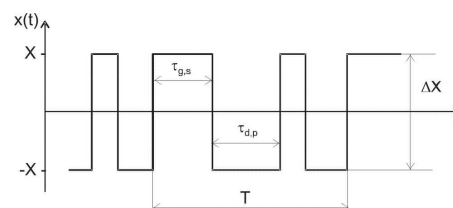
Słowa kluczowe: szумы typu $1/f$, szумы wybuchowe, dioda LED, transceptor.

1. WSTĘP

Zagadnieniem szumów własnych z zakresu małych częstotliwości naukowcy na całym świecie zajmują się od lat sześćdziesiątych ubiegłego wieku. W licznych publikacjach w renomowanych czasopismach oraz referatach prezentowanych na konferencjach międzynarodowych [1-6] wykazano, że istnieje powiązanie pomiędzy jakością przyrządów półprzewodnikowych a generowanymi przez nie szumami własnymi m. cz. Ocenianie jakości elementów elektronicznych na podstawie ich szumów własnych z zakresu małych częstotliwości pozwala na bezinwazyjne określenie standardu materiału, z którego jest wykonany oraz prawidłowości przebiegu procesu produkcyjnego. Najlepiej wykonane elementy charakteryzują się bardzo niskim poziomem szumów własnych a poprawne stosowanie ich w urządzeniach zapewni długą oraz niezawodną pracę tych przyrządów. Należy zaznaczyć, że ocenę jakości poszczególnych przyrządów na podstawie ich szumów własnych można zastosować do wszystkich elementów elektronicznych, niezależnie od tego, czy szum ten jest parametrem istotnym w aplikacji tego elementu. Jakość elementu elektronicznego rozumiana jest jako zdolność spełniania przez ten element określonych zgodnie z wymogami użytkownika funkcji [7].

Szумы generowane są przez wszystkie elementy elektroniczne. Najważniejszą przyczyną ich występowania są fluktuacyjne zjawiska oraz procesy fizyczne zachodzące wewnątrz tych elementów. Szумы można podzielić ze względu na sposób generacji i zakres występowania na: śrutowe, ciepłone, typu $1/f$, generacyjno-rekombinacyjne, lawinowe i wybuchowe – RTS (z ang. Random Telegraph Signal) [7]. W celu oceny jakości elementów półprzewodnikowych przyjmuje się podział szumu na dwie

składowe: podstawową (gaussowska) zawierającą szумы naturalne (cieplne, śrutowe, generacyjno-rekombinacyjne, typu $1/f$) oraz składową nadmiarową (niegaussowską) zawierającą szумы nadmiarowe (RTS). Szum ten spowodowany jest głównie wadami materiałowymi i nieprawidłowościami podczas procesów produkcyjnych. Jest to szum charakteryzujący się impulsami o przypadkowym momencie występowania i czasie trwania. Przykładowy przebieg czasowy sygnału z występującym szumem RTS o dwóch poziomach przedstawiony jest na rysunku 1.



Rys. 1. Dwupoziomowy szum RTS: $\tau_{g,s}$ – czas trwania impulsu w stanie górnym, $\tau_{d,p}$ – czas trwania impulsu w stanie dolnym, ΔX – amplituda impulsów, T – czas obserwacji przebiegu szumowego

Na podstawie informacji o rodzaju składowych występujących w przebiegu szumowym danego przyrządu można ocenić jego jakość. Uogólniając, wystąpienie składowej niegaussowskiej w przebiegu szumowym informuje, że badany przyrząd jest miernej jakości i powinien zostać wyeliminowany z dalszego procesu produkcyjnego [7].

2. SYSTEM POMIAROWY

Schemat układu do pomiaru szumów własnych elementów optoelektronicznych opracowano przy wykorzystaniu standardowej metody pomiarowej w wersji opartej na procedurze gromadzenia i przetwarzania danych [7]. W związku z charakterem sygnału pomiarowego jakim jest szum zaprojektowanie toru pomiarowego wymagało bardzo precyzyjnego doboru elementów. Niezwykle istotnym było, aby wykorzystane przyrządy generowały jak najniższe poziomy szumów własnych tak by mieć pewność, że mierzony szum to szum generowany przez badany element. Skonstruowany system składa się z głowicy pomiarowej, filtra dolnoprzepustowego, przetwornika

analogowo-cyfrowego i zestawu komputerowego z odpowiednim oprogramowaniem. Na rysunku 2 przedstawiono schemat blokowy toru pomiarowego.



Rys. 2. Schemat blokowy systemu pomiarowego szumów elementów optoelektronicznych w zakresie małych częstotliwości

W skład głowicy pomiarowej wchodzi: badany element, przedwzmacniacz małoszumowy (OP27GPZ) pracujący w układzie konwertera prąd-napięcie z jednostkowym wzmocnieniem oraz dwa stopnie wzmacniacza małoszumowego (OP37GPZ). Głowica pomiarowa podczas pomiarów jest szczelnie zamknięta w metalowej obudowie.

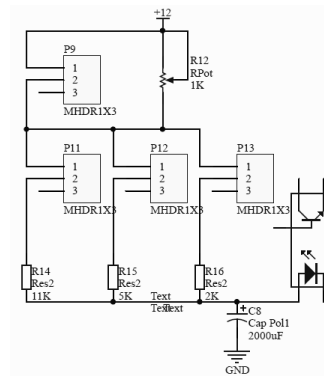
W celu zachowania bardzo niskiego poziomu szumu toru pomiarowego przyjęto pewne założenia projektowe (opisane w dalszej części rozdziału) dla poszczególnych elementów systemu pomiarowego:

Zasilanie - jako źródło zasilania głowicy pomiarowej wybrano zestaw dwóch akumulatorów żelowych. Rozwiązanie to umożliwia umieszczenie zasilania wewnątrz układu pomiarowego, eliminując możliwość powstania zakłóceń związanych z zastosowaniem zewnętrznego zasilania, takich jak przydźwięk sieci lub szum diody Zenera występującej w zasilaczach impulsowych. Zjawiska te generują zakłócenia, które uniemożliwiają dokonanie wiarygodnych pomiarów szumowych. Wybrane akumulatory charakteryzują się napięciem 12 V oraz pojemnością 7 Ah. Akumulator żelowy nie wymaga wymiany elektrolitu, jest bezpieczny w użyciu oraz może pracować w dowolnej pozycji. Połączenie szeregowe dwóch akumulatorów pozwala na uzyskanie zasilania symetrycznego, niezbędnego do uruchomienia przedwzmacniacza małoszumowego.

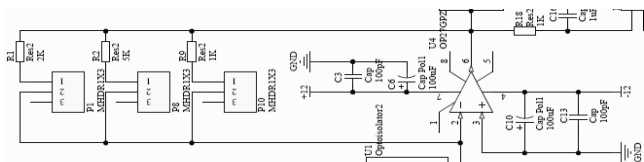
Badany element – wybrany do pomiarów szumów element będzie umieszczany w specjalnym gnieździe zamontowanym na płycie drukowanej głowicy pomiarowej. Gniazdo umożliwia również umieszczenie transoptora i badanie szumów generowanych przez diodę transoptora. Transoptory są dość powszechnie wykorzystywane w przemyśle a informacja o generowaniu przez nie szumów wybuchowych jest bardzo istotna, ponieważ takie elementy muszą być eliminowane z procesu produkcyjnego. Dodatkowo przewidziano możliwość doboru prądu płynącego przez element (dla np. diody – prąd diody może wynosić: 2 mA, 4mA oraz 10mA) tak by można było obserwować zmianę poziomu szumów generowanych przez element przy różnych wartościach prądu. Na rysunku 3 przedstawiono fragment schematu głowicy pomiarowej z gniazdem na badany element.

Przedwzmacniacz małoszumowy - układ przedwzmacniacza małoszumowego jest najważniejszym elementem w torze pomiarowym. Szumy własne przedwzmacniacza są dodawane do szumów własnych badanego elementu, istotne jest więc by szum przedwzmacniacza był dużo niższy od szumu badanego. Na podstawie danych katalogowych wybrany został układ OP27GPZ [8] pracujący w układzie konwertera prąd-napięcie z jednostkowym wzmocnieniem. W danych katalogowych podano, że wzmacniacz ma wyjątkowo niskie

szumy własne - $e_n = 3,5 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$, przy częstotliwości 10 Hz. Przy zastosowaniu w pętli sprzężenia zwrotnego rezystora o oporności $1\text{k}\Omega$ wartość $i_n = 3,5 \text{ pA}/\sqrt{\text{Hz}}$. Fragment schematu zawierający przedwzmacniacz zaprezentowano na rysunku 4.

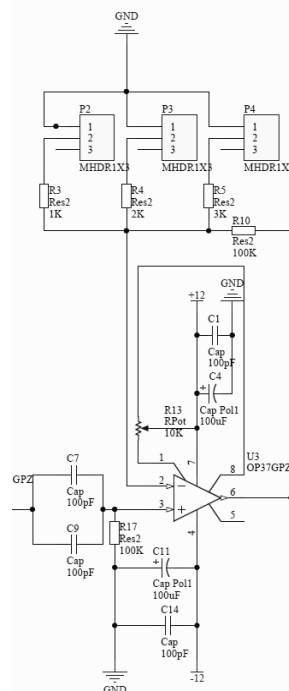


Rys. 3. Fragment głowicy pomiarowej z gniazdem na badany element



Rys. 4. Fragment głowicy pomiarowej z przedwzmacniaczem

Wzmacniacz - w celu uzyskania odpowiedniego wzmocnienia sygnału mierzonego, wybrano dwa małoszumowe wzmacniacze operacyjne OP37GPZ. Oba stopnie wzmacniające zaprojektowano tak, by umożliwiały regulację wzmocnienia od 30 do 100 razy. Pierwszy stopień dodatkowo umożliwia regulację punktu pracy, co pozwala na kalibrację podczas uruchamiania układu. Wg danych katalogowych [9] wzmacniacze generują szumy własne na poziomie $3,5 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$. Na rysunku 5 przedstawiono pierwszy stopień wzmacniacza.



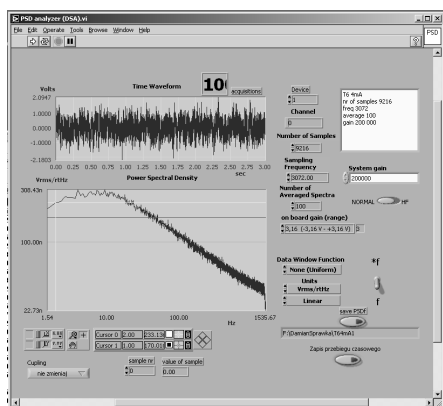
Rys. 5. Fragment głowicy pomiarowej z przedwzmacniaczem



Filtr dolnoprzepustowy - filtr dolnoprzepustowy dodany został w celu minimalizacji zjawiska aliasingu polegającego na nałożeniu się składowych widmowych o wyższych częstotliwościach od częstotliwości Nyquista na składowe o innych częstotliwościach. W tym celu wybrano przedwzmacniacz SR560. Umożliwia on filtrację dolnoprzepustową a także pozwala wzmocnić sygnał mierzony. Zaletą tego urządzenia jest możliwość pracy na wbudowanym akumulatorze, pozwalając na izolację toru pomiarowego od zewnętrznych źródeł szumu. Poziom szumów generowanych przez urządzenie nie przekracza $4 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ przy $f = 1 \text{ kHz}$ [10].

Przetwornik analogowo-cyfrowy - analogowe dane wyjściowe z toru pomiarowego przetwarzane są na postać cyfrową za pomocą karty DAQ PCI-4452 firmy National Instruments [11]. Połączenie z komputerem realizowane jest przez port PCI.

Oprogramowanie do akwizycji przetwarzania danych - dane z przetwornika analogowego cyfrowego są przetwarzane za pomocą aplikacji „PSD analyzer”. Przetwarzając dane, pozwala na zapisanie przebiegu czasowego oraz gęstości widmowej mocy sygnału w postaci pliku tekstowego. Aplikacja umożliwia ustawienie zakresu częstotliwości, liczby uśrednień sygnału w dziedzinie czasu, częstotliwości próbkowania, liczby próbek, wzmocnienia sygnału oraz skali. Na rysunku 6 przedstawiono przykładowe okno aplikacji „PSD analyzer”.



Rys. 6. Przykładowe okno aplikacji „PSD analyzer”

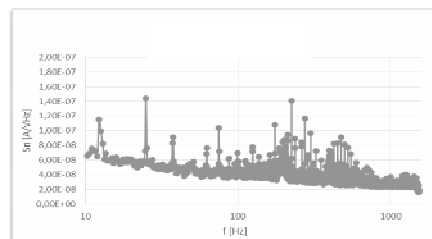
Dodatkowo bardzo ważnym zagadnieniem było zabezpieczenie przed zakłóceniami. Minimalizacja wpływu zakłóceń zewnętrznych na układ pomiarowy jest niezbędna do prawidłowego zmierzenia szumu własnego elementu półprzewodnikowego. Jednym z zastosowanych rozwiązań było umieszczenie głowicy pomiarowej w uziemionej metalowej obudowie, zawierającej wyjścia sygnałowe oraz zasilania. Kolejnym zabezpieczeniem było ekranowanie układu oraz sekcji zasilającej. Zastosowanie obudowy stabilizuje ruch powietrza, zapewniając stałe warunki klimatyczne w czasie dokonywania pomiaru. Pomiar wykonywany był w temperaturze pokojowej. Cały system pomiarowy oprócz komputera umieszczono w klatce Faradaya znajdującej się w katedrze Metrologii i Optoelektroniki Wydziału Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki Politechniki Gdańskiej. Umieszczenie komputera poza klatką podyktowane jest eliminacją zakłóceń wytwarzanych przez komputer oraz jego zasilacza. Przed rozpoczęciem pomiarów należy ustawić odpowiedni punkt pracy układu, ustawienie to powinno polegać na regulacji punktu pracy pierwszego stopnia wzmacniacza za pomocą wielobrotowego rezystora potencjometrycznego

tak by różnica potencjału napięć pomiędzy wyjściem konwertera prąd-napięcie a wyjściem ostatniego stopnia wzmacniającego wynosiła 0 V. Kolejnym bardzo ważnym elementem budowy systemu pomiarowego będzie określenie szumów własnych głowicy i całego toru pomiarowego. Jest to kluczowy warunek wykorzystywania w przyszłości systemu pomiarowego.

3. TESTY SYSTEMU POMIAROWEGO

Wstępne pomiary szumów elementów optoelektronicznych zostały przeprowadzone przy wykorzystaniu diod LED oraz diod będących elementem składowym transoptorów.

Pomiary wykonywane w środku dnia wykazywały bardzo duże zakłócenia zewnętrzne. Zakłócenia te uniemożliwiły otrzymanie danych, które mogłyby zostać poddane analizie (rysunek 7).



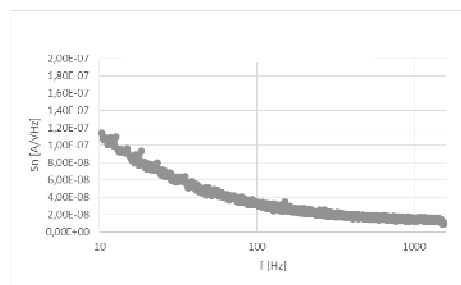
Rys. 7. Pomiar gęstości widmowej mocy z widocznymi dużymi zakłóceniami zewnętrznymi

W związku z tym testowe pomiary wykonywano w godzinach porannych oraz podczas weekendów, gdzie problem już nie występował. Każdy pomiar został wykonany przy ustawieniu parametrów pomiaru, parametry ustawiane były w panelu sterowania aplikacji „PSD analyzer” i zestawiono je w tabelicy 1.

Tabela 1. Parametry pomiarów funkcji gęstości widmowej mocy prądu szumów

Liczba próbek	9216
Częstotliwość próbkowania	3072 Hz
Liczba uśrednionych widm	100
Częstotliwość odcięcia filtra dolnoprzepustowego	10 kHz

Przykładowe wyniki pomiarów funkcji gęstości widmowej mocy prądu szumów generowanych w badanych elementach spolaryzowanych prądem $I_D = 2 \text{ mA}$ przedstawiono na rysunku 8.



Rys. 8. Funkcja gęstości widmowej mocy prądu szumów dla elementu testowego, prąd diody $I_D = 2 \text{ mA}$

Przedstawione przykładowe wyniki pomiarów szumów wskazują, że zmierzone funkcje gęstości widmowej mocy prądu szumów diod mają charakter typu $1/f$ do

częstotliwości równej 100 Hz. Powyżej tej częstotliwości funkcja gęstości widmowej mocy prądu szumów diod przyjmuje charakter widma szumu białego. Zarówno w przebiegach czasowych jak i w funkcjach gęstości widmowych mocy prądu szumów badanych elementów nie zaobserwowano szumów wybuchowych co wskazuje na dobrą jakość wyprodukowanych elementów.

4. WNIOSKI KOŃCOWE

W artykule przedstawiono opis konstrukcji systemu pomiarowego do badania poziomu szumów własnych generowanych przez elementy optoelektroniczne. Omówiono szczegółowo każdy element głowicy pomiarowej oraz toru pomiarowego. W dalszym etapie prac zmierzone zostaną szumy własne całego toru pomiarowego oraz przeprowadzona zostanie seria pomiarów dla wytypowanych elementów. Wstępne pomiary potwierdzają, że tor pomiarowy działa poprawnie i będzie mógł być wykorzystywany w np. rutynowych badaniach elementów półprzewodnikowych.

5. BIBLIOGRAFIA

1. Belyakov A. V., Perov M. Yu., Yakimov A. V., Vandamme L. K. J.: Burst and $1/f$ noise in light-emitting diodes with quantum dots. *Radiophysics and Quantum Electronics*, vol. 49, No. 5, 2006, s. 397-405.
2. Celik-Butler Z.: Measurement and analysis methods for Random Telegraph Signals in Advanced Experimental Methods for Noise Research in Nanoscale Electronic

- Devices. Ed. by J. Sikula and M. Levinshtein, NATO Science Series, vol. 151, 2003, s. 219-226.
3. Claeys C., Simoen E.: Noise as a diagnostic tool for semiconductor material and device characterization. *J. Electrochem. Soc.*, vol. 145, No. 6, 1998, s. 2058-2067.
4. Hooge F. N.: $1/f$ noise is no surface effect. *Physics Letters*, vol. 29A, No. 3, 1969, s. 139-140.
5. Jevtic M.: Low frequency noise as a tool to study optocouplers with phototransistors. *Microelectronic Reliability*, vol. 44, 2004, s. 1123-1129.
6. Jones B. K.: Electrical noise as a reliability indicator in electronic devices and components. *IEEE Proc.-Circuits Devices Syst.* vol. 149, No. 1, 2002, s. 13-22.
7. Konczakowska A.: Szumy z zakresu małych częstotliwości. *Metody pomiaru, zastosowanie do oceny jakości przyrządów półprzewodnikowych*. Akademska Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa, 2006.
8. Analog.com, OP27GPZ datasheet, <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/OP27.pdf>, (data dostępu 21.09.2016 r.).
9. Analog.com, OP37GPZ datasheet, <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/OP37.pdf>, (data dostępu 21.09.2016 r.).
10. <http://www.thinksrs.com/downloads/PDFs/Catalog/SR560c.pdf> (data dostępu 19.05.2017 r.).
11. National Instruments, PCI-4451/4452/4453/4454 User Manual, 2000.

OPTOELECTRONIC DEVICES NOISE MEASUREMENT SET-UP IN WIDE DIODE CURRENT RANGE

In the paper authors present a special measurement set-up which allows for optoelectronic devices noise measurements. Authors will test the system using LEDs for $I_D = 2$ mA and in frequency range of 1 kHz. The measurement set-up was built in a way to avoid external noise. For research authors chose a group colour LEDs. In the following paper authors present the measurement results of power spectrum density function and time function for the optoelectronic devices.

Keywords: $1/f$ noise, RTS noise, LED, optocoupler.