



**Sławomir Drobczyński**  
**Tadeusz Martynkien**  
Katedra Optyki i Fotoniki  
Wydział Podstawowych Problemów Techniki  
Politechnika Wroclawska  
Wyb. Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław

**Ewa Popko**  
Katedra Technologii Kwantowych  
Wydział Podstawowych Problemów Techniki  
Politechnika Wroclawska  
Wyb. Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław

**Jakub Niemczuk**  
Wydział Elektroniki Mikrosystemów i Fotoniki  
Politechnika Wroclawska  
ul. Janiszewskiego 11/17, 50-372 Wrocław

### **Układ akwizycji danych dla kwantowych generatorów liczb losowych. Etap I.**

Założeniem projektu jest opracowanie uniwersalnej platformy akwizycji danych, która może współpracować z różnymi układami kwantowych generatorów liczby losowych. Układ elektroniczny ma być kompaktowy, zasilany bateryjnie oraz charakteryzować się możliwością szybkiego próbkowania sygnałów analogowych i cyfrowych.

Koncepcją projektowanego systemu jest skupienie układów peryferyjnych wokół jednostki logicznej typu FPGA (*field-programmable gate array*).

Do układów peryferyjnych zaliczamy: konwertery poziomów logicznych, przetworniki analogowo-cyfrowe, pamięć typu RAM oraz sprzętowy interfejs komunikacyjny USB.

Zastosowanie układu FPGA umożliwia pełną rekonfigurację funkcjonalności systemu. Technologia FPGA pozwala na bardzo szybkie komunikowanie układów peryferyjnych co z kolei przekład się na duże prędkości próbkowania sygnału i transfer danych.

W projekcie zastosowano układ Artix-15T firmy Xilinx. W swojej strukturze zawiera 10400 Look-up Tables, 20800 Flip-Flops, 112.5KB Block RAM oraz 1MSPS On-chip ADC.

Po włączeniu zasilanie konfiguracja układu FPGA odbywa się z pamięci Quad-SPI Flash o pojemności 4MB, w której wcześniej zapisano strukturę wewnętrzną układów kombinacyjnych i sekwencyjnych sterujących działaniem systemu akwizycji danych. Programowanie struktury oraz synteza struktury wewnętrznej układu przeprowadzana jest w środowisku Vivado firmy Xilinx w języku Verilog.

Sygnały wejściowe można podzielić na dwie kategorie:

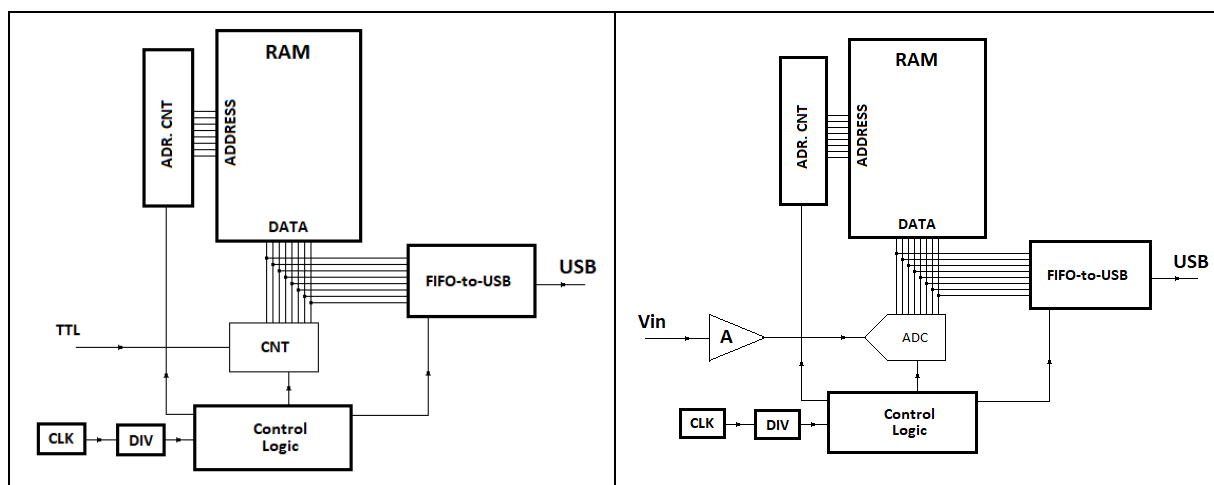
1. sygnał cyfrowy np. z liczników pojedynczych fotonów, jest to na ogół sygnał w standardzie TTL o częstotliwości 100-150 MHz. Detekcja fotonu przez diodę lawinową zamieniana jest na impuls sygnału cyfrowego. Mierzac liczbę impulsów w stałych odstępach czasu określa się liczbę fotonów docierających do fotodetektora w jednostce czasu. Maksymalne napięcie na portach I/O układu Artix-7 to 3,3V. W celu zabezpieczenia przed uszkodzeniem portów i zachowania kompatybilności współpracy z sygnałami w standardzie TTL zastosowano konwerter poziomów logicznych (SN74AHC1G04 5ns).
2. szerokopasmowy analogowy sygnał szumu. Dyskretyzacja sygnału będzie realizowana za pomocą 8 bitowego przetwornika analogowo-cyfrowego pracującego z częstotliwością próbkowania 60 MHz (np. AD9057). W układach wejściowych



wykorzystane będą wzmacniacze operacyjne o paśmie przenoszenia 300 MHz (np. AD8055).

Urządzenie wyposażone jest w dwa niezależne kanały wejściowe a dzięki możliwością układu FPGA sygnały wejściowe będą próbkowane jednocześnie. Aby zwiększyć uniwersalność urządzenia na złączu szpilkowym udostępnione zostaną wejścia przetworników analogowo-cyfrowych oraz porty I/O układu FPGA. To rozwiązanie umożliwi dołączanie wyspecjalizowanych modułów formujących sygnały wejściowe.

Na rysunku 1 przedstawiono dwa podstawowe schematy funkcjonalne. Podstawę czasu wyznacza 100MHz generator sygnału zegarowego **CLK**. Zmiana podstawy czasu regulowana jest w bloku dzielnika częstotliwości **DIV**. Blok **Control Logic** odpowiada za otwarcie licznika **CNT** do zliczania impulsów wejściowych. Następnie generowany jest adres komórki pamięci (**ADR. CNT**), w której będzie zapisany stan licznika **CNT**. W pamięci RAM (8bit bus 512KB 8ns) zapisywana jest sekwencja kolejnych stanów licznika CNT, zawierających liczbę impulsów wejściowych zliczanych w stałych odstępach czasu. W drugiej konfiguracji (Rysunek 1b) w pamięci RAM zapisywany jest stan przetwornika analogowo-cyfrowego. Po wypełnieniu pamięci RAM następuje transfer jej zawartości do komputera.



Rysunek 1. Schemat blokowy. A) układu zliczającego impulsy B) układu z przetwarzaniem analogowo-cyfrowym.

Do transferu zapisanych danych służy sprzętowy interfejs **FIFO-to-USB** firmy FTDI. Maksymalna prędkość transmisji danych wynosi 1Mbyte/s.

Przy maksymalnej prędkości próbkowania, prędkość zapisu danych jest znacznie większa niż możliwości transmisji do komputera. Z tego powodu w pierwszym etapie próbkowany sygnał zapisywany jest do pamięci RAM a w kolejnym kroku do komputera wysyłany jest pakiet danych.

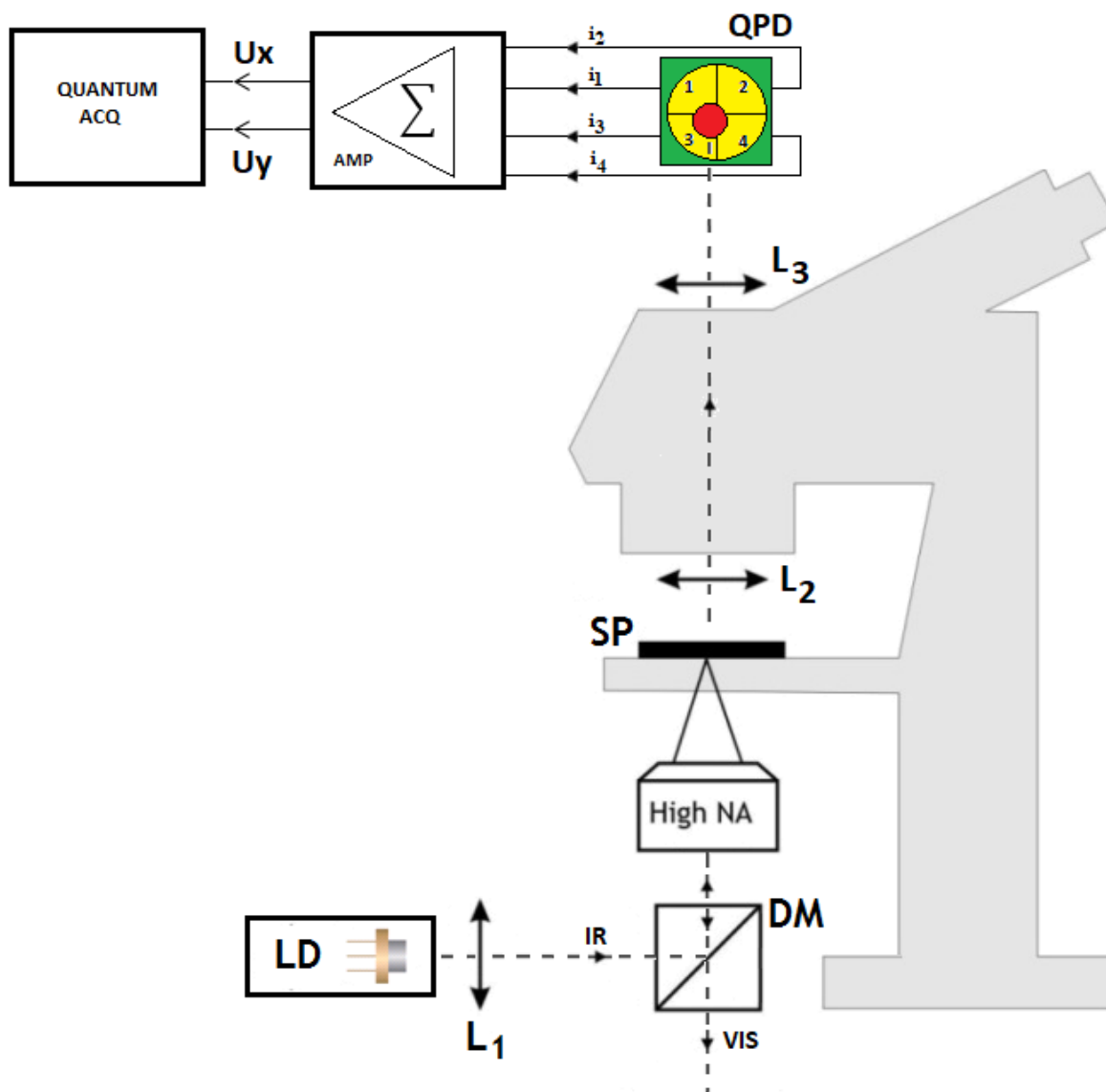
Jeśli sygnał wejściowy nie musi być próbkowany z maksymalną częstotliwością możliwe jest natychmiastowe wysyłanie danych do komputera. Za pomocą dzielnika częstotliwości **DIV** ustawiany jest próbkujący sygnał zegarowy poniżej maksymalnej częstotliwości transmisji



danych. Dzięki temu oraz liniom *handshaking* układu FIFO-to-USB możliwa jest bezkolizyjna transmisja danych z wykorzystaniem maksymalnej prędkości 1Mbps. Magistrala USB może nie utrzymywać stałej prędkości transmisji z tego względu na jednym z portów FPGA jest wyprowadzony sygnał cyfrowy informujący o momencie wysłania bajtu danych dając informację o rzeczywistej częstotliwości wysłania danych.

### Przykład zastosowania układu rejestratora

Układ akwizycji danych (**Quantum Acq**) będzie wykorzystany do rejestracji drgań polistyrenowej mikro-kulki uwięzionej w pułapce optycznej. Jej drgania wokół położenia równowagi spowodowane są zderzeniami z cząsteczkami cieczy, w której się znajduje. Układ umożliwi rejestrację sygnału drgań i zbadanie kwantowej natury ruchów Browna cząsteczek cieczy.



Rysunek 2. Schemat układu pomiarowego.

Na rysunku 2 przedstawiony jest schemat układu pomiarowego. Źródłem pulskującej wiązki światła jest dioda laserowa **LD** 980 nm. Obiektyw **L1** służy do kolimacji wiązki laserowej a za pomocą zwierciadła dichroicznego **DM** wprowadzana jest do układu mikroskopowego. Pułapka optyczna tworzona jest w wyniku silnego zogniskowania wiązki laserowej za pomocą obiektywu mikroskopowego o dużej aperturze numerycznej (**High NA**). Preparat mikroskopowy, który stanowią 3 $\mu$ m kulki polistyrenowe w wodzie umieszczony jest na stoliku mikroskopowym (**SP**). Do detekcji drgań spuławkowanej kulki służy układ mikroskopowy zbudowany z obiektywów **L2** i **L3** oraz fotodiody czteropółwkowej (**QPD**). Na powierzchni diody QPD odwzorowany jest obraz kulki w wiązce laserowej. Ruch kulki w pułapce optycznej powoduje odpowiednie przysłanianie ćwiartek fotodetektora. W układzie sumatora ze wzmacniaczem **AMP** prądy z każdej z ćwiartek fotodetektora zamieniane są na napięcia  $U_x$  i  $U_y$  proporcjonalne do wychylenia kulki z położenia równowagi odpowiednio w kierunkach X i Y. Sygnały napięciowe  $U_x$  i  $U_y$  doprowadzone są do wejść układu rejestratora (Quantum Acq).



**Fundusze Europejskie**  
Inteligentny Rozwój

Projekt realizowany w ramach Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój, poddziałanie 1.1.1 "Badania przemysłowe i prace rozwojowe realizowane przez przedsiębiorstwa", współfinansowany ze środków Budżetu Państwa oraz Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego

JURAND - Narodowy Kwantowy Generator Liczb Losowych (POIR.01.01.01-00-0173/15-00)

**Unia Europejska**  
Europejski Fundusz  
Rozwoju Regionalnego



Zarejestrowane sygnały poddane zostaną dalszej obróbce (*post-processing*) i testom statystycznym.