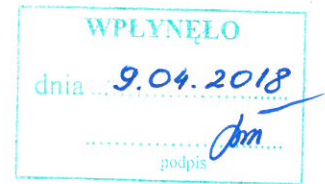


Dr hab. inż. Jacek Marczewski, prof. ITE



**Recenzja pracy doktorskiej pani mgr inż. Aleksandry Krzyżanowskiej pt.
„Digitally-Assisted Analog Circuits for Hybrid Pixel X-Ray Detectors”
przygotowanej pod kierownictwem promotora - dr. hab. inż. Grzegorza
Deptucha.**

Przedstawiona przez Doktorantkę praca została skierowana do recenzji decyzją Rady Wydziału Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej AGH na posiedzeniu w dniu 1 marca 2018 roku celem wszczęcia postępowania prowadzącego do uzyskania stopnia doktora w dyscyplinie Elektronika.

Praca dotyczy szeregu zagadnień związanych z układami scalonymi stanowiącymi układy odczytowe w hybrydowych detektorach pikselowych używanych do rejestracji fotonów promieniowania X. Praca wraz ze spisem literatury ma 151 stron, została podzielona na siedem części zasadniczych (ósmą część stanowi spis literatury). Została napisana w języku angielskim.

We wstępie pracy zdefiniowano jej cztery tezy:

- pierwsza dotyczy celu pracy i stanowi, że negatywne efekty związane ze współdzieleniem ładunku przez sąsiednie piksele mogą zostać skompensowane przez właściwe rozwiązania układowe z użyciem komunikacji pomiędzy pikselami oraz przez odpowiednie algorytmy obróbki danych;
- druga skupia się na konieczności zastosowania metodologii postępowania znacząco innej niż dla układów pracujących w standardowym trybie zliczania pojedynczych fotonów i wskazuje na znaczącą rolę efektów związanych z rozrzutami parametrów poszczególnych kanałów;
- trzecia teza dotyczy konieczności zbudowania odpowiednich modeli symulacyjnych układu odczytowego uwzględniających konieczne elementy przy użyciu behawioralnej reprezentacji bloków funkcjonalnych;
- teza czwarta wskazuje na konieczność stosowania wskazanej przez autorkę architektury celem uniknięcia technologicznych ograniczeń związanych z rozrzutem parametrów, rozwiązania te mają też zapewnić poprawny odczyt zarówno miejsca jak i energii padającego fotonu.

Praca jest wielowątkowa i obejmuje zarówno rozwiązania teoretyczne, symulacje jak i pomiary. Należy zwrócić uwagę, że badane układy odczytowe są trudne do analizy gdyż

zawierają części cyfrową i analogową oraz, że źródłem sygnału w technice hybrydowej jest odrębny sensor mający swe specyficzne cechy zależne od materiału i konstrukcji pojedynczego piksela.

Zasadniczą (autorską) część pracy poprzedza rozległy opis wprowadzający konieczne pojęcia. Napisany bardzo dobrym językiem przygotowuje czytelnika do trudniejszych fragmentów Rozprawy. Następnie Autorka przedstawia algorytmy i implementacje układowe skupiając się przede wszystkim na niepożądanych zjawiskach związanych ze współdzieleniem ładunku wywołanego interakcją detektora z pojedynczym fotonem przez sąsiadujące piksele. Szeroko przedstawiono algorytm C8P1 zaproponowany przez grupę naukowców z AGH. W pracy zaproponowano statyczne i dynamiczne modele uwzględniające szумы układów oraz ich rozrzuty technologiczne - a więc parametry, które mają zasadnicze znaczenie dla działania analogowej części odczytu. W części eksperymentalnej doktoranta wykorzystuje układ scalony Chase Jr. z zaimplementowanym wspomnianym algorytmem. Jest on zmontowany z pikselowym krzemowym detektorem pikselowym metodą flip-chip tworząc w ten sposób stosunkowo małą (18x18) matrycę testową.

Prace eksperymentalne są kompleksowe począwszy od zbudowania stanowiska, wybór elementów i metod, a następnie stworzenie oprogramowania pomiarowego. Przeprowadzono różnorodne eksperymenty, także z użyciem promieniowania X, a także porównano różne procedury korekcji mających na celu minimalizację rozrzutów układowych. Prace eksperymentalne cechuje duża skrupulatność, co widać zwłaszcza w kontekście rekonstrukcji sygnału w przypadkach podziału ładunku pomiędzy piksele. Także dobre wrażenie robią prace symulacyjne, wykraczające daleko poza symulacje stosowane przez konstruktorów układów scalonych.

Należy podkreślić, że wyniki symulacji i pomiarów wskazują na poprawne działanie zaimplementowanego algorytmu. Odtworzona zostaje całkowita energia fotonu, a rejestracja sygnałów w rogu pomiędzy czterema pikselami wskazuje, że kompensacja podziału ładunku przy użyciu architektury analogowo-cyfrowej wykorzystującej komunikację między pikselową działa poprawnie. Autorka zmierzyła się też z szeregiem szczegółowymi problemami z zakresu wpływu szumów układu i rozrzutów parametrów części analogowej.

Jeżeli coś budzi niepokój Recenzenta, to skupienie się w pracy prawie wyłącznie na efektach związanych z układem odczytowym i zaimplementowanym w nim algorytmie. Główną osią rozprawy są bowiem rozważania związane z podziałem ładunku pomiędzy piksele prowadzących potencjalnie do fałszywych wyników. Nie analizowano natomiast efektów związanych z wpływem niejednorodności odpowiedzi poszczególnych diod matrycy sensora związanych z ich indywidualnymi różnicami spowodowanymi np. rozrzutami technologicznymi ew. lokalnymi defektami. Doświadczenie Recenzenta z zakresu całkowicie zubożonych matryc służących do obrazowania trajektorii cząstek elementarnych wskazuje, że rozrzuty pomiędzy pojedynczymi pikselami bywają incydentalnie istotne. O ile niesprawne duże elementy w dojrzałych technologiach submikronowych nie zdarzają się, o tyle matryce

(zwłaszcza wykonane a materiałów innych niż krzem) nie są już tak jednorodne. Ciekawe byłoby zasymulowanie uszkodzonego piksela matrycy i obserwacja jak to wpłynie na wyniki pomiarów uzyskanych za pomocą sąsiadujących pikseli. Temat ten został w pracy ledwie zasygnalizowany w rozdziale 6.1.2 choć Recenzent przyznaje, że rozważania tego typu wykraczałyby poza zdefiniowany tezami i tytułem zakres pracy.

Uwaga ta nie zmniejsza bardzo wysokiej oceny pracy, która z pewnością jest wyróżniającą się na tle innych prac eksperymentalnych, także tych prowadzonych w CERN. Jest to niezwykle staranne podejście do eksperymentu, należycie udokumentowane i opisane. Wszystkie tezy wskazane na wstępie pracy zostały udowodnione, autorka wykazała się znajomością warsztatu, referencje zostały właściwie dobrane zaś konkluzje są przekonujące. Dysertację cechuje też staranna strona edytorska. Recenzent czytał rozprawę z przyjemnością i ma nadzieję na opublikowanie jej istotnych elementów w czasopiśmie o zasięgu międzynarodowym.

Autor recenzji nie ma wątpliwości, że przedstawiona do oceny praca spełnia wymagania stawiane przez odnośne przepisy rozprawom doktorskim i zasługuje na wyróżnienie. Dysertacja nie tylko dokumentuje spełnienie postawionych celów pracy, ale także dowodzi istotnego wkładu autorki pracy w rozwój uprawianej dyscypliny naukowej - elektroniki.

29/3/2018

J. Mark