

Streszczenie

Akceleratory cząstek elementarnych są narzędziami niezbędnymi do rozwoju nauki i inżynierii. Bazują na nich m.in. lasery na swobodnych elektronach, które są jednymi z najbardziej nowoczesnych maszyn służących do wytwarzania koherentnego promieniowania rentgenowskiego na potrzeby badań w dziedzinach takich jak medycyna, materiałoznawstwo, biologia, fizyka i chemia. Lasery te wymagają wysoco precyzyjnego i powtarzalnego przyspieszenia wiązek elektronów. Niepożądane zmiany energii strumienia elektronów są spowodowane wieloma deterministycznymi i losowymi zjawiskami, w tym fluktuacjami amplitudy i fazy pola elektromagnetycznego przyspieszającego cząsteczki. Do sterowania i stabilizacji parametrów pola przyspieszającego buduje się coraz bardziej zaawansowane systemy sterowania zwane LLRF (od *Low Level Radio Frequency*).

Praca opisuje badania i optymalizację parametrów szumowych w odbiornikach LLRF dedykowanych laserom na swobodnych elektronach wykorzystującym nadprzewodzące struktury przyspieszające i pracującym w trybie ciągłym. We wstępnej części pracy przedstawiono wybrane architektury układów sterowania. Następnie opisano badania źródeł zakłóceń i wybrane schematy detekcji analogowych sygnałów wejściowych. Na podstawie przeglądu literatury i symulacji, wyznaczono dwa obszary badań - optymalizację odpowiedzi impulsowej w układach sterowania LLRF oraz minimalizację poziomów szumu $\frac{1}{f}$ w odbiornikach LLRF wykorzystujących pasywne oraz aktywne mieszacze częstotliwości.

Wybrane rodzaje mieszaczy zostały scharakteryzowane w dedykownych stanowiskach pomiarowych aby zweryfikować dwie hipotezy, które wyłoniły się z badania literatury dotyczącej tych urządzeń. Po pierwsze, w pasywnym mieszaczu działającym jako odbiornik superheterodynowy, poziomy mocy sygnałów wejściowych wpływają na szum fazowy wtrącony do sygnału wyjściowego w sposób nieliniowy i niemonotoniczny. Po drugie, w aktywnym mieszaczu działającym jako odbiornik superheterodynowy, poziomy mocy sygnałów wejściowych wpływają na szum fazowy wtrącony do sygnału wyjściowego. Obie hipotezy zostały potwierdzone. Dodatkowe pomiary wykluczyły

alternatywne wyjaśnienie uzyskanych wyników badań (konwersja AM-PM).

Zaproponowano też metodę optymalizacji odpowiedzi impulsowej systemu LLRF poprzez wdrożenie działających w czasie rzeczywistym układów do kompensacji obciążenia rezonatorów przez wiązkę elektronową. Dodatkowo wprowadzono oraz przetestowano nową metodę charakteryzacji addytywnych szumów fazowych w elementach elektronicznych za pomocą standardowych urządzeń pomiarowych. Metoda ta może znaleźć zastosowanie w laboratoriach nie dysponujących zaawansowanymi analizatorami szumów fazowych.