



System automatycznej kontroli parametrów toru nadawczo-odbiorczego stacji radiolokacyjnej

Stanisław ŻYGADŁO*, Stanisław GRZYWIŃSKI,
Krzysztof KOWALIK

Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Mechatroniki i Lotnictwa
ul. gen. Witolda Urbanowicza 2, 00-908 Warszawa
** autor korespondencyjny, e-mail: szygadlo@wat.edu.pl*

Artykuł wpłynął do redakcji 10.04.2017 r.
Zweryfikowaną wersję po recenzji otrzymano 22.06.2017 r.

DOI 10.5604/01.3001.0010.7324

Streszczenie. W artykule przedstawiono stanowisko, które pozwala na zdalne, automatyczne przeprowadzenie kontroli oraz strojenia analogowego toru nadawczo-odbiorczego stacji radiolokacyjnej. Na potrzeby opracowanego rozwiązania zaadaptowano istniejące rozwiązania zdalnego, wielokanałowego rejestratora sygnałów [1].

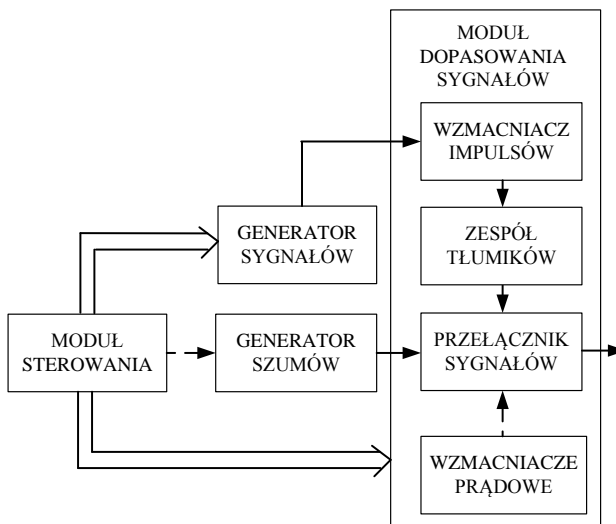
Słowa kluczowe: wielokanałowy rejestrator sygnałów, tor nadawczo-odbiorczy

1. WPROWADZENIE

Opracowanie nowych bądź modernizację istniejących rozwiązań toru nadawczo-odbiorczego stacji radiolokacyjnej poprzedza szczegółowa weryfikacja wielu jego parametrów.

Wymaga to zastosowania zaawansowanego sprzętu pomiarowego, w tym dedykowanych źródeł sygnałów o ściśle określonych parametrach. Mając to na uwadze, podjęto próbę adaptacji istniejącego rozwiązania zdalnego, wielokanałowego rejestratora sygnałów [1] do automatycznej kontroli wybranych parametrów toru nadawczo-odbiorczego stacji radiolokacyjnej. Stosowany obecnie układ rejestratora został doposażony w (rys. 1):

- moduł sterowania;
- moduł strojonego, kalibrowanego generatora sygnałowego;
- moduł strojonego, kalibrowanego generatora szumów;
- moduł dopasowania sygnałów (wzmacniacz impulsów, zespół tłumików, zespół przelazników sygnałów, wzmacniacze prądowe i przełącznik sygnałów).



Rys. 1. Schemat blokowy układu generacji sygnałów

Fig. 1. Generator module flow chart

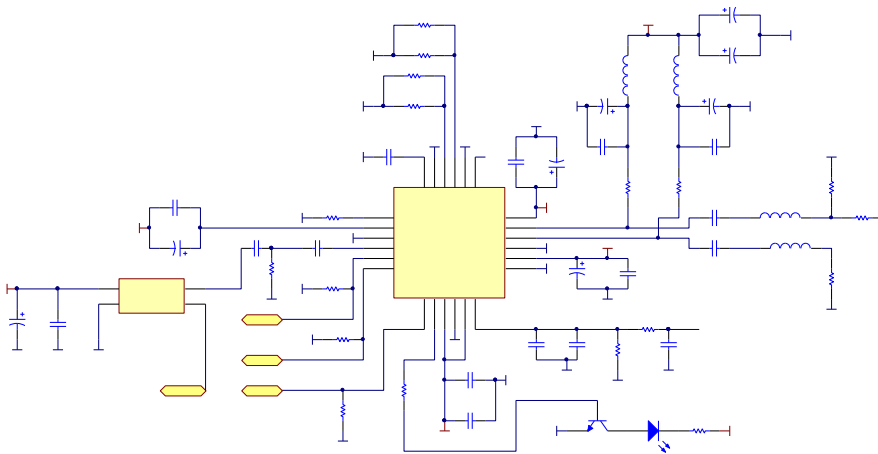
Powstało kompletne stanowisko kontrolno-pomiarowe, które pozwala na zdalne, automatyczne przeprowadzenie kontroli oraz strojenia analogowego traktu nadawczo-odbiorczego stacji radiolokacyjnej.

2. ROZWIĄZANIA SPRZĘTOWE

Pracą stanowiska zarządza opracowany moduł sterowania, który opiera się na procesorze o 32-bitowej architekturze ARM. Sterowanie modułem generatora sygnałów sprowadza się do ustawienia parametrów generowanego sygnału. Odbywa się to poprzez wykorzystanie interfejsu SPI, portów wejść/wyjść ogólnego przeznaczenia oraz wyjścia przetwornika C/A.

Sterowanie generatorem szumów ogranicza się do kontroli i sterowania jego zasilania. W przypadku sterowania modułem dopasowania wykorzystano dwa interfejsy równoległe. Pierwszy składający się z 6-bitowego protokołu odpowiedzialnego za ustawienie wymaganej wartości tłumienia oraz drugi, który wykorzystuje wejścia/wyjścia ogólnego przeznaczenia do sterowania układem przełącznika sygnałów i układami wzmacniaczy.

Moduł strojonego, kalibrowanego generatora sygnałowego przeznaczony jest do kontroli czułości sygnałowej oraz zakresu dynamiki toru odbiorczego. Składa się on z generatora PLL, którego podstawowym zadaniem jest generacja ciągłego sygnału w.cz. regulowanego w częstotliwości. Generator w.cz. zbudowano z wykorzystaniem układu ADF4360, który zawiera szeregową pętlę synchronizacji fazowej (PLL) z wbudowanym generatorem VCO. Elementy niezbędne do pracy układu, tj. filtr pętli, przestrajany generator kwarcowy oraz elementy polaryzujące umieszczono na płytce drukowanej. Schemat ideowy generatora pokazano na rys. 2.



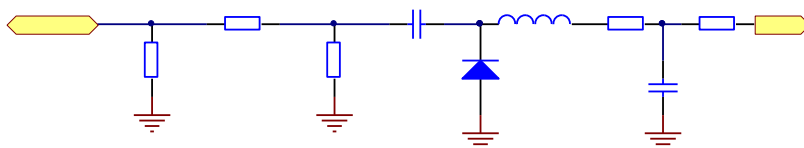
Rys. 2. Schemat ideowy generatora PLL

Fig. 2. Schematic diagram of PLL generator

Układ ADF4360 jest sterowany za pomocą interfejsu SPI liniami CLK, DATA i LE z procesora sterującego. Dodatkowo w celu weryfikacji poprawności działania układów tłumienia ech stałych przewidziano sterowanie zmianami częstotliwości generatora kwarcowego za pomocą podawanego z modułu sterowania sygnału TES, co umożliwi uzyskanie sygnału symulującego cel ruchomy.

Moduł generatora szumów (rys. 3) zbudowano z wykorzystaniem diody szumowej sterowanej przez dzielnik rezystorowy ze stabilizatora prądowego. Poziom szumów wyjściowych generatora ($ENR = 15$ dB) jest typowy dla kalibrowanych źródeł szumowych.

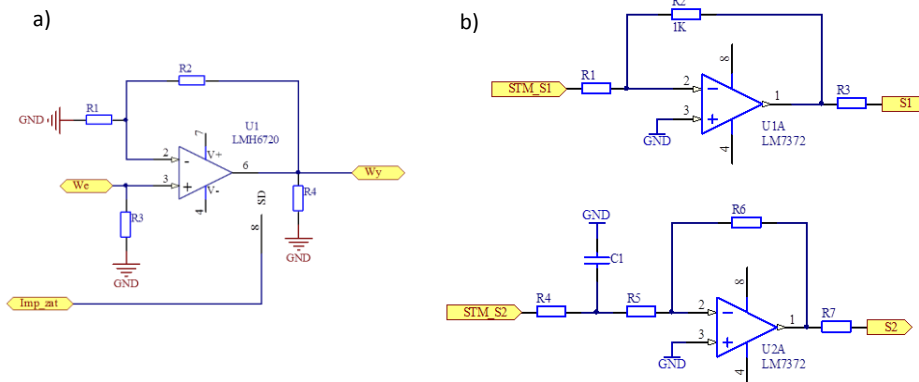
Szumy wyjściowe z generatora podawane są do przełącznika MASW umieszczonego w module dopasowania. Zastosowanie generatora szumów umożliwi ocenę czułości szumowej odbiornika na podstawie pomiaru poziomu amplitudy sygnału wyjściowego przy wyłączonym i włączonym generatorze szumów.



Rys. 3. Schemat ideowy generatora szumów

Fig. 3. Schematic diagram of noise generator

Moduł dopasowania sygnałów wyposażony jest we wzmacniacz impulsowy, wzmacniacze prądowe, przełącznik sygnałów oraz zespół połączonych szeregowo tłumików o regulowanym tłumieniu. Przychodzący z procesora sterującego impuls zatykający podawany jest do wejścia wzmacniacza impulsów (rys. 4a). Stan wysoki odytka wyjście wzmacniacza, natomiast stan niski je zatyka, tłumiąc sygnał wyjściowy o około 60 dB. W ten sposób, ciągły sygnał w.c.z. podawany na wejście We1 wzmacniacza z generatora PLL, zamieniany jest na sygnał impulsowy o czasie trwania ustalonym przez długość impulsu zatykającego.



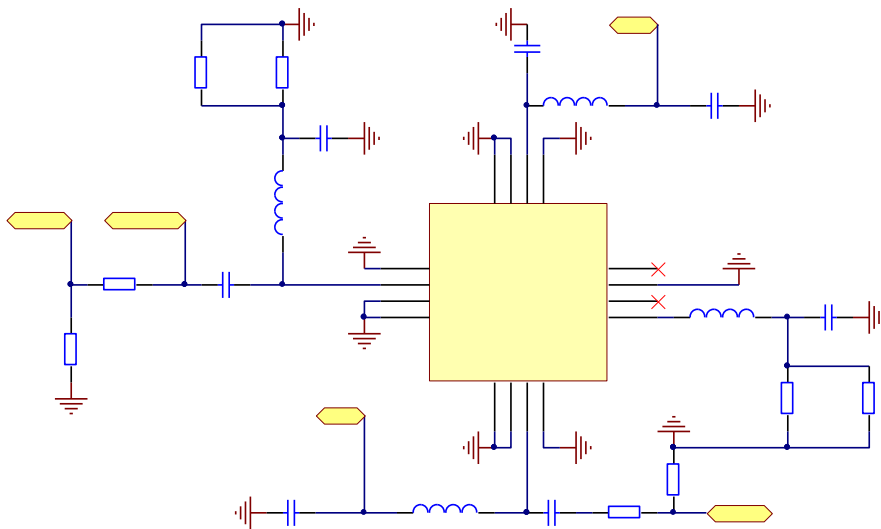
Rys. 4. Schemat ideowy układu sterowania wzmacniacza impulsów (a) oraz wzmacniaczy prądowych (b)

Fig. 4. Schematic diagram of impulse amplifier control system (a) and current amplifiers

Sterowanie przełącznikiem MASW odbywa się za pomocą wzmacniaczy prądowych (rys. 4b). Do wejścia procesora podawany jest impuls synchronizujący, na bazie którego procesor wypracowuje impulsy STM_S1 i STM_S2 podawane następnie do wejścia wzmacniaczy impulsów prądowych S1 i S2 o ujemnej polaryzacji, sterujących przełącznikiem MASW.

Moduł przełącznika (rys. 5) zbudowano na układzie MASW936, którego wewnętrzna struktura oparta jest na sterowanych diodach PIN.

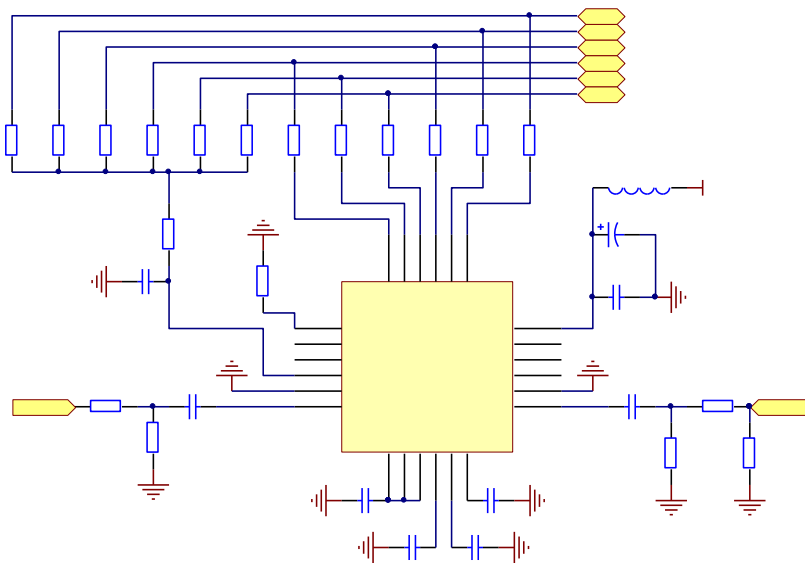
Dodatni impuls sterujący powoduje zatkanie wejść, co zapewnia odpowiednie tłumienie sygnałów w.c.z. Podanie ujemnego impulsu powoduje ich odetkanie i przekazanie sygnałów w.c.z. do wyjścia Wy2, do którego podłączono układ tłumików.



Rys. 5. Schemat ideowy przełącznika MASW

Fig. 5. Schematic diagram of MASW switch

Zadaniem zespołu tłumików zbudowanych na układzie HMC624 (rys. 6), jest umożliwienie oceny czułości sygnałowej odbiornika na podstawie pomiaru poziomu amplitudy ciągłego lub zmodulowanego impulsowo sygnału w.c.z. podawanego z modułu generatora. Do wejść przełączających tłumika z modułu sterowania, podawane są stany niskie T1÷T6. Zmiana stanów umożliwia regulację tłumienia w zakresie (0,5÷60) dB. Po uwzględnieniu tłumienia tłumików rezystorowych i tłumienia przełącznika MASW uzyskano regulację w przedziale 20÷120 dB, co umożliwi ocenę czułości sygnałowej odbiornika w pełnym zakresie.



Rys. 6. Schemat ideowy tłumika T1

Fig. 6. Schematic diagram of T1 attenuator

3. ROZWIĄZANIA PROGRAMOWE

Za pomocą pakietu MathWorks™ Matlab® opracowano model symulacyjny, który zapewnia generowanie przestrzennych trajektorii lotu środków napadu powietrznego. Badania symulacyjne przeprowadzono dla podstawowych profili lotu statków powietrznych [6].

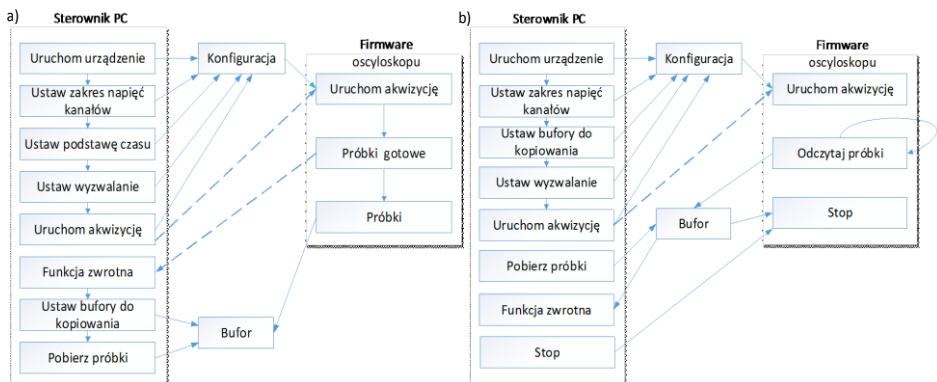
W celu zapewnienia możliwości automatycznej kontroli parametrów toru odbiorczego, opracowano nowe oprogramowanie rejestratora, które sprzęga w jedną całość zaprojektowane i wykonane moduły sprzętowe. W oprogramowaniu warstwy sterowników zapewniono możliwość rekonfiguracji ustawień, które odpowiedzialne są za akwizycję i sterowanie rejestratorem. Oprogramowanie warstwy aplikacji napisano z wykorzystaniem zestawu przenośnych bibliotek i narzędzi programistycznych ukrytych pod nazwą Qt. Takie rozwiązanie łączy zalety obiektowego języka C++, jakimi są szybkość, wydajność i łatwość użycia, z wygodą i uniezależnieniem od systemu operacyjnego. Qt jest wieloplatformowym frameworkiem programistycznym, którego podstawowym składnikiem są klasy odpowiedzialne za graficzny interfejs użytkownika. Cechuje go w pełni obiektowa architektura. Niemal całkowicie zastępuje typy oraz klasy z biblioteki STL.

Główną cechą Qt jest obecność mechanizmu sygnałów i slotów. Mechanizm ten zaprojektowano do komunikacji pomiędzy obiektami, co zwiększa kontrolę nad przepływem zdarzeń wewnątrz aplikacji.

Na etapie projektowania kodu zdecydowano się wykorzystać wzorzec projektowy: Model – Widok – Kontroler (MVC). Oddziela on warstwę prezentacji od warstwy danych, co niesie za sobą wiele zalet. Zmniejsza złożoność każdego z elementów, co więcej – zmiana jednego elementu nie wymusza zmiany drugiego, przy zachowaniu interfejsu komunikacyjnego między nimi. Opracowane oprogramowanie umożliwia konfigurację rejestratora w jednym z czterech trybów pracy:

- tryb blokowy (block mode) – rejestrator przechowuje próbki w wewnętrznej pamięci i po zapelnieniu bufora przesyła je do komputera. Dane mogą być wysyłane wielokrotnie, z różnymi współczynnikami decymacji,
- tryb próbkowania w czasie ekwiwalentnym ETS (z ang. equivalent time sampling) – w trybie tym możliwe jest zwiększenie częstotliwości próbkowania urządzenia przy kilkukrotnym odczytaniu powtarzalnego sygnału. Jest to zmodyfikowana wersja trybu blokowego,
- tryb nagły (rapid block mode) – umożliwia odczytanie kilku przebiegów następujących po sobie z minimalnym odstępem czasowym między nimi,
- tryb strumieniowy (streaming mode) – próbki są przekazywane bezpośrednio do komputera, bez przechowywania ich w pamięci oscyloskopu. Umożliwia to odczytywanie długich sekwencji sygnałów. Maksymalna częstotliwość próbkowania w tym trybie jest o rząd wielkości mniejsza od trybu blokowego i o dwa rzędy wielkości mniejsza od trybu ETS.

Algorytm akwizycji sygnałów w trybie blokowym oraz strumieniowym przedstawiono na rys. 7.

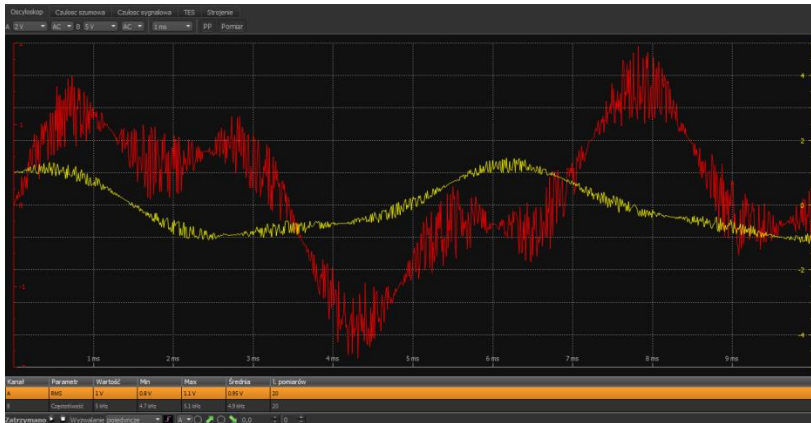


Rys. 7. Algorytm sterowania rejestratora w trybie blokowym (a) i trybie strumieniowym (b)

Fig. 7. Configuration algorithm in block mode (a) and streaming mode (b)

Na potrzeby rejestratora opracowano graficzny interfejs użytkownika, w którym możliwe jest dokonanie pomiarów wymienionych parametrów toru nadawczo-odbiorczego. Po wybraniu określonego trybu, aplikacja konfiguruje parametry rejestratora, które służą do realizacji określonego pomiaru.

Automatyzuje to pracę operatora, który dotychczas był zmuszony wykonać te czynności ręcznie. Wyniki zobrazowane są na ekranie monitora (rys. 8). Oprócz pomiarów automatycznych dostępny jest również ręczny podgląd przebiegów, zarówno w dziedzinie czasu, jak i w dziedzinie częstotliwości.



Rys. 8. Widok zaprojektowanego okna aplikacji

Fig. 8. Graphical user interface

LITERATURA

- [1] Żygadło Stanisław, Stanisław Grzywiński. 2016. „Projekt zdalnego, wielokanałowego rejestratora sygnałów”. *Mechanik* 89(7) : 700-701.
- [2] Ezust Alan, Paul Ezust. 2014. *C++ i QT. Wprowadzenie do wzorców projektowych*. Gliwice: Helion.
- [3] Crowley Patrick. 2012. *Modern Embedded Computing – Designing Connected*. Pervasive, Media-Rich Systems.

Automatic Control System for Transceiver of the Radar Station

Stanisław ŻYGADŁO, Stanisław GRZYWIŃSKI,
Krzysztof KOWALIK

*Military University of Technology, Faculty of Mechatronics and Aerospace,
2 gen. Witolda Urbanowicza Street, 00-908 Warsaw, Poland*

Abstract. This paper describes a control station which allows to test parameters and calibrate the radar transceiver track remotely and automatically. It was assembled using the existing multi-channel remote signal recorder.

Keywords: multi-channel signal recorder, radar transceiver

