

Model generatora kontrolno-pomiarowego wybranych parametrów stacji radiolokacyjnej

Control and measuring generator for inspection of selected radar parameters

STANISŁAW ŻYGADŁO
STANISŁAW GRZYWIŃSKI
KRZYSZTOF ACHTENBERG *

Materiały z XX SKWPIE, Jurata 2016 r.
DOI: 10.17814/mechanik.2016.7.218

W referacie przedstawiono zaprojektowany, a następnie wykonany praktycznie i przebadany model generatora kontrolno-pomiarowego do kontroli wybranych parametrów stacji radiolokacyjnej. Jest to półprzewodnikowy odpowiednik oryginalnego, wbudowanego zespołu strojenia wchodzącego w skład radiolokacyjnej stacji wykrywania i naprowadzania P-18 LAURA.

SŁOWA KLUCZOWE: stacja radiolokacyjna, generator, DDS

Designed, constructed and tested in practice model of generator for control radar parameters was presented in the paper. It is a new semiconductor counterpart of original generator which is built in Detection and Positioning Radar Station P-18 „LAURA”.

KEYWORDS: radiolocation station, generator, DDS

Kontrolę parametrów radiolokacyjnej stacji wykrywania i naprowadzania P-18 LAURA umożliwia obsługa aparatury kontrolno-pomiarowej, zarówno autonomicznej, jak i wbudowanej [1÷3]. Jednym z takich wbudowanych układów jest zespół strojenia służący do generowania sygnałów ciągłych oraz impulsów w.cz. o stałej lub modulowanej częstotliwości. Zespół strojenia posiada możliwość regulacji amplitudy i częstotliwości generowanych sygnałów. Za pomocą tego modułu uzyskuje się możliwość imitacji sygnałów odbitych od przedmiotów terenowych oraz stałych lub ruchomych celów punktowych. Dla tego ostatniego przypadku zespół strojenia generuje dwa impulsy w.cz. o określonej częstotliwości, czasie trwania oraz wymaganym opóźnieniu czasowym i przesunięciu fazowym względem siebie. Imituje się w ten sposób zjawisko Dopplera, w którym zachodzi zmiana częstotliwości, a zarazem fazy sygnału odbitego od obiektu ruchomego. W artykule pokazano projekt oraz praktyczną realizację generatora, który zastępuje oryginalny zespół strojenia. Na etapie projektu rozważano użycie scalonych pętli synchronizacji fazowej (PLL) bądź układu bezpośredniej syntezy cyfrowej (DDS). Zdecydowano się na użycie generatora sygnału sinusoidalnego działającego w oparciu o bezpośrednią syntezę cyfrową.

Model generatora DDS

Parametrem, który odgrywał decydującą rolę przy doborze układu DDS, była maksymalna częstotliwość sygnału wyjściowego, ściśle uzależniona od częstotliwości taktowania rdzenia układu. W celu osiągnięcia małych zniekształceń sygnału przy częstotliwości wyjściowej sięgającej 170 MHz wybrano układ AD9910 firmy Analog Devices, taktowany sygnałem 1 GHz [4]. Charakteryzuje się on następującymi parametrami:

- 14-bitowy przetwornik cyfrowo-analogowy;
- minimalny krok przestrajania częstotliwości 0,23 Hz;
- szumy fazowe poniżej -125 dBc/Hz, przy offsecie 1 kHz dla sygnału 400 MHz;

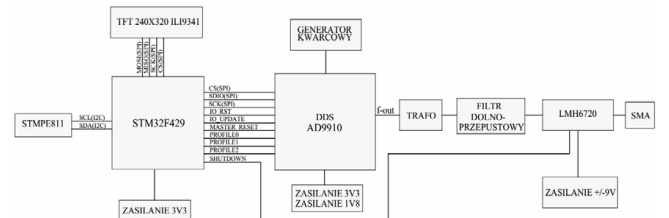
* Dr inż. Stanisław Żygadło (szygadlo@wat.edu.pl); mgr inż. Stanisław Grzywiński (sgrzywinski@wat.edu.pl); inż. Krzysztof Achtenberg (krzych932@o2.pl) – Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Mechatroniki i Lotnictwa

- sterowanie szeregowo lub równoległe z możliwością komunikacji powrotnej;
- sprzętowa funkcja przemiatania częstotliwością, fazą lub amplitudą oraz modulacji amplitudy i fazy;
- sprzętowa lub programowa funkcja „power-down”;
- wbudowana pamięć RAM i PLL;
- zasilanie 1,8 V (dla rdzenia) oraz 3,3 V.

Do sterowania układu AD9910 zastosowano 32-bitowy mikrokontroler STM32F429ZIT6 oparty na architekturze ARM [5]. Charakteryzuje się on następującymi parametrami:

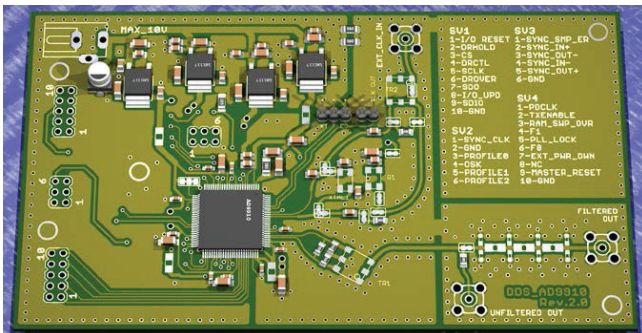
- maksymalna częstotliwość taktowania 168 MHz;
- 2 MB pamięci Flash;
- 32-bitowe rejestry sterujące;
- rdzeń Cortex M4;
- 114 sterowalnych linii wejścia-wyjścia podzielonych z portów;
- dwanaście timerów 16-bitowych i dwa 32-bitowe;
- napięcie zasilania od 1,7 V do 3,3 V.

Schemat połączenia układu AD9910 z elementami zapewniającymi jego poprawną pracę pokazano na rys. 1. Oprogramowanie zaimplementowane na mikrokontrolerze zostało napisane i skompilowane w dedykowanym dla procesorów ARM środowisku Keil μ Vision 4.

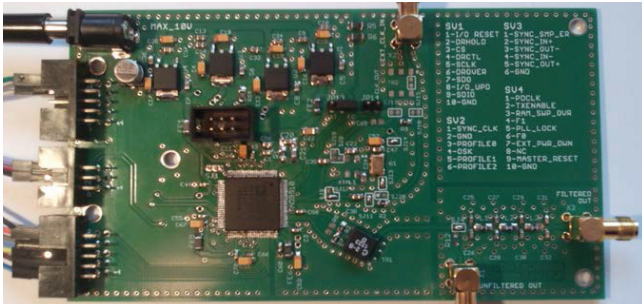


Rys. 1. Schemat blokowy generatora z układem AD9910

Wykorzystując program Altium Designer, zaprojektowano dwustronną płytkę drukowaną o wymiarach 77 x 135 mm (rys. 2), optymalizując ją pod kątem uzyskania minimalnych zniekształceń sygnału w.cz. Między innymi przewidziano złącza umożliwiające taktowanie rdzenia DDS z rezonatora kwarcowego, generatora kwarcowego lub generatora zewnętrznego. Do wzmacniacza wyjściowego sygnał podawany jest przez filtr dolnoprzepustowy o częstotliwości granicznej 400 MHz. Masę układu poprowadzono w postaci tzw. pół oraz podzielono na część analogową oraz cyfrową. Układ zasilają cztery stabilizatory scalone typu LM1117 oddzielnie dla części cyfrowej i analogowej. Kondensatory tantalowe 47 μ F oraz ceramiczne 100nF na ścieżkach zasilających zostały umieszczone blisko wyprowadzeń układu DDS oraz stabilizatorów. Do produkcji płytki został wykorzystany laminat FR4 o grubości 1,5 mm pokryty warstwą miedzi o grubości 35 μ m. Ścieżki przewodzące sygnały zegarowe oraz sygnał wyjściowy zostały otoczone przelotkami pełniącymi rolę ekranów zapobiegających sprzęganiu się sygnałów. Widok płytki drukowanej z zamontowanymi elementami pokazano na rys. 3.



Rys. 2. Widok modelu płytki drukowanej – wydruk z program Altium Designer



Rys. 3. Widok płytki drukowanej z zamontowanymi elementami

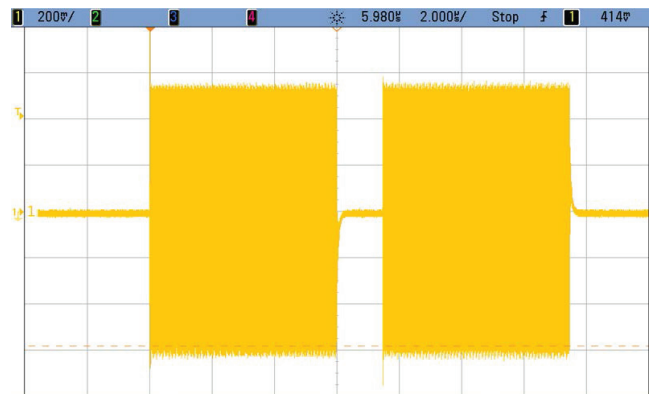
Po włączeniu zasilania w pierwszej kolejności mikrokontroler ustawia rejestry odpowiadające za sterowanie sygnałami zegarowymi. Konfiguruje on pętlę synchronizacji fazowej w celu uzyskania sygnału o częstotliwości 72 MHz, taktującego układ, oraz uruchamia sygnały zegarowe dla poszczególnych układów wejścia-wyjścia potrzebnych dla prawidłowej pracy urządzenia. Są to m.in. sygnały zegarowe portów GPIO (ang. *General Purpose Input/Output*, wejście/wyjście ogólnego przeznaczenia), interfejsów komunikacyjnych oraz układów licznikowych. Do komunikacji z układem AD9910 wykorzystano linie „MISO”, „MOSI” i „SCLK” interfejsu SPI. Reset układu DDS odbywa się poprzez odpowiednie wystereowanie linii „MASTER RESET” oraz „IO RESET”. Podstawową procedurą jest konfiguracja rejestru zawierającego ustawienia taktowania układu (CFR3 – *Control Function Register 3*). Po ustawieniu rejestrów konfiguracyjnych wprowadzane są dane do rejestrów, które ustalają parametry sygnału wyjściowego. Należą do nich częstotliwość, amplituda oraz faza początkowa. Po tej operacji oraz odpowiednim wystereowaniu linii ustawień profili układu (posiada ich 8) DDS zaczyna generować sygnał o parametrach zapisanych w rejestrach.

Przygotowanie układu DDS do pracy zrealizowano za pomocą zestawu uruchomieniowego STM32-DISCO [6], wyposażonego w wyświetlacz TFT z panelem dotykowym.

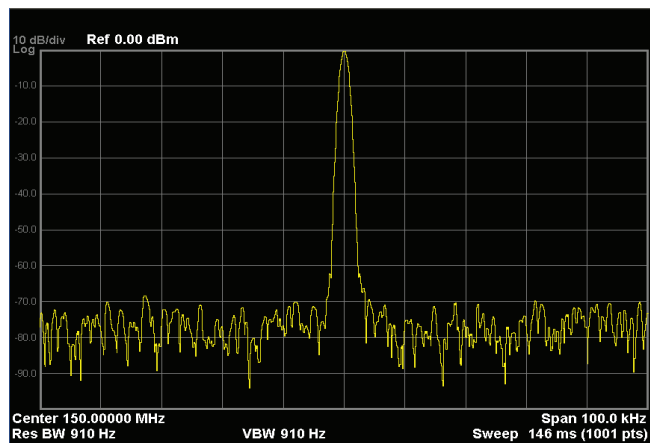
Po wykonaniu inicjalizacji sterownika wyświetlacza ILI9341 wyświetlona zostaje klawiatura, za pomocą której możliwe jest wprowadzanie ustawień modelu generatora. Za interakcję z użytkownikiem odpowiedzialny jest panel dotykowy umieszczony bezpośrednio nad wyświetlaczem. Do komunikacji pomiędzy nim a mikrokontrolerem został wykorzystany układ STMP811 pracujący na magistrali I²C [8]. Użytkownik ma możliwość wprowadzania częstotliwości wyjściowej sygnału, fazy początkowej oraz pracy ciągłej lub modulacji impulsowej generatora.

Wybrane wyniki badań

Po uruchomieniu urządzenia dokonano pomiaru parametrów sygnału wyjściowego. Na rys. 4–5 pokazano wybrane wyniki badań laboratoryjnych układu DDS. Pracę impulsową zrealizowano za pomocą wzmacniacza operacyjnego LMH6720 z funkcją szybkiego włączania/wyłączania (*pin shutdown*) [9].



Rys. 4. Oscylogram sygnału wyjściowego DDS – praca impulsowa



Rys. 5. Widmo sygnału wyjściowego DDS

Odpowiednie wystereowanie linii procesora odpowiadające za funkcję kluczowania sygnału, wprowadzenie do układu AD9910 odpowiednich ustawień oraz zsynchronizowanie jego pracy ze wzmacniaczem pozwoliło otrzymać złożenie dwóch impulsów. Ten sposób umożliwia imitację celu ruchomego.

Podsumowanie

W referacie przedstawiono zaprojektowany, a następnie wykonany praktycznie i przebadany model generatora kontrolno-pomiarowego do kontroli wybranych parametrów stacji radiolokacyjnej. Jest to półprzewodnikowy odpowiednik oryginalnego, wbudowanego zespołu strojenia wchodzącego w skład radiolokacyjnej stacji wykrywania i naprowadzania P-18 „LAURA”. Zawarte w artykule wyniki mogą być wykorzystane przy modernizacji tej stacji.

LITERATURA

1. „Stacja radiolokacyjna wykrywania i naprowadzania P-18-1”. Opis techniczny. MON, Uzbr. 1913/78.
2. „Stacja radiolokacyjna wykrywania i naprowadzania P-18-1”. Album schematów. MON, Uzbr. 1934/78.
3. „Stacja radiolokacyjna P-18-1”. Podręcznik dla operatorów. MON, OPK. 861/81.
4. „1 GSPS, 14-Bit, 3.3 V CMOS Direct Digital Synthesizer AD9910”, Analog Devices, Norwood U.S.A. 2012.
5. „Reference manual, STM32F405/415, STM32F407/417, STM32F427/437 and STM32F429/439 advanced ARM-based 32-bit MCUs”, STMicroelectronics, 2015.
6. „User manual, Discovery kit for STM32F429/439 lines”, STMicroelectronics, 2013.
7. „ILI9341 a-Si TFT LCD Single Chip Driver 240RGBx320 Resolution and 262K color Specification”, Ilitek, Jhubei City 2011.
8. „STMP811 resistive touchscreen controller advanced features”, STMicroelectronics, 2015.
9. „LMH6714/LMH6720/LMH6722/LMH6722Q Wideband Video Op Amp; Single, Single with Shutdown and Quad”, Texas Instruments, Dallas 2013.