

XIV Seminarium
ZASTOSOWANIE KOMPUTERÓW W NAUCE I TECHNICIE' 2004
Oddział Gdański PTETiS

**BADANIE WYBRANYCH WŁAŚCIWOŚCI METROLOGICZNYCH
PRZETWORNIKÓW A/C W ZINTEGROWANYM ŚRODOWISKU
PROGRAMISTYCZNYM VEE PRO**

Piotr LESIAK¹, Piotr GOŁĄBEK¹

1. Politechnika Radomska, Wydział Transportu, ul. Malczewskiego 29, 26-600 Radom
tel: (48)3617705 fax: (48)3617742 e-mail: plesiak@pr.radom.net

Artykuł przedstawia system do badania statycznych parametrów przetworników analogowo-cyfrowych, zrealizowany za pomocą zintegrowanego środowiska programistycznego VEE Pro. System obejmuje dwa moduły. W pierwszym realizowana jest symulacja behawioralna przetwornika A/C, dzięki której możliwe jest efektywne zapoznanie się z definicjami i charakterem parametrów statycznych przetwornika. Drugi moduł obejmuje badania sprzętowe przetwornika A/C. Badanym obiektem jest przetwornik wbudowany w mikrokontroler AT-MEGA 128 firmy ATMEL. Układem referencyjnym, zapewniającym generację napięć wejściowych dla przetwornika jest precyzyjna karta pomiarowa DAQBoard 2000 firmy IOTech. Sterowanie tą kartą, odczyt odpowiedzi badanego przetwornika, gromadzenie oraz przetwarzanie danych zostało zrealizowane w środowisku VEE Pro. Artykuł opisuje wybrane ważniejsze aspekty realizacji systemu.

1. WPROWADZENIE

Przetworniki analogowo-cyfrowe to podstawowe bloki funkcjonalne współczesnej techniki pomiarowej. Na rynku dostępnych jest wiele implementacji tych przetworników o zróżnicowanych parametrach, dlatego bardzo ważne są metody ich porównywania. Potrzeba ta znalazła swoje potwierdzenie w wysiłku standaryzacyjnym podjętym przez IEEE [1], a później także przez Unię Europejską, w ramach 4-tego Programu Ramowego [2].

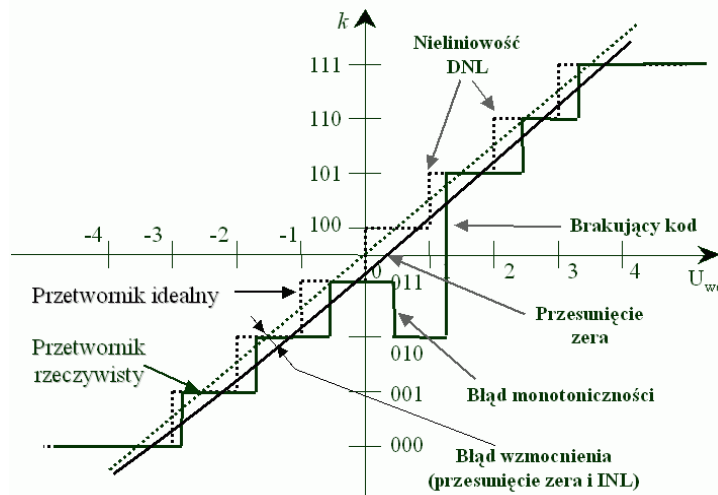
Prezentowany w artykule zestaw eksperymentów pomaga zrozumieć istotę parametrów metrologicznych takich przetworników oraz sposoby ich wyznaczania. Jakość produkowanych obecnie przetworników jest z reguły na tyle wysoka, że trudno wywołać czytelne efekty obrazujące typowe błędy. Jednak z drugiej strony poszerza się zasób i dostępność środków technicznych umożliwiających precyzyjne badania. Jedną z najważniejszych zalet, jest możliwość zastosowania w eksperymencie komputera (lub mikrokontrolera), do automatycznego przeprowadzanie wielkiej ilości prób z akwizycją dużej ilości danych pomiarowych, co pozwala na realizację eksperymentów o charakterze statystycznym.

Zintegrowane pomiarowe środowiska programistyczne, takie jak VEE Pro, pozwalają na łatwe przetwarzanie i precyzyjną wizualizację wyników badań. W opisywanym eksper-

rymencie, użyty został jako badany obiekt, przetwornik wbudowany w mikrokontroler. Z jednej strony pozwala to na wyraźniejsze zobrazowanie jego błędów niż w przypadku specjalizowanego, precyzyjnego przetwornika, z drugiej strony można łatwo wykorzystać autonomię mikrokontrolera do realizacji eksperymentu.

2. TYPOWE PARAMETRY METROLOGICZNE PRZETWORNIKA A/C

Spośród wielu możliwych sposobów oceny właściwości metrologicznych przetworników A/C, jednym z najbardziej typowych jest określanie parametrów statycznych oraz dynamicznych [3,4]. Artykuł ten zajmuje się jedynie parametrami statycznymi - wyznaczanymi w warunkach ustalonych lub quasi-statycznymi - wyznaczanymi dla przetwarzania przebiegów wolnozmiennych. Parametry statyczne określają błędy przetwarzania w stosunku do teoretycznego, idealnego przetwornika A/C. Większość z tych parametrów daje się wyznaczyć na podstawie charakterystyki przejściowej przetwornika. Dokładne definicje parametrów statycznych są szeroko opisane w literaturze [3,5]. Na rysunku 1 przedstawiono charakterystykę przejściową z zaznaczonymi typowymi błędami. Wynika z tego, że podstawową metodą do wyznaczania parametrów statycznych przetwornika, jest precyzyjny pomiar jego charakterystyki przejściowej.



Rys. 1 Charakterystyka przejściowa idealnego i rzeczywistego przetwornika A/C z zaznaczeniem błędów przetwarzania

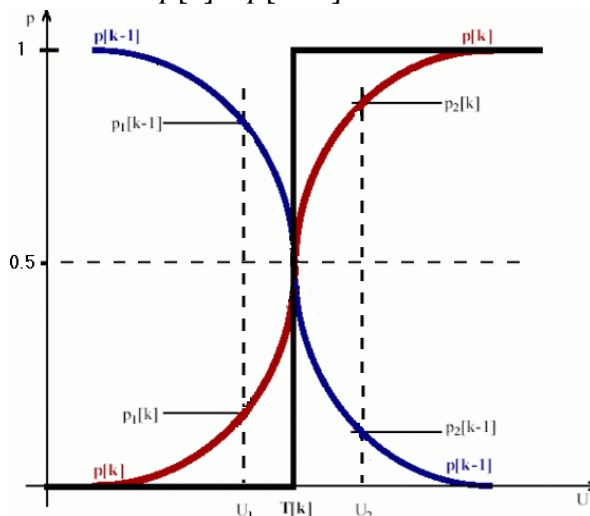
Naturalnym sposobem wyznaczenia charakterystyki przejściowej, jest ustawianie z odpowiednio dużą rozdzielczością napięcia wejściowego przetwornika w zakresie obejmującym zarówno wartość przesunięcia zera jak i wartość FSR (Full Scale Range - napięcie odpowiadające największemu słowu kodowemu) i odczytywanie wartości kodu na wyjściu dla poszczególnych napięć. Taka metoda zakłada deterministyczną definicję przetwornika, określającą ustalone wartości napięcia wejściowego, przy których następuje zmiana kolejnego słowa kodowego na wyjściu. Dla idealnego przetwornika poziomo te definiuje się, jako (unipolarne napięcie wejściowe):

$$T[k] = (k + 0.5)V_{FSR} 2^{-N} \quad (1)$$

przy czym N to rozdzielczość (ilość bitów) przetwornika, $T[k]$ - poziom napięcia wejściowego odpowiadający przejściu od słowa k do słowa $k+1$ na wyjściu a V_{FSR} - wartość napięcia pełnego zakresu przetwornika.

Możliwa jest jednak także probabilistyczna definicja funkcji przejściowej, określająca prawdopodobieństwa wytworzenia słowa kodowego k oraz $k+1$ w otoczeniu granicy $T[k]$. Idea jest zilustrowana na rysunku 2. Poziomy zmiany słowa kodowego są zdefiniowane według tej definicji jako te napięcia wejściowe, dla których spełniony jest warunek:

$$p[k] = p[k-1] = 0.5 \quad (2)$$



Rys. 2 Ilustracja probabilistycznej definicji zmiany słowa kodowego na wyjściu przetwornika. Pokazane są dwa hipotetyczne rozkłady prawdopodobieństwa $p[k-1]$ oraz $p[k]$

Definicja ta jest o wiele bardziej realistyczna i pociąga za sobą odmienną procedurę pomiarową. Aby wyznaczyć granice przejść należy oszacować rozkłady prawdopodobieństw $p[k]$ oraz $p[k-1]$ albo przynajmniej - punkt, dla którego spełniony jest warunek (2). Empirycznie jest to możliwe poprzez przeprowadzenie odpowiednio dużej ilości pomiarów w okolicach spodziewanego napięcia $T[k]$, np. w okolicy teoretycznej wartości danej wzorem (1). Przy zwiększaniu napięcia będzie malała ilość pomiarów, które dadzą w wyniku słowo $k-1$ a rośla ilość pomiarów ze słowem k . Punkt, w którym względne częstości występowania obu słów zrównają się będzie oszacowaniem granicy $T[k]$. Z opisu widać, że jest to dość pracochłonna metoda pomiarowa. Aby uzyskać precyzję wyznaczenia wartości przejścia wraz z zapewnieniem odpowiedniego poziomu statystycznej pewności, dla każdego testowanego napięcia należy przeprowadzić od kilkuset do kilku tysięcy pomiarów. Czyni to procedurę praktycznie nieprzydatną dla badań ręcznych. Jednak zastosowanie systemu opisanego w dalszej części uwalnia operatora z całego wysiłku i umożliwia uzyskanie charakterystyki przejściowej o wysokiej dokładności.

Podobny charakter ma inna procedura pomiarowa - wyznaczenie wartości parametrów DNL (nieliniowość różniczkowa) oraz INL (nieliniowość całkowa) za pomocą metody histogramów szczególnie opisanej w [6]. W metodzie tej na wejście przetwornika podaje się sinusoidalny przebieg wolnozmienny (o bardzo precyzyjnie nastawianych parametrach).

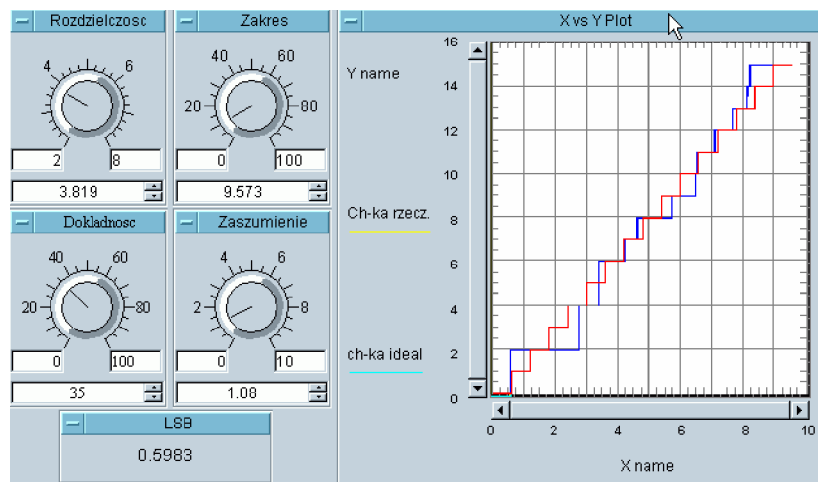
Następnie dokonuje się wielokrotnego regularnego próbkowania tego przebiegu za pomocą badanego przetwornika A/C. Okres próbkowania powinien być oczywiście na tyle krótki, żeby zapewnić wielokrotne zarejestrowanie każdego słowa kodowego (a więc wie-

lokrotnie krótszy niż najkrótszy czas zmiany amplitudy sinusoidy o jeden kwant przetwornika). Realizowane jest wiele przebiegów pomiarowych o czasie trwania równym całkowitej wielokrotności okresu sinusoidy. W rezultacie można zbudować histogram ilości (względnej częstości) występowania poszczególnych kodów cyfrowych w badaniu. Nierównomierność histogramu bezpośrednio świadczy o nierównomiernościach szerokości przedziałów $T[k]-T[k-1]$, a więc o błędzie DNL. Jednak na podstawie histogramu można wyznaczyć także całą charakterystykę przejściową, a w szczególności także błąd INL. Procedura jest bardzo intensywna pomiarowo, wymagając przeprowadzenia kilkudziesięciu do kilkuset tysięcy pomiarów, w zależności od oczekiwanego poziomu pewności statystycznej, rozdzielczości przetwornika, itp. Również w tym przypadku automatyczny system pomiarowy jest praktycznie jedynym rozwiązaniem.

3. BADANIE PRZETWORNIKA A/C

3.1. Model behawioralny

Aby zapewnić dobre zrozumienie charakterystyki, system został wyposażony w moduł symulacyjny, umożliwiający generację charakterystyki przejściowej przy różnych zadanych parametrach pracy przetwornika (rozdzielczości wyrażonej jako efektywna liczba bitów, zakłóceniach powstających w stopniach wejściowych przetwornika, itp.). Zastosowany model behawioralny nie odwzorowuje żadnej konkretnej realizacji przetwornika, a koncentruje się jedynie na modelowaniu funkcji przenoszenia z uwzględnieniem kształtujących ją czynników. Pozwala to na zobrazowanie typowych parametrów statycznych. Model zrealizowany jest jako skrypt MATLABA osadzony w schemacie VEE. Na rysunku 3 pokazana jest przekładowa charakterystyka przejściowa, obrazująca efekt gubionych kodów i nieliniowości różniczkowej.

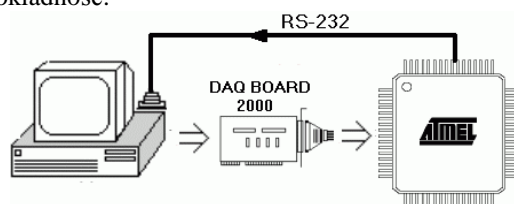


Rys. 3 Behawioralna symulacja przetwornika A/C w środowisku VEE Pro

3.2. Badanie rzeczywistego przetwornika - układ pomiarowy

Badanie rzeczywistego przetwornika obejmuje wyznaczenie charakterystyki przejściowej klasyczną metodą (zmiana napięcia od zera do pełnej skali z rejestracją poziomów, dla których nastąpiła zmiana kodu na wyjściu) oraz opisanymi metodami statystycznymi.

Układ pomiarowy przedstawiony jest schematycznie na rysunku 4. Obiektem badanym jest przetwornik A/C wbudowany w mikrokontrolerze ATMEGA 128 firmy ATMEL. Jest to 10-bitowy przetwornik z sukcesywną aproksymacją. Wprawdzie nota aplikacyjna podaje dobrą dokładność przetwornika w warunkach znamionowych (np. INL = 0.5 LSB), ale zmiana napięcia zasilania, zmiana częstotliwości taktowania czy też wprowadzenie szumu cyfrowego związanego z przetwarzaniem realizowanym przez rdzeń procesora potrafią pogorszyć tę dokładność.



Rys. 4 Schemat blokowy systemu badania przetwornika A/C wbudowanego w procesor ATMEGA 128

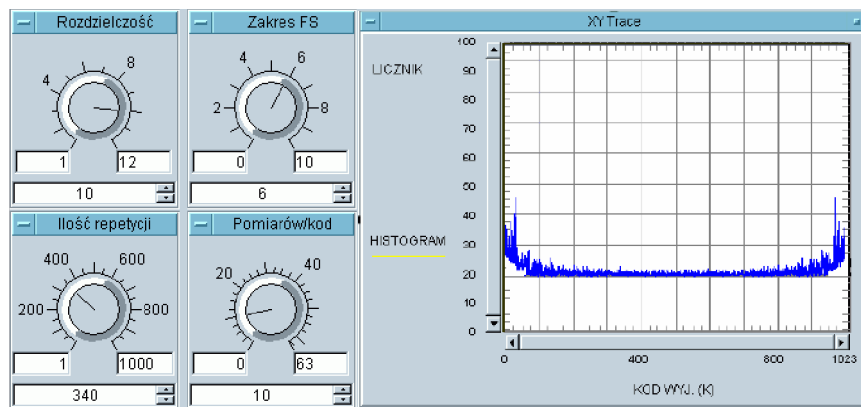
Sygnal wejściowy do badanego przetwornika jest podawany z wyjścia analogowego karty DAQBoard 2000 firmy IOtech, wyposażonej m.in. w 4 analogowe kanały wyjściowe z 16. bitowymi przetwornikami. Rozdzielczość o 6 bitów większa niż dla przetwornika w mikrokontrolerze, zapewnia wystarczającą dokładność badań. Jeden z wyjściowych kanałów analogowych dostarcza do przetwornika sygnał wejściowy, drugi zapewnia napięcie FS przetwornika, natomiast trzeci zasila mikrokontroler (umożliwiając zmianę w stosunku do wartości znamionowych). Karta DAQBoard 2000 nie ma fabrycznego sterownika dla systemu VEE Pro, ma natomiast bardzo dobrze udokumentowany interfejs programistyczny zrealizowany jako biblioteki DLL, co pozwala na integrację ze środowiskiem VEE.

Mikrokontroler ATMEGA 128 został wyposażony w oprogramowanie zapewniające wymianę danych z komputerem za pośrednictwem interfejsu RS-232 oraz realizację dwóch trybów wyznaczania charakterystyki przejściowej (punkt po punkcie oraz za pomocą histogramu). Zrealizowany prosty interpreter poleceń, umożliwia sterowanie procesorem za pośrednictwem sterownika DirectIO z systemu VEE. Mikrokontroler wyposażony jest w układy odmierzenia czasu oraz wewnętrzny bufor pamięci SRAM (4kB), co w badaniach za pomocą histogramu, rysunek 5, umożliwia gromadzenie danych z jednego cyklu pomiarowego i późniejsze przesyłanie całego wektora do systemu VEE. Poprawia to znacznie warunki badania.

4. WNIOSKI

W artykule przedstawiono sposób badania wybranych parametrów metrologicznych przetworników analogowo-cyfrowych w warunkach statycznych i quasi-statycznych. Do realizacji badań opracowana została konstrukcja systemu pomiarowego kontrolowanego przez komputer.

Interesującą kontynuacją będzie wyposażenie systemu w badania parametrów dynamicznych przetworników.



Rys. 5 Histogram ilości wystąpień kodów wyjściowych, wyznaczony przez system w środowisku VEE Pro

5. BIBLIOGRAFIA

1. IEEE Std. 1241 - 2000: Standard for Terminology and Test Methods for Analog-to-Digital Converters, Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. New York, USA, 2000.
2. Projekt DYNAD: Methods and Draft Standards for the Dynamic Characterization and Testing of Analog to Digital Converters, <http://telecom.inescn.pt/projects/dynad.html>.
3. Plassche van de, R.: Scalone przetworniki analogowo-cyfrowe i cyfrowo-analogowe, Warszawa WKŁ 1997, ISBN 83-206-1217-9.
4. Lesiak P., Świsulski D.: Komputerowa technika pomiarowa w przykładach. Warszawa Agenda Wydawnicza PAK 2002, ISBN 83-87982-85-7.
5. Maxim App. Note 283: INL/DNL Measurements for High-Speed Analog-to-Digital Converters (ADCs), http://www.maxim-ic.com/appnotes.cfm/appnote_number/283, Wrzesień 2000.
6. Maxim App. Note 2085: Histogram Testing Determines DNL and INL Errors, http://www.maxim-ic.com/appnotes.cfm/appnote_number/283, Maj 2003.

TESTING SELECTED METROLOGICAL PARAMETERS OF THE D/A CONVERTER USING THE VEE PRO INTEGRATED PROGRAMMING ENVIRONMENT

The paper presents didactic test of experiments for testing the static parameters of the D/A converters, implemented with the VEE PRO integrated programming environment. The set consists of two modules. The first one presents behavioral modeling of the converter. The simulation effectively introduces the students to the definitions and the characteristic of the static converter parameters. The second module implements hardware testing of the real converter. As a tested object the DAC embedded into ATMEL ATMEGA 128 was chosen. As a reference input voltage supply, the DAQ Board 2000 from IoTech was used. The VEE Pro drives the board, performs the readouts of the conversion results, collects the data and visualizes the parameters. The paper presents some major aspects of the experiment implementation.