

Krzysztof ARNOLD

POLITECHNIKA POZNAŃSKA, WYDZIAŁ ELEKTRONIKI I TELEKOMUNIKACJI,
ul. Polanka 3, 60-965 Poznań

Kompensacja niedopasowania szybkości szeregowej asynchronicznej transmisji danych w systemach pomiarowych z mikrokontrolerem ATmega16A w zakresie niskich temperatur

Dr inż. Krzysztof ARNOLD

Absolwent Wydziału Elektroniki Politechniki Gdańskiej. Pracuje jako adiunkt w Katedrze Systemów Telekomunikacyjnych i Optoelektroniki na Wydziale Elektroniki i Telekomunikacji Politechniki Poznańskiej. W pracy naukowej zajmuje się problemami pomiarów charakterystyk i parametrów sygnałów stochastycznych, tematyką akwizycji danych w systemach pomiarowych oraz zagadnieniami projektowania, diagnostyki i rozwoju mikroprocesorowych systemów pomiarowych.

e-mail: karnold@et.put.poznan.pl



Streszczenie

W pracy przedstawiono problem cieplnych zmian szybkości asynchronicznej transmisji szeregowej w systemie pomiarowym. Omówiono komunikację kontrolera systemu z układem ATmega16A w bloku akwizycji danych. Zaprezentowano zmiany współczynnika dopasowania szybkości nadajnika i odbiornika dla temperatur zmniejszanych do 77K. Zaproponowano sposób kompensacji niedopasowania szybkości transmisji w systemach pomiarowych z układem ATmega16A, pracujących w zakresie niskich temperatur.

Słowa kluczowe: systemy pomiarowe, transmisja szeregowa asynchroniczna, kompensacja dryftu temperatury.

Compensation of the baud rate mismatch of asynchronous data communication in measurement systems with the ATmega16A microcontroller at low temperatures

Abstract

The paper presents a problem of asynchronous serial transmission between the blocks of a measurement system working at different temperature ranges. In such conditions the receiver operational range is dependent on the mismatch between the received bit rate and the internally generated baud rate. There is discussed the communication of a system controller with an ATmega16A device within the data acquisition path. In the paper there are also presented the results of USART baud rate and clock signal frequency tests conducted for an internal RC oscillator of the ATmega16A microcontroller at low temperatures with the lowest point at 77K. The low-temperature characteristics of changes of the baud rate for the rated standard initial values are shown. There are considered conditions of effective asynchronous data transmission when the USART module of the ATmega16A microcontroller is used, because the accuracy of the USART internal baud rate clock depends on the internal RC oscillator temperature drift and the length of USART baud rate registers. There are calculated error characteristics of the $UBRR$ coefficient changes and the obtained results are compared with the total error and the recommended receiver error defined for the ATmega16A USART module. In the paper the compensation method for the data rate mismatch is proposed.

Keywords: measurement systems, asynchronous serial transmission, compensation of temperature drift.

1. Wstęp

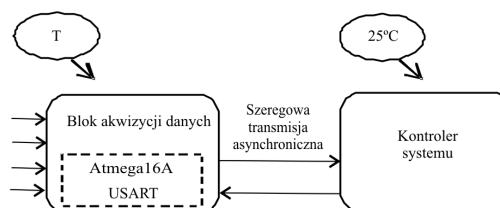
Wprowadzanie zaawansowanych mikrokontrolerów i układów programowalnych do systemów pomiarowych jest równoznaczne z przejmowaniem przez układy scalone LSI i VLSI funkcji systemowych, a także przesuwaniami granic, oddzielających klasyczne bloki systemu pomiarowego. Postępujący rozwój struktur wbudowanych przyczynia się do znacznej poprawy właściwości metrologicznych systemów pomiarowych. Ta korzystna integracja

struktur i funkcji spotyka jednak przeszkodę w przypadku konieczności odrębnego umiejscowienia bloków systemu. Terytorialne rozłożenie bloków skutkuje, zwłaszcza w systemach rozproszonych, odmiennością lokalnych warunków pracy układów scalonych. Dotyczy to również prowadzenia pomiarów w zakresie niskich temperatur, gdy blok akwizycji danych jest oddalony od kontrolera systemu i poddany działaniu niskiej temperatury.

Oddalenie bloków wymaga zapewnienia prawidłowej komunikacji między nimi. W tym celu często wykorzystuje się szeregową asynchroniczną transmisję przewodową. Czujniki inteligentne i mikrokontrolery, umieszczane w blokach akwizycji danych, są zwykle wyposażone w jeden lub kilka interfejsów cyfrowych [1, 2, 3]. W przypadku mikrokontrolerów wbudowane moduły USART pozwalają na nawiązanie łączności, także wielokanałowej [4, 5], w standardzie RS232C. Zapewnia to dużą odporność na zakłócenia, przy zasięgu łącza do 15 m lub z pętlą prądową do kilkuset metrów [6]. Dla małych odległości stosowana jest konwersja RS232/USB. Mechanizm synchronizacji ramek pozwala na bezpieczne przekazywanie danych pomiarowych nawet wtedy, gdy szybkości transmisji dla bloku akwizycji i kontrolera systemu nie są jednakowe [1]. Wpływ temperatury na szybkość transmisji w bloku akwizycji danych może jednak sprawić, że poprawny odbiór wyników pomiarów przez kontroler systemu stanie się niemożliwy.

2. Szeregową asynchroniczną transmisją danych w systemach pomiarowych

Kontroler systemu i blok akwizycji danych z mikrokontrolerem (rys. 1), łączone jako dwie standardowe stacje DTE (ang. Data Terminal Equipment), posiadają własne źródła sygnałów zegarowych transmisji. W kontrolerach klasy PC i specjalizowanych mikroprocesorowych układach peryferyjnych jest zwykle wykorzystywana stabilna i dokładna częstotliwość rezonatora kwarcowego. Podstawa czasowa transmisji szeregowej w mikrokontrolerach jest natomiast bardzo często ustalana w oparciu o wewnętrzny, mniej dokładny oscylator RC.



Rys. 1. Schemat funkcjonalny standardowego połączenia dwóch stacji DTE
Fig. 1. Functional diagram of DTE-DTE communication

Częstotliwość oscylatora powinna być dobierana tak, aby na drodze jej podziału przez liczbę naturalną uzyskać standardowe szybkości transmisji, co nie zawsze jest możliwe. Częstotliwości oscylatorów RC podlegają ponadto rozrzutom produkcyjnym. Oznacza to, że szybkości transmisji, określone po przeciwnych stronach łącza, mogą się różnić nawet wtedy, gdy blok akwizycji danych i kontroler systemu pracują w tej samej temperaturze.

Szybkość transmisji szeregowej prowadzonej przez wbudowane do mikrokontrolerów AVR moduły USART jest funkcją częstotliwości oscylatora f_{OSC} i współczynnika podziału częstotliwości $UBRR$, który jest programowany w rejestrze funkcyjnym. W trybie pracy Asynchronous Normal Speed, zapewniającym

lepszą synchronizację bitu startu, szybkość B jest wyrażana w bitach na sekundę i dana wzorem [1]:

$$B = \frac{f_{osc}}{16 \cdot (UBRR + 1)} \quad (1)$$

W transmisji między blokami systemu szybkość nadawania B_N i szybkość odbioru B_O powinny być ustawiane jednakowo [6, 7]. Miarą odchylenia szybkości nadawcy i odbiorcy jest współczynnik dopasowania:

$$R = \frac{B_N}{B_O} \cdot 100\% \quad (2)$$

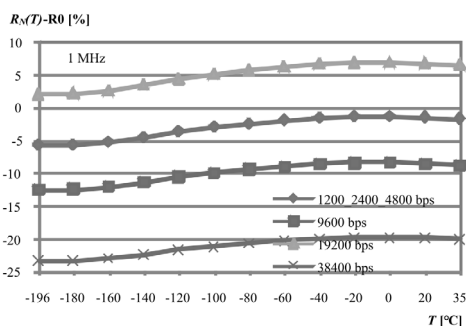
Dla identycznych szybkości B_N i B_O współczynnik dopasowania wynosi 100% i jest oznaczany jako R0. Maksymalna i minimalna wartość różnicy $R-R0$ określają przedział, w którym mimo niedopasowania szybkości nadajnika i odbiornika odbiór danych jest prawidłowy. Dla mikrokontrolera ATmega16A szerokość tego przedziału, zalecana przy transmisji asynchronicznej 8-bitowych znaków, wynosi $\pm 2\%$ [1].

Równanie (2) można wykorzystać do analizy komunikacji między kontrolerem systemu, pracującym w stałej temperaturze otoczenia 25°C , a blokiem akwizycji danych, który jest poddany zmianom temperatury (rys. 1). Stopień dopasowania szybkości nadajnika mikrokontrolera przy przekazywaniu wyników pomiaru z bloku akwizycji danych do kontrolera systemu opisuje wówczas zależność:

$$R_N(T) = \frac{B_N(T)}{B_O(25^\circ\text{C})} \cdot 100\% \quad (3)$$

3. Temperaturowe niedopasowanie szybkości transmisji asynchronicznej dla bloku akwizycji danych z mikrokontrolerem ATmega16A

Częstotliwość wewnętrznego oscylatora RC w mikrokontrolerze ATmega16A powinna być programowana dla zalecanych wartości 1MHz, 2MHz, 4MHz lub 8MHz [1]. Rzeczywiste częstotliwości pracy oscylatora mogą jednak wykazywać pewien rozrzut już w temperaturze 25°C .

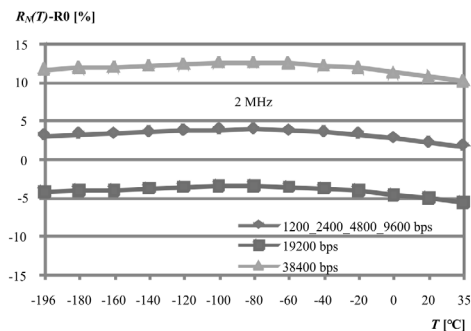


Rys. 2. Unormowany współczynnik dopasowania szybkości transmisji dla mikrokontrolera ATmega16A z oscylatorem RC przy wartości początkowej 1MHz

Fig. 2. The normalized baud rate matching coefficient for the ATmega16A microcontroller with an internal RC oscillator at 1MHz initial value

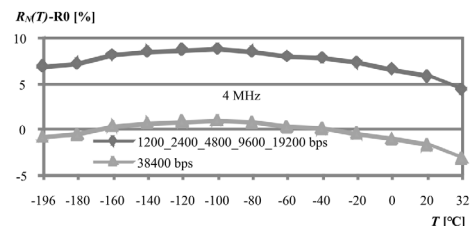
Przeprowadzone badania pozwoliły stwierdzić, że oscylator RC taktuje rdzeń układu ATmega16A również w zakresie bardzo niskich temperatur, do temperatury ciekłego azotu włącznie [8]. Struktura ATmega16A może więc funkcjonować znacznie poniżej nominalnego przedziału $-55^\circ\text{C} \div 125^\circ\text{C}$, ale temperaturowe zmiany częstotliwości oscylatora wpływają, zgodnie z zależnością (3), na szybkość transmisji danych pomiarowych, przekazywanych do kontrolera systemu [9]. Charakterystyki cieplnych zmian szybkości transmisji wskazują, że wartości znormalizowanego współ-

czynnika dopasowania, obejmujące niedokładność współczynników podziału $UBRR$, mogą w szerokim przedziale temperatur sięgać nawet 20% (rys. 2, 3, 4, 5).



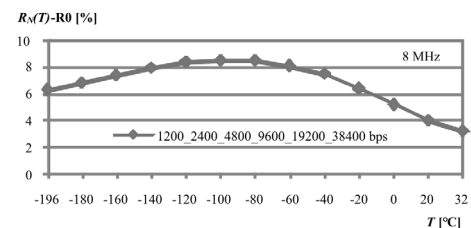
Rys. 3. Unormowany współczynnik dopasowania szybkości transmisji dla mikrokontrolera ATmega16A z oscylatorem RC przy wartości początkowej 2MHz

Fig. 3. The normalized baud rate matching coefficient for the ATmega16A microcontroller with an internal RC oscillator at 2MHz initial value



Rys. 4. Unormowany współczynnik dopasowania szybkości transmisji dla mikrokontrolera ATmega16A z oscylatorem RC przy wartości początkowej 4MHz

Fig. 4. The normalized baud rate matching coefficient for the ATmega16A microcontroller with an internal RC oscillator at 4MHz initial value



Rys. 5. Unormowany współczynnik dopasowania szybkości transmisji dla mikrokontrolera ATmega16A z oscylatorem RC przy wartości początkowej 8MHz

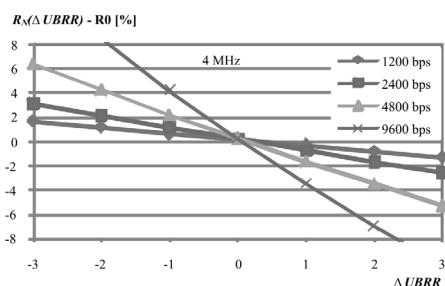
Fig. 5. The normalized baud rate matching coefficient for the ATmega16A microcontroller with an internal RC oscillator at 8MHz initial value

4. Zmniejszanie temperaturowego niedopasowania szybkości transmisji z wykorzystaniem współczynników $UBRR$

Wyznaczone dla szerokiego przedziału temperatur poziomy niedopasowania szybkości nadawcy i odbiorcy mogą znacznie ograniczyć zakres wykorzystania asynchronicznej transmisji szeregowej. Dopuszczalny i zalecany obszar odstrojenia dla układu ATmega16A, umiejscowionego w bloku akwizycji danych, wynoszą bowiem odpowiednio $+4,58\% \div -4,64\%$ i $\pm 2\%$ dla słów 8-bitowych [1]. Jednym ze sposobów rozwiązania problemu jest poszukiwanie po stronie bloku akwizycji danych takiej wartości współczynnika $UBRR$, która w danej temperaturze przywróci poprawną łączność, lokując wartość unormowanego współczynnika dopasowania w przedziale $\pm 2\%$. Korekcja podzielnika $UBRR$ musi się jednak odbywać z krokiem $R_N-R0 < 4\%$, umożliwiającym

trafienie do wnętrza przedziału zalecanego. Przyjęcie kroku 1% teoretycznie umożliwia przybliżoną lokalizację środka przedziału.

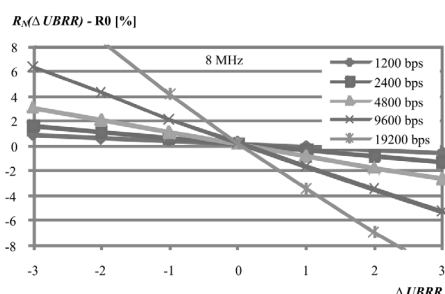
Wartość funkcji błędu (3) jest w tym przypadku zależna od argumentu $UBRR$. Wyniki obliczeń wyrażono względem zmiennej, stanowiącej różnicę między współczynnikiem podziału $UBRR$ poszukiwanym i współczynnikiem optymalnym dla temperatury 25°C. Pozwala to na przedstawienie rodzin charakterystyk, opisujących funkcję (3) dla różnych szybkości transmisji, przy standardowych częstotliwościach f_{osc} (rys.6, 7).



Rys. 6. Unormowany współczynnik dopasowania szybkości transmisji w funkcji nastaw $UBRR$ dla mikrokontrolera ATmega16A z oscylatorem RC, $f_{osc} = 4\text{ MHz}$

Fig. 6. The normalized baud rate matching coefficient as a function of $UBRR$ value for the ATmega16A microcontroller with an internal RC oscillator at 4MHz frequency

Nachylenia charakterystyk unormowanego współczynnika dopasowania, wyznaczonych dla częstotliwości $f_{osc} = 1\text{ MHz}$, nie spełniają warunku $R_N - R_0 < 1\%$. Przy częstotliwości 2MHz spełnienie warunku ma miejsce dla szybkości standardowej 1200 bps. Częstotliwość 4MHz otwiera drogę dla transmisji z szybkością 1200 i 2400 bps (rys.6), a częstotliwość 8 MHz dla szybkości 1200, 2400 i 4800 bps (rys.7). Wzrost f_{osc} pozwala więc na dokładniejszą lokalizację środka przedziału błędów i zwiększenie szybkości transmisji.



Rys. 7. Unormowany współczynnik dopasowania szybkości transmisji w funkcji nastaw $UBRR$ dla mikrokontrolera ATmega16A z oscylatorem RC, $f_{osc} = 8\text{ MHz}$

Fig. 7. The normalized baud rate matching coefficient as a function of $UBRR$ value for the ATmega16A microcontroller with an internal RC oscillator at 8MHz frequency

5. Adaptacyjny dobór współczynników $UBRR$

Szybkość transmisji, prowadzonej przez moduł USART mikrokontrolera Atmega16A po stronie bloku akwizycji danych, zależy od temperatury, częstotliwości oscylatora RC i dokładności podziału $UBRR$, podczas gdy szybkość transmisji po stronie kontrolera systemu ma zwykle standardową wartość, utrzymywaną przez generator z rezonatorem kwarcowym. Zmiany temperatury, wpływające na blok akwizycji danych, powodują odstrojenie jego szybkości transmisji od szybkości kontrolera. Kompensacja odstrojenia może być wykonywana na żądanie kontrolera (master) przed każdym transferem danych pomiarowych z bloku akwizycji (slave), na zasadzie wysyłania zapytania testowego i odsyłania odpowiedzi. Dopasowanie szybkości bloku akwizycji do szybkości standardowej zaczyna się od stwierdzenia, czy pierwsze zapy-

tanie było poprawne. Wykrycie niezgodności ramki testowej oznacza wystąpienie odstrojenia o nieznannej wartości. Blok slave ustawia wówczas minimalną wartość $UBRR$, odpowiadającą wartości $R_N - R_0 = 20\%$ dla danej szybkości transmisji. Kolejne kroki zwiększają wartość $UBRR$ i zmniejszają błąd niedopasowania, aż do uzyskania zgodności zapytania i echa. Powoduje to wprowadzenie przez slave poprawki $UBRR$, przesuwającej błąd niedopasowania ku środkowi przedziału zalecanego. Blok master może wówczas wydać komendę przesłania danych pomiarowych.

W przypadku stwierdzenia poprawności testu łącza już przy pierwszym zapytaniu blok slave może pominąć ustawienie minimalnej wartości $UBRR$, zaczynając od wstępnego rozstrojenia szybkości i odszukania współczynnika, który odpowiada granicy dopuszczalnego błędów $R_N - R_0$. Daje to podstawę do wprowadzenia poprawki i wypośrodkowania $UBRR$.

6. Podsumowanie

Wykorzystanie wewnętrznego oscylatora RC niezależnie zaawansowany mikrokontroler od dołączanego rezonatora lub generatora zegarowego i sprawia, że może on zastąpić kilka układów w bloku akwizycji danych. Badania mikroprocesorów ATmega16A wykazały, że można je przy tym stosować w szerszym niż nominalny przedziale temperatur. Okazuje się, że nawet w takich warunkach możliwe jest prowadzenie asynchronicznej transmisji szeregowej i przekazywanie danych pomiarowych do kontrolera systemu. Wymaga to jednak właściwego wyboru częstotliwości oscylatora i szybkości transmisji oraz zaimplementowania algorytmu, odpowiedzialnego za adaptacyjne programowanie dzielnika częstotliwości. Potwierdzono doświadczalnie, że jest on efektywny dla możliwie dużej częstotliwości oscylatora i względnie małej szybkości transmisji. Wskazane jest cykliczne sprawdzanie dopasowania szybkości oraz przekazywanie krótkich strumieni danych na żądanie kontrolera.

Przedstawiona metoda postępowania nie może oczywiście stanowić konkurencji dla transmisji synchronicznej. Jest jednak dobrą alternatywą, zwłaszcza w przypadku kontrolerów wyposażonych w łącza USB i RS232C, takich jak komputery PC. Pozwala też na lepsze projektowanie łącza i przekazywanie danych pomiarowych w systemach mikroprocesorowych, działających w standardowych warunkach pracy.

7. Literatura

- [1] ATmega16A. 8-bit AVR Microcontroller with 16K Bytes In-System Programmable Flash. 2008 Atmel Corporation.
- [2] Meijer G.: Universal asynchronous sensor interfaces. Pomiary, Automatyka, Kontrola, vol. 53, nr 9bis/2007, s. 1-8.
- [3] Bogusz J.: Lokalne interfejsy szeregowy w systemach cyfrowych. BTC, Warszawa 2004.
- [4] ATmega128A. 8-bit AVR Microcontroller with 128K Bytes In-System Programmable Flash. Atmel Corporation 2011.
- [5] ATmega640/1280/1281/2560/2561. 8-bit ATmel Microcontroller with 64K/128K/256K Bytes In-System Programmable Flash. Preliminary. Atmel Corporation 2011.
- [6] Mielczarek W.: Szeregowy interfejsy cyfrowe. Helion, Gliwice 1993.
- [7] Hadam P.: Projektowanie systemów mikroprocesorowych. BTC, Warszawa 2004.
- [8] Arnold K.: Properties of internal RC oscillator of ATmega16A structure at low temperatures. Proceedings of the Twenty-Third International Cryogenic Engineering Conference and International Cryogenic Materials Conference 2010. July 19-23 2010, Wrocław, Poland, pp. 567-570.
- [9] Arnold K.: Wpływ niskich temperatur na szeregową asynchroniczną transmisję danych w systemach pomiarowych z mikrokontrolerem ATmega16A. Pomiary, Automatyka, Kontrola, vol. 57, nr 12/2011, s.1534-1536.