

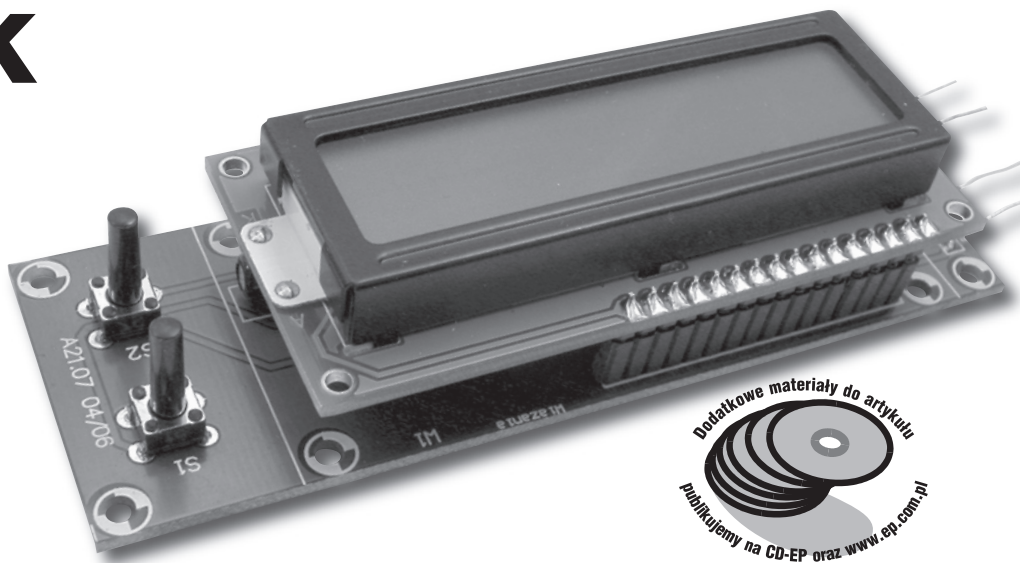
Termometr z termoparami J albo K

AVT-918

O niezwykłej przydatności mikrokontrolerów PSoC do aplikacji analogowo-cyfrowych pisaliśmy już na łamach EP wielokrotnie. Przedstawiamy kolejny przykład projektu, w którym chyba nie ma lepszego wyboru niż PSoC.

Rekomendacje:

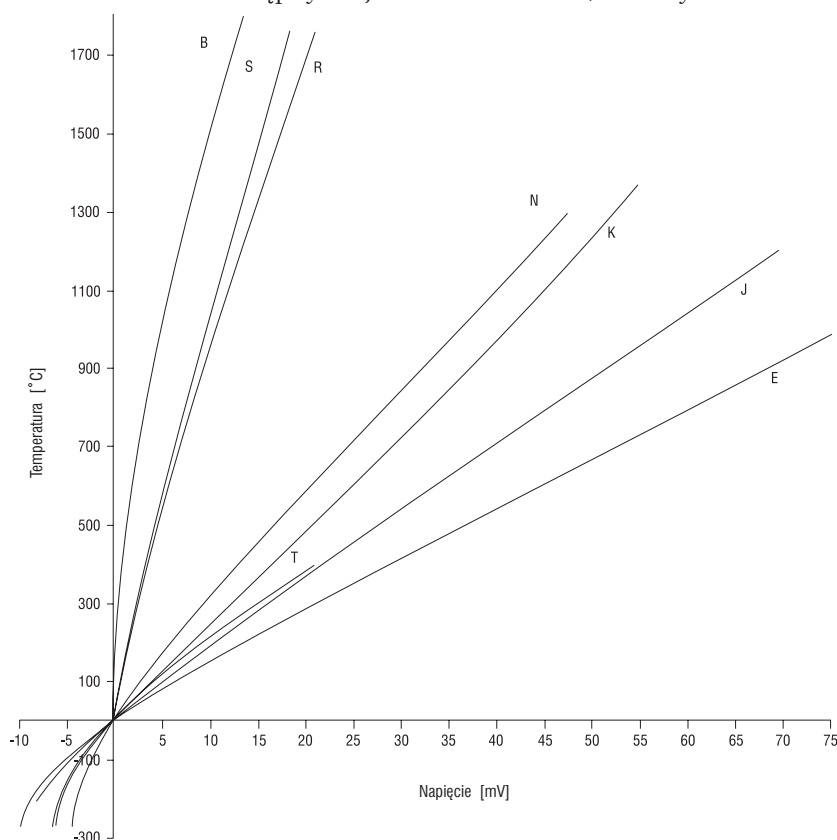
Łatwy w wykonaniu i obsłudze termometr z czujnikiem, którego użycie często stanowi dość duży problem dla konstruktora, zainteresuje wszystkich, którym potrzebny jest przyrząd do mierzenia wysokiej temperatury.



W wielu przypadkach stajemy wobec problemu zmierzenia temperatury powyżej 100°C. Nie nadają się do tego dostępne czujniki półprzewodnikowe teoretycznie działające do 150°C.

Do pomiaru temperatury w szerokim zakresie wartości są stosowane termopary, które są tanie, proste i niezawodne. Dostępnych jest

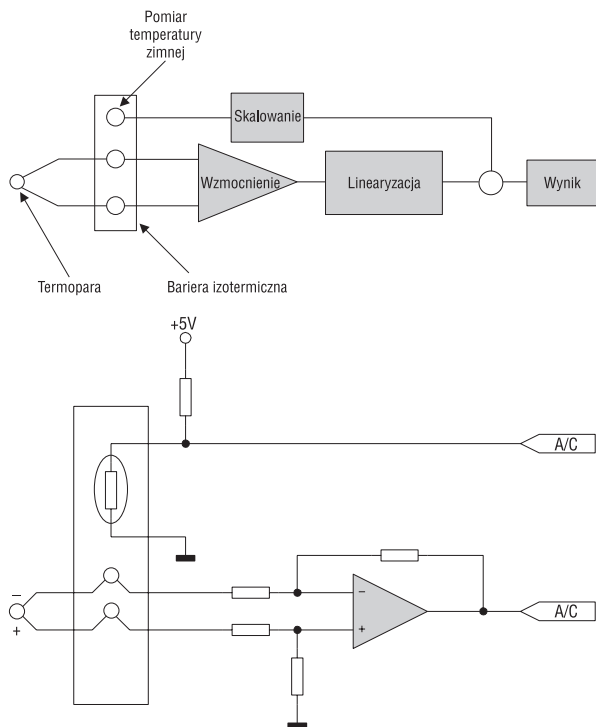
wiele typów termopar (oznaczanych literami alfabetu) różniących się zakresem mierzonej temperatury. Do pomiaru wysokiej temperatury zbudowano niezwykle prosty termometr umożliwiający pomiar za pomocą termopary typu J, albo K. Bardzo prostą budowę uzyskano dzięki zastosowaniu nowoczesnego mikrokontrolera PSoC, w którym zawarto cały



Rys. 1. Zależność napięcia termopary od temperatury dla kilku typów termopar

PODSTAWOWE PARAMETRY

- Płytko o wymiarach 111 x 38 mm
- Zasilanie: 9...15 VDC
- Współpraca z termoparami typu J i K
- Zakres pomiarowy: 0...760°C (termopara J), -200...1260°C (termopara K)
- Rozdzielczość pomiaru $\pm 1^\circ\text{C}$
- Rejestracja wartości min oraz max



Rys. 2. a) Schemat blokowy objaśniający ogólną zasadę odczytu temperatury za pomocą termopary, b) schemat blokowy układu pomiarowego stosowanego do cyfrowej metody pomiaru temperatury za pomocą termopary

analogowy tor pomiarowy. Termopara jest podpięta wprost do wyprowadzeń mikrokontrolera. Zastosowanie nowoczesnych podzespołów zredukowało także do minimum koszt tego typu termometru. Dodatkowo, prezentowany termometr umożliwi rejestrację minimalnej i maksymalnej wartości temperatury.

Termopara

Zasada działania termopar opiera się na zjawisku Seebeck'a przejawiającym się kontaktową różnicą potencjałów powstającą na styku dwóch metali o różnej pracy wyjścia elektronów (stają się swobodnymi nośnikami prądu). Termoparę stanowią więc dwa zgrzane ze sobą metale o różnej pracy wyjść. Kontaktowa różnica potencjałów zależy od temperatury.

Zakres mierzonej temperatury zależy od metali z jakich została zbudowana termopara. W tab. 1 przedstawiono wybrane typy termopar, metale z jakich zostały zbudowane oraz zakresy mierzonej temperatury. Prezentowany termometr może obsługiwać termoparę typu J oraz typu K. Każdy typ termopar jest oznaczany innym kolorem. Przykładowo, termopara J jest oznaczana

kolorem czarnym, a typu K kolorem żółtym. Termopary mają nieliniową charakterystykę zależności napięcia od temperatury. Na rys. 1 przedstawiono zależność temperatury złącza od napięcia na końcach termopary dla kilku typów termopar.

Nieliniowa charakterystyka może być linearyzowana układowo (z zastosowaniem wzmacniaczy operacyjnych), bądź aproksymowana wielomianem o dobranych eksperymentalnie współczynnikach. Za pomocą mikrokontrolera można obliczyć „w biegu” wartość temperatury z wielomianu aproksymującego (na podstawie odczytanego napięcia) lub pobierać wartość tego wielomianu wcześniej stabilizowanego. Druga metoda nie obciąża mikrokontrolera i jest wskazana szczególnie wtedy, gdy realizuje on jeszcze inne zadania.

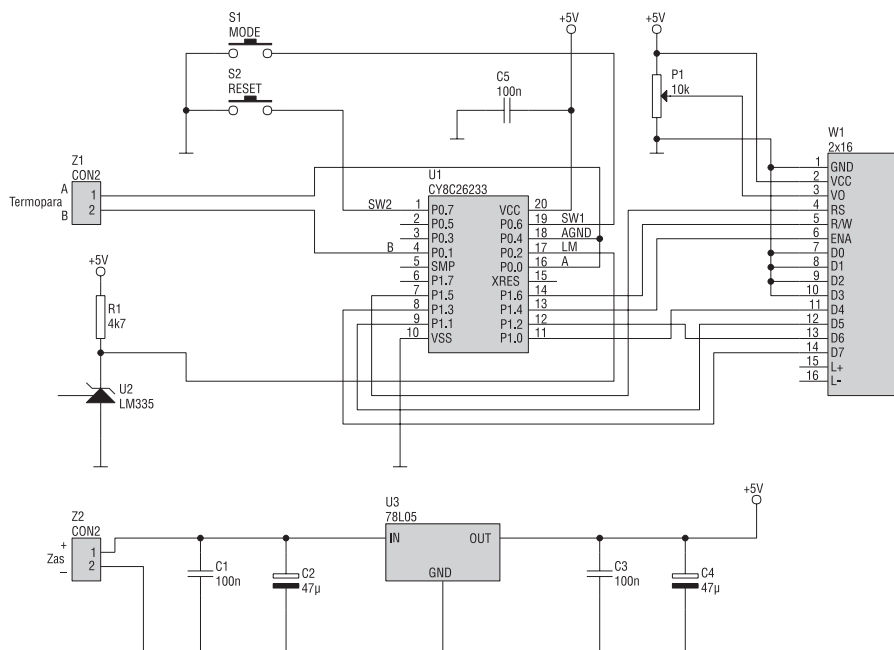
Metoda pomiaru

Na rys. 2a przedstawiono schemat blokowy układu pomiarowego objaśniający zasadę odczytu temperatury za pomocą termopary w sposób analogowy. Wymagany

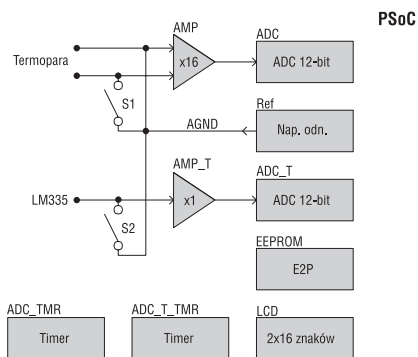
jest wzmacniacz, blok linearyzujący charakterystykę termopary oraz element (może być półprzewodnikowy, mierzący temperaturę zimnego złącza termopary. Przy cyfrowym pomiarze napięcia termopary wymagany jest wzmacniacz, element mierzący temperaturę końca zimnego oraz dwa przetworniki A/C. Przykładowy schemat takiego układowego przedstawiono blokowo na rys. 2b. W tym przypadku linearyzacja charakterystyki termopary odbywa się programowo, z wykorzystaniem odpowiedniej tablicy zawierającej obliczone wartości wielomianu aproksymującego. W prezentowanym termometrze, ze względu na zastosowanie mikrokontrolera wybrano metodę pomiaru z rys. 2b.

Działanie układu

Na rys. 3 przedstawiono schemat ideowy termometru. Tak prostą jego budowę uzyskano dzięki zastosowaniu nowoczesnego mikrokontrolera PSoC. Wbudowano w nim nie tylko potrzebne peryferia cyfrowe, ale i analogowe (np. wzmacniacz operacyjny). Termopara (złącze Z1) jest dołączana wprost do wyprowadzeń mikrokontrolera. Jedna z linii termopary jest polaryzowana napięciem AGND, które zostało ustalone na wartość 2,6 V. Także czujnik temperatury zimnego złącza termopary (U2) jest bezpośrednio dołączony do mikrokontrolera. Wymaga on do prawidłowej pracy tylko



Rys. 3. Schemat elektryczny termometru



Rys. 4. Schemat blokowy termometru

rezystora R1. Przyciski S1 oraz S2 umożliwiają ustawianie parametrów termometru. Wyniki pomiaru są wyświetlane na alfanumerycznym wyświetlaczu LCD 2x16 znaków. Potencjometr P1 umożliwia regulację kontrastu wyświetlacza. Elementy termometru są zasilane napięciem o wartości 5 V stabilizowanym przez układ U3.

Wymagane peryferia mikrokontrolera PSoC

Mikrokontrolery PSoC firmy Cypress są uniwersalnymi układami programowalnymi, z rekonfigurowalnymi peryferiami zarówno analogowymi i cyfrowymi. Należą one do rodziny 8-bitowych mikrokontrolerów o maksymalnej częstotliwości taktowania 24 MHz. W mikrokontrolerach PSoC można wybierać rodzaj i liczbę peryferiów analogowych i cyfrowych, sposób ich połączenia oraz wyprowadzenia sygnałów na płytce drukowaną. Wskutek modyfikacji ustawień rejestru, można dynamicznie zmieniać konfigurację mikrokontrolera tak, by dostosowywać ją do zastosowania. Na rys. 4 przedstawiono blokowo wymagane

do realizacji termometru z termoparą peryferia mikrokontrolera. Sygnał z termopary o poziomie kilkudziesięciu μV musi być wzmacniony. Wzmocnienie wzmacniacza wejściowego zostało ustalone na 16. Wzmocnione napięcie z termopary jest mierzone przez 12-bitowy przetwornik A/C. Duże napięcie z czujnika LM335 nie wymagało wzmocnienia, więc wzmocnienie pośredniczącego wzmacniacza zostało ustalone na wartość równą 1. Timery ADC_TMR i ADC_T_TMR służą do taktowania przetworników A/C. Niezbędny jest także blok generujący napięcie referencyjne o ustalonej wartości 2,6 V, które służy do polaryzacji jednej z linii wzmacniacza operacyjnego. Blok LCD steruje wyświetlaczem LCD, natomiast blok EEPROM, to blok nieulotnej pamięci, w której są przechowywane wartości kalibracyjne termometru. Zaznaczone na schemacie przełączniki S1 i S2 służą do okresowego zerowania torów pomiarowych czujników temperatury (otrzymana wartość jest odejmowana od wartości zmierzonej temperatury), co skutkuje zmniejszeniem szumów oraz poprawą dokładności. Skonfigurowanie peryferiów oraz oprogramowanie mikrokontrolera zostało przygotowane w darmowym oprogramowaniu PSoC Designer. W pierwszej kolejności wybrano potrzebne peryferia, których jest w bibliotece ponad 100. Podczas wyboru peryferii dostępny jest ich schemat blokowy oraz opis wraz z przykładami wykorzystania. Dostępna jest także informacja, ile wybrany komponent peryferijny zajmuje zasobów mikrokontrolera. Po wyborze komponentów, każdy z nich można skonfigurować. Zazna-

czono na nim parametry konfiguracyjne wzmacniacza operacyjnego oraz parametry globalne mikrokontrolera. Wzmocnienie wzmacniacza ustalono na 16, a częstotliwość pracy mikrokontrolera na 24 MHz. W ten sposób można skonfigurować każdy wybrany do projektu blok peryferijny. Można także bloki peryferijne podmieniać i konfigurować programowo, nawet podczas działania programu mikrokontrolera. Bloki peryferijne toru pomiarowego termometru, zostały połączone zgodnie ze schematem blokowym z rys. 4. Wykorzystywane przetworniki o rozdzielczości 12-bitów dadzą wystarczającą dokładność pomiaru temperatury zwłaszcza małych sygnałów z termopary.

Oprogramowanie sterujące

Oprogramowanie sterujące termometrem zostało przygotowane w środowisku PSoC Designer i napisane w języku C. Jak wspominałem, mikrokontroler pracuje z maksymalną częstotliwością 24 MHz. Tak duża częstotliwość pracy mikrokontrolera wynika z konieczności przeprowadzenia dużej liczby obliczeń. Ważną częścią oprogramowania sterującego termometrem jest aproksymacja charakterystyki termopary. W tym celu należy stabilizować następujący wielomian:

$$T = (a_0 + a_1V + a_2V^2 + \dots + a_nV^n)$$

gdzie:

T – obliczona temperatura

V – napięcie termopary

a_n – współczynniki wielomianu

W tab. 2 przedstawiono współczynniki wielomianu aproksymującego dla kilku typów termopar w tym J i K. Bieżące obliczanie wartości takiego wielomianu jest

Tab. 1. Parametry termopary

Typ termopary	Złącze	Zakres temperatur (°C)	Współczynnik (@ 20°C)	Zalecane środowiska pracy
E	Chromel (+) Constantan (-)	-200...900	62 mV/°C	utleniające, obojętne, próżnia
J	Iron (+) Constantan (-)	0...760	51 mV/°C	próżnia, utleniające, obojętne
T	Copper (+) Constantan (-)	-200...371	40 mV/°C	żrące, wilgotne
K	Chromel (+) Alumel (-)	-200...1260	40 mV/°C	obojętne
N	Nicrosil (+) Nisil (-)	0...1260	27 mV/°C	utleniające
B	Platinum (30% Rhodium) (+) Platinum (6% Rhodium) (-)	0...1820	1 mV/°C	utleniające, obojętne
S	Platinum (10% Rhodium) (+) Platinum (-)	0...1480	7 mV/°C	utleniające, obojętne
R	Platinum (13% Rhodium) (+) Platinum (-)	0...1480	7 mV/°C	utleniające, obojętne

WYKAZ ELEMENTÓW

Rezystory

R1: 4,7 k Ω

P1: potencjometr montażowy mały leżący 10 k Ω

Kondensatory

C1, C3, C5: 100 nF

C2, C4: 47 $\mu\text{F}/16\text{ V}$

Półprzewodniki

U1: CY8C26233

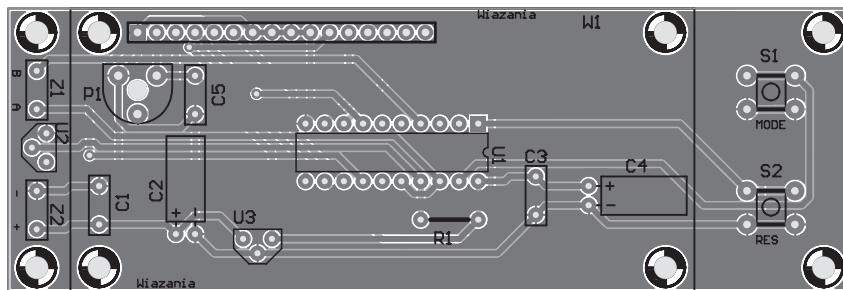
U2: LM335

U3: 78L05

W1: wyświetlacz LCD 2x16 znaków

Inne

S1, S2: przycisk typu mikrostryk



Rys. 5. Schemat montażowy termometru

dla mikrokontrolera 8-bitowego dość czasochłonne. Dlatego w programie wybiera się jego wartość z tablicy przygotowanej wcześniej dla tego wielomianu. W programie sterującym termometrem zamieszczono tablice stałych zarówno dla termopary J, jak i K, gdyż ich charakterystyki są różne.

W pierwszej fazie programu wejścia wzmacniacza termopary są zwierane, a odczytana z przetwornika wartość A/C będzie odejmowana od wartości napięcia termopary. Jest to tak zwane zerowanie toru pomiarowego. W dalszej kolejności następuje odczyt napięcia z termopary, od którego zostaje odjęta wartość odczytana podczas zerowania toru analogowego. Identycznie przebiega zerowanie i odczyt wartości z czujnika temperatury zimnego złącza termopary (czujnik LM335). Zmierzona wartość napięcia termopary w każdym cyklu pomiarowym jest ładowana do bufora przesuwającego i jest obliczane średnie napięcie termopary. Następnie dla obliczonej wartości na podstawie napięcia termopary jest pobierana z tablic odpowiadająca mu wartość temperatury. Uwzględniona zostaje także temperatura zimne-

go złącza termopary. W programie zostały także zawarte procedury umożliwiające kalibrację termometru, oraz rejestrację wartości minimalnej i maksymalnej temperatury.

Montaż i uruchomienie

Schemat montażowy termometru przedstawiono na rys. 5. Układ termometru można zasilać stałym napięciem od 9 do 15 V z baterii lub zasilacza wtyczkowego. Termoparę J lub K dołącza się do złącza Z1. W przypadku innych typów termopar należy zmodyfikować program, dodając utworzone dla nich tablice linearyzacyjne. Istnieje więc możliwość zaimplementowania obsługi nawet kilkunastu termopar.

Gdy na wyświetlaczu nie są widoczne żadne znaki, konieczne jest ustawienie kontrastu.

Kalibracja i obsługa

Przed użyciem termometru wymagana jest jego prosta kalibracja. Należy także określić typ podłączonej do niego termopary.

Podczas kalibracji jest niezbędny drugi termometr, będący termometrem odniesienia. Może to być termometr cyfrowy lub rtęciowy. Czuj-

niki obu termometrów należy ze sobą złączyć, aby posiadały możliwie jednakową temperaturę. Aby wejść w tryb kalibracyjny, należy podczas włączania zasilania termometru trzymać wciśnięty przycisk *MODE*. Na wyświetlaczu powinien pojawić się napis *Setup*. W pierwszej kolejności należy określić typ termopary, który można wybrać przyciskiem *RES* (można wybrać pomiędzy termoparą typu J albo K).

Drugie przyciśnięcie przycisku *MODE* umożliwia kalibrację temperatury. Należy ją ustawić przyciskiem *RES* na wartość identyczną, jaką pokazuje termometr odniesienia. Kolejne przyciśnięcie przycisku *MODE* powoduje zakończenie trybu kalibracji i termometr jest gotowy do pracy. Wartość kalibracyjna zostaje zapisana do nieulotnej pamięci EEPROM, więc nie jest potrzebna kalibracja termometru po każdym włączeniu zasilania.

Obsługa termometru nie powinna sprawić większych problemów. W pierwszym wierszu wyświetlacza jest wyświetlana wartość zmierzonej temperatury oraz typ dołączonej termopary. W drugim wierszu wyświetlacza jest wyświetlana wartość minimalna lub maksymalna zmierzonej temperatury, w zależności od wyboru przyciskiem *MODE*. Przycisk *RES* umożliwia zerowanie wartości wybranej temperatury minimalnej lub maksymalnej.

Informację na temat mikrokontrolerów PSoC, narzędzi, programatorów znajdują się na stronach: www.cypress.com, www.proc.prv.pl
Marcin Wiązania, EP
marcin.wiazania@ep.com.pl

Tab. 2. Współczynniki wielomianów linearyzujących dla różnych typów termopar

	Typ termopary					
	E	J	K	R	S	T
a0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
a1	1.7057035E-2	1.978425E-2	2.508355E-2	1.8891380E-1	1.84949460E-1	2.592800E-2
a2	-2.3301759E-7	-2.00120204E-7	7.860106E-8	-9.3835290E-5	-8.00504062E-5	-7.602961E-7
a3	6.543558E-12	1.036969E-11	-2.503131E-10	1.3068619E-7	1.02237430E-7	4.637791E-11
a4	-7.3562749E-17	-2.549687E-16	8.315270E-14	-2.2703580E-10	-1.52248592E-10	-2.165394E-15
a5	-1.7896001E-21	3.585153E-21	-1.228034E-17	3.5145659E-13	1.88821343E-13	6.048144E-20
a6	8.4036165E-26	-5.344285E-26	9.804036E-22	-3.8953900E-16	-1.59085941E-16	-7.293422E-25
a7	-1.3735879E-30	5.099890E-31	-4.413030E-26	2.8239471E-19	8.23027880E-20	
a8	1.0629823E-35		1.057734E-30	-1.2607281E-22	-2.34181944E-23	
a9	-3.2447087E-41		-1.052755E-35	3.1353611E-26	2.79786260E-27	
a10				-3.3187769E-30		