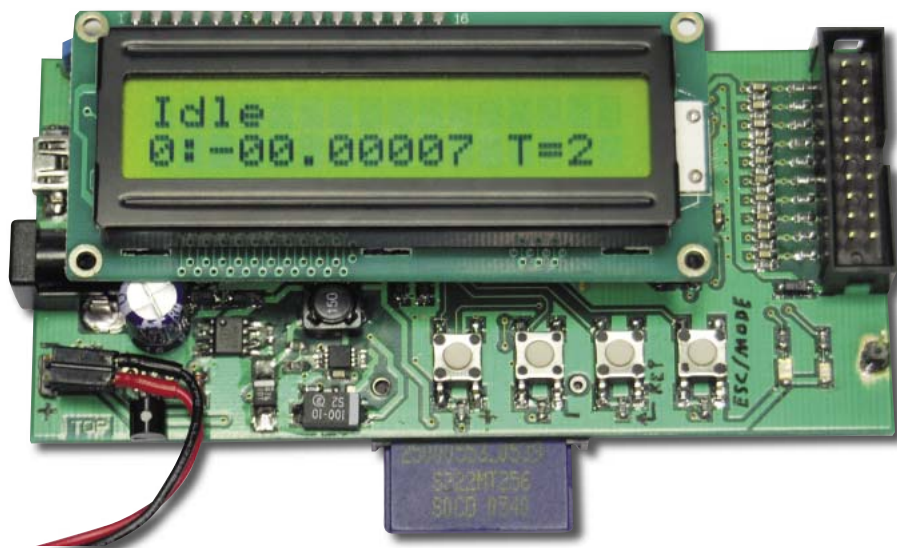


# Wielokanałowy rejestrator napięć



Prezentujemy projekt wielokanałowego rejestratora napięć, który bez wątpienia może przydać się niejednemu konstruktorowi. Głównym jego zastosowaniem jest długoterminowe śledzenie zmian napięć w konstruowanych i testowanych urządzeniach elektronicznych. Dzięki dużej rozdzielczości rejestratora można analizować napięcia z dokładnością rzędu setek mikrowoltów, co może ułatwić np. wykrywanie nieprawidłowości wynikających ze zmian temperatury otoczenia.

**Rekomendacje:** przyrząd przyda się w każdej studenckiej pracowni pomiarowej jak również w warsztacie elektronika konstruktora.



Zastosowane w rejestratorze nowoczesny, wielofunkcyjny przetwornik analogowo-cyfrowy, mikrokontroler o sporej mocy obliczeniowej oraz dostępność kodu źródłowego, umożliwiają dość proste dostosowanie rejestratora do różnorodnych zastosowań. Podstawowa konfiguracja rejestratora pozwala mierzyć napięcia w granicach ok.  $\pm 25$  V, lecz bez trudu można zmieniać zakres pomiarowy i sposób prowadzenia pomiarów (pomiar różnicowy lub asymetryczny). Dużą zaletą rejestratora jest niewielki pobór prądu i możliwość zasilania go z baterii (nawet z jednego ogniwa typu AAA). Urządzenie zasilane dwiema bateriami typu AA może pracować bez przerwy przez kilka dni.

Zmierzone napięcia zapisywane są w pliku tekstowym na karcie pamięci typu SD (Secure

Digital) lub MMC (MultiMedia Card). Zarejestrowane napięcia można odczytać za pomocą dowolnego czytnika kart pamięciowych lub podłączając rejestrator bezpośrednio do portu USB komputera PC (urządzenie zgłasza się w systemie jako dysk zewnętrzny). Plik tekstowy z wynikami pomiarów można przeglądać w dowolnym edytorze tekstowym lub eksportować do takich programów jak MS Excel, OO Calc czy Matlab.

## Sprzęt – część cyfrowa

Schemat blokowy rejestratora przedstawiono na rys. 1, natomiast schemat ideowy na rys. 2. Głównym elementem urządzenia jest mikrokontroler AT91SAM7S64 (IC1) odpowiedzialny za całą funkcjonalność rejestratora. Do magistrali SPI (Serial Peripheral Interface) podłączone są: karta pamięci (SD lub MMC) oraz przetwornik analogowo-cyfrowy AD7718 (IC3) produkcji Analog Devices. Karta SD uaktywniana jest sygnałem NPC50 mikrokontrolera współdzielonym z PA11, natomiast do uaktywniania przetwornika ADC używana jest linia NPC51 współdzielona z PA31. Podłączenie wyprowadzeń MISO, MOSI i SPCK jest typowe, takie, jak dla większości układów scalonych z interfejsem SPI. Ponadto przetwornik komunikuje się z mikrokontrolerem za pośrednictwem dwóch dodatkowych sygnałów oznaczonych na schemacie ideowym jako AD\_RES i AD\_RDY. Sygnał AD\_RES służy do zerowania przetwornika, czyli przywracania jego domyślnej konfiguracji, natomiast sygnał AD\_RDY służy do informowania mikrokontrolera o zakończeniu wykonywania pomiaru przez przetwornik.

Do komunikacji rejestratora z użytkownikiem służą 4 przyciski typu microswitch, 2 diody

## AVT-5182

W ofercie AVT:  
AVT-5182A – płytka drukowana

### PODSTAWOWE PARAMETRY

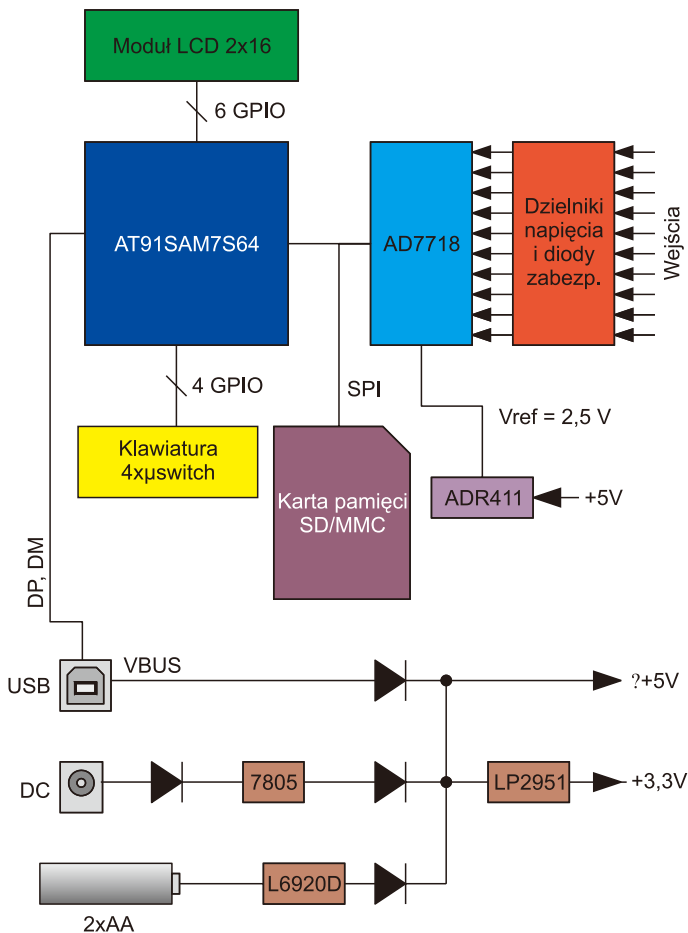
- Ilość kanałów: 10
- Rozdzielczość: ok. 100  $\mu$ V
- Zakres pomiarowy: ok.  $\pm 24$  V
- Możliwość zmiany zakresu pomiarowego (modyfikacja): od  $\pm 20$  mV
- Zakres regulacji okresu pomiarów: 1...99 s
- Nośnik danych: karty SD lub MMC, do 1 GB
- Format zapisu danych plik tekstowy, system plików FAT
- Mikrokontroler: AT91SAM7S64 (ARM7TDMI)
- Napięcie zasilania (baterie): 0.6...5 V (start od 1 V)
- Napięcie zasilania (zewnętrzny zasilacz): 9...25 VDC
- Średni pobór prądu z dwóch akumulatorów AA (NiMH): < 8 mA
- Wyposażenie dodatkowe: alfanumeryczny wyświetlacz LCD 2 linie po 16 znaków, interfejs USB



### PROJEKTY POKREWNE

wymienione artykuły są w całości dostępne na CD

Tytuł artykułu	Nr EP/EdW	Kit
Wielokanałowy rejestrator danych pomiarowych A/C	EP 9/2008	AVT-5149
Rejestrator przebiegu cyfrowego – przystawka do TV	EP 10/1999	AVT-831
Prosty analizator stanów logicznych	EP 4/2005	AVT-389



Rys. 1. Schemat blokowy rejestratora

LED oraz bardzo popularny tekstowy wyświetlacz LCD o organizacji 2 linie po 16 znaków. Podłączenie przycisków i diod LED nie wymaga specjalnego komentarza, warto natomiast wspomnieć o sterowaniu wyświetlacza LCD. Typowe wyświetlacze tekstowe zasilane są napięciem 5 V, a ich interfejs dostosowany jest do takiej wartości napięcia. Jednocześnie mikrokontroler może podać napięcie wyjściowe wynoszące najwyżej 3,3 V. Aby zapewnić interfejsowi wyświetlacza poprawne poziomy logiczne bez użycia dodatkowych buforów (np. serii HCT), stan wysoki wymuszony jest przez rezystory podciągające wchodzące w skład drabinki RP5. Wymuszenie wysokiego poziomu logicznego polega na przełączeniu odpowiedniego wyprowadzenia mikrokontrolera w stan wysokiej impedancji, natomiast stan niski uzyskiwany jest w typowy sposób - wyprowadzenie mikrokontrolera pracuje jako wyjście i ma stan niski. Zastosowanie wyświetlacza 2x16 podyktowane było przede wszystkim łatwością montażu i gwarancją dostępności jeszcze przez wiele lat. W projekcie modelowym rozważane było także zastosowanie wyświetlacza od telefonu Nokia 3310, który w takim układzie sprawdzałby się wręcz idealnie. Niestety, w najbliższych latach może on stać się coraz trudniej dostępnym produktem.

Interfejs USB mikrokontrolera podłączono do gniazdka mini USB-B (CON2) w sposób zbliżony do zalecanego przez producenta. Rezystory R8 i R9 stanowią obwody dopasowania im-

pedancji, a R11 i R12 nie dopuszczają do wystąpienia stanów nieustalonych na liniach DDM i DDP interfejsu USB. Rezystor R10 odpowiada za podciągnięcie linii DP oznaczające także rozpoczęcie transmisji USB. W celu włączenia podciągnięcia należyysterować tranzystor Q1 sygnałem USB\_PULLUP (stan wysoki tego sygnału oznacza włączone podciągnięcie, ponieważ Q1 pracuje jako wtórnik napięciowy). Dioda D2 pozwala na przerwanie transmisji USB (odłączenie podciągnięcia DP) w momencie resetowania mikrokontrolera. Może to ułatwiać pracę przy pisaniu własnego oprogramowania dla rejestratora. Fakt podłączenia urządzenia do hosta USB wy-

krywany jest poprzez obecność stanu wysokiego sygnału USB\_VDETECT.

Rejestrator ma możliwość bardzo prostej detekcji niskiego napięcia baterii zasilającej. W tym celu do mikrokontrolera doprowadzony został sygnał LBO przetwornicy L6920D (IC2). Wyjście LBO przetwornicy (sygnał CONV\_LB na schemacie ideowym) to wyjście jej wewnętrznego komparatora napięcia. Sygnał CONV\_LB jest aktywny (stan niski) zawsze wtedy, gdy napięcie baterii spada poniżej wartości ok. 2,5 V. Odczyt stanu CONV\_LB możliwy jest na wyprowadzeniu PA20. Z racji, że wyprowadzenie PA20 jest multiplexowane z sygnałem IRQ0 mikrokontrolera, nadmierny spadek napięcia baterii może generować przerwanie w programie, ale w podstawowej wersji oprogramowania nie wykorzystano tej możliwości. Wartość progową napięcia rozpoznawanego jako zbyt niskie można ustalić przez odpowiedni dobór rezystorów R1 i R2 - więcej szczegółów na ten temat znajdziemy w nocie katalogowej układu L6920D [1].

Podłączenie zewnętrznego oscylatora X1 do mikrokontrolera oraz wartość tego oscylatora (18,432 MHz) są typowe, podobnie jak zastosowany układ filtra PLL (wyprowadzenie PLLRC mikrokontrolera wraz z elementami C15, C16 i R15). Takie wartości tych elementów spotkać można w wielu płytках testowych i urządzeniach z mikrokontrolerami AT91SAM7.

Do programowania mikrokontrolera przewidziano złącze interfejsu JTAG (CON5). Złącze to

nie ma standardowego rozmieszczenia wyprowadzeń - w interfejsie JTAG dla mikrokontrolerów AT91 używa się typowo złącz o 20 lub, rzadziej, 14. wyprowadzeniach. Na rys. 3 umieszczono schemat prostej przejściówki umożliwiającej podłączenie do płytki rejestratora typowych wtyczek JTAG takich, jak np. popularny Wiggler. Przejściówkę można wykonać z kawałka kabla i dwóch złącz. Komunikacja rejestratora z innymi urządzeniami możliwa jest za pomocą złącza EXT (CON6). Na tym złączu wyprowadzone zostały najważniejsze linie interfejsu USART0: RXD0 (PA5), TXD0 (PA6), RTS0 (PA7), CTS0 (PA0), linia PA4 (sygnał EXT\_GPIO) oraz zasilanie: masa, +3,3 V i +5 V. Dzięki temu do złącza EXT można bez problemu dołączyć np. modem GSM lub Bluetooth uzyskując dodatkowe zwiększenie funkcjonalności rejestratora.

Złącze DBGU (CON3) zostało zastosowane dla ułatwienia debugowania programu rejestratora. Na złączu tym wyprowadzono linie DRXD (PA9) i DTXD (PA10) mikrokontrolera. Dostarczony program, w swojej podstawowej wersji przez linię DTXD wysyła komunikaty diagnostyczne. Parametry transmisji, jakie należy ustawić w programie terminalowym służącym do odbierania komunikatów, są następujące: przepływność 115200 b/s, 8 bitów danych, 1 bit stopu, brak bitu parzystości (115200,N,8,1). Oczywiście należy zadbać o odpowiedni konwerter poziomów logicznych 0...3,3 V na sygnały standardu RS232.

## Sprzęt – część analogowa

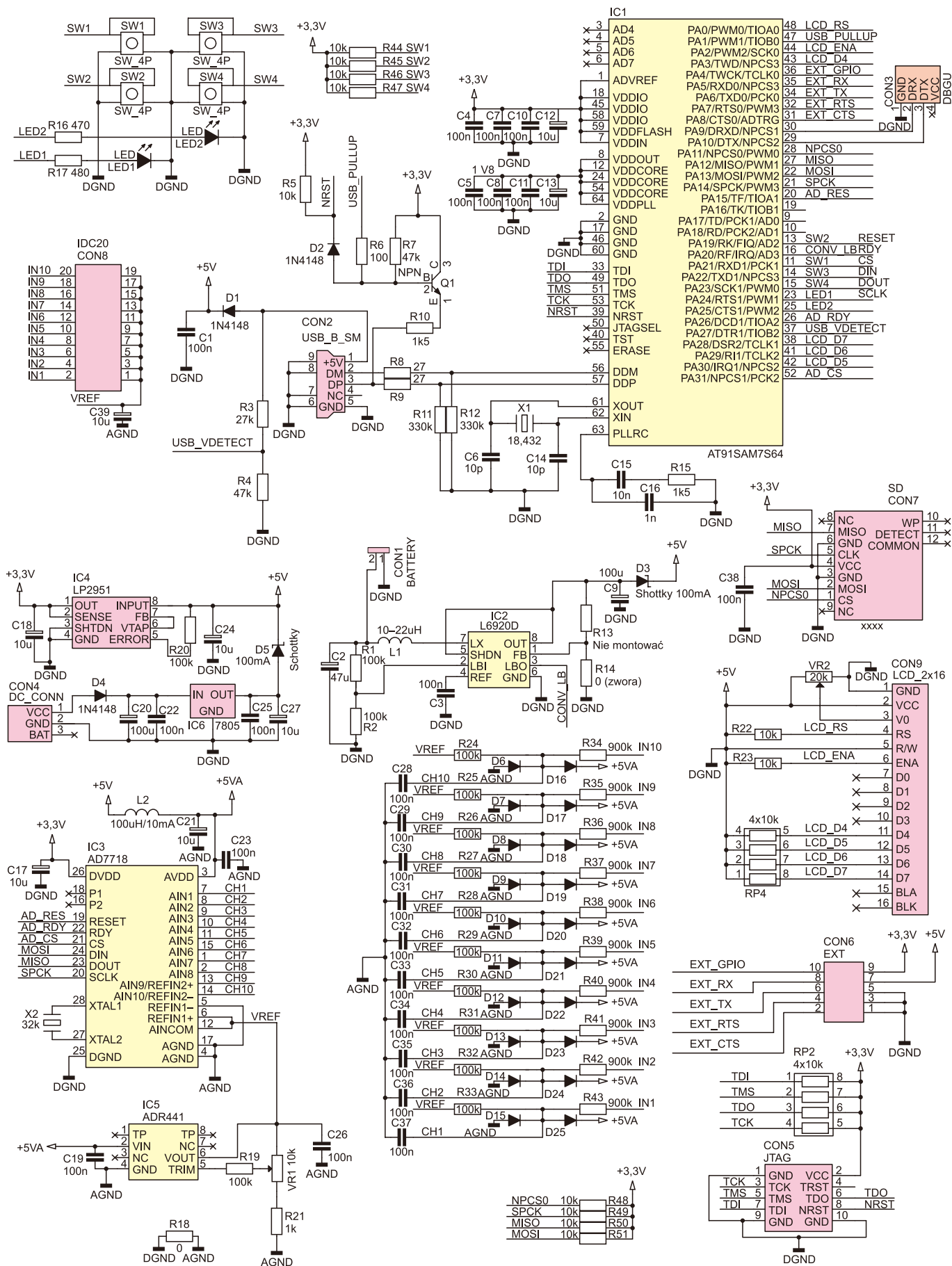
Dzięki zastosowaniu nowoczesnego przetwornika analogowo-cyfrowego AD7718 (IC3), część analogowa urządzenia mogła zostać uproszczona do minimum. Parametry elektryczne przetwornika kwalifikują go do grupy przetworników z najwyższej półki. Uproszczeniu części analogowej szczególnie sprzyja wbudowany w przetwornik wzmacniacz o regulowanym wzmocnieniu. Co prawda w projekcie rejestratora wzmacniacz pracuje jedynie jako bufor, jednak dzięki niemu impedancja wejściowa przetwornika jest bardzo duża - deklarowany przez producenta prąd wejściowy jest mniejszy niż 1 nA! Od strony wejść przetwornik wyposażono jedynie w opcjonalne dzielniki napięciowe (R24-R43), kondensatory filtrujące



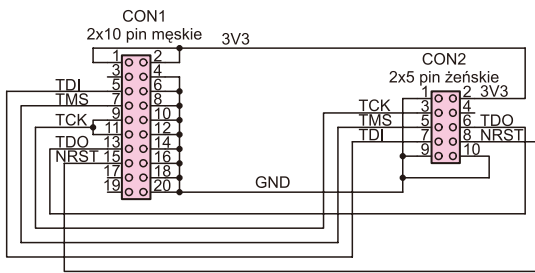
(C28-C37) oraz dodatkowe diody (D6-D25), stopniu zabezpieczające przed przekroczeniem dopuszczalnego zakresu napięć wejściowych.

Lepsze zabezpieczenie uzyskamy włączając dodatkowo diodę Zenera pomiędzy potencjał masy napięcie +5 V.

Przetwornik IC3 mierzy napięcia wejściowe względem napięcia odniesienia (sygnał VREF) podanego na jego wyprowadzenia REFIN- (6)



Rys. 2. Schemat ideowy rejestratora



Rys. 3. Przejściówka rejestrator – JTAG

i AINCOM (12). W rejestratorze zastosowano napięcie referencyjne o wartości 2,5 V uzyskane ze specjalizowanego układu ADR441 (IC5). Pozytywną cechą zastosowanego układu jest fakt, że przetwornik AD7718 mierzy napięcia zarówno dodatnie, jak i ujemne względem VREF. Oznacza to, że przy napięciu VREF=2,5 V, przetwornik będzie w stanie mierzyć napięcia z zakresu zbliżonego do 0...5 V względem masy rejestratora, a więc ±2,5 V względem VREF.

Dzielniki rezystancyjne zastosowane na wejściach analogowych pozwalają na rozszerzenie zakresu pomiarowego w stronę wyższych napięć. Stosując rezystory, takie jak na schemacie ideowym, uzyskamy rozszerzenie zakresu pomiarowego do około ±25 V. Ponieważ dokładność wykonania rezystorów (typowo 5% lub 1%) jest nieporównywalnie gorsza niż parametry przetwornika, w rejestratorze przewidziano możliwość kalibracji dzielników napięć wejściowych. Dzięki temu, budując rejestrator we własnym zakresie, zamiast trudno dostępnych wartości 900 kΩ (R34-R43) z powodzeniem można zastosować rezystory 1 MΩ. Po przeprowadzeniu kalibracji, bezwzględna dokładność wartości rezystorów nie ma większego znaczenia. Warto jednak pamiętać, że kalibracja nie wyeliminuje zmian rezystancji wraz ze zmianami temperatury, czyli względnych wahań wartości rezystancji. Dlatego, jeśli Czytelnik nie chciałby pogorszyć dobrych parametrów temperaturowych przetwornika i źródła napięcia odniesienia, warto zaopatrzyć część analogową konstruowanego rejestratora w rezystory o niskim temperaturowym współczynniku rezystancji.

Wbudowany w przetwornik AD7718 wzmacniacz o programowanym wzmocnieniu (PGA – Programmable Gain Amplifier) umożliwia zwiększenie czułości urządzenia. Przy maksymalnym wzmocnieniu wzmacniacza wejściowego przetwornika można uzyskać zakres pomiarowy ±20 mV. Taki zakres nadaje się do pomiaru temperatury za pomocą termopar bez konieczności stosowania żadnych dodatkowych wzmacniaczy pomiędzy termoparami a przetwornikiem. Wzmocnienie wzmacniacza PGA ustawiane jest w pełni programowo przez interfejs SPI przetwornika.

Deklarowana przez producenta rozdzielczość przetwornika AD7718 to aż 24 bity. W rzeczywistym urządzeniu uzyskanie pełnej, 24-bitowej rozdzielczości jest bardzo trudne lub nawet niemożliwe, ponieważ przy napięciu odniesienia 2,5 V jednemu bitowi odpowiada ok. 150 nanowoltów. W praktyce, w podstawowej

konfiguracji wejściowych dzielników rezystancyjnych, urządzenie może mierzyć napięcia z zakresu ±25 V z dokładnością ok. 80 mikrowoltów.

Źródło napięcia odniesienia AD441 (IC5) charakteryzuje się dobrą stabilnością napięcia odniesienia w funkcji temperatury i czasu. Czytelnicy dysponujący wyższej klasy sprzętem pomiarowym (woltomierz o dużej dokładności) mogą przeprowadzić dodatkową regulację napięcia odniesienia za pomocą potencjometru VR1. Najczęściej jednak układu złożonego z elementów R19, R21 i VR można w ogóle nie montować – wyprowadzenie 9, TRIM układu IC5 pozostanie wtedy niepodłączone. Bez nich źródło napięcia odniesienia AD441 ma i tak bardzo dużą dokładność, a zamontowanie rezystorów i potencjometru o nie najlepszych parametrach temperaturowych może przyczynić się nawet do zmniejszenia dokładności pomiarów.

**Sprzęt – zasilanie**

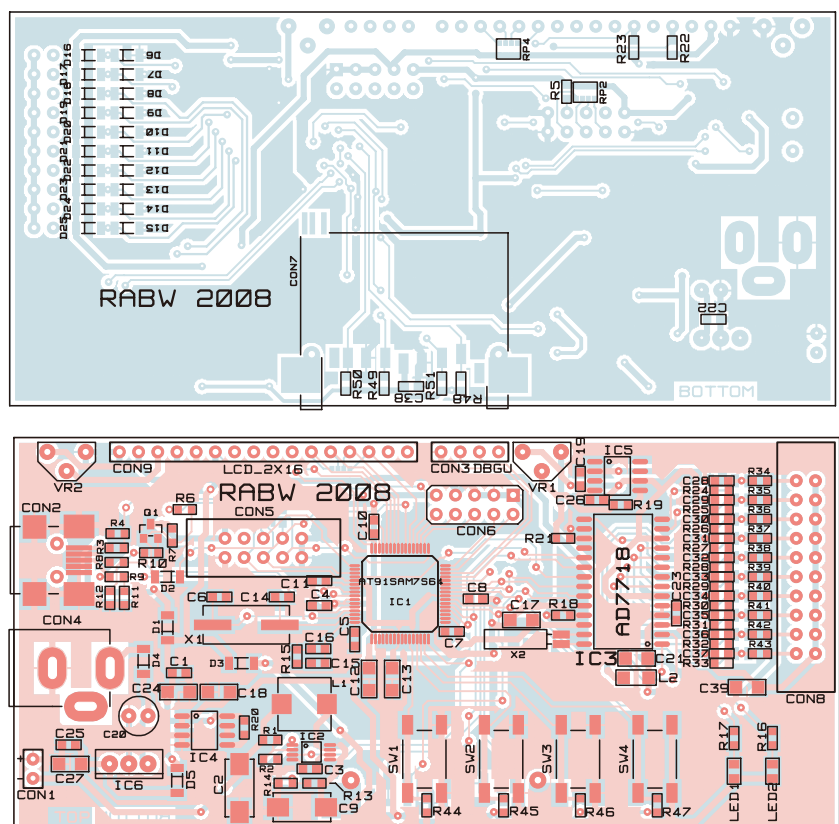
Jak pokazano na rys. 1, rejestrator DC może być zasilany z trzech źródeł napięcia: z zewnętrznego zasilacza, z portu USB lub z baterii. Napięcie z zewnętrznego zasilacza podajemy na złącze CON4. Najlepiej jeśli będzie to napięcie stałe, mieszczące się w przedziale od 9 V do ok. 20 V (wyższe napięcia mogą spowodować niepotrzebne nagrzewanie się stabilizatora 78L05, IC6).

Jako baterię zasilającą rejestrator najlepiej zastosować 2 ogniwa typu AA lub AAA. Możliwe jest także zasilanie z jednej baterii dzięki zastosowanej przetwornicy L6920D (IC2) produkcji ST

Microelectronics. Jest to tania i efektywna przetwornica typu step-up (podwyższająca napięcie) przeznaczona do urządzeń baterijnych. Minimalne napięcie wejściowe gwarantujące jej start wynosi tylko 1 V. Przetwornica może dostarczać dowolne napięcie wyjściowe mieszczące się w zakresie od 2 do 5,2 V. Wyboru tego napięcia dokonujemy przez dobór odpowiednich wartości rezystorów R13 i R14. Przy konfiguracji R13 i R14 jak na schemacie ideowym z rys. 2 – R13 nie zamontowany, a R14 to zwora – przetwornica dostarczy napięcie wyjściowe o wartości 5 V. Więcej szczegółów na temat wyboru napięć wyjściowych można znaleźć w nocie katalogowej układu L6920D [1].

Wszystkie trzy źródła napięcia zbliżonego do 5 V (tj. interfejs USB, stabilizator 78L05 oraz przetwornica L6920D) łączą się w jednym węzle za pośrednictwem diod D1, D5 i D3, dzięki czemu nie ma konieczności manualnego wyboru źródła napięcia zasilania. Diody D5 i D3 są diodami Schottky’ego dla zapewnienia jak najmniejszego spadku napięcia – napięcie jak najbardziej zbliżone do 5 V potrzebne jest, aby nie ograniczać zakresu pomiarowego przetwornika od góry. W przypadku zasilania urządzenia z interfejsu USB zastosowano zwykłą diodę 1N4148, ponieważ podczas transmisji danych przez USB nie są prowadzone żadne pomiary i spadek napięcia nawet o 0,7 V poniżej 5 V nie ma znaczenia.

Uzyskane napięcie 5 V służy do zasilania wyświetlacza LCD (na schemacie ideowym jest to sygnał +5 V) oraz części analogowej przetwornika IC3 (sygnał +5 VA). Napięcie +5 V dla części analogowej oddzielone jest miniatur-



Rys. 4. Schemat montażowy rejestratora

rowym dławikiem o wartości 100  $\mu$ H (L2), a napięcie dla przetwornika dodatkowo filtrowane jest za pomocą kondensatora tantalowego C21.

Część cyfrowa przetwornika ADC zasilana jest napięciem 3,3 V. Tym napięciem zasilany jest także mikrokontroler i karta SD. Do uzyskania napięcia 3,3 V zastosowany jest popularny stabilizator low-drop typu LP2951 (IC4).

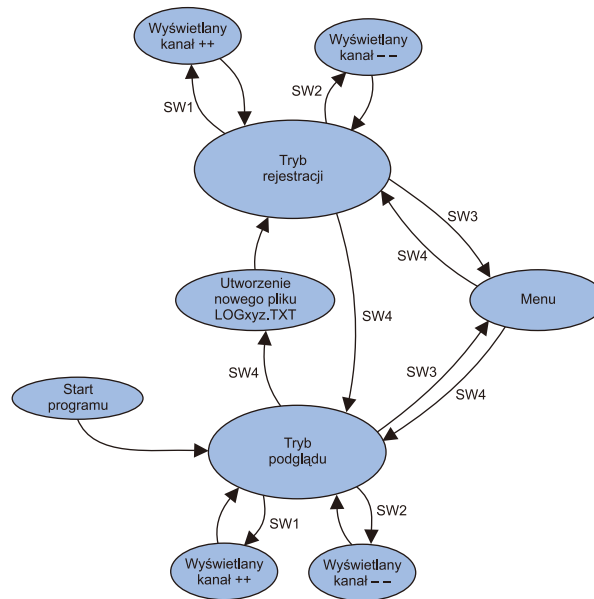
### Montaż i uruchomienie

Płytkę drukowaną (rys. 4) rejestratora zaprojektowano tak, aby zminimalizować jej wymiary. Stąd zastosowanie w niej rezystorów i kondensatorów głównie w rozmiarze 0603 oraz rozmieszczenie elementów z obu stron płytki (np. złącze kart SD znajduje się po stronie „bottom”).

Dławik L1 potrzebny do poprawnego działania przetwornicy powinien charakteryzować się maksymalnym prądem wynoszącym co najmniej 0,2 A (oczywiście może to być dławik na większy prąd – na płycie drukowanej przewidziano sporo miejsca na ten element). Kondensatory znajdujące się obok przetwornicy (C2 i C9) powinny być kondensatorami tantalowymi. Ich wartości nie są krytyczne (można z powodzeniem zastosować kondensatory o wartościach od 47  $\mu$ F do 220  $\mu$ F).

Montaż rejestratora warto zacząć od elementów biernych i modułów zasilania: przetwornicy, stabilizatorów, towarzyszących im elementów oraz kondensatorów odsprężających i filtrujących napięcie zasilania. Po zamontowaniu tych elementów warto sprawdzić poprawność wszystkich napięć zasilających – analogowego i cyfrowego +5 V oraz cyfrowego 3,3 V. Napięcie, które w założeniu ma wynosić +5 V, w rzeczywistości będzie nieco odbiegało od tej wartości z powodu zastosowania diod D1, D3 i D5, lecz nie powinno spaść poniżej wartości 4 V. Jeśli napięcia będą poprawne, bez obaw można przejść do montażu pozostałych elementów biernych oraz droższych układów scalonych: źródła napięcia odniesienia, przetwornika ADC i mikrokontrolera. Po zamontowaniu układu ADR441 (IC5) i włączeniu zasilania, na jego 6 wyprowadzeniu powinniśmy otrzymać napięcie referencyjne VREF wynoszące 2,5 V. Jeśli Czytelnik zdecyduje się na zamontowanie elementów R19, R21 i VR1, to korekty napięcia referencyjnego można dokonać potencjometrem montażowym VR1 – można zalecić zastosowanie potencjometru wieloobrotowego.

W programie sterującym dostarczonym z projektem diody LED1 i LED2 służą do ułatwienia monitorowania stanu rejestratora. Jedna z diod błyska za każdym razem, kiedy ma się rozpocząć pomiar napięcia. Jeśli baterie dostarczają napięcie wynoszące ponad 2,5 V, błyska dioda LED2. Natomiast przy częściowo rozładowanych bateriach błyskać będzie dioda LED1. Dlatego warto zamontować te diody w odpowiednich



Rys. 5. Uproszczony graf stanów rejestratora

kolorach. Dzięki temu będzie można bez problemów nawet z dużej odległości rozpoznać, czy rejestrator wymaga wymiany baterii.

Po zmontowaniu i sprawdzeniu całego układu można przystąpić do programowania pamięci Flash mikrokontrolera. Czytelnicy chcący uruchomić rejestrator wyłącznie jako narzędzie warsztatowe mogą jednorazowo zaprogramować mikrokontroler za pomocą programu SAM-BA przez interfejs USB lub DBGU. W materiałach do niniejszego artykułu, oprócz kodu źródłowego, znajdziemy gotowy plik binarny (DC\_Logger\_v1.bin), który należy umieścić w pamięci Flash mikrokontrolera.

Czytelnicy, którzy zechcą dostosować oprogramowanie rejestratora do własnych potrzeb, zapewne skorzystają ze złącza JTAG na płycie urządzenia. Jak wspomniano wcześniej, do podłączenia typowej wtyczki JTAG do prezentowanej płytki, potrzebna jest prosta przejściówka wg schematu z rys. 3. Programowanie pamięci Flash przez interfejs JTAG można przeprowadzić w miarę łatwo np. za pomocą programu o nazwie H-JTAG [3]. Po załadowaniu oprogramowania do rejestratora i zaopatrzenia go w sformatowaną kartę SD, rejestrator jest gotowy do pracy. Karta SD powinna być sformatowana w jednej z odmian systemu plików FAT i umieszczona w swoim gniazdku od momentu włączenia zasilania bądź resetowania. Rejestrator obsługuje karty SD o pojemności nie przekraczającej 1 GB (obsługa bloków wyłącznie o rozmiarze 512B).

### Obsługa rejestratora

Urządzenie może pracować w dwóch trybach: trybie podglądu i trybie rejestracji. Tryb podglądu jest domyślnym trybem pracy po włączeniu zasilania rejestratora. W tym trybie napięcia mierzone są co 2 sekundy, niezależnie od ustawienia okresu pomiaru, a na górnej linii wyświetlacza wyświetlony jest tekst Idle.

Przejdzie do trybu rejestracji i zapisu danych do pliku wykonywane jest po wciśnięciu przyci-

sku SW4. Nazwy plików przy rozpoczęciu rejestracji nadawane są wg wzoru: LOGxyz.TXT, gdzie xyz oznacza liczbę dziesiętną od 000 do 999. Rozpoczynając rejestrację napięcie urządzenie wyszukuje pierwszą wolny numer xyz i tworzy odpowiedni plik na karcie SD. Do wybranego pliku zapisywane będą dane aż do zakończenia pomiaru przez przejście z powrotem do trybu podglądu (przyciskiem SW4). W trybie rejestracji na górnej linii wyświetlacza LCD wyświetlony jest tekst LOG LOGxyz.TXT, gdzie xyz to numer wchodzący w skład nazwy pliku.

Z racji niewielkich ilości danych, jakie można prezentować na wyświetlaczu LCD 2x16, wyświetlane jest napięcie tylko jednego kanału. Przełączanie aktualnie wyświetlanego kanału odbywa się za pomocą przycisków SW1 (w górę) oraz SW2 (w dół), niezależnie od tego czy rejestrator pracuje w trybie podglądu, czy rejestracji. Uproszczony graf stanów rejestratora przedstawiono na rys. 5. Wyświetlanie napięcia wybranego kanału odbywa się w dolnej linii wyświetlacza LCD. Tam też wyświetlana jest aktualna wartość okresu rejestracji.

Konfigurację okresu pomiaru oraz kalibrację można przeprowadzić z poziomu menu rejestratora. Do menu wchodzimy przyciskiem SW3. Przycisk ten w menu oznacza także enter (RET) i służy do zatwierdzania zmian. Wyjście z menu oraz ignorowanie zmian wykonywane są po wciśnięciu przycisku SW4, który w menu pełni funkcję escape (ESC). Przyciski SW1 i SW2 pełnią funkcje zwiększania i zmniejszania wartości w menu.

Struktura menu jest bardzo prosta, ponieważ w podstawowej wersji oprogramowania menu składa się jedynie z 2 elementów: ustawiania okresu pomiaru i wejścia do procedury kalibracji. Po wejściu do opcji ustawiania okresu pomiaru (Set period) przyciskami SW1 i SW2 ustawiamy żądaną liczbę sekund pomiędzy pomiarami. Ustawienie 1 sekundy zaowocuje pewną niedokładnością rzeczywistego okresu, ponieważ czas pomiaru jest nieco większy od 1 s. Ustawioną wartość okresu możemy zatwierdzić (zapisać do pamięci nieulotnej) przyciskiem SW3 lub odrzucić przyciskiem SW4.

Drugą opcją menu jest wejście do trybu kalibracji (Calibrate). Kalibracja wymaga pewnej współpracy użytkownika. Po wejściu do trybu kalibracji na wyświetlaczu pojawi się komunikat: Inputs=0 V ...and enter, oznaczający, że powinniśmy zewrzeć wszystkie wejścia rejestratora do napięcia odniesienia, po czym wcisnąć enter (SW3). Po wciśnięciu SW3 urządzenie wykona 10 pomiarów napięć i policzy z nich średnią. Następny komunikat sygnalizuje konieczność podłączenia wszystkich wejść do napięcia -2,5 V: Inputs=-2,5 V...and enter. Jak opisano wyżej, źródłem napięcia -2,5 V względem napięcia VREF rejestratora jest masa urz-

dzenia, a zatem wszystkie wejścia należy podłączyć do masy rejestratora i nacisnąć SW3. Urządzenie ponownie wykona 10 pomiarów oraz obliczy, jakie dzielniki zastosowano dla każdego kanału. Po drugim etapie kalibracji użytkownik zostaje zapytany, czy rejestrator ma zapisać ustawienia: `Save Settings? RET=yes ESC=no`. Jeśli wciśniemy SW3 (RET, enter) to wyniki kalibracji zostaną zapisane do pamięci nieulotnej. Wciśnięcie SW4 (ESC) spowoduje zignorowanie przeprowadzonej kalibracji.

Aktualne ustawienia rejestratora przechowywane są w pliku binarnym `config.dat` na karcie pamięci w rejestratorze. Jeśli uruchomimy rejestrator ze świeżo sformatowaną kartą lub pliku `config.dat` nie będzie na karcie, to zostanie on utworzony ponownie i będzie zawierał ustawienia domyślne. W pliku `config.dat` umieszczono wartość okresu pomiarów, wartości przesunięcia zera dla każdego kanału oraz współczynniki tłumienia dzielników wejściowych. Dodatkowo plik zawiera na końcu liczbę „magiczną” `0xABC-D5555` służącą do rozpoznawania, czy odczytany `config.dat` jest rzeczywiście plikiem konfiguracyjnym, czy innym, przypadkowym plikiem o takiej samej nazwie.

Niezależnie od tego, w którym trybie pracował rejestrator (pomiaru czy podglądu), podłączenie urządzenia do komputera PC przez port USB spowoduje wejście w tryb komunikacji, który sygnalizowany jest komunikatem na wyświetlaczu: `*USB Connection*`.

W tym trybie urządzenie będzie pracowało jako czytnik znajdujących się w nim karty SD. Dane zebrane w czasie pomiarów znajdziemy w plikach tekstowych o nazwach zaczynających się od LOG. Plik taki zawiera 11 kolumn z danymi. Pierwsza kolumna to „czas systemowy”, czyli liczba sekund, jakie upłynęły od momentu

włączenia zasilania rejestratora do rozpoczęcia pomiaru. Pozostałe 10 kolumn to wyniki pomiarów z poszczególnych kanałów wejściowych rejestratora. Napięcia zapisane w pliku LOG wyrażone są w woltach.

### Działanie programu sterującego

Ta część artykułu może być pomocna dla Czytelników chcących dostosować jego kod źródłowy do własnych potrzeb. Kod programu rejestratora nie jest bardzo skomplikowany – jest to aplikacja jednowątkowa, działająca bez kontroli jakiegokolwiek systemu operacyjnego. Dzięki sterownikom wielu urządzeń, wysoko-poziomowy program rejestratora nie jest dużo bardziej skomplikowany niż aplikacje pisane w Bascom.

Cały program napisano dla kompilatora GCC wchodzącego w skład pakietu WinARM. Kod źródłowy rejestratora znajdziemy w plikach `main.c`, `logger.c` oraz `tools.c` w katalogu głównym projektu `DC_Logger_v1`. Funkcja `main` znajduje się w pliku `main.c` katalogu głównego projektu. Wykaz zawartości najważniejszych plików i podkatalogów projektu znajdziemy w **tab. 1**.

### Główne elementy programu

W funkcji `main` umieszczono nieskończoną pętlę while przedstawioną na **list. 1**. Pierwszą instrukcją tej pętli jest wywołanie funkcji `loggerProcess`. Program wykonuje kod funkcji `loggerProcess` tak długo, aż użytkownik nie podłączy rejestratora do komputera przez port USB. Po podłączeniu, na wyświetlaczu pojawi się komunikat `*USB Connection*`, a następnie zainicjowana zostanie obsługa klasy `Mass Storage Device Class` przez wywołanie funkcji `mscInit`. Rozpoczęcie transmisji USB

następuje w momencie wywołania funkcji `mscStart` i trwa aż do odłączenia rejestratora od komputera. W czasie, gdy urządzenie jest podłączone do komputera, w pętli wykonywana jest funkcja `mscUIEnumerate` realizująca obsługę wszystkich żądań USB. Zasada działania procedur obsługi klasy magazynującej USB opisana została w artykule [4]. Po zakończeniu wymiany danych przez USB, wykonana zostaje powtórna inicjacja biblioteki obsługi systemu plików przez wywołanie funkcji `fsInit`.

Funkcja `loggerProcess` jest dość rozbudowana. Na początku wywołuje `loggerInit` odpowiadającą za inicjację najważniejszych modułów używanych w czasie wykonywania pomiarów. Przetwornik jest inicjowany przed każdym pomiarem, a po jego zakończeniu jest zerowany, co jest najprostszym sposobem przełączenia go w stan uśpienia.

### Źródła sygnału zegarowego i zarządzanie energią

Zarówno w trybie rejestracji jak i podglądu, mikrokontroler taktowany jest sygnałami zegarowymi o niskich częstotliwościach. Maksymalna częstotliwość taktowania (ok. 48 MHz uzyskiwana z modułu PLL mikrokontrolera) włączana jest jedynie podczas przetwarzania i zapisu danych na kartę SD oraz gdy rejestrator podłączony jest do portu USB. W trakcie oczekiwania na zakończenie wykonywania pomiarów przez przetwornik analogowo-cyfrowy, mikrokontroler taktowany jest sygnałem zegarowym uzyskanym bezpośrednio z dołączonego do niego rezonatora kwarcowego o częstotliwości 18,432 MHz (wtedy układ PLL mikrokontrolera jest nieaktywny). W czasie pomiędzy pomiarami, do taktowania mikrokontrolera używany jest oscylator RC wbudowany w mikrokontroler,

Tab. 1.

Katalog	Pliki	Krótki opis zawartości
główny	<code>mian.c</code>	funkcja <code>main</code> , główna funkcja inicjalizująca <code>init</code> , pętla główna
	<code>Board.h</code>	makrodefinicje podstawowych wyprowadzeń mikrokontrolera
	<code>common.h</code>	makrodefinicje, które dla wygody warto umieścić w większości modułów
	<code>logger.c</code> , <code>logger.h</code> , <code>tools.c</code> , <code>tools.h</code>	elementy programu (makrodefinicje, funkcje) odpowiedzialne za funkcjonalność rejestratora
drivers	<code>ad7718.c</code> , <code>ad7718.h</code>	sterownik przetwornika analogowo-cyfrowego AD7718
	<code>dbgu.c</code> , <code>dbgu.h</code>	funkcje odpowiedzialne za wypisywanie komunikatów diagnostycznych przez port szeregowy DBGU mikrokontrolera
	<code>delay.c</code> , <code>delay.h</code>	proste funkcje opóźniające
	<code>lcd_2x16.c</code> , <code>lcd_2x16.h</code>	sterowniki wyświetlacza tekstowego 2x16
	<code>pwr_clk_mgmt.c</code> , <code>pwr_clk_mgmt.h</code>	kod odpowiedzialny za zarządzanie energią, wybór źródła sygnału taktującego i odmierzenie czasu
	<code>spi.c</code> , <code>spi.h</code>	ogólny sterownik magistrali SPI
	<code>sd_spi.c</code> , <code>sd_spi.h</code>	sterownik karty SD/MMC
	<code>cstartup.S</code> , <code>Cstartup_SAM7.c</code>	pliki startowe: kod obsługi niektórych wyjątków, niskopoziomowa inicjalizacja mikrokontrolera
fat	<code>ff.c</code> , <code>ff.h</code>	rdzeń biblioteki obsługi systemu plików FAT: <code>FatFs</code>
	<code>diskio.c</code> , <code>diskio.h</code>	funkcje interfejsu pomiędzy biblioteką <code>FatFs</code> a kartą SD
	<code>fs_tools.c</code> , <code>fs_tools.h</code>	„nakładka” dla biblioteki <code>FatFs</code> ułatwiająca zapis i odczyt danych z plików
include	<code>AT91SAM7S64.h</code> , <code>lib_AT91SAM7S64.h</code>	pliki nagłówkowe z makrodefinicjami bitów i rejestrów mikrokontrolera, funkcje niskopoziomowej obsługi modułów peryferyjnych
	<code>SAM7_64.lids</code>	skrypt linkera dla mikrokontrolerów AT91SAM7S64
mass_storage	<code>msc_bot</code> , <code>msc_desc</code> , <code>msc_if</code> , <code>msc_scsi</code> , <code>msc_ui</code> , <code>msc_usb</code>	obsługa klasy magazynującej USB

a oscylator zewnętrzny i moduł PLL są wyłączone. Częstotliwość wewnętrznego oscylatora RC w mikrokontrolerach rodziny AT91SAM7 wynosi około 32 kHz – producent deklaruje, że częstotliwość ta mieści się w zakresie od 22 do 42 kHz [6]. W programie sterującym zmiany źródła taktowania dokonywane są przez wywołanie funkcji `pwrSetClockSrc` z odpowiednim parametrem. Definicję tej funkcji umieszczono w pliku `pwr_clk_mgmt.c`, a definicje kodów źródeł sygnału zegarowego w pliku `pwr_clk_mgmt.h`. Zaimplementowano możliwość wyboru trzech źródeł sygnału zegarowego: o częstotliwości zbliżonej do 48 MHz z modułu PLL, o częstotliwości 18,432 MHz z zewnętrznego oscylatora kwarcowego (moduł PLL wyłączony) oraz o częstotliwość ok. 32 kHz z wewnętrznego oscylatora RC (zewnętrzny oscylator i PLL wyłączone). Te źródła wybierane są odpowiednio kodami: `CLK_SRC_PLL`, `CLK_SRC_XTAL` i `CLK_SRC_SLOWCLOCK`. O aktualnym źródle sygnału zegarowego dowiedzieć się można odczytując wartość zwracaną przez funkcję `pwrGetClockSrc`.

Dość ciekawym faktem jest to, że kod funkcji `loggerProcess` znajduje się w pamięci RAM i stamtąd też jest wykonywany. Taki zabieg zastosowałem po to, aby dodatkowo zmniejszyć pobór prądu. Pamięć Flash mikrokontrolerów AT91SAM7S64 pobiera przy odczycie ok. 3 mA. Jeśli mikrokontroler nie wykonuje dostępu do pamięci Flash, to pamięć ta automatycznie jest wyłączana. Na wykonywanie funkcji z pamięci Flash pozwala zastosowany skrypt linkera (`SAM7_64.lds`).

## Odmierzanie czasu

Odmierzanie czasu pomiędzy kolejnymi pomiarami odbywa się w pełni sprzętowo za pomocą modułu timera RTT (Real Time Timer) wbudowanego w mikrokontroler. Timer ten domyślnie taktowany jest sygnałem zegarowym o niskiej częstotliwości (32 kHz), więc z założenia może służyć do odmierzenia czasu w trybach obniżonego poboru prądu. Za pomocą funkcji `pwrSetAlarm` (moduł `pwr_clk_mgmt.c`) ustawiany jest czas w sekundach, po jakim ma nastąpić alarm. Wystąpienie alarmu jest tożsame z przerwaniem od modułu RTT, czyli przerwaniem od całego zestawu modułów peryferyjnych wchodzących w skład tzw. System Controller. W erracie noty katalogowej mikrokontrolerów AT91SAM7S [6] możemy przeczytać, że jedynym pewnym sposobem informowania o wystąpieniu alarmu jest przerwanie. Próba ciągłego sprawdzania bitu `ALMS` w rejestrze `RTTC_RTSR` może prowadzić do wyzerowania tego bitu przed odczytem i utraty informacji o alarmie, a tym samym zmniejszenia przewidywalności działania całego urządzenia.

## Kalibracja bez tajemnic

Przetwarzanie rzeczywistego napięcia przyłożonego do zacisków wejściowych rejestratora na liczbę zapisaną w pliku tekstowym, można porównać do realizacji funkcji liniowej. Wiemy, że

funkcję liniową można zdefiniować dwoma parametrami: nachyleniem (wyrażonym przez kąt lub współczynnik) oraz przesunięciem np. względem początku układu współrzędnych. Podobnie działa przetwarzanie danych w rejestratorze.

- Zmierzone napięcie może zawierać pewien niepożądany offset. To przesunięcie bierze się m.in. z zasady działania przetwornika analogowo-cyfrowego, z wpływu rezystancji doprowadzeń, projektu płytki drukowanej. Bardzo ważnym założeniem jest tutaj stałość offsetu dla każdego napięcia: przyjmujemy, że taki sam offset wystąpi dla napięcia 0 V, jak i dla napięcia 10 V.
- Niedokładność wejściowych dzielników rezystancyjnych spowoduje inny podział niż zakładany w projekcie.

Oba powyższe błędy można wyeliminować stosując proste przetwarzanie danych na zasadzie opisanej wyżej funkcji liniowej. Najpierw od zmierzonego napięcia odejmowany jest niepożądany offset, a następnie uzyskany wynik mnożony jest przez odpowiedni współczynnik. Na **list. 2** przedstawiono funkcję `toolProcessData` (moduł `tools.c`) wykonującą przetwarzanie zmierzonych danych. Jako argument `voltages` przekazujemy wskaźnik do tablicy zawierającej wyniki pomiarów napięć, `multipliers` to wskaźnik do tablicy współczynników decydujących o nachyleniu funkcji przetwarzania, natomiast `offsets` to wskaźnik do tablicy zawierającej wartości przesunięć zera dla każdego kanału. Liczbę kanałów przekazujemy jako argument `numberOfChannels`. Wyniki przetwarzania znajdują się także w tablicy `voltages`. Obliczenia jakie realizuje funkcja można zapisać prostą zależnością:

$$coeff = \frac{Vsukane}{Vadc - Voffset}$$

gdzie

*Vsukane* to napięcie, które wyświetlimy i zapiszemy do pliku,  
*Vadc* to napięcie odczytane z przetwornika analogowo-cyfrowego,  
*Voffset* to wartość napięcia niechcianego przesunięcia,  
*coeff* to współczynnik zależny m.in. od zastosowanego wejściowego dzielnika rezystancyjnego.

Dzięki implementacji tak prostego algorytmu możemy praktycznie bez większych ograniczeń dobierać wzmacnienie, czyli nachylenie naszej funkcji przetwarzania oraz offset, czyli przesunięcia. Dzięki temu nie musimy troszczyć się o dokładne wartości rezystorów dzielników – pozostaje jedynie problem ich szumów oraz stabilności ich rezystancji w czasie i przy zmianach temperatury.

Proces kalibracji umożliwia uzyskanie wartości przesunięć i współczynników wzmacnienia. Wartość przesunięcia najłatwiej uzyskać zwiernając wejścia tak, aby wynikiem pomiaru były napięcia 0 V. W przypadku rejestratora wejścia należy zewrzeć do napięcia referencyjnego 2,5 V, ponieważ względem niego prowadzony jest po-

miar. Każda uzyskana w pomiarze wartość inna niż 0 V będzie wspomnianym, niepożądanym offsetem, który należy wyeliminować. Za kalibrację przesunięć odpowiedzialna jest funkcja `toolCalibZero` (**list. 3**) w module `tools.c`. W funkcji wykonywanych jest 10 pomiarów napięcia (stała `NUMBER_OF_MEASUREMENTS`) przy zwartych wejściach, a następnie obliczana jest ich średnia. W trakcie działania funkcji `toolCalibZero`, na wyświetlaczu LCD wypisywane są także komunikaty, który pomiar jest wykonywany, przede wszystkim po to, aby pokazywać użytkownikowi aktywność urządzenia. Jeden pomiar trwa około 1 s.

Dysponując wartością przesunięcia, można przystąpić do obliczenia wartości wzmacnienia dla każdego kanału. W tym celu należy zewrzeć wejścia do napięcia, które jest znane programowi kalibracyjnemu – w przypadku rejestratora jest to napięcie -2,5 V względem napięcia odniesienia, czyli masa rejestratora. Od zmierzonego napięcia odejmowany jest uzyskany wcześniej offset, a następnie obliczany jest współczynnik, przez który później będzie mnożone napięcie po pomiarze. Te czynności można opisać taką prostą zależnością:

$$coeff = \frac{VREF}{Vadc - Voffset}$$

gdzie:

*coeff* – szukany współczynnik,  
*VREF* – napięcie odniesienia (u nas -2,5 V),  
*Vadc* – wynik pomiaru (napięcie odczytane z przetwornika),  
*Voffset* – obliczony wcześniej współczynnik

Zauważmy, że jest to przekształcona poprzednia zależność na *Vszukane*. Tutaj jednak za *Vszukane* podstawiliśmy *VREF*, czyli napięcie -2,5 V. Za znajdowanie współczynników odpowiada funkcja `toolCalibCoeff` (**list. 5**). Jako argumenty do funkcji przekazywane są wskaźniki do tablicy zawierającej znalezione uprzednio przesunięcia (`offsetArr`), oraz do tablicy, w której znajdują się obliczone współczynniki (`coeffArray`). Dodatkowo w argumentie podawane jest napięcie odniesienia (`referenceVoltage`).

Domyślnie rejestrator przeprowadzana kalibrację programowo. Przetwornik AD7718 ma także możliwość przeprowadzenia wewnętrznej kalibracji. Więcej na jej temat można znaleźć w nocie katalogowej układu AD7718 [5].

## Przechowywanie danych

Jak wspomniano wyżej, rejestrator może przechowywać dane konfiguracyjne w pamięci nieulotnej. Typem służącym do przechowywania parametrów konfiguracji rejestratora jest `T_LoggerConfig`. Jego definicja przedstawiono na **list. 5** (znajduje się ona w pliku `logger.c`). `T_LoggerConfig` definiuje strukturę danych zawierającą następujące elementy:

- `period` – przechowuje czas w sekundach pomiędzy kolejnymi pomiarami,
- `coeffs` – przechowuje tablicę współczynników służących do korekcji wzmacnienia każdego kanału,

**WYKAZ ELEMENTÓW****Rezystory (SMD, 0603)**

R14, R18: 0 Ω  
 R8, R9: 27 Ω  
 R6: 100 Ω  
 R16, R17: 470 Ω  
 R21: 1 kΩ  
 R10, R15: 1,5 kΩ  
 R5, R22, R23, R44...R51: 10 kΩ  
 R3: 27 kΩ  
 R4, R7: 47 kΩ  
 R1, R2, R19...R20, R24...R33: 100 kΩ  
 R11, R12: 330 kΩ  
 R34...R43: 900 kΩ (można zamontować 1 MΩ)  
 R13: nie montować w podstawowej wersji  
 RP2, RP4: drabinka rezystorowa 4×10 kΩ, rozmiar 1206  
 VR1: potencjometr montażowy 10 kΩ  
 VR2: potencjometr montażowy 20 kΩ

**Kondensatory (SMD, 0603)**  
 C6, C14: 10 pF

C16: 1 nF  
 C15: 10 nF  
 C1, C3...C5, C7, C8, C10, C11, C19, C22, C23, C25, C26, C28...C38: 100 nF  
 C12, C13, C17, C18, C21, C24, C27, C39: 10 μF tantalowy, rozmiar A  
 C2: 47...220 μF/6,3 V tantalowy, rozmiar B lub większy  
 C9: 100...220 μF/6,3 V tantalowy, rozmiar B lub większy  
 C20: 100 μF/25 V elektrolityczny, przewlekany

**Półprzewodniki**  
 Q1: BC817 lub podobny NPN w obudowie SOT-23  
 D1, D2, D4, D6...D15: 1N4148 w obudowie LL-34  
 D3, D5: Schottky, np. BAS85 lub podobna  
 LED1, LED2: diody LED SMD 0603 lub 0805  
 IC1: AT91SAM7S64 (można zastosować także -S128, -S256), obudowa LQFP-64  
 IC2: L6920D obudowa TSSOP-8

IC3: AD7718 obudowa SOIC-28  
 IC4: LP2951 obudowa SOIC-8  
 IC5: ADR441 obudowa SOIC-8  
 IC6: 78L05 obudowa TO-92

**Inne**  
 CON1: goldpin 1×2 lub koszyk z bateriami  
 CON2: USB-B-mini, SMD  
 CON3: goldpin 1×4  
 CON4: złącze zasilania DC, przewlekane  
 CON5, CON6: goldpin 2×5  
 CON7: złącze kart SD/MMC  
 CON8: goldpin 2×10  
 CON9: goldpin 1×16  
 L1: 10...22 μH, >0,2 A, max. rozmiar 12×12 mm  
 L2: 100 μH, 10 mA, rozmiar 1206 lub podobny  
 X1: rezonator kwarcowy 18,432 MHz, SMD  
 X2: rezonator kwarcowy 32768 Hz, "zegarkowy"  
 SW1...SW4: przyciski "tact switch" SMD

- `offsets` – tablica wartości przesunięć (`offsets`) poszczególnych kanałów,
- `magic` – wartość używana do sprawdzania, czy zawartość pliku konfiguracyjnego jest poprawna.

Obiektem przechowującym aktualne dane konfiguracyjne jest struktura `currentConfig` typu `T_LoggerConfig`. Na samym początku działania rejestratora (funkcja `loggerInit`), urządzenie próbuje odczytać dane ze znajdującego się na karcie pliku `CONFIG.DAT` bezpośrednio do struktury `currentConfig`. To wszystko dzieje się w funkcji `restoreConfig` (list. 6) pobierającej jako argument wskaźnik do obiektu typu `T_LoggerConfig`. Jeśli plik zostanie odnaleziony na karcie (funkcja `fsRead` zwróci poprawną liczbę odczytanych danych), konfiguracja zostaje odczytana do obiektu `currentConfig`, a następnie odczytane dane sprawdzane są pod kątem ich poprawności. Najpierw sprawdzane jest czy liczba „magiczna” (element `magic`) ma taką wartość, jak zdefiniowana w stałej `MAGIC_VALUE` (0xABCD5555). Następnie sprawdzana jest czy wartość okresu pomiaru nie wykracza poza ustalone granice. Jeśli wszystkie testy zakończą się pozytywnie, funkcja `restoreConfig` zwróci wartość OK. Niepoprawny wynik któregoś z testów spowoduje zwrócenie wartości FAIL, która z kolei wymusi w rejestratorze zastosowanie i zapisanie do pliku `CONFIG.TXT` domyślnych ustawień przez wywołanie funkcji `setDefaultConfig` i `saveConfig`. Funkcja `saveConfig` (list. 7) jest dużo prostsza niż `restoreConfig`, ponieważ rejestrator nie sprawdza w niej poprawności danych konfiguracyjnych. Sam zapis danych na kartę SD odbywa się po wywołaniu funkcji `fsRewrite` z odpowiednimi parametrami.

Funkcje `fsRead` i `fsRewrite` służą maksymalnemu uproszczeniu realizacji dostępu do zawartości karty SD. Dzięki ich zastosowaniu nie ma konieczności otwierania pliku, wpisywania do niego danych, a następnie zamykania go, tak jak w przypadku typowych bibliotek obsługi systemu plików. Te funkcje są nakładką na bibliotekę `FatFs` [7], używaną w projekcie rejestratora. Oczywiście sprawdzają się one przede wszystkim w takich projektach jak rejestrator, gdzie nie ma dużo danych do zapisu i odczytu. Inną nakładką dla biblioteki `FatFs` jest funkcja `fsWriteLine`, która służy do dopisywania linii tekstu do wybranego pliku. Zastosowana jest ona w funkcji `toolAddRecordToLog` (`tools.c`) do dopisywania kolejnych wyników pomiarów do pliku `LOGxyz.TXT`.

### Możliwości modyfikacji i rozbudowy rejestratora

Podstawową możliwością zmiany parametrów rejestratora jest dobór innych dzielników rezystancyjnych lub ich pominięcie. Podane na schemacie ideowym (rys. 2) wartości dzielników rezystorów powodują podział napięcia przez 10. Dobierając wejściowe dzielniki rezystancyjne warto mieć na uwadze niewielkie rozmiary geometryczne płytki drukowanej i związane z nimi maksymalne bezpieczne różnice potencjałów, które mogą wystąpić na płytce. Zdecydowanie odradzamy Czytelnikom wybieranie dzielników napięcia pozwalających na podanie napięć wyższych niż 50 V.

Zwiększenie czułości wejściowej rejestratora oraz zmianę trybu wykonywania pomiarów na symetryczne najłatwiej jest wykonać modyfikując funkcje odpowiadające za obsługę przetwornika analogowo-cyfrowego. Znajdują się one w pliku `ad7718.c` w podkatalogu `drivers` projektu

`DC_Logger_v1`. Minimalny zakres pomiarowy (najwyższa czułość), jaki można uzyskać stosując przetwornik AD7718 to ±20 mV. W podstawowym programie rejestratora wybrano najszerszy zakres napięć wejściowych ±2,56 V, a tym samym najniższą czułość.

Zmianę czasu wykonywania pomiarów można dokonać dobierając wartość wpisywaną do rejestru cyfrowego filtra układu AD7718 w funkcji `adcGetAll` (także moduł `ad7718.c`). Domyślnie do tego rejestru wpisywana jest wartość 0x4B. Zwiększając ją wydłużamy czas pomiaru i zwiększamy rozdzielczość, natomiast zmniejszając skracamy czas pomiaru, jednocześnie zmniejszając rozdzielczość.

Innymi pomysłami na zwiększenie funkcjonalności rejestratora może być dołączenie modułu komunikacyjnego do złącza EXT (CON6). Wyprowadzone na tym złączu sygnały (interfejs USART) i napięcia zasilania pozwalają bez większych problemów dołączyć do rejestratora modem GSM.

**Robert Brzoza-Woch**  
 rabw@poczta.fm

#### Literatura:

1. Nota katalogowa L6920D, ST Microelectronics
2. Lucjan Bryndza – ARM-y w praktyce, Programowanie ISP mikrokontrolerów LPC2000 i AT91SAM7S, część 2, EP nr 1/2006
3. H-JTAG, <http://www.hjtag.com/>
4. Robert Brzoza-Woch, Czytnik kart SD, Elektronika Praktyczna 5-6/2008
5. Nota katalogowa AD7718, Analog Devices
6. Nota katalogowa AT91SAM7S321-3211-64/-128/-2671-512
7. Moduł obsługi systemu plików FatFs, [http://elm-chan.org/fsw/ff/00/index\\_e.html](http://elm-chan.org/fsw/ff/00/index_e.html)

R E K L A M

# forum.ep.com.pl