

kit

2999

AVT

Minikombajn Pomiarowy

Każdy elektronik potrzebuje czasem dokonać pomiarów, w których nie wystarczy już zwykły multimetr. Podczas uruchamiania urządzeń, najczęściej analogowych, niezbędny bywa oscyloskop i generator funkcyjny. Nie każdy elektronik może pozwolić sobie na zakup tych urządzeń. Jednak przy uruchamianiu prostych układów rzadko potrzebne są dokładne pomiary i kilkadziesiątomegahercowy zakres częstotliwości. Często oscyloskop i generator może zastąpić karta dźwiękowa komputera. Ale czy zakres 20Hz – 20kHz wystarczy? A co, jeśli potrzebujemy zmierzyć np. przebieg 50kHz na tranzystorze kluczującym w przetwornicy impulsowej? Jak sprawdzić, czy nadajnik podczerwieni generuje nośną 36kHz? Jak upewnić się, że nasz dopiero co uruchomiony wzmacniacz nie wzbudza się na ultradźwiękach?

A może przy uruchamianiu regulatora obrotów silnika DC potrzebny będzie testowy generator PWM? Do czego innego potrzebny będzie inny generator, np. przebiegu sinusoidalnego. Pewnie dojdziemy do wniosku, iż trzeba zrobić własne urządzenia pomiarowe. Budowa cyfrowego oscyloskopu i generatora DDS o niewygodnych parametrach w ostatnich latach nie jest tak wielkim problemem, jak dawniej. Potrzebujemy tylko kilku wzmacniaczy operacyjnych, multiplexerów i drabinki rezystorów. Później filtr antyaliasingowy, no i wreszcie przetwornik analogowo-cyfrowy w przypadku oscyloskopu bądź cyfrowo-analogowy, jeśli budujemy generator. Całością będzie sterował jakiś popularny mikrokontroler. Na

koniec jeszcze ładny wyświetlacz i panel z klawiaturą. No i gotowe!

Z pozoru wszystko jest proste, ale jak się tak bliżej przyjrzeć, to jednak wychodzi sporo elementów. Już nie wspominając o faktie, że przy uruchamianiu i kalibracji naszego dzieła i tak będziemy potrzebowali, o zgrozo, oscyloskopu i generatora. W przeciwnym razie urządzenie będzie działało „tak sobie” lub w najgorszym wypadku wcale nie będzie miało na to ochoty.

Przydałby się gotowy, skalibrowany moduł zawierający w sobie wyżej wymienione elementy. Wprawdzie tzw. układy PSoc są temu bliskie, jednak mnie bardziej zaciekawiły najnowsze mikrokontrolery AVR – XMEGA. Może pomyślisz, drogi Czytelniku, że to jakaś pomyłka lub kpina. Przecież od dawna są dostępne o wiele wydajniejsze i tańsze mikrokontrolery ARM. Kto by się zachwycał „8-bitowcami”?

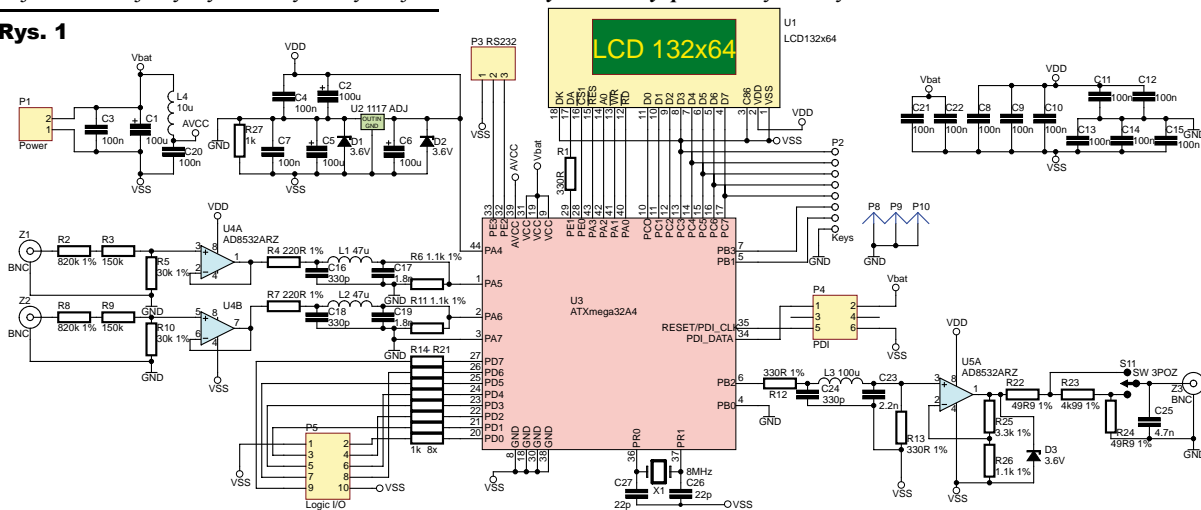
A jednak! Te małe „stworki” mają coś, czego jeszcze w trakcie pisania tego tekstu nie posiadają żadne 32-bitowe mikrokontrolery ARM ani żadne inne ogólne zastosowania. Tym czymś jest **wbudowany 12-bitowy prze-**

twornik A/C o częstotliwości próbkowania 2MS/s, który ma programowalne wzmocnienie 1 – 64x. A to oznacza ni mniej, ni więcej, że mamy gotowe multiplexersy, a tak w zasadzie – gotowy cały tor pomiarowy. Potrzebny będzie tylko zwykły dzielnik rezystorowy na wejściu. No i warto zostawić filtr antyaliasingowy. Drugą ważną cechą, dość rzadko spotykaną w ARM-ach, jest przetwornik C/A. W XMEGA jest, i to nie byle jaki, bo również 12-bitowy, o częstotliwości próbkowania 1MS/s.

Widząc to, postanowiłem wykonać prezentowany dalej **Minikombajn Pomiarowy**. To nie tylko oscyloskop i generator. Zawiera on zestaw narzędzi, przydatnych przy uruchamianiu większości prostych układów elektronicznych. Połączenie obu tych urządzeń daje takie możliwości, jak pomiar charakterystyki badanego układu, filtrów oraz elementów RLC. Dodatkowo do dyspozycji jest analizator widma sygnału, multimetr oraz analizator stanów logicznych. I to wszystko na jednym małym mikrokontrolerze AVR XMEGA!

CZĘŚĆ 1

Rys. 1



Zapraszam więc do lektury poniższego artykułu wszystkich, którzy chcą mieć cały system pomiarowy w jednej dłoni.

Opis układu

Na początku proszę, żeby nie traktować *Minikombajnu Pomiarowego jak profesjonalnego urządzenia pomiarowego*, choć na pewno będzie on bardzo przydatny przy uruchamianiu wszelkich hobbyistycznych układów. A teraz przejdźmy do podstaw.

Urządzenie składa się z kilku narzędzi pomiarowych, których parametry pokazuje tabela 1. Schemat ideowy przedstawiony jest na rysunku 1 – płyta główna, oraz rysunku 2 – klawiatura matrycowa 2x5 z diodami, które zapobiegają zwarciom i pozwalają na poprawny odczyt z kilku klawiszy naciśniętych równocześnie. Główny schemat jest dużo bardziej rozbudowany. Można na nim wyróżnić kilka bloków: zasilanie, układ wejściowy ADC, układ wyjściowy DAC, złącze I/O oraz interfejs użytkownika. Całością zarządza mikrokontroler ATXMEGA32A4.

Zasilanie. Podczas analizy schematu obwody zasilania mogą wydawać się bardzo dziwne. Otóż wszystkie układy peryferyjne zasilane są z mikrokontrolera, stąd VDD podłączone jest z pinem PA4. Pozwala to znacznie ograniczyć prąd, wyłączając urządzenie programowo. Dzięki temu przy zasilaniu bateryjnym nie jest potrzebny dodatkowy wyłącznik mechaniczny. Sam mikrokontroler zasilany jest bezpośrednio ze złącza Power. Dodatkowo AVCC jest filtrowane poprzez dławik L4 i kondensator C20. Niepokój budzi zapewne podłączenie masy do wyjścia stabilizatora U2. Ale spokojnie, jest to niezwykle sztuczna masa. Układ 1117ADJ posiada możliwość regulacji napięcia wyjściowego od 1,25V i takie też napięcie występuje pomiędzy końcówkami OUT i ADJ, gdyż nóżka ADJ jest podłączona od razu do masy. Zasada działania taka jak w LM317. Podsumowując: napięcie pomiędzy GND a VSS wynosi 1,25V, więc przy zasilaniu napięciem około 3V, napięcie pomiędzy VDD a GND będzie wynosić 1,75V. To w zupełności wystarczy do poprawnej pracy układów analogowych i przetwornika ADC. Takie rozwiązanie ze sztuczną masą znacząco upraszcza cały układ, gdyż nie są potrzebne dodatkowe linie zasilające lub konwertery napięcia ujemnego.

Diody Zenera D1 i D2 chronią przed przepięciami, mogącymi pojawić się przy nieprawidłowym wykorzystaniu układu. Założymy taką sytuację: ktoś przypadkiem podał sygnał o dużej amplitudzie na wyjście generatora Z3. Dioda D3 będzie ograniczała impulsy o amplitudzie wyższej niż 3,6V, ale uwaga(!), między wyjściem a VSS! Jak widać, prąd wpływający do wyjścia Z3 będzie wypływał masą – bo musi tu być obwód zamknięty. Stabilizator U2 będzie dzielnie sprzeciwiał się wszelkim zmianom, ale tylko do pewnego

momentu. Jeżeli prąd na wyjściu generatora, czyli także na masie, przekroczy 20mA, pin PA4 mikrokontrolera przestanie sobie z nim radzić i 1117ADJ będzie miał zbyt niskie napięcie na wejściu. Potencjał między masą a VSS będzie malał, aż w końcu zmieni polaryzację i wyniesie około -0,6V. Wtedy do akcji wkroczy dioda D1 spolaryzowana w kierunku przewodzenia. Sytuacja zostanie opanowana. Jeżeli masz problemy z wyobrażeniem sobie tej sytuacji, spójrz na rysunek 3. Została tam przedstawiona sytuacja, gdy na wyjściu pojawia się impuls o odwrotnej polaryzacji. W tym przypadku napięcie między masą a VSS będzie się zwiększać i stabilizator nic na to nie poradzi. Wynika to z zasady jego działania. Dioda D2 pełni podobną funkcję i chroni przed przepięciami dostającymi się przez kondensatory filtrujące, głównie C2 i C5. Wprawdzie jest to już sytuacja skrajna, ale lepiej dmuchać na zimne. Na koniec wspomnę jeszcze o tym, że układ 1117ADJ do poprawnej pracy wymaga obciążenia wstępnego, dlatego pojawił się rezystor R27.

Tor sygnałów wejściowych. Minikombajn Pomiarowy ma dwa kanały dla badanych sygnałów. Oba są identyczne, więc zajmiemy się jednym z nich. Sygnał ze złącza Z1 trafia na dzielnik złożony z rezystorów R2, R3 i R5 o impedancji wejściowej 1MΩ. Na wejście wtórnika U4 wędruje napięcie podzielone 33 razy. AD8532 jest wzmacniaczem Rail to Rail, czyli zdolnym do pracy w całym zakresie napięć zasilających. A więc zarówno na wejściu, jak i wyjściu może pojawić się poziom VSS lub VDD. Skoro potencjał między GND a VSS wynosi 1,25V, to można założyć, że maksymalna amplituda sygnału wejściowego nie powinna przekraczać $1,25V \cdot 33 = 41,25V$. Dla pewności przyjmijmy 40V. Z zastosowaniem sondy 10x będzie to odpowiednio 400V. Za wtórnikiem znajduje się 3-biegunowy filtr dolnoprzepustowy RLC. Składają się na niego elementy R4, R6, C16, C17 i L1. Częstotliwość graniczna tego filtru wynosi 330kHz. W ten sposób zredukowane

Tabela 1. Parametry urządzenia:

Zasilanie:

- napięcie: 3V – 3,6V, pobór prądu: praca 35mA – 40mA, w stanie spoczynku <math><50\mu A</math>.

Oscyloskop:

- rozdzielczość pionowa: 12 bitów
 - 2 kanały, każdy o paśmie analogowym 300kHz
 - próbkowanie: 1 kanał – 1Ksampli @2MS/s, 2 kanały – 2 x 512sampli @1MS/s
 - podstawa czasu: 2us...50ms (2us, 5us z interpolacją sinc)
 - wzmacnienie: 50mV – 5V/działkę dla sondy 1x
 - zakres mierzonych napięć: $\pm 40V$, zabezpieczenie wejść do ok. 1kV, impedancja 1MΩ

Generator arbitralny:

- rozdzielczość pionowa: 12 bitów
 - próbkowanie: 512sampli @1MS/s
 - przebiegi domyślne: sinus, prostokąt, piłokształtny, szum różowy, szum biały, arbitralny
 - zakres częstotliwości: 1Hz – 500kHz
 - napięcie wyjściowe: 0 – 2,5Vpp bez obciążenia, dodatkowy tłumik 100x.
 - impedancja wyjść: 50Ω, zabezpieczenie od ok. $\pm 8V$ ($\pm 20V$ przez kilka sekund)
 - regulacja wypełnienia: 1%...99%
 - regulacja offsetu: max $\pm 1,2V$
 - modulacja FM i AM, 0...200%
 - przemiatanie częstotliwości, stosunek $f_{max}/f_{min} \leq 200$
 - możliwość zapisu dowolnego przebiegu i jego edycja

Analizator widma:

- rozdzielczość pionowa: 12 bitów
 - próbkowanie: 1Ksampli, 512-punktowa Real-FFT, częstotliwość końcowa: 160Hz – 1MHz

Analizator stanów logicznych:

- próbkowanie: 8kanałów, 2Ksampli, 500S/s - 4MS/s.

Wobuloskop:

- pomiar charakterystyki metodą przemiatania częstotliwości, impulsem Diraca i szumem białym

Multimetr:

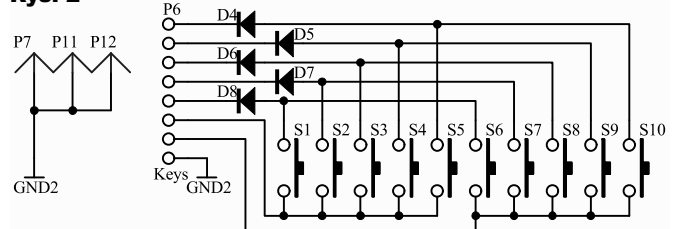
- pomiar napięć: True RMS, wartości średniej, wartości maksymalnej oraz minimalnej
 - pomiar częstotliwości

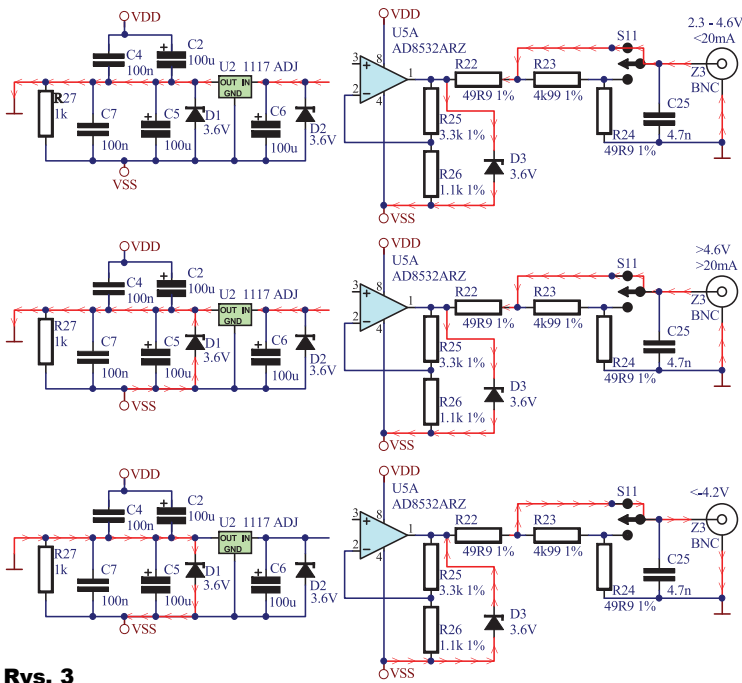
Komunikacja przez RS232:

- prędkość przesyłania danych 19200 – 1,5Mb/s
 - program komputerowy do obsługi urządzenia dla systemów Linux i Windows

zostaje zjawisko aliasingu dla najwyższych częstotliwości próbkowania. Z twierdzenia Kotelnikowa-Shannona wynika, że częstotliwość próbkowania powinna być przynajmniej dwukrotnie wyższa niż najwyższa harmoniczna sygnału, zwana także częstotliwością Nyquista. To zagadnienie najlepiej wyjaśnia rysunek 4. Powiedzmy, że podajemy na wejście przetwornika ADC przebieg (linia czerwona) o trochę niższej częstotliwości

Rys. 2





Rys. 3

niż wynosi próbkowanie (czarne punkty). W efekcie zamiast oryginalnego sygnału zobaczymy inny o dużo mniejszej częstotliwości (linia niebieska). Jak to się ma do powyższego filtru? Otóż dla 330kHz tłumienie wynosi 3dB, czyli niewiele. Jako że jest to filtr 3-biegunowy, charakterystyka opada 18dB/oktawę. To znaczy, że dla częstotliwości 660kHz tłumienie wyniesie już 21dB (18dB + 3dB). To jeszcze nie tak dużo. Za to dla częstotliwości 1MHz tłumienie to już około 36dB, czyli jakieś 60x. Taki przebieg będzie prawie niewidoczny na wyświetlaczu urządzenia. Warto również wspomnieć, że dzielniki wejściowe nie są skompensowane częstotliwościowo. Nie jest to wcale wadą. Wręcz przeciwnie, razem z pojemnością wejściową wzmacniacza operacyjnego taki dzielnik tworzy dodatkowy filtr dolnoprzepustowy o częstotliwości granicznej około 600kHz. W efekcie pasmo przepustowe toru wejściowego wynosi około 300kHz i otrzymujemy bardzo dobre tłumienie wyższych składowych sygnału. Czyli można z grubsza przyjąć, że filtr całkowicie tłumi częstotliwości powyżej 1MHz, a więc zgodnie z powyższym twierdzeniem powinniśmy próbować sygnał z częstotliwością przynajmniej 2MS/s, aby uniknąć aliasingu. Na tyle pozwala ADC wbudowany w mikrokontroler. Przetwornik ten pracuje w trybie differential. Pin odniesienia to PA7. Jest on podłączony do masy sygnałowej, co względem „masy”

W ostateczności po pomnożeniu przez wejściowy dzielnik rezystorowy, maksymalny sygnał, jaki może pojawić się na złączu Z1, to $1,18V * 33,3 = 39,3V$ (amplituda).

No dobrze, wróćmy do przetwornika analogowo-cyfrowego. Dzięki pracy różnicowej możemy skorzystać z wbudowanego mnożnika i dodatkowo wzmocnić sygnał 2x, 4x, 8x, 16x, 32x oraz 64x. Reszta funkcji, takich jak wyzwalanie czy przesuwanie poziomu sygnału, realizowana jest programowo. I w ten oto sposób, otrzymujemy kompletny tor wejściowy.

Tor wyjściowy. Na pierwszy rzut oka wygląda on jak lustrzane odbicie toru wejściowego. Sygnał cyfrowy zostaje tu przekształcony na analogowy. Napięcie referencyjne DAC pobierane jest z masy układu – pin PB0. W przypadku ADC punktem odniesienia była masa sygnałowa. Tutaj sygnałem odniesienia jest po prostu ujemny biegun zasilania mikrokontrolera VSS. Stąd zakres napięć na wyjściu DAC wynosi 0...+1,25V względem VSS. Sygnał z wyjścia PB2 trafia na filtr dolnoprzepustowy RLC, również 3-biegunowy, lecz o częstotliwości granicznej 500kHz. Po podaniu sygnału prostokątnego o częstotliwości 500kHz, na wyjściu uzyskamy ładną sinusoidę. Fala prostokątna składa się z nieparzystych harmonicznych, a wyższe harmoniczne zostaną mocno tłumione. Pierwsza harmoniczna, z jaką musi się uporać filtr, to dopiero 1,5MHz. Możemy łatwo wyliczyć, że tłumienie dla tej częstotliwości wyniesie 39dB, czyli prawie 100x. Uwzględniając fakt, że amplituda drugiej harmonicznej to 1/3 pierwszej, daje w wyniku zniekształcenia na poziomie 0,34%. Nieźle, jak na taki prosty układ. Gdy chcemy uzyskać niższe częstotliwości, np. 300kHz,

wtedy sytuacja nie wygląda już tak różowo. Przy sygnale prostokątnym 300kHz zniekształcenia na wyjściu filtra wyniosą ponad 4%. Na szczęście poniżej 250kHz sytuacja wygląda lepiej. Zniekształcenia nagle stają się znów bardzo małe. A to dlatego, że zamiast sygnału prostokątnego na wyjściu PB2 pojawi się „sinusopodobny” sygnał złożony z czterech schodków. Częstotliwość próbkowania przetwornika cyfrowo-analogowego wynosi maksymalnie 1MHz, dlatego dla częstotliwości z zakresu 250kHz – 500kHz można wygenerować tylko dwa poziomy. Wprawdzie poniżej 330kHz zmieszczą się 3, ale mogłyby się pojawić kłopoty z symetrią przebiegu. Pozostawmy więc przy parzystej liczbie. I tak w miarę zmniejszania częstotliwości liczba poziomów zwiększa się.

Wzmacniacz U5A wzmacnia sygnał 4-krotnie, a filtr tłumi sygnał dwukrotnie (dzielnik R12–R13). Czyli maksymalne napięcie za wzmacniaczem to $1,25V / 2 * 4 = 2,5V$. Nie zapomnij, że na razie jest to napięcie względem VSS! Gdy ustawimy DAC dokładnie w połowie skali, na wyjściu uzyskamy +1,25V względem VSS, czyli 0V względem masy sygnałowej GND. Uzyskujemy w ten sposób generator o amplitudzie maksymalnej $\pm 1,25V$ względem masy.

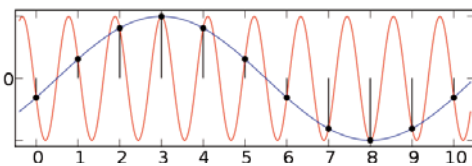
Za wzmacniaczem operacyjnym znajduje się jeszcze rezystor 49,9Ω, co daje wyjściową impedancję około 50Ω. Mamy tam też dodatkowy dzielnik rezystorowy o tłumieniu 100x, który można włączyć przełącznikiem S11. Tuż przed samym złączem znajduje się jeszcze kondensator. Wraz z rezystorem R22 lub R24 tworzy on kolejny filtr dolnoprzepustowy. Częstotliwość graniczna wynosi 677kHz. Dzięki temu, w okolicach 250 – 300kHz, zamiast wspomnianych zniekształceń powyżej 4%, ostatecznie otrzymujemy 2%. Dla znacznie niższych częstotliwości całkowite zniekształcenia harmoniczne sygnału sinusoidalnego nie przekraczają 0,3%.

Podobnie jak w oscyloskopie, takie parametry jak wzmocnienie czy przesunięcie poziomu sygnału są realizowane programowo. Muszę jeszcze ostrzec przed próbą „wyciągnięcia” 50mA z wyjścia generatora. W takim wypadku nóżka PA4 bezlitośnie ograniczy swój prąd i w efekcie na wyjściu otrzymamy około 18mA.

Port wejść/wyjść logicznych. W jego skład wchodzi złącze P5 oraz rezystory R14 – R21 o wartości 1kΩ. W aktualnym programie port ten wykorzystywany jest w analizatorze stanów logicznych. Ale nic nie stoi na przeszkodzie, aby go zastosować do sterowania bądź monitorowania innych urządzeń.

Interfejs użytkownika. Do wyświetlania wszelkich danych wykorzystano popularny graficzny wyświetlacz LCD o rozdzielczości 132x64 ze sterownikiem SPLC510C. Ma podświetlenie LED, które sterowane jest sygnałem PWM na pinie PE1 z włączonym szeregowo

Rys. 4



rezystorem R1. Do portu wyświetlacza podłączona jest także klawiatura. Jej stan jest odczytywany, gdy LCD jest nieaktywny. Na kolejnych pinach PC3–PC7 ustawiany jest stan niski, a następnie sprawdzana jest wartość na pinach PB1 i PB3. Wykorzystujemy multiplexowanie, tak jak w złożonych wyświetlaczach LED, przez co możemy zaoszczędzić kilka wyprowadzeń. Pisząc już o interfejsach, warto wspomnieć, że do dyspozycji jest także port RS232. Dzięki aplikacji komputerowej możemy sterować kombajnem i odczytywać z niego dane. Ale o tym napiszę na koniec.

Serce, czyli ATXMEGA32A4 z 32KB pamięci FLASH, 4KB SRAM i 1KB EEPROM. Mikrokontroler taktowany jest sygnałem 32MHz, uzyskiwanym dzięki pętli PLL z rezonatora kwarcowego 8MHz. Pamięci FLASH ledwie starczyło na implementację wszystkich funkcji. Natomiast SRAM zajmują głównie buforów sygnałów. Na bufor wejściowy przeznaczono 2KB, co daje 1024 próbki 16-bitowe. W przypadku analizatora jest to 2048 próbek 8-bitowych. Bufor wyjściowy zajmuje 1KB, czyli 512 próbek 16-bitowych. Sygnały można przechowywać także w pamięci EEPROM. Mieści się w niej również 512 próbek, z tą tylko różnicą, że są one 12-bitowe. Taka „kompresja” jest jak najbardziej wskazana, gdyż tutaj ważniejsza jest ilość miejsca, a nie prędkość zapisu i odczytu. Dzięki temu dane zajmują tylko 768 bajtów, pozwalając wykorzystać pozostałe 256 bajtów do innych celów. A tych wcale nie brakuje. W pamięci EEPROM przechowywane są także zmienne kalibracyjne oraz ogólne ustawienia.

Program

Kod programu składa się z kilkunastu plików źródłowych w języku C. Na każde narzędzie przypada osobny plik, dzięki czemu program jest bardziej przejrzysty. Myślę, że mimo pisania pod kątem optymalizacji rozmiaru i szybkości, kod będzie strawny. Opiszę teraz poszczególne narzędzia, przy okazji prezentując skrótkowo program. Szczegółowe informacje można znaleźć w komentarzach do kodu.

Oscyloskop. Próbkowanie odbywa się z wykorzystaniem kontrolera DMA. W tym czasie mikrokontroler zostaje wprowadzony w stan uśpienia IDLE. Pozwala to, przynajmniej teoretycznie, ograniczyć szumy generowane wewnątrz procesora. Gdy transfer zostanie zakończony, DMA zgłosi przerwanie i mikrokontroler przejdzie do normalnej pracy. Następnie program wchodzi do pętli, w której sprawdza, czy zaszły warunki wyzwalania. Jeżeli tak, to odpowiednia część sygnału zostaje przepisana do bufora wyświetlacza i w dalszej części wyświetlona. W przeciwnym wypadku program wykonuje się dalej, bez zmiany tego bufora. Nie ma co ukrywać: procedura wyzwalania jest dosyć skomplikowana. Przed wejściem w pętlę sprawdzany

jest tryb wyzwalania oraz liczba kanałów. W samej pętli badany jest sygnał pod kątem rodzaju zbrocza, szybkości narastania, a także poziomu napięcia. Przy przepisywaniu do bufora brana jest pod uwagę również pozycja w pionie i poziomie oraz korekta wzmocnienia. Czyli wszystko, co powinno znaleźć się w przyzwoitym oscyloskopie. W przypadku pracy z podstawą czasu 5µs i 2µs zostaje również przeprowadzona interpolacja sygnału. Jest to nic innego, jak tylko wstawienie dodatkowych próbek zerowych sygnału między istniejące oraz filtracja dolnoprzepustowa z wykorzystaniem odpowiedzi impulsowej sinc. Dla niewtajemniczonych dodam, że chodzi po prostu o filtr o bardzo dobrych parametrach, którego charakterystyka opadania jest niemal pionowa. Całą procedurę ilustruje rysunek 5. Szczegółów nie będę omawiał. Docieklivym radzę zajrzeć do literatury i zapoznać się z takimi zagadnieniami, jak splot, filtry nierekursywne, funkcja sinc, a także interpolacja i decymacja. Pozostałą część kodu zajmują głównie instrukcje odpowiedzialne za ustawianie różnych parametrów i nawigację.

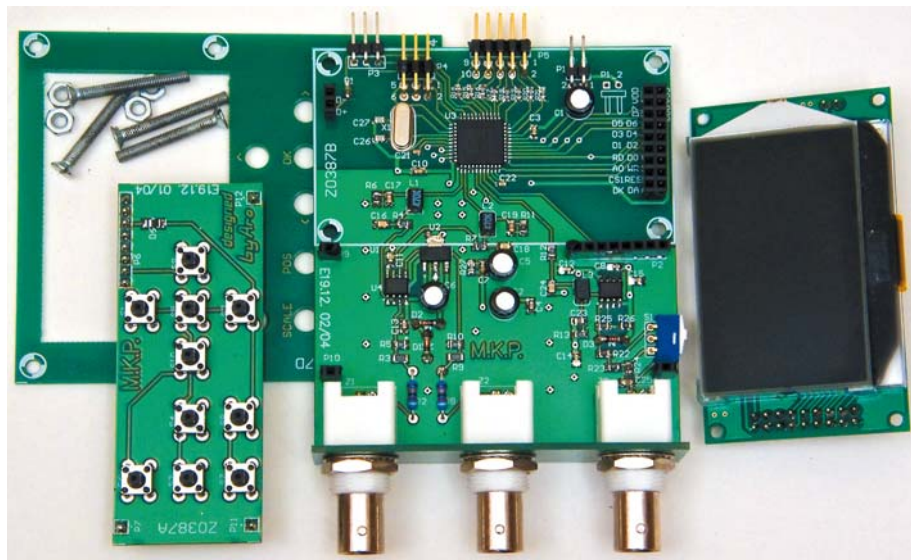
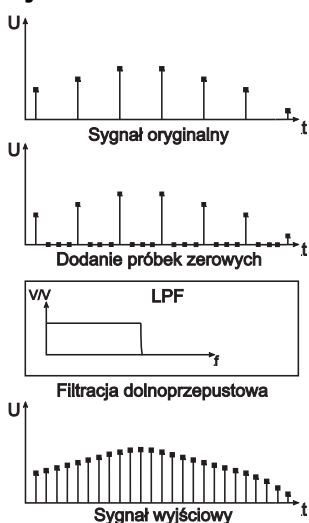
Generator. Tutaj również skorzystałem z kontrolera DMA, co niesamowicie ułatwiło program. Próbki wysyłane są nieprzerwanie. Rozmiar bufora waha się od 2 do 512 i zależy od częstotliwości. Próbki wysyłane są jakby w tle, bez ingerowania w wykonywany właśnie program. Tak samo program nie przeszkadza w wysyłaniu tych próbek, z jednym tylko wyjątkiem. Gdy zostaje zmieniona długość bufora, DMA jest inicjowane od nowa w celu aktualizacji parametrów. Może się to przejawiać szpilkami na wyjściu podczas zmiany częstotliwości powyżej około 2kHz. Dla

wyjaśnienia: próbkowanie wynosi maksymalnie 1MS/s, długość bufora to 512 próbek. Stąd $1\text{MS/s} / 512\text{S} \approx 2\text{kHz}$. Przy niższych częstotliwościach wyjściowych zmniejszana jest po prostu częstotliwość próbkowania, co nie wymusza żadnej ingerencji w transfer DMA. Ta częstotliwość ustalana jest timerem, którym wyzwalany zostaje przetwornik DAC. Oczywiście powyżej 2kHz nie można zwiększyć już próbkowania, więc pozostaje tylko zmniejszenie rozmiaru bufora. Skoro już omawiamy ten temat, wyjaśnię od razu, dlaczego wybór częstotliwości wygląda na tak skomplikowany. Jeżeli chcemy zwiększyć lub zmniejszyć częstotliwość, to program wchodzi do pętli, następnie wykonuje dziwne obliczenia i po jakimś czasie „wypluwa” wynik. Dzieje się tak dlatego, że korzystając z liczb naturalnych, nie możemy uzyskać dowolnej częstotliwości, a jedynie pewien skończony zbiór. Od czego więc zależy końcowa częstotliwość? Ano i od próbkowania, i od długości bufora. $\text{Częstotliwość} = \text{próbkowanie} / \text{długość bufora}$. A jak ustalana jest szybkość próbkowania? To zależy od przerwań timera.

Timer pracuje z częstotliwością zegara procesora, a więc 32MHz. Aby próbkowanie wynosiło 1MHz, okres timera musi wynosić 32. Ostatecznie nasze równanie ma postać: $\text{częstotliwość} = 32 / (\text{okres timera} * \text{długość bufora})$. Okres timera może przyjmować wartości od 32 do 65535, a długość bufora jak już pisałem – 2 do 512. Jak widać, ostateczna częstotliwość jest kombinacją tych liczb. I właśnie te dwie pętli *for* dobierają wartości tak, aby uzyskać częstotliwość jak najbliższą oczekiwanej

Przypominam, że chodzi o zakres 2kHz – 500kHz i że

Rys. 5



dla niższego zakresu bufor zawsze ma 512 próbek. Uff, przebrnęliśmy przez dość trudny fragment generatora. Mógłbym oczywiście pisać dalej, jak wygląda synteza przebiegu, a w szczególności szumu białego i różowego, ale odpuśćmy sobie tę mękę. W przypadku tworzenia standardowych przebiegów, jak sinus, prostokąt czy piła, pomogą komentarze w programie – nie ma tam w gruncie rzeczy nic skomplikowanego. Inaczej wygląda sprawa z szumem. Nie da się ot tak w kilku słowach wyjaśnić działania tych algorytmów bez znajomości podstaw statystyki, a w szczególności generacji liczb pseudolosowych i rozkładu Gaussa. Tutaj zainteresowanych również odsyłam do literatury. Wspomnę tylko, że szum generowany jest na bieżąco w pętli, a nie jak reszta sygnałów, które zapisywane są do bufora, który ma tylko 512 próbek, co bardzo ograniczyłoby pasmo częstotliwościowo szumu.

Amplitudę sygnału reguluje się poprzez zmianę generowanego przebiegu. Niestety przetwornik cyfrowo-analogowy nie ma żadnych sprzętowych wzmacniaczy, jak to było w przypadku ADC mikrokontrolera. Wprawdzie dałoby się regulować wzmacnienie, sterując napięciem referencyjnym, ale to wiąże się ze zmianą całego toru wyjściowego. Cały układ stałby się przez to znacznie bardziej skomplikowany. Nie wspomnę już o potrzebie zastosowania kolejnego przetwornika do sterowania tym pierwszym... Dlatego ja zdecydowałem się na programową regulację wzmacnienia. Dodatkowo można osłabić sygnał 100x przełącznikiem S11.

Przejdźmy do tematu modulacji. Mamy do dyspozycji modulację AM oraz FM. Do jednego worka wrzuciłem też przemiatanie SWEEP, gdyż pod względem programowym wygląda to podobnie. Do modulacji wykorzystalem dodatkową pętlę. W jej wnętrzu zostaje odczytana wartość ADC, a następnie w zależności od wyboru, proporcjonalnie zmienia się amplituda bądź częstotliwość generowanego przebiegu. W przypadku przemiatania zamiast wartości z przetwornika analogowo-cyfrowego, wpływ na generowany sygnał ma specjalna zmienna. Jest ona inkrementowana do pewnej wartości, wybieranej przez użytkownika.

Analizator. Sercem analizatora jest dyskretne przekształcenie Fouriera, a tak naprawdę jego szybka wersja – FFT. Jak wiadomo, standardowo algorytm ten pracuje na sygnałach zespolonych, a my tu takich nie używamy. Tak więc, aby jeszcze bardziej przyspieszyć wykonywanie tego bardzo skomplikowanego algorytmu i zwiększyć długość widma, wykorzystalem rzeczywiste FFT. Szczegóły znacznie wybiegają poza ramy tego artykułu i tu szczególnie polecam pozycję 2 z literatury. Autor po prostu genialnie tłumaczy działanie FFT. Oczywiście na początek należy zapoznać się ze standardowym DFT i jego własnościami,

co również zostało świetnie przedstawione w powyższej książce. Czyli zostawiamy analizę Fouriera w spokoju i przechodzimy do pętli głównej. Akwizycja sygnału przebiega identycznie jak w oscyloskopie, tyle tylko, że bez możliwości użycia drugiego kanału. Nie ma żadnej procedury wyzwalania. Zamiast tego wywoływana jest właśnie funkcja FFT. Zlogarytmowane widmo częstotliwościowe, które zwraca, po drobnej modyfikacji nadaje się do wyświetlenia na LCD. Ta modyfikacja to możliwość przesuwania widma w pionie i poziomie, gdyż całość nie mieści się na wyświetlaczu. Wzmocnienie sygnału oraz częstotliwość próbkowania wygląda tak samo jak w oscyloskopie.

Analizator stanów logicznych. W tym przypadku mamy do czynienia z odstępstwem od reguły. Sygnał nie jest odczytywany poprzez DMA. Niestety kontroler ten nie bardzo radzi sobie z odczytem danych z portu mikrokontrolera. Problemem jest wyzwalanie odczytu. Nie da się sterować częstotliwością próbkowania. Dlatego odbywa się to w pętli. Zanim jednak nastąpi zapisanie bufora próbkami, sprawdzane są warunki początkowe. Może to być stan niski lub wysoki na jakimś pinie, lub dowolny wektor na całym porcie. Albo zbrocze narastające lub opadające na wybranych pinach. Dzięki odpowiedniej konstrukcji portów mikrokontrolera, reakcja na zbrocze może być realizowana poprzez przerwanie. A to bardzo upraszcza program i zwiększa szybkość reakcji. Starsze AVR-y nie miały takiej możliwości.

Wobuloskop. Jest to połączenie generatora i oscyloskopu. W prezentowanym urządzeniu służy wyłącznie do zdejmowania charakterystyk badanych układów. Do dyspozycji mamy 3 tryby. *Przemiatanie częstotliwości, impuls Diraca oraz szum biały.* W pierwszym z nich program wchodzi w złożoną pętlę, gdzie generowany jest sygnał o coraz wyższej częstotliwości. W tym czasie odczytywana jest wartość ADC. Aby ograniczyć szumy i zakłócenia, dla każdej częstotliwości odczyt wykonywany jest wielokrotnie, a następnie

wynik zostaje uśredniony. Drugi tryb polega na tym, że wygenerowany zostaje krótki impuls, a następnie uruchamiany jest ADC i odczytywana jest odpowiedź impulsowa. Trzeci tryb wygląda analogicznie do drugiego, z tym że zamiast krótkiego impulsu, generowany jest szum biały w trakcie trwania pomiaru.

Multimetr. Tutaj akwizycja sygnału również przebiega tak samo jak w analizatorze widma. Oprócz pętli, w których liczone są wartości: skuteczna, średnia oraz minimalna i maksymalna, mamy osobną funkcję obliczającą częstotliwość. Tam również znajduje się pętla, gdzie wyznaczany jest najpierw okres sygnału. Dalszą część programu stanowią funkcje wyświetlające dane na LCD oraz instrukcje warunkowe. Na podstawie uzyskanych wartości program automatycznie dobiera odpowiednią częstotliwość próbkowania i wzmacnienie sygnału.

W drugiej części artykułu zostanie opisany montaż, uruchomienie i kalibracja, a także wskazówki, dotyczące obsługi przyrządu.

Arkadiusz Hudzikowski
hudzikowski@gmail.com

Komplet podzespołów z płytką jest dostępny w sieci handlowej AVT jako kit szkolny AVT-2999.

R E K L A M A



Minikombajn Pomiarowy część 2

Montaż i uruchomienie

Kończymy z teorią. Czas na zmontowanie układu. Całość składa się z kilku płytek drukowanych, z czego dwie pełnią funkcję obudowy. Pozostałe dwie to płyta główna i płytka z przyciskami, przedstawione na **rysunku 6**. Na temat tej ostatniej nie będę się rozpisywał. Lutujemy diody zgodnie z polaryzacją jak na schemacie, przyciski i na końcu złącza.

Jeśli posiadasz stację na gorące powietrze, to przylutuj najpierw mikrokontroler i stabilizator. W przeciwnym razie zostaw sobie to na później. W zasadzie montaż wygląda standardowo. Od najniższych elementów po najwyższe. Kondensatory i dławiki na dolnej stronie płytki najlepiej wlutować na sam koniec. Gdy już płytki będą gotowe, składamy całość, ale jeszcze bez przykręcania śrubami. Najpierw trzeba sprawdzić, czy wszystko działa. Pierwszym krokiem jest wgranie programu. Mikrokontrolery XMEGA do programowania wykorzystują interfejs PDI. Dlatego stary pocziwy STK200 lub STK500 się nie nada. Trzeba zaopatrzyć się na przykład w STK600, AVR ONE lub AVRISP MKII (AVRISP2). Jeżeli proces programowania zakończy się sukcesem, na wyświetlaczu pojawi się menu. Wtedy możemy przystąpić do pozostałych czynności kontrolnych. Interfejs sprawdzamy bez dodatkowych urządzeń. Natomiast

aby zobaczyć, czy tor wejściowy i wyjściowy pracują poprawnie, dobrze jest skorzystać z oscyloskopu i opcjonalnie także generatora. W ostateczności można połączyć wyjście z wejściem kombajnu i zobaczyć, czy generowany przebieg jest prawidłowy. Problem będzie jednak wtedy, gdy takiego przebiegu nie zobaczymy. No bo co teraz nie działa? Generator czy może oscyloskop? Posiadając zewnętrzny oscyloskop, szybko dojdziemy do miejsca,

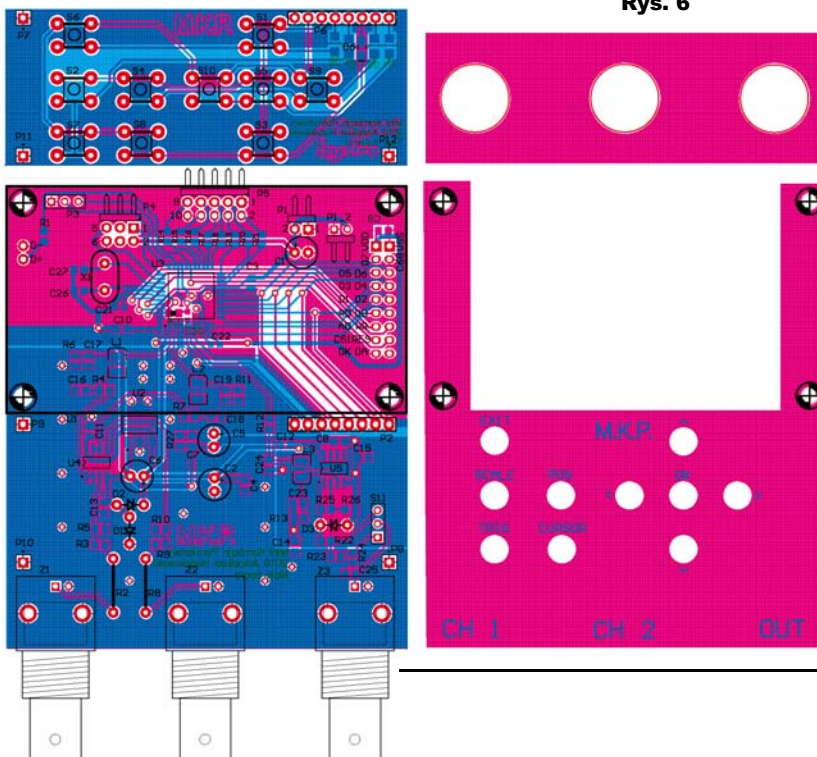
które sprawia problem. W przeciwnym razie pozostaje dokładna analiza lutów oraz sprawdzenie, czy aby na pewno wszystkie elementy są na swoim miejscu. Gdy stwierdzimy, że urządzenie działa prawidłowo, możemy przykręcić pozostałe płytki. Jak widać, są one pokryte jednostronnie miedzią, tworząc w ten sposób dodatkowe ekranowanie. Warto połączyć je elektrycznie z masą analogową układu za pomocą krótkiego druczka lub mostka z cyny, co pokazuje **fotografia 1**. W przeciwnym wypadku taki niepodłączony ekran może doprowadzić do zwiększenia zakłóceń. W Elportalu wśród materiałów dodatkowych do tego numeru umieszczone są projekty płytek, program dla procesora oraz program dla PC do zdalnej obsługi kombajnu, aktualne w chwili publikacji. W związku z dalszymi pracami nad oprogramowaniem, osoby zainteresowane realizacją projektu powinny zwrócić się do mnie w sprawie najnowszych wersji, na adres e-mail podany na końcu artykułu, wpisując w temacie „MKP3”.

Układ może być zasilany napięciem 3...3,6V, doprowadzonym do złącza P1, jednak przy 3V

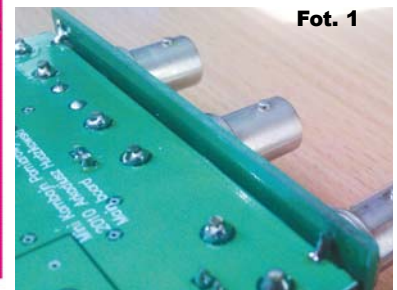
kontrast wyświetlacza może być słaby, dlatego najlepiej zasilić układ napięciem 3,3V.

Obsługa urządzenia

Nadszedł długo oczekiwany moment. Po zmontowaniu układu wreszcie możemy wypróbować możliwości naszego kombajnu. Zanim jednak to się stanie, należy dokonać kalibracji urządzenia. W tym celu wchodzimy w *generator* i ustawiamy częstotliwość przyciskami <, >. Przytrzymanie OK przyspiesza wybór. Jeśli ktoś nie posiada oscyloskopu lub multimetru z pomiarem RMS, to ustawia częstotliwość 50Hz. W przeciwnym wypadku częstotliwość może być dowolna, chociaż nie zalecam więcej niż 1kHz. Ważne, aby po wejściu do generatora chociaż raz nacisnąć jakikolwiek przycisk. Wtedy na ekranie pojawi się przebieg, co znaczy, że generator został włączony. Dodatkowo przy pomiarze offsetu multimetrem ustawie wzmocnienie na 0 przyciskiem v. Po tych czynnościach naciskamy przycisk EXIT i przechodzimy w *ustawienia*, a później *kalibracja*. W celu korekcyj wzmocnienia i offsetu generatora ustawiamy odpowiednie wartości przyciskami <, >, ^, v. Oscyloskopem bądź multimetrem ustawionym na pomiar VDC sprawdzamy wartość offsetu i przyciskami ^, v ustawiamy wartość na 0V. Następnie sprawdzamy czy wartość amplitudy sinusa wynosi 1,25V (883mV dla pomiaru RMS) i korygujemy ewentualne odchyłki przyciskami < i >. Jeżeli korzystasz z multimetru, to przypominam o tym, aby najpierw ustawić wzmocnienie na 125,00, co odpowiada amplitu-



Rys. 6



Fot. 1

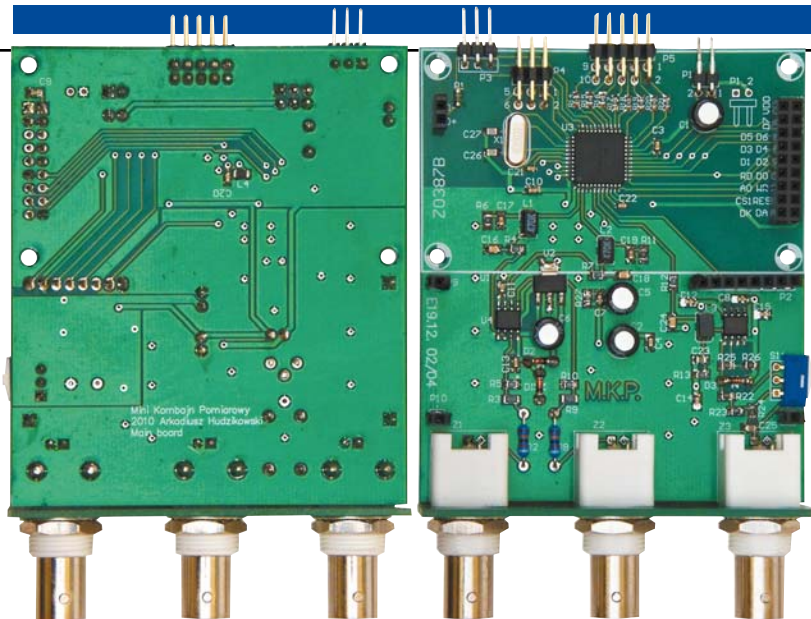
dzie 1,25V. Ostatnim krokiem jest kalibracja offsetu przetwornika analogowo-cyfrowego. Upewniamy się, że do wejść CH1 i CH2 nic nie jest podłączone, albo lepiej zwieramy je do masy. Następnie naciskamy przycisk OK. Powinno pojawić się słowo „kal”. Czekamy chwilę, aż pojawi się „ok”. Kalibracja została zakończona. W ustawieniach możemy jeszcze dobrać parametry wyświetlacza, czyli jasność podświetlenia i kontrast, a także wybrać prędkość komunikacji RS232. Po dokonaniu tych niezbędnych czynności wychodzimy z ustawień. A oto opis obsługi poszczególnych narzędzi.

Oscyloskop

Przyciski po lewej służą do wyboru rodzaju parametrów. Są to kolejno: podstawa czasu i wzmocnienie, pozycja w poziomie i pionie, wyzwalanie, kursory. Każdy parametr ustawiamy przyciskami po prawej. Poprzez przytrzymanie przycisku OK możemy przyspieszyć wybór żądanej wartości. Nieco inaczej wygląda wyzwalanie. Tam klawisz OK służy do wyboru parametru. Przyciskami <, > wybieramy, co chcemy ustawić. Pierwsza kolumna służy do wyboru sposobu wyzwalania: ‘-’ – brak, ‘N’ – normal, ‘A’ – auto, ‘S’ – single. Kolejna kolumna to wybór zbrocza: ‘\’ – opadające, ‘/’ – narastające. Ostatnia ustala stromość zbroczy: ‘LF’ – low pass filter, czyli łagodne zbrocza, ‘HF’ – high pass filter, ostre zbrocza. Przyciskami ^ i v wybieramy poziom wyzwalania. Jeśli chodzi o kursory, to mamy do dyspozycji dwa: ^, v wybiera kursor, a <, > przesuwają go po ekranie. Wartość ‘dt’ to czas pomiędzy kursorami. Ogólnie obsługa jest intuicyjna, poza jednym wyjątkiem. A jest nim drugi kanał. Otóż, żeby go włączyć, trzeba nacisnąć przycisk SCALE, jednocześnie przytrzymując OK. Przelączenie pomiędzy kanałami wygląda podobnie. Wciskamy POS z przytrzymanym OK. Takie trochę dziwne rozwiązanie podsytkowane jest ograniczoną klawiaturą. Osobno dla każdego kanału można ustawić wzmocnienie i pozycję w pionie. Wyzwalanie zawsze odbywa się na kanale pierwszym.

Generator

Niestety podpisy pod klawiszami nie są adekwatne do rodzaju ustawianych parametrów, ale można się szybko przyzwyczaić. Wybór częstotliwości i wzmocnienia został omówiony przy okazji kalibracji. Tak więc idziemy dalej. Naciśnięcie POS pozwala na ustawienie wypełnienia/symetrii przebiegu oraz offsetu. Przycisk TRIG prowadzi nas do trybu modulacji. Wtedy aktywne jest wejście CH1, gdzie podajemy sygnał modulujący. Ostatni zestaw parametrów znajdujący się pod klawiszem CURSOR to wybór rodzaju przebiegu i powiększenia w poziomie. Powiększenie nie



wpływa na pracę generatora, służy tylko do lepszego zobrazowania przebiegu. Trochę więcej uwagi poświęć pracy arbitralnej. Na początek oczywiście wybierzmy przebieg „arbitrary”. Powiększenie ustawiamy na 1 oraz upewniamy się, że wybrana częstotliwość jest niższa niż 2kHz. Wtedy do dyspozycji mamy 512-bajtowy bufor. Naciskamy POS. Mamy teraz możliwość ustawiania każdej próbki sygnału. Przyciski <, > wybierają próbkę, a ^, v ustawiają wartość. Przy ustawianiu wartości można korzystać z przyspieszenia, czyli przytrzymania OK. Przy wyborze próbki ten przycisk ma inne znaczenie. Gdy go przytrzymujemy, każda kolejna wybrana próbka przyjmuje wartość poprzedniej. Dzięki temu bardzo szybko można rysować poziome linie. Będąc w trybie arbitralnym możemy również odczytać przebieg z pamięci EEPROM poprzez naciśnięcie SCALE z przytrzymanym OK. Oczywiście o ile takowy wcześniej zapisaliśmy. Przebieg zapisujemy wciskając POS oczywiście z klawiszem OK. Do pamięci EEPROM trafi wtedy aktualnie generowany sygnał.

Analizator widma

Obsługa analizatora jest dużo prostsza. Pod klawiszem SCALE kryją się parametry, takie jak zakres częstotliwości (Hz/działkę) oraz wzmocnienie. Pozycja POS daje nam możliwość przesuwania widma w pionie i poziomie. Przycisk CURSOR wyświetla kursor częstotliwości, pod którym możemy odczytać także amplitudę składowej sygnału w dB.

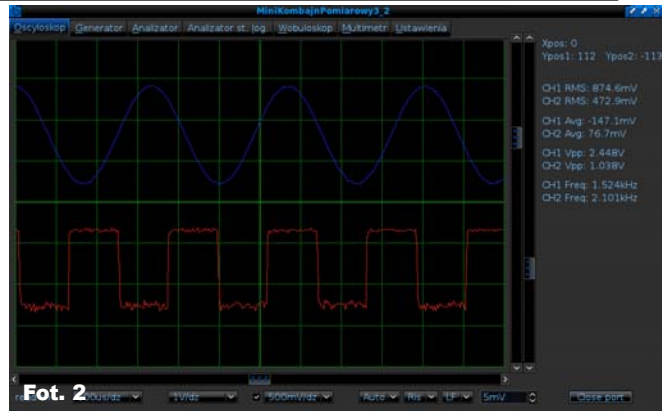
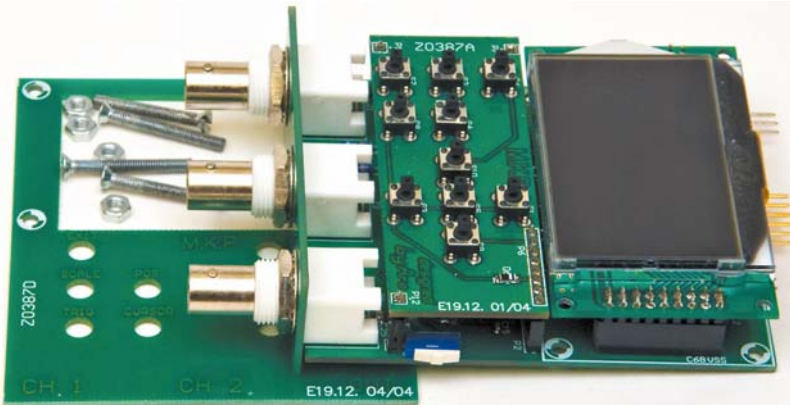
Analizator stanów logicznych

Naciśnięcie SCALE pozwala na wybranie częstotliwości próbkowania. Kolejne naciśnięcie SCALE uruchamia tryb odczytu. Urządzenie czeka na spełnienie warunków wyzwolenia i zaczyna próbować. Następnie po zakończeniu odczytu automatycznie ustawia drugi rodzaj parametrów, czyli przesuwanie i skalowanie sygnału w poziomie. Można go również uruchomić poprzez naciśnięcie POS. Ze względu na ograniczone rozmiary

wyświetlacza, napisy nakładają się na ostatni kanał. Po chwili nieużywania znikają. Pozycja TRIG pozwala ustawić warunki wyzwolenia. ‘X’ oznacza dowolny stan. Jeśli wybierzemy ‘X’ na wszystkich kanałach, to sygnał będzie próbkowany od razu po naciśnięciu SCALE. Możemy także wybrać stan niski ‘0’ lub wysoki ‘1’. A także zbrocze narastające ‘/’ lub opadające ‘\’. W przypadku wyboru stanów warunki wyzwolenia zostaną spełnione, jeśli na wszystkich wejściach jednocześnie pojawi się wybrana przez nas kombinacja. Natomiast takie podejście nie ma sensu dla zbroczy. Dlatego jeśli wybierzemy wyzwalanie zbroczem na kilku kanałach, to warunki zostaną spełnione, jeśli na jednym z tych kanałów pojawi się wybrane przez nas zbrocze. Oczywiście można ustawić dowolną kombinację, na przykład XX10//0X. Należy rozumieć to w następujący sposób. Zaczniemy próbkowanie, jeśli pojawi się zbrocze narastające na kanale 5 lub 6 oraz na kanale 3 będzie stan wysoki, na kanale 4 i 7 będzie stan niski. Dzięki temu możemy sprawdzać dowolne fragmenty przebiegów skomplikowanych interfejsów. Jeśli analizator podłączony jest do magistrali, to w szybkim oszacowaniu wartości liczbowej pomoże kursor. Naciskamy przycisk CURSOR i możemy teraz odczytać 8-bitową wartość wszystkich kanałów dla każdej próbki.

Wobuloskop

Pierwsze, co ukaże się naszym oczom po wejściu do tego narzędzia, to tryb przemiatania częstotliwości. Naciskamy SCALE, aby móc ustawić częstotliwość początkową i końcową. Tak naprawdę jest to jej mnożnik, czyli jak ustawimy powiedzmy 1000Hz x 200, to uzyskamy zakres 1kHz – 200kHz. Następnie znowu wciskamy SCALE i w tym momencie rozpoczyna się pomiar. Po jego zakończeniu dostajemy kursor, którym możemy poruszać się po całej charakterystyce. Na dole wyświetlona zostaje częstotliwość i odpowiadające jej wzmocnienie / tłumienie wyrażone w dB. Kolejnym sposobem pomiaru charakterystyki jest wykorzystanie impulsu Diraca. W tym celu naciskamy POS. Tutaj nie ma nic do ustawiania, po prostu obserwujemy charakterystykę w czasie rzeczywistym. Parametry, takie jak wzmocnienie czy podstawę częstotliwości, musimy ustawić w innym narzędziu, na przykład w analizatorze. Tak samo wyglą-



Fot. 2

da sprawa pomiaru szumem białym, po wciśnięciu przycisku TRIG. Tu również możemy tylko obserwować na bieżąco charakterystykę częstotliwościową.

Multimetr

Po wejściu do tego narzędzia, naszym oczom ukaże się kilka danych: wartość skuteczna napięcia (True RMS), wartość średnia napięcia (Average), wartość maksymalna i minimalna napięcia, dla sygnałów sinusoidalnych będzie to wartość amplitudy, a różnica tych wartości da nam napięcie międzyszczytowe. Ostatnią mierzoną wielkością jest częstotliwość. Pomiar odbywa się całkowicie automatycznie i nie ma tu nic do ustawiania. Po prostu podłączamy sygnał do wejścia CH1 i obserwujemy interesujące nas wielkości.

RS232 i aplikacja komputerowa

Dzięki komunikacji przez RS232 możemy obsługiwać kombajn za pomocą programu na komputerze PC. Możemy w ten sposób cieszyć się dużym ekranem oraz wygodną obsługą. W szczególności o wiele wygodniej tworzy się wtedy przebieg arbitralny. Program na komputer został napisany w C++ z wykorzystaniem Qt4 i aktualnie dostępny jest na systemy Linux i Windows. Aplikację pokazuje **fotografia 2**. Mamy do dyspozycji duże okno do prezentacji przebiegów. Po naciśnięciu myszką na ten ekran, dostajemy również informację o napięciu i czasie. Pod spodem znajdują się parametry akwizycji, czyli podstawa czasu i wzmocnienie. Pozycję w pionie i poziomie ustawiamy suwakami. Natomiast po prawej znajdują się wartości parametrów sygnału. Zanim jednak wszystkie te elementy staną się aktywne, trzeba nawiązać połączenie z kombajnem. Potrzebny jest do tego kabelek z konwerterem, na przykład MAX232 lub z wykorzystaniem portu USB i układu FTDI. Po podłączeniu do złącza P3 wchodzimy w ustawienia i wybieramy żadaną prędkość transmisji. Następnie wpisujemy, z którego portu będziemy korzystać. Dla systemów Linux będzie to na przykład `/dev/tty/S0` w przypadku sprzętowego portu, lub `/dev/tty/USB0` przy emulacji za pomocą USB. Dla Windows będzie to odpowiednio COM1 lub inny. Na koniec naciskamy przycisk „open port” w pro-

gramie komputerowym, a następnie uruchamiamy „RS232->PC” w urządzeniu, kolejność nie ma znaczenia. Pamiętaj też o wybraniu odpowiedniej prędkości w ustawieniach kombajnu. W tym momencie program jest gotowy do pracy. Obsługa jest intuicyjna. Myślę, że nie muszę jej opisywać. Co do prędkości komunikacji, to udało mi się uzyskać 1,5Mb/s na FT232DL, choć zaczynał już gubić dane. Według dokumentacji układ ten może pracować do 1Mb/s, stąd to ograniczenie. Myślę, że gdyby zastosować szybszy konwerter, dałoby się zwiększyć prędkość nawet do 4Mb/s.

Mam nadzieję, że ten dość krótki opis Minikombajnu Pomiarowego zachęci do budowy i uruchomienia urządzenia. Dokumentację i oprogramowanie znajdziesz w Elportalu.

W razie wątpliwości można pisać na mój adres mailowy bądź na forum Elportalu. W przypadku zainteresowania, w kolejnym artykule mogę opisać metodykę projektowania takiego urządzenia. Czyli na co należy zwracać szcze-

gólną uwagę, które elementy są krytyczne oraz jak liczyć błędy zarówno te analogowe, jak i cyfrowe. Jeżeli chcesz nie tylko zbudować ten kombajn, ale zaprojektować podobne urządzenie, takie wskazówki byłyby bardzo przydatne. Mniej zorientowanych zachęcam także do zapoznania się z podstawami cyfrowego (i nie tylko) przetwarzania sygnałów. Nie bez powodu kilkakrotnie odsyłałem Cię, drogi Czytelniku, do poniższej literatury. Z pewnością wiele kwestii będzie tam lepiej przedstawionych, niż gdybym sam chciał wytłumaczyć to w jednym artykule.

Arkadiusz Hudzikowski
hudzikowski@gmail.com

Literatura:
Richard G. Lyons „Wprowadzenie do cyfrowego przetwarzania sygnałów”
Steven W. Smith „Cyfrowe przetwarzanie sygnałów. Praktyczny poradnik dla inżynierów i naukowców”
Tomasz P. Zieliński „Cyfrowe przetwarzanie sygnałów. Od teorii do zastosowań”



Wykaz elementów

Rezystory:

R1	.....	330Ω smd
R2,R8	.....	820kΩ 1%
R3,R9	.....	150kΩ smd
R4,R7	.....	220Ω 1% smd
R5,R10	.....	30kΩ 1% smd
R6,R11,R26	.....	1,1kΩ 1% smd
R12,R13	.....	330Ω 1% smd
R14,15,R16,R17,R18,R19,R20,R21,R27	.....	1kΩ smd
R22,R24	.....	49,9Ω 1% smd
R23	.....	4,99kΩ 1% smd
R25	.....	3,3kΩ 1% smd

Kondensatory:

C1,C2,C5,C6	.....	100u 16V elektrolityczny
C3,C4,C7,C8,C9,C10,C11,C12,C13,C14,C15	.....	100n smd
C16,C18,C24	.....	330p smd
C17,C19	.....	1,8n smd
C20,C21,C22	.....	100n smd
C23	.....	2,2n smd
C25	.....	4,7n smd
C26,C27	.....	22p smd

Półprzewodniki:

D1,D2,D3	3.6V Zerera
----------	-------	-------------

D4,D5,D6,D7,D8	.....	Dioda prostownicza smd
L1,L2	.....	47uH smd
U1	.....	LCD132x64 SPLC501C
U2	.....	1117ADJ SOT223
U3	.....	ATXmega32A4 TQFP44
U4,U5	.....	AD8532ARZ SO-8

Pozostałe:

L3	.....	100uH smd
L4	.....	10uH smd
P1	.....	2x goldpin 1x2M
P2	.....	goldpin 1x8Z
P6	.....	goldpin 1x8M
P3	.....	goldpin 1x3M kątowne
P4	.....	goldpin 2x3M kątowne
P5	.....	goldpin 2x5M kątowne
P8,P9,P10	.....	goldpin 1x1Z
P7,P11,P12	.....	goldpin 1x1M
S1,S2,S3,S4,S5,S6,S7,S8,S9,S10	.....	mikroprzełącznik
S11	.....	przełącznik suwakowy ESP2010
X1	.....	kwarc 8MHz
Z1,Z2,Z3	.....	gniazdo BNC do PCB kątowne
U1-złącze płytka	.....	goldpin 2x9Z
U1-złącze lcd	.....	goldpin 2x9M

Komplet podzespołów z płytka jest dostępny w sieci handlowej AVT jako kit szkolny AVT-2999.