

Rejestrator przebiegu analogowego

Przystawka do TV, część 1

AVT-857

Zgodnie z zapowiedzią przedstawiamy kolejną przystawkę do odbiornika telewizyjnego, która spełnia rolę całkiem poważnego przyrządu pomiarowego. W artykule znajdziecie opis urządzenia, które zamienia telewizor w wieloekranowy (prawie) oscyloskop. A o przydatności oscyloskopu w pracowni elektronika chyba nie trzeba nikogo przekonywać.



Na początku kilka słów wyjaśnienia. Przy prezentacji „Rejestratora przebiegu cyfrowego“ w EP10/99 zapowiedziałem projekt oscyloskopu. Okazało się, że zrobienie w miarę taniego oscyloskopu nie jest takie proste, nawet wówczas, gdy całe wyświetlanie „załatwia“ telewizor. W oscyloskopie zawartość ekranu musi być aktualizowana na bieżąco, a trudno to pogodzić z równoczesnym próbkowaniem i przetwarzaniem analogowego sygnału wejściowego do postaci cyfrowej, zwłaszcza gdy wszystko ma robić jeden procesor. Aby sprostać tym wymaganiom, konieczne staje się zastosowanie specjalizowanych, wyposażonych we własną pamięć ekranu, układów do generowania sygnału wideo i szybkich, wejściowych przetworników A/C. Obawiam się, że koszty takiego urządzenia zbliżyłyby się do ceny oscyloskopu o porównywalnych parametrach. Dlatego opracowałem bardzo prosty w budowie i eksploatacji rejestrator.

Sygnał wejściowy w rejestratorze jest najpierw próbkowany,

przetwarzany do postaci cyfrowej i zapamiętywany w pamięci próbek. Potem dopiero wyświetla się zawartość pamięci na ekranie. W praktyce, zwłaszcza amatorskiej, rejestrator całkiem skutecznie zastępuje oscyloskop, a dzięki pamięci obrazu równie dobrze można za jego pomocą obserwować przebiegi szybkie i wolnozmiennie. Próbowaliście kiedyś zaobserwować na tradycyjnym oscyloskopie krzywą ładowania kondensatora w układzie o stałej czasowej rzędu sekundy? Bez wzroku o „fotograficznej“ pamięci jest to prawie niewykonalne. W naszym rejestratorze całą taką krzywą można oglądać dowolnie długo. Jakby tego było mało, rejestrator jest wyposażony w nieulotną pamięć EEPROM, która pozwala zachować jeden, interesujący przebieg na dowolnie długi czas, nawet po wyłączeniu zasilania.

Najważniejsze parametry rejestratora przedstawiono w **tab. 1**. Przyjrzyjmy się im bliżej.

Rezystancja wejścia wynosi dokładnie $1\text{M}\Omega$ na wszystkich podzakresach. Dzięki temu rozszerzenie zakresu napięć wejściowych jest nadzwyczaj proste. Wystarczy

Tab. 1. Podstawowe parametry rejestratora.

- ✓ liczba kanałów wejściowych: 1,
- ✓ rezystancja wejściowa: $1\text{M}\Omega$,
- ✓ sprzężenie wejściowe: DC/AC(>50Hz),
- ✓ maksymalne napięcie wejściowe: $\pm 200\text{V}$,
- ✓ rozdzielczość przetwornika wejściowego: 6 bitów,
- ✓ 8 działek napięciowych, 8 punktów/dz.,
- ✓ 10 działek czasowych, 12 punktów/dz.,
- ✓ podstawa czasu: 0,1-0,3-1-3-10-30-100-300 [ms/działkę],
- ✓ czułość wejścia: 0,2-0,6-2-6 [V/działkę],
- ✓ tryb wyzwalania: „z ręki”,
- ✓ pamięć nieulotna jednego ekranu,
- ✓ zasilanie: 11..20V DC, 10..16V AC,
- ✓ maksymalny pobór prądu: około 55mA przy Uzas=12V.

dołączyć szeregowo do wejścia rezystor o wartości np. $9M\Omega$ i już możemy oglądać przebiegi o dziesięciokrotnie większej amplitudzie. Oczywiście możemy też zastosować standardowe sondy oscyloskopowe z przełączanym tłumikiem $\times 1/\times 10$. Opcja sprzężenia zmiennoprądowego „AC” bardzo przydaje się przy obserwacji sygnałów zmiennych nałożonych na składową stałą.

Obwody wejściowe rejestratora wytrzymują bez uszkodzeń napięcie $\pm 200V$. Należy uważać, żeby nie przekraczać tej wartości, bo może się to skończyć uszkodzeniem rejestratora.

Wejściowy przetwornik daje na swoim wyjściu słowo o długości 6 bitów, czyli wyświetlany na ekranie przebieg może przyjąć jeden z $2^6=64$ poziomów. Taką rozdzielczość mają niektóre firmowe oscyloskopy cyfrowe. Faktem jest jednak, że na niewielkim wyświetlaczu oscyloskopu nie widać tak mocno ziarnistości przebiegu, jak na dużym ekranie telewizyjnym.

Ekran rejestratora jest podzielony na 8 działek napięciowych (Y) i 10 działek czasowych (X). Poziom zerowy napięcia jest ustalony na stałe w połowie wysokości ekranu i zaznaczony jaśniejszą linią. Pozwala to na wygodną obserwację przebiegów bipolarnych. Zakresy napięć wejściowych zebrano w **tab. 2**.

Zakresy napięciowe, na pierwszy rzut oka, mogą wydawać się nieco dziwaczne. Starałem się je tak dobrać, aby pokrywały najczęściej występujące w praktyce amatorskiej napięcia. Zawsze można też dobudować wzmacniacz wstępny, jeśli czułość rejestratora okaże się zbyt mała, albo tłumik, jeśli pracujemy z na-

pięciami przekraczającymi 24V. Parametry czasowe dla różnych nastaw podstawy czasu przedstawiono w **tab. 3**.

Aktualną zawartość pamięci próbek możemy zapamiętać w pamięci EEPROM. Razem z próbkami zapamiętywane są nastawy podstawy czasu i czułości wejścia, które obowiązują w momencie pobierania próbek. Dzięki temu możemy w dowolnej chwili przywołać zapamiętany przebieg i jednoznacznie określić jego parametry czasowe i napięciowe.

Ze względu na różnicę potencjałów mas: zasilającej i wejściowej, niedopuszczalne jest zasilanie rejestratora z badanego układu. Do zasilania rejestratora najlepiej zastosować zasilacz wtyczkowy 12V/200mA.

Obsługę rejestratora umożliwiają trzy przyciski monostabilne i jeden przełącznik suwakowy. Bieżące nastawy podstawy czasu i czułości wejścia są wyświetlane na ekranie telewizora. Na **rys. 1** przedstawiono widok ekranu telewizora w czasie pracy rejestratora.

Naciskając przycisk TBASE ustawiamy żadaną podstawę czasu. Przy kolejnych naciśnięciach wyświetlane wartości zmieniają się od 0,3s/działkę, przez 0,1s/działkę, aż do 0,1ms/działkę. Potem następuje powrót do 0,3s/działkę.

Przycisk RANGE służy do zmiany czułości wejścia rejestratora. Początkową wartością jest 6V/działkę. Kolejne naciśnięcia i puszczania tego przycisku powodują zmianę czułości na 2V/działkę, 0,6V/działkę, 0,2V/działkę i ponownie na 6V/działkę.

Pisząc „naciśnięcie i puszczanie” przycisku chcę zwrócić uwagę na fakt, że naciśnięcie klawisza TBASE lub RANGE jest interpretowane dopiero po jego zwolnieniu. Dlaczego w taki sposób? Bo równoczesne naciśnięcie obu klawiszy służy do zapisu i odczytu pamięci nieulotnej. Dokładniej rzecz ujmując, jeśli trzymając wciśnięty jeden z przycisków naciśniemy drugi, wówczas po zwolnieniu obu klawiszy nie zmienia się ani podstawa czasu, ani czułość wejścia. Nastąpi natomiast zamiana zawartości pamięci EEPROM i pamięci próbek. Oznacza to, że przebieg, który jest aktualnie wyświetlany na ekranie zosta-

Tab. 2. Zakres napięcia wejściowego i rozdzielczość przetwornika.

Czułość wejścia	Maks. napięcie wej.	Rozdzielczość
0,2V/dz.	$\pm 0,8V$	25mV
0,6V/dz.	$\pm 2,4V$	75mV
2V/dz.	$\pm 8V$	0,25V
6V/dz.	$\pm 24V$	0,75V

nie wraz z podstawą czasu i czułością zapamiętany w pamięci nieulotnej, a na ekran trafi przebieg uprzednio zapamiętany w pamięci EEPROM.

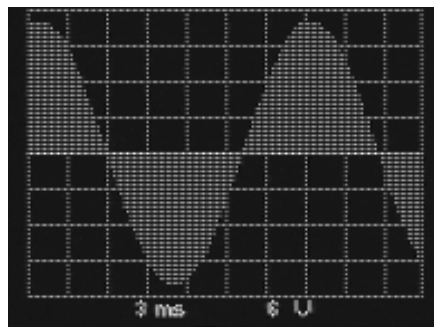
W odróżnieniu od poprzednich, naciśnięcie przycisku START jest interpretowane natychmiast. Każdorazowe naciśnięcie klawisza START powoduje rozpoczęcie próbkowania napięcia na wejściu i zapis do pamięci próbek.

Ostatni w kolejce jest przełącznik suwakowy AC/DC. Jak nie trudno się domyślić, w pozycji DC gniazdo wejściowe rejestratora jest sprzężone stałoprądowo z wejściem przetwornika analogowo-cyfrowego. W pozycji AC między gniazdem a przetwornikiem znajduje się kondensator. Kondensator odcina składową stałą sygnału wejściowego, dzięki czemu można obserwować nawet niewielkie sygnały zmienne nałożone na napięcie stałe.

Opis układu

Schemat elektryczny rejestratora znajduje się na **rys. 2**. Już na początku projektowania postanowiłem, że ta wersja rejestratora też będzie zawierała jeden układ scalony. Prawie się udało to zrealizować. Sercem przyrządu jest procesor AT90S2313 i jest to jedyny „uczciwy” układ scalony. Dwa pozostałe: stabilizator U2 i aktywny dzielnik napięcia U3 mają po trzy wyprowadzenia i zaliczam je raczej do klasy „ tranzystoropodobnych”.

Przyciski TBASE (W1), RANGE (W2) i START (W3) są podłączone bezpośrednio do procesora. Odpowiednie piny procesora PD0, PD1 i PD2 są skonfigurowane jako wejścia z wewnętrznym podciągnięciem. Ich stan jest odczytywany co 20ms. Ewentualne drgania zestyków są filtrowane programowo. Rezonator Q1 wraz z towarzyszą-



Rys. 1. Ekran rejestratora w czasie pracy.

cymi kondensatorami C1 i C2 ustala częstotliwość przebiegu zegarowego taktującego procesor.

Sygnal wejściowy z gniazda Z1 (typu BNC) jest podawany na przełącznik suwakowy W4. W położeniu DC tego przełącznika sygnał wchodzi bezpośrednio na dzielnik wejściowy. W położeniu AC na drodze sygnału pojawia się kondensator C8, odcinający składową stałą.

Dzielnik wejściowy składa się z rezystorów R21..R24. Wartości rezystorów zostały tak dobrane, aby ich suma wynosiła 1MΩ.

Wyjścia dzielnika są połączone z trzema wejściami multiplexera analogowego, zbudowanego z przekaźników P1 i P2. Na jego czwarte wejście sygnał jest podany bezpośrednio, bez tłumienia. Diody D3 i D4, dołączone do wejścia 12(U1), uniemożliwiają obniżenie napięcia poniżej poziomu masy lub jego wzrost ponad napięcie zasilania. Oczywiście zabezpieczenie będzie skuteczne, jeśli nie zostanie przekroczony dopuszczalny prąd przewodzenia diod. Dla wejść x3, x10 i x30 rolę ograniczników prądu spełniają rezystory dzielnika wejściowego, a zwłaszcza rezystor R24. Rolę ogranicznika prądu dla wejścia bezpośredniego x1 pełni dodatkowy rezystor R20.

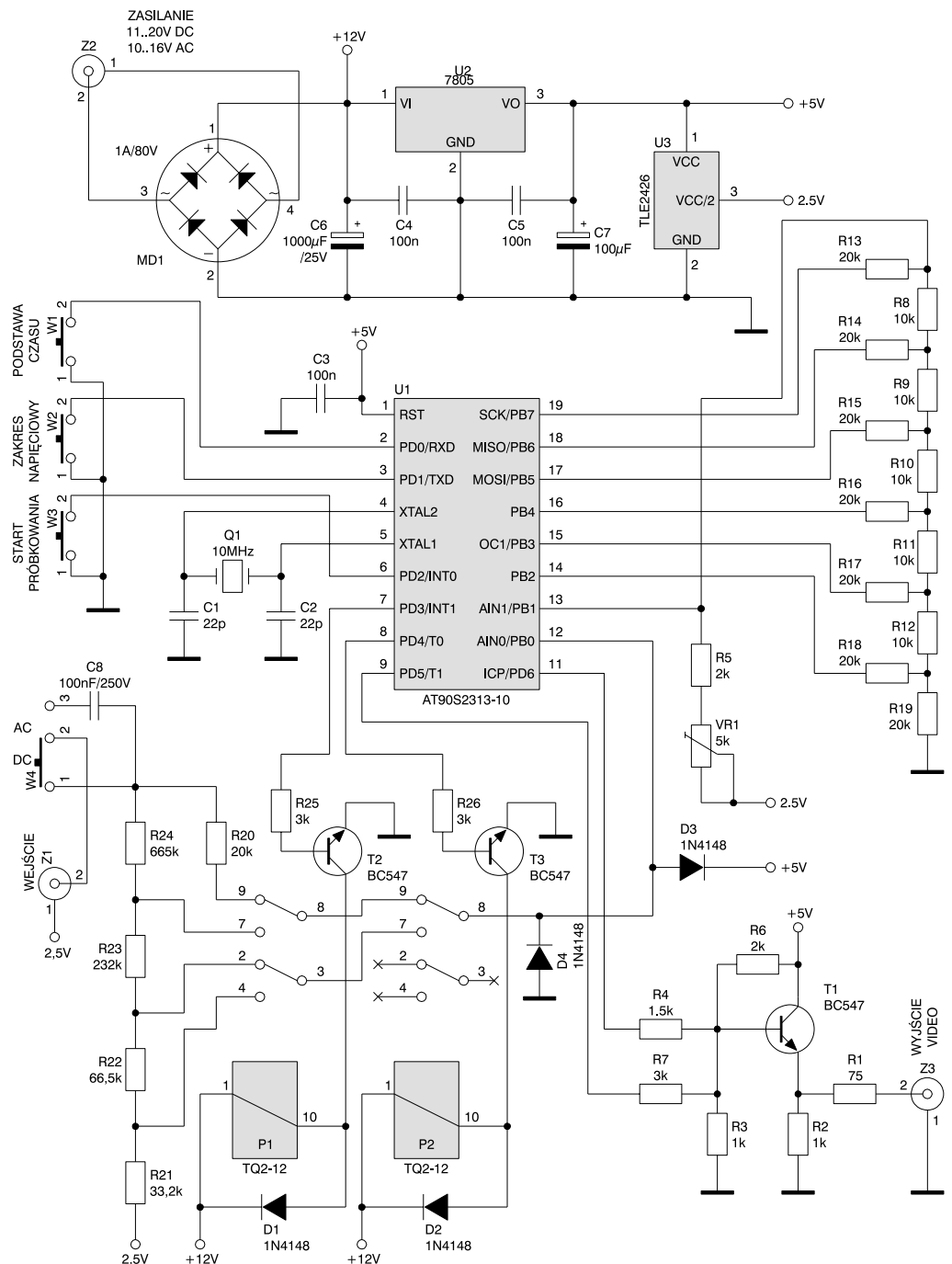
O tym, które z wejść zostanie przyłączone do wyjścia decyduje procesor, wystawiając odpowiedni adres na wyjściach PD4 i PD3 zgodnie z tab. 4. Z wyjść tych, przez rezystory R25 i R26, sterowane są bazy tranzystorów T2 i T3. Te tranzystory załączają cewki przekaźników P1 i P2. Diody D1, D2 ograniczają napięcia indukujące się w uzwojeniach przekaźników przy wyłączeniu.

Wyjście multiplexera 8(P2) jest połączone z wejściem 12(U1). Ci z Was, którzy nie znają procesora

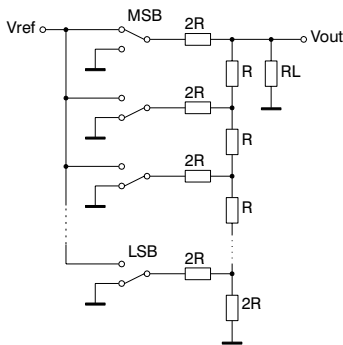
AT90S2313 pomyślą zapewne, że to po prostu wejście wewnętrzne przetwornika A/C. Nic bardziej mylnego. Ośmiokanałowe przetworniki A/C i to precyzyjne (10 bitów!) znajdziemy dopiero w „większych” procesorach AVR, takich jak AT90S4434 czy AT90S8535.

W naszym procesorze mamy do dyspozycji tylko komparator analogowy. Końcówka 12(U1) to nieodwracające wejście tego komparatora. Jeśli teraz na drugie, odwracające wejście podłączymy

wyjście przetwornika cyfrowo-analogowego i całość ożyjemy „kawałkiem” programu realizującym algorytm kolejnych przybliżeń, otrzymamy przetwornik A/C. Zakres napięć wejściowych tak zbudowanego przetwornika A/C pokrywa się z zakresem napięć wyjściowych przetwornika C/A - oczywiście pod warunkiem, że nie przekroczymy dopuszczalnego napięcia wejściowego komparatora. Wspomniany „kawałek” programu omówimy w części poświęconej oprogramowaniu.



Rys. 2. Schemat elektryczny rejestratora.



Rys. 3. Przetwornik C/A z siecią drabinkową rezystorów R-2R.

Pozostało już tylko dobrać przetwornik C/A. Miałem tu do wyboru: wykorzystać wyjście PWM procesora albo zastosować scalony przetwornik C/A. Wyjście PWM z obowiązkowym układem całkującym jest zbyt wolne do naszych celów. Z kolei scalone przetworniki C/A są zaskakująco drogie. Przyjrzałem się, co też takiego siedzi w tych przetwornikach i zbudowałem to samo z elementów dyskretnych. Wybrałem przetwornik z drabinką rezystorową R-2R. Schemat takiego przetwornika pokazano na rys. 3.

Drabinka jest zbudowana z rezystorów R8..R12 i R13..R19, a rolę przełączników pełni sześć wyjść procesora PB2..PB7, 14..19(U1). Rezystancja wyjściowa przetwornika C/A skonstruowanego w oparciu o drabinkę R-2R jest stała i wynosi R. Obciążeniem drabinki są szeregowo połączone R5 i VR1. Napięcie wyjściowe przetwornika wyraża się zatem wzorem: $U_{wy} = U_{we} \cdot RL / (RL + R) \cdot PB7..2 / 64$, gdzie: $RL = VR1 + R5$, $R = 10k\Omega$, $U_{we} = 5V$, $PB7..2$ - wartość na wyjściu portu PB.

W naszym przypadku rezystancja obciążenia jest oparta w połowie napięcia zasilającego. Nie zmienia to zakresu przetwarzania, a tylko go przesunęła. Dzięki temu, dla $RL = 4,7k\Omega$, napięcie na wyjściu będzie się zmieniać o $2,5V \cdot 4,7k\Omega / (4,7k\Omega + 10k\Omega)$, czyli $\pm 0,8V$ wokół wartości 2,5V.

Mamy zatem już wszystkie niezbędne elementy, aby zbudować 6-bitowy przetwornik A/C o napięciu wejściowym $2,5V \pm 0,8V$. Jeśli teraz wejście rejestratora „oprzemy” o 2,5V, będziemy mogli mierzyć sygnał o napięciu $\pm 0,8V$, czyli o amplitudzie 1,6V. Przy ośmiu działkach napięciowych na ekranie daje to czułość 0,2V/działkę. Właśnie tyle wynosi podstawowa czułość toru Y. Pozostałe zakresy powstają przez podzielenie sygnału wejściowego przez 3, 10 i 30 w dzielniku złożonym z rezystorów R21..R24.

Zmniejszając rezystancję RL do 1900Ω otrzymalibyśmy czułość 0,1V/działkę. Wydawałoby się, że można pójść dalej i na przykład ustalić próg czułości na 10mV/działkę. Niestety pojawia się tu ograniczenie w postaci wejściowego napięcia niezrównoważenia komparatora. Producent procesora (firma Atmel) podaje, że napięcie to jest mniejsze od 20mV w całym zakresie napięć wejściowych. Przy naszej rozdzielczości, wynoszącej $1,6V / 64 = 25mV$, wpływ napięcia niezrównoważenia komparatora jest niezauważalny. Sprawdziłem kilka procesorów i w niektórych egzemplarzach już przy czułości 0,1V/działkę, czyli rozdzielczości $0,8V / 64 = 12,5mV$, pojawiały się błędy przetwarzania.

W rejestratorze znajdziemy jeszcze jeden wizyjny przetwornik C/A. Jest on dla odmiany zrealizowany jako przetwornik z siecią rezystorów o wartościach wagowych. Tworzą go wyjścia PD5 i PD6 (U1) i rezystory R4, R7. Rezystory R3 i R6 ograniczają amplitudę napięcia wyjściowego i ustalają wstępnie warunki pracy tranzystora T1. Wyjście przetwornika zostało zbuforowane wtórnikiem emiterowym złożonym z tranzystora T1 i rezystora R2. Rezystor R1 dopasowuje rezystancję wyjściową wtórnika do impedancji kabla koncentrycznego i wejścia wideo w telewizorze. Na-

WYKAZ ELEMENTÓW

Rezystory

- VR1: 5kΩ wieloobrotowy typu 67Y
- R1: 75Ω/0,25W
- R2, R3: 1kΩ/0,25W
- R4: 1,5kΩ/0,25W
- R5, R6: 2kΩ/0,25W
- R7, R25, R26: 3kΩ/0,25W
- R8..R12: 10kΩ/1%/0,25W
- R13..R20: 20kΩ/1%/0,25W
- R21: 33,2kΩ/1%/0,25W
- R22: 66,5kΩ/1%/0,25W
- R23: 232kΩ/1%/0,25W
- R24: 665kΩ/1%/0,25W

Kondensatory

- C1, C2: 22pF
- C3..C5: 100nF/63V
- C6: 1000μF/25V
- C7: 100μF/16V
- C8: 100nF/250V

Półprzewodniki

- D1, D2, D3, D4: 1N4148
- MD1: 1A/80V
- T1, T2, T3: BC547
- U1: AT90S2313-10PC (zaprogramowany)
- U2: 7805
- U3: TLE2426

Różne

- Q1: rezonator kwarcowy 10MHz
- P1, P2: przekaźnik TQ2-12 (NAIS)
- W1, W2, W3: mikroprzełącznik do druku
- W4: przełącznik suwakowy do druku
- Z1: gniazdo BNC do druku
- Z2: gniazdo zasilania 2,1mm do druku
- Z3: gniazdo CINCH do druku
- Podstawka pod układ scalony DIL20
- * Kabel wideo cinch/cinch lub cinch/euro
- * Kabel koncentryczny 1,5m z tykiem BNC i krokodylkami
- * nie wchodzi w skład kitu

Tab. 3. Czas próbkowania przebiegu i częstotliwość próbkowania.

Podstawa czasu	Czas próbkowania	Odstęp/ częstotliwość próbkowania
0,1ms	1ms	8,3μs/120kHz
0,3ms	3ms	25μs/40kHz
1ms	10ms	83μs/12kHz
3ms	30ms	0,25ms/4kHz
10ms	0,1s	0,83ms/1,2kHz
30ms	0,3s	2,5ms/400Hz
0,1s	1s	8,3ms/120Hz
0,3s	3s	25ms/40Hz

pięcia wyjściowe dla różnych stanów na wyjściach procesora zebrano w tab. 5.

Można zauważyć, że impulsy synchronizacji mają amplitudę 0,33V, poziom bieli leży 0,67V powyżej poziomu czerni, a kolor szary znajduje się dokładnie w połowie między bielą a czernią. Amplituda sygnału wyjściowego wynosi 1V. Jak z tego widać, przetwornik wizyjny mimo prostej konstrukcji całkiem nieźle spełnia swoją rolę.

Tab. 4. Stan wyjść procesora dla różnych zakresów napięć wejściowych.

Zakres	0,2V/dz	0,6V/dz	2V/dz	6V/dz
PD3(P1)	0	1	0	1
PD4(P2)	0	0	1	1

Przetwornik w omawianym projekcie ma znacznie lepsze parametry niż przetwornik „jednobitowy”, zastosowany w „Rejestratorze przebiegu cyfrowego”. Przede wszystkim kolor szary ma stabilną, niezależną od egzemplarza procesora, jasność. Ponadto, czas dostępu do takiego przetwornika jest dwukrotnie krótszy. W przetworniku „jednobitowym” konieczne było dokonanie zapisów do dwóch rejestrów procesora: rejestru kierunku DDRB i rejestru danych PORTB. W obecnym przetworniku wystarczy zapis do rejestru danych PORTD. Walka o jak najkrótszy czas dostępu nie jest tutaj sztuką dla samej sztuki. Linia obrazu telewizyjnego trwa 64 μ s, a jej widzialny na ekranie fragment 52 μ s. Jeśli do tego dodamy, że przy częstotliwości rezonatora kwarcowego 10MHz jeden rozkaz OUT PORTD,R trwa 0,1 μ s, to czasu naprawdę pozostaje niewiele. Chcąc wyświetlić w jednej linii 120 punktów (tyle mamy próbek), na podjęcie decyzji, czy zapalić dany punkt pozostaje raptem... 0,3 μ s. W jaki sposób udaje się to zrealizować, wyjaśnię przy omawianiu oprogramowania.

Źródło napięcia zasilającego rejestrator podłącza się do gniazda Z2. Napięcie to jest prostowane w mostku MD1 i wygładzane kondensatorem C6. Stabilizator U2 pracuje w układzie konwencjonalnym. Kondensatory blokujące C4 i C5 zapobiegają wzbudzeniu się układu. Kondensator C7 poprawia odpowiedź stabilizatora na gwałtowne zmiany obciążenia.

Dodatkowe napięcie 2,5V powstaje na wyjściu układu U3. Jest to aktywny dzielnik napięcia, który pobiera niewielki prąd (<0,3mA) i dzieli dokładnie (1%) na połowę napięcie wejściowe (4..40V). Może przy tym dostarczyć prąd 20mA, przy znikomej rezystancji wyjściowej (7,5m Ω) zarówno względem masy jak i plus zasilania. Jeśli jeszcze dodam, że całość umieszczono

w „tranzystorowej” obudowie TO92, zrozumiecie dlaczego nie zrobiłem tego tradycyjnie na dzielniku rezystorowym i wzmacniaczu operacyjnym.

Oprogramowanie

Czytelników zainteresowanych programowym wytwarzaniem sygnału wideo odsyłam do opisu „Rejestratora przebiegu cyfrowego” z numeru 10/99 Elektroniki Praktycznej. Zawartych tam informacji, dotyczących struktury sygnału wideo, nie będę tutaj powtarzał.

Program dla mikroprocesora napisałem w assemblerze WAVRASM udostępnianym bezpłatnie przez firmę Atmel. Uruchamianie było wspomagane symulatorem AVR-Studio, również pobranym z internetowej strony Atmela. Procesor AT90S2313 posiada 2KB pamięci programu, 128 bajtów pamięci RAM i tyleż samo EEPROM.

Pisanie programu zacząłem od sprawdzenia, czy procesor zdąży w ciągu 52 μ s odczytać kolejne bajty z pamięci próbek oraz sprawdzić, czy dany piksel należy zapalić i wysłać odpowiednią wartość do przetwornika wizyjnego. Z prostego rachunku wynika, że mamy na to 52 μ s/120=0,4 μ s, czyli cztery cykle rozkazowe. Jeden cykl zajmuje dostęp do przetwornika wizyjnego. Odczyt pamięci RAM zajmuje dwa cykle. W czasie pozostałego jednego cyklu na pewno nie uda się wyciągnąć i zinterpretować pojedynczego bitu. Zatem należało znaleźć inne rozwiązanie. Jedynie, jakie udało mi się wymyślić polega na zorganizowaniu bufora jednej linii. Bufor taki musi mieć pojemność 120 bitów i krótki czas dostępu. Najlepiej nadają się do tego celu rejestry procesora. W ten sposób za jednym zamachem pozbyłem się 15 rejestrów. Wkrótce okazało się, że czasu zabraknie nawet na zorganizowanie pętli. Dlatego podprogram wysyłania danych z bufora na ekran wygląda tak jak na list. 1 i zajmuje 960 bajtów, czyli prawie połowę dostępnej pamięci programu.

Z pozostałych rejestrów R0 i Z(R30, R31) muszą pozostać wolne, bo tylko dzięki nim można odczytać stałe umieszczone w pamięci programu. Rejestr Y

List. 1. Podprogram wyświetlający bufor jednej linii.

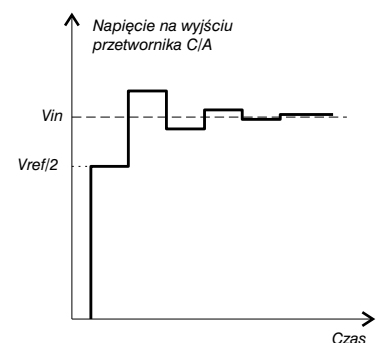
```
.MACRO INNY
out PORTD,kolor ; PD = biały/szary
.ENDMACRO

.MACRO CZERN
out PORTD,czarny ; PD = czarny
.ENDMACRO

wyslij: CZERN
sbrc buf00,7
INNY
nop
wyp006: CZERN
sbrc buf00,6
INNY
nop
wyp005: CZERN
sbrc buf00,5
INNY
nop
[...]
wyp141: CZERN
sbrc buf14,1
INNY
nop
wyp140: CZERN
sbrc buf14,0
INNY
nop
CZERN
ret
```

(R28, R29) przeznaczyłem do adresowania pamięci RAM i EEPROM. 128 bajtów pamięci RAM wykorzystano następująco: w 122 pamiętane są próbki, nastawa czasu i czułość, a pozostałe sześć zajmuje stos. Nie lepiej jest z EEPROM-em, w którym jest kopiowane pierwszych 122 bajtów RAM-u. Piszę to dlatego, że sam byłem ciekawy, czy na pozostałych 12 rejestrach i wolnych 544 słowach programu da się zrobić sensownie działający przrząd. Okazało się, że działający - tak, a czy sensownie - Czytelnicy osądzą sami.

Program główny składa się z jednej pętli bez końca. Przy każdorazowym przebiegu pętli wytwarzane są dwa kompletne półobrazy, czyli jeden obieg pętli zajmuje 40ms. W czasie trwania ostatniej linii każdego półobrazu, czyli co 20ms, procesor sprawdza stan przycisków. Program rozróżnia cztery przypadki: naciśnięcie



Rys. 4. Przebieg napięcia na wyjściu przetwornika C/A w czasie przetwarzania.

TBASE, naciśnięcie RANGE, naciśnięcie obu tych klawiszy równocześnie i naciśnięcie przycisku START.

Jeśli procesor wykryje naciśnięcie klawisza TBASE, przechodzi do fazy oczekiwania na zwolnienie tego klawisza. Zwolnienie przycisku TBASE powoduje zmianę podstawy czasu. Zmiana ta polega na pobraniu z tablicy odpowiednich parametrów dla procedury opóźniającej.

Naciśnięcie a następnie zwolnienie klawisza RANGE powoduje zmianę czułości wejścia. Dokonuje tego procesor, zmieniając adres na wejściach multiplexera tak, jak to pokazano w tab. 4.

Jeżeli naciśniemy jednocześnie klawisze TBASE i RANGE, procesor przejdzie do fazy oczekiwania na zwolnienie obu tych klawiszy. Po puszczeniu obu przycisków program dokona zamiany zawartości pamięci próbek z pamięcią nieulotną. Razem z pamiętanymi próbkami „powędruje” nastawa czułości i podstawy czasu. Chciałbym zwrócić uwagę, że jeśli chcemy wywołać tę funkcję, nie musimy naciskać obu klawiszy równocześnie. Wystarczy, że trzymając naciśnięty jeden przycisk wcisniemy drugi, a następnie oba puścimy. Dostęp do pamięci EEPROM jest stosunkowo wolny, dlatego wykonanie tej funkcji trwa około jednej sekundy i w tym czasie nie jest generowany sygnał wideo.

Najciekawsza jest obsługa przełącznika START. Naciśnięcie tego przycisku powoduje natychmiastowe rozpoczęcie próbkowania wejścia rejestratora, przetwarzanie napięcia z postaci analogowej na wartość cyfrową i zapamiętanie tej wartości w pamięci próbek. Pomiedzy kolejnymi konwersjami A/C wywoływana jest procedura opóźniająca. Czas opóźnienia zależy od aktualnie obowiązującej podstawy czasu.

Podprogram realizujący przetwarzanie analogowo-cyfrowe metodą kolejnych przybliżeń można prześledzić na list. 2. Jest on o tyle interesujący, że bez większych modyfikacji może być zastosowany w procesorach AT89Cx051. Wynik konwersji jest umieszczony na sześciu młodszych bitach rejestru „buf”.

Metoda kolejnych przybliżeń polega na tym, że najpierw wartość napięcia wyjściowego przetwornika C/A ustawiana jest na połowę zakresu. Jeżeli okaże się, że to za mało, do tej wartości dodawana jest jedna czwarta napięcia odniesienia. Jeśli teraz napięcie na wyjściu przetwornika C/A będzie za wysokie, to ta jedna czwarta jest odejmowana, a dodaje się jedną ósmą. Tak postępujemy do chwili ustawienia najmłodszego bitu na wyjściu przetwornika C/A. W naszym przypadku po sześciu krokach na wyjściu przetwornika C/A otrzymujemy wartość najbardziej zbliżoną do mierzonego napięcia. Równocześnie w rejestrze przetwornika znajduje się jej liczbowy odpowiednik. Przykładowy wykres zmian napięcia na wyjściu przetwornika C/A w czasie przetwarzania przedstawiono na rys. 4.

Podczas próbkowania rejestrator nie wytwarza sygnału wideo. Dla najwolniejszej podstawy czasu oznacza to zanik obrazu na około 3 sekundy. Po wypełnieniu pamięci próbek jej zawartość jest wyświetlana w postaci graficznej na ekranie.

Nie udało mi się wymyślić szybkiego i prostego algorytmu, który pozwoliłby połączyć sąsiednie punkty wykresu. Dlatego zdecydowałem się na rozwiązanie najprostsze - wypełnianie wykresu. Nawet proste wypełnianie zajmuje tyle czasu, że procesor nie nadążyłby z wypełnieniem bufora linii w czasie powrotu plamki i impulsu synchronizacji, a tylko w tym czasie jest wolny. Problem udało się rozwiązać dzięki małej rozdzielczości przetwornika A/C. Otóż wykres jest rysowany na 256 liniach obrazu. Rozdzielczość przetwornika wynosi 6 bitów, czyli wykres może przyjąć jeden z 64 poziomów. Oznacza to, że jedna linia wykresu przypada na cztery linie obrazu. I tak w czasie pierwszej linii ładowana jest jedna trzecia bufora, czyli pięć pierwszych rejestrów bufora, w drugiej kolejnych pięć i w trzeciej ostatnia piątka. W czwartej linii następuje wyświetlenie zawartości bufora, po czym cała operacja się powtarza.

Wzór tekstu jest stały i składa się z czterech znaków: „.62V”.

Tab. 5. Napięcie w ważniejszych punktach przetwornika wizyjnego.

Kolor	Sync	Czarny	Szary	Biały
PD5	0	1	0	1
PD6	0	0	1	1
Ubaza	1V	1,66V	2,33V	3V
Uemiter	0,3V	0,96V	1,63V	2,3V
Uwideo RL=75Ω	0,15V	0,48V	0,81V	1,15V

Pierwsze trzy znaki, tzn. „.” (kropka), „6” (cyfra sześć) i „2” (cyfra dwa) są odpowiednio maskowane. Pozwala to na proste wyświetlenie wszystkich nastaw: „.2V”, „.6_V”, „.2V” i „.6_V”. Symbol „.” oznacza zamaskowaną literę. Nie jest to może rozwiązanie eleganckie, niemniej napis jest czytelny i co najważniejsze zajmuje niewiele miejsca w pamięci programu.

Podobnie odbywa się wyświetlanie tekstu identyfikującego aktualną podstawę czasu. W tym przypadku mamy dwa wzorce: „.10ms” i „.30ms”. Z pierwszego wzorca można uzyskać teksty: „.1_ms”, „.1_ms”, „.10ms” i „.1_s”. Jeśli bez zmiany maski zaadresujemy drugi wzorec, wyświetlane napisy zmieniają się na: „.3_ms”, „.3_ms”, „.30ms” i „.3_s”. Teraz wystarczy, przy zmianie podstawy czasu, aktualizować maskę i adres tablicy z tekstem wzorcowym, a na ekranie zawsze pojawi się właściwy opis podstawy czasu.

Tomasz Gumny, AVT
tomasz.gumny@ep.com.pl

Wzory płytek drukowanych w formacie PDF są dostępne w Internecie pod adresem: <http://www.ep.com.pl/pcb.html> oraz na płycie CD-EP03/2000 w katalogu PCB.

List. 2. Podprogram dokonujący konwersji A/C metodą kolejnych przybliżeń.

```
konw:  ldi maska,0x80 ; maska
       ldi buf,0x80 ; mierzone napięcie
konw0: out PORTB,buf ; wystaw napięcie
       nop2 ; czekaj na
       ; komparator
       nop2 ; 2 nopy w jednym
       ; wordzie
       in akum,ACSR ; odczytaj wy.komp.
       sbrs akum,ACO ; za mało
       eor buf,maska ; za dużo
       lsr maska ; następny bit
       or buf,maska
       cpi maska,0x02
       brne konw0 ; koniec konwersji
       lsr buf ; przesuw na sześć...
       lsr buf ; ...młodszych bitów
```