

Rejestrator przebiegu cyfrowego

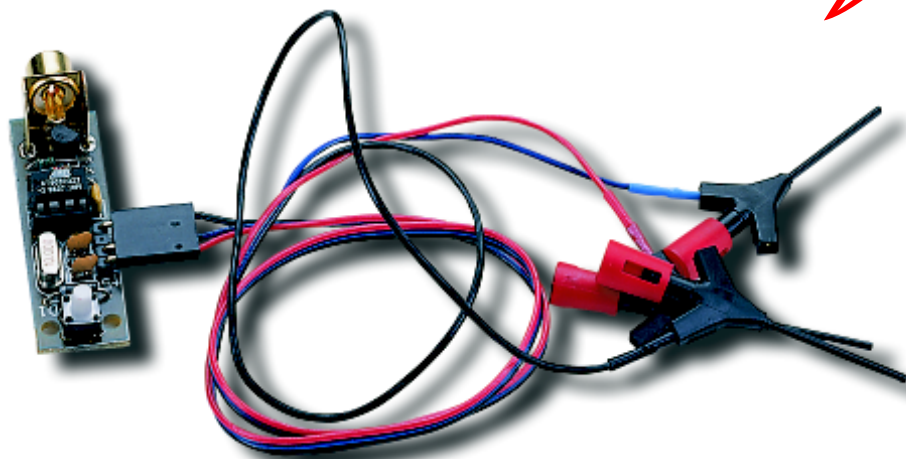
- przystawka do TV

AVT-831

PROJEKT
Z OKŁADKI

W dobie wszechobecnych komputerów pomysł konstruowania przyrządu pomiarowego jako przystawki do telewizora może wydawać się anachronizmem. Nie zapominajmy jednak, że odbiornik telewizyjny jest "meblem" występującym bodaj najczęściej w naszych mieszkaniach.

Skoro niemal każdy ma telewizor w domu, dlaczego by nie wykorzystać go do czegoś pożytecznego? Wszak zapalony elektronik zwykle najdłużej ogląda program telewizyjny, gdy naprawia telewizor.



„Normalne“ przyrządy, które muszą być wyposażone w ekran, czy to na lampie obrazowej, czy na ciekłych kryształach, są stosunkowo drogie. Z kolei, korzystanie z „przyrządów wirtualnych“ na komputerze wiąże się z kilkoma niedogodnościami. Pierwsza, to oczywiście konieczność posiadania komputera. Drugi problem pojawia się, gdy uruchamiamy urządzenie sterowane przez komputer. Mamy wtedy do wyboru: albo komputer steruje naszym urządzeniem, albo obsługuje np. kartę oscyloskopową. Nie zawsze te dwie rzeczy mogą być obsługiwane równocześnie. Karty oscyloskopowe, zwłaszcza te tańsze, mają często tę przypadłość, że znacznie obciążają procesor komputera, a ich oprogramowanie nie pozwala na skuteczną pracę w tle. Oczywiście, w takim przypadku wystarczy drobiazg - drugi komputer. Pamiętajmy jednak, że nie zawsze łatwo o ten pierwszy.

Jeśli zgodzimy się, że taki duży ekran nie powinien się marnować, to spróbujmy wymyślić coś, do czego dałoby się go wykorzystać w pracowni elektronika.

Pierwsze, co się nasuwa, to oscyloskop. Sam o tym pomyślałem i nie wykluczone, że jeśli ten temat spotka się z Waszym zainteresowaniem, to taki projekt powstanie. A może macie inne propozycje?

Póki co, zaczniemy od przyrządu, który przyda się każdemu elektronikowi uruchamiającemu układy cyfrowe, a „analogowcy“ będą musieli trochę poczekać.

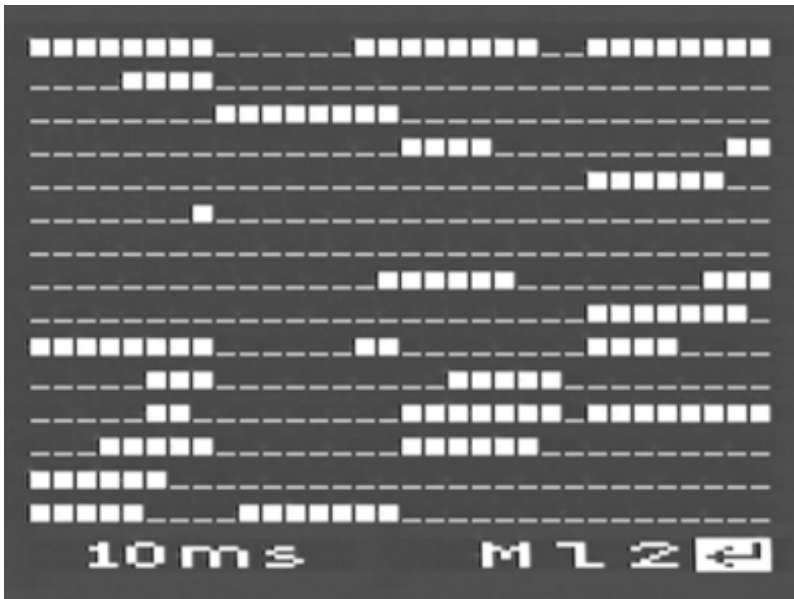
Proponuję budowę bardzo prostego w konstrukcji rejestratora przebiegów cyfrowych o całkiem przyzwoitych parametrach. Dobre parametry osiągnięto dzięki zastosowaniu szybkiego mikroprocesora o architekturze RISC, pochodzącego z rodziny AVR firmy Atmel. Uproszczenie konstrukcji możliwe było właśnie dzięki wykorzystaniu telewizora jako wyświetlacza. Najlepszy do naszych celów byłby telewizor czarno-biały, ale może to być praktycznie każdy odbiornik telewizyjny wyposażony w wejście wideo.

Nadszedł już czas, aby wyjaśnić nieco przydługi tytuł niniejszego projektu. „Rejestrator...“, bo nasze urządzenie nie wyświetla bieżącego stanu na wejściu, tylko zapisuje ten stan do pamięci, „...przebiegu cyfrowego...“, ponieważ układ rozróżnia tylko dwa stany logiczne: niski i wysoki oraz ma jedno wejście, a „...-przystawka do TV“ - bo do wyświetlania nastaw i zapamiętanych przebiegów służy odbiornik telewizyjny.

Rejestrator przebiegów nie jest może tak niezbędnym narzędziem

Tab. 1. Podstawowe cechy rejestratora.

- ✓ jeden kanał wejściowy,
- ✓ pojemność pamięci: 960 próbek,
- ✓ możliwość zapisania przebiegu w pamięci nieulotnej,
- ✓ odstęp próbkowania: 1, 10, 100[μs], 1, 10, 100[ms],
- ✓ wyzwalanie: ręczne, zboczem narastającym lub opadającym,
- ✓ prąd wejściowy: mniejszy od ±8μA,
- ✓ zobrazowanie dwóch stanów logicznych: niskiego (Uwe<2,2V) i wysokiego (Uwe>2,2V) przy Uzas=5V,
- ✓ zasilanie: 4,5..5,5V,
- ✓ pobór prądu: około 14mA przy Uzas=5V,
- ✓ układ dołączany do wejścia wideo telewizora,
- ✓ zabezpieczenie przed odwrotną polaryzacją napięcia zasilającego.



Rys. 1. Ekran TV w czasie pracy rejestratora.

w pracy z układami cyfrowymi jak sonda logiczna, ale możliwość zapamiętania przebiegów w celu ich późniejszej analizy trudno przecenić.

Cóż to jest zatem ten rejestrator w naszym wykonaniu? Najkrócej mówiąc jest to urządzenie, które podłączamy do badanego punktu układu cyfrowego jak oscyloskop. Rejestrator odczytuje stan logiczny w tym miejscu i co określony czas zapisuje go DO swojej pamięci. Powstały w ten sposób rejestr zmian stanu logicznego na wejściu możemy później poddać spokojnej analizie.

Zapewne wielu z Was stosowało komunikację szeregową między np. komputerem i jakimś swoim urządzeniem. Nie? No to weźmy prostszy przykład. Przy budowie toru podczerwieni w oparciu o standardowe odbiorniki, musimy dostroić generator do określonej częstotliwości. Zwykle jest to 32, 36 albo 38kHz. Jeśli nie mamy do dyspozycji częstotlicznika lub dobrego oscyloskopu, pozostaje nam tak długo regulować częstotliwość nadawania, aż odbiornik zareaguje. Często taki sposób postępowania wystarczy, ale co zrobić, jeśli zależy nam na jak największym zasięgu? Z danych katalogowych wynika, że czułość odbiornika spada o ponad połowę, gdy częstotliwość odbieranej fali różni się od częstotliwości nominalnej o 10 procent. Dysponując rejestratorem możemy postąpić bardziej profesjonalnie. Na

początku łączymy masy obu układów: rejestratora i generatora. Przewód zasilający rejestratora podłączamy do +5V w generatorze. Na koniec łączymy wejście rejestratora z wyjściem generatora. Teraz pozostaje już tylko włączyć telewizor i rozpoczynamy strojenie. Założymy, że częstotliwość nominalna odbiornika podczerwieni wynosi 36kHz. Zatem okres przebiegu z generatora powinien trwać $1/36000=27,8\mu s$. Ustawiamy w rejestratorze odstęp próbkowania na $1\mu s$ i wyzwolenie „z ręki“. W dowolnym momencie uruchamiamy próbkowanie i po chwili widzimy na ekranie telewizora przebieg wyjściowy z generatora. Liczymy ile próbek zajmuje jeden okres sygnału z generatora. W naszym przypadku powinno to być 28 próbek, a współczynnik wypełnienia wcale nie musi wynosić 50%. Oznacza to, że stan niski nie musi trwać tyle samo co stan wysoki, a istotna jest tylko suma obu czasów. Jeśli po kilku próbach uda nam się uzyskać owe 28 próbek, to oznacza, że dostroiliśmy generator z dokładnością czterech procent. Jeśli mamy dużo czasu i cierpliwości, możemy tak długo stroić generator, aż otrzymamy dokładnie liczbę 278 próbek w dziesięciu kolejnych okresach. W ten sposób zapewnimy dziesięciokrotnie większą precyzję.

Jak widać z powyższego przykładu rejestrator jest nie tylko efektywny w działaniu, ale może w warunkach amatorskich zastą-

pić sondę logiczną, częstotlicznik, a czasem nawet i oscyloskop z pamięcią.

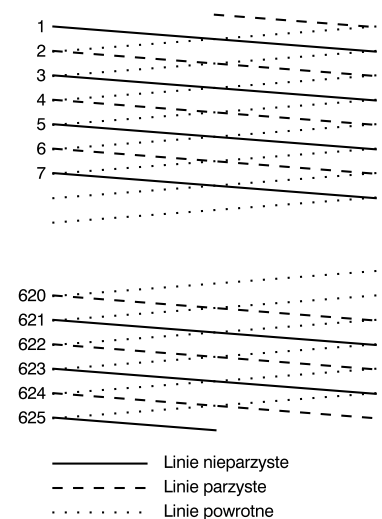
Najważniejsze parametry rejestratora przedstawiono w **tab. 1**. Przyjrzyjmy się im bliżej.

Jeden kanał wejściowy, to w wielu przypadkach za mało, ale co zrobić, gdy procesor ma raptem trzy wyprowadzenia wejściowo-wyjściowe i musi nimi obsłużyć cały przrząd.

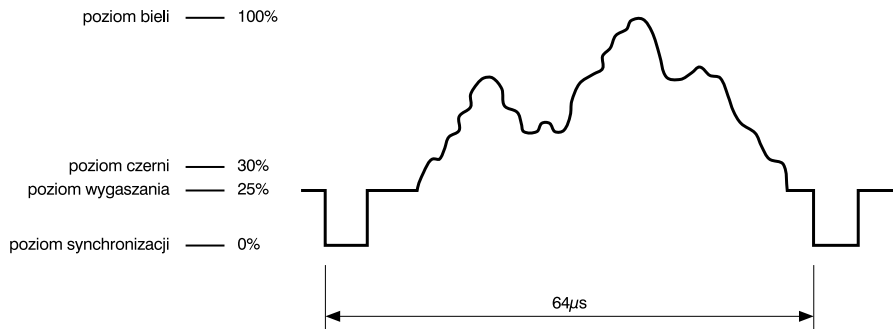
Rejestrator umożliwia zapamiętanie 960 próbek. To trochę mało, zwłaszcza przy podstawie czasu zmienianej co dekadę. Mogę jednak zapewnić, że analiza prawie tysiąca próbek potrafi zająć parę godzin i dostarczyć wielu niezapomnianych wrażeń.

Aktualną zawartość pamięci próbek możemy zapamiętać w pamięci EEPROM. Umożliwia to zachowanie interesującego nas przebiegu na praktycznie dowolny czas. Ta właściwość rejestratora pozwala wyeliminować podstawową wadę telewizora jako wyświetlacza. Otóż jest prawie pewne, że pozostali domownicy nie pozwolą nam zapomnieć, że nie jesteśmy jedynymi użytkownikami telewizora i w najmniej oczekiwanym momencie zostaniemy zmuszeni do obejrzenia „dwa tysiące sto osiemdziesiątego trzeciego“ odcinka telenoweli, zanim będziemy mogli kontynuować pracę.

Okres próbkowania, czyli czas jaki upływa między dwoma kolejnymi odczytami wejścia, można ustawiać w zakresie od 1 mikrosekundy do 100 milisekund. Tych parametrów rejestrator nie musi



Rys. 2. Schemat wybierania międzyliniowego.



Rys. 3. Sygnał wizyjny jednej linii.

się "wstydzić". Jedna mikrosekunda daje częstotliwość próbkowania 1MHz(!). Dodam od siebie, że opóźnienia w programie są wyczelowane z dokładnością do jednego taktu zegara i ich precyzja zależy praktycznie tylko od rezonatora kwarcowego.

Zapoczątkowanie zapisu pamięci próbek można ustawić na ręczne, zboczem narastającym lub opadającym. Przy sygnałach okresowych wystarczyłaby możliwość wyzwolenia „z ręki”, jednak przy sygnałach nieokresowych i przy częstotliwości próbkowania sięgającej 1MHz wprowadzenie dodatkowych warunków wyzwolenia było niezbędne. Czas zapisu pamięci próbek przy najmniejszym odstępnie próbkowania wynosi $960 \times 1\mu s = 960\mu s$, czyli niecałą milisekundę. Ręczne zapoczątkowanie próbkowania w odpowiednim momencie graniczyłoby z cudem. Zapis kończy się po wypełnieniu pamięci próbek, co przy maksymalnym odstępnie próbkowania daje $960 \times 100ms = 96s$, czyli ponad półtorej minuty. W tym przypadku często przyda się możliwość przerywania próbkowania w dowolnej chwili i rejestrator umożliwia coś takiego.

Prąd wejścia jest rzędu kilku mikroamperów i nie ma prawa wpływać na badany układ. Należy tylko zwrócić uwagę, że wejście rejestratora jest podłączone bezpośrednio do wejścia procesora. Zatem napięcie na nim nie może przekroczyć napięcia zasilania ani obniżyć się poniżej potencjału masy.

Zakres dopuszczalnego napięcia zasilającego pozwala na pracę z dowolnymi układami cyfrowymi zasilanymi z +5V. Zabezpieczenie przed odwrotną polaryzacją napięcia zasilającego jest niezbędne w przyrządzie podłączanym do zasilania za pomocą chwytaków.

Parametry rejestratora raczej nikogo nie zaszokują. Jeśli jednak wziąć pod uwagę relację możliwości przyrządu do kosztu budowy, to sprawa zaczyna wyglądać nader interesująco.

Obsługę rejestratora zapewnia jeden przełącznik monostabilny, co, jak nietrudno się domyślić, wcale nie ułatwia sprawy. Dłuższe naciśnięcie przycisku zmienia pozycję „kursora”. Krótkie naciśnięcie zmienia zawartość pola aktualnie wskazywanego przez kursor. Na podstawie dwutygodniowej eksploatacji, mogę stwierdzić, że taki sposób obsługi jest w miarę efektywny i nie sprawia większych problemów. Na rys. 1 przedstawiono widok ekranu telewizora w czasie pracy rejestratora.

Próbka o niskim stanie logicznym jest wyświetlana jako kreska. Wysoki stan logiczny jest symbolizowany przez słupek. Piętnaście linii, a w każdej 32 próbki, to dopiero 480 próbek, czyli połowa pojemności pamięci próbek. Gdzie podziała się reszta? Otóż świadomie zrezygnowałem z wyświetlania na ekranie równocześnie wszystkich 960 próbek. Wówczas było by trzydzieści linii po 32 próbki. Dłuższe wpatrywanie się w taki gąszcz, było by bardzo męczące dla wzroku. Nie zapominajmy przy tym, że telewizor to nie monitor typu „Low Radiation” i dłuższa praca z nosem przybliżonym do takiego wyświetlacza może być niezdrowa. To samo dotyczy „jeżdżenia paluchem” po naelektryzowanym ekranie, ale to akurat od razu odczujemy w postaci nieprzyjemnego mrowienia. Biorąc to wszystko pod uwagę, zdecydowałem się na wyświetlanie zawartości pamięci próbek w postaci dwóch stron. Na każdej stronie wyświetlanych jest piętnaście linii po 32 próbki.

Bieżące ustawienia rejestratora pokazane są w dolnej części ekranu. Pierwsza od lewej to podstawa czasu, czyli odstęp czasu między dwoma kolejnymi próbkowaniami wejścia. Możliwe wartości to 100ms, 10ms, 1ms, 100µs, 10µs i 1µs.

Duża litera M symbolizuje pamięć nieulotną. Wskazanie kursorem tego pola i zatwierdzenie krótkim kliknięciem spowoduje przepisanie aktualnej zawartości pamięci próbek do EEPROM-u i równoczesne przepisanie zawartości EEPROM-u do pamięci próbek. Razem z zawartością pamięci „wędruje” nastawa podstawy czasu, która obowiązywała w momencie pobierania próbek.

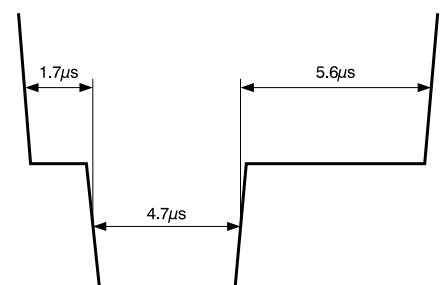
W kolejnym polu mogą wystąpić symbole narastającego lub opadającego zbocza lub litera „X” oznaczająca wyzwolenie „z ręki”. Tutaj możemy odczytać i ewentualnie zmienić warunek, po spełnieniu którego nastąpi start próbkowania.

Przedostatnie pole może przyjmować wartości „1” lub „2” i jest to numer aktualnie wyświetlanej strony. Na stronie pierwszej wyświetlane są próbki o numerach od 1 do 480, natomiast na stronie drugiej od 481 do 960.

Krótkie kliknięcie po wskazaniu kursorem pola oznaczonego symbolem „Enter” (z prawej strony ekranu) ustawia rejestrator w stan gotowości. Pamięć próbek jest zerowana i następuje cykliczne sprawdzanie warunku wyzwolenia. Po wykryciu odpowiedniego zbocza, a jeśli ustawiono literę „X” - natychmiast, rozpoczyna się pobieranie próbek z wejścia rejestratora i zapisywanie ich do pamięci.

Łyk teorii

Zapewne jeszcze wiele wody upłynie w Smródce (to potoczna nazwa rzeczki, która przepływa w



Rys. 4. Impuls synchronizacji poziomej.

Tab. 2. Ramka sygnału wideo w liczbach

Poziom i czas trwania sygnału	Liczba powtórzeń w półobrazie		Komentarz
	Nieparzystym	Parzystym	
Sync - 2,35µs Czerń - 29,65µs	5	1+5	przednie impulsy wyrównawcze
Sync - 27,3µs Czerń - 4,7µs	5	5	impulsy synchronizacji pionowej
Sync - 2,35µs Czerń - 29,65µs	4	5	tylne impulsy wyrównawcze
Sync - 4,7µs Czerń - 59,3µs	16	16	linie wygaszania
Sync - 4,7µs Czerń - 5,6µs Czerń/Biel - 52µs Czerń - 1,7µs	289	289	linie widoczne na ekranie

poblizu), zanim w konstrukcjach amatorskich będzie można stosować wielkogabarytowe wyświetlacze graficzne fluorescencyjne, ciekłokrystaliczne lub innego typu. Wykorzystując telewizor mamy od razu do dyspozycji wyświetlacz z dużym ekranem praktycznie za darmo. Mam nadzieję, że może chociaż kilku Czytelników pomyśli o wykorzystaniu w swoich opracowaniach telewizora jako wyświetlacza. Dla nich oraz dla tych, którzy tak jak ja do tej pory skrętnie omijali ten temat, będzie teraz dobra okazja, żeby zapoznać się ze strukturą sygnału wizyjnego. Do niedawna wiedziałem tylko, że sygnał wideo składa się z linii parzystych, nieparzystych, jakichś impulsów synchronizacji

i burstów koloru. Rzeczywistość okazała się nie taka straszna i chciałbym Was o tym przekonać.

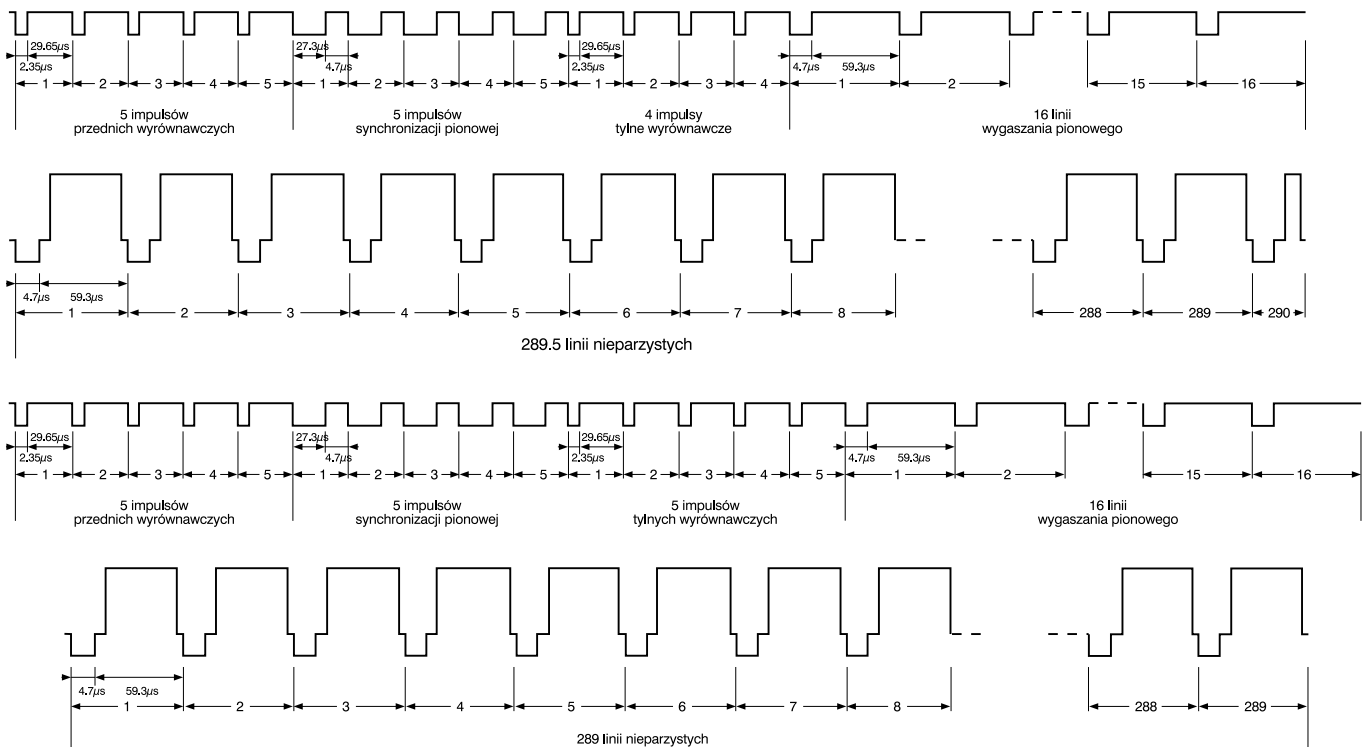
Zacznijmy od informacji podstawowych. Obraz wyświetlany na ekranie telewizora składa się z 625 linii i jest odświeżany 25 razy na sekundę, czyli co 40ms. Żeby nie było to za proste, obraz jest "szatkowany" na linii parzyste i nieparzyste, tak jak to pokazano na **rys. 2**. Każdy z utworzonych w ten sposób półobrazów jest przesyłany 50 razy na sekundę, czyli co 20ms. Podobno ma to zapobiegać migotaniu obrazu. Nie będę się spierał. Co ciekawsze, 625 nie bardzo daje się podzielić przez dwa i każdy z półobrazów składa się z 312 i PÓŁ linii. W te-

lewizorach, które nie mają za bardzo rozciągniętego obrazu w pionie, można czasem zobaczyć te pół linii u góry ekranu.

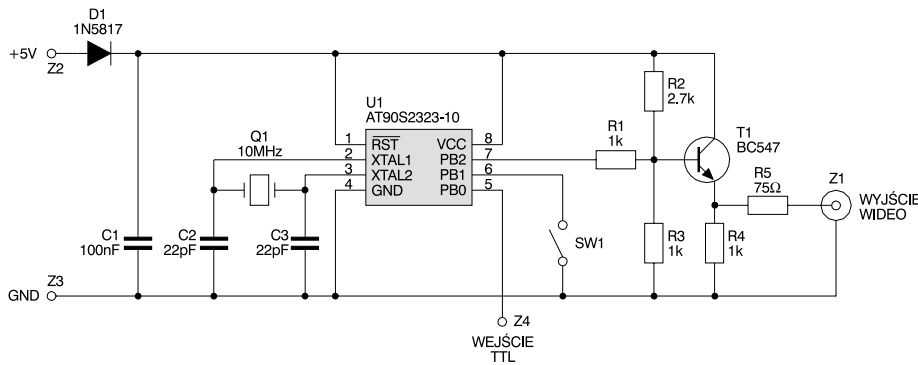
Sygnał, jaki musi dostać telewizor, aby mógł wyrysować jedną linię wygląda mniej więcej tak, jak przedstawiono to na **rys. 3**. Standardowy sygnał wideo ma amplitudę 1Vpp. Z tego wynika, że różnica potencjałów między poziomem wygaszania i synchronizacji wynosi 0,25V, między wygaszaniem i czernią występuje napięcie 0,05V, a między bielą i czernią jest 0,7V.

W zasadzie poziom wygaszania powinien być na potencjale 0V, czyli impulsy synchronizacji powinny mieć potencjał ujemny. Okazuje się jednak, że sprzęt wideo dostarcza zwykle sygnał o wartości napięcia w przedziale 1..2V. Amplituda sygnału jest zachowana, a poziom zerowy (wygaszania) jest zazwyczaj odtwarzany przez układy telewizora. Jest to dość ważna informacja, bo dzięki niej możemy zaoszczędzić kilka elementów, które byłyby potrzebne do uzyskania sygnału o ujemnej polaryzacji.

Na **rys. 4** pokazano dokładniej kształt impulsu synchronizacji, pojawiającego się na końcu każdej linii. Po wykreśleniu ostatniej linii półobrazu, na wejściu telewizora



Rys. 5. Kompletna ramka sygnału wizyjnego.



Rys. 6. Schemat elektryczny rejestratora.

muszą pojawić się impulsy wyrównawcze i impulsy synchronizacji pionowej. Cała ramka sygnału wizyjnego została pokazana na **rys. 5**.

Taka struktura sygnału była dla mnie stanowczo zbyt skomplikowana, zatem wypadało ją nieco uprościć. Pierwszym uproszczeniem było pominięcie wszystkich fragmentów sygnału związanych z transmisją koloru. Z góry założyłem, że rejestrator będzie wytwarzał sygnał monochromatyczny. Dodatkowo zrezygnowałem z różnych poziomów szarości pozostawiając jedynie czerń i biel. Żeby nie komplikować sobie życia przyjąłem, że poziom czerni jest taki sam jak poziom wygaszania, wszak ani jednego, ani drugiego na ekranie nie widać. W ten sposób na wyjściu wizyjnym pozostały do wytworzenia trzy poziomy napięcia, dla: bieli, czerni i synchronizacji.

Teraz przyszła pora na dokładniejsze przyjrzenie się ramce sygnału wideo. Okazało się, że można znaleźć w niej kilka stałych fragmentów, które wystarczy powtarzać określoną liczbę razy. Rezultaty tych przemyśleń znalazły się w **tab. 2**.

Program zapisany w procesorze dokładnie odtwarza tę ramkę. Jedynym odstępstwem było przyjęcie, że połówka ostatniej linii nieparzystej jest dodatkowym, szóstym impulsem wyrównawczym półobrazu parzystego. Związane z tym skrócenie o połowę czasu impulsu synchronizacji nie wpływa na stabilność obrazu.

Linie widoczne na ekranie nie są w rzeczywistości całe białe, jak można by sądzić na podstawie **rys. 5**. Poziomy sygnału wideo zmienia się w trakcie rysowania linii od czerni do bieli. Z całej ramki rejestrator wykorzystuje w każdym półobrazie 272 linie. Pierwszych 240 linii tworzy 15 linii z próbkami. Na

kolejnych 32 liniach w dolnej części ekranu wyświetlane są aktualne nastawy. Półobrazy wysyłane są na przemian. Zawartość obu półobrazów jest identyczna, co oznacza, że linie wyświetlone w półobrazie nieparzystym są dokładnie powtarzane 20ms później w półobrazie parzystym. W zasadzie można zrezygnować z powtórnego rysowania obrazu, ale wówczas każdy biały element na ekranie będzie się składał z dobrze widzialnych linii.

Rysowanie fragmentu linii widocznego na ekranie trwa 52μs. Cykl rozkazowy zastosowanego procesora, przy kwarcu o częstotliwości 10MHz, wynosi 0,1μs. Z prostego rachunku wynika, że teoretycznie moglibyśmy wyświetlić w jednej linii nawet 520 punktów. Jednak po uwzględnieniu działań, jakie procesor musi w międzyczasie wykonać, ta liczba spada do 60..80 punktów.

Opis układu

Schemat elektryczny rejestratora przedstawiono na **rys. 6**. Nietrudno zauważyć, że układ elektroniczny rejestratora jest dość prosty. Zawiera tylko jeden układ scalony - mikrokontroler AT90S2323 firmy Atmel, trzy rezystory tworzące przetwornik cyfrowo-analogowy, wtórnik emiterowy pełniący rolę bufora wyjściowego, rezonator kwarcowy z towarzyszącymi kondensatorami, kondensator blokujący i diodę.

Sygnał wejściowy jest podawany bezpośrednio na pin PB0 procesora U1. Wyprowadzenie to jest programowo ustawione jako wejście bez wewnętrznego "podciągnięcia", dzięki czemu charakteryzuje się minimalnym prądem wejściowym, zarówno w stanie niskim jak i wysokim. Wejście rejestratora nie jest wyposażone w żaden układ zabezpieczający. Należy o tym pamiętać w czasie eksploatacji. Jeśli

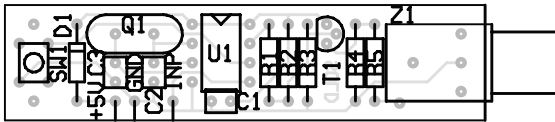
od czasu do czasu zdarza się nam coś podłączyć nie tak jak trzeba, dobrze byłoby z góry dobrać układ zabezpieczający, choćby taki, jak w „Dwukanałowej sondzie logicznej z pamięcią próbek“, z tegorocznego, majowego numeru Elektroniki Praktycznej.

Do pinu PB1 podłączony jest mikroprzełącznik. To wejście ma włączone wewnętrzne "podciągnięcie" do plusa zasilania, dzięki czemu w stanie spoczynkowym występuje na nim wysoki, a po zwarceniu styków niski stan logiczny. Stan przełącznika jest odczytywany co 40ms. Ewentualne drgania ze styków są filtrowane programowo.

Pin PB2 razem z rezystorami R1, R2 i R3 tworzy prosty przetwornik cyfrowo-analogowy. Zasada działania przetwornika jest następująca. Wejście procesora PB2 może znajdować się w stanie wysokim, którego wartość przy tak niewielkim obciążeniu jest niewiele niższe od napięcia zasilania. W tym przypadku na bazie tranzystora T1 otrzymujemy napięcie około 2,65V. Gdy procesor wymusi niski stan na nóżce PB2, napięcie na bazie spadnie do około 0,75V. Procesor ma jeszcze możliwość ustawienia pinu PB2 w stan wysokiej impedancji. Wówczas na bazie T1 otrzymujemy 1,25V.

W tym miejscu warto wspomnieć o jeszcze jednej właściwości tak zbudowanego przetwornika D/A. Otóż jeśli zwiększymy wartości rezystorów R1, R2 i R3 mniej więcej dziesięciokrotnie i ustawimy pin PB2 jako wejście z wewnętrznym podciągnięciem, to uzyskamy na ekranie dodatkowy kolor - szary! W rejestratorze ta możliwość nie jest wykorzystana, gdyż producent procesora - firma Atmel, dopuszcza zbyt duży rozrzut wartości wewnętrznego rezystora podciągającego. Odcień szarości zależy w znacznym stopniu od prądu podciągającego. Dla jednego egzemplarza procesora odcień mógłby być zbyt ciemny, podczas gdy dla innego byłby za bardzo zbliżony do bieli. Nie stanowi to wielkiego problemu, jeśli mamy możliwość indywidualnego doboru rezystorów.

Do wyjścia procesora w stanie niskim może płynąć prąd o natężeniu nawet 20mA. Jednak w stanie wysokim prąd wyjściowy jest ograniczony do około 3mA. To za mało, aby poprawnieysterować wejście



Rys. 7. Rozmieszczenie elementów na płycie drukowanej rejestratora.

wideo telewizora o impedancji 75Ω . Dlatego sygnał z przetwornika D/A jest podawany na bazę tranzystora T1. Tranzystor pracuje w układzie wtórnika emiterowego. Rezystor R5 dopasowuje impedancję wyjściową wtórnika do standardowego kabla koncentrycznego i wejścia wideo. Taki układ jest niezbędny, gdyż okazało się, że bez dopasowania pojawiają się odbicia i następuje zauważalne pogorszenie jakości obrazu. Impedancja wejściowa telewizora (75Ω) wraz z rezystorem R5 tworzą dzielnik, który obniża napięcie na wejściu wideo dwukrotnie. Po uwzględnieniu spadku napięcia na złączu baza-emiter tranzystora T1, poziomy napięciowe na wejściu wynoszą odpowiednio: $0,03V$ dla synchronizacji, $0,28V$ dla czerni i wygaszania oraz $0,95V$ dla bieli. Oznacza to, że impulsy synchronizacji mają amplitudę $0,25V$, a poziom bieli leży około $0,7V$ powyżej poziomu wygaszania. Jak z tego wynika, mimo prostoty przetwornika, wyjściowy sygnał wizyjny całkiem nieźle spełnia przyjęte wymagania.

Procesor U1 jest taktowany sygnałem zegarowym stabilizowanym rezonatorem kwarcowym Q1 o częstotliwości $10MHz$. Dioda D1 zabezpiecza procesor przed skutkami podłączenia zasilania o nieprawidłowej polaryzacji. Napięcie zasilające zablokowano kondensatorem C1. Zastosowany procesor typu AT90S2323 ma wewnętrzny układ zerowania po załączeniu zasilania, dlatego nie ma potrzeby stosowania zewnętrznych elementów RC.

Montaż

Podzespoły rejestratora zamontowano na jednostronnej płycie drukowanej, której układ ścieżek można znaleźć na wkładce wewnątrz numeru. Rozmieszczenie elementów ilustruje rys. 7. Pod mikroprocesor montujemy oczywiście podstawkę. Montaż pozostałych elementów nie wymaga komentarza. Jedyna uwaga może dotyczyć złącza igłowego do podłączania zasilania i kabelka wejściowego. W tym miejscu zastosowałem część

listwy z czterema igłami zgiętymi pod kątem prostym. Jedna ze środkowych igieł musi być usunięta. Która to będzie, łatwo stwierdzić, bo nie ma dla niej otworu na płycie drukowanej. W złączu na kablu zaklejamy otwór odpowiadający tej igle. W ten prosty sposób zabezpieczymy się przed możliwością nieprawidłowego podłączenia kabla. Teraz przystępujemy do uruchomienia rejestratora.

Uruchomienie

Uruchomienie jak zawsze rozpoczynamy od sprawdzenia poprawności montażu. Wprawdzie niewiele jest tu do sprawdzania, ale tym bardziej powinniśmy zwrócić uwagę czy przy lutowaniu nie powstały zwarcia między polami lutowniczymi. Jeśli sprawdzenie dało wynik pozytywny, wkładamy zaprogramowany procesor do podstawki. Podłączamy rejestrator do telewizora i zasilacza $+5V$ lub po prostu do płaskiej baterii i naszym oczom ukazuje się obraz podobny do tego, który przedstawiono na rys. 1. Naciskamy i przytrzymujemy przełącznik. Cursor powinien przesunąć się na cyfrę „1”. Drugie długie naciśnięcie przesuwa cursor na cyfrę „X”, a trzecie na literę „M”. Teraz krótko naciskamy klawisz przełącznika, a naszym oczom ukaże się obraz przedstawiony na rys. 8. Dociekliwym Czytelnikom pozostawiam odczytanie tego, co wstępnie zapisano na drugiej stronie pamięci próbek.

Oprogramowanie

Program dla mikroprocesora napisano w assemblerze WAVRASM, udostępnianym bezpłatnie przez firmę Atmel. Uruchamianie było wspomagane symulatorem AVR-Studio, również pobranym ze strony internetowej Atmela. Procesor AT90S2323 posiada $2KB$ pamięci programu, 128 bajtów pamięci RAM i tyleż samo EEPROM. W aktualnej wersji program zajmuje całą dostępną pamięć, pozostał jeden niewykorzystany bajt pamięci RAM i siedem bajtów pamięci EEPROM. Nie wszystkie funkcje rejestratora, które chciałem zrealizować, zmieściły się w pamięci. $2KB$ pamięci programu to naprawdę niewiele, tym bardziej, że w procesorach AVR

pamięć programu jest zgrupowana w słowa i każda instrukcja (nawet NOP!) ma długość przynajmniej jednego słowa, czyli dwóch bajtów.

Generalnie, program nie jest zbyt skomplikowany. Najwięcej problemów nastęcało zapewnienie czasowej powtarzalności linii. W przeciwnym razie obraz mógłby być niestabilny. Dużo czasu poświęciłem tym fragmentom programu, które realizują próbkowanie. Za to mogę zapewnić, że próbkowanie przy najmniejszej podstawie czasu

List. 1.

```

;*****
;* Program rejestratora-przystawki *
;* do TV *
;*****

.MACRO biel
out DDRB,0x04 ; PB.2 -
wyjście out PORTB,0x06 ; PB.2 = 1
.ENDMACRO

.MACRO czern
out DDRB,0x00 ; PB.2 -
wyjście out PORTB,0x02 ; PB.2 = HZ
.ENDMACRO

; .MACRO szary ; opcja
out DDRB,0x00 ; PB.2 -
wyjście out PORTB,0x06 ; PB.2 = pull-
up
; .ENDMACRO

.MACRO sync
out DDRB,0x04 ; PB.2 -
wyjście out PORTB,0x02 ; PB.2 = 0
.ENDMACRO

.DEF Ox00 = r9 ; stała w rejestrze
.DEF Ox04 = r10 ; stała w rejestrze
.DEF Ox02 = r11 ; stała w rejestrze
.DEF Ox06 = r15 ; stała w rejestrze

;*****
;* Główna pętla programu *
;*****

main:
; półobraz nieparzysty
mov line,0x05 ; 5 imp. wyrównawczych
rcall oe1

mov line,0x05 ; 5 imp.synch.pionowej
rcall oe2

mov line,0x04 ; 4 imp. wyrównawcze
rcall oe1

ldi line,26 ; 16+10 linii czarnych
rcall oe4

[ciach]
; parzysty półobraz
[ciach]

rjmp main ; koniec głównej pętli

;*****
;* Procedury pomocnicze *
;*****

oe1: sync ; impuls wyrównawczy
rcall ns2350 ; opóźnienie 2,35us
czern
rcall ns29650 ; opóźnienie 29,65us
dec line ; powtórz line-krotnie
brne oe1
ret

oe2: sync ; imp.synch.pionowej
rcall ns27300 ; opóźnienie 27,3us
czern
rcall ns4700 ; opóźnienie 4,7us
dec line ; powtórz line-krotnie
brne oe2
ret

oe4: sync ; czarna linia
rcall ns4700 ; opóźnienie 4,7us
czern
rcall ns59300 ; opóźnienie 59,3us
dec line ; powtórz line-krotnie
brne oe4
ret

```

zajmuje dokładnie 10 taktów zegara, co przy 10MHz daje równo 1 mikrosekundę. Procedury opóźniające, dzięki którym uzyskano pozostałe odstępy próbkowania, zajmują dokładnie 90, 990, 9990, 99990 i 999990 taktów zegara, co w połączeniu z czasem wykonania procedury próbkującej daje odpowiednio 10 μ s, 100 μ s, 1ms, 10ms i 100ms.

Program główny składa się z jednej nie kończącej się pętli. Przy każdorazowym przebiegu pętli wytwarzane są dwa kompletne półobrazy, czyli jeden obieg pętli zajmuje 40ms. Dla zainteresowanych Czytelników zamieszczam fragment programu ilustrujący obsługę przetwornika D/A (list. 1).

W czasie trwania jednej z czarnych linii, a dokładnie w czasie trwania 27 linii w półobrazie nieparzystym, procesor sprawdza stan przycisku. Jeśli wykryje naciśnięcie na czas dłuższy niż 400ms, to przesuwają kursor o jedną pozycję w lewo. Naciśnięcie klawisza na krócej niż 400ms, ale dłużej niż 80ms, powoduje zmianę zawartości pola wskazywanego przez kursor lub wykonanie wskazywanej funkcji. Szczegółowo zostanie to opisane w dalszej części artykułu.

Obsługa rejestratora

Obsługa rejestratora jest stosunkowo prosta i sprowadza się do wybrania kilku nastaw i zapoczątkowania próbkowania. Większość czynności została już wcześniej opisana. Tutaj je tylko

usystematyzujemy.

Uwaga! W czasie próbkowania i przepisывania pamięci próbek do pamięci nieulotnej procesor nie wytwarza sygnału wideo, co objawia się chwilowym zaniem obrazu.

Dolną część ekranu telewizora przeznaczyłem na wyświetlanie informacji o aktualnych ustawieniach rejestratora. Pierwsze od prawej krawędzi ekranu jest pole oznaczone symbolem „Enter“. Krótkie kliknięcie, po wskazaniu kursorem na to pole, ustawia rejestrator w stan gotowości. Pamięć próbek jest zerowana i następuje cykliczne sprawdzanie warunku wyzwolenia. Po spełnieniu warunku wyzwolenia rozpoczyna się pobieranie próbek z wejścia rejestratora i zapisywanie ich do pamięci. W dowolnym czasie próbkowanie możemy przerwać przez ponowne naciśnięcie przycisku.

Drugie pole (od prawej) oznacza numer aktualnie wyświetlanej strony. Jak już wspomniałem, pamięć próbek jest wyświetlana na dwóch stronach. Na pierwszej stronie wyświetlane są próbki o numerach od 1 do 480, a na drugiej od 481 do 960. Kliknięcie na tym polu powoduje zmianę numeru wyświetlanej strony.

Kolejne pole pokazuje aktualnie obowiązujący warunek wyzwolenia. Możliwe są trzy przypadki: wyzwolenie na zboczu narastającym, opadającym lub wyzwolenie „z ręki“. Kliknięcia na

WYKAZ ELEMENTÓW

Rezystory

R1, R3, R4: 1k Ω

R2: 2,7k Ω

R5: 75 Ω

Kondensatory

C1: 100nF/63V

C2, C3: 22 μ F

Półprzewodniki

D1: 1N5817

T1: BC547

U1: AT90S2323-10PC Atmel (zaprogramowany)

Różne

Q1: rezonator kwarcowy 10MHz

Z1: gniazdo CINC do druku

Z2, Z3, Z4: złącze igłowe, kątowe do druku

U1: podstawka pod układ scalony DIL8

SW1: mikroswitcz do druku

Kabel koncentryczny wideo o długości 2m*

Kabel trójżyłowy 0,5m z chwytakami

* nie wchodzi w skład kitu

tym polu powodują cykliczną zmianę warunku. Wyzwoleniu „z ręki“ odpowiada litera „X“.

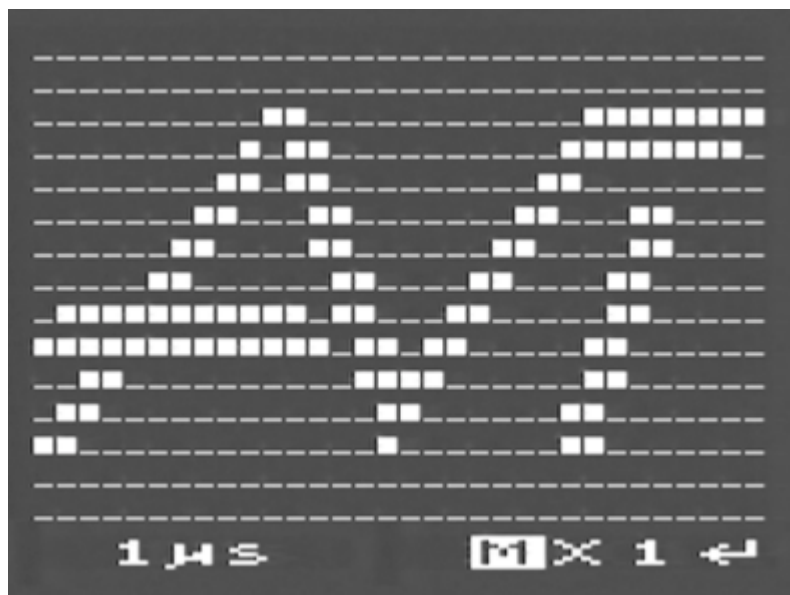
Wskazanie kursorem pola oznaczonego literą „M“ i zatwierdzenie go przez krótkie „klik“ spowoduje zmianę zawartości pamięci próbek z pamięcią nieulotną EEPROM. Dzięki temu możemy zapamiętać aktualnie analizowany wykres, a także odczytać uprzednio zapamiętane przebiegi. Co jest bardzo ważne, razem z zawartością pamięci wędruje nastawa podstawy czasu, która obowiązywała w momencie pobierania próbek.

Pierwsze pole z lewej strony pokazuje aktualne ustawienie podstawy czasu, czyli po prostu czas, jaki upłynie między dwoma kolejnymi odczytami wejścia rejestratora. Możliwe wartości to 100ms, 10ms, 1ms, 100 μ s, 10 μ s i 1 μ s.

Teraz już wiecie wszystko o obsłudze rejestratora, prawie tyle co ja. Zatem nie pozostaje mi nic innego, jak życzyć Wam wielu uruchomionych układów i jeszcze raz ponowić prośbę: jeśli macie pomysł jakiegoś ciekawego urządzenia wykorzystującego TV jako wyświetlacz - piszcie. Czeka na Wasze propozycje.

Tomasz Gumny, AVT

tomasz.gumny@ep.com.pl



Rys. 8. Zawartość pamięci EEPROM po pierwszym włączeniu rejestratora.