

Generator sygnału testowego TV

Do czego to służy?

Telewizor jest jednym z najbardziej popularnych urządzeń elektronicznych, obecnym w prawie każdym domu. Umożliwia on wyświetlanie kolorowego obrazu dużych rozmiarów. Czemu więc nie wykorzystać go jako wyświetlacza zamiast LCD czy LED. Wbrew pozorom generacja prostego sygnału telewizyjnego za pomocą mikrokontrolera nie jest trudna. Trzeba tylko znać wykorzystywany w telewizji standard sygnału.

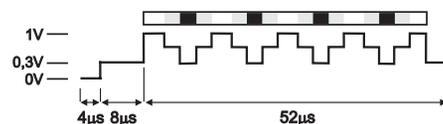
Jak generować sygnał telewizyjny?

Odbiornik telewizyjny wyświetla obraz, „rysując” go wiązką elektronów na powierzchni luminoforu, którym pokryta jest od wewnątrz przednia część kineskopu. Wiązka przesuwana się poziomo, rysując kolejne piksele w danej linii, a następnie przeskakuje do początku następnej linii. Po narysowaniu całego obrazu wiązka powraca do lewego, górnego rogu i proces rozpoczyna się od nowa. Dzięki wykorzystaniu odpowiednio dużej częstotliwości odświeżania, ludzkie oko widzi narysowany obraz jako całość. W systemie PAL, używanym w Polsce, obraz składa się z 625 linii wyświetlanych z przeplotem, tzn. telewizor wyświetla na przemian tak zwane półobrazy złożone z linii parzystych i nieparzystych. Częstotliwość odświeżania pionowego wynosi 50Hz, co oznacza, że w czasie 1 sekundy wyświetlanych jest 50 półobrazów. Jak łatwo obliczyć, częstotliwość odświeżania poziomego wynosi 15,625kHz. Telewizor może pracować w jednym z dwóch trybów TV i AV. W trybie TV odbiera zmodulowany sygnał radiowy w.cz. pochodzący z naziemnych nadajników telewizyjnych. W trybie AV odtwarza sygnał niskiej częstotliwości niosący bezpośrednio informacje o obrazie, pochodzący z urządzeń takich jak magnetowid. Sygnał ten pobierany jest ze złącza EUROSCART lub ze specjalnego gniazda oznaczonego Composite lub Video. Telewizor rozpoznaje tzw. zespolony sygnał wizyjny, niosący informacje zarówno o obrazie, jak i impulsy synchronizacji potrzebne do jego generowania. Sygnał taki przyjmuje wartości od 0V do 1V, gdzie 0V odpowiada

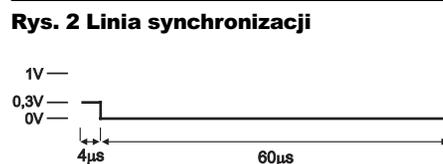
poziomowi synchronizacji, 0,3V - poziomowi czerni, a 1V - poziomowi bieli. Takie kodowanie umożliwia generację czarno-białego obrazu (dzisiejsze telewizory wyodrębniają z tego sygnału również informacje o kolorze, jednak jest to bardziej skomplikowane zagadnienie). Cały obraz podzielony jest na linie trwające 64μs, niosące informacje do wyświetlenia, przy czym raz wyświetlane są linie parzyste, a raz nieparzyste. Na **rysunku 1** pokazany jest wygląd przykładowej linii wraz z odpowiadającymi poziomami napięcia. Przez pierwsze 4μs podawany jest sygnał synchronizacji poziomej, czyli poziom 0V. Następnie przez 8μs sygnał pozostaje na poziomie 0,3V, co odpowiada czerni. Przez ten czas wiązka elektronów ustawiana jest na początku nowej linii obrazu. Następnie przez 52μs wyświetlany jest właściwy obraz. Intensywność świecenia tej linii ekranu modulowana jest poziomem sygnału w tym czasie. Kolejne linie wysyłane są jedna za drugą, rysując cały obraz. Do poprawnego wyświetlania potrzebne są jeszcze impulsy synchronizacji pionowej informujące telewizor o przygotowaniu do wyświetlenia kolejnego półobrazu. Pojedyncza ramka obrazu składa się teoretycznie z 312,5 linii. Nie wszystkie są jednak widoczne. Kilka ostatnich zawiera impulsy synchronizacji oraz informacje, które linie są aktualnie wyświetlane – parzyste czy nieparzyste. Dla uproszczenia można pominąć przeplot, wysyłając cały czas identyczne ramki złożone z 312 linii. Zmniejsza to dostępną rozdzielczość, ale znacznie upraszcza algorytm sterujący. W takim przypadku, dla poprawnej synchronizacji pionowej, wystarczy wysłać na końcu obrazu kilka, kilkanaście linii, których budowę pokazuje **rysunek 2**. Przez początkowe 4μs sygnał pozostaje na poziomie czerni – 0,3V następnie przez 60μs na poziomie synchronizacji – 0V. Warto zaznaczyć, że wszystkie podane wielkości nie są krytyczne. Niewielkie odchyłki od danych wartości nie powinny spowodować błędnego działania telewizora.

Mając już informacje o sposobie transmisji obrazu czarno-białego, możemy go generować używając mikrokontrolera. Ponieważ większość mikrokontrolerów nie posiada dosta-

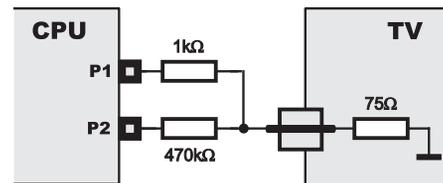
ecznie dużej pamięci RAM, by utworzyć w niej matrycę przechowującą całą ramkę obrazu, trzeba go więc generować w czasie rzeczywistym w trakcie samego procesu wyświetlania. Do wytworzenia odpowiednich poziomów napięć sygnału zespolonego wystarczy dwa piny wyjściowe procesora oraz 2 rezystory tworzące najprostszy przetwornik cyfrowo-analogowy, umożliwiający uzyskanie 3 kolorów – białego, szarego i czarnego, co pokazuje **rysunek 3**. Od strony telewizora wejście sygnału zespolonego ma impedancję 75Ω. Łatwo policzyć, że za pomocą rezystorów 1kΩ i 470kΩ można uzyskać poziomy napięcie zbliżone do wymaganych. Na **rysunku 4** pokazane jest złącze EUROSCART wraz z opisem wyprowadzeń.



Rys. 1 Pojedyncza linia obrazu



Rys. 2 Linia synchronizacji



Rys. 3 Prosty przetwornik C/A

Tabela 1

| P1 | P2 | Napięcie | Poziom |
|----|----|----------|----------------|
| 0 | 0 | 0V | synchronizacja |
| 1 | 0 | 0,3V | czarny |
| 0 | 1 | 0,65V | szary |
| 1 | 1 | 0,95V | biały |

Większość telewizorów jest w nie wyposażona. Styk nr 20 to wejście sygnału zespolonego. Złącze to zawiera również wejścia składowych kolorów – RGB, odpowiednio styki nr 15, 11 i 7. Wejścia te, podobnie jak wejście sygnału zespolonego, mają impedancję 75Ω i tolerują napięcia od 0V do 1V, przy czym poziom napięcia moduluje intensywność danego koloru. Dzięki tym wejściom możliwa jest łatwa generacja kolorowego obrazu. Styk nr 16 to, w uproszczeniu, przełącznik między sygnałem zespolonym a RGB. Wymuszenie na nim poziomu 1V powoduje wyświetlanie obrazu z wykorzystaniem wejść RGB. Sygnały synchronizacji w trybie RGB są wydzielane z sygnału na wejściu Composite In (20). Taka organizacja umożliwia jednocześnie podawanie sygnałów w obu trybach, tzn. na wejście Composite sygnału o obrazie czarno-białym a na wejścia RGB sygnałów składowych kolorów. W zależności od potrzeb przełączanie pomiędzy obrazem kolorowym a czarno-białym następowałoby za pomocą styku 16. Taka metoda została zastosowana w prezentowanym



Rys. 4 Złącze EUROSCART

Tabela 2

| | |
|----|-------------------------------|
| 1 | Audio Out Right |
| 2 | Audio In Right |
| 3 | Audio Out Left |
| 4 | GND |
| 5 | GND |
| 6 | Audio In Left |
| 7 | RGB Blue In |
| 8 | TV/AV/16:9 switch |
| 9 | GND |
| 10 | CLK Out |
| 11 | RGB Green In |
| 12 | DATA |
| 13 | GND |
| 14 | GND |
| 15 | RGB Red In/Chrominance |
| 16 | Blanking/RGB/Composite switch |
| 17 | GND |
| 18 | GND |
| 19 | Composite Video Out |
| 20 | Composite Video In/Luminance |
| 21 | GND Chassis |

Jak to działa?

Prezentowany, prosty projekt generuje sygnał telewizyjny z wykorzystaniem mikrokontrolera ATtiny12. Ten niewielki procesor z rodziny AVR posiada 1KB pamięci Flash i 32B pamięci RAM. Wystarczy to z nadmiarem do narysowania na ekranie telewizora mozaiki złożonej z 8 wierszy po 19 prostokątów, będącej obrazem testowym. W zależności od stanu przełącznika S1, połączonego ze stykiem 16, prostokąty są kolorowe lub czarno-białe.

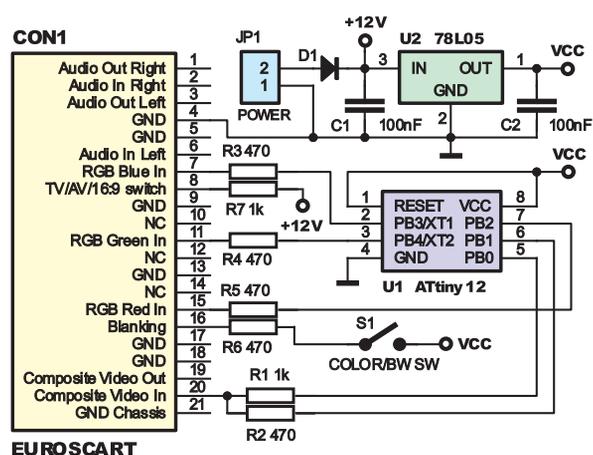
Program sterujący został napisany w assemblerze za pomocą kompilatora AVRStudio

4.11 (program można ściągnąć z Elportalu). Procesor taktowany jest wewnętrznym, kalibrowanym generatorem RC o częstotliwości 1,2MHz. Program generuje w pętli niezmienną ramkę obrazu złożoną kolejno z 20 pustych linii na górze, 8 wierszy po 32 linie każdy, tworzących właściwy obraz, 16 pustych linii na dole i 20 linii synchronizacji pionowej. Rysując każdy wiersz prostokątów, procesor korzysta z kolorów zapisanych w rejestrach R20 - R27. Kolejny wiersz wyświetla te same kolory przesunięto o jeden klocek.

Część sprzętowa urządzenia jest bardzo prosta. Schemat ideowy pokazany jest na rysunku 5. Stabilizator U2 zapewnia odpowiednie napięcie zasilania dla procesora. Dioda D1 zabezpiecza układ przed odwrotnym podłączeniem zasilacza. Rezystory R1, R2 składają się na prosty przetwornik C/A opisany już wcześniej. Rezystory R3-5 tworzą dzielniki napięcia z wewnętrzną impedancją wejść RGB, zapewniając odpowiednie poziomy napięcie odpowiadające maksymalnej jasności kolorów. Rezystor R7 wymusza na wejściu 8 EUROSCART poziom +12V, co powoduje automatyczne przełączenie telewizora do trybu AV po podłączeniu zasilania układu. Całość powinna być zasilana napięciem stałym o wartości 10-14V.

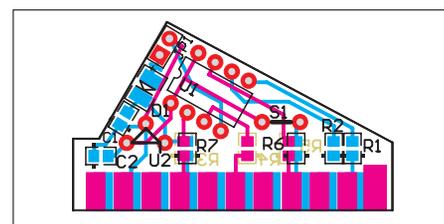
Montaż i uruchomienie

Rysunek 6 pokazuje wygląd dwustronnej płytki drukowanej układu. Jest ona tak zaprojektowana, by zmieściła się w obudowie wtyczki eurozłącza. Aby było to możliwe, konieczne okazało się użycie elementów SMD. Przed montażem należy sprawdzić, czy płytka mieści się w obudowie, a w razie potrzeby dopasować ją za pomocą pilnika. Montaż rozpoczynamy od wlutowania rezystorów i kondensatorów SMD0805 oraz diody D1. W przypadku braku odpowiedniej diody można zamiast niej wlutować zwrócić (należy wtedy pamiętać o odpowiedniej polaryzacji napięcia zasilania, w przeciwnym razie dojdzie do uszkodzenia układu, a prawdopodobnie również telewizora). W dalszej kolejności montujemy stabilizator U1, tak by znajdował się możliwie blisko płytki. Pod procesor U2 najlepiej jest zamontować podstawkę precyzyjną. W kolejnym kroku lutujemy do płytki wtyk eurozłącza wyjęty z obudowy. Najlepiej przed przylutowaniem pokryć pola lutownicze warstwą cyny, a po wsunięciu płytki pomiędzy piny podgrzewać je po kolei grotem lutownicy bez dodatkowej cyny. Przy lutowaniu wtyku „euro” należy uważać, by nie obrócić płytki „do góry nogami”. W obudowie złącza należy wyciąć niewielki otwór i zamocować w nim



Rys. 5 Schemat ideowy

Rys. 6 Płytką drukowaną



przełącznik S1, a następnie połączyć go z płytką krótkimi odcinkami izolowanego przewodu. Ostatnim krokiem montażu jest zamocowanie gniazda zasilacza. W prototypie zastosowano gniazdo okrągłe, które po zeszlifowaniu zewnętrznego gwintu zmieściło się w otworze obudowy przewidzianym na przewód wyjściowy. Konieczne okazało się tylko skrócenie nakrętki plastikowej, zaciskającej przewód oraz odcięcie „skrzydełek” zaciskających. Odpowiednio dopasowane złącze zasilania łączymy z płytką za pomocą przewodów lub lutujemy bezpośrednio do płytki, tak jak w prototypie.

By zapewnić poprawną pracę urządzenia, może okazać się konieczna zmiana wartości kalibrującej wbudowany generator RC mikrokontrolera. Wartość ta jest inna dla każdego egzemplarza układu. Na szczęście została ona zapisana w obszarze sygnatury procesora. Można ją odczytać za pomocą programatora, np. w programie zintegrowanym z BASCOM-em jest ona widoczna w zakładce „Lock nad Fuse Bits” jako pozycja Calibration. Wartość tę należy wpisać jako parametr instrukcji umieszczonej na początku programu w zaznaczonym miejscu. Po skompilowaniu programu trzeba już tylko załadować do procesora powstały plik.hex i umieścić go w podstawce.

Kończąc, umieszczamy całość w obudowie. Poprawnie zmontowane urządzenie działa od razu i nie wymaga żadnych regulacji. Po podłączeniu urządzenia do telewizora i włączeniu zasilania na ekranie powinny się pojawić kolorowe lub czarno-białe prostokąty w zależności od położenia przełącznika S1.

Możliwości zmian

Obraz generowany przez prezentowane urządzenie można bardzo łatwo zmienić, modyfikując program sterujący. Najprostszą modyfikacją jest zmiana wyświetlanych kolorów. Są one zdefiniowane na początku programu jako stałe _col1 - _col7. Możliwa jest również modyfikacja procedur wyświetlających obraz. W takim przypadku należy pamiętać o kilku istotnych elementach. Po pierwsze, wszystkie wyświetlane linie muszą mieć stały czas trwania równy około 64µs. Oznacza to, że pisząc procedury wyświetlania, trzeba dokładnie liczyć cykle zegarowe „zużywane” przez każdą instrukcję i dbać, by ich sumaryczna ilość w każdej linii była równa, niezależnie od rozgałęzień programu. Trzeba więc pamiętać, że in-

strukcje skoków trwają 2 cykle zegarowe, jeśli nastąpi skok, ale jeśli skok nie nastąpi, już tylko 1 cykl. Konieczność liczenia cykli zegarowych oznacza, że program sterujący nie może być napisany w żadnym z języków wysokiego poziomu, ponieważ długość wykonywania złożonych instrukcji jest trudna do przewidzenia. Po drugie, rozdzielczość pozioma generowanego obrazu zależy od częstotliwości taktowania procesora oraz od sposobu przekazywania danych do wyświetlenia. Przy częstotliwości 1,2MHz pojedyncza instrukcja wykonywana jest w czasie 0,83µs, co oznacza, że teoretycznie można wyświetlić 62 piksele na linię. W praktyce



wartość ta zmniejsza się przynajmniej dwukrotnie, ponieważ dane do wyświetlenia trzeba najpierw pobrać z pamięci lub wygenerować w trakcie wyświetlania. Zwiększając częstotliwość taktowania do 12MHz, można osiągnąć w praktyce maksymalną rozdzielczość poziomą około 200 pikseli. Korzystając z opisanej metody wyświetlania obrazu, można zmienić telewizor w wyświetlacz alfanumeryczny lub graficzny, jednak będzie to wymagało prawdopodobnie większego procesora niż ATtiny.

Życzę udanych eksperymentów!

Witold Kardys
wmkardys@interia.pl

Wykaz elementów

Rezystory SMD0805

R1,R71kΩ
R2-R6470Ω

Kondensatory SMD0805

C1,C2100nF

Półprzewodniki

D1dowolna dioda SMD
U1ATtiny12
U278L05
Inne
CON1wtyk EUROSCART
JP1okrągłe gniazdo zasilacza
S1przełącznik dwupozycyjny

Komplet podzespołów z płytką jest dostępny w sieci handlowej AVT jako kit szkolny AVT-2781