

Konwerter VGA – LCD, część 1

AVT-949

Monitory LCD stają się coraz bardziej popularne, ale tym, których nie stać na wydatek kilkuset złotych lub potrzebują dodatkowego wyświetlacza do komputera, proponujemy wykonanie urządzenia opisanego w artykule. Umożliwia ono podłączenie kolorowej matrycy TFT starszego typu do zwykłej karty graficznej VGA.

Rekomendacje:

urządzenie pozwala m.in. przekształcić uszkodzony laptop na w pełni funkcjonalny, przenośny i energooszczędny monitor.



Wraz z rosnącą liczbą komputerów PC pojawia się coraz więcej złomu: przestarzałych lub uszkodzonych komputerów, które najczęściej lądują na wysypiskach śmieci. Tymczasem są one bardzo dobrym źródłem niebanalnych części elektronicznych. Jednym z takich źródeł może być złomowany laptop – ma on zazwyczaj wbudowany duży, kolorowy wyświetlacz graficzny, który można „pośmiertnie” wykorzystać, budując na jego bazie samodzielny monitor LCD. Tanie matryce starego typu – z równoległym interfejsem można dostać również na giełdach elektronicznych i wyprzedażach – zazwyczaj po cenie znacznie niższej niż koszt ich produkcji.

Opisane poniżej urządzenie jest konwerterem analogowego interfejsu VGA karty graficznej komputera na cyfrowy interfejs kolorowej aktywnej matrycy LCD. Pomysł jego zbudowania narodził się kilka miesięcy temu, po zakupieniu przez autora, po okazjonalnej cenie, kilku takich matryc na jednej z warszawskich giełd elektronicznych.

Sterowanie wyświetlaczami TFT

Większość matryc TFT o rozdzielczościach do 800x600 punktów ma 18-bitowy równoległy interfejs, którego linie opisano w **tab. 1**. Wyświetlacze o większych rozdzielczościach są zazwy-

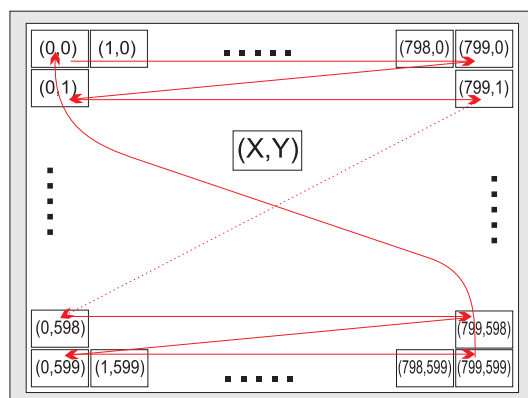
czaj wyposażone w różnicowy interfejs szeregowy LVDS. Matryce TFT nie mają własnej pamięci, dlatego jest konieczne ciągle ich odświeżanie, linia po linii. Proces odświeżania na przykładzie matrycy o rozdzielczości 800x600 zilustrowano na **rys. 1**. Przebiegi sygnałów na liniach sterujących przy odświeżaniu obrazu przedstawiono na **rys. 2**.

Sygnał NCLK jest to tzw. *pixel clock* – zegar, w rytmie którego do wyświetlacza są przesyłane dane o kolorze pikseli. Faza tego zegara musi być zgodna z fazą impulsów synchronizacji poziomej z karty graficznej. Brak synchronizacji spowoduje drżenie linii obrazu w poziomie o ± 1 piksel, co zmniejsza jego jakość – uzyskamy bowiem obraz o rozdzielczości w poziomie równej połowie rozdzielczości matrycy.

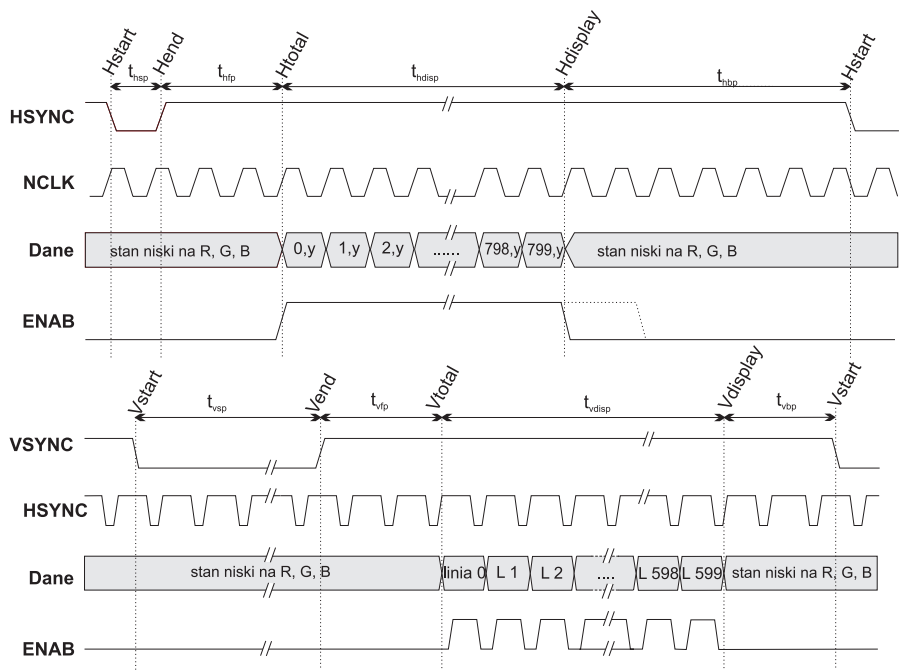
Sygnałem ustalającym pozycję obrazu na ekranie jest ENAB. Do-

PODSTAWOWE PARAMETRY

- Płytkość o wymiarach: 80x60 mm
- Zasilanie 8...15 VDC
- Współpracuje z panelami TFT z 18-bitowym interfejsem równoległym
- Obsługuje matryce o rozdzielczości 640x480 i 800x600 i prawdopodobnie również wyższe (brak matryc do testów),
- Umożliwia regulację parametrów monitora za pomocą protokołu DDC/CI
- Zmiana typu matrycy i konfiguracji urządzenia nie wymaga przeprogramowywania procesora



Rys. 1. Schemat odświeżania matrycy TFT



Rys. 2. Przebiegi sygnałów sterujących matrycą TFT

datnie zbocze tego sygnału musi pokrywać się z danymi pierwszego piksela wyświetlanej linii. Dokumentacja do większości wyświetlaczy podaje, że ujemne zbocze ENAB powinno pokrywać się z końcem linii, jednakże testy przeprowadzone przez autora wykazały, że przedłużenie aktywności sygnału ENAB nie miało żadnego wpływu na pracę badanych matryc.

Sygnały HSYNC i VSYNC działają tak samo jak w monitorze CRT – impuls HSYNC oznacza początek kolejnej linii obrazu, impuls VSYNC – początek cyklu odświeżania ekranu. Sygnały te nie muszą być zsynchronizowane z linią ENAB i zegarem. W niektórych typach matryc w ogóle one nie występują (np. Toshiba LTMxxxxx) – wówczas dodatnie zbocze ENAB oznacza początek kolejnej linii, a brak aktywności ENAB przez dłuższy czas (kilka, kil-

kanaście linii) wskazuje na koniec cyklu odświeżania pionowego. Często za pomocą zmiany polaryzacji impulsów HSYNC, VSYNC, można wybrać liczbę wyświetlanych linii (np. matryca 640x480 może dzięki temu pracować również w trybach 640x400 i 640x350).

Piksele są wysyłane do matrycy w postaci trzech liczb 6-bitowych, przy czym wartość 000000 odpowiada najmniejszej, a 111111 – największej jasności subpiksela (pojedynczej barwy składowej). Sześć bitów na kanał daje 64 możliwe poziomy jasności, czyli umożliwia jednoczesne wyświetlenie $64^3=262144$ kolorów.

Wyświetlacze ciekłokrystaliczne wymagają zachowania ścisłych zależności czasowych między sygnałami zegarowymi, a początkiem wyświetlanej linii, aby obraz zaczynał się i kończył przy krawędziach ekranu. Oprócz tego liczba wyświetlanych linii musi zgadzać się z rozdzielczością wyświetlacza w pionie, ponieważ wszystkie linie wymagają odświeżania. Niespełnienie tego warunku (zbyt mała liczba odświeżanych linii) może spowodować pojawienie się stałego napięcia na ciekłym kryształach w nieodświeżanych liniach matrycy, co grozi jej trwałym uszkodzeniem. Podobne skutki może również spowodować podłączenie zasilania do wyświetlacza, bez podania poprawnych sygnałów sterujących. W odróżnieniu od mo-

nitorów CRT, mała częstotliwość odświeżania pionowego nie powoduje uciążliwego dla wzroku migotania obrazu – dlatego wystarczy odświeżać ekran z częstotliwością 60 Hz.

Standard VGA

Interfejs VGA był projektowany w czasach, kiedy mało kto wiedział o istnieniu technologii LCD, dlatego jest ściśle dostosowany do sterowania monitorem CRT. Funkcje poszczególnych pinów w złączu VGA przedstawiono w tab. 2.

Zwykły monitor, jako urządzenie analogowe, nie potrzebuje dostarczania ani sygnału zegarowego, ani sygnału początku linii. Poprawne ustawienie obrazu na ekranie uzyskuje się przez odpowiednie dobranie czasów wygaszania i powrotu plamki. Nasze urządzenie musi te dodatkowe sygnały wygenerować samodzielnie. Parametry czasowe (*timingi*) sygnału generowanego przez kartę VGA i ich relacje z sygnałami sterującymi wyświetlaczem pokazano na rys. 2. Czasy trwania poszczególnych przedziałów są podawane w cyklach zegara *pixel clock*.

Objaśnienie oznaczeń na rys. 2 są następujące:

t_{hfp} , t_{vfp} – czas wygaszania przed początkiem linii (*front porch*)

t_{hbp} , t_{vbp} – czas wygaszania po końcu linii (*back porch*)

t_{hsp} , t_{vsp} – czas trwania impulsu synchronizacji (powrotu plamki w poziomie/pionie)

t_{hdis} , t_{vdis} – czas wyświetlania aktywnej części pojedynczej linii i całego obrazu

W celu uproszczenia budowy i programowania kart graficznych wprowadzono nieco bardziej skomplikowany zapis. Jest on używany przez większość systemów operacyjnych do opisywania trybów graficznych:

$Hdisplay$, $Vdisplay$ – liczba wyświetlanych pikseli/linii

$Hstart$, $Vstart$ – początek impulsu synchronizacji

$Hend$, $Vend$ – koniec impulsu synchronizacji

$Htotal$, $Vtotal$ – koniec całego cyklu linii/obrazu

Układ generujący sygnał VGA posiada licznik liczący od 0 do $Htotal/Vtotal$. Gdy jego wartość znajduje się w przedziale $[0, Hdisplay-1]$, na wyjście karty podawane są wartości kolorów kolejnych pikseli obrazu, poza tym przedziałem

Tab. 1. Sygnały sterujące wyświetlaczem TFT	
Linia	Pełnione funkcje
NCLK	Zegar synchronizujący przesyłanie kolejnych pikseli obrazu
ENAB	Sygnał zezwolenia na wyświetlanie
R0...R5	6 bitów – jasność subpiksela czerwonego
G0...G5	6 bitów – jasność subpiksela zielonego
B0...B5	6 bitów – jasność subpiksela niebieskiego
HSYNC	Sygnał synchronizacji poziomej
VSYNC	Sygnał synchronizacji pionowej

wymagany jest kolor czarny. W przedziale [HVstart, HVend] karta generuje impuls synchronizacji.

W połowie lat dziewięćdziesiątych konsorcjum VESA (*Video Electronics Standards Association*), zajmujące się standaryzacją urządzeń grafiki komputerowej, dodało do złącza VGA interfejs DDC (*Display Data Channel*), umożliwiającą wymianę danych między komputerem a monitorem. Pozwoliło to systemowi operacyjnemu komputera na wykrycie podłączonych do niego monitorów oraz odczytanie ich parametrów, między innymi listy poprawnie wyświetlanych trybów graficznych. Interfejs ten jest kompatybilny z szyną I²C. Dokładniejszy opis DDC znajduje się w dalszej części artykułu.

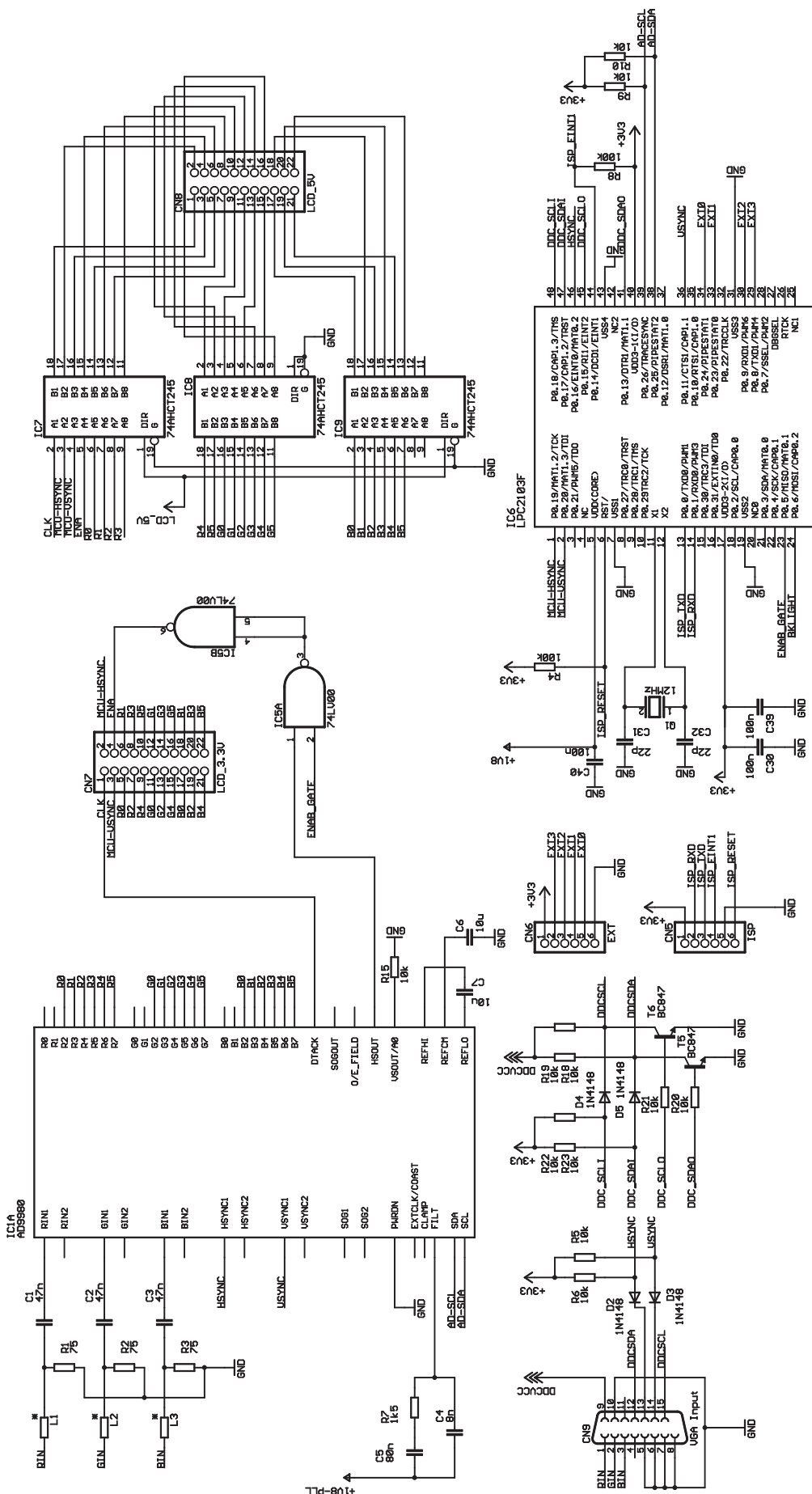
Standaryzacji przez VESA poddano również timingi wybranych trybów graficznych. Niektóre z nich (istotne dla naszego urządzenia) przedstawiono w tab. 3.

Budowa układu

Schemat elektryczny układu pokazano na rys. 3. Urządzenie można podzielić na kilka bloków:

- digitizer sygnału wideo – układ IC1 (Analog Devices AD9980),
- układ sterujący całością i obsługujący interfejs DDC (IC6) – mikrokontroler z rdzeniem ARM LPC2103,
- układ generujący sygnał ENAB (IC1, IC5ab, IC6),
- układ zasilania matrycy LCD oraz podświetlenia (tranzystory T1...T4, stabilizator IC4),
- konwerter poziomów logicznych 3,3 V → 5 V (IC7...IC9) umożliwiający podłączanie matryc zasilanych napięciem 5 V,
- blok stabilizatorów zasilania (IC2, IC3, IC10).

„Sercem” urządzenia jest układ Analog Devices AD9980, którego schemat blokowy przedstawiony jest na



Rys. 3. Schemat interfejsu VGA-LCD (bez bloku zasilania)



Signal ze złącza VGA CN9 (opis wyprowadzeń znajduje się w tab. 2) jest doprowadzony do wejść RIN1, GIN1, BIN1 poprzez kondensatory C1...C3. Kondensatory te są elementami układu automatycznej regulacji poziomu czerni wbudowanego w AD-9980. Rezystory R1...R3 obciążają i dopasowują linie kolorów o impedancji charakterystycznej 75 Ω . Ponieważ układ AD9980 ma szerokie pasmo wejściowe (200 MHz), jest on wrażliwy na wszelkie „śmieciki” pojawiające się na wejściach RGB. Aby im zapobiec, zastosowano perełki ferytowe L1...L3, ograniczające pasmo sygnału wejściowego. Sygnały synchronizacji w standardzie VGA mają poziomy napięcie TTL i są doprowadzone bezpośrednio do układu digitizera (wejścia synchronizacji AD9980 są zgodne z TTL). Kondensatory C6 i C7 odpowiadają za filtrowanie wewnętrznych napięć odniesienia i są konieczne do prawidłowego działania wejściowego wzmacniacza programowalnego i przetworników A/C.

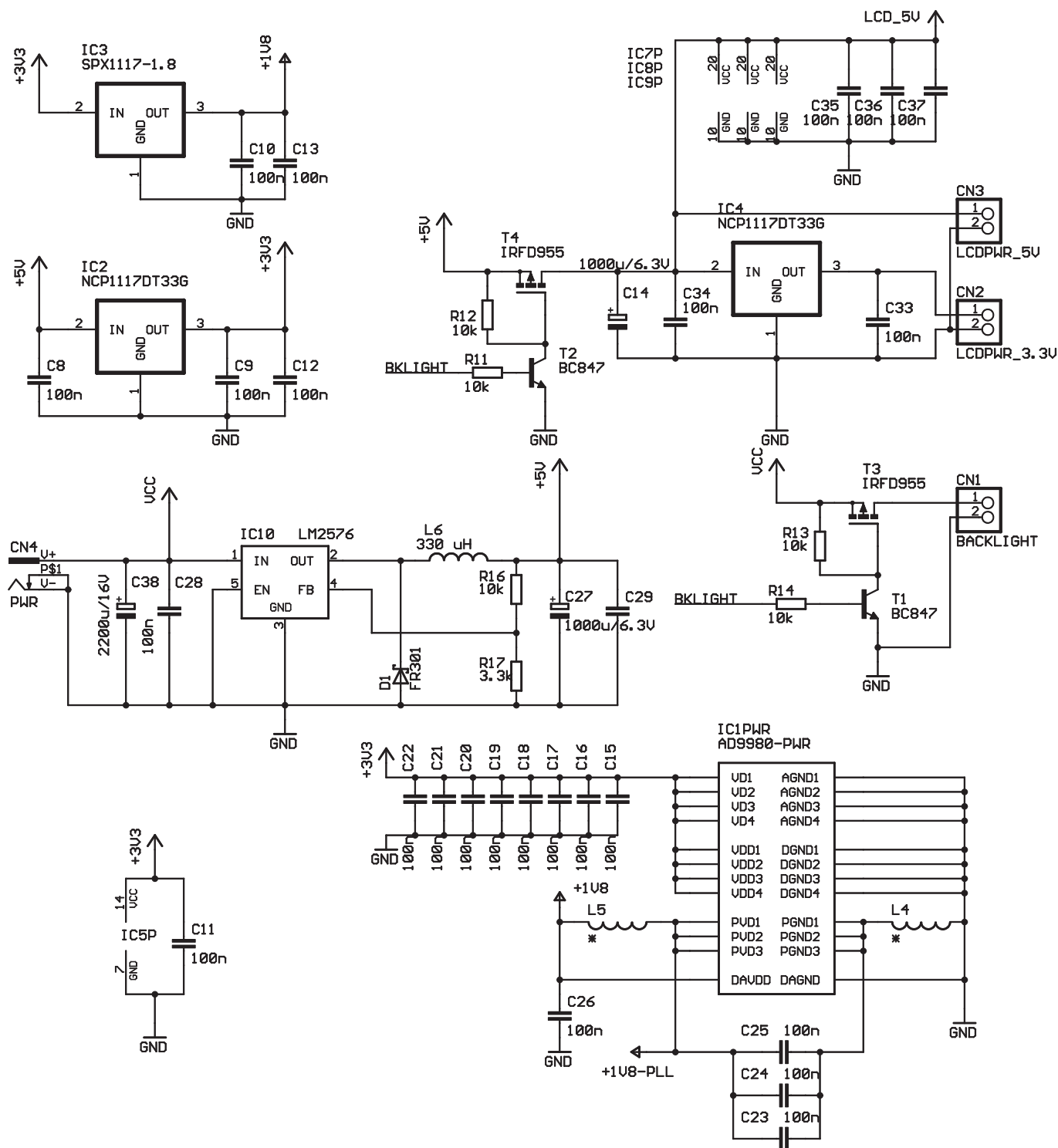
dłem sygnału zegarowego niezbędnego do sterowania matrycą LCD. Funkcję tę pełni wbudowany generator z pętlą fazową oraz elementy C4, C5, R7, stanowiące filtr PLL. Jako częstotliwość odniesienia wykorzystuje on sygnał synchronizacji poziomej. Pomiedzy sąsiednimi impulsami HSYNC mieści się zaprogramowana liczba taktów wytwarzanego zegara. Jest on dostępny na wyjściu DTACK.

to ENAB. Do jego wytwarzania wykorzystano blok układu AD9980, przetwarzający impulsy synchronizacji. Zilustrowano to na **rys. 5**. Blok ten może wygenerować impulsy HSYNC o programowalnej polaryzacji i czasie trwania. Ustawiając polaryzację na ujemną (stan aktywny niski) i czas trwania na $(H_{total} - H_{start} = t_{hfp} + t_{hsp})$ aby zbocze narastające impulsu na wyjściu HSOUT pokrywało się z początkiem linii wyświetlanego obrazu, otrzymujemy prawie gotowy sygnał ENAB. Bramki IC5a/b umożliwiają mikrokontrolerowi włączanie ENAB tylko

w trakcie wyświetlania obrazu. Podczas wygaszania pionowego ENAB powinno być w stanie niskim.

Urządzenie obsługuje również matryce zasilane napięciem 5 V. Testowane przez autora wyświetlacze posiadały wejścia CMOS, co uniemożliwiało ich bezpośrednie podłą-





Rys. 6. Schemat bloku zasilania konwertera VGA-LCD

czenie do układu AD9980, zasilanego napięciem 3,3 V. W celu dostosowania układu do matryc 5-woltowych dodano 3 bufor (A)HCT245, pracujące jako konwertery poziomów logicznych. Matryce zasilane napięciem 3,3 V należy podłączać do złącza CN7, natomiast 5 V – do złącza CN8.

Elementy T5, T6, R5, R6, D2... D5, R18...R23 tworzą układ dostoso-

wujący poziomy napięć szyny DDC i sygnałów synchronizacji do standardu 3,3 V. Producent mikrokontrolera podaje (bardzo małym druczkiem w dokumentacji), że jego porty tolerują napięcie 5 V, jednak jest to słuszne tylko przy podłączonym zasilaniu 3,3 V. Układ LPC2103 bez tych elementów podłączony do kabla sygnałowego, a bez doprowadzonego zasilania ulegnie uszkodzeniu.

Konwerter ma dość rozbudowany układ zasilania, którego schemat przedstawiono na **rys. 6**. Dostarcza on napięcie +5 V (układ IC10) do zasilania matrycy i stabilizatorów niższych napięć: +3,3 V (układ IC2) do zasilania AD9980 i peryferiów mikrokontrolera oraz +1,8 V (IC3) do zasilania rdzenia procesora, pętli fazowej i bloku przetwarzającego zegar w układzie AD9980.

Tab. 3. Timingi wybranych standardowych trybów graficznych

Tryb	Pixel clock	Hdisplay	Hstart	Hend	Htotal	Vdisplay	Vstart	Vend	Vtotal
640x480 @ 60 Hz	25,175 MHz	640	656	752	800	480	490	492	525
720x400 @ 72 Hz	26,21 MHz	720	736	824	1008	400	400	408	417
800x600 @ 60 Hz	40,000 MHz	800	840	968	1056	600	601	605	628

Na schemacie znajduje się również dodatkowy stabilizator 3,3 V (IC4), służący do zasilania matrycy 3,3–woltowych.

Urządzenie może być zasilane z dowolnego zasilacza prądu stałego o napięciu 8...15 V i dopuszczalnym prądzie obciążenia ok. 1 A. Napięcie zasilacza należy dobrać odpowiednio do zastosowanego typu przetwornicy zasilającej lampę podświetlającą, gdyż jest ono doprowadzane do złącza BACKLIGHT bezpośrednio z gniazda CN4.

Do wytwarzania napięcia +5 V zastosowano wysokosprawny stabilizator impulsowy LM2576 (IC10). Stosunek dzielnika rezystorowego R16/R17 ustala napięcie wyjściowe układu IC10. Ponieważ urządzenie korzysta z jednego (zwykle ok. 12 V) napięcia zasilającego wspólnie z podświetleniem, a AD9980 wraz z matrycą potrafią pobierać prąd ok. 1 A, przy zastosowaniu zwykłego stabilizatora powodowałoby to wydzielanie się na nim znacznej ilości ciepła.

Jak wcześniej wspomniano, matryce TFT nie powinny być podłączane do zasilania bez doprowadzenia poprawnych sygnałów synchronizacji. Dlatego konwerter jest wyposażony w układ sterowany przez mikrokontroler wyłączający zasilanie wyświetlacza. Gdy na porcie P0.6 (BKLIGHT) występuje stan niski, tranzystor T4 wraz z elementami T2, R15, R16 odłącza zasilanie matrycy i buforów IC7...IC9. Urządzenie ma również możliwość programowego włączania podświetlenia (złącze CN1) – funkcję tę pełni tranzystor T3 z elementami T1, R13, R14. Jest on także sterowany przez linię BACKLIGHT.

Z powodu wrażliwości generatora PLL w układzie AD9980 na zakłócenia, jego zasilanie i masa zostały podłączone przez perełki ferrytowe L4 i L5. Okolice filtru pętli fazowej na płycie mają również niezależną masę (ground plane).

Sterowanie

Za sterowanie całym urządzeniem odpowiada układ IC6. Jest to 32-bitowy mikrokontroler z rdzeniem ARM z rodziny LPC210x fir-

my Philips, z 32 kB pamięci Flash oraz 8 kB RAM-u. Ze względu na programowe generowanie części sygnałów sterujących matrycą oraz obsługę 3 urządzeń *slave* I²C, konieczne było użycie bardzo szybkiego mikrokontrolera. Mikrokontroler Philipsa bez problemu spełnia wymagania dotyczące prędkości, świetnie programuje się go w języku C, a przy tym jest tani (około 16 zł). Pierwotna wersja urządzenia wykorzystywała mikrokontroler MSP430 (Texas Instruments), jednak ze względu na słabą dostępność tych układów w Polsce konwerter został przeprojektowany.

Mikrokontroler pracuje z zegarem 48 MHz wytwarzanym przez wbudowany generator PLL synchronizowany kwarcem X1 o częstotliwości 12 MHz. Rezystory R9, R10, R18, R19 podciągają szyny I²C (DDC i AD9980) do napięcia zasilania.

Oprogramowanie mikrokontrolera stworzono i testowano z wykorzystaniem kompilatora GCC na architekturę ARM pod kontrolą systemu operacyjnego Linux. Program nie był kompilowany/testowany na innych kompilatorach, aczkolwiek powinien bez problemu współpracować ze środowiskiem WinARM, jest to bowiem ARM-owa wersja kompilatora GCC dla systemu Windows. Bina-ria oraz kompletny kod źródłowy można znaleźć pod adresem <http://home.elka.pw.edu.pl/~twlostow/lcd>. Pliki

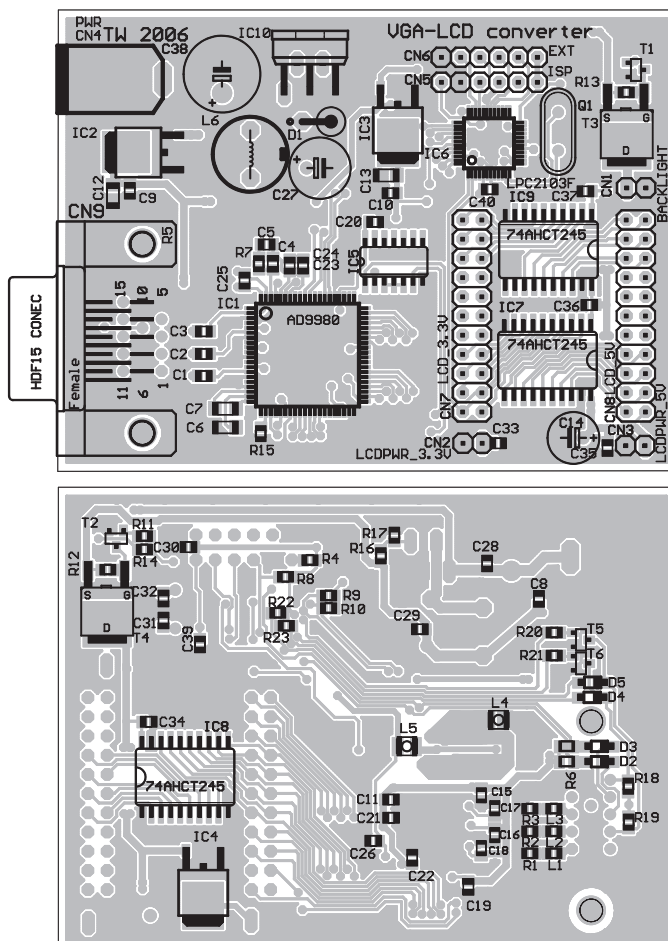
te będą również zamieszczone na płycie CD-EP wraz z 2 częścią artykułu.

Na płycie urządzenia umieszczono złącze CN5 umożliwiające programowanie mikrokontrolera w systemie (port szeregowy, nie JTAG!) oraz dodatkowe złącze CN6 oznaczone jako EXT, przewidziane do przyszłej rozbudowy konwertera.

Montaż i uruchomienie

Układ został wykonany w technologii SMD na dwustronnej płycie o wymiarach 80x60 mm. Schemat montażowy płytki jest przedstawiony na rys. 7.

Wprawne mu elektronikowi montaż elementów nie powinien sprawić szczególnych trudności. Z uwagi na rozbudowany system zasilania, zalecamy zamontowanie w pierwszej kolejności stabilizatorów IC2, IC3, IC10 oraz elementów w ich otoczeniu, pomimo wiążących się z tym utrudnień w montażu pozostałych elementów. Po zmontowaniu bloku stabilizatorów należy podłączyć zasilacz do układu i zbadać napięcia na pi-



Rys. 7. Schemat montażowy interfejsu

nach zasilania IC1, IC5, IC6. Jeśli wszystko pracuje prawidłowo, powinniśmy uzyskać następujące wyniki pomiarów:

- IC1: piny 1, 5, 9, 13, 26, 38, 52, 64; IC5 – pin 14, IC6 – piny 17 i 40 – +3,3 V,
- IC1: piny 74, 76, 79, 41, IC6 – pin 5 – +1,8 V,
- pin 3 układu NCP1117 (IC2) oraz źródło tranzystora T4 – +5 V.

Dzięki uruchomieniu na początku układu zasilania, mamy pewność, że cenniejsze układy scalone (AD9980 i mikrokontroler) nie ulegną uszkodzeniu po złożeniu całego urządzenia w wyniku nieprawidłowej pracy któregoś ze stabilizatorów lub błędu w montażu.

Dalszy montaż przeprowadzamy zgodnie z zasadami sztuki – zaczynając

od małych elementów – rezystorów, kondensatorów SMD, przez układy scalone, a kończąc na dużych złączach i kondensatorach elektrolitycznych.

Po złożeniu urządzenia podłączamy do złącza CN5 (oznaczone też jako ISP) programator szeregowy do mikrokontrolerów ARM (jest to zwykły konwerter poziomów logicznych RS232 na 3,3 V). Firmware możemy skompilować samodzielnie z dostępnego w sieci kodu źródłowego lub pobrać gotowy plik.

Złącze ISP można również wykorzystać (poza programowaniem) do debugowania oprogramowania. W celu sprawdzenia poprawności działania mikrokontrolera wystarczy uruchomić dowolny program terminalowy (np. minicom – Linux, lub Hy-

perTerminal – Windows) i ustawić prędkość portu szeregowego na 38400 b/s, 8N1. Powinniśmy zobaczyć komunikat informujący o wersji firmware'u oraz wynik testu komunikacji z układem AD9980.

Uwagi dotyczące montażu układu

Należy pamiętać o dołączaniu matrycy zasilanej napięciem 3,3 V do gniazda CN7 oznaczonego jako LCD_3.3V (zasilanie wyświetlacza dostępne na złączu CN2 – LCDPWR_3.3V), a matrycy o napięciu 5 V do gniazda CN8 (oznaczone LCD_5V, zasilanie dostępne na złączu CN3 – LCDPWR_5V). Podłączenie wyświetlacza na 3,3 V do gniazda LCD_5V może (choć nie musi) spowodować jego uszkodzenie. Jeśli urządzenie będzie podłączone na stałe do matrycy 3,3 V, możemy nie montować buforów IC7...IC9 i złącz CN3, CN8. Układ AD9980 dość mocno nagrzewa się podczas pracy urządzenia. Aby lepiej od-

dawał ciepło do otoczenia należy posmarować płytkę pod układem przed jego montażem pastą termoprzewodzącą. Stabilizator LM2576 może również wymagać niewielkiego radiatora.

Przetwornicę zasilającą lampę podświetlającą matrycę można dołączyć do złącza CN1, oznaczonego BACKLIGHT. Polecam dokładne zaizolowanie układu przetwornicy, zwłaszcza złącza i przewodów doprowadzających wysokie napięcie do lampy. Przypadkowe zwarcie z płytką lub obudową wyświetlacza może zrujnować efekty wielogodzinnej pracy nad urządzeniem. Niektóre przetwornice dostępne na rynku wprowadzają bardzo dużo zakłóceń do zasilania, co może być przyczyną niestabilnej pracy urządzenia. Zwykle pomaga dołączenie do zasilania przetwornicy dużego kondensatora elektrolitycznego (ok. 2200 μ F).

Tomasz Włostowski
twlostow@onet.eu



zasilacze impulsowe
•
przetwornice DC/AC, DC/DC
•
systemy zasilające
•
lliczniki impulsów dla przemysłu
•
sterowniki przemysłowe

Przedsiębiorstwo Produkcyjno-Usługowo-Handlowe
ELPLAST® Sp. z o.o.
ul. Armii Krajowej 9, 58-100 ŚWIDNICA
tel./fax 074*852 38 20, 853 34 72, tel. 074*856 93 30
e-mail: info@elplast.pl http://www.elplast.pl

WYKAZ ELEMENTÓW

Rezystory

- R1...R3: 75 Ω
- R4, R8: 100 k Ω
- R7: 1,5 k Ω
- R5, R6, R9...R15, R18...R23: 10 k Ω
- R16: 10 k Ω 1%
- R17: 3,3 k Ω 1%

Kondensatory

- C1...C3: 47 nF
- C4: 8 nF
- C5: 80 nF
- C6, C7: 10 μ F
- C14, C27: 1000 μ F/6,3 V
- C31, C32: 22 pF
- C38: 2200 μ F/16 V
- pozostałe: 100 nF

Półprzewodniki

- IC1: AD9980KSTZ-95 lub AD9980KSTZ-80
- IC2, IC4: NCP1117DT33G
- IC3: SPX1117R-1.8
- IC5: 74LV00D (SOIC)
- IC6: LPC2103F

- IC7...IC9: 74(A)HCT245 (SOIC)
- IC10: LM2576T-ADJ
- D1: FR303 lub inna szybka dioda prostownicza na prąd ok. 3 A
- T1, T2, T5, T6: BC847
- T3, T4: IRFD955, IRFR9024 lub podobny niskonapięciowy P-MOSFET w obudowie DPAK
- Inne**
- Q1: kwarc 12 MHz
- L1...L5: „perełki” ferrytowe SMD
- L6: cewka 330 μ H, prąd 3 A
- CN1...CN3: pinhead 1x2
- CN4: złącze zasilacza DC
- CN5: pinhead 1x6
- CN6: pinhead 1x6
- CN7, CN8: pinhead 2x11
- CN9: złącze DB15 3-rzędowe żeńskie do druku