

# Minimig

## Amiga w FPGA



*Nie każdy z Czytelników EP pamięta komputer domowy o nazwie Amiga. W swoich czasach był to hit, marzenie niemalże każdego nastolatka. W artykule opisujemy, jak można zbudować kopię Amigi korzystając ze współczesnych układów. Projekt ma niewątpliwie dużą wartość edukacyjną.*

**Rekomendacje:**  
*polecamy wszystkim, którzy z sentymentem wspominają starą, dobrą Amigę, a może nawet przechowują programy dla niej przeznaczone, albo chcieliby jeszcze raz pograć w ulubioną grę z lat młodości?*

### PODSTAWOWE PARAMETRY

- Pojedyncza, dwustronna płytką drukowaną o wymiarach (120×120) mm
- Napięcie zasilania 5 VDC, pobór prądu około 0,3 A
- Emulacja komputera Amiga 500
- Praca pod kontrolą systemu operacyjnego Amiga OS
- Wykorzystuje procesor M68000 (M68SEC000FU2) i układ Spartan 3 (XC3S400-4PQ208C-ND)
- Stacja dysków emulowana przy pomocy karty SD
- Możliwość podłączenia klawiatury i myszy PS2

### Czym jest Minimig?

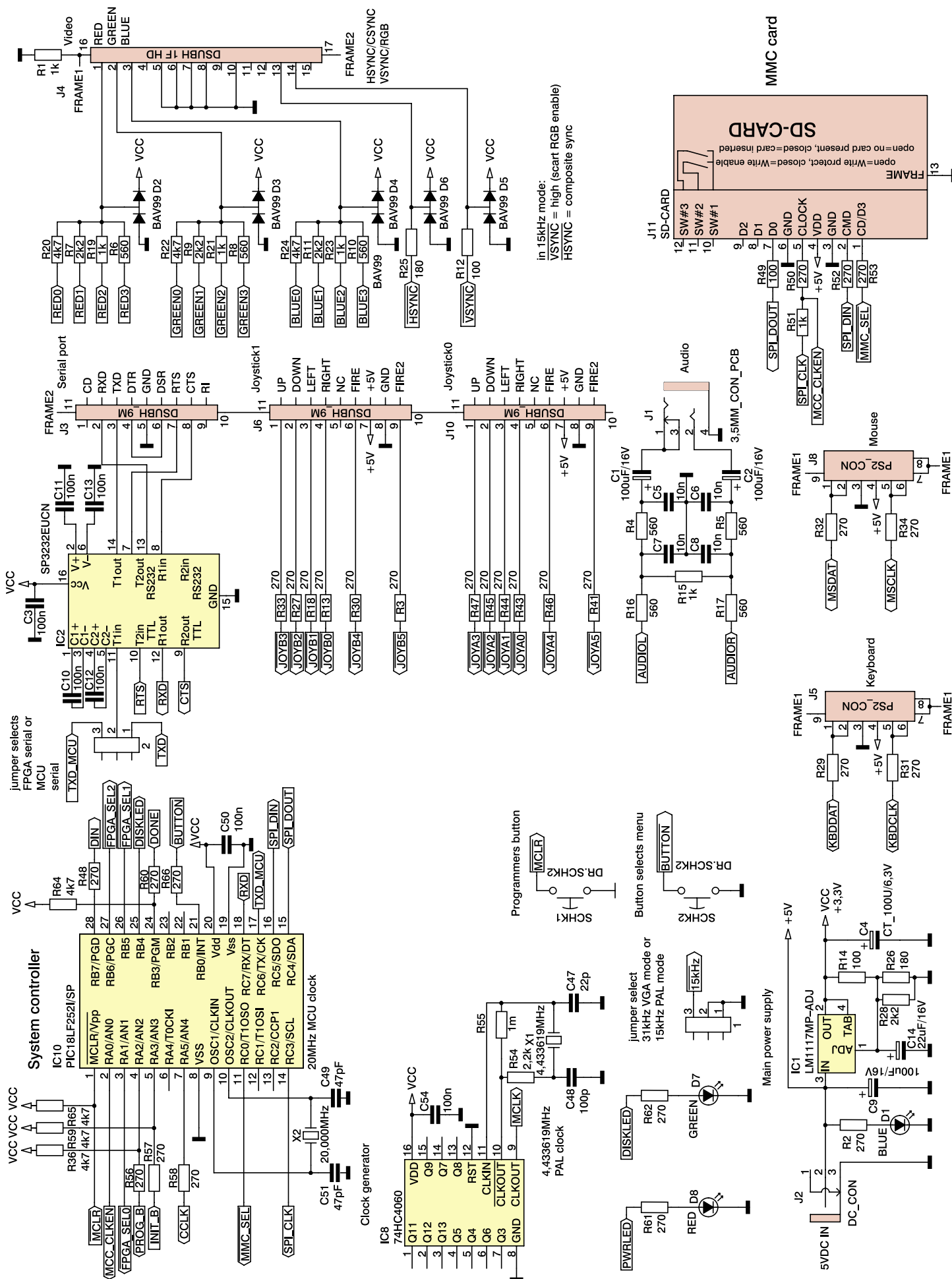
Minimig to akronim od słów Mini Amiga. Jest to układ FPGA, za pomocą którego zasymulowano pracę układów, w które wyposażona była Amiga 500. Aktualnie jest to jedna płytka PCB o wymiarach tylko 12×12 cm. Minimig objęty jest licencją GNU. Autorem jest holenderski inżynier elektryk Dennis van Werren. Projekt opisano na stronie <http://home.hetnet.nl/~weeren001/>.

Pomysł, aby zrobić Minimig narodził się w styczniu 2005. W tym czasie zrealizowano inny projekt C64DTV. Wówczas na którejś z grup dyskusyjnych padł pomysł, aby zmieścić Amigę w joystick'u. Rozważano zastosowanie układów ASIC i FPGA. Wydawało się to możliwe do zrobienia, choć niełatwe. Pierwszym krokiem takiego przedsięwzięcia byłoby odtworzenie struktury chipsetów Amigi i zaimplementowanie ich w FPGA.

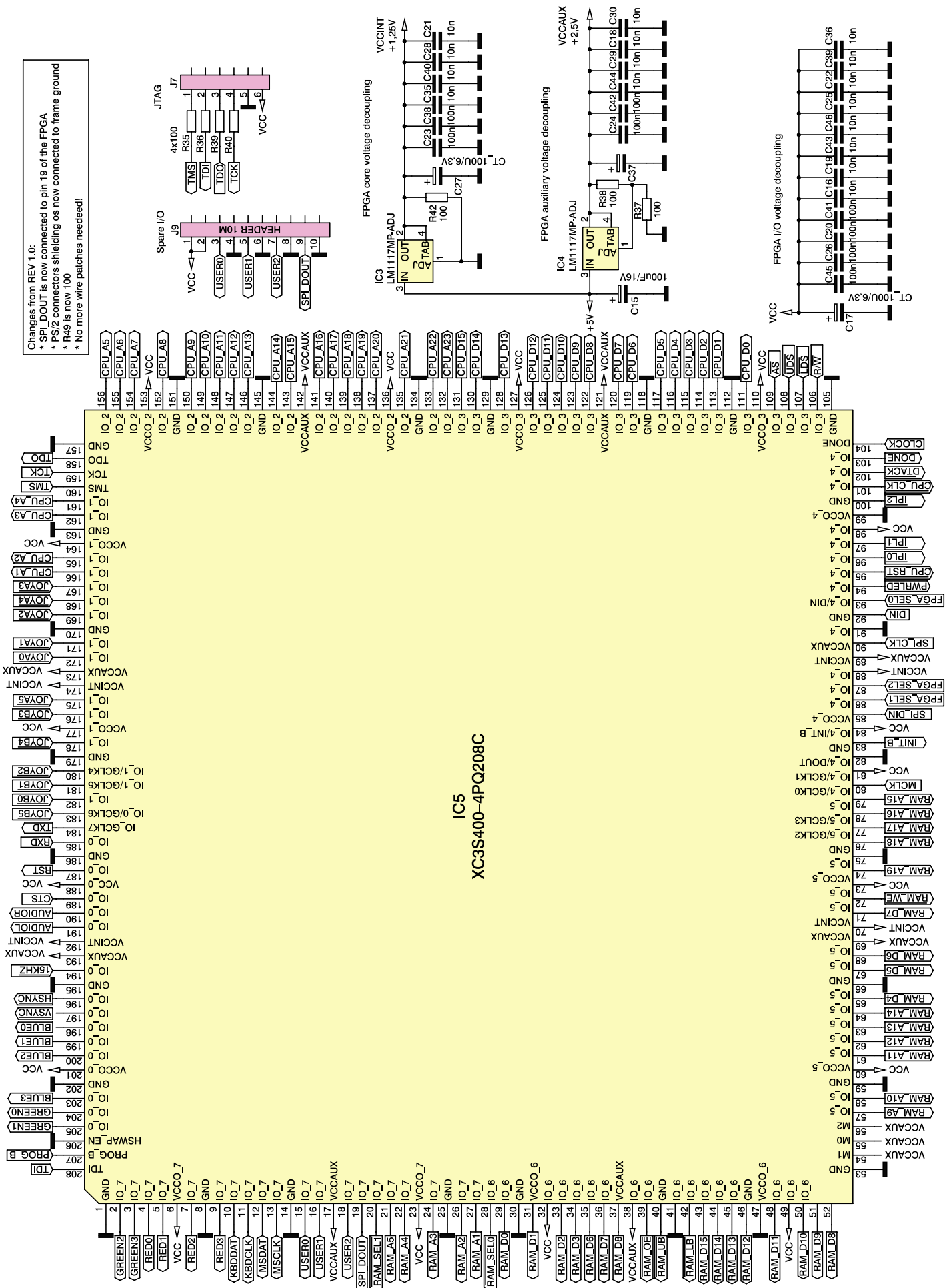
Autor projektu poświęcił mnóstwo wysiłku na studiowanie dostępnej literatury na temat programowania FPGA oraz analizę dokumentacji komputera Amiga. Nauczył się języka Verilog, kupił zestaw startowy z FPGA i rozpoczął pisanie programu. Zajął mu to blisko rok. Pierwszą grą, którą uruchomił były popularne kiedyś Lemmingi.

### PROJEKTY POKREWNE

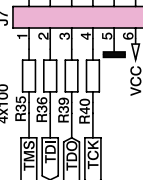
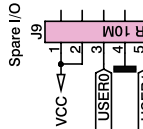
Tytuł artykułu	Nr EP/EdW	Kit
Snake czyli gra z lat 70	EdW 12/2006	AVT-2806
Gra telewizyjna „SQUASH”	EdW 11/2004	AVT-2739
Wolfenstein 3D na STR911	EP 1/2008	AVT-5122
Wideo gra „Piłkarzyki”	EP 12/2008	AVT-5162



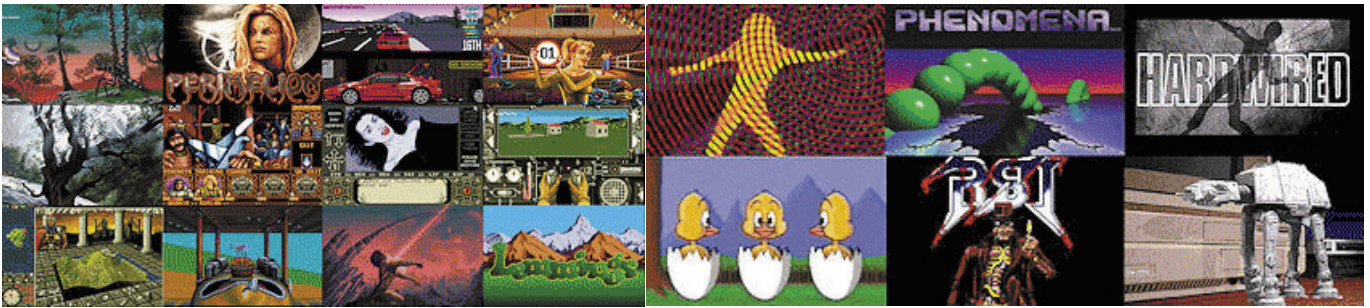
Rys. 1. Schemat ideowy MiniMig V1.1



Changes from REV 1.0:  
\* SPI\_DOUT is now connected to pin 19 of the FPGA  
\* PS/2 connectors shielding is now connected to frame ground  
\* R49 is now 100  
\* No more wire patches needed!



Rys. 1. c.d.



Prototyp Minimig został zbudowany na trzech płytkach podłączonych do zestawu startowego FPGA Digilent Spartan-3 z zewnętrznym procesorem MC68000, zmodyfikowanym układem wizyjnym z wyjściem VGA i emulatorem oryginalnej stacji dysków wykonanym z użyciem mikrokontrolera PIC. Później opracowano nową wersję, w której wszystkie komponenty znajdują się na jednej płytce PCB.

## Skrót historii Amigi

Sukces komputera Amiga na światowym rynku da się porównać jedynie z sukcesem słynnego Commodore C64. W roku 1987 liczba

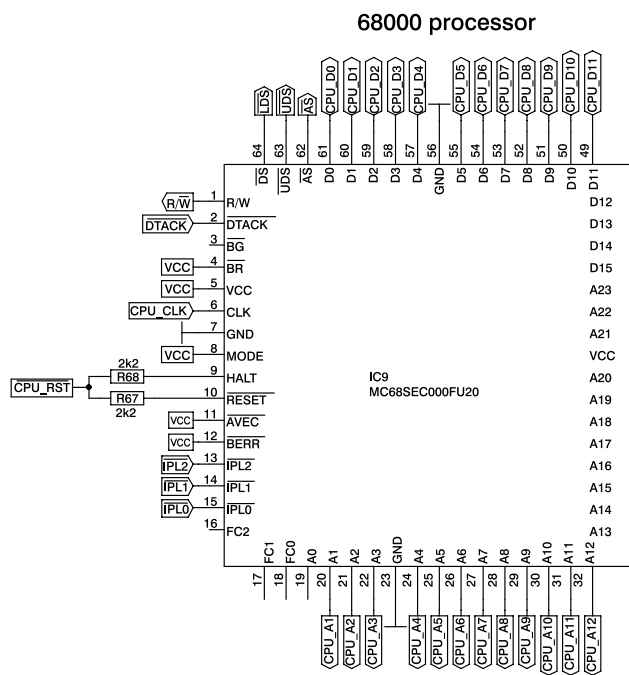
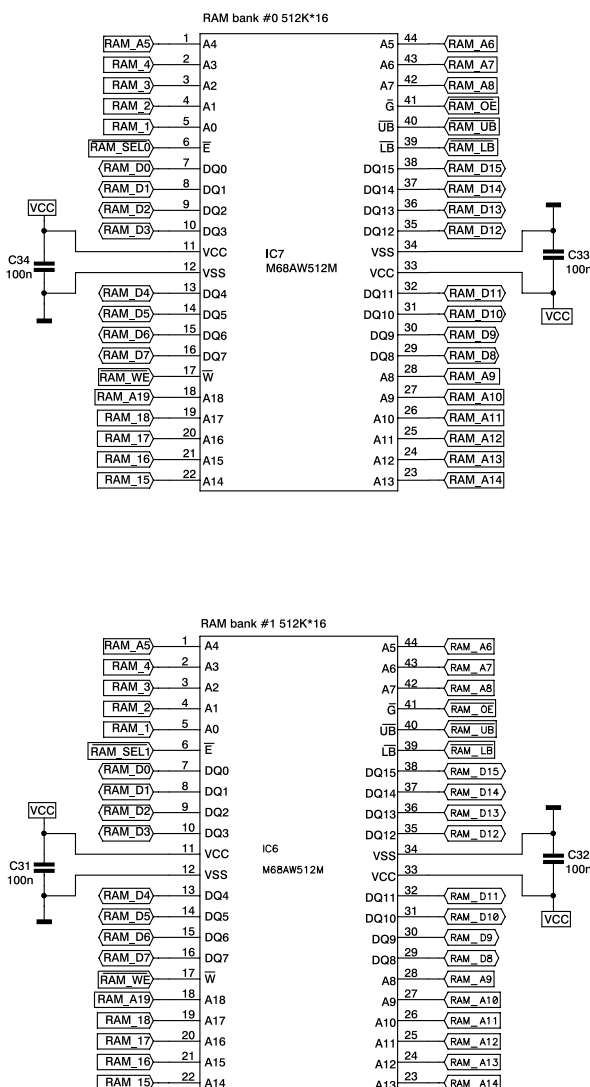
sprzedanych Amig wywindowała producenta na pierwsze miejsce wśród wytwórców komputerów domowych i zapewniła firmie ponad 80 procentowy udział w rynku. Konstruktorzy Amigi (początkowo pracujący we własnej firmie Amiga Computers) postanowili zbudować – jak to sami określili – „najbardziej zabójcze pudło do gier elektronicznych”. Jednak (dziś można powiedzieć – na szczęście) pojawiła się pewna różnica zdań i jeden z nich zaczął pracować wraz z zespołem techników nad nowym modelem uniwersalnego komputera. Przewidywał, że moda na gry szybko przeminie i ludzie będą szukać czegoś więcej. Prace były prowadzone w tajemnicy przed

## Overscan

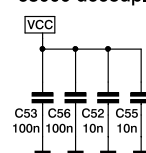
Na początku produkcji komputery domowe były najczęściej podłączane do telewizorów, które miały duże zniekształcenia na brzegach obrazu. Aby ominąć ten problem, obraz uzyskiwany z komputera otoczony był ramką. Ramka mogła zmieniać kolory, ale nie można tam było wyświetlać ani grafiki, ani tekstu, choć w przypadku C64 programiści ominęli to ograniczenie. Takie komputery nie nadawały się do obróbki obrazu, ponieważ okno robocze nie obejmowało całego wyświetlanego obszaru. Amiga była pozbawiona tej wady. Umożliwiała wyłączenie ramek i wyświetlenie obrazu na całym ekranie.

nego, rychło ogłaszał bankructwo. W tej sytuacji prawdziwy i wszechstronny komputer był jedyną szansą dla firmy. Premiera modelu nastąpiła w styczniu 1984, podczas targów Consumer Electronics Show przy drzwiach zamkniętych.

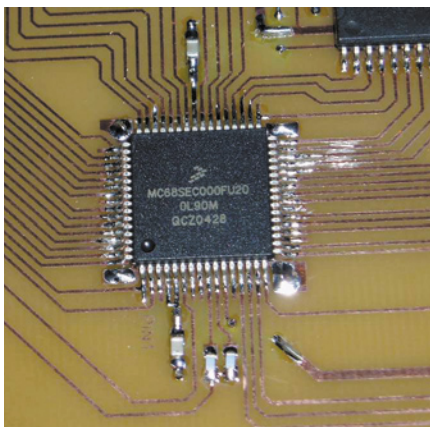
Komputer pojawił się w sprzedaży już latem 1984 roku jako produkt firmy Commodore. Był on seryjnie wyposażony w 512 kB pamięci, którą łatwo można było rozbudowywać i stację dysków 3,5". Dyskiety miały pojemność 880 kB (w konkurencyjnym PC tylko 720 kB).



## 68000 decoupling



Rys. 1. c.d.



Jej dodatkowym atutem był *multi-tasking*, który pozwala na jednoczesną realizację kilku zadań. Była to rzecz niespotykana w komputerach domowych.

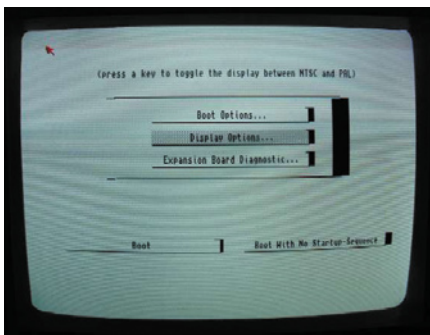
### Konfiguracja sprzętowa

Amigi 500, 1000 i 2000 miały procesor Motorola MC68000 taktowany zegarem 7,14 MHz i wyspecjalizowane układy (Denise, Agnus i Paula) odpowiedzialne za obraz, dźwięk, operacje na pamięci oraz obsługę dysku. Układ graficzny o nazwie OCS (*Original Chipset*) umożliwiał Amidze uzyskanie maksymalnej rozdzielczości 640×512 pikseli (+tzw. *overscan*) w 16 kolorach, lub 320×512 pikseli maksymalnie w 32 lub 64 kolorach (tryb *Extra Half Bright*, w którym „drugie” 32 kolory były o połowę ciemniejszymi odcieniami). Istniał także specjalny tryb HAM(6), który umożliwiał uzyskanie w niskich rozdzielczościach (tryb *low*, 320 pikseli w poziomie) aż 4096 kolorów, co w tamtych czasach było wielkością szokującą.

W czasach, gdy komputery PC były wyposażane w różne „wynaalazki” typu *Covox*, czy *AdLib*, Amiga dzięki przetwornikom C/A dysponowała czterokanałowym generatorem dźwięku stereofonicznego. Powstała również wersja desktop Amigi, która była wyposażona w złącza *Zorro*, służące do rozbudowy komputera np. o karty graficzne. Były one funkcjonalnie podobne do ISA, z tym że obsługiwały autokonfigurację (pełne PnP).

### Budowa Amigi

W Amidze oprócz procesora głównego wbudowano szereg procesorów pomocniczych. Procesor M68000 używany w Amidze, ma wewnętrzną architekturę 32-bitową i dlatego



wszystkie pisane dla niego aplikacje są 32-bitowe. M68000 wymienia dane z otoczeniem używając 16-bitowej magistrali danych.

Jak wspomniano wcześniej, komputer wyposażony był w szereg procesorów pomocniczych. Ciekawy był również podział pamięci. Otóż Amigę wyposażono w 3 rodzaje pamięci, podzielone na bloki funkcjonalne:

- ChipRAM – zwana też pamięcią audio/video. Może być używana przez wszystkie procesory (graficzny, muzyczny i główny),
- FastRAM – do tej pamięci dostęp ma jedynie procesor główny, toteż jest ona najszybsza,
- SlowRAM – widziana przez system jako FastRAM, w rzeczywistości działa jak ChipRAM. Łączyła wady obu poprzednich typów była więc najgorsza. Ten rodzaj pamięci był dostępny tylko w pierwszych modelach Amigi.

### Minimig

Minimig rev. 1.0 jest zbudowany na pojedynczej płytce PCB o wymiarach 12×12 cm, której schemat pokazano na rys. 1. Zawiera ona wszystkie komponenty oryginalnej Amigi poza stacją dysków, dyskiem HD i CD-ROM. Zamiast tego zastosowano kartę MMC. Minimig składa się z 4 głównych elementów:

- układu FPGA firmy XILINX typu SPARTAN XC3S400,
- procesora M68SEC000,
- pamięci RAM,
- kontrolera MMC zbudowanego z użyciem mikrokontrolera PIC.

Sercem Minimiga jest FPGA. Zużyto 400 tysięcy bramek z układu Spartan-3 firmy Xilinx. Wszystkie główne komponenty (RAM i 68000) podłączone są bezpośrednio do FPGA. FPGA emuluje chipy specjalizowane Denise, Agnus, Paula i Gary, jak również obie kości CIA (układ 8520). Oprócz tego, FPGA emuluje również klawiaturę i mysz Amigi, wykorzystując do tego celu typową klawiaturę i mysz PC pracujące w standardzie PS2. Oryginalna Amiga nie miała złącz PS2, zaimplementowano je po to, aby ułatwić podłączenie współczesnych urządzeń.

Minimig używa specjalnej wersji procesora M68000: MC68SEC000. Jest to układ zasilany napięciem 3,3 V. Dzięki temu nie ma konieczności dopasowywania poziomu napięcia pomiędzy standardowym procesorem M68000 zasilanym z napięcia 5 V a układem FPGA zasilanym z 3,3 V (Spartan-3).

Minimig rev. 1.0 zawiera 2 MB pamięci RAM o czasie dostępu 70 ns. Zastosowano pamięć statyczną, 16-bitową. Jest ona podzielona na 16 banków po 2882524 bajtów każdy. RAM emuluje



3 typy pamięci używanej w Amidze mianowicie: ROM kickstartu, CHIP RAM i FAST RAM. Ponieważ Minimig nie ma ROM-u Amigi (kickstart), jego kopia jest ładowana przy starcie. Procesor PIC emuluje napęd dyskowy, z którego ładowany jest obraz ROM. Takie rozwiązanie było używane w pierwszych Amigach, później kickstart umieszczono w pamięci stałej.

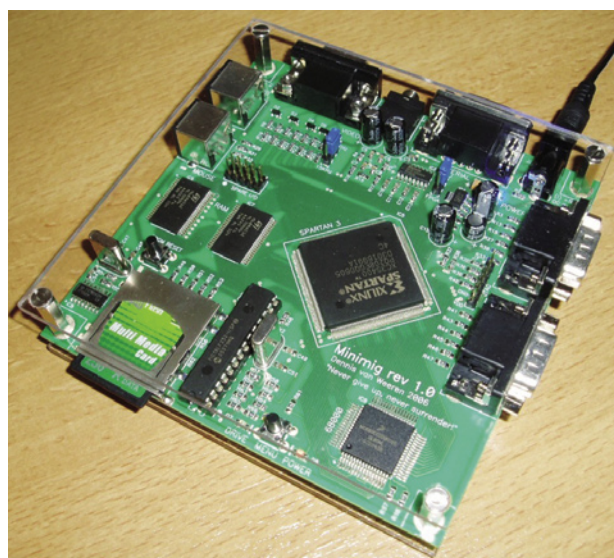
Po załadowaniu obrazu pamięci ROM do RAM, FPGA chroni ten obszar przed zapisem, dzięki czemu zachowuje się on jak pamięć stała. Pozostała część RAM-u (1,5 MB) jest podzielona pomiędzy CHIP i FAST RAM.

### Procesor PIC

Układ PIC pełni dwie funkcje. Pierwszą z nich jest załadowanie RAM-u układu Spartan-3. Układy te wymagają zewnętrznego konfiguratora, w Minimigu funkcję taką pełni układ PIC. Drugim zadaniem układu jest załadowanie kickstartu do pamięci RAM Minimiga. Dzieje się to tylko raz po włączeniu zasilania.

### Funkcje układu FPGA

Działania układu FPGA są opisane w języku Verilog. Moduły nazwano identycznie, jak emulowane przez nie funkcje: układ Denise nazywa się denise, Agnus – agnus, itd. Zachowano również oryginalne nazwy sygnałów (DMSA, INT2, OVL itd). Oprócz standardowych modułów, znajdują się dwa niewystępujące w oryginalnej Amidze. Moduły te łączą FPGA z pamięcią RAM i procesorem 68000. Cały projekt zrealizowano za pomocą darmowego narzędzia Webpack



V9.1i pobranego ze strony Xilinx. Prawdziwa Amiga miała dwie osobne szyny dla pamięci CHIP RAM i FAST RAM, natomiast Minimig ma jedną, synchroniczną magistralę do RAM-u. Jest ona taktowana zegarem o częstotliwości równej podwojonej częstotliwości podnośnej koloru PAL (2×7,09379 MHz). Ten sygnał jest głównym zegarem Minimiga (oznaczenie *clk* w kodzie źródłowym). Częstotliwość sygnału zegarowego znacząco odbiega od używanego w Amidze. Aby wyrównać czas dostępu do CIA, moduł *gary* zmodyfikowano tak, aby spowalniał procesor podczas dostępu CPU do CIA. Dzięki temu uzyskano w przybliżeniu oryginalną częstotliwość sygnału. *Clk* jest też używany jako zegar punktów obrazu w Minimig. Standardowy układ Amigi był przeznaczony do generowania obrazu w standardzie PAL, natomiast w Minimig układ generuje obraz dla monitora VGA. Z tego powodu okazało się konieczne podwojenie częstotliwości synchronizacji linii. Uzyskano to przez reakcję zarówno na narastające, jak i na opadające zbocze sygnału *clk*.

Oprócz *clk*, generowane są też dwa inne zegary: *qclk* i *vgack*. *Qclk* jest sygnałem przesuniętym o 90° w stosunku do *clk*. Synchronizuje on dostęp do pamięci RAM w taki sposób, że obsługa pamięci przez układy specjalizowane nie koliduje z dostępem do pamięci przez CPU. *Vgack* steruje wyświetlaniem pikseli na monitorze VGA.

Przetwornik C/A generujący sygnał wizji zrealizowano na rezystorach. Ma on rozdzielczość 4 bitów, czyli tyle co oryginalny w Amidze 500.

Wszystkie sygnały zegarowe uzyskiwane są z pojedynczego kwarcu o częstotliwości 4,433619 MHz. Do ich generowania użyto modułu DCM układu FPGA. Magistrala wewnętrzna Minimiga jest użyta jako magistrala CHIP RAM i FAST RAM. Ponadto są do niej podłączone również wszystkie inne układy peryferyjne.

Minimig dzieli czas dostępu do magistrali na cztery szczeliny czasowe, rozdysponowane pomiędzy poszczególne układy:

- szczelina 0: FAST RAM (M68000),
- szczelina 1: CHIP RAM (*disc, bitplanes, copper, blitter* i M68000),
- szczelina 2: FAST RAM i BLITTER (niestandardowy, daje CPU więcej cykli dostępu do CHIP RAM, dla naprawy problemów z kompatybilnością),
- szczelina 3: CHIP RAM (*disc, bitplanes, sprites, audio* i 68000).

### Sekwencja startowa

Pierwszym krokiem jest konfiguracja FPGA. Jak napisano wcześniej, robi to układ PIC. Kolejnym krokiem jest załadowanie obrazu *Kickstart*. Jest to wykonywane w następujący sposób: po konfiguracji FPGA, w pamięci pod adresem 0 umieszczany jest mały program ładujący do

niej obraz *Kickstart*. Po realizacji tego zadania program jest usuwany, a na ekranie monitora pojawia się obraz taki, jaki można było oglądać w oryginalnej Amidze.

### Kickstart

Aby zbudować Minimiga potrzebny jest obraz ROM-u oryginalnej Amigi. Niestety jest on chroniony prawami autorskimi. Aby legalnie zdobyć obraz ROM-u należy przeczytać dokumentację UAE (emulator Amigi) <http://www.winuae.net/>. Minimiga zbudowano tak, że nie są potrzebne żadne narzędzia do programowania FPGA (np. programator JTAG). Układ FPGA jest skonfigurowany w taki sposób, aby uruchomienie odbywało się za pośrednictwem układu PIC, i dlatego wystarczy zaprogramować PIC18LF252. Układ można zaprogramować bez wylutowywania z płytki, za pośrednictwem portu szeregowego (trzeba przestawić zworę na płycie).

Sławomir Skrzyński, EP  
slawomir.skrzynski@ep.com.pl

### Literatura:

<http://home.hetnet.nl/~weeren001>

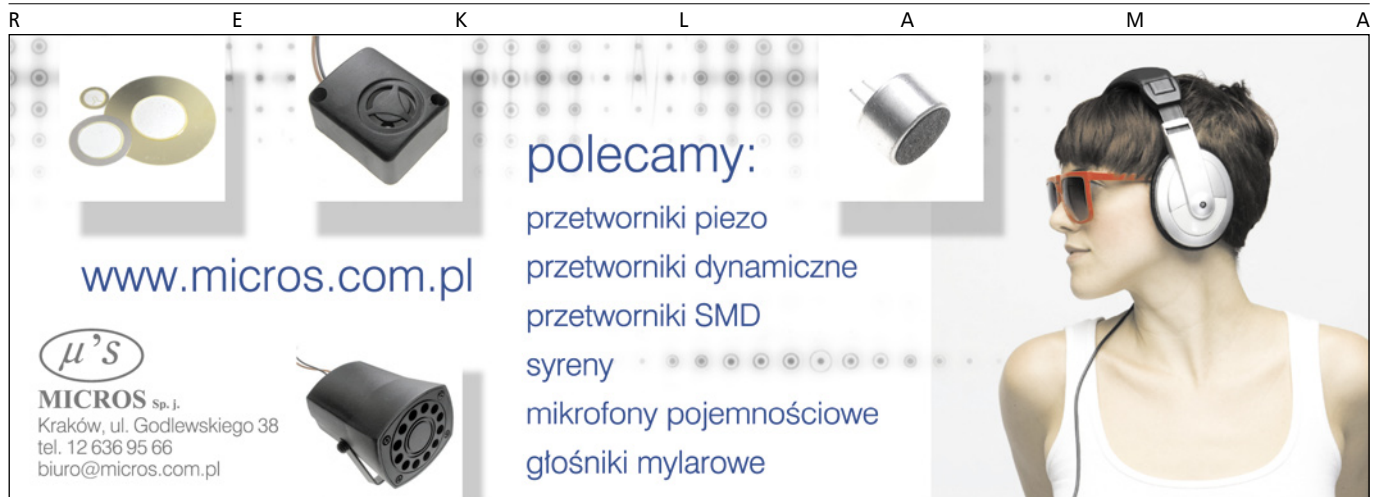
<http://jw-amigowiec.w.interia.pl>

<http://www.e-service.net.pl>

<http://www.pcworld.pl>

*Bajtek 5-6/90 – Klan Commodore – Amiga is the Future, autor: Janusz Płoński*

R E K L A M M A



**www.micros.com.pl**

**μ'S**  
MICROS Sp. j.  
Kraków, ul. Godlewskiego 38  
tel. 12 636 95 66  
biuro@micros.com.pl

**polecamy:**  
przetworniki piezo  
przetworniki dynamiczne  
przetworniki SMD  
syreny  
mikrofony pojemnościowe  
głośniki mylarowe

**RK-SYSTEM®** PRODUCENT PROFESJONALNYCH NARZĘDZI DLA ELEKTRONIKÓW I PROGRAMISTÓW  
[www.rk-system.com.pl](http://www.rk-system.com.pl)

**PRODUKUJEMY:**

- uniwersalne programatory układów scalonych
- szybkie wielokanałowe analizatory stanów logicznych
- oscyloskopy cyfrowe z interfejsem USB
- systemy do wyważania i pomiaru drgań

**PONADTO W NASZEJ OFERCIE:**

- kompilatory C/C++, debugery, emulatory, symulatory i assembly dla różnych rodzin procesorów
- oprogramowanie CAD/CAM/CAE dla elektroników
- komputery i monitory przemysłowe

**ZATRUNDNIMI ELEKTRONIKA KONSTRUKTORA I PROGRAMISTĘ C++**

05-825 Grodzisk-Mazowiecki, ul. Chelmońskiego 30, tel. (22) 724 30 39, 792 05 18, fax: (22) 724 30 37, 755 58 78, email: rk-system@rk-system.com.pl

