

# **Budujemy komputer osobisty**

ZSP Studzienice  
Klasa VII a i VII b

Luty 2024 r.

# I. Wprowadzenie

## Mikroprocesor

Mikroprocesor jest układem cyfrowym, wykonanym jako pojedynczy układ scalony o wielkim stopniu integracji, zdolnym do wykonywania operacji według ciągu instrukcji (rozkazów), nazywanym programem. Program pobierany (odczytywany) jest z pamięci operacyjnej.

Podczas wykonywania programu mikroprocesor może pobierać i zapisywać dane w pamięci operacyjnej lub w urządzeniach wejściowych/wyjściowych.

Mikroprocesory nazywane są często w skrócie procesorami. Jednak procesor nie musi być pojedynczym układem scalonym i może być zbudowany np. z lamp elektronowych (jak w pierwszych komputerach), z tranzystorów czy z wielu układów scalonych.

Mikroprocesor/procesor bywa też nazywany jednostką centralną, centralną jednostką obliczeniową lub centralną jednostką przetwarzającą (ang. central processing unit, CPU).

Za pierwszy mikroprocesor uważa się wynaleziony w 1971 r. przez firmę Intel mikroprocesor o nazwie **4004**. Był to mikroprocesor 4-bitowy, czyli przetwarzający dane składające się z 4 bitów. Różni producenci w kolejnych latach zaczęli produkować mikroprocesory 8-bitowe.

## Mikroprocesory 8-bitowe

Mikroprocesory 8-bitowe przetwarzają dane składające się z 8 bitów. To znaczy, że każdy odczyt lub zapis danych (do pamięci operacyjnej komputera, do urządzeń wejściowych/wyjściowych oraz wewnątrz mikroprocesora) używa 8-bitowych porcji informacji.

Pierwszym mikroprocesorem 8-bitowym, wykorzystanym do zbudowania pierwszego komputera domowego (dzisiaj nazywanego osobistym), był Intel **8080**, wyprodukowany w kwietniu 1974 r. Była to ulepszona i rozbudowana wersja wcześniejszego mikroprocesora 8008 – pierwszego 8-bitowego mikroprocesora firmy Intel. Pierwszym komputerem domowym był Altair 8800 firmy MITS. Wykorzystano w nim mikroprocesor Intel 8080.

W kolejnych miesiącach i latach, inni producenci zaprojektowali i wyprodukowali różne modele mikroprocesorów 8-bitowych. Dwa z nich okazały się najpopularniejsze i najczęściej wykorzystywane do budowy komputerów. Były to:

1. Mikroprocesor **6502** firmy MOS Technology z 1975 r. oraz jego odmiana 6510 z 1982 r.

Został wykorzystany m. in. do budowy komputerów: Apple I, II, III, Atari 400, 800, 600XL, 800XL, 1200XL, 65XE, 130XE, Commodore PET, VIC-20, 64.

2. Mikroprocesor **Z-80** firmy Zilog z 1976 r.

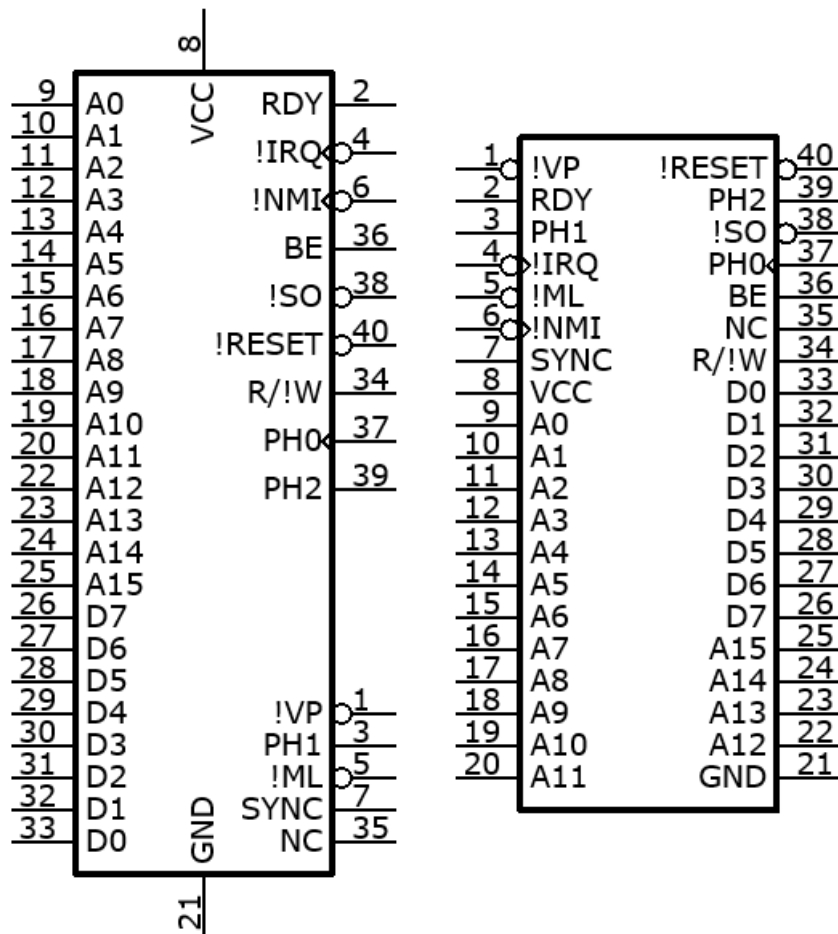
Został wykorzystany m. in. do budowy komputerów: Sinclair Research ZX80, ZX81 ZX Spectrum, Amstrad CPC 464, 664, 6128.

## Mikroprocesor W65C02S

Mikroprocesor W65C02S jest obecnie produkowaną przez firmę Western Design Center, ulepszoną wersją mikroprocesora MOS Technology 6502.

Mikroprocesor W65C02S (i 6502) posiada 16-bitową szynę adresową. To oznacza, że potrafi zaadresować  $2^{16}$  czyli 65536, czyli 64 kilo komórek pamięci operacyjnej. Ponieważ jest mikroprocesorem 8-bitowym, w każdej komórce pamięci potrafi zapisywać i odczytywać 8 bitów czyli jeden bajt. Tak więc W65C02S potrafi zaadresować (obsłużyć) maksymalnie 64 kB pamięci operacyjnej.

Budowa zewnętrzna mikroprocesora 65C02 (w obudowie DIP-40, czyli do montażu przewlekane, z 40-toma wyprowadzeniami):



A0-A15, wyjścia – linie adresowe

D0-D7, wejścia/wyjścia – linie danych

RDY (Ready), wejście – niski stan powoduje zatrzymanie pracy mikroprocesora

!IRQ (Interrupt Request), wejście – niski stan powoduje zainicjowanie sekwencji przerwania

!NMI (Non-Maskable Interrupt), wejście – niski stan powoduje zainicjowanie sekwencji przerwania niemaskowalnego

BE (Bus Enable), wejście – niski stan powoduje odłączenie linii adresowych i linii danych

!SO (Set Overflow), wejście – niski stan ustawia bit przepiętnienia w rejestrze znaczników

!RESET (Reset), wejście – niski stan przez co najmniej dwa cykle zegara, a następnie przejście w stan wysoki powoduje inicjalizację mikroprocesora i rozpoczęcie wykonywania programu

R/!W (Read/Write), wyjście – stan wysoki oznacza, że mikroprocesor odczytuje dane z pamięci, stan niski oznacza, że zapisuje dane do pamięci

PH0 (Phase 0), wejście – sygnał zegara systemowego (z generatora)

PH2 (Phase 2), wyjście – sygnał zegara systemowego, do sterowania innymi układami

VCC – napięcie zasilania +5V

GND – masa

Wyprowadzenia rzadko wykorzystywane lub niewykorzystywane:

!VP (Vector Pull), wyjście – niski stan oznacza, że podczas przerwania adresowany jest wektor lokalizacji, najczęściej niepodłączone

PH1 (Phase 1), wyjście – odwrócony sygnał zegara systemowego, najczęściej niepodłączone

!ML (Memory Lock), wyjście – niski stan oznacza, że pamięć jest zablokowana z powodu wykonywania określonych instrukcji, najczęściej niepodłączone

SYNC (Synchronize), wyjście – wysoki stan oznacza, że mikroprocesor pobiera kod programu, najczęściej niepodłączone

NC (Not Connected) – wyprowadzenie bez funkcji (wewnętrznie niepodłączone)

Mikroprocesor W65C02S/6502 nie ma specjalnych wyprowadzeń do obsługi urządzeń wejściowych i wyjściowych. Wszystko, co jest podłączone do mikroprocesora, traktowane jest przez niego jako pamięć operacyjna.

Po włączeniu zasilania lub po podaniu sygnału Reset mikroprocesor wykonuje program, który odczytuje z pamięci operacyjnej. Program taki jest składany z kolejnych instrukcji (rozkazów). Każda instrukcja (rozkaz) powoduje wykonanie przez mikroprocesor określonej operacji, np. odczyt/zapis danych w pamięci, działania arytmetyczne na liczbach, działania logiczne na bitach, itp. Mikroprocesor W65C02S posiada (obsługuje) 70 instrukcji (rozkazów).

Mikroprocesor do pracy potrzebuje tzw. sygnału zegarowego (inaczej: sygnału taktującego), czyli prostokątnego sygnału składającego się z zer i jedynek, o określonej częstotliwości. Sygnał zegarowy synchronizuje pracę wewnętrznych elementów mikroprocesora, które wykonują jednostkową operację podczas jednego taktu tego sygnału. Niektóre układy komputera również wymagają takiego samego sygnału zegarowego, jaki otrzymuje mikroprocesor.

Mikroprocesor W65C02S może być taktowany sygnałem zegarowym o maksymalnej częstotliwości 14 MHz. Posiada on dwa wyjścia, umożliwiające podawanie sygnału zegarowego jaki otrzymuje mikroprocesor, do innych układów komputera – PH2 (taki sam sygnał) oraz PH1 (sygnał odwrócony, rzadko wykorzystywany).

Sygnał zegarowy najczęściej wytwarzany jest przy pomocy rezonatora kwarcowego, który zapewnia bardzo stabilną (niezmienną w czasie) częstotliwość.

## Architektura komputerów 8-bitowych

Komputery budowane z wykorzystaniem mikroprocesorów 8-bitowych nazywane są komputerami 8-bitowymi. Komputery takie nazywane były również komputerami domowymi, w odróżnieniu od wcześniej budowanych komputerów, które znajdowały się wyłącznie w budynkach różnych firm i zajmowały duże przestrzenie. Z takimi komputerami użytkownicy łączyli się za pomocą specjalnych terminali, a więc nie posiadali komputerów we własnych domach, do wyłącznego, osobistego użytku.

Dzisiaj komputery domowe można by nazwać komputerami osobistymi, choć komputery osobiste (np. standardu IBM PC) są znacznie bardziej rozbudowane.

Komputer 8-bitowy składa się z następujących elementów:

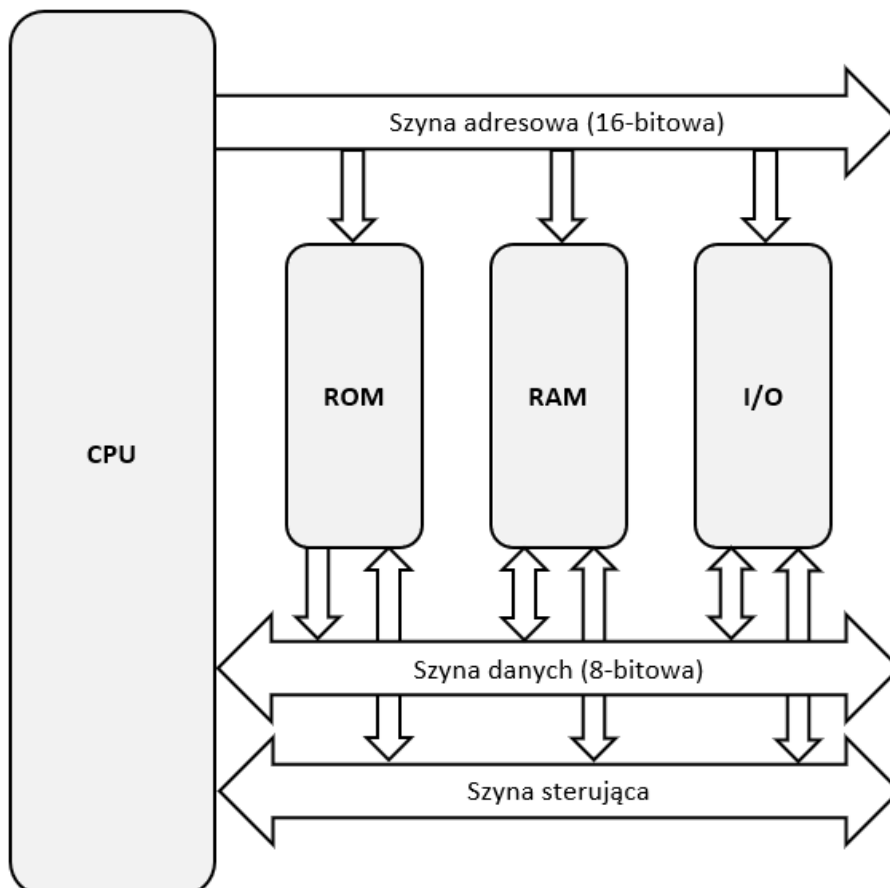
1. Mikroprocesor 8-bitowy (ang. central processing unit, **CPU**).
2. Pamięć operacyjna **ROM**.
3. Pamięć operacyjna **RAM**.
4. Urządzenia wejściowe i wyjściowe (ang. input/output, **I/O**).

Urządzenia wejściowe, np. klawiatura lub mysz, służą do wprowadzania danych do komputera.

Urządzenia wyjściowe, np. monitor lub drukarka, służą do wyprowadzania danych z komputera.

Urządzeniami wejściowo-wyjściowymi są również urządzenia pamięci masowej, takie jak np. stacja dyskieta. Pierwsze komputery 8-bitowe jako urządzenia pamięci masowej wykorzystywały magnetofony kasetowe.

Architektura komputerów 8-bitowych jest następująca:



Komputer 8-bitowy posiada trzy tzw. szyny:

1. **Szyna adresowa**, 16-bitowa – na tej szynie mikroprocesor wystawia adresy komórek pamięci, które chce odczytywać lub zapisywać. Szyna adresowa jest więc jednokierunkowa, od mikroprocesora.

2. **Szyna danych**, 8-bitowa – tą szyną do mikroprocesora przesyłane są odczytywane dane lub od mikroprocesora przesyłane są zapisywane dane. Szyna danych jest więc dwukierunkowa.

3. **Szyna sterująca** – ta szyna składa się z różnych, pojedynczych sygnałów sterujących. Podstawowym z nich jest informacja przesyłana przez mikroprocesor, czy w danej chwili chce on odczytywać, czy zapisywać dane. Przykładem innego sygnału jest żądanie przerwania wykonywania programu, przesyłane z urządzeń we/wy do mikroprocesora. Tak więc w zależności od sygnału, może on mieć kierunek od mikroprocesora lub do mikroprocesora, czyli szyna sterująca jest dwukierunkowa.

Po włączeniu zasilania lub po podaniu sygnału Reset mikroprocesor zaczyna wykonywać program, który najczęściej zapisany jest w pamięci ROM. W tej pamięci mogą być zapisane również niezmiennie dane, z których korzysta program, np. napisy wyświetlane na ekranie monitora.

Wykonywany przez mikroprocesor program, w pamięci RAM może zapisywać różne zmienne dane, np. znaki wpisywane przez użytkownika na klawiaturze. Wykonywany program może również w pamięci RAM zapisać kolejny program, np. wprowadzony przez użytkownika za pomocą klawiatury albo pobrany z urządzenia pamięci masowej (stacja dyskietek, magnetofon, itd.), a następnie uruchomić (zacząć wykonywać) ten program.

## Komputer Apple I

Komputer Apple I (wcześniej nazywany Apple Computer I, znany również jako Apple-1), jest 8-bitowym komputerem domowym, zaprojektowanym i ręcznie wykonanym w 1976 r. przez Steve'a Wozniaka. Jest uważany za pierwszy komputer domowy, umożliwiający wprowadzanie danych za pomocą klawiatury i wyświetlający obraz na ekranie telewizora lub monitora (Altair 8800 w pierwszej, podstawowej wersji nie posiadał takich możliwości).

Stephan „Steve” Wozniak (nick: „Woz”) jest amerykańskim inżynierem-wynalazcą. Ma polskie pochodzenie ze strony ojca. Jego dziadek był Polakiem.

Steve Wozniak zaczął projektować swój komputer w końcu 1975 r. Do jego budowy planował wykorzystać 8-bitowy mikroprocesor 6800 firmy Motorola. Ostatecznie jednak zdecydował się wykorzystać znacznie tańszy i bardzo podobny, debiutujący na rynku 6502 firmy MOS Technology.

Wozniak zamierzał udostępnić schemat swojego komputera za darmo entuzjastom, którzy chcieliby go samodzielnie zbudować. Jednak jego przyjaciel, Steve Jobs doradził mu, żeby założyć firmę i zacząć zarabiać na komputerze, sprzedawanym jako gotowy produkt. Tym produktem miała być jednak tylko sama płyta główna, która wymagała posiadania i podłączenia do niej klawiatury, telewizora lub monitora oraz zasilacza (transformatora).

Tak 1-go kwietnia 1976 r. powstała firma Apple Computer Inc. (obecna nazwa: Apple Inc.), którą założyli Steve Jobs (45% udziałów), Steve Wozniak (45% udziałów) oraz przedsiębiorca Ronald Wayne (10% udziałów).

Komputer zaprojektowany przez Wozniaka otrzymał nazwę Apple I i został zaprezentowany publicznie. Wkrótce firma Apple uzyskała pierwsze zamówienie na 50 sztuk, z sieci sklepów komputerowych Byte Shop. Komputery montowane były w garażu domu, w którym mieszkał Steve Jobs.

Apple I wszedł do sprzedaży w lipcu 1976 r., w cenie 666,66 \$. Obecnie jest to równowartość ok. 3500 \$.

Komputer Apple I posiadał:

1. Mikroprocesor 6502, taktowany zegarem 1 MHz.
2. 256 B pamięci ROM.
3. 4 kB lub 8 kB (po rozszerzeniu) pamięci RAM.
4. Układ graficzny wyświetlający 40 wierszy, po 24 znaki.
5. Program System Monitor, zapisany w pamięci ROM.

Dostępne było również rozszerzenie, umożliwiające podłączenie magnetofonu kasetowego, jako urządzenia pamięci masowej. To rozszerzenie oferowane było wraz z kasetą zawierającą interpreter języka programowania BASIC.

Wyprodukowano około 200 sztuk płyt komputera Apple I. Jego produkcja została zakończona 30-go września 1977 r.

## II. Projekt komputera

### Etap 1 – komputer z pamięcią ROM

Komputer zbudowany jest z mikroprocesora W65C02S oraz pamięci ROM (układ EEPROM o organizacji 8k x 8, np. Samsung KM28C64A lub o organizacji 32k x 8, np. Atmel AT28C256).

Sygnał zegarowy o częstotliwości 1 MHz dostarcza do mikroprocesora oscylator kwarcowy.

Sygnał Reset podawany jest do mikroprocesora za pomocą przycisku z kondensatorem.

Niektóre wyprowadzenia mikroprocesora podłączone są do jedynki (do zasilania) przez rezystory.

W układzie pamięci ROM, wejście !WE podłączone jest na stałe do jedynki (do zasilania), gdyż układ ten nie będzie zapisywany, a wyłącznie odczytywany.

Ponieważ do mikroprocesora podłączony jest tylko jeden układ – układ pamięci ROM, to w tym układzie wejścia !CE oraz !OE podłączone są na stałe do zera (do masy). Powoduje to, że ten układ pamięci jest stale włączony i odczytywany.

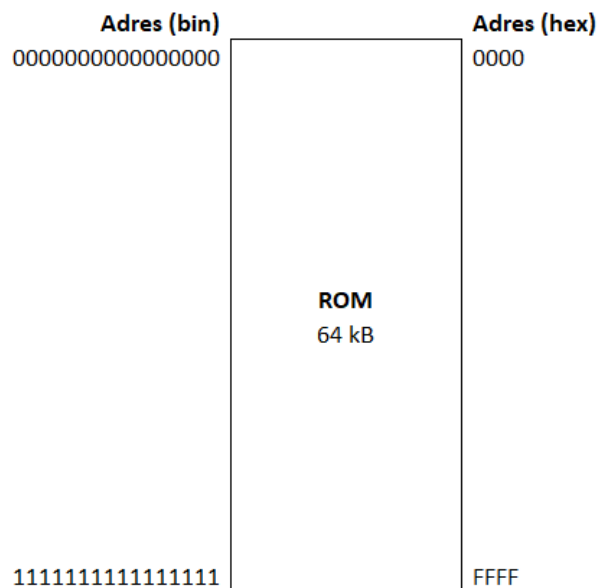
Linie adresowe oraz linie danych mikroprocesora i pamięci ROM połączone są ze sobą.

Ponadto, do linii adresowej A11 dołączona jest dioda LED, sygnalizująca wysoki stan na tej linii.

W pamięci ROM zapisany jest program, którego wykonywanie przez mikroprocesor powoduje naprzemienne pojawianie się stanu wysokiego i niskiego na linii adresowej A11, czyli naprzemienne zapalenie i gaśnięcie diody LED.

#### Mapa pamięci

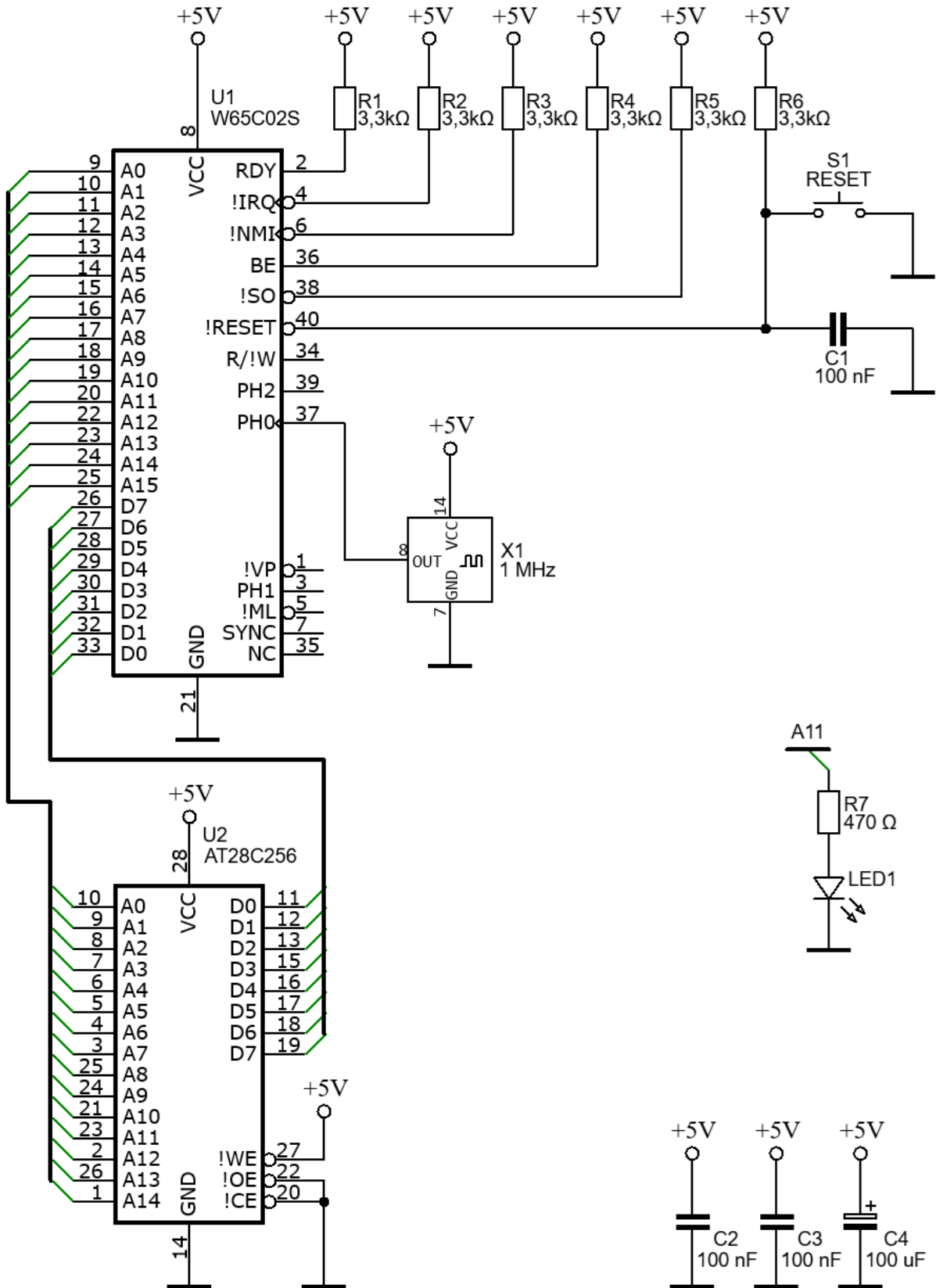
Całą przestrzeń adresową mikroprocesora wypełnia pamięć ROM:



Jeżeli wykorzystywany jest układ pamięci ROM 32 kB (który posiada 15 linii adresowych A0-A14), to linia adresowa A15 mikroprocesora nie jest podłączona i jej stan jest bez znaczenia. Powoduje to, że w przestrzeni adresowej pamięć ROM 32 kB powielona jest dwukrotnie.

Podobnie, jeżeli wykorzystywany jest układ pamięci ROM 8 kB (który posiada 13 linii adresowych A0-A12), to linie adresowe A13-A15 mikroprocesora nie są podłączone. Powoduje to, że w przestrzeni adresowej pamięć ROM 8 kB powielona jest ośmiokrotnie.





## **Etap 2 – komputer z pamięcią ROM i układem ACIA**

Komputer zbudowany jest z mikroprocesora W65C02S, pamięci ROM (układ EEPROM o organizacji 8k x 8, np. Samsung KM28C64A lub o organizacji 32k x 8, np. Atmel AT28C256) oraz układu W65C51 firmy Western Design Center.

Układ W65C51, nazywany ACIA (Asynchronous Communications Interface Adapter – ang. adapter interfejsu komunikacji asynchronicznej), służy do komunikacji pomiędzy różnymi urządzeniami komputerowymi. Wyprowadzenia układu W65C51 i ich podłączenie jest następujące:

8 wejść-wyjść linii danych D0-D7, połączone z tymi samymi liniami mikroprocesora.

2 wejścia linii adresowych RS0 i RS1. To oznacza, że układ ACIA posiada tylko 4 ( $2^2$ ) adresy, które wykorzystywane są do komunikacji z tym układem. Wejścia linii adresowych są podłączone odpowiednio do linii A0 i A1 mikroprocesora.

Wejście !RESET służące do resetowania układu i połączone z wejściem !RESET mikroprocesora i układem resetu.

Wejście R/!W informujące układ, czy mikroprocesor odczytuje z niego dane, czy je w nim zapisuje, połączone z wyjściem R/!W mikroprocesora.

Wejście PHI2 sygnału zegarowego, połączone z wyjściem PH2 mikroprocesora.

Wejścia CS0 i !CS1 służące do włączania układu. Układ jest włączony tylko wtedy, gdy na wejście CS0 podany jest stan wysoki oraz na wejście !CS1 podany jest stan niski. Wejście CS0 jest niewykorzystane i podłączone na stałe do jedynki (zasilania). O włączeniu układu decyduje więc wejście !CS1, którego połączenie opisane jest niżej.

Wyprowadzenia XTLO i XTLI służące do podłączenia generatora sygnału zegarowego o częstotliwości 1,8432 MHz. Połączone są z układem generatora, składającego się z kwarcu, rezystora i kondensatora.

Wejście RXD (odbiornik) służy do odbierania danych. Podłącza się je do nadajnika urządzenia, z którym ma się komunikować układ (komputer).

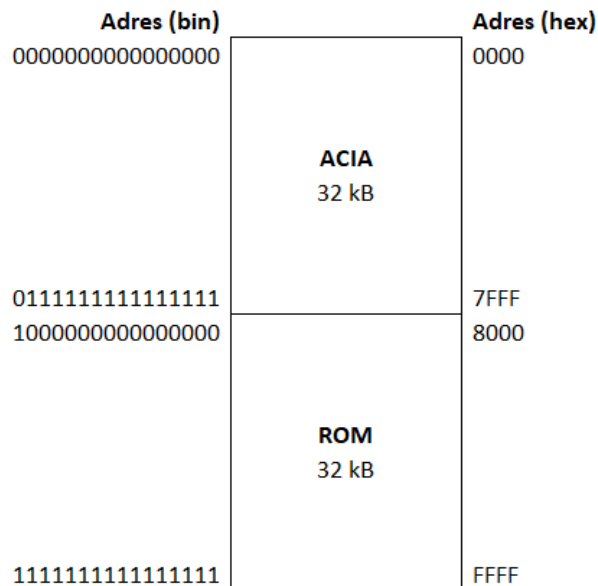
Wyjście TXD (nadajnik) służy do wysyłania danych. Podłącza się je do odbiornika urządzenia, z którym ma się komunikować układ (komputer).

Pozostałe wyprowadzenia układu W65C51 są nieistotne i pozostają niepodłączone lub podłączone do masy, jak na poniższym schemacie.

Ponieważ do mikroprocesora podłączone są obecnie dwa układy (pamięć ROM oraz ACIA), konieczne jest zbudowanie układu adresatora, który będzie sterował włączaniem obu układów, w zależności od adresu odczytywanego/zapisywanego w danej chwili przez mikroprocesor.

### **Mapa pamięci**

Przestrzeń adresowa mikroprocesora została podzielona na dwie części po 32 kB. W pierwszej (dolnej) połowie znajduje się układ ACIA. W drugiej (górnej) połowie znajduje się układ pamięci ROM:



Pierwsza połowa przestrzeni adresowej posiada zero na linii A15, a druga posiada jeden. Ta linia jest wykorzystana do sterowania włączaniem układów. Gdy na linii adresowej A15 występuje zero – włączony jest układ ACIA. Gdy na linii adresowej A15 występuje jeden – włączony jest układ pamięci ROM.

Linia A15 jest podłączona do wejścia !CS1 układu ACIA. A więc zero na linii A15 powoduje włączenie układu ACIA, a jeden na linii A15 powoduje wyłączenie ACIA.

Do sterowania układem pamięci ROM potrzebny jest odwrócony (zanegowany) sygnał, czyli zero, gdy na linii adresowej A15 jest jedynka oraz jeden, gdy na linii adresowej A15 jest zero. Wobec tego do wejść !CE oraz !OE pamięci ROM podłączony jest sygnał linii A15, po odwróceniu go za pomocą bramki NOT.

Ponieważ układ ACIA posiada tylko dwie linie adresowe, czyli cztery adresy, w przestrzeni dolnej połówki 32 kB, która jest przeznaczona dla tego układu, te cztery adresy powielają się 8192 razy (32 k podzielone przez 4).

W pamięci ROM zapisany jest program, który po uruchomieniu wysyła przez układ ACIA tekst, a następnie odbiera przez układ ACIA pojedyncze znaki i natychmiast je odsyła.

### **Podłączenie płytki konwertera COM/USB**

Do komunikacji komputera z komputerem osobistym standardu IBM PC wykorzystane zostanie złącze USB. W tym celu stosowana jest płytka konwertująca sygnał transmisji z formatu układu ACIA (COM) na format USB. Podłączenie komputera do wyprowadzeń płytki konwertera COM/USB jest następujące:

DTR – niepodłączone

RX – wyjście TXD czyli wyprowadzenie 10 układu ACIA (nadajnik)

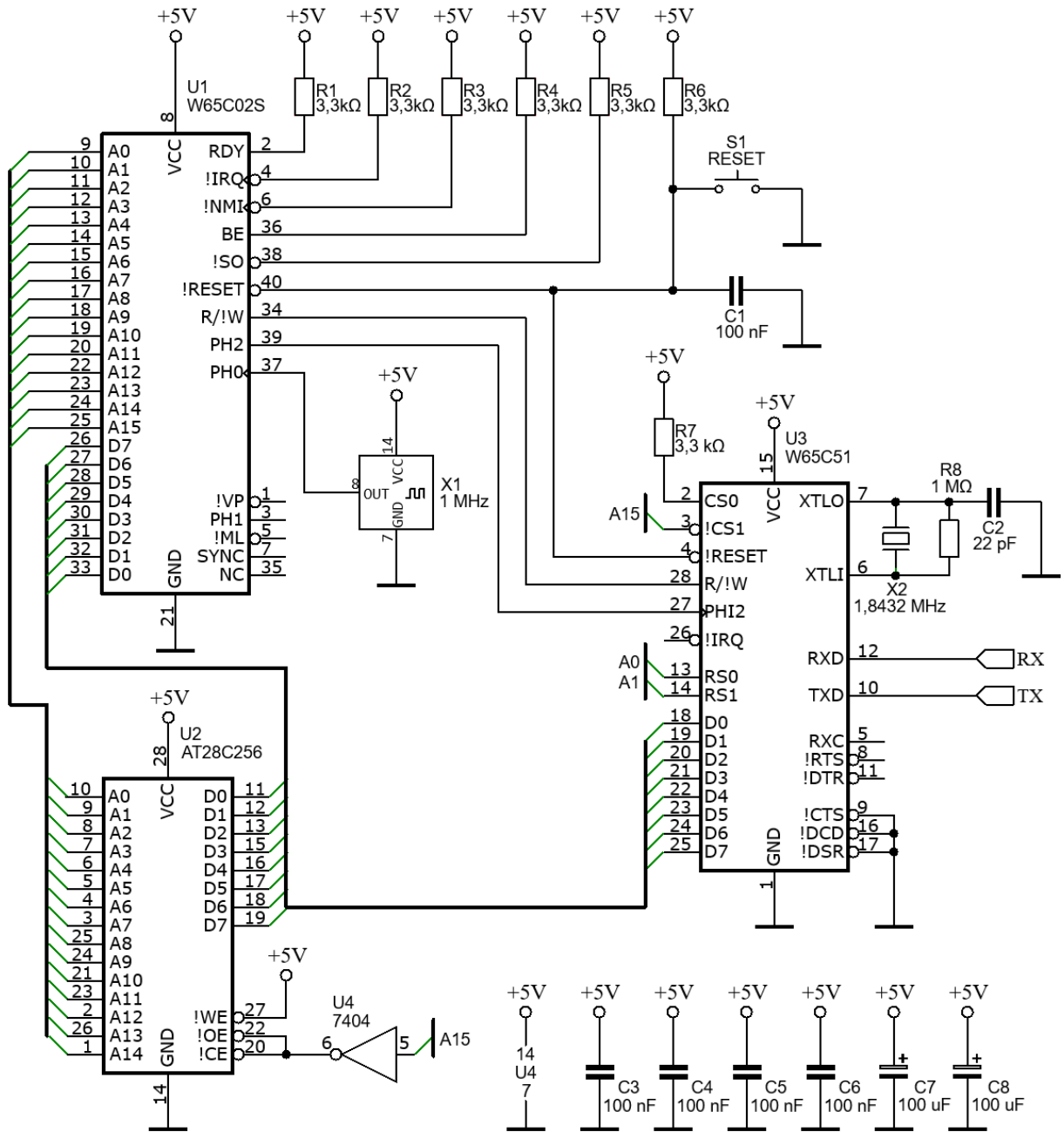
TX – wejście RXD czyli wyprowadzenie 12 układu ACIA (odbiornik)

VCC – plus zasilania (zworka w płytce konwertera musi być ustawiona na 5V)

CTS – niepodłączone

GND – masa (czyli minus zasilania)

Uwaga! Nie można dopuścić do złego podłączenia wyprowadzeń VCC i GND, bo spowoduje to uszkodzenie układów komputera.



### Etap 3 – komputer z pamięcią ROM, RAM i układem ACIA

Komputer zbudowany jest z mikroprocesora W65C02S, pamięci ROM (układ EEPROM o organizacji 8k x 8, np. Samsung KM28C64A lub o organizacji 32k x 8, np. Atmel AT28C256), pamięci RAM (układ SRAM o organizacji 32k x 8, np. Hitachi HM62256 lub OKI MSM51257AL) oraz układu komunikacji ACIA (W65C51).

Ponieważ do mikroprocesora podłączone są obecnie już trzy układy (pamięć ROM, pamięć RAM oraz ACIA), konieczne jest rozbudowanie układu adresatora, który będzie sterował włączaniem tych trzech układów, w zależności od adresu odczytywanego/zapisywanego w danej chwili przez mikroprocesor.

#### Mapa pamięci

Przestrzeń adresowa mikroprocesora została podzielona na trzy części. W pierwszych 30 kB znajduje się układ pamięci RAM. W kolejnych 2 kB znajduje się układ ACIA. W drugiej (górnjej) połowie, czyli w 32 kB znajduje się układ pamięci ROM:

Adres (bin)		Adres (hex)
0000000000000000	RAM 30 kB	0000
0111011111111111		77FF
0111100000000000	ACIA 2 kB	7800
0111111111111111		7FFF
1000000000000000	ROM 32 kB	8000
1111111111111111		FFFF

Do sterowania układem pamięci ROM nadal potrzebny jest odwrócony (zanegowany) sygnał z linii adresowej A15, czyli zero, gdy na linii adresowej A15 jest jedynka oraz jeden, gdy na linii adresowej A15 jest zero. Wobec tego do wejść !CE oraz !OE pamięci ROM nadal podłączony jest sygnał linii A15, po odwróceniu go za pomocą bramki NOT.

Układ ACIA ma być włączony, gdy na liniach adresowych A11, A12, A13 i A14 są jedynki oraz na linii adresowej A15 jest zero. Przy spełnieniu tych pięciu warunków, potrzebne jest zero do sterowania układem ACIA. W układzie adresatora wykorzystano więc wielowejsciową bramkę NAND. Do jej wejść podłączone są linie adresowe A11-A14 oraz odwrócony sygnał z linii A15 (który wykorzystywany jest też do sterowania pamięcią ROM). Wyjście bramki podłączone jest do wejścia !CS1 układu ACIA. Ponieważ nie jest produkowany układ z bramką NAND, która posiada 5 wejść, wykorzystano układ 7430, który zawiera bramkę z 8-ma wejściami. Trzy nieużywane wejścia podłączone są na stałe do jedynki, przez rezystor.

Układ pamięci RAM ma być włączony wtedy, gdy nie jest włączony układ ACIA i nie jest włączony układ pamięci ROM. W układzie adresatora wykorzystano więc dwuwejściową bramkę NAND, do której wejść podłączono sygnały sterujące włączeniem układów ACIA i ROM. Gdy na obu tych sygnałach jest jedynka (oba układy są wyłączone), na wyjściu bramki występuje zero, umożliwiające włączenie układu pamięci RAM. Wyjście tej bramki mogłoby więc być wykorzystane do połączenia z wejściami !CE i !OE układu pamięci RAM.

Niestety mikroprocesor 6502 (i jego rozszerzenia) ma pewien technologiczny problem, z którego wynika konieczność dokonania iloczynu logicznego (operacja AND) sygnału sterującego włączeniem układu pamięci RAM z sygnałem zegarowym. Przed wykonaniem tej operacji sygnał sterujący jest jeszcze odwracany za pomocą bramki NOT. Do wykonania iloczynu z sygnałem zegarowym wykorzystano bramkę NAND, gdyż włączenie układu RAM odbywa się za pomocą zera. Dopiero wyjście tej bramki NAND połączone jest z wejściami !CE i !OE układu pamięci RAM.

Wejście !WE układu pamięci RAM połączone jest z wyjściem R/!W mikroprocesora.

Powyższe połączenie wejść sterujących !CE, !OE i !WE układu pamięci RAM powoduje, że w przypadku zapisu do pamięci, zero podawane jest na wszystkie te trzy wejścia. Wiele układów pamięci RAM dopuszcza taką kombinację (czyli zero jednocześnie na wejściu !OE – odczyt i !WE – zapis) i powoduje ona właśnie zapis pamięci.

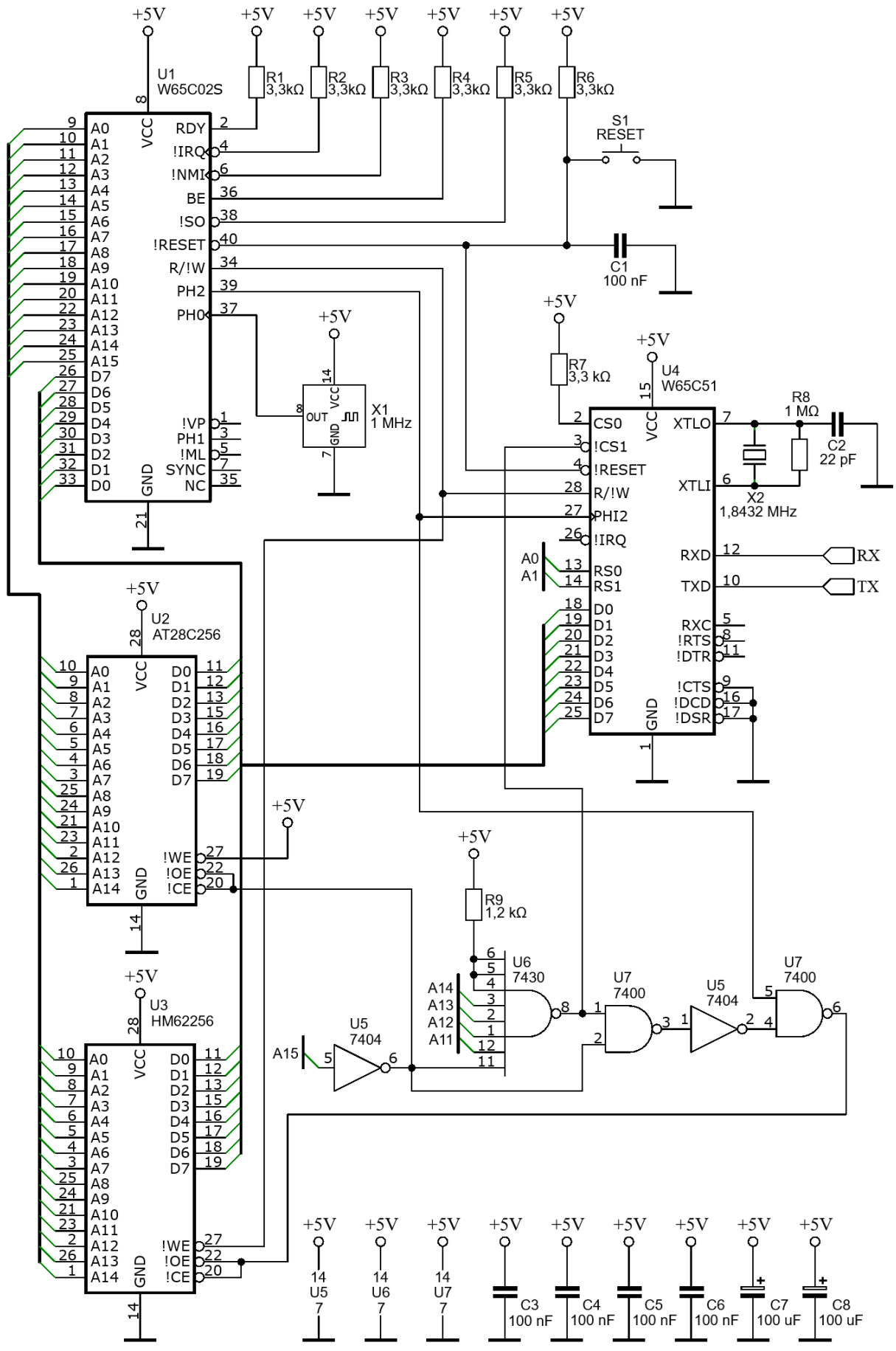
Linie adresowe oraz linie danych układu pamięci RAM połączone są do tych samych linii mikroprocesora (i pozostałych układów).

W pamięci ROM zapisany jest program, który po uruchomieniu wysyła przez układ ACIA stały tekst, a następnie odbiera przez układ ACIA znaki i zapisuje je w pamięci. Po odebraniu naciśnięcia klawisza Enter, wysyła wszystkie zapamiętane znaki i działanie programu się powtarza.

Ponieważ jest to w pełni funkcjonalny komputer – możliwe jest również zapisane w pamięci ROM dowolnych innych programów, np. programu Monitora Systemowego, opracowanego przez Steve'a Wozniaka albo interpretera języka BASIC.

Uwaga: W układzie adresatora wykorzystano trzy układy TTL – 7404, 7430 oraz 7400. Możliwa jest rezygnacja z układu 7404 i zbudowanie dwóch bramek NOT tego układu z dwóch bramek NAND układu 7400, które nie są wykorzystane.

Zamiast kombinacji bramki NAND i podłączonej do jej wyjścia bramki NOT można użyć bramkę AND, ale to wymagałoby wykorzystania dodatkowego układu TTL – 7408.



## **Etap 4 – komputer z pamięcią ROM, RAM, układem ACIA i kontrolerem portu USB**

Komputer zbudowany jest z mikroprocesora W65C02S, pamięci ROM (układ EEPROM o organizacji 8k x 8, np. Samsung KM28C64A lub o organizacji 32k x 8, np. Atmel AT28C256), pamięci RAM (układ SRAM o organizacji 32k x 8, np. Hitachi HM62256 lub OKI MSM51257AL), układu komunikacji ACIA (W65C51) oraz układu MCP2221A firmy Microchip.

Układ MCP2221A służy m. in. do konwertowania sygnału w standardzie UART (COM) na standard USB. Sygnał w standardzie UART (COM) wytwarzany jest przez układ W65C51. Do tej pory, do konwertowania wykorzystywana była zewnętrzna płytką, która jest teraz zbędna. Wyprowadzenia układu MCP2221A i ich podłączenie jest następujące:

Wejście !RESET służy do resetowania układu. Jest niewykorzystane i podłączone na stałe do jedyńki (zasilania).

Wejście URX (odbiornik) służy do odbierania danych. Podłącza się je do nadajnika urządzenia, z którym ma się komunikować układ. Tutaj jest podłączone do wyjścia nadajnika układu W65C51, poprzez rezystor.

Wyjście UTX (nadajnik) służy do wysyłania danych. Podłącza się je do odbiornika urządzenia, z którym ma się komunikować układ. Tutaj jest podłączone do wejścia odbiornika układu W65C51, poprzez rezystor.

Wejścia-wyjścia D+/D- służą do transmisji danych USB i podłączone są do gniazda USB.

Wyjście GP0 sygnalizuje nadawanie danych. Podłączona jest do niego czerwona dioda LED, poprzez rezystor.

Wyjście GP1 sygnalizuje odbiór danych. Podłączona jest do niego żółta dioda LED, poprzez rezystor.

Pozostałe wyprowadzenia układu MCP2221A są nieistotne i pozostają niepodłączone lub podłączone do masy poprzez kondensator, jak na poniższym schemacie.

Ponadto do zasilania, poprzez rezystor podłączono zieloną diodę LED, sygnalizującą zasilanie. Wcześniej tę funkcję pełniła dioda na płytce konwertera COM/USB.



