



# Uniwersytet w Białymstoku

Instytut Informatyki

Aplikacja symulująca działanie  
sumatora/subtraktora w oparciu o jego  
cyfrowe układy logiczne

Artur Bucki  
80212

Promotor:  
DR INŻ. WIESŁAW PÓŁJANOWICZ

Białystok 2022r

# Spis treści

<b>1</b>	<b>Wstęp . . . . .</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Organizacja i architektura klasycznego komputera . . . . .</b>	<b>4</b>
2.1	Arytmetyka w systemach cyfrowych . . . . .	5
2.1.1	Pozycyjne systemy liczbowe . . . . .	8
2.2	Układy cyfrowe - bramki logiczne . . . . .	10
2.3	Procesor . . . . .	13
2.3.1	Jednostka arytmetyczno-logiczna(ALU) . . . . .	14
2.3.2	Jednostka sterująca . . . . .	15
2.3.3	Zespół rejestrów . . . . .	16
2.4	Pamięć . . . . .	17
2.5	Urządzenia wejścia/wyjścia . . . . .	19
2.6	Magistrale systemowe . . . . .	20
<b>3</b>	<b>Działanie jednostki arytmetyczno-logicznej ALU . . . . .</b>	<b>22</b>
3.1	Układ sumatora/subtraktora . . . . .	23
3.2	Działanie układu ALU Simulator - EE3221 Digital Systems II . . . . .	25
<b>4</b>	<b>Programy symulujące działanie układów cyfrowych w komputerze . . . . .</b>	<b>27</b>
4.1	Digital Works . . . . .	28
4.2	Cedar logic Simulator . . . . .	30
4.3	Win Logi lab . . . . .	33
4.4	Multimedia Logic . . . . .	35
4.5	Logisim . . . . .	37
<b>5</b>	<b>Technologie informatyczne wykorzystywane przy budowie aplikacji symulujących działanie układów cyfrowych . . . . .</b>	<b>40</b>
5.1	C# . . . . .	40
5.2	Adobe Photoshop . . . . .	41
<b>6</b>	<b>Projekt i realizacja aplikacji symulującej działanie sumatora/subtraktora (Add Sub) . . . . .</b>	<b>42</b>
6.1	Wymagania funkcjonalne i нефункционалне aplikacji . . . . .	42
6.2	Diagram przypadków użycia (DPU) . . . . .	43
6.3	Budowa modułowa aplikacji (Add Sub) . . . . .	44
6.4	Testowanie aplikacji . . . . .	45
<b>7</b>	<b>Podręcznik użytkownika aplikacji . . . . .</b>	<b>46</b>

8 Podsumowanie . . . . .	47
9 Bibliografia . . . . .	48
10 Spis tablic/rysunków . . . . .	49

# 1 Wstęp

Do napisania

## 2 Organizacja i architektura klasycznego komputera

Architektura klasycznego komputera została opracowana w 1945 roku, przez matematyka John'a Von Neumanna oraz jego współpracowników - John'a W. Mauchly'ego i Johna Presper Eckerta. W pierwszej połowie XX wieku maszyny obliczeniowe były tworzone w konkretnym celu, wykonywały tylko i wyłącznie określone zadania, nie były modyfikowalne, jeśli chodzi o samo działanie danego programu. Klasyczny komputer został zaprojektowany tak, aby mógł wykonywać różne rozkazy, pozwalało to na większą swobodę oraz zaoszczędzenie czasu i energii. Maszyna licząca zaprojektowana przez Von Neumanna składa się z trzech głównych komponentów - procesora, pamięci oraz urządzeń wejścia-wyjścia. Takie zestawienie pozwala użytkownikowi na pełną modyfikację, kompilację oraz uruchamianie aplikacji. W pamięci komputera przechowywana jest informacja zapisana w postaci binarnej, która jest przekazywana łańcuchowo. Procesor dekoduje informacje i potokowo je przetwarza. Użytkownik jako osoba decyzyjna integruje się z maszyną za pomocą urządzeń wejścia-wyjścia, deklaruje w jaki sposób i kiedy program powinien zostać uruchomiony. Aby wszystko funkcjonowało poprawnie maszyna powinna posiadać skończony zestaw instrukcji, który jest ogólnie dostępny dla procesora wraz z danymi.

## 2.1 Arytmetyka w systemach cyfrowych

Systemy cyfrowe to elektroniczne urządzenia, które bazują na określonej strukturze alfanumerycznej. Najczęściej spotykanym zapisem danych w elektronice jest naturalny kod binarny, w którym informacje reprezentują cyfry o wartości 1 lub 0. Przykładami takiego sprzętu mogą być telefony komórkowe lub radio. Liczby binarne zazwyczaj reprezentują określoną wartość np. 0 - fałsz, 1 - prawda lub 0 - nie, 1 - tak. Oczywiście wartość danego bitu zależy od miejsca, w którym się znajduje. Do reprezentowania większych ilości danych można przedstawiać informacje za pomocą listy bitów, czyli ciągu znaków złożonych z zer oraz jedynek.

Arytmetyka w słowniku języka polskiego oznacza dział matematyki, odnoszący się do podstawowych zasad działania na liczbach. W praktyce oznacza to, że zasady dodawania, odejmowania, dzielenia oraz mnożenia obowiązują także w systemach cyfrowych. Do reprezentacji liczb naturalnych najczęściej stosuje się kody - NKB, Gray'a, 1 z 10, BCD oraz Johnsona. Natomiast liczby całkowite używają trzech podstawowych kodów - znak-moduł, zapis uzupełnień do jedności (ZU1) oraz zapis uzupełnień do dwóch (ZU2). W naturalnym kodzie binarnym działania arytmetyczne możemy porównać do tych które są nam znane z systemu dziesiętnego. Jeśli chcielibyśmy dodać liczbę A oraz liczbę B możemy użyć odpowiedniej tabliczki dodawania dla danego kodu.

Tablica 1: Schemat dodawania liczb binarnych

0	+	0	=	0
0	+	1	=	1
1	+	0	=	1
1	+	1	=	10

Liczba A: 101010

Liczba B: 011101

Tablica 2: Przykład dodawania liczb binarnych

	1	1				
	1	0	1	0	1	0
+		1	1	1	0	1
<hr/>						
	1	0	0	0	1	1

Dwójkowy system liczbowy posiada dwa stany 0 lub 1, dlatego aby zapisać liczbę ujemną, wymagany jest pewien system arytmetyczny, który na to pozwoli. Aby rozwiązać ten problem, wprowadzono bit znaku, który reprezentuje wartość ujemną lub dodatnią. Najbardziej popularnym i najczęściej używanym kodem jest zapis uzupełnień do dwóch. Rozwiązuje on problem podwójnego zera który powstaje w przypadku ZU1 oraz ZM. Dodatkowo przeniesienia z bitu znakowego są ignorowane, co eliminuje wadę dodatkowych obliczeń. Najstarszy bit określa znak liczby. Jeśli bit jest ustawiony na "1" to liczba jest ujemna, w przeciwnym wypadku - dodatnia.

Tablica 3: Wartości dodatnie dla 4 bitów - ZU2

Wartość	Zapis ZU2
0	0000
1	0001
2	0010
3	0011
4	0100
5	0101
6	0110
7	0111

Tablica 4: Wartości ujemne dla 4 bitów - ZU2

Wartość	Zapis ZU2
-8	1000
-1	1111
-2	1110
-3	1101
-4	1100
-5	1011
-6	1010
-7	1001

Działania arytmetyczne w kodzie ZU2 działają na takiej samej zasadzie jak w naturalnym kodzie binarnym. Jedyną różnicą jest interpretacja danego wyniku. Należy także pamiętać o sytuacji, w której może dojść do przepełnienia, czyli liczbie która nie mieści się w danym zakresie. Overflow powstaje, gdy przeniesienie, które wchodzi do bitu znaku ma przeciwną wartość niż przeniesienie, które wychodzi z bitu znaku. Przykładem takiej sytuacji może być dodawanie dwóch liczb gdy, liczba A = 7 oraz liczba B = 3 w 4-bitowym formacie.

Liczba A: 0111

Liczba B: 0011

Tablica 5: Dodawanie liczb ZU2 - overflow

			<b>1</b>	1	1	
+7			0	1	1	1
+3	+	<b>0</b>	0	0	1	1
			1	0	1	0

Wynik = -6



### 2.1.1 Pozycyjne systemy liczbowe

W matematyce, aby zapisywać liczby stosuje się określony system, który jest zbudowany z skończonej ilości znaków. System pozycyjny charakteryzuje się tym, że jego liczby są zapisywane od lewej do prawej. Ponieważ mamy skończoną ilość znaków to pojedyncze symbole, możemy zapisać tylko dla kilku początkowych liczb. Aby zapisać liczbę większą niż podstawa danego systemu, tworzymy ciąg znaków który odpowiednio odczytujemy. Każda cyfra posiada określoną wartość zależną od miejsca, w którym się znajduje, oraz systemu, w którym jest zapisana. Podstawa systemu pozycyjnego określa, ile symboli znajduje się w danym zbiorze. Aby policzyć wartość danej liczby ustawiamy jej cyfry na określonych pozycjach, zaczynając od strony prawej oraz numerując je od zera. Każda pozycja posiada wartość, która jest nazywana wagą pozycji. Liczby podnosimy do potęgi zależnie od podstawy danego systemu oraz miejsca danej cyfry. Miejsce określa, ile razy waga danej pozycji uczestniczy w wartości liczby. Na koniec sumujemy iloczyn cyfr poprzez wagi ich pozycji.

Tablica 6: Schemat - pozycyjne systemy liczbowe

Waga	$p^n$	$p^{n-1}$	$p^{n-2}$	$p^2$	$p^1$	$p^0$
Cyfra	C	C	C...	C	C	C
Pozycja	n	n - 1	n - 2	2	1	0

C - cyfra o podstawie p

p - podstawa systemu pozycyjnego

Najbardziej powszechnym systemem pozycyjnym jest system dziesiętny, którym posługujemy się na co dzień. Jak sama nazwa wskazuje posiada on 10 cyfr licząc od 0 do 9. Na jego przykładzie można wyprowadzić wzór, który sprawdzi się dla każdego innego pozycyjnego systemu liczbowego.

Przykład:  $645_{10}$

Wynik -  $6 * 10^2 + 4 * 10^1 + 5 * 10^0 = 645$

Wzór -  $C_{n-1} * p^{n-1} + C_{n-2} * p^{n-2} + \dots + C_2 * p^2 + C_1 * p^1 + C_0 * p^0$

Komputer jest maszyną binarną, dlatego nie jest możliwe, aby informacje w nim zostały zapisywane w postaci dziesiętnej. Aby zamienić język maszynowy na inny określony system liczbowy, wymagana jest konwersja. Każdą liczbę dziesiętną można wyrazić w innym zapisie, tak jak każdą liczbę w innym zapisie można wyrazić w postaci dziesiętnej. Pomijając system dwójkowy, bardzo popularny jest także system ósemkowy oraz szesnastkowy. Aby zamienić liczbę dziesiętną na binarną, wystarczy napisać wagi w poszczególnych miejscach łańcucha, po czym uzupełnić odpowiednie miejsca jedynekami i dodać do siebie wagi pod którymi znajduje się liczba 1.

Przykład:  $29_{10} \rightarrow 11101_2$

$$\begin{array}{cccccc} 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & \leftarrow \text{zapis dwójkowy} \\ \hline 32 & 16 & 8 & 4 & 2 & 1 & \leftarrow \text{wagi} \end{array}$$

$$16 + 8 + 4 + 1 = 29$$

Oczywiście możemy także dokonać odwrotnej konwersji i zamienić system binarny na dziesiętny.

Przykład:  $10100_2 \rightarrow 20_{10}$

$$\begin{array}{cccccc} 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & \leftarrow \text{zapis dwójkowy} \\ \hline 32 & 16 & 8 & 4 & 2 & 1 & \leftarrow \text{wagi} \end{array}$$

$$16 + 4 = 20$$

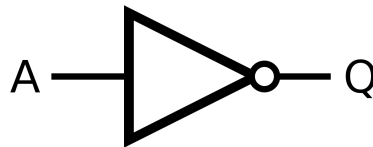
## 2.2 Układy cyfrowe - bramki logiczne

Bramki logiczne to fizyczne elementy występujące w procesorach, zbudowane są za pomocą tranzystorów. Można je sobie wyobrazić jako skrzynkę, do której wchodzi linie wejściowe i z której wychodzi linia wyjściowa. Same linie to przewody elektryczne w których może płynąć prąd. Przewody mogą mieć dwa stany, wysoki oraz niski.

- Stan wysoki, prąd płynie przez przewód, otrzymujemy na wejściu wartość binarną 1.
- Stan niski, prąd nie płynie przez przewód, otrzymujemy na wejściu wartość binarną 0.

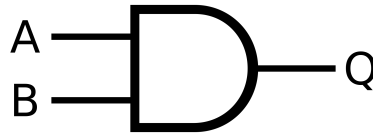
Każda bramka logiczna zamienia sygnały wejściowe na odpowiedni sygnał wyjściowy. Najprostsze bramki posiadają dwa wejścia, ale także istnieją modele z wieloma wejściami. Należy także zwrócić uwagę, że zawsze występuje tylko jedno wyjście, o wartości 1 lub 0.

Najczęściej wykorzystywane bramki logiczne:



Rysunek 1: Bramka logiczna - NOT

Bramka logiczna NOT jest najprostszą pod względem działania, zamienia sygnał wejściowy na przeciwny, jeżeli na wejściu nadamy sygnał o wartości 1 to na wyjściu pojawi się 0. Natomiast jeżeli na wejściu pojawi się 0 to otrzymamy 1.



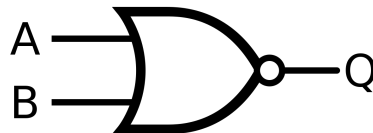
Rysunek 2: Bramka logiczna - AND

Bramka logiczna AND daje wartość 1 tylko i wyłącznie wtedy, gdy na wszystkich wejściach otrzymujemy stan wysoki. W przeciwnym wypadku otrzymujemy 0.



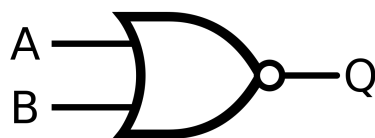
Rysunek 3: Bramka logiczna - NAND

Bramka logiczna NAND jest dokładnie odwrotnością bramki AND, tylko i wyłącznie, gdy na wejściu, na wszystkich stanach pojawia się wartość binarna 1, to otrzymamy na wyjściu 0. W przeciwnym wypadku zawsze otrzymamy wartość 0.



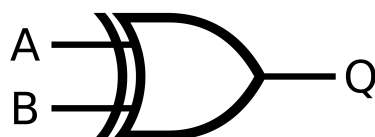
Rysunek 4: Bramka logiczna - OR

Bramka logiczna OR daje wartość 1 zawsze, gdy któreś z wejść będzie w stanie wysokim, w przeciwnym wypadku będzie wartość 0.



Rysunek 5: Bramka logiczna - NOR

Bramka logiczna NOR jest dokładnie odwrotnością bramki OR, tylko i wyłącznie, gdy na wejściu, na wszystkich stanach pojawi się wartość binarna 0, to otrzymamy na wyjściu 1. W przeciwnym wypadku zawsze będzie to wartość 0.



Rysunek 6: Bramka logiczna - XOR

Bramka logiczna XOR, jest wyjątkowa, zawsze na wejściu posiada tylko dwie zmienne. Gdy jedna z nich posiada wartość 1 to wyjście jest równe logicznej jedynce. W przeciwnym wypadku otrzymujemy wartość 0.

Tabela wartości bramek logicznych:

Tablica 7: Tabela prawdy - bramki logiczne

A	B	AND	NAND	OR	NOR	XOR
0	0	0	1	0	1	0
0	1	0	1	1	0	1
1	0	0	1	1	0	1
1	1	1	0	1	0	0

## 2.3 Procesor

W dzisiejszym świecie procesor odgrywa naprawdę ważną rolę, jest to jednostka, która znajduje się niemal w każdym urządzeniu elektronicznym. Jest odpowiedzialny za przetwarzanie informacji oraz wykonywanie instrukcji. Można powiedzieć, że pełni rolę “mózgu” w wszelkiej elektronice. Procesor jest budowany przy pomocy mikroskopijnych tranzystorów które sterują określonymi zadaniami, są to w istocie bramki logiczne które włączają się lub wyłączają przekazując wartość binarną jako informacje. Podstawową czynnością procesora jest wykonywanie programów, czyli inaczej sekwencji zapisanych instrukcji. Aby wykonać określone zadanie procesor na początku pobiera dane z pamięci RAM systemu. Następnie dekoduje informacje oraz przetwarza je tak, aby określone części procesora wykonały swoją pracę. Na koniec wywołuje daną instrukcję, określona część procesora uaktywnia się, dając odpowiedni rezultat.

Główne elementy procesora:

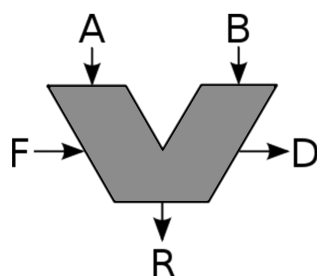
- Jednostka arytmetyczno logiczna (ALU)
- Jednostka sterujące
- Zespół rejestrów

Największymi producentami procesorów, które znajdują się w większości komputerów osobistych jest Intel oraz AMD. Warto nadmienić, że nie każdy procesor jest taki sam. Szybkość przetwarzania informacji w mikroprocesorach zależy od rdzeni, wątków oraz szybkości zegarów. Rdzeń w procesorze jest fizyczną częścią, która odpowiada za realizację operacji obliczeniowych, jeden rdzeń może pracować nad jednym zadaniem. Wątek ściśle zależy od ilości rdzeni, dzieli rdzeń na dwa wirtualne, dzięki czemu mogą one wykonywać dwie linie wykonawcze jednocześnie. W niektórych przypadkach może zwiększyć to wydajność określonej instrukcji. Wątki są mniej wydajne od rdzeni procesora, ponieważ korzystają z tych samych zasobów. Szybkość zegarów odgrywa także kluczową rolę, w dzisiejszych procesorach wyraża się ją w GHz. Określa ona, ile rozkazów może obsłużyć procesor w ciągu sekundy.

Pierwsze procesory posiadały tylko i wyłącznie jeden rdzeń. Aktualnie w większości, mikroprocesory są wielordzeniowe. Można powiedzieć, że dzięki temu na jednym sprzęcie posiadamy kilka oddzielnych procesorów. Współcześnie procesory w komputerach osobistych zazwyczaj posiadają od 2 do nawet 32 rdzeni.

### 2.3.1 Jednostka arytmetyczno-logiczna(ALU)

Jednostka arytmetyczno-logiczna (ALU) to układ cyfrowy służący do wykonywania operacji arytmetycznych oraz logicznych pomiędzy dwoma liczbami. Jest podstawowym blokiem procesora i jest wykorzystywany praktycznie zawsze przez resztę elementów CPU. Jak sama nazwa wskazuje jednostka składa się z dwóch części - arytmetycznej oraz logicznej. Część arytmetyczna zajmuje się takimi operacjami jak odejmowanie czy dodawanie. Za to część logiczna pozwala na zastosowanie operacji takich jak Ex-Or pomiędzy dwoma liczbami. Blok ALU może także wykonywać operacje jednoargumentowe – negacje bitów, przesunięcia bitowe czy nawet inkrementacje. Najczęściej ALU posiada dwa wejścia oraz jedno wyjście wynikowe. Warto zaznaczyć, że niektóre operacje arytmetyczne takie jak np. Dzielenie, jest droższe i trudniejsze w implementacji niż dodawanie.



Rysunek 7: Typowy symbol - ALU

Gdzie:

A i B - Operandy;

R - Wyjście;

F - Wejście z jednostki kontrolnej

D - Status wyjścia

Pierwotne procesory zawierały tylko i wyłącznie jedno ALU. Aktualnie architektura pozwala na implementację kilku bloków w procesorze. Dzięki temu jednostki mogą wykonywać różne instrukcje w jednym czasie. Często także są to dwa różne typy jednostek, niektóre z nich są precyzowane na określone zadanie np. Mnożenie. Wiele typów innych urządzeń elektronicznych niż komputer wykorzystuje miniaturowe wersje ALU. Najbliższym przykładem może być zegarek elektroniczny, który inkrementuje sekundy.

### 2.3.2 Jednostka sterująca

Jednostka sterująca jest częścią procesora która kieruje instrukcjami wykonywanymi przez CPU urządzenia. Pobiera informacje z pamięci komputera oraz urządzeń wejścia/wyjścia a następnie przekształca odpowiednio sygnały, tak aby przekazać je dalej procesorowi, który następnie wykonuje dane zadanie. Blok jednostki sterującej jest zaprojektowany w taki sposób, że wykonuje rozkazy i “zarządza” różnymi elementami. Posiada różne funkcje, które są wymagane do prawidłowego funkcjonowania procesora. Sama sekcja sterującą także ściśle związana jest z ALU, ponieważ kontroluje jej działanie, oraz także innych jednostek wykonawczych. Warto nadmienić także, że obsługuje wiele zadań takich jak pobieranie, dekodowanie czy przechowywanie wyników. Służy do interpretacji rezultatów oraz steruje przepływami danych wewnątrz procesora.

Można rozróżnić dwa typy budowy jednostki sterującej:

- Przewodowa jednostka sterująca
- Mikroprogramowalna jednostka sterująca

Przewodowa jednostka sterująca jest skonstruowana w taki sposób, że układ logiczny może generować sygnały sterujące bez zmiany struktury układu. Dzięki tej metodzie procesor otrzymuje dane które nie mogą być modyfikowane. Rekordy zostają przesłane do dekodera, który konwertuje informacje po czym powstają sygnały wyjściowe. Następnie przekazywane są do generatora macierzy który tworzy sygnały sterujące do wykonania określonego programu.

Mikroprogramowalna jednostka sterująca współgra wraz z pamięcią urządzenia. Działa na zasadzie przechowywania sygnałów sterujących. Dekodowanie danej informacji odbywa się w trakcie wykonywania danego programu. Budowa tej jednostki jak sama nazwa wskazuje, realizuje mikrooperacje, które wykonuje się w celu realizacji mikroinstrukcji.



### 2.3.3 Zespół rejestrów

Zespół rejestrów jest pamięcią, z której korzysta procesor. Przechowywane są w nim niewielkie dane, najczęściej o rozmiarze od 4 do 128 bitów. W hierarchii samych pamięci plasuje się na samym szczycie, ponieważ jest najszybszą możliwą drogą do komunikacji z mikroprocesorem. Może przechowywać informacje o instrukcjach, adresach pamięci, sekwencjach bitów lub pojedynczych znakach. Większość procesorów wykonuje operacje na tym typie danych przenosząc je bezpośrednio z pamięci urządzenia. Po zakończonej pracy zwraca wyniki do poprzedniego obszaru i opróżnia miejsce w rejestrze. Zespół rejestrów jest wymagany w procesorze, ponieważ, dzięki niemu wszystkie dane które tam trafiają mogą być sprawnie manipulowane.

Dwa najważniejsze rodzaje rejestrów to:

- Rejestr danych
- Rejestr adresowy

Rejestry danych przechowuje informacje o argumentach, wynikach obliczeń, itd. składowane są tam rekordy całkowitoliczbowe.

Rejestr adresowy przechowują informacje o adresach pamięci, dodatkowo służą do obliczania adresów następnych instrukcji które są wykonywane sekwencyjnie.

Tablica 8: Najczęściej wykorzystywane rejestry

<b>Rejestr</b>	<b>Symbol</b>	<b>Ilość bitów</b>	<b>Funkcja</b>
Rejestr danych	DR	16	Dane całkowitoliczbowe
Rejestr adresowy	AR	12	Adres pamięci
Rejestr wejściowy	INPR	8	Znak wejściowy
Rejestr wyjściowy	OUTR	8	Znak wyjściowy
Licznik programu	PC	12	Adres instrukcji
Rejestr tymczasowy	TR	16	Dane tymczasowe
Rejestr instrukcji	IR	16	Kod instrukcji
Akumulator	AC	16	Rejestr procesora

## 2.4 Pamięć

Pamięć to fizyczne urządzenie, które może przechowywać dane tymczasowe. Jest to narzędzie, które wykorzystuje układy scalone. Używa się jej w oprogramowaniach oraz systemach operacyjnych. Można ją podzielić na dwa typy: lotną oraz nielotną

- Pamięć lotna przechowuje informacje, które po wyłączeniu jednostki tracą swoją zawartość. Przykładem takiej pamięci może być RAM w komputerze. Używa się ich, ponieważ są bardzo szybkie, w porównaniu do pamięci stałych.
- Pamięć nielotna z drugiej strony zapisuje swoje dane nawet po wyłączeniu zasilania. Często jest nazywana NVRAM, przykładem może być pamięć EPROM.

Zawartość pamięci może być różna - przechowywane są w niej informacje wejściowe, wyjściowe, wyniki czy instrukcje. Podstawową jednostką jest bit i to on reprezentuje określone dane. Pamięć tą można scharakteryzować na podstawie dwóch czynników - pojemności oraz prędkości. Pierwsze z nich określa, ile danych może przechowywać dana jednostka, drugie zaś, mówi o czasie dostępu pomiędzy żądaniami odczytu i zapisu. Często pamięć pierwotna jest mylona z pamięcią wtórną, ponieważ pamięć jako pojęcie jest tożsame. Pamięć wtórna inaczej też nazywana jako masowa odnosi się do dysków twardych np. HDD. Informacje w takich jednostkach są nielotne. Różnica pomiędzy tymi pamięciami nie wynika tylko z tego jak są przechowywane dane. Zazwyczaj komputery osobiste posiadają mniej pamięci RAM niż pamięci masowej. Wynika to z faktu, że programy tymczasowe, nie potrzebują aż tak dużej pojemności, aby je uruchomić, czy na nich pracować. Za to potrzebują szybkiego dostępu i dlatego RAM odgrywa bardzo ważną rolę. Oczywiście aby wszystko funkcjonowało poprawnie w komputerze, wymagane są dwa typy pamięci. Działa to na takiej zasadzie, że pamięci komunikują się ze sobą. Informacje są pobierane z pamięci masowej i przekazywane do pamięci wtórnej.

Pamięć ROM (read-only memory) czyli tylko do odczytu, można podzielić na: PROM, EPROM oraz EEPROM.

PROM (programmable read-only memory) jest układem pamięci programowalnej, może zostać zaprogramowana tylko raz. Przykładem tej pamięci jest BIOS, czyli program używany przez procesor do uruchamiania komputera oraz systemu komputerowego.

EEPROM (electrically erasable programmable read-only memory) - jest układem pamięci programowalnej, różni się tym od PROM, że jej zawartość może być kasowana i ponownie programowana. Aktualnie jest używana w komputerach osobistych, zastąpiła starsze wersje PROM oraz EPROM

Pamięć RAM (random-access memory) czyli pamięć o swobodnym dostępie można podzielić na: EDO RAM, SDRAM, DDR RAM.

SDRAM jest pamięcią, która ma możliwość synchronizowania się z zegarem systemowym. Dzięki temu może pracować z większą szybkością.

Najczęściej używaną pamięcią w komputerach osobistych aktualnie jest DDR4. Jest rodzajem pamięci SDRAM. Została opracowana w 2014r. Prędkość pamięci DDR4 wynosi pomiędzy 800 a 1600MHz. Za to pojemność waha się od 4 do 128GB.

## 2.5 Urządzenia wejścia/wyjścia

Urządzenia wejścia-wyjścia pozwalają na komunikację użytkownika z komputerem lub innym urządzeniem elektronicznym. Dzięki nim możliwe jest wprowadzenie danych do komputera jak i ich wyprowadzanie. Urządzenia wejściowe przesyłają informacje, które następnie są przetwarzane w urządzeniu. Natomiast urządzenia wyjściowe pozwalają na wyświetlanie czy odtwarzanie tego co aktualnie wykonujemy. Większość urządzeń można podzielić na typowo wyjściowe lub wejściowe, ale oczywiście istnieją hybrydy, które wykonują obydwie czynności. Warto nadmienić także, że nie wszystkie urządzenia wejścia-wyjścia muszą być podłączone za pomocą kabli. Istnieją nowości, które pozwalają na komunikację poprzez fale radiowe lub podczerwień. Dodatkowo komputery posiadają takie urządzenia wewnątrz obudowy, przykładem może być płyta główna która posiada czujniki temperatury czy zasilania.

Urządzenia wejścia:

- Klawiatura, mysz komputerowa - przyjmują dane wejściowe od użytkownika, nie mogą przyjmować informacji ani ich odtwarzać.
- Mikrofon – odbiera fale dźwiękowe generowane przez źródło wejściowe a następnie wysyła je do komputera.
- Kamera internetowa – odbiera obraz a następnie wysyła je do komputera.

Urządzenia wyjścia:

- Monitor – odbiera dane z komputera, dzięki niemu mamy wgląd na to co robimy, wyświetla informacje w postaci tekstów i obrazów.
- Głośniki - odbierają dane dźwiękowe z komputera, pozwalają na odtwarzanie słyszalnych dźwięków użytkownikowi.

Urządzenia wejścia-wyjścia:

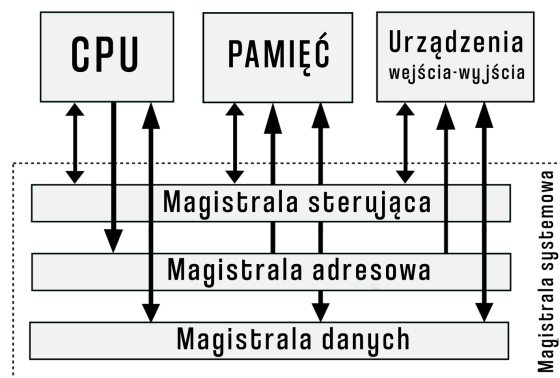
- Pamięć USB – odbiera lub zapisuje dane z komputera, dodatkowo nośnik wysyła dane do komputera.
- Napęd CD – Odbiera dane z komputera w celu skopiowania ich na dysk, dodatkowo wysyła dane do komputera.

## 2.6 Magistrale systemowe

Magistrala systemowa jest ścieżką składającą się z złączy oraz kabli. Pozwala na przesyłanie danych pomiędzy różnymi elementami komputera. Łączy procesor z pamięcią RAM, dyskiem twardym, napędami wejścia-wyjścia oraz innymi komponentami.

Magistrala systemowa posiada trzy podstawowe rodzaje szyn:

- Sterująca - przenosi sygnały sterujące, służy do zarządzania, określa rodzaj operacji.
- Adresowa - określa miejsce, gdzie powinny być przenoszone dane aktualnej operacji.
- Danych – pozwala na przenoszenie danych rzeczywistych, między procesorem, pamięcią oraz urządzeniami wejścia-wyjścia



Rysunek 8: Magistrala systemowa

Konstrukcja magistrali systemowej może być różna, zależy od potrzeb określonego procesora, systemu czy długości słowa danych. Przesył danych można wyrazić w bitach i jest zależny od ilości przewodów lub złączy znajdujących się w magistrali. Na przykład, jeśli mamy możliwość przesyłania jednocześnie 32 bitów to nasza magistrala posiada również 32 przewody lub złącza. Rozmiar i konstrukcja danej magistrali, zależy od szybkości oraz ilości przesyłanych danych w tym samym czasie. Można je także podzielić na typ oraz sposób prowadzonej transmisji.

Podział ze względu na typ prowadzonej transmisji:

- Równoległe - informacje są przenoszone równoległe przewodami lub ścieżkami. Przykładami takich magistral są złącza PCI, AGP czy FSB
- Szeregowe – informacje są przenoszone szeregowo kanałami. Przykładami takich magistral są złącza USB, RS-232 oraz PCI Express

Podział ze względu na sposób prowadzonej transmisji:

- Jednokierunkowe – dane przesyłane są tylko w jednym kierunku, transmisja odbywa się jednostronnie z nadajnika do odbiornika.
- Dwukierunkowe – dane przesyłane są w obu kierunkach, transmisja odbywa się w dwie strony z nadajnika do odbiornika lub z odbiornika do nadajnika. Możliwa jest także transmisja danych jednocześnie w dwie strony.

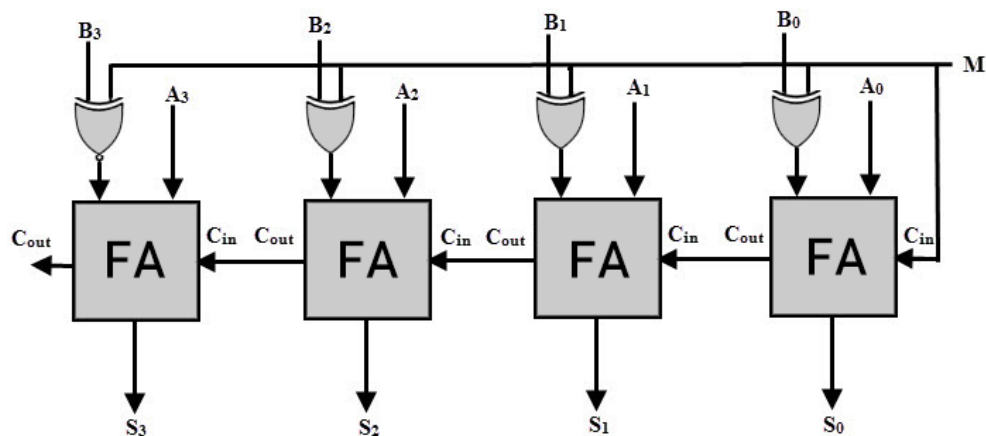
### 3 Działanie jednostki arytmetyczno-logicznej ALU

Działanie jednostki arytmetyczno-logicznej ALU można zaprezentować różnymi symulacjami czy aplikacjami. Najprostszym przykładem może być układ sumatora/subtraktora lub komparatora, który przedstawi nam działanie samej arytmetyki oraz logiki w jednostce. ALU działa w systemie zero-jedynkowym, dlatego każda z tych symulacji działa na podobnych schematach. Można powiedzieć, że są to systemy stworzone na bramkach logicznych. Oczywiście każdy z tych układów może być zrealizowany na różne sposoby. Istnieją symulacje graficzne oraz typowo tekstowe. Graficzne symulacje pozwalają na pokazanie jak dokładnie zbudowana jest dana jednostka. Można wtedy zobaczyć na jakich bramkach oraz blokach cyfrowych jest realizowany dany układ. Symulacje tekstowe pozwalają na sprawdzenie wyniku określonego działania w błyskawiczny sposób. Są to po prostu skutki danej operacji, którą aktualnie wykonujemy, przykładem może być operacja dodawania.

### 3.1 Układ sumatora/subtraktora

Układ sumatora/subtraktora pozwala na dodawanie oraz odejmowanie liczb binarnych. Są to dwie podstawowe operacje, które muszą być wykonywane w każdym cyfrowym komputerze. Instrukcja, która jest wykonywana związana jest z wartością binarną sygnału sterującego. Jest to linia, odpowiadająca za rodzaj operacji odejmowania lub dodawania. Aby ten sam układ mógł dodawać oraz odejmować liczby, należy także zastosować bramki Ex-Or do każdego pełnego sumatora. Układ może posiadać N wejść dla liczby A i B oraz N wynikowych wyjść. Aby dodatkowo można było wprowadzić na wejściu liczby ujemne, należy przyjąć odpowiedni system reprezentacji liczb. Najbardziej odpowiednim sposobem zapisu liczb całkowitych w tym przypadku jest kod uzupełnień do dwóch (ZU2).

Przykład sumatora/subtraktora 4 bitowego:



Rysunek 9: Sumator/Subtraktor - 4 bit

Gdzie:

A0, A1, A2, A3 - Liczba A;

B0, B1, B2, B3 - Liczba B;

M - Linia sterująca, określa operacje, dodawanie lub odejmowanie;

Cout - Bit przeniesienia;

Cin - Bit wejścia;

S0, S1, S2, S3 - Wyjście;

FA - Układ sumatora pełnego;



Pierwszy sumator pełny posiada wejście bezpośrednio powiązane z linią sterującą  $M$ , jest to wejście  $Cin$ . Najmniej znaczący bit liczby  $A$  -  $A_0$  jest bezpośrednio wprowadzany do FA. Trzecim wejściem jest najmniej znaczący bit liczby  $B$  -  $B_0$  który jest dodany z bramką logiczną Ex-Or. Sumator posiada także dwa wyjścia - bit przeniesienia ( $Cout$ ) oraz bit wynikowy ( $S_0$ ). Gdy  $M = 1$ , układ odejmuje liczby, a gdy  $M = 0$  układ dodaje liczby. Wartość liczby  $B$  jest powiązana z linią sterującą dzięki bramce logicznej Ex-Or. Jeśli przyjmiemy wartość 0 na linii sterującej, to każdy bit liczby  $B$  w stanie niskim posiada na wejściu FA wartość 0. W przeciwnym wypadku, jeśli bit liczby  $B$  jest w stanie wysokim, na wejściu FA otrzymamy wartość 1. Przyjmując wartość 1 na linii sterującej odwraca się nam sytuacja, wszystkie wejścia liczby  $B$  w stanie niskim, posiadają na wejściu FA wartość 1, dodatkowo bit wejścia  $Cin$  pierwszego sumatora pełnego zostaje uaktywniony.

Tablica 9: Tablica prawdy - FA

<b>Ai</b>	<b>Bi</b>	<b>Cin</b>	<b>Cout</b>	<b>Si</b>
0	0	0	0	0
0	0	1	0	1
0	1	0	0	1
0	1	1	1	0
1	0	0	0	1
1	0	1	1	0
1	1	0	1	0
1	1	1	1	1

### 3.2 Działanie układu ALU Simulator - EE3221 Digital Systems II

Układ ALU Simulator – EE3221 Digital Systems II jest aplikacją pozwalającą na symulacje działania jednostki arytmetyczno logicznej. Program został opracowany przez Prof. Richarda Tervo na wydziale Inżynierii Elektrycznej i Komputerowej w Kanadzie, Uniwersytetu Nowego Brunswiku. Aplikacja pozwala na wykonywanie operacji binarnych oraz logicznych na 16-bitowych wejściach. Wyjście ALU to także 16-bitowy wynik uzupełniony o różne bity (Z, C, N, V) w rejestrze flag.

- Z – Sprawdza czy operacja daje wynik zerowy; 0 – niezerowy, 1 – zerowy.
- C – Sprawdza czy wynik przekroczył zakres 16 bitów, flaga przeniesienia; 0 – brak przekroczenia zakresu, 1 – przekroczenie zakresu
- N – Sprawdza znak wyniku; 0 – nieujemny, 1 – ujemny.
- V – Sprawdza czy powstaje przepełnienie; 0 – brak przepełnienia, 1 - przepełnienie

Użytkownik może wprowadzić dwa operandy RB oraz RA w postaci szesnastu bitów lub czterech cyfr heksadecymalnych. Następnie mamy do wyboru 5 opcji: ADD, SUB, AND, OR, XOR.

ADD – Operacja dodawania, sumator.  
SUB – Operacja odejmowania, subtraktor.  
AND – Operacja na bramce logicznej AND.  
OR – Operacja na bramce logicznej OR.  
XOR – Operacja na bramce logicznej XOR.

Przykład:

Wprowadzamy 16 bitów dla wartości RB oraz RA. Wybieramy opcje która nas interesuje, w tym przypadku jest to dodawanie.

1. Wprowadzamy 16 bitów dla wartości RB oraz RA. Wybieramy opcje która nas interesuje, w tym przypadku jest to dodawanie.

RB 1001100110011001

RA 0101101110011101

☒ ADD ☐ SUB ☐ AND ☐ OR ☐ XOR

Compute

Rysunek 10: ALU Simulator - wprowadzanie wartości RB oraz RA

2. Otrzymujemy wynik w postaci 16 bitów oraz czterech cyfr decymalnych. Dodatkowo przy każdej z flag pojawia się odpowiednia wartość binarna.

RB	9999	1001100110011001		
RA	5B9D	0101101110011101	FLAGS	
	----	-----	V C N Z	
RC	F536	1111010100110110	0 0 1 0	

Rysunek 11: ALU Simulator - wynik operacji

3. Na koniec otrzymujemy także informacje co oznacza każda flaga.
- (a)  $Z = 0$ , ponieważ wynik jest niezerowy;
  - (b)  $N = 1$ , ponieważ wynik jest ujemny;
  - (c)  $C = 0$  (przeniesienie), ponieważ wynik dodawania nie przekroczył 16-bitów, 0 w tym przypadku oznacza, że operacja została zrealizowana w prawidłowy sposób.
  - (d)  $V = 0$  (przepełnienie), ponieważ suma liczb zawiera się w przedziale, 0 oznacza, że nie występuje overflow.

#### Flags

The Zero flag (Z) is **0** because the result is non-zero

The Sign flag (N) is **1** because the result appears negative (the MSB is 1)

The Carry flag (C) is **0** (good) because the addition result did not exceed 16-bits.  
This would be of interest if (RA,RB) represent unsigned integers (0..65535).

The Overflow flag (V) is **0** (good) because the sum of positive and negative numbers will always be in range.  
This would be of interest if (RA,RB) represent signed integers (-32768..+32767).

Rysunek 12: ALU Simulator - flagi

## 4 Programy symulujące działanie układów cyfrowych w komputerze

Programy symulujące działanie układów cyfrowych w komputerze pomagają zrozumieć, jak działa dana konfiguracja elementów. Dzięki nim możemy także projektować własne układy cyfrowe oraz symulować ich działanie. W internecie jest wiele dostępnych aplikacji, które służą właśnie do tych celów. Same programy można podzielić na dwa typy – graficzne oraz tekstowe. Programy graficzne zazwyczaj pozwalają na zbudowanie określonej siatki połączeń. Aplikacje tekstowe za to pokazują wynik operacji który otrzymalibyśmy budując odpowiedni układ.

## 4.1 Digital Works

Digital Works jest programem graficznym pozwalającym projektować układy cyfrowe i logiczne, z możliwością symulacji ich działania. Do tworzenia obwodów możemy wykorzystać bramki logiczne oraz proste przerzutniki. Dane wejściowe można uzyskać za pomocą generatora sekwencji, wejść interaktywnych, przełączników czy zegara. Dane wyjściowe mogą być wyświetlane za pomocą diod LED, diod 7-segmentowych czy urządzeń numerycznych. Program posiada także możliwość tworzenia makr, czyli bloków, w których znajduje się określony obwód logiczny. Można je dodawać do schematu jako integralną część bardziej złożonego projektu.

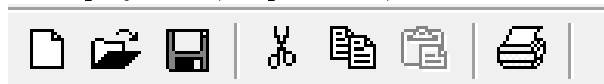
Program posiada 4 panele w których możemy wybierać odpowiednie opcje.

1. Jest to typowy panel, w którym możemy wykonywać różne funkcje, od tworzenia nowego projektu do usuwania odpowiednich elementów. Możemy także rozpocząć w nim symulowanie programu lub ustawić odpowiednią szybkość zegara.



Rysunek 13: Digital Works - Panel 1

2. Pozwala na szybki dostęp do najważniejszych funkcji takich jak: zapisywanie, kopiowanie, drukowanie.



Rysunek 14: Digital Works - Panel 2

3. Znajdują się w nim elementy układów elektronicznych. Dzięki nim możemy tworzyć projekt. Wybieramy je z panelu po czym umieszczamy w pustym polu programu.



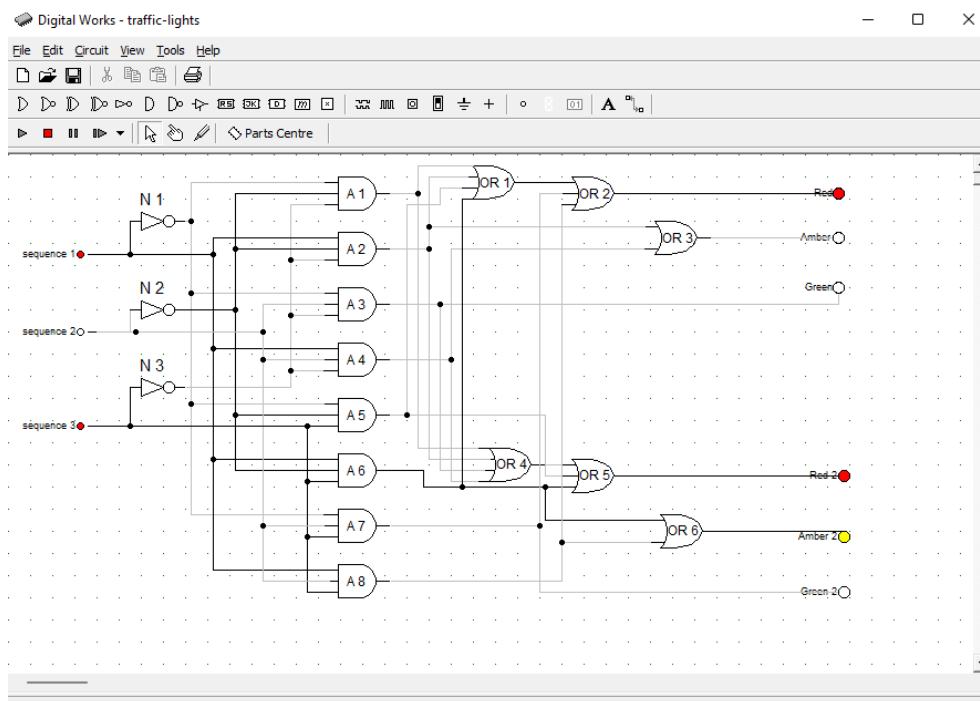
Rysunek 15: Digital Works - Panel 3

4. Najważniejsze skróty które mogą się przydać użytkownikowi takie jak np. Start, stop symulacji.



Rysunek 16: Digital Works - Panel 4

Przykład projektu: sygnalizacja świetlna



Rysunek 17: Digital Works

## 4.2 Cedar logic Simulator

Cedar Logic simulator został zaprojektowany przez profesorów Uniwersytetu Cadarville. Jest aplikacją graficzną pozwalającą na projektowanie układów logicznych oraz cyfrowych. Schematy elektroniczne w programie możemy budować za pomocą bramek logicznych, rejestrów, emulatorów, itp. Sama aplikacja dodatkowo pozwala na testowanie zbudowanych układów poprzez symulację.

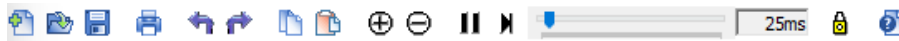
Program posiada 4 panele w których możemy wybierać odpowiednie opcje.

1. Jest to typowy panel, w którym posiadamy wiele opcji. Dzięki niemu możemy otwierać nowe projekty lub zapisywać ich stan w odpowiednim miejscu na dysku. Pozwala także na drukowanie oraz kopiowanie schematu. Dodatkowo opcja “help” pozwala na zapoznanie się z komponentami programu.



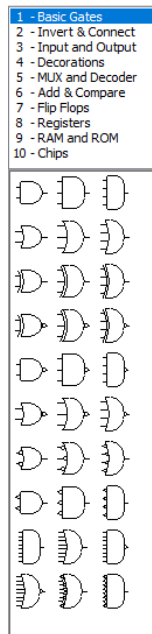
Rysunek 18: Cedar - Panel 1

2. Jest panelem szybkiego wyboru, posiada opcje takie jak: zapisywanie projektu, cofanie do poprzedniego stanu, kopiowanie, start oraz stop symulacji czy przybliżanie panelu projektowego.



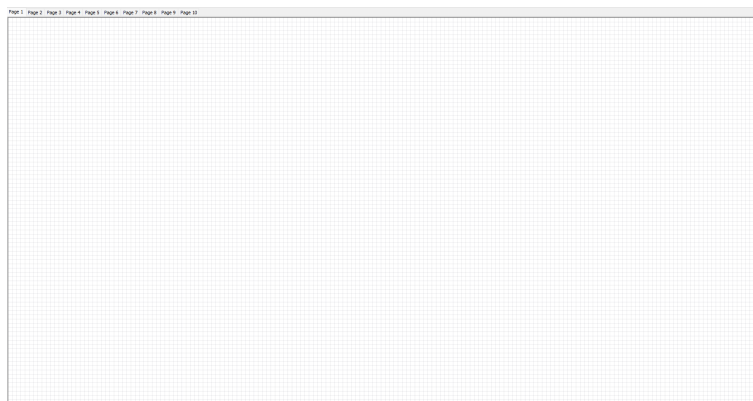
Rysunek 19: Cedar - Panel 2

3. Wybiermy w nim odpowiednie komponenty które chcemy dodać do naszego schematu.



Rysunek 20: Cedar - Panel 3

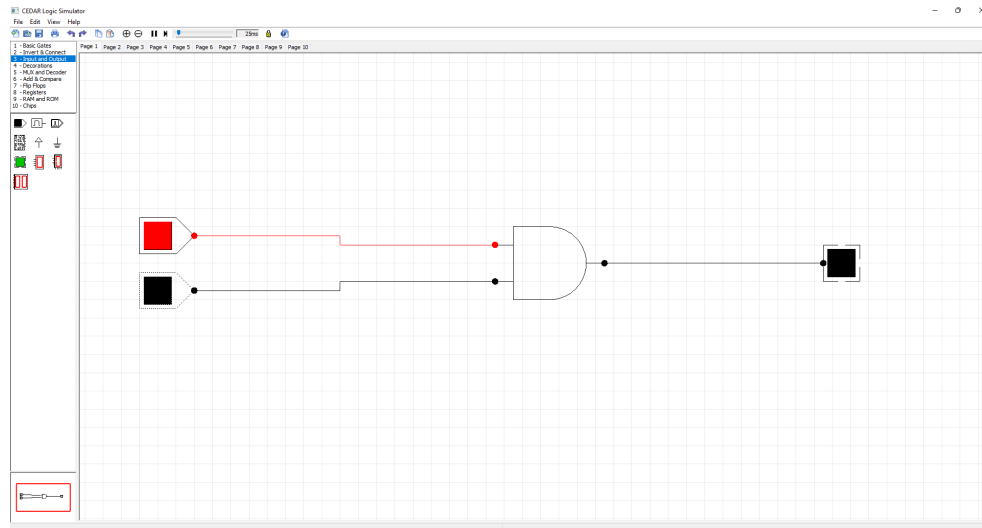
4. Tworzymy w nim układ elektroniczny przenosząc na pole odpowiednie komponenty. Panel posiada także możliwość przechodzenia na inną stronę, aby można było wykonywać kilka projektów równocześnie.



Rysunek 21: Cedar - Panel 4



## Przykład projektu: Bramka AND

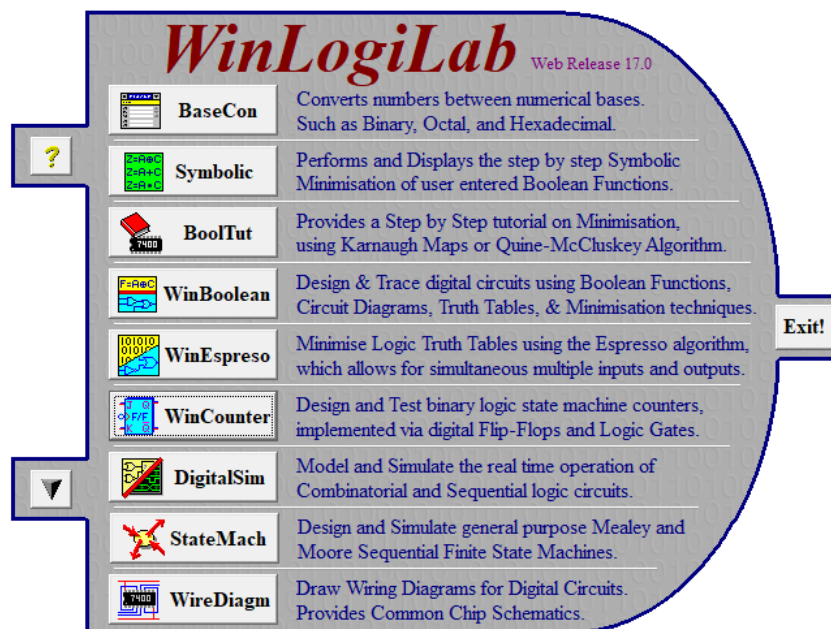


Rysunek 22: Cedar Logic simulator

### 4.3 Win Logi lab

WinLogiLab jest interaktywnym pakietem dydaktycznym, przeznaczonym do projektowania kombinacyjnych oraz sekwencyjnych układów logicznych. Aplikacja została zaprojektowana przez Charles'a Hacker'a - nauczyciela akademickiego. WinLogiLab składa się z samouczków, symulacji oraz podstawowych narzędzi wspomagających projektowanie jak i analizowanie układów elektornicznych.

Program posiada 9 podprogramów w których możemy wykonywać różne opcje.

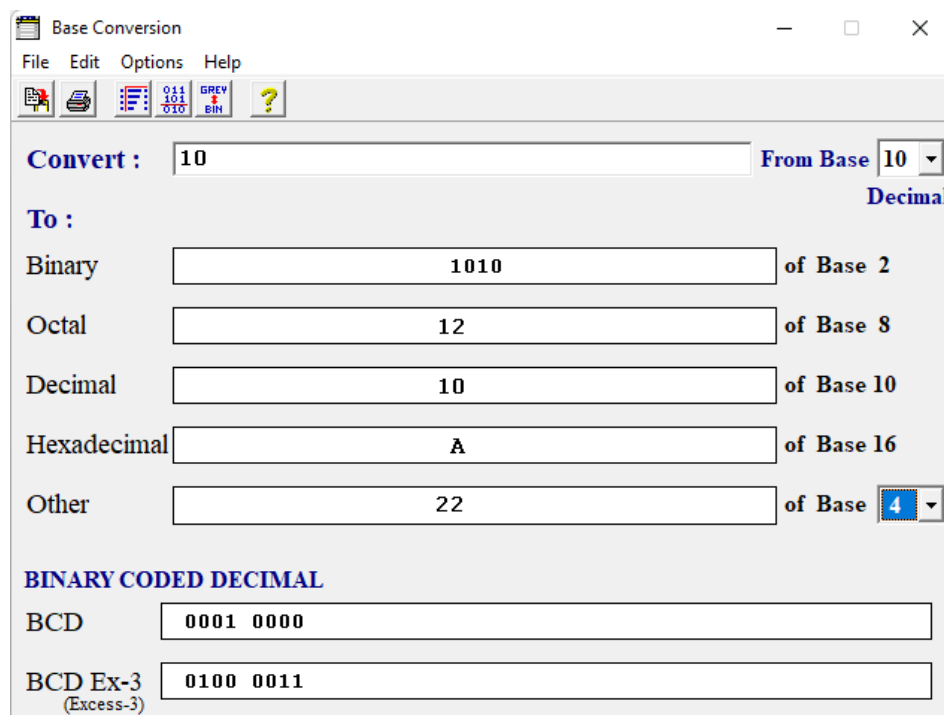


Rysunek 23: WinLogiLab

1. BaseCon - konwertowanie liczb na różne systemy numeryczne.
2. Symbolic - symulacja krok po kroku minimalizacji funkcji boolowskich wprowadzonych przez użytkownika.
3. BoolTut - symulacja krok po kroku minimalizacji tablicy prawdy za pomocą mapy Karnaugh lub algorytmu Qine-McCluskey.

4. WinBoolean - projektowanie oraz symulacja stworzonych obwodów elektronicznych, tablicy prawdy oraz minimalizacji z wykorzystaniem funkcji boolowskich.
5. WinEspresso - minimalizowanie tablicy prawdy za pomocą algorytmu Espresso.
6. WinCounter - projektowanie i testowanie maszyn liczących, zaprojektowanych przy pomocy bramek logicznych oraz przerzutników.
7. DigitalSim - projektowanie układu elektronicznego z możliwością symulacji.
8. StateMach - projektowanie oraz symulacja automatów skończonych.
9. WireDiagm - rysowanie diagramów układów cyfrowych.

Przykład podprogramu BaseCon: konwersja liczby dziesiętnej na inne systemy liczbowe.



**Base Conversion**

File Edit Options Help

Convert : 10 From Base 10

To :

Binary 1010 of Base 2

Octal 12 of Base 8

Decimal 10 of Base 10

Hexadecimal A of Base 16

Other 22 of Base 4

**BINARY CODED DECIMAL**

BCD 0001 0000

BCD Ex-3 (Excess-3) 0100 0011

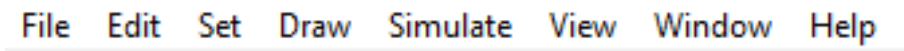
Rysunek 24: BaseCon

## 4.4 Multimedia Logic

MultimediaLogic jest aplikacją pozwalającą na rysowanie, modyfikowanie oraz symulację obwodów logicznych. Program został zaprojektowany przez Petera Robinson'a, Profesora Uniwersytetu w Cambridge na wydziale technologii komputerowych.

Program posiada 4 panele w których możemy wybierać odpowiednie opcje.

1. Typowy panel, w którym posiadamy wiele opcji. Dzięki niemu możemy otwierać nowe projekty lub zapisywać ich stan w odpowiednim miejscu na dysku. Pozwala także na drukowanie schematu, rozpoczęcie symulacji czy wybranie odpowiedniego komponentu.



Rysunek 25: MultimediaLogic - Panel 1

2. Panel szybkiego wyboru, posiada opcje takie jak: zapisywanie projektu, tworzenie nowego projektu, start oraz stop symulacji czy przybliżanie panelu projektowego.

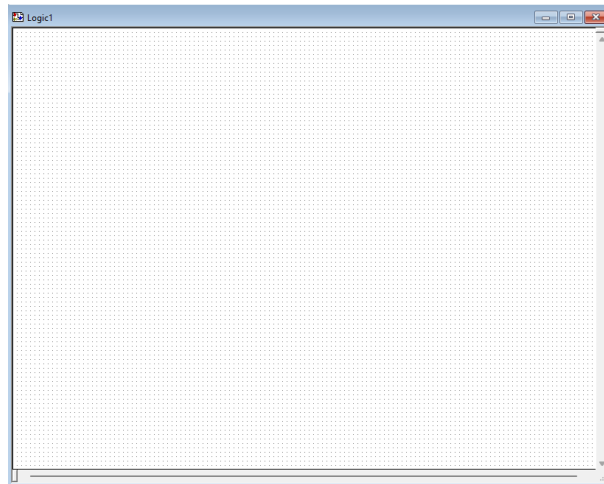


Rysunek 26: MultimediaLogic - Panel 2

3. Paleta różnych najpotrzebniejszych komponentów oraz funkcji.

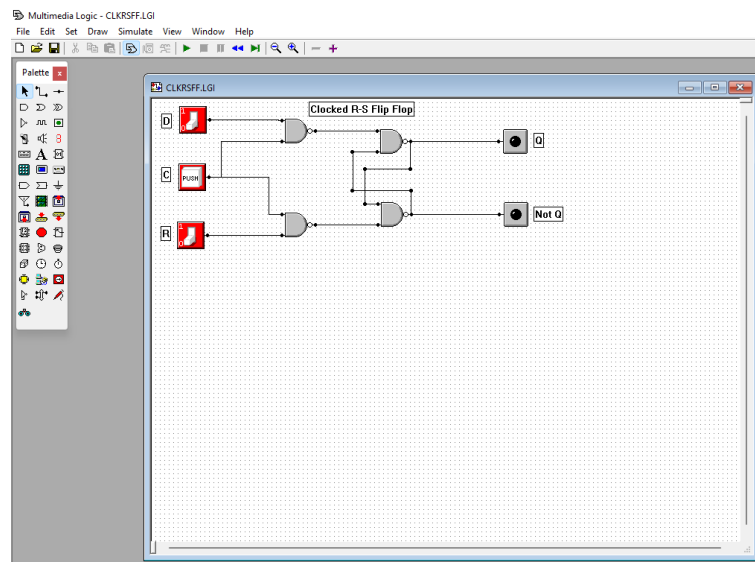


4. Panel projektowy, w którym tworzymy układy elektroniczne, przenosząc odpowiednie komponenty na wyznaczone do tego pole.



Rysunek 28: MultimediaLogic - Panel 4

Przykład projektu: Clocked R-S Flip Flop



Rysunek 29: MultimediaLogic - Program

## 4.5 Logisim

Logisim jest programem pozwalającym na projektowanie oraz symulowanie cyfrowych obwodów logicznych. Aplikacja wykorzystywana jest głównie przez studentów w celach edukacyjnych.

Program posiada 4 panele w których możemy wybierać odpowiednie opcje.

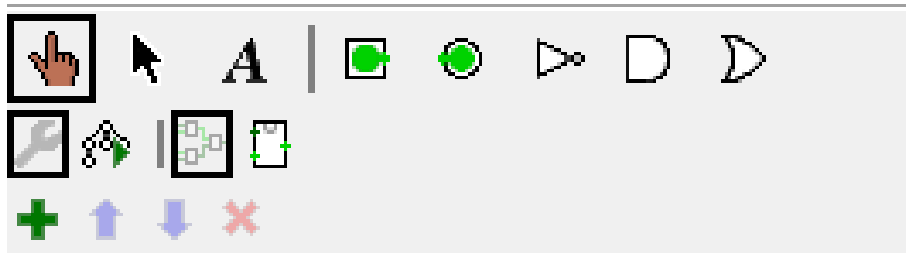
1. Typowy panel, w którym posiadamy wiele opcji. Dzięki niemu możemy otwierać nowe projekty lub zapisywać ich stan w odpowiednim miejscu na dysku. Pozwala także na drukowanie schematu, rozpoczęcie symulacji lub dodanie odpowiedniego komponentu na panel projektowy. Dodatkowo dzięki opcji "help" możemy otworzyć samouczek programu.

**File Edit Project Simulate Window Help**

---

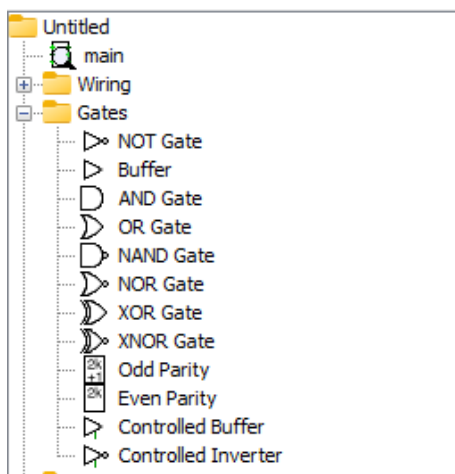
Rysunek 30: Logisim - Panel 1

2. Panel szybkiego wyboru, posiada najpotrzebniejsze funkcje oraz komponenty potrzebne do budowy schematu elektronicznego.



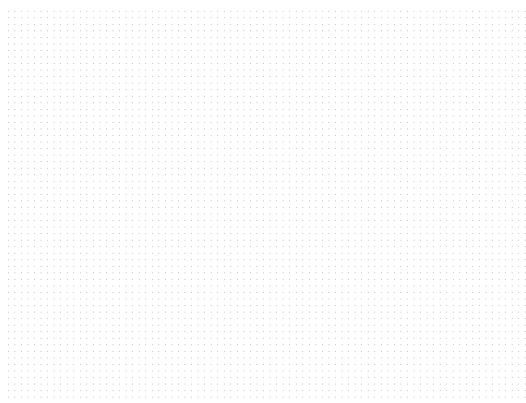
Rysunek 31: Logisim - Panel 2

3. Wybieramy w nim odpowiednie komponenty do naszego projektu, które chcemy przenieść na panel projektowy. Znajdują się w nim moduły takie jak: bramki logiczne, urządzenia wejścia wyjścia czy proste układy kombinacyjne.



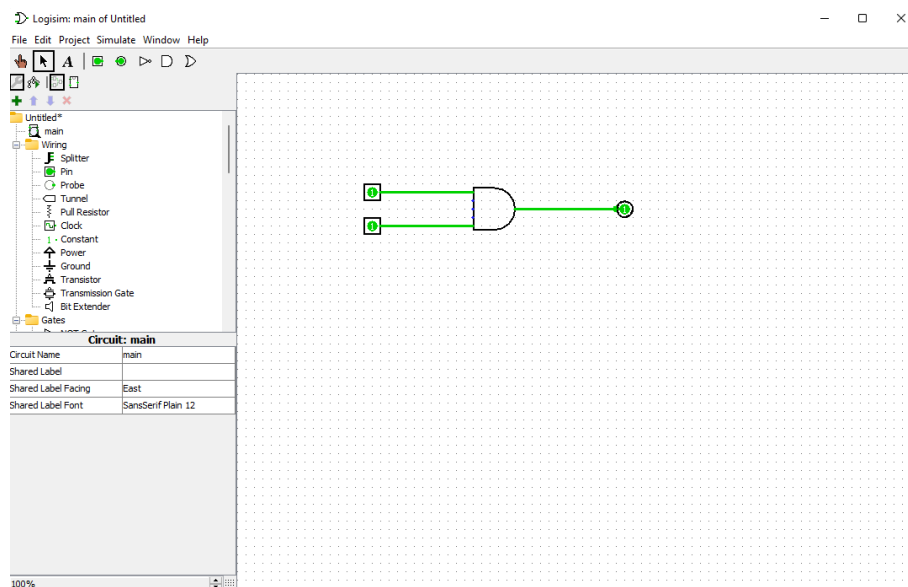
Rysunek 32: Logisim - Panel 3

4. Panel projektowy, w którym tworzymy układy elektroniczne, przenosząc odpowiednie komponenty na wyznaczone do tego pole.



Rysunek 33: Logisim - Panel 4

## Przykład projektu: Bramka AND



Rysunek 34: Logisim - Program



## 5 Technologie informatyczne wykorzystywane przy budowie aplikacji symulujących działanie układów cyfrowych

### 5.1 C#

## 5.2 Adobe Photoshop

- 6 Projekt i realizacja aplikacji symulującej działanie sumatora/subtraktora (Add Sub)
- 6.1 Wymagania funkcjonalne i нефункционалне aplikacji

## 6.2 Diagram przypadków użycia (DPU)

### 6.3 Budowa modułowa aplikacji (Add Sub)

## 6.4 Testowanie aplikacji

## 7 Podręcznik użytkownika aplikacji

## 8 Podsumowanie



## 9 Bibliografia

- [1] Skorupski, A., 2000. Podstawy budowy i działania komputerów. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności.
- [2] [https://pl.wikipedia.org/wiki/John\\_von\\_Neumann](https://pl.wikipedia.org/wiki/John_von_Neumann)
- [3] <https://budowakomputera.manifo.com/model-von-neumanna>
- [4] <https://www.bbc.co.uk/bitesize/guides/zhppfcw/revision/3>
- [5] <http://zsedabrowa.edu.pl/wp-content/uploads/2016/10/logiczny-model-komputera.pdf>
- [6] <http://www.korepetycjenowysacz.edu.pl/operacje-arytmetyczne-systemie-binarnym/>
- [7] <https://www.math.edu.pl/system-pozycyjny>
- [8] <https://botland.com.pl/blog/bramki-logiczne-jak-to-dziala/>
- [9] <https://whatis.techtarget.com/definition/processor>
- [10] <https://www.digitaltrends.com/computing/what-is-a-cpu/>
- [11] <https://www.computerhope.com/jargon/c/contunit.htm>
- [12] <https://www.geeksforgeeks.org/introduction-of-control-unit-and-its-design/>

## 10 Spis tablic/rysunków

### Spis tablic

1	Schemat dodawania liczb binarnych . . . . .	5
2	Przykład dodawania liczb binarnych . . . . .	5
3	Wartości dodatnie dla 4 bitów - ZU2 . . . . .	6
4	Wartości ujemne dla 4 bitów - ZU2 . . . . .	6
5	Dodawanie liczb ZU2 - overflow . . . . .	7
6	Schemat - pozycyjne sysetmy liczbowe . . . . .	8
7	Tabela prawdy - bramki logiczne . . . . .	12
8	Najczęściej wykorzystywane rejestry . . . . .	16
9	Tablica prawdy - FA . . . . .	24

### Spis rysunków

1	Bramka logiczna - NOT . . . . .	10
2	Bramka logiczna - AND . . . . .	11
3	Bramka logiczna - NAND . . . . .	11
4	Bramka logiczna - OR . . . . .	11
5	Bramka logiczna - NOR . . . . .	12
6	Bramka logiczna - XOR . . . . .	12
7	Typowy symbol - ALU . . . . .	14
8	Magistrala systemowa . . . . .	20
9	Sumator/Subtraktor - 4 bit . . . . .	23
10	ALU Simulator - wprowadzanie wartości RB oraz RA . . . . .	26
11	ALU Simulator - wynik operacji . . . . .	26
12	ALU Simulator - flagi . . . . .	26
13	Digital Works - Panel 1 . . . . .	28
14	Digital Works - Panel 2 . . . . .	28
15	Digital Works - Panel 3 . . . . .	28
16	Digital Works - Panel 4 . . . . .	29
17	Digital Works . . . . .	29
18	Cedar - Panel 1 . . . . .	30
19	Cedar - Panel 2 . . . . .	30
20	Cedar - Panel 3 . . . . .	31
21	Cedar - Panel 4 . . . . .	31
22	Cedar Logic simulator . . . . .	32
23	WinLogiLab . . . . .	33

24	BaseCon . . . . .	34
25	MultimediaLogic - Panel 1 . . . . .	35
26	MultimediaLogic - Panel 2 . . . . .	35
27	MultimediaLogic - Panel 3 . . . . .	35
28	MultimediaLogic - Panel 4 . . . . .	36
29	MultimediaLogic - Program . . . . .	36
30	Logisim - Panel 1 . . . . .	37
31	Logisim - Panel 2 . . . . .	37
32	Logisim - Panel 3 . . . . .	38
33	Logisim - Panel 4 . . . . .	38
34	Logisim - Program . . . . .	39