

LAB3: Liczniki i rejestry

I. CEL ĆWICZENIA

Celem ćwiczenia jest utrwalenie wiedzy dotyczącej budowy, działania i własności liczników i rejestrów cyfrowych oraz nauczenie ich projektowania z wykorzystaniem zarówno przerzutników i bramek logicznych jak i wybranych liczników scalonych. Dodatkowym celem jest nabycie umiejętności zastosowania liczników jako dzielników częstotliwości. Ponadto ćwiczenie daje możliwość zapoznania się z obsługą programu *Multisim* firmy *National Instruments*.

II. WPROWADZENIE

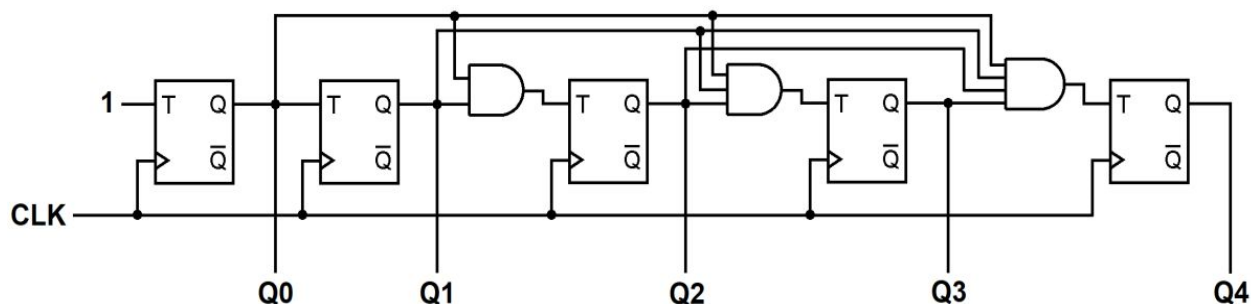
LICZNIKI

Liczniki służą do zliczania impulsów i pamiętania liczby ich wystąpienia. Najbardziej rozpowszechnionym elementem pamięciowym do budowy liczników jest synchroniczny przerzutnik T. Wynika to z jego zasady działania, czyli sterowanego przełączania wyjścia Q w stan przeciwny w zależności od stanu wejścia informacyjnego T. Ze względu na doprowadzenie sygnału zegarowego rozróżnia się dwa sposoby łączenia przerzutników:

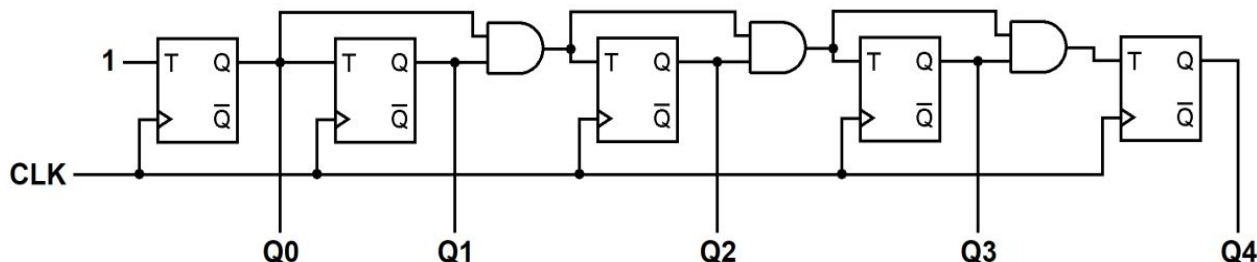
- równoległe (synchroniczne),
- szeregowe (asynchroniczne).

Poniższe schematy przedstawiają przykładowe liczniki pięciobitowe zliczające w górę w kodzie naturalnym binarnym, czyli w zakresie od 0 do 31. Jednak każdy schemat to inne rozwiązanie wynikające z różnych sposobów wyzwolenia kolejnego przerzutnika.

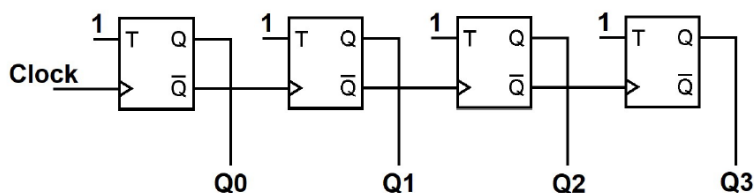
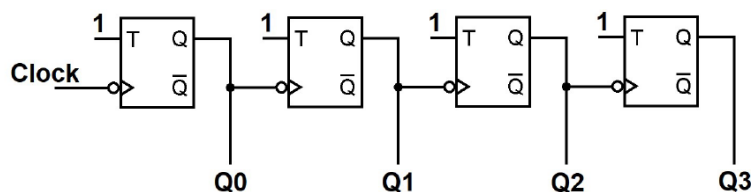
Licznik synchroniczny z przeniesieniami równoległymi – jednocześnie doprowadzenie sygnału zegarowego do wszystkich przerzutników, równoległe generowanie sygnału przeniesienia warunkującego przełączenie się kolejnego przerzutnika (każda bramka AND ma dołączone wszystkie wyjścia Q poprzedzających przerzutników).



Licznik synchroniczny z przeniesieniami szeregowymi – jednocześnie doprowadzenie sygnału zegarowego do wszystkich przerzutników, szeregowe generowanie sygnału przeniesienia warunkującego przełączenie się kolejnego przerzutnika (każda bramka AND ma dołączone wyjście Q poprzedniego przerzutnika oraz wyjście poprzedniej bramki AND).



Licznik asynchroniczny (szeregowy) – asynchroniczne przełączanie się przerzutników, zewnętrzny sygnał zegarowy doprowadzony tylko do „pierwszego” przerzutnika, czyli o najmniejszej wadze binarnej. Kolejne przerzutniki przełączają się pod wpływem zmiany sygnału Q (poprzedzającego przerzutnika) doprowadzonego do wejścia zegarowego. W zależności od zbocza wyzwalającego mogą być różne połączenia pomiędzy przerzutnikami jak pokazano na poniższych rysunkach.

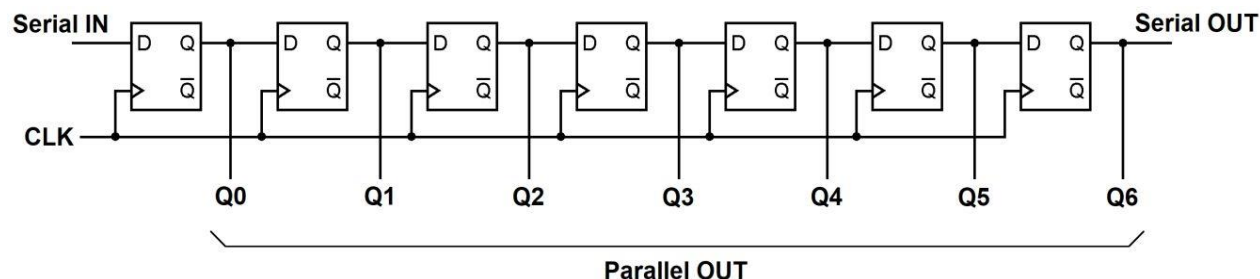


REJESTRY

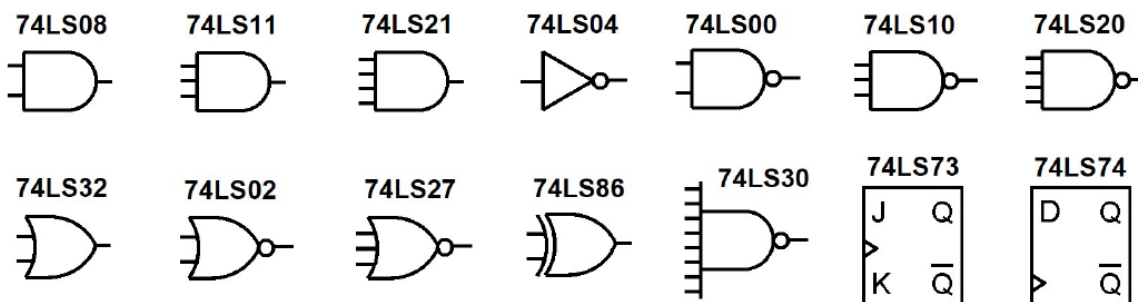
Rejestry służą do przechowywania informacji w urządzeniach cyfrowych. Elementami pamięciowymi rejestrów są przerzutniki. Ze względu na sposób wprowadzania i wyprowadzania informacji rozróżniamy rejestry:

- równoległe i szeregowe – w zależności od tego czy informacja jest przekazywana równoległe czy szeregowo bit po bicie,
- synchroniczne i asynchroniczne – w zależności od tego czy informacja jest wprowadzana poprzez wejścia informacyjne przerzutników (D, T, JK), czy poprzez wejścia asynchroniczne (Set, Reset).

Szczególnym przypadkiem rejestrów jest **rejestr przesuwający**, który ze względu na swoją budowę można zaliczyć do synchronicznych rejestrów szeregowo-równoległych i szeregowo-szeregowych. Przykład struktury siedmiobitowego rejestru tego typu, zbudowanego z użyciem synchronicznych przerzutników D, przedstawia poniższy rysunek.



OZNACZENIA ELEMENTÓW LOGICZNYCH W ŚRODOWISKU MULTISIM



III. REALIZACJA ĆWICZENIA LABORATORYJNEGO

STANOWISKO KOMPUTEROWE

Ćwiczenie wykonywane jest na stanowiskach komputerowych z zainstalowanym systemem operacyjnym Windows i środowiskiem projektowo-symulacyjnym *Multisim 14.2* firmy *National Instruments*.

WYKONANIE ĆWICZENIA

Pierwsza część ćwiczenia to projekt wstępny, który ma na celu zapoznanie studentów z obsługą środowiska *Multisim*. W drugiej części wykonywane są indywidualne zadania projektowe, określone przez prowadzącego ćwiczenie.

UWAGA! Wszystkie zadania projektowe należy zapisywać w następującej lokalizacji:

`C:\Labuprog\UC\Lab3\<nazwa_grupy>\`

Przed przystąpieniem do ćwiczenia należy utworzyć stosowny folder.

OPRACOWANIE WYNIKÓW

1. Sprawozdanie z ćwiczenia laboratoryjnego powinno zawierać zwięzłe opisy postawionych zadań projektowych wraz z rozwiązaniami, w szczególności z tablicami przejść i schematami zaprojektowanych układów.
2. Do sprawozdania należy dołączyć zrzuty ekranów z wynikami przeprowadzonych symulacji.
3. W sprawozdaniu należy również zawrzeć rozwiązania dodatkowych problemów projektowych postawionych przez prowadzącego ćwiczenie.

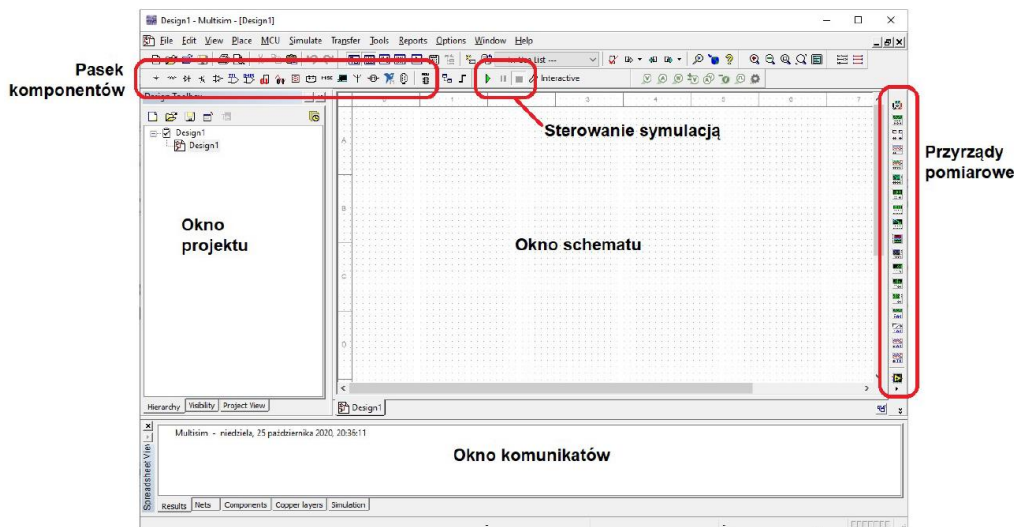
ZALICZENIE ĆWICZENIA

1. Zaliczenie kolokwium wstępnego oraz poprawne wykonanie zadań laboratoryjnych postawionych przez osobę prowadzącą ćwiczenie.
2. Złożenie sprawozdania, zawierającego zwięzły opis wykonanych zadań, wnioski i poprawne odpowiedzi na postawione pytania.

PROJEKT WSTĘPNY

Projektowanie układu elektronicznego w środowisku *Multisim* polega na wstawianiu gotowych elementów z biblioteki oraz łączeniu ich ze sobą za pomocą ścieżek połączeniowych. Działanie układu można analizować przy zastosowaniu diod, wyświetlaczy, sond pomiarowych lub przyrządów pomiarowych. W ramach projektu wstępnego przeprowadzimy symulację dwubitowego licznika synchronicznego, zwanego również licznikiem modulo 4. Będzie to układ zbudowany z użyciem dwóch przerzutników typu JK, zliczający wartości od 0 do 3 cyklicznie w przód (w górę).

Na wstępie uruchamiamy środowisko. Otwiera się okno główne jak na rysunku 1, na którym zaznaczono podstawowe elementy używane w procesie symulacji. Domyślnie tworzony jest projekt o nazwie **Design1**.



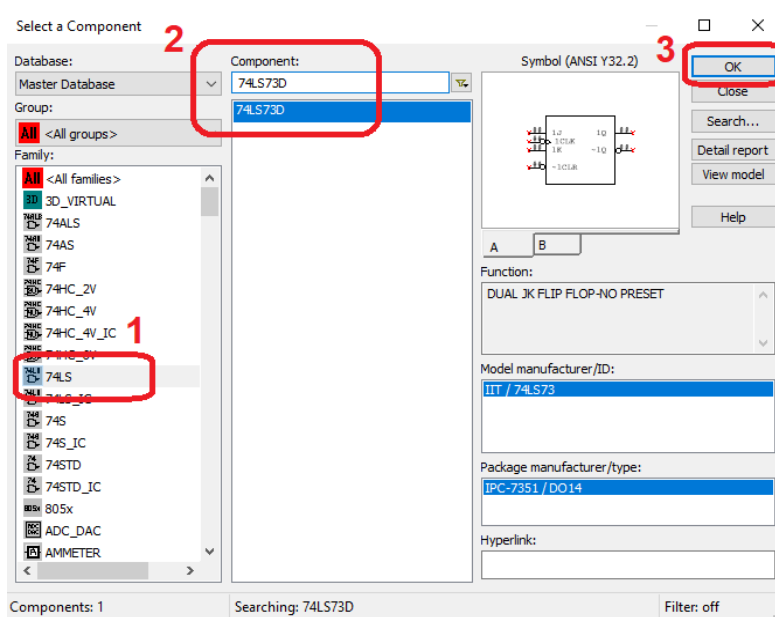
Rys. 1 Okno główne środowiska *Multisim*

Utworzonemu projektowi nadajemy nową nazwę, np. **samouczek**. W tym celu z paska menu wybieramy **File**→**Save** (Ctrl+S). Następnie w oknie dialogowym: wskazujemy lokalizację projektu (**patrz: wykonanie ćwiczenia**), wpisujemy nazwę docelową projektu (przyznajemy ją plikowi o rozszerzeniu **ms14**), sprawdzamy, czy wprowadzona nazwa jest prawidłowa i naciskamy **Zapisz**.

Aby narysować schemat układu, należy z paska menu programu głównego wybrać **Place**, a następnie **Component...** (Ctrl+W). Otwiera się okienko **Select a Component** (rys. 2), w którym:

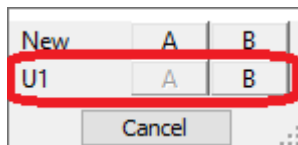
- w polu **Family**: wybieramy rodzinę cyfrowych układów scalonych **74LS**,
- w polu **Component**: wpisujemy symbol układu scalonego **74LS73D** (dwa przerzutniki typu JK wyzwalane zboczem opadającym sygnału zegarowego),
- naciskamy **OK**.

Zamyka się okienko komponentów.



Rys. 2 Okienko Select a Component z zaznaczonym układem scalonym 74LS73D

Domyślnie wracamy do okna schematu, w którym widzi się aktywny pasek wyboru przerzutników w układzie scalonym **74LS73D**. Wybieramy przerzutnik **A**. Wyświetla się symbol graficzny elementu. Poprzez jednokrotne kliknięcie lewym klawiszem myszki umieszczamy symbol na schemacie. Ponownie pojawia się pasek wyboru elementów układu **74LS73D**. Wybieramy przerzutnik **B** w wierszu **U1** (rys.3). Umieszczamy element po prawej stronie przerzutnika **A**. Zamykamy pasek poprzez **Cancel**. Środowisko *Multisim* domyślnie utrzymuje otwarte okienko **Select a Component**, zachęcając do umieszczania kolejnych elementów.



Rys. 3 Pasek wyboru elementów układu scalonego 74LS73D

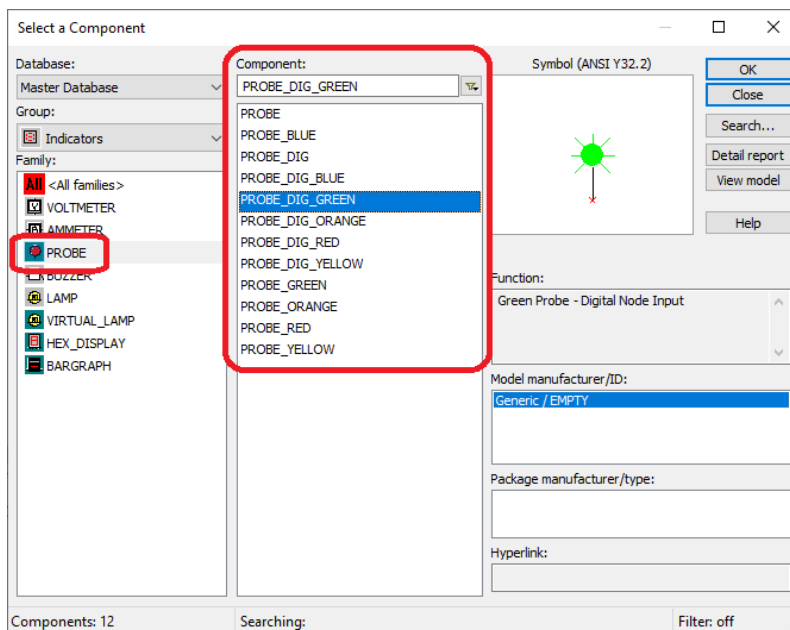
Do ustawiania stanów logicznych sygnałów wejściowych zastosujemy dwa przyciski. Jeden z przycisków podłączymy do wejść zegarowych przerzutników **A** i **B**. Drugi z przycisków zastosujemy do wejść CLR. (Clear – stan 0 powoduje asynchroniczne ustawienie stanu 0 na wyjściu Q). W okienku **Select a Component**, w polu **Group**: z rozwijanego menu wybieramy **Sources**. Następnie w polu **Family**: zaznaczamy **DIGITAL_SOURCES**. Pojawiają się komponenty, wybieramy **INTERACTIVE_DIGITAL_CONSTANT**. Na schemacie umieszczamy jeden taki element po lewej stronie przerzutnika **A**. Nazwą elementu jest **U2**. Pod symbolem elementu **U2** umieszczamy jeszcze drugi element, któremu symulator nadaje nazwę **U3**. Następnie nad symbolem umieszczamy komponent typu **DIGITAL_CONSTANT**. Nazwą komponentu jest **U4**.

W dalszej części zamiast elementów **U2** i **U3** jest mowa o przyciskach **U2** i **U3**.

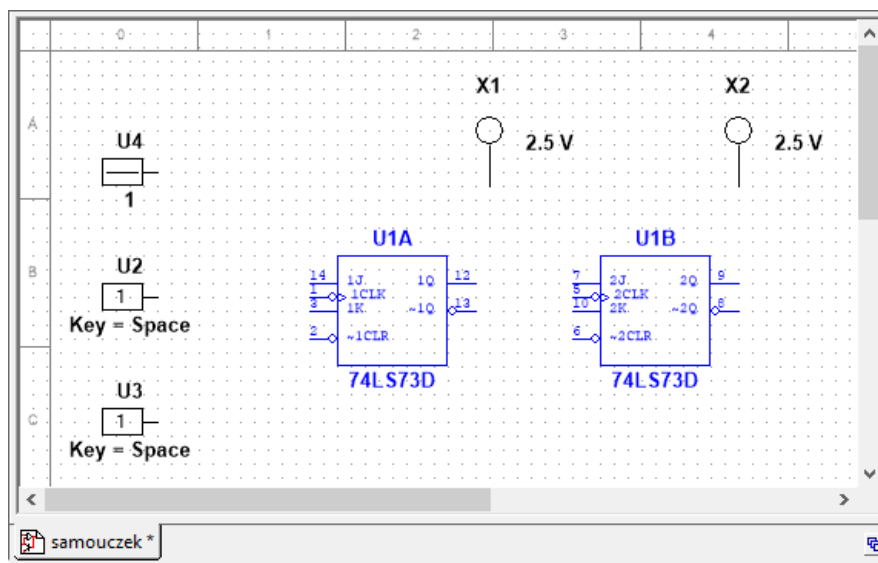
Do obserwacji stanów logicznych na wyjściach licznika służą wskaźniki stanów logicznych. Wybieramy **Indicators** w polu **Group** i zaznaczamy **PROBE** w polu **Family**. Następnie wybieramy jeden z poniższych komponentów (rys.4):

- **PROBE_DIG_BLUE** – wskaźnik w kolorze niebieskim,
- **PROBE_DIG_GREEN** – wskaźnik w kolorze zielonym,
- **PROBE_DIG_ORANGE** – wskaźnik w kolorze pomarańczowym,
- **PROBE_DIG_RED** – wskaźnik w kolorze czerwonym,
- **PROBE_DIG_YELLOW** – wskaźnik w kolorze żółtym.

Nad symbolem przerzutnika **A**, a następnie przerzutnika **B** umieszczamy po jednym symbolu wybranego wskaźnika, albo umieszczamy symbol jednego wskaźnika nad przerzutnikiem **A**, a następnie symbol drugiego nad przerzutnikiem **B**. Nazwa wskaźnika nad przerzutnikiem **A** to **X1**. Wskaźnik nad przerzutnikiem **B** przyjmuje nazwę **X2**. Zamykamy okienko **Select a Component** poprzez **Close**. Wszystkie elementy powinny być rozmieszczone jak na rysunku 5.

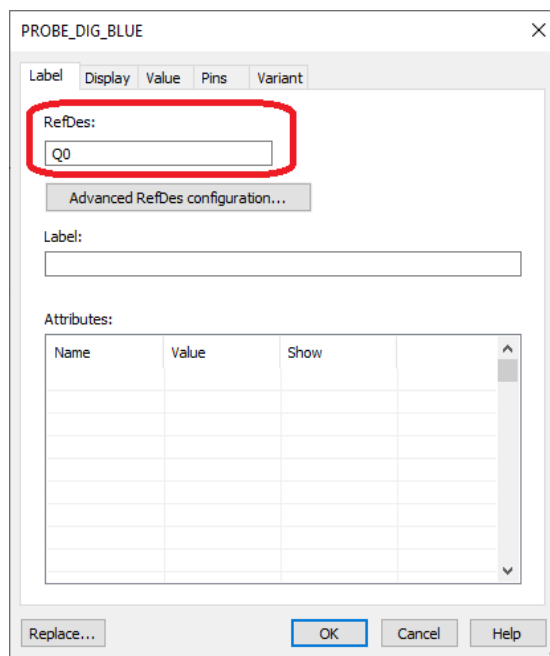


Rys. 4 Okienko Select a Component ze wskaźnikami stanów logicznych



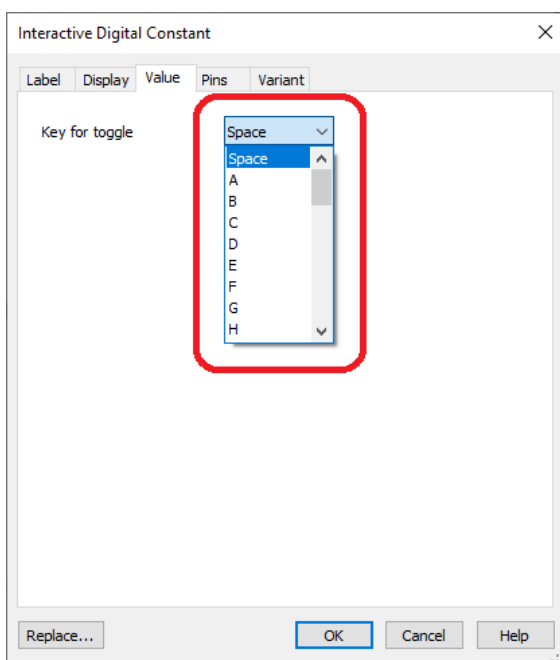
Rys. 5 Schemat z rozmieszczonymi przerzutnikami A i B (U1A i U1B), przyciskami U2 i U3, komponentem DIGITAL_CONSTANT (U4) oraz wskaźnikami stanów logicznych X1 i X2

Wskaźnikom stanów logicznych nadajemy nazwy wyjść licznika: **Q0** i **Q1**. Ustawiamy kursor na symbol wskaźnika **X1** i lewym klawiszem myszy klikamy dwukrotnie. Otwiera się okienko właściwości (rys.6) w którym w zakładce **Label** wpisujemy nazwę **Q0**. Naciskamy **OK** i powtarzamy opisane czynności dla wskaźnika **X2**, który nazywamy **Q1**.

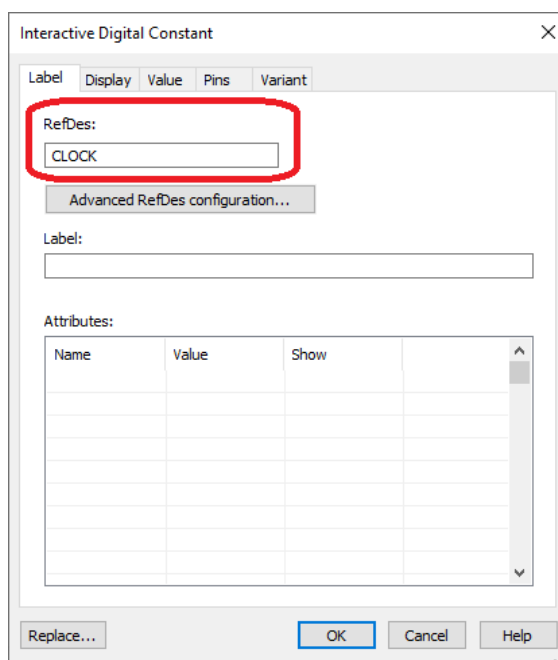


Rys. 6 Okienko właściwości wskaźnika stanów logicznych

Stany logiczne na wyjściach przycisków **U2** i **U3** są domyślnie przełączane klawiszem **Space** (spacja). Wybierzmy inne klawisze dla tych przycisków. Ustawiamy kursor na symbolu przycisku **U2** i lewym klawiszem myszy klikamy dwukrotnie. Otwiera się okienko **Interactive Digital Constant**, w którym: w zakładce **Value** z rozwijanego menu wybieramy **C** (rys.7). Następnie w zakładce **Label** wpisujemy nazwę **CLOCK** (rys.8). Naciskamy **OK**. Analogicznie postępujemy dla przycisku **U3**: wybieramy klawisz **R** i nadajemy nazwę **RESET**.



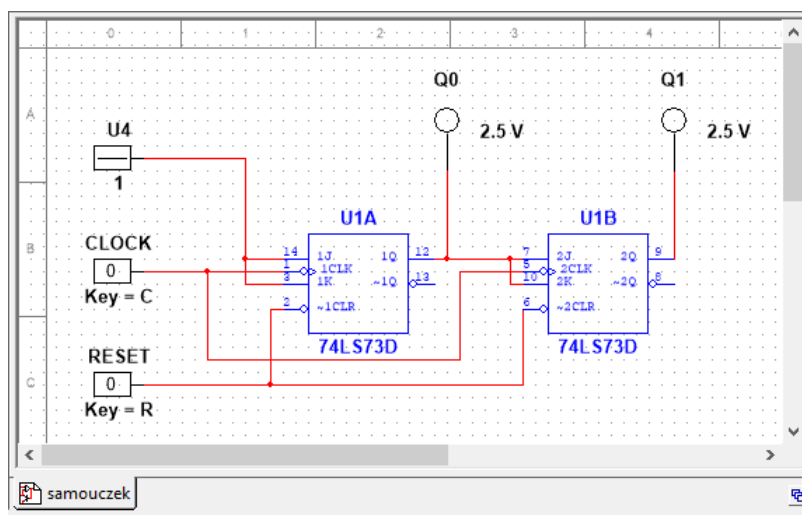
Rys. 7 Zakładka Value w okienku Interactive Digital Constant



Rys. 8 Zakładka Label w okienku Interactive Digital Constant

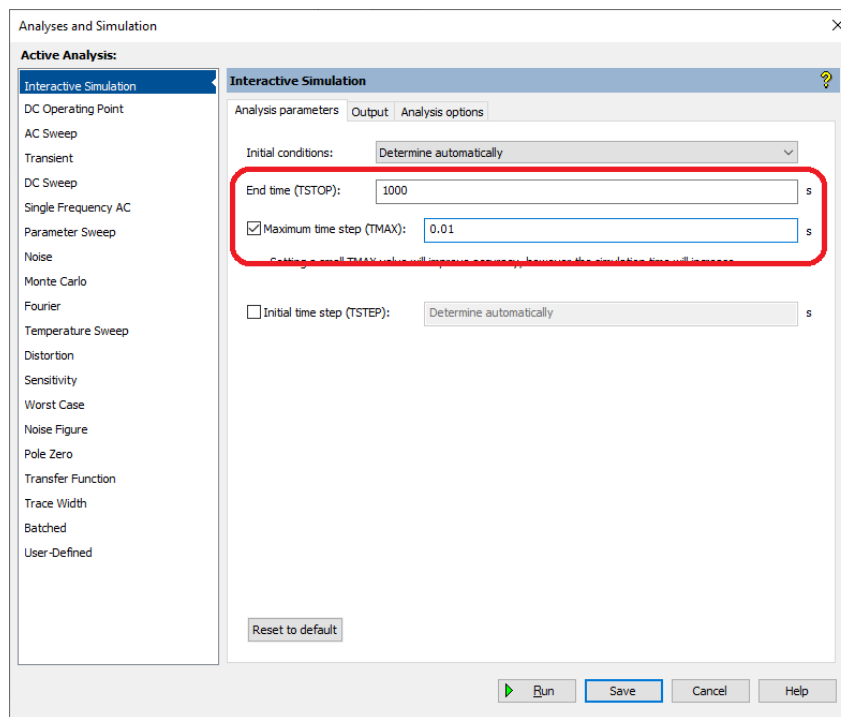
W celu poprowadzenia połączeń należy ustawić kursor na wybranej końcówce oraz kliknąć lewym klawiszem myszki. Następnie ustawić kursor na kolejnej końcówce i zakończyć rysowanie połączenia pojedynczym kliknięciem. Zostanie automatycznie poprowadzone połączenie, ale można modyfikować jego kształt. Usuwanie połączenia dokonujemy poprzez jego zaznaczenie i naciśnięcie **Delete** na klawiaturze. Zaniechanie rysowania to klawisz **Esc**. W przypadku zakończenia rysowania połączenia na innym połączeniu automatycznie wstawiany jest węzeł.

Tworzymy połączenia pomiędzy elementami (rys.9). Zapisujemy projekt **Ctrl+S** i uzyskujemy schemat licznika gotowy do symulacji.



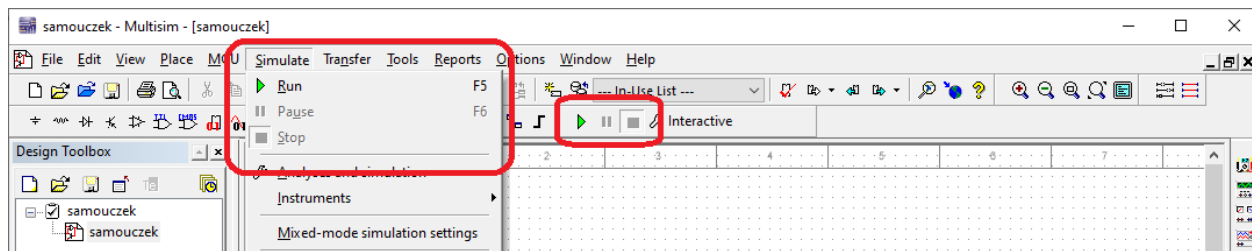
Rys. 9 Kompletny schemat dwubitowego licznika synchronicznego

Wymagane jest ustawienie parametrów symulacji przed jej uruchomieniem. W tym celu z menu programu głównego wybieramy **Simulate** → **Analyses and simulation**. Otwiera się okienko **Analyses and Simulation** (rys. 10), w którym wybieramy **Interactive Simulation**. Następnie w polu **End time (TSTOP)** wprowadzamy wartość 1000, zaznaczamy **Maximum time step (TMAX)** i wpisujemy wartość 0.01. Naciskamy **Save**. Takie ustawienia skrócą czas obliczeń.



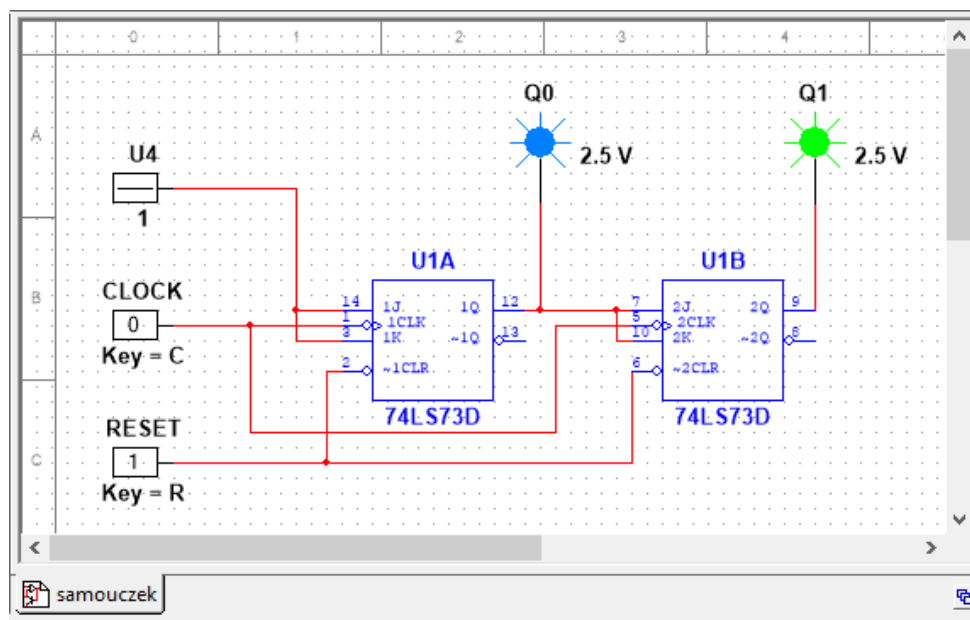
Rys. 10 Okienko Analyses and Simulation

Uruchomienia symulacji można dokonać z poziomu głównego okna środowiska *Multisim* poprzez **Simulate**→**Run** lub naciskając ikonę zielonego trójkąta na pasku (rys. 11). Zatrzymanie symulacji to ikona czerwonego kwadratu lub **Simulate**→**Stop**.



Rys. 11 Sposoby uruchamiania symulacji

Podczas symulacji wciskamy jednokrotnie klawisz **R**, aby na wyjściu przycisku **RESET** zmienić stan 0 na 1 (licznik nie jest kasowany). Następnie co najmniej kilka razy wciskamy klawisz **C** w celu naprzemiennej zmiany stanu logicznego na wyjściu przycisku **CLOCK**. W ten sposób generowane są kolejne zbocza sygnału zegarowego, w odpowiedzi na które obserwujemy zmiany stanów logicznych na wyjściach **Q0** i **Q1** licznika (rys.12).



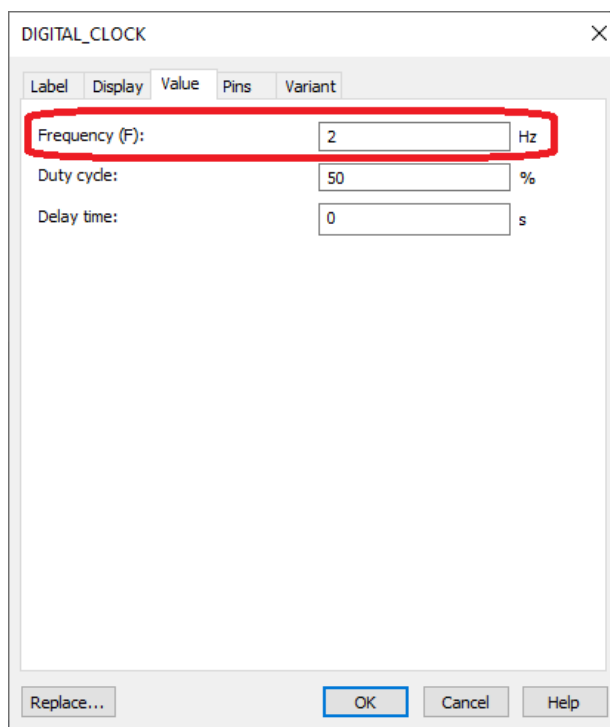
Rys. 12 Przykładowe stany logiczne na wyjściach dwubitowego licznika synchronicznego

Opcjonalnie zamiast przycisku **CLOCK** można użyć generatora sygnału zegarowego. Upewniamy się, czy symulacja jest zatrzymana, a następnie wskazujemy kursorem myszki na symbol przycisku **CLOCK**. Klikamy jednokrotnie lewym klawiszem myszy i naciskamy **Delete** na klawiaturze.

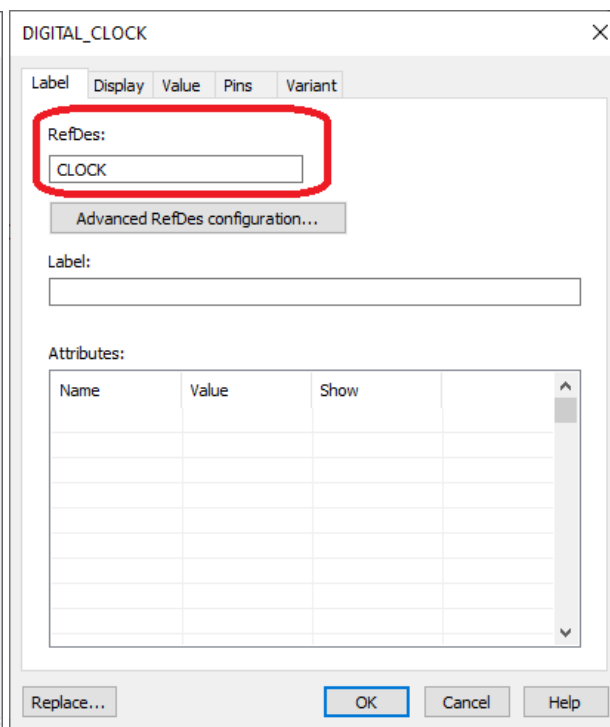
Następnie otwieramy okienko **Select a Component** (Ctrl+W), w którego polu **Group**: z rozwijanego menu wybieramy **Sources**. W polu **Family**: klikamy **DIGITAL_SOURCES**. Wybieramy **DIGITAL_CLOCK**. Na schemacie umieszczamy jeden taki element pomiędzy przyciskiem **RESET** i komponentem **U4**. Symulator przyznaje elementowi nazwę **U2**.

Ustawiamy kursor na symbolu elementu **U2** i klikamy jednokrotnie prawym klawiszem myszki. Z menu podręcznego wybieramy **Properties**. Otwiera się okienko **DIGITAL_CLOCK**, w którym w zakładce **Value** wprowadzamy wartość częstotliwości sygnału zegarowego równą **2 Hz** (rys.13). Następnie w zakładce **Label** wprowadzamy nazwę **CLOCK** (rys.14). Naciskamy **OK** i na schemacie podłączamy element do wejść zegarowych przerzutników. Zapisujemy projekt **Ctrl+S**. Uzyskujemy schemat licznika taki jak na rysunku 15.

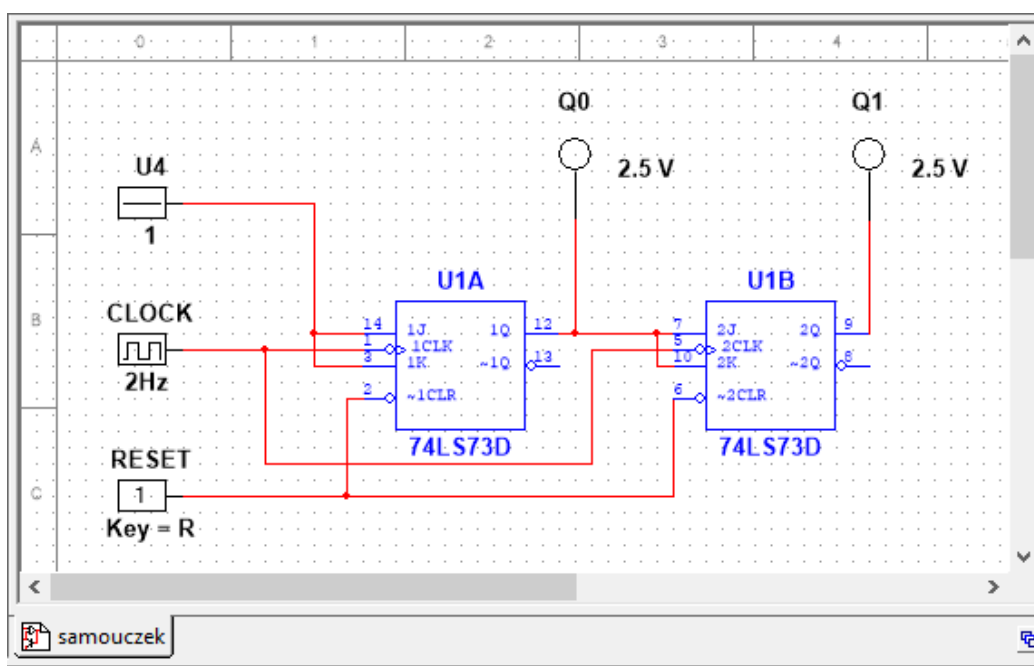
Uruchamiamy symulację. Tym razem obserwujemy autonomiczną zmianę stanów logicznych (RESET=1) lub stany 0 na wyjściach licznika (RESET=0).



Rys. 13 Zakładka Value w okienku DIGITAL_CLOCK



Rys. 14 Zakładka Label w okienku DIGITAL_CLOCK



WSKAZÓWKA #2

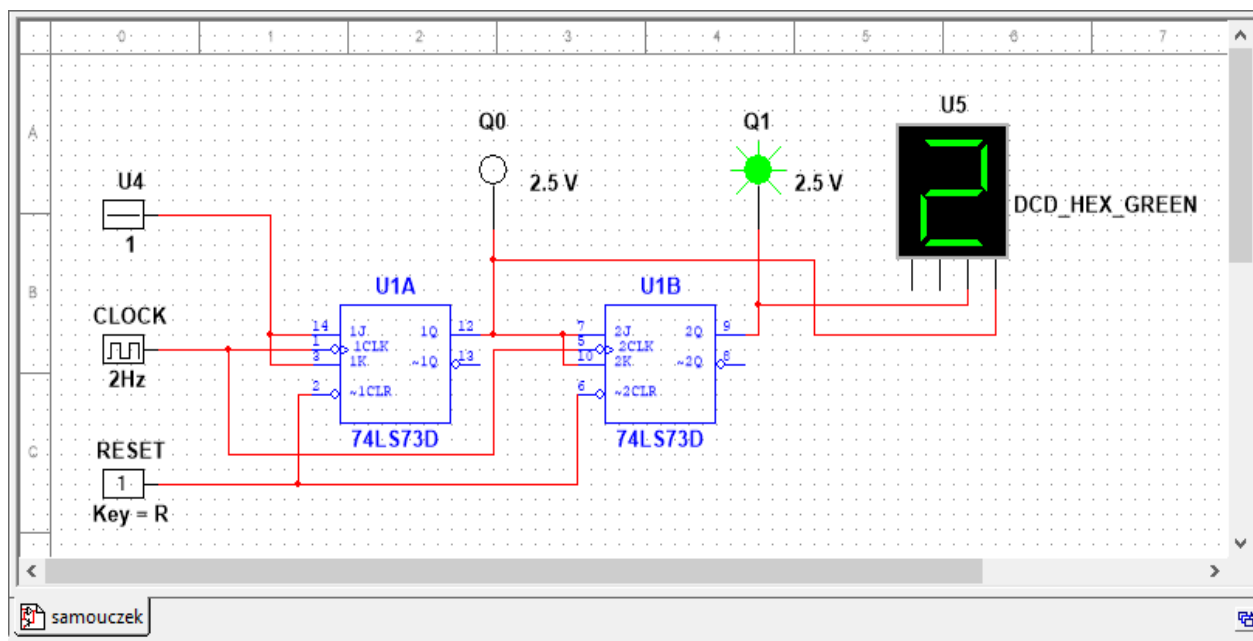
Po utworzeniu nowego projektu należy pamiętać o ustawieniu parametrów symulacji przed jej uruchomieniem.

WSKAZÓWKA #3

W realizowanych projektach można również zastosować wyświetlacze 7-segmentowe. W tym celu otwieramy okienko **Select a Component** (Ctrl+W). Następnie w polu **Group**: z rozwijanego menu wybieramy **Indicators**, w polu **Family**: zaznaczamy **HEX_DISPLAY**. Wybieramy jeden z dostępnych komponentów:

- **DCD_HEX** – wyświetlacz w kolorze czerwonym,
- **DCD_HEX_BLUE** – wyświetlacz w kolorze niebieskim,
- **DCD_HEX_GREEN** – wyświetlacz w kolorze zielonym,
- **DCD_HEX_ORANGE** – wyświetlacz w kolorze pomarańczowym,
- **DCD_HEX_YELLOW** – wyświetlacz w kolorze żółtym.

Każdy z komponentów zawiera cztery wyprowadzenia, którym przypisano odpowiednie wagi naturalnego kodu binarnego (NKB) w porządku malejącym od lewej do prawej strony. Stąd lewemu skrajnemu wyprowadzeniu odpowiada najbardziej znaczący bit (MSB), a prawemu skrajnemu wyprowadzeniu przypisuje się bit najmniej znaczący (LSB). Na rysunku 16 przedstawiony został sposób podłączenia wyświetlacza do wyjść dwubitowego licznika synchronicznego.



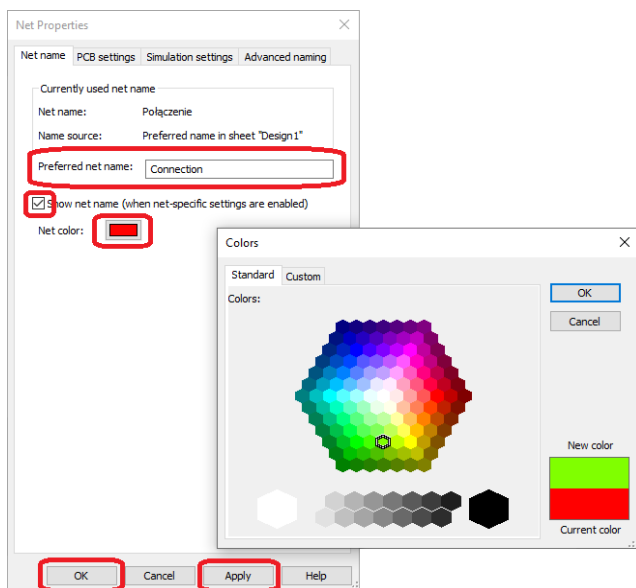
Rys. 16 Schemat dwubitowego licznika synchronicznego z wyświetlaczem 7-segmentowym

WSKAZÓWKA #4

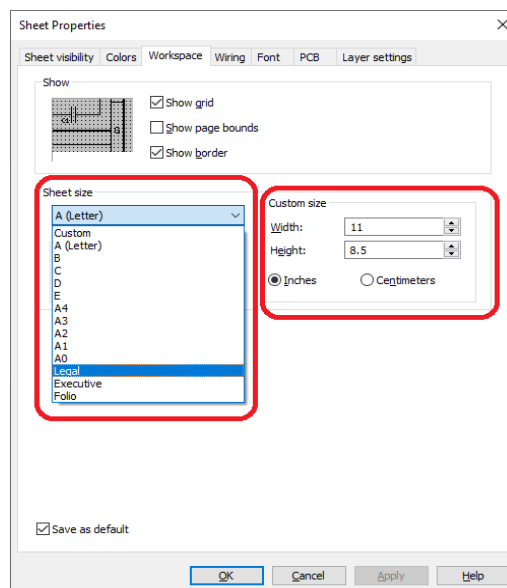
Na schemacie narysowanym połączeniom można nadawać nazwy lub zmieniać ich kolory. Należy wskazać kursorem połączenie i kliknąć dwukrotnie lewym klawiszem myszki. Otwiera się okienko **Net Properties** (rys. 17), w którym w zakładce **Net name**: wprowadzamy nazwę połączenia w polu **Preferred net name** i zaznaczamy **Show net name**. Zmiana koloru odbywa się poprzez naciśnięcie ikonki obok etykiety **Net color** i przybornik koloru, który jest wywołany. Naciskamy **Apply**, aby zatwierdzić zmiany, a następnie zamykamy okienko właściwości poprzez **OK**.

WSKAZÓWKA #5

W sytuacji za małej powierzchni obszaru edytora schematu można zmienić jej wielkość. Należy wskazać kursorem okno schematu i nacisnąć prawy klawisz myszki. Rozwija się menu, w którym wybieramy **Properties** (Ctrl+M). Następnie otwiera się okienko **Sheet Properties** (rys.18). W zakładce **Workspace** rozwijamy menu **Sheet size** i wybieramy odpowiednią wielkość lub ustawiamy wymiary w polu **Custom size** (w calach lub centymetrach).



Rys. 17 Okienko Net properties i przybornik kolorów



Rys. 18 Okienko Sheet Properties

PRZYKŁADOWE ZADANIA PROJEKTOWE

1. Zbudować n-bitowy licznik binarny z przeniesieniami szeregowymi/równoległymi i sprawdzić jego działanie. Zastosować przerzutniki typu D/JK/T do budowy licznika.
2. Zaprojektować synchroniczny licznik modulo n zliczający w przód/wstecz:
 - a) z użyciem przerzutników typu D lub JK,
 - b) z użyciem przerzutników typu D i JK,
 - c) z użyciem przerzutników typu T,
 i sprawdzić jego działanie.
3. Korzystając z przerzutników D/JK zbudować n-bitowy licznik asynchroniczny zliczający w przód/wstecz i sprawdzić jego działanie.
4. Ograniczyć cykl zliczania układu z zadania 1 do modulo N podanego przez prowadzącego ćwiczenie i sprawdzić działanie tego układu po wprowadzeniu modyfikacji.
5. Korzystając z przerzutników typu D/JK, zbudować n-bitowy rejestr:
 - a) szeregowo-szeregowy (Serial In, Serial Out – SISO),
 - b) szeregowo-równoległy (Serial In, Parallel Out – SIPO),
 - c) równoległo-szeregowy (Parallel In, Serial Out – PISO),
 - d) równoległo-równoległy (Parallel In, Parallel Out – PIPO),
 i sprawdzić jego działanie.
6. Przy użyciu przerzutników typu D/JK zbudować n-bitowy licznik Johnsona i porównać jego działanie z działaniem n-bitowego licznika binarnego.
7. Z użyciem przerzutników typu D/JK zbudować n-bitowy licznik pierścieniowy:
 - a) z krążącą jedynką,
 - b) z krążącym zerem
 i samokorekcją lub bez samokorekcji kodu oraz porównać jego działanie z działaniem n-bitowego licznika binarnego.
8. Sprawdzić działanie licznika dziesiętnego 7490:
 - a) sporządzić tablicę stanów licznika przy połączeniu 2-5, określić kod wyjściowy,
 - b) sporządzić tablicę stanów licznika przy połączeniu 5-2, określić kod wyjściowy.

9. Z użyciem licznika dziesiętnego 7490 zbudować licznik mod $N < 10$:
 - a) korzystając z wejść zerujących,
 - b) korzystając z wejść ustawiających.
10. Z użyciem przerzutników JK zbudować asynchroniczny czterobitowy licznik dziesiętny liczący w kodzie BCD i sprawdzić jego działanie (porównać działanie z układem 7490, konfiguracja 2-5).
11. Sprawdzić rewersyjne działanie licznika 74193.
12. Korzystając z układu 74193, zaprojektować układ zliczający w przód (wstecz) od stanu K do L, a następnie sprawdzić jego działanie.
13. Zaprojektować dzielnik częstotliwości przez całkowitą wartość parzystą K oraz sprawdzić jego działanie. Zastosować przerzutniki D do budowy dzielnika.

IV. ZAGADNIENIA DO OPRACOWANIA PRZED PRZYSTĄPIENIEM DO ĆWICZENIA

1. Główne kryteria podziału i rodzaje liczników.
2. Podstawowe różnice pomiędzy licznikami szeregowym i równoległymi.
3. Porównanie szybkości działania liczników szeregowego i równoległego.
4. Budowa jednokierunkowych synchronicznych liczników binarnych z przeniesieniami równoległymi i szeregowymi.
5. Synteza licznika o zadanej wartości modulo przy użyciu przerzutników.
6. Synteza licznika o zadanym cyklu i autokorekcją, np., 0-2-3-6-9-12 lub 3-4-5-11-13-14, itp.
7. Projektowanie liczników liczących w przód i wstecz.
8. Sposoby skracania cyklu licznika.
9. Liczniki jako dzielniki częstotliwości.
10. Projektowanie rejestrów liniowych.

V. LITERATURA I MATERIAŁY POMOCNICZE

1. Materiały wykładowe.
2. NI Multisim. User Manual, National Instruments Corporation 2009.
3. J. Kalisz: Podstawy elektroniki cyfrowej, WKŁ, Warszawa 2007.
4. J. Tyszer: Układy cyfrowe, Wyd. Politechniki Poznańskiej, 2000.
5. J.F. Wakerly: Digital Design, Principles and Practices, 4th Edition, Pearson/Prentice Hall, 2005.
6. B. Wilkinson: Układy cyfrowe, WKŁ, 2000.
7. A. Skorupski: Podstawy techniki cyfrowej, WKŁ, 2001.