

Projektowanie bloków analogowych dla systemów VLSI (PSSA)

Instrukcja do zajęć laboratoryjnych.

opracowanie: dr inż. Marek Niewiński
(na podstawie pracy inżynierskiej Tomasza Pińkowskiego)

marzec 2013 r.

Spis treści:

1. Cel ćwiczenia.....	3
2. Wymagania wstępne.....	3
3. Wprowadzenie do tematyki zajęć.....	3
4. Zasady oceniania	6
5. Proponowany przebieg zajęć.....	7
Załącznik A	14

1. Cel ćwiczenia

Praktycznym celem zajęć laboratoryjnych jest zaprogramowanie i uruchomienie urządzenia do pomiaru sygnału EKG z użyciem zestawu PSoCEVAL1 (PSoC 1) firmy *Cypress Semiconductors*. Uruchomiony układ będzie współpracował ze specjalizowanym programem do wizualizacji danych pomiarowych w związku z czym studenci nabędą umiejętność programowej akwizycji danych z użyciem portu RS 232.

2. Wymagania wstępne

Student przystępujący do wykonywania zajęć laboratoryjnych powinien:

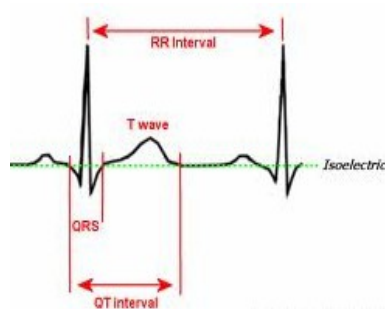
1. posiadać podstawową wiedzę z zakresu zasad działania takich układów elektronicznych jak: wzmacniacz operacyjny, wzmacniacz różnicowy, przetwornik A/C, filtry pasywne RC, układ UART,
2. umieć posługiwać się programem PSoC Designer 5.x (na poziomie zbliżonym do tego jaki był wymagany na zajęciach z przedmiotu PMK¹),
3. zapoznać się (tak naprawdę przypomnieć sobie) z informacjami technicznymi na temat układów PSoC 1 umieszczonymi w załączniku A na końcu instrukcji (informacje te są również dostępne z poziomu pomocy programu PSoC Designer 5.x,)

3. Wprowadzenie do tematyki zajęć

Zasady pomiaru sygnałów EKG

Przy pracy serca zachodzą w nim zmiany potencjałów elektrycznych. Powstałe różnice potencjałów elektrycznych w czasie skurczu i rozkurczu serca rozprzestrzeniają się po całym organizmie. Zmianę potencjałów elektrycznych można rejestrować. Zapis w funkcji czasu rejestrowanych potencjałów tworzy wykres, zwany krzywą elektrokardiograficzną. Krzywa ta składa się z pewnych wychyleń (tzw. załamek) pooddzielanych od siebie odcinkami biegnącymi w linii zerowej (nazywanej linią izoelektryczną). Załamki zostały oznaczone umownie literami alfabetu P, Q, R, S, T, V. Załamek P występuje równocześnie ze skurczem przedsionków, układ załamek Q, R, S odpowiada początkowemu okresowi skurczu komór (Rys.1). Kierunek wychyleń odbieranego sygnału jest ściśle związany z kierunkiem podłączenia elektrod.

¹ Podstawy mikroelektroniki



Rysunek 1 Kształt załamków charakterystycznych przebiegu EKG

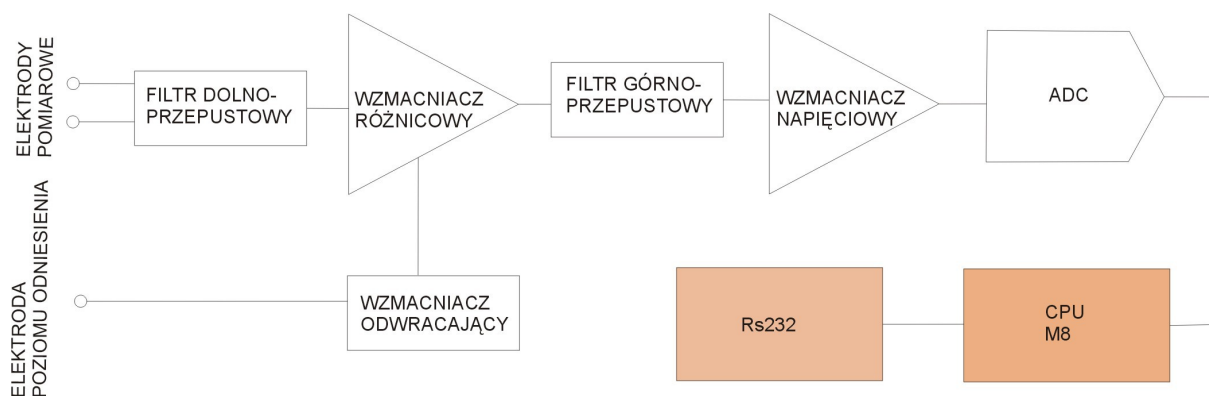
Do odbioru sygnałów biologicznych serca używa się elektrod pomiarowych. Są one przetwornikami pomiędzy prądem jonowym, właściwym dla żywych tkanek, a przewodnictwem typu elektronowego, typowym dla metali i półprzewodników. Pod względem właściwości najbardziej popularne są elektrody typu srebro-chlorek srebra. Sygnał elektryczny odebrany przez elektrody pomiarowe charakteryzuje się własnościami amplitudowo - pasmowymi przedstawionymi w tabeli 1.

Tabela.1. Charakterystyczne własności amplitudowo-pasmowe sygnału EKG.

Zakres zmian amplitudy	0,5 – 5 [mV]
Zakres zmian częstotliwości	0,05 – 250 [Hz]

Budowa układu pomiarowego

W trakcie ćwiczenia budowany będzie układ do pomiaru sygnału bioelektrycznego odbieranego przez elektrody umieszczone na skórze osoby badanej (sygnału EKG). Urządzenie powinno być wykonane według schematu blokowego przedstawionego na (Rys.2)



Rysunek 2 Schemat blokowy urządzenia do pomiaru sygnału EKG

Wyróżniamy tu:

1. **Elektrody pomiarowe**

Elektrody pomiarowe - używane podczas zajęć - są to elektrody typu Ag-AgCl. Zapewniają stałość potencjału kontaktowego dzięki reakcji chemicznej na styku metal-elektrolit, której produktem jest trudno rozpuszczalna sól metalu (chlorek srebra). Dobrze jest przed założeniem elektrod odtłuścić powierzchnię skóry, a na elektrodę nałożyć „żel EKG” będący specjalnym elektrolitem.

2. **Filtr dolno-przepustowy**

Filtr dolnoprzepustowy o częstotliwości granicznej około 35Hz wykonany przy użyciu elementów biernych zewnętrznych umieszczonych na płytce stykowej dostarczonego zestawu. Celem tego filtru jest ograniczenie wpływu zewnętrznych zakłóceń elektromagnetycznych na mierzony przebieg.

3. **Wzmacniacz różnicowy**

Stopień wejściowy powinien charakteryzować się następującymi cechami:

- skuteczną eliminacją typowych zakłóceń,
- dużą impedancją wejściową,
- możliwością wyprowadzenia sygnału wspólnego do trzeciej elektrody odniesienia.

Z spośród dostępnych modułów układu PSoC takimi cechami charakteryzuje się trzystopniowy wzmacniacz różnicowy o nazwie ‘INSAMP’.

4. **Wzmacniacz odwracający**

Zadaniem wzmacniacza odwracającego jest dostarczenie sygnału wspólnego stopnia wejściowego (w odwrotnej fazie) do trzeciej elektrody stabilizującej poziom odniesienia. Wzmocnienie tego stopnia należy dobrać doświadczalnie.

5. **Filtr górno-przepustowy**

Filtr dolnoprzepustowy o częstotliwości odcięcia około 0,04Hz wykonany jest za pomocą elementów zewnętrznych osadzonych w płytce stykowej dostarczonego zestawu. Celem tego filtru jest eliminacja składowej stałej z obrabianego sygnału przed dalszym jego wzmocnieniem.

6. **Wzmacniacz napięciowy**

Zadaniem wzmacniacza napięciowego jest optymalne wzmocnienie napięciowe sygnału w zakresie pracy przetwornika analogowo-cyfrowego.

7. **Przetwornik pomiarowy**

Stosowane w urządzeniach handlowych przetworniki analogowo-cyfrowe mają, zależnie od przeznaczenia, rozdzielczości od 8 do 24bitów oraz częstotliwości próbkowania od 100 do 500Hz. Do celów ćwiczenia wybieramy dogodny przetwornik z dostępnych w układzie PSoC.

Dodatkowo zestaw pomiarowy będzie przesyłał dane do specjalizowanej aplikacji: RS 232 – PSoC 1 Reader wykorzystując kabel RS 232-USB 2.0 converter.

4. Zasady oceniania

W ramach laboratorium student może uzyskać maksymalnie 30 pkt. W związku z tym, że wykonanie zajęć można podzielić na kolejne etapy, proponowane są następujące oceny częściowe:

1. skonfigurowanie, wykonanie właściwych połączeń elektrycznych i nawiązanie komunikacji pomiędzy układem PSoC a specjalizowaną aplikacją przy użyciu złącza RS 232 – **6 pkt**,
2. wstawienie do układu modułów przetwornika AC wraz ze wzmacniaczem wstępnym, poprawna konfiguracja tych elementów oraz implementacja przesyłania danych z przetwornika do aplikacji – **6 pkt**,
3. wykonanie i montaż filtrów z elementów biernych odpowiednio: górnoprzepustowego i dolnoprzepustowego oraz wykonanie połączeń elektrycznych do właściwych portów układu PSoC – **6 pkt**,
4. wstawienie do układu modułów wzmacniacza różnicowego i wzmacniacza odwracającego, poprawna ich konfiguracja wraz z ustawieniem odpowiednich połączeń z portami IO – **6 pkt**,
5. podłączenie do układu elektrod pomiarowych, wykonanie rzeczywistych pomiarów sygnału EKG i ich wizualizacja w czasie rzeczywistym na ekranie, dostrojenie parametrów układu w celu uzyskania „optymalnego” sygnału – **6 pkt**.

Proszę zauważyć, że maksymalną liczbę punktów można otrzymać tylko pod warunkiem, że układ pomiarowy będzie w pełni funkcjonował.

5. Proponowany przebieg zajęć

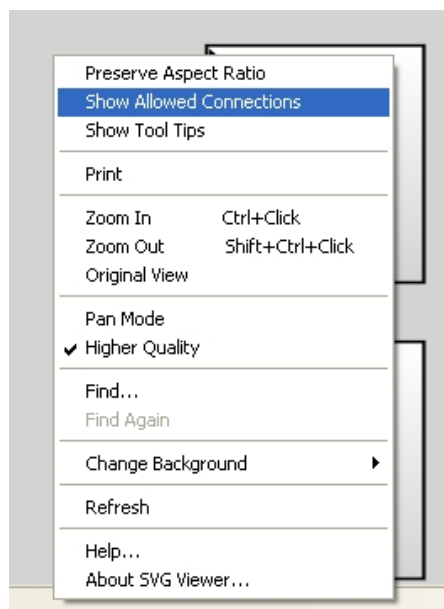
Czynności wstępne:

W celu poprawnego połączenie wszystkich elementów zestawu i podłączenia ich do portów USB komputera należy:

1. podłączyć moduł PSoC MiniProg do gniazda J11 płytki PSoCEVAL1,
2. podłączyć kabel zasilający USB jednym końcem do programatora MiniProg a drugim do dowolnego portu USB komputera (można je znaleźć na tylnej części obudowy komputera),
3. podłączyć kabel przejściowy RS-232 – USB odpowiednio do gniazda RS na płycie PSoCEVAL1 i do dowolnego wolnego portu USB (następnie należy sprawdzić w zasobach systemu MS Windows numer portu COM -jaki został przypisany naszemu połączeniu, najprawdopodobniej będzie to COM 5),
4. uruchomić program RS 232 – PsoC 1 Reader i skonfigurować numer portu COM do komunikacji tak by odpowiadał on numerowi przydzielonemu przez MS Windows naszemu połączeniu (Menu->Data->Select COM),
5. uruchomić program PSoC Designer a następnie:
 - wybrać menu File/New Project...,
 - wybrać ścieżkę do zapisania nowo tworzonego projektu (proszę robić kopię zapasową tego katalogu po każdych zajęciach !!),
 - wybrać poziom projektowania jako Chip-Level
 - wybrać typ używanego procesora (z listy wyboru) i język programowania („C”),
 - z menu kontekstowego (prawy przycisk myszy z obszaru okna głównego) wybierz pokazywanie wszystkich dozwolonych połączeń (Rys. 3),
 - w oknie „Global Resources” (dostępne z menu View) ustawić wartość parametrów tak jak to podano w tabeli 2,
 - w oknie Pinout skonfigurować wszystkie wejścia i wyjścia analogowe jako piny o wysokiej impedancji („High Z Analog”) a dla portu cyfrowego (Strong)

Tabela 2 Zestawienie wartości parametrów dla zasobów globalnych mikro-kontrolera

Parametr	Wartość
Power Setting [Vcc / SysClk]	5.0V / 24MHz
CPU_Clock	SysClk/1
VC1	12
VC2	3
VC3 Source	VC1
VC3 Divider	13
SysClk Source	Internal
Analog Power	SC On/Ref High
Ref Mux	(Vdd/2)+/-(Vdd/2)
Op-Amp Bias	High
A_Buff_Power	High



Rysunek 3 Okno wyboru opcji „pokazywanie wszystkich dozwolonych połączeń”.

Porty mikro-kontrolera komunikujące się z otoczeniem można wybrać w sposób dowolny jednakże dla łatwiejszej analizy pracy każdego zespołu zaleca się zastosować następujące przypisania:

- wyjście filtrów dolno-przepustowych (podłączonych do elektrod pomiarowych) – odpowiednio - porty: **P.00 i P.01**,
- wejście elektrody poziomego odniesienia - port: **P.05**
- podłączenie filtra górnoprzepustowego – porty: **P.24, P.03, P.06**,
- podłączenie mikro-kontrolera do złącza RS-232 – port: **P.14**.

Część właściwa zajęć

Proponowana kolejność implementacji układu pomiarowego została przedstawiona w punkcie „Zasady oceniania”. Proszę się trzymać zalecanej kolejności gdyż znacznie ułatwi to ocenę Państwa dokonań.

W układzie można wykorzystać moduł wyświetlacza LCD np. do analizy poprawności pracy budowanego układu. W tym celu należy wstawić do projektu moduł wyświetlacza LCD, skonfigurować jego podłączenie do portu ‘Port_2’ a następnie używać funkcji do wyświetlania użytecznych informacji (podobnie jak na zajęciach z PMK).

1. Punkt 1 (6 pkt)

- a. proszę wstawić do projektu moduł nadajnika szeregowego ‘TX8’,
- b. proszę skonfigurować połączenie wyjścia modułu ‘TX8’ i portu zewnętrznego (sugerowany port P.14),
- c. proszę połączyć (tu używamy zworki) port zewnętrzny z pinem TX złącza J13 płytki,
- d. proszę poprawnie ustawić wartość częstotliwości taktowania modułu (patrz: Uwagi dodatkowe) – w tym celu należy w oknie „Global Resources” odpowiednio skonfigurować pola VC1, VC2 i VC3,
- e. proszę w menadżerze plików projektu otworzyć plik ‘main.c’ i umieścić kod z: wywołaniem funkcji inicjującej użyte w projekcie moduły;implementujący pętlę nieskończoną w ramach której przesyłane będą dane łączem szeregowym (w ramach pętli proszę wykorzystać sekwencję poleceń TX8_1_PutChar(';'); TX8_1_PutSHexInt(dane) co spowoduje, że kolejne próbki będą rozdzielone znakiem średnika ;)
- f. proszę zbudować projekt- F6,
- g. następnie proszę zaprogramować mikro-kontroler - menu „Program” i „Program Part”,
- h. proszę następnie włączyć zasilanie układu i sprawdzić czy zostało nawiązane połączenie z programem „RS 232 – PSoC 1 Reader” (jako wynik działania należy oczekiwać linii poziomej)

Uwagi dodatkowe:

Autor aplikacji „RS 232 – PSoC 1 Reader” założył, że transmisja będzie odbywać się bez bitu parzystości z bitem „start” i jednym bitem „stop”. Przesłanie jednego znaku kodu ASCII przy założonym formacie transmisji wymaga przesłania 10 bitów. Dane z przetwornika 10-bitowego reprezentowane są w układzie PSoC przez daną dwu-bajtową. W celu rozróżnienia początku nadawania kolejnej dwu-bajtowej próbki, założono że dane wysyłane będą w postaci ramki. Ramka składa się z 4-bajtów kodu ASCII reprezentujących postać dziesiętną danej z przetwornika, oraz z jednego bajtu znaku średnika.

Transmisja szeregowych danych ma odbywać się z prędkością 19200 b/s. Proszę zauważyć iż wewnętrzna budowa modułu TX8 powoduje, że prędkość transmisji jest 8-krotnie mniejsza od częstotliwości zegara taktującego. W celu uzyskania synchronizacji z odbiornikiem, prędkość transmisji nie powinna odbiegać o więcej niż 3,5% od zakładanej wartości 19200 b/s.

2. Punkt 2 (6 pkt)

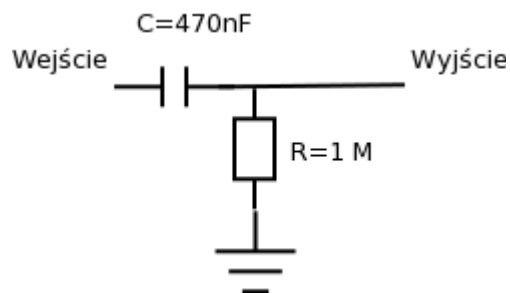
- a. proszę wstawić do projektu wzmacniacz napięciowy- moduł PGA i przetwornik A/C-moduł ADCINC (moduły te proszę umieścić w 4 kolumnie),
- b. następnie proszę połączyć wejście wzmacniacza do linii odpowiedniego portu zewnętrznego,
- c. w oknie właściwości przetwornika proszę ustawić parametry stosownie do wybranego typu przetwornika (rozdzielczość 10 bitów, format danych – unsigned); połączenie przetwornika z wyjściem wzmacniacza proszę zdefiniować we właściwościach przetwornika (trzeba wstawić nazwę bloku w którym umieszczony jest wzmacniacz np. ACB03). Zostanie ono wówczas zrealizowane bezpośrednio bez angażowania kolumny analogowej,
- d. proszę poprawnie ustawić wartość częstotliwości taktowania modułu tak by zbyt duża szybkość próbkowania nie spowodowała „zatkania” komunikacji poprzez złącze RS 232,
- e. w oknie właściwości wzmacniacza proszę ustawić wartość wzmocnienia (pole Gain) - na 1 w przypadku testowania układu a na maksymalną dostępną w przypadku uruchamiania całego układu pomiarowego,
- f. kod programu proszę uzupełnić o wywołanie funkcji uruchamiających nowo dodane moduły (informacje te można łatwo znaleźć w menu kontekstowym każdego modułu),

- g. do głównej pętli programu proszę wstawić wywołania funkcji realizujących odczyt danych z przetwornika AC (użyteczny przykład dostępny jest w opisie modułu przetwornika),
- h. w celu weryfikacji poprawności zrealizowanych operacji można podłączyć wejście wzmacniacza (przy obniżonej wartości parametru Gain wzmacniacza) do wyjścia potencjometru umieszczonego na płycie (złącze VR),
- i. wykonać punkty e,f,g z poprzedniego etapu (zbudować projekt, zaprogramować mikro-kontroler, włączyć zasilane układu).

Jako wynik poprawnej realizacji tego etapu zajęć powinniście Państwo zaobserwować na ekranie aplikacji wyświetlającej dane przebieg zależny od pozycji pokrętła potencjometru

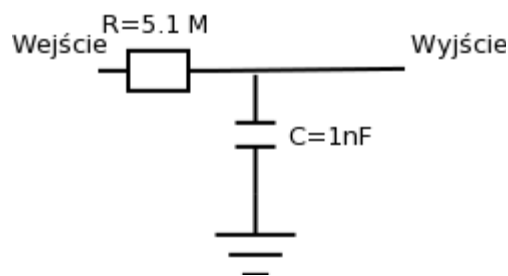
3. Punkt 3 (6pkt)

- a. proszę wyprowadzić potencjał masy „analogowej” do portu zewnętrznego – w tym celu w oknie „Global Resources” proszę ustawić wartość pola **AgdnBypass** na Enable co spowoduje połączenie AGDN z portem **P24**,
- b. proszę zmontować na płycie stykowej filtr górnoprzepustowy w/g schematu (Rys.4) – w tym celu należy:
 1. pobrać od prowadzącego zajęcia odpowiednie podzespoły elektroniczne,
 2. zmierzyć ich rzeczywiste parametry (R i C)²,
 3. połączyć wyjście i wejście filtra pomiędzy wyprowadzenie wzmacniacza różnicowego i wzmacniacza napięciowego (Uwaga: masa filtra ma być podłączona do AGDN),
 4. obliczyć częstotliwość graniczną filtra dla wartości nominalnych i rzeczywistych,
 5. podłączyć do wejścia filtra sygnał z generatora funkcyjnego i empirycznie sprawdzić „zgodność teorii i praktyki” obserwując sygnał na ekranie komputera,



Rysunek 4 Schemat filtra górnoprzepustowego.

- c. proszę zmontować na płytce stykowej 2 filtry dedykowane dla wejść pomiarowych układu w/g schematu (Rys.5)– w tym celu należy:
1. pobrać od prowadzącego zajęcia odpowiednie podzespoły elektroniczne,
 2. zmierzyć ich rzeczywiste parametry (R i C)³,
 3. obliczyć częstotliwość graniczną filtra dla wartości nominalnych i rzeczywistych,
 4. tymczasowo podłączyć (każdy z filtrów oddzielnie) w miejsce filtra górnoprzepustowego,
 5. podłączyć do wejścia filtra sygnał z generatora funkcyjnego i empirycznie sprawdzić „zgodność teorii i praktyki”,
 6. połączyć wejścia i wyjścia portów do właściwych portów zewnętrznych układu PSoC,
- d. sprawdzić poprawność połączeń elektrycznych zmontowanych filtrów przy użyciu multimetra cyfrowego (dostępny u prowadzącego zajęcia).
- e. po to by uniknąć ponownego montażu filtrów na następnych zajęciach proszę oznakować swoją płytkę (karteczki „sticky notes” dostępne u prowadzącego). Od tej pory płytki ewaluacyjne będą przypisane do każdego studenta jednoznacznie.

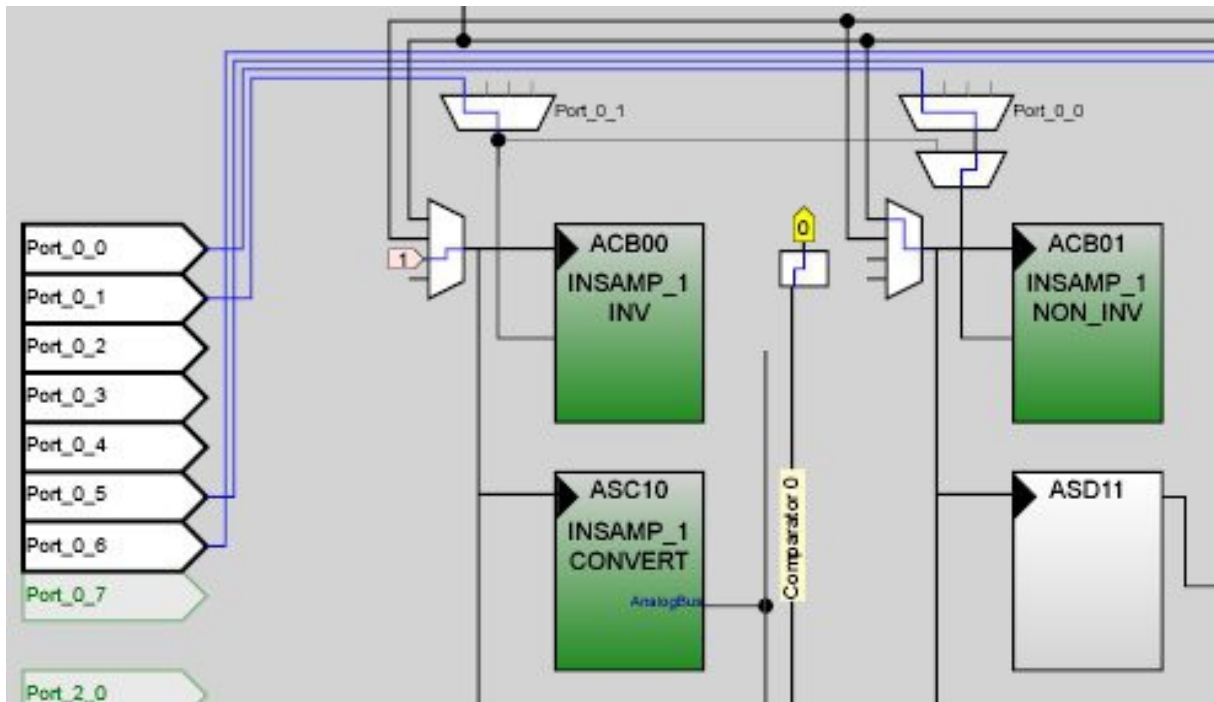


Rysunek 5 Schemat filtru dolnoprzepustowego

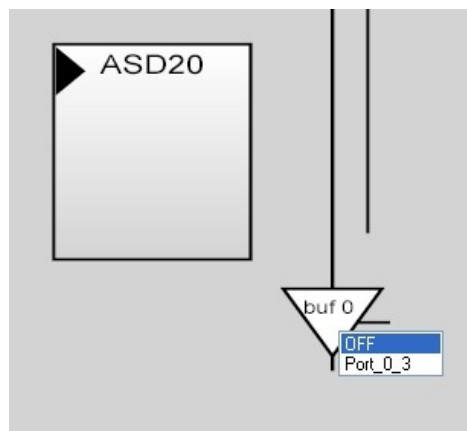
4. Punkt 4 (6 pkt)

- a. proszę wstawić moduł wzmacniacza różnicowego (INSAMP). Z uwagi na lepsze tłumienie sygnału współbieżnego proszę wybrać wersję modułu z 3 wzmacniaczami operacyjnymi (Rys. 6). W oknie właściwości modułu proszę ustawić: wartość wzmocnienia (np. 8), następnie proszę skonfigurować połączenie sygnału wyjściowego do kolumny analogowej, połączenie wyjścia wspólnego stopni różnicowych do kolumny analogowej (należy upewnić się, czy nie jest to ta sama kolumna, co wyjście wzmacniacza)
- b. następnie w oknie głównym należy skonfigurować multipleksery doprowadzające sygnał analogowy do wzmacniacza różnicowego tak, aby połączyć je z odpowiednimi liniami portów zewnętrznych.
- c. dodatkowo używając menu kontekstowego proszę zestawić połączenie wyjścia wzmacniacza przez bufor kolumny analogowej do właściwego portu zewnętrznego (Rys. 7).
- d. proszę do projektu wstawić wzmacniacz odwracający sprzężenia zwrotnego. Wzmacniacz musi odebrać sygnał z kolumny analogowej, gdzie doprowadzony został sygnał z wyjścia wzmacniacza różnicowego, i doprowadzić do pinu zewnętrznego. Można tu użyć wzmacniacza odwracającego, modułu SCBLOCK lub SwitchCapConfig (ten ostatni jest najłatwiejszy w konfiguracji).
- e. proszę połączyć wyjście wzmacniacza odwracającego (poprzez kolumnę analogową) z portem zewnętrznym układu gdzie podłączona ma być elektroda poziomu odniesienia.
- f. kod programu sterującego proszę uzupełnić o wywołanie funkcji uruchamiających nowo dodane moduły (informacje te można łatwo znaleźć w menu kontekstowym każdego modułu),

- g. proszę zbudować projekt, zaprogramować mikro-kontroler, włączyć zasilane układu.



Rysunek 6 Rozmieszczenie wzmacniacza INSAMP w macierzy bloków analogowych.



Rysunek 7 Menu kontekstowe do wykonywania połączeń linii wyjściowych

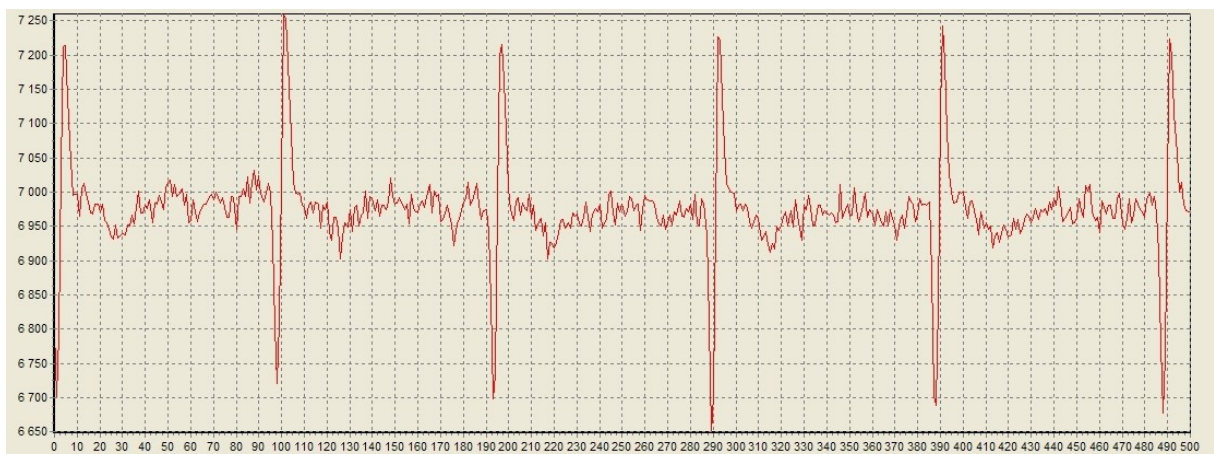
Teraz należy zdefiniować (lub zweryfikować) wartości sygnałów zegarowych używanych przez poszczególne moduły układu: moduły analogowe – proszę przyjąć częstotliwość zegara 60 do 140 razy większa od częstotliwości sygnału przetwarzanego, przetwornik analogowo-cyfrowy – według wzoru zawartego w dokumentacji stosownie do założonej częstotliwości próbkowania. W tym celu proszę wykorzystać dzielniki dostępnych źródeł sygnałów zegarowych VC1, VC2, VC3 i podłączyć je do właściwych wejść zegarowych modułów

układu. Jeśli ich liczba jest niewystarczająca to proszę użyć jako źródła sygnału zegarowego dodatkowych liczników np modułu Counter (dostępne są 4 rodzaje).

UWAGA: Częstotliwość taktująca moduły jest najczęściej dzielona wewnątrz modułu np., przez 4, co trzeba uwzględnić dobierając zegar taktujący. Proszę to zawsze sprawdzać w karcie informacyjnej modułu.

5. Punkt 5

- a. proszę podłączyć elektrody EKG (według zaleceń przekazanych przez prowadzącego) do ciała i do właściwych portów wejściowych układu pomiarowego. Program powinien wyświetlić wykres stworzony na podstawie odebranych próbek sygnału podobny do tego z Rys.8.
- b. jeżeli uzyskany obraz przypomina zaszumiony sygnał EKG świadczy to o prawidłowym działaniu układu. Cel ćwiczeniem został osiągnięty. Dalsza obróbka sygnału pomiarowego może być przeprowadzona na drodze programowej.



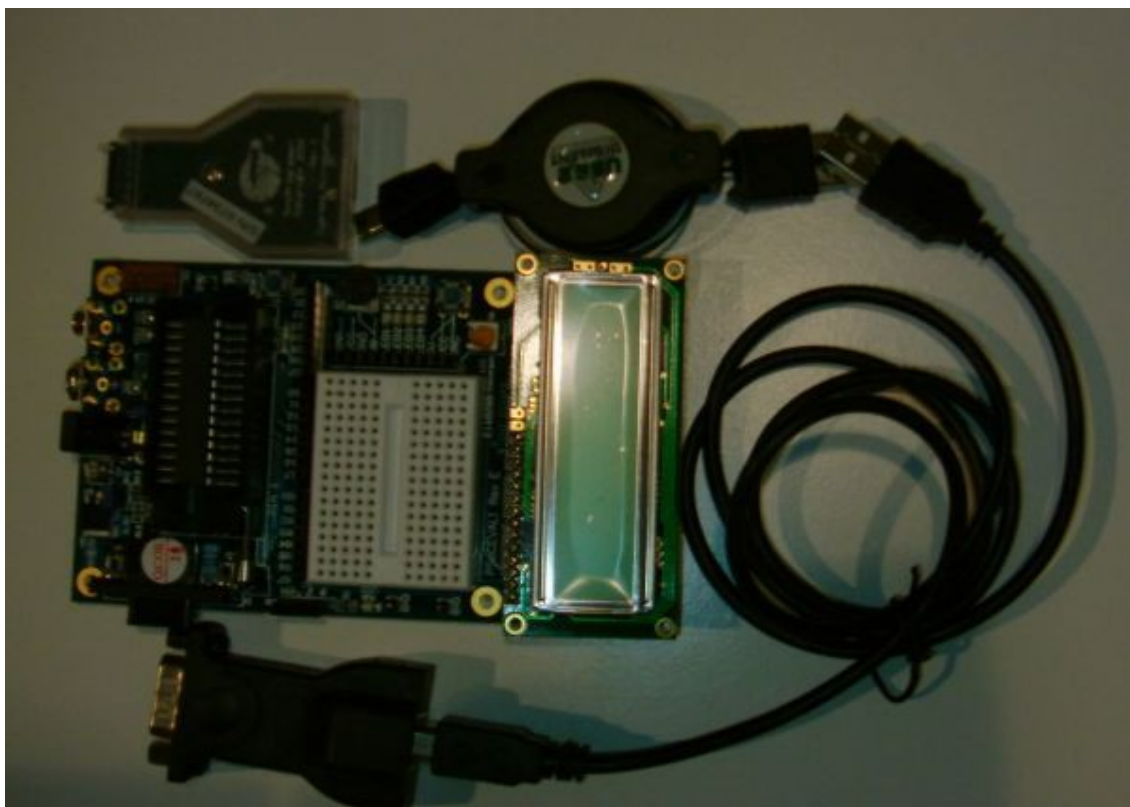
Rysunek 8 Przykładowy obraz uzyskany za pomocą programu Monitor EKG

Załącznik A

Zestaw uruchomieniowy z procesorem PSoC 1

Na zestaw przeznaczony do wykonania ćwiczenia składają się (Rys. 1A):

- płytki uruchomieniowa z układem PSoC 1,
- programator układów PSoC,
- zestaw zworek do dokonania połączeń,
- przewód USB do programatora.
- przewód konwertera RS-232 to USB 2.0

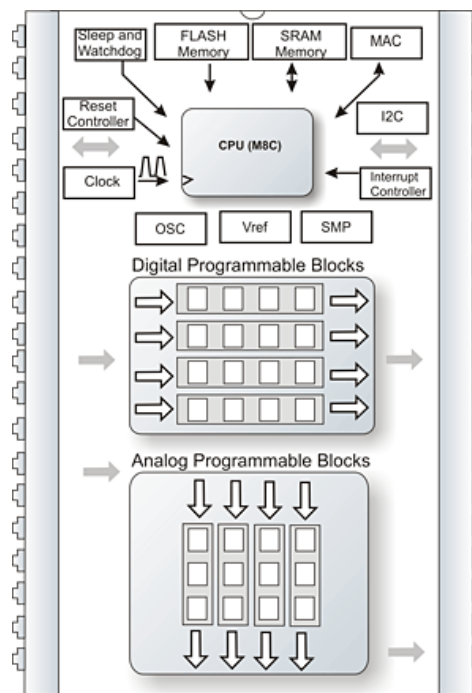


Rysunek 1A Główne elementy zestawu PSoC

Opis mikro-kontrolera PSoC

PSoC (ang. Programmable System-on-Chip) jest to rodzina układów scalonych produkowanych przez firmę Cypress Semiconductors. Układy PSoC zawierają komponenty potrzebne do uruchomienia prostych systemów elektronicznych, zarówno cyfrowych jak i analogowych. W strukturze układu zawarty jest 8-bitowy mikro-kontroler, oraz uniwersalne bloki zasobów reprogramowalnych (Rys.2A). Konfiguracja układu zostaje zapisana w pamięci układu i jest wczytywana każdorazowo po włączeniu zasilania.

Bloki wewnętrzne podzielone są na części cyfrową i analogową. Bloki stanowią złożoną konstrukcję elektroniczną umożliwiającą zaprogramowanie jednej z wielu predefiniowanych funkcji użytkowych dla każdego z bloków z osobna.

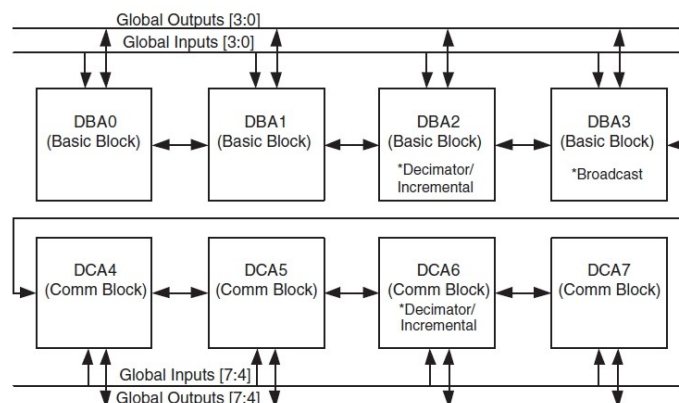


Rysunek 2A Schemat blokowy układu PSoC 1

Bloki cyfrowe pogrupowane zostały w wiersze po cztery bloki (Rys.3A). Zależnie od typu układu, wierszy może być od jednego do czterech. W każdym układzie znajdują się bloki podstawowe (DBBxx) i bloki o rozbudowanych możliwościach komunikacyjnych (DCBxx). Każdy z bloków może pełnić jedną z funkcji wykonywanej na danych 8-bitowych:

- czasomierz,
- licznik,
- modulator szerokości impulsu PWM,

- generator sekwencji losowych,
- generator kodu CRC.



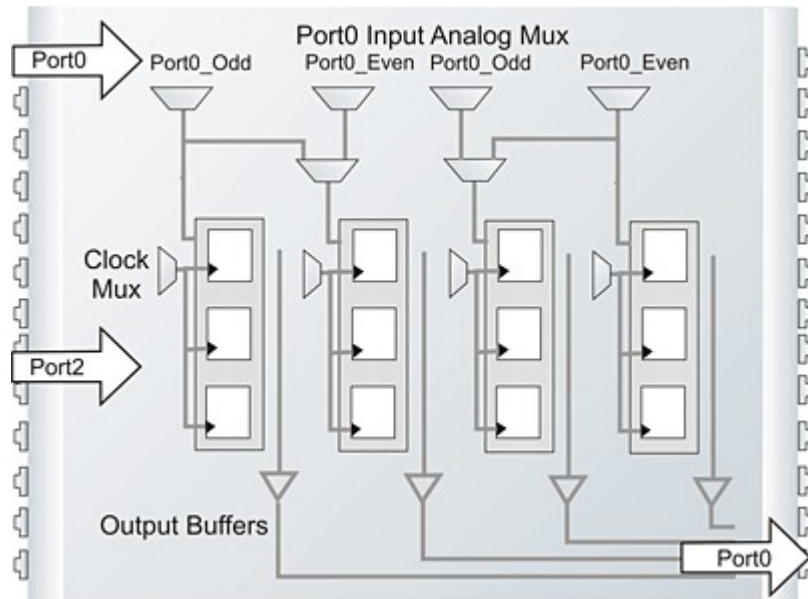
Rysunek 3A Magistrale międzyblokowe i globalne bloków cyfrowych układu PSoC

Bloki DCBxx oprócz wymienionych już funkcji mogą pełnić dodatkowo rolę interfejsów komunikacyjnych, między innymi SPI, UART, I2C.

Dzięki programowalnym multiplekserom, bloki cyfrowe mogą być łączone między sobą tworząc moduły o długości danych będących wielokrotnością 8-bitów. Łączenie bloków z innymi zasobami układu PSoC odbywa się za pośrednictwem magistrali globalnych.

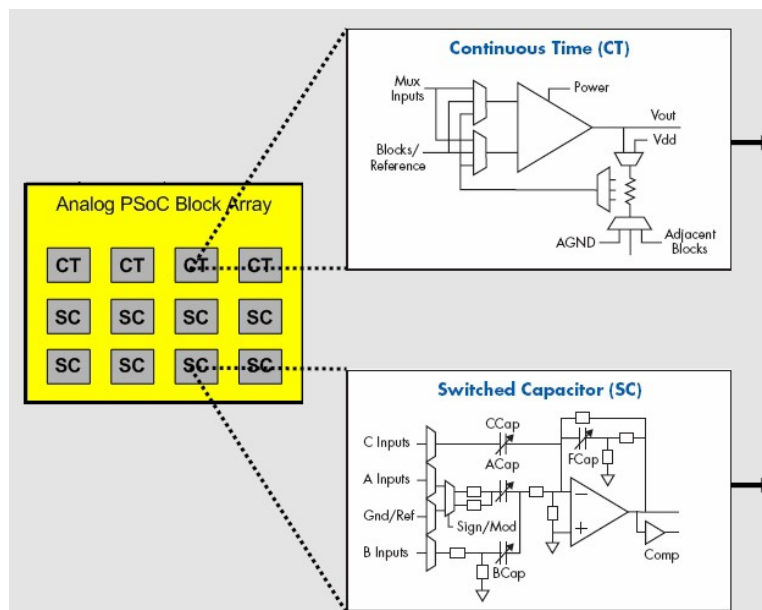
Część analogowa stanowi matrycę, w której kolumny stanowią powtarzalny element konstrukcyjny części analogowej układu PSoC (Rys.4A). Każda kolumna zawiera 3 bloki, jeden liniowy i dwa z przełączanymi pojemnościami. Każda kolumna posiada swój system połączeń z pozostałymi zasobami układu. Analogowy sygnał wejściowy poprzez multipleksery dostarczany jest z linii portu zewnętrznego P.0. do bloku liniowego skąd może być przekazany w dół kolumny. Wyjście sygnału analogowego zapewnia kolumna pionowa zakończona buforem łączącym zasoby analogowe z liniami portu P.0.

Do pracy bloków analogowych z przełączanymi pojemnościami niezbędny jest sygnał zegarowy o częstotliwości od 60 do 140 razy większej niż częstotliwość przetwarzanego sygnału analogowego. Doprowadzony do kolumny analogowej sygnał zegarowy jest wspólny dla wszystkich jej bloków.



Rysunek 4A Schemat blokowy analogowych modułów układu PSoC

Bloki analogowe układu zbudowane są na bazie wzmacniacza operacyjnego.(Rys.5A)



Rysunek 5A Konstrukcja analogowych modułów układu PSoC

Konstrukcja bloku liniowego wykorzystuje drabinki rezystorów do zmiany parametrów wzmacniacza. Bloki analogowe mogą pełnić następujące funkcje:

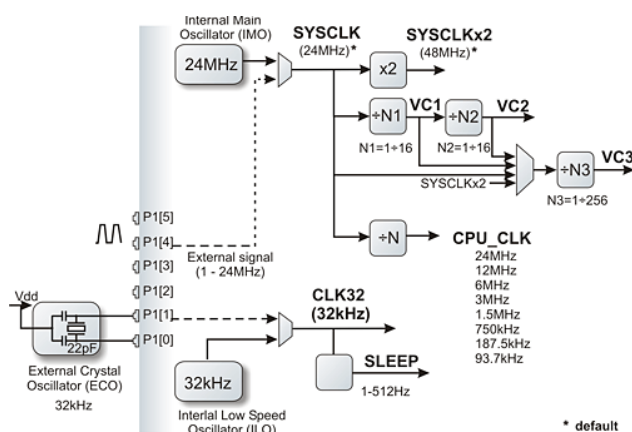
- wzmacniacz napięciowy o programowanym wzmacnieniu, odwracający, nieodwracający i różnicowy,
- komparator,

- multiplexer sygnałów analogowych,
- źródło napięć odniesienia.

Bloki analogowe z przełączanymi pojemnościami (SC) wykorzystują zamiast rezystorów, kondensatory o programowanej pojemności i przełączniki kluczujące. Zmiana wzmocnienia takiego układu następuje poprzez zmianę pojemności. Bloki typu (SC) mogą pełnić następujące funkcje:

- wzmacniacz,
- przetwornik analogowo-cyfrowy,
- przetwornik cyfrowo-analogowy,
- filtr analogowy.

Duża liczba bloków wewnętrznych wymaga rozbudowanego źródła sygnałów zegarowych. Układ PSoC wyposażony jest w odpowiedni zestaw źródeł zegarowych możliwych do podłączenia do dowolnego bloku zasobów wewnętrznych (Rys. 6 A).

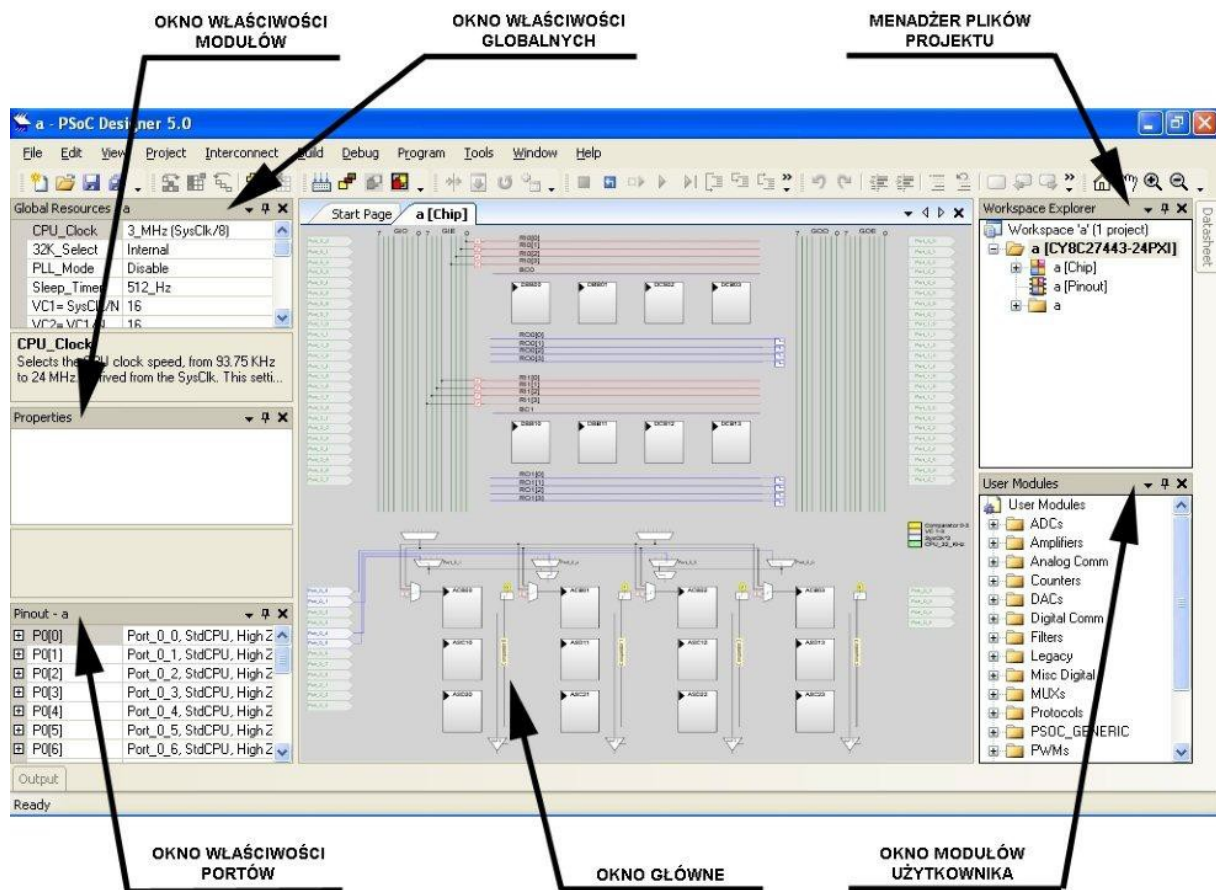


Rysunek 6A Schemat globalnych źródeł zegarowych układu PSoC

Uzupełnieniem stałych źródeł zegarowych mogą być dowolne bloki cyfrowe skonfigurowane do pełnienia roli liczników.

Aplikacja wspomagająca tworzenie oprogramowania - PSoC Designer 5.x

Po uruchomieniu programu PSoC Designer 5.x i wybraniu nowego projektu, kreator pozwala na wybranie trybu projektowania i typu układu. Po wybraniu trybu projektowania 'chip-level' ukazuje się okno (Rys.7A)

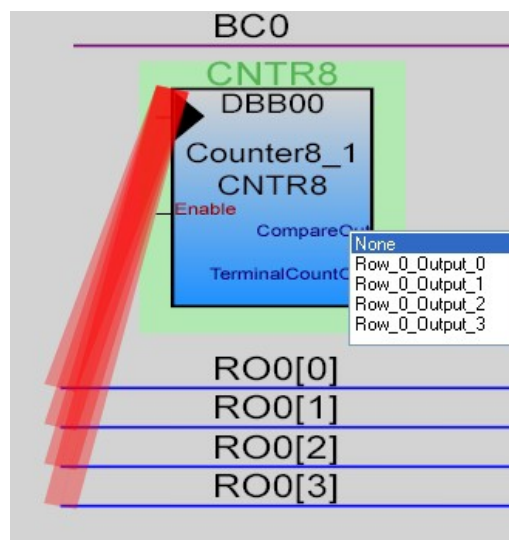


Rysunek 7A Okno projektu programu PSoC Designer 5.x

W głównym oknie programu rozmieszczone są wszystkie dostępne dla danego typu układu bloki cyfrowe i analogowe. Przypisanie funkcji danemu blokowi następuje przez umieszczenie modułu pobranego w oknie modułów użytkownika w odpowiednim polu okna głównego. Można to wykonać przeciągnięciem lub z menu kontekstowego. Oczywiście miejsce umieszczenia nie jest dowolne. Pierwszy blok w każdej kolumnie bloków analogowych jest typu linowego, przeznaczony pod wzmacniacz. Pozostałe bloki są blokami z przełączanymi pojemnościami, do zastosowania w filtrach i przetwornikach.

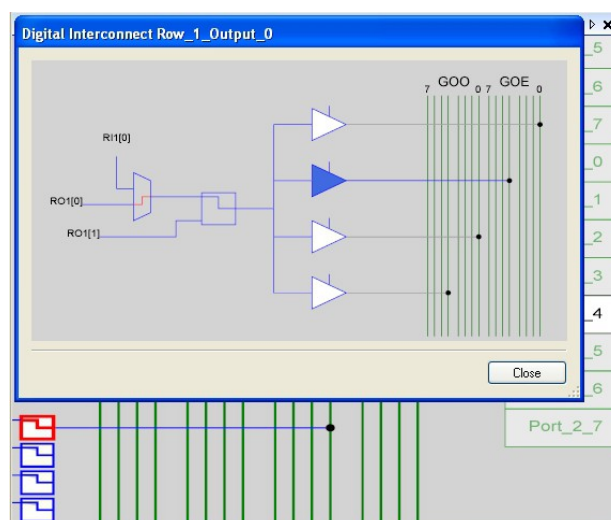
Podobnie jest z blokami cyfrowymi. Tylko dwa w każdym wierszu mogą pełnić funkcje komunikacyjne np. UART.

Program jest na tyle pomocny, że nie pozwoli wstawić modułu w nieodpowiednie miejsce, a po wstawieniu można go przeciągać w inne, aby zapewnić dogodne połączenia wewnętrzne między modułami. Dla modułów złożonych z kilku bloków np. filtry, w trakcie wstawiania do projektu, uruchamia się kreator umożliwiający dokonanie wyboru odpowiedniej konfiguracji. Konfiguracja ta może być zmieniona już po wstawieniu modułu do projektu za pomocą menu kontekstowego. Parametry użytych bloków edytujemy w oknie właściwości modułów. Wejścia i wyjścia sygnałów dla modułu deklarujemy w oknie właściwości modułu, lub graficznie w oknie głównym przez zaznaczenie myszką łączonego wyjścia i wybraniu z rozwiniętego menu odpowiedniej linii magistrali wewnętrznej (Rys.8A).



Rysunek 8A Menu wyboru połączenia wyjścia modułu użytkownika.

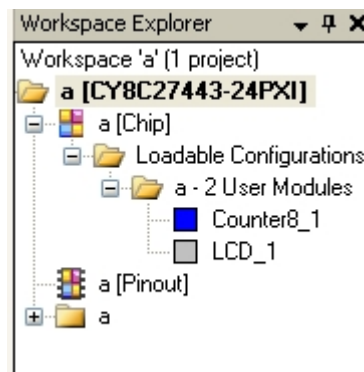
Linie magistrali wewnętrznych oraz multipleksery konfigurujemy tylko za pomocą menu lub kreatorów rozwijanych poprzez zaznaczenie konfigurowanego elementu w oknie głównym (Rys.9A).



Rysunek 9A Kreator konfiguracji połączenia magistrali wewnętrznej.

Porty zewnętrzne układu możemy konfigurować podobnie jak moduły użytkownika, za pomocą menu w oknie głównym lub okna właściwości portów.

Osobną grupę modułów - dostępnych dla użytkowników - stanowią te podzespoły, które nie zajmują bezpośrednio zasobów sprzętowych a dostęp do nich odbywa się wyłącznie na drodze programowej. Należy do nich na przykład moduł LCD. Moduły tego rodzaju nie są uwidocznione w oknie głównym, ale ich obecność w projekcie reprezentowana jest w oknie menadżera plików projektu (Rys. 10A).



Rysunek 10A Okno menadżera plików projektu wyświetlający listę użytych modułów.

Wszystkie moduły użytkownika użyte w projekcie muszą być zainicjowane po uruchomieniu urządzenia. Służą do tego polecenia wpisane do pliku głównego projektu. Plik główny 'main.c', można otworzyć w oknie menadżera plików projektu. Polecenia służące do zainicjowania modułu jak i do jego obsługi programowej są składnikiem bibliotek standardowych programu PSoC Designer. Szczegółowy opis wraz z przykładem można znaleźć w karcie każdego modułu uruchamianej z menu kontekstowego.