



**POLITECHNIKA ŚLĄSKA**  
**WYDZIAŁ AUTOMATYKI, ELEKTRONIKI I**  
**INFORMATYKI**

**PRACA DYPLOMOWA MAGISTERSKA**

ROZBUDOWA STANOWISKA POMIAROWEGO DO BADAŃ  
WOLTAMPEROMETRYCZNYCH

Autor: Bartłomiej Biadacz

Kierujący pracą: dr inż. Józef Wiora

Gliwice, Czerwiec 2011



## Spis treści

Spis tablic	5
Spis rysunków	7
Rozdział 1. Wstęp	9
Rozdział 2. Cel i zakres pracy	11
Rozdział 3. Podstawy teoretyczne	13
3.1. Woltamperometria	13
3.1.1. Wprowadzenie do woltamperometrii	13
3.1.2. Podział technik woltamperometrycznych	14
3.2. Technika mikroprocesorowa	18
3.2.1. Mikroprocesor a mikrokontroler	18
3.2.2. Elementy typowego systemu mikroprocesorowego	18
3.2.3. Zastosowania mikrokontrolerów	20
3.3. Elektronika	20
3.3.1. Obwód drukowany PCB	20
3.3.2. Wzmacniacze operacyjne	21
Rozdział 4. Projekt stanowiska pomiarowego	25
4.1. Płyta główna z mikroprocesorem	25
4.1.1. Mikroprocesor	25
4.1.2. Moduły wejść i wyjść	26
4.1.3. Komunikacja z PC	27
4.1.4. Zasilanie	28
4.1.5. Schemat elektryczny	30
4.1.6. Płytki PCB	31
4.2. Moduł do pomiaru prądu elektrody	33
4.2.1. Schemat elektryczny	34
4.2.2. Płytki PCB	35

4.3. Zasilacz	38
4.3.1. Schemat elektryczny	38
4.3.2. Płytką PCB	39
Rozdział 5. Podsumowanie i wnioski	43
Rozdział 6. Propozycja dalszej pracy	45
Załącznik 1	47
Załącznik 2	49
Bibliografia	51

## Spis tablic

4.1	Wykaz elementów użytych do budowy układu mikroprocesorowego.	33
4.2	Parametry wzmacniacza operacyjnego OP27G.	34
4.3	Wykaz elementów użytych do budowy modułu do pomiaru prądu elektrody.	38
4.4	Wykaz elementów użytych do budowy zasilacza.	41
6.1	Wyprowadzenia mikrokontrolera ADuC845.	47



## Spis rysunków

3.1	Typowe naczynie woltamperometryczne.	14
3.2	Krzywa rejestrowana w woltamperometrii cyklicznej.	15
3.3	Krzywa rejestrowana w woltamperometrii hydromechanicznej.	16
3.4	Krzywa rejestrowana w woltamperometrii z liniową zmianą potencjału.	16
3.5	Krzywa rejestrowana w woltamperometrii różnicowej.	17
3.6	Krzywa rejestrowana w woltamperometrii różniczkowej.	17
3.7	Wzmacniacz operacyjny.	21
3.8	Konwerter prądowo-napięciowy.	23
3.9	Wzmacniacz sumujący.	23
4.1	Schemat komunikacji mikrokontrolera z komputerem przy pomocy FT232RL.	28
4.2	Schemat zasilania mikrokontrolera ADuC845.	29
4.3	Układ mikroprocesorowy - Schemat elektryczny.	30
4.4	Układ mikroprocesorowy - obwód drukowany.	32
4.5	Zasymulowany moduł w środowisku LTspice IV.	34
4.6	Wynik symulacji modułu.	35
4.7	Moduł do pomiaru prądu elektrody - schemat elektryczny.	36
4.8	Moduł do pomiaru prądu elektrody - obwód drukowany.	37
4.9	Zasilacz - schemat elektryczny.	39
4.10	Zasilacz - obwód drukowany.	40
6.1	Układ mikroprocesorowy - obwód drukowany z dokładnym opisem.	49





## Rozdział 1

### Wstęp

Pomiary są bardzo obszerną dziedziną wiedzy, ponieważ występują w codziennej pracy niemal w każdym zawodzie inżynierskim. W swojej pracy inżynier styka się z nowoczesną aparaturą pomiarową a nierzadko do jego obowiązków należy projektowanie czy budowanie takich urządzeń. Musi zatem znać wielkości fizyczne, cechy obiektów, a także warunki i zasady eksploatacji aparatury pomiarowej [10].

Aparatura pomiarowa jest ciągle doskonalsza. W miejsce starych przyrządów, które przestają być użyteczne powstają nowe - dokładniejsze, zminiaturyzowane, skomputeryzowane, budowane z lepszych materiałów, wydajniejsze oraz trwalsze w użyciu. Obecna jest także automatyzacja obsługi aparatury i procedury przetwarzania wyników [10].

Pomiar składu chemicznego jest coraz ważniejszą dziedziną miernictwa przemysłowego. Coraz większe wymagania co do jakości pomiarów i urządzeń pomiarowych, sprawiły że oczywistym faktem stała się dominacja elementów scalonych i techniki cyfrowej w tych przyrządach.

Metody służące do analizy jakościowej i ilościowej nie zostały przez przypadek nazwane instrumentalnymi. Do zastosowania tych metod potrzebne jest posiadanie mniej lub bardziej skomplikowanej aparatury (instrumentu) [8]. Metody instrumentalne oparte na elektrochemicznych właściwościach roztworów znalazły szerokie zastosowanie w toksykologii, analizach środowiskowych i przemyśle. Powodem takiej popularności są liczne zalety technik elektroanalitycznych jak dokładność, wysoka czułość, coraz niższe koszty aparatury oraz wygoda poprzez systematyczną automatyzację i komputeryzację urządzeń do takich analiz [6, 8].

Techniki elektroanalityczne można podzielić ze względu na mierzone zależności:

- techniki potencjometryczne - badanie potencjału elektrody, który jest funkcją aktywności analitu;
- techniki konduktometryczne - badanie przewodnictwa elektrycznego;
- techniki kulometryczne - badanie ładunku niezbędnego do reakcji utleniania lub redukcji;
- techniki elektrolityczne - wydzielenie składnika na elektrodzie;

- techniki woltamperometryczne - polegające na pomiarze prądu pomiędzy elektrodami w funkcji polaryzacji.

Tematem pracy dyplomowej jest rozbudowa stanowiska pomiarowego do badań metodą woltamperometryczną. Projekt ten nie będzie jednak dotyczył samej techniki woltamperometrycznej. Celem jest stworzenie urządzenia, które będzie przydatne chemikom przy takich analizach.

## Rozdział 2

### Cel i zakres pracy

Celem pracy magisterskiej jest rozbudowa stanowiska do badania wodnych próbek nieorganicznych oraz organicznych metodą woltamperometryczną. Rozbudowa ta polega na zaprojektowaniu układu mikroprocesorowego, który będzie pełnił rolę urządzenia do pomiaru prądu elektrody. Głównym elementem tego układu ma być mikrokontroler ADuC845 firmy Analog Devices<sup>1</sup>. Wybór padł na ten mikrokontroler, ponieważ posiada dokładny 24-bitowy przetwornik analogowo-cyfrowy, który sprawdzi się jako przyrząd pomiarowy. Ponieważ w woltamperometrii mierzy się zarówno prądy ujemne jak i dodatnie, należy zbudować moduł do pomiaru prądu elektrody. Moduł ten będzie pracował jako przetwornik prądowo-napięciowy. Celem tego modułu będzie także dopasowanie zakresu mierzonego napięcia do zakresu wejściowego napięcia przetwornika A/C mikrokontrolera AduC845, który wynosi 0-2,5 V.

Wymagania dotyczące układu mikroprocesorowego:

- mikroprocesor - ADuC845;
- komunikacja z komputerem osobistym przez port USB;
- zasilanie sieciowe oraz zasilanie przez USB układu mikroprocesorowego;
- w pełni funkcjonalny zestaw uruchomieniowy dla tego mikrokontrolera;
- wszystkie wejścia/wyjścia wyprowadzone w sposób, który zapewni wygodę przyszłego użytkownika;
- układ mikroprocesorowy powinien być zaprojektowany w taki sposób, aby możliwe było wykorzystanie go nie tylko jako części stanowiska do badań woltamperometrycznych, ale też jako samodzielny zestaw startowy do celów edukacyjnych.

---

<sup>1</sup> <http://www.analog.com/en/index.html> aktualne na: Maj 2011

## Zakres pracy:

- przedstawienie zagadnień teoretycznych związanych z woltamperometrią i techniką mikroprocesorową;
- dobór podzespołów elektronicznych;
- wykonanie schematu elektrycznego układu mikroprocesorowego;
- stworzenie projektu płytki PCB oraz zbudowanie tego układu;
- wykonanie schematu elektrycznego modułu do pomiaru prądu elektrody;
- stworzenie projektu płytki PCB zasilacza ( $\pm 15V$  oraz  $5V$ ) oraz zbudowanie tego modułu;
- wykonanie schematu elektrycznego modułu do pomiaru prądu elektrody;
- stworzenie projektu płytki PCB oraz zbudowanie tego modułu;
- sprawdzenie czy skonstruowane urządzenia działają;
- wkomponowanie zbudowanych elementów w istniejące stanowisko.

## Rozdział 3

### Podstawy teoretyczne

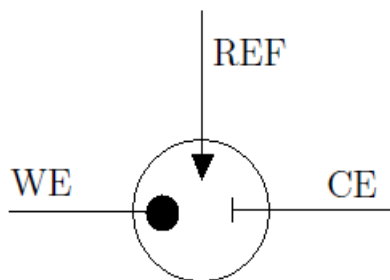
Rozdział ten przybliży zagadnienia teoretyczne związane zarówno z woltamperometrią jak i techniką mikroprocesorową. Część praktyczna jest pracą elektroniczną i dotyczy głównie projektu układu mikroprocesorowego. Konieczne jest jednak zaznajomienie się z istotą metody analizy chemicznej jaką jest woltamperometria. Niezbędne do prawidłowego rozbudowania stanowiska pomiarowego jest poznanie pojęć związanych z woltamperometrią, a także przebiegu takiej analizy. Rozdział opisuje także zastosowanie woltamperometrii. Drugi podrozdział jest poświęcony teorii związanej z techniką mikroprocesorową. Ostatni podrozdział porusza temat elektroniki. Są w nim zawarte zagadnienia z elektroniki, które są niezbędne do zaprojektowania tego stanowiska oraz wiedza, która przyda się przy praktycznej części pracy czyli przy rozbudowie.

### 3.1. Woltamperometria

#### 3.1.1. Wprowadzenie do woltamperometrii

Woltamperometrią nazywamy szereg metod elektrochemicznych, które polegają na pomiarze zależności między natężeniem prądu płynącego przez stacjonarną elektrodę wskaźnikową i potencjałem tej elektrody [7, 8]. Analiza ta służy do jakościowego i ilościowego badania danej próbki. Ważne jest, aby pomiar przeprowadzany był w odpowiednich warunkach i mierzony prąd obrazował interesujący nas proces, a nie procesy przeszkadzające czy zakłócenia. Pojęcie elektrody stacjonarnej dotyczy elektrod stałych (o niezmienniej powierzchni), niezależnie z jakiego materiału są wykonane (złoto, grafit, platyna) [6, 8]. Typowe naczynie pomiarowe do badań woltamperometrycznych składa się z 3 elektrod [6, 7] jak na Rys. 3.1.

- elektroda wskaźnikowa WE (ang. working electrode) - zwana także pracującą powinna charakteryzować się małą powierzchnią oraz dużą polaryzowalnością. Wielkość tej elektrody wpływa na dokładność wyników. Jeżeli jest to elektroda o



RYSUNEK 3.1. Typowe naczynie woltamperometryczne.

bardzo małych rozmiarach to wartości mierzonych prądów są małe. Duża polaryzowalność elektrody natomiast wpływa na to, że w przypadku braku depolaryzatora w roztworze (oznaczanej substancji) nie zachodzą istotne reakcje i przyjmuje ona potencjał zewnętrznego źródła zasilania [7];

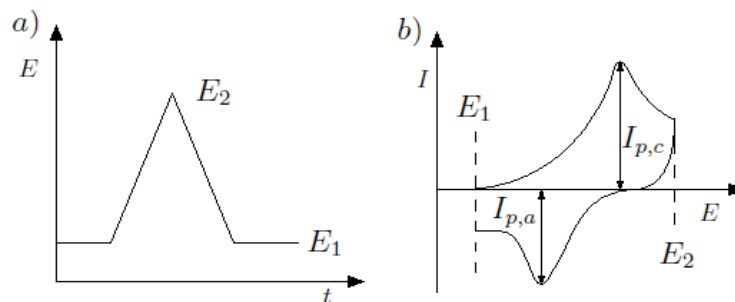
- elektroda porównawcza REF (ang. reference electrode) - powinna być dużo większa od elektrody wskaźnikowej i niepolaryzowalna. Większy rozmiar powoduje niską oporność elektryczną tej elektrody, co jest konieczne do uniknięcia większych błędów pomiarów [7];
- elektroda pomocnicza CE (ang. counter electrode) - zwiększa dokładność urządzenia pomiarowego. Jest nośnikiem prądu i może nią być nawet zwykły drut platynowy lub srebrny [7].

### 3.1.2. Podział technik woltamperometrycznych

Najpopularniejsze metody woltamperometryczne to [8]:

- cykliczna;
- hydromechaniczna;
- z liniową zmianą potencjału;
- różnicowa;
- różniczkowa;
- inwersyjna.

**3.1.2.1. Woltamperometria cykliczna.** Technika woltamperometryczna za pomocą, której dokonywane są pomiary na rozbudowywanym stanowisku to woltamperometria cykliczna. Metoda ta polega na pomiarze natężenia prądu płynącego przez elektrodę pracującą podczas wymuszenia liniowej zmiany potencjału tej elektrody od wartości  $E_1$  do  $E_2$  i z powrotem do  $E_1$ . Zmianę tę realizuje się poprzez przyłożenie piłokształtnego napięcia (fali trójkątnej) Rys. 3.2a). Wynikiem jest krzywa woltamperometryczna zwana woltamogramem [7, 8] przedstawiona na Rys. 3.2b).



RYSUNEK 3.2. Krzywa rejestrowana w woltamperometrii cyklicznej.

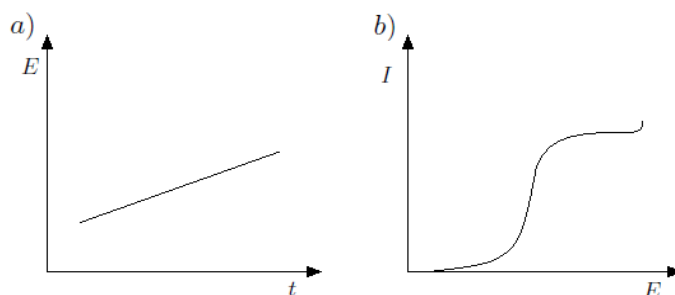
a) Zmiana potencjału w czasie w woltamperometrii cyklicznej, b) Krzywa rejestrowana w woltamperometrii cyklicznej.

W woltamperometrii cyklicznej przy wzroście potencjału od  $E_1$  do  $E_2$  pojawia się pik prądu katodowego  $I_{p,c}$ . W punkcie  $E_2$  kierunek zmiany potencjału elektrody zostaje odwrócony i produkt katodowej redukcji ulegają anodowemu utlenieniu i pojawia się pik  $I_{p,a}$ . W przypadku odwracalnego procesu elektrodowego różnica między potencjałem pików anodowego i katodowego wynosi (w  $25^\circ\text{C}$ )

$$(1) \quad E_{p,a} - E_{p,c} = \frac{0,058}{n}, V$$

**3.1.2.2. Woltamperometria hydromechaniczna.** Woltamperometria hydromechaniczna polega na pomiarze natężenia prądu w funkcji doprowadzonego napięcia w warunkach konwekcyjnego transportu jonów do lub od powierzchni elektrody wskaźnikowej o nieodnawiającej się powierzchni, podczas wymuszania liniowej zmiany potencjału  $E$  tej elektrody w czasie  $t$  (Rys. 3.3a)). Przebieg typowej krzywej woltamperometrycznej jest przedstawiony na Rys. 3.3b) [8].

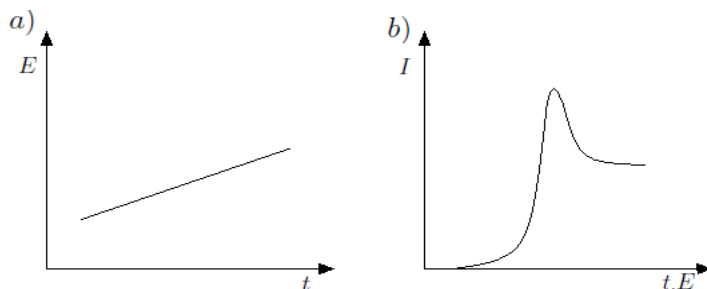
**3.1.2.3. Woltamperometria z liniową zmianą potencjału.** Woltamperometria z liniową zmianą potencjału różni się od woltamperometrii hydromechanicznej szybkością



RYSUNEK 3.3. Krzywa rejestrowana w woltamperometrii hydromechanicznej.

a) Zmiana potencjału w czasie w woltamperometrii hydromechanicznej, b) Krzywa rejestrowana w woltamperometrii hydromechanicznej.

zmiany potencjału. Szybkość zmiany potencjału w przypadku tej metody jest dużo większa i wynosi  $20 - 100 \frac{mV}{s}$ . Wynikiem nie jest fala tylko pik (Rys. 3.4).



RYSUNEK 3.4. Krzywa rejestrowana w woltamperometrii z liniową zmianą potencjału.

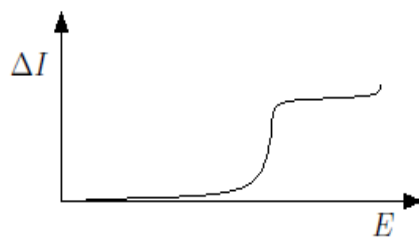
a) Zmiana potencjału w czasie w woltamperometrii z liniową zmianą potencjału, b) Krzywa rejestrowana w woltamperometrii z liniową zmianą potencjału.

Pik powstaje ponieważ zmiana potencjału elektrody następuje z większą szybkością niż jest to wymagane do wytworzenia warstwy dyfuzyjnej<sup>1</sup> warunkującej powstanie prądu granicznego. Depolaryzator w warstwie przyelektrodowej się wyczerpuje i natężenie prądu zaczyna się zmniejszać [8].

**3.1.2.4. Woltamperometria różnicowa.** Metoda ta polega na pomiarze różnicy natężeń prądów  $\Delta I$ , płynących przez 2 elektrody wskaźnikowe o nieodnawiającej się powierzchni, które są umieszczone w oddzielnych roztworach [8]. Typową rejestrowaną krzywą dla woltamperometrii różnicowej przedstawiono na Rys. 3.5.

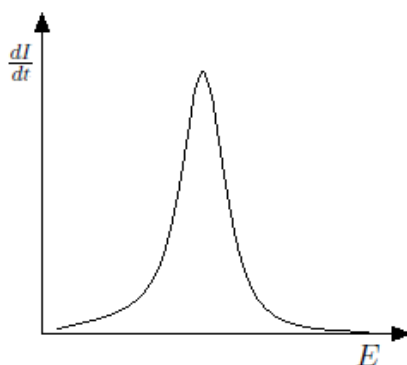
<sup>1</sup> Obszar z którego odbywa się dyfuzja. Prąd dyfuzyjny jest prądem wykorzystywanym w analizie ilościowej. Transport depolaryzatora do elektrody odbywa się przez dyfuzję [6].





RYSUNEK 3.5. Krzywa rejestrowana w woltamperometrii różnicowej.

**3.1.2.5. Woltamperometria różniczkowa.** Woltamperometria różniczkowa polega natomiast na pomiarze szybkości zmian natężenia prądu  $\frac{dI}{dt}$  lub  $\frac{dI}{dE}$  w funkcji potencjału elektrody wskaźnikowej  $E$  o nieodnawiającej się powierzchni [8]. Otrzymuje się krzywą w kształcie piku jak na Rys. 3.6.



RYSUNEK 3.6. Krzywa rejestrowana w woltamperometrii różniczkowej.

**3.1.2.6. Woltamperometria inwersyjna.** Woltamperometria inwersyjna polega na rejestracji krzywej woltamperometrycznej w procesie odwrotnym do poprzedzającego procesu zatężania elektrolitycznego. Rejestruje się krzywą anodowego procesu rozpuszczania ponieważ proces zatężania jest zwykle katodowy [6, 8].

## 3.2. Technika mikroprocesorowa

### 3.2.1. Mikroprocesor a mikrokontroler

Mikroprocesor jest niezbędnym, lecz tylko jednym z elementów większego systemu. Inne niezbędne elementy to układy wejścia/wyjścia, które umożliwiają komunikację systemu z otoczeniem, a także pamięć programu i danych służące do przechowywania kodu programu i informacji. Aby taki system mikroprocesorowy mógł prawidłowo pracować wszystkie elementy muszą być ze sobą połączone za pomocą magistrali (w szczególności magistrali danych i magistrali adresowych) [1].

Ponieważ sam mikroprocesor bez dołączonych elementów potrafi niewiele, umieszczono go razem z układami peryferyjnymi w jednym układzie scalonym. Taki układ scalony nazywany jest mikrokontrolerem lub mikrokomputerem jednoukładowym [5]. Jego struktura umożliwia samodzielne wykonywanie operacji arytmetycznych czy sterowanie układami zewnętrznymi. Niewielka liczba elementów i połączeń zewnętrznych, niezawodność czy prostota montażu to tylko niektóre z wielu zalet mikrokontrolerów [1].

### 3.2.2. Elementy typowego systemu mikroprocesorowego

System mikroprocesorowy niezależnie czy zbudowany przy użyciu mikrokontrolera czy mikroprocesora zawiera [1, 5]:

- centralną jednostkę procesora(CPU);
- pamięć programu (ROM, PROM, EPROM, EEPROM) oraz pamięć danych(RAM);
- porty wejścia/wyjścia (I/O);

**Centralna jednostka procesora - CPU** (ang. Central Processing Unit)- czyli procesor, koordynuje działanie wszystkich pozostałych układów, wykonuje wszystkie operacje arytmetyczno logiczne oraz odpowiada na zewnętrzne sygnały sterujące. Wewnątrz procesora znajdują się połączone:

- Rejestry:  
Rejestry chwilowo przechowują różnego rodzaju informacje. Niektóre, jak akumulator czy licznik pełnią specjalne funkcje, ale ogólnie stanowią rodzaj pamięci [1].
- Jednostka arytmetyczno logiczna (ALU):  
Jednostka ta służy to wykonywania obliczeń arytmetycznych i operacji logicznych.

Operacje są dokonywane w systemie binarnym. Jednostka ALU posiada sumator, dzięki któremu razem z oprogramowaniem możliwe jest wykonywanie wszystkich operacji arytmetycznych. Oprogramowania tego nie trzeba jednak pisać, ponieważ podstawowe funkcje arytmetyczne i logiczne są zrealizowane sprzętowo przez układ ALU [1, 5].

- Układy sterujące:

Układy te generują sygnały na podstawie taktowania zegara. Sygnały te sterują pobieraniem kodu instrukcji z pamięci programu, dekodują kod operacji oraz wysyłają do zewnętrznych i wewnętrznych układów sygnały niezbędne do prawidłowej pracy CPU [1].

- Układ obsługi przerwań:

Zastosowanie przerwań umożliwia maksymalne wykorzystanie możliwości mikrokontrolera w przetwarzaniu danych. Kiedy zewnętrzny układ zgłasza gotowość do wykonania operacji czyli przerwanie, układ sterujący zawiesza na chwilę wykonywanie programu głównego i obsługuje to przerwanie. Po tej operacji wykonywany jest automatyczny powrót do miejsca w którym program główny został zawieszony [1].

**Pamięć** - W chwili podłączenia do naszego układu zasilania, pamięć musi być gotowa do odczytu. To właśnie w pamięci przechowywany będzie niezbędny do działania układu program.

Typy pamięci [1, 5]:

- ROM - Programowana maską podczas produkcji mikrokontrolera;
- PROM - Programowana jednorazowo przez użytkownika;
- EPROM, EEPROM - Programowane wielokrotnie przez użytkownika;
- RAM - Służy do przechowywania wyników wykonywanych operacji oraz innych danych wykorzystywanych przez CPU. Zawartość pamięci RAM może być zarówno odczytywana jak modyfikowana przez procesor.

**Porty wejścia/wyjścia (I/O)** - Porty te łączą mikrokontroler ze światem zewnętrznym. Porty wejściowe służą do odczytywania informacji z takich źródeł jak różnego rodzaju czujniki czy przełączniki. Porty wyjściowe służą natomiast do wysyłania informacji do urządzeń zewnętrznych takich jak diody, wyświetlacze, silniki czy przekaźniki [1].

### 3.2.3. Zastosowania mikrokontrolerów

Współczesne mikrokontrolery nie wymagają stosowania wielu elementów zewnętrznych, są tanie i dzięki oprogramowaniu - bardzo elastyczne. Dzięki swojej architekturze czyli wewnętrznej budowie zyskały popularność nie tylko w wyspecjalizowanym sprzęcie komputerowym. Zalety te sprawiły że mikrokontrolery znalazły bardzo szerokie zastosowanie w urządzeniach powszechnego użytku takich jak np. [5]:

- sprzęt radiowo-telewizyjny;
- artykuły gospodarstwa domowego;
- samochody.

Z drugiej strony ogromne możliwości mikrokontrolerów sprawiły, że znalazły one zastosowanie w przemyśle. Spełniają one m.in. takie funkcje jak [1]:

- główny element przyrządów pomiarowych;
- sterownik;
- urządzenie sterujące pracą całej linii technologicznej.

## 3.3. Elektronika

### 3.3.1. Obwód drukowany PCB

Obwód drukowany PCB<sup>2</sup> (ang. Printed Circuit Board) jest to płytka z materiału izolacyjnego, na którym znajdują się ścieżki (połączenia elektryczne) oraz pady (miejsca

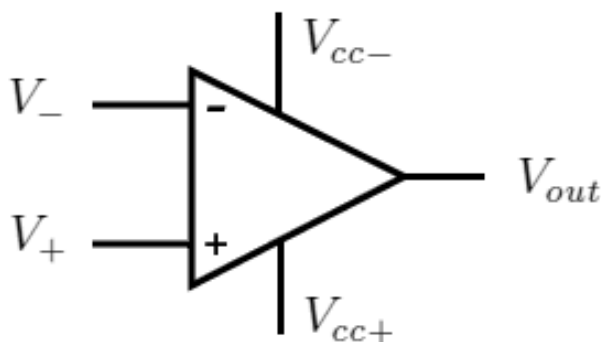
---

<sup>2</sup> <http://pl.wikipedia.org/wiki/Obwód-drukowany> aktualne na: Maj 2011

lutownicze elementów). Na rynku istnieje mnóstwo programów do projektowania takich obwodów drukowanych. W przypadku tego projektu schematy płytek zostały wykonane w programie CADSOFT EAGLE. Każda płytka PCB projektowana jest pod kątem budowanego urządzenia elektronicznego. Obwody drukowane wytwarza się z płytek pokrytych miedzią. Różnymi technikami na miedź nanoszony jest wzór ścieżek (zwykle wzór ten nanoszony jest sitodrukiem lub ofsetem). Następnie płytkę poddaje się obróbce chemicznej (trawieniu). Płytką PCB może być jednowarstwowa lub wielowarstwowa przy bardziej skomplikowanych układach. Elementy elektroniczne montowane są do płytki powierzchniowo technologią SMT (ang. Surface Mount Technology). Podzespoły elektroniczne typu SMD (ang. Surface Mount Device) są lutowane z tej samej strony, z której się znajdują. Drugą technologią jest sposób przewlekany THT (ang. Through-Hole Technology). Wyprowadzenia elektryczne są przewlekane przez wywiercone otwory w płytce i przylutowywane po przeciwnej stronie płytki. W tej pracy zostały zastosowane obie technologie.

### 3.3.2. Wzmacniacze operacyjne

**Wzmacniacz operacyjny (ang. Operational Amplifier)**<sup>3</sup> - Jest to element elektroniczny, który znajduje zastosowanie przy realizacji układów scalonych służących do przeprowadzania operacji matematycznych na prądach lub napięciach.



RYSUNEK 3.7. Wzmacniacz operacyjny.

$V_+$  - wejście nieodwracające;  $V_-$  - wejście odwracające;  $V_{cc+}$  - napięcie zasilania dodatnie;  $V_{cc-}$  - napięcie zasilania ujemne;  $V_{out}$  - napięcie wyjściowe;

<sup>3</sup> <http://pl.wikibooks.org/wiki/Wzmacniacze-operacyjne> aktualne na: Maj 2011

Inaczej wzmacniaczem operacyjnym nazywamy wzmacniacz prądu stałego o dużym wzmocnieniu pracujący z zewnętrznym układem ujemnego sprzężenia zwrotnego. Ujemne sprzężenie zwrotne zapewnia lepszą stałość pracy, zwiększa dynamikę, poprawia liniowość oraz poszerza pasmo przenoszenia wzmacniacza<sup>4</sup>.

Wzmacniacz operacyjny w zależności od parametrów i konfiguracji może dokonywać m.in. operacji:

- dodawania;
- odejmowania;
- całkowania;
- różniczkowania;
- logarytmowania.

Dzięki tym właściwościom wzmacniacze operacyjne znalazły zastosowanie w maszynach liczących, przetwornikach analogowo-cyfrowych(A/C) i cyfrowo-analogowych(C/A), a także w urządzeniach pomiarowych.

**Konwerter prądowo-napięciowy**<sup>5</sup> - Wzmacniacz operacyjny w takiej konfiguracji (Rys. 3.8) jest wzmacniaczem odwracającym i działa jako konwerter prądowo-napięciowy. Napięcie na wyjściu  $U_{wy}$  konwertera jest wprost proporcjonalne do prądu wejściowego  $I_{we}$  i wynosi:

$$(2) \quad U_{wy} = -U_{wy}R$$

**Wzmacniacz sumujący**<sup>6</sup> - Wzmacniacz operacyjny w takiej konfiguracji (Rys. 3.9) jest również wzmacniaczem odwracającym i wyznacza ważoną sumę napięć wejściowych. Napięcie na wyjściu  $U_{wy}$  wynosi:

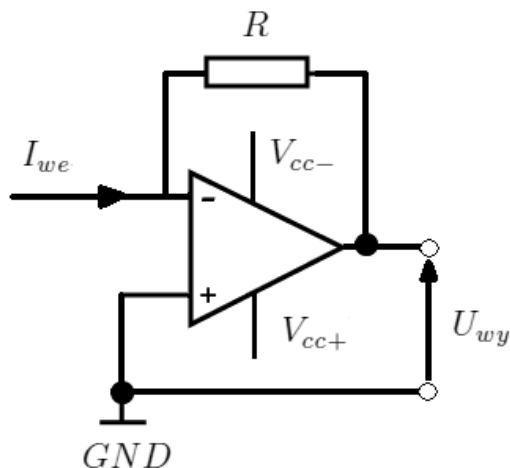
$$(3) \quad U_{wy} = - \left( \frac{R}{R_1} U_1 + R \frac{R}{R_2} U_2 \right)$$

---

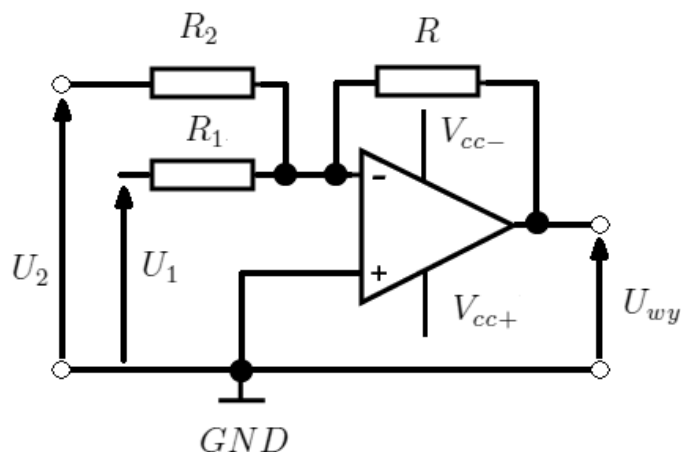
<sup>4</sup> <http://elektron.pol.lublin.pl/users/keo/dydaktyk/Ins/Cw07pdf.pdf> aktualne na: Maj 2011

<sup>5</sup> <http://pl.wikibooks.org/wiki/Wzmacniacze-operacyjne> aktualne na: Maj 2011

<sup>6</sup> <http://pl.wikibooks.org/wiki/Wzmacniacze-operacyjne> aktualne na: Maj 2011



RYSUNEK 3.8. Konwerter prądowo-napięciowy.



RYSUNEK 3.9. Wzmacniacz sumujący.

**Parametry wzmacniaczy operacyjnych** - Wzmacniacze operacyjne mogą sprawiać wrażenie elementów idealnych. I w wielu przypadkach można je tak traktować. Gdy wykorzystuje się wzmacniacz w precyzyjnym układzie pomiarowym lub w urządzeniu działającym z dużą szybkością należy przeanalizować przynajmniej najważniejsze parametry podawane przez producenta [9].

- Prąd polaryzacji - Teoretycznie, wejścia wzmacniacza operacyjnego nie powinny pobierać prądu. Wzmacniacz zbudowany jest jednak z tranzystorów, w których płyną prądy baz lub bramek. Powoduje to, że w obwodach wejściowych płyną jakieś prądy. W przypadku tranzystorów polowych bardzo małe, natomiast w przypadku tranzystorów bipolarnych już większe. Zwykle są to prądy mniejsze niż

1  $\mu\text{V}$ . Prąd polaryzacji wejścia powinien być jak najmniejszy [9];

- Prąd niezrównoważenia - Prąd ten powstaje ponieważ prądy polaryzacji wejść nigdy nie są równe. Tranzystory wejściowe wzmacniacza nie są jednakowe. Prąd niezrównoważenia jest różnicą prądów obu tych wejść. Prąd ten również powinien być jak najmniejszy [9];
- Napięcie niezrównoważenia<sup>7</sup> - Napięcie to jest charakterystyczną dla danego egzemplarza „wadą wrodzoną”. W idealnym wzmacniaczu operacyjnym zerowemu napięciu na wyjściu odpowiada zerowe napięcie różnicowe na wejściu. Dla obiektu rzeczywistego nie jest to prawdą i aby na wyjściu uzyskać napięcie równe zeru, należy doprowadzić do małej różnicy napięcia na wejściach. Ta różnica odpowiada wejściowemu napięciu niezrównoważenia. Im to napięcie jest mniejsze tym lepiej [9];

---

<sup>7</sup> <http://www.elportal.pl/ea/crozukl005.html> aktualne na: Maj 2011



## Rozdział 4

### Projekt stanowiska pomiarowego

#### 4.1. Płyta główna z mikroprocesorem

##### 4.1.1. Mikroprocesor

Układ elektroniczny został zaprojektowany w oparciu o mikrokontroler ADuC845 [2] firmy Analog Devices<sup>1</sup>. Mikrokomputer jednocukładowy ADuC845 zbudowano na bazie rdzenia 8052. Rdzeń ten jest udoskonaloną wersją słynnego z niezawodności oraz bardzo popularnego rdzenia 8051. Rozbudowano go o takie elementy jak dodatkowy obszar 128 bajtów pamięci wewnętrznej RAM, 8kB wewnętrznej pamięci ROM oraz trzeci 16-bitowy licznik / czasomierz (timer) [1, 2].

Najważniejsze parametry mikrokontrolera ADuC845 to [5]:

- 62kB wewnętrznej pamięci programu;
- 4kB wewnętrznej pamięci danych;
- dodatkowe 2kB pamięci RAM;
- 24 programowalne wejścia/wyjścia, oraz 8 analogowych lub cyfrowych wejść;
- trzy 16-bitowe liczniki/timery.

Zaletą wybranego mikrokontrolera jest także 24-bitowy przetwornik analogowo-cyfrowy. Jego stosunkowo wysoka rozdzielczość doskonale sprawdza się przy zastosowaniu ADuC845 jako przyrządu pomiarowego. Dla porównania najpopularniejszy w studenckich projektach mikrokontroler Atmega 8 posiada 10-bitowy przetwornik A/C. ADuC845 jest taktowany zewnętrznym kwarem o częstotliwości 32.768 kHz. Dzięki wbudowanej pętli PLL można uzyskać osiem częstotliwości taktowania rdzenia w zakresie 0.098304MHz do 12.582912MHz. Ustawienia częstotliwości dokonuje się przez konfigurację 8-bitowego rejestru PLLCON. Za częstotliwość odpowiedzialne są 3 najmłodsze bity rejestru: CD2, CD1, CD0 [2].

---

<sup>1</sup> <http://www.analog.com/en/index.html> aktualne na: Maj 2011

#### 4.1.2. Moduły wejść i wyjść

Mikrokontroler ADuC845 w wersji 56-lead LFCSP, który wykorzystano w projekcie posiada 56 wyprowadzeń. Typy wszystkich wyprowadzeń oraz krótki opis przedstawiony jest w tabeli 6.1 w załączniku 1.

Poniżej opisano bardziej szczegółowo wyprowadzenia, których użycie jest niezbędne do uruchomienia projektu.

**RESET** – Resetowanie czyli kasowanie układu jest pojęciem, które nierozłącznie wiąże się z tematem mikrokontrolerów. Czynność tą wykonuje się podając logiczną „jedynekę” na to wyprowadzenie przez pewien okres czasu. Czas ten zależy od częstotliwości, z jaką pracuje mikroprocesor. Jest on równy szesnastu cyklom maszynowym rdzenia podczas działania oscylatora. Reset powoduje natychmiastowe przerwanie wykonywanych czynności i rozpoczęcie cyklu działania procesora od samego początku.

Z Restem układu mikroprocesorowego użytkownik spotyka się w trzech przypadkach:

- przy włączeniu zasilania układu;
- na żądanie, przeważnie poprzez naciśnięcie klawisza lub zworę;
- w sytuacjach awaryjnych, kiedy np. przez zakłócenia zasilania układu następuje błędne działanie mikrokontrolera.

**XTAL1 i XTAL2** – Wyprowadzenia służą do dołączenia zewnętrznego rezonatora kwarcowego o częstotliwości zależnej od modelu mikrokontrolera i potrzeb użytkownika. W przypadku tego projektu jest to rezonator kwarcowy o częstotliwości 32.768 kHz. Dołączony do pinów XTAL1 i XTAL2 rezonator, uzupełnia się o dodatkowe kondensatory zwykle o wartości z przedziału 22-40pF [5]. W przypadku ADuC845 nie jest to konieczne ponieważ mikrokontroler posiada wbudowane kondensatory o wartości 12pF [2]. Na wszelki wypadek w projekcie płytki uwzględniono możliwość montażu dodatkowych kondensatorów. Rezonator umożliwia pracę wbudowanemu w ADuC845 generatorowi, który „napędza” mikrokontroler. Od częstotliwości rezonatora kwarcowego zależy więc szybkość działania urządzenia.

Częstotliwość z jaką działają wewnętrzne układy mikrokontrolera, określa wzór:

$$(4) \quad F = \frac{f_{xtal}}{12}$$

gdzie  $f_{xtal}$  to częstotliwość rezonatora kwarcowego.

Podział częstotliwości jest spowodowany wewnętrzną architekturą wszystkich mikroprocesorów serii 8051 [1].

**EA** – Wyprowadzenie to jest odpowiedzialne za to, z której pamięci mikrokontroler pobiera rozkazy, pamięci zewnętrznej czy pamięci wewnętrznej. Jeżeli korzysta się z wewnętrznej pamięci pin ten musi być dołączony do plusa zasilania, natomiast jeżeli korzysta się z pamięci zewnętrznej programu pin powinien być dołączony do masy. Podłączenie do masy pinu EA blokuje pamięć wewnętrzną [1].

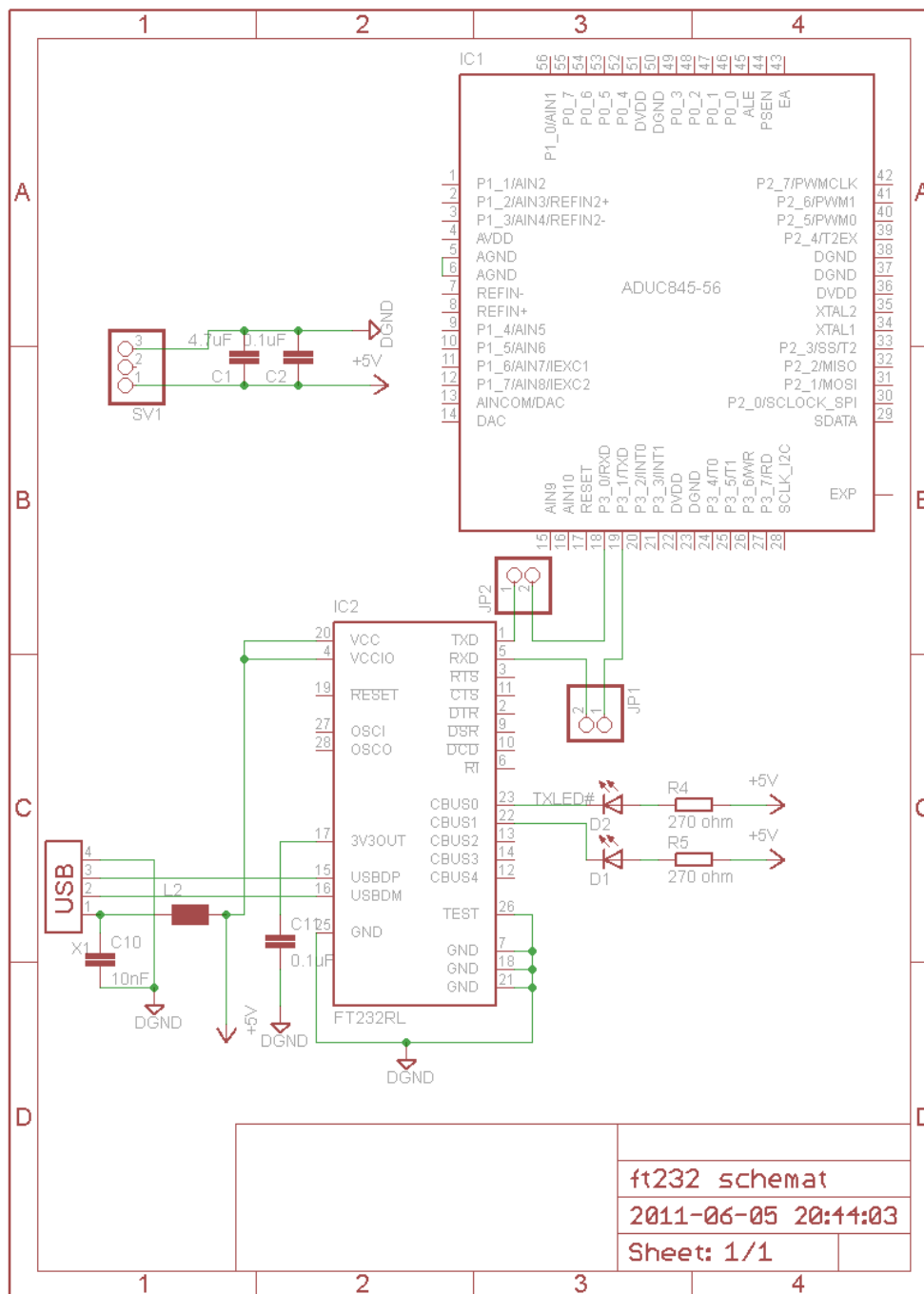
Piny zasilania zostały opisane w rozdziale 4.1.4 [5].

### 4.1.3. Komunikacja z PC

Komunikację z komputerem osobistym zaprojektowano za pomocą układu scalonego FT232RL [3] firmy FTDI Chip. W układach startowych dla tego typu mikrokontrolerów występuje przeważnie komunikacja z komputerem przez port RS232. Ponieważ nowsze komputery nie posiadają już popularnego RS-a układ mikroprocesorowy zaprojektowano tak aby komunikacja przebiegała przez port USB. Do tego celu posłużył właśnie moduł FT232RL. Po zainstalowaniu na komputerze sterowników ze strony producenta<sup>2</sup>, tworzymy wirtualny port COM dzięki czemu możliwa jest transmisja szeregową za pomocą portu USB. Schemat połączenia przedstawiony jest na Rys. 4.1.

---

<sup>2</sup> <http://www.ftdichip.com/> aktualne na: Maj 2011



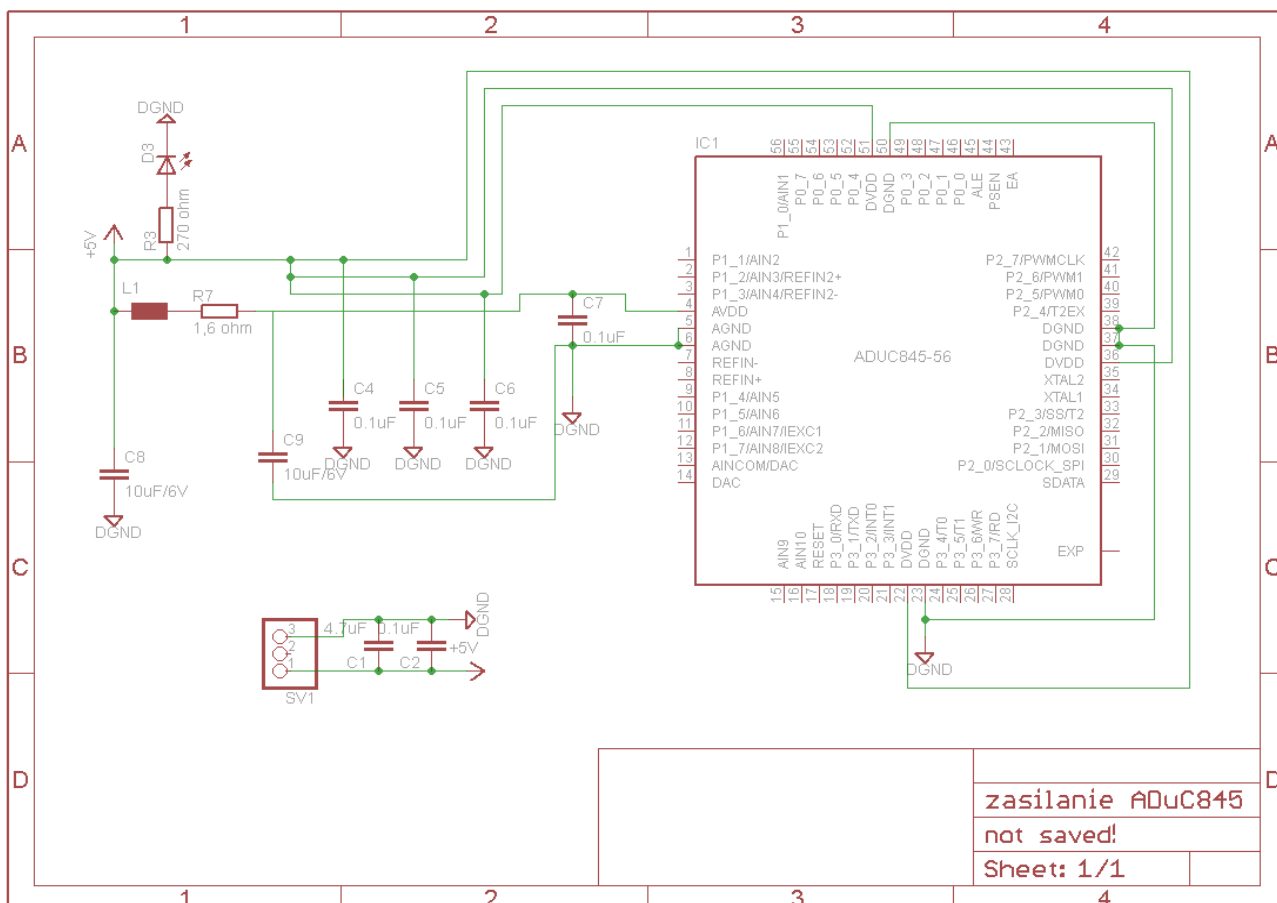
RYSUNEK 4.1. Schemat komunikacji mikrokontrolera z komputerem przy pomocy FT232RL.

#### 4.1.4. Zasilanie

Rys. 4.2 przedstawia schemat zasilania mikrokontrolera ADuC845 w module uruchomieniowym. Piny mikrokontrolera odpowiadające za zasilanie układu:

**DVDD/AVDD** – Zasilanie części cyfrowej/analogowej

**DGND/AGND** – Masa cyfrowa/analogowa



RYSUNEK 4.2. Schemat zasilania mikrokontrolera ADuC845.

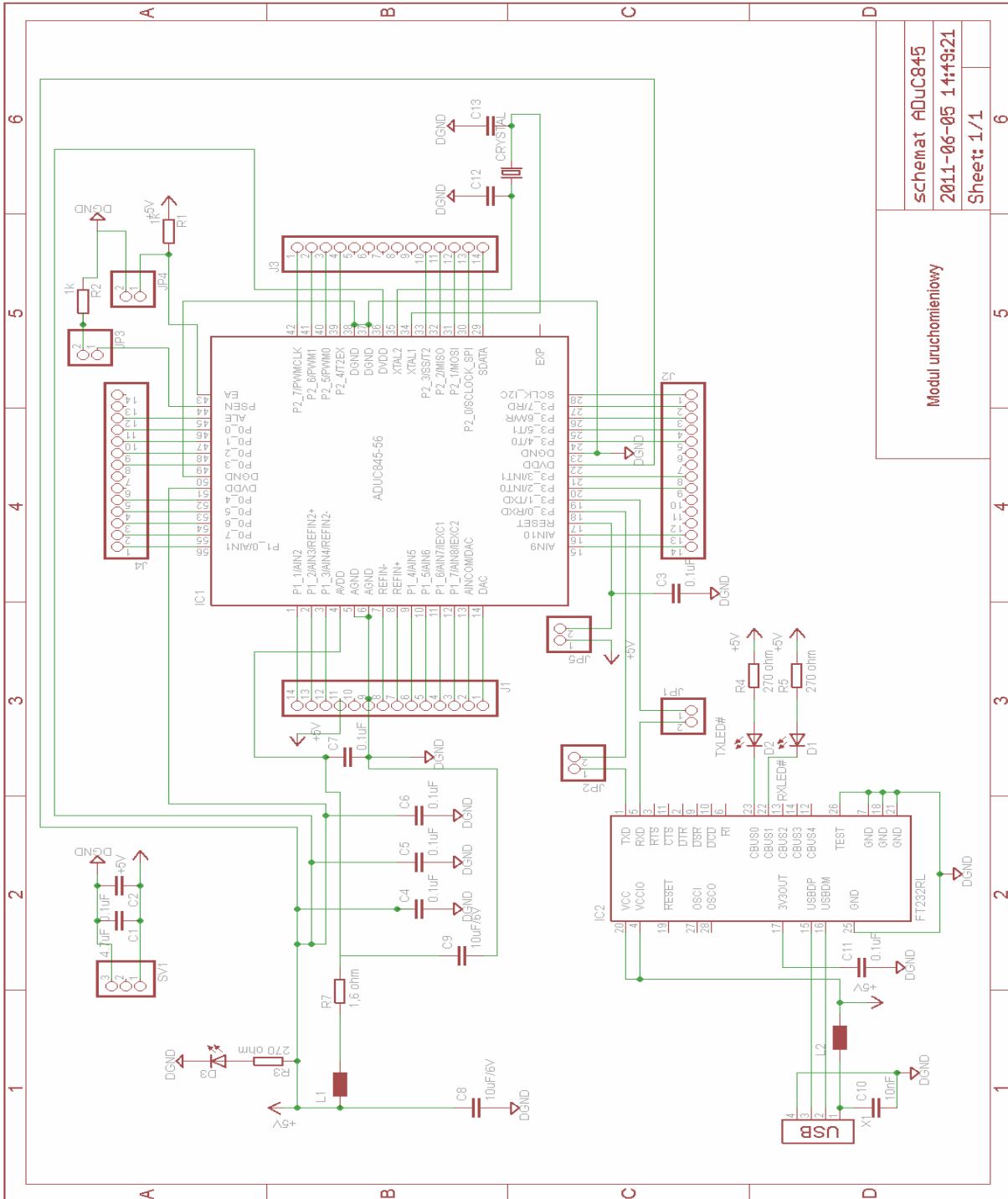
Zalecane napięcie zasilania wynosi 2.7 V do 3.6 V lub 4.75 V do 5.25 V. Maksymalny zakres napięcia<sup>3</sup> minusa do plusa zasilania podany przez producenta to: -0.3 V to +7 V. W projekcie mikrokontroler jest zasilany napięciem 5V. Podczas programowania układu lub w każdej innej sytuacji, pod warunkiem, że ADuC845 jest połączony poprzez moduł FT232RL z komputerem nie jest konieczne zasilanie układu mikroprocesorowego z sieci. Napięcie zasilania pobierane jest z USB. W przypadku gdy układ ma działać jako samodzielne urządzenie bez komunikacji z PC należy podpiąć zasilacz<sup>4</sup>.

<sup>3</sup> DGND to DVDD = -0.3 V to +7 V.

<sup>4</sup> Zasilacz opisany jest w rozdziale 4.3.

### 4.1.5. Schemat elektryczny

Schemat elektryczny (Rys. 4.3) wykonano w programie EAGLE Version 5.10.0 firmy CADSOFT. Głównym elementem jest mikrokontroler ADuC845, który jest mózgiem całego układu. Drugim ważnym elementem jest układ scalony FT232RL odpowiedzialny za komunikację między mikrokontrolerem a komputerem osobistym.



RYSUNEK 4.3. Układ mikroprocesorowy - Schemat elektryczny.

#### 4.1.6. Płytki PCB

Projekt płytki (Rys. 4.4) został stworzony w programie EAGLE. Wszystkie elementy użyte do budowy układu mikroprocesorowego znajdują się w tabeli 4.1. Obwód drukowany ma rozmiar 68x120mm. Jest to płytka dwustronna i skomplikowana. Większość elementów jest typu SMD, są one umieszczone w bardzo małych obudowach. Niemożliwe było zatem wytrawienie i polutowanie płytki w warunkach domowych. Wyprodukowanie układu mikroprocesorowego zlecono firmie MERKAR Sp. z o.o.<sup>5</sup>. Złożenie układu zlecono firmie Woszym Technologies Sp.J.<sup>6</sup>.

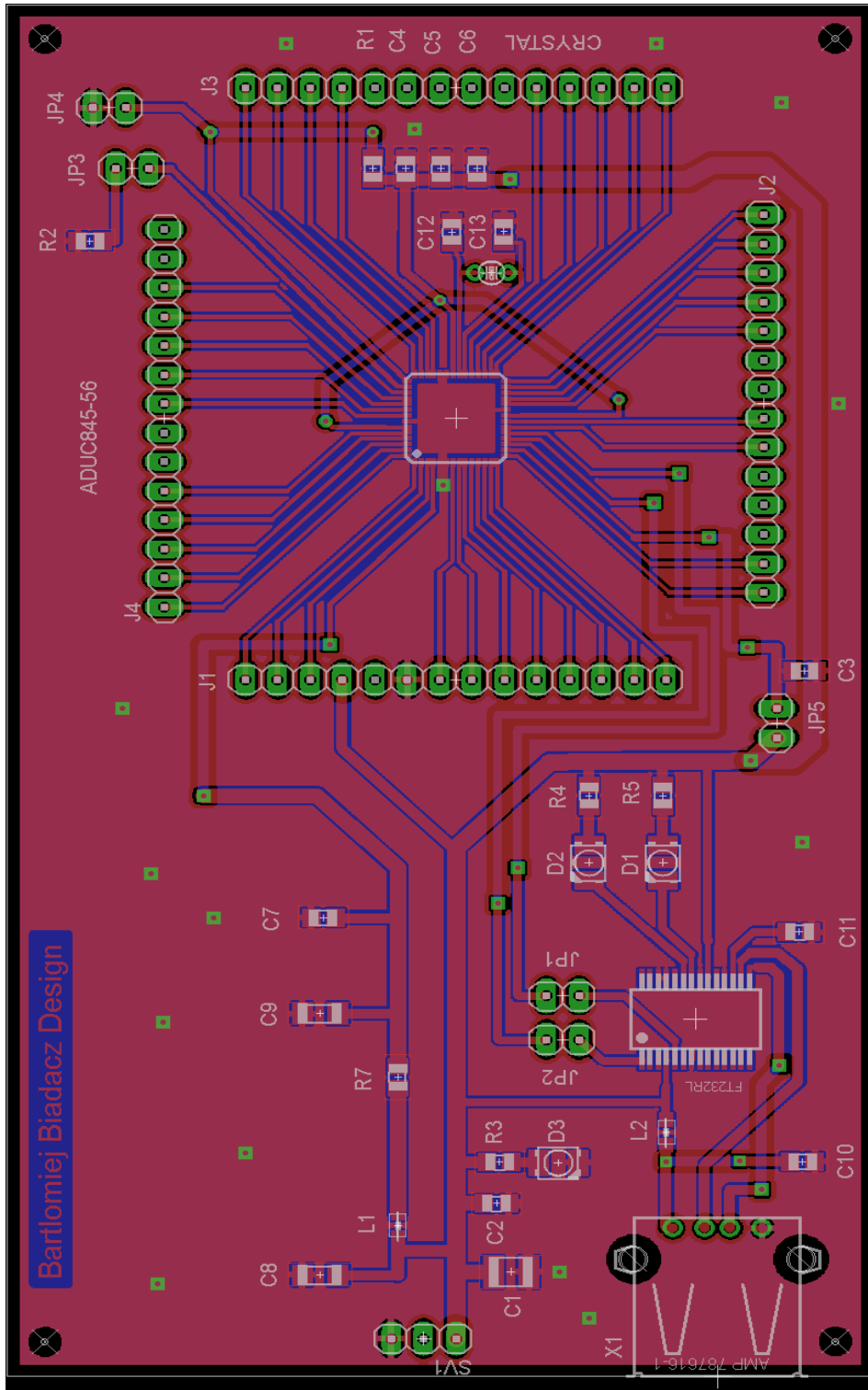
Pasta lutownicza została naniesiona na pady dyspenserem. Cały układ z elementami umieszczono na 4 min. w specjalnym piecu, w którym w temperaturze 220°C elementy zostały przylutowane w odpowiednich miejscach. Następnie układ wyczyszczono w zmywarce ultradźwiękowej i wysuszono. Projekt Płytki PCB został wykonany w taki sposób aby jego użytkowanie nie sprawiało problemów. Wszystkie nóżki mikroprocesora są wyprowadzone za pomocą ścieżek i goldpinów. W projekcie znajdują się również zworki, których zwarcie odpowiada m.in. za resetowanie czy programowanie układu. Podczas projektowania obwodu drukowanego należało pamiętać o kilku zasadach, których należało przestrzegać. Najważniejsze z nich to unikanie prowadzenia ścieżek pod kątem prostym, jak najdokładniejsze wypełnienie wolnego miejsca „masą” oraz połączenia w kilku punktach „mas” przelotką. Ścieżki zasilania powinny być także prowadzone grubszymi ścieżkami.

Zbudowaną płytkę przetestowano programami (oraz ich modyfikacjami) ze strony producenta.

---

<sup>5</sup> <http://www.merkar.pl/> aktualne na: Maj 2011

<sup>6</sup> <http://www.woszym.pl/> aktualne na: Maj 2011



RYSUNEK 4.4. Układ mikroprocesorowy - obwód drukowany.



TABLICA 4.1. Wykaz elementów użytych do budowy układu mikroprocesorowego.

Nazwa	Rodzaj	Obudowa	Wartość/opis	Ilość
IC1	mikrokontroler	56-lead LFCSP	ADuC845	1
IC2	układ scalony	28 Pin SSOP	FT232RL	1
CRYSTAL	kwarc	TC26V	32.768 kHz	1
L1; L2	filtr	0805	-	2
X1	USB	USB	gniazdo USB	1
J1; J2; J3; J4	goldpin	1X14	piny/wyprowadzenia	4
JP1; JP2; JP3; JP4	goldpin	1X02	piny/zworki	4
SV1	goldpin	1X03	piny/złącze	1
D1; D2; D3	dioda	KA-3528ASYC	żółta; zielona; czerwona	3
R1; R2	rezystor	0805	1k $\Omega$	2
R3; R4; R5	rezystor	0805	270 $\Omega$	3
C2-C7; C11;	kondensator	0805	0.1 $\mu$ F	7
C8; C9	kondensator	3216	elektrolit 10 $\mu$ F/6V	2
C1	kondensator	3225	4.7 $\mu$ F	1
C10	kondensator	0805	10nF	1

## 4.2. Moduł do pomiaru prądu elektrody

Moduł do pomiaru prądu elektrody służy do zamiany mierzonego prądu na napięcie oraz do dopasowania tego napięcia do zakresu napięć wejściowych przetwornika A/C znajdującego się w układzie mikroprocesorowym.

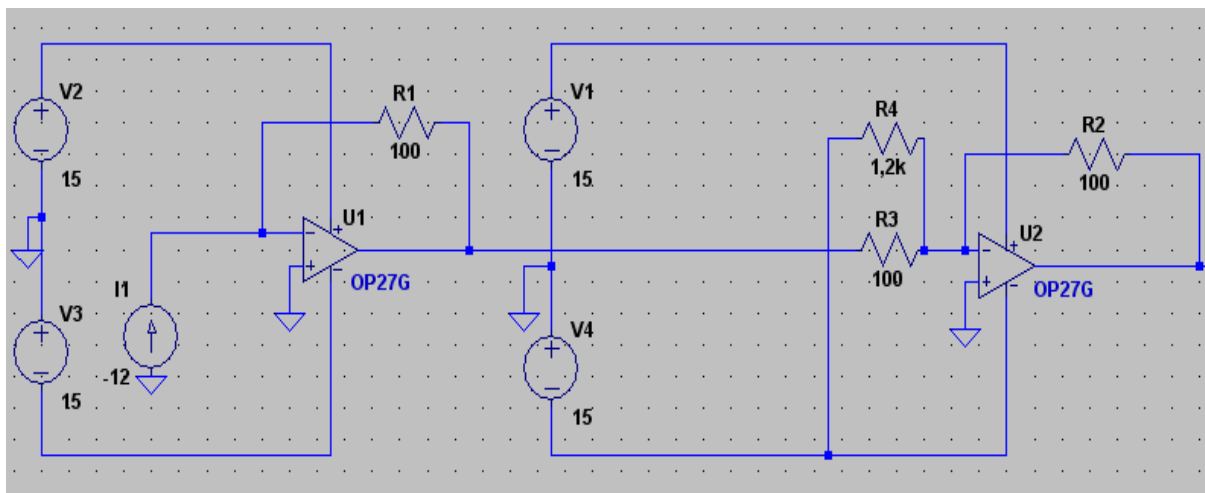
Spowodowane jest to faktem, że w woltamperometrii mierzymy zarówno prądy dodatnie jak i ujemne, a zakres wejściowy przetwornika analogowo-cyfrowego mikrokontrolera wynosi 0 - 2,5V. Moduł ten zaprojektowano w oparciu o dwa wzmacniacze operacyjne OP27G [4] firmy Texas Instruments<sup>7</sup>. Wzmacniacz OP27G wybrano ze względu na dobry stosunek jakości (parametry wzmacniacza Tablica. 4.2) do ceny z aktualnie dostępnych wzmacniaczy w sklepie. Pierwszy ze wzmacniaczy pracuje jako konwerter prądowo-

<sup>7</sup> <http://www.ti.com/> aktualne na: Maj 2011

TABLICA 4.2. Parametry wzmacniacza operacyjnego OP27G.

Parametr	Wartość
Napięcie niezrównoważenia	$30\mu V$
Prąd niezrównoważenia	12 nA
Prąd polaryzacji	15 nA
Zasilanie	$\pm 15V$

napięciowy<sup>8</sup>. Drugi natomiast jest skonfigurowany jako wzmacniacz sumujący<sup>9</sup> i „przesuwa” zakres w górę. Wartości rezystorów, o które wzbogacono moduł zostały dobrane na podstawie obliczeń<sup>10</sup>. Po wyliczeniu wartości rezystorów układ został zasymulowany w środowisku LTspice IV (Rys. 4.5). Po dokonaniu symulacji dla mierzonych prądów rów-



RYSUNEK 4.5. Zasymulowany moduł w środowisku LTspice IV.

nych  $-12mA$  do  $+12mA$  na wyjściu modułu otrzymano wartości z przedziału 0 - 2,5V. Symulację przedstawia Rys. 4.6.

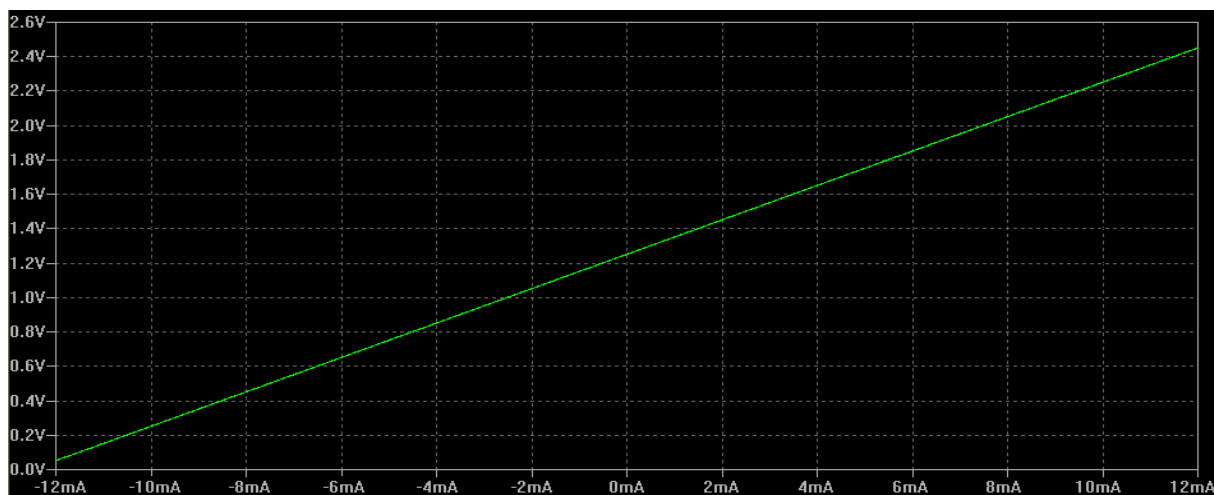
#### 4.2.1. Schemat elektryczny

Schemat elektryczny wykonano w programie EAGLE Version 5.10.0 firmy CADSOFT. Głównymi elementami są dwa wzmacniacze operacyjne OP27G. Ponieważ w woltamperometrii mamy do czynienia z pomiarami bardzo małych prądów (rzędu mikro, piko amperów) należało zaprojektować moduł w taki sposób, żeby można regulować jego zakres

<sup>8</sup> opisany w podrozdziale 3.3.2

<sup>9</sup> opisany w podrozdziale 3.3.2

<sup>10</sup> Wzory 2 i 3.



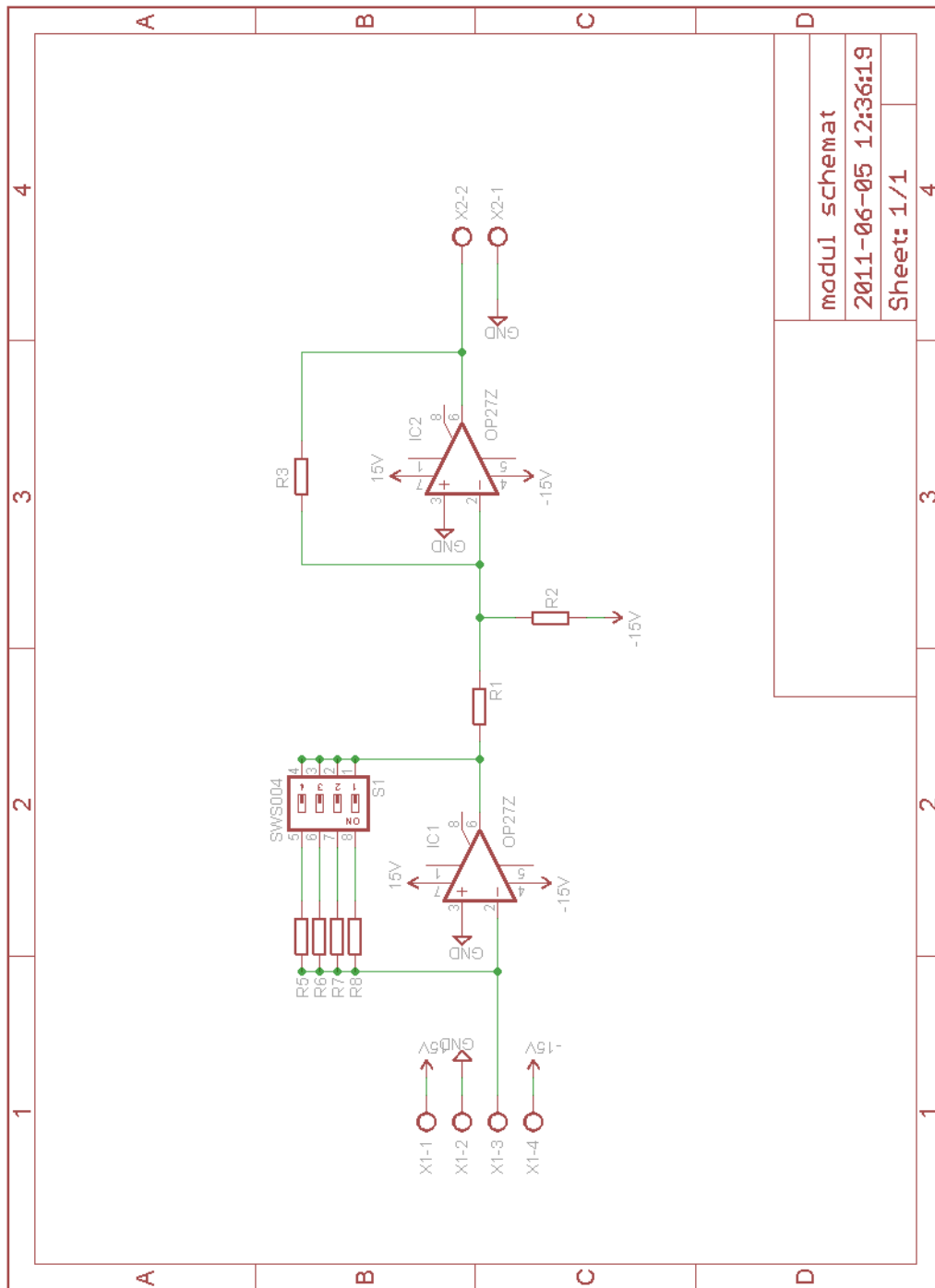
RYSUNEK 4.6. Wynik symulacji modułu.

wyjściowy. Uzyskano to przez umieszczenie przełącznika (SWS004 na Rys. 4.7) w pętli sprzężenia zwrotnego pierwszego wzmacniacza. Dzięki temu przełącznikowi można ustawić jeden z czterech rezystorów (Rezystory R5, R6, R7, R8 na Rys. 4.7) w pętli sprzężenia zwrotnego i w zależności od wielkości badanych prądów regulować zakres wyjściowy. Moduł będzie zasilany napięciem symetrycznym  $\pm 15V$  z skonstruowanego zasilacza (Rozdział 4.3).

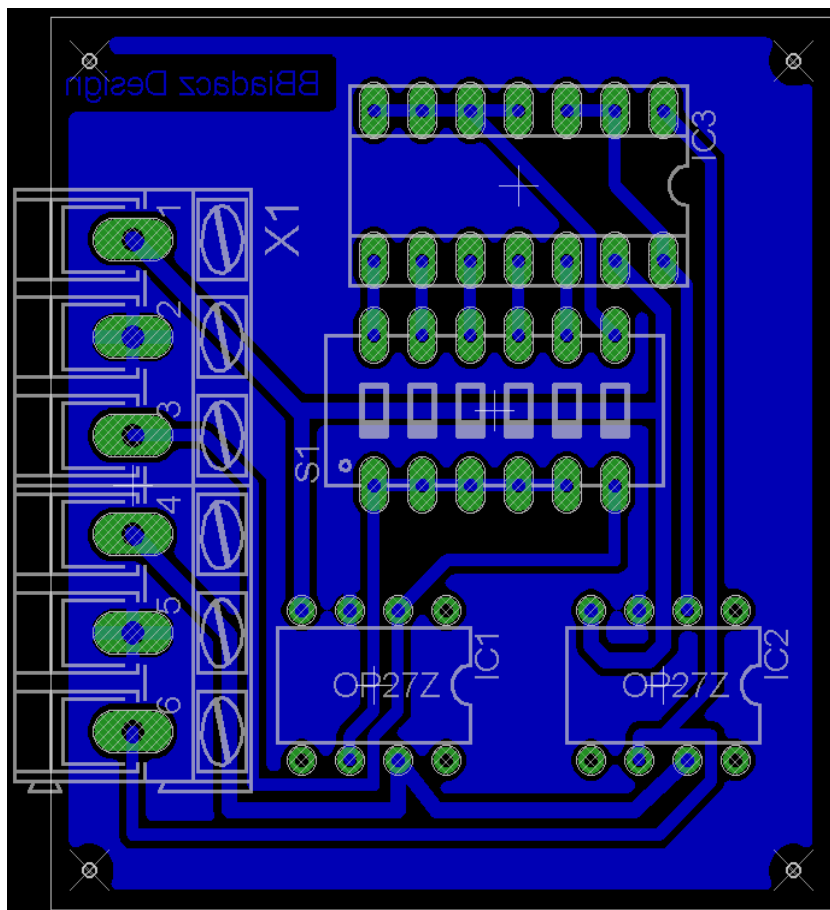
#### 4.2.2. Płytką PCB

Projekt płytki (Rys. 4.8) został stworzony w programie EAGLE. Obwód drukowany ma rozmiar 40x45mm. Ponieważ projekt nie jest skomplikowany (płytką jednostronna) płytką została stworzona tzw. metodą żelazkową. Ścieżki zostały naniesione na laminat za pomocą żelazka i wytrawione w preparacie B327. Wszystkie elementy modułu są częściami przewlekanyymi THT. Wywiercono w płytce otwory i przylutowano elementy do ścieżek po przeciwnej stronie. Płytkę skonstruowano w ten sposób, aby ewentualna modernizacja przetwornika na potrzeby badań była możliwa i łatwa do zrealizowania. Rezystory umieszczono w podstawce dzięki czemu można je szybko wymienić na inne<sup>11</sup> bez lutowania i ingerencji w ścieżki układu.

<sup>11</sup> Rezystory o wyliczonych na nowo wartościach na potrzeby innych badań.



RYSUNEK 4.7. Moduł do pomiaru prądu elektrody - schemat elektryczny.



RYSUNEK 4.8. Moduł do pomiaru prądu elektrody - obwód drukowany.

TABLICA 4.3. Wykaz elementów użytych do budowy modułu do pomiaru prądu elektrody.

Nazwa	Rodzaj	Wartość/opis	Ilość
X1	zacisk	1x6	1
S1	przełącznik	6 kanałów	1
IC1; IC2	wzmacniacz operacyjny	OP27G	2
IC3	podstawka	podstawka 2x7 na rezystory	1
R1; R3; R5	rezystor	100Ω	3
R2	rezystor	1.2kΩ	1
R6	rezystor	1kΩ	1
R7	rezystor	10kΩ	1
R8	rezystor	100kΩ	1

### 4.3. Zasilacz

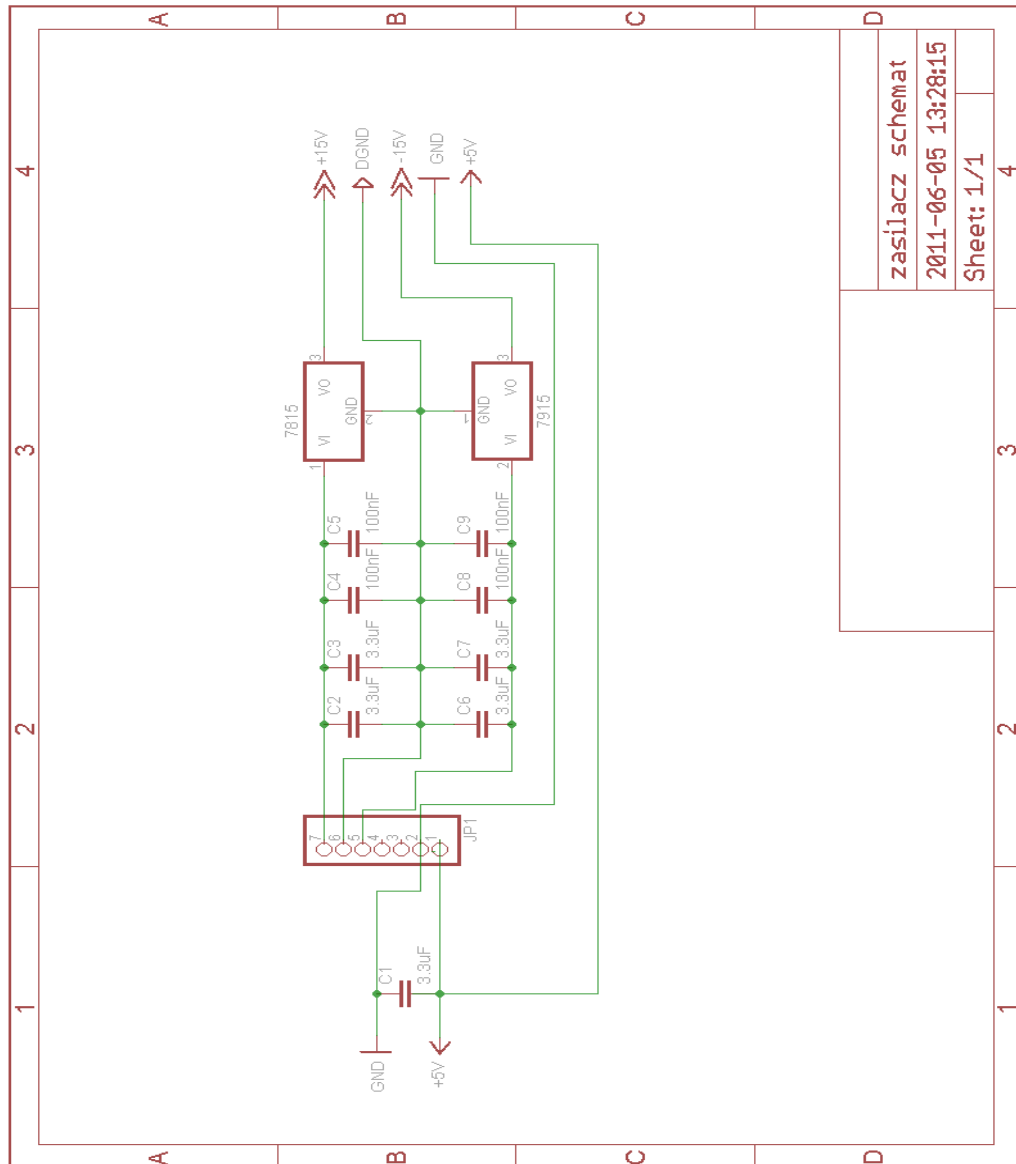
Zasilanie jest bardzo istotnym elementem projektu. Rozbudowywane stanowisko ma spore wymagania co do zasilania. Układ mikroprocesorowy potrzebuje zasilania równego 5V, natomiast sercem modułu do pomiaru prądu elektrody są dwa wzmacniacze operacyjne, które potrzebują zasilania symetrycznego  $\pm 15V$ . Stosowanie dwóch zasilaczy wpłynęłoby niekorzystnie na estetykę i praktyczność projektu. Dwie wtyczki, platanina kabli i zwiększenie powierzchni stanowiska nie są porządane. Został więc zaprojektowany i skonstruowany zasilacz, który dostarcza wymagane napięcia do zasilania zarówno układu mikroprocesorowego, jak i modułu do pomiaru prądu elektrody.

#### 4.3.1. Schemat elektryczny

Zasilacz został zaprojektowany w oparciu o ładowarkę do telefonu komórkowego (Siemens MT50) o parametrach 5.2V/450mA. Kolejnym ważnym elementem jest przetwornica DC/DC AM1D-0515DH30Z<sup>12</sup> firmy Aimtec. Projekt schematu elektrycznego (Rys. 4.9) wykonano w programie EAGLE Version 5.10.0 firmy CADSOFT. Schemat uzupełniono o

<sup>12</sup> <http://www.aimtec.com/site/Aimtec/files/Datasheet/HighResolution/AM1D-Z.PDF> aktualna: Maj 2011

kondensatory oraz stabilizatory napięcia L7815CV<sup>13</sup> (stabilizator napięcia 15V) i L7915CV<sup>14</sup> (stabilizator napięcia -15V).



RYSUNEK 4.9. Zasilacz - schemat elektryczny.

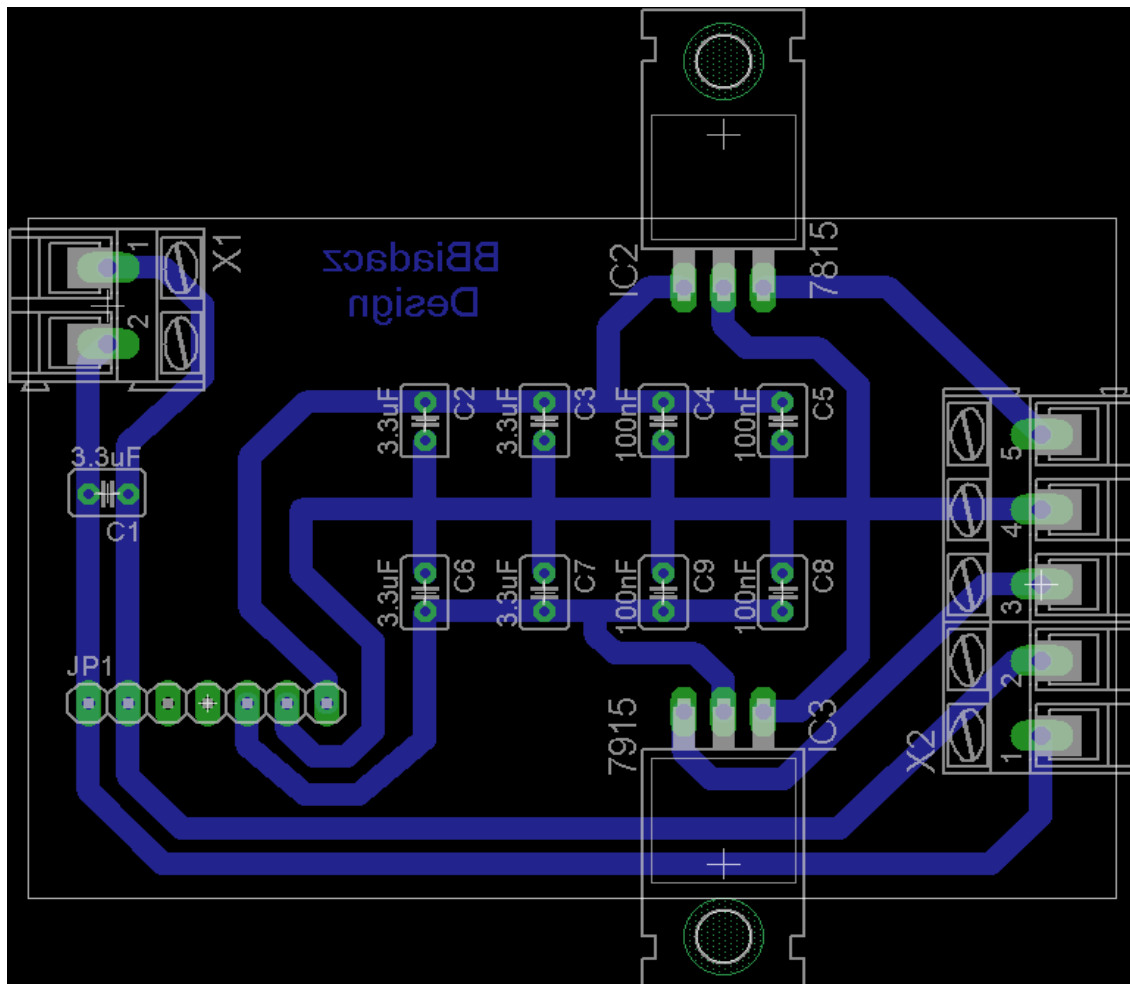
#### 4.3.2. Płytki PCB

Projekt płytki (Rys. 4.10) także został stworzony w programie EAGLE. Płytki ma rozmiar 70x45mm. Ponieważ projekt nie jest skomplikowany (płytki jednostronna) płytki

<sup>13</sup> <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/stmicroelectronics/2143.pdf> aktualne na: Maj 2011

<sup>14</sup> <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/stmicroelectronics/2149.pdf> aktualne na: Maj 2011

została stworzona tzw. metodą żelazkową. Ścieżki zostały naniesione na laminat za pomocą żelazka i wytrawione w preparacie B327. Ponieważ wszystkie elementy zasilacza są częściami THT wywiercono w płytce otwory i przylutowano elementy do ścieżek po przeciwnej stronie.



RYSUNEK 4.10. Zasilacz - obwód drukowany.

Po skonstruowaniu zasilacza dokonano jego przebadania. Zbudowane urządzenie dostarcza dokładnie takich napięć jakie były w założeniach projektu tj. +5,2V, +15V, -15V.



TABLICA 4.4. Wykaz elementów użytych do budowy zasilacza.

Nazwa	Rodzaj	Wartość/opis	Ilość
X1	zacisk	1x2	1
X2	zacisk	1x5	1
JP1	przetwornica DC/DC	AM1D-0515DH30Z	1
7815	stabilizator	L7815	1
7915	stabilizator	L7915	1
C1; C2; C3; C6; C7	kondensator	elektrolit 3.3 $\mu$ F/35V	5
C4; C5; C8; C9	kondensator	100nF	4
-	ładowarka 5.2V/450mA	TR-613-08CE/C73CE169	1



## Rozdział 5

### Podsumowanie i wnioski

W pracy magisterskiej zostały omówione podstawowe zagadnienia związane z techniką mikroprocesorową oraz metodą analizy chemicznej jaką jest woltamperometria. Zrozumienie na czym polega ta metoda było niezbędna do zaprojektowania i skonstruowania sprzętu, który będzie służył do takich właśnie badań. W ramach tego projektu zostały zaprojektowane i skonstruowane trzy urządzenia:

1. Zestaw startowy z mikrokontrolerem ADuC845 - najbardziej zaawansowany i złożony technologicznie moduł. Mikrokontroler ten jest bardzo małych rozmiarów (8x8mm) i posiada aż 56 wyprowadzeń, co wymogło od autora zrobienie bardzo starannego i precyzyjnego projektu. Założeniami co do tego układu było zbudowanie wygodnego w użytkowaniu zestawu uruchomieniowego. Kolejnym wymogiem była komunikacja z komputerem PC przez port USB. Założenia udało się zrealizować. Powstał w pełni funkcjonalny układ mikroprocesorowy, który nie tylko może być częścią stanowiska do badań woltamperometrycznych, ale może być wykorzystany w szeroko pojętych celach dydaktycznych. Projekt został wykonany w taki sposób, aby możliwe było skorzystanie ze wszystkich funkcji jakie oferuje mikrokontroler ADuC845. Programowanie układu, tak samo jak transmisja danych, przebiega przez port USB. Efekt ten uzyskano przez zastosowanie układu scalonego FT232RL, który po zainstalowaniu na komputerze odpowiednich sterowników tworzy wirtualny port COM.

Uzyskano zestaw startowy, który jest tak samo funkcjonalny jak zestaw uruchomieniowy producenta z tą przewagą, że skonstruowany układ komunikuje się z komputerem przez USB a nie przez port RS232, który jest coraz rzadziej spotykany. Na korzyść skonstruowanego urządzenia wpływa niska cena oraz brak konieczności stosowania zasilacza, podczas gdy płytka jest podłączona do PC. Koszt zmontowania takiego urządzenia jest dużo niższy niż kupno oryginalnego zestawu startowego oferowanego przez producenta.

2. Drugim urządzeniem, które zostało skonstruowane, jest moduł do pomiaru prądu elektrody. Jest to przetwornik prądowo-napięciowy, który ponadto dopasowuje zakres pomiarowy do zakresu napięć wejściowych przetwornika A/C w mikrokontrolerze. Zakres ten może zmieniać użytkownik wybierając rezystor przełącznikiem. Moduł został zbudowany w taki sposób, aby możliwe było jego szybkie przerobienie poprzez wymianę rezystorów w przełączniku (gdy mamy do czynienia z prądami innego rzędu niż spotykane są w woltamperometrii).
3. Trzecim urządzeniem, które zostało zaprojektowane i zbudowane jest zasilacz. Przy budowie wykorzystano starą ładowarkę impulsową do telefonu komórkowego o parametrach 5,2V/450mA. Za pomocą przetwornicy DC/DC i stabilizatorów uzyskano stabilizowane napięcie  $\pm 15V$ . Zasilacz ten służy głównie do zasilania modułu do pomiaru prądu elektrody. Może także służyć do zasilania zestawu startowego z ADuC845 w przypadku, gdy układ ten działa bez komputera jako samodzielne urządzenie. Zasilacz może posłużyć ponadto do zasilania innych projektów, w których będą wykorzystane często spotykane wzmacniacze, które trzeba zasilić napięciem symetrycznym  $\pm 15V$ .

Podsumowując praca nad tym projektem pozwoliła autorowi na rozszerzenie swojej wiedzy w zakresie techniki mikroprocesorowej oraz pozwoliła pojąć wiedzę z zakresu analizy chemicznej i elektroniki. Z dziedziny jaką jest elektronika najważniejsza jest wiedza praktyczna, którą autor pracy zdobył przy projektowaniu i konstruowaniu wyżej wymienionych urządzeń. Potrzeba zaprojektowania schematów elektrycznych i obwodów drukowanych zmusiła autora do nauczania się i sprawnej pracy w programie EAGLE firmy CADSOFT. Jest to bardzo popularny program do projektowania schematów elektrycznych i płytek PCB. Jego biegła znajomość na pewno zaprocentuje w przyszłości. Podczas testowania zestawu startowego dla ADuC845 autor zdobył praktykę w programowaniu tego typu urządzeń (zarówno w języku C jak i assemblerze). Praca ta pozwoliła także na rozwój umiejętności czytania ze zrozumieniem dokumentacji technicznych i wykorzystywania zawartych w nich cennych informacji.

## Rozdział 6

### Propozycja dalszej pracy

Wykonana praca pozwoliła zbudować sprzęt, który jest niezbędny do złożenia dokładnego urządzenia pomiarowego do badań woltamperometrycznych. Kolejnym etapem powinno być napisanie oprogramowania, które będzie zbierało dane i prezentowało wyniki w postaci woltamogramów na ekranie komputera. Można to uzyskać programując w języku C lub LabView. Kolejnym ważnym etapem powinna być kalibracja urządzenia pomiarowego. W przypadku samego zestawu startowego może mieć on bardzo szerokie zastosowanie w dydaktyce. Po dołączeniu wyświetlacza LCD, diody lub przycisku z pewnością sprawdzi się jako sprzęt do nauki techniki mikroprocesorowej, lub jako główny układ w innych projektach. Dzięki zamieszczonym w załączniku schematom można w razie potrzeby zamówić więcej takich zestawów.



## Załącznik 1

W załączniku tym przedstawiono numer wraz z krótkim opisem każdego wyprowadzenia mikrokontrolera ADuC845.

Tablica 6.1: Wyprowadzenia mikrokontrolera ADuC845.

Nr.	Nazwa	Typ	Opis
56	P1.0/AIN1	I	wejście analogowe
1	P1.1/AIN2	I	wejście analogowe
2	P1.2/AIN3/REFIN2+	I	napięcie odniesienia (dodatnie)
3	P1.3/AIN4/REFIN2-	I	napięcie odniesienia (ujemne)
4	AVDD	S	zasilanie części analogowej
5	AGND	S	masa analogowa
6	AGND	S	masa analogowa
7	REFIN-	I	zewnętrzne napięcie odniesienia (dodatnie)
8	REFIN+	I	zewnętrzne napięcie odniesienia (ujemne)
9	P1.4/AIN5	I	wejście analogowe
10	P1.5/AIN6	I	wejście analogowe
11	P1.6/AIN7/IEXC1	I	wejście analogowe
12	P1.7/AIN8/IEXC2	I	wejście analogowe
13	AINCOM/DAC	I/O	wejście analogowe/wyjście analogowe
14	DAC	O	wyjście analogowe
15	AIN9	I	wejście analogowe
16	AIN10	I	wejście analogowe
17	RESET	I	reset - kasowanie układu
18	P3.0/RxD	I/O	transmisja szeregową. Odbieranie danych
19	P3.1/TxD	I/O	transmisja szeregową. Wysyłanie danych
20	P3.2/INT0	I/O	zewnętrzne przerwanie licznika T0
21	P3.3/INT1	I/O	zewnętrzne przerwanie licznika T1

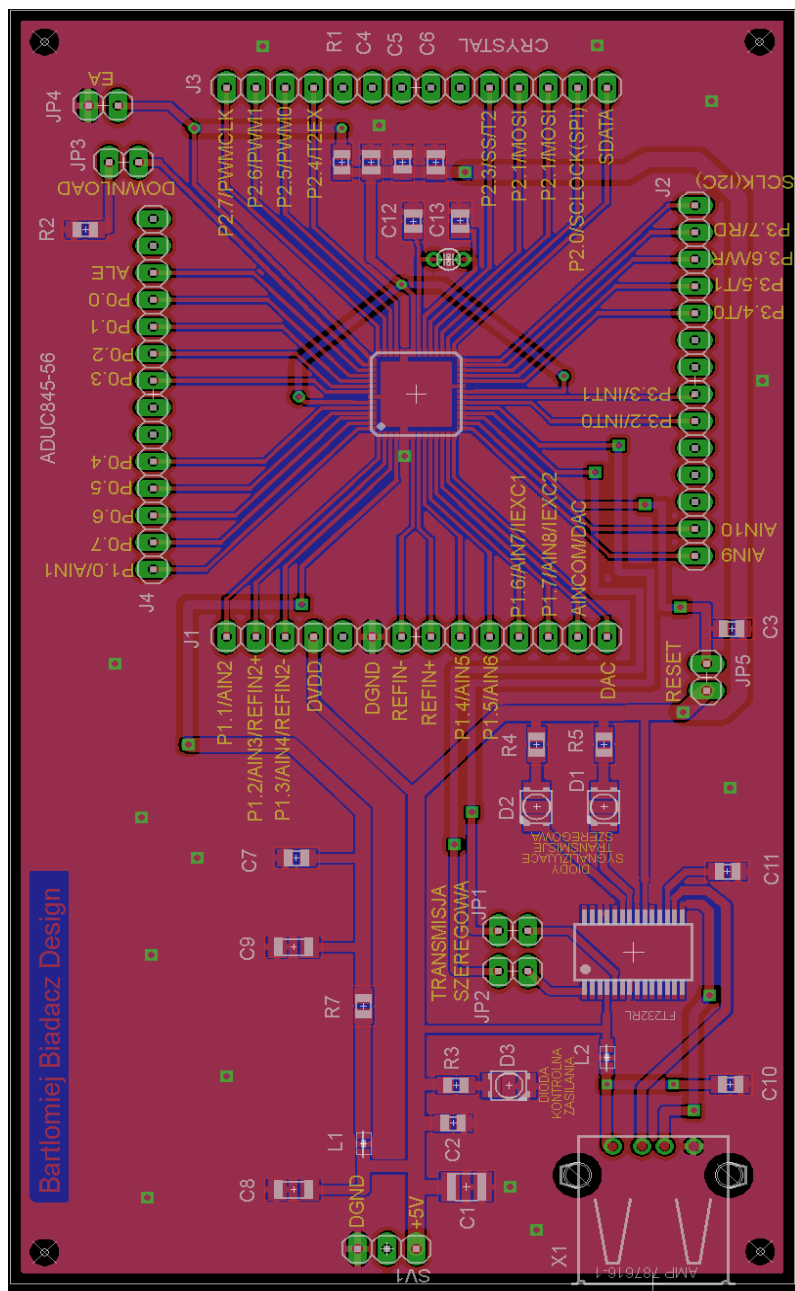
24	P3.4/T0	I/O	licznik/timer T0
25	P3.5/T1	I/O	licznik/timer T1
26	P3.6/WR	I/O	zapis danych do zewnętrznej pamięci
27	P3.7/RD	I/O	odczyt danych z zewnętrznej pamięci
22,36,51	DVDD	S	zasilanie części cyfrowej
23,37,38,50	DGND	S	masa cyfrowa
28	SCLK(I2C)	I/O	konfiguracja zegaru interfejsu I2C
29	SDATA	I/O	pin danych do interfejsu magistrali I2C
30	P2.0/SCLOCK (SPI)	I/O	konfiguracja zegaru interfejsu SPI
31	P2.1/MOSI	I/O	master Output/Slave Input Interfejs SPI
32	P2.2/MISO	I/O	master Input/Slave Output Interfejs SPI
33	P2.3/SS/T2	I	slave input, interfejs SPI/zegar timera T2
39	P2.4/T2EX	I/O	kontrola timera T2
40	P2.5/PWM0	I/O	wyjście PWM0
41	P2.6/PWM1	I/O	wyjście PWM1
42	P2.7/PWMCLK	I/O	zewnętrzny zegar PWM
34	XTAL1	I	wejście oscylatora kwarcowego
35	XTAL2	I	wyjście oscylatora kwarcowego
43	EA	I	pobieranie rozkazów z wew. lub zew. pamięci
44	PSEN	O	wyjście nieużywane w przypadku ADuC845
45	ALE	O	–
46–49, 52–55	P0.0–P0.7	I/O	port P0

I – wejście; O – wyjście; S – Zasilanie; I/O – wejście/wyjście



## Załącznik 2

W załączniku tym przedstawiony jest projekt płytki PCB układu mikroprocesorowego wraz z naniesionym opisem pinów i zwerek (przełączników), który będzie przydatny przy korzystaniu z tego urządzenia.



RYСУNEK 6.1. Układ mikroprocesorowy - obwód drukowany z dokładnym opisem.



## Bibliografia

- [1] T. Starecki: *Mikrokontrolery 8051 w praktyce*. Wydawnictwo BTC, Warszawa, wydanie 1, 2002
- [2] Analog Devices: *ADuC845/ADuC847/ADuC848*. One Technology Way, Norwood MA U.S.A., Rev B, 2005
- [3] FTDI Chip: *FT232R USB UART IC* Future Technology Devices International Ltd., U.K., 2010
- [4] Texas Instruments: *OP27A, OP27C, OP27E, OP27G OP37A, OP37C, OP37E, OP37G LOW-NOISE HIGH-SPEED PRECISION OPERATIONAL AMPLIFIERS* Texas Instruments Incorporated., Dallas Texas U.S.A., FEBRUARY 1989 – REVISED AUGUST 1994
- [5] S. Surowiński: *Elektronika dla wszystkich - Mikrokontrolery? To takie proste... Mikrokontrolery 8051 - opis układu*. Wydawnictwo AVT, wydanie 4,5,6,7,8,9/2002
- [6] W. Szczepaniak: *Metody instrumentalne analizie chemicznej*. Wydawnictwo Naukowe PWN S.A., Warszawa, wydanie 4, 2002
- [7] Galen, W. Ewing: *Metody instrumentalne w analizie chemicznej*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1980
- [8] A. Cygański: *Metody elektroanalizy* Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1995
- [9] P. Górecki,: *Wzmacniacze operacyjne*. Wydawnictwo BTC, Warszawa 2002,2004
- [10] J. Piotrowski, W. Ilewicz, D. Buchczik, S. Waluś, R. Wyżgolik, J. Żelezik,: *Pomiary: czujniki i metody pomiarowe wybranych wielkości fizycznych i składu chemicznego*. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne Sp. z o.o., Warszawa 2009