STRESZCZENIE

Celem projektu inżynierskiego było stworzenie testera elementów półprzewodnikowych, którego zadaniem jest rozpoznawanie elementów półprzewodnikowych, podłączanych do urządzenia przez użytkownika. Poza tym urządzenie zostało wzbogacone o pomiar rezystancji i pojemności. Tester ma umożliwić szybką, automatyczną identyfikację elementów bez szukania not katalogowych przez użytkownika, czy ręcznych pomiarów za pomocą multimetru.

Zasada działania urządzenia polega na wykorzystaniu mikrokontrolera ATmega8A, jako jednostki sterującej i pomiarowej, oraz zastosowaniu grupy rezystorów, które poszerzają możliwości mikrokontrolera. Dzięki takiej konfiguracji tester rozpoznaje elementy elektroniczne na podstawie ich charakterystycznych cech oraz zasady działania.

Zakres pracy przy tworzeniu testera obejmował stworzenie projektu płytki drukowanej i zmontowanie urządzenia. Po wykonaniu warstwy sprzętowej należało napisać program, który korzystając z dostępnych zasobów, będzie w stanie jednoznacznie określić badany element. Proces tworzenia oprogramowania był przeplatany z procesem testowania, w którym była sprawdzana poprawność działania urządzenia.

Wykonany tester elementów półprzewodnikowych spełnia swoje zadanie. Pomimo prostego układu pomiarowego urządzenie jest w stanie wykryć wiele różnych elementów elektronicznych, choć z pewnymi ograniczeniami, jak na przykład elementy dużej mocy.

Słowa kluczowe: tester, elementy półprzewodnikowe, mikrokontroler

Dziedzina nauki i techniki, zgodnie z wymogami OECD: elektrotechnika i elektronika

ABSTRACT

The goal of the engineering design was constructed a semiconductor devices tester, which can identify semiconductor devices connected to the tester by user. Furthermore the device was extended by resistance and capacity measurement. The tester task is fast and automatic recognition the tested electronic component, without necessity of looking for datasheet of component or manual measurements with multimeter.

The principles of work the semiconductor tester is based on using the microcontroller ATmega8A, which work as a control and measurement unit, and using the group of resistors, which extend the microcontroller capabilities. This hardware configuration allow to identify electronic components based on their characteristics.

The scope of work in creating the semiconductor devices tester includes design of printed circuit board and assemble the device. After accomplished a hardware layer, it was need to write the program on the microcontroller, which take advantage of available resources. The program must be able to clearly define the examined component. The process of writing the code was being executed parallel with the process of testing tester operation.

The created semiconductor devices tester fulfils all its tasks. Despite simply construction, the device can identify many electronic components with same restrictions, like power semiconductor devices.

Keywords: tester, semiconductor devices, microcontroller

SPIS TREŚCI

Wykaz ważniejszych oznaczeń i skrótów ………………………………………………………………

1. Wstęp i cel pracy ……………………………………………………………………………………….

2. Testowane elementy …………………………………………………………………………………..

2.1. Rezystor …………………………………………………………………………………...………

2.2. Kondensator ……………………………………………………………………………...……….

2.3. Dioda ………………………………………………………………………...…………………….

2.4. Tranzystor bipolarny NPN ……………………………………………………………………….

2.5. Tranzystor bipolarny PNP ……………………………………………………………………….

2.6. Tranzystor MOSFET z kanałem wzbogaconym typu n ………………………………………

2.7. Tranzystor MOSFET z kanałem wzbogaconym typu p ………………………………………

2.8. Tyrystor ……………………………………………………………………………………………

3. System pomiarowy ……………………………………………………………………………………..

3.1. Układ testowy ……………………………………………………………………………………..

3.1.1. Badanie rezystancji ……….……………………………………………………………...

3.1.2. Badanie pojemności ……………………………………………………………………...

3.1.3. Badanie diody ……………………………………………………………………………..

3.1.4. Badanie tranzystora bipolarnego NPN …………………………………………………

3.1.5. Badanie tranzystora bipolarnego PNP …………………………………………………

3.1.6. Badanie tranzystora MOSFET z kanałem wzbogaconym typu n ……………………

3.1.7. Badanie tranzystora MOSFET z kanałem wzbogaconym typu p ……………………

3.1.8. Badanie tyrystora ………..........................................................................................

3.2. Mikrokontroler …………………………………………………………………………………….

3.3. Układ zasilania ……………………………………………………………………………………

3.4. Wyświetlacz ……………………………………………………………………………………….

4. Wyniki pomiarów ………………………………………………………………………………………..

5. Podsumowanie ………………………………………………………………………………………….

Wykaz literatury ……………………………………………………………………………………………

Wykaz rysunków …………………………………………………………………………………………..

1. Wstęp i cel pracy

Obecnie na rynku znajduje się wiele elementów elektronicznych, które mają takie same obudowy. Pomimo stosowania na obudowach oznaczeń, które zawierają numery identyfikacyjne elementu i nazwę producenta, użytkownik musi posiadać notę katalogową danego elementu, aby móc określić jego rodzaj, podstawowe parametry pracy, położenie poszczególnych wyprowadzeń. Ze względu na szeroki wybór dostępnych elementów elektronicznych elektronik – amator, inżynier nie są w stanie zapamiętać wszystkich stosowanych oznaczeń. Dodatkowo należy zaznaczyć, że nowych elementów wciąż przybywa.

Oczywiście najprostszą metodą określenia rodzaju elementu elektronicznego jest sprawdzenie jego noty katalogowej. Znalezienie odpowiedniego dokumentu zajmuje trochę czasu, ale jest to najpewniejsze źródło informacji. Czasami jednak nie można skorzystać z tego sposobu, ponieważ opis na obudowie został starty, albo dokumentacja elementu nie jest dostępna. W takim przypadku można posłużyć się multimetrem i zbadać posiadany element. Jednak ta metoda jest pracochłonna.

Najszybszą metodą identyfikacji elementy elektronicznego wydaje się zastosowanie testera elementów półprzewodnikowych. Tester jak sama nazwa wskazuje, służy do testowania elementów półprzewodnikowych, rozpoznawania ich. Testowanie elementu polega na umieszczeniu elementu w pinach testowych urządzenia i uruchomieniu pomiarów za pomocą przycisku. Po zakończeniu badań, tester informuje użytkownika o wyniku pomiaru na przykład poprzez wyświetlenie informacji na wyświetlaczu.

Dodatkowo takie urządzenie można wzbogacić o badanie innych elementów elektronicznych niż tylko półprzewodnikowe, jak na przykład rezystory, kondensatory. Oprócz identyfikacji elementu tester elementów półprzewodnikowych można również mierzyć podstawowe parametry elementów. Dokładność takich pomiarów zależy od zastosowanego układu testowego, ale pozwala zdobyć przybliżone informacje o badanym elemencie. Kolejną dodatkową funkcją urządzenia może być wykrywanie położenia pinów badanego elementu, przez co użytkownik nie musi zaglądać do noty w celu sprawdzenia położenia wyprowadzeń.

Tester elementów półprzewodnikowych znajduje zastosowanie w warsztatach elektronicznych hobbystów, gdzie często wykorzystuje się elementy z odzysku. Pomaga początkującym elektronikom w szybkiej identyfikacji elementu lub służy do sprawdzenia sprawności elementu. Tester nie powinien służyć jako zamiennik noty katalogowej, ponieważ jego zakres testowanych parametrów jest dosyć ubogi, ale czasami może okazać się jedynym rozwiązaniem.

Pierwszym etapem podczas projektowania testera było zapoznanie się z dostępnymi obecnie rozwiązaniami tego problemu. Wszystkie rozwiązania znalezione na forach internetowych bazowały na projekcie [1], którego autorem jest Markus Frejek. Jego układ składa się z mikrokontrolera ATmega8, układu testowego, wyświetlacza LCD i układu zasilania. Mikrokontroler został wykorzystany do pobudzania badanego elementu, pomiaru napięć na pinach testowych i określania na podstawie zebranych danych typu elementu. W celu ograniczenia prądów pobudzających badany element, zastosowano grupę rezystorów, z której można wybierany jest odpowiedni do aktualnie przeprowadzanego pomiaru. Ponadto układ potrafi pomierzyć podstawowe parametry badanych elementów. Wynik jest wyświetlany na wyświetlaczu LCD.

Kolejnym znalezionym projektem [2], stworzonym przez Karla-Hainza Kübbelera jest tester wzorowany na układzie Markusa. Zasada pomiaru nie różni się od tej wykorzystanej w pierwowzorze, czyli układem sterująco - pomiarowym jest mikrokontroler, który wykorzystuje grupę rezystorów do wysterowania pinów testowanego elementu. Układ został rozwinięty o dodatkowe elementy, które powodują odłączenie zasilania po dokonaniu pomiaru, aby ograniczyć pobór mocy przez urządzenie.

Następnym przykładem rozwiązania problemu, jest układ, przedstawiony na łamach Elektroniki Praktycznej, którego autorem jest Ryszard Szymaniak [3]. Koncepcja ta różni się od poprzednich, ponieważ posiada oddzielne złącze testowe dla każdego rodzaju z badanych elementów. Powoduje to, że układ nie służy do identyfikowania elementów, jak poprzednie rozwiązania, tylko do testowania ich parametrów. Układ oparty został na mikrokontrolerze **89C51 firmy Atmel, który współpracuje z wieloma układami peryferyjnymi wspomagającymi pomiary parametrów. Wyniki pomiarów wyświetlane są na wyświetlaczu LCD.**

**Z przedstawionych rozwiązań wybrano układ stworzony przez Markusa Frejeka. Zrezygnowano z rozbudowy układu zaproponowanej przez** Kübbelera, w celu ułatwienia testowania, rozwijania urządzenia. Dodatkowo twórca informował, że może zajść potrzeba zamiany niektórych elementów, w celu zapewnienia poprawnego funkcjonowania. Natomiast projekt **testera zaprezentowany w Elektronice Praktycznej nie posiada funkcji rozpoznawania elementów, co dla początkujących elektroników jest bardzo przydatne.**

**Projektując tester elementów elektronicznych postawiono na jego prostotę, dzięki czemu urządzenie jest jeszcze bardziej przyjazne dla początkujących elektroników. Część hobbystów elektroniki zajmuje się samodzielnym przygotowywaniem płytek, więc wytrawienie dość prostej płytki dwustronnej nie powinno stanowić dla nich problemu. Dodatkowo zastosowano elementy, które w większości można znaleźć w domowych warsztatach. Prosta budowa urządzenia, brak elementów powierzchniowych ułatwi montaż testera i naprawę ewentualnych usterek.**

**Wybrany schemat urządzenia został przeniesiony do programu PADS firmy Mentor Graphics, wspomagającego projektowanie urządzeń elektronicznych. Ostateczny układ** przedstawionego w tej pracy testera, którego schemat znajduje się w **Dodatku A**, składa się z:

* mikrokontrolera ATmega8A, który wykorzystywany jest jako jednostka sterująca i pomiarowa,
* układu testowego, czyli grupy rezystorów wykorzystywanych do pomiarów oraz pinów testowych,
* układu zasilania,
* wyświetlacza, który służy do prezentacji wyników badania.

Kolejnym etapem tworzenia testera elementów półprzewodnikowych było zaprojektowanie płytki drukowanej, na podstawie stworzonego wcześniej schematu. Projekt gotowej mozaiki, znajduje się w **Dodatku A**. Po przygotowaniu projektu płytki drukowanej, został on wysłany do firmy zajmującej się ich produkcją. Wygląd gotowego urządzenia przedstawiono na Rys. 1.1.

2. Testowane elementy

Podczas projektowania urządzenia elektronicznego bardzo ważne jest, aby zapoznać się z realizowanym zagadnieniem, zebrać wszelkie potrzebne informacje, które przydadzą się podczas dalszych prac projektowych. W przypadku projektowania testera elementów półprzewodnikowych, do takich wstępnych prac zaliczało się zapoznanie się z testowanymi elementami. ???

2.1 Rezystor

Rezystor jest podstawowym elementem obwodów elektronicznych

3. System pomiarowy

???

3.1. Układ testowy

???

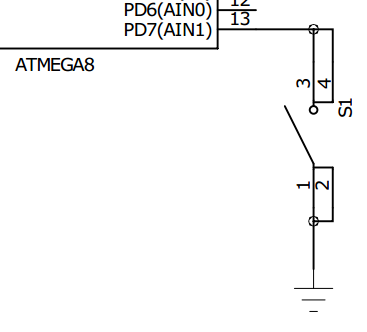
3.2. Mikrokontroler

W przedstawionym urządzeniu zastosowano mikrokontroler ATmega8A. Jest to jeden z najpopularniejszych mikrokontrolerów 8-bitowych. Posiada 8 kB pamięci programu - Flash i 1 kB pamięci podręcznej – SRAM. Rozmiar posiadanej pamięci nie jest duży, ale wystarczający do prostych układów takich jak tester elementów półprzewodnikowych. Układ posiada 23 linie I/O, które mogą zostać dowolnie zaprogramowane w celu komunikacji mikrokontrolera z zewnętrznymi układami. Jednym z istotniejszych układów peryferyjnych mikrokontrolera jest przetwornik A/C o rozdzielczości 10 bitów.

Zegar w mikrokontrolerze został ustawiony na 8 MHz. Skorzystano z wewnętrznego oscylatora RC. Jedynym pomiarem, w którym ważną rolę pełni pomiar czasu jest pomiar pojemności, ale nie jest on na tyle istotny, aby zastosować zewnętrzny sygnał zegarowy o większej dokładności. Z tego względu wyniki pomiaru pojemności mogą się nieznacznie różnić od rzeczywistych wielkości, ale należy pamiętać, że głównym zadaniem projektowanego układu jest rozpoznawanie elementów. Dodatkowo użycie zewnętrznego źródła sygnału zegarowego zwiększyłoby liczbę elementów potrzebnych do poprawnej pracy układu.

ATmega8A posiada 23 programowalne linie I/O, które ustawić jako wejścia, wtedy wykorzystywane są do odbierania sygnałów z zewnątrz, lub jako wyjścia, aby sterować zewnętrznymi układami. Porty od PD0 do PD5 ustawiono jako wyjścia i zostały wykorzystane do sterowania wyświetlaczem LCD.

Port PD7 został wykorzystany jako wejście, w celu odczytu stanu przycisku, który uruchamia procedurę testową. Sposób podłączenia przycisku zaprezentowano na rys. 3.2.1. Ustawiając linie I/O istnieje możliwość ustawienia opcji *pull-up*, czyli podciągnięcia pinu do zasilania przez wewnętrzny rezystor, którego rezystancja wynosi 20 – 50 k Podciągniecie pinu do zasilania spowoduje, że pin wejściowy mikrokontrolera będzie przyjmował tylko dwa stany logiczne, stan wysoki i stan niski. Zastosowanie wewnętrznego rezystora podciągającego wyeliminowało potrzebę użycia zewnętrznego rezystora, zmniejszając liczbę potrzebnych elementów. Często stosując przyciski używa się podłączonego równolegle kondensatora, w celu sprzętowej eliminacji drgań styków. Jednak w tym przypadku zdecydowano się wyeliminować drgania styków metodą programową. Przycisk służy do uruchomienia procedury testowej, która jest głównym zadaniem mikroprocesora. Poza procesem testowania moc obliczeniowa mikroprocesora nie jest wykorzystywana, więc programowa metoda eliminacji drgań styków nie wpłynie negatywnie na wykonywany program.



Rys. 3.2.1. Podłączenie przycisku do mikrokontrolera

Kolejne wykorzystane linie I/O to PB0 – PB5. Służą one to wysterowania badanych elementów. Polega to na tym, że każdy z pinów testowych jest podłączony do dwóch pinów mikrokontrolera przez rezystory, jeden o rezystancji 680  i drugi 470 k. Samo sterowanie elementem polega na wystawianiu na pinach mikrokontrolera odpowiednich stanów logicznych, a tym samym podawaniu napięcia na badany element. Rezystory natomiast pozwalają na sterowanie natężeniem prądu podawanego na testowany element. Jeśli w danej chwili nie jest przeprowadzany pomiar, to piny PB0 – PB5 są ustawiane jako wejścia i podciągane do zasilania przez wewnętrzne rezystory, w celu ograniczenia poboru mocy.

Niezbędnym układem do realizacji tego projektu jest przetwornik A/C, który został wbudowany w mikrokontroler. Jest to przetwornik o rozdzielczości 10-bitowej. Posiada 6 kanałów, z czego zostały wykorzystane 4. Mikrokontroler posiada wewnętrzne źródło napięcia referencyjnego, którego wartość wynosi 2,56 V, wykorzystanie go wiązałoby się z konieczności użycia dzielnika napięciowego do pomiaru napięcia na pinach testowych urządzenia. Z tego powodu jako źródło napięcia referencyjnego wybrano pin AVcc, na którym napięcie wynosi 5 V, a pin AVref został podłączony do masy przez kondensator 100 nF, według zaleceń producenta.

Sygnał zegarowy taktujący przetwornik A/C jest to odpowiednio podzielony główny sygnał zegarowy mikrokontrolera. Ustalanie częstotliwości zegara przetwornika polega na wybraniu jednej z siedmiu dostępnych wartości presklera. W przedstawionym tutaj projekcie wybrano preskaler o wartości 64. Częstotliwość sygnału taktującego można obliczyć ze wzoru (3.2.1). Przy sygnale zegarowym mikrokontrolera równym 8 MHz, częstotliwość sygnału zegarowego przetwornika A/C wynosi 125 kHz. Jest to najwyższa możliwa częstotliwość, przy danym sygnale zegarowym mikrokontrolera, która pozwala na zachowanie 10-bitowej rozdzielczości pomiaru, ponieważ producent podaje, że częstotliwość ta powinna być wyższa niż 50 kHz i niższa niż 200 kHz.

fADC = fCLK / P (3.2.1)

gdzie:

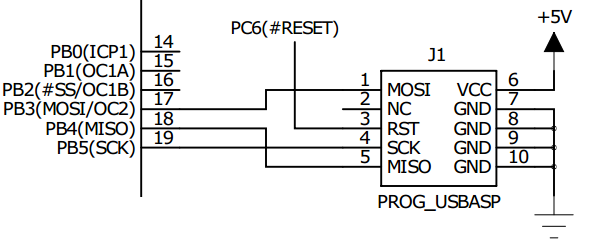
fADC – częstotliwość sygnału zegarowego przetwornika A/C

fCLK – częstotliwość sygnału zegarowego mikrokontrolera

P – wybrany preskaler

Przetwornik A/C jest wykorzystywany do pomiaru napięć na nóżkach badanych elementów. Ze względu na to, że przetwornika posiada tylko jeden układ przetwornika nie jest możliwy pomiar wszystkich pinów testowych w danej chwili. Z tego powodu podczas pomiaru należy przełączać kanał pomiarowy. Do wykrycia elementów półprzewodnikowych i rezystora nie jest konieczne zbadanie charakterystyk dynamicznych, wystarczy zbadanie charakterystyki statycznej, dlatego w pierwszym etapie wykonywanych jest kilka pomiarów każdego z kanałów testowych. Następnie pomiary dla danego kanału są uśredniane, ma to na celu zwiększyć dokładność pomiarów, wyeliminować szumy. Wadą tego rozwiązania jest czas potrzebny na wykonanie wszystkich pomiarów. Inaczej wygląda natomiast pomiar pojemności. Trzeba wykryć ładowanie lub rozładowywanie kondensatora, to z kolei wiąże się częstymi pomiarami. W tym przypadku uśrednianie wyników nie jest stosowane.

We współczesnych mikrokontrolerach powszechnie stosowane jest rozwiązanie konstrukcyjne In-System Programming. Polega na tym, że producent układu w jego pamięci umieszcza program zwany Boot Loderem, który umożliwia wprowadzenie mikrokontrolera w stan programowania, a następnie poprzez wyprowadzenia układu następuje programowanie pamięci. Stosowanie takich rozwiązań pozwala na szybkie wgrywanie, zmienianie oprogramowania. Z tego powodu zastosowano dodatkowe złącze do mikrokontrolera, które służy do podłączenia programatora. Sposób podłączenia złącza zilustrowano na rys. 3.2.2. Wykorzystywanym programatorem był USBasp. Musi on zostać podłączony do następujących pinów mikrokontrolera: MOSI, MISO, SCK, #RESET oraz GND. Połączenie pinu Vcc mikrokontrolera i pinu Vcc programatora jest opcjonalne. Jest to dość popularne urządzenie stosowane w amatorskich warsztatach elektronicznych. Jego wadą jest brak możliwości debugowania programu, ale pisany program nie był na tyle skomplikowany, aby było to konieczne. Zastosowanie złącza ułatwiło testowanie urządzenia, ponieważ wyjmowanie mikrokontrolera z podstawki w celu zaprogramowania stałoby się nużące. Dodatkowo mikrokontroler znajduje się pod wyświetlaczem LCD, więc wyjecie układu musiałoby zostać poprzedzone wyjęciem wyświetlacza.



Rys. 3.2.2. Podłączenie programatora USBasp do mikrokontrolera

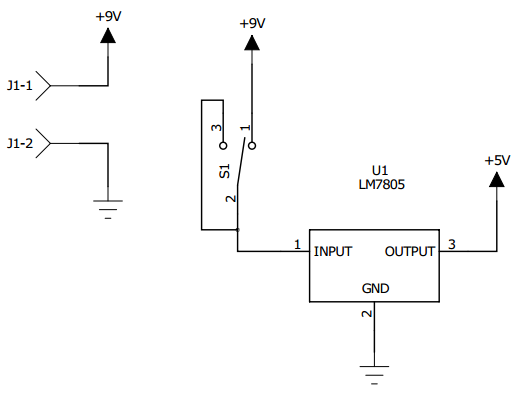
??? coś u usypianiu mikrokontrolera ???

3.3. Układ zasilania

Budowę układu zasilania przedstawiono na rys. 3.3.1. Składa się z ze złącza J1 przeznaczonego na baterię 9 V, włącznika zasilania S1 oraz stabilizatora LM7805 – U1.

Zdecydowano się na zasianie testera elementów półprzewodnikowych z przenośnego źródła zasilania. Takie rozwiązanie pozwala na korzystanie z urządzenia w dowolnym miejscu, nie ma potrzeby podłączać do urządzenia zasilacza, co wiąże się z potrzebą wykorzystania gniazdka sieciowego. Dodatkowo zaletą jest brak kabli, które powodują powstawanie bałaganu na stanowisku pracy. Jako przenośne źródło zasilania wykorzystano baterię 9 V, ze względu na mały rozmiar. W porównaniu na przykład z bateriami AAA, które mają 1,5 V, bateria 9 V ma rozmiar dwóch baterii AAA, przy czym do poprawnej pracy mikrokontrolera należałoby zastosować minimum 3 baterie typu AAA. Dodatkowo łatwiej jest wymienić jedną baterię niż kilka.

Włącznik zasilania pozwala użytkownikowi włączyć urządzenie, kiedy ma on taką potrzebę. Sprzyja to oszczędzaniu energii



Rys. 3.3.1. Układ zasilania

Zastosowane źródło zasilania ma napięcie 9 V, natomiast mikrokontroler może być zasilany maksymalnie napięciem 6 V, natomiast wyświetlacz LCD powinien być zasilany napięciem 5 V. Z tego powodu należało dodać układ, który dopasuje napięcie do możliwości zastosowanych układów. Do tego celu użyto układu LM7805. Jest to stabilizator napięcia o napięciu wyjściowym równym 5 V. Producent podaje, że napięcie wyjściowe stabilizatora powinno być wyższe od napięcia wyjściowego o 2 V, czyli założenie to zostało spełnione.

Opcjonalnym źródłem zasilania w wersji testowej urządzenia może być programator USBasp. Wynika to z faktu, że programator posiada wyprowadzone linie zasilania, Vcc i GND, o napięciu 5 V, połączone z układem tak, jak pokazano na rys. 3.2.2. Dodatkowo programator został wyposażony zworkę, która pozwala na włączenie lub wyłączenie zasilania zewnętrznych. Programator jest zasilany poprzez port USB komputera, dla USB 2.0 maksymalny prąd wynosi 500 mA, więc jest to wystarczający prąd, aby zasilić układ testera. Stosowanie zasilania z programatora USBasp jest zalecane przy wyłączonym zasilaniu bateryjnym i na odwrót, zasilanie bateryjne jest zalecane przy wyłączonym zasilaniu z programatora.

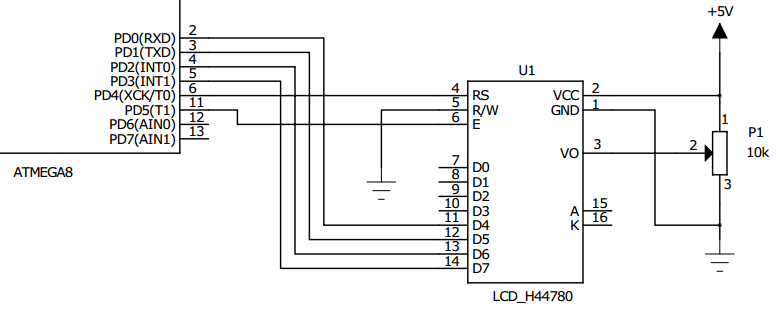
??? coś o pobieranym prądzie, mocy wydzielanej na stabilizatorze ???

3.4. Wyświetlacz

Tester elementów półprzewodnikowych powinien posiadać interfejs użytkownika, który posłuży do poinformowania użytkownika o wyniku pomiarów. Najprostszym rozwiązaniem byłyby diody LED. Jednak nie zdecydowano się na tego typu interfejs ze względu na ograniczone możliwości rozbudowy urządzenia, a także z powodu małej ilości informacji, które mogą w ten sposób zostać przekazane użytkownikowi. O wiele lepszym rozwiązaniem wydaje się być wyświetlacz LCD, który znacznie rozszerza możliwości przekazywania informacji o wykonanych testach.

W przedstawionym w tej pracy testerze użyto wyświetlacza LCD, wyświetlającego w dwóch wierszach po 16 znaków. Układ wyświetlacza jest wyposażony w sterownik HD44780, który ułatwia komunikację pomiędzy mikrokontrolerem a wyświetlaczem. Dodatkowo dużą zaletą tego wyświetlacza jest to, że można do niego znaleźć wiele darmowych bibliotek, ułatwiających

Sposób podłączenia został przedstawiony na rys. 3.4.1. Linie sterujące E oraz RS zostały podłączone do mikrokontrolera, natomiast linia R/W została podłączona do masy, co powoduję, że sterownik wyświetlacza może tylko dobierać dane. Dzięki temu oszczędzono jedno wyprowadzenie mikrokontrolera, i kolejne cztery poprzez użycie tylko czterech linii danych (D4 – D7), zamiast ośmiu. Wadą takiego podłączenia jest spowolnienie operacji zapisu danych do wyświetlacza, co w tym przypadku nie ma dużego znaczenia, a zaoszczędzone porty mikrokontrolera można przeznaczyć na rozbudowę całego układu.



Rys. 3.4.1. Podłączenie wyświetlacza

Do wyświetlacza dodano potencjometr montażowy 10 k, w celu regulacji kontrastu wyświetlacza. Gdy urządzenie zostało złożone i uruchomione, okazało się, że zapomniano o podłączeniu pinów odpowiedzialnych za podświetlenie. W następnej wersji urządzenia powinny zostać dodane połączenia, katody do masy i anody do zasilania przez rezystor około 100 . Bez podświetlenia wyświetlacz też działa, ale wyświetlane informacji są gorzej widoczne.

Wykaz literatury

1. Markus Frejek, AVR - Transistortester, <http://www.mikrocontroller.net/articles/AVR-Transistortester>, (data dostępu 25.10.2016 r.).
2. Karl-Hainz Kübbeler, AVR Transistortester, <http://www.mikrocontroller.net/articles/AVR_Transistortester#Software_.28English.29>, (data dostępu 25.10.2016 r.).