



# Wielofunkcyjny licznik/generator

Przeznaczeniem przyrządu jest praca w laboratorium początkującego elektronika. Może on pełnić następujące funkcje:

- miernika częstotliwości przebiegu prostokątnego,
- miernika czasu trwania impulsu prostokątnego,
- licznika zdarzeń.

Ponadto może pełnić funkcję generatora:

- przebiegu prostokątnego o regulowanej częstotliwości i współczynniku PWM,
- impulsów prostokątnych o zadanym czasie trwania z możliwością wyzwalańa zbroczem.

Urządzenie docenia na pewno amatorzy techniki cyfrowej zaczynający przygodę z tą dziedziną elektroniki. Przyrząd można szybko złożyć – ma prostą budowę i składa się z niewielu powszechnie dostępnych elementów. Interfejs użytkownika jest zrealizowany jako aplikacja uruchamiana na komputerze w

Podstawowe parametry:  
 Częstotliwość mierzona 8,7Hz–100MHz  
 Pomiar czasu trwania impulsu 0, 25ms–214s  
 Pojemność licznika zdarzeń  $2^{40}$   
 Częstotliwość generowana 0,0008Hz–650kHz  
 Czas trwania generowanego impulsu 0,8us–638s

środowisku Java, a komunikacja odbywa się poprzez łącze RS232C.

## Opis układu

Ogólna idea budowy przyrządu przedstawiona jest w postaci schematu blokowego na **rysunku 1**. Odpowiednio łącząc elementy widoczne na diagramie, można otrzymać każdą z wymienionych wcześniej funkcji. Urządzenie ma dwa kanały w zależności od pełnionej funkcji przez przyrząd:

- kanał A jako wejście,
- kanał B jako wejście lub wyjście.

Schemat układu elektronicznego ilustruje **rysunek 2**. Urządzenie opiera się na mikrokontrolerze ATtiny2313, którego częstotliwość pracy  $F_{CPU}$  wynosi 20MHz. Poza preskalerem U3 wszystkie bloki funkcjonalnie z **rysunku 1** są zrealizowane z użyciem zasobów mikrokontrolera i jako program w pamięci mikrokontrolera. Program mikrokontrolera został napisany w assemblerze w środowisku AVRStudio 4.

Szczegółowego opisu wymaga realizacja licznika L1. Jest on oparty na liczniku/timerze T1 zawartym w uC. W zależności od konfiguracji układu zlicza impulsy wewnętrzne lub zewnętrzne. Ponieważ jego pojemność 16 bitów to za mało, zastosowano dwa dodatkowe rejestry nazwane TNCT12 i TCNT13. Stanowią one dodatkowy licznik 16-bitowy inkrementowany za

każdym przepełnieniem licznika/timera T1. W ten sposób powstał licznik 32-bitowy, którego zawartość można wyznaczyć ze wzoru:  $N=2^{24} \cdot TCNT13 + 2^{16} \cdot TCNT12 + 2^8 \cdot TCNT11 + TCNT10$

Układ U4 pełni rolę bufora wejściowego/wyjściowego dla kanału B i wejściowego dla kanału A. Bufory zawarte w tej kostce można wprowadzić w stan wysokiej impedancji i odciąć, na przykład mierzony przebieg prostokątny, zatrzymując w ten sposób pomiar. Wejścia kanałów są podciągnięte do plusa zasilania poprzez rezystory R1 i R2.

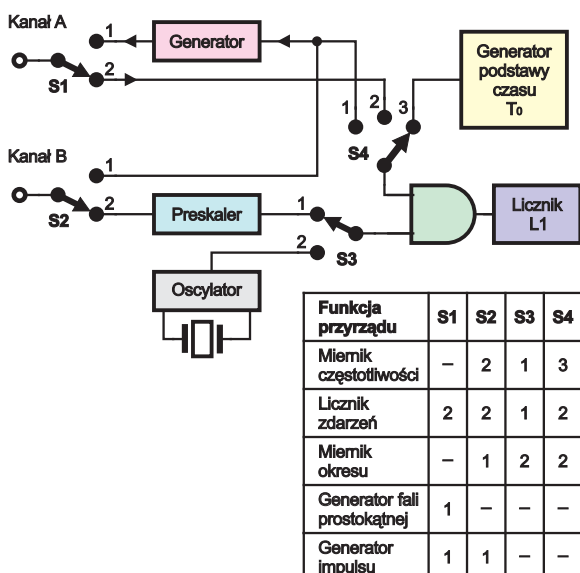
Rolę preskalera odgrywa układ 74HCT393. Wszystkie jego wyjścia są podłączone do końcówek mikrokontrolera, dzięki czemu można odczytać jego stan jako licznika. Niestety z braku wolnych wyprowadzeń mikrokontrolera, końcówka MR układu U3 połączona jest z końcówką sterującą pracą bufora wyjściowego kanału B. Efekt uboczny tego rozwiązania jest taki, że podczas resetowania preskalera kanał B przymusowo staje się wyjściem. Problem ten nie jest jednak wielkiej wagi, gdyż resetowanie układu U3 może trwać bardzo krótko, ponadto powtarza on na swoim wyjściu stan z bufora wejściowego kanału B.

Aktywnym zbroczem sygnału wejściowego podawanego na wejście licznika U3 jest zbrocze opadające.

## Komunikacja

Komunikacja urządzenia z komputerem odbywa się po łączu RS232. Pomiędzy mikrokontrolerem a magistralą szeregową standardowo został zastosowany konwerter TTL  $\leftrightarrow$ RS232 – MAX232, oznaczony jako U2. Parametry połączenia to 8N1, zaś prędkość 19200 b/s. Aby skonfigurować urządzenie należy wysłać w jego kierunku 9-bajtową paczkę danych, której strukturę pokazuje **tabela 1**.

Rys. 1



Po otrzymaniu paczki bajtów konfiguracyjnych urządzenie przechodzi do zadanego trybu pracy i realizuje odpowiednią funkcję. W przypadku konfiguracji jako częstotściomierz, licznik zdarzeń lub miernik czasu po wykonaniu pomiaru wysyła do komputera paczkę 6 bajtów. Pakiet zawiera informację o rodzaju pomiaru oraz stan licznika i preskalera U3 reprezentujący wynik pomiaru, co prezentuje **tabela 2**.

Może się zdarzyć, że urządzenie nie otrzyma od komputera kompletnej paczki 9 bajtów. Program mikrokontrolera czeka wtedy na utracone bajty i w konsekwencji oznacza to zawieszenie działania programu. Układ jest zabezpieczony przed takim zdarzeniem. Pierwszy bajt pakietu konfiguracyjnego pojawiający się na magistrali RS232 wywołuje przerwanie USART0 (RX). Na początku procedury tego przerwania aktywowany jest watchdog z czasem 16ms (liczba cykli=2048). Po odebraniu kolejnego bajtu watchdog jest resetowany natomiast po ostatnim, 9 odebranych bajcie, jego praca zostaje zatrzymana. Każdy nieodebrany bajt z pakietu oznacza opóźnienie dłuższe niż 16ms i w konsekwencji reset urządzenia.

Funkcja urządzenia	Numer bajtu w pakiecie wysyłanym do urządzenia								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Reset urządzenia	0	-	-	-	-	-	-	-	-
Częstotściomierz	1	-	-	-	-	-	-	-	-
Pomiar czasu trwania impulsu ujemnego	2	-	-	-	-	-	-	-	-
Pomiar czasu trwania impulsu dodatniego	3	-	-	-	-	-	-	-	-
Licznik zdarzeń wyzwalany zboczem opadającym	4	-	-	-	-	-	-	-	-
Licznik zdarzeń wyzwalany zboczem rosnącym	5	-	-	-	-	-	-	-	-
Generator fali prostokątnej	6	R <sub>L0</sub>	R <sub>L1</sub>	R <sub>L2</sub>	R <sub>L3</sub>	R <sub>H0</sub>	R <sub>H1</sub>	R <sub>H2</sub>	R <sub>H3</sub>
Generator impulsu ujemnego wyzwalany zboczem rosnącym	7	R <sub>L0</sub>	R <sub>L1</sub>	R <sub>L2</sub>	R <sub>L3</sub>	-	-	-	-
Generator impulsu dodatniego wyzwalany zboczem rosnącym	8	-	-	-	-	R <sub>H0</sub>	R <sub>H1</sub>	R <sub>H2</sub>	R <sub>H3</sub>
Generator impulsu ujemnego wyzwalany zboczem opadającym	9	R <sub>L0</sub>	R <sub>L1</sub>	R <sub>L2</sub>	R <sub>L3</sub>	-	-	-	-
Generator impulsu dodatniego wyzwalany zboczem opadającym	10	-	-	-	-	R <sub>H0</sub>	R <sub>H1</sub>	R <sub>H2</sub>	R <sub>H3</sub>
Generator impulsu ujemnego	11	R <sub>L0</sub>	R <sub>L1</sub>	R <sub>L2</sub>	R <sub>L3</sub>	-	-	-	-
Generator impulsu dodatniego	12	-	-	-	-	R <sub>H0</sub>	R <sub>H1</sub>	R <sub>H2</sub>	R <sub>H3</sub>

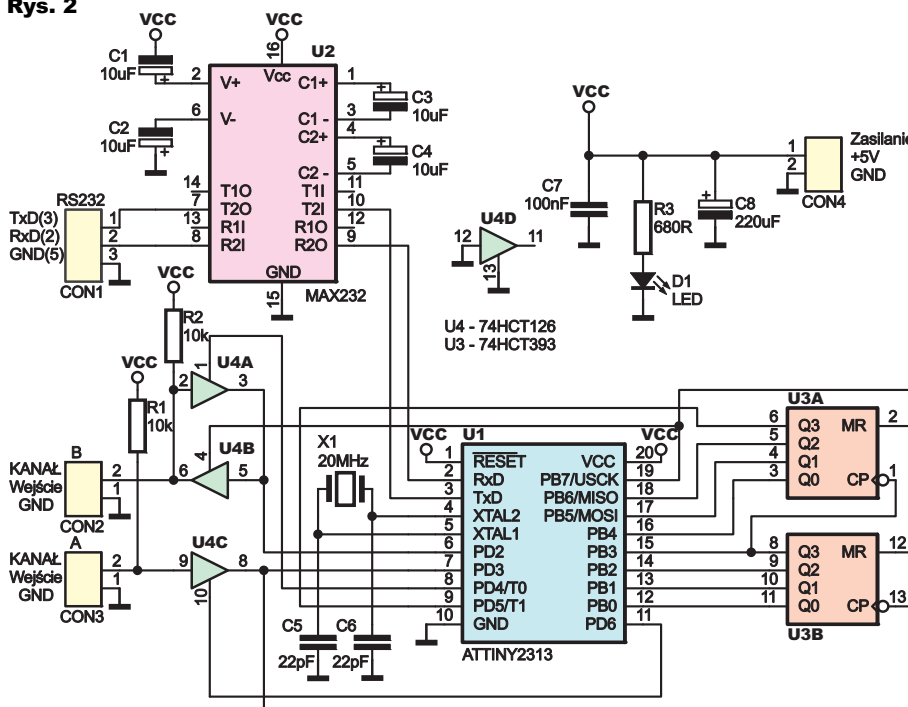
**Tabela 1**

**Tabela 2**

Numer bajtu	1	2	3	4	5	6
Zawartość	Tryb pracy	TCNT13	TCNT12	TCNT1H	TCNT1L	Preskaler



**Rys. 2**



## Miernik częstotliwości

Sygnal mierzony podawany jest na wejście kanału A, następnie poprzez bufor podawany jest na wejście zegarowe licznika '393 pełniącego rolę preskalera. Kanał B w tym trybie pracy jest nieaktywny, jego wyprowadzenie podciągnięte jest do plusa zasilania przez rezystor R2.

Pomiar częstotliwości polega na zliczaniu impulsów w określonym przedziale czasu  $T_0$  i wyznaczeniu jej według wzoru:

$$f = \frac{n}{T_0}$$

Na wejście licznika impulsów (T1) podawany jest przebieg o częstotliwości sygnału podanego na kanał A podzielonej przez 256. Timer T0 realizuje podstawę czasu. Jako źródło sygnału zegarowego dla licznika zastosowano wewnętrzne źródło taktu z podziałem przez 64. Dodatkowo

wprowadzono 8-bitowy rejestr, który zwiększa pojemność timera T0 i wydłuża czas trwania podstawy, tym samym rozszerzając dolny zakres pomiarowy. Rejestr ten jest inkrementowany po każdym przerwaniu od preemptionu timera T0. Podstawa czasu wynosi zatem

$$T_0 = \frac{64 \cdot 256 \cdot 256}{F_{CPU}} \approx 0,23s$$

Częstotliwość można wyliczyć ze wzoru:

$$f = \frac{N \cdot 256 + N_{PRE}}{T_0}$$

gdzie:  $N_{PRE}$  – stan na wyjściu preskalera '393

## Licznik zdarzeń

Układ zlicza impulsy tylko wtedy, gdy podany zostanie aktywny stan na wejście kanału B. Na kanał A podawane zostaje źródło impulsów. W tej konfiguracji wykorzystywany jest tylko licznik, w tym preskaler '393. Każda zmiana wejścia bramkującego B ze stanu aktywnego w nieaktywny kończy zliczanie i urządzenie zwraca stan licznika.

## Pomiar czasu (miernik okresu)

Na wejście kanału A podawane są impulsy prostokątne. Stanowią one sygnał bramkujący dla licznika T1, który pracuje z wewnętrznym źródłem sygnału zegarowego. Zewnętrzny preskaler '393 jest zerowany i nie bierze udziału w pomiarze, w

związku z tym kanał B ustawiony jest jako wyjście w stanie wysokim.

Mikrokontroler czeka na pojawienie się stanu aktywnego na wejściu kanału A. Gdy stan aktywny się pojawi, uruchamiany jest licznik aż do momentu wystąpienia stanu przeciwnego do aktywnego, wtedy licznik jest zatrzymywany, a jego stan wysyłany jest do komputera. Na podstawie stanu licznika można wyliczyć czas trwania impulsu ze wzoru:

$$t = \frac{N}{F_{CPU}}$$

### Generator fali prostokątnej

Na wyjściu kanału B generowany jest przebieg prostokątny o zadanej częstotliwości oraz współczynniku wypełnienia. Ten tryb pracy nie korzysta ze specjalnych zasobów mikrokontrolera, generowanie zadanego przebiegu odbywa się w programie z wykorzystaniem dwóch pętli odpowiedzialnych za czas trwania stanu niskiego i wysokiego. Każda z pętli korzysta z 4 rejestrów, które tworzą licznik 32-bitowy. Przed wejściem programu w każdą z dwóch pętli do rejestrów wpisywane są liczby określające czas jej trwania, osobno stanu wysokiego i stanu niskiego. Oddzielenie ustawień czasu trwania stanu niskiego i stanu

wysokiego pozwala na określenie współczynnika PWM generowanej fali prostokątnej.

Dla każdej częstotliwości generator może wygenerować skończoną liczbę przebiegów o różnym współczynniku PWM – im większa częstotliwość, tym mniejsza ta liczba. Na przykład dla maksymalnej częstotliwości  $f_{MAX}$  możliwe jest wygenerowanie tylko jednego przebiegu o PWM=50%, dla

$$f = \frac{2}{3} f_{MAX}$$

można wygenerować 2 przebiegi o PWM≈33,33% i PWM≈66,66%. Częstotliwość generowanego przebiegu wyznacza wzór:

$$f = \frac{F_{CPU}}{C_3(R_{L3} + R_{H3}) + C_2(R_{L2} + R_{H2}) + C_1(R_{L1} + R_{H1}) + C_0(R_{L0} + R_{H0}) + 2C}$$

natomiasz współczynnik wypełnienia:

$$f = \frac{C_3 R_{H3} + C_2 R_{H2} + C_1 R_{H1} + C_0 R_{H0} + C}{C_3(R_{L3} + R_{H3}) + C_2(R_{L2} + R_{H2}) + C_1(R_{L1} + R_{H1}) + C_0(R_{L0} + R_{H0}) + 2C} \cdot 100\%$$

gdzie:

- C=16, C<sub>0</sub>=3,
- C<sub>1</sub>=C<sub>0</sub>·256+2
- C<sub>2</sub>=C<sub>1</sub>·256+2
- C<sub>3</sub>=C<sub>2</sub>·256+2

### Generator impulsu

W tym trybie pracy urządzenie generuje pojedynczy impuls na wyjściu kanału B. Wejście kanału A opcjonalnie służy do podawania sygnału wyzwalającego. Można skonfigurować ten tryb pracy następująco:

- generowany jest jednokrotny impuls ujemny lub dodatni bez wyzwalania,
- impuls dodatni lub ujemny jest generowany wielokrotnie po każdym wystąpieniu impulsu wyzwalającego o zboczu rosnącym lub malejącym.

Zasada obliczania czasu trwania impulsu jest podobna jak w przypadku generatora fali prostokątnej:

$$t = \frac{C_3(R_{L3} + R_{H3}) + C_2(R_{L2} + R_{H2}) + C_1(R_{L1} + R_{H1}) + C_0(R_{L0} + R_{H0}) + C}{F_{CPU}}$$

Dla impulsu ujemnego wartości rejestrów R<sub>H</sub> są równe zero, zaś dla impulsu dodatniego rejestry R<sub>L</sub>

### Program

Program polecany do obsługi przyrządu z poziomu komputera został napisany w języku Java i można go ściągnąć z Elportalu. Program uruchamiany był w środowisku *jdk1.6.0\_03*. Pozwala na przeprowadzenie wszystkich pomiarów oraz umożliwia wprowadzenie parametrów generowanego przebiegu. Wprowadzane wielkości oraz wyniki pomiarów podawane są w jednostkach naturalnych, natomiast program konwertuje je na bajty umieszczone w pakiecie wysyłanym do urządzenia i na odwrót. Zrzut działającej aplikacji przedstawia **rysunek 3**. Oprócz

wyników pomiarów dodatkowo widoczny jest przebieg dianalogu pomiędzy komputerem a urządzeniem przedstawiony w postaci logu. Pakiety

nadawane są wyświetlane w kolorze czarnym, a odbierane w kolorze niebieskim.

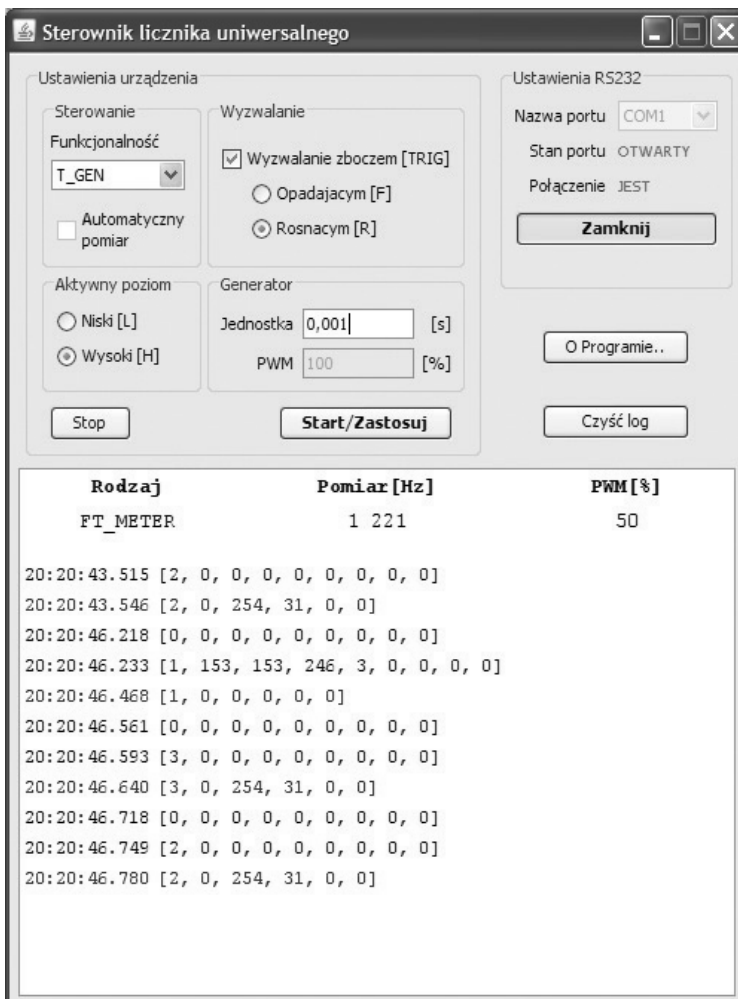
Może się okazać, że pomiar niskich częstotliwości oparty na wzorze [1] jest niedokładny, ponieważ w okresie  $T_0$  wystąpiło zbyt mało zboczy. Aplikacja radzi sobie z tym problemem. Jeśli stwierdzi, że liczba impulsów jest zbyt mała, dokonuje drugiego pomiaru, traktując falę prostokątną jako ciąg impulsów L i H, czyli mierząc okres przebiegu, a nie jego częstotliwość. Wysyła do urządzenia polecenie konfiguracji jako miernik czasu trwania impulsu L i później jako miernik czasu trwania impulsu H. Na podstawie dwóch pomiarów wyliczany jest okres przebiegu, a następnie jego częstotliwość, przy okazji uzyskuje informacje o współczynniku PWM. Powstaje pytanie: kiedy pomiar okresu jest dokładniejszy od pomiaru częstotliwości? Założmy, że w przypadku pomiaru okresu  $N$  oznacza średnią arytmetyczną zawartości licznika dla pomiaru czasu trwania poziomu L i poziomu H. Miarą jakości pomiaru zarówno częstotliwości, jak i okresu jest  $N$ , im większa tym dokładniejszy pomiar. W przypadku pomiaru częstotliwości im większa częstotliwość, tym większe  $N$ , mierząc okres – im większe  $f$ , tym mniejsze  $N$ . Istnieje więc taka częstotliwość  $f_0$ , dla której  $N$  uzyskuje wartość  $N_0$  w obydwu typach pomiaru. Częstotliwość, przy której apli-

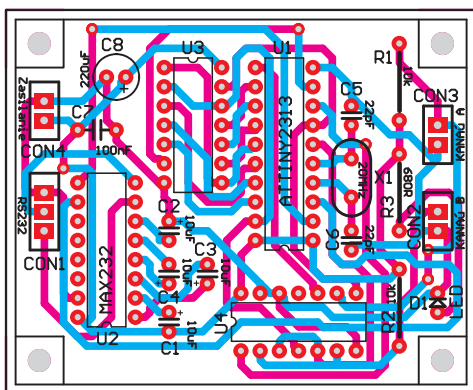
kacja automatycznie zmienia tryb pomiaru, można wyliczyć następująco:

$$f_0 = \frac{N_0}{T_0} = \frac{F_{CPU}}{2N_0}$$

$$N_0 = \sqrt{2^{21}}$$

Rys. 3





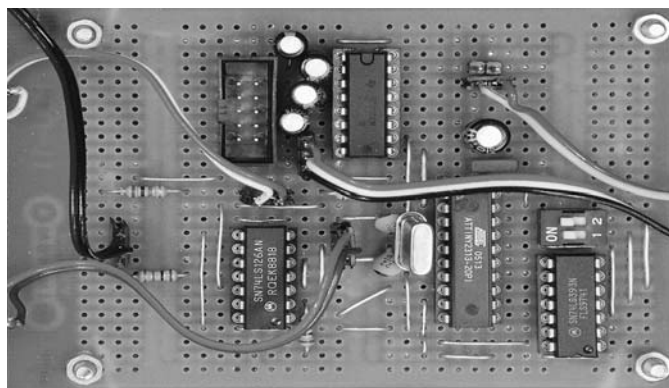
Rys. 4

$$f_0 = \sqrt{\frac{1}{2^{23}}} F_{\text{CPU}} \approx 6905,33 \text{ Hz}$$

Do prawidłowego działania aplikacji należy skopiować plik *rxtxSerial.dll* (np. pobierając go ze strony [www.rxtx.org](http://www.rxtx.org)) do katalogu `%win%\system32`, gdzie `%win%` to katalog systemowy. Aby uruchomić program, można dwukrotnie kliknąć na archiwum *.jar* programu.

### Montaż i uruchomienie

Układ modelowy został zamontowany na uniwersalnej płytce i umieszczony w metalowej obudowie. Na panelu czołowym obudowy wyprowadzone zostały dwa gniazda BNC, służące jako wejście/wyjście kanałów, dioda LED sygnalizująca pojawienie się zasilania, natomiast z tyłu obudowy umieszczone zostały gniazdo zasilania i złącze DB9.



### Wykaz elementów

R1,R2	.....	10kΩ
R3	.....	680Ω
C1-C4	.....	10μF
C5,C6	.....	22pF
C7	.....	100nF
C8	.....	220μF
D1	.....	LED
U1	.....	ATTINY2313
U2	.....	MAX232
U3	.....	74HCT393
U4	.....	74HCT126
X1	.....	20MHz
CON1	.....	goldpin x 3
CON2-CON4	.....	goldpin x 2

**Komplet podzespołów z płytką jest dostępny w sieci handlowej AVT jako kit szkolny AVT-2888.**

Układ można zamontować również na płytce drukowanej pokazanej na **rysunku 4**.

Przyrząd należy zasilac stabilizowanym napięciem 5V pochodzącym np. z zasilacza sieciowego.

Połączenia z komputerem należy dokonać za pomocą kabla typu null-modem.

**Piotr Wójtowicz**  
pw@elportal.pl