

Dział „Projekty Czytelników” zawiera opisy projektów nadesłanych do redakcji EP przez Czytelników. Redakcja nie bierze odpowiedzialności za prawidłowe działanie opisywanych układów, gdyż nie testujemy ich laboratoryjnie, chociaż sprawdzamy poprawność konstrukcji.

Prosimy o nadsyłanie własnych projektów z modelami (do zwrotu). Do artykułu należy dołączyć podpisane oświadczenie, że artykuł jest własnym opracowaniem autora i nie był dotychczas nigdzie publikowany. Honorarium za publikację w tym dziale wynosi 250,- zł (brutto) za 1 stronę w EP. Przesyłanych tekstów nie zwracamy. Redakcja zastrzega sobie prawo do dokonywania skrótów.

## Elektroniczna klepsydra

*Jak ugotować jajko na miękko, a jak na twardo? Cała tajemnica podobno tkwi w dobraniu odpowiedniego czasu gotowania. Niby proste, a jednak jakże często zamiast jajka na twardo wychodzi jajko na miękko. Nasze babcie używały klepsydr, w których czas przesypywania był odpowiednio wyliczony. Pójdziemy tym tropem.*

### **Rekomendacje:**

*autor zastosował czujnik położenia/przyspieszenia MAX2500. Właśnie ze względu na jego użycie i opis zasady działania, projekt jest bardzo interesujący. Tu czujnik wykorzystano w zabawce, ale można sobie wyobrazić wiele innych zastosowań i rezultaty, które trudno osiągnąć innymi metodami.*



#### PODSTAWOWE PARAMETRY

- Płytki (sterownik i wyświetlacz) o wymiarach 75×128 mm
- Zasilanie 8...20 VDC
- Max. czas odmierzany: 8h59'59"
- Start odmierzania przez przekręcenie klepsydry o 180° lub przyciskiem
- Symulacja przesypującego się piasku na diodach LED
- Cyfrowy odczyt czasu



Poniższy projekt powstał w wyniku refleksji autora nad sposobami odmierzania czasu, jaki stosowano na przestrzeni dziejów. Jednym z pomysłów było przesypywanie piachu w klepsydrze. Koncepcja taka powstała prawdopodobnie ok. połowy trzeciego wieku naszej ery w Aleksandrii (w praktyce oprócz piasku stosowano również wodę). Taki zegar odmierza odstępy czasu, w jakich piasek przesypuje się całkowicie przez cienką rurkę z bańki górnej do dolnej. Przesypywanie odbywa się ze stałą prędkością pod wpływem grawitacji.

Konstrukcja opisywanej klepsydry będzie bardziej współczesna – będzie to klepsydra elektroniczna. Niewątpliwą zaletą takiego rozwiązania w stosunku do oryginału jest lepsza dokładność oraz możliwość ustawiania długości odmierzanego czasu. Czas może być odmierzany (od tyłu) maksymalnie od wartości 8:59:59. Oprócz tego klepsydrę elektroniczną można w każdej chwili wyzerować, natomiast w wykonaniu klasycz-

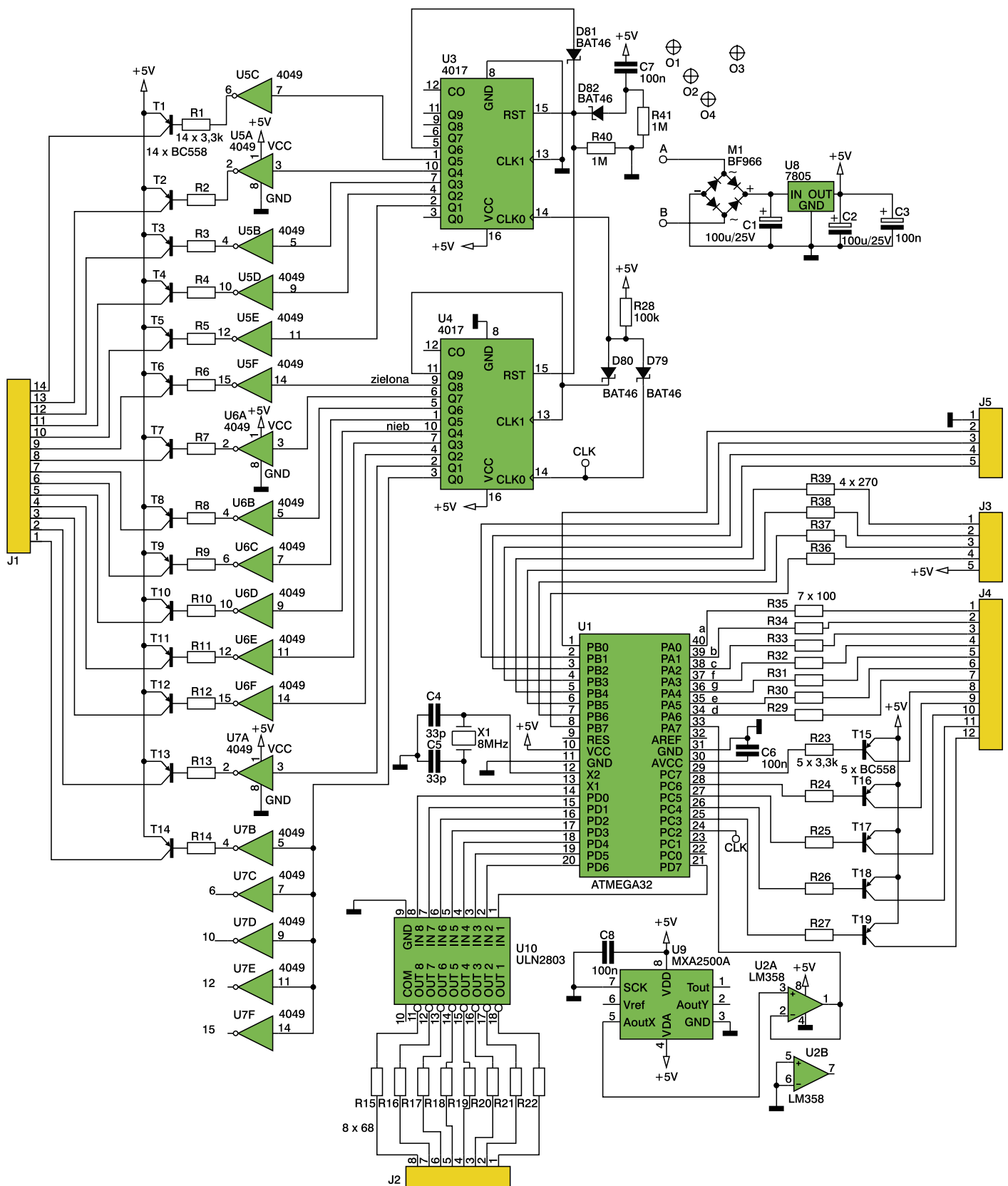
nym trzeba zaczekać, aż piasek przesypie się do końca z jednej bańki do drugiej. W urządzeniu modelowym zastosowano diody LED symulujące przesypujący się piasek, a odmierzany dodatkowo czas jest wyświetlany na wyświetlaczu cyfrowym. Po obróceniu klepsydry, liczby na wyświetlaczu również się obracają.

Wadą elektronicznej klepsydry jest jednak, trzeba to uczciwie powiedzieć, konieczność zasilania.

### **Budowa i zasada działania**

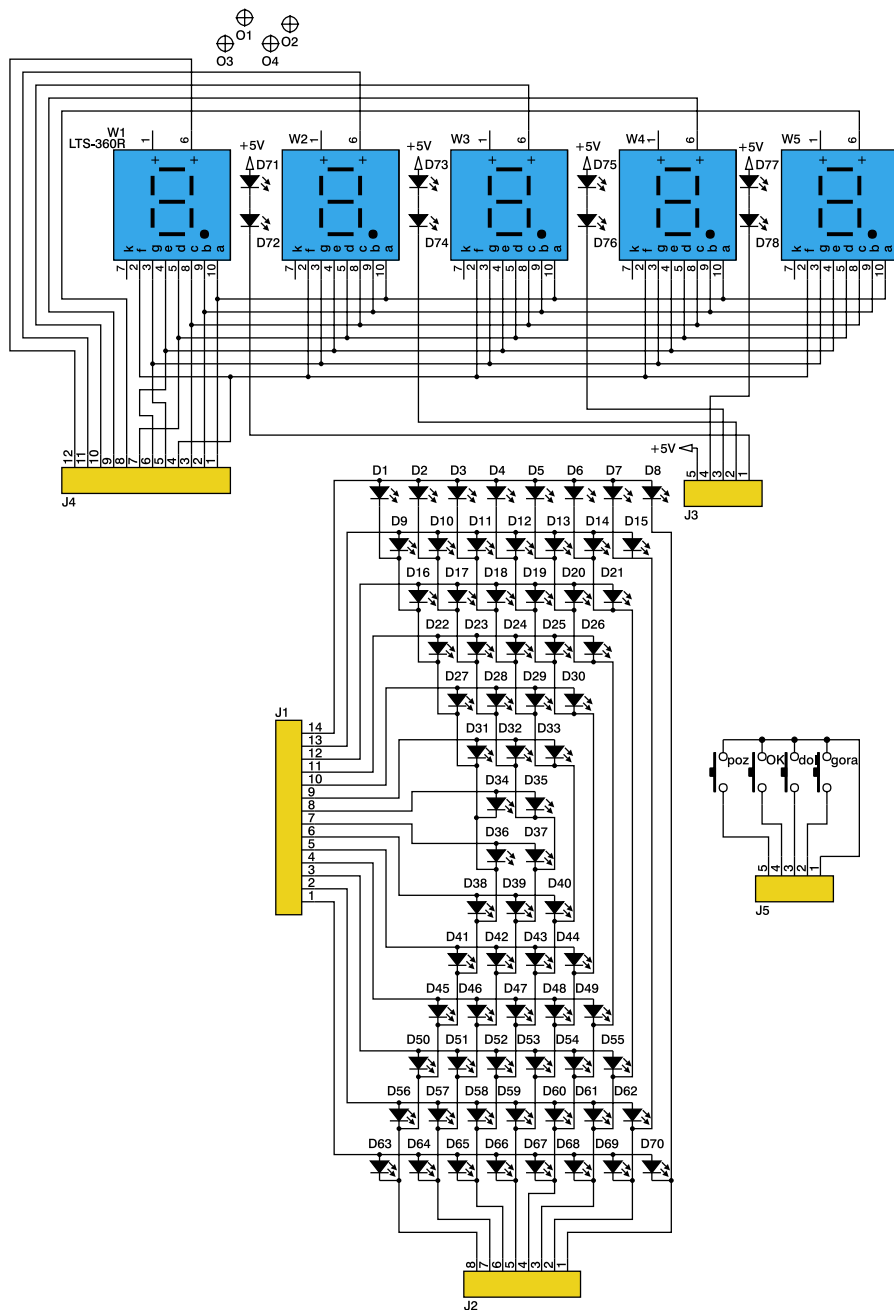
Klepsydra składa się z dwóch części: sterownika (rys. 1) i wyświetlacza (rys. 2). Jak widać przesypujący się piasek jest zastąpiony matrycą siedemdziesięciu zielonych diod LED oraz pięcioma czerwonymi wyświetlaczami siedmiosegmentowymi. Na części wyświetlającej umieszczono ponadto cztery przyciski umożliwiające ustawienie odmierzanego czasu.

Całością steruje mikrokontroler AVR ATmega32 (U1). O jego wyborze zdecydowała duża

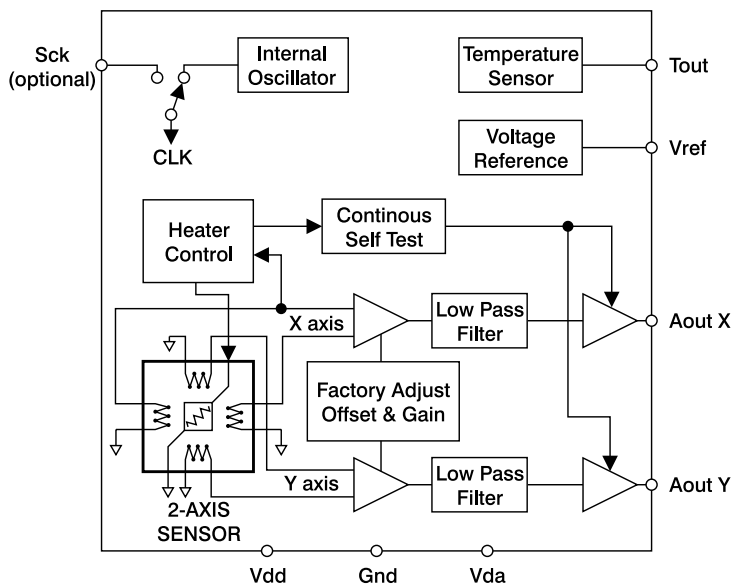


Rys. 1. Schemat ideowy elektronicznej klepsydry

WYKAZ ELEMENTÓW		Kondensatory		U5...U7: 4049		J2: goldpin × 8		W1...W5: LTS-360R	
<b>Sterownik</b>		C1, C2: 100 μF/25 V		U8: 7805		J3: goldpin × 5		<b>Inne</b>	
<b>Rezystory</b>		C3: 100 nF		U9: MXA2500A		J4: goldpin × 12		J1: szpilki goldpin × 14	
R1...R14, R23...R27: 3,3 kΩ		C4, C5: 33 pF		T1...T19: BC558		J5: goldpin × 5		J2: szpilki goldpin × 8	
R15...R22: 68 Ω		C6...C8: 100 nF		D79...D82: BAT46				J3: szpilki goldpin × 5	
R29...R35: 100 Ω		<b>Półprzewodniki</b>		M1: BF966 1,5 A/100 V				J4: szpilki goldpin × 12	
R36...R39: 270 Ω		U1: ATmega32		<b>Inne</b>		<b>Wyświetlacz</b>		J5: szpilki goldpin × 5	
R28: 100 kΩ		U2: LM358		Kwarc: 8 MHz		Półprzewodniki		mikroprzyciski 4 szt.	
R40: 1 MΩ		U3, U4: 4017		J1: goldpin × 14		D1...D70: LED G 5 mm			
						D71...D78: LED R 3 mm			



Rys. 2. Schemat ideowy wyświetlacza

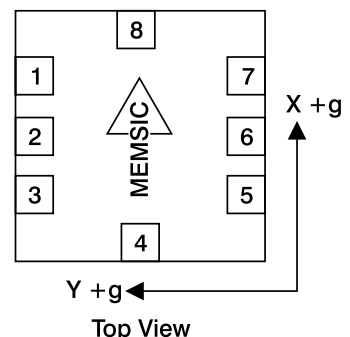


Rys. 3. Schemat blokowy czujnika przyspieszenia MXA2500A

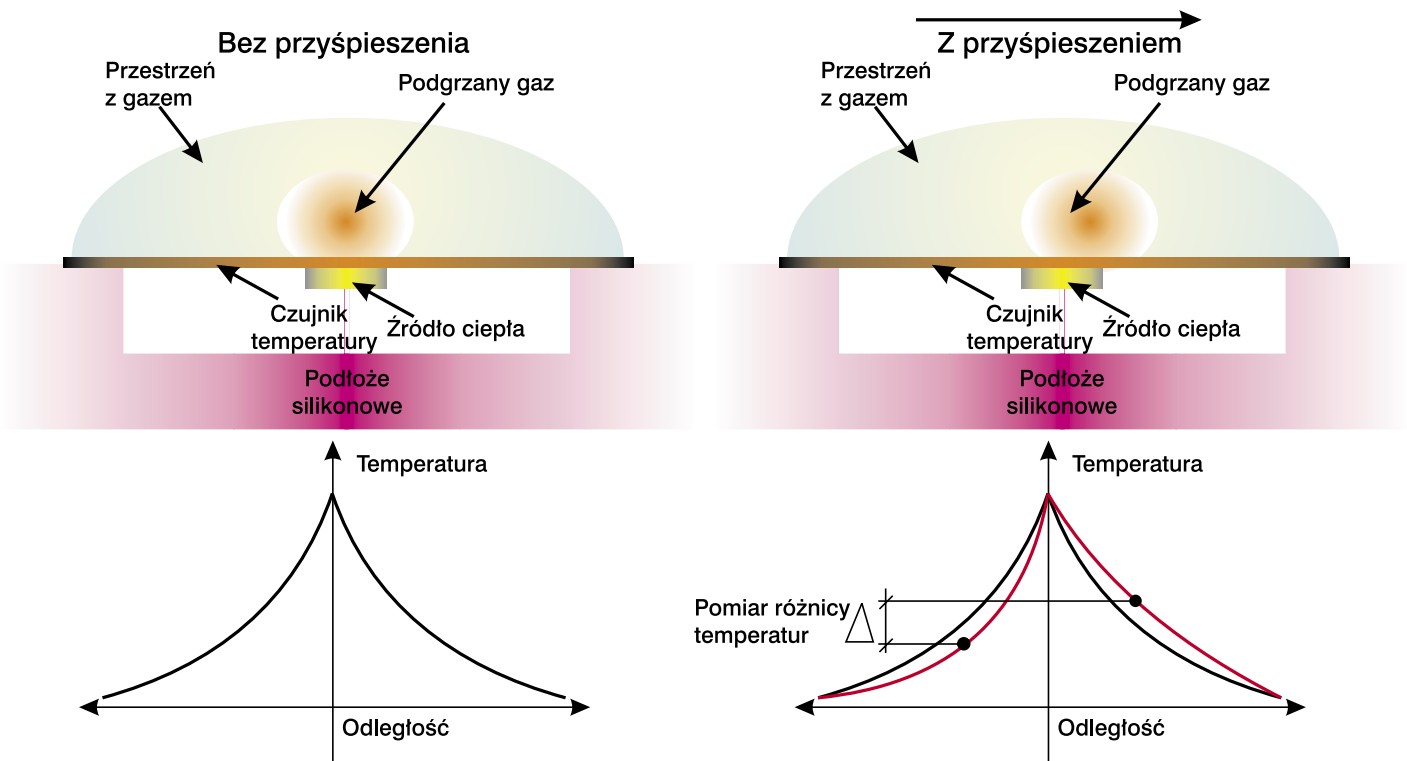
liczba linii I/O jakimi dysponuje. Ponadto ma on wbudowany przetwornik A/C, co też okazało się bardzo przydatne. Matryca diod LED oraz wyświetlacze sterowane są w sposób multipleksowy. Oznacza to, że w jednej chwili świeci się jeden wiersz diod oraz jeden wyświetlacz 7-segmentowy. Poszczególne wiersze matrycy LED zasilane są od strony dodatniej tranzystorami T1...T14, a wyświetlacze przez tranzystory T15...T19. Diody w wierszach matrycy sterowane są od strony katod przez PORTD procesora za pośrednictwem drivera ULN2803 (U10) i rezystorów R15...R22. Segmentami wyświetlaczy steruje PORTA procesora przez rezystory ograniczające prąd R29...R35.

Układy U3, U4 są dekadowymi licznikami Johnsona połączonymi w sposób kaskadowy. Na ich wyjściach jest przesuwająca się „1” logiczna, która następnie jest negowana przez inwertery w układach U5, U6, U7. W efekcie, w jednej chwili tylko na bazie jednego z czternastu tranzystorów sterujących matrycą jest „0” i świeci się jeden wiersz. Warto tutaj wspomnieć jak działają wejścia zegarowe układu 4017. Układ może być taktowany przez wejście CLK0, jeśli na CLK1 jest stan niski, lub przez wejście CLK1, jeśli na CLK0 jest stan wysoki. W przeciwnym razie układ jest zablokowany. Właśnie dzięki temu można łączyć te układy kaskadowo. W czasie, gdy układ U4 liczy, na jego wyjściu Q9 występuje stan „0” i U3 jest zablokowany za pośrednictwem bramki AND zbudowanej na D79, D80 (na wejściu CLK0 U3 jest „0”). W chwili, gdy „1” dojdzie do wyjścia Q9 układu U4, pojawia się jednocześnie na wejściu CLK1 U4 i go blokuje. Umożliwia to taktowanie układu U3. Dopiero jak „1” dojdzie do wyjścia Q6 układu U3, to zeruje obydwa układy przez D81 i ponownie zaczyna liczyć U4. Elementy C7, D82, R41, R41 zerują liczniki po włączeniu zasilania.

Klepsydra rozpoczyna odmierzenie czasu po obrocie jej o 180°. Jest to możliwe dzięki zastosowaniu układu MXA2500A (U9). Jest to czujnik przyspieszenia/położenia względem dwóch osi z dwoma analogowymi wyjściami. Napięcie wyjściowe jest podawane przez wtórnik U2A na kanał 7 przetwornika analogowo-cyfrowego procesora. Schemat blokowy tego układu pokazano na rys. 3. Rozkład wyprowadzeń z oznaczonymi osiami względem któ-



Rys. 4. Rozkład wyprowadzeń z osiami czujnika przyspieszenia MXA2500A



Rys. 5. Zasada działania czujnika przyspieszenia MXA2500A

rych działa czujnik przedstawiono na rys. 4. Czujnik ten mierzy przyspieszenia w zakresie  $\pm 1,7$  g i ma czułość 500 mV/g przy zasilaniu 5 V. Może również mierzyć kąt nachylenia. Jego solidna obudowa jest dobrym zabezpieczeniem przed torturami podczas lutowania. Przy zmianie nachylenia o  $180^\circ$  względem pionu napięcie na jego wyjściach zmienia się w zakresie od ok. 0,75 V do 1,75 V. To jest w zupełności wystarczająca różnica do określenia w jakiej pozycji znajduje się czujnik.

W układzie MXA2500A zastosowano termiczną metodę pomiaru (stosowane są ponadto metody piezoelektryczne, pojemnościowe i MEMS – mikro-elektryczno-mechaniczne). Zasadę działania termicznego czujnika przyspieszenia przedstawiono na rys. 5. Do pomiaru wykorzystuje się przepływ ciepła w wyniku naturalnej konwekcji. Jak wiadomo, cieplejszy gaz ma mniejszą gęstość od chłodniejszego, jest zatem lżejszy. Podczas



#### List. 1. Sterowanie matrycy diod i wyświetlacza

```
<z!
ISR(TIMER0_OVF_vect) // co 50 us
{
    TCNT0 = 206;

    // CLK
    if(zm_clk == 0)
    {
        PORTD = 0;
        wiersz++;
        if(wiersz >= 15) wiersz = 1;
        zm_clk = 1; PORTC |= 1<<CLK;
        PORTD = tab[wiersz];
    }
    else
    {
        zm_clk = 0; PORTC &= ~(1<<CLK);
    }

    // wyświetlacz
    nr_wys++;
    if(nr_wys > 4) nr_wys = 0;

    PORTC |= 0xF8;

    if(pozycja == 0)
    {
        switch(nr_wys)
        {
            case 0:
                if(mig == 0 && ustaw == 1 && poz_wys == 0) PORTA = 255; else wys_licz_a(c_sek%10);
                PORTC &= ~(1<<wys0);
                break;

            case 1:
                if(mig == 0 && ustaw == 1 && poz_wys == 0) PORTA = 255; else wys_licz_a(c_sek/10);
                PORTC &= ~(1<<wys1);
                break;

            case 2:
                if(mig == 0 && ustaw == 1 && poz_wys == 1) PORTA = 255; else wys_licz_a(c_min%10);
                PORTC &= ~(1<<wys2);
                break;

            case 3:
                if(mig == 0 && ustaw == 1 && poz_wys == 1) PORTA = 255; else wys_licz_a(c_min/10);
                PORTC &= ~(1<<wys3);
                break;

            case 4:
                if(mig == 0 && ustaw == 1 && poz_wys == 2) PORTA = 255; else wys_licz_a(c_godz%10);
                PORTC &= ~(1<<wys4);
                break;
        }
    }
    (... )
}
```



ruchu z przyspieszeniem działa na niego mniejsza siła bezwładności w porównaniu do gazu chłodniejszego. Podczas ruchu gaz przemieszcza się w zamkniętej objętości, a czujnik temperatury określa jego położenie. Na tej podstawie określa jest przyspieszenie.

Na tej samej zasadzie mierzone jest nachylenie. Jeśli wyobrazimy sobie czujnik z rys. 5 obrócony powiedzmy o 45°, to zobaczymy, że cieplejszy gaz uniesie się do góry, a chłodniejszy zostanie niżej. Zostanie to zamienione na wartość kąta nachylenia. Jak widać zasada działania jest dosyć prosta.

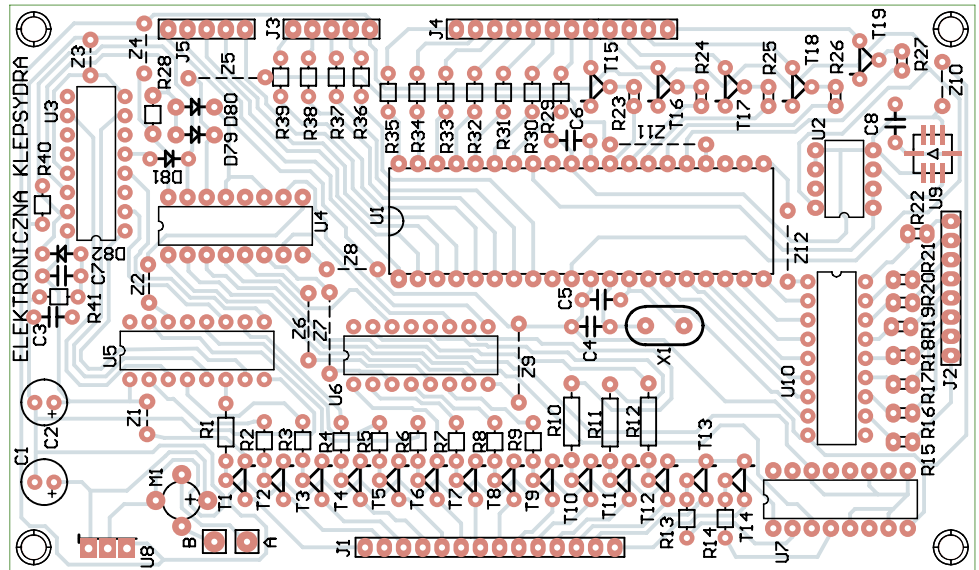
## Obsługa

Obsługa urządzenia jest prosta i intuicyjna, odbywa się za pomocą czterech przycisków. W celu ustawienia czasu naciskamy przycisk OK (zaczyna migać godzina), a następnie korzystamy z przycisków *góra*, *dół*. Do kolejnego etapu – ustawiania minut przechodzimy naciskając przycisk *poz*. Podobnie postępujemy z sekundami. Ustawiony czas zatwierdzamy przez naciśnięcie OK. Do odmierzania czasu lub zerowania klepsydry należy nacisnąć przycisk *poz* lub obrócić klepsydę o 180°. Ostatnio ustawiony czas jest zapisywany w pamięci EEPROM i nie ulega skasowaniu nawet po wyłączeniu zasilania.

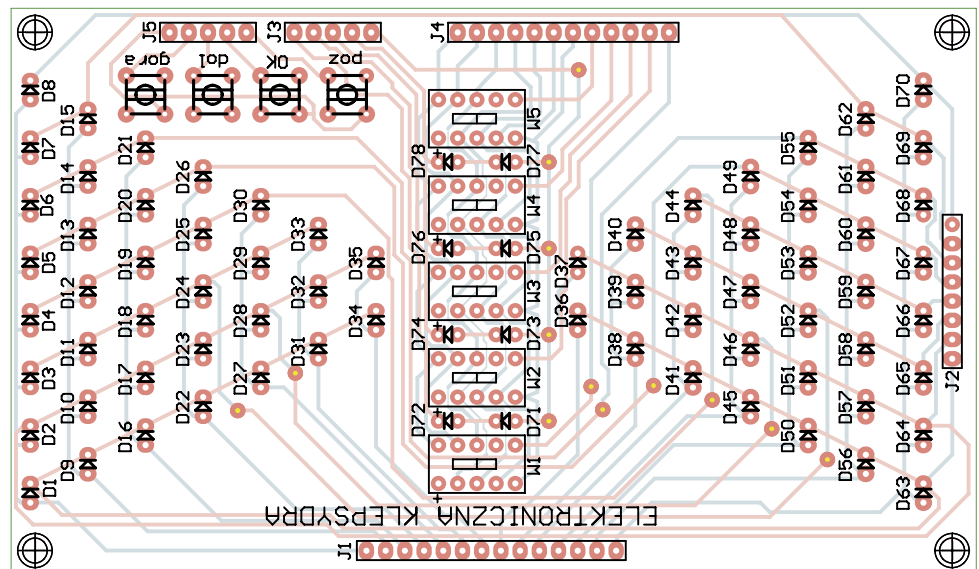
## Program

Program procesora jest napisany w języku C przy wykorzystaniu kompilatora WinAVR. Matryca LED odświeżana jest co 1,4 ms. Zapewnia to, że sporym zapasem, częstotliwość gwarantującą stabilne (bez migotania) świecenie diod. Diody matrycy i wyświetlacz sterowane są w przerwaniu od *Timera0* występującego, co 50 μs, co pokazano na list. 1. Poszczególne stany diod w wierszach umieszczone są w zmiennej tablicowej *tab[]*. Zmienna *wiersz* przechowuje numer aktualnie włączonego wiersza, a zmienna *zm\_clk* steruje linią CLK liczników U3, U4. Funkcja *wys\_licz\_a()* konwertuje liczbę na odpowiednią kombinację bitów zapewniającą jej wyświetlenie i wysyła ją na PORTA.

Przesypywanie piasku i odmierzanie czasu zaimplementowane jest w przerwaniu od *Timera1* generowanym co sekundę. Występuje 36 stanów matrycy diod. W stanie początkowym (35) wszystkie ziarenka piasku znajdują się u góry, a w stanie 0 (końcowym) wszystkie ziarenka piasku są na dole. Dla ustawionego czasu, który ma być odmierzany, obliczamy sumaryczną liczbę sekund *sek\_u*. Uptywający czas też jest zamieniany na liczbę sekund *sek\_b*. Mnożąc aktualną liczbę sekund przez liczbę stanów (35) i dzieląc to przez ustawioną liczbę sekund otrzymujemy bieżący stan matrycy *stan\_b*. Poszczególne stany diod w wierszach



Rys. 6. Schemat montażowy sterownika



Rys. 7. Schemat montażowy wyświetlacza

umieszczone są w zmiennej tablicowej *tab[]*. W materiałach dodatkowych na płytce EP03/2009B można znaleźć listingi fragmentów programu odpowiedzialne za „przesypywanie piasku” i obsługę przetwornika A/C odczytującego położenie klepsydry poprzez czujnik położenia U9.

## Montaż i uruchomienie

Schematy montażowy płytki sterownika pokazano na rys. 6 a płytki wyświetlacza na rys. 7. Płytkę sterownika jest jednostronna. Montaż zaczynamy od wlutowania dwunastu zwór. Pozostałe elementy lutujemy klasycznie w kolejności od najmniejszych do największych. Czujnik przyspieszenia U9 lutujemy od strony druku. Układ U8 montujemy na leżąco. Procesor najlepiej umieścić w podstawce. Umożliwi to ewentualne późniejsze wykorzystanie go w innym celu.

Płytkę wyświetlacza jest dwustronna. Najpierw lutujemy diody, potem przyciski, następnie wyświetlacze. Obie płytki łączymy ze sobą

za pomocą złącz typu GOLDPIN, taśm i słupków dystansowych. Diody LED powinny być wlutowane bardzo starannie, co ma znaczenie dla estetyki wykonania.

Po skontrolowaniu poprawności montażu podłączamy zasilanie do płytki. Układ można zasilać napięciem stałym 8...20 V lub zmiennym z transformatora. Biegunowość podłączonego napięcia nie ma znaczenia ze względu na mostek prostowniczy zamontowany na płytce.

Klepsydra będzie działać także bez czujnika przyspieszenia, jednak nie będzie zaczynać odmierzania czasu po obróceniu. W tej sytuacji startujemy ją przyciskiem *poz*. W takim przypadku nie jest konieczne montowanie wtórnika U2.

Kolor diod można dobrać według własnego gustu, co może jednak wymagać zmiany wartości rezystorów ograniczających R15...R22. Ważne jest, żeby diody były jednego koloru, w przeciwnym razie mogą świecić z różną jasnością.

**Paweł Karcz**  
dekon@interia.pl