

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.

# „Klocek” miernika częstotliwości albo licznik zdarzeń

*Rozpoczynając pracę nad tym urządzeniem, miałem zamiar zrobić licznik nieperiodycznych impulsów elektrycznych, czyli po prostu licznik zdarzeń. Urządzenia tego rodzaju są stosowane w bardzo wielu miejscach, począwszy od pomiaru natężenia ruchu pojazdów na autostradzie lub klientów w sklepie, poprzez pomiar częstotliwości otwierania bram lub zaworów w różnych urządzeniach, a skończywszy na pomiarach średnich szybkości obrotowych elementów wirujących. Jednak dla mnie najistotniejsze było jego zastosowanie do liczenia liczby kropeł w układach mikrofluidycznych, a ponieważ płynące krople mają zwykle jednakową objętość (z dokładnością do 1%), do mierzenia ich sumarycznej objętości lub objętościowego natężenia ich przepływu. Dopiero po pewnym czasie od stworzenia prototypu okazało się, że skonstruowany licznik zdarzeń można wykorzystać również podczas uruchamiania długich (kilka do kilkudziesięciu metrów) wielobitowych szyn danych.*

Patrząc od strony uniwersalności licznika zdarzeń powinien on radzić sobie ze zliczaniem impulsów o różnym kształcie, różnej amplitudzie i różnym czasie trwania – również o różnym czasie narastania i spadku zboczy. Pierwszy warunek dotyczy odpowiedniego „odfiltrowania” sygnału wejściowego, drugi odpowiedniej czułości licznika, a trzeci wystarczająco wysokiej częstotliwości pracy układu zliczającego. Warunki drugi i trzeci wskazują na to, że licznik zdarzeń powinien być także „przyzwyczajony do dobrego” miernikiem częstotliwości. Natomiast ze względu na różnorodność impulsów wytwarzanych przez sporą plejadę czujników układ filtrujący zawsze powinien być dobierany do ich charakterystyki. Jak widać praca nad podstawowym układem licznika zdarzeń przerodziła się w pracę nad stworzeniem miernika częstotliwości opartego na tzw. cyfrowej metodzie jej pomiaru lub metodzie sekwencyjnej.

Prawie zawsze w długich, wielobitowych szynach danych przesyłane impulsy ulegają odkształceniu skutkiem indukcyjności

przewodów i pojemności występujących pomiędzy nimi. W efekcie przyłączone do nich czujniki lub elementy wykonawcze pracują nieprawidłowo. Zatem uruchomienie takiej szyny danych sprowadza się do analizy FFT (po stronie odbiorczej) zestandaryzowanych sekwencji impulsów doprowadzonych do niej (po stronie nadawczej). Jest to dość żmudne zajęcie i dlatego znacznie prościej jest przyłączyć licznik zdarzeń przez filtr dolnoprzepustowy ustawiony na najwyższą szybkość transmisji danych do kolejnych linii bitów. Jeśli licznik będzie zliczał prawidłowo wszystkie impulsy doprowadzone do szyny, to przyłączenie w jego miejsce oscyloskopu pozwoli na ocenę poziomu sygnału na każdej z linii i przesądzenie o zastosowaniu, lub nie, konwertera poziomów albo wzmacniacza dwukierunkowego. Niestety niwelację przesunięć fazowych pomiędzy poszczególnymi bitami można wykonać już tylko przy użyciu oscyloskopu (najlepiej wielokanałowego). Warto podkreślić to, że stosowanie w pierwszym kroku wielokanałowego analizatora stanów jest często

zawodne dlatego, że działa on praktycznie w zakresie napięcia zbliżonym i nieprzekraczającym napięcia jedynki logicznej i często „przeocza” impulsy o niższym napięciu lub krótkim czasie trwania.

Zawodowo opisywany licznik zdarzeń wraz z czujnikami optycznymi lub przewodnościowymi wykorzystuje do liczenia kropeł lub pęcherzyków gazu płynących w mikrofluidycznych urządzeniach doświadczalnych lub analitycznych. Również wykorzystuje go w miernikach objętościowego natężenia przepływu faz (rozproszonej lub ciągłej). Natomiast czasami służy mi on do dostrajania długich, wielobitowych szyn danych. Zaś w domowych warunkach posługuję się nim jako miernikiem częstotliwości jako „samodzielnym urządzeniem” lub jako „ustrojem pomiarowym” instalowanym (tak jak woltomierze lub amperomierze) tam, gdzie pomiar częstotliwości jest niezbędny (np. generatory, falomierze itp.). Z tego też względu opisany poniżej układ jest „wyskalowany” w jednostkach częstotliwości, pozwalając na jej pomiary z dokładnością do 100, 10, 1 lub 0,1 Hz co jednoznacznie przekłada się na czasy zliczania impulsów 0,01, 0,1, 1 lub 10 sekund.

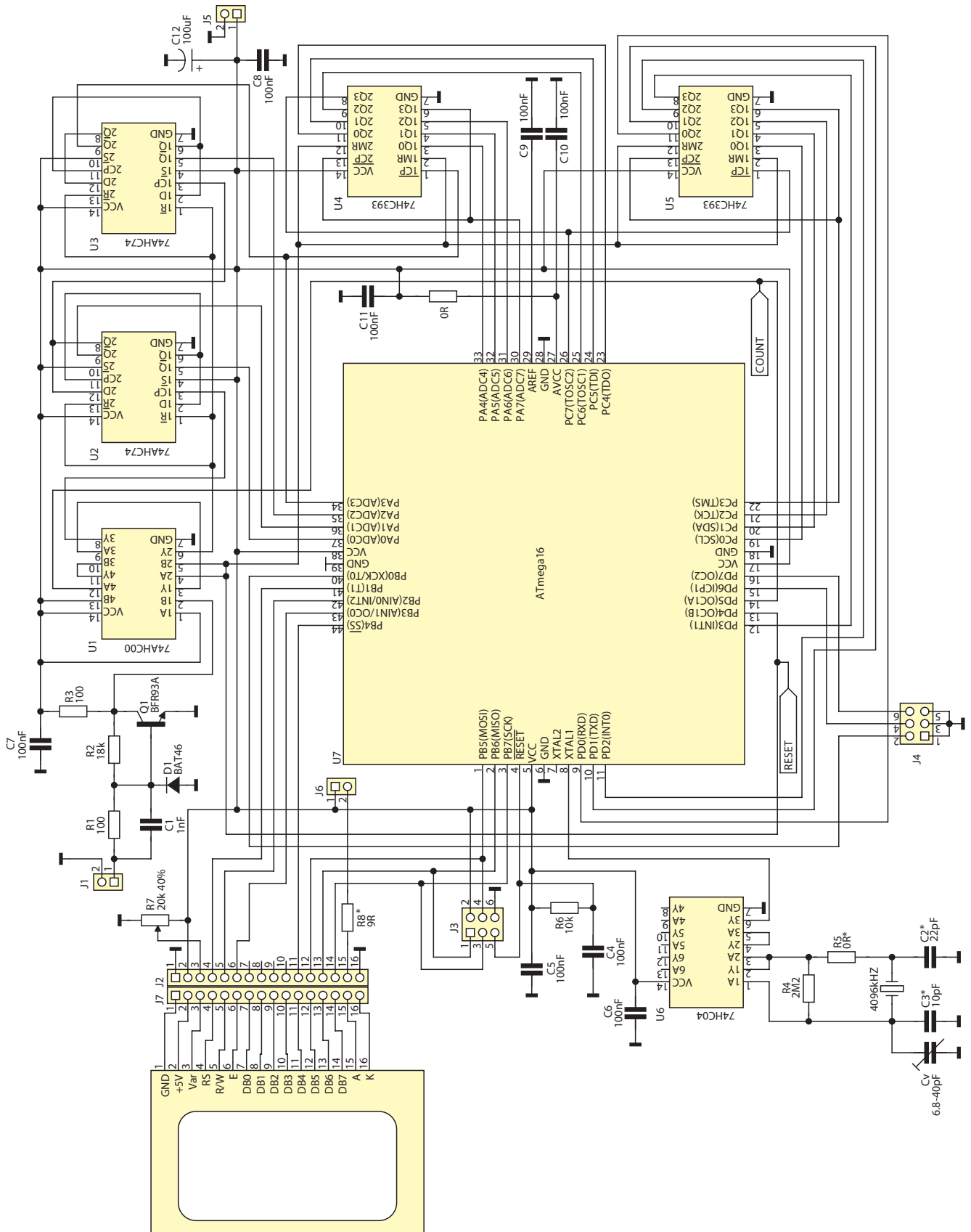
## Opis budowy i działania urządzenia

Schemat ideowy licznika zdarzeń pokazano na **rysunku 1**. Przyrząd składa się ze wzmacniacza wejściowego zbudowanego na tranzystorze Q1 (BFR93), układu formowania sygnału i układu bramkującego zezwalającego na zliczanie impulsów w określonych interwałach czasowych, zbudowanego na układzie scalonym U1 (SN74AHC00) oraz ze wstępnego licznika impulsów modulo  $2^{20}-1$  wykonanego na układach U2, U3 (SN74AHC74) oraz U4, U5 (SN74HC393).

Wyjścia liczników oraz wejścia układu bramkującego dołączone są do odpowiednich pinów mikrokontrolera U7 (ATmega16A), dla którego sygnał zegarowy o częstotliwości 4096 kHz jest generowany przez generator kwarcowy zbudowany na układzie U6 (SN74HC04). Rozwiązanie to przyjęto

ze względu na łatwiejsze „dostrojenie” częstotliwości zegara do żądanej wartości, niż miałyby to miejsce, gdyby rezonator był dołączony tylko do odpowiednich wyprowadzeń mikrokontrolera. Do portu B procesora jest przyłączony jednolinijkowy, szesnastznakowy wyświetlacz alfanumeryczny zgodny

ze standardem HD44780. Ze względu na konieczność zaprogramowania mikrokontrolera w układzie połączenie to powinno być rozłączalne – J2, J7. Ponadto na schemacie uwidocznił się układ miękkiego startu procesora (C4, R6) oraz wielopinowe wtyki: J1 – wejścia do układu zliczania, J3 – wejścia



Rysunek 1. Schemat ideowy licznika zdarzeń

Wykaz elementów:

Rezystory:

- R8: 18 Ω (SMD 1206)
- R1, R3: 100 Ω (SMD 1206)
- R6: 10 kΩ (SMD 1206)
- R2: 18 kΩ (SMD 1206)
- R7: 20 kΩ (SMD 3296X)
- R4: 2,2 MΩ (SMD 1206)
- R5, OR: 0 Ω (SMD 1206)

Kondensatory:

- C3: 10 pF (SMD 1206)
- C2: 22 pF (SMD 1206)
- C1: 1 nF (SMD 1206)
- C4...C11: 100 nF (SMD 1206)
- C12: 100 μF/16 V (SMD „D”)
- Cx\*: 6,8...40 pF
- C13: 10000 μF/16 V
- C14: 1 nF/2000 V

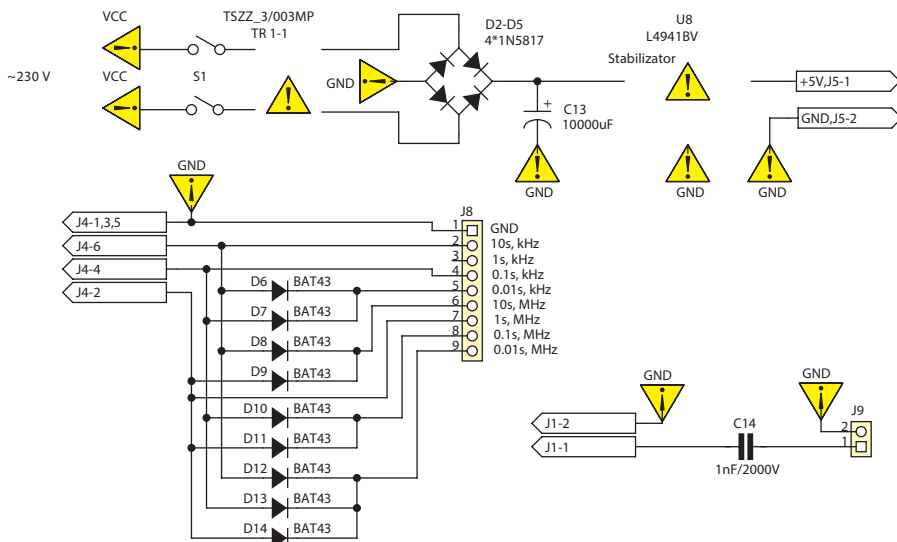
Półprzewodniki:

- D1: BAT46 (minimelf)
- Q1: BFR93A (SOT-23)
- U1: SN74AHC00 (SOP14)
- U2, U3: SN74AHC74 (SOP14)
- U4, U5: SN74HC393 (SOP14)
- U6: SN74HC04 (SOP14)
- U7: Atmega16A (TQFP44)
- D2...D5: 1N5817
- D6...D14: BAT43
- U8: L4941BV
- Inne:
- LCD-H-1601E-301 Y/G lub LCD-AC-1601C-209, 1 szt.
- 4096 kHz, HC49S, 1 szt.
- J1, J5, J6: SIP2
- J2, J7: SIP16
- J3, J4: IDC6
- BLS16 – 2 szt.
- TSZZ 3/003MP – transformator 6V/0.5A (zasilacz)
- S1: przełącznik ON/OFF (zasilacz)
- J8: SIP9 (zasilacz)
- BLS09 – 1 szt. (zasilacz)
- J9: SIP2 (zasilacz)
- BLS02 – 2 szt. (zasilacz)
- Przełącznik obrotowy 1x8 Ø15 mm, 1 szt. (zasilacz)
- Obudowa KM-85, 1 szt. (zasilacz)
- Przeźroczysta płyta czołowa do KM-85 (zasilacz)
- Uniwersalna płytko drukowana PDU-14 (fragment), 1 szt. (zasilacz)
- Przewód sieciowy, 1 szt. (zasilacz)
- Przepust przewodu sieciowego, 1 szt. (zasilacz)
- Gniazdo przykręcane BNC, 1 szt. (zasilacz)

programatora, J5 – doprowadzenia napięcia zasilania oraz J4 – ustawiania czasów zliczania i sposobu wyświetlania wyników, J6 – załączania lub wyłączenia podświetlania wyświetlacza LCD albo przyłączenia regulatora jego jasności świecenia.

Rozkład pinów we wtyku J3 jest zgodny ze standardem zalecanym przez firmę Atmel. Natomiast czasy zliczania i jednostka częstotliwości wyświetlana na wyświetlaczu LCD ustawiane są za pomocą zwór zakładanych na pary pinów złącza J4. Wszystkie konfiguracje ustawień pokazano w tabeli 1, zaznaczając X-em założone zwory.

Chociaż układ z rysunku 1 stanowi już funkcjonalnie licznik zdarzeń/miernik częstotliwości i może być zastosowany jako moduł w bardziej zaawansowanym urządzeniu jak np. generator, falomierz itp., to brakuje w nim



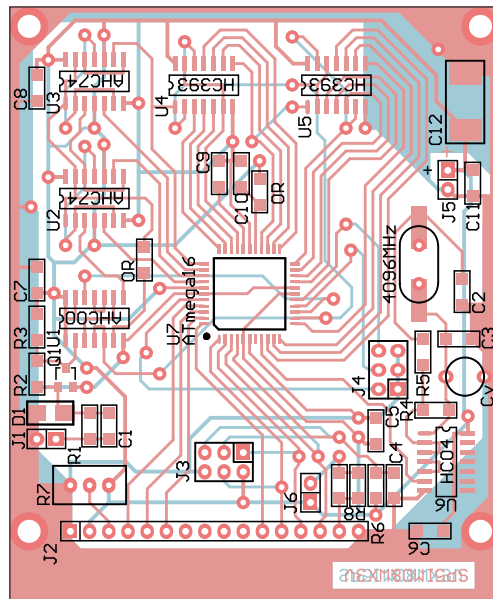
Rysunek 2. Schemat dodatkowych, opcjonalnych układów współpracujących z licznikiem zdarzeń, aby można było traktować go jako „niezależne” urządzenie

układów zasilania i manualnego wyboru zakresu działania, tak aby potraktować go jako „niezależne” urządzenie. Ze względu na prostotę i opcjonalność tych układów zmontowano je na uniwersalnej płytce drukowanej. Ich schemat pokazano na rysunku 2.

Ze względu na prostotę rozwiązania pominę opis działania zasilacza stabilizowanego pokazanego na górnym schemacie na rysunku 2. Schemat po lewej stronie stanowi matrycę diodową, której wyprowadzenia 2–9 (złącze J8) przyłączane do masy (pin 1) będą zmieniać zarówno czas zliczania jak też format wyniku wyświetlanego na wyświetlaczu LCD. Wejścia do owej matrycy przyłączane są do pinów 1–6 gniazda J4. Oprócz tego na płytce uniwersalnej znajduje się też kondensator separujący ewentualną składową stałą mierzonego sygnału od wejścia licznika zdarzeń. Zależnie od przeznaczenia miernika częstotliwości powinien on mieć odpowiednią „wytrzymałość napięciową”. Jednak o ile owa „wytrzymałość” na składową stałą wiąże się z napięciem przebicia kondensatora C14, o tyle, ze względu na układ wejścia miernika, amplituda sygnału zmiennego nie powinna przekraczać 15 V.

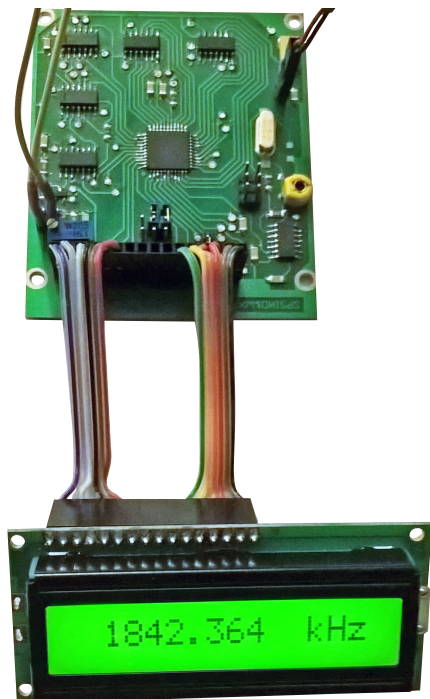
Montaż i uruchomienie

Schemat montażowy płytki głównej pokazano na rysunku 3. Montaż należy rozpocząć od wlotowania kawałków przewodu we wszystkie przelotki występujące w urządzeniu. Zabezpiecza to przed ewentualnymi brakami metalizacji w otworach. Następnie montujemy elementy wchodzące w skład generatora kwarcowego (R4, R5, C6, C<sub>v</sub>, U6, rezonator kwarcowy) oraz kondensatory „blokujące” zasilanie (C11, C12), a także złącze J5. Po tym podłączamy zasilanie +5 V do złącza J5 i mierząc częstotliwość na wyprowadzeniu



Rysunek 3. Schemat montażowy licznika zdarzeń

6 układu U6, sprawdzamy, czy w skrajnych położeniach trymera C<sub>v</sub> generowana częstotliwość zmienia się w zakresie 4096±1 kHz, czyli 4095–4097 kHz. Mimo przetestowania kilku rezonatorów (THT i SMD) dwóch producentów, nie spotkałem się z przypadkiem, aby – bez względu na położenie trymera – generowana częstotliwość była mniejsza niż 4096 kHz. Zatem, jeśli taka sytuacja miałaby miejsce, to warto najpierw sprawdzić kalibrację wzorcowego miernika częstotliwości, a dopiero potem wymienić rezonator na inny. We wszystkich przypadkach (oprócz jednego) częstotliwość pracy generatora była zbyt duża, ale łatwo ją doprowadzić do wymaganego zakresu zmienności, dobierając kondensator C3\* (6,8...12 pF). Natomiast w tym jednym wyjątkowym, generator od początku przestrajał się w wymaganym zakresie. Zatem nie było potrzeby montowania dodatkowej pojemności. W żadnym ze zbadanych przypadków nie



**Fotografia 4. Działająca płytka licznika zdarzeń/miernika częstotliwości**

było konieczności wlutowywania kondensatora C2\*. Na zakończenie uruchamiania generatora należy, trymerem C<sub>1</sub>, ustawić jego częstotliwość pracy na 4096 kHz z możliwie najlepszą dokładnością.

Po odłączeniu napięcia zasilania od pinów J5 można przystąpić do dalszego montażu miernika, poczynając od elementów gabarytowo najmniejszych, a skończywszy na największych. Następnie ponownie należy dołączyć napięcie zasilania i przyłączywszy programator do złącza J3, wprowadzić „wsad” do pamięci Flash procesora oraz przełączyć go w tryb pracy z zewnętrznym generatorem (wyzerowanie, czyli „zaznaczenie” bitów CKSEL3:0), a także wprowadzić binarnie 10 do bitów SUT1:0, ustawiając opóźnienie rozpoczęcia pracy procesora na 64 ms.

Lp.	Numery pinów			Czas zliczania [s]	Dokładność pomiaru [Hz]	Wyświetlana jednostka
	1-2	3-4	5-6			
1	X			10	0,1	kHz
2				1	1	kHz
3		X		0,1	10	kHz
4	X	X		0,01	100	kHz
5	X		X	10	0,1	MHz
6			X	1	1	MHz
7		X	X	0,1	10	MHz
8	X	X	X	0,01	100	MHz

Ponadto należy odznaczyć bit JTAGEN. Po odłączeniu programatora i napięcia zasilania trzeba przyłączyć jednolinijkowy wyświetlacz alfanumeryczny do złącza J2, zewrzeć piny J6 zworą, włączając podświetlenie i przyłączyć napięcie zasilania. Następnie potencjometrem montażowym R7 trzeba wyregulować kontrast wyświetlanych znaków. W zasadzie licznik zdarzeń jest gotowy do użytku (fotografia 4), chociaż warto raz jeszcze sprawdzić poprawność ustawienia częstotliwości generatora kwarcowego.

Ze względu na trywialność układów z rysunku 2 pominię kwestie związane z ich uruchamianiem. Poza tym będą one potrzebne jedynie tym Czytelnikom, którzy w oparciu o wyżej opisany układ postanowią skonstruować miernik częstotliwości dla potrzeb swojego laboratorium elektronicznego.

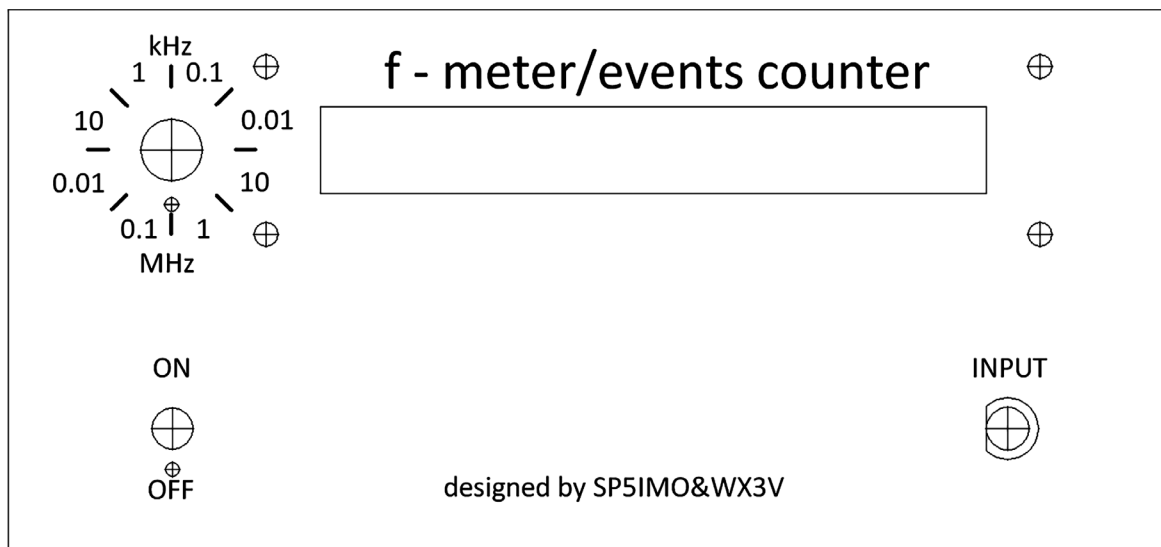
### Obudowa miernika

Chyba nie jestem wyjątkiem w tym, że nie jestem fanem prac warsztatowo-mechanicznych. Jednak, kiedy już muszę, to wolę piłować plastiki niż blachę, nawet tę „miększą”, bo aluminiową. Zatem płytę czołową (bo z nią jest zawsze najwięcej zachodu) wolałem najpierw narysować i wydrukować na grubszej kartce papieru. Wymiary płyty

czołowej przyjąłem identyczne z tymi, które ma płyta czołowa w obudowie KM-85 (rysunek 5). Następnie, grubą igłą przeszpilkowałem środki otworów na płytę przezroczystego filtra do tej obudowy, a potem wywierciłem w niej otwory o odpowiednich średnicach. Lancetem wyciąłem w kartce zbędne środki każdego z otworów, a przyłożywszy ją (od wewnętrznej strony) do przygotowanego filtra, przykręciłem ją za pomocą wszystkich tych elementów, które przechodzą na wylot przez płytę czołową. Nieco wystający brzeg kartki obciąłem nożyczkami do kształtu i wymiarów filtra. Wynik tych działań pokazuje fotografia 6.

### Uwagi końcowe

Z danych katalogowych układów 74AHC00 (U1) i 74AHC74 (U2, U3) wynika, że przy napięciu zasilania 5 V, ich typowa, graniczna częstotliwość pracy powinna zawierać się w przedziale 135...170 MHz (25°C), a selekcyjując je, można znaleźć i takie, które będą poprawnie pracować do 500 MHz. Jednak dobieranie układów scalonych wymagałoby zastosowania podstawek, na które nie ma miejsca na pokazanej płytce. Zatem trzeba zadowolili się tym, co gwarantuje ich producent (rysunek 7).



**Rysunek 5. Rysunek płyty czołowej po wydrukowaniu (proszę sprawdzić wymiary przez przyłożenie wydruku do płytki przezroczystego filtra do obudowy KM-85)**

Warto zastanowić się nad stabilnością częstotliwości generatora kwarcowego, który jest odpowiedzialny za odmierzanie interwału czasu zliczania. Zwykle miernik wykorzystujemy w warunkach prawie niezmienniej temperatury. Zatem jej wpływ na pojemność kondensatorów ( $C_1$ ,  $C_2^*$ ,  $C_3^*$ ), zastosowanych w układzie zegarowym, będzie stosunkowo niewielka. Ponadto łatwo jest ją poprawić, stosując kondensatory z zerowym współczynnikiem temperaturowym. Stabilnością termiczną rezonatorów kwarcowych stosowanych w elektronice nie należy zbytnio się przejmować, ponieważ kryształy kwarcu są tak cięte (cięcia AT lub B), aby współczynnik temperaturowy rezonatora był bliski zera dla temperatury w zakresie  $20 \div 25^\circ\text{C}$ . Jeśli miernik będzie pracował w środowisku o temperaturze zmieniającej się w bardzo szerokim zakresie, to stabilność termiczną częstotliwości samego rezonatora można poprawić, termostatując temperaturę jego obudowy za pomocą małego ogniwa Peltiera. Jednak w przeważającej większości przypadków będzie to działanie zupełnie zbędne i wystarczy kalibrować częstotliwość pracy generatora raz lub dwa w ciągu roku, dodatkowo kompensując efekt starzenia się rezonatora.

Czułość wejścia miernika częstotliwości nieco zależy od jej mierzonych wielkości. W zakresie powyżej kilkuset herców jest to kilkaset miliwoltów do jednego wolta. Jednak dla częstotliwości niskich, nawet poniżej herca, konieczne jest podawanie na wejście napięcia powyżej wolta szczególnie w wypadku, gdy stosowany jest kondensator  $C_{14}$  separujący składową stałą. Można wtedy rozważyć zwiększenie jego pojemności.

Warto zauważyć, że wspólną wadą wszystkich cyfrowych mierników częstotliwości jest ich brak „odporności na kształt przebiegu” sygnału wejściowego. Najczęściej wada ta objawia się tym, że miernik pokazuje którąś z harmonicznych sygnału wejściowego (pierwszą lub drugą). Ze względu na swoją prostotę również i ten miernik nie jest od tego wolny. W takich przypadkach, dla częstotliwości do około 70 MHz, można



**Fotografia 6. Zdjęcie miernika częstotliwości/ licznika zdarzeń**



**Fotografia 7. Pomiar częstotliwości generatora kwarcowego TTL 160 MHz**

posłużyć się oscyloskopową sondą (1:1) pracującą wtedy jako filtr dolnoprzepustowy (fot. 6). Natomiast dla wyższych częstotliwości konieczne jest stosowanie możliwie najkrótszych połączeń lub kompensacja

przesunięcia fazowego niewielką pojemnością (co najwyżej kilka pF) dołączaną równoległe do wejścia przyrządu (fot. 7).

**Jacek A. Michalski SP5IMO & WX3V**  
**Jacek.Michalski@pw.edu.pl**

**http://sklep.avt.pl**

**SKLEP FIRMOWY**  
 (sprzedaż na miejscu,  
 obsługa zamówień z odbiorem osobistym):

tel.: 22 257 84 66

**Sklep stacjonarny**  
 (ul. Leszczyńska 11, Warszawa – Żerań)  
 czynny w godzinach:

**poniedziałek – piątek: 08:00 – 16:45 (czwartek do 17:45)**  
**sobota: 10:00 – 13:45**