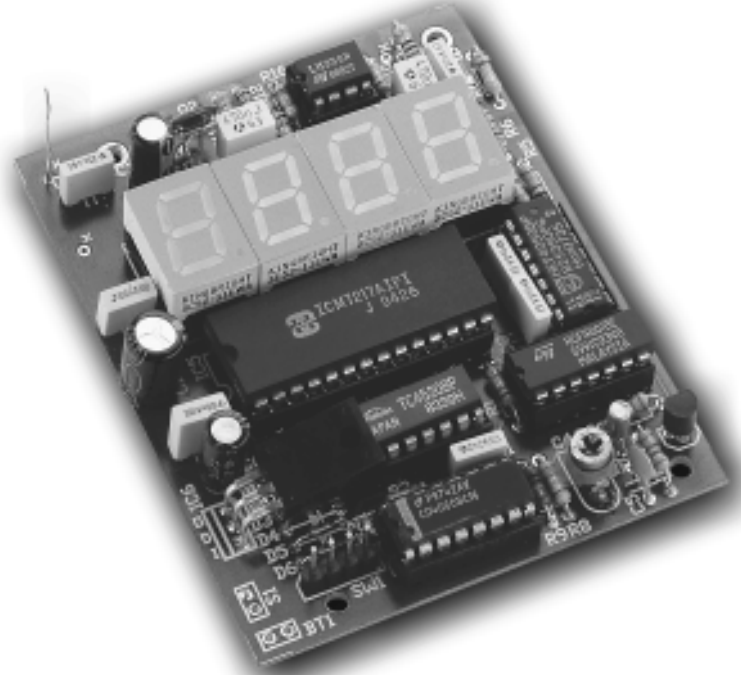


Obrotomierz z czujnikiem optycznym

kit AVT-482



Obrotomierze są po termometrach jednymi z częściej budowanych przyrządów pomiarowych wielkości nieelektrycznych. Hobbyści najczęściej budują obrotomierze samochodowe, co jest spowodowane prawdopodobnie łatwością uzyskania sygnału pomiarowego z przerywacza zapłonu. Niejednokrotnie potrzebujemy jednak zmierzyć prędkość obrotową obiektu, do którego nie możemy dołączyć jakichkolwiek sond pomiarowych w rodzaju hallotronów czy transoptorów, nie mówiąc już o stykach mechanicznych.

Proponowany układ został zaprojektowany na „zamówienie“ modelarzy zajmujących się budową modeli samolotów z napędem elektrycznym i stąd pewne szczególne jego cechy (np. możliwość pomiaru prędkości obrotowej przedmiotu z trzema punktami odniesienia, która potrzebna była do badania silników ze śmigłem trójramiennym), bynajmniej nie utrudniające zastosowania przyrządu do pomiaru prędkości obrotowej praktycznie dowolnych obiektów. Warunek jest tylko jeden: na tym przedmiocie musi być umieszczona jedna, dwie lub trzy płaszczyzny o tonacji wyraźnie odcinającej się od tła. Optymalna byłaby czarna, gruba kreska umieszczona dokładnie na średnicy obracającej się tarczy.

Praktyka dowiodła jednak, że proponowany przyrząd może poradzić sobie nawet w znacznie mniej komfortowych warunkach. Testy laboratoryjne wykonywane były za pomocą modelarskiego silnika elektrycznego typu 400, na którego wale umieszczone było szare, dwuramiennie śmigło. Całość znajdowała się na tle, którego tonacja daleka była od śnieżnej bieli czy głębokiej czerni. Okazało się jednak, że kontrast optyczny wirującego śmigła wobec tła był

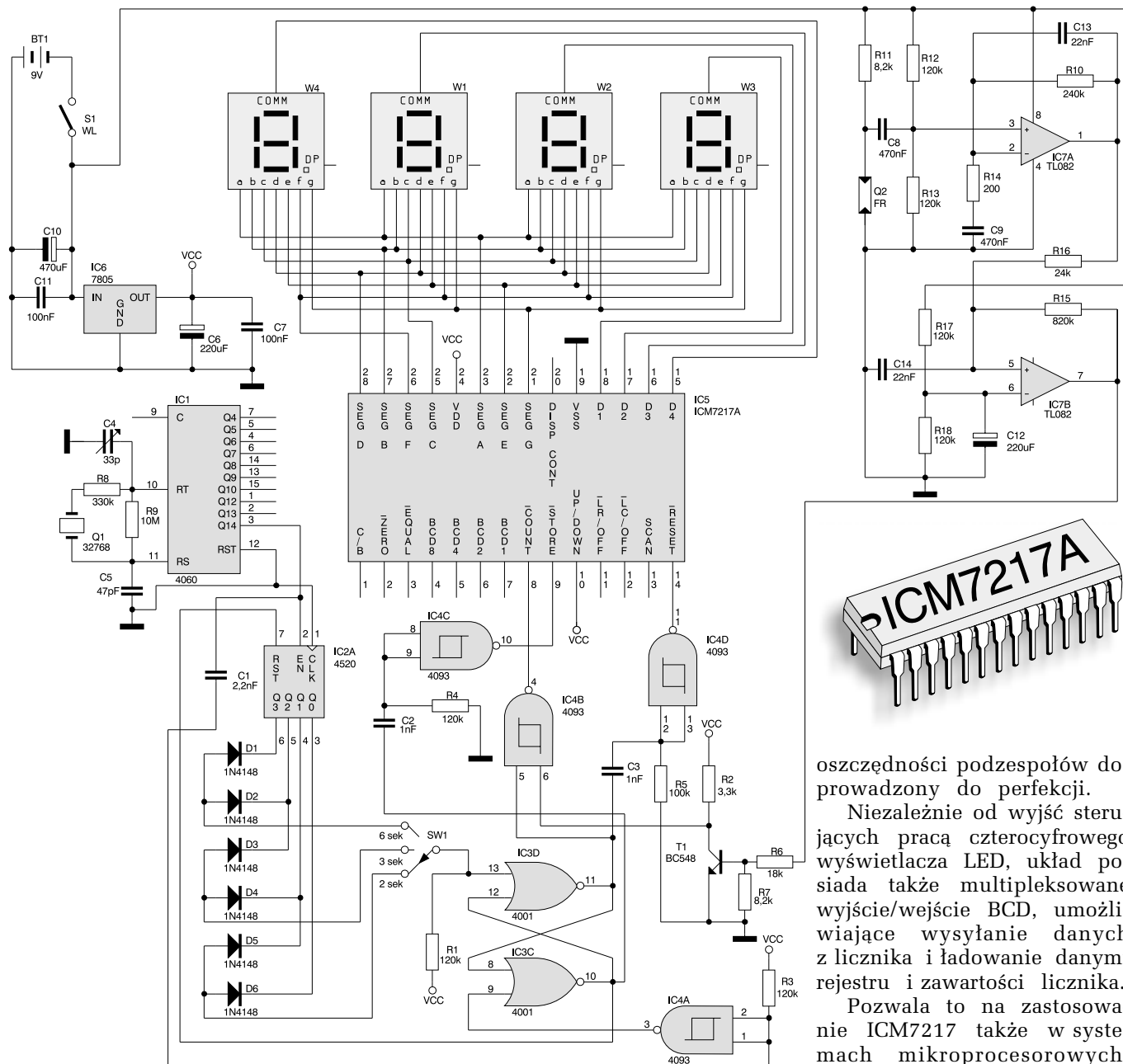
wystarczający i możliwe było dokonywanie pomiarów do prędkości obrotowej 8000 rpm.

Podczas opracowywania obrotomierza duży nacisk położyłem na prostotę i niską cenę układu. Dlatego też wybrałem metodę pomiaru w czasie rzeczywistym, co wymusiło konieczność stosowania bardzo długich czasów bramkowania - aż 6 s w przypadku jednego punktu pomiarowego na obracającym się obiekcie, 3 s w przypadku dwóch punktów i 2 s, jeżeli będziemy dysponowali aż trzema kontrastującymi z tłem punktami.

Znacznie lepsza byłaby metoda przeliczania okresu badanej częstotliwości na liczbę obrotów na minutę. Zastosowanie takiego rozwiązania spowodowałoby jednak konieczność użycia procesora wykonującego potrzebne obliczenia i znacznie zwiększyłoby koszt urządzenia.

Opis działania układu

Schemat elektryczny proponowanego układu obrotomierza został pokazany na **rys. 1**. Jak widać, układ jest wyjątkowo prosty i zarówno zrozumienie sposobu działania, jak i wykonanie nie przekracza możliwości nawet mało zaawansowanego konstruktora.



Rys. 1. Schemat elektryczny obrotomierza.

Na początek uświadomijmy sobie jeden fakt: cały czas mówimy o budowie obrotomierza, ale w rzeczywistości skonstruujemy znany chyba każdemu elektronikowi przyrząd, tj. zwykły miernik częstotliwości, tylko że przystosowany do pomiaru stosunkowo wolnych przebiegów i wyposażony w nietypowe wejście.

Sercem przyrządu jest układ ICM7217A firmy Harris, dalej nazywany w skrócie ICM7217. Nie był on jak dotąd stosowany w projektach publikowanych w EP i dlatego opiszemy w największym skrócie ten interesujący układ.

Układ ICM7217 jest 4-cyfrowym licznikiem uniwersalnym z ustawianym rejestrem, którego zawartość może być stale porównywana ze stanem licznika. Układ może bezpośrednio sterować siedmiosegmentowymi wyświetlaczami LED w systemie multipleksowania. Może on pracować bez jakichkolwiek elementów zewnętrznych, posiada bowiem wbudowany oscylator.

Do tej pory najwyższy podziw budziła popularna „ajsielka“ (np. układy ICL7106, 7107) pracująca z zaledwie kilkoma zewnętrznymi elementami dyskretnymi, ale ICM7217 został pod względem

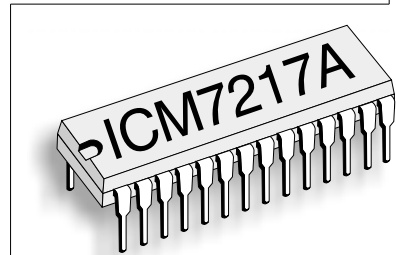
oszczędności podzespołów doprowadzony do perfekcji.

Niezależnie od wyjść sterujących pracą czterocyfrowego wyświetlacza LED, układ posiada także multipleksowane wyjście/wejście BCD, umożliwiające wysyłanie danych z licznika i ładowanie danymi rejestru i zawartości licznika.

Pozwala to na zastosowanie ICM7217 także w systemach mikroprocesorowych. Działanie układu najlepiej pokazać opisując funkcje pełnione przez jego ważniejsze wejścia i wyjścia:

1. Wyjście *CARRY/BORROW* (przeniesienie/pożyczka). Wyjście to umożliwia kaskadowe łączenie ze sobą dowolnej liczby liczników, a tym samym wyświetlanie informacji na wyświetlaczu o dowolnej liczbie cyfr. Dodatni impuls pojawia się na tym wyjściu w momencie przejścia od stanu 9999 do 0 podczas zliczania w górę i w momencie zmiany z 0000 na 9999 podczas zliczania w dół.

2. Wyjście *ZERO*. Na wyjściu tym stan niski pojawia się w momencie, kiedy zawartość licznika wynosi 0000.



3. Wyjście *EQUAL*. Stan niski na tym wyjściu sygnalizuje równość stanów licznika i rejestru.

4..7. *BCD I/O*. Wyprowadzenia te tworzą dwukierunkowy port BCD. Kiedy pracują jako wejścia, możemy za ich pomocą przekazać dane do rejestru lub bezpośrednio do zawartości licznika.

8. *COUNT*. Wejście zegarowe. Na to wejście podaje się impulsy, które mają być zliczane przez ICM7217. Nachylenie zboczy tych impulsów może być bardzo płaskie, ponieważ wejście to zaopatrzone zostało w przerzutnik Schmitta.

9. *STORE*. Podanie na to wejście stanu niskiego powoduje przesłanie danych z licznika do rejestrów wyjściowych.

10 *UP/DOWN*. Sterowanie kierunkiem zliczania. Stan niski na tym wejściu powoduje zliczanie w dół, a wysoki w górę.

11. *LOAD REGISTER/OFF*. Jest to wejście trójstanowe, realizujące następujące funkcje:

- nie połączone - normalne działanie licznika;
- stan wysoki - ładowanie rejestru danymi z portu BCD;
- stan niski - wyzerowanie i wyłączenie całego licznika.

12. *LOAD COUNTER/I/O OFF*. Jest to także wejście trójstanowe realizujące następujące funkcje:

- nie połączone - normalne działanie licznika;

- stan wysoki - ładowanie licznika danymi z portu BCD;

- stan niski - przejście portu BCD w stan wysokiej impedancji.

13. *SCAN*. Dołączenie kondensatora pomiędzy to wejście, a dodatni biegun zasilania pozwala zmienić częstotliwość zegara licznika.

14. *RESET*. Podanie na to wejście stanu niskiego powoduje asynchroniczne wyzerowanie licznika.

20. *DISPLAY CONT*. Jest to wejście trójstanowe realizujące następujące funkcje:

- nie połączone - normalne działanie licznika;
- stan wysoki - wyłączenie wyświetlania;
- stan niski - wygaszanie zer nieznaczających.

Wiemy już wszystko o najważniejszym układzie scalonym, pracującym w naszym obrotomierzu i najwyższa pora powrócić do analizy schematu, który bardzo wyraźnie dzieli się na część analogową i cyfrową. Przebrnijmy więc jak najszybciej przez „analogówkę“, aby jak najprędzej zacząć omawiać jasną i zrozumiałą część cyfrową.

Światło o zmiennym natężeniu, odbite od wirującego przedmiotu, pada na fotorezystor Q2, wytwarzając na dzielniku napięcia, zbudowanym z fotorezystora i rezystora R11, zmienne poziomy napięcia, które następnie wzmacniane są przez wzmacniacz operacyjny IC7A. Z wyjścia tego wzmacniacza impulsy są kierowane na wejście kolejnego wzmacniacza operacyjnego IC7B, pracującego jako komparator napięcia. Na jego wyjściu otrzymujemy już przebieg zbliżony do prostokątnego, który za pośrednictwem rezystora R6ysterowuje bazę tranzystora T1. Tranzystor ten pełni funkcję niezbędnego konwertera poziomów napięcia, ponieważ obydwie wzmacniacze są zasilane napięciem pobieranym bezpośrednio z baterii i wynoszącym 9VDC, natomiast część cyfrowa wymaga zasilania napięciem 5VDC. Z kolektora tranzystora T1 impulsy, których częstotliwość

WYKAZ ELEMENTÓW

Rezystory

- Q2: fotorezystor
- R1, R3, R4, R12, R13, R17, R18: 120kΩ
- R2: 3,3kΩ
- R5: 100kΩ
- R6: 18kΩ
- R7, R11: 8,2kΩ
- R8: 330kΩ
- R9: 10MΩ
- R10: 240kΩ
- R14: 200Ω
- R15: 820kΩ
- R16: 24kΩ

Kondensatory

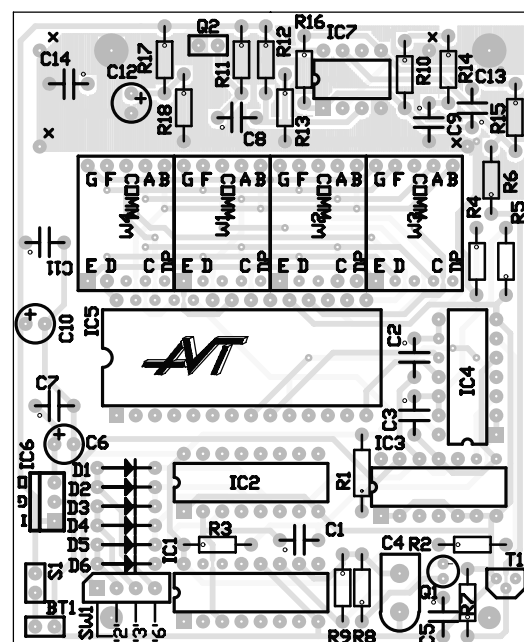
- C1: 2,2nF
- C2, C3: 1nF
- C4: trymer 33pF
- C5: 47pF
- C6, C12: 220μF/16V
- C7, C11: 100nF
- C8, C9: 470nF
- C10: 470μF/25V
- C14, C13: 22nF

Półprzewodniki

- D1, D2, D3, D4, D5, D6: 1N4148 lub odpowiednik
- IC1: 4060
- IC2: 4520
- IC3: 4001
- IC4: 4093
- IC5: ICM7217A
- IC6: 7805
- IC7: TL082
- T1: BC548 lub odpowiednik
- W1, W2, W3, W4: wyświetlacze siedmiosegmentowe LED wsp. katoda np. Kingbright SC52-11

Różne

- Q1: kwarc "zegarkowy" 32768Hz
- SW1: miniaturowy przelącznik trójpozycyjny
- S1: miniaturowy włącznik hebelkowy
- Podstawki pod układy scalone + jedna podstawka 40 pin
- Uwaga!** Bateria i obudowa nie wchodzi w skład kitu i można je zamówić oddzielnie w Dziale Handlowym AVT.



Rys. 2. Rozmieszczenie elementów na płytce drukowanej.

musimy zmierzyć, są kierowane do jednego z wejść bramki pomiarowej IC4D.

Jak każdy miernik częstotliwości, nasz obrotomierz musi posiadać generator częstotliwości zegarowej, która po odpowiednim podziale posłuży do odmierzania czasu bramkowania liczników. W naszym przypadku zarówno ge-

wejścia ustawiającego przerzutnika R-S powodując jego ustawienie (stan H). Konsekwencje tego faktu są następujące:

1. Pojawienie się wysokiego poziomu logicznego na wyjściu 11 IC3D spowoduje wygenerowanie krótkiego impulsu ujemnego przez pracującą jako inwerter bramkę IC4D. Impuls ten spowoduje wykasowanie zawartości licznika IC7 i przygotowanie go do nowego cyklu zliczania.

2. Otwarta zostaje bramka IC4B i na wejście licznika IC5 zaczynają docierać impulsy pochodzące z wejścia pomiarowego układu.

3. Stan niski z wyjścia bramki IC3C powoduje uruchomienie licznika IC2A i rozpoczęcie odmierzania czasu bramkowania.

Ważną rolę w układzie pełni przełącznik SW1, który umożliwia wybór czasu bramkowania, uzależnionego od liczby punktów odniesienia na obracającym się obiekcie. W momencie włączenia przerzutnika R-S na jego wejściu zerującym panuje stan niski wymuszony, w zależności od położenia przełącznika S1 przez diody D1+D2, D3+D4 lub D5+D6. Licznik IC2A rozpoczyna zliczanie i po pewnym czasie na jego wyjściach, połączonych z jedną z par diod, pojawi się stan wysoki. Na wejściu zerującym przerzutnika R-S zostanie za pośrednictwem rezystora R1 wymuszony stan wysoki i przerzutnik ten włączy się (stan niski). Łatwo zauważyć, że włączenie przerzutnika nastąpi po 6, 3 lub 2 sekundach, co daje nam wszystkie potrzebne czasy bramkowania.

Konsekwencją włączenia przerzutnika będzie wygenerowanie krótkiego impulsu ujemnego przez bramkę IC4C, co spowoduje przepisanie zawartości licznika do rejestru wyjściowego i wyświetlenie wyniku zliczania na wyświetlaczach.

Opisany powyżej cykl powtarza się, tak jak w każdym mierniku częstotliwości.

Układ obrotomierza jest zasilany z baterii 9V. Napięcie +5V, potrzebne do zasilania części cyfrowej, jest uzyskiwane ze stabilizatora napięcia IC6.

Montaż i uruchomienie

Na rys. 2 jest pokazane rozmieszczenie elementów na dwustronnej płytce drukowanej, której

mozaika ścieżek znajduje się na wkładce wewnątrz numeru.

Montaż należy rozpocząć od elementów o najmniejszych gabarytach i podstawek pod układy scalone, a zakończyć na kondensatorach elektrolitycznych. Aha, zapomniałem o jednym: jedynym odstępstwem od „klasycznych“ reguł montażu jest umieszczenie wyświetlaczy siedmiosegmentowych w jednej podstawie 40-pinowej. Jest to konieczne, ponieważ po wlutowaniu wyświetlaczy bezpośrednio w płytkę ich powierzchnia znalazłaby się znacznie poniżej pozostałych elementów. Utrudniłoby to zamocowanie wykonanego układu w obudowie i obserwację wyświetlaczy.

Układ zmontowany z dobrych elementów nie wymaga jakiegokolwiek uruchamiania. Jedynie perfekjoniści mogą za pomocą trymera C4 ustawić częstotliwość generatora kwarcowego dokładnie na 32768Hz.

Na zakończenie jeszcze jedna uwaga praktyczna: w pewnych warunkach układ okazał się wrażliwy na zakłócenia radioelektryczne. Były to dość specyficzne warunki, kiedy obrotomierz został umieszczony w bezpośrednim sąsiedztwie wyczynowego silnika modelarskiego o mocy kilkuset watów, w dodatku mocno przeciążonego i pozbawionego instalacji odkłócającej. Wpływ zakłóceń na pracę obrotomierza został wyeliminowany ekranem z cienkiej blaszki umieszczonym bezpośrednio nad częścią analogową urządzenia. Ponieważ i Wy możecie spotkać się z tym problemem, na płytce drukowanej zostały lutownicze oznaczone „x“ i połączone z masą układu. Do tych punktów można dolutować krótkie odcinki srebrzanki i następnie wykonać „daszek“ z blachy ponad częścią analogową obrotomierza.

Układ jest bardzo czuły na wahania napięcia zasilania, toteż nie należy się dziwić, kiedy po zasileniu obrotomierza z zasilacza sieciowego wyświetlacz będzie wskazywał wartość niezerową (np. "300" dla podziału 6 s). Dlatego układ zaleca się zasilac z baterii 9 V (np. 6F22) lub akumulatora 9 V.

Zbigniew Raabe, AVT

nerator, jak i wstępny dzielnik częstotliwości zostały zbudowane z wykorzystaniem jednego układu scalonego - popularnego 4060. Ze względu na obniżenie kosztów budowy urządzenia zastosowałem bardzo tani i ogólnie dostępny kwarc „zegarkowy“ o częstotliwości rezonansowej 32768Hz. Po podzieleniu przez 2^{14} na wyjściu Q14 licznika IC1 otrzymujemy więc częstotliwość 2Hz. Ponieważ potrzebne są nam czasy bramkowania równe 6, 3 i 2 s częstotliwość ta ulega kolejnemu podziałowi w liczniku binarnym IC2A.

Przerzutnik R-S zbudowany z bramek NOR IC3D i IC3C steruje bezpośrednio bramkowaniem nadchodzących z wejścia impulsów, zerowaniem licznika IC5 oraz wyświetlaniem wyników pomiaru. W momencie pojawienia się na wejściu EN IC2A opadającego zbocza sygnału zegarowego generowany jest krótki impuls ujemny, który po zanegowaniu przez bramkę IC4A zostaje doprowadzony do