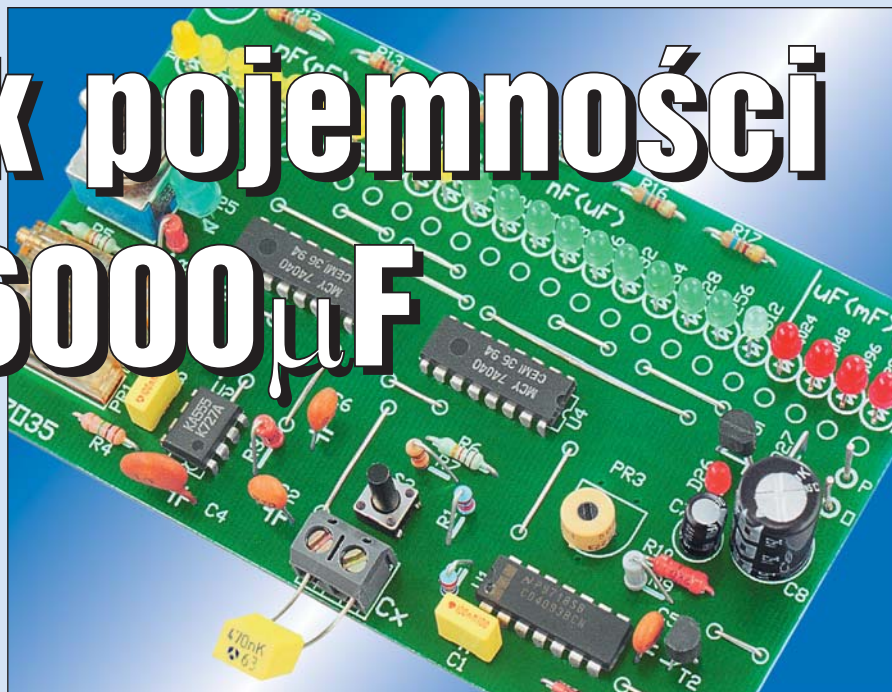




Miernik pojemności

1 pF... 16000 μF



Comiesięczne miniankiety wskazują, że wciąż istnieje duże zapotrzebowanie na różnego rodzaju przyrządy i przystawki pomiarowe. Znaczna grupa Czytelników chciałaby wykonać miernik pojemności. Potwierdzają to także listy z uwagami i refleksjami, nadesłane do Redakcji po publikacji przedruku z Elektora, gdzie opisano prosty czterozakresowy miernik pojemności. Aby tego typu przyrząd okazał się atrakcyjny dla użytkowników, którzy być może posiadają multimetry cyfrowe pozwalające także mierzyć pojemność, należało zbudować miernik, który miałby:

- szeroki zakres pomiarowy;
- dużą dokładność;
- prostą konstrukcję;
- niską cenę.

Niniejszy projekt to miernik pojemności o bardzo szerokim zakresie pomiarowym, obejmującym ponad dziesięć dekad, mianowicie 1pF...16000μF. Można nim mierzyć kondensatory stałe, jak również elektrolytyczne. W celu zmniejszenia kosztów zastosowano w nim prosty wyświetlacz linijkowy współpracujący z licznikiem dwójkowym. Pozwala to radykalnie obniżyć cenę bez utraty dokładności.

Zastosowane rozwiązanie układowe oraz precyzyjne elementy w kluczowych punktach układu zapewniają dokładność i powtarzalność pomiarów.

Obsługa przyrządu jest bardzo prosta. Badany kondensator należy umieścić w gnieździe pomiarowym i nacisnąć przycisk. Po krótkiej chwili na linijkowym wyświetlaczu zaświecą się niektóre diody LED. Wartość pojemności odczytuje się sumując wartości podane przy zaświeconych LED-ach.

Znacznym problemem występującym przy budowie wszelkich przyrządów pomiarowych jest kalibracja. Potrzebne są do tego zazwyczaj kosztowne i trudno dostępne przyrządy pomiarowe wysokiej klasy dokładności. W tym wypadku już na etapie projektowania układu założono, że kalibracja musi się odbyć bez takich urządzeń. **Opisany przyrząd można skalibrować za pomocą jednego kondensatora** o dokładnie zmierzonej pojemności – taki wzorcowy kondensator wchodzi w skład kitu AVT-2425.

Autor projektu musi w tym miejscu przyznać się, że wbrew swoim sympatiom i antypatiom wykorzystał w układzie kostkę 555. Spośród kilkuset wykonanych do tej pory projektów jest to dopiero drugi lub trzeci, w którym znalazła miejsce ta kostka. Z niezbyt jasnych względów nie cieszy się ona sympatią autora. W tym jednak przypadku, po analizie różnych możliwości okazało się, że właśnie archaiczny układ 555 jest optymalnym rozwiązaniem: przy śmiesznie niskiej cenie zapewnia wystarczającą dokładność i szeroki zakres pomiarowy.

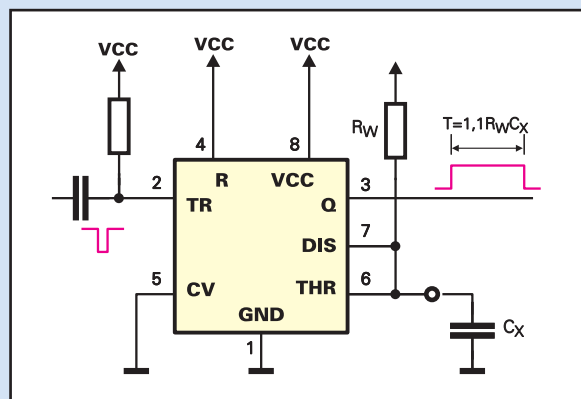
Zasada działania

Podstawowa zasada działania opisywanego przyrządu pomiarowego jest pokazana na **rysunku 1**. Sercem jest układ scalony 555. Pracuje on w typowej aplikacji przerzutnika monostabilnego. Krótki, ujemny impuls na wejściu TR (nóżce 2) powoduje pojawienie się na wyjściu Q (nóżka 3) dodatniego impulsu o czasie trwania wyznaczonym

przez elementy R_w oraz C_x ($T=1,1 \cdot R_w \cdot C_x$), gdzie C_x jest mierzonym kondensatorem.

Mając na wyjściu Q impuls o czasie trwania proporcjonalnym do pojemności C_x , należy dodać układ dający czytelne wskazania, proporcjonalne do tego czasu.

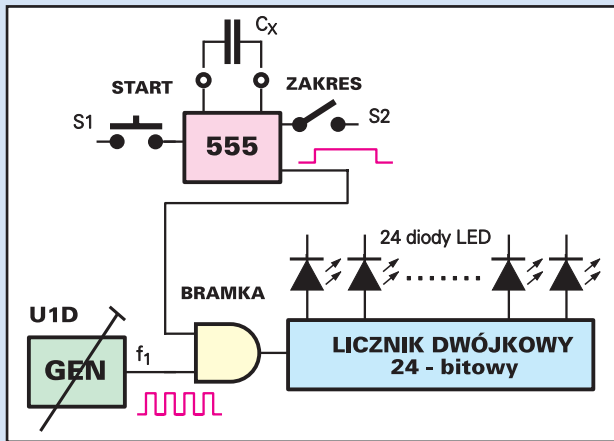
W prezentowanym przyrządzie realizuje to wyświetlacz współpracujący z licznikiem dwójkowym. Schemat blokowy przyrządu pokazany jest na **rysunku 2**. Po uruchomieniu przycisku S2 zaczyna się cykl pomiarowy. Licznik dwójkowy zostaje wyzerowany, a układ 555 generuje impuls o czasie trwania proporcjonalnym do wartości mierzonej pojemności C_x . Impuls ten przechodzi na jedno wejście bramki. Na drugie podawany jest stale przebieg prostokątny o ściśle dobranej, dość wysokiej częstotliwości. Licznik dwójkowy liczy takty generatora przez czas trwania impulsu z wyjścia kostki 555. Czym większa pojemność, tym dłuższy czas impulsu i licznik zliczy więcej taktów. Do wyjść licznika, a właściwie dwóch 12-bitowych



Rys. 1 Zasada działania

liczników dwójkowych, dołączony jest prosty wyświetlacz w postaci liniiki 24 diod LED. Umożliwia to odczytanie zawartości licznika w postaci liczby dwójkowej, wskazanej przez zaświecone diody LED. Częstotliwość generatora taktującego jest tak dobrana, by wartość pojemności wyrażana była w pikofaradach, a na drugim zakresie w nanofaradach. Wbrew pozorom, odczyt wartości pojemności nie jest trudny – należy zsumować liczby znajdujące się przy zaświeconych diodach LED.

Rys. 2 Schemat blokowy



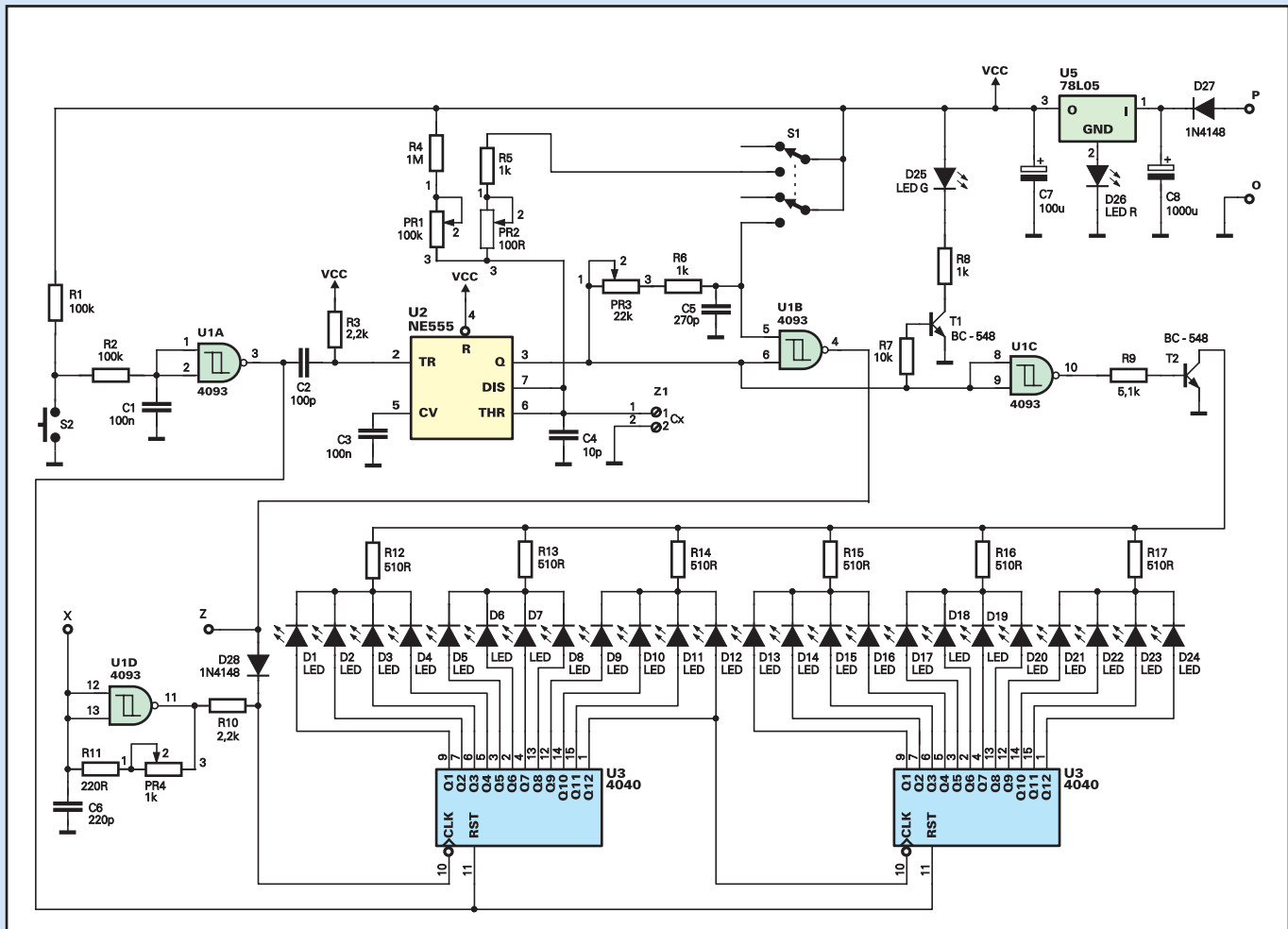
Opis układu

Schemat elektryczny miernika pojemności pokazany jest na rysunku 3. Miernik może być zasilany napięciem stałym 9...25V albo zmiennym 7,5...18V. Stabilizator U5 oraz dioda LED D26 zapewniają napięcie zasilające około 6,8V.

Naciśnięcie przycisku S2 powoduje zerowanie liczników U3, U4 przez ich wejścia RST. W chwili zwolnienia przycisku, ujemne zbocze na wyjściu U1A powoduje wyzwolenie uniwersalnego licznika U2 przez obwód C2R3. Kostka 555 pracuje tu w klasycznym układzie uniwersalnego licznika. Czas impulsu na wyjściu Q (nóżka 3) zależy od rezystancji dołączonej do nóżek 6, 7 oraz pojemności C4 i Cx. Zmiana zakresów pomiarowych (pikofarady/nanofarady) następuje poprzez dołączenie bądź rezystancji R4, PR1 (pikofarady) bądź znacznie mniejszej R5, PR2 (nanofarady). Potencjometry PR1, PR2 umożliwiają kalibrację, by wskazania na obu zakresach pokrywały się.

Kondensator C4 oraz obwód C5, R6 PR3 umożliwiają kompensację szkodliwych pojemności montażowych. Jak wiadomo, w każdym układzie występują takie pasozytne pojemności. Bez wspomnianych elementów spowodowałyby one, że przy braku kondensatora Cx (pojemność mierzona równa zero) miernik pokazywałby jakąś niewielką wartość. W przedstawionym układzie przy braku kondensatora mierzonego układ 555 wytwarza jakiś krótki impuls. Czas opóźnienia obwodu PR3, R6, C5 jest taki sam, jak czas trwania tego "zerowego" impulsu. Na wejściach bramki U1B pojawia się więc bezpośredni impuls z wyjścia kostki 555 oraz przebieg odpowiednio opóźniony. W rezultacie na wyjściu bramki U1B pojawia się ujemny impuls tylko wtedy, gdy do zacisków Cx dołączono jakąś niezerową pojemność. Ten obwód kompensacji umożliwia pomiar także bardzo małych pojemności, rzędu pojedynczych pikofaradów. Jak łatwo zauważyć, obwód ten jest czynny tylko na zakresie "pikofarady". Na wyższym zakresie jest wyłączony, ponieważ omawiane pasozytne pojemności są rzędu co najwyżej kilku...kilkunastu pikofaradów i nie mają znaczenia na tym wyższym zakresie.

Rys. 3 Schemat ideowy



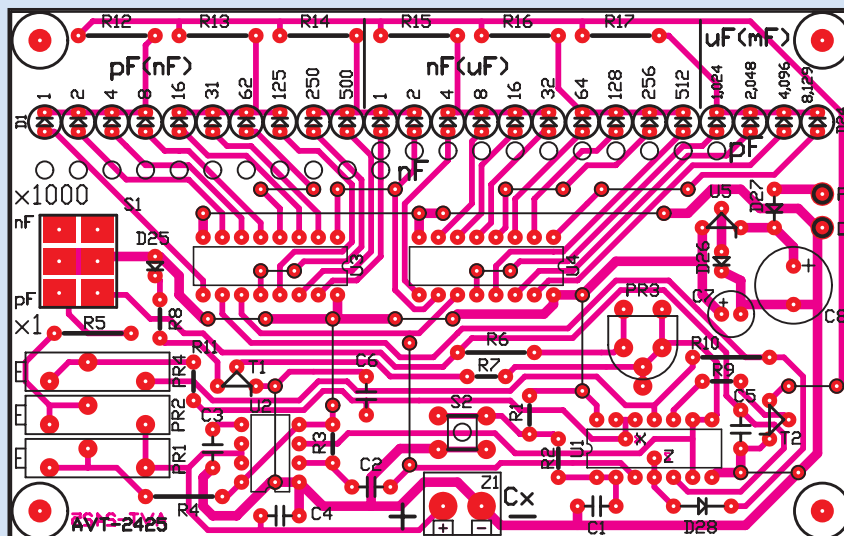
Ujemny impuls na wyjściu bramki U1B umożliwia przejście do liczników dwójkowych U3, U4 impulsów z generatora taktującego, zbudowanego na bramce UID (stan wysoki to uniemożliwia, wymuszając przez diodę D28 stan wysoki na wejściu licznika U3). Liczba zliczonych impulsów jest tym większa, czym dłuższy jest czas impulsu z kostki 555 i odpowiada mierzonej pojemności Cx. Potencjometr PR4 umożliwia dobranie częstotliwości generatora taktującego, by pojemność była wyrażona w pikofaradach bądź nanofaradach. Aby ułatwić odczyt, na płytce drukowanej naniesiono odpowiednie napisy.

Dodatkowe obwody zapewniają zaświecenie diody D25 na czas trwania pomiaru. Bramka U1C oraz tranzystor T2 wygaszają wyświetlacz na czas pomiaru. W zasadzie każda dioda LED D1...D24 powinna mieć własny rezystor ograniczający prąd. Dla oszczędności zastosowano sześć rezystorów R12...R17, z których każdy obsługuje cztery diody. Praktyka pokazała, że jest to rozwiązanie całkowicie wystarczające.

Montaż i uruchomienie

Układ można zmontować na jednostronnej płytce drukowanej, pokazanej na rysunku 4. Montaż nie powinien nikomu sprawić trudności. Najpierw należy włutować zwoy (uwaga – nie łącząc punktów X, Z pod układem U1). Później należy montować kolejne elementy, poczynając od najmniejszych. Pod układy scalone można dać podstawki. Przełącznik zakresów S1 można śmiało włutować w płytkę.

Rys. 4 Schemat montażowy



Podczas montażu LED-ów warto zastosować starą, sprawdzoną metodę. Najpierw włutować tylko po jednej nóżce, uprzednio ustawivszy każdą diodę w przepisanej odległości od płytki. Dopiero po wyrównaniu wszystkich diod trzeba przylutować pozostałe nóżki.

Stopień trudności projektu (dwie gwiazdki) nie wynika z jakichkolwiek problemów podczas montażu. Układ zmontowany ze sprawnych elementów powinien od razu pracować, ale po wstępnym uruchomieniu koniecznie należy go skalibrować – stąd dwie gwiazdki.

OBŚŁUGA MIERNIKA jest bardzo prosta – mierzony kondensator należy dołączyć do zacisków oznaczonych Cx. Po naciśnięciu i zwolnieniu przycisku S2 rozpocznie się cykl pomiarowy, który zakończy się zaświeceniem niektórych diod LED D1...D24. Dla ułatwienia odczytu pojemności na płytce drukowanej umieszczono obok każdej diody liczbę wyrażającą pojemność w pikofaradach, nanofaradach, mikrofaradach bądź milifaradach. Należy więc zsumować liczbę podane przy zaświeconych diodach uwzględniając położenie przełącznika S1 (pikofarady/nanofarady). W praktyce wystarczy wziąć pod uwagę cztery do pięciu najbardziej znaczących diod.

Kalibracja

Do kalibracji należy wykorzystać kondensator o dokładnie znanej pojemności. Powinien to być stabilny kondensator stały, na przykład foliowy MKT lub MKC o pojemności około 1 mikrofarada. Nabywcy kitu AVT-2425 otrzymają taki kondensator – wchodzi on w skład zestawu.

W żadnym razie nie może to być kondensator ceramiczny – “ceramiki” o tej pojemności mają tak zwany dielektryk ferroelektryczny, który wykazuje bardzo dużą zależność parametrów od temperatury. Nie może to także być jakikolwiek “elektrolit” – kondensatory takie również mają bardzo słabą stabilność cieplną i długoczasową.

Jeden stabilny kondensator o pojemności 470nF...4,7µF umożliwi skalibrowanie obu zakresów przyrządu.

Kolejność działań podczas kalibracji jest następująca:

1. Potencjometr PR1 ustawić w położeniu środkowym – dokładność nie jest tu wymagana.

2. Na niskim zakresie pomiarowym (S1 w położeniu x1 – pF) bez kondensatora Cx za pomocą PR3 należy uzyskać na wyświetlaczu wskazanie na pograniczu 0 i 1pF. Naciskając kilku(nasto)krotnie przycisk S2 należy najpierw ustawić potencjometr PR3, by wskazanie wynosiło 1pF. Potem powoli zmieniać jego ustawienie, by kolejne przyciśnięcie S2 spowodowało wygaszenie wszystkich diod.

Po takim zabiegu zostają skompensowane pojemności montażowe związane z układem 555 i jego obwodami czasowymi.

3. Na niskim zakresie (S1 w położeniu x1 – pF) z kondensatorem wzorcowym o znanej pojemności około 1µF należy nacisnąć S2 i za pomocą PR4 uzyskać na wyświetlaczu wskazanie odpowiadające pojemności tego kondensatora wyrażone w pikofaradach

Wykaz elementów

Rezystory

PR1	.....	100kΩ
PR2	.....	100Ω
PR3	.....	22kΩ (10kΩ...50kΩ)
PR4	.....	1kΩ
R1, R2	.....	100kΩ
R3, R10	.....	2,2kΩ
R4	.....	1MΩ
R5, R8	.....	1kΩ
R6	.....	1kΩ
R7	.....	10kΩ
R9	.....	5,1kΩ
R11	.....	220Ω
R12-R17	.....	510Ω

Kondensatory

C1, C3	.....	100nF
C2	.....	100pF
C4	.....	10pF
C5	.....	270pF
C6	.....	220pF
C7	.....	100µF/16V
C8	.....	1000µF/25V

Cx kondensator wzorcowy 1µF MKT – dokładnie zmierzony i opisany

Półprzewodniki

D1-D24	.....	LED 3mm
D25	.....	LED G
D26	.....	LED R
D27, D28	.....	1N4148
T1, T2	.....	BC548
U1	.....	4093
U2	.....	NE555
U3, U4	.....	4040
U5	.....	78L05

Pozostałe

S1	.....	przełącznik dwupozycyjny dwuobwodowy
S2	.....	mikroswitch
Z1	.....	ARK2

Komplet podzespołów z płytką jest dostępny w sieci handlowej AVT jako kit szkolny AVT-2425

4. Na wysokim zakresie pomiarowym (S1 w położeniu $\times 1000 - nF$) z kondensatorem wzorcowym uzyskać wskazanie odpowiadające pojemności wyrażonej w nanofaradach.

Po takiej kalibracji przyrząd jest gotowy do użytku. Kalibracja powinna być przeprowadzana co jakiś czas oraz przed szczególnie ważnymi pomiarami.

Aby ułatwić proces kalibracji, na płytce drukowanej przewidziano dwa rzędy po jedenaście małych kółeczek w pobliżu diod. Mając kondensator wzorcowy o znanej pojemności (o nominale $1\mu F$) można wykorzystać te kółeczka i zaznaczyć tę pojemność wzorcową na obu zakresach – zaznaczyć, które diody mają się świecić podczas kalibracji. Potem w czasie okresowej kalibracji nie trzeba będzie nic przeliczać, tylko sprawdzić, czy na obu zakresach świecą zaznaczone diody.

Warto zauważyć, że w zasadzie podczas kalibracji nie jest wykorzystywany potencjometr PR1 (który na początku kalibracji ustawiany jest w położeniu z grubsza środkowym). Zmiana położenia jego suwaka będzie potrzebna w bardzo rzadkich przypadkach, gdy ze względu na wyjątkowo duży rozrzut parametrów w trzecim lub czwartym kroku nie udało się uzyskać potrzebnych wskazań.

Jeśli w wyjątkowym przypadku nawet w skrajnym położeniu PR1 nie udało się przeprowadzić prawidłowej regulacji, będzie to efektem skrajnych wartości progów przełączania bramki Schmitta U1D i wynikającej stąd nieodpowiedniej częstotliwości generatora taktującego. W takich sporadycznych przypadkach trzeba skorygować częstotliwość generatora U1D. Można to osiągnąć przez zwiększenie wartości R11 (do $820...1k\Omega$), zmianę pojemności C6 albo wymianę egzemplarza układu U1, najlepiej na wyrób innej firmy, a przynajmniej pochodzący z innej serii produkcyjnej.

Możliwości zmian

W ogromnej większości przypadków nie trzeba wprowadzać w układzie żadnych zmian. Warto jednak zasygnalizować kilka zagadnień, które zainteresują bardziej zaawansowanych Czytelników.

Zastosowany prosty sposób wyświetlania wyniku z licznikami dwójkowymi i linijką diod LED jest optymalny dla taniego urządzenia. Zamiast liczników dwójkowych i rzędu LED-ów można zastosować liczniki dziesiętne, dekodery i wyświetlacze siedmio-segmentowe. To duża przeróbka, ale miałyby sens w przypadku użycia gotowego modułu licznika z wyświetlaczem.

Ze względów oszczędnościowych w układzie zastosowano generator taktujący z bramką U1D. Ten prosty generator z jedną bramką Schmitta nie charakteryzuje się zbyt wysoką stabilnością. W tym zastosowaniu powinien jednak całkowicie wystarczyć. Jak wiadomo, częstotliwość takiego generatora zależy od egzemplarza układu scalonego, napięcia zasilającego oraz temperatury (która zmienia nie tyle pojemność kondensatora, co progi przełączania i rezystancję wyjściową bramki). W tym przypadku układ scalony będzie przez cały czas ten sam. Napięcie zasilające jest stabilizowane za pomocą układu U5. Przyrząd przeznaczony jest do pracy w temperaturach pokojowych, a układ scalony U1 nie będzie się grzał, bo nie jest nadmiernie obciążony. W takich łagodnych warunkach pracy stałość częstotliwości okaże się wystarczająca. Niemniej co jakiś czas, a także przed przeprowadzeniem jakichś szczególnie ważnych pomiarów przyrząd należy po prostu skalibrować za pomocą dostarczonego kondensatora wzorcowego. Jeśli ktoś chciałby zamiast U1D zastosować zewnętrzny generator o większej stabilności, to niech usunie elementy C6, R11, PR4, w miejsce C6 wlotuje rezystor $10...100k\Omega$ i poda sygnał z tego zewnętrznego generatora na punkt X.

Piotr Górecki