

Miernik pojemności

Każdy elektronik posiada w swoim warsztacie mnóstwo elementów dyskretnych stosowanych przy konstruowaniu różnych urządzeń. Wśród nich są kondensatory – elementy niezbędne niemal w każdym układzie elektronicznym. Dostępne na rynku multimetry z możliwością pomiaru pojemności zajmują raczej górne przedziały cenowe wśród mierników uniwersalnych. Prezentowane rozwiązanie zawiera tylko kilka elementów dyskretnych, tani mikrokontroler sterujący i kilkadziesiąt minut poświęconych na złożenie układu.

Rekomendacje: wykonanie takiego miernika pojemności można polecić każdemu praktykowi, nawet jeśli posiada już jakiś fabryczny przyrząd.



PODSTAWOWE PARAMETRY

- Płytką o wymiarach 88x39 mm
- Zasilanie 9...15 VDC, 35 mA
- Pomiar: pojemności i napięcia stałego
- Zakres pomiaru pojemności: 4 pF...8000 μ F
- Zakres pomiaru napięcia: 0...5 V
- Rezystancja wejściowa miernika napięcia ok. 100 k Ω
- Automatyczny wyłącznik zasilania po ok. 100 sekundach w trybie pomiaru pojemności

W większości praktycznych przypadków rozrzut pojemności kondensatorów nie ma istotnego wpływu na działanie urządzenia. Wszystko oczywiście w granicach zdrowego rozsądku. Często parametr ten jest trudny, a nawet niemożliwy do odczytania. W takich sytuacjach bardzo przydatny jest przyrząd taki, jak ten opisany niżej. Oprócz swojej podstawowej funkcji, jaką jest pomiar pojemności można nim również mierzyć napięcia w zakresie 0...5 VDC z rozdzielczością 10 mV. Stało się to możliwe, gdyż w trakcie projektowania układu okazało się, że pozostało dostatecznie dużo niewykorzystanych zasobów kontrolera.

Budowa układu

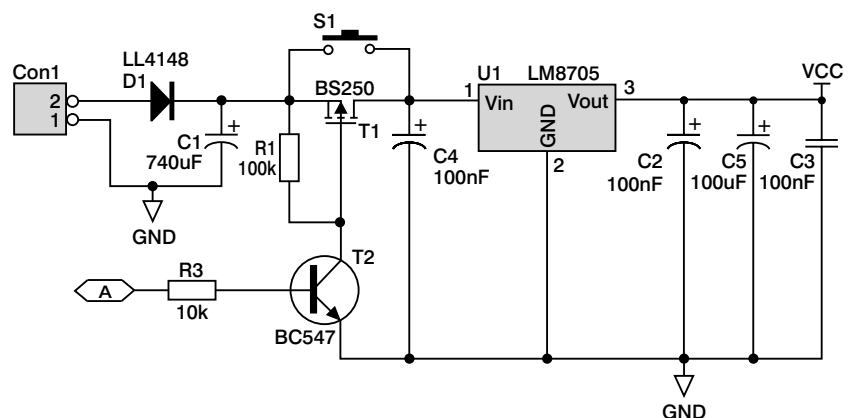
Miernik składa się z czterech głównych bloków: zasilania, pomiaru pojemności, pomiaru napięcia i kontrolno-sterującego. W założeniach projektowych blok zasilania powinien zapewnić zasilanie prądem o natężeniu nie przekraczającym średnio 40 mA przy napięciu wejściowym w granicach 9...15 VDC, stabilizację napięcia o wartości wyjściowej 5 V, silną filtrację napięcia wyjściowego zasilającego układ pomiarowy, możliwość automatycznego wyłączenia układu w celu realizacji funkcji oszczędzania energii, zabezpieczenie przed niewłaściwą polaryzacją napięcia wejściowego.

Schemat układu spełniającego powyższe założenia przedstawiono na rys. 1. Jako stabilizator U1 zastosowano układ LM78L05 dający napięcie o wartości 5 V. Jest ono filtrowane za pomocą kondensatorów C2, C3 i C5. Dioda D1 zabezpiecza urządzenie przed nieprawidłową polaryzacją napięcia zasilania, którego wartość nie

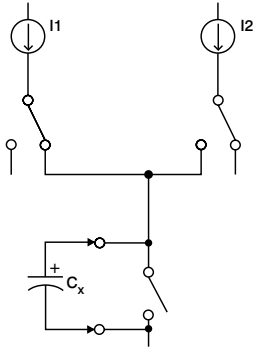
powinna przekraczać 35 V ze względu na użyty układ stabilizatora. Przy nadmiernym napięciu zasilającym będzie się jednak wydzielala znaczna ilość ciepła i dlatego zalecane jest nie przekraczanie wartości 15 V (stabilizator posiada wewnętrzne zabezpieczenie termiczne). Minimalne napięcie, jakim można zasilić układ do poprawnego działania wynosi ok. 8 V. Elementy T1, T2, R1, R3 oraz mikroprzycisk S1 pełnią rolę włącznika/wyłącznika zasilania. Po przyciśnięciu przycisku S1 układ zostaje zasilony, a kontroler rozpoczyna realizację programu włączając tranzystor T2. Prąd kolektora T2 przepływając przez rezystor R1 polaryzuje bramkę T1, powodując tym samym jego włączenie. Opisany wyżej proces trwa ułamek sekundy. Od tej chwili, pomimo zwolnienia przycisku, układ pozostanie zasilony do momentu wyłączenia T2 przez mikrokontroler lub odłączenia napięcia zasilającego. Takie rozwiązanie minimalizuje zużycie energii, ponieważ pobór mocy jest ograniczony do momentów dokonywania pomiarów pojemności. Wyeliminowana jest również możliwość pozostawienia przez zapomnienie włączonego miernika na długi czas, co w przypadku zasilania bateryjnego mogłoby prowadzić do całkowitego rozładowania ogniw. Ze względu na konieczność pracy mikrokontrolera z zegarem 20 MHz i napięciem zasilania 5 V, zużycie energii jest relatywnie duże. Po odmierzeniu czasu około 60 sekund od momentu włączenia, miernik automatycznie się wyłącza.

Zasada pomiaru

Aby przedstawić sposób, w jaki dokonywane są pomiary pojemności, należy krótko przypomnieć kilka



Rys. 1. Schemat elektryczny bloku zasilania



Rys. 2. Schemat blokowy układu do pomiaru pojemności

praw fizycznych. Korzystając z zależności, że pojemność C jest proporcjonalna do zgromadzonego między okładkami kondensatora ładunku Q i odwrotnie proporcjonalna do występującego na nich napięcia U :

$$C = \frac{Q}{U} \quad (1)$$

oraz, że prąd elektryczny to przepływ ładunku w czasie:

$$I = \frac{dQ}{dt} \quad (2)$$

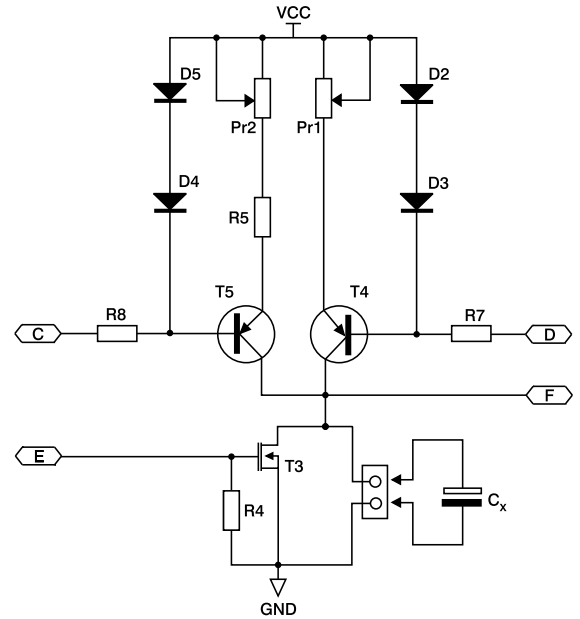
gdzie: I – natężenie prądu, dQ – przepływ ładunku elektrycznego, dt – przyrost czasu i nie wnikając zbyt w matematykę otrzymujemy:

$$C = \frac{I}{U} dt \quad (3)$$

Z powyższej zależności można wyciągnąć następujący wniosek: aby zmierzyć pojemność, należy zmierzyć czas w jakim na końcówkach uprzednio rozładowanego kondensatora ładowanego stałym prądem I pojawi się napięcie U . Na przykład bierzemy kondensator, zwieramy na moment jego nóżki w celu rozładowania, a następnie podłączamy go do źródła prądu o wydajności 1 mA i odmierzamy czas, po jakim na nóżkach pojawi się napięcie 1 V . Jeśli zmierzony czas będzie równy 1 ms , oznacza to, że mamy do czynienia z kondensatorem o pojemności $1 \text{ }\mu\text{F}$ ($1 \text{ [mA]}/1 \text{ [V]} * 1 \text{ [ms]}$). Na schemacie blokowym z rys. 2 została przedstawiona realizacja powyżej zaprezentowanej idei pomiaru pojemności. W celu rozszerzenia zakresu pomiarowego stosowane są dwa autonomicznie włączane źródła prądowe $I1$ oraz $I2$ o wydajności prądowej odpowiednio 10 mA i $10 \text{ }\mu\text{A}$. W tym przypadku algorytm pomiaru musi zostać nie-

co zmodyfikowany. Teraz wygląda on tak: rozładowujemy kondensator za pomocą klucza zwierającego wyprowadzenia, rozwieramy klucz rozładowujący, włączamy źródło prądowe $I1$ o wydajności 10 mA , włączamy licznik czasu i kontrolujemy czy napięcie na kondensatorze osiągnęło zadaną wartość, założmy 1 V . Jeżeli napięcie na kondensatorze osiągnęło wartość 1 V po czasie t , to korzystając z powyżej zanotowanego równania (3) obliczamy wartość zmierzonej pojemności (w mF) – $(10 \text{ [mA]}/1 \text{ [V]}) * t \text{ [s]}$. Jeśli po upływie założonego czasu (maksymalnego czasu dokonywania pomiaru) np. 1 sekundy napięcie na wyprowadzeniach kondensatora nie osiągnęło wartości 1 V , oznacza to, że mamy do czynienia z elementem o pojemności przekraczającej zakres pomiarowy lub złącze Cx jest zwarte. Jeśli tuż po włączeniu źródła $I1$ napięcie na kondensatorze osiąga wartość 1 V , oznacza to, że mierzona pojemność ma zbyt małą wartość i należy dokonać jej pomiaru za pomocą źródła o mniejszej wydajności prądowej. Rozładowujemy zatem ponownie kondensator i dokonujemy analogicznego pomiaru, włączając tym razem źródło $I2$ o wydajności $10 \text{ }\mu\text{A}$. Jeżeli napięcie na kondensatorze osiągnęło wartość 1 V po czasie t , to wartość mierzonej pojemności (w $\text{ }\mu\text{F}$) jest równa $(10 \text{ [}\mu\text{A]}/1 \text{ [V]}) * t \text{ [s]}$. Jeśli tuż po włączeniu źródła $I2$ napięcie na kondensatorze osiąga wartość 1 V , oznacza to, że mierzona pojemność ma bardzo małą wartość (poniżej zakresu pomiarowego) lub do złącza Cx nie został podłączony żaden element. Schemat ideowy bloku pomiaru pojemności przedstawiono na rys. 3. Jako klucz rozładowujący zastosowano unipolarny tranzystor $T3$. Sterowane źródła prądowe zostały zbudowane na tranzystorach bipolarnych $T4$ i $T5$.

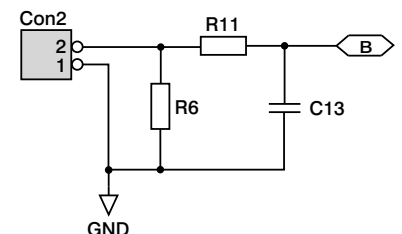
Blok pomiaru napięcia (rys. 4) wykorzystuje wbudowany w strukturę mikrokontrolera 10-bitowy przetwornik A/C, którego wejście stanowi port PC5. Napięcie odnie-



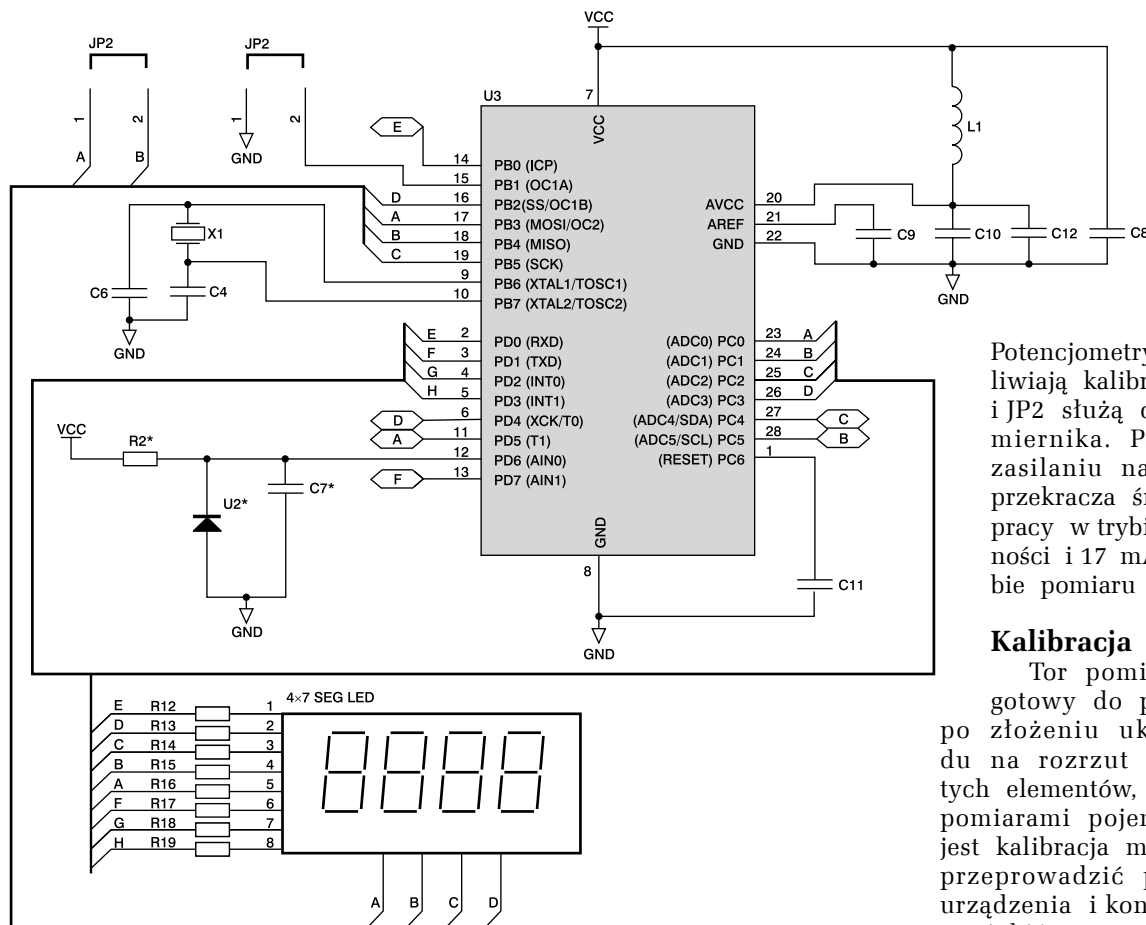
Rys. 3. Schemat ideowy bloku pomiaru pojemności

sienia doprowadzono do wyprowadzenia $Avcc$. Ma ono wartość 5 V . W celu minimalizacji szumów został zastosowany filtr LC zbudowany na elementach $L1$, $C10$ i $C12$. Zakres pomiarowy toru zawiera się w przedziale od 0 do 5 V z teoretyczną rozdzielczością $4,88 \text{ mV}$. Praktycznie na wyświetlaczu dokładność wskazań jest ograniczona do 10 mV . Wejściowy dolnoprzepustowy filtr RC złożony z elementów $R11$ i $C13$ uśrednia wartość mierzonego napięcia. Rezystancja wejściowa wynosi około $100 \text{ k}\Omega$.

Głównym elementem bloku kontrolno-sterującego (rys. 5) jest mikrokontroler ATmega48 ($U3$). Umożliwia on realizację przedstawionych powyżej algorytmów pomiarowych oraz wizualizację efektów ich pracy. Oscylator mikrokontrolera wykorzystuje rezonator kwarcowy $X1$ o częstotliwości 20 MHz . Układ filtracji napięcia zasilania przetwornika A/C tworzą elementy $L1$, $C10$ i $C12$. Wyniki pomiarów są umieszczane na 4-znakowym, 7-segmentowym, multipleksowanym wyświetla-



Rys. 4. Schemat bloku pomiaru napięcia



Rys. 5. Schemat ideowy bloku kontrolno-sterującego

czu LED. Dodatkowego wyjaśnienia wymagają elementy R2, U2, C7 oznaczone na schemacie gwiazdkami. Otóż istnieją dwie wersje miernika pojemności: w pierwszej jako napięcie odniesienia dla komparatora używany jest niezbyt dokładne wewnętrzne źródło referencyjne zawarte w mikrokontrolerze o napięciu 1,1 V, w drugiej natomiast wykorzystuje się wymienione podzespoły dostarczające precyzyjnego napięcia o wartości 1,235 V. Z oczywistych względów miernik pojemności w wersji drugiej ma większą dokładność pomiarów, aczkolwiek wymaga zamontowania dodatkowych elementów. Dostępne są dwie wersje firmware'u nazwane *VC_meter_11.hex* i *VC_meter_1235.hex* odpowiednio dla pierwszej i drugiej wersji miernika.

Na rys. 6 przedstawiono rozmieszczenie elementów na płytce drukowanej. Złącze Con1 służy do podłączenia napięcia zasilającego, a przycisk S1 do włączania urządzenia. Złącze Cx służy do podłączenia mierzonego kondensatora. Dzięki temu, że jest ono wykonana

jako podstawa DIL8 możliwe jest szybkie i łatwe wymienianie mierzonych elementów, a także dokonywanie pomiarów baterii kondensatorów. Zakres pomiarowy pojemności zawiera się w granicach od 4 pF do 8000 μF. Do złącza

Con2 doprowadza się napięcie mierzone, gdy urządzenie zostanie skonfigurowane jako woltomierz. Jego rezystancja wejściowa wynosi ok. 100 kΩ.

Potencjometry Pr1 i Pr2 umożliwiają kalibrację, a zworki JP1 i JP2 służą do konfiguracji miernika. Pobór prądu przy zasilaniu napięciem 9 V nie przekracza średnio 35 mA dla pracy w trybie pomiaru pojemności i 17 mA dla pracy w trybie pomiaru napięcia.

Kalibracja

Tor pomiaru napięcia jest gotowy do pracy natychmiast po złożeniu układu. Ze względu na rozrzut parametrów użytych elementów, przed pierwszymi pomiarami pojemności niezbędna jest kalibracja miernika. Należy ją przeprowadzić po uruchomieniu urządzenia i kontrolnie powtarzać co jakiś czas. Prawdopodobieństwo rozregulowania miernika jest niewielkie, a może być spowodowane zmianą położenia suwaków potencjometrów kalibrujących Pr1 i/lub Pr2, np. na skutek wstrząsów. Duże zmiany temperatury mogą również mieć wpływ na dokładność pomiarów, dlatego zalecane jest powtórzenie kalibracji jeśli

WYKAZ ELEMENTÓW

Rezystory

R12, R19: 1,5 kΩ
R6: 4,7 kΩ
R3, R7, R8: 10 kΩ
R5: 56 kΩ
R1, R4, R11: 100 kΩ
Pr1: 47 Ω potencjometr montażowy
Pr2: 6,8 kΩ potencjometr montażowy
R2*: 100 kΩ – opcjonalnie

Kondensatory

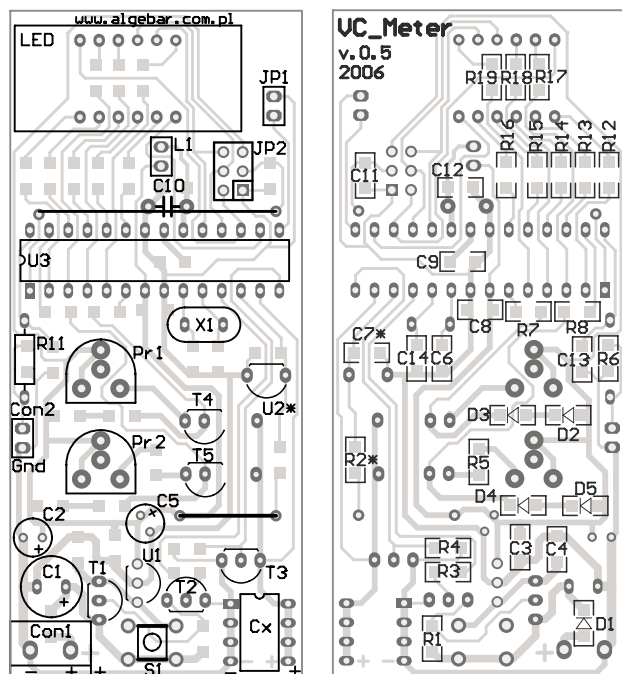
C1: 740 μF/25 V
C6, C14: 22 pF
C2: 100 nF
C5: 100 μF/50 V
C4, C8...C11, C13: 100 nF
C12: 10 μF/50 V
C7*: 100 nF – opcjonalnie

Półprzewodniki

U1: LM78L05
U3: ATmega48
T1: BS250
T2: BC547
T3: BS107
T4, T5: BC557
D1...D5: LL4148
U2*: LM385 – opcjonalnie

Inne

L1: 10 μH
X1: rezonator kwarcowy 20 MHz
S1: mikroprzełącznik
Wyświetlacz 4x7 segm. LED wspólna anoda
Podstawki DIL8, DIL28
Golpiny
Złącze ARK



Rys. 6. Rozmieszczenie elementów na płytce drukowanej

temperatura otoczenia zmieni się o 5°C. Kalibracja jest bardzo prosta ze względu na zaszyte w pamięci kontrolera odpowiednie procedury. Istnieją dwa sposoby skalibrowania.

Metoda 1 – Niezbędny będzie miliamperomierz, za pomocą którego można zmierzyć prąd o wartości 10 mA i 10 μ A. Im większa dokładność miliamperomierza, tym większą dokładność będzie miał skalibrowany miernik pojemności (oczywiście w pewnych granicach, gdyż błąd pomiarowy jest sumą błędów pochodzących z różnych źródeł). Do złącza Cx (do którego podczas pomiarów włączany jest kondensator mierzony) włączamy miliamperomierz na zakresie umożliwiającym pomiar prądu o wartości 10 mA. Zakładamy jumper na złącze JP2. Po włączeniu miernika przyciskiem S1, na wyświetlaczu mruga „10”. Kręcąc potencjometrem Pr1 ustalamy natężenie płynącego prądu na 10 mA. Ze złącza JP2 zdejmujemy jumper, a na wyświetlaczu mruga „10u”. Przelączamy zakres pomiarowy miliamperomierza na zakres umożliwiający pomiar prądu o wartości 10 μ A. Kręcąc potencjometrem Pr2 ustalamy natężenie płynącego prądu na 10 μ A. Odłączamy

je sam proces kalibracji. Wyświetlane cyfry od 0 do 3 wskazują na postęp działania algorytmu kalibrującego. Po pomyślnym zakończeniu miernik wyłączy się automatycznie. Ponowne włączenie zasilania miernika umożliwi prawidłowy już pomiar pojemności.

Metoda 2 – Dotyczy tylko sposobu pomiaru prądu. Jeśli nie dysponujemy miliamperomierzem posiadającym potrzebny zakres pomiarowy, istnieje możliwość skalibrowania prądów pośrednio poprzez pomiar napięcia, czyli za pomocą miliwoltomierza. W tym celu dla ustawienia prądu 10 mA należy do złącza Cx podłączyć rezystor precyzyjny o wartości 100 Ω , a dla ustawienia prądu 10 μ A o wartości 100 k Ω . Z prawa Ohma wynika, że napięcie na tym rezystorze powinno być równe 1 V, zatem w obu przypadkach należy tak ustawić potencjometr kalibrujący, aby uzyskać taką wartość napięcia. Pozostałe czynności kalibracyjne są identyczne jak przedstawiono wyżej.

Pierwsza metoda jest dokładniejsza, gdyż w drugiej metodzie pomimo użycia rezystorów precyzyjnych (1%) nieunikniony jest błąd pomiaru spowodowany rozrzutem wartości ich rezystancji.

miliamperomierz od złącza Cx, a jumper zakładamy na złącze JP1. Po dokonaniu tej czynności mamy około cztery sekundy (zapalają się segmenty na kolejnych cyfrach wyświetlacza) na pozostawienie miernika w stabilnym położeniu. Podczas przeprowadzania tej części kalibracji miernik powinien spoczywać na izolacyjnym podłożu i w żadnym wypadku nie może być trzymany w dłoni, ani dotykany, ponieważ spowoduje to błąd kalibracji. Po upływie wspomnianych czterech sekund kolejne sekundy zajmu-

Pomiar pojemności

Aby uruchomić miernik w trybie pomiaru pojemności należy przed włączeniem zasilania założyć zworkę JP1. Po włączeniu urządzenia na wyświetlaczu pojawią się cztery poziome kreski „—”. Informują one o tym, że do złącza Cx podłączony jest kondensator o zbyt małej pojemności (poza zakresem pomiarowym) lub nie podłączony jest żaden element. Należy więc podłączyć badany element do złącza Cx zwracając uwagę na biegunowość w przypadku kondensatorów elektrolitycznych. Miernik podaje wartość pojemności w trzech przedziałach:

- jeśli na wyświetlaczu jest wyświetlana tylko liczba, oznacza to wartość pojemności wyrażoną w mikrofaradach,
- jeśli na najmniej znaczącej cyfrze wyświetlacza widnieje znak „n”, oznacza to wartość pojemności wyrażoną w nanofaradach,
- jeśli na najmniej znaczącej cyfrze wyświetlacza widnieje znak „p”, oznacza to wartość pojemności wyrażoną w pikofaradach.

Jeśli na wyświetlaczu pojawi się „-Er-”, oznacza to, że do złącza Cx podłączono kondensator o pojemności przekraczającej zakres pomiarowy urządzenia lub złącze Cx jest zwarte.

W trybie pomiaru pojemności miernik po upływie około 60 sekund od momentu włączenia wyłącza się automatycznie. Ponownego włączenia dokonujemy przyciskając S1.

Pomiar napięcia

W tym przypadku przed włączeniem miernika należy upewnić się, czy obie zworki JP1 i JP2 są wyjęte. Po włączeniu miernika przyciskiem S1 mierzone będzie napięcie doprowadzone do złącza Con2. Maksymalna jego wartość wynosi 5 V i granicy tej nie należy przekraczać. Należy również zwrócić uwagę na polaryzację mierzonego napięcia. Niewłaściwe podłączenie nie powinno wprawdzie spowodować uszkodzenia układu, aczkolwiek w tej sytuacji dokonanie poprawnego pomiaru nie jest możliwe. W tym trybie pracy miernik nie wyłącza się automatycznie.

Mariusz Żądło