

# Cyfrowy miernik pojemności

## AVT-512



*Do typowych prac w elektronicznym laboratorium wystarczają tanie multimetry, zazwyczaj bez takich funkcji, jak na przykład pomiar pojemności. A jeżeli musimy zmierzyć pojemność kondensatora?*

**Rekomendacje:** *polecany tym, którzy muszą wzbogacić swoje laboratorium o przyrząd do pomiaru pojemności.*

Podstawowym przyrządem pomiarowym w pracowni elektronika jest woltomierz. Bardziej przydatny jest jednak miernik uniwersalny, za pomocą którego można zmierzyć napięcie, prąd i rezystancję, gdyż pomiar tych wielkości jest najczęściej wykonywany podczas budowy i naprawy urządzeń. Rzadziej są używane mierniki pojemności czy indukcyjności, a to dlatego, że z reguły używa się gotowych elementów fabrycznych, na których znajdują się oznaczenia określające wartość ich indukcyjności lub pojemności.

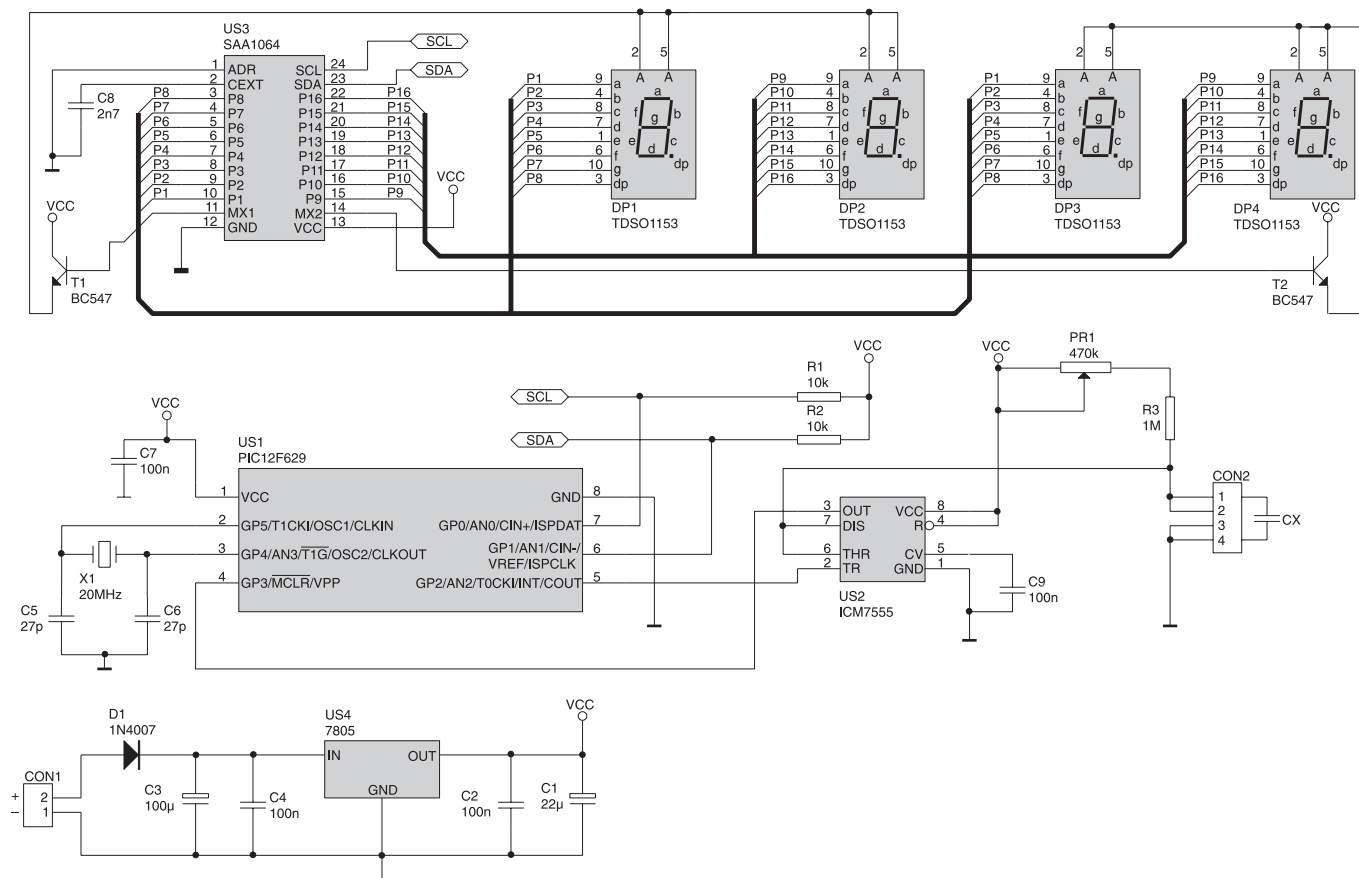
Sprawa się jednak komplikuje, jeżeli elementy te wykonane są w technologii SMD, gdyż małe wymiary utrudniają ich opis. Dlatego producenci często zamiast pełnych oznaczeń danego elementu stosują oznaczenia skrócone, które umożliwiają zidentyfikowanie rodzaju elementów. Odczyt wartości rezystancji nie sprawia problemów, gdyż wartość ta jest przedstawiona w postaci cyfr wartości oraz mnożnika (analogicznie jak w przypadku kodu paskowego). W przypadku kondensatorów sprawa się komplikuje, gdyż opis posiadają tylko kondensatory tantalowe i elektrolityczne, natomiast kondensatory ceramiczne nie posiadają zazwyczaj żadnych oznaczeń. Dlatego ich wartość jest znana jedynie wtedy, gdy znajdują się w opisanym pudełku lub taśmie. Po wlutowaniu identyfikacja takiego kondensatora nie jest możliwa, a kondensatory pocho-

dzące z demontażu są praktycznie bezużyteczne. Problem identyfikacji kondensatorów SMD można rozwiązać przez zmierzenie ich pojemności za pomocą miernika pojemności. Budowę takiego miernika przedstawiono w artykule.

Miernik został zbudowany w postaci sondy z czujnikiem szpilkowym, co umożliwia łatwe dołączenie wejść pomiarowych miernika do kondensatorów SMD. Przyrząd przeznaczony jest głównie do pomiaru pojemności kondensatorów umieszczonych w obudowach SMD, jednak dzięki zastosowaniu dodatkowego złącza możliwy jest również pomiar pojemności kondensatorów umieszczonych w obudowach do montażu przewlekane.

Zastosowane złącze umożliwia dołączenie elementów o rastrze 100 mil, 200 mil, 300 mil, 400 mil, dlatego możliwe jest także łatwe mierzenie pojemności trymerów.

Miernik umożliwia pomiar pojemności w zakresie 1 pF...10  $\mu$ F, jednak dla pojemności równej 10  $\mu$ F czas wykonywania pomiaru wynosi 10 sekund, co w praktyce trwa zbyt długo, dlatego należy przyjąć, że maksymalna mierzona pojemności wynosi około 1  $\mu$ F. Czas wykonywania pomiaru jest wprost proporcjonalny do pojemności i wynosi około 1 sekundy na 1  $\mu$ F mierzonej pojemności. Wynik pomiaru jest przedstawiany na czterech wyświetlaczach siedmio-segmentowych: na trzech pozycjach jest wyświetlany wynik po-



Rys. 1. Schemat elektryczny miernika pojemności kondensatorów

miaru, a na czwartej jest podawany mnożnik (piko, nano, mikro). Pojemność jest mierzona w jednym z zakresów pomiarowych, a następnie wynik jest odpowiednio formatowany, aby mógł być wyświetlony na trzech cyfrach wyświetlacza. W tab. 1 przedstawiono zakresy pomiarowe, format wyświetlania i rozdzielność pomiaru miernika. Wyświetlanie wyniku na trzech cyfrach nie pozwala na prezentację wyniku pomiaru z bardzo dużą rozdzielczością, lecz z założenia nie jest to przyrząd do bardzo dokładnych pomiarów, a do szacunkowego określenia pojemności badanego kondensatora i na tej podstawie przypisanie mu wartości z szeregu.

### Budowa i działanie

Schemat elektryczny miernika pojemności przedstawiono na rys. 1. Od strony funkcjonalnej urządzenie można podzielić na dwa bloki: pomiaru pojemności i wyświetlania. Blok pomiaru pojemności składa się mikrokontrolera typu PIC12F629. Zawiera on w swoim wnętrzu pamięć programu typu Flash o pojemności 1k

x 14b, 64 bajty pamięci operacyjnej RAM oraz 128 bajtów nieulotnej pamięci typu EEPROM. Procesor może być taktowany sygnałem generowanym przez wewnętrzny generator RC albo generator z zewnętrznymi elementami RC lub zewnętrznym rezonatorem kwarcowym. Pomiar pojemności jest oparty na pomiarze czasu, więc wymagana jest jak największa jego dokładność odmierzenia. Dlatego jako źródło sygnału zegarowego zastosowano generator z rezonatorem kwarcowym. Częstotliwość zastosowanego rezonatora jest maksymalną dopuszczalną dla tego procesora. Dla tej częstotliwości jeden cykl maszynowy procesora wynosi 200 ns. Duża szybkość pracy procesora jest konieczna, gdyż najkrótszy odcinek czasu, jaki procesor musi zmierzyć, jest równy 1 μs, co przy pracy procesora z rezonatorem o standardowej częstotliwości 4 MHz nie jest możliwe.

Procesor posiada tylko sześć linii wejścia/wyjścia, z czego dwie zostały zajęte przez rezonator kwarcowy, dlatego konieczne jest wykorzystanie wszystkich pozostających linii.

Wejście zerowania procesora zostało skonfigurowane jako wejście cyfrowe, a sygnał zerowania po włączeniu zasilania jest generowany przez wewnętrzny obwód.

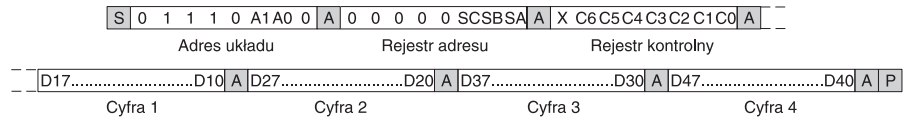
Choć miernikiem steruje mikrokontroler, to pomiaru pojemności dokonuje układ US2. Układ ten jest nowszą wersją cieszącą się niesłabnącą sławą układu NE555. Układ ICM7555 wykonany jest w technologii CMOS, co znacznie zmniejszyło - w stosunku do wersji bipolarnej - pobierany przez niego prąd. Układ US2 pracuje w trybie monostabilnym, dlatego po podaniu krótkiego impulsu na wejście TR na wyjściu OUT pojawia się poziom wysoki. Czas trwania tego poziomu jest ściśle zależny od połączonych szeregowo

Tab. 1. Zakresy pomiarowe miernika pojemności

Zakres	Rozdzielność	Format wyświetlania	Przykład
1nF	1pF	xxx p	120p
10nF	10pF	x.xx n	4.72n
100nF	100pF	xx.x n	68.3n
1000nF	1nF	xxx n	331n
10μF	10nF	x.xx u	1.03u

rezystancji rezystora R3 i potencjometru PR1 oraz dołączonej pojemności Cx i jest wyrażony wzorem:  $t = 1,05 \cdot (R3 + PR1) \cdot Cx$ . Ponieważ rezystancja jest stała, to czas trwania impulsu wyjściowego jest zależny od dołączonej pojemności (w ten sposób określa się jej wartość).

Do sterowania wyświetlaczami zastosowano specjalizowany układ typu SAA1064, który może sterować dwoma lub czterema wyświetlaczami. Przy współpracy z dwoma wyświetlaczami jeden wyświetlacz jest podłączany do wyjść P1...P8, a drugi do wyjść P9...P16. Wyświetlacze muszą być typu ze wspólną anodą i anody te są dołączone do plusa napięcia zasilania. Przy współpracy z czterema wyświetlaczami konieczne jest ich sterowanie w sposób multiplexowy. W tym trybie w danej chwili świecą tylko dwa wyświetlacze załączone przez jeden z tranzystorów, następnie te wyświetlacze są wygaszane i następuje świecenie drugiej pary wyświetlaczy. Przełączanie pomiędzy wyświetlaczami jest wykonywane tak szybko, że widoczne jest jednoczesne świecenie wszystkich wyświetlaczy. Praca wewnętrznego układu sterującego wyświetlaniem danych na wyświetlaczu jest wykonywana w oparciu o wewnętrzny generator współpracujący z zewnętrznym kondensatorem C8 i to od jego wartości zależy częstotliwość pracy wewnętrznego multiplexera, a tym samym częstotliwość przełączania wyświetlaczy. Dodatkowo można regulować natężenie prądu płynącego przez diody wyświetlacza. Wyświetlacze mogą być zasilane prądem o wartości 3 mA, 6 mA i 12 mA. Wartość natężenia prądu jest określana poprzez wpis do rejestru sterującego układem. Najważniejszą zaletą układu SAA1064 jest łatwość jego sterowania przez układ zewnętrzny, gdyż interfejs komunikacyjny to I<sup>2</sup>C i do sterowania wymagane są tylko dwa wyprowadzenia. Fakt ten jest bardzo istotny w przedstawionym układzie, gdyż zastosowany mikrokontroler ma małą liczbę wyprowadzeń. Obsługa wyświetlacza przez procesor ogranicza się tylko do wpisania danych, a pozostały czas procesor może poświęcić na wykonywanie innych zadań. Podstawowy adres, pod



Rys. 2. Format danych wysyłanych do układu SAA1064

którym zgłasza się układ SAA1064 na magistrali I<sup>2</sup>C jest równy 0 1 1 0 A1 A0 0 i może być zmieniony w przypadku pracy kilku takich samych układów na jednej magistrali. Istnieje możliwość zmiany dwóch bitów adresu oznaczonych jako: A0 i A1. Wartość tych bitów jest określana poprzez wartość napięcia podanego na wejście ADR. Wartości napięcia podanych na to wejście i odpowiadające mu wartości bitów A0 i A1 są przedstawione w **tab. 2**.

Sterowanie układem SAA1064 polega na wpisaniu do jego rejestru konfiguracyjnego wartości określającej wymagany tryb pracy, a następnie wpisanie wartości odpowiedniej dla każdego wyświetlacza. Format danych wysyłanych do układu SAA1064 przedstawiono na **rys. 2**.

Transmisja jest inicjowana przez podanie adresu układu, następnie podawany jest adres wewnętrznego rejestru, do którego mają być zapisane dane, a w dalszej kolejności mogą być zapisywane dane do kolejnych rejestrów. Po wpisaniu danych do rejestru zawartość licznika adresowego zostaje zwiększona o jeden i można podać dane przeznaczone do kolejnego rejestru, bez konieczności każdorazowego podawania adresu konkretnego rejestru.

Takie rozwiązanie umożliwia jednoczesny zapis danych do wszystkich rejestrów lub tylko do jednego wybranego.

Wartości rejestru adresu oraz odpowiadające mu rejestry są przedstawione w **tab. 3**. Ponieważ w układzie SAA1064 znajduje się tylko pięć rejestrów, do ustalenia konkretnego numeru brane są tylko trzy bity: SA, SB, SC.

Rejestr kontrolny, znajdujący się pod adresem „0”, służy do ustalenia trybu pracy układu SAA1064 - znaczenie poszczególnych bitów tego rejestru jest przedstawione w **tab. 4**.

W mierniku do rejestru kontrolnego wpisywana jest wartość 00100111, co oznacza, że sterowane są cztery wyświetlacze w try-

bie dynamicznym, a prąd sterujący poszczególnymi segmentami wynosi 6 mA. Taka wartość prądu sterującego jest wystarczająca, gdyż zastosowane wyświetlacze są niewielkie, a odczyt jest wykonywany z małej odległości.

Po ustawieniu trybu pracy układu SAA1064 można wpisać odpowiednie wartości do poszczególnych rejestrów cyfr. Wpisywane dane muszą być wcześniej przekształcone na kod wyświetlacza siedmiosegmentowego. W przedstawionym układzie wyświetlacze są dołączone inaczej niż jest to sugerowane przez producenta: inne jest przyporządkowanie poszczególnych cyfr do rejestrów układu SAA1064. Różnica polega na tym, że dane z rejestru cyfry 1 są wyświetlane na wyświetlaczu DP1, z rejestru cyfry 3 na wyświetlaczu DP2, z rejestru cyfry 2 na wyświetlaczu DP3, a z rejestru cyfry 4 na wyświetlaczu DP4. Nie wpływa to na pracę układu SAA1064, a wymaga jedynie innego sterowania przez procesor.

Procedury odpowiedzialne za wysyłanie danych do układu SAA1064 przedstawiono na **list. 1**.

Obsługa układu SAA1064 jest wykonywana za pomocą dwóch procedur. Procedura pierwsza służy do zapisu trybu pracy do rejestru konfiguracyjnego. Przy wywołaniu

**Tab. 2. Zakres napięcia podanego na wejście ADR i odpowiadająca mu wartość adresu układu SAA1064**

Adres A1 A0	Napięcie na wejściu ADR		
	Minimum	Typowo	Maksimum
0 0	GND	-	3/16VCC
0 1	5/16VCC	3/8VCC	7/16VCC
1 0	9/16VCC	5/8VCC	11/16VCC
1 1	13/16VCC	-	VCC

**Tab. 3. Adresy poszczególnych rejestrów**

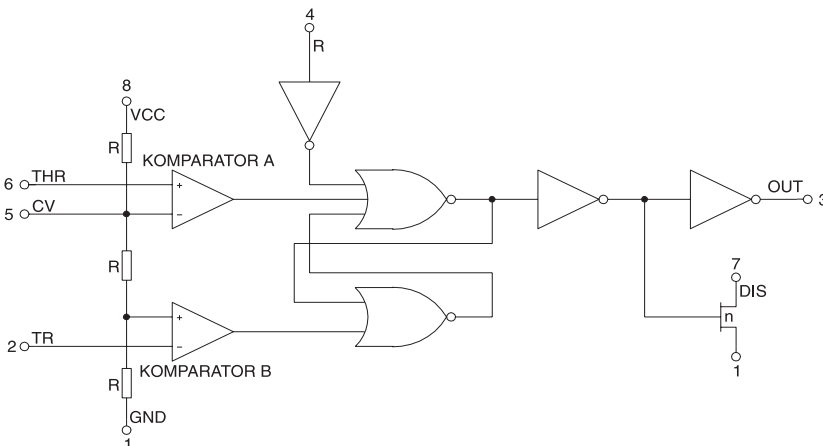
SC	SB	SA	Adres	Rejestr
0	0	0	0	Kontrolny
0	0	1	1	Cyfra 1
0	1	0	2	Cyfra 2
0	1	1	3	Cyfra 3
1	0	0	4	Cyfra 4

**Tab. 4. Funkcje poszczególnych bitów rejestru kontrolnego układu SAA1064**

C0	C0=0	Praca statyczna z dwoma wyświetlaczami
	C0=1	Praca dynamiczna z czterema wyświetlaczami
C1	C1=0	Wyświetlacz nr 1 □ □ 3 □ wygaszone
	C1=1	Wyświetlacz nr 1 □ □ 3 □ włączone
C2	C2=0	Wyświetlacz nr 2 □ □ 4 □ wygaszone
	C2=1	Wyświetlacz nr 2 □ □ 4 □ włączone
C3	C3=1	Test, wszystkie wyświetlacze zapalone
C4	C4=1	Sterowanie prądem 3 □ mA
C5	C5=1	Sterowanie prądem 6 □ mA
C6	C6=1	Sterowanie prądem 12 mA
C7	-	Nie używany

tej procedury należy podać jako parametr liczbę wyświetlaczy oraz ich prąd sterowania. Wartości parametrów dla poszczególnych trybów pracy są zdefiniowane na początku listingu (polecenie wykonywane w mierniku ma postać: *SAA1064\_write\_control(digit4\_6m)*). Zapis danych do konkretnego wyświetlacza wykonuje druga procedura. Przy wywoływaniu tej procedury należy podać numer wyświetlacza oraz wartość, jaka ma być na nim wyświetlona. Numer wyświetlacza musi zawierać się w przedziale 1...4, a dana może być dowolną wartością jednobajtową. Aby jednak na wyświetlaczu były wyświetlane cyfry, podana dana musi być tak dobrana, aby powodowała zapalenie odpowiednich segmentów wyświetlacza.

Do stabilizowania napięcia zasilania całego układu miernika zastosowano monolityczny stabilizator typu LM7805, a kondensatory C1...C4 dodatkowo filtrują to napięcie. Aby zabezpieczyć cały układ przed uszkodzeniem



Rys. 3. Budowa wewnętrzna układu ICM7555

**List. 1. Procedury służące do komunikacji procesora z układem SAA1064**

```

//*****
//Definicja stałych
#define SAA1064_adres_wr 0b01110000 //adres zapisu danych, jesli A0=0, A1=0
#define SAA1064_adres_re 0b01110001 //adres odczytu danych jesli A0=0, A1=0
#define digit2_3m 0b00010110 //2 wyswietlacze I=3mA
#define digit2_6m 0b00100110 //2 wyswietlacze I=6mA
#define digit2_12m 0b01000110 //2 wyswietlacze I=12mA
#define digit4_3m 0b00010111 //4 wyswietlacze I=3mA
#define digit4_6m 0b00100111 //4 wyswietlacze I=6mA
#define digit4_12m 0b01000111 //4 wyswietlacze I=12mA
//*****
// Zapisuje konfiguracje do SAA1064
//*****
SAA1064_write_control(int control)
{
    I2C_start(); //start transmisji I2C
    I2C_write(SAA1064_adres_wr); //zapis adresu układu SAA1064
    I2C_write(0); //podanie sub-adresu = 0, bo to zapis konfiguracji
    I2C_write(control); //zapis wartości do rejestru konfiguracyjnego
    I2C_stop(); //koniec transmisji I2C
}
//*****
// Zapisuje dane na wyswietlaczu o numerze podanym w numer
//*****
SAA1064_write_digit(int numer, int dig)
{
    I2C_start(); //start transmisji I2C
    I2C_write(SAA1064_adres_wr); //zapis adresu układu SAA1064
    I2C_write(numer); //zapis numery cyfry, której dotyczy wpis (1..4)
    I2C_write(dig); //zapis wartości do rejestru podanego wcześniej
    I2C_stop(); //koniec transmisji I2C
}
//*****
    
```

w przypadku błędnie dołączonego napięcia zasilania, zastosowano diodę prostowniczą D1.

**Metoda pomiaru pojemności**

Zastosowana metoda pomiaru pojemności polega na pomiarze czasu trwania impulsu generowanego przez przerzutnik monostabilny ICM7555 o budowie wewnętrznej przedstawionej na rys. 3.

Pomiar jest przeprowadzany następująco: w stanie spoczynkowym na wyjściu OUTPUT panuje poziom niski wymuszony stanem przerzutnika zbudowanego z bramek. Taki poziom powoduje również wysterowanie tranzystora wyjściowego, co wymusza na wyjściu DIS (DISCHARGE) poziom niski. Ponieważ do tego wyprowadzenia jest dołączany badany kondensator, to zostaje on rozładowany. Rozpoczęcie cyklu pomiarowego rozpoczyna się od po-

dania impulsu o poziomie niskim na wejście TRIGGER. Impuls ten powoduje zmianę stanu przerzutnika, a w konsekwencji pojawia się na wyjściu OUTPUT poziom wysokiego oraz zablokowanie tranzystora wyjściowego. Zablokowanie tranzystora wyjściowego spowoduje, że dołączona pojemność będzie ładowana przez rezystor R3 i potencjometr PR1. Proces ten będzie trwał do momentu osiągnięcia na badanym kondensatorze napięcie równego 2/3 napięcia zasilania. Kontrola wartości tego napięcia jest przeprowadzana przez komparator A, gdyż jego wejście TRH (THRESHOLD) jest połączone z biegunem badanego kondensatora. Po osiągnięciu wymaganej wartości napięcia następuje zmiana stanu przerzutnika i proces ładowania kondensatora zostaje zatrzymany, a wyjście OUT (OUTPUT) ponownie przyjmie poziom niski. Po odpowiednim skalibrowaniu wartości rezystancji R3 i PR1 czas trwania generowanego impulsu odpowiada 1 μs dla pojemności 1 pF. Taka zależność znacznie ułatwia obliczanie wartości pojemności przez procesor.

Fragment programowej realizacji procedury pomiaru czasu trwania impulsu generowanego przez układ ICM7555 jest przedstawiony na list. 2. Pomiar czasu jest wykonywany za pomocą wewnętrznego licznika Tmr1, który jest skonfigurowany do zliczania impulsów z wewnętrznego oscylatora zegarowego (f=fosc/4). Licznik ten

List. 2. Fragment procedury pomiaru i wyświetlania pojemności

```

//*****
// Procedura pomiaru i wyświetlania pojemności
//*****
get_c()
{int i;
 bit_clear(tlcon,0); //zatrzymaj licznik tmr1
 tmr1l=0; //wyczyść rejestry licznika Tmr1
 tmr1h=0;
 c_high=0; //wyczyść pomocniczą komórkę licznika czasu
 enable=0; //wyzwolenie impulsu ICM7555
 enable=1;
 bit_set(tlcon,0); //włącz licznik tmr1
 while(tin) //dopóki na wejściu tin stan wysoki, to licz impulsy
 { if(tmr1l) //OUT=1
 { //jeśli przepełnienie tmr1, to zwiększ c_high
 {
 tmr1l=0;
 c_high++;
 }
 }
 }
 bit_clear(tlcon,0); //zatrzymaj tmr1
 c_low=make16(tmr1h,tmr1l); //zapisz rejestry licznika Tmr1 do c_low
 c_var=make32(c_high,c_low); //zapisz c_low i c_high do c_var, tworzy liczbę 32-bitową
 c_var/=5; //wynik trzeba podzielić/5, aby wartość odpowiadała us
 if(c_var<18) c_var=0; //nałóż odjąć 18, aby bez pojemności wynik był =0
 else c_var-=18; //jeśli bez pojemności wynik jest mniejszy od 18, to wpisz 0

 if(c_var>999999) //jeśli 1000000 lub więcej, to wynik w uF - max 9.99uF
 {
 c_var/=10000; //podziel 10000, aby były tylko trzy znaczące cyfry

 //procedura wyświetlająca c_var w formie dziesiętnej na trzech cyfrach
 //dodatkowo zostanie zapalona kropka na wyświetlaczu nr 1
 //a na wyświetlaczu czwartym zostanie wyświetlony znak "u"
 }
 else if(c_var>99999) //jeśli 100000 lub więcej, to zakres wynik w nF-max 999nF
 {
 c_var/=1000; //podziel, aby wynik był trzycyfrowy

 //procedura wyświetlająca c_var w formie dziesiętnej na trzech cyfrach
 //kropka nie zostanie zapalona na żadnym wyświetlaczu
 //a na wyświetlaczu czwartym zostanie wyświetlony znak "n"
 }
 else if(c_var>9999) //jeśli wynik 10000 lub więcej, to zakres nF - max 99,9nF
 {
 c_var/=100; //podziel, aby wynik był trzycyfrowy

 //procedura wyświetlająca c_var w formie dziesiętnej na trzech cyfrach
 //dodatkowo zostanie zapalona kropka na wyświetlaczu nr 2
 //a na wyświetlaczu czwartym zostanie wyświetlony znak "n"
 }
 else if(c_var>999) //jeśli wynik 1000 lub więcej, to zakres nF- max 9,99nF
 {
 c_var/=10; //podziel, aby wynik był trzycyfrowy

 //procedura wyświetlająca c_var w formie dziesiętnej na trzech cyfrach
 //dodatkowo zostanie zapalona kropka na wyświetlaczu nr12
 //a na wyświetlaczu czwartym zostanie wyświetlony znak "n"
 }
 else //jeśli wynik mniejszy niż 1000, to zakres pF- max 999pF
 {
 //procedura wyświetlająca c_var w formie dziesiętnej na trzech cyfrach
 //kropka nie zostanie zapalona na żadnym wyświetlaczu
 //a na wyświetlaczu czwartym zostanie wyświetlony znak "p"
 }
 }
 }
}

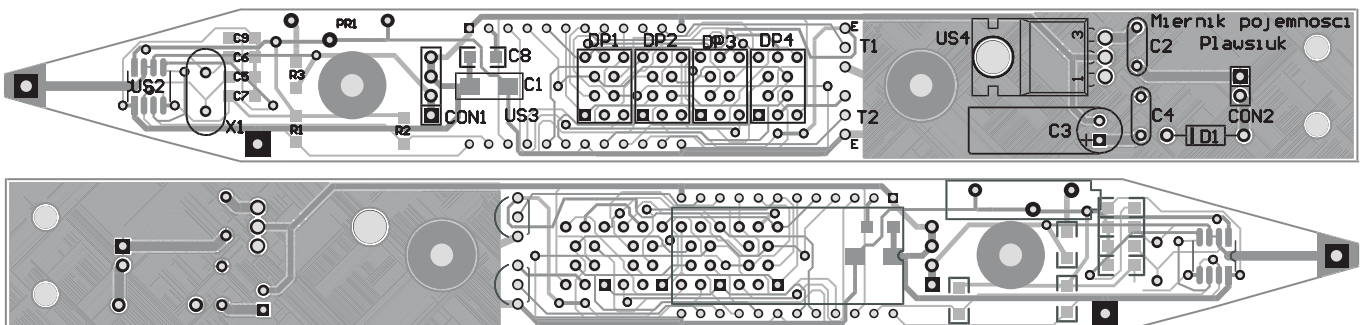
```

ma pojemność równą 16bitów i umożliwi zliczenie maksymalnie 65535 impulsów, co przy częstotliwości taktowania procesora równej 20 MHz pozwala na odmierzenie czasu równego  $65535 \cdot 200 \text{ ns} = 13,107 \text{ ms}$ . Ponieważ mierzony czas jest wprost proporcjonalny do pojemności, to maksymalna wartość mierzonej pojemności wynosiłaby około 13 nF. Aby zwiększyć zakres pomiarowy, został wprowadzony dodat-

kowy licznik 16-bitowy  $c\_high$ . Zawartość tego licznika jest zwiększana po każdym przepełnieniu licznika Tmr1. W ten sposób został utworzony 32-bitowy licznik zliczający odcinki czasu równe 200 ns o pojemności równej  $2^{32}$  (odpowiada to maksymalnej wartości 4294967296). Dla maksymalnej wartości mierzonej pojemności przez miernik wymagana pojemność licznika jest równa 50000000. Wartość ta wynika z zależności:

$$\begin{aligned}
 10 \mu\text{F} &= 1 \text{ pF} \cdot 10^7 = 10000000 \text{ pF} \\
 10000000 \text{ pF} &= 10000000 \cdot 1 \mu\text{s} \\
 1 \text{ pF} &= 1 \mu\text{s} \rightarrow 1 \mu\text{s} = 5 \cdot 200 \text{ ns} \\
 10000000 \mu\text{s} &= 10000000 \cdot 5 = 50000000 \\
 10 \mu\text{F} &= 50000000
 \end{aligned}$$

Jak widać, pojemność zastosowanego licznika znacznie przewyższa wymaganą wartość maksymalną. Pomiar rozpoczyna się od zatrzymania licznika Tmr1, następnie zerowane są rejestry licznika Tmr1 (tmr1l, tmr1h) oraz zmienna  $c\_high$ . Następnie na wejście TR (TRIGGER) układu ICM7555 jest podawany krótki impuls powodujący rozpoczęcie ładowania kondensatora, którego pojemność mierzymy. Jednocześnie wyjście OUT zmieni swój poziom na wysoki, a w procesorze zostanie włączony licznik Tmr1. Rozpoczęty w ten sposób cykl pomiarowy będzie trwał do momentu powrotu wyjścia OUT układu US2 do poziomu niskiego. Będzie on spowodowany osiągnięciem na badanym kondensatorze wymaganej wartości napięcia. Następnie zatrzymany zostanie licznik Tmr1, a zawartość jego dwóch rejestrów tmr1l i tmr1h zostanie przepisana do 16-bitowej zmiennej  $c\_low$ . Zmienna ta, wraz ze zmienną  $c\_high$ , zostanie przetworzona na zmienną 32-bitową  $c\_var$ . W zmiennej tej znajduje się całkowita liczba zliczonych impulsów podczas cyklu pomiarowego. Zliczona liczba impulsów odpowiada liczbie 200 ns odcinków czasu, dlatego aby przetworzyć tę wartość na pojemność, należy podzielić ją przez pięć. Tak uzyskany wynik należy jeszcze skorygować o czas reakcji układu ICM7555 na impuls wyzwalający. Po wykonaniu wszystkich zabiegów obliczeniowych, w zmiennej  $c\_var$  znajduje się wartość odpowiadająca wartości zmierzonej pojemności. Ze względu na trzycyfrową rozdzielczość wyświetlania pojem-



Rys. 4. Rozmieszczenie elementów na płycie miernika pojemności

**Tab. 5. Wartości dzielnika korygującego zmierzone wartości, aby były wyświetlane jako liczby trzycyfrowe**

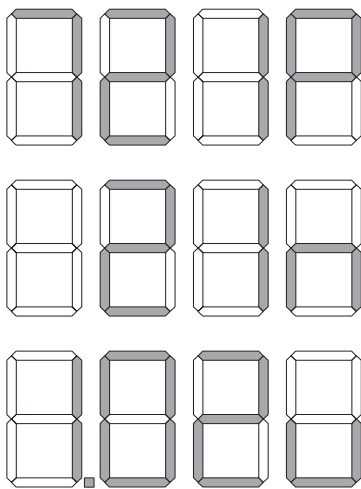
Wartość zmiennej c_var	Dzielnik	Zakres pomiarowy
c_var>999999	10000	1,00μF...9,99μF
999999>c_var>99999	1000	1nF...999nF
99999>c_var>9999	100	100pF...99,9nF
9999>c_var>999	10	10pF...9,99nF
c_var<999	1	1pF...999pF

ności, mierzone wartości należy korygować i ustalać odpowiedni zakres pomiarowy, aby wynik był zawsze trzycyfrowy. Korekcja polega na dzieleniu tej wartości w taki sposób, aby końcowa wartość nie była większa niż 999. Wartość dzielnika dla poszczególnych zakresów pomiarowych i zakresy pomiarowe przedstawiono w tab. 5. Po odpowiednim przetworzeniu wartość końcowa zostaje wyświetlona na wyświetlaczu.

### Montaż i uruchomienie

Miernik pojemności został zmontowany na płytce dwustronnej, o wymiarach dopasowanych do obudowy serii TS typu sonda. Rozmieszczenie elementów na płytce jest przedstawione na rys. 4. Ze względu na niewielkie wymiary płytki, konieczny stał się montaż po obu stronach płytki (niektóre elementy są w obudowach SMD).

Montaż elementów należy rozpocząć od wyświetlaczy DP1...DP4 - są one montowane od strony „elementów”. Następnie należy zamontować układ US3 - jest on



Rys. 5. Przykładowy format wyświetlania wartości mierzonej pojemności.

montowany od strony lutowania i należy wlutować go bezpośrednio w płytkę, gdyż zastosowanie podstawki spowoduje, że cała płytka nie zmieści się do obudowy. W kolejnym etapie należy wlutować układ ICM7555 od strony elementów, a następnie procesor US1 od strony lutowania. Po wlutowaniu układów scalonych US1...US3 można przejść do montażu pozostałych elementów. Transzystory T1 i T2 oraz stabilizator US4 i kondensator C3 należy zamontować na leżąco. Rezonator kwarcowy należy również zamontować na leżąco od strony elementów. Punkt lutowniczy znajdujący się przy rezonatorze kwarcowym jest wyprowadzeniem masy badanego kondensatora i należy dołączyć do niego odcinek przewodu, najlepiej zakończonego wtykiem szpilkowym umożliwiającym precyzyjne dołączenie tej masy do badanego kondensatora. Natomiast do punktu lutowniczego połączonego z układem ICM7555 należy przylutować dwucentymetrowy odcinek drutu o średnicy około 1 mm - drut ten należy na końcu zaostrzyć, aby było możliwe dołączenie tak wykonanego czujnika sondy do dowolnego kondensatora SMD.

Po zmontowaniu układu można przejść do jego uruchomienia i wyskalowania miernika. W tym celu do złącza CON2 należy dołączyć napięcie zasilania o wartości około 9 V i maksymalnym prądzie obciążenia 200 mA.

Po włączeniu zasilania procesor rozpocznie pomiar i wyświetlanie wartości mierzonej pojemności. Gdy do złącza pomiarowego nie będzie dołączony żaden kondensator, to na wyświetlaczu pojawi się napis „0P”. Wyświetlanie tylko jednego zera podanej wartości jest spowodowane tym, że procesor automatycznie usuwa nieznaczące zera. Przed rozpoczęciem użytkowania miernika należy go wyskalować. Dolna granica pojemności (zerowanie) jest ustalana automatycznie przez procesor i nie wymaga żadnych regulacji, natomiast górną granicę zakresu pomiarowego należy ustawić za pomocą potencjometru wieloobrotowego PR1. Do skalibrowania miernika będzie potrzebny kondensator o pojemności równej 1 μF i jak najmniejszej to-

### WYKAZ ELEMENTÓW

#### Rezystory

R1, R2: 10kΩ 1205  
R3: 1MΩ 1205  
PR1: potencjometr wieloobrotowy Helitrim 470kΩ

#### Kondensatory

C1: 22μF/10V 6532  
C2: 100nF  
C3: 100μF/16V  
C4: 100nF  
C5, C6: 27pF 1205  
C7: 100nF 1205  
C8: 2,7nF 1205  
C9: 100nF 1205

#### Półprzewodniki

D1: 1N4007  
T1, T2: BC547  
US1: PIC12F629 SO8 zaprogramowany  
US2: ICM7555 SO8  
US3: SAA1064  
US4: LM7805

#### Różne

DP1...DP4: wyświetlacz 9mm czerwony TDSO1153  
X1: rezonator kwarcowy 20MHz  
CON1: goldpin 1x2 męski kątowny  
CON2: goldpin 1x4 żeński precyzyjny  
Obudowa sondy typu TS o wymiarach 180x25x15 (www.cyfronika.com.pl)

lerancji. Kondensator należy dołączyć do złącza pomiarowego CON1, a potencjometrem PR1 należy tak regulować, aby na wyświetlaczu była wyświetlana wartość przyłożonej pojemności.

Po tak przeprowadzonej kalibracji miernik pojemności jest gotowy do pracy.

Jak wcześniej wspomniano, wynik pomiaru jest przedstawiany na trzech cyfrach, a na czwartej mnożnik (piko, nano, mikro). Ze względu na to, że informacja o mnożniku mierzonej wielkości jest przedstawiana na wyświetlaczu siedmiosegmentowym, to forma opisów jest uproszczona. Przykładowe wyświetlanie przez miernik wartości zmierzonej pojemności przedstawiono na rys. 5.

**Krzysztof Pławiuk, AVT**  
krzysztof.plawiuk@ep.com.pl

Wzory płytek drukowanych w formacie PDF są dostępne w Internecie pod adresem: <http://www.ep.com.pl/?pdf/maj03.htm> oraz na płycie CD-EP5/2003B w katalogu PCB.