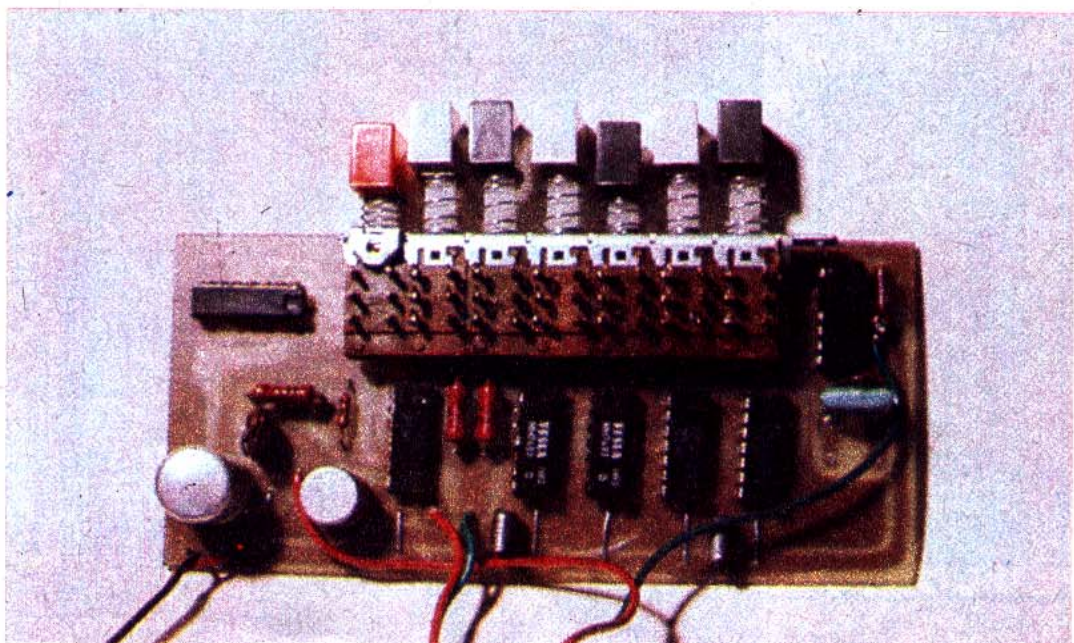


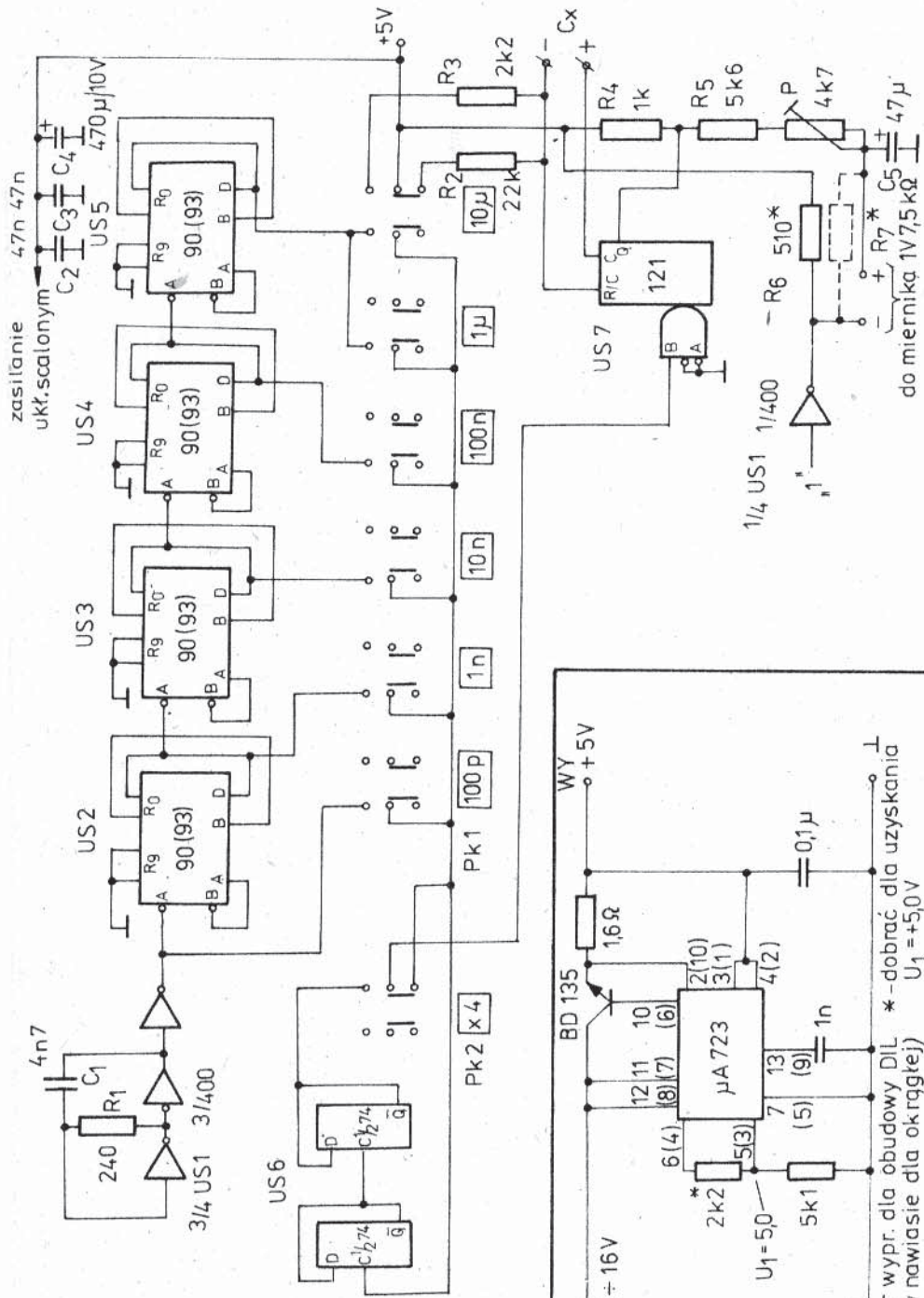
MIERNIK POJEMNOŚCI

Miernik pojemności należy do tych przyrządów, które nawet niezbyt zaawansowanemu radioamatorowi mogą bardzo pomóc w budowie różnych urządzeń. Pozwala on nie tylko na dokładne dobranie wartości kondensatorów (z błędem około 3-7% przy użyciu opisanego układu), ale też na zweryfikowanie elementów fabrycznych oraz, a właściwie przede wszystkim, na określenie pojemności kondensatorów nie opisanych, dostępnych po obniżonej cenie w sklepach BOMiS czy też pochodzących z tzw. odzysku. Istnieje bardzo wiele wariantów konstrukcyjnych układów do pomiaru pojemności, niektóre z nich są znacznie prostsze od opisanego niżej, lecz niestety wymagają kalibrowania na przynajmniej kilku zakresach. Ponadto trudne jest w niektórych prostszych wersjach zrealizowanie pomiaru małych pojemności (od 100 pF) lub dużych – powyżej kilku-kilkunastu μF . Przedstawiony poniżej układ wykorzystuje cyfrowe układy TTL zasilane z zewnętrznego stabilizatora +5V – przy takiej koncepcji nie powinno być kłopotów z uruchomieniem, a ponadto kalibrację przeprowadza się tylko na jednym podzakresie przy użyciu kondensatora wzorcowego o pojemności z przedziału 10 nF – 1 μF . W charakterze

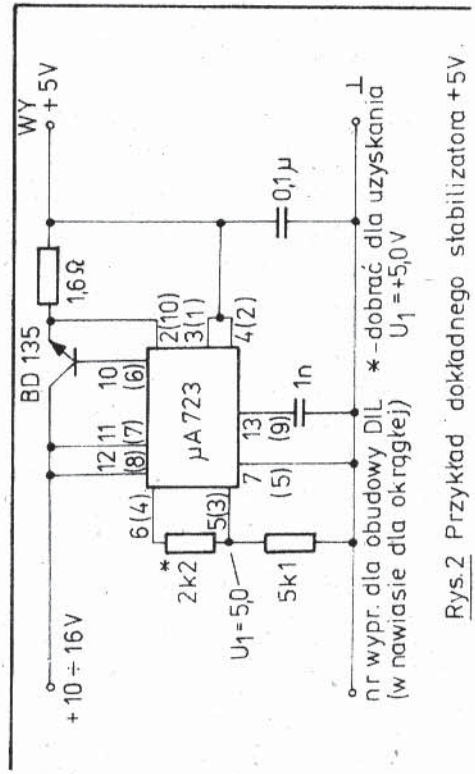
wskaznika można zastosować dowolny miernik uniwersalny lub woltomierz o rezystancji wewnętrznej nie mniejszej niż 7,5 kilooma na zakresie 1 V (możliwe jest wykorzystanie mierników o mniejszej rezystancji wewnętrznej, lecz konieczna jest wtedy zmiana wartości kilku rezystorów). Zakres pomiarowy miernika pojemności obejmuje przedział od 100 pF (pełne wychylenie, praktycznie można mierzyć kondensatory już od 5 pF wzwyż) do 40 μF – dla większych pojemności, można zastosować inną prostą metodę, opisaną pod koniec artykułu.

Zapoznajmy się teraz ze schematem proponowanego miernika – rys. 1. W układzie można wyróżnić kilka bloków funkcjonalnych: pierwszy, to generator zrealizowany na trzech bramkach układu U_{S1} (bramki te spełniają funkcję inwerterów – stąd odpowiednie oznaczenie na schemacie) wytwarzający przebieg prostokątny o częstotliwości około 310 kHz i dobrej stabilności temperaturowej rzędu 1-2%. Drugim blokiem jest dzielnik częstotliwości składający się z czterech dekad ($U_{S2} : U_{S5}$), umożliwiający odpowiednie zmniejszenie częstotliwości generatora (10, 100, 1000 lub 10000 razy). Układ dwóch przerzutników D (U_{S6}) umożliwia dodatkowe czterokrotne zmniejszenie częstotliwości, co pozwala na zmianę zakresów w sekwencji 1 : 4 : 10 – jest to optymalny wariant ze względu na prostotę układu oraz zapewnienie odpo-





Rys.1 Schemat ideowy miernika pojemności



Rys.2 Przykład dokładnego stabilizatora +5V.

wiedniej dokładności odczytu na mierniku.

Trzecim blokiem funkcjonalnym jest multiwibrator monostabilny (U_{S7} - element 74121) wraz z układem rezystorów i filtrem dolnoprzepustowym R_3, P, C_3 - za jego pomocą na wejście dołączonego miernika podane jest napięcie stałe (a właściwie prąd) proporcjonalne do wartości mierzonej pojemności. Zasada pomiaru wykorzystuje zjawisko uzależnienia czasu trwania impulsu monowibratora od wartości dołączonej do niego pojemności - czas ten jest praktycznie liniową funkcją tejże pojemności (z błędem rzędu 1% lub mniej). Spójrzmy na rys. 3 - przebieg nr 1, to impulsy wyzwalające multiwibrator 74121, przebieg nr 2, to impulsy z wyjścia Q monowibratora. Czas t (t_1 lub t_2) jest funkcją wartości mierzonej pojemności (z dobrym przybliżeniem $t=0,69 RC$, gdzie R - wartość zewnętrznego rezystora, czyli R_1 lub R_2, C - mierzona pojemność), natomiast okres powtarzania impulsów T jest stały, stała jest też amplituda napięcia na wyjściu (równa napięciu zasilania). Średnia wartość napięcia (przebieg nr 3) będzie zatem określona równaniem:

$$U_{sr} = \frac{t \cdot U}{T}$$

a ponieważ $t = 0,69 RC$, więc $U_{sr} = kC$

gdzie k - współczynnik zależny od wartości rezystorów dołączonych do elementu 74121, napięcia zasilania U oraz częstotliwości wyzwalania monowibratora (czyli $1/T, T$ - okres powtarzania impulsów). Używamy zatem liniową zależność napięcia wyjściowego od wartości mierzonej pojemności, a ponadto poprzez zmianę częstotliwości impulsów wyzwalających można łatwo zmieniać zakres pomiarowy w szerokich granicach. Dane elementów w układzie zostały tak dobrane, aby nie przekroczyć maksymalnego dopuszczalnego współczynnika impulsu dla elementu 74121 - nie powinien on przekroczyć 67%, gdyż w przeciwnym razie powstanie błąd pomiaru przekraczający kilka-kilkanaście % i więcej.

Układ został zmontowany na płycie drukowanej (rys. 4 i 5), zawierającej wszyst-

kie elementy wraz z przełącznikiem typu Isostat - taka konstrukcja zapewnia zwartą budowę i pozwala na uniknięcie kłopotliwych połączeń drutowych. Zastosowano płytkę drukowaną jednostronnie, co z jednej strony upraszcza jej wykonanie, lecz wymaga poprawienia 6 mostków z drutu miedzianego.

W układzie dzielnika częstotliwości można zastosować elementy 7490 lub 7493 (w zależności od stanu domowych zapasów lub dostępności na rynku) bez dokonywania jakichkolwiek zmian w połączeniach drukowanych - zostały one tak zaprojektowane, aby oba układy (7490 lub 7493) pracowały poprawnie - stąd pewna nadmiarowość połączeń widoczna już na schemacie ideowym.

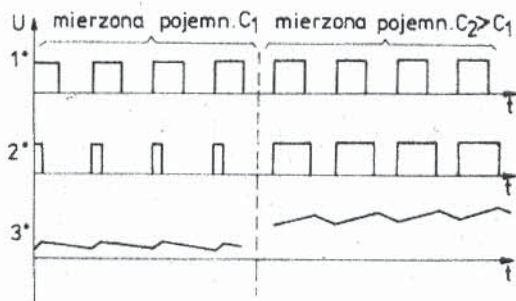
Przy doborze elementów należy zwrócić szczególną uwagę na dwie sprawy: po pierwsze rezystor R_2 powinien mieć możliwie dokładnie 10 razy większą rezystancję od R_3 (dobieramy za pomocą odpowiedniego omomierza) - w praktyce można jednak zastosować rezystory o tolerancji 5%, licząc się z nieco pogorszoną dokładnością na zakresach 10 i 40 μF , na ogół wykorzystywanych do pomiaru pojemności i tak mało dokładnych niewielkich kondensatorów elektrolitycznych. Drugą sprawą jest konieczność zastosowania elementów R_1 i C_1 o jak najlepszej stabilności - od nich zależy dokładność naszego miernika, a szczególnie od C_1 . Najlepsze byłyby kondensatory mikowe lub styroflexowe - absolutnie nie wolno stosować kondensatorów ceramicznych (tzw. ferroelektrycznych). Można ewentualnie zastosować kondensatory typu MKSE, licząc się jednak z nieco pogorszoną stabilnością temperaturową. Rezystor R_1 powinien być typu AT lub ML, lecz w warunkach amatorskich można zastosować także rezystor MŁT - w najgorszym przypadku dokładność naszego miernika pogorszy się o około 2%. Rezystory R_4, R_5 i potencjometr P także powinny być dość stabilne, lecz praktyka wykazuje, że wystarczy zastosować normalne rezystory MŁT i potencjometr montażowy typu TYP zabezpieczony po kalibracji kroplą lakieru Nitro.

Układ naszego miernika pojemności należy zasilac napięciem +5 V stabilizowa-

nym z dokładnością 1–2% – jest to konieczne dla uzyskania odpowiedniej dokładności. Można w charakterze zasilacza użyć posiadany już zasilacz stabilizowany, o ile oczywiście ma on dostatecznie dobre parametry, względnie zastosować dodatkowy stabilizator najlepiej z wykorzystaniem elementu μA 723 (rys. 2). Rozwiązanie takie jest zdecydowanie najlepsze, gdyż dla typowych elementów (wszystkie rezystory typu MŁT) osiągnięta dokładność stabilizacji jest lepsza od 1–2%. Można także zastosować stabilizator UL7505L oczywiście bez radiatora ze względu na niewielkie obciążenie (nie zapewnia on jednak takiej dokładności, jak układ μA 723).

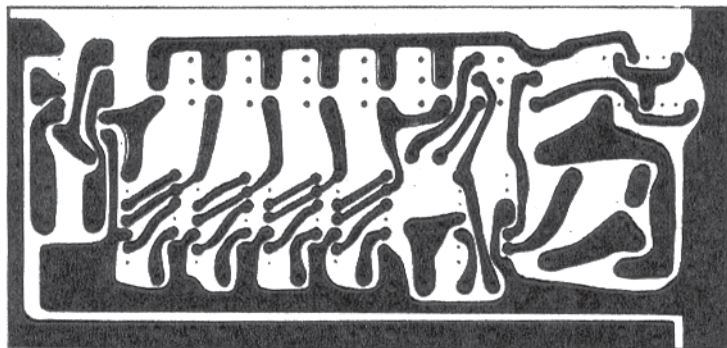
Po zmontowaniu układu (najlepiej ze sprawdzonych wstępnie elementów) można zabrać się do jego uruchamiania. Sprawdzenie pracy generatora i dzielników częstotliwości najlepiej przeprowadzić po ustawieniu zakresu $10 \mu F$ i mnożnika $\times 4$ (czyli zakres $40 \mu F$) i dołączeniu woltomierza, powinien wskazać około 1,5V, przy czym jego wskazówka powinna lekko drgać z częstotliwością około 8 Hz. Można teraz rozpocząć uruchamianie właściwego układu pomiarowego, lecz najpierw kilka słów dotyczących zastosowanego miernika. Układ modelowy dostosowany był do przyrządu uniwersalnego UM-3, który pracował na zakresie 1,5 V (wykorzystywano tylko przedział 0–1 V) i miał rezystancję wewnętrzną 7,5 kilo-oma). Do układu można w zasadzie dołączyć dowolny miernik o zakresie najlepiej 1 V i zbliżonej rezystancji wewnętrznej – gdyby była ona większa od 7,5 kilo-oma, to należy wmontować dodatkowy rezystor R_7 (za pomocą krótkich przewodów – nie przewidziano dla niego miejsca na płytce) o takiej wartości, aby jego równoległe połączenie z rezystancją wewnętrzną miernika dało wypadkowy opór 7,5 kilo-oma. Jeżeli zmuszeni będziemy do użycia miernika o mniejszej rezystancji, to może się okazać konieczne zmniejszenie wartości rezystorów R_4 , R_5 i potencjometru P, nie więcej jednak, niż 4 razy (wartości tych trzech elementów należy zmniejszyć w jednakowym stosunku).

Ujemny biegun miernika dołączony jest do wyjścia wstępnie spolaryzowanej



bramki (rezystor R_6) – a przez to przy nie dołączonym kondensatorze do zacisków pomiarowych (C_x) wskazania miernika są równe zero. Gdybyśmy nasz miernik dołączyli bezpośrednio do masy, to napięcie resztkowe w stanie zero na wyjściu Q przerzutnika 74121 (równe około 40–60 mV) spowodowałoby niewielkie wychylenie wskazówki wprowadzające pewien błąd. Wartość rezystora R_6 uzależniona jest od pomiarów zastosowanych elementów i w razie potrzeby należy ją skorygować tak, aby przy włączonym zakresie $1 \mu F$ i nie dołączonej żadnej pojemności do zacisków C_x wskazówka woltomierza wskazywała dokładnie zero.

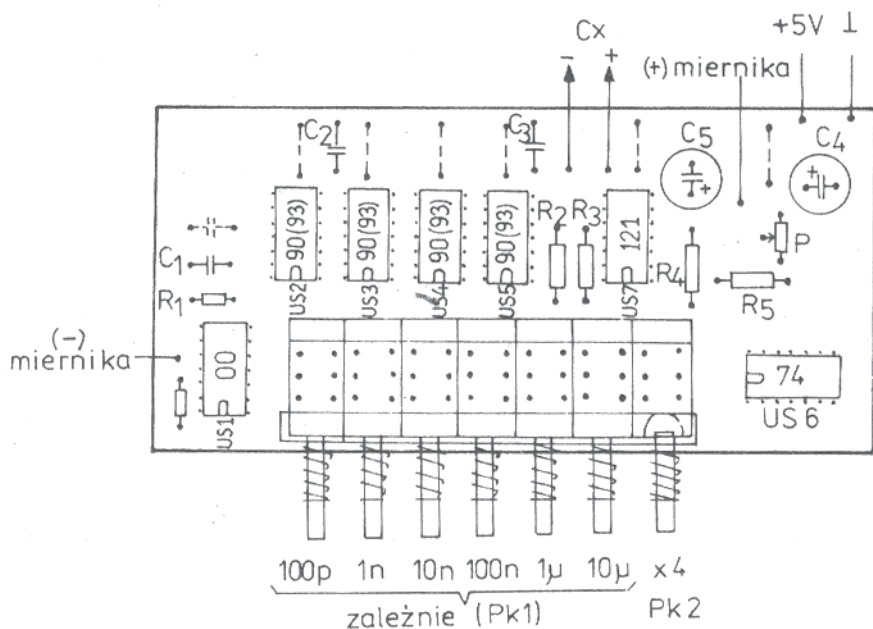
Po dokonaniu tych kilku czynności wstępnych, do zacisków C_x dołączamy kondensator wzorcowy o pojemności z zakresu $10 nF - 1 \mu F$. Skąd go zdobyć? – od czasu do czasu można zakupić kondensatory o tolerancji 1 lub 2%, można jednak także dokładnie zmierzyć pojemność innego, mniej stabilnego kondensatora, np. przy użyciu szkolnego mostka RLC lub innego miernika pojemności o dokładności nie gorszej od 1%. Na takie kondensatory wzorcowe najlepsze są kondensatory styrofleksowe (KSF), lecz można zastosować także popularne MKSE – trzeba wtedy jednak zadbać o stałą temperaturę pomiaru i późniejszej kalibracji naszego miernika. Po dołączeniu wzorca pojemności ustawiamy odpowiedni zakres (główny przełącznik w sekwencji 1:10:100... i dodatkowy zwiększający 4-krotnie zakres pomiaru, np. z 1 do $4 \mu F$) i za pomocą potencjometru montażowego P ustawiamy właściwe wskazania miernika. Gdy się to nie udaje, należy skontrolować wartości



Wymiary: 125 × 60 mm

Widok od str. druku

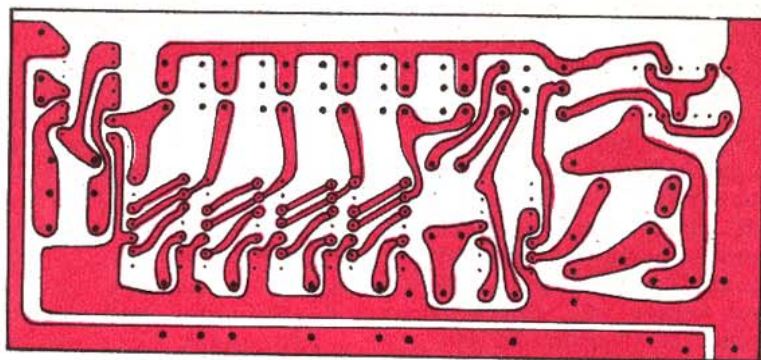
Rys. 4 Płytką drukowaną miernika pojemności.



Rys. 5 Schemat montażowy płytki miernika pojemności.

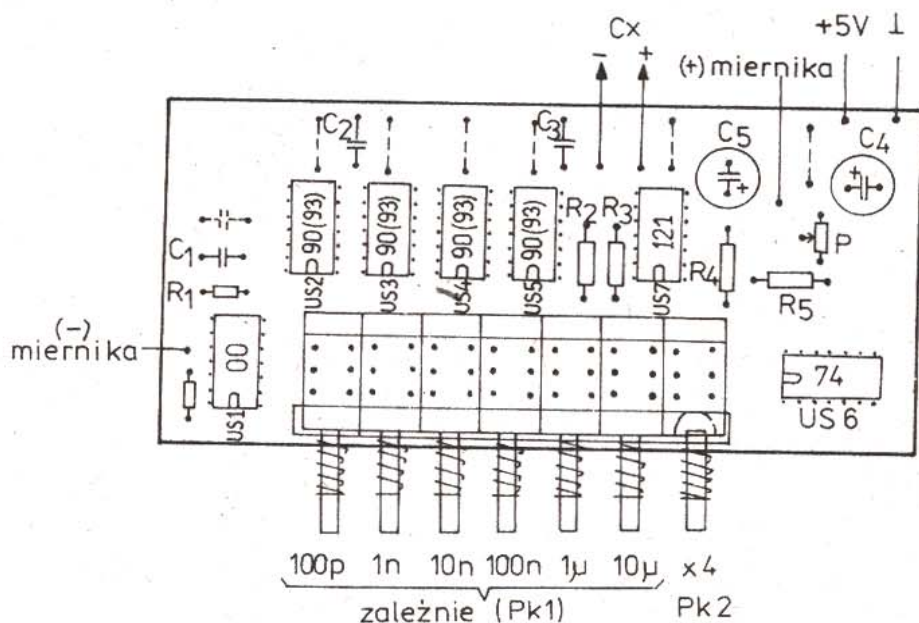
elementów R_1 , C_1 , R_4 , R_5 , P i ewentualnie rezystora R_7 – być może okaże się konieczną zmianą wartości R_5 lub R_7 . To jednak średnio zaawansowanemu radioamatorowi, a dla takich przeznaczony jest opisywany miernik, nie powinno przysporzyć większych trudności.

Po przeprowadzeniu opisanej regulacji nasz przyrząd nadaje się już do normalnej eksploatacji (nie wolno zapomnieć o dołączeniu w tym czasie odpowiedniego zasilacza +5 V). Można za jego pomocą mierzyć kondensatory o pojemnościach już od 5 pF wzwyż (oczywiście z niewielką do-



Wymiary: 125 × 60 mm
Widok od str. druku

Rys.4 Płytką drukowaną miernika pojemności.



Rys.5 Schemat montażowy płytki miernika pojemności.

elementów R_1 , C_1 , R_4 , R_5 , P i ewentualnie rezystora R_7 – być może okaże się konieczna zmiana wartości R_5 lub R_7 . To jednak **średnio zaawansowanemu radioamatorowi**, a dla takich przeznaczony jest opisywany miernik, nie powinno przysporzyć większych trudności.

Po przeprowadzeniu opisanej regulacji nasz przyrząd nadaje się już do normalnej eksploatacji (nie wolno zapomnieć o dołączeniu w tym czasie odpowiedniego zasilacza +5 V). Można za jego pomocą mierzyc kondensatory o pojemnościach już od 5 pF wzwyż (oczywiście z niewielką do-

kładnością), przy czym konieczne jest uwzględnienie pojemności przewodów dołączających C_x – właściwy pomiar na zakresie 100 pF polega więc na odczytaniu różnicy wskazań przy dołączonym i przy odłączonym mierzonym kondensatorze – przewody pomiarowe pozostają nieporuszone! Dla większych pojemności błąd pomiaru nie przekracza 5% pełnego zakresu w temperaturze pokojowej przy starannym wykonaniu i dla dobrego zasilacza + 5 V (zastosowanie wysokostabilnych elementów umożliwi zwiększenie dokładności do 2%, w zależności od posiadanego woltomierza). Górna granica mierzonych pojemności wynosi 40 μF (przy kondensatorach elektrolitycznych uwaga na biegunowość! – zacisk + do wyjścia „C” elementu 74121) – pomiar większych pojemności można stosunkowo łatwo przeprowadzić inną metodą, wykorzystującą woltomierz o dość dużej rezystancji wewnętrznej, zasilacz odpowiedniego napięcia i... stoper lub zegarek z sekundnikiem. Pomiar polega na zjawisku wykorzystania eksponentyjnego rozładowania wstępnie naładowanego kondensatora przez rezystancję wewnętrzną miernika (powinna być podana na każdym mierniku – jeśli nie, to trzeba zmierzyć), zgodnie z równaniem:

$$U(t) = U_0 e^{-t/T}$$

gdzie: $U(t)$ – wartość chwilowa napięcia na kondensatorze po czasie t od rozpoczęcia rozładowania,

U_0 – wartość początkowa napięcia na kondensatorze (w chwili $t = 0$),

t – czas od rozpoczęcia rozładowania,

T – stała czasowa obwodu rozładowania – iloczyn $R \cdot C$, gdzie R – rezystancja miernika, C – pojemność mierzzonego kondensatora.

Z równania tego wynika, że po czasie $t=T$ napięcie $U(t)$ będzie równe około 0,368 U_0 – mierząc zatem czas rozładowania kondensatora od napięcia U_0 do 0,368 U_0 określamy stałą czasową RC , która po podzieleniu przez znaczną wartość R da nam pojemność naszego kondensatora. Technicznie pomiar wygląda w ten sposób, że kon-

Spis elementów

Rezystory (najlepiej MLT 0,5 W lub 0,25 W):

- R_1 – 240 Ω ,
- R_2 – 22 k Ω ,
- R_3 – 2,2 k Ω ,
- R_4 – 1 k Ω ,
- R_5 – 5,6 k Ω ,
- R_6 – 510 Ω .

Kondensatory:

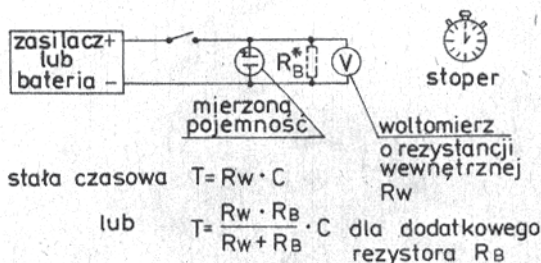
- C_1 – 4,7 nF,
- C_2 – 47 nF,
- C_3 – 47 nF,
- C_4 – 470 $\mu\text{F}/10 \text{ V}$,
- C_5 – 47 $\mu\text{F}/16 \text{ V}$.

Układy scalone:

- US1 – UCY 7400,
- US2–US5 – UCY 7490 lub UCY 7493,
- US6 – UCY 7474,
- US7 – UCY 74121

Potencjometr montażowy P – 4,7 k Ω , przelącznik Pk1 – Isostat 6-sekcyjny, zależny, Pk2 – Isostat 1-sekcyjny.

densator łączymy równolegle z miernikiem (i rezystorem zmniejszającym rezystancję, czyli także stałą czasową – dla czasów rozładowania ponad 20 s) – rys. 6 – dołączamy źródło odpowiedniego napięcia (nie więcej, niż 70% napięcia pracy kondensatora) i w chwili odłączenia włączamy stoper. Potem uwaga na wskazania woltomierza, zatrzymanie stopera i krótkie obliczenia na kalkulatorze. Można mierzyć czas rozładowania do 0,368 U_0 (czas równy stałej czasowej RC) lub do 0,5 U_0 – wtedy równa się on około 0,69 RC . Dla pojemności od 100 μF wzwyż i rezystancji woltomierza powyżej 20 k Ω czasu pomiaru są większe od 2 s, a to już daje dokładność pomiaru 30% zupełnie wystar-



Rys. 6

czającą w przypadku kondensatorów elektrolitycznych. Dla czasów rozładowania powyżej 20 s dołączamy do układu dodatkowy rezystor R_p o takiej wartości, aby jego równoległe połączenie z rezystancją woltomierza dało wartość stałej czasowej z przedziału 5–20 s.

Na zakończenie jeszcze jedna uwaga dotycząca zabezpieczenia elementu 74121 przed uszkodzeniem. Otóż każdorazowo przed dołączeniem do zacisków C_x mierzono kondensatora należy go obowiązko-

wo rozładować, gdyż napięcie na jego okładkach może nieodwracalnie zniszczyć układ monowibratora. Ponadto kondensatory elektrolityczne, które nie były używane przez dłuższy okres należy przed pomiarem uformować przez dołączenie ich do źródła napięcia o wartości równej ich napięciu pracy na czas 10–30 minut – w ten sposób następuje ustabilizowanie się ich parametrów.

Grzegorz Zalot

Tę piękne, drewniane patery na bakalie zostały wykonane na prostej tokarni do drewna. Warunkiem uzyskania tak efektywnych wyrobów jest użycie odpowiedniego, bezzębnego i suchego drewna, ostrych narzędzi i... cierpliwości doświadczonego tokarza – majsterkowicza. (l.p.)

