

# Mikroprocesorowy miernik LC

## Nowy Elektronik 057-K

W praktyce amatorskiej bardzo trudno jest zmierzyć małe wartości pojemności i indukcyjności, z którymi niestety najczęściej mamy do czynienia.

Przedstawiony poniżej miernik umożliwia pomiar pojemności kondensatorów w zakresie od 0.1pF do 1nF oraz indukcyjności cewek i dławików od 0.1μH do ponad 1mH. Pomimo prostoty budowy miernik ma bardzo dobre parametry.

### Zasada pomiaru

Profesjonalne mierniki zasadę swojego działania opierają na pomiarach mostkowych lub różnicowych. Niestety mierniki takie są bardzo trudne do wykonania ze względu na zastosowanie wysokich częstotliwości pomiarowych i skomplikowanych technik pomiaru. Prezentowany poniżej miernik ma odmienną konstrukcję. Wyobraźmy sobie dowolny generator LC, który generuje jakąś określoną częstotliwość. Jeśli do obwodu LC generatora dołączymy element o charakterze indukcyjnym lub pojemnościowym, to generator zmieni swoją częstotliwość o jakąś wartość. Jeśli znamy częstotliwość generatora przed dołączeniem elementu L lub C i po dołączeniu jednego z tych elementów, to posługując się matematyką możemy bardzo precyzyjnie wyznaczyć parametry dołączonego elementu. Istnieje jednak pewien problem - zależność częstotliwości generatora od wartości elementów LC jest niestety nieliniowa, co uniemożliwia bezpośredni pomiar tych wartości. Z tego powodu do niedawna nie można było wykonać takiego miernika. Aby uzyskać wynik w pF lub μH trzeba się trochę naliczyć. Na szczęście teraz zrobi to za nas mikroprocesor. Obecnie zastosowanie techniki mikroprocesorowej powoduje, że miernik jest bardzo prosty w wykonaniu i obsłudze, a jego parametry nie ustępują miernikom profesjonalnym. Algorytm pracy miernika polega na pomiarze i zapamiętaniu częstotliwości pracy generatora przed i po dołączeniu elementu mierzzonego. Jak wcześniej wspomniałem, znając obie częstotliwości i tzw. stałą generatora, można wyliczyć wartość pojemności lub indukcyjności dołączanego elementu. Stała generatora obliczana jest automatycznie podczas procesu kalibracji miernika. Określa ona "podatność" generatora na odstrojenie po dołączeniu elementu reaktancyjnego. Poniżej przedstawione jest wyprowadzenie wzorów, w oparciu o które procesor wykonuje obliczenia. Procedura wyliczenia wykonuje kilkanaście tysięcy rozkazów zanim uzyska wynik. Niektóre pośrednie wyniki obliczeń zajmują obszar aż 8 bajtów. Częstotliwość drgań w rezonansie prądów (równoległy obwód rezonansowy) jest opisana wzorem:

$$f_r = (1 / 2\pi) * \text{Sqr} ((1/LC) - (R_l^2/L^2))$$

Wzór ten jest słuszny, zakładając że składowa rzeczywista reaktancji kondensatora jest bardzo mała, co w praktyce w większości przypadków jest spełnione. Przy założeniu, że rezystancja cewki  $R_l$  jest bardzo mała, wyrażenie  $R_l^2/L^2$  dąży do zera, ponieważ licznik ułamka dąży do zera, a to z kolei umożliwia uproszczenie wzoru do postaci:

$$f_r = 1/(2\pi * \text{Sqr}(LC))$$

i wykorzystanie go w naszym mierniku LC.

### Opis działania

Nasz miernik składa się z dwóch prawie identycznych generatorów i inteligentnego częstotliwościomierza. Generatory pracują w układzie Seilera, gdyż jest to jeden ze stabilniejszych układów generacyjnych. Wartości elementów zastosowanych w generatorach nie są krytyczne, jednak elementy te muszą być stabilne termicznie i długoterminowo. Jako cewki L1 i L2 można zastosować typowe dławiki w obudowach identycznych jak rezystory 0.125W. Napięcie mierzone oscyloskopem na emiterach tranzystorów w generatorach, powinno mieć wartość co najmniej 3.5Vp-p. Za jego poziom odpowiedzialne są elementy R1, C1, C2, C3 oraz odpowiadające im elementy drugiego generatora. Generatory wytwarzają przebieg mało przypominający sinusoidę lub prostokąt. Aby poprawić jego "wygląd", zastosowano dzielnik przez dwa, wykonany na dwóch przetrzutnikach typu D. Na wyjściach Q otrzymujemy elegancki prostokąt o wypełnieniu 1:1. Jeśli procesor wystawi poziom H na wyprowadzeniu 14, to do wejścia T1 zostanie doprowadzony sygnał z generatora toru pomiaru indukcyjności. Tranzystor T3 wyłącza zasilanie generatora pomiaru pojemności podczas pomiaru indukcyjności, jeśli wystąpi zjawisko zdudnienia generatorów.

W układzie US4 przechowywane są współczynniki kalibracyjne i nawet po wyłączeniu zasilania dane te nie są tracone. Jako wyświetlacz LCD zastosowano typowy wyświetlacz

o organizacji 2\*16 znaków z pojedynczym napięciem zasilania.

### Montaż i uruchomienie

Montaż jest prosty i nie wymaga długiego komentarza. Należy zwrócić uwagę, aby elementy generatora były zamontowane w sposób stabilny, a cewki były zamontowane ponad płytką w odległości około 8mm. Wartości elementów LC w generatorze nie są krytyczne i mogą ulec nawet dużej zmianie, w zależności od zastosowanych cewek. Tak więc należy je traktować tylko orientacyjnie. Istotne jest, aby elementy generatora były stabilne termicznie. Każdy miernik posiada jakieś zaciski pomiarowe. Z praktyki wiadomo, że gniazda "bananowe" nie są dobrym rozwiązaniem w przypadku miernika LC. Proponuję zastosować brzydkie, ale skuteczne rozwiązanie tego problemu. Zamiast montować gniazda, wyprowadzamy z miernika gotowe przewody pomiarowe. I tak dla pomiaru indukcyjności proponuję zastosować dwa przewody w izolacji, zakończone małymi "krokodylkami". Przewody nie powinny być zbyt długie (około 15cm) oraz zbyt cienkie. Dla pomiaru pojemności proponuję zastosować odcinek 15-20 cm przewodu ekranowanego, również zakończonego "krokodylkami". Ważne jest, aby ekran przewodu był gęsty, wymagania te spełnia np. RG58CU. Oczywiście ekran kabla łączymy do masy miernika. Zastosowanie kabla ekranowanego ochroni nas przed wpływem środowiska zewnętrznego na wyniki pomiarów pojemności.

Do sterowania miernikiem wykorzystywane są tylko trzy przyciski. Miernik został tak oprogramowany, że w dolnej linii wyświetlacza wyświetlają się podpisy do klawiatury, a w górnej linii dane. Przycisk S1 montujemy pod wyświetlaczem z lewej strony, S2 pod wyświetlaczem na środku, a S3 pod wyświetlaczem z prawej strony. Po sprawdzeniu jakości montażu można przystąpić do uruchomienia. Podłączamy zasilanie 9V. Na wyświetlaczu powinny pojawić się napisy powitalne. Pobór prądu całego miernika nie powinien przekraczać 35mA. Jeśli pojawi się napis: "błąd pamięci eeprom", to trzeba sprawdzić jakość połączeń. Jeśli wszystko jest w porządku i miernik reaguje na naciśnięcie przycisków, możemy przystąpić do uruchomienia generatorów pomiarowych. Wyłączamy zasilanie, naciskamy S1 i trzymając go włączamy ponownie zasilanie. Po chwili powinna zostać wyświetlona częstotliwość generatora toru pomiarowego Cx. Wartość tej częstotliwości nie jest specjalnie istotna, ale nie może być większa niż 60.000, ani mniejsza niż 30.000. Najważniejsze jest - aby była stabilna. Jeśli wszystko jest w porządku, to podłączamy do zacisków wejściowych kondensator o pojemności około 1.2 nF. Wskazywana częstotliwość spadnie i powinna nadal być stabilna. Jeśli wynosi zero lub jest niestabilna, trzeba zwiększyć wartość pojemności C3. Jeśli zmienimy wartość C3, to ponownie odłączamy dołączone do wejścia kondensator i odczytujemy wartość częstotliwości. Jeśli nie mieści się w zadanych granicach, należy zmienić wartość C4, a gdy to nie przyniesie zadowalającego efektu, trzeba zamienić cewkę na inną i powtórzyć całą operację od początku.

Po uruchomieniu generatora pomiarowego toru Cx, przystępujemy do uruchomienia generatora toru Lx. Odłączamy zasilanie, naciskamy S2 i ponownie załączamy zasilanie. Po chwili powinna ukazać się częstotliwość generatora toru Lx. Zwieramy zaciski wejściowe Lx, wskazania powinny zawierać się pomiędzy 60.000, a 30.000. Jeśli są inne, korygujemy wartość C7 lub L2. Jeśli jest OK, to podłączamy do wejścia cewkę o indukcyjności około 1.2mH. Wskazywana częstotliwość spadnie. Jeśli będzie równa zero lub będzie niestabilna, trzeba zwiększyć wartość C8. Warunkiem przejścia do dalszego uruchomienia i kalibracji jest uzyskanie stabilnej pracy obu generatorów. Jeśli generator lub generatory pracują niestabilnie, to tak długo trzeba wymieniać elementy na inne, aż uzyskamy zadowalający efekt. Przyczyną niestabilnej pracy może być również zbyt małe wzmocnienie prądowe tranzystorów (parametr h21e), dlatego trzeba stosować tranzystory z klasą C.

### Kalibracja miernika

Oczywiste jest to, że kalibrację miernika będziemy wykonywać z wykorzystaniem wykonanych przewodów pomiarowych. Ich wpływ na późniejsze pomiary zostanie skompensowany podczas procesu kalibracji miernika. Jeśli wszystko jest w porządku, to restartujemy mikroprocesor poprzez wyłączenie i ponowne włączenie miernika. Teraz trzeba odczekać około 15 minut na ustabilizowanie termiczne pracy generatorów. Po upływie powyższego czasu naciskamy przycisk zerowania (S2), następnie kalibracji (S1), potem zgodnie z

Rys. 1 Schemat miernika LC

Spis elementów 057-K

Rezystory:

- R1 - 680\*
- R2 - 39k
- R3 - 33k
- R4 - 33k
- R5 - 39k
- R6 - 680\*
- R7 - 10k
- R8 - 4,7k
- R9 - 300

Kondensatory:

- C1 - 2,2nF
- C2 - 2,2nF
- C3 - 470pF\*
- C4 - 56pF\*
- C5 - 220nF
- C6 - 220nF
- C7 - 100pF\*
- C8 - 220pF\*
- C9 - 2,2nF
- C10 - 2,2nF
- C11 - 33pF
- C12 - 33pF
- C13 - 4,7μF/50V
- C14 - 220nF
- C15 - 220nF
- C16 - 47μF/16V
- C17 - 47μF/16V
- C18 - 220nF
- C19 - 220nF

Cewki:

- L1 - 150μF
- L2 - 150μF

Półprzewodniki:

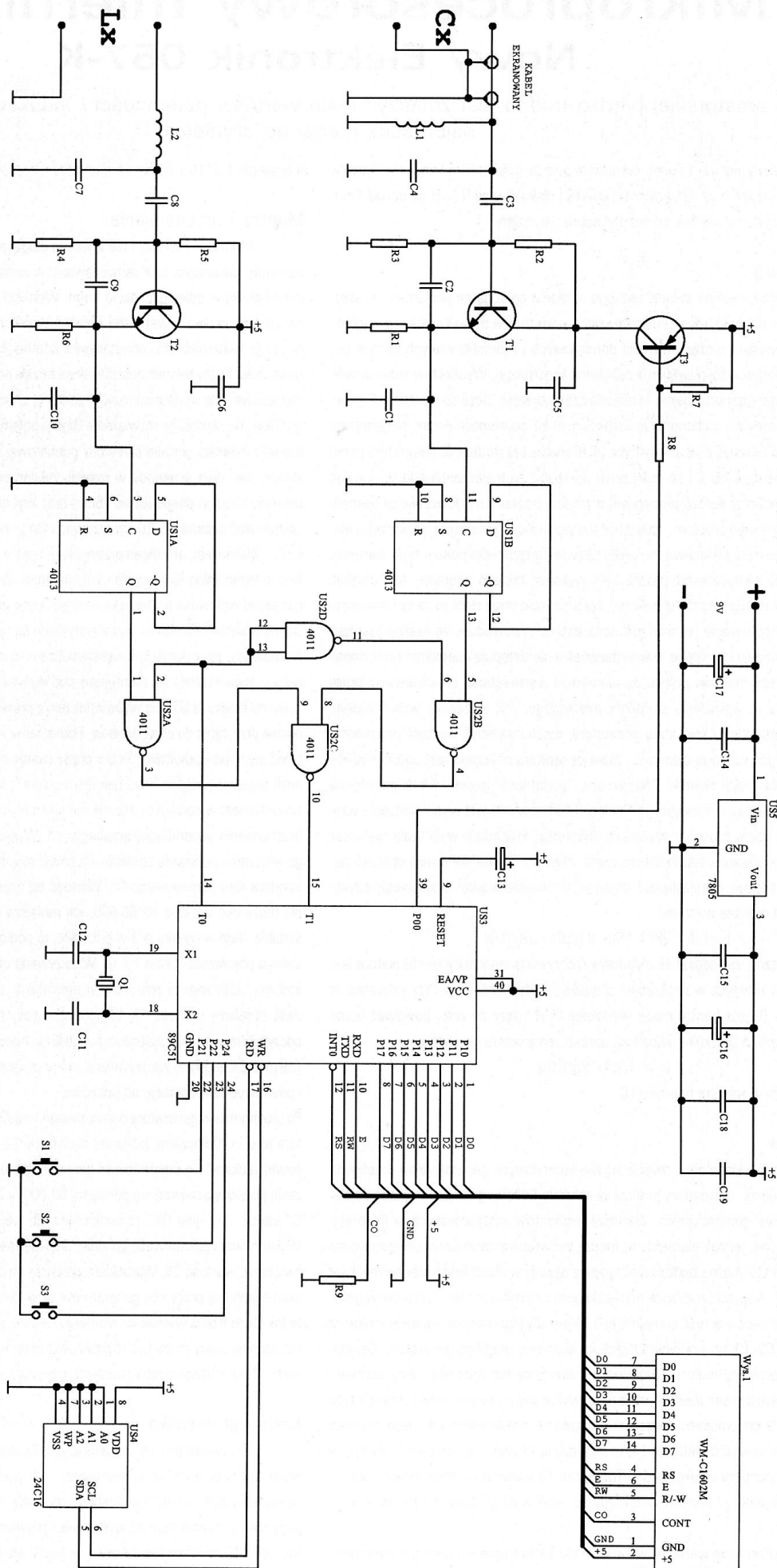
- T1 - BC547B
- T2 - BC547B
- T3 - BC557

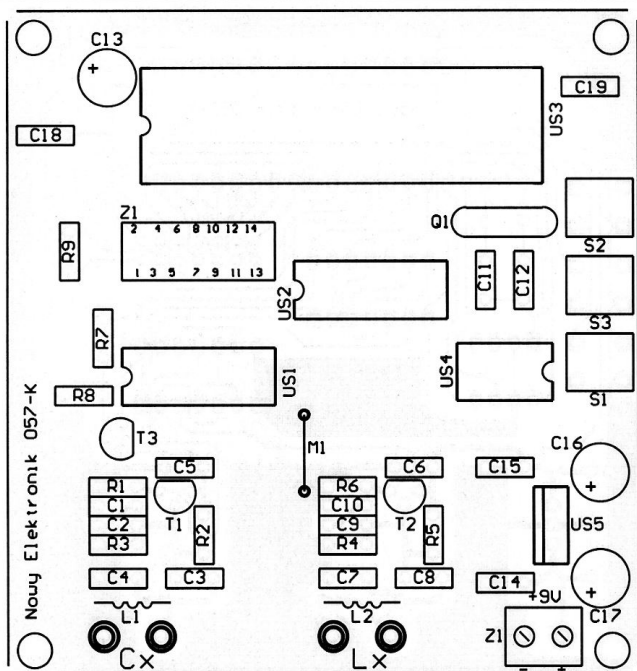
Układy scalone:

- US1 - 4013 lub odpowiednik
- US2 - 4011 lub odpowiednik
- US3 - 89C51
- US4 - 24C16 lub odpowiednik
- US5 - 7805

Inne:

- S1-S3 - 3 szt
- Wys.1 - WM-C1602M
- Q1 - 12MHz
- Z1 - ARK2
- Z2 - BH-14S
- Z3 - IDC-14
- Taśma 14 żył - 10cm
- DIL40 - podstawka
- Płytkka - 057-K (88mm x 84mm)





Rys. 2 Rozmieszczenie elementów na płycie drukowanej

Uwaga!!!

Na płycie drukowanej błędnie został zaznaczony stabilizator US5. Poprawne oznaczenie zostało zamieszczone na rys.2

prośbą dołączamy kondensator wzorcowy i ponownie naciskamy przycisk S1, oznaczony jako "Dalej". Za pośrednictwem S2 (-) i S3 (+) ustawiamy wskazania zgodne ze wzorcem. Następnie naciskamy S1 i na pytanie, czy zapisać kalibrację - odpowiadamy "tak" poprzez naciśnięcie S3. Tor pomiaru pojemności mamy już skalibrowany.

Teraz przystępujemy do kalibracji toru indukcyjności. Naciskamy S3, aby wejść w tryb pomiaru indukcyjności, potem S1, zwieramy wejście i znów naciskamy S1. Podłączamy wzorzec indukcyjności i ponownie naciskamy S1. Pozostałe czynności wykonujemy identycznie jak w przypadku kalibracji toru pomiaru pojemności.

Jeszcze kilka uwag: dla zwiększenia dokładności miernika, jako pojemność wzorcową należy zastosować kondensator z przedziału 470pF do 1nF. Natomiast indukcyjność wzorcowa nie powinna być większa niż 470μH, aby nie mieć kłopotów z pojemnościami międzyzwojowymi i z zafalszowaniem wyniku pomiaru. Elementy wzorcowe warto zachować do okresowego sprawdzenia i kalibracji miernika.

A teraz ważna informacja, jeśli podłączymy do miernika kondensator 100pF i naciśniemy klawisz zerowania (S2) i dołączymy drugi kondensator np. o pojemności 220pF, to miernik na pewno nie wskaże poprawnej wartości 220pF. Trzeba zdać sobie sprawę, że przycisk zerowania służy do kompensacji dryftu termicznego miernika, a nie do pomiarów różnicowych. Powyższy fakt dotyczy się również pomiaru indukcyjności.

A teraz dwie dobre wiadomości, pierwsza: jeżeli przy kalibracji naciśniemy (+) lub (-) i przytrzymamy ponad 1 sekundę, to miernik nas trochę odciąży i sam będzie zmieniał wartość wzorcową w zadanym kierunku. A druga jest taka, że możemy mierzyć zmiany pojemności symetrycznych diód pojemnościowych w funkcji wielkości napięcia wstecznego Ur. Oczywiście napięcie Ur trzeba podłączać przez rezystor co najmniej 100k.

A teraz trochę o błędach pomiaru i świadomości ich występowania. Jeśli chodzi o pomiar pojemności, to w zasadzie nie ma niespodzianek w interesującym nas zakresie pomiarowym. Jednak należy pamiętać o tym, że dołączenie nawet krótkiego kawałka przewodu spowoduje dodanie do wyniku kilku pikofaradów, co łatwo sprawdzić w praktyce. Znacznie gorzej wygląda sprawa z pomiarem indukcyjności powyżej 100μH. Cewki o większej indukcyjności mogą mieć duże pojemności międzyzwojowe, co wprowadza dodatkowy błąd pomiarowy objawiający się zawyżaniem wyniku pomiaru. Również rezystancja cewki wpływa na wynik pomiaru, powodując tym razem zaniżenie wskazań. Jedno jest pewne, nie tylko nasz miernik widzi pojemności i rezystancje pasożytnicze, ale również generatory i filtry, w których zamontujemy zmierzone cewki. Dlatego przy korzystaniu z miernika trzeba zdawać sobie sprawę z tego, co mierzymy i nie patrzeć bezkrytycznie na wyniki pomiarów. Na koniec informacja, jeśli miernik wyświetli napis, że Cx lub Lx jest poza zakresem to oznacza to, że generator zerwał drgania na skutek podłączenia wadliwego elementu lub elementu o zbyt dużej reaktancji. Miernik poprzez swoją konstrukcję jest dosyć dobrze zabezpieczony przed uszkodzeniami, ale nie radzę podłączać "twardych" źródeł napięcia do jego wejścia Cx, gdyż on tego bardzo nie lubi.