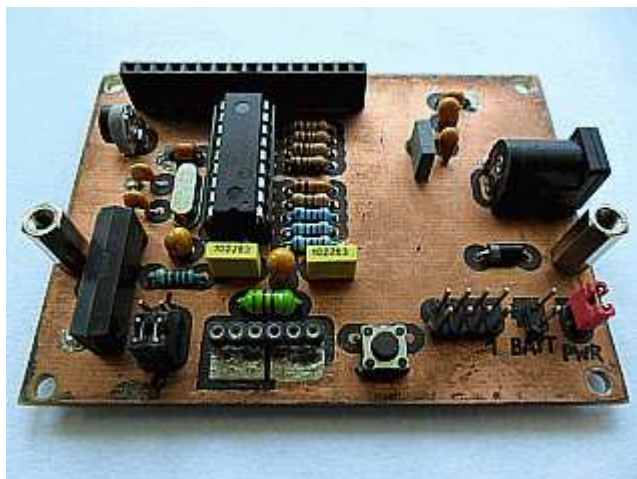


PICmet 1.02

© 2018 by RomanWorkshop

<http://romanworkshop.blutu.pl/>

Miernik pojemności/indukcyjności



Jest to moja wersja tego dość znanego miernika LC, wykonana na podstawie artykułu opublikowanego w angielskim piśmie "Everyday Practical Electronics" 3/2010 (strona 10, autor Jim Rowe). Miernik umożliwia pomiar pojemności do 800nF (maksymalna rozdzielczość 0.1pF) oraz indukcyjności do 80mH (maksymalna rozdzielczość 0.01uH). Bez kalibracji miernik jest tylko testerem, który pozwala wykryć uszkodzenie i oszacować wartość badanego elementu (szereg znamionowy). Po skalibrowaniu wskazań dokładność miernika jest wystarczająca do amatorskich zastosowań. Jednak nie można tu mówić o dużej dokładności pomiarów rzędu 1-2%, co często jest podawane w opisach podobnych konstrukcji. Dodatkowo pod koniec

zakresów pomiarowych, pojawiają się największe błędy wskazań.

Wszystkie informacje są prezentowane na wyświetlaczu LCD 2x16 znaków (używana jest tylko górna jego linia). Przełącznikiem S3 wybiera się pomiar pojemności lub indukcyjności, a zakresy mierzonej wielkości zmieniają się automatycznie. Przycisk (mikrostryk) S2 (ZERO) służy do zerowania pojemności/indukcyjności montażowej miernika. Zworki J1/J2 pozwalają na wyświetlenie częstotliwości F2/F1 z generatora pomiarowego, a J3/J4 umożliwiają kalibrację wskazywanych przez miernik wartości pojemności/indukcyjności. Pomiar badanego elementu jest szybki i trwa ok. 1s.

Sercem miernika jest mikrokontroler PIC16F628(A) z wbudowanym komparatorem analogowym. Zasada pomiaru jest bardzo prosta. Na komparatorze analogowym jest zbudowany generator pomiarowy objęty dodatnim sprzężeniem zwrotnym, który pracuje w szerokim zakresie częstotliwości (od kilkunastu do ok. 580 kHz). Po włączeniu/wyzerowaniu miernika na zakresie pojemności, mikrokontroler przez ok. 1s wykonuje wstępne pomiary/obliczenia. Wtedy na wyświetlaczu LCD pojawia się napis "Calibrating" (rys. 1). Najpierw mierzy częstotliwość F1, gdy do generatora są dołączone elementy L1 i C10. Następnie przekaźnik K1 dodatkowo łączy kondensator kalibracyjny C11 (jego domyślna wartość $C_{cal} = 1.000nF$ jest zapisana w pamięci EEPROM) i mierzona jest częstotliwość F2, gdy do generatora są dołączone elementy L1 i C10+C11. Na podstawie częstotliwości F1/F2 oraz pojemności kondensatora C11 (C_{cal}), mikrokontroler przy użyciu 24-bitowych zmiennoprzecinkowych procedur matematycznych, oblicza wartość kondensatora C10 i cewki L1. Następnie kondensator C11 jest ponownie odłączany od generatora.

Teraz w zależności od położenia przełącznika S3 można już mierzyć nieznane cewki/kondensatory, podłączając je do punktów pomiarowych w złączu CON3. Kiedy S3 jest ustawiony na zakres pojemności, badany kondensator C_x jest dołączany równolegle do kondensatora C10. Natomiast, gdy przełącznik S3 jest ustawiony na zakres indukcyjności, badana cewka L_x jest dołączana szeregowo z cewką L1. Po dołączeniu badanego elementu C_x/L_x , zmienia się częstotliwość wyjściowa generatora pomiarowego z F1 na F3, która również jest mierzona. Na podstawie zmierzonych częstotliwości F1/F3 oraz obliczonych wcześniej wartości elementów C10/L1, mikrokontroler oblicza i wyświetla nieznaną wartość C_x/L_x . Częstotliwość F2/F3 jest zawsze niższa od częstotliwości F1.

W archiwum z projektem znajduje się wsad (HEX) z poprawioną przeze mnie wersją oprogramowania sterującego. W programie opracowanym przez autora wspomnianego artykułu, dokonałem następujących modyfikacji:

Zmieniłem ustawienia mikrokontrolera (Config Word) z CP:OFF/CPD:OFF/LVP:OFF/BOREN:ON/MCLR:ON/FOSC:HS/PWRTE:ON/WDTE:OFF (\$3F62) na CP:OFF/CPD:OFF/LVP:OFF/BOREN:OFF/MCLR:ON/FOSC:XT/PWRTE:ON/WDTE:OFF (\$3F21).

Dodałem kilka komunikatów i przeniósłem je z pamięci EEPROM (nie mieściły się w 128 bajtach) do pamięci FLASH mikrokontrolera (jako instrukcje RETLW). Teraz w pamięci EEPROM są zapisane tylko 2 bajty z war-

tością kalibracyjną (domyślnie $C_{cal} = 1000.0pF = 10000 = \2710), korygującą odczyt pojemności/indukcyjności.

Po zwarceniu zworki J1/J2 była wyświetlana częstotliwość $F2/F1$ z generatora pomiarowego w formacie "000xxxxx". Teraz jest to format "000xxxxx0 Hz" (rzeczywista wartość częstotliwości).

Jeśli częstotliwość $F1/F2$ z generatora pomiarowego była wyższa niż 655359 Hz, pojawiał się napis "Over Range". Teraz jest to napis " $F1/F2 > MAX$ ".

Jeśli częstotliwość $F3$ z generatora pomiarowego była niższa niż 2560 Hz lub wyższa niż 655359 Hz, pojawiał się napis "Over Range". Teraz jest to napis, odpowiednio: "Connect L" i " $F3 > MAX$ ".

Aby nie wykonywać częstego zerowania pojemności montażowej miernika, elementy w obwodzie rezonansowym L1 i C10/C11 powinny być jak najbardziej stabilne temperaturowo. Nie jest ważna dokładna wartość ich pojemności/indukcyjności, ale właśnie stabilność tych wielkości. Dlatego najlepiej użyć elementów o niższej tolerancji (np. 1%), bo są one wykonane z wyższej jakości materiałów, które zapewniają nie tylko wartości bardziej zbliżone do nominalnych, ale również ich większą stabilność temperaturową/czasową.

Cewka L1 powinna mieć jak najmniejszą rezystancję i jak największą dobroć Q. Płytkę jest przystosowana do użycia dławików o rozstawie wyprowadzeń 7.62 i 10.16 mm (teoretycznie im większy tym lepszy). Kondensatory C10/C11 najlepiej, aby były foliowe: styrofleksowe/polistyrenowe (KS/KSF) lub poliestrowe (MKT/MKSE), absolutnie nie ceramiczne. Idealnym rozwiązaniem byłoby nawinięcie cewki L1 na miniaturowym, ferrytowym rdzeniu kubkowym ze szczeliną, o niskiej stałej indukcyjnej AL (250-400). Taka cewka ma stabilność temperaturową rzędu +100ppm/C oraz dość wysoką dobroć Q. Dodatkowo użycie styrofleksowych kondensatorów C10/C11, które zwykle mają ujemny współczynnik temperaturowy rzędu -110ppm/C, spowoduje uzyskanie skompensowanego termicznie obwodu rezonansowego.

Kondensatory C6/C7 w obwodzie generatora pomiarowego powinny być tantalowe (najlepiej nowe), bo mają niską rezystancję szeregową (ESR) i indukcyjność. Rezystory R3-R6 w obwodzie generatora pomiarowego powinny mieć tolerancję 1% lub lepszą. Rezonator kwarcowy również powinien być stabilny temperaturowo (zmiana częstotliwości taktowania o 1%, skutkuje zmianą wyświetlanej wartości indukcyjności o 2%). Kondensatory C8/C9 o wartości 33pF wymuszają dłuższy czas startu oscylatora taktującego mikrokontroler, ale zapewniają większą stabilność generowanej częstotliwości.

Przełącznik kontaktronowy K1 to SIL05-1A72-71D typu SPST-NO z wbudowaną diodą (zamiennik R1-D1A0500) lub SIL05-1A72-71L bez diody - wtedy trzeba wlutować dodatkowo diodę D2 (1N41-48). Dioda zabezpiecza mikrokontroler przed szpilkami wysokiego napięcia, które powstają podczas wyłączania przełącznika. Do zmiany zakresów zamiast przełącznika S3, użyłem męskiego złącza goldpin 3x2 oraz dwóch zworek (np. ze starej płyty głównej).

Po wlutowaniu wszystkich elementów w typowej kolejności, programujemy mikrokontroler poza płytką miernika, ponieważ nie udało mi się pomieścić na niej złącza ICSP (In-Circuit Serial Programming) do programowania w systemie. Napięcie programowania VPP dla mikrokontrolera PIC16F628(A) wynosi 12.75-13.25V (maksymalnie 14V). Przy wyłączonym napięciu zasilania wkładamy zaprogramowany mikrokontroler w podstawkę, która jest odwrócona o 180 stopni (do góry nogami). Następnie włączamy zasilanie i potencjometrem P1 ustawiamy odpowiedni kontrast na wyświetlaczu LCD tak, aby znaki były dobrze widoczne. Kolejnym krokiem jest wyzerowanie i przeprowadzenie kalibracji miernika, która polega na ustawieniu identycznych wskazań z pomiaru kondensatora 10nF/cewki 10mH na fabrycznym multimetrze. Po kalibracji wartość korygująca wskazania miernika (C_{cal}), zostanie zapisana w pamięci EEPROM mikrokontrolera. Natomiast w dalszym ciągu konieczne będzie zerowanie miernika przyciskiem S2, gdy jego pojemność montażowa będzie różna od 0.

Miernik można zasiląć napięciem stałym $DC=7-12V$ z zasilacza lub z baterii/akumulatorów, ale nie z tych dwóch źródeł jednocześnie. Dioda D1 zabezpiecza miernik przed odwrotnym podłączeniem napięcia zasilania (występuje na niej spadek 300mV przy prądzie do 100mA). Modelowy miernik z niebieskim wyświetlaczem LCD z podświetleniem przy napięciu zasilania $DC=9V$, pobierał prąd od 23.5mA w stanie spoczynku/pomiaru do 32.5mA przy zwartej zworce J1 (bez wyświetlacza LCD było to, odpowiednio: od 7.5 do 16.5mA). Ponieważ użyty stabilizator U2 jest typu LDO (Low Drop-Out), miernik może poprawnie pracować przy minimalnym napięciu zasilania $DC=6.3V$. Jednak bateria 9V

o takim napięciu wyjściowym nie nadaje się do dalszej eksploatacji, gdyż jest zbyt rozładowana i nie zapewnia odpowiedniej wydajności prądowej.

Miernik zmontowałem na płytce dwustronnej o wymiarach 82x60 mm (4 przelotki), wykonanej metodą transferu chemicznego. W rogach płytki znajdują się cztery otwory montażowe o średnicy 3 mm, dzięki którym miernik można przykręcić do obudowy lub zamontować w nich jakieś nóżki w przypadku braku obudowy. Dwa dodatkowe otwory 3 mm na środku płytki służą do przymocowania tulejek dystansowych (wysokość 11-12 mm), do których można przykręcić wyświetlacz LCD. Płytkę jest tak zaprojektowana, aby miernik mógł być używany zarówno po zamontowaniu w obudowie, jak i bez niej. Ponadto na płytce znajdują się pola, które służą do pomiaru elementów SMD (trzeba je pocynować). Miernik można również zmontować na płytce jednostronnej (2 zworki) o takich samych wymiarach, ale bez pól do badania elementów SMD.

Wstępnie gotowy schemat miernika powstał ponad rok temu. Niestety po dłuższej przerwie w pracach zapomniałem i później przeoczyłem, że linie "E" i "RS" wyświetlacza LCD nie są połączone z mikrokontrolerem. Fakt ten zauważyłem dopiero po wykonaniu modelowego miernika, gdy na wyświetlaczu nic się nie pojawiało. Dlatego na zdjęciu dolnej warstwy płytki, widać dwa czerwone kabelki korygujące ten błąd. Oczywiście udostępniony projekt jest już poprawiony.

Spis elementów:

REZYSTORY:

R1 - 10kΩ
R2 - 4.7kΩ
R3-R5 - 100kΩ/1%
R6 - 47kΩ/1%
R7-R10 - 1kΩ

KONDENSATORY:

C1 - 10uF/16V
C2 - 100nF/16V
C3, C4 - 100nF
C5 - 10uF/10V
C6, C7 - 10uF/10V TANTAL
C8, C9 - 33pF
C10, C11 - 1nF (1%) KS/MKT

POTENCJOMETRY:

P1 - 10kΩ (stojący)

CEWKI:

L1 - 100uH (dławik)

REZONATORY:

X1 - kwarcowy 4 MHz (niski)

UKŁADY SCALONE:

U1 - PIC16F628(A)
U2 - LM1117-5.0

DIODY:

D1 - 1N5817
D2 - 1N4148 (opcjonalna w zależności od przekątnika)

PRZEKAŹNIKI:

K1 - SIL05-1A72-71D (SPST-NO) z wbudowaną diodą
lub SIL05-1A72-71L bez diody (montować D2).

PRZEŁĄCZNIKI:

S1 - 2 pozycje, 1 sekcja (ON/OFF)
S2 - mikroprzełącznik
S3 - 2 pozycje, 2 sekcje

ZŁĄCZA:

CON1, S1, J1-J4 - goldpin 2x1 (męskie)
CON2 - gniazdo zasilania DC-Jack
CON3 - precyzyjne SIP6 (żeńskie)
CON4 - goldpin 16x1 (żeńskie), wysokość 8-9 mm nad PCB
S3 - goldpin 3x2 (męskie)

INNE:

U1 - podstawka DIP18 zwykła (wąska)
CON4 - wyświetlacz LCD 2x16 znaków z przylutowaną listwą kołkową goldpin 16x1, o wysokości 9 mm nad PCB.
2x tuleja dystansowa z gwintem wewnętrznym M2-M3, wysokość 11-12 mm nad PCB.
4x śruba M2-M3, długość gwintu 4-6 mm

TRYB KALIBRACJI (C11=Ccal):

[1] Podłączone L1 i C10:
$$F1 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L1 \cdot C10}}$$

[2] Podłączone L1 i C10+C11:
$$F2 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L1 \cdot (C10+C11)}}$$

Ze wzorów [1] i [2] obliczamy:

$$C10 = \frac{F2^2}{(F1^2 - F2^2)} \cdot C11 \quad L1 = \frac{1}{4\pi^2 \cdot F1^2 \cdot C10}$$

TRYB POMIARU:

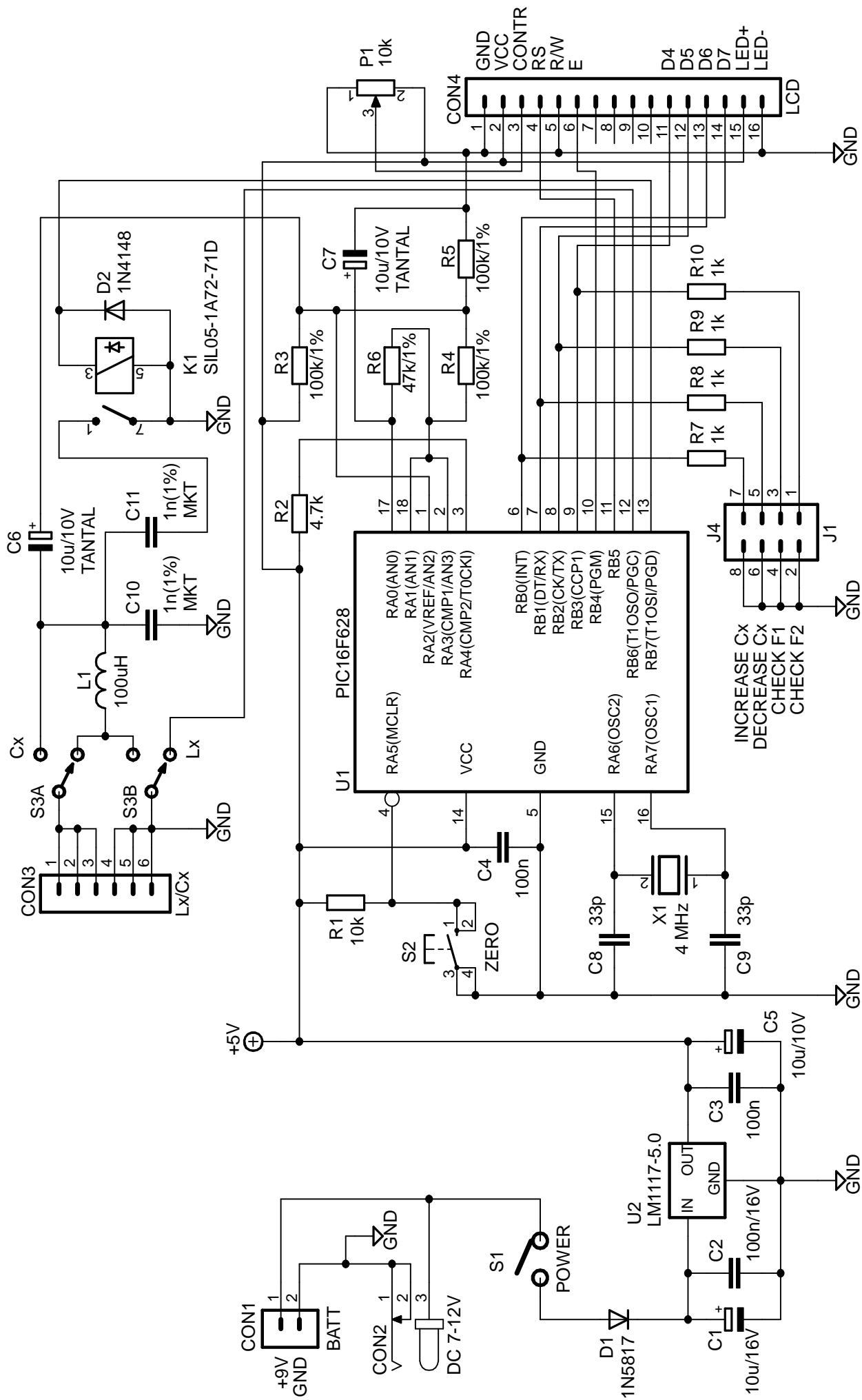
Podłączony kondensator Cx:
$$F3 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L1 \cdot (C10+Cx)}}$$

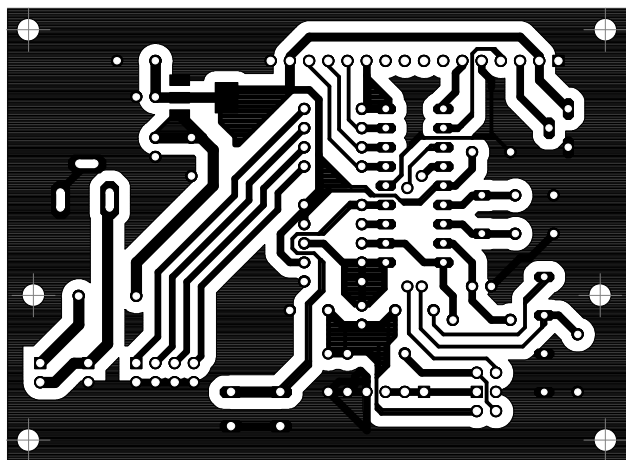
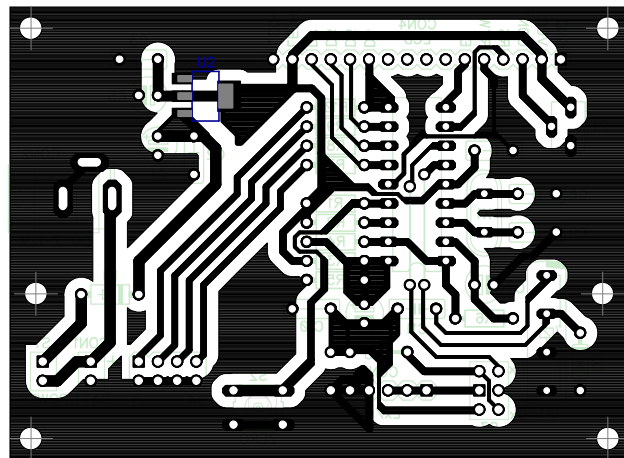
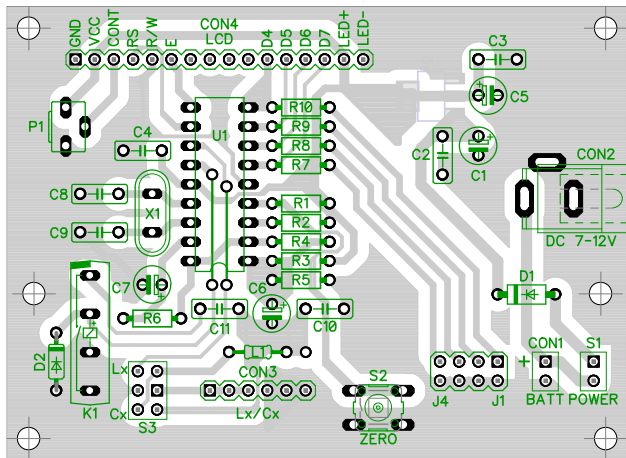
$$Cx = C10 \cdot \left(\frac{F1^2}{F3^2} - 1 \right)$$

Podłączona cewka Lx:
$$F3 = \frac{1}{2\pi\sqrt{(L1+Lx) \cdot C10}}$$

$$Lx = L1 \cdot \left(\frac{F1^2}{F3^2} - 1 \right)$$

Częstotliwości F2 i F3 są zawsze niższe od F1.





Obsługa miernika pojemności/indukcyjności

Wstęp

1. Obsługa i zerowanie miernika
 2. Kalibracja miernika
 3. Odczyt częstotliwości F1/F2 z generatora pomiarowego
 4. Rysunki
 5. Wyniki z pomiarów elementów
-

Wstęp

Poniższy opis powstał na podstawie praktycznych doświadczeń i obserwacji, podczas użytkowania modelowego miernika pojemności/indukcyjności. Wszystkie rysunki z zawartością wyświetlacza LCD zostały wygenerowane programowo, ale pokazują rzeczywiste treści wyświetlane przez modelowy miernik.

1. Obsługa i zerowanie miernika

Miernik należy zawsze włączać/zerować z przełącznikiem S3 ustawionym na zakresie pojemności i z pustymi punktami pomiarowymi (CON3). Tuż po włączeniu miernika na wyświetlaczu widnieje napis "Calibrating" (rys. 1) i przez ok. 1s trwają wstępne pomiary/obliczenia. Następnie pojawia się napis podobny do "C = 4.4 pF" (rys. 2) z wartością pojemności montażowej miernika (poniżej 10pF), która może zmieniać się z czasem (niestabilność temperaturowa L1 i C10/C11). Należy poczekać kilka minut na ustabilizowanie się tej wartości i nacisnąć przycisk S2 (ZERO), co spowoduje wyzerowanie pojemności montażowej w ponownym procesie pomiarów/obliczeń (pojawi się napis "Calibrating"). Zerowanie przez naciśnięcie przycisku S2, powoduje tak naprawdę reset mikrokontrolera i rozpoczęcie wykonywania programu sterującego od początku.

Po wyzerowaniu miernika na wyświetlaczu będzie widniał napis "C = 0.0 pF" (rys. 3). Wartość pojemności montażowej wpływa na wyniki pomiarów pojemności/indukcyjności, więc przed badaniem elementów trzeba ją zawsze wyzerować. Nawet, jeśli pojemność montażowa wynosi 0.0pF od dłuższego czasu, to jej wyzerowanie kompensuje "płynięcie skali" miernika i jest zalecane przed pomiarami.

Teraz można już przystąpić do pomiarów kondensatorów, dołączając je do punktów pomiarowych. Jeśli badany kondensator ma zbyt dużą pojemność (np. 1uF), to zostanie wyświetlony napis "Over Range" (rys. 4). Po ustawieniu przełącznika S3 na zakres indukcyjności ($F3 < 2560$ Hz), pojawi się napis "Connect L" (rys. 5).

Teraz można przystąpić do pomiarów cewek, dołączając je do punktów pomiarowych. Jeśli badana cewka ma zbyt dużą indukcyjność (np. 100mH), to zostanie wyświetlony napis "Over Range" (rys. 4).

Najlepiej badane elementy wtykać w precyzyjne piny punktów pomiarowych złącza CON3 tak, aby nie dotykać ich ręką podczas pomiarów (może to wpływać na wyniki). Dołączanie badanego elementu do różnych pinów punktów pomiarowych, czasem dawało nieznacznie różniące się wyniki. Zdarzało się też, że po obróceniu niektórych cewek i dołączeniu ich do tych samych pinów punktów pomiarowych, uzyskiwałem inne wyniki (różnica do kilkunastu uH).

Istnieje też opcjonalna możliwość wyzerowania indukcyjności montażowej miernika. Po zwarceniu punktów pomiarowych, pojawi się napis podobny do "L = - 0.09 uH" (rys. 6) z wartością indukcyjności montażowej miernika (poniżej 1uH), która może zmieniać się z czasem (niestabilność temperaturowa L1 i C10/C11). Należy poczekać chwilę na ustabilizowanie się tej wartości i nacisnąć przycisk S2 (ZERO), co spowoduje wyzerowanie indukcyjności montażowej w ponownym procesie pomiarów/obliczeń (pojawi się napis "Calibrating"). Po wyzerowaniu miernika na wyświetlaczu będzie widniał napis "L = 0.00 uH" (rys. 7). Niestety po wyzerowaniu indukcyjności montażowej miernika, zmienia się też wartość jego pojemności montażowej na niezerową. W modelowym mierniku z wyzerowaną pojemnością montażową (0.0pF) jego indukcyjność montażowa wynosiła -0.09uH. Po jej wyzerowaniu (0.00uH) wartość pojemności montażowej miernika wzrosła do 1.0pF. Wszystkie pomiary wykonywałem tylko z wyzerowaną pojemnością montażową miernika, nie zwracając uwagi na wartość jego indukcyjności montażowej.

Jeśli na wyświetlaczu pojawi się napis "F3 > MAX" (rys. 8), to oznacza że częstotliwość F3 z generatora pomiarowego jest za wysoka ($F3 > 655359$ Hz).

Jeśli miernik zostanie włączony z przełącznikiem S3 ustawionym na zakresie indukcyjności (z pustymi punktami pomiarowymi), to pojawi się napis "Connect L" (rys. 5) i nie będzie można wykonywać żadnych

pomiarów cewek. Dołączenie cewki spowoduje wyświetlenie napisu "Over Range" (rys. 4). Po przestawieniu przełącznika S3 na zakres pojemności, zostanie wyświetlony napis z wartością kalibracyjną odczytaną z pamięci EEPROM. Dla domyślnej wartości ($C_{cal} = 1000.0\text{pF} = 10000 = \2710), będzie to napis "C = 1.000 nF" (rys. 9). Wartość ta koryguje wskazania pojemności/indukcyjności i można ją zmieniać zworkami J3(-)/J4(+). Po każdej zmianie wartości jest ona od razu zapisywana w pamięci EEPROM mikrokontrolera (podana w nocie katalogowej liczba możliwych zapisów do tej pamięci wynosi 1000000). Dalsze pomiary będą możliwe dopiero po ponownym włączeniu/wyzerowaniu miernika na zakresie pojemności (lub wyzerowaniu miernika na zakresie indukcyjności, przy zwartych punktach pomiarowych).

Jeśli miernik zostanie wyzerowany z przełącznikiem S3 ustawionym na zakresie indukcyjności (z pustymi punktami pomiarowymi), to pojawi się napis "Connect L" (rys. 5) i nie będzie można wykonywać żadnych pomiarów cewek. Dołączenie cewki spowoduje wyświetlenie napisu "L = 0.00 uH" (rys. 7). Po przestawieniu przełącznika S3 na zakres pojemności, pojawi się napis "Over Range" (rys. 4) i nie będzie można wykonywać żadnych pomiarów kondensatorów (dołączenie kondensatora nic nie powoduje). Dalsze pomiary będą możliwe dopiero po ponownym włączeniu/wyzerowaniu miernika na zakresie pojemności (lub wyzerowaniu miernika na zakresie indukcyjności, przy zwartych punktach pomiarowych).

2. Kalibracja miernika

Do przeprowadzenia kalibracji wskazań miernika, będzie potrzeby fabryczny multimetr z pomiarem pojemności/indukcyjności oraz kondensator 10nF/cewka 10mH. Użycie elementów kalibracyjnych o innych wartościach, powodowało uzyskanie mniej dokładnych wyników pomiarów w porównaniu do wyników z fabrycznego multimetru LC Mastech MY6243.

Jeśli posiadamy multimetr z pomiarem pojemności, to mierzymy nim kondensator 10nF (na zakresie z największą rozdzielczością) i zapamiętujemy jego wartość. Teraz zerujemy pojemność montażową miernika i dołączamy do jego punktów pomiarowych (bez dotykania ręką) ten sam kondensator 10nF. Przy użyciu zworek J3/J4 zmniejszamy/zwiększamy wskazywaną przez miernik wartość pojemności, aż uzyskamy identyczne wskazanie, jak na fabrycznym multimetrze. Odłączamy kondensator, miernik jest skalibrowany.

Alternatywnie, jeśli posiadamy multimetr z pomiarem indukcyjności, to mierzymy nim cewkę 10mH (na zakresie z największą rozdzielczością) i zapamiętujemy jej wartość. Teraz zerujemy pojemność montażową miernika, przełączamy go na zakres indukcyjności i dołączamy do jego punktów pomiarowych (bez dotykania ręką) tą samą cewkę 10mH. Przy użyciu zworek J3/J4 zwiększamy/zmniejszamy wskazywaną przez miernik wartość indukcyjności, aż uzyskamy identyczne wskazanie, jak na fabrycznym multimetrze. Odłączamy cewkę, miernik jest skalibrowany.

Podczas każdej zmiany zworkami J3/J4 wskazywanej przez miernik wartości badanego elementu, tak naprawdę jest zmieniana i od razu zapisywana w pamięci EEPROM mikrokontrolera, wartość kalibracyjna (domyślnie $C_{cal} = 1000.0\text{pF} = 10000 = \2710). W założeniu jest to wartość pojemności kondensatora kalibracyjnego C11 (C_{cal}), która ma kluczowy wpływ na wyniki wszystkich pomiarów. W praktyce okazuje się, że nie wystarczy ustawić tej wartości zgodnie z rzeczywistą pojemnością kondensatora C11, aby uzyskać dokładne wyniki pomiarów. Przynajmniej w porównaniu z wynikami, uzyskanymi z fabrycznego multimetru LC Mastech MY-6243, który mierzy elementy ze stałą częstotliwością 900 Hz.

Według noty katalogowej mikrokontrolera, liczba możliwych do wykonania zapisów każdej komórki pamięci EEPROM wynosi 1000000, więc nie ma się co przejmować przekroczeniem tego limitu.

3. Odczyt częstotliwości F1/F2 z generatora pomiarowego

Po zwarceniu zworki J2 na zakresie pojemności (z pustymi punktami pomiarowymi) na wyświetlaczu pojawi się napis, podobny do "000544940 Hz" (rys. 10) z wartością częstotliwości F1 z generatora pomiarowego. Prawidłowa wartość F1 wynosi 420000-580000 Hz. Po dołączeniu kondensatora Cx do punktów pomiarowych można zaobserwować, jak zmienia się częstotliwość F1 na F3 (im większa pojemność Cx, tym mniejsza wartość F3).

Po zwarceniu zworki J2 na zakresie indukcyjności (z pustymi punktami pomiarowymi) na wyświetlaczu pojawi się napis, podobny do "000000010 Hz" (rys. 11) z wartością częstotliwości F1 oscylującą między 0-10 Hz. Po dołączeniu cewki Lx do punktów pomiarowych można zaobserwować, jak zmienia się częstotliwość F1 na F3 (im większa indukcyjność Lx, tym mniejsza wartość F3).

Po zwarceniu zworki J1 na zakresie pojemności (z pustymi punktami pomiarowymi) na wyświetlaczu pojawi się napis, podobny do "000384860 Hz" (rys. 12) z wartością częstotliwości F2 z generatora pomiarowego. Prawi-

dłowa wartość F2 wynosi 298200-411800 Hz (71% F1). Po dołączeniu kondensatora Cx do punktów pomiarowych można zaobserwować, jak zmienia się częstotliwość F2 (im większa pojemność Cx, tym mniejsza wartość F2).

Po zwarceniu zworki J1 na zakresie indukcyjności (z pustymi punktami pomiarowymi) na wyświetlaczu pojawi się napis, podobny do "000000010 Hz" (rys. 11) z wartością częstotliwości F2 oscylującą między 0-10 Hz. Po dołączeniu cewki Lx do punktów pomiarowych można zaobserwować, jak zmienia się częstotliwość F2 (im większa indukcyjność Lx, tym mniejsza wartość F2).

Jeśli po zwarceniu zworki J2/J1 częstotliwość F1/F2 z generatora pomiarowego będzie wyższa niż 655359 Hz, to zamiast jej wartości zostanie wyświetlony napis "F1/F2 > MAX" (rys. 13). Po rozwarciu zworki J1/J2 miernik powróci do normalnego działania.

4. Rysunki



Rysunek 1



Rysunek 2



Rysunek 3



Rysunek 4



Rysunek 5



Rysunek 6



Rysunek 7



Rysunek 8



Rysunek 9



Rysunek 10



Rysunek 11



Rysunek 12



Rysunek 13

5. Wyniki z pomiarów elementów

Poniżej znajduje się porównanie wyników pomiarów elementów Cx/Lx o różnych wartościach, wykonanych fabrycznym multimetrem LC Mastech MY6243 i modelowym miernikiem - skalibrowanym przy użyciu kondensatora 10nF (wartość kalibracyjna Ccal = 973.0pF) oraz zawsze z wyzerowaną pojemnością montażową. Punktem odniesienia są wyniki z multimetru MY6243, w stosunku do których jest podany procentowy błąd pomiaru modelowego miernika. Dokładność multimetru MY6243 na wykorzystanych zakresach: 2/20/200nF (900Hz/150mV) - 1%+1d, 2uF (900Hz/150mV) - 2%+1d, 2/20/200mH (900Hz/150uA) - 2%+1d.

Po obróceniu niektórych cewek i dołączeniu ich do tych samych pinów punktów pomiarowych, uzyskiwałem inne wyniki (różnica do kilkunastu uH). W takim wypadku notowałem najlepszy wynik w stosunku do wskazań multimetru MY6243.

Badana cewka [H]	Mastech MY6243 [H]	Modelowy miernik [H]	Błąd [%]
3.3u	3u	3.96u	+32
10u	10u	9.53u	-4.7
22u	22u	23.24u	+5.64
33u	33u	35.32u	+7.03
47u	49u	46.83u	-4.43
68u	66u	65.19u	-1.23
82u	80u	81.90u	+2.38
100u	100u	102.0u	+2
150u	151u	147.2u	-2.52
220u	211u	218.0u	+3.32
330u	301u	309.9u	+2.96
470u	471u	469.4u	-0.34
560u	510u	489.0u	-4.12
820u	727u	751.3u	+3.34
1m	1.050m	1.023m	-2.57
1.5m	1.531m	1.539m	+0.52
2.2m	2.15m	2.154m	+0.19
4.7m	4.72m	4.644m	-1.61
5.6m	5.19m	5.281m	+1.75
6.8m	6.79m	6.805m	+0.22
8.2m	7.64m	7.613m	-0.35
10m	10.20m	10.20m	0
15m	15.68m	15.41m	-1.72
19m	18.78m	19.29m	+2.72
22m	22.0m	22.24m	+1.09
27m	26.4m	26.70m	+1.14
33m	32.7m	33.21m	+1.56
36m	36.2m	36.97m	+2.13
36m+10m	46.2m	47.49m	+2.79
36m+22m	58.0m	60.09m	+3.6
36m+33m	68.6m	71.51m	+4.24
36m+36m+4.7m	77.1m	80.25m	+4.09
36m+36m+6.8m	79.6m	82.91m	+4.16
36m+36m+10m	82.6m	Over Range	---

Badany kondensator [F]	Mastech MY6243 [F]	Modelowy miernik [F]	Błąd [%]
10p	10p	10.4p	+4
22p	23p	22.9p	-0.43
47p	48p	47.6p	-0.83
68p	68p	67.7p	-0.44
82p	80p	78.8p	-1.5
100p	104p	102.8p	-1.15
220p	222p	219.0p	-1.35
470p	476p	469.6p	-1.34
680p	681p	667.5p	-1.98
820p	808p	792.9p	-1.87
1n	1.052n	1.023n	-2.76
2.2n	2.24n	2.204n	-1.61
4.7n	4.64n	4.592n	-1.03
6.8n	6.77n	6.770n	0
8.2n	8.59n	8.566n	-0.28
10n	10.16n	10.16n	0
22n	22.3n	22.64n	+1.52
47n	45.9n	47.07n	+2.55
68n	68.9n	70.65n	+2.54
82n	81.1n	83.82n	+3.35
100n	112.4n	116.1n	+3.29
220n	0.222u	233.4n	+5.14
470n	0.474u	503.5n	+6.22
680n	0.713u	765.1n	+7.31
680n+47n	0.760u	815.0n	+7.24
680n+68n	0.783u	Over Range	---
680n+100n	0.826u	Over Range	---