



Miernik LC



Przystawka do miernika zasilana napięciem stałym lub zmiennym
Zakresy pomiarowe:

1pF...1nF
1nF...1μF
2,2μH...2mH
100μH...200mH

W Miniankietach nadesłanych przez Czytelników EdW często powtarzają się prośby o projekty przystawek do mierników uniwersalnych (multimetrów). Idea jest jak najbardziej słuszna, bo w ten sposób tanim kosztem można zrealizować różne przydatne przyrządy pomiarowe.

Redakcja sukcesywnie realizuje takie prośby. W niniejszym artykule opisany jest przydatny przyrząd tego rodzaju - przystawka do pomiaru pojemności i indukcyjności. Współpracuje ona z dowolnym, nawet najprostszym cyfrowym multimetrem, a konkretnie woltomierzem.

Odczytana na mierniku wartość w miliwoltach odpowiada, zależnie od zakresu, pojemności w piko- lub nanofaradach albo indukcyjności w mikrohenrach.

Dodatkowy zakres pomiaru indukcyjności pozwala na pomiary w zakresie do 200mH.

Zasada działania

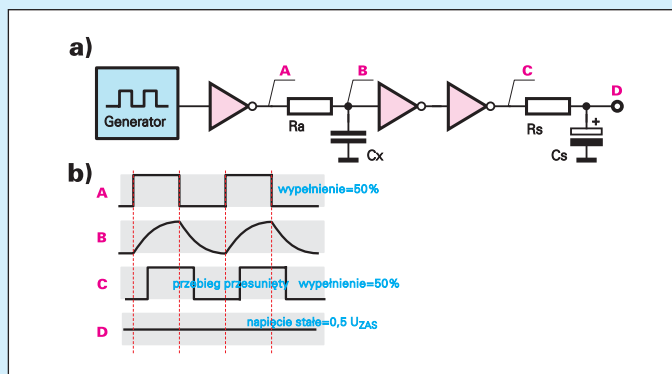
Przystawka ma dwa zupełnie oddzielne toru pomiarowe pojemności i indukcyjności. Dodatkowo dwa zakresy pojemności realizowane są w nietypowy sposób.

Aby poznać zasadę działania należy przeanalizować zachowanie układu z **rysunku 1**. Przebieg prostokątny o wypełnieniu dokładnie równym 50% podawany jest na obwód całkujący RC i dalej na dwie bramki (inwer-

tery). Po przejściu przez inwertery przebieg w punkcie C jest opóźniony, ale nadal ma wypełnienie 50%, więc po uśrednieniu w filtrze dolnoprzepustowym, na wyjściu D wystąpi napięcie stałe dokładnie równe połowie napięcia zasilania. Zmiana wartości Cx będzie wprowadzić zmianę opóźnienia przebiegu w punkcie C, jednak napięcie stałe na wyjściu D cały czas będzie równe połowie napięcia zasilania.

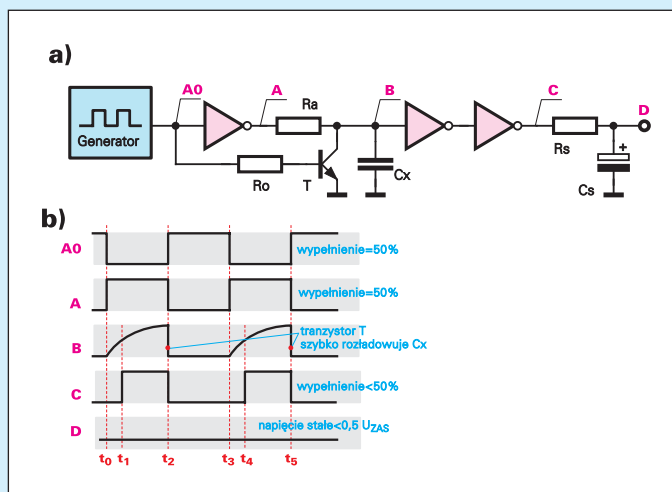
Jeśli układ zmodyfikujemy według **rysunku 2a**, dodając tranzystor T, otrzymamy miernik pojemności. Jeśli w punkcie A pojawi się stan wysoki (chwila t_0 na **rysunku 2b**), napięcie na kondensatorze Cx zacznie rosnąć z szybkością zależną od stałej czasowej $RaCx$. Gdy w punkcie A napięcie gwałtownie opadnie, tranzystor T zostanie otwarty i bardzo szybko rozładuje kondensator

Cx. Przebieg z kondensatora Cx jest podawany na wejście bramki (inwertera), więc w punkcie C pojawi się przebieg prostokątny



Rys. 1

Rys. 2



o wypełnieniu różnym od 50%. Czym większa pojemność C_x , tym bardziej wypełnienie przebiegu będzie różnić się od 50%. Tym samym zwiększenie pojemności C_x będzie powodować zmniejszanie napięcia w punkcie D poniżej połowy napięcia zasilania.

Wystarczyłoby zastosować dodatkowy dzielnik R_x , R_x , by napięcie między punktami D, M było wprost proporcjonalne do mierzonej pojemności C_x .

W proponowanym układzie zastosowano lepsze rozwiązanie. Zamiast dzielnika R_x , R_x zastosowano drugi, podobny tor pomiarowy. Dołączony miernik (woltmierz) mierzy różnicę napięć na wyjściach obu torów. Ideę pokazuje **rysunek 3**. Gdy pojemności mierzone C_x w obu torach są równe zero, na obu wyjściach napięcia są równe połowie napięcia zasilania. Dołączenie jednego kondensatora C_x spowoduje pojawienie się różnicy napięć wyjściowych, a wskazywane napięcie będzie proporcjonalne do mierzonej pojemności. Oczywiście przy takiej zasadzie pracy, podczas pomiaru kondensator powinien być dołączony tylko do jednego z torów.

W proponowanym układzie wartości rezystorów R_a w obu torach różnią się 1000-krotnie, dzięki czemu w prosty sposób uzyskuje się dwa zakresy pomiarowe. Pierwszy mierzy pojemności małe (1pF...1nF) z rozdzielczością 1pF, drugi większe (1nF...1μF) z rozdzielczością 1nF.

Przy pomiarze małych pojemności trzeba uwzględnić pojemności montażowe, wynoszące zwykle kilka do kilkunastu pikofaradów. Pojemności montażowe, nawet bez obecności

kondensatora C_x powodowałyby zmianę współczynnika wypełnienia na wyjściu toru i błędne wskazanie w obu torach.

Pojemności montażowe mogą być różne, dlatego w torze pomiaru małych pojemności dodano obwód kompensujący. Pokazuje to **rysunek 4a**. Potencjometr P_1 trzeba tak ustawić, by obwód P_1C_k dawał takie same opóźnienie jak obwód R_aC_{mont} . Wtedy, jak pokazuje w przesadnie dużej skali **rysunek 4b**, przebieg na wyjściu drugiego inwertera będzie wprowadził dodatkowo opóźniony, ale współczynnik wypełnienia pozostanie równy 50%.

Zasadę pomiaru indukcyjności ilustruje w uproszczeniu **rysunek 5**. Impuls prostokątny podany na szeregowy obwód RL spowoduje wystąpienie na indukcyjności napięcia samoindukcji.

można tu zidentyfikować wszystkie omówione wcześniej bloki pomiarowe.

Blok pomiaru pojemności zrealizowany jest z układem U_1 . Małe pojemności (1pF...1nF) należy dołączać do punktów A1, A2, większe (1nF...1μF) do punktów B1, B2. Woltmierz pokazujący zmierzoną pojemność dołączany jest do punktów C, D.

Potencjometr PR_1 umożliwia kalibrację zakresu 1pF...1nF. Dodatkowy potencjometr PR_2 pozwoli wyeliminować wpływ pojemności montażowych na tym zakresie.

Potencjometr PR_3 pozwala skalibrować zakres 1nF...1μF.

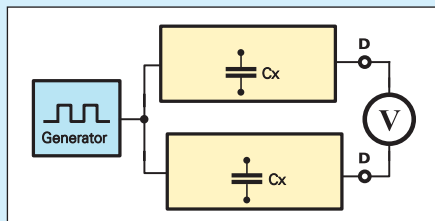
Na układzie U_2 zrealizowany jest miernik indukcyjności. Przebieg z generatora U_{2A} podawany jest na bufory U_{2B} , U_{2C} , U_{2E} , U_{2F} , które zapewniają dużą wydajność prądową.

Co prawda przy wartości R_{13} równej 220Ω ta duża wydajność nie jest wykorzystywana, jednak przyda się, jeśli ktoś z istotnych powodów chciał zmniejszyć wartość R_{13} . Rezystor R_{14} ogranicza prąd podczas przepięć, gdy napięcie na cewce wykracza poza dodatnie napięcie zasilające (patrz **rysunek 5b**).

Potencjometr PR_4 reguluje częstotliwość generatora i pozwala w prosty sposób skalibrować przyrząd na zakresie 2μH...2mH. Zmiana zakresu pomiarowego dokonywana jest przez zmianę częstotliwości generatora. Kondensatory C_8 , C_9 , dołączone za pomocą przycisku S obniżają częstotliwość 100-krotnie, a tym samym zwiększają zakres pomiarowy do około 200mH. 1mV napięcia wyjściowego odpowiada wtedy indukcyjności 100μH.

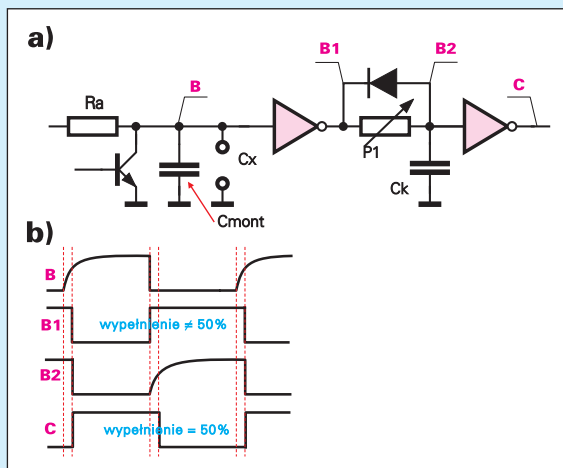
Dokładność zależy tu od częstotliwości, uzyskanej po naciśnięciu S - powinna się zmniejszyć dokładnie 100 razy (z około 48kHz do około 480Hz). W najprostszej wersji w miejsce C_8 , C_9 zostanie wlutowany jeden kondensator o nominalnie 100nF. Ze względu na rozrzut wartości kondensatorów o tolerancji 5%, uzyskana częstotliwość zapewne będzie się trochę różnić od pożądanej. Tym samym w wersji podstawowej dokładność na tym dodatkowym zakresie pomiaru indukcyjności będzie mniejsza, niż na pozostałych zakresach. Kto chce, może dokładnie skalibrować także i ten zakres - mając cewkę indukcyjną o znanej wartości trzeba dobrać wartości pojemności C_8 , C_9 - w układzie przewidziano miejsce na dwa kondensatory, a dodatkowy można dolutować od druku.

Kondensator C_{13} w zasadzie powinien być włączony pomiędzy punkty E, F. Włączono go jednak między punkt E a plus zasilania tylko po to, żeby w razie potrzeby można tam wlutować zwykły, aluminiowy „elektrolit”, który musi być stale formowany.



Rys. 3

Rys. 4



Rys. 5

czas trwania powstałego impulsu jest zależny od indukcyjności, a ogólnie biorąc, od stałej czasowej L/R .

Czym większa indukcyjność, tym dłuższy czas powstałego impulsu. Wystarczy podać na obwód RL przebieg prostokątny, by uzyskać przebiegi jak na **rysunku 5b**. Przebieg z cewki podawany jest na wejście bramki (inwertera). Ponieważ indukcyjność dołączona jest tu do dodatniej szyny zasilania, wykorzystywane są ujemne „szpilki”. Na wyjściu inwertera, w punkcie C uzyskuje się dodatnie szpilki, których czas trwania jest proporcjonalny do mierzonej indukcyjności. Tym samym średnie napięcie na wyjściu inwertera jest wprost proporcjonalne do indukcyjności L_x . Prosty filtr dolnoprzepustowy (R_sC_s) uśrednia przebieg i z punktu E na woltmierz podawane jest napięcie stałe, proporcjonalne do mierzonej indukcyjności.

Opis układu

Pełny schemat ideowy przystawki pomiarowej pokazany jest na **rysunku 6**. Z łatwością

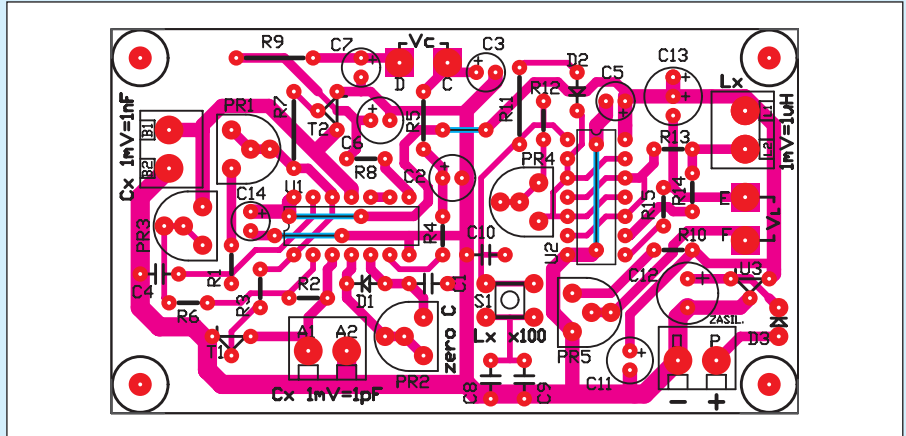
Jeśli ktoś chce, może kalibrować przystawkę przed każdym pomiarem za pomocą wzorcowych elementów L, C i wtedy dokładność będzie duża. W gruncie rzeczy do pomiarów orientacyjnych, takich jak identyfikacja nominalów i dobieranie par wcale nie jest potrzebna duża dokładność, a jedynie powtarzalność wskazań. Dlatego w większości przypadków wystarczy jednorazowa kalibracja, wykonana po zbudowaniu i uruchomieniu układu.

Montaż i uruchomienie

Przystawkę można zmontować na płytce drukowanej, pokazanej na rysunku 7. Otwory w rogach można wykorzystać do wykonania nóżek. Montaż układu nie jest trudny. Kalibracja też nie jest trudna pod warunkiem posiadania elementów wzorcowych, o znanych wartościach. Kalibracja nie sprawi kłopotów nabywcom kitu AVT-2609, ponieważ w jego skład wchodzi elementy do kalibracji układu.

Wygodny sposób dołączenia miernika zapewnią wlotowane w płytkę szpilki ze złącz DB-xx. Warto wykonać specjalny kabel do miernika, z jednej strony wyposażony w „bananki”, z drugiej w nasadki z żeńskich złącz DB-xx. Przy pomiarze pojemności będzie on dołączany do punktów C, D, a przy indukcyjności – do punktów E, F. Biegunowość nie gra tu roli.

Uwaga! W układzie nie mogą pracować układy bipolarnie rodzin TTL Standard, S, E, LS, AS. Nie powinny też być stosowane ko-



Rys. 7 Schemat montażowy

stki 'HCT14, 'ACT14 ze względu na obniżone wartości napięć progowych.

Kalibracja

W wersji podstawowej przyrząd będzie służył do identyfikacji elementów, a jego dokładność bezwzględna nie musi być duża. Do kalibracji takiej wersji wystarczą całkowicie typowe elementy ze sklepu: kondensatory o nominalach 1nF i 1μF oraz cewki 1mH i 100mH.

Aby skalibrować miernik pojemności, należy dołączyć do zacisków A1, A2 (Cx 1mV=1pF) kondensator 1nF, a do punktów S, C, D woltomierz. Za pomocą PR1 ustawić wskazanie woltomierza równe 1V. (Jeśli wskutek wyjątkowo dużego rozrzutu warto-

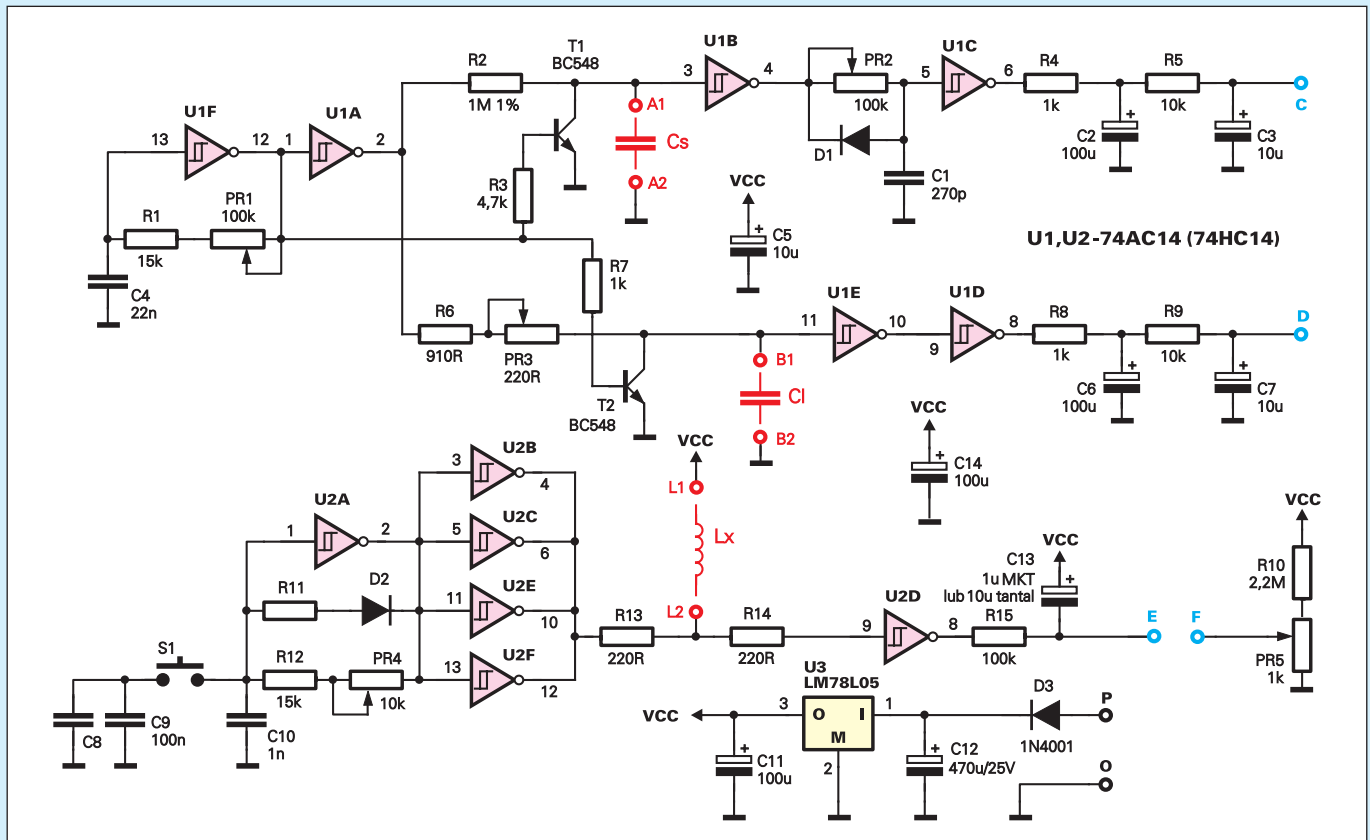
ści elementów nie byłoby to możliwe, trzeba wymienić C4 na najbliższy z szeregu lub zmienić R1).

Odłączyć mierzony kondensator 1nF. Za pomocą potencjometru PR2 ustawić napięcie wyjściowe równe zeru.

Do punktów B1, B2 dołączyć kondensator o pojemności 1μF i za pomocą PR3 uzyskać na wyjściu napięcie 1V.

Podczas kalibracji i pomiarów indukcyjności woltomierz dołączyć do punktów E, F. Do punktów L1, L2 dołączyć zworę w miejsce cewki. Za pomocą PR5 uzyskać napięcie wyjściowe dokładnie równe zeru. Następnie do punktów L1, L2 (Lx 1mV=1μH) dołączyć cewkę o indukcyjności 1mH. Za pomocą PR4 uzyskać napięcie wyjściowe równe 1V.

Rys. 6 Schemat ideowy



W wersji podstawowej kalibracji zakresu pomiarowego do 200mH nie przeprowadza się.

W wersji dokładnej należy wykorzystać elementy o dokładnie zmierzonej wartości i w opisany sposób ustawić napięcia wyjściowe stosownie do rzeczywistej wartości elementów. Kalibracja zakresu 200mH będzie polegać na dołączeniu cewki 100mH i dobraniu wartości C8, C9, by napięcie ściśle odpowiadało mierzonej indukcyjności.

Dla dociekliwych i zaawansowanych

Przyrząd w opisanej wersji podstawowej doskonale pełni swoją rolę i będzie znakomitym uzupełnieniem pracowni wielu elektroników.

Czytelnicy bardziej dociekliwi być może zechcą coś zmienić. Prawdopodobnie zechcą na bazie opisanego rozwiązania zbudować przyrząd wielozakresowy, o jeszcze lepszej dokładności. Podczas testów modelu sprawdzono możliwości pomiaru skrajnie małych i dużych wartości LC.

W przypadku pojemności nie było godnych uwagi problemów.

W przypadku miernika indukcyjności trzeba uwzględnić pewne zależności i cechy układu.

Na początku przewidziano rezystor R14 o wartości 1kΩ. Wtedy przyrząd nie mierzył cewek o indukcyjności poniżej 6,8μH. Problem w tym, że na mierzonej cewce Lx występują również impulsy o polaryzacji dodatniej względem dodatniej szyny zasilania.

Rezystor R14 ogranicza prąd płynący przez wewnętrzne wejściowe obwody ochronne bramek. Dla układów AC deklarowana typowa wartość otwierania pasożytniczej struktury tyrystorowej jest rzędu 75mA dla wejść i 300mA dla wyjść. Nawet przy zwarciu R14 taki prąd przez wejście U2D nie popłynie. Niewielki prąd nie uszkodzi wejścia bramki, ani nie spowoduje zatrzaśnięcia pasożytniczych struktur tyrystorowych. Po zwarciu R14, przyrząd mierzył indukcyjności już od 1μH. Ostatecznie z jeszcze innych

względów zastosowano kompromisową wartość R14 -220Ω.

Podstawowy zakres pomiaru indukcyjności sięga od około 2,2μH do około 2mH.

Uzyskuje się to przy częstotliwości generatora U2A około 48kHz i wartości R13 wynoszącej 220Ω. 1mV napięcia wyjściowego odpowiada indukcyjności 1μH.

Można w dość prosty sposób zmodyfikować układ, by 1mV napięcia wyjściowego odpowiadał 1mH, co pozwoliłoby uzyskać zakres pomiarowy od około 2mH...2H. Możliwości jest kilka. Można na przykład 1000-krotnie zmniejszyć częstotliwość, ale nie jest to najlepsze rozwiązanie, bo wymaga zastosowania filtra R15C13 o dużej stałej czasowej, co będzie niewygodne w praktyce.

Inną możliwością jest... 1000-krotne zwiększenie wartości R13. Jeszcze inną jednocześnie zmniejszenie częstotliwości i zwiększenie R13 (30...33 razy), by wskazanie dołączonego miernika wynosiło 1mV/mH. Taka operacja wymagałaby jednak znacznej ingerencji w układ.

Obwody pomiaru pojemności można też wykorzystać inaczej. Jeśli w torze pomiarowym pojemności obydwie gałęzie byłyby identyczne, uzyskuje się komparator pojemności do porównywania dwóch kondensatorów o jednakowych nominalach.

Podobnie dwa identyczne tory pozwolą zbudować komparator indukcyjności.

Piotr Górecki

Wykaz elementów

Rezystory

R1,R12	.15kΩ
R2	.1MΩ 1%
R3	.4,7kΩ
R4,R7,R8	.1kΩ
R5,R9	.10kΩ
R6	.910Ω
R10	.2,2MΩ
R11	.nie montować
R13,R14	.220Ω
R15	.100kΩ
PR1,PR2	.100kΩ
PR3	.220Ω
PR4	.10kΩ
PR5	.1kΩ

Kondensatory

C1	.270pF
C2,C6,C11,C14	.100μF/25V
C3,C5,C7	.10μF/25V
C4	.22nF

C8*
C9	.....100nF
C10	.....1nF
C12	......470μF/25V
C13	......1μF MKT (lub 10μF/25V tantal)

Półprzewodniki

D1	.....1N4148
D2	.....nie montować
D3	.....1N4001
T1,T2	......BC548
U1 U2	......74AC14 lub 74HC14
U3	......LM78L05

Inne

S1	.....μswitch
kołki z wtyków DB-xx	......4szt.
nasadki z gniazd DB-xx	......2szt.
złącza śrubowe ARK-2	......5szt.
plytka drukowana wg rysunku 7	

Elementy do kalibracji

1nF
1μF
1mH

Komplet podzespołów z płytką jest dostępny w sieci handlowej AVT jako kit szkolny AVT-2609