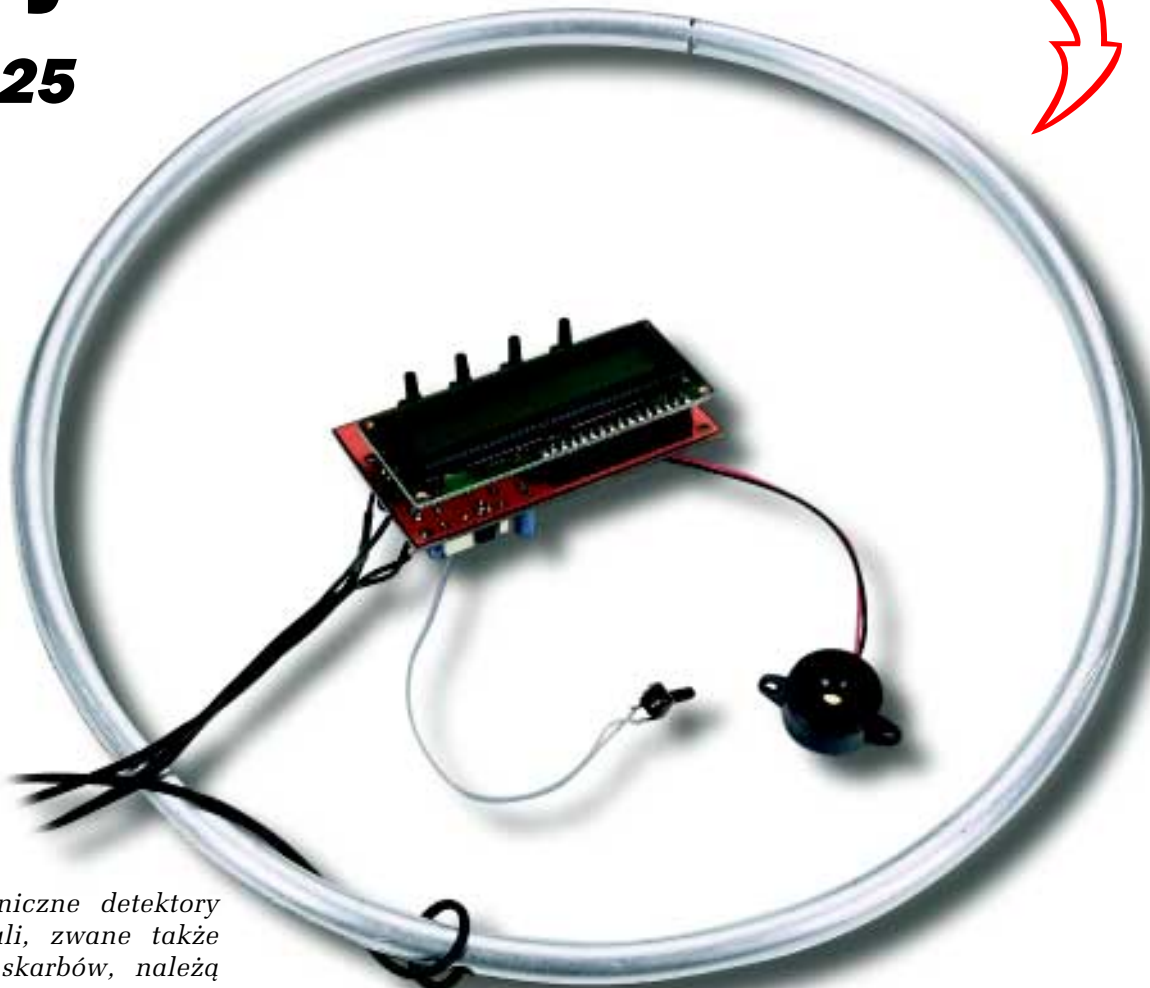


Mikroprocesorowy wykrywacz metali

AVT-5025

PROJEKT
Z OKŁADKI



Elektroniczne detektory metali, zwane także wykrywaczami skarbów, należą do grupy urządzeń, które zawsze wzbudzały wielkie zainteresowanie hobbystów.

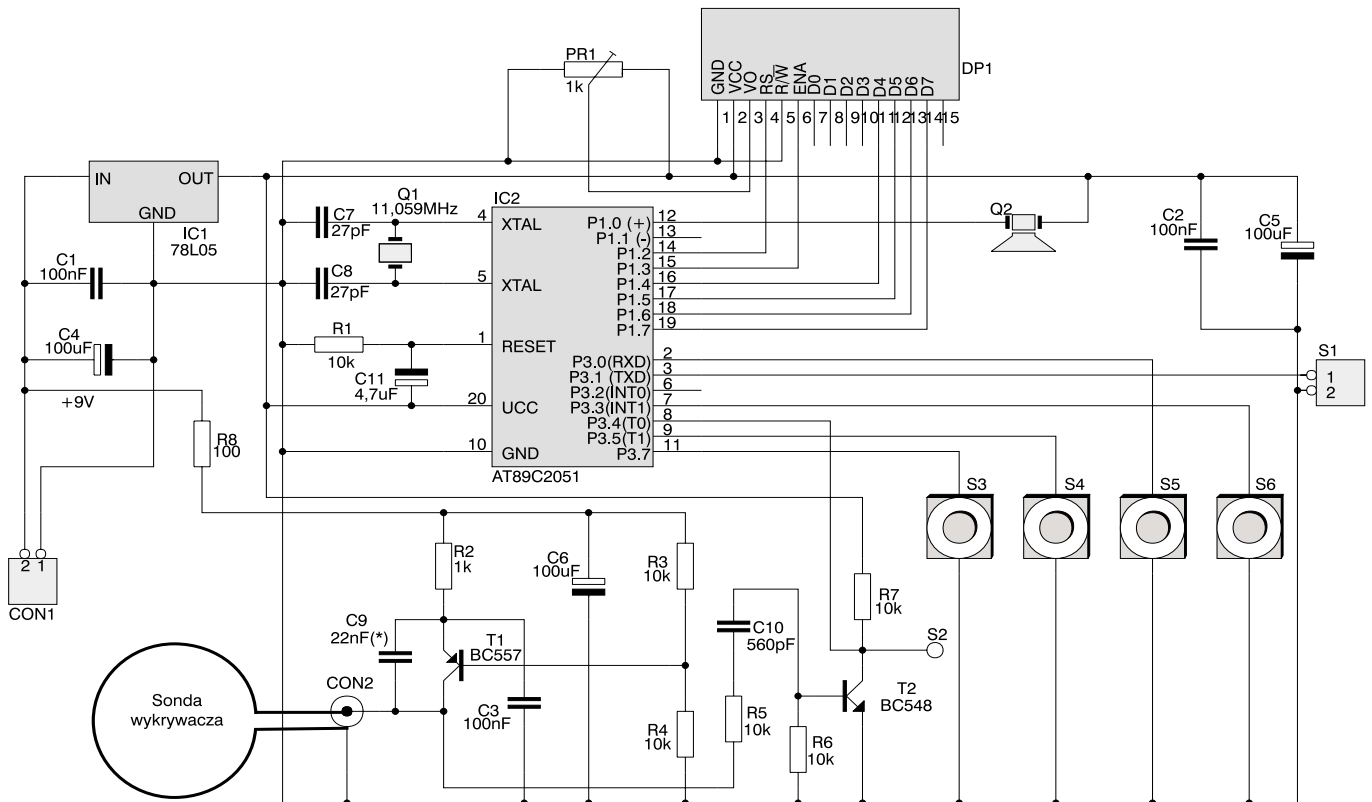
Jak wielkie jest zapotrzebowanie na urządzenia tego rodzaju można stwierdzić, przeglądając ogłoszenia ukazujące się w czasopiśmie dla elektroników.

Opisów budowy dobrych wykrywaczy metali jest w prasie fachowej jednak jak na lekarstwo. Przyczyną takiego stanu rzeczy jest z pewnością fakt, że budowa dobrej klasy wykrywacza jest w warunkach amatorskich dość trudna. Na największe problemy napotykamy nie tylko podczas budowy cewek wykrywających przedmioty metalowe, ale również przy realizacji części elektronicznej wykrywacza. Najczęściej są to bowiem urządzenia pracujące z dość wysokimi częstotliwościami, realizowane w tradycyjny sposób, co oznacza nawijanie licznych cewek i dobieranie ich indukcyjności.

Pomimo tych wszystkich trudności, postanowiłem „rozpracować” temat detektorów metali i w krótkim czasie powstało kilka

prototypów takich urządzeń. Po selekcji wybrałem trzy z nich, w których, moim zdaniem, relacja pomiędzy nakładem pracy a osiągniętymi rezultatami była najkorzystniejsza i opis pierwszego z nich pozwalam sobie zaprezentować Czytelnikom Elektroniki Praktycznej.

Najpopularniejsze i jednocześnie najprostsze w budowie są wykrywacze z generatorem LC, którego cewka o relatywnie sporych wymiarach umieszczona jest na wysięgniku z tworzywa sztucznego. W momencie zbliżenia takiej cewki do metalowego przedmiotu częstotliwość pracy generatora rośnie, o ile mamy do czynienia z metalem diamagnetycznym, lub maleje w przypadku materiału ferromagnetycznego. Zmiany częstot-



Rys. 1. Schemat elektryczny wykrywacza.

liwości są małe i aby je wykryć, najczęściej stosowany był jeszcze jeden generator, wytwarzający sygnał o stałej częstotliwości, zbliżonej do częstotliwości generatora pierwszego. Po zmieszaniu dwóch sygnałów o tych częstotliwościach otrzymujemy sygnał o trzeciej częstotliwości różnicowej, która najczęściej mieści się w zakresie pasma akustycznego. Taki wykrywacz jest więc dość złożonym układem, trudnym do uruchomienia i regulacji.

A gdyby spróbować inaczej? Najprostszą metodą stwierdzenia, czy w pobliżu cewki wykrywacza znalazł się jakiś metalowy przedmiot byłby dokładny pomiar częstotliwości wytwarzanej przez generator. Takie rozwiązanie, najprostsze i najbardziej oczywiste, było dotąd niezbyt łatwe do zrealizowania. Trudno bowiem wyobrazić sobie wykrywacz metali połączony z miernikiem częstotliwości, przyrządem o sporych wymiarach. Także odczyt wyników pomiarów byłby niezwykle kłopotliwy. Człowiek nie jest w stanie zbyt długo skupić się na obserwacji pola odczytowego cyfrowego miernika częstotliwości i odchyłki pomiaru o parę herców

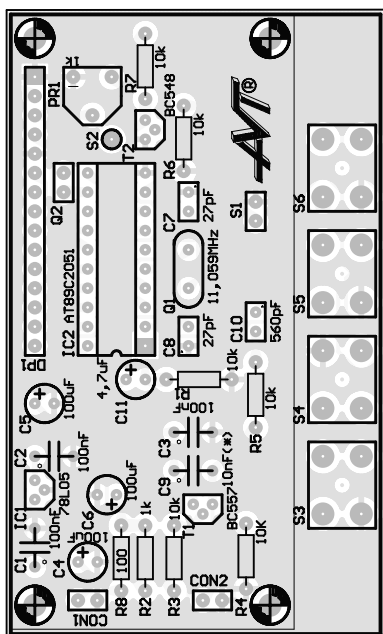
mogłyby pozostać niezauważone. A jednak, pomimo tych zastrzeżeń, zdecydowałem się właśnie na budowę wykrywacza, w którym wykorzystano bezpośredni pomiar częstotliwości. Przecież informacja o częstotliwości sygnału, wytwarzanego przez generator wykrywacza nie jest nam właściwie do niczego potrzebna. Interesują nas tylko zmiany tej częstotliwości i to, czy po zbliżeniu cewki do metalowego przedmiotu częstotliwość wzrosła, czy zmalała. A zatem można by ustalić jakąś wartość częstotliwości wzorcowej, zadeklarowaną jako stała w programie miernika, i porównywać ją z aktualną częstotliwością generatora. Niestety, takie rozwiązanie okazało się nie do przyjęcia ze względu na długoterminową niestabilność generatora. Ponieważ jednak interesują nas tylko krótkoterminowe zmiany częstotliwości (zachodzące w czasie od ułamków do pojedynczych sekund), to rozwiązaniem problemu byłoby ustalenie częstotliwości odniesienia bezpośrednio przed badaniem terenu wykrywaczem. W takim przypadku układ mógłby zawsze pracować z maksymalną czułością, niezależnie od warunków ze-

wewnętrznych i właściwości magnetycznych gruntu.

Urządzenie oparte na takich założeniach zostało przeze mnie skonstruowane oraz przeszło wszystkie stosowne testy i próby praktyczne. Mam wrażenie, że udało mi się „wycisnąć“ z tego

Podstawowe dane techniczne wykrywacza:

- ✓ Czułość mierzona w warunkach laboratoryjnych:
- ✗ płytkę metalową o powierzchni 100cm² i grubości 1mm była wykrywana z odległości ok. 40..50cm,
- ✗ płytkę metalową o powierzchni ok. 1000cm² i grubości 1mm była wykrywana z odległości 90..100cm,
- ✗ toroidalny transformator sieciowy 100W był wykrywany z odległości 80cm.
- ✓ Trzy przełączane zakresy pomiarowe: mała czułość, średnia czułość i największa czułość (reakcja na zmiany częstotliwości o 1Hz).
- ✓ Dodatkowa możliwość bezpośredniego pomiaru częstotliwości użytecznej podczas testowania układu.
- ✓ Ustalanie częstotliwości wzorcowej za pomocą przycisku.
- ✓ Akustyczna sygnalizacja wykrycia metalowego przedmiotu: im większa zmiana częstotliwości, tym wyższa częstotliwość generowanych sygnałów akustycznych.
- ✓ Graficzna sygnalizacja na wyświetlaczu alfanumerycznym LCD wykrycia metalowych przedmiotów i stopnia odstrojenia generatora.
- ✓ Identyfikacja własności magnetycznych wykrytego obiektu.



Rys. 2. Rozmieszczenie elementów na płycie drukowanej.

układu wszystko, co można uzyskać z wykrywacza metalu zbudowanego na tak prostej zasadzie i wyposażonego w jedną tylko sondę pomiarową.

Opis działania

Schemat elektryczny mikroprocesorowego wykrywacza metalu pokazano na rys. 1. Jest to typowa aplikacja procesora AT89C2051 z dołączonym ciekłokrystalicznym wyświetlaczem alfanumerycznym i czterema klawiszami sterującymi. Przestrzajany indukcyjnością generator Collpitsa został zbudowany z wykorzystaniem tranzystora T1. Częstotliwość pracy generatora określona jest wartością indukcyjności cewki dołączanej z zewnątrz do złącza CON2 i pojemnością kondensatora C9. Z wartościami parametrów tych elementów podanymi na schemacie wynosi ona około 32kHz.

Sygnal wytwarzany przez generator jest wzmacniany przez tranzystor T2 i kierowany na wejście T0 procesora. I właśnie w tym momencie kończy się opis schematu elektrycznego wykrywacza, ponieważ aby dowiedzieć się czegoś więcej o jego działaniu, musimy „zajrzeć” do wnętrza procesora i przeanalizować sterujący nim program.

Nasz wykrywacz metali nie jest w rzeczywistości niczym innym, jak uproszczonym mierni-

kiem częstotliwości wyposażonym w kilka dodatkowych funkcji. Program sterujący pracą tego miernika jest tak prosty, że możemy zapoznać się z nim praktycznie w całości, pomijając jedynie mało istotne fragmenty.

Czego właściwie potrzebujemy, aby wykonać miernik częstotliwości? Musimy mieć do dyspozycji licznik, który będzie zliczał nadchodzące impulsy, i układ, którego zadaniem będzie bramkowanie tego licznika. Obydwa te bloki funkcjonalne są zawarte w strukturze procesora AT89C2051. Są to *Timer0* i *Timer1*, które przygotowujemy do pracy za pomocą następujących poleceń konfiguracyjnych (w Bascomie):

```
Config Timer1 = Timer, Gate =
Internal, Mode = 1
Config Timer0 = Counter, Gate =
External, Mode = 1
On Timer0 Frequency
Enable Interrupts
Enable Timer0
Enable Timer1
Start Timer0
Start Timer1
```

Rejestry *Timera0* przeznaczone zostały do zliczania impulsów podawanych na wejście INTO procesora, natomiast zadaniem *Timera1* będzie odmierzenie sekundowych odcinków czasu.

Wewnętrzny oscylator procesora pracuje z częstotliwością 11059200Hz, co wynika z zastosowania taniego i popularnego rezonatora kwarcowego o tej właśnie częstotliwości rezonansowej. Pamiętajmy jednak, że częstotliwość ta jest wewnętrznie dzielona przez 12 i dopiero sygnał o takiej częstotliwości jest używany jako sygnał zegarowy procesora. A zatem realna częstotliwość taktowania procesora wynosi $11059200/12=921600\text{Hz}$.

Liczba ta znacznie przekracza pojemność zastosowanego licznika, który wobec tego będzie kilkakrotnie przepełniony w ciągu sekundy. Następnym krokiem będzie zatem znalezienie jak największej liczby, która spełnia następujący warunek: wynik dzielenia 921600 przez tę liczbę jest liczbą całkowitą mniejszą lub równą 65536.

Liczbą tą jest 15: $11059200/15 = 61440$, co oznacza, że będziemy wykorzystywać prawie całą pojemność licznika. W trybie 1 maksymalna pojemność licznika

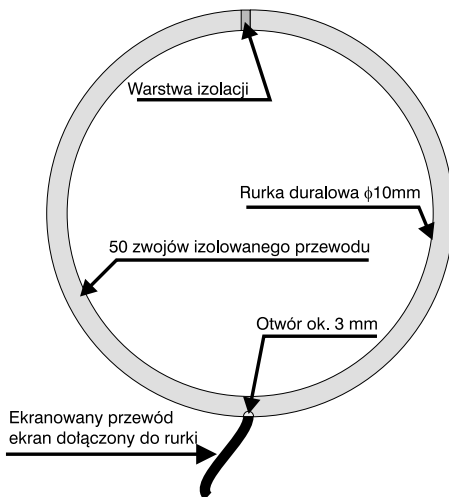
jest określona liczbą dwubajtową i wynosi 65536. Wynika z tego, że aby osiągnąć przepełnienie licznika i wygenerowanie przerwania we właściwym czasie, licznik musi za każdym razem rozpocząć zliczanie od wartości $65536-61440=4096$. Teoretycznie! Nie zapominajmy bowiem, że na zatrzymanie, przeładowanie i ponowne uruchomienie timera procesor potrzebuje także trochę czasu. Z obliczeń i z doświadczeń przeprowadzonych podczas symulacji programowej wynika, że na te operacje procesor „zużyje” 54 takty zegarowe. A zatem liczba ładowana do rejestrów timera musi wynosić 4150.

Wszystkie dokonane przez nas obliczenia nie są konieczne, ponieważ w naszym przyrządzie nie interesuje nas zbytnio rzeczywista wartość mierzonej częstotliwości, ale jej krótkoterminowe zmiany. Ponieważ jednak jedną z opcji przyrządu jest praca w trybie normalnego miernika częstotliwości, co może być przydatne podczas uruchamiania układu, wyniki pomiarów będą odpowiadały rzeczywistej częstotliwości pracy generatora.

Omówienia wymagają jeszcze dwa elementy widoczne na schemacie: S1 i S2. Złącze S1 służy do dołączenia do układu przycisku chwilowego, za pomocą którego możemy w dowolnej chwili przypisać wartość zmierzonej częstotliwości wzorcowej, czyli „wyzerować” układ przygotowując go do kolejnych cykli pomiarowych. Jest to jedna z najważniejszych funkcji układu, która umożliwia osiągnięcie maksymalnej precyzji poszukiwań. Natomiast złącze S2, dołączone do kolektora tranzystora T2, zostało umieszczone w układzie jedynie na wszelki wypadek. Służy ono do dołączenia do układu zewnętrznego miernika częstotliwości i było wykorzystywane podczas testowania prototypu. Licząc się z tym, że niejedyn spośród Czytelników zechce sam napisać program sterujący miernikiem nie usunąłem tego złącza ani ze schematu, ani z płytki obwodu drukowanego.

Montaż i uruchomienie

Na rys. 2 pokazano rozmieszczenie elementów na płycie obwodu drukowanego wykonanego



Rys. 3. Sposób wykonania cewki.

na laminacie dwustronnym z metalizacją. Montaż części elektronicznej układu wykrywacza rozpoczynamy od wlotowania w płytke elementów o najmniejszych gabarytach, a kończąc na kondensatorach elektrolitycznych. Trudno tu o jakiegokolwiek pomyłki, a układ zmontowany ze sprawdzanych elementów powinien działać poprawnie (oczywiście po włożeniu w podstawkę zaprogramowanego procesora i dołączeniu cewki - sondy wykrywacza i włączeniu zasilania). O ile jednak wykonanie części elektronicznej układu było banalnie proste, to podczas budowy cewki - sondy możemy napotkać na spore trudności. Dlatego też temu etapowi budowy wykrywacza poświęcimy więcej uwagi.

Wykonanie cewki sondy wykrywacza

Jest to najważniejsza czynność podczas budowy wykrywacza i od jej poprawnego i starannego wykonania zależeć będzie funkcjonowanie naszego przyrządu. Tak jak część elektroniczna wykrywacza zaprojektowana została w niekonwencjonalny sposób, tak i wykonanie cewki będzie odbiegać od „recept” zwykle podawanych w pismach dla elektroników. Cewka musi być zrobiona wyjątkowo solidnie, tak że wszystkie „patenty” polegające na nawijaniu zwojów na szablonie wykonanym z nabitej gwoździami deski, a następnie owijanie wykonanej cewki taśmą izolacyjną i paskami folii musimy wyrzucić do kosza. Podam Wam teraz dokładny opis wyko-

nania sondy, który zastosowałem, ośmielam się twierdzić, że z doskonałym rezultatem. Najpierw jednak wymienimy materiały, w jakie musimy się zaopatrzyć.

1. Potrzebny będzie odcinek aluminiowej, a właściwie duraluminiowej rurki o średnicy zewnętrznej 10mm i o ściankach grubości 1mm. Cewka będzie miała 30cm średnicy i do jej wykonania potrzebny będzie odcinek rurki o długości minimum 150cm, z której niestety część się zmarnuje. Najprawdopodobniej zamiast rurki duraluminiowej moglibyśmy użyć rurki mosiężnej, ale ja nie przeprowadziłem takich prób.

2. Następnym materiałem niezbędnym do wykonania sondy będzie izolowany przewód o długości 4750cm, no powiedzmy 50m. Cewka prototypowej sondy została nawinięta kynarem, ale można zastosować dowolny inny przewód, oczywiście po uprzednim sprawdzeniu, czy jego 50 zwojów zmieści się w rurce o średnicy wewnętrznej 8mm. Pamiętajmy, że cewka nie może być nawinięta „na wcisk” i że w rurce musi zostać nieco wolnego miejsca, aby umożliwić swobodny przepływ Epidianu podczas impregnowania cewki.

3. Materiałem pomocniczym będzie walec o średnicy 30cm, odpowiednio twardy, aby można było na nim wygiąć rurkę sondy. Podczas wykonywania prototypu wykorzystałem w tym celu zwykły garnek kuchenny.

4. Pozostałe materiały to taśma izolacyjna, przewód ekranowany o długości ok. 1,5m i klej Poxipol. Jeżeli będziemy chcieli wykonać sondę w wersji wyjątkowo odpornej na wpływy zewnętrzne, to potrzebna będzie jeszcze pewna ilość Epidianu lub innej żywicy chemoutwardzalnej.

Wygląd gotowej cewki został pokazany na **rys. 3**. Kolejność postępowania będzie następująca:

1. Pierwszym i najtrudniejszym etapem pracy będzie wygięcie rurki na kształt okręgu o średnicy 30cm. Wbrew pozorom, pomimo niewielkiej średnicy rurki, jej wygięcie będzie wymagało pewnej krzepy. Rurkę wyginamy stopniowo, cały czas dociskając ją mocno do walca - wzorca. Ostatecznym wynikiem naszej pracy powinien

być kształt, z grubsza tylko przypominający okrąg, jak pokazano na **rys. 4**.

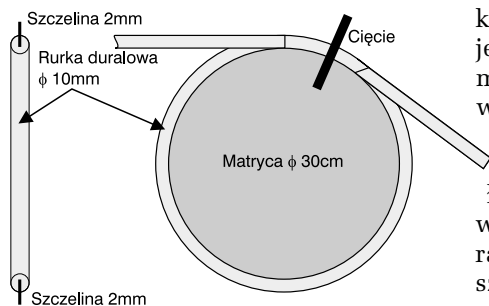
2. Kolejnym etapem pracy będzie przecięcie rurki w miejscu oznaczonym na rys. 4. Czynność tą możemy wykonać za pomocą piłki do metalu. Po przecięciu rurki uzyskujemy okrąg ze szczeliną na jego obwodzie.

3. Następnie musimy wywiercić w rurce otwór o średnicy około 3mm, zlokalizowany dokładnie naprzeciwko szczeliny. Brzegi otworu musimy także bardzo dokładnie wygładzić za pomocą pilnika iglaka.

4. Wewnątrz tak przygotowanej rurki należy nawinąć 50 zwojów przewodu. Istnieją dwie możliwości: pierwsza przeznaczona tylko dla wyjątkowo cierpliwych i posiadających palce iluzjonisty: przewód, szczególnie jeżeli użyjemy kynaru w izolacji teflonowej, można po prostu wsunąć do rurki. Próbowałem w ten sposób wykonać cewkę, ale po wsunięciu do jej wnętrza 20 zwojów, będąc cały oplątany kłębami przewodu, dałem sobie spokój i postanowiłem przeciąć rurkę wzdłuż jej brzegu, tak jak pokazano na rys. 4. Aby wykonać w rurce szczelinę potrzebną do szybkiego nawinięcia przewodu, musimy zamocować ją w imadle i przeciąć za pomocą piłki do metalu.

5. Po przecięciu rurki nawinięcie uzwojenia cewki nie powinno już przedstawić najmniejszego kłopotu. Pamiętajmy tylko, że zarówno początek, jak i koniec uzwojenia muszą zostać wyprowadzone przez otwór wykonany naprzeciwko przerwy w obwodzie koła. Musimy także zwracać uwagę, aby podczas nawijania cewki przerwa w rurce osłony się nie zamknęła. Najlepiej włożyć pomiędzy końce rurki jakąś przegrodę (nie metalową!) o grubości 5..10mm. Zarówno początek, jak i koniec uzwojenia muszą zostać wyprowadzone przez otwór zlokalizowany naprzeciwko przerwy w rurce.

6. Po nawinięciu cewki dołączamy do końców jej uzwojenia przewód ekranowany, który posłuży do połączenia sondy z częścią elektroniczną wykrywacza. Ekran przewodu musi być dołączony do metalowej rurki ekranującej uzwojenie cewki.



Rys. 4. Proponowany sposób wykonania słony cewki wykrywacza.

Po wykonaniu tych czynności możemy dołączyć sondę do płytki z układem elektronicznym wykrywacza i rozpocząć pierwsze próby w warunkach laboratoryjnych. Jeżeli próby te wypadną pomyślnie, to musimy jeszcze zabezpieczyć sondę przed wpływem czynników zewnętrznych i wyposażyć ją w odpowiedni uchwyt, na którym zamocujemy także część elektroniczną wykrywacza. Jeśli chodzi o zaimpregnowanie cewki, to polecałbym tu sprawdzoną, lecz nieco pracochłonną metodę. Rurkę sondy należy uszczelnić za pomocą taśmy izolacyjnej, pozostawiając tylko jeden otwór, a następnie nalać do środka Epidianu, który po utwardzeniu uczyni cewkę odporną na jakiegokolwiek wpływy atmosferyczne.

Pozostałe prace mechaniczne pozostawiam już pomysłowości Czytelników. Zachęcam także do eksperymentów z cewkami o innej średnicy. Zastosowanie cewek o mniejszej średnicy ogranicza zasięg pracy wykrywacza, ale ułatwia określenie położenia małych przedmiotów.

Na zakończenie jeszcze kilka uwag. To, że zbudowaliśmy wy-

krywacz metali nie oznacza, że za jego pomocą natychmiast będziemy w stanie odnajdywać metalowe przedmioty ukryte w ziemi.

Praca z wykrywaczem metali, niezależnie od jego typu i czułości, wymaga z zasady znacznej wprawy i treningu. Dlatego też radziłbym Wam przeprowadzić szereg prób praktycznych w terenie, wykorzystując w tym celu celowo zakopane w ziemi metalowe przedmioty. Musimy np. nauczyć się odróżniać z pozoru identyczne reakcje na mały przedmiot ukryty bezpośrednio pod powierzchnią ziemi od reakcji na czołg zakopany kilka metrów pod ziemią. Zasadą jest, że poszukiwania rozpoczynamy z wykrywaczem ustawionym na największą czułość. W przypadku zlokalizowania jakiegoś metalowego przedmiotu staramy się najpierw zgrubnie określić jego położenie, wielokrotnie zerując wykrywacz i podchodząc do „podejrzanego“ miejsca z różnych kierunków. Następnie, o ile będzie to możliwe zmniejszamy czułość i powtarzamy serię poszukiwań aż do maksymalnie dokładnego określenia położenia poszukiwanego przedmiotu.

I jeszcze jedno, może najważniejsze: chciałbym zaapelować w szczególności do młodszych, a tym samym mniej rozważnych Kolegów o ostrożność. Odnaleziony w ziemi przedmiot niekoniecznie musi być mieszkaniem pełnym dukatów. Istnieje ogromne prawdopodobieństwo, że znalezisko może okazać się „zardzewiałą śmiercią“! Apeluję zatem o zachowanie ogromnej ostrożności i rozważagi podczas wydobywania z zie-

WYKAZ ELEMENTÓW

Rezystory

PR1: 1kΩ
R1, R3..R7: 10kΩ
R2: 1kΩ
R8: 100Ω

Kondensatory

C1..C3: 100nF
C4..C6: 100μF/16V
C7, C8: 27pF
C9: 22nF(*)
C10: 560pF
C11: 4,7μF/16V

Półprzewodniki

IC1: 78L05
IC2: AT89C2051
T1: BC557
T2: BC548

Różne

DP1: wyświetlacz alfanumeryczny LCD 16*1
Q1: rezonator kwarcowy 11,059MHz
Q2: przetwornik piezo w obudowie
S3, S4, S5, S6: mikroprzetaczniki

mi metalowych przedmiotów. **W przypadku najmniejszych nawet podejrzeń, że zlokalizowany przedmiot może być niewybuchem lub inną „pamiątką“ z okresu wojny, należy natychmiast przerwać wszelkie prace i zawiadomić Policję.** Takie znaleziska może wydobywać z ziemi tylko fachowiec - saper.

Zbigniew Raabe, AVT
zbigniew.raabe@ep.com.pl

Wzory płytek drukowanych w formacie PDF są dostępne w Internecie pod adresem: <http://www.ep.com.pl/?pdf/lipiec01.htm> oraz na płycie CD-EP07/2001B w katalogu PCB.