



Zrób to sam – wykrywacz metalu

Katarzyna Cieślak

Kto z nas nie marzy o znalezieniu starego skarbu zakopanego w ogródku? Ale o ile nie otrzymaliśmy w spadku po przodkach „tajemniczej mapy z krzyżkiem”, to nasze szanse, że znajdziemy cenne monety lub inne wartościowe przedmioty przekopując ziemię pod uprawę warzyw, są raczej małe. Chyba, że... skorzystamy z technicznego udogodnienia jakim jest wykrywacz metalu (fot. 1).

Istnieje kilka typów detektorów metalu. Niektóre z nich są w stanie selektywnie wykrywać przedmioty zbudowane z konkretnych materiałów. Jest to przydatne jeśli interesują nas na przykład złote monety, a nie stare gwoździe.

Poniżej przedstawiamy instrukcję, zgodnie z którą można samemu wykonać prosty wykrywacz metalu. Mimo, że ten konkretny model nie będzie rozróżniać przedmiotów zbudowanych z różnych pierwiastków, a jego czułość nie będzie w stanie konkurować z profesjonalnymi urządzeniami, to może on dostarczyć doskonałej zabawy dla całej rodziny, albo stanowić temat szkolnego projektu naukowego.

Zacznijmy od zasady działania wykrywacza. Podstawowym elementem każdego detektora metalu jest *generator*, czyli układ rezonansowy składający się z cewki L połączonej szeregowo z kondensatorem C . W zależności od tego jak wybierzemy wartość indukcyjności własnej cewki i pojemności kondensatora, układ ten będzie miał inną częstotliwość rezonansową, określoną wzorem:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}.$$

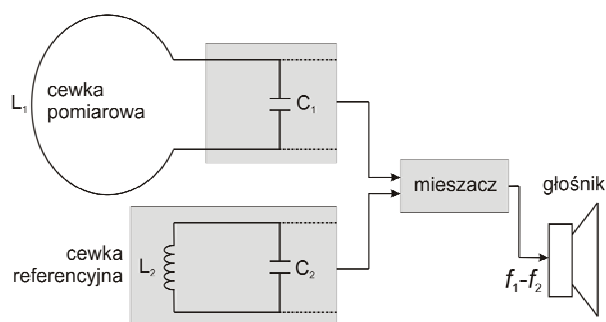
Jeśli układ zasilimy, na przykład przez naładowanie kondensatora, to układ ten zacznie wykonywać drgania elektryczne i otrzymamy źródło zmiennego pola elektromagnetycznego o częstotliwości f .



Fot. 1. Wykrywacz metalu
Źródło: <http://www.benmeadows.com/>

Co stanie się, jeśli zbliżymy taki układ do metalowego przedmiotu? Na skutek zakłócenia, spowodowanego obecnością metalu, indukcyjność własna cewki L ulegnie zmianie. Jeśli badany przedmiot jest zbudowany z materiału diamagnetycznego (np. złoto, srebro, miedź) lub paramagnetycznego (np. aluminium) to indukcyjność własna cewki L obniży się. Natomiast przedmioty wykonane z substancji ferromagnetycznych (np. żelazo, nikiel, kobalt) spowodują wzrost indukcyjności własnej cewki. W rezultacie, obecność przedmiotów metalowych w pobliżu układu rezonansowego powoduje zmianę jego częstotliwości. Pozostaje więc zarejestrować zmianę indukcyjności lub zmianę częstotliwości generatora. Istnieje kilka sposobów rozwiązania tego problemu, i w związku z tym – kilka różnych rodzajów detektorów metalu.

Wykrywacz, o którym będzie mowa, należy do tzw. typu BOF (ang. *Beat Frequency Oscillator*). W skład tego detektora wchodzi dwie cewki (rys. 1).






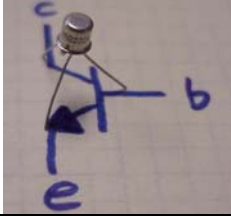

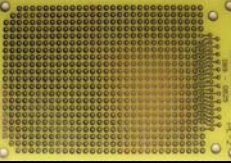

Rys. 1. Schemat wykrywacza typu BOF (generatora dudnieniowego)

Jedną z cewek (L_1) umieszcza się na końcu uchwytu detektora i podczas badania przesuwa się ją nad powierzchnią gruntu – indukcyjność własna tej cewki ulega zmianie jeśli zbliżymy ją do przedmiotu metalowego. Natomiast druga cewka (L_2), umieszczona z dala od gruntu (na uchwycie detektora) stanowi tzw. układ referencyjny – jej częstość nie ulega zmianie. Sygnały z obydwu cewek przekazywane są na wejście *mieszacza częstości*. Na wyjściu tego urządzenia możemy zmierzyć różnicę częstotliwości wejściowych (*częstość dudnień*). Sygnał ten podawany jest następnie na wejście głośnika. Przed pomiarem, wykrywacz reguluje się w ten sposób, żeby częstotliwości rezonansowe obydwu cewek były zbliżone do siebie. Dopóki obydwie cewki znajdują się daleko od przedmiotów metalowych, różnica ich częstości jest więc mała i w głośniku słyszymy niskie buczenie. Jeśli jednak cewka L_1 znajdzie się nad obiektem metalowym, to jej częstotliwość rezonansowa zmieni się i różnica częstości na wyjściu mieszacza również ulegnie zmianie. Dzięki głośnikowi usłyszymy to jako zmianę wysokości dźwięku.

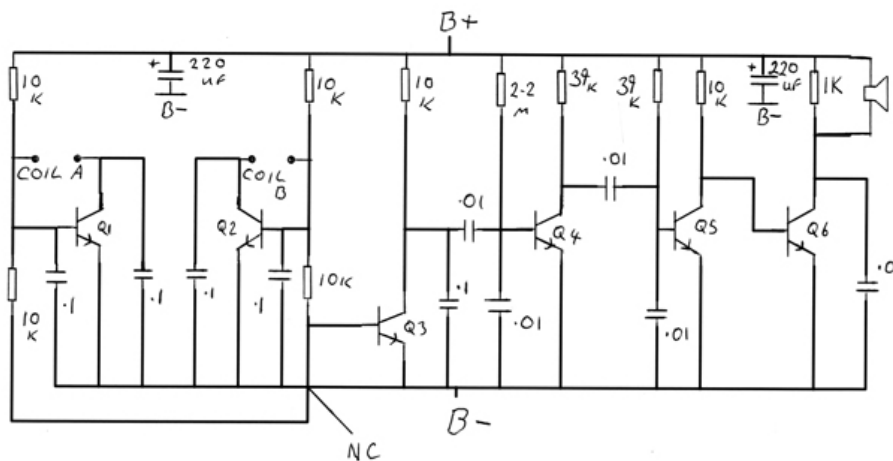
Zmiana częstotliwości układu pomiarowego wywołana obecnością metalowego przedmiotu jest proporcjonalna do częstotliwości rezonansowej generatora. Im większa jest ta zmiana tym czulszy układ detekcyjny. Naturalne wydaje się więc, że w celu zwiększenia czułości wykrywacza należy zastosować układ rezonansowy o wysokiej częstotliwości. Tymczasem częstotliwość generatorów stosowanych w detektorach BOF jest zaledwie rzędu 100 kHz. Wybór ten stanowi kompromis pomiędzy tendencją do zwiększania czułości urządzenia a faktem, że pola o wyższych częstotliwościach ulegają większemu tłumieniu przez podłoże. Jeśli chcemy więc szukać przedmiotów położonych głębiej pod ziemią, to należy użyć generatorów o niższych częstotliwościach. Zasięg wykrywacza metali zależy od rozmiaru cewki pomiarowej oraz od rozmiaru szukanego przedmiotu. Z grubsza rzecz biorąc szacuje się, że maksymalna głębokość detekcji jest w przybliżeniu równa średnicy cewki, jeśli wielkość szukanego przy jej pomocy przedmiotów jest rzędu połowy średnicy cewki [1].

Uzbrojeni w wiedzę na temat działania wykrywacza metalu zabierzmy się za konstruowanie własnego modelu, zgodnie z projektem Chrisa Wesselsa i Tima Palaga [2]. Do budowy układu elektronicznego potrzebne będą następujące elementy:

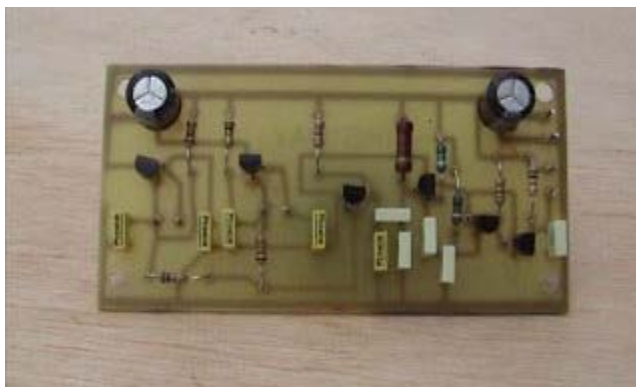
• kondensatory:	
2 kondensatory elektrolityczne 220 μF, 16V (polarność tych kondensatorów oznaczona jest najczęściej na obudowie przy pomocy paska z zaznaczonym znakiem „-”, czasem również końcówka o polarności ujemnej jest krótsza)	
5 kondensatorów poliestrowych 0,01 μF	
5 kondensatorów poliestrowych 0,1 μF	
• oporniki węglowe 0,25 W z tolerancją 5%:	
1 opornik 1 kΩ	
6 oporników 10 kΩ	
2 oporniki 39 kΩ	
1 opornik 2,2 MΩ	

<ul style="list-style-type: none"> • 6 tranzystorów małosygnałowych NPN o wzmacnieniu minimalnym 250, na przykład 2N2222A (schematy, na których producenci zaznaczają układ końcówek: emitor, kolektor, baza dla różnych typów tranzystorów można łatwo znaleźć w Internecie) 	
<ul style="list-style-type: none"> • głośnik miniaturowy o impedancji 8Ω (lub większej) 	
<ul style="list-style-type: none"> • płytki uniwersalna 	
<ul style="list-style-type: none"> • bateria 9 V, PP3 	

Elementy należy zmontować według poniższego schematu:

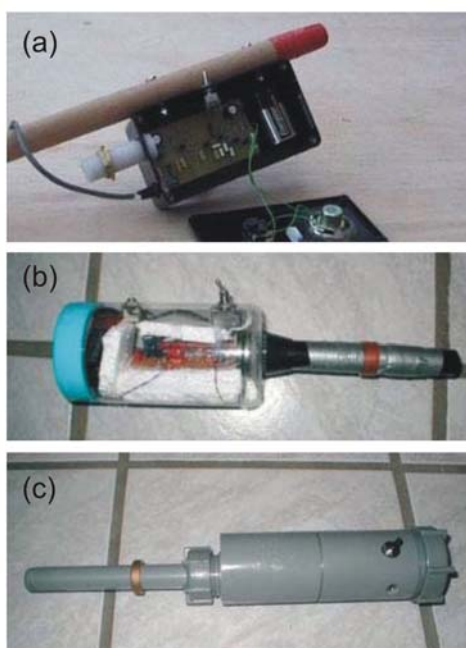


Rys. 2. Schemat układu elektronicznego. Oznaczenia: **B-** biegun ujemny baterii, **B+** biegun dodatni baterii, **NC** skrzyżowanie przewodów (brak połączenia), **coil A** cewka pomiarowa, **coil B** cewka referencyjna, **Q1-Q6** tranzystory, **0.1** kondensator 0,1 µF, **0.01** kondensator 0,01 µF, **10 K** opornik 10 kΩ, **2.2 M** opornik 2,2 MΩ



Fot. 2. Zmontowany układ elektroniczny. Źródło: <http://www.easytreasure.co.uk/bfo.htm>

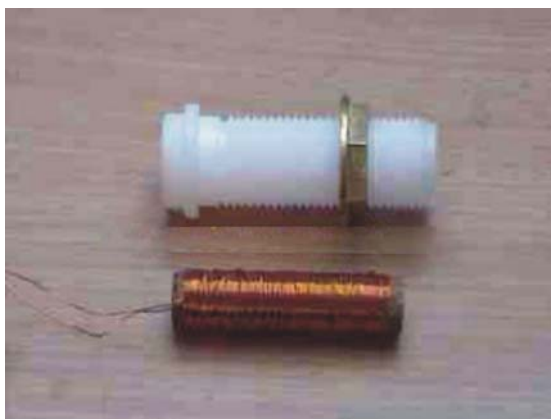
Płytkę ze zmontowanym układem elektronicznym, podobnie jak głośnik należy następnie zamontować w obudowie i umieścić ją na uchwycie urządzenia. Można się w tym celu posłużyć rurą z tworzywa sztucznego lub butelką z twardego plastiku (fot. 3). Następnie należy przygotować i podłączyć do układu elektronicznego dwie cewki: cewkę pomiarową i cewkę referencyjną.



Fot. 3. Przykład trzech różnych realizacji obudowy układu elektronicznego wykrywacza metali: (a) tradycyjna obudowa, (b) butelka z twardego plastiku, (c) rura z tworzywa sztucznego

Żeby zbudować cewkę pomiarową należy zaopatrzyć się w **trzy koła wykrojone ze sklejki o grubości 3 mm**: dwa koła o średnicy 16 cm i jedno o średnicy 15 cm. Koła należy ułożyć jedno na drugim i skleić klejem do drewna w ten sposób, żeby koło o najmniejszej średnicy znajdowało się pomiędzy większymi kołami. W ten sposób powstanie przestrzeń, w której będziemy nawijać zwoje. Potrzebny będzie do tego izolowany **drut miedziany o średnicy 0,25 mm**. W przestrzeni pomiędzy kołami ze sklejki należy nawinąć jeden obok drugiego **10 zwojów**, przez co otrzymamy układ o częstotliwości około 100 kHz.

Do budowy cewki referencyjnej będzie nam potrzebny **drewniany lub plastikowy kołek o długości około 50 mm i średnicy 12 mm**, oraz **nagwintowana plastikowa rurka i dopasowana do niej mosiężna nakrętka** (fot. 4).



Fot. 4. Plastikowa rurka z mosiężną nakrętką i kołek drewniany z nawiniętą na nim cewką referencyjną. Źródło: <http://www.easytreasure.co.uk/bfo.htm>

Na obydwu końcach kołka najlepiej jest nawiercić dwie małe (1 mm) dziurki, po to, żeby przewlec przez nie początek i koniec drutu – w ten sposób można zapobiec przesuwaniu się zwojów. Na kołek należy nawinąć **120 zwojów miedzianego przewodu o średnicy 0,25 mm**. Następnie tak otrzymaną cewkę należy umieścić wewnątrz plastikowej rurki i zamocować ją w obudowie układu elektronicznego. W zależności od precyzji w nawijaniu oraz od dokładnych rozmiarów kołka służącego jako rdzeń do nawijania, indukcyjność cewki referencyjnej może się różnić od przewidywanej wartości. Ze względu na to, że docelowo ważne jest dopasowanie częstotliwości rezonansowej obydwu cewek, częstotliwość cewki referencyjnej będzie można regulować przez przesuwanie mosiężnej nakrętki po powierzchni plastikowej rurki: im głębiej nasunięta nakrętka, tym mniejsza indukcyjność własna cewki, i tym wyższa częstotliwość rezonansowa układu. O tym czy obydwie cewki mają dobrze dopasowaną częstotliwość przekonamy się słuchając dźwięków wydobywających się z głośnika.

Częstotliwość dudnień będzie maleć, a więc wysokość słyszanego dźwięku będzie spadać w miarę jak częstotliwość cewki referencyjnej będzie się zbliżać do częstotliwości cewki pomiarowej. Strojenie możemy zakończyć w chwili gdy dźwięk będzie podobny do buczenia silnika stojącego w miejscu pojazdu. Jeśli nie da się zestroić obydwu cewek przy pomocy mosiężnego pierścienia, należy zwiększyć lub zmniejszyć liczbę zwojów cewki referencyjnej.

Aby przekonać się jak wygląda proces strojenia i testowanie detektora warto zapoznać się z instruktażowym filmem nakręconym przez autorów tego projektu [3].

Referencje

- [1] Piotr Górecki, *Wykrywacze metali*, Elektronika dla wszystkich, 4/1998, 29–35
- [2] <http://www.instructables.com/id/bfo-metal-detector/>
- [3] <http://tinyurl.com/yjnblev>



Poszukiwacze złota z wykrywaczem metalu projektu George'a Hopkinsa

(Źródła: we_history_4.gif – <http://www.kellycodetectors.com/historyofdetectors2.jpg> – <http://www.nqminersden.com>)