

Wykrywacze metali

Poniższy artykuł przeznaczony jest dla wszystkich, którzy interesują się tematyką poszukiwania skarbów i militariów, w szczególności dla tych, którzy dopiero zaczynają, lub chcieliby zacząć interesować się tą dziedziną. W dwuczęściowym artykule opisano podstawowe rodzaje wykrywaczy, wyjaśniono występujące ograniczenia i zaprezentowano kilka profesjonalnych wykrywaczy metali.

Od początku istnienia Elektroniki dla Wszystkich do Redakcji napływają listy z prośbami o przedstawienie projektów wykrywaczy metali. Autorzy tych listów nie ukrywają, że chodzi im o wykrywacze mające zasięg „przynajmniej jednego metra”, a wielu oczekuje opisu wykrywacza „o zasięgu przynajmniej 3 metrów”. Z treści zdecydowanej większości listów wynika, że taki wykrywacz miałby być używany do wykrywania także (a może przede wszystkim) drobnych przedmiotów metalowych, zwłaszcza... złotych i srebrnych monet. Oczywiście zakopanych gdzieś w ziemi na głębokości do wspomnianych trzech metrów.

Takie oczekiwania podsycane są przez pozbawionych skrupułów oszustów, którzy obiecują przesłanie za kilkanaście złotych „rewelacyjnych” schematów, albo za kilkadziesiąt złotych gotowych urządzeń, które rzekomo są tak bardzo czułe.

Tymczasem wykrywacze, spełniających wspomniane wcześniej wygórowane oczekiwania odnośnie zasięgu i zdolności wykrywania małych przedmiotów... **praktycznie nie ma!** I to nie tylko u nas w kraju, ale i gdziekolwiek na świecie.

Owszem, istnieją i są dostępne wykrywacze mające zasięg 1...3 metrów, ale z całą pewnością nie nadają się do wykrywania pojedynczych monet.

Natomiast przenośne wykrywacze, jakimi posługują się hobbyści (między innymi do poszukiwań skarbów), wyposażone w sondy o średnicy 20...40cm, mają stosunkowo niewielki zasięg.

Według danych jednego z krajowych producentów, dobry wykrywacz metalu ma następujące zasięgi maksymalne:

obiekt	w powietrzu	w gruncie
moneta	25...30cm	10...15cm
helm	70...80cm	50...60cm
kanister	do 100cm	do 80cm
max. zasięg (duży przedmiot)	180cm	1...1,2m

W pierwszym, bardzo niedokładnym przybliżeniu, można powiedzieć, że zasięg wykrywacza jest równy średnicy sondy, gdy szukany przedmiot ma wymiary zbliżone do połowy średnicy sondy.

W różnych materiałach w literaturze i reklamach podaje się różne zasięgi, ale generalnie są one zbliżone do wyżej podanych. Przedstawione powyżej dane można uważać za optymistyczne i w wielu, jeśli nie większości przypadków, praktycznie uzyskane zasięgi okażą się jeszcze mniejsze. Z dużą ostrożnością należy podchodzić do informacji podanych w niektórych ulotkach reklamowych. Producenci z oczywistych względów starają się przedstawić swój sprzęt w jak najlepszym świetle i mogą przemilczać jego wady. Typowym chwytem, na który dają się nabrać niezorientowani jest podawanie jedynie maksymalnego zasięgu, np. 2 metrów, ale bez precyzowania, że jest to zasięg w powietrzu, i że z odległości tych dwóch metrów wykrywacz z ledwością jest w stanie wykryć jedynie obiekt metalowy o wielkości czołgu. W gruncie (w ziemi) zasięg będzie znacznie mniejszy, i zależeć to będzie od właściwości tego gruntu.

Dla niektórych naszych czytelników te informacje na pewno będą czymś przykrym zaskoczeniem. Zapewne chwycą się myśli, że to tylko krajowe wykrywacze mają tak mały zasięg, natomiast kilkakrotnie droższe zachodnie mają zasięg kilkakrotnie większy.

Niestety, wcale tak nie jest! Owszem, bardzo drogie zachodnie wykrywacze pracujące na tych samych zasadach, wyposażone w mikroprocesor, wyświetlacz LCD i klawiaturę, mogą być stabilniejsze w pracy, wygodniejsze w obsłudze, trwalsze, bardziej niezawodne, ale ich zasięg nie jest znacząco większy. Nie chodzi tu bowiem o zastosowane starsze czy nowsze środki techniczne – przyczyną niewielkiego zasięgu są wspomniane fundamentalne zasady określające między innymi zasięg w zależności od wielkości sondy, oraz tłumienie pola elektromagnetycznego w gruncie.

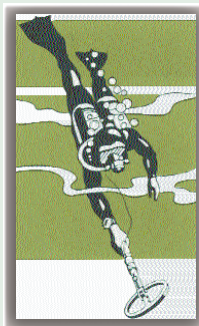


Bez ryzyka można powiedzieć, że od lat zasięgi typowych wykrywaczy „stoją w miejscu”. W tej dziedzinie nie dzieje się praktycznie nic nowego, a zmiany dotyczą jedynie zwiększenia komfortu obsługi, żywotności baterii, itp.

Dla licznych młodych czytelników powyższe informacje mogą być wręcz szokujące. Wyobrażali sobie dotychczas, że wykrywacze ot tak po prostu mają zasięg kilku metrów w głąb gruntu. Jak powiedziano, można zbudować taki wykrywacz, ale będzie on wielki i ciężki, będzie pobierał ogromną ilość energii (wykluczone zasilanie z baterii), albo będzie miał spory zasięg, ale nie będzie wykrywał monet, czy innych drobnych przedmiotów, i będzie się nadawał jedynie do wykrywania czołgów zakopanych czy zatopionych w bagnach.

I na dodatek najprawdopodobniej musiałby to być wykrywacz pracujący na zasadzie zupełnie innej, niż typowe wykrywacze omówione w drugiej części artykułu.

Owszem, spotyka się wykrywacze o zasięgu kilku metrów, ale nie są to typowe ręczne wykrywacze z okrągłą sondą, jakie znamy z reklam i rzadkich wzmianek w prasie. Kilka rodzajów, można powiedzieć – egzotycznych wykrywaczy, jest przedstawionych na fotografiach w dalszej części artykułu. Jak się słusznie można domyślać na podstawie zamieszczonych fotografii i rysunków, wykrywacze są używane nie tylko przez amatorów, ale bardzo często przez profesjonalistów. Takie profesjonalne wy-



Systemy

krywacze są oczywiście ogromnie kosztowne i polski hobbysta nawet nie ma co marzyć, by je kupić.

W zasięgu zainteresowań pozostają jedynie „klasyczne” wykrywacze z okrągłą sondą, takie jak te na **fotografiach 1 i 2**. Ich zasięgi nie są może zachwycające, niemniej jednak w praktyce są to jedyne działające i sprawdzone wykrywacze, na których kupno może sobie pozwolić amator.



Fot. 1.

Przyzwoite polskie wykrywacze, takie jak na fotografiach 1 i 2 kosztują kilkaset złotych, co i tak jest ceną dwukrotnie czy trzykrotnie niższą, niż mają podobnej klasy wykrywacze niemieckie czy amerykańskie. Tam ceny wykrywaczy zaczynają się (w przeliczeniu) od 1000...1200zł.

Już choćby podane ceny wskazują, że wykrywacz musi być przyrządem precyzyjnym i stabilnym. Jak się jeszcze okaże w dalszej części artykułu, kluczową rolę odgrywa nie tylko układ elektroniczny, ale przede wszystkim sposób wykonania sondy. Właśnie wymagania odnośnie parametrów sondy i stabilności „elektroniki” decydują, że wykonanie dobrego wykrywacza naprawdę nie jest prostą sprawą. Między innymi dlatego na łamach EdW nie pojawił się dotychczas opis konstrukcji dobrego wykrywacza metalu.

Nawet bardziej zaawansowany hobbysta przy wykonywaniu i strojeniu skomplikowanego wykrywacza natknie się na liczne problemy, i zanim metodą prób i błędów zdobędzie odpowiednie doświadczenie, straci mnóstwo czasu. W praktyce okazuje się, że w sumie znacznie tańszym (!) i mniej stresującym sposobem wejścia w posiadanie dobrego wykrywacza jest jednak zakup takowego (z gwarancją, za cenę 500...1000zł) w przyzwoitej firmie. Rozczarowaniem kończy się natomiast ogromna większość prób zbudowania układów, według schematów

zakupionych (często za znaczną sumę) od różnego rodzaju naciągaczy i oszustów. Schematy te są w zasadzie prawidłowe, bo są to zwykle układy „zerżnięte żywcem” z jakichś zachodnich publikacji, ale jak wiadomo, sam schemat to jeszcze nie wszystko, zwłaszcza w przypadku tak czułego urządzenia. Decydujące znaczenie mają liczne dodatkowe czynniki, takie jak: sposób rozmieszczenia elementów i przewodów, właściwe ekranowanie, szczegóły wykonania sondy, itp. Właśnie dlatego do wielu ogłoszeń o sprzedaży schematów „rewelacyjnych” wykrywaczy należy podchodzić z dużą rezerwą, no chyba, że ktoś ma kilkadziesiąt złotych do wyrzucenia w błoto.

Po tym bolesnym dla niektórych wstępie, pora przedstawić najpopularniejsze rodzaje wykrywaczy i zasady, według których pracują.



Fot. 2. Wykrywacz dla hobbystów

Wiadomości ogólne

Podobnie jak wiele wynalazków, także wykrywacze, czyli detektory metalu, zrodziły się dla potrzeb wojska. Przed kilkadziesiątami laty produkowano miny mające metalową obudowę i miny takie z powodzeniem można było odnaleźć za pomocą wykrywaczy, zbudowanych na bazie lamp elektronowych. Każdy czytelnik EdW, choćby w telewizji, widział saperskie słuchawki na uszach i wykrywaczem wyposażonym w charakterystyczną okrągłą lub owalną sondę, poruszaną tuż ponad powierzchnią gruntu.

Dziś miny często mają obudowę z tworzywa sztucznego, więc klasyczne minerskie wykrywacze metalu są wobec nich bezsilne.

Nie znaczy to jednak, że wykrywacze metalu stały się niepotrzebne. Były i są wykorzystywane do lokalizacji rur wodociągowych, gazowych czy przewodów energetycznych zarówno w ziemi, jak i w ścianach budynków, do kontroli osób na lotniskach i w silnie strzeżonych obiektach, wreszcie

do poszukiwań „skarbów”. Te „skarby” to zarówno przedmioty o znacznej wartości materialnej, jak i znaleziska o symbolicznej wartości handlowej, cenne jedynie jako pamiątki dla hobbystów (np. różne drobne militaria z okresu ostatniej wojny).

Wszystkie popularne wykrywacze metali, choć zbudowane w różny sposób, opierają swe działanie na wpływie przedmiotów metalowych na pole elektromagnetyczne. Pole to jest sztucznie wytwarzane przez wykrywacz. Jeżeli w obszarze tego pola znajdują się przedmioty metalowe, pole jest w jakiś sposób zaburzone. Zaburzenie pola jest sygnalizowane akustycznie lub(i) z pomocą miernika.

Reakcja wykrywacza określona jest głównie przez właściwości magnetyczne materiału – przenikalność magnetyczną μ . Materiały, które mają przenikalność magnetyczną względną (μ_r) mniejszą od jedności, czyli mniejszą od przenikalności próżni, nazywamy materiałami diamagnetycznymi. Spośród metali diamagnetykami są między innymi: złoto, srebro i miedź.

Materiały, które mają przenikalność magnetyczną trochę większą niż 1 nazywa się paramagnetykami. Do paramagnetyków należy na przykład aluminium.

Materiały mające przenikalność magnetyczną znacznie większą niż 1 to ferromagnetyki. Metale ferromagnetyczne to między innymi żelazo, nikiel i kobalt.



Fot. 3.

Dla użytkowników wszelkich przyrządów do poszukiwań metali główne znaczenie ma fakt, że diamagnetyki i paramagnetyki zbliżone do cewki zmniejszają jej indukcyjność własną, natomiast ferromagnetyki – zwiększają.

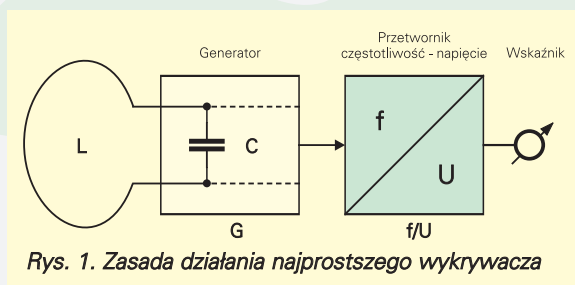
Przy poszukiwaniu metali zakopanych w ziemi występuje dodatkowa trudność, mianowicie wpływ gruntu. Detektor metalu zwykle wytwarza zmienne pole elektromagnetyczne o pewnej częstotliwości. Czym większa częstotliwość, tym większe tłumienie tego pola w gruncie. Stopień tłumienia wyznacza więc zasięg detektora. Czym mniejsza częstotliwość, tym mniejsze tłumienie, większa głębokość wnikania i większy zasięg (użyteczna głębokość poszukiwań).

Grunt może też zawierać minerały mające właściwości magnetyczne. I wcale nie muszą to być jakiegoś typu pojedyncze kamienie – po prostu grunt jako taki może mieć (i często ma) właściwości niekorzystne z punktu widzenia poszukiwania przedmiotów metalowych.

Duże znaczenie ma także średnica sondy. Czym większa sonda, tym większy zasięg (głębokość), ale dużą sondą trudno wykryć drobne przedmioty. Właśnie dlatego zdecydowana większość wykrywczy ma wymienne sondy o różnej wielkości, przeznaczone do poszukiwań różnych obiektów.

Podstawowe rodzaje wykrywczy

Rysunek 1 przedstawia uproszczony schemat blokowy najprostszego wykrywacza. Sondą pomiarową jest oczywiście cewka L.

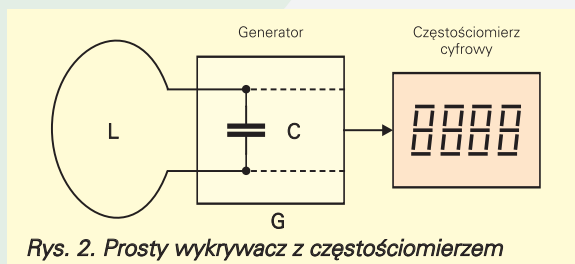


Rys. 1. Zasada działania najprostszego wykrywacza

Wraz z kondensatorem C tworzy ona obwód rezonansowy, określający częstotliwość generatora G. Zbliżenie do sondy (cewki) metalowego przedmiotu zmienia indukcyjność własną tej cewki i tym samym częstotliwość generatora. Przetwornik częstotliwości na napięcie (f/U) pozwoli zobrazować te zmiany za pomocą na przykład miernika wskazówkowego. Zbliżenie przedmiotu stalowego lub innego ferromagnetycznego (żelazo, nikiel, kobalt...) spowoduje zwiększenie indukcyjności, czyli zmniejszenie częstotliwości drgań generatora. Metale dia- i paramagnetyczne dadzą przeciwny efekt – zwiększenie częstotliwości.

W praktyce nie używa się wykrywczy zbudowanych według schematu blokowego z rysunku 1. Chodzi nie tylko o przetwornik częstotliwość-napięcie. Bystry czytelnik z pewnością zauważy, że przetwornik z miernikiem wskazówkowym tworzy analogowy częstotłociomierz, i że zamiast takiego przetwornika można zastosować po prostu cyfrowy częstotłociomierz, jak pokazano to na rysunku 2.

Wiadomo jednak powszechnie, że odczyt cyfrowy ma swoje istotne wady, bo trudniej



Rys. 2. Prosty wykrywacz z częstotłociomierzem

analizować wielkość i kierunek zmian. Dlatego rozwiązanie z cyfrowym licznikiem nie jest stosowane. Owszem, są wykrywacze wyposażone w mikroprocesor, które analizują przebieg po przekształceniu do postaci cyfrowej, ale takie wykrywacze nie badają zmian częstotliwości, tylko pewne zależności fazowe.

Mało tego, w zasadzie nie spotyka się w praktyce detektorów zbudowanych według prostej zasady z rysunku 1. Przyczyną są bardzo małe zmiany częstotliwości. Różnice napięcia wytworzone przez tak małe zmiany częstotliwości byłyby porównywalne z szumami własnymi przetwornika F/U , a tym samym byłyby niemierzalne.

Warto w tym miejscu poświęcić chwilę czasu i uświadomić sobie skalę trudności.

Oto jest uzwojenie cewki o pewnych, w sumie niewielkich wymiarach (kilku do kilkudziesięciu centymetrów). Zbliżenie metalowego przedmiotu ma w zauważalny sposób zmienić indukcyjność tej cewki. Już intuicja podpowiada, że aby te zmiany były zauważalne, przedmiot nie może być umieszczony zbyt daleko – musi być umieszczony w odległości porównywalnej z wymiarami cewki.

A co to znaczy „zauważalne zmiany”? Początkujący może będa w tym miejscu twierdzić, że nie ma tu ograniczeń, bo zawsze można zastosować jakiś dodatkowy wzmacniacz i wykrywać dowolnie małe zmiany. Wcale nie jest to prawdą! Nie wchodząc w szczegóły można stwierdzić, że uzyskane w efekcie sygnały muszą być większe niż poziom wszechobecnych szumów i zakłóceń pochodzących z wielu źródeł. A te szумы i zakłócenia mają pewną niezzerową wartość. Właśnie to jest poważną barierą przy konstruowaniu wykrywaczy.

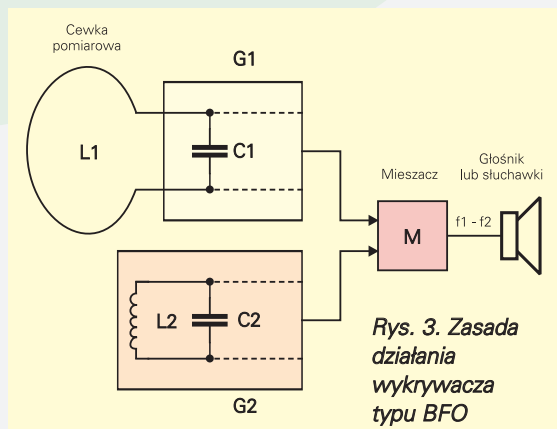
Niemniej jednak generalna zasada zmiany częstotliwości pod wpływem przedmiotu metalowego jest słuszną i jest powszechnie wykorzystywana do dziś w prostszych wykrywaczach. Aby uzyskać łatwy do zinterpretowania sygnał wyjściowy nie stosuje się jednak miernika wskazówkowego. Miernikiem jest ludzkie ucho.

Ale do ucha nie jest podawany wprost sygnał z generatora. Gdyby nawet częstotliwość generatora leżała w zakresie słyszalnym i wynosiła kilka czy nawet kilkanaście kiloherców, minimalne zmiany częstotliwości o kilka herców, a nie tym bardziej o ułamek herca byłyby niewykrywalne uchem. Nawet człowiek o świetnym muzycznym słu-

chu miałby trudności z wykryciem takich zmian.

W praktycznych układach do ucha dociera więc nie dźwięk o częstotliwości generatora, tylko dźwięk o częstotliwości znacznie niższej.

Stosowany jest tu sposób znany z od-



Rys. 3. Zasada działania wykrywacza typu BFO

biorników radiowych i telewizyjnych. Rysunek 3 pokazuje zasadę.

Sygnał generatora „pomiarowego” jest podawany na mieszacz. Na drugie wejście mieszacza wchodzi sygnał z drugiego, „stałego” generatora. Na wyjściu mieszacza występuje składowa o częstotliwości równej różnicy częstotliwości obu generatorów. Częstotliwość „stałego” generatora jest bardzo bliska częstotliwości drgań swobodnych generatora „pomiarowego”. W słuchawkach lub głośniku występuje więc przebieg o niewielkiej częstotliwości co najwyżej 100Hz, a często mniejszej. Dopiero taki sposób umożliwia wykrycie bardzo małych zmian częstotliwości spowodowanych zbliżeniem metalowego przedmiotu.

W literaturze wykrywacze zbudowane na zasadzie przedstawionej na rysunku 3 są oznaczane **BFO** (Beat Frequency Oscillator).

Jeśli przykładowo częstotliwości generatorów są zbliżone do, powiedzmy, 60kHz i częstotliwość różnicowa wynosi np. 100Hz, to zmiana częstotliwości o kilka herców zostanie zauważona nawet przez mało wprawne słuchacza. Łatwo się domyślić, że dla zwiększenia bezwzględnej wartości zmian częstotliwości należałoby pracować przy jak największej częstotliwości generatorów, rzędu dziesiątek, a nawet setek kiloherców (50..450kHz). Jak jednak wspomniano wcześniej, przy większych częstotliwościach tłumienie w gruncie jest duże i zasięg maleje.

Z kolei zastosowanie generatorów o częstotliwości poniżej 20kHz (przyrządy określane **VLf** – Very Low Frequency) jest korzystne ze względu na zasięg, ale trudniej wtedy wykryć zmiany częstotliwości wynoszące przecież drobny ułamek procenta. W takim przypadku stosuje się kolejny „chwyt” techniczny. Do słuchawek lub głośnika nie jest podawana bezpośrednio częstotliwość różnicowa, wynosząca 1Hz lub



Przedstawiona zasada wykrywania metali (BFO) jest znana i stosowana od lat. Wielu osobom wydaje się, że jest to jedyna sensowna metoda wykorzystywana przy budowie detek-

torów. Tak jednak nie jest. Istnieją wykrywacze zbudowane inaczej. Ogólnie biorąc, pracują one na zasadzie równoważenia indukcyjności bądź kompensacji. Kolejno zostaną przedstawione trzy rodzaje takich wykrywaczy.

Niektóre rozbudowane wykrywacze typu BFO mają dodatkowy układ i wskaźnik pozwalający na podstawie kierunku zmian częstotliwości określić rodzaj metalu (stal, żelazo albo złoto, srebro, miedź)

Jak wynika z przedstawionych przed chwilą danych, aby zapewnić właściwą pracę i praktyczny wynik, opisane układy muszą mieć nie tylko dużą czułość, ale muszą też być bardzo, bardzo stabilne. Nietrudno się domyślić, że zmiany temperatury, wilgotności, nasłonecznienia oraz inne czynniki będą wpływać na częstotliwości obu generatorów wykrywacza typu BFO. I tu tkwi główny problem! Częstotliwości obu generatorów będą się w jakimś niewielkim stopniu zmieniać, co może zostać błędnie zinterpretowane jako wykrycie przedmiotu.

Zapewnienie odpowiedniej stabilności generatorów nie jest wcale łatwe. Tymczasem praktyczna przydatność wykrywacza zależy właśnie od stabilności generatorów. Dla polepszenia parametrów nie można wykorzystać stabilnych generatorów kwarcowych, co może bez namysłu zaproponują nowicjusze. Nie można, ponieważ generator „pomiarowy” z założenia musi być generatorem LC, zmieniającym częstotliwość przy zbliżeniu do cewki swego rodzaju rdzenia. Jedyną metodą poprawienia stabilności jest zbudowanie obu generatorów w identycznej konfiguracji i z podobnych elementów. Wtedy pod wpływem temperatury i innych czynników częstotliwości obu generatorów zmieniają się współbieżnie (w tym samym stopniu) i wypadkowa częstotliwość różnicowa pozostaje nie zmieniona. W praktyce największym problemem bywa wykonanie cewki dla „stałego” generatora, mającej takie same właściwości termiczne, jak cewka pomiarowa.

torów. Tak jednak nie jest. Istnieją wykrywacze zbudowane inaczej. Ogólnie biorąc, pracują one na zasadzie równoważenia indukcyjności bądź kompensacji. Kolejno zostaną przedstawione trzy rodzaje takich wykrywaczy.

Wykrywacze mostkowe

Rysunek 4 ilustruje zasadę działania wykrywacza mostkowego. Cewka pomiarowa L1 jest częścią mostka, zasilanego sinusoidalnym przebiegiem zmiennym. W tej samej gałęzi mostka włączona jest druga cewka, oznaczona L2, przypuśćmy, że o takiej samej indukcyjności. Rezystory w drugiej gałęzi mostka mają jednakowe wartości. W stanie równowagi napięcia na wszystkich gałęziach mostka są równe i na przekątnej mostka (między punktami A i B) nie występuje żaden przebieg. Jeśli jednak indukcyjność cewki pomiarowej (sondy) zmieni się pod wpływem zbliżonego do niej przedmiotu metalowego, równowaga zostanie zachwiana i na przekątnej mostka wystąpi przebieg zmienny. Po wzmocnieniu przebieg ten zostanie skierowany do głośnika lub słuchawek. Tym razem nie ma mowy o zmianie częstotliwości. Generator G nie jest zależny od cewek. Na wyjściu mostka pojawia się więc przebieg o częstotliwości generatora – sygnałem dla użytkownika jest nie zmiana częstotliwości, tylko pojawienie się lub zmiana głośności dźwięku.

Zamiast prostego generatora, można zastosować generator (np. 100kHz) modulowany niską częstotliwością (np. 1kHz). Po tem prostym sposobem uzyskuje się w głoś-

niku sygnał 1kHz, a nie niesłyszalną częstotliwość 100kHz.

Warto zauważyć, że w prostym układzie wykrywacza mostkowego nie można określić, czy indukcyjność cewki pomiarowej zwiększyła się, czy zmniejszyła. W obu wypadkach na przekątnej mostka pojawi się taki sam przebieg (ściślej biorąc, będzie się on różnił jedynie fazą, ale tego nie można ocenić uchem).

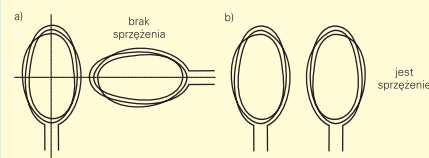
Wykrywacze IB z dwoma cewkami

Na początek wypada wyjaśnić skrót IB. Pochodzi on od angielskiego określenia Induction Balance, co można przetłumaczyć jako **równoważenie indukcyjności**. O równoważeniu indukcyjności można mówić także, a może przede wszystkim, w układzie z rysunku 4. Ale nie jest to jedyna metoda równoważenia.

Istnieją przynajmniej dwie dalsze metody, w których wykorzystuje się dwie (czasem trzy) sprzężone cewki.

Ogólna zasada pokazana jest na **rysunku 5**. Generator podaje sygnał do cewki nadawczej. W zależności od wzajemnego ustawienia obu cewek, występować będzie silniejsze lub słabsze ich sprzężenie wzajemne. Przy dużym sprzężeniu, w drugiej cewce (odbiorczej) indukowana będzie silny sygnał. Przy słabym sprzężeniu, sygnał w cewce odbiorczej będzie bardzo mały. W praktyce chodzi o to, by cewki ustawić blisko siebie, i aby mimo wszystko stopień sprzężenia obu cewek był bardzo mały.

Najprostszą metodą jest ustawienie obu cewek w płaszczyznach wzajemnie prostopadłych. Jak wiadomo, sprzężenie wzajemne dwóch tak ustawionych cewek powinno być praktycznie żadne – porównaj **rysunek 6**. Tym samym w cewce odbiorczej (przez którą stale przechodzą linie pola wytwarzanego przez

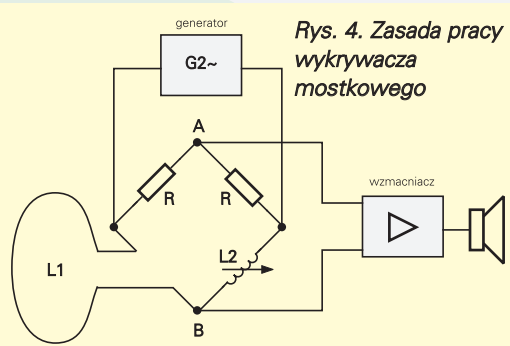


Rys. 6. Sprzężenie indukcyjne cewek

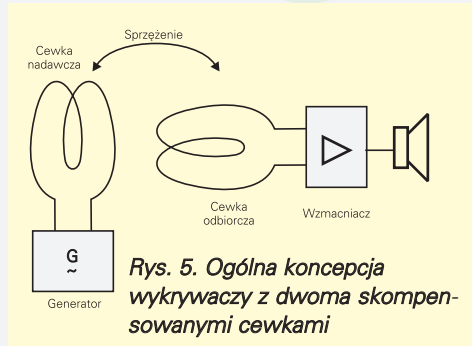
cewkę nadawczą) w stanie spoczynku nie powinien się indukować sygnał. Trzeba podkreślić, że kluczowe znaczenie ma tu kąt, jaki tworzą umowne linie pola magnetycznego z płaszczyzną, czy też osią cewki odbiorczej.

Jeśli potem w obszarze działania pola, wytworzonego przez cewkę nadawczą, znajdzie się metalowy przedmiot, to zaburzy on przebieg linii tego pola. Minimalnie zaburzone linie pola będą teraz przenikać przez cewkę odbiorczą pod nieco innym kątem. Tym samym w cewce tej zaindukuje się przebieg o częstotliwości generatora.

Znów w praktyce warto zastosować tu przebieg o wyższej



Rys. 4. Zasada pracy wykrywacza mostkowego



Rys. 5. Ogólna koncepcja wykrywacza z dwoma skompensowanymi cewkami

częstotliwości, modulowany amplitudowo przebiegiem o małej (akustycznej) częstotliwości. Jak wspomniano wcześniej, ta wyższa częstotliwość też powinna być możliwie mała (nawet kilkadziesiąt do dwustu kiloherców), bo ze wzrostem częstotliwości maleje zasięg wnikania fali w grunt.

W literaturze angielskojęzycznej taka metoda określana jest jako TR (Transmitter/Receiver = Nadajnik/Odbiornik). Wykrywacze tego typu dostępne są w handlu. Cewki nie muszą mieć okrągłego kształtu. Fabryczne urządzenia tego typu często mają cewki o kształcie prostokątnym, jak to widać na **fotografii 5**.

Urządzenia tego typu nie są jednak zbyt popularne. Mają wprawdzie zasięg 3...5 metrów, ale nie nadają się do wykrywania małych przedmiotów (np. monety).

Wykrywacz pracujący na opisanej zasadzie można stosunkowo łatwo wykonać we własnym zakresie, używając jakiegokolwiek przenośnego radiodbiornika z zakresem fal średnich (jeszcze lepiej długich). Ideę pokazuje **rysunek 7**. Radiodbiornik będzie służył właśnie jako detektor (odbiornik). Nadajnikiem będzie generator o częstotliwości kilkuset kiloherców, zasilający cewkę nadawczą, nawiniętą w postaci okręgu o znacznej średnicy, rzędu 50cm.

Wzajemne położenie cewki nadajnika i cewki anteny ferrytowej odbiornika trzeba tak dobrać, by sprzężenie było jak najmniejsze. Oczywiście chodzi tu o prostopadłe ustawienie obu tych cewek. W praktyce okazuje się, że najtrudniejszą sprawą jest zapewnienie stabilności mechanicznej całej konstrukcji – przecież urządzenie ma być wykorzystane w terenie i musi być bardzo sztywne podczas użytkowania. Dodatkową trudnością jest konieczność wykonania konstrukcji z materiałów niemagnetycznych, np. drewna, tworzywa sztucznego, itp.

Warto przeprowadzić eksperymenty z takim wykrywaczem metalu. Mechaniczną bazą konstrukcji może być sztywny drewniany kij od szczotki do zamiatania. Odbiornik radiowy może być dowolny.

Nadajnik musi być wykonany we własnym zakresie. Należy zastosować generator o częstotliwości nośnej (150...500kHz), modulowany (lub prościej kluczowany) amplitudowo częstotliwością rzędu 1kHz (500Hz...3kHz). W najprostszym przypadku mógłby to być nawet podwójny generator przebiegu prostokątnego,

zbudowany na bramkach cyfrowych. Wtedy należy się jednak liczyć z występowaniem licznych harmonicznych, które będą wysyłane w eter i będą zakłócać odbiór stacji radiowych w najbliższej okolicy. Taki wykrywacz może spowodować wejście w kolizję z prawem, gdy poziom emitowanych wyższych składowych przekroczy ustawowe normy.

Przy próbach należy więc użyć raczej generatora przebiegu sinusoidalnego (modulowanego przebiegiem sinusoidalnym lub prostokątnym) lub zastosować filtr eliminujący wyższe harmoniczne.

Wyniki uzyskane przy częstotliwościach długofalowych (150...300kHz) mogą być interesujące, i chyba warto je przeprowadzić z użyciem jakiegoś starego radia tranzystorowego (odbiorniki zachodnie z reguły nie mają zakresu długofalowego, tylko średniofalowy).

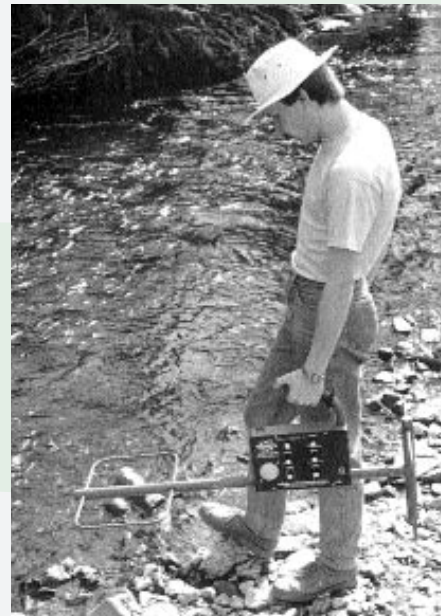
Niektóre zagraniczne źródła zalecają budowę (modulowanego) generatora o częstotliwości równej częstotliwości pośredniej użytego odbiornika radiowego. W takim wypadku do stabilizacji pracy nadajnika może być użyty typowy rezonator ceramicz-

ny o częstotliwości 455, 460 lub 465kHz. Problemem może być odbiór. Zamiast wchodzić wprost na wejście toru pośredniej częstotliwości, być może wystarczy wejście przez antenę – wtedy słabe właściwości mieszacza mogą stać się dobrodziejstwem, bo sygnał będzie bezpośrednio przechodził przez mieszacz.

Szczegółowe wskazówki odnośnie budowy takiego wykrywacza nie zostaną podane, bo do takich eksperymentów powinni się zabierać ci, którzy mają już pewne doświadczenie i poradzą sobie z problemem na podstawie powyższych informacji.

Należy tu jeszcze raz podkreślić, że uzyskane efekty zależeć będą przede wszystkim od stabilności mechanicznej całej konstrukcji. Jak wspomniano, opisany dość prosty sposób pozwala odszukać duże przedmioty metalowe, ale nie nadaje się do poszukiwań drobnych elementów, na przykład monet.

Specyficzną odmianą takich wykrywaczy są urządzenia, w których obie prostopadłe umieszczone cewki są częścią układu generatora. Jak wiadomo, praca generatora opiera się na istnieniu dodatniego sprzężenia zwrotnego z wyjścia na wejście. Jeśli takowe

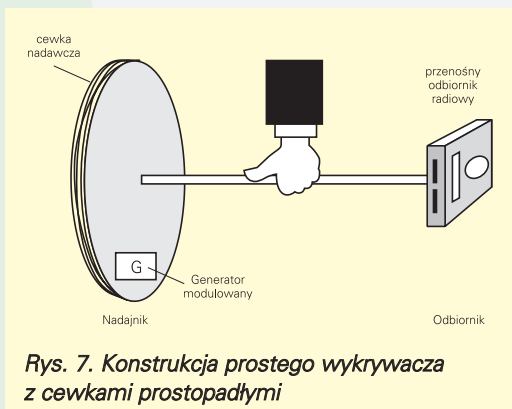


Fot. 5. Wykrywacz typu TR

sprzężenie występuje, układ zaczyna generować drgania. Jeśli to dodatnie sprzężenie zwrotne będzie realizowane przez dwie prostopadłe umieszczone cewki, układ będzie miał cechy wykrywacza metalu. W stanie spoczynku między prostopadłymi cewkami sprzężenie jest znikome i drgania nie mogą się wzbudzić. Jeśli jednak w pobliżu takiego zestawu cewek znajdzie się jakiś przedmiot metalowy, wtedy zaburzy on przebieg linii pola magnetycznego i sprzężenie między cewkami wzrośnie. Spowoduje to powstanie drgań w układzie generatora.

W drugiej części artykułu zostaną przedstawione najpopularniejsze wykrywacze z równoległymi cewkami, wykrywacze impulsowe i jeszcze inne rodzaje detektorów metali.

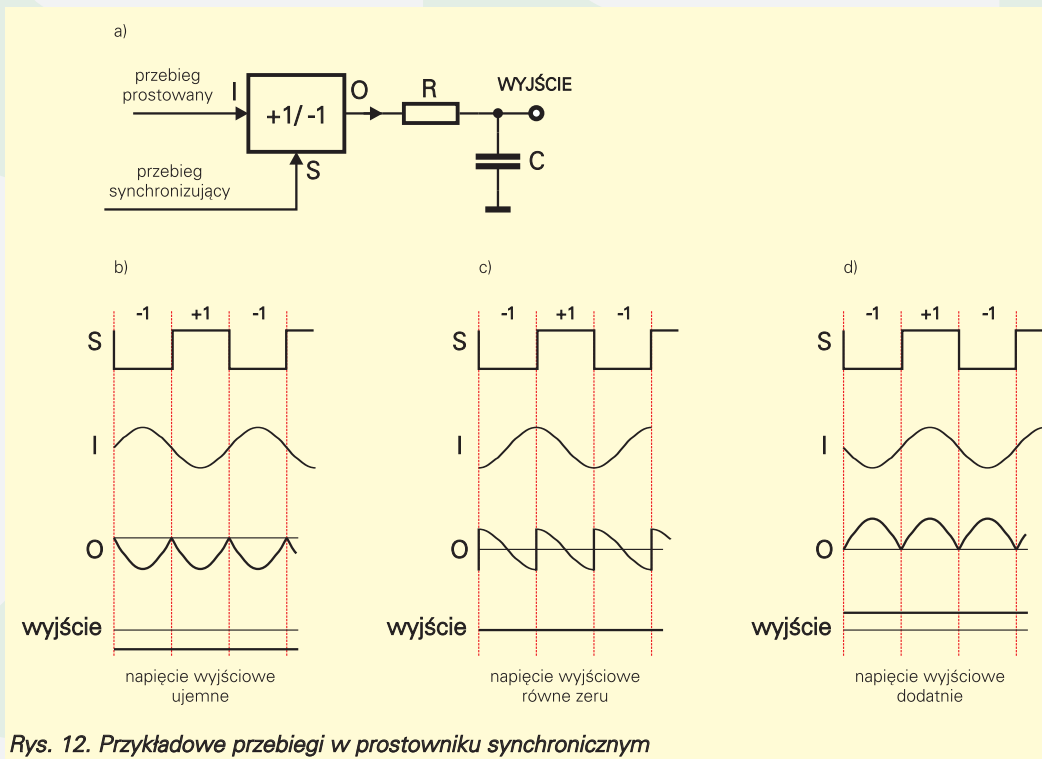
Piotr Górecki



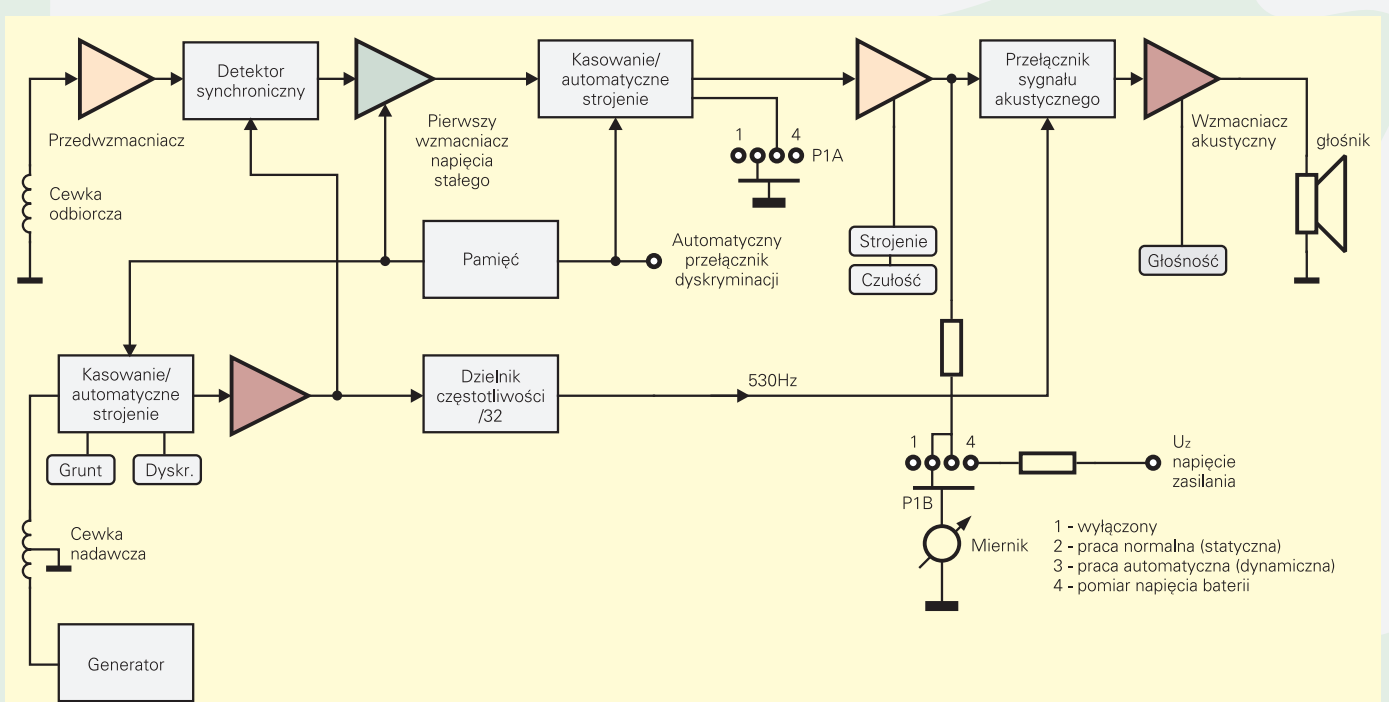
Rys. 7. Konstrukcja prostego wykrywacza z cewkami prostopadłymi



WYKRYWACZE METALI
"ARMAND"
 ul. Ryszarda 44
 05-806 KOMORÓW
 armand@polbox.com
<http://www.armand.polbox.com/>
 tel./fax: 0-22/758 73 48



Rys. 12. Przykładowe przebiegi w prostowniku synchronicznym



Rys. 13. Schemat blokowy wykrywacza PROSPECTOR