



WYKRYWACZ PRZEDMIOTÓW METALOWYCH

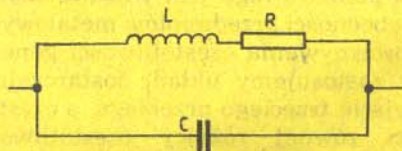
Wielu Czytelników w listach do redakcji „Młodego Technika” prosi o nadesłanie schematu, bądź opublikowanie prostego, elektronicznego wykrywacza przedmiotów metalowych. Nadszedł czas spełnienia życzeń naszych Czytelników.

Zasada działania opisywanego wykrywacza metali polega na wpływie, jaki wywierają metalowe przedmioty na parametry znajdującego się w ich sąsiedztwie obwodu rezonansowego. Jeżeli do nawiniętej bez rdzenia, tzw. powietrznej cewki indukcyjnej przybliżymy przedmiot metalowy, indukcyjność cewki ulegnie zmianie. Jeśli zbliżony przedmiot jest ferromagnetykiem – np. żelaznym kluczem lub kawałkiem stalowej rury albo ferrytowym prętem antenowym – indukcyjność cewki wzrośnie. Przedmioty diamagnetyczne dla odmiany zmniejszają indukcyjność cewki. Jeśli cewka indukcyjna stanowiłaby element obwodu rezonansowego LC w generatorze drgań, to każda zmiana jej indukcyjności spowoduje zmianę częstotliwości drgań generatora. Przy zmniejszeniu indukcyjności częstotliwość drgań wzrośnie, zaś wzrost indukcyjności pociągnie za sobą spadek częstotliwości oscylacji. Oprócz zmian indukcyjności cewki na częstotliwość drgań generatora wpływ mają jeszcze i inne przyczyny. Aby je zrozumieć, musimy przyrzeć się tzw. schematowi zastępczemu obwodu LC. Zarówno kondensator C, jak i cewka L na rys. 1 symbolizują elementy idealne, nie wnoszące żadnych strat. Nieuchronne straty energii występujące w rzeczywistym obwodzie np. wskutek oporności cewki (symbolizuje rezystor R). Po dość skomplikowanych przekształceniach można wypro-

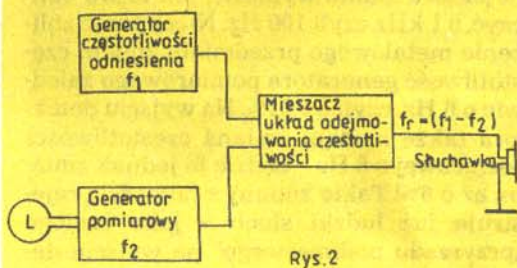
wadzić dokładny wzór na częstotliwość rezonansową obwodu:

$$f_r = \frac{\sqrt{1 - \frac{R^2 C}{L}}}{2\pi\sqrt{LC}}$$

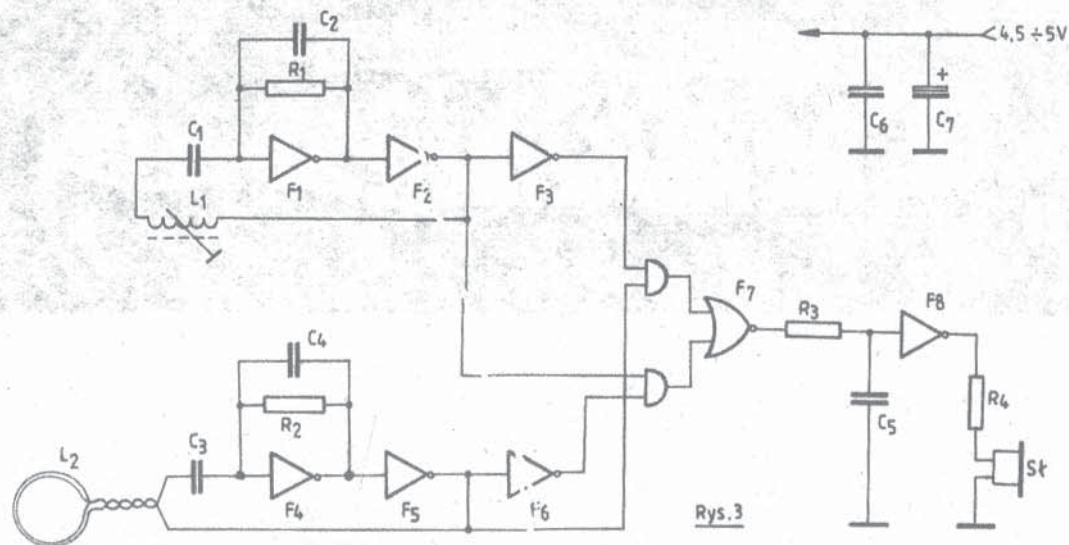
Widać wyraźnie, że symbolizowane przez R straty w cewce także wpływają w pewnym stopniu na częstotliwość oscylacji. Jeśli przybliżymy cewkę do przewodzącego przedmiotu, np. metalowej płyty, zaindukujemy w tym przedmiocie prądy wirowe, które pochłoną część energii z obwodu generatora. Straty spowodowane sąsiedztwem przewodzących mediów z punktu widzenia generatora są praktycznie równoważne wzrostowi strat w samej cewce (pogorszeniu jej dobroci). Wynikiem jest oczywiście zmiana częstotliwości rezonansowej obwodu.



Rys. 1



Rys. 2



Rys. 3

Przedmioty metalowe w sąsiedztwie cewki generatora w różny sposób wpływają na jego częstotliwość roboczą. Dla zapewnienia dużej czułości wykrywacza trzeba postarać się, by rozróżniał on już bardzo niewielkie zmiany częstotliwości generatora, spowodowane np. niewielkim przedmiotem lub większym obiektem, lecz położonym w większej odległości od cewki. Prostim rozwiązaniem rejestracji małych wahań częstotliwości jest zastosowanie układu dwóch generatorów: pomiarowego i odniesienia, pracujących ze zbliżoną częstotliwością (rys. 2). Cewka generatora pomiarowego jest właśnie czujnikiem obecności przedmiotów metalowych. Do porównywania częstotliwości generatorów zastosujemy układ, dostarczający na wyjściu trzeciego przebiegu, o częstotliwości równej różnicy częstotliwości przebiegów obu generatorów. Niech generator wzorcowy pracuje z częstotliwością 60 kHz, a generator pomiarowy z częstotliwością 60,1 kHz. Częstotliwość wyjściowa detektora zmian wyniesie, jak łatwo obliczyć, 0,1 kHz czyli 100 Hz. Niech teraz zbliżenie metalowego przedmiotu zmieni częstotliwość generatora pomiarowego zaledwie o 6 Hz, czyli o 0,01%. Na wyjściu detektora także nastąpi zmiana częstotliwości różnicowej o 6 Hz – będzie to jednak zmiana aż o 6%! Takie zmiany z łatwością rejestruje już ludzki słuch – jako taniego „przyrządu pomiarowego” na wyjściu de-

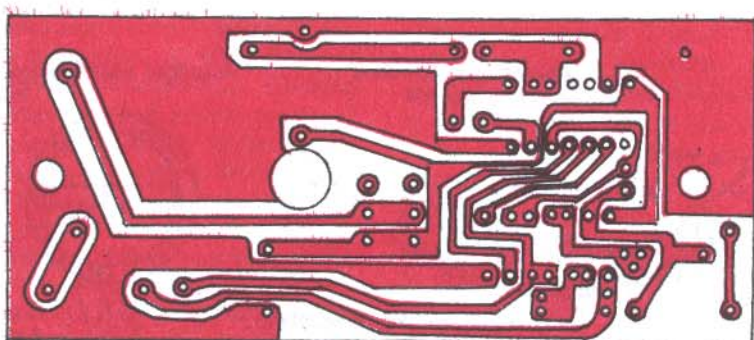
tektora użyć więc możemy zwykłej słuchawki.

Schemat ideowy wykrywacza metali, odpowiadający schematowi blokowemu z rys. 2 pokazuje rys. 3. Obydwa generatory zbudowano tu na zwyczajnych bramkach TTL. Generatory takie, oprócz prostoty, dobrej stabilności i pewności pracy są łatwe w uruchomieniu. Obwód rezonansowy pracuje tu, co prawda w układzie szeregowym, nie zaś równoległym, jak na rys. 1, nie zmienia to jednak rezultatów rozważań o wpływie zewnętrznych czynników na częstotliwość pracy. Obydwa generatory wykonane są na bramkach wchodzących w skład tego samego układu scalonego. Bramki takie, a co za tym idzie – generatory – mają bardzo zbliżone właściwości: prawie identycznie reagują na zmiany

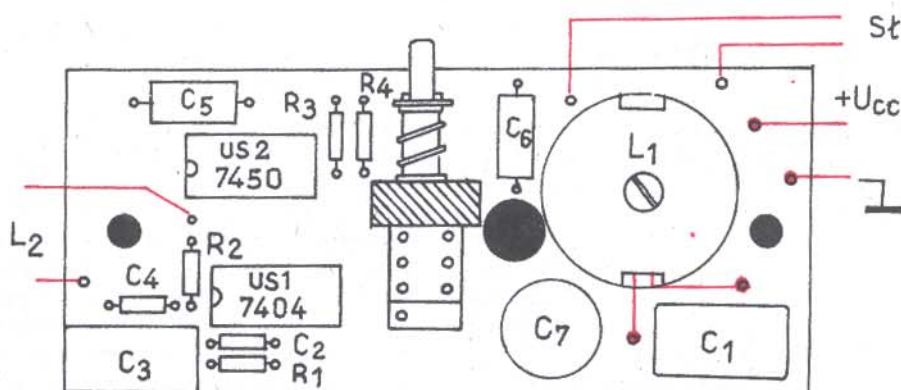


Rys. 4

napięcia zasilania lub temperatury. Nic dziwnego – wszystkie znajdują się w bezpośrednim sąsiedztwie, na tym samym płasku krzemu. Ewentualne zmiany częstotliwości drgań obu generatorów kompensują się więc. Porównywanie częstotliwości zrealizowano za pomocą bramki EX-OR (rys. 4). Poziom zerowy na wyjściu takiej bramki wystąpi wtedy, gdy oba sy-



Rys. 5



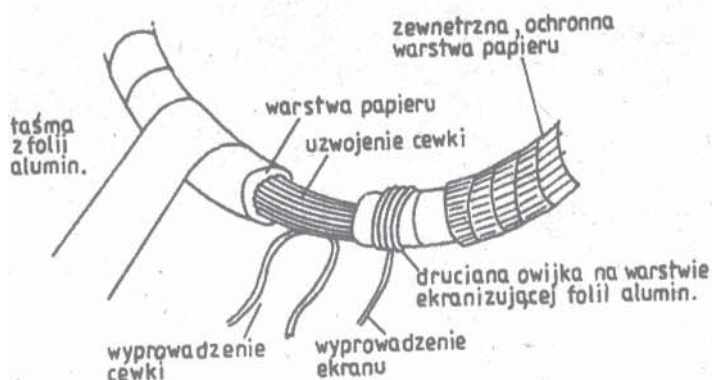
Rys. 6

gnały wejściowe mają ten sam logiczny poziom. Są produkowane specjalne układy z bramkami EX-OR (UCY 7486), my jednak posłużymy się bramką złożoną z kilku prostszych elementów (F3, F6, F7 na rys. 3).

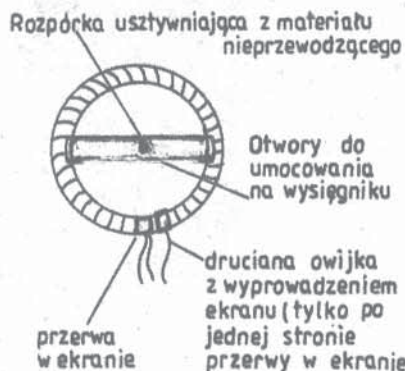
Na wyjściu bramki (F7) umieszczony jest prosty filtr RC, wygładzający przebiegi wielkiej częstotliwości i przepuszczający tylko częstotliwość różnicową (rys. 3). Sygnał ten jest doprowadzany do wejścia bramki F8, której zadaniem jest kształtowanie ostrych zboczy przebiegu. Sygnał na jej wyjściu jest praktycznie prostokątny. Ma to znaczenie, gdy częstotliwość różnicowa wynosi kilka-kilkanaście Hz. Tak mała częstotliwość w przypadku przebiegu sinusoidalnego byłaby dla ludzkiego ucha zupełnie niesłyszalna. W przypadku przebiegu prostokątnego słyszalne jednak będą przy każdym zboczu ostre trzaski.

Generator wzorcowy pracuje z bramkami F1, F2, generator pomiarowy – F4, F5. Rezystory R_1 i R_2 służą do tzw. linearyzacji bramki i zapewniają „rozruch” generatorów po włączeniu zasilania. Istotną rolę odgrywają kondensatory C_2 , C_4 . Przy częstotliwości roboczej generatora nie odgrywają one żadnej roli, stanowią jednak silne ujemne sprzężenie zwrotne na częstotliwościach rzędu MHz. Właśnie na tych częstotliwościach mogłyby wystąpić w generatorach pasożytnicze drgania, spowodowane np. pojemnościami rozproszenia cewek L_1 , L_2 i zakłócające normalną pracę.

Kondensatory C_6 i C_7 eliminują z napięcia zasilającego składowe małej i wielkiej częstotliwości, zapobiegając niepożądanym, wzajemnej synchronizacji obu generatorów (tzw. przeciąganiu częstotliwości).



Rys. 7



Rys. 8

Układ wykrywacza zmontowano na płytce drukowanej, przedstawionej na rys. 5. Rozmieszczenie elementów pokazano na rys. 6. Elementy C_1 , C_3 , L_1 , L_2 zastępują na szczególną uwagę – decydują one bowiem o stabilności częstotliwości generatorów. Stałość częstotliwości ma bezpośredni wpływ na praktyczną czułość wykrywacza i komfort posługiwania się nim. Kondensatory C_1 i C_3 powinny być stabilne, o małym termicznym współczynniku zmian pojemności. Cewkę L_1 najlepiej umieścić w kubku ferrytowym generatora prądu kasowania i podkładu z magnetofonu ZX240 lub podobnego. Kubek taki ma zewnętrzną średnicę 28 mm i stałą AL – 400. Nawinięte na oryginalnym karkasie uzwojenie powinno mieć 82 zwoje drutu DNE 0,3 – 0,5 mm. Cewkę L_2 należy nawinąć na okrągłym przedmiocie (np. garnku) o zewnętrznej średnicy 17–18 cm. Liczba zwojów – 75 nawiniętych drutem DNE 0,3 – 0,5 mm.

Po nawinięciu uzwojenia całość należy owinać taśmą papierową szerokości około 2 cm. Owijamy kilkakrotnie, po czym impregnujemy uzwojenie wraz z taśmą żywicą epoksydową (w ostateczności można użyć kleju uniwersalnego). Po wyschnięciu kleju lub żywicy, na papierową owijkę nawijamy ściśle warstwę aluminiowej cynfolii szerokości około 2 cm (rys. 7). Owijamy cynfolią całą cewkę – lecz uwaga! Cynfolia nie może się schodzić – w przeciwnym razie utworzyłby się zwarty zwoj,

uniemożliwiający poprawną pracę generatora. Na jednym z końców cynfoliowej owijki nawijamy ściśle około 10 zwojów drutu o średnicy około 0,5 mm, po czym skręcamy końce. W ten sposób mamy wyprowadzenie ekranu cewki. Jak łatwo się domyślić, cewkę ekranuje się po prostu w celu stabilizowania jej pojemności względem masy. W przeciwnym razie rozproszona pojemność cewki względem masy zmieniłaby się przypadkowo – np. w wyniku zbliżenia dłoni do cewki lub zbliżenia cewki do ziemi w trakcie poszukiwania w niej metalowych przedmiotów.

Na foliowy ekran nawijamy jeszcze kilka ochronnych warstw papieru, po czym całość ponownie impregnujemy żywicą epoksydową. To postępowanie ma na celu zapewnienie cewce odpowiedniej sztywności – zmiany kształtu cewki mogą powodować także zmiany jej indukcyjności. W środek cewki wklejamy usztywniającą podpórkę z materiału nieprzewodzącego.

Częstotliwość drgań generatora z tak przygotowaną cewką wynosi około 40 kHz. Zwiększenie tej częstotliwości zapewniłoby większą czułość wykrywacza, jednak wtedy z kolei zwiększa się wpływ naskórkowości itp. niejako „maskujący” poszukiwane przedmioty schowane np. pod kilkucentymetrową warstwą wilgotnej gleby. Warto poeksperymentować ze zmianą częstotliwości generatora: można w tym celu zmieniać kondensatory C_1 i C_3

(równocześnie!) lub liczbę zwojów cewek L1, L2 (także równocześnie: zmniejszenie liczby zwojów dwukrotnie daje dwukrotny wzrost częstotliwości generatora).

Do zasilania generatora wykorzystano cztery połączone w szereg akumulatoryki kadmowo-niklowe o sumarycznym napięciu 4,8 V. Z powodzeniem użyć można też najzwyczajszej baterii płaskiej. Stabilizacja napięcia zasilania nie jest wymagana: wpływ zmian napięcia zasilania na częstotliwość generatorów kompensuje się.

Generator umieszczono w pudełku zlutowanym z miedziowanego laminatu epoksydowo-szklanego. Pudełko spełnia równocześnie funkcję ekranu, chroniąc generatory przed wpływem zewnętrznych pól elektrycznych. Ścianę pudełka należy połączyć galwanicznie z masą płytki montażowej, do masy dołączyć też należy ekran cewki pomiarowej. Cewkę L2 wygodnie jest umieścić na wyciągniku. Doprowadzenia cewki należy poprowadzić przewodem ekranowym. Ponieważ żaden z końców cewki nie jest „umasyony” potrzebne będą dwa przewody w ekranie: po jednym dla każdego z wyprowadzeń. Ekran łączymy z masą układu. Można zrezygnować z ekranowania doprowadzeń, spowoduje to jednak pogorszenie stabilności pracy (zmiany częstotliwości przy zbliżeniu ręki do przewodu).

Na płycie montażowej przewidziano miejsce dla wyłącznika zasilania. W modelu zastosowano zwyczajny, niezależny stabilny przełącznik typu „Isostat”. U uruchamianie układu nie powinno nastęrczać trudności. Poprawnie zmontowany, powi-

nien podjąć pracę bezpośrednio po włączeniu napięcia zasilania: ze słuchawki powinien wydobywać się gwizd o trudnej do przewidzenia częstotliwości: od kilkuset Hz do kilku kHz. Pokręcając rdzeniem cewki L1 sprowadzamy różnicową częstotliwość do około 200 Hz. W tym zakresie czułość urządzenia jest najwyższa – może to jednak zależeć od psychofizycznych cech użytkownika. Warto poeksperymentować!

W przypadku ciszy w słuchawkach zachodzi podejrzenie, że nie pracuje któryś z generatorów. Należy wtedy zmierzyć średnią wartość napięcia na wyjściach bramek F3 i F6. Napięcie zbliżone do 1,8 V wskazuje na poprawną pracę generatora. Napięcie zbliżone do zera wskazuje na brak oscylacji. Może to być spowodowane małą dobrocią którejś z cewek. W takim wypadku można zmienić rezystory R₁ i R₂ na 430 omów, równocześnie włączając między masę a wejścia bramek F1 i F4 rezystory o wartości 2,7 kilooma.

W razie trudności ze zrównaniem częstotliwości generatorów należy ustalić, czy najmniejsza częstotliwość różnicowa występuje przy całkowicie wkręconym, czy wykręconym rdzeniu. W pierwszym przypadku należy dwinąć kilka zwojów do cewki L1, w drugim – odwinąć. Zamiast dowijania zwojów można równolegle do C₁ dołączyć kondensator o eksperymentalnie dobranej pojemności (kilkuset pF do kilku nF).

Życzymy dobrej zabawy przy poszukiwaniu podziemnych skarbów! Opisany przyrząd może być z powodzeniem wykorzystany także przy śledzeniu przebiegu instalacji gazowych i wodociągowo-kanalizacyjnych lub poszukiwaniu zagubionych w trawie kluczy... W opisanym rozwiązaniu przyrząd wykrywał dwudziestozłotową monetę w odległości 8 cm od środka cewki, zaś garnek o średnicy kilkunastu centymetrów był sygnalizowany wyraźną zmianą częstotliwości różnicowej już w odległości 40 cm.

Spis elementów

US1 – UCY 7404,
US2 – UCY 7450,
C₁, C₂ – kondensator styroleksowy 4700 pF,
C₃, C₄ – kondensator ceramiczny 180 pF,
C₅ – kondensator styroleksowy 68 nF,
C₆ – kondensator ceramiczny lub styroleksowy bezindukcyjny 220 nF,
C₇ – kondensator elektrolityczny 220 μF/6V,
R₁, R₂ – rezystor 220 omów/0,125 W,
R₃ – rezystor 270 omów/0,125 W,
R₄ – rezystor 560 omów/0,125 W,
St – słuchawka telefoniczna, miniatura lub dowolna inna o rezystancji 100–2000 omów,
L1, L2 – cewki według opisu w tekście.

Roland Waclawek