

Lewitron 2

Zamieszczony w EdW 5/04 artykuł o lewitacji magnetycznej wzbudził we mnie tak duże zainteresowanie, że postanowiłem wykonać taki układ i wziąć udział w konkursie. Chciałem na własne oczy ujrzeć, jak kulka unosi się w powietrzu. Końcowy efekt zaskoczył nie tylko mnie! Rewelacja!

Dość dużo czasu zabrało mi wykonanie obudowy i elektromagnesu. Początkowo miałem spore problemy, bo kulka albo w ogóle nie lewitowała, albo wpadała w drgania. Dużo eksperymentowałem z czujnikami położenia, stosując fotodiody i fototranzystory.

Jeśli chodzi o dobór elementów do filtru stabilizującego drgania kulki, to zrobiłem to głównie doświadczalnie. Dobrałem tłumienie, starając się, by nie było za duże. Nie widziałem sensu poszukiwania w literaturze odpowiednich wzorów na dobór kondensatora, skoro system działał. Pomysł dodatkowego czujnika zewnętrznego zapożyczyłem z Internetu, choć początkowo rozważałem możliwość zastosowania modulacji światła bariery. Wybrałem ten pierwszy sposób ze względu na prostotę w wykonaniu.

Przedstawione tu urządzenie jest czymś wyjątkowym. Lewitująca kulka wzbudza olbrzymie zaciekawienie wśród osób, które to zjawisko obserwują po raz pierwszy. Zastanawiają się wtedy, jak to jest możliwe, że przedmiot unosi się nad ziemią, wisząc bezwładnie w powietrzu. Co niektórzy wnioskują, iż jest to oszustwo, a kulka wisi na cienkiej nici.

Po bliższym zbadaniu okazuje się jednak, że tak nie jest.

Zachęcam wszystkich, którzy posiadają nieco wolnego czasu do wykonania tego intrygującego urządzenia. Wbrew pozorom zadanie nie jest tak trudne, jak mogłoby się wydawać, choć cierpliwość przy uruchamianiu jest jak najbardziej wskazana. Oprócz wspaniałego efektu wizualnego od razu można dostrzec walory edukacyjne z dziedziny fizyki, a konkretnie praw rządzących grawitacją.

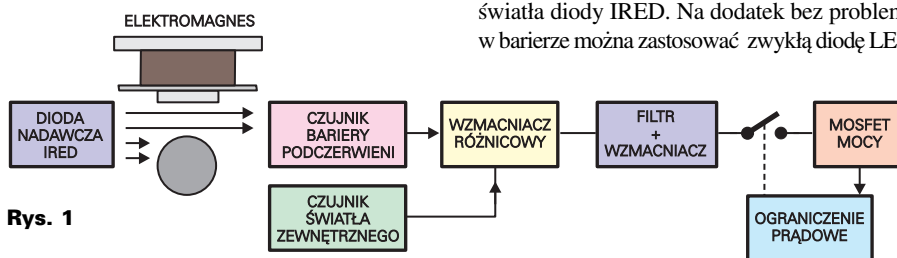
Opis układu

Lewitację magnetyczną można zrealizować na kilka różnych sposobów. Najlepsze efekty wizualne uzyskalibyśmy, stosując elektromagnes z nadprzewodnika. My możemy sięgnąć po o wiele prostszy sposób stworzenia systemu lewitacji magnetycznej. Systemu, w którym

odpowiedni czujnik śledzi położenie obiektu lewitującego w polu magnetycznym elektromagnesu. W naszym projekcie rolę czujnika odgrywa bariera podczerwieni, monitorująca aktualne położenie kulki. Schemat blokowy urządzenia znajduje się na **rysunku 1**. Układ wykorzystuje dwa czujniki podczerwieni, którymi są fototranzystory. Pierwszy z nich tworzy, wraz z diodą nadawczą IRED, prostą barierę śledzącą położenie kulki. Drugi bada poziom oświetlenia zewnętrznego, co jest konieczne, gdyż wokół nas znajduje się wiele źródeł promieniowania podczerwonego (np. słońce, żarówki itp.)

zakłócające pracę bariery.

W sytuacji, gdy dioda nadawcza bariery jest wyłączona (lub zasłonięta), na wejściach wzmacniacza różnicowego (komparatora) występują takie same napięcia, czyli wzmocnienie jest równe zeru. Układ po prostu nie reaguje na oświetlenie z zewnątrz. Dopiero różnica napięć spowodowana oświetleniem czujnika bariery powoduje pojawienie się napięcia różnicy na wyjściu wzmacniacza. Taki prosty sposób jest bardzo skuteczny w eliminacji uciążliwych filtrów czy modulacji światła diody IRED. Na dodatek bez problemu w barierze można zastosować zwykłą diodę LED.



Rys. 1



Na schemacie ideowym z **rysunku 2** dioda D1 wraz z fototranzystorem T2 tworzą barierę podczerwieni. W obwodzie diody nadawczej znajduje się dodatkowy potencjometr PR1 służący do regulacji intensywności świecenia, co może wydawać się nieco dziwne, ponieważ moc tracona w rezystorze R1 jest znaczna. Przy uruchamianiu całego systemu taka możliwość regulacji okazuje się jednak zbawienna ze względu na zmienne warunki oświetlenia zewnętrznego. W emiterze T1 także umieszczono dodatkowy potencjometr PR1, dzięki któremu położenie, a co za tym idzie poziom oświetlenia T1 nie jest tak krytyczne, bo w każdej chwili możemy wyregulować jego czułość. Tranzystory te podłączone są do wtórników operacyjnych U1A, U1B (US1), które zapewniają odpowiednie dopasowanie. Kolejny stopień (U2A) to najzwyczajniejszy wzmacniacz różnicowy o wzmocnieniu równym stosunkowi R7/R4. Sygnał z bariery został podany na wejście nieodwracające

U2A, by działanie układu było bardziej oczywiste (gdy odsłaniamy barierę, to napięcie rośnie i odwrotnie, gdy zasłaniamy – to maleje). Na wyjściu U2A znajduje się filtr, od którego zależy stabilność naszego układu. Bada on aktualne położenie i prędkość kulki. Poprzez dobór wartości rezystancji R8 i R9 oraz pojemności C1 możemy zmieniać przepustowość filtru, a co za tym idzie wzmocnienie i tłumienie danej częstotliwości. Dzięki temu, gdy kulka wpada w drgania, są one natychmiast gaszone szybką reakcją C1.

Dobór wartości tych elementów zależy przede wszystkim od częstotliwości drgań i może być wyliczony lub dobrany eksperymentalnie. Jako że jest to układ pasywny sygnał na wyjściu zostaje zredukowany [$G=R9/(R9+R8)=0,5$], więc trafia następnie do U2B, gdzie zostaje wzmocniony i bez problemu steruje bramką MOSFET-a mocy T8. Bezpośrednio do drenu przyłączona jest cewka elektromagnesu zabezpieczona przed przepięciami diodą D2, o której konieczności chyba nie trzeba przypominać.

Nie zostało omówione jeszcze ograniczenie prądowe, które w zasadzie nie jest konieczne. Wyobraźmy sobie jednak sytuację, kiedy zostawiamy uruchomiony system np. na cały dzień.

Kulka zachowuje się stabilnie, zachwycając domowników, ale co będzie, gdy jednak spadnie?

Otóż z zasilacza pobierany będzie ogromny prąd, a cewka niepotrzebnie zacznie się nagrzewać. Z pomocą przychodzi nieodzowne, jak się okazuje, ograniczenie. W układzie wykorzystano możliwość ciągłej obserwacji wartości napięcia na R17 przez T5. Rezystor ten ma wartość ok. $1\Omega/10W$, więc spadek napięcia na nim jest równy co do aktualnej wartości prądu płynącego przez cewkę elek-

tromagnesu. Za pomocą R18 i PR3 możemy ustalać próg zadziałania zabezpieczenia, które dzięki C2 działa z pewnym opóźnieniem zależnym od pojemności tego kondensatora. Gdy napięcie na R17 osiągnie żądaną przez nas wartość, C2 zacznie się ładować, otwierając następnie T8. Przerzutnik bistabilny (T3, T4) zmieni swój stan na wyjściu, zwiernając bazę T6 do masy, T7 zostanie zatknięty, a przez cewkę przestanie płynąć prąd dopóki nie przycisniemy S1. Układ ograniczenia prądowego przy takich wartościach elementów jakie zastosowano w układzie, daje się regulować za pomocą kulki po prostu spada. Gdy chcemy „wycisnąć” większy prąd, należy po prostu wyłączyć ograniczenie za pomocą zworki umieszczonej na płytce. Dodatkowo znajduje się tam przycisk S2 do wygodnego wyłączenia cewki.

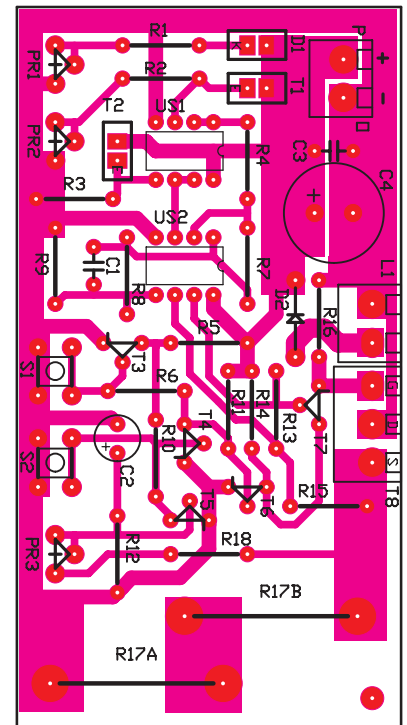
Montaż i uruchomienie

Na rysunku 3 przedstawiona jest płytka drukowana. Montaż elementów nie powinien sprawić żadnych trudności. Standardowo najpierw lutujemy elementy niskie, tj. rezystory, a następnie o coraz większych gabarytach. Pod układy scalone należy wlotować podstawki, by w razie uszkodzenia nie było problemów z wyszukiwaniem usterek. W układzie modelowym wymagany rezystor mocy R17- $1\Omega/10W$ zrealizowano łącząc szeregowo dwa rezystory $0,5\Omega/5W$, co zapewnia skuteczniejsze chłodzenie. W miejsce cewki oraz MOSFET-a umieszczono złącza śrubowe. Fototranzystory i dioda nadawcza na płytce zastąpione są goldpinami. Należy więc przygotować trzy odcinki przewodów, z jednej strony zakończone gniazdami, a z drugiej fotoelementami.

O wiele większym problemem może okazać się wykonanie elektromagnesu oraz całej

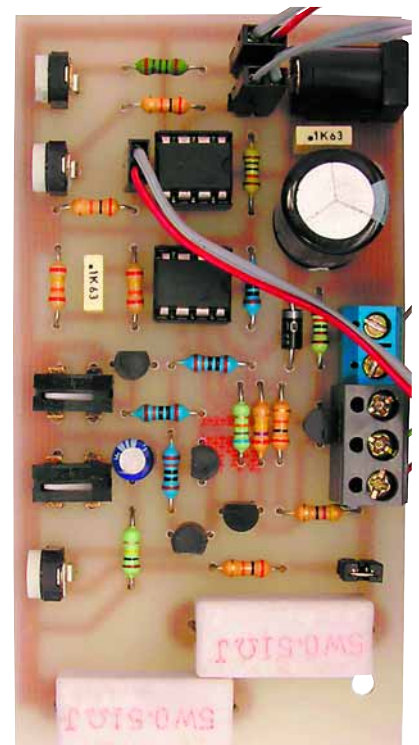
obudowy. W urządzeniu modelowym elektromagnes został wykonany dość nietypowo. Otóż w roli rdzenia wykorzystany został korpus wyjęty ze spalonego głośnika (rysunek 4).

Wykonałem w ten sposób elektromagnes i raczej nie polecam takiego rozwiązania ze względu na utrudnione nawinięcie drutu (no chyba, że ktoś lubi się bawić;-). Udało mi się

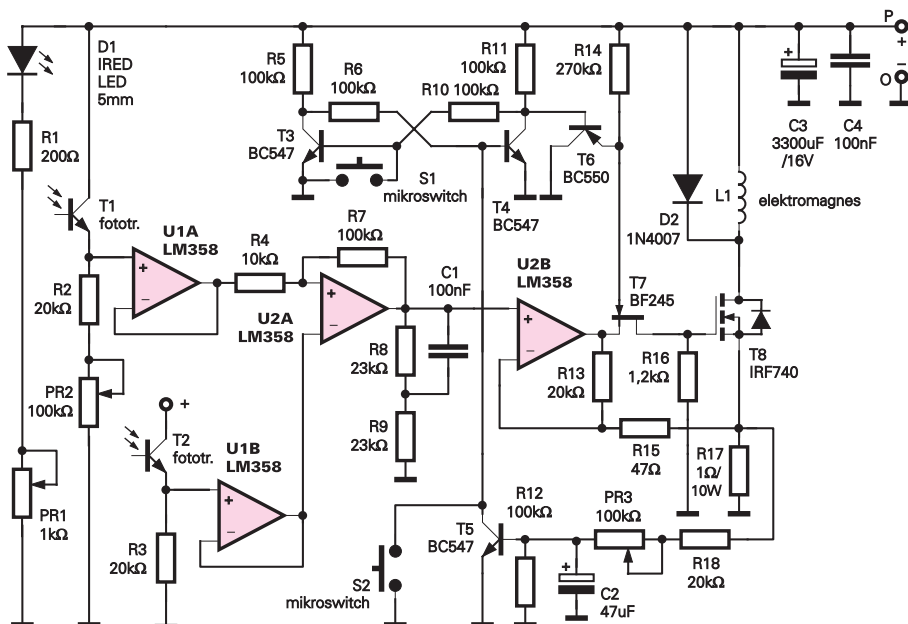


Rys. 3

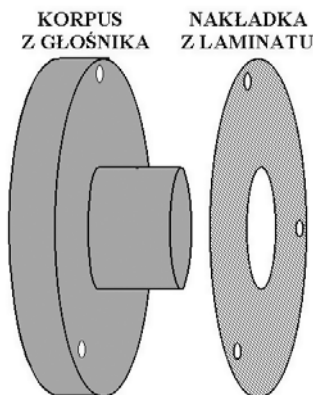
Fot. 1



Rys. 2



nawinąć około $2,5\Omega$ drutu emaliowanego o średnicy 0,6mm (oczywiście wcześniej rdzeń został zaizolowany, by drut nie stykał się bezpośrednio z metalem). Elektromagnes ten w porównaniu z innymi okazał się najmocniejszy i odporny na wysoką temperaturę.



Rys. 4

Jako wskazówkę mogę dodać, że rezystancja cewki przy zasilaniu napięciem 12V nie powinna być mniejsza niż $2,5\Omega$ ani większa niż 8Ω . Jeśli chodzi o drut, to należy wykorzystać DNE o średnicy od 0,6 do 0,8mm. Rdzeń można wykonać na wiele różnych sposobów, choćby ze śruby. Najlepsze osiągi, jeśli chodzi o moc przyciągania, uzyskuje się przy grubym i krótkim rdzeniu. Obudowa w urządzeniu modelowym została zrobiona z trzech aluminiowych ceowników (1cm x 1cm) oraz z radiatora pełniącego rolę podstawy i jednocześnie chłodzącego MOSFET-a. Płytkę drukowaną przykręconą do kawałka pleksi została przytworzona za pomocą dwóch dystansów pod radiator. Taka budowa zapewnia chyba najlepsze chłodzenie i jest dość stabilna, chociaż w dużym stopniu naraża czujniki na wpływ światła zewnętrznego. Bardzo ważne jest odpowiednie ustawienie elementów optycznych, a w szczególności należy zapewnić możliwość regulacji wysokości bariery świetlnej lub samego elektromagnesu, czyli w sumie odległości lewitującego

obiektu od rdzenia. W urządzeniu modelowym rozwiązano to w bardzo praktyczny sposób, wykorzystując możliwość przesuwania elementów optycznych w ceownikach aluminiowych. Fototranzystor światła zewnętrznego powinien znajdować się możliwie blisko fototranzystora bariery, by światło zewnętrzne oświetlało je w takim samym stopniu. Ewentualne różnice należy skorygować potencjometrem PR2. Dioda nadawcza umieszczona jest w odległości ok. 8mm od fototranzystora, tworząc skuteczną barierę podczerwieni.

Układ powinien być zasilany stabilizowanym napięciem 12V. Pobór prądu z zasilacza zależy od ciężaru kulki, a także jej odległości od elektromagnesu i może wynosić maksymalnie ok. 3A. Dość ciężka kulka z myszki komputerowej w układzie modelowym unosiła się w odległości ok. 5mm od rdzenia elektromagnesu, pobierając z zasilacza komputerowego ponad 2A (bez ograniczenia prądowego). Natomiast pusta kulka (brelok) o wadze ok. 10g i podobnej średnicy unosi się już w odległości 1,5cm, co daje niezły efekt wizualny. Gdy układ ma pracować przez dłuższy czas, najlepiej jest wykorzystać właśnie taką lekką kulkę, która po regulacji wysokości bariery będzie lewitowała, np. w odległości 5mm, ale za to pobierając z zasilacza tylko 0,3A.

Podczas eksploatacji układu bardzo pomocna, wręcz konieczna, okazuje się regulacja PR1 i PR2. Potencjometry te powinny znajdować się na widoku, a nie w ewentualnej obudowie, by bez problemu można było ich



użyć. Mimo iż układ posiada czujnik różnicowy, to w praktyce okazuje się, że regulacja jest konieczna. Kiedy system znajduje się głównie w jednym miejscu mieszkania (np. na szafce czy biurku), to wystarczy jednorazowa regulacja, której dokonujemy raz przy naturalnym oświetleniu słonecznym z zewnątrz, a drugi przy zapalonym sztucznym świetle. Gdy oświetlenie zewnętrzne osiągnie zbyt dużą wartość, może okazać się konieczne zastosowanie filtra podczerwieni na fototranzystory bądź umieszczenie ich w plastikowych rurkach, by ograniczyć wpływ światła zewnętrznego.

Patryk Ziewiec

Wykaz elementów

Rezystory

R1	.....	200 Ω
R2, R3, R13, R18	.....	20k Ω
R4	.....	10k Ω
R5-R7, R10-R12	.....	100k Ω
R8, R9	.....	23k Ω
R14	.....	270k Ω
R15	.....	47 Ω
R16	.....	1,2k Ω
R17	.....	1 Ω /10W
PR1	.....	1k Ω
PR2, PR3	.....	100k Ω

Kondensatory

C1, C4	.....	100nF
C2	.....	47 μ F
C3	.....	3300 μ F/16V

Półprzewodniki

US1, US2	.....	LM358
T1, T2	.....	fototranzystor na podczerwień
T3-T5	.....	BC547
T6	.....	BC550
T7	.....	BF245
T8	.....	IRF740
D1	.....	IREDD LED 5mm
D2	.....	1N4007

Pozostałe

S1, S2	.....	mikroswitch
L1	.....	elektromagnes (patrz tekst)

(nie wchodzi w skład zestawu)

Komplet podzespołów z płytką jest dostępny w sieci handlowej AVT jako kit szkolny AVT-2741/2.