

MAGLEV

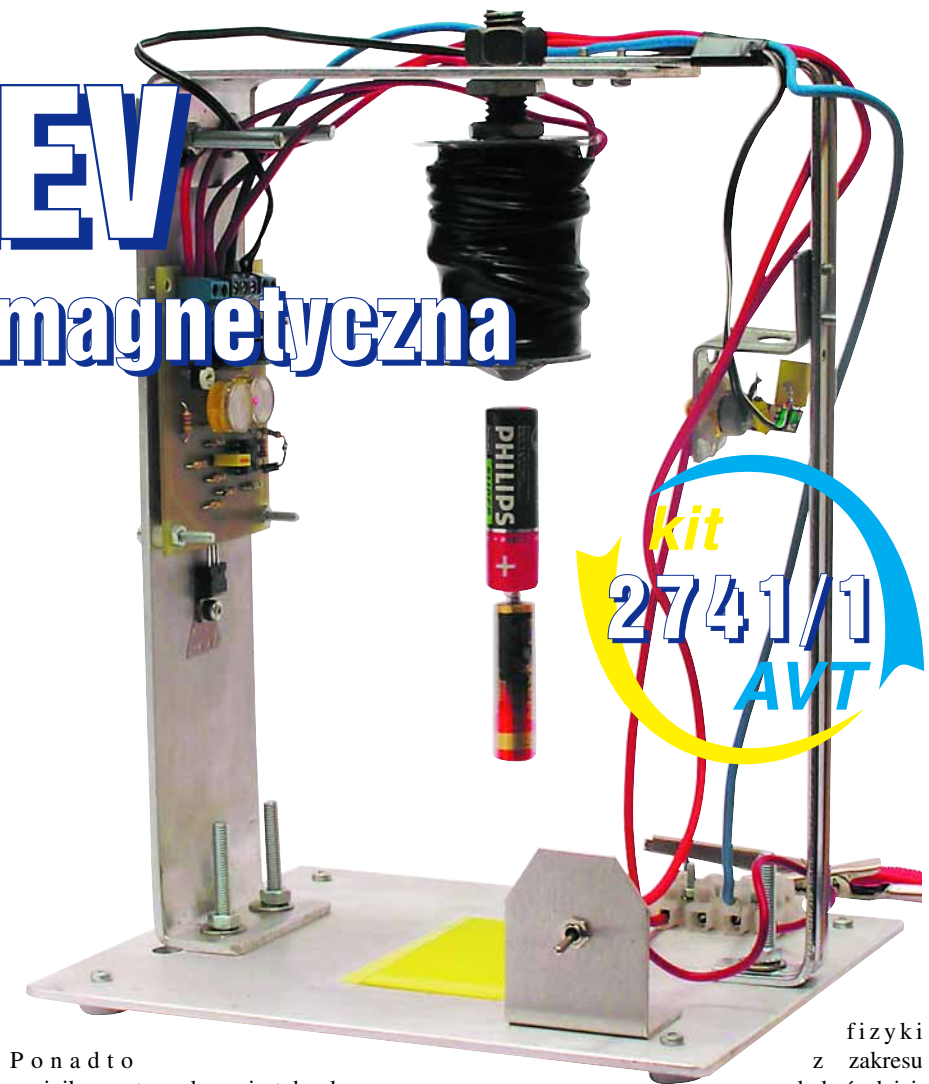
- lewitacja magnetyczna

Lewitron 1

Zjawisko lewitacji magnetycznej polega na unoszeniu się metalowego przedmiotu w powietrzu. Unosi się on dzięki działaniu na niego niewidzialnej dla ludzkiego oka siły wywołanej przez pole elektromagnetyczne. Unoszący się przedmiot nie jest zatem związany mechanicznie z innym układem. Nie muszą chyba zapewniać, że stwarza on niesamowite wrażenie u obserwującej osoby. Obserwowany lewitujący przedmiot przeczy naszej intuicji i sprawia fenomenalne wręcz uczucie, że coś jest nie tak.

Opisany poniżej prosty model Lewitronu powstał przy bardzo niskim nakładzie pracy, a mimo to udało się osiągnąć imponujący efekt. Co prawda planowałem przeprowadzić eksperymenty z innymi czujnikami położenia, np. z czujnikiem indukcyjnym lub ultradźwiękowym, ale po szczegółowym przemyśleniu takiej konstrukcji doszedłem do wniosku, że prościej jest wykonać model o podobnej zasadzie działania, jak ten z majowego numeru EdW (5/04). Taki system antygravitacyjny, moim zdaniem, jest bardziej efektywny.

Podczas doświadczeń najwięcej pracy włożyłem w czujnik położenia obiektu. Wypróbowałem barierę z diodami LED, IRED oraz z diodą laserową. Zdecydowanie najlepiej wypadł czujnik położenia działający z diodą laserową. Doprowadzenie obiektu do stanu lewitacji jest bezproblemowe i wyraźnie odczuwa się punkt w przestrzeni, w którym obiekt zaczyna lewitować. W przypadku diod LED czy IRED ustawienie obiektu w punkcie lewitacji sprawiało trochę kłopotu – często zaczynał oscylować i spadał. Ostatecznie zdecydowałem się na użycie lasera. Zastosowanie lasera uprościło również układ elektroniczny. Próbowałem wykonać nawet regulator z użyciem trzech tranzystorów (wtórnik emiterowy na wejściu i układ Darlingtona po obwodzie różniczkującym). Układ prawie działa – obiekt jednak często spadał. Może po dokładniejszym dobraniu wartości elementów (w szczególności obwodu różniczkującego) pozostałbym właśnie przy tamtym rozwiązaniu.



Ponadto czujnik oparty o laser jest bardzo odporny na zakłócenia. Oświetlony światłem lasera fotorezystor ma rezystancję około 100Ω , natomiast oświetlony światłem słonecznym w letni, bezchmurny dzień, posiada rezystancję rzędu $2k\Omega$. Zastosowanie dodatkowego fotorezystora, badającego natężenie światła tła, czyni układ odpornym na wszelkie zmiany oświetlenia.

Uważam, że użycie mikroprocesora do wykonania regulatora jest zupełnie zbędne. Układ analogowy, zbudowany w oparciu o wzmacniacz operacyjny, działa rewelacyjnie. Cechuje go prostota i niski koszt.

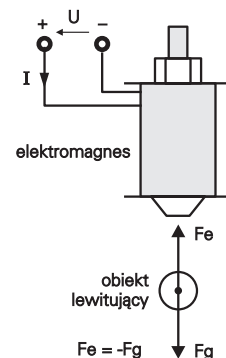
Oprócz czujnika położenia trochę problemu miałem z elektromagnesem. To właśnie brak odpowiedniego rdzenia zniechęcał mnie do podjęcia prób wykonania urządzenia. W końcu podjąłem, wykonania rdzenia z dostępnych części. Okazało się, że wystarczy zwykła śruba i drut ze starego transformatora.

Powstały efekt lewitacji magnetycznej jest naprawdę fantastyczny!

Opis układu

Ogólna zasada działania jest jednak prosta i można ją opisać, nie wykorzystując do tego nawet matematyki – wystarczy znajomość

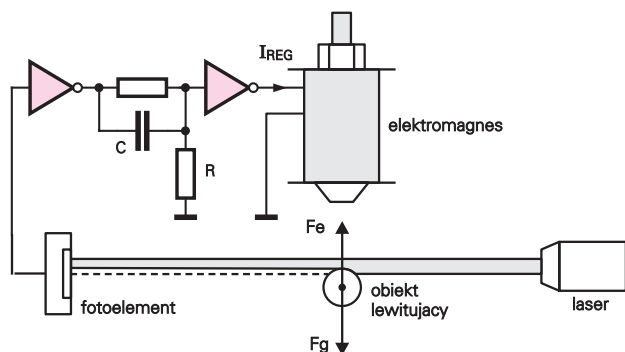
fizyki z zakresu szkoły średniej. Na rysunku 1 jest przedstawiony schematycznie układ z elektromagnesem i kulką wykonaną np. ze stali. Oczywiście nie musi to być kulka – można wykorzystać dowolny inny przedmiot wykonany z tego materiału. Na rysunku zaznaczyłem siły działające na kulkę. Działają dwie siły: elektromagnetyczna oznaczona jako F_e , którą wytwarza elektromagnes, oraz siła grawitacji oznaczona jako F_g . Żeby kulka mogła wisieć swobodnie w powietrzu, wymagane jest, żeby siły F_e i F_g były równe (ale przeciwnie skierowane). Istnieje zatem punkt



Rys. 1

w przestrzeni, w którym te siły się równoważą, a jego położenie zależy od siły Fe oraz od masy kulki. Choć znajdziemy ten punkt i umieścimy w nim kulkę, jej lewitacja jest niemożliwa, ponieważ nawet najmniejsze zakłócenie jej pozycji spowoduje spadek kulki albo przyciągnięcie przez elektromagnes. Można jednak na bieżąco badać położenie kulki i regulować siłę przyciągania elektromagnesu. Jak wiadomo, siła elektromagnesu zależy od prądu przepływającego przez jego uzwojenie. Wystarczy więc opracować układ czujnika badającego położenie oraz szybkość zmian położenia lewitującego przedmiotu i odpowiedni sterownik elektromagnesu. Schemat takiego układu widoczny jest na **rysunku 2**.

Światło lasera tworzy barierę, którą w pewnym stopniu przecina obiekt lewitujący. Światło, które nie zostało załuszczone przez obiekt, dociera do fotoelementu. Fotoelement zamienia informację o ilości światła na sygnał elektryczny, który następnie wędruje do wzmacniacza. Po wzmacnieniu otrzymujemy jedynie informację o *położeniu* obiektu, a nas interesuje również *szybkość zmian* położenia. Tę informację można łatwo uzyskać stosując obwód różniczkujący RC (różniczka obrazuje szybkość zmian danej funkcji – w tym przypadku sygnał z fotoelementu). Po zróżniczkowaniu sygnału z fotoelementu, wystarczy go



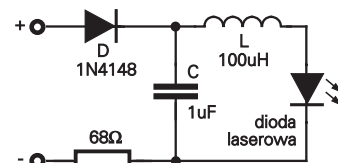
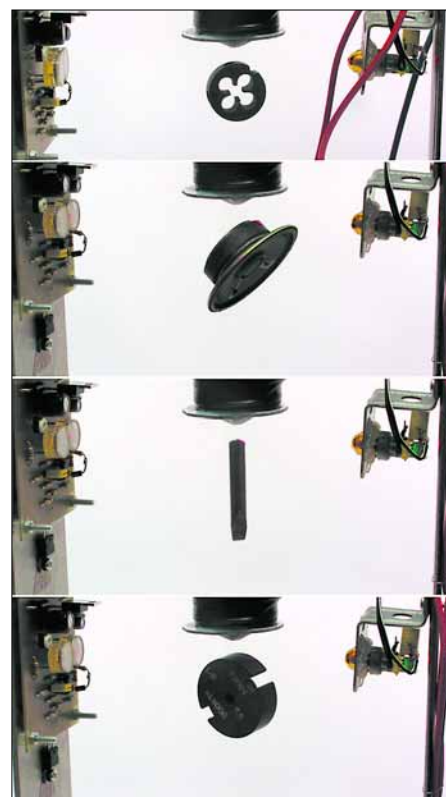
Rys. 2

Rys. 3

podać do wzmacniacza, a następnie na elektromagnes. Ponieważ światło lasera jest bardzo intensywne, wstępny wzmacniacz jest wtórnikiem, czyli ma wzmacnienie 1.

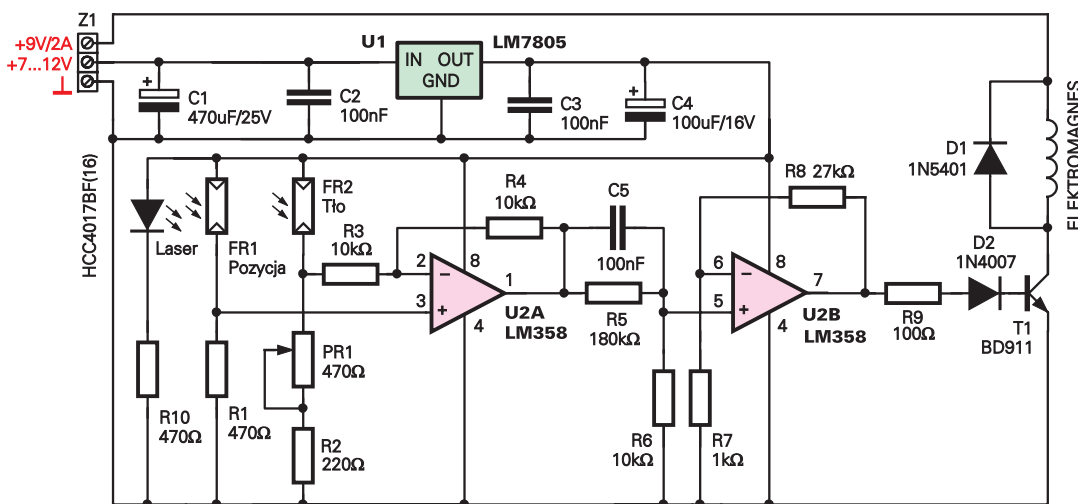
Schemat elektryczny układu pokazany jest na **rysunku 3**. Cała elektronika opiera się tu o znany każdemu układ scalony LM358, zawierający dwa wzmacniacze operacyjne. Pierwsza połowka tej kostki pracuje jako wzmacniacz różnicowy o wzmacnieniu 1. Fotorezystor FR1 odczytuje położenie obiektu lewitującego, natomiast FR2 bada natężenie oświetlenia w tle. Takie rozwiązanie uniezależnia pracę czujnika od oświetlenia zewnętrznego, gdyż napięcie na wyjściu U2A jest wynikiem odjęcia od napięcia na FR1 napięcia panującego na FR2. Na wyjściu U2A otrzymujemy zatem, niezależnie od padającego światła z zewnątrz, sygnał informujący tylko o natężeniu docierającego światła lasera. Warunkiem poprawnego działania tego obwodu jest umieszczenie bardzo blisko siebie tych dwóch fotoelementów. Ponieważ charakterystyki dwóch jednakowych fotoelementów mogą być nieco przesunięte względem siebie, może stać się konieczne wyrównanie napięć panujących na FR1 i FR2 tak, żeby po oświetleniu jednakowym światłem były one równe. Właśnie do tego celu służy potencjometr PR1. Uzyskany sygnał jest następnie podawany na obwód różniczkujący C5 R6 oraz rezystor R5. Wzmacniacz U2B jest skonfigurowany jako wzmacniacz nieodwracający o wzmacnieniu 28x. Ma on za zadanie wzmocnić uzyskany sygnał i podać go na bazę tranzystora T1.

Dioda D1 ma za zadanie zgasić wszelkie przepięcia powstające na cewce elektromagnesu. Dioda D2 jest właściwie zbędna – podczas eksperymentów miała

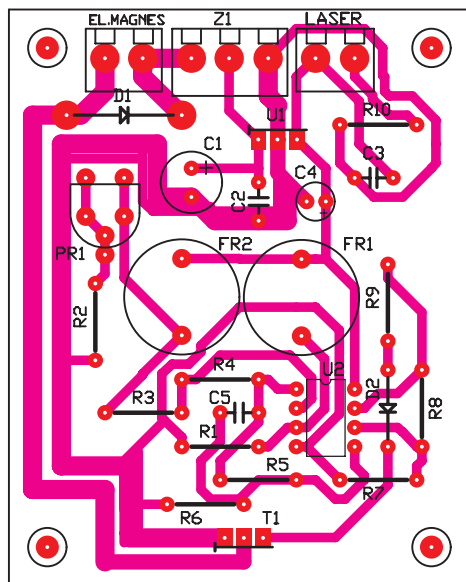


Rys. 4

całkowicie odizolować diodę laserową od cewki. Istniało ryzyko uszkodzenia lasera, ponieważ dioda laserowa jest elementem bardzo czułym na wszelkie, nawet najmniejsze przepięcia. Niech świadczy o tym fakt, że w trakcie doświadczeń z urządzeniem uszkodzeniu uległy 3 diody pochodzące z tanich wskaźników laserowych. Zmusiło

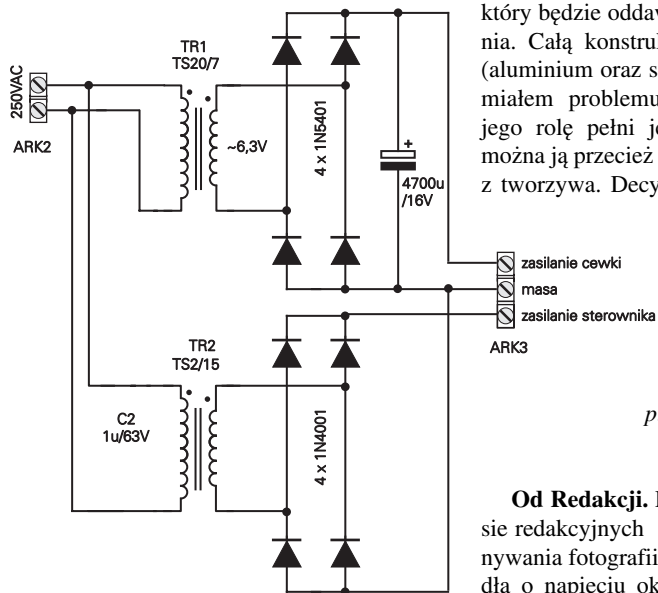


mnie to do włączenia w obwód diody laserowej układu zabezpieczającego, którego schemat ideowy pokazuje **rysunek 4**. Rezystor R należy dobrać indywidualnie dla danej diody. U mnie wartość R wynosi 68Ω, natomiast prąd przepływający przez diodę ma wartość 15mA. Jej prąd najlepiej ustalić na granicy powstawania efektu laserowego, co jest wyraźnie zauważalne w postaci nagłego wzrostu intensywności światła.



Rys. 6 Schemat montażowy

Rys. 5



Ponieważ w obwodzie cewki nie ma źródła prądowego ani żadnego rezystora, zdecydowałem się na zasilanie cewki oraz sterownika z osobnych zasilaczy. Całość podłączyłem do zasilacza, którego schemat jest na **rysunku 5**.

W modelu zastosowałem cewkę o rezystancji 4,7Ω, która składa się z 793 zwojów drutu DNE 0,9 pochodzącego ze starego transformatora. Rdzeń elektromagnesu stanowi śruba M10. Najlepiej jeżeli posiada ona półokrągły łeb. Wykonanie elektromagnesu na bazie śruby ma tą zaletę, że łatwo regulować odległość obiektu lewitującego od jego rdzenia. Taka regulacja jest konieczna dla każdego obiektu o innej masie. Dla lekkich obiektów odległość ta może wynosić nawet 1,5cm.

Obwód cewki (zacisk „P”) najlepiej zasilac napięciem 9V z zasilacza o wydajności prądowej co najmniej 2A. Obwód sterownika (zacisk „+”) można zasilic z jakiegokolwiek zasilacza dającego prąd stały o napięciu 9-15V. Umieszczony na obudowie włącznik służy do włączania lasera.

Montaż i uruchomienie

Układ elektroniczny możemy zamontować na płytce pokazanej na **rysunku 6**. Przed zmontowaniem układu musimy się zastanowić nad konstrukcją mechaniczną całego urządzenia. Bardzo ważne jest umiejscowienie płytki oraz lasera – światło lasera musi padać dokładnie w środek FR1 i jednocześnie przechodzić dokładnie nad osią rdzenia elektromagnesu. Należy przemyśleć również sposób chłodzenia tranzystora T1, który będzie oddawał sporo ciepła do otoczenia. Całą konstrukcję wykonałem z metalu (aluminium oraz stal nierdzewna), a więc nie miałem problemu z radiatorem, ponieważ jego rolę pełni jeden ze wsporników. Ale można ją przecież wykonać np. z drewna albo z tworzywa. Decydując się na metal, należy jednak zadbać o odizolowanie kolektora T1 od całej konstrukcji, stosując podkładkę mikiową.

Piotr Wojtowicz
piotr.wojtowicz@edw.com.pl

Od Redakcji. Prezentowany układ w czasie redakcyjnych testów oraz podczas wykonywania fotografii zasilany był z jednego źródła o napięciu około 9V. Decyzja o użyciu

dwóch oddzielnych zasilaczy i obawy Autora dotyczące uszkodzenia diody laserowej przez „śmieci” z cewki są uzasadnione tylko podczas eksperymentów, a i to częściowo. Same diody laserowe są wyjątkowo delikatne, najdelikatniejsze z popularnych elementów. Przyczyną uszkodzenia zazwyczaj nie są szpilki z obwodów zasilania, tylko ładunki elektrostatyczne ludzkiego ciała i ubrania. Montaż diod laserowych przeprowadzany jest w specjalnych warunkach, z zastosowaniem środków eliminujących ładunki elektrostatyczne. Dlatego W ŻADNYM WYPADKU NIE NALEŻY rozbierać całkowicie modułu wskaźnika laserowego i odłączać diody. Dioda powinna być wlutowana w oryginalny, fabryczny układ, gdzie jest chroniona, choćby przez równoległą pojemność.

Testy redakcyjne i fotografia na stronie 14 pokazują, że lewitujące elementy mogą mieć znaczną masę, a stabilność położenia lewitującego elementu jest bardzo dobra. Podczas pracy można np. dwie baterie rozhuścić, a mimo to będą one prawidłowo lewitować.

Wykaz elementów

Rezystory

R1	470Ω
R2	220Ω
R3	10kΩ
R4	10kΩ
R5	180kΩ
R6	10kΩ
R7	1kΩ
R8	27kΩ
R9	100Ω
PR1	1kΩ

Kondensatory

C1	470μF/25V
C2,C3	100nF ceramiczne
C4	100μF/16V
C5	100nF

Półprzewodniki

D1	1N5401
D2	1N4007
T1	BD911
U1	LM7805
U2	LM358

moduł laserowy z układem optycznym nie wchodzi w skład zestawu

Komplet podzespołów z płytką jest dostępny w sieci handlowej AVT jako kit szkolny AVT-2741/1.