

Elektromechaniczny efekt audio typu LESLIE

AVT-5061



Efekt LESLIE został po raz pierwszy zrealizowany w przystawce do elektroniczno-mechanicznych organów Hammonda już w latach czterdziestych. Zasada działania klasycznego generatora tego efektu jest bardzo prosta, ale uzyskiwane efekty niezwykle interesujące. Efekt LESLIE jest uzyskiwany za pomocą czterech głośników umieszczonych we wspólnej obudowie pod kątem 90° do siebie tak, że głośniki patrzą na cztery strony świata. Na tym jednak oczywiście nie koniec. Tak specyficznie skonstruowana kolumna głośnikowa umieszczona jest na obrotowej podstawie i wraz nią wiruje dookoła własnej osi. Liczba obrotów na minutę, wykonywanych przez zespół głośnikowy, może być różna i zwykle waha się pomiędzy 50 a 500obr./min.

Niestety, zbudowanie prawdziwego układu generującego efekt LESLIE, który z założenia jest prawie wyłącznie urządzeniem mechanicznym, a nie elektronicznym, wydaje się być, jak na razie zbyt trudnym zadaniem. Napotkalibyśmy tu na rozliczne i trudne do przewyżyczenia trudności: zapewnienie bezszelestnej pracy napędu zespołu obrotowego, przewyżyczenie skutków działania siły odśrodkowej na głośniki (wynikają z tego zjawiska niepożądane zniekształcenia dźwięku), doprowadzenie przewodów elektrycznych do wirującej części urządzenia. To tylko część problemów jakie musi rozwiązać konstruktor.

Pozwoliłem sobie przytoczyć obszernie fragmenty artykułu napisanego kilka lat temu (EP01/99) i udowodnić, że pewne niemożności można pokonać dzięki dobremu pomysłowi i niekonwencjonalnemu wykorzystaniu powszechnie znanego elementu.

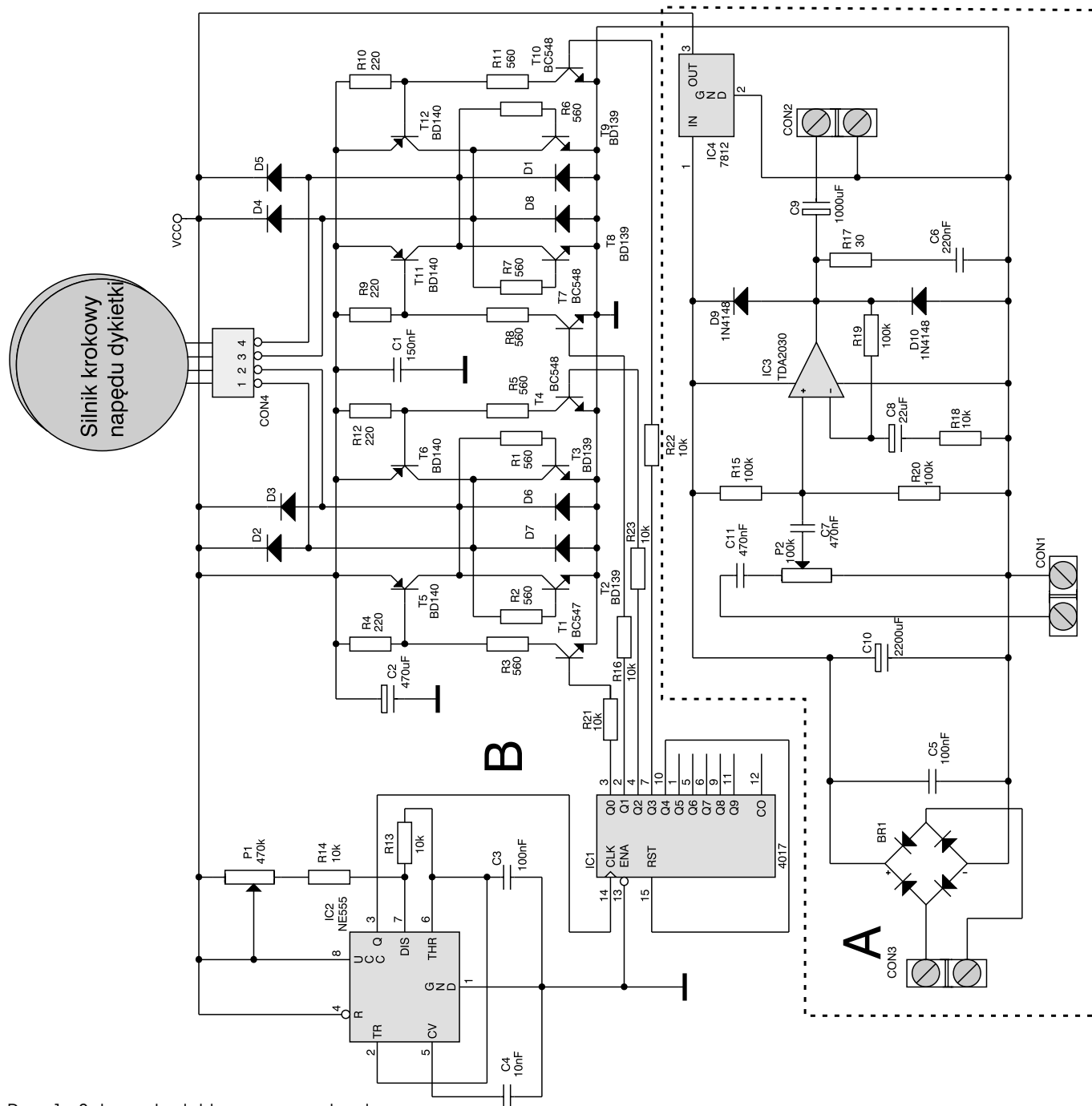
Głównym problemem, na jaki napotkałem podczas prób projektowania urządzenia realizującego

efekt LESLIE było oczywiście zdobycie silnika, a właściwie całego zespołu napędowego, który wprawiałby w ruch obrotowy głośniki. Taki zespół napędowy musiałby charakteryzować się praktycznie bezszelestną pracą, przy rozwijaniu sporej prędkości obrotowej i momencie obrotowym pozwalającym na poruszenie dość ciężkich głośników.

Ale właściwie dlaczego te głośniki muszą być ciężkie? Przecież efekt typu LESLIE nie służy do bezpośredniego słuchania, ale jedynie do odbierania go za pośrednictwem mikrofonu i dalszej obróbki tak zarejestrowanego sygnału. Tak więc zastosowane w urządzeniu głośniki wcale nie muszą mieć zbyt dużej mocy i w zupełności możemy zadowolić się głośnikami o mocy nawet ułamka wata, ale o przyzwoitej jakości. Takie głośniki, nawet wyposażone w prostą obudowę, wcale nie muszą być ciężkie i nie będziemy musieli stosować zespołu napędowego o zbyt wielkiej mocy.

Nierozwiązany został jeszcze problem zapewnienia cichej pracy zespołu napędowego. Przez pewien czas myślałem o zastosowaniu silnika indukcyjnego od starego gramofonu, aby napędzać tarczę z umieszczonymi na niej głośnikami za pośrednictwem przekładni pasowej, ale jakoś „nie miałem serca do takiego rozwiązania“.

Pomysł na wykonanie układu napędowego był dla mnie pewne-



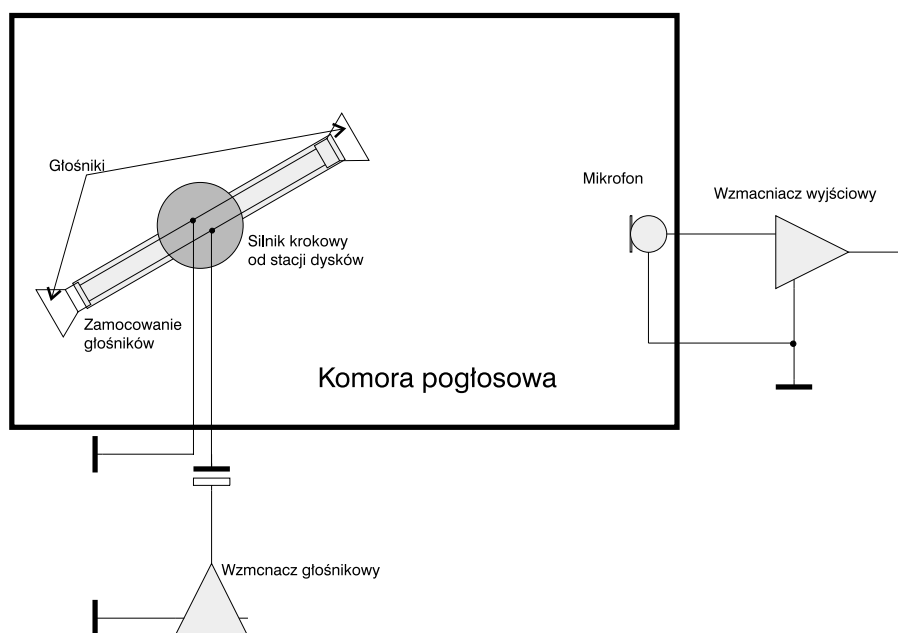
Rys. 1. Schemat elektryczny urządzenia.

go rodzaju olśnieniem. Przecież potrzebny układ mechaniczny był cały czas dosłownie w zasięgu ręki! Możemy go zdobyć bez większego trudu, „zagospodarowując“ urządzenie przeznaczone już do złomowania. Urządzeniem tym jest stacja dysków 5,25", obecnie nie przedstawiająca już najmniejszej wartości użytkowej, ale będąca źródłem cennych podzespołów: silników krokowych. Jeden z nich, silnik wolnoobrotowy napędzający głowicę stacji, był już wykorzystywany w naszych

konstrukcjach. Opracowaliśmy też wiele układów do jego sterowania. Drugi silnik, służący do bezpośredniego napędu dyskiety nie był, z uwagi na swoją specyficzną budowę, jak dotąd wykorzystywany.

Silnik krokowy napędzający dyskiety w stacji dysków 5,25" jest dość nietypowym przedstawicielem tej grupy silników. Przeznaczony jest do pracy ze stałą prędkością obrotową i w jednym kierunku. Układ elektroniczny sterujący jego pracą współpracuje

z rezonatorem kwarcowym, co zapewnia bardzo dobrą stabilizację prędkości obrotowej, nieosiągalną w przypadku stosowania silników komutatorowych, a niezbędną dla prawidłowego działania stacji dysków. Pomimo tego bardzo specyficznego dla silników krokowych systemu sterowania, silnik ten możemy wykorzystywać jako zwykły silnik krokowy, z wynikającymi z tego szerokimi możliwościami. Niestety, niezbędne będą pewne, na szczęście łatwe przeróbki.



Rys. 2. Zasada działania generatora efektu LESLIE z dwoma głośnikami podłączonymi równolegle.

Zanim jednak przystąpiłem do opracowywania sterownika do silnika krokowego, mającego pracować jako napęd wirujących głośników w naszym generatorze efektu zbliżonego do LESLIE, poczyniłem stosowne próby, mające wykazać ewentualną przydatność silnika do nowego, postawionego przed nim zadania. Po wymontowaniu całego zespołu napędowego - składającego się z silnika i sterującego nim układu elektronicznego - z wnętrza stacji dysków, dołączyłem do niego właściwe napięcie zasilające (12VDC) i podałem na wejście sterujące układu napięcie o poziomie wysokim. Zgodnie z oczekiwaniami, silnik zaczął obracać się z sporą prędkością, nie wydając przy tym praktycznie żadnego dźwięku. Kolejna próba polegała na obciążeniu tarczy silnika masą zbliżoną do masy dwóch małych głośniczków. Próba ta zakończyła się jedynie częściowym powodzeniem: dodatkowo obciążony silnik nie chciał samodzielnie rozpocząć pracy i ruszył dopiero po delikatnym „popchnięciu“, szybko osiągając nominalną prędkość obrotową.

Wyniki prób były jednak na tyle zachęcające, że postanowiłem opracować specjalny sterownik przeznaczony do sterowania silnikiem krokowym wykorzystywanym do napędu wirujących głośników. Wyniki tej pracy po-

zwałam sobie obecnie przedstawić Czytelnikom Elektroniki Praktycznej.

Opis działania

Schemat elektryczny proponowanego układu został pokazany na rys. 1, a na rys. 2 przedstawiono zasadę działania generatora efektu LESLIE wykorzystującego dwa połączone ze sobą równoległe głośniki. Schemat elektryczny, który w pierwszej chwili może wydać się nieco skomplikowany, możemy podzielić na dwa, praktycznie niezależne i połączone ze sobą tylko wspólnym zasilaniem bloki funkcjonalne. Dla zwiększenia czytelności rysunku zostały one oddzielone od siebie linią przerywaną i oznaczone jako „A“ i „B“. W pierwszej kolejności zajmijmy się układem służącym do bezpośredniego sterowania silnikiem krokowym.

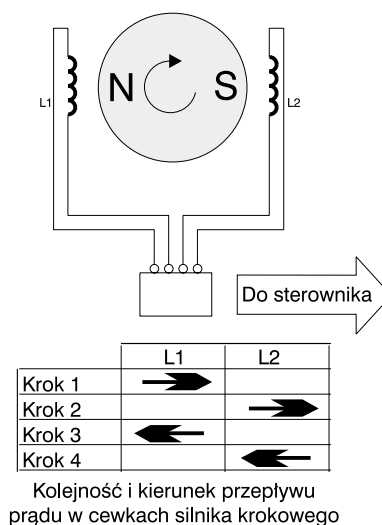
Najpierw powinienem wytłumaczyć się Czytelnikom, dlaczego namawiam Ich do budowy nowego sterownika silnika krokowego, zamiast zaprogramować wykorzystanie układu zintegrowanego z samym silnikiem, który w dodatku stosowany był z powodzeniem podczas pierwszych eksperymentów z mechanicznym napędem do efektu LESLIE. Otóż układ umieszczony w obudowie silnika napędzającego dyskiety w stacji dysków elastycznych nie posiada żad-

nej możliwości zmiany prędkości obrotowej. Taka możliwość jest nam niezbędna, i to z dwóch powodów. Po pierwsze, regulując prędkość wirowania głośników możemy zmieniać w szerokim zakresie rodzaj uzyskiwanego efektu akustycznego. Po drugie, jak już wspomniałem, zastosowany silnik ma spore trudności z samodzielnym „ruszeniem z miejsca“ i należy go powoli rozpedzać, aż do osiągnięcia maksymalnych obrotów.

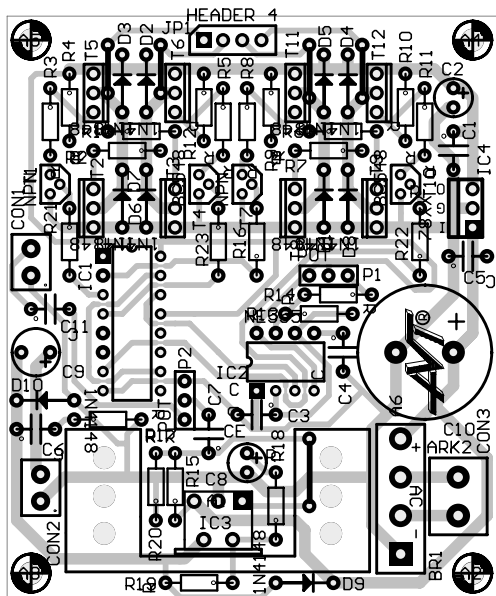
Zasada działania silników krokowych, będących idealnym „przełożeniem“ pomiędzy elektroniką a mechaniką, była już kilkakrotnie opisywana na łamach Elektroniki Praktycznej. Dlatego też przypomnijmy ją sobie jedynie w największym skrócie.

W dużym uproszczeniu silnik krokowy zbudowany jest z magnesu - wirnika umieszczonego pomiędzy dwoma cewkami. Przepływ prądu przez cewki powoduje powstanie wirującego pola magnetycznego i w konsekwencji obracanie się wirnika. Schemat budowy takiego silnika oraz sposób zasilania jego cewek pokazano na rys. 3. W rzeczywistości wewnątrz silnika krokowego umieszczonych jest kilka-kilkanaście cewek połączonych ze sobą w dwie grupy, a i w wirniku znajduje się znacznie więcej magnesów.

Wiemy już jaką rolę ma spełniać nasz sterownik: włączać kolejno prąd w cewkach silnika oraz zmieniać kierunek jego przepły-



Rys. 3. Schemat budowy silnika krokowego oraz sposób zasilania jego cewek.



Rys. 4. Rozmieszczenie elementów na płytce drukowanej.

wu. Zobaczmy, czy udało mi się zrealizować postawione zadanie.

Generator zbudowany z wykorzystaniem popularnego układu NE555 - IC2 wytwarza ciąg impulsów prostokątnych, których częstotliwość możemy zmieniać w szerokim zakresie ca pomocą potencjometru P1. Impulsy te podawane są na wejście zegarowe licznika Johnsona IC1 - 4017 zliczającego do 4.

Rozpatrzmy teraz, co się stanie w momencie pojawienia się wysokiego poziomu napięcia na pierwszym wyjściu tego licznika - Q0, czyli w pierwszym kroku cyklu pracy silnika. Skutkiem tego będzie przewodzenie tranzystora T1, a w konsekwencji także spolaryzowanie baz tranzystorów T5 i T3. Przez pierwszą z cewek silnika krokowego dołączoną do zacisków 1 i 2 złącza CON4 popłynie prąd, umownie w kierunku zgodnym z wskazówkami zegara. Pojawienie się wysokiego poziomu napięcia na wyjściu Q1 IC1 spowoduje z kolei przepływ prądu w tym samym kierunku przez drugą z cewek, a tym samym wykonanie drugiego kroku pracy silnika.

Uaktywnienie wyjścia Q2 IC1 spowoduje włączenie tranzystorów T6 i T2 i prąd popłynie tym razem znowu przez pierwszą cewkę, lecz w przeciwnym kierunku co uprzednio. W ostatnim, czwartym kroku cyklu pracy silnika trzeba zasilać drugą cewkę, także w przeciwnym kierunku niż w kroku 2.

Opisany cykl pracy silnika będzie powtarzał się aż do wyłączenia zasilania, powodując obracanie się silnika w jednym kierunku, z prędkością regulowaną za pomocą potencjometru P1. Tak więc układ sterujący pracą silnika krokowego spełnia przyjęte założenia i należy sądzić, że będzie pracował poprawnie.

Druga część schematu, oznaczona jako „A“, zawiera schemat typowo skonstruowanego wzmacniacza m. cz. średniej mocy, przeznaczonego do zasilania głośników. W układzie zastosowałem popularny i, co bardzo ważne, tani scalony wzmacniacz mocy typu TDA2030. Przy napięciu zasilania 16VDC jest on w stanie dostarczyć mocy ok. 12W, co nawet znacznie przekracza nasze potrzeby. Natężenie dźwięku docierającego do głośników możemy regulować za pomocą potencjometru P2.

Montaż i uruchomienie

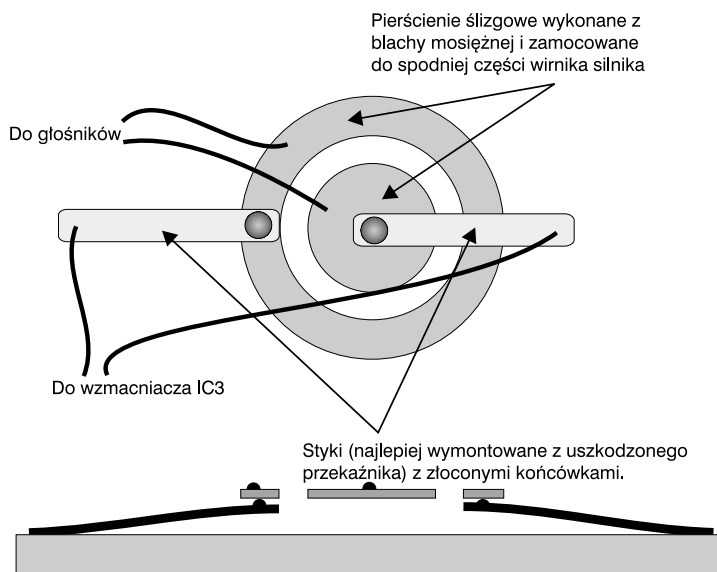
Montaż części elektronicznej urządzenia nie nastreczy z pewnością nikomu większego kłopotu. Natomiast pomęczymy się trochę z częścią mechaniczną, ale zaręczam Wam, że uzyskane efekty będą warte tego zachodu.

Na rys. 4 pokazano mozaikę ścieżek płytki obwodu drukowanego oraz rozmieszczenie na niej elementów. Płytkę zaprojektowano na laminacie jednostronnym, co

niestety pociągnęło za sobą konieczność zastosowania kilku, tak przez nas nie lubianych zworek. Od nich właśnie rozpoczniemy montaż układu, lutując w dalszej kolejności elementy o coraz większych gabarytach. Po wlutowaniu kondensatora C10 przystąpimy do montażu scalonego wzmacniacza mocy - IC3. W pierwszej kolejności musimy przykręcić układ scalony do radiatora (nie zapominając o zastosowaniu pasty poprawiającej kontakt termiczny pomiędzy tymi elementami), a następnie włożyć wyprowadzenia układu w przewidziane na nie otwory w punktach lutowniczych na płytce. Kolejną czynnością będzie przylutowanie radiatora do płytki, a następnie wyprowadzeń układu scalonego.

Układ zmontowany ze sprawnych elementów nie wymaga jakiegokolwiek uruchamiania ani regulacji i działa natychmiast poprawnie.

No, a teraz najgorsze: mechanika. Na szczęście zastosowanie silnika krokowego uwolniło nas od konieczności budowania przekładni mechanicznej i uprościło znacznie konstrukcję urządzenia, ale i tak natkniemy się na przynajmniej jeden problem do rozwiązania. Problemem tym będzie doprowadzenia zasilania do wirujących głośników. Wagę problemu znacznie powiększył fakt, że obie części silnika: wirnik i podstawa są, wbrew oczekiwaniom, elektrycznie odizolowane od siebie.



Rys. 5. Sposób wykonania styków ślizgowych.

WYKAZ ELEMENTÓW

Rezystory

P1, P2: potencjometr obrotowy
100k Ω

R1...R3, R5, R6, R11, R16,
R21...R23: 820 Ω

R4, R9, R10, R12: 200 Ω

R7, R8: 560 Ω

R13, R14, R18: 10k Ω

R15, R19, R20: 100k Ω

R17: 30 Ω

Kondensatory

C1, C3, C5, C6: 220nF

C2, C9: 1000 μ F/16V

C4: 22nF

C7, C11: 470nF

C8: 22 μ F/16V

C10: 2200 μ F/25V

Półprzewodniki

BR1: mostek prostowniczy 3A

D1...D10: 1N4148 lub odpowiednik

IC1: 4017

IC2: NE555

IC3: TDA2030

IC4: 7812

T1, T7, T4, T10: BC548 lub
odpowiednik

T2, T3, T8, T9: BD139 lub
odpowiednik

T5, T6, T11, T12: BD140 lub
odpowiednik

Różne

CON1, CON2, CON3: ARK2

Radiator typ 3

Jest to prawdopodobnie spowodowane zastosowaniem w konstrukcji łożysk kulkowych, na których ułożyskowany jest wirnik silnika, z tworzywa sztucznego. Tak więc musimy doprowadzić do wirujących silników aż dwa przewody.

Perfekcyjnym rozwiązaniem stojącego przed nami zadania byłoby... nie doprowadzanie do głośników żadnych przewodów, lecz doprowadzenie do nich sygnału drogą radiową lub za pomocą podczerwieni. Rozwiązanie takie jest jednak nie do przyjęcia ponieważ nie tylko spowodowałoby drastyczny wzrost kosztów, ale także zwiększyłoby znacznie masę (konieczność zastosowania zasilania akumulatorowego lub bateryjnego) i wymiary wirującej części urządzenia. Pozostaje nam zatem wykonanie styków ślizgowych, od których jakości zależeć będzie w znacznym stopniu jakość dźwięku dostarczanego do głośników.

Sposób wykonania takich styków został pokazany na **rys. 5** i nie wymaga chyba żadnych dodatkowych komentarzy.

Należy teraz wspomnieć parę słów na temat sposobu korzystania z wykonanego urządzenia. Zasada postępowania jest prosta: eksperymentować, eksperymentować i jeszcze raz eksperymentować! Eksperymenty te mogą dotyczyć wielu elementów urządzenia, jego obudowania lub zrezygnowania z obudowy i innych. Na przykład, w układzie modelowym zastosowano dwa głośniki, a także wykonano próby z jednym głośnikiem. W obydwóch przypadkach uzyskiwane efekty były bardzo interesujące, lecz różne. Przy próbach, w których nasz generator efektu LESLIE pracował bez obudowy, uzyskiwany efekt był w zasadzie czystym „Dopplem”, bez jakichkolwiek domieszek. Prawdziwa zabawa rozpoczęła się jednak po umieszczeniu urządzenia w skrzynce wykonanej z pleksiglasu o grubości 5 mm (szczegóły widoczne na fotografii). Uzyskiwane efekty były bardzo interesujące, lecz trudne do opisanego dla kogoś, kto nie potrafi nawet rozpoznawać instrumentów muzycznych. W każdym razie była to zawsze mieszanka efektu Dopplera i złożonego pogłosu, powstającego w wyniku odbijania się fali dźwiękowej od ścianek obudowy.

Do wszystkich prób wykorzystywany był mikrofon elektretowy połączony z typowym przedwzmacniaczem mikrofonowym i wzmacniaczem słuchawkowym.

Należy jeszcze wspomnieć parę słów na temat koniecznych przeróbek silnika. Silnik napędzający dyskiety w stacji dysków 5,25“ zablokowany jest w jedną całość z układem elektronicznym sterującym jego pracą. Przed wykorzystaniem w naszym urządzeniu, silnik należy rozebrać i zlokalizować wyprowadzenia zespołów cewek, do których następnie należy dołączyć wyjście nowo zbudowanego sterownika.

Zbigniew Raabe, AVT

Wzory płytek drukowanych w formacie PDF są dostępne w Internecie pod adresem: <http://www.ep.com.pl/?pdf/kwiecien02.htm>.