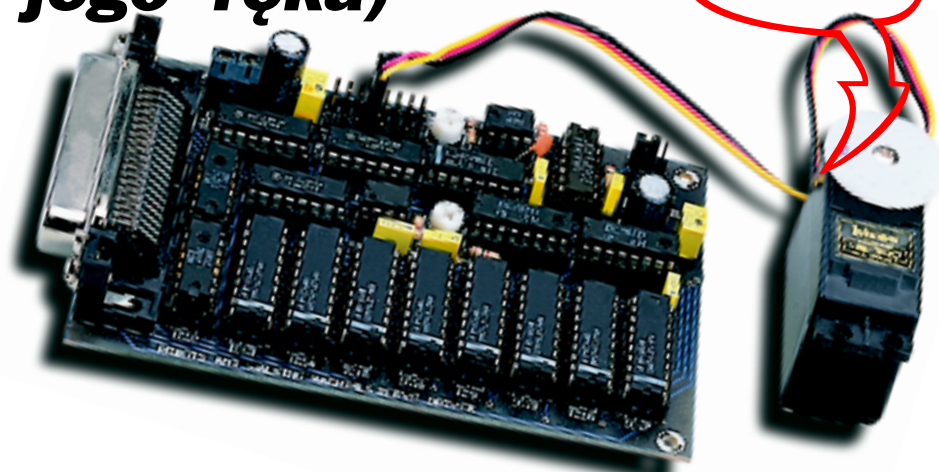


# Robot, część 1

## (a właściwie jego ręka)

### AVT-821

*Urządzenia, które w tym miesiącu zdobi naszą okładkę jest niestandardowe i niebanalne. Jak zapewnia autor opracowania, jego robot może służyć nie tylko do nalewania piwa...*



Układ, który za chwilę wykonamy, trzeba będzie wypróbować praktycznie na działającym modelu. I tu pozwolę sobie zaproponować Wam coś zupełnie nowego, coś, czym nie zajmowało się jeszcze żadne pismo dla elektroników wychodzące w Polsce. Coś z „Gwiezdných wojen“, coś bardzo atrakcyjnego dla miłośników science fiction. Z pewnością pamiętacie znakomity film „Saturn 3“, w którym główną rolę zagrał właściwie nie Kirk Douglas, ale znakomicie skonstruowany i przystosowany do potrzeb filmu robot. Być może wielu z Was oglądało bardzo sympatyczny film „Short Circuit“, w którym także głównym bohaterem był perfekcyjnie zbudowany, uroczy robocik.

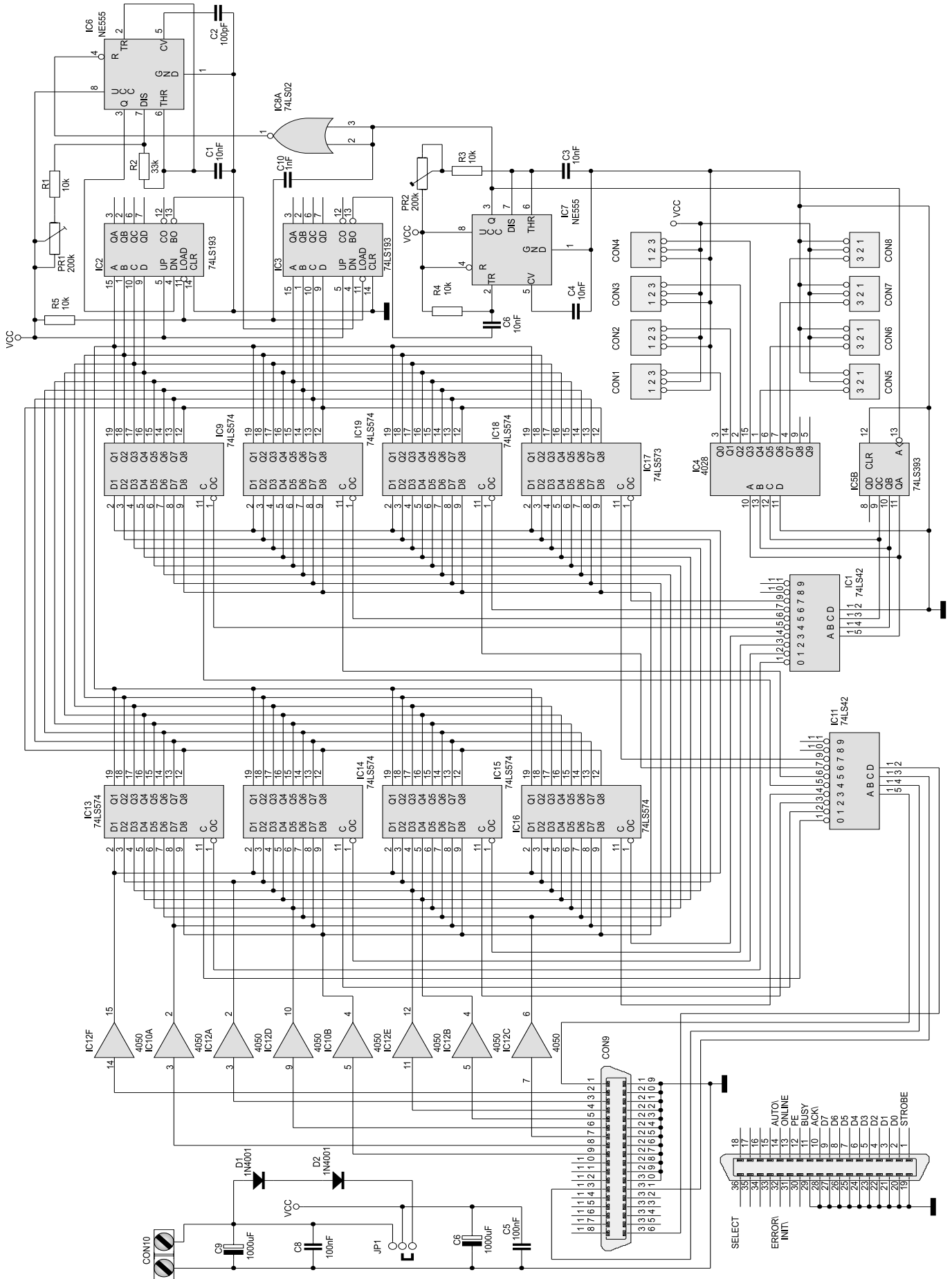
Z tym robotem to trochę przesadziłem: tak naprawdę, to zbudujemy tylko jego najważniejszą część: rękę o kilku stopniach swobody zaopatrzoną w „łapę“ mogącą chwytać i przytrzymywać z dużą siłą najróżniejsze przedmioty. Do wykonania ręki robota użyjemy oczywiście serwomechanizmów modelarskich. No właśnie, sądzę, że wielu Czytelników z przerażeniem myśli o czekających ich pracach mechanicznych, o przycinaniu i wyginaniu blaszanych kształtek i o innych tego typu okropieństwach. Mylicie się, moi Drodzy! Do wykonania ręki robota będziecie potrzebować w zasadzie tylko lutownicy, garstki śrubek M3 z nakrętkami i śrubokręta! Wszystkie potrzebne elementy mechaniczne otrzymacie gotowe, w postaci dość nietypowego kitu zawierającego

płytki laminatu zastosowane do budowy jako główne elementy ręki robota. Tak, to nie pomyłka w druku, z laminatu epoksydowo - szklanego możemy wykonać kształtki, które posłużą nam do budowy dość skomplikowanej maszyny! Laminat posiada wystarczającą odporność mechaniczną, a wykonane z niego elementy możemy łatwo łączyć ze sobą za pomocą lutowania. Przygotowałem zestaw gotowych płytek, z którego będziecie mogli wykonać ramię robota o czterech stopniach swobody ruchu, co wydaje się być zupełnie wystarczające w większości konstrukcji amatorskich.

A teraz przysłowiowy „kubek zimnej wody“: porywamy się na coś, na czym niejednen zespół konstruktorski połamał sobie zęby. Będziemy naśladować naturę lub Siłę Wyższą, której istoty nie znamy. Nie sądzę, aby przy obecnym stanie techniki było możliwe skonstruowanie czegoś, co chociaż w przybliżeniu mogłoby naśladować precyzję i wielofunkcyjność ręki człowieka. Jednak do wykonywania prostych czynności nasze urządzenie będzie się nadawać bardzo dobrze, a ponadto jeszcze raz powtarzam: chodzi tu przede wszystkim o naprawdę wyśmienitą zabawę.

#### Opis działania

Schemat elektryczny komputerowego sterownika ośmiu serwomechanizmów pokazano na **rys. 1**. Zanim jednak przejdziemy do jego analizy, uściślijmy jakie zadania ma wykonywać zbudowany układ.



Rys. 1. Schemat elektryczny "ręki" robota.

Podstawową funkcją urządzenia jest wysyłanie na wejścia ośmiu serwomechanizmów impulsów dodatnich o czasie trwania od ok. 0,5 do ok. 2,5ms. Czas ten powinien być regulowany w podanym zakresie za pomocą poleceń wydawanych z klawiatury komputera. Układ, a właściwie współpracujące z nim oprogramowanie, musi umożliwiać zapamiętanie w dowolnym momencie czasu trwania wszystkich impulsów aktualnie wysyłanych do serw i zapisania informacji o tym na dysku.

Jak łatwo zauważyć przyglądając się schematowi, układ można podzielić na dwie części: jedna z nich, przeznaczona do współpracy z komputerem, oddzielona jest od części wykonawczej blokiem pamięci zbudowanej z ośmiu buforów typu 74LS574. Takie rozwiązanie pozwoliło na odciążenie komputera i pozostawienie mu czasu na wykonywanie operacji nie związanych bezpośrednio ze sterowaniem serwami. Zajmijmy się najpierw blokiem przeznaczony do współpracy z komputerem.

Wysyłanie do układu informacji o wymaganych aktualnych położeniach serwomechanizmów odbywa się magistralą danych interfejsu CENTRONICS, natomiast rejestr dwukierunkowy tego interfejsu ma za zadanie sterować zapisem danych do właściwych komórek pamięci. Informacja o aktualnym położeniu każdego z serwomechanizmów przechowywana jest w ośmiu buforach IC9, IC13..IC19. W momencie, kiedy komputer otrzyma sygnał (podany z klawiatury lub w inny sposób), że zawartość jednego z buforów ma zostać zmieniona, muszą zostać wykonane następujące czynności:

1. Na magistralę danych interfejsu CENTRONICS musi zostać wysłana właściwa liczba, zawierająca się w zakresie od 0 do 255.

2. Na wyjściu SELECT rejestru dwukierunkowego utrzymywany jest zwykle stan wysoki i w związku z tym na wszystkich wejściach zegarowych buforów 74LS574 wymuszony jest stan wysoki.

W momencie zapisu danych komputer wysyła do tego rejestru liczbę będącą adresem odpowiedniego bufora, a następnie ponownie ustawia na wyjściu SELECT stan wysoki. Efektem wykonania tych czynności będzie powstanie na wejściu zegarowym właściwego rejestru krótkiego impulsu ujemnego, który spowoduje przepisanie danych z interfejsu CENTRONICS do tego bufora.

Są to w zasadzie wszystkie czynności, jakie musi wykonywać komputer podczas obsługi naszego sterownika.

Już na samym początku projektowania tego układu napotkałem na poważny problem, który na szczęście udało mi się w prosty sposób rozwiązać. Jak wiemy z lektury poprzednich artykułów opisujących układy przeznaczone do sterowania serwomechanizmami, na wejście sterujące serwa muszą być dostarczane impulsy prostokątne o czasie trwania od 1 do 2 ms.

Wiemy także, że są to wartości przyjęte w standardzie stosowanym w radiomodelarstwie i powodują zmianę kąta ustawienia wału napędowego serwa o  $90^\circ$  lub  $60^\circ$  (w zależności od typu serwomechanizmu). Pamiętamy także, że z łatwością możemy „zmusić” standardowy serwomechanizm do obrotu o kąt znacznie większy od typowego, i że jego wartość może nawet przekroczyć  $180^\circ$ . Takie serwo musimy sterować impulsami o czasie trwania od ok. 0,5 do ok. 3 ms. W opisywanym obecnie układzie informacja o aktualnym położeniu każdego serwa przekazywana jest z komputera cyfrowo, w postaci słowa ośmiobitowego. Załóżmy więc, że impulsowi o szerokości 2 ms odpowiada wartość 255. A zatem zakładając, że stosujemy proste, liniowe przetwarzanie cyfrowo - analogowe, aby uzyskać impuls o czasie trwania 1 ms powinniśmy na magistralę danych wysłać liczbę równą 127, uzyskując w ten sposób raster równy 128 kroków, co w wielu wypadkach może okazać się zbyt małą wartością, uniemożliwiająca precyzyjne pozycjonowanie serwomechanizmów. W przypadku sterowania impulsami o mniejszej i większej długości od przyjętej w aparaturach RC, sytuacja byłaby nieco lepsza, ale i tak liczba z zakresu 0..58 byłaby „marnowana”, ponieważ wartości te reprezentowałyby czas impulsu krótszy od najkrótszego stosowanego do sterowania serwem.

Rozwiązanie tego problemu okazało się stosunkowo proste. W przyjętym przeze mnie rozwiązaniu impuls wyjściowy składa się jakby z dwóch części: jednej o czasie trwania 1 ms (lub 0,5 ms przy niestandardowym sterowaniu serwa) i drugiej, zmienianej w zakre-

sie 0..1ms (0..2ms), której czas trwania określony jest słowem ośmiobitowym wysyłanym przez komputer na magistralę danych. A zatem, w każdym przypadku raster wynosić będzie 255 kroków, co umożliwia bardzo precyzyjne pozycjonowanie wału napędowego serwomechanizmu. Część układu odpowiedzialna za bezpośrednie sterowanie serwami pracuje w pętli, tak że dość trudno znaleźć właściwy moment do rozpoczęcia analizy układu. Rozpocznijmy więc może od momentu, w którym układ IC7 - NE555 wygenerował jeden z impulsów „wyrównujących” (z przedziału od ok. 0,5 do 1 ms) o czasie trwania określonym rezystancją R3+PR2 i pojemnością C3. Opadające zbocze impulsu wygenerowanego przez IC7 powoduje wystąpienie następujących zjawisk:

1. Zmianę stanu licznika binarnego IC5B o 1. Załóżmy, że na wyjściu tego licznika mamy stan 0000. Wyjścia licznika IC7 dołączone są do wejść dwóch dekodów BCD - 1 z 10, IC11 - 74LS42 i IC4 - 4028. A zatem, na wyjściu „0” dekodera IC11 pojawia się w tym momencie stan niski, co powoduje, że na wyjściach bufora IC13, będących do tej pory w stanie wysokiej impedancji, pojawiają się dane wpisane do niego uprzednio przez komputer. Dane te przekazywane są na wejścia ustawiające rewersyjnych liczników binarnych IC2 i IC3 - 40193.

Na wyjściu 3 złącza CON1, do którego dołączony jest pierwszy serwomechanizm, pojawia się stan wysoki przekazywany z wyjścia Q0 dekodera IC4, co dla układu elektronicznego wbudowanego w serwo jest sygnałem o rozpoczęciu generacji impulsu sterującego.

2. Opadające zbocze sygnału na wyjściu Q układu IC7 powoduje wygenerowanie za pośrednictwem kondensatora C10 krótkiego impulsu ujemnego na wejściach ładowania (LOAD) liczników IC2 i IC3. Od tego momentu w rejestrach tych liczników znajduje się ośmiobitowa liczba, przekazana tam z aktualnie aktywnego bufora IC13.

#### Dane techniczne standardowego serwomechanizmu firmy HITEC typu HS300:

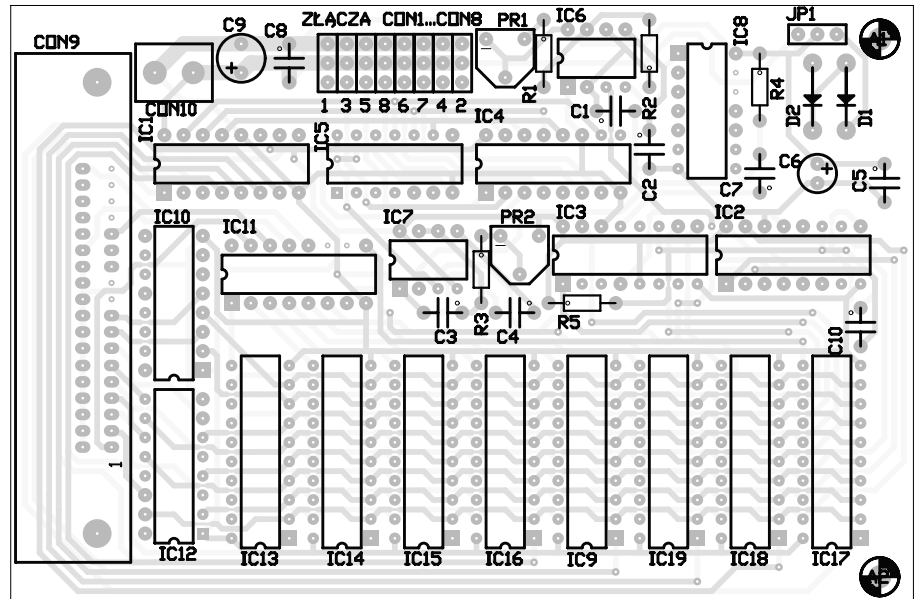
Napięcie zasilania: typowe, 4,8..6VDC;  
Kąt obrotu przy sterowaniu typowymi impulsami (1..2ms):  $60^\circ$ ;  
Kąt obrotu przy sterowaniu impulsami 0,5..3ms:  $190^\circ$ .

3. Kolejnym następstwem pojawienia się stanu niskiego na wyjściu układu IC7 (multiwibratora monostabilnego) jest zezwolenie na pracę multiwibratora astabilnego zbudowanego na drugim układzie NE555 - IC6. Podczas trwania impulsu „wyrównującego“ generowanego przez IC7, układ ten był zablokowany stanem niskim panującym na jego wejściu zerującym R.

A zatem podsumujemy: po zaistnieniu wszystkich opisanych zdarzeń, liczniki IC2 i IC3 rozpoczynają zliczanie w dół, od liczby określającej położenie wału napędowego pierwszego serwomechanizmu. Zliczanie trwa aż do momentu osiągnięcia przez te liczniki stanu 00000000, kiedy to na wyjściu przeniesienia BO licznika IC3 pojawi się stan niski. Spowoduje to powstanie krótkiego impulsu ujemnego na wejściu wyzwalamym multiwibratora monostabilnego IC7 i rozpoczęcie przez ten układ generacji impulsu „wyrównującego“. Zwróćmy uwagę, że na wyjściu 3 CON1 panuje jeszcze stan wysoki i czas trwania impulsu generowanego przez IC7 zostanie dodany do czasu zliczania określonego liczbą podaną na wejściu liczników IC2 i IC3.

Zakończenie generacji impulsu przez IC7 spowoduje zmianę stanu licznika IC5B o 1. Na wyjściu 3 CON1 pojawi się stan niski, co dla elektronicznego układu wbudowanego w serwo jest sygnałem o końcu impulsu sterującego. Otwarty zostanie kolejny bufor - IC14, jego zawartość zostanie przepisana do rejestrów liczników IC2 i IC3 i opisane wyżej zjawiska będą się powtarzać aż do wyłączenia zasilania.

Warto zauważyć, że część układu sterująca bezpośrednio serwomechanizmami może pracować niezależnie od komputera. Po wpisaniu przez komputer właściwych danych do rejestrów, układ pracuje samodzielnie, utrzymując wały napędowe serwomechanizmów w zadanej pozycji. Komputer interweniuje dopiero w momencie, kiedy zajdzie konieczność ponownego pozycjonowania serwomechanizmów. Daje do duże możliwości konstruktorowi i programiście, umożliwiając wykorzystanie „wolnego czasu“ komputera do obsługi innych urządzeń, np. czujników dołączonych do rejestru wejściowego interfejsu CENTRONICS.



Rys. 2. Rozmieszczenie elementów na płytce drukowanej.

Należy powiedzieć jeszcze parę słów na temat generatorów zbudowanych na IC6 i IC7. W zależności od przyjętego trybu pracy układ IC7 powinien generować impuls o długości dokładnie 1 ms (w przypadku stosowania standardu przyjętego w aparaturach RC) lub impuls o długości ustalonej najczęściej doświadczalnie i wynoszącej ok. 0,5 ms. (w przypadku, jeżeli zdecydujemy się wykorzystywać maksymalny, możliwy do osiągnięcia kąt obrotu wałów serwomechanizmów). Częstotliwość pracy generatora zbudowanego na układzie IC6 także ściśle zależy od przyjętego trybu pracy. W przypadku korzystania z standardowego kąta obrotu wałów serwo powinna wynosić dokładnie 255kHz, natomiast jeżeli będzie nam zależało na zwiększeniu tego kąta do 180° lub więcej stopni, należy ją zwiększyć do około 600..650kHz.

Na zakończenie warto powiedzieć jeszcze parę słów na temat zasilania naszego sterownika serwomechanizmów. Układ, podobnie jak każdy wykorzystujący technologię TTL, wymaga zasilania napięciem 5VDC, najlepiej stabilizowanym. Natomiast serwomechanizmy modelarskie mogą poprawnie pracować w zakresie napięć od 4,8 do 6VDC. Z pozoru sprawa jest więc prosta: należy cały układ włącznie z serwami zasilić napięciem 5V i po kłopotcie. Niestety, nie jest to aż tak proste, a powodem powstawania problemów jest duży prąd pobierany przez serwomechanizmy. Jedno serwo może, pokonując duże obciążenie, pobrać z zasilacza prąd o wartości do 1A. Ponieważ zasady

projektowania zasilaczy do układów elektronicznych nakazują wykonać zasilacz pracujący poprawnie nawet w najbardziej krytycznej sytuacji, musielibyśmy zastosować źródło prądu o napięciu 5V i obciążalności prądowej minimum 8,5A. Jest to zadanie oczywiście wykonalne, ale dość kłopotliwe w praktycznej realizacji. Dlatego też sugerowałbym zastosowanie innego rozwiązania. Jeżeli nie będzie zachodziła konieczność pracy układu przez dłuższy czas bez jakichkolwiek przerw, to można pomyśleć o zasileniu go z okresowo doładowywanego akumulatora o pojemności rzędu 10Ah, najlepiej kwasowego, tzw. niewylewnego. Rozwiązuje to problem wydajności prądowej źródła zasilania, natomiast pojawia się inny kłopot: akumulator dostarcza napięcie 6,2V, którym nie można bezpośrednio zasilają układów TTL. Dlatego też zastosowałem dwie diody D1 i D2, których zadaniem jest redukcja napięcia wejściowego podanego na złącze CON10 o 1,2V. Jeżeli będziemy korzystali z zasilacza o napięciu 5V, to jumper JP1 musi być ustawiony w pozycji przeciwnej do pokazanej na schemacie. Jeżeli do zasilania układu wykorzystamy akumulator, to jumper JP1 musi dołączyć zasilanie części cyfrowej układu do diody D2.

### Montaż i uruchomienie

Na rys. 2 pokazano rozmieszczenie elementów na dwustronnej płytce drukowanej, której widoki mozaiki ścieżek znajdują się na wkładce wewnątrz numeru.

Zmontowany ze sprawdzonych elementów układ nie wymaga uruchamiania, ale jedynie prostej regulacji polegającej na ustawieniu czasu trwania impulsu generowanego przez IC7 i częstotliwości pracy generatora z IC6. Jeżeli zdecydujemy się na stosowanie standardów używanych w układach radiowego sterowania proporcjonalnego, to sprawa jest prosta: ustawiamy długość impulsu IC7 na 1 ms, a częstotliwość na wyjściu IC6 na 255kHz. Jednak nasz układ przeznaczony jest przede wszystkim do sterowania robotami i nie sądzę, aby kąt obrotu wałów serwomechanizmów wynoszący 60° mógł okazać się wystarczający np. przy budowie ręki robota. Dlatego też przypuszczam, że większość z Was zdecyduje się na sterowanie serwami w pełnym zakresie ich kąta obrotu i będzie zmuszonych do dokonania regulacji układu metodą doświadczalną, na szczęście trywialnie prostą. Kolejność postępowania będzie następująca:

1. Do wszystkich rejestrów pamięci układu zapisujemy liczbę 0. Możemy to uczynić za pomocą prostego programu napisanego w języku BASIC, którego listing zamieszczam poniżej. Program ten

## WYKAZ ELEMENTÓW

### Rezystory

PR1, PR2: potencjometr regulacyjny miniaturowy 200kΩ

R1, R3, R5: 10kΩ

R2: 33kΩ

R4: 4,7kΩ

### Kondensatory

C1, C3, C4, C6: 10nF

C2: 100pF

C8, C5: 100nF

C9, C6: 1000μF/16V

C10: 1nF

### Półprzewodniki

D1, D2: 1N4001 lub odpowiednik

IC1, IC11: 74LS42

IC2, IC3: 74LS193

IC4: 4028

IC5: 74LS393

IC6, IC7: NE555

IC8: 74LS02

IC9, IC13, IC14, IC15, IC16, IC17,

IC18, IC19: 74LS574

IC10, IC12: 4050

### Różne

CON1..CON8: 3 x goldpin

CON9: kątowne złącze

Centronics-36

CON10: ARK2

JP1: jumper + 3 goldpin

jest jednocześnie przykładem, jakie procedury utworzone w tym języku potrzebne są do napisania prostego programu obsługującego zbudowany przez nas układ.

```
GOSUB ZA, 0
GOSUB ZB
GOSUB ZC
GOSUB ZD
GOSUB ZE
GOSUB ZF
GOSUB ZG
GOSUB ZH
```

```
ZA:
OUT &H37A, 11
FOR R = 1|TO 5: NEXT R
OUT &H37A, 3
RETURN
ZB:
OUT &H37A, 10
FOR R = 1|TO 5: NEXT R
OUT &H37A, 3
RETURN
ZC:
OUT &H37A, 9
FOR R = 1|TO 5: NEXT R
OUT &H37A, 3
RETURN
ZD:
OUT &H37A, 8
FOR R = 1|TO 5: NEXT R
OUT &H37A, 3
RETURN
ZE:
OUT &H37A, 15
FOR R = 1|TO 5: NEXT R
OUT &H37A, 3
ZF:
OUT &H37A, 14
FOR R = 1|TO 5: NEXT R
OUT &H37A, 3
RETURN
ZG:
OUT &H37A, 13
FOR R = 1|TO 5: NEXT R
OUT &H37A, 3
RETURN
ZH:
OUT &H37A, 12
FOR R = 1|TO 5: NEXT R
OUT &H37A, 3
RETURN
```

2. Do któregośkolwiek z wyjść CON1..CON8 dołączamy standardowy serwomechanizm modelarski i obserwujemy jego zachowanie podczas obracania potencjometrem montażowym PR2. Wał napędowy serwa będzie się poruszał wraz ze zmianą położenia PR2, ale z pewnością natrafimy na moment, w którym dalszy obrót wału nie będzie możliwy, a serwomechanizm zacz-

nie wydawać z siebie ciche brzęczenie. Oznacza to, że długość impulsu generowanego przez IC7 przekroczyła minimalną wartość. Następnie obracamy powoli ośkę PR2 w kierunku przeciwnym niż poprzednio, aż do uzyskania minimalnego poruszenia wału napędowego. W takim położeniu pozostawiamy PR2 wiedząc, że osiągnęliśmy najmniejszy kąt ustawienia wałów napędowych serw.

3. Kolejną czynnością będzie ustawienie częstotliwości impulsów generowanych przez IC6, od której zależy maksymalny kąt obrotu wałów napędowych serwomechanizmów. Do wszystkich rejestrów pamięci układu wpisujemy teraz liczbę 255. Za pomocą potencjometru montażowego PR1 ustawiamy, w sposób analogiczny do opisanego wyżej, maksymalne wychylenie wału napędowego serwa dołączonego do jednego z wyjść CON1..CON8.

Po wykonaniu powyższych czynności możemy uznać nasz układ za sprawny i rozpocząć jego eksploatację. Jak już wspominałem, na początek proponuję Wam świetną zabawę: wykonanie ręki robota, do której zbudowania będziecie potrzebować jedynie śrubokręta i garstki śrubek M3 z nakrętkami (zakładam, że lutownicę każdy z Was już posiada)!

Pozwoliłem sobie przygotować dla Was bardzo nietypowy kit, składający się z równie nietypowych płytek drukowanych, będących w rzeczywistości mechanicznymi elementami konstrukcyjnymi. Aby zbudować robota wystarczy jedynie zlutować ze sobą odpowiednie kształtki i skrócić całość śrubkami. Zawarte w kicie płytki pozwolą na budowę ręki robota o czterech stopniach swobody oraz „łapy“ mogącej chwytać i przenosić przedmioty o wadze do 500g. Jak już wspominałem, lepsze rezultaty można osiągnąć stosując serwomechanizmy modelarskie o zwiększonym momencie obrotowym, stosowane np. przy budowie wyczynowych modeli samolotów akrobacyjnych. Niestety, takie serwa są bardzo kosztowne i ich zastosowanie wiąże się z kilkakrotnym zwiększeniem kosztów budowy robota.

**Zbigniew Raabe, AVT**  
**zbnigiew.raabe@ep.com.pl**

*Serwomechanizmy modelarskie już w ofercie handlowej AVT!*