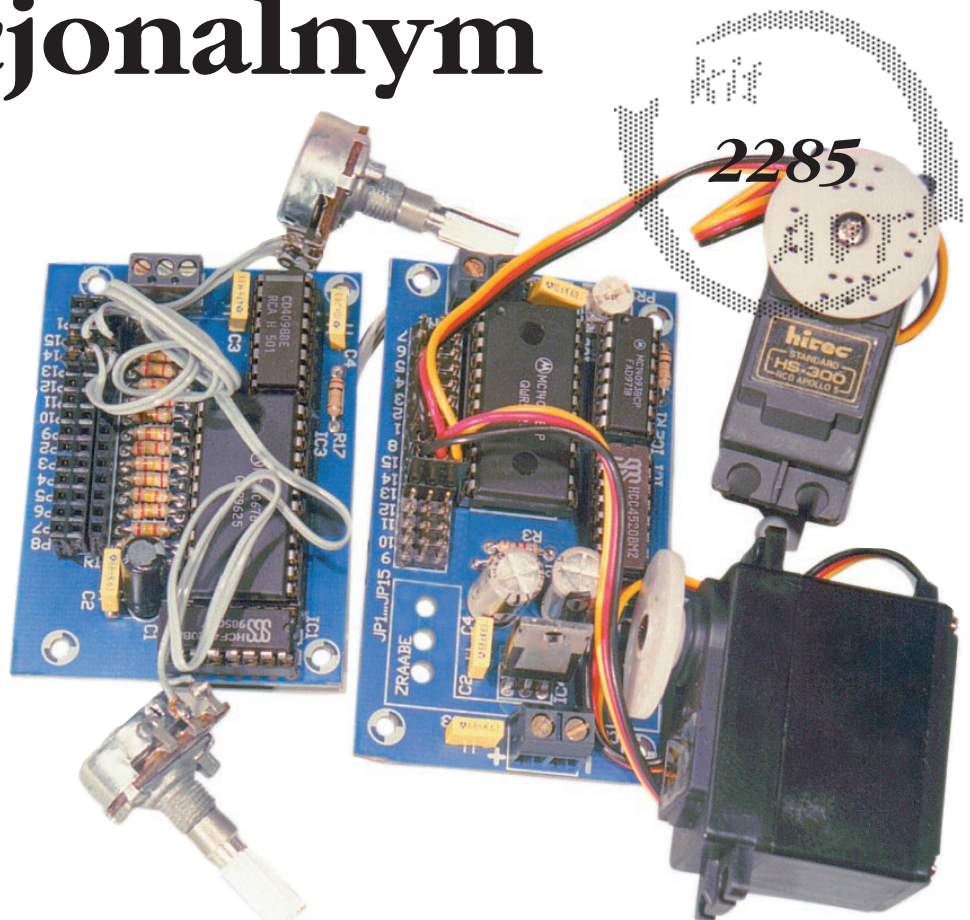


Koder i dekodery sterowania w systemie proporcjonalnym

Na łamach EdW temat zdalnego sterowania modeli był jak dotąd niezbyt dobrze traktowany, pomimo że wielu Czytelników domaga się w swoich listach opracowania i zamieszczenia w EdW opisu aparatury RC (Remote Control) przeznaczonej dla modelarzy. Ja szczególnie czuję się w tej sprawie winny, ponieważ jestem także modelarzem, wprawdzie z braku czasu niezbyt ostatnio aktywnym. Niestety, nie mam dla moich Czytelników zbyt dobrych wiadomości. Jak dotąd, nie udało nam się opracować układu kompletnej aparatury RC nadającej się do kierowania wszelkiego rodzaju modelami. Problem tkwi nie w części cyfrowej takiej aparatury, lecz w radiowym kanale łączności, którego poprawne wykonanie jest w warunkach amatorskich niezwykle trudne. Pewnym pocieszeniem jest dla mnie fakt, że dobrej klasy aparaturę RC, nadającą się do kierowania modelami latającymi, potrafi wyprodukować jedynie kilka firm na świecie. Pisałem już Wam o tym: aparatura do kierowania modelami latającymi musi spełniać bardzo ostre kryteria niezawodności, praktycznie niemożliwe do spełnienia przez nawet zaawansowanego elektronika hobbystę. Co zatem mamy zrobić z tak ciekawym tematem? Odłożyć ad acta i zabrać się za coś innego? W żadnym przypadku, postaramy się zrobić następny krok naprzód i nawet jeżeli nie zbudujemy jeszcze profesjonalnej aparatury RC, do znacznie zbliżymy się do tego celu.

Chciałbym zapoznać Was z techniką sterowania proporcjonalnego, stosowaną w wszelkiego typu aparaturach zdalnego sterowania, obojętne czy wykorzystują one do przesyłania danych łączność radiową czy inne rodzaje komunikacji. W swoim czasie przekazałem już Wam kilka podstawowych informacji o serwomechanizmach, będących niezwykle ciekawym „przełożeniem” pomiędzy elektroniką i mechaniką, i stano-



wiących niezbędny składnik każdego systemu zdalnego sterowania w systemie proporcjonalnym. Dzisiaj rozszerzymy ten temat i postaramy się zbudować kompletny układ zawierający koder i dekodery sterowania proporcjonalnego, niestety jak na razie bez kanału łączności radiowej. Z pewnością wielu moich Czytelników zniechęci się w tym momencie i zaprzestanie dalszej lektury. Ich argumentacja może być z pozoru słuszna: „Po co nam taki układ, za pomocą którego nie możemy zdalnie kierować modelami i będziemy musieli dopiero czekać na opracowanie systemu przekazywania informacji?”. Macie rację, ale tylko częściowo. Po pierwsze, proponowany układ i wiele innych, z którymi w przyszłości się zapoznamy może posłużyć do rozbudowy i modernizacji już posiadanych aparatów RC. Wiadomo, że w rękach hobbystów znajduje się pewna ilość sprzętu RC o marnych parametrach, kwalifikujących

go co najwyżej do sterowania zabawkami. Mam tu na myśli aparatury dwukanałowe, które nadają się co najwyżej do kierowania prostymi modelami pojazdów kołowych lub pływających. Za pomocą naszego układu, wykorzystując sprawny kanał łączności posiadanej aparatury RC możemy wykonać w pełni profesjonalne urządzenie, posiadające aż piętnaście niezależnych kanałów sterowania proporcjonalnego i wyposażone w dodatkowe układy dostępne jak dotąd jedynie dla profesjonalnych modelarzy. A właśnie, korzystając z okazji chciałbym podziękować jednemu z nich: mojemu Koledze redakcyjnemu, Redaktorowi Naczelnemu Młodego Technika, panu Adamowi Dębowskiemu za bezcenną pomoc w projektowaniu tego i innych układów związanych z modelarstwem. To, że każdy układ, który pozwolę sobie Wam zaprezentować, był oceniany przez zawodnika ze światowej czołówki modela-

Projekty AVT

rzy specjalizujących się w akrobacji samolotowej, dają nam pewność, że przynajmniej założenia postawione przez konstruktora były słuszne. Wracamy jednak do naszego układu. Nie zawsze zresztą łączność radiowa będzie nam konieczna. Do kierowania modelami pojazdów wystarczy niekiedy kanał łączności wykorzystujący promieniowanie podczerwone, taki, jaki wykorzystywaliśmy w cyfrowym układzie zdalnego sterowania opisanym w EdW 1/97. Zdalne sterowanie w systemie proporcjonalnym to zresztą nie tylko modele: to także sterowanie makietami używanymi w kinematografii a mogącymi także znaleźć zastosowanie w reklamie i rozrywce. To także konstruowanie robotów i maszyn kroczących, z których opisem zapoznamy się w jednym z najbliższych numerów EdW. Do sterowania makietą lub robotem wystarczy nieraz nawet łączność przewodowa, dzięki której będziemy mogli za pomocą jednego przewodu przekazywać sygnały sterujące do piętnastu serwomechanizmów.

Nie zawsze tak wielką liczbę kanałów sterowania proporcjonalnego będzie nam potrzebna. Na szczęście zawsze możemy ją ograniczyć i używać nawet jednego tylko kanału.

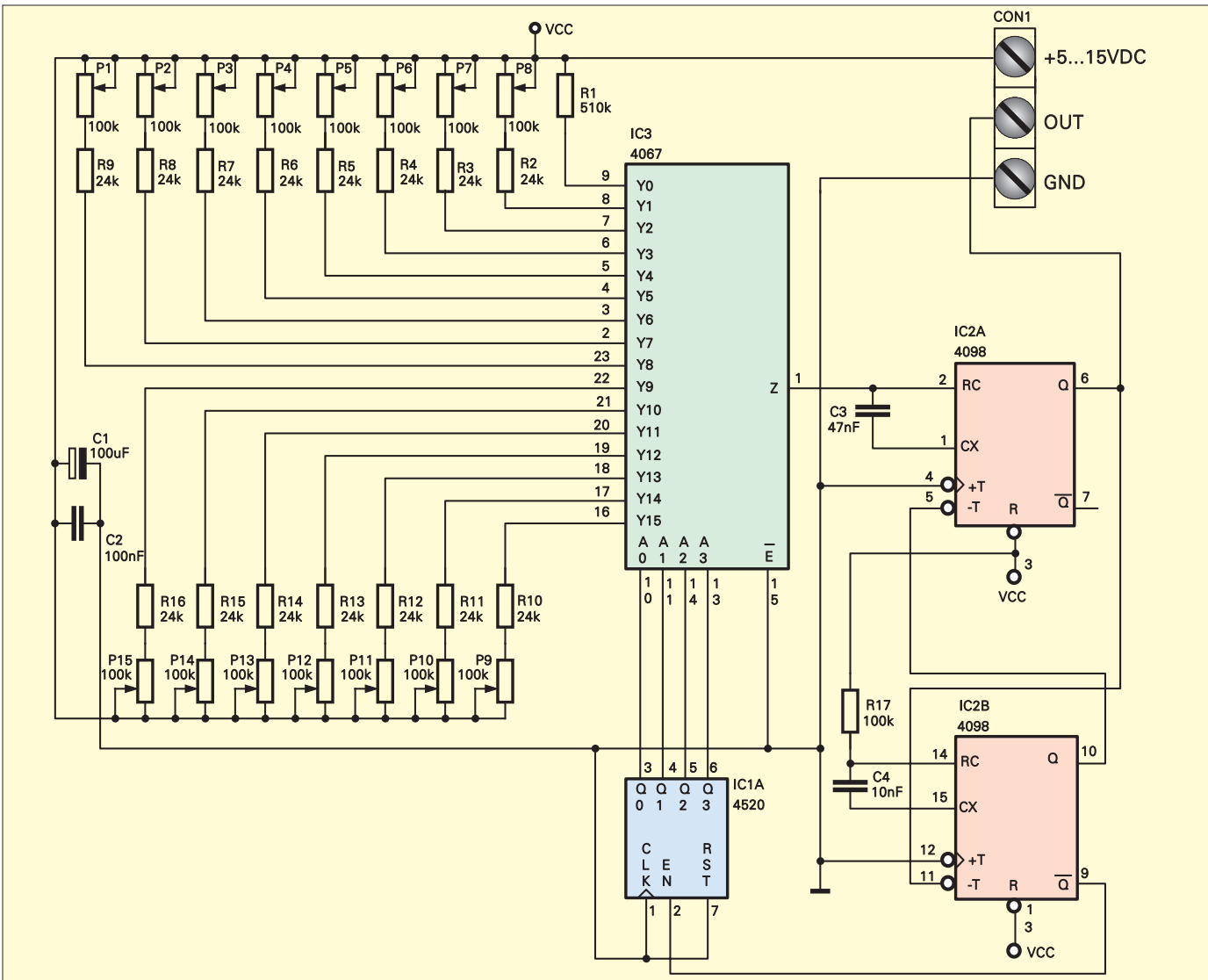
Proponowany układ, pomimo że realizuje on dość złożone funkcje, jest banalnie prosty i możliwy do wykonania nawet dla zupełnie początkującego elektronika. Nie wymaga on ani uruchamiania ani regulacji dokonywanej za pomocą kosztownych przyrządów laboratoryjnych. Jeżeli dodam, że zbudowany został z wykorzystaniem zaledwie sześciu, łatwo dostępnych i tanich układów scalonych z rodziny CMOS, to mam nadzieję, że zachęcę tym moich Czytelników do przeczytania dalszej części artykułu.

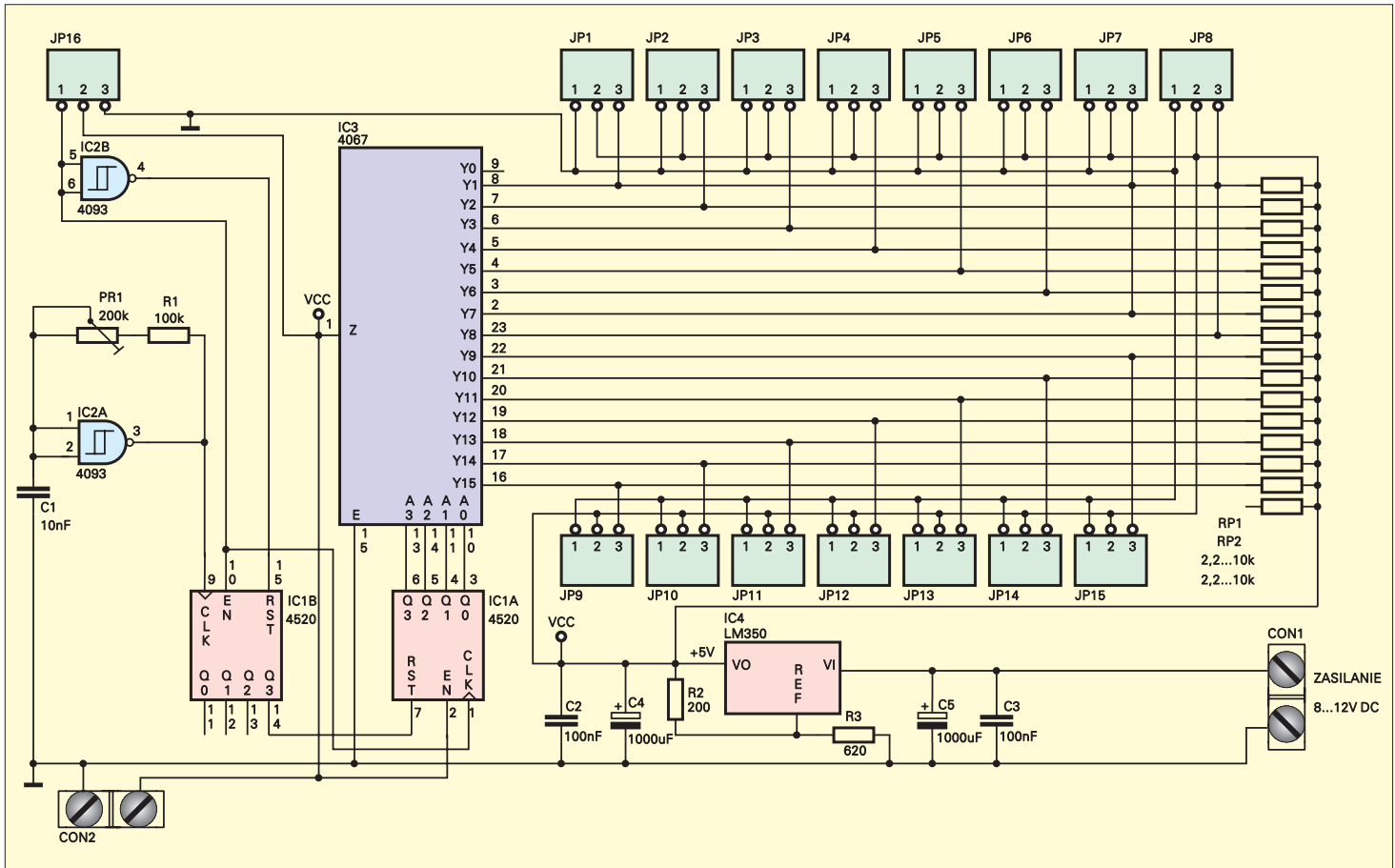
Opis układu

Schemat elektryczny kodera i dekodera układu zdalnego sterowania w systemie proporcjonalnym został pokazany na rysunku 1 i 2. Zanim jednak przejdziemy do analizy schematów, powiedzmy sobie parę słów o serwomechanizmach

i sterowaniu proporcjonalnym. Na początek: skąd wzięła się nazwa „sterowanie proporcjonalne”? Otóż, najprostszym układem sterowania proporcjonalnego składa się z potencjometru i prostego układu elektronicznego generującego ciąg impulsów prostokątnych o czasie trwania zależnym od ustawienia potencjometru. Impulsy kierowane są do serwomechanizmu, którego wał napędowy ustawia się zawsze proporcjonalnie do kąta ustawienia potencjometru w nadajniku. Mówiąc najogólniej, sterowanie proporcjonalne polega na wiernym powtarzaniu ruchów manipulatora w nadajniku przez mechanizm wykonawczy odbiornika. Zarówno kąt obrotu manipulatora jak i szybkość jego ruchu muszą zostać wiernie odtworzone przez serwomechanizm wykonawczy. Spełnienie tych warunków pozwala na idealnie precyzyjne kierowanie modelem, czy też innym urządzeniem, którego poczynania musimy zdalnie nadzorować. Serwomechanizm modelarski składa się z następujących bloków funkcjonalnych:

Rys. 1.





Rys. 2.

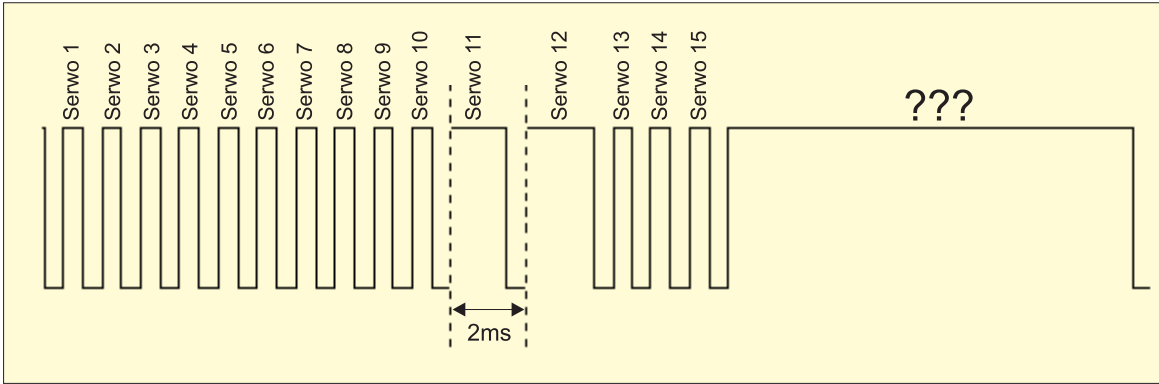
1. Silnika napędowego. Jest to silnik komutatorowy prądu stałego, pracujący w zakresie napięć od 4,8 do 6VDC. Pomimo niepozornych wymiarów silnik taki wyróżnia się bardzo starannym wykonaniem i bardzo wielką sprawnością.
2. Przekładni mechanicznej. Jest to po prostu zespół kółek zębatych wykonanych najczęściej z wysokiej jakości tworzywa sztucznego. Zadaniem przekładni jest redukcja wysokich obrotów silnika i zapewnienie właściwego momentu obrotowego na wale napędowym serwaa.
3. Potencjometru osadzonego bezpośrednio na wale napędzającym mechanizmy wykonawcze. Napięcie na środkowej nóżce potencjometru jest ściśle proporcjonalne do kąta pod jakim aktualnie ustawione jest kółko sterujące mechanizmem wykonawczym.
4. Układu elektronicznego zrealizowanego z zasady z jednym, wyspecjalizowanym układzie scalonym. Zadaniem „elektronicznego serca” serwaa jest porównanie napięcia otrzymywanego z potencjometru z napięciem otrzymanym po przetworzeniu informacji podanej na wejście układu i takie sterowanie kierunkiem obrotów silnika, aby te napięcia były równe.

To wszystko mieści się w obudowie niewiele większej od pudełka zapalek.

Największymi zaletami serwomechanizmu jest jego duży (kilka kg/cm w przypadku serwa standardowych i znacznie większy w przypadku serwa wyczynowych) moment obrotowy i wielka szybkość działania. Są one także z zasady zasilane z typowego (4,8 ... 6VDC) napięcia zasilania i są sterowane identycznymi sygnałami. Zakres napięć zasilających wynika z faktu, że odbiorniki radiowe aparatury do zdalnego sterowania i serwomechanizmy zasilane są prawie zawsze ze wspólnego źródła, którym są cztery baterie R6 lub cztery akumulatorki NiCd.

Na wejście układu elektronicznego sterującego pracą serwomechanizmu podawany jest ciąg impulsów o czasie od 1ms do 2 ms. Właśnie czas trwania tych impulsów decyduje o kącie, pod jakim zostanie ustawiony wał napędowy mechanizmu. I tu bardzo ważna uwaga: napisałem, że czas trwania impulsów sterujących pracą serwaa wynosi 1-2ms, ale odnosi to się jedynie do standardu stosowanego w aparaturach RC, produkowanych na potrzeby modelarzy. Na obudowie serwomechanizmu podany jest zwykle maksymalny kąt, o jaki może obrócić się jego wał napędowy, wynoszący zwykle 60°, a niekiedy 90°. Ja

także w to wierzyłem, ale do czasu. Doświadczalnie stwierdziłem, że maksymalny kąt obrotu standardowego serwaa modelarskiego, a z tymi urządzeniami będziemy mieli przede wszystkim do czynienia, wynosi nawet ponad 180°, przy stosowaniu impulsów sterujących o czasie trwania od ok. 0,5 do ok. 3 ms! To ważna, bardzo ważna informacja, z której będziemy w najbliższej przyszłości często korzystać, jednak z jednym zastrzeżeniem. Otóż, popularne serwa standardowe reagują na impulsy dłuższe i krótsze od przyjętych



Rys. 3.

norm. Jednak serwa wyczynowe, posiadające wbudowany system mikroprocesorowy (TAK!) sterujący ich pracą nie dają „się oszukać” i lekceważą impulsy o nietypowym czasie trwania. Tak więc niekiedy bardziej opłaca się zastosować tanie, popularne serwo, a mechanizmy wyczynowe pozostawić do przeznaczonych im zadań. Dlaczego tak dużo piszę o nietypowym sterowaniu serwomechanizmami? Okazuje się to już w najbliższej przyszłości!

Tak więc, wiemy już jakie funkcje musi realizować nasz układ: analizować ustawienie piętnastu potencjometrów i generować impulsy o czasie trwania proporcjonalnym do wartości rezystancji każdego potencjometru. Impulsy muszą być generowane kolejno i następnie pod postacią ciągu zero – jedynkowego kierowane do odbiornika. Zadaniem dekodera jest zdekodowanie odebranego ciągu sygnałów i skierowanie impulsów o odpowiednim czasie trwania do właściwych serwomechanizmów. Brzmi to bardzo skomplikowanie, ale popatrmy, jak prostymi środkami zrealizowaliśmy postawione założenia konstrukcyjne.

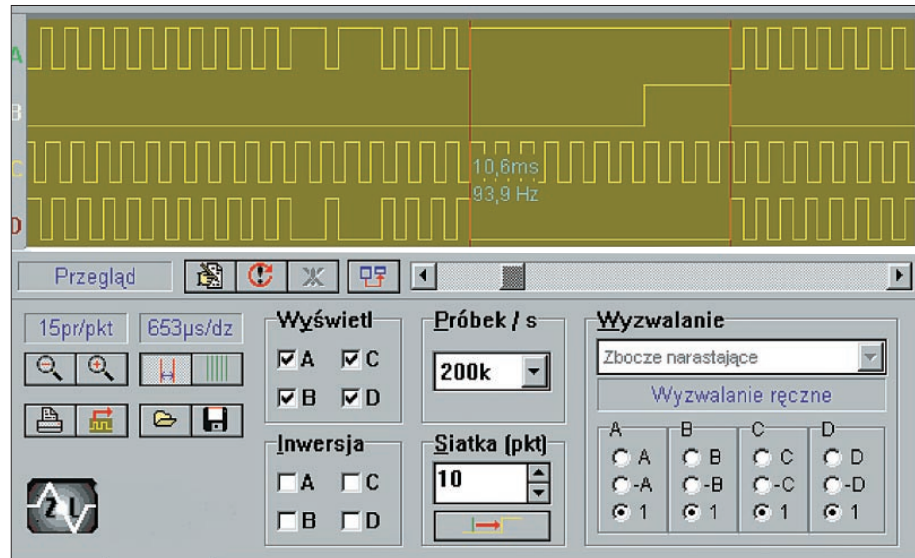
Analizę schematu rozpoczniemy od układu nadajnika. Został on zbudowany z wykorzystaniem zaledwie trzech, tanich i łatwo dostępnych układów scalonych CMOS z rodziny 4000.

Generator sterujący pracą kodera został skonstruowany z dwóch przerzutników monostabilnych zawartych w strukturze układu 4098 – IC2. Czas trwania impulsu generowanego przez przerzutnik IC2B jest stały i określony wartościami rezystancji R17 i pojemności C4. Natomiast czas trwania impulsów generowanych przez IC2A zależy od pojemności C3 i aktualnie dołączonej do jego wejścia RC rezystancji. Ciąg impulsów prostokątnych wytwarzanych przez generator podawany jest na wejście licznika binarnego IC1A. Wyjścia tego licznika dołączone są do wejść adresowych multiplexera – demultiplexera IC3. Do wejść tego układu dołączonych jest 15 szeregowo połą-

czonych par, rezystor + potencjometr (P1 R9 i P15 R16). Każdy kolejny impuls wytwarzany przez generator z IC2 zwiększa stan licznika IC1A o 1 i w konsekwencji do wejścia RC IC2A dołączane są kolejne potencjometry i rezystory. Czas trwania impulsów tworzonych przez IC2A zmienia się więc proporcjonalnie do ustawienia potencjometrów. Należy zauważyć, że do wejścia Y0 IC3 dołączony jest nie potencjometr z rezystorem, lecz jedynie pojedynczy rezystor o wartości znacznie większej od maksymalnej rezystancji którejkolwiek z par potencjometr + rezystor. Wynika z tego, że w momencie kiedy na wyjściach licznika IC1A będzie panował stan 0000(BIN), to generowany przez IC2A impuls będzie o rząd wielkości dłuższy od pozostałych. Ma to kapitalne znaczenie dla poprawnej pracy całego systemu, o czym dowiemy się za chwilę.

Ciąg impulsów tworzonych przez koder kierowany jest do wyjścia OUT i stamtąd, za pośrednictwem jeszcze nieokreślonego toru transmisyjnego, do dekodera. Dla uproszczenia założymy, że torem tym jest zwykły przewód. Przebiegi występujące na wyjściu kodera są pokazane na rysunku.

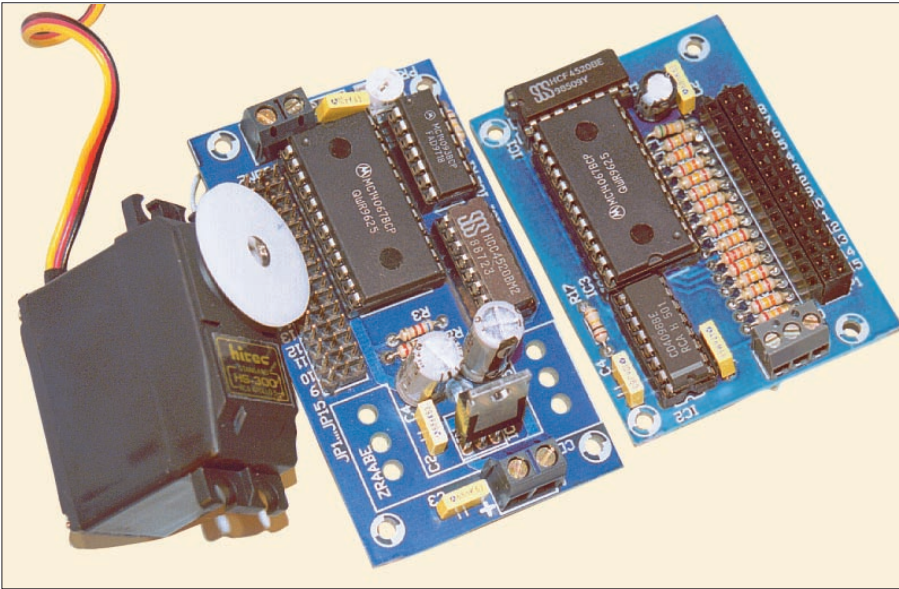
Rys. 4.



Na rysunku 2 możemy zobaczyć schemat dekodera, którego zadaniem jest skierowanie właściwych impulsów do odpowiednich serwomechanizmów. Dekoder zbudowany został także z trzech układów scalonych CMOS. Impulsy

wejściowe podawane są ze złącza JP16 na wejście CLK licznika binarnego IC1A. Wyjścia tego licznika połączone są z wejściami adresowymi multiplexera – demultiplexera IC3. Każdy impuls powoduje zwiększenie zawartości licznika o 1 i na wyjściach IC3 ukazuje się kolejno stan wysoki, którego czas trwania zależy od długości kolejnego impulsu wejściowego. Do wyjść demultiplexera IC3 dołączone są za pośrednictwem złącz JP1 JP15 wejścia serwomechanizmów.

Mogłoby się здаwać, że osiągnęliśmy nasz cel: serwomechanizmy otrzymują przecież potrzebne im impulsy sterujące! Tak jednak nie jest: zauważmy że to, do którego serwomechanizmu dotrze kolejny impuls jest całkowicie sprawą przypadku i że potrzebny jest jakiś układ synchronizujący pracę kodera i oddalonego od niego nawet o setki metrów dekodera. Zauważmy, że impulsy wejściowe po zanegowaniu przez bramkę IC2B podawane są także na wejście zerujące drugiego licznika binarnego IC1B. Z kolei, na wejście zegarowe tego licznika docierają impulsy generowane przez prosty generator zbudowany na bramce z histerezą IC2A. Częstotliwość pracy tego generatora zależna jest od pojemności



ci C1 i połączonych szeregowo rezystancji R1 i PR1 i została dobrana tak, że w czasie 3 ms licznik nie „zdąży” doliczyć do wartości większej niż 0111(BIN). Na wyjściu Q3 licznika IC1B panuje stale stan niski, aż do momentu nadejścia impulsu znacznie dłuższego od 3 ms. Pamiętamy, że taki impuls zostanie wygenerowany przez koder w momencie stanu zerowego licznika IC1A (w koderze). Pojawienie się takiego impulsu na wejściu dekodera spowoduje, że na wyjściu Q3 IC1B pojawi się na moment stan wysoki i w konsekwencji licznik IC1A zostanie natychmiast wyzerowany. A więc nasz układ działa już poprawnie: rozsynchronizowanie kodera i dekodera nie może trwać dłużej niż, w najgorszym przypadku, przez jeden cykl pracy, co nie ma praktycznego znaczenia przy sterowaniu jakimkolwiek urządzeniem. Żadne bowiem serwo nie jest w stanie zareagować w tak krótkim czasie na fałszywy impuls sterujący. Układ synchronizujący koder z dekodermem zadziała także, jeżeli na skutek np. zakłóceń synchronizacja zostanie zerwana.

Dla łatwiejszego zrozumienia zasady działania dekodera na **rysunku 4** zostały pokazane przebiegi i stany logiczne w ważniejszych punktach układu.

Przebieg oznaczony „A” został zarejestrowany na wejściu dekodera. Widać na nim ciąg impulsów przeznaczonych do sterowania serwomechanizmami oraz impuls synchronizujący o czasie trwania ponad 10ms, a więc co najmniej trzykrotnie dłuższy od pozostałych. Podczas testowania układu do kodera dołączone były jedynie dwa potencjometry, a pozostałe zostały zastąpione zworami. Jest to najprostszy sposób ograniczenia liczby kanałów, w przypadku kiedy nie potrzebujemy sterować jednocześnie aż piętnastoma serwami.

Przebieg „B” został zarejestrowany na wejściu zerującym licznika IC1A, a tym samym na wyjściu Q3 licznika IC1B. Wyraźnie widać na nim występowanie impulsu zerującego licznik IC1A i synchronizujący pracę układu.

Przebieg „C” to ciąg impulsów zegarowych doprowadzanych do wejścia licznika IC1B, a przebieg „D” został zarejestrowany na wejściu zerującym tego licznika. Porównanie obydwu przebiegów wyraźnie ukazują, jak licznik zerowy był przed osiągnięciem stanu większego od 1000(BIN) i dopiero nadejście impulsu synchronizującego pozwoliło na zliczenie ponad 8 impulsów i wyzerowanie licznika IC1A.

Układ kodera może być zasilany napięciem stałym o wartości dopuszczalnej dla rodziny układów CMOS. Problemy pojawiają się przy zasilaniu dekodera. Sam układ pobiera pomijalnie mały prąd, czego jednak nie można w żadnym wypadku powiedzieć o 15 serwomechanizmach, nawet tych o stosunkowo niewielkiej mocy. Jedno tylko serwo może pod obciążeniem pobierać prąd ponad 1A i jeżeli wszystkie serwa zostaną naraz włączone, to chwilowy pobór prądu może

wzrosnąć do kilkunastu amperów. Na płytce układu dekodera znajduje się zasilacz stabilizowany, zbudowany z wykorzystaniem popularnego scalonego stabilizatora napięcia typu LM350. Może on dostarczyć prądu o natężeniu nie przekraczającym 3A, co w wielu przypadkach może okazać się zupełnie wystarczające. Nie zawsze przecież będziemy wykorzystywać wszystkie możliwości naszego układu i stosować 15 serwomechanizmów i nie zawsze będą się one poruszały jednocześnie. Sądzę, że w przypadku budowy urządzenia wymagającego zastosowania wszystkich serwomechanizmów najlepszym wyjściem z sytuacji będzie zastosowanie zasilania akumulatorowego. Można zastosować zarówno 4 akumulatory NiCd, jak i pojedynczy akumulator kwasowy niewylewny o napięciu 6V. Zastosowanie okresowo doładowywanego akumulatora o małej rezystancji wewnętrznej zawsze będzie rozwiązaniem tańszym niż budowa zasilacza o ogromnej wydajności prądowej (transformator!).

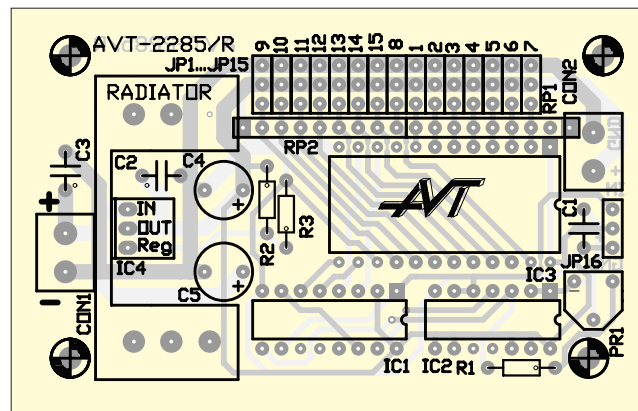
Montaż i uruchomienie

Na **rysunku 5** została pokazana płytka obwodu drukowanego i rozmieszczenie elementów układu kodera, a na **rysunku 6** – dekodera. Obydwie płytki zostały zaprojektowane na laminacie dwuwarstwowym z metalizacją otworów. Montaż układów wykonujemy w typowy sposób, rozpoczynając od elementów o najmniejszych gabarytach. Jako złącza JP1...JP15 na płytce dekodera zastosujemy listwy po 3 goldpiny każda, co umożliwi łatwe połączenie układu z serwomechanizmami wyposażonymi w standardowe wtyki.

Zmontowany układ wymaga jedynie prostej regulacji. Prowizorycznie łączymy koder z dekodermem za pomocą odcinków przewodów i ustawiamy potencjometr montażowy PR1 w dekodrze na maksimum oporności. Do wejścia zerującego licznika IC1A dołączamy próbnik stanów logicznych i powoli pokręcając PR1 uzyskujemy pojawianie się krótkich impulsów na tym wejściu. Następnie przekręcamy jeszcze trochę potencjometr montażowy „na zapas” i kończymy regulację.

Warto jeszcze zwrócić uwagę na płytce dekodera. Jeżeli będzie ona pracowała w modelu, a w szczególności w modelu samolotu, to znajdzie się w ekstremalnie ciężkich warunkach, narażona

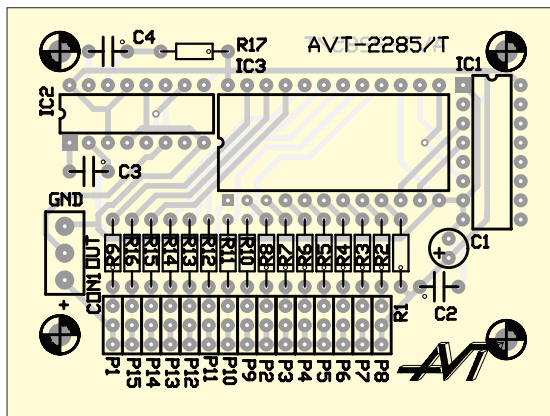
Rys. 5. Schemat montażowy kodera



Projekty AVT

na przeciążenia mechaniczne i, w przypadku modeli z napędem spalinowym, na wpływ agresywnych związków chemicznych (metanol, azotan metylu). Dlatego też w takim przypadku stanowczo odradzam stosowanie podstawek, a wykonaną płytkę należy bardzo dokładnie zabezpieczyć specjalnym lakierem przed wpływami związków chemicznych.

Wielu Czytelników stanie z pewnością przed problemem związanym z wykonaniem manipulatorów. Samodzielne wykonanie manipulatora krzyżowego, stosowanego w profesjonalnych aparaturach RC, raczej nie wchodzi w grę, chyba że ktoś jest fanatycznym wielbicielem mechaniki precyzyjnej i posiada odpowiednio wyposażony warsztat. Najlepszym wyjściem będzie z pewnością zastosowanie gotowych manipulatorów sprzedawanych jako części zamienne do aparatów RC w sklepach dla modelarzy. W przypadku użycia układu do kie-



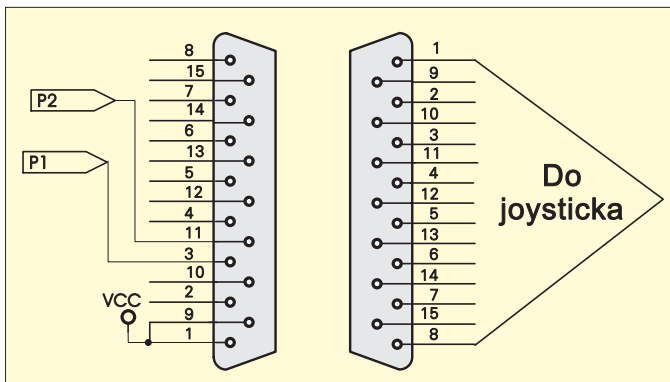
Rys. 6. Schemat montażowy dekodera

rowania modelami pojazdów można do sterownia kierunkiem jazdy zastosować zwykły potencjometr obrotowy (o wartości 100k lub większej, dla zmniejszenia kąta obrotu „kierownicy”).

Istnieje jeszcze jedno rozwiązanie problemu manipulatorów, które zostawiłem „na deser”. Otóż możliwe jest zastosowanie w ich roli joysticków analogowych do PC i to praktycznie bez żadnych przeróbek! Wprawdzie taka aparatura zdalnego sterowania będzie wyglą-

dała w porównaniu z urządzeniami profesjonalnym i „trochę strasznie, trochę śmiesznie”, ale jest to rozwiązanie szybkie i skuteczne. Na rysunku 6 został pokazany schemat połączenia kodera z typowym złączeniem joysticka analogowego. Rezystancja potencjo-

Rys. 7.



Serwomechanizmy modelarskie już w ofercie handlowej AVT!

Dane techniczne standardowego serwomechanizmu firmy HITEC typu **HS300**

Napięcie zasilania: typowe 4,8...6VDC

Kąt obrotu przy sterowaniu typowymi impulsami (1...2ms): 60°

Kąt obrotu przy sterowaniu impulsami 0,5...3ms: 190°

Zapytania o bliższe informacje i zamówienia prosimy kierować do Działu Handlowego AVT

Wykaz elementów

Układ kodera (rys. 1)

Rezystory

P1...P16: potencjometr obrotowy 100k/A
R1: 510kΩ
R2...R16: 24kΩ

Kondensatory

C1: 100μF/16V
C2: 100nF
C3: 47nF
C4: 10nF

Półprzewodniki

IC1: 4520
IC2: 4098
IC3: 4067

Pozostałe

CON1: ARK3 (3,5mm)

Układ dekodera (rys. 2)

Rezystory

PR1: potencjometr montażowy miniaturowy 200kΩ
RP1, RP2: R-PACK SIL 2,2...10kΩ
R1: 100kΩ
R2: 200Ω
R3: 620Ω

Kondensatory

C1: 10nF
C2, C3: 100nF
C4, C5: 1000μF/16V

Półprzewodniki

IC1: 4520
IC2: 4093
IC3: 4067
IC4: LM350

Pozostałe

CON1, CON2: ARK2
3x15 goldpin

Uwaga! Potencjometry P1...P16 nie wchodzi w skład kitu.

metru w każdym kanale joysticka analogowego wynosi w jednym skrajnym położeniu 100kΩ, w drugim 0, a w położeniu neutralnym 50kΩ, czyli dokładnie tyle, ile nam potrzeba. Na zakończenie jeszcze jedna uwaga praktyczna: wartości potencjometrów w układzie modelowym i na schemacie wynoszą 100kΩ i taka wartość powoduje pełny obrót wału napędowego serwa przy pełnym obrocie potencjometru (czyli ok. 180° dla serwa standardowego). Tak duży kąt obrotu manipulatora nie zawsze jest wygodny i dlatego w rozwiązaniach praktycznych możemy stosować potencjometry o większych wartościach, wykorzystując tylko część całkowitego kąta ich obrotu.

Warto jeszcze wspomnieć o sposobie zmniejszenia liczby kanałów, w przypadku sterowania prostego urządzenia. Rozwiązanie jest trywialnie proste: po prostu „zbędne” potencjometry należy zastąpić zworami.

Zbigniew Raabe

A więc droga do budowy zdalnie sterowanych modeli, makiet oraz... robotów i maszyn kroczących (szczegółowy w jednym z najbliższych numerów EdW) została otwarta!