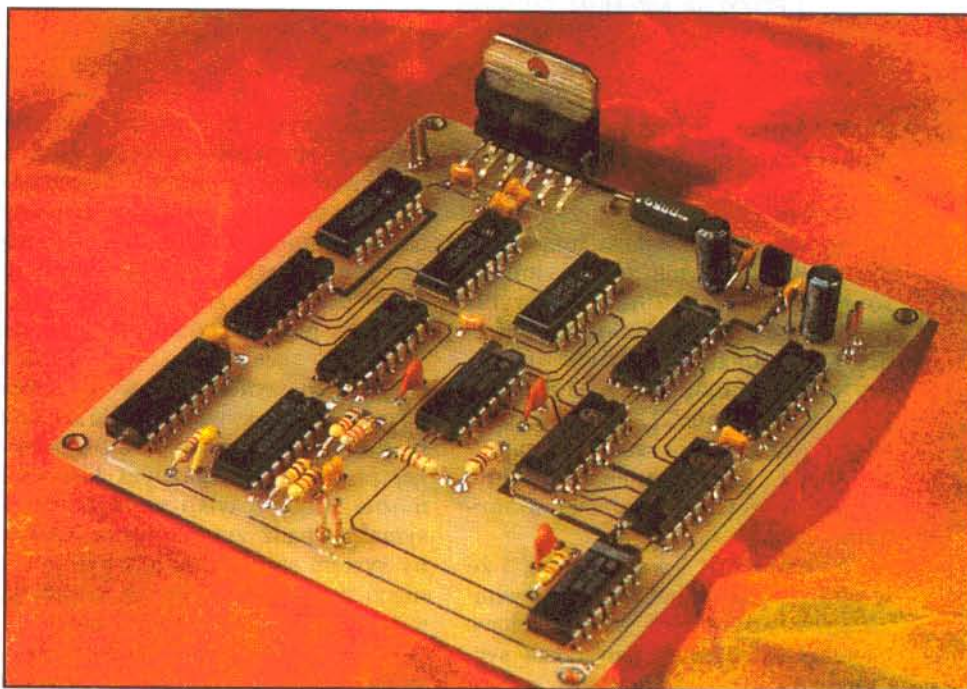


Elektronika przeniknęła do przemysłu zabawkarskiego, zwłaszcza w dziedzinę zabawek zdalnie sterowanych, dużo wcześniej niż powstały gry telewizyjne. Mimo to modele samolotów bądź statków nie są obecnie w tak powszechnym użyciu jak dawniej, jedynie samochodziki napędzane silnikami elektrycznymi sporej mocy nadal są bardzo modne. Ten rodzaj zabawki, a właściwie sterowanie jej silnikiem, jest tematem niniejszego opracowania. Opisany układ sterujący (regulator) nadaje się również do zastosowania w robotyce.

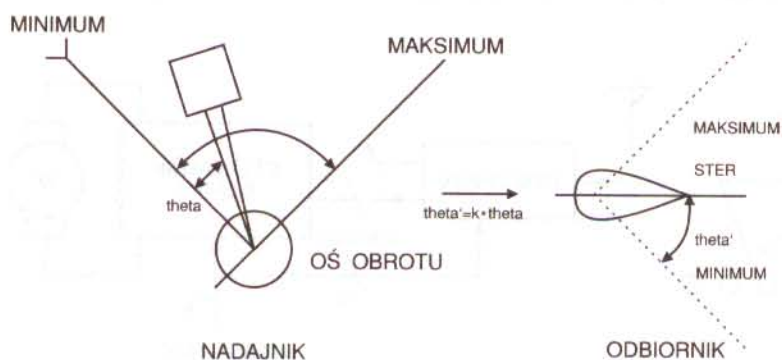
Regulator obrotów silnika prądu stałego



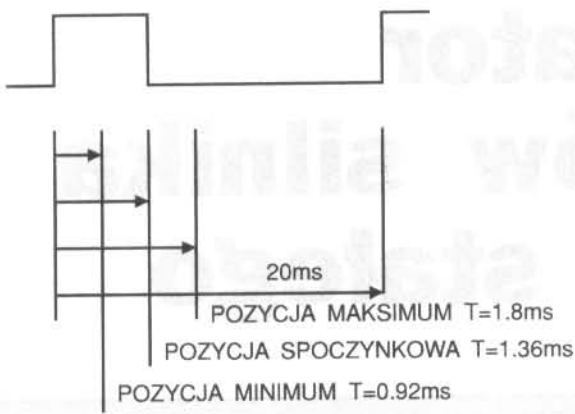
Pierwsze urządzenia radiowe złożone z nadajnika i odbiornika były przeznaczone prawie wyłącznie do sterowania modeli samolotów. Opracowany w niedługim czasie dwukanałowy system radiosterowania proporcjonalnego wkrótce stał się standardem dla tych zastosowań. Wypada więc zacząć od krótkiego omówienia działania tego systemu. Zdal-

ne sterowanie modelem samolotu, najogólniej biorąc, polega na zmianie toru jego lotu: góra/dół i prawo/lewo. **Rysunek 1** ilustruje zależność pomiędzy położeniem dźwigni zdalnego sterowania w nadajniku i pozycją steru wysokości w modelu. Przekazywanie poleceń w najprostszym systemie sterowania „wszystko lub nic”, sprowadzającym się do włączania dwóch skrajnych pozycji steru, można by porównać do transmisji cyfrowej (zero-jedynkowej), zaś system sterowania proporcjonalny, w którym położenie steru zmienia się płynnie między skrajnymi pozycjami - do transmisji analogowej.

Warto zwrócić uwagę, że ten rodzaj transmisji (system sterowania proporcjonalny) może być także stosowany do innych rodzajów modeli, jak samochody i statki, chociaż taka transmisja nie zawsze jest w pełni proporcjonalna.



Rys. 1.



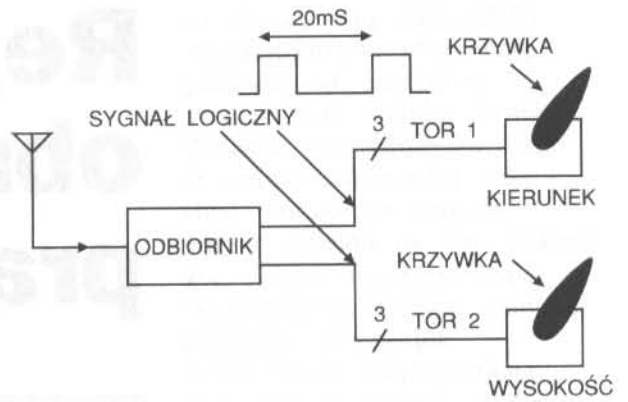
Rys. 2.

Przesyłanie informacji elektrycznych

Wykres czasowy (rys. 2) wyjaśnia sposób przekazywania informacji. Sygnał logiczny ma postać impulsów o okresie 20ms, których szerokość stanowi zakodowaną informację. Minimalna szerokość impulsu wynosi 0,92ms, maksymalna 1,8ms, a średnia 1,36ms. Można więc powiedzieć, że szerokość impulsu, bądź jego koniec, definiuje pozycję sterowanego elementu modelu.

Wypada tu wspomnieć, że w pierwszych polarotorach mechanicznych, używanych przy odbiorze telewizji satelitarnej, ten rodzaj sygnału stosowano do napędu serwo-mechanizmów wybierających polarizację fali.

Na schemacie podanym na rys. 3 zaznaczono, że informacja elektryczna, określona szerokością impulsu, jest przetwarzana na mechaniczną, określającą położenie steru, przez podzespół zwany serwomechanizmem. Podzespół ten składa się z mikrosilnika i elektronicznego sterownika (rys. 5). Układ taki, mimo że nadaje się do zdalnego sterowania modelem samolotu, to jednak, jak to



Rys. 3.

pokazuje rys. 4, nie umożliwia regulacji szybkości obrotów silnika wykonawczego (modelu). Serwomechanizm przetwarza sygnał elektryczny na mechaniczny, a ten za pomocą dźwigni i cięgieł jest przenoszony do przełącznika elektrycznego, przeważnie pięciopozycyjnego. Pozycja środkowa przełącznika jest zwykle pozycją spoczynkową, zaś pozostałe pozycje są wykorzystywane do zmiany kierunku i szybkości obrotów silnika, przy czym w każdym kierunku można włączyć tylko szybkość maksymalną, bądź zredukowaną. Opisany system sterowania jest być może nieco prymitywny, ale za to prosty, a do tego niezawodny i tani.

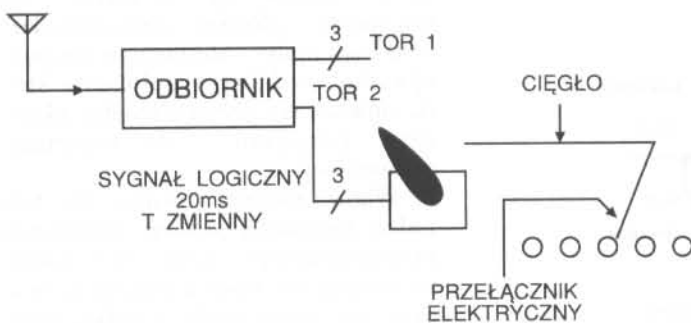
W tym momencie każdy elektronik zapewne pomyśli, że przecież o wiele lepiej jest przekazywać informację elektryczną wprost do silnika, bez pośrednictwa przekładni mechanicznej.

Problem ten - jak zresztą wszystkie inne, można rozwiązywać na różne sposoby. Jest oczywiste, że każde z rozwiązań ma swoje wady i zalety. Najprostszym, a zarazem bardzo bezpośrednim rozwiązaniem tego problemu jest zamiana impulsów na sygnał analogowy za pomocą filtracji. Otrzymałe napięcie doprowadza się

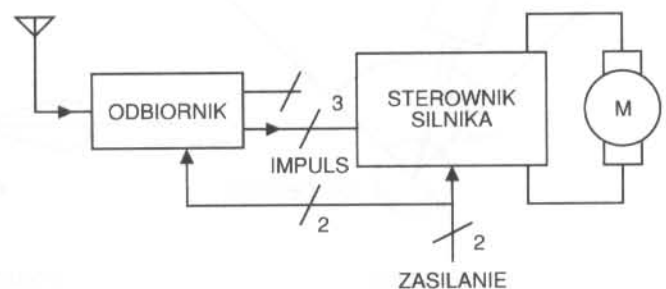
następnie do komparatora progowego określającego kierunek obrotów silnika oraz - za pośrednictwem układu przeliczającego - do tranzystora sterującego silnikiem.

Schemat blokowy (rys. 6) przedstawia taki właśnie sposób rozwiązania problemu sterowania modelem. Rozwiązanie to jest stosunkowo proste, niezawodne i niedrogie. Główną jego wadą jest konieczność zastosowania potencjometrów regulacyjnych i tranzystora mocy do sterowania szybkością silnika. Wiąże się to ze stratami mocy na ciepło, zaś odprowadzanie ciepła przysparza na ogół sporych trudności. Radiator niezbędny do obniżenia temperatury tranzystora sterującego nie może być bowiem zbyt duży ze względu na ograniczoną przestrzeń wnętrza i masę sterowanego modelu. Zmusza to do szukania kompromisu pomiędzy tymi sprzecznymi wymaganiami. Wielce interesujące wydaje się być zatem rozwiązanie oparte całkowicie na technice cyfrowej. Co prawda jest ono bardziej złożone, lecz pozbawione elementów regulacyjnych.

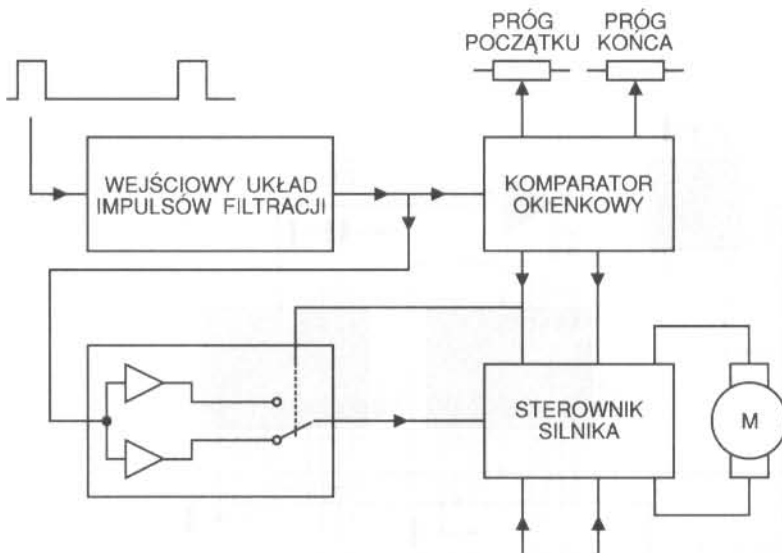
Schemat blokowy regulatora cyfrowego obrotów silnika jest przedstawiony na rys. 7. W skład regulatora wchodzi dwa główne bloki:



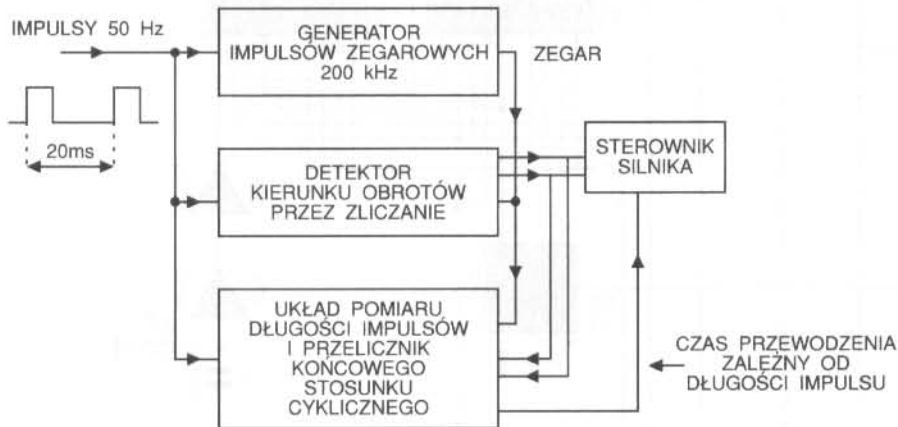
Rys. 4.



Rys. 5.



Rys. 6.



Rys. 7.

detekcji kierunku obrotów i pomiaru szerokości impulsów. Oba bloki zawierają liczniki impulsów generowanych przez zegar o częstotliwości 204,8kHz. Częstotliwość ta jest 8192-krotnie większa od częstotliwości impulsów wejściowych.

Schemat blokowy (rys. 7) przedstawia w dość przejrzysty sposób zasadę działania układu, ułatwiając tym samym zrozumienie roli poszczególnych elementów układu i połączeń między nimi, przedstawionych na schemacie elektrycznym (rys. 8). Układy U1 i U2 tworzą pętlę synchronizacji fazy i częstotliwości. Jej zadaniem jest generacja dwóch sygnałów zegarowych, zsynchronizowanych z impulsowym sygnałem wejściowym. Częstotliwości tych sygnałów wynoszą odpowiednio 6,4kHz i 204,8kHz. Układ U3 (w całości)

służy do formowania impulsów o szerokości 1,5μs z czoła i końca impulsów wejściowych (rys. 9).

Pierwszą operacją procesu sterowania jest określenie kierunku obrotu (o ile silnik ma się kręcić). Zadanie to spełnia licznik U4 i dwa przerzutniki U5A i U6A. Na wykresie przebiegów przedstawionym na rys. 9 zaznaczono trzy okienka czasowe odpowiadające trzem stanom pracy silnika: obrotowi w przód, spoczynkowi i obrotowi w tył.

Informacja o stanie pracy silnika, wynikająca z położenia impulsu wobec trzech okienek, jest przetwarzana przez dwa przerzutniki U5B i U6B na dwa ciągle sygnały logiczne, przesyłane następnie do sterownika silnika. Jeżeli częstotliwość impulsów wynosi dokładnie 50Hz, to koniec pierwszego okienka określa

320 impulsów, czyli 1,56ms. Początek drugiego okienka ustalono na 336 impulsów, czyli 1,64ms. Zatem czas trwania okienka odpowiadającego stanowi spoczynku silnika wynosi około 78μs.

Wykres przebiegów podany na rys. 10 ilustruje współzależność szerokości impulsu i jej transformacji na zmienny stosunek cykliczny. Poziome zasilanie silnika można wyrazić w postaci cyfrowej przy pomocy licznika rewersyjnego, działającego w trybie zliczania (tj. zwiększania zawartości) dla kierunku obrotów silnika przyjętego jako w przód, zaś w trybie odliczania (tj. zmniejszania zawartości) - dla kierunku obrotów silnika przyjętego jako w tył.

Działanie w trybie odliczania

Liczniki U8 i U9 są wstępnie ustawione na wartość maksymalną: FF. Impuls ten jest wykalibrowany na 96 impulsów głównego zegara 204,8kHz, czyli około 0,47ms. Sygnał zegarowy ustawia oba liczniki w tryb odliczania. Z końcem impulsu wejściowego zawartość liczników zostaje przeniesiona do dwóch liczników U10 i U11. Należy zaznaczyć, że zakres liczników U8 i U9 nie jest wykorzystywany w całości, bowiem maksymalna pojemność tych liczników wynosi 256, a to przy częstotliwości zegarowej 204,8kHz jest równoważne przedziałowi czasu 1,25ms.

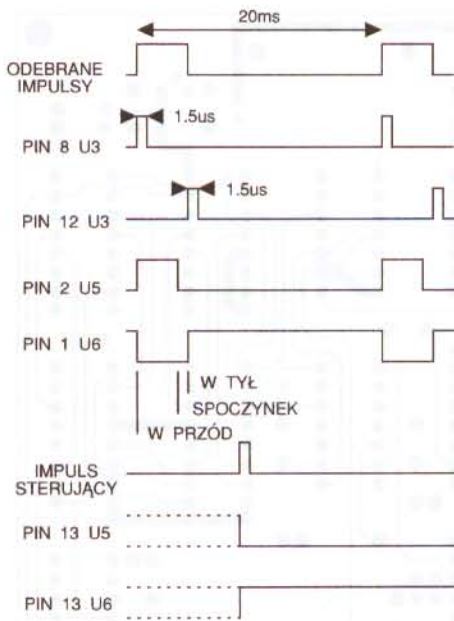
Działanie w trybie zliczania

Liczniki U8 i U9 są wyzerowane impulsem kalibracji okienka, a następnie zostają ustawione w tryb zliczania. Tak jak poprzednio, z końcem impulsu wejściowego zawartość liczników zostaje przeniesiona do liczników U10 i U11.

Liczniki końcowe U10 i U11, z zawartością odpowiadającą pozycji końca impulsu wejściowego, generują sygnał o zmiennym stosunku cyklicznym od 0 do 100% i częstotliwości 50Hz, będącej częstotliwością impulsów wejściowych. Sygnał zmiennego stosunku cyklicznego, proporcjonalny do położenia dźwigni sterującej, jest ostatecznie wysyłany do układu sterującego silnikiem.

Układ sterowania silnikiem L6203

Do budowy sterownika silnika najlepiej nadaje się układ scalony SGS Thomson L6203. Wewnętrzny schemat blokowy tego układu jest pokazany na rys. 11. Podstawowe parametry układu są następujące: - napięcie zasilania 48V (max)



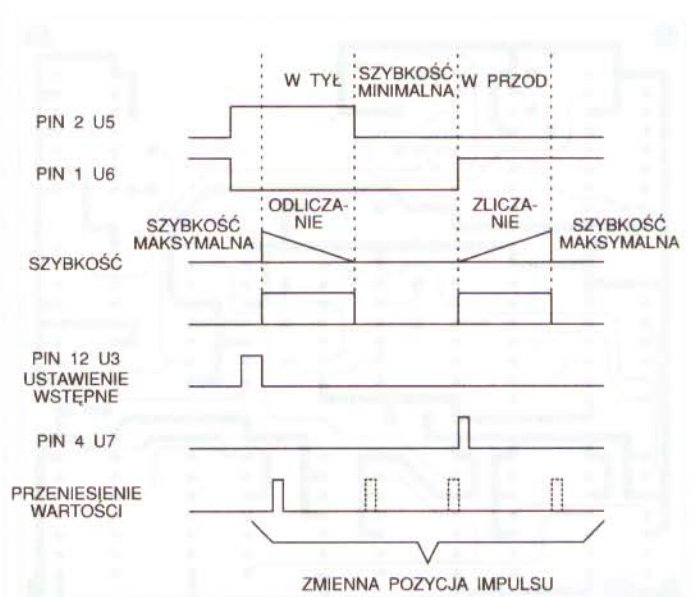
Rys. 9.

Tab. 1.

ENABLE	IN1	IN2	V(3,1)
0	-	-	-
1	0	0	0
1	0	1	VALIM
1	1	0	-VALIM
1	1	1	0

- natężenie prądu stałego 4A (max)
- rezystancja w trybie przejściowym 0,3Ω (typ.)
- sterowanie bezpośrednie sygnałami logicznymi 0..5V (poziomy napięcie TTL lub CMOS)

Wpływ stanów trzech wejść sterujących na działanie omawianego układu przedstawiono w tabeli 1. Na dwa wejścia IN1 i IN2 podaje się sygnały kierunku obrotu, a na wejście ENABLE sygnał sterowania proporcjonalnego - zmienny stosunek cykliczny 0 do 100%.

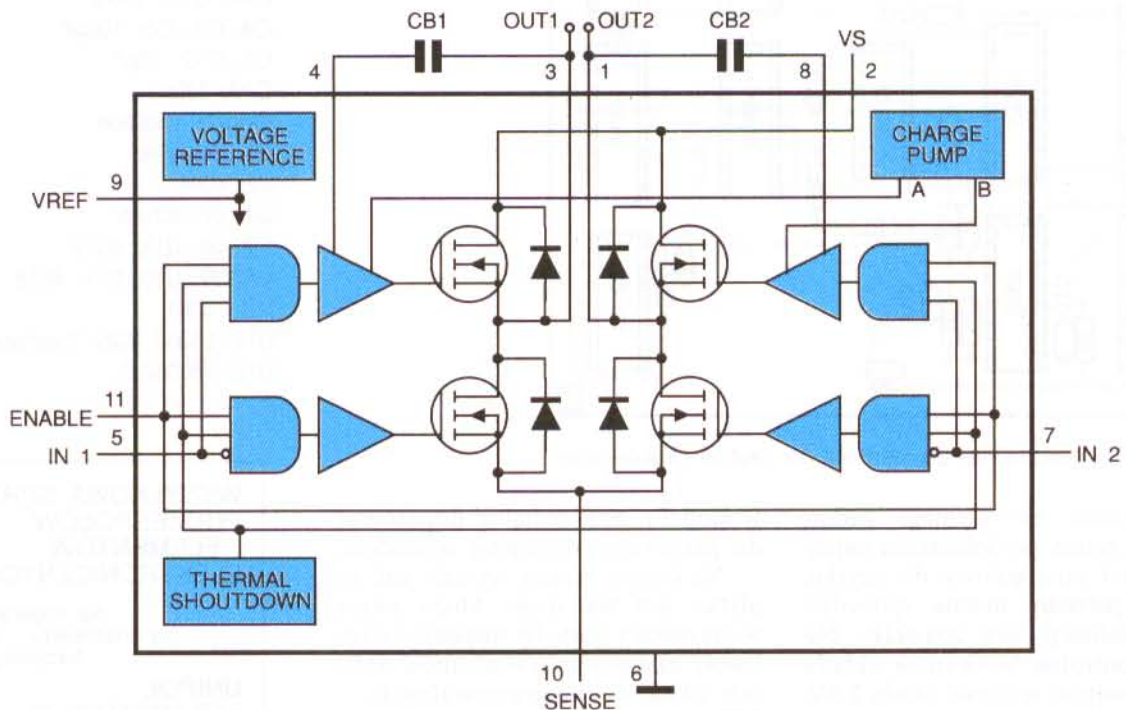


Rys. 10.

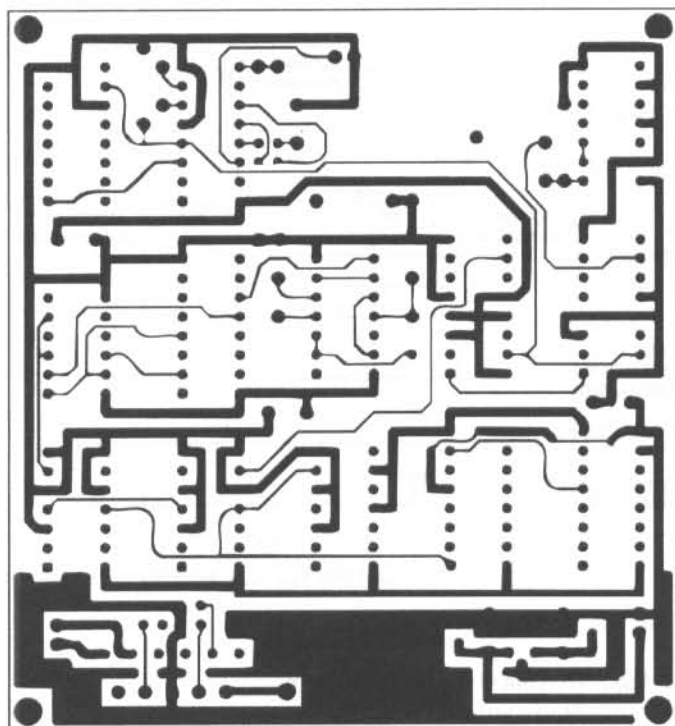
Wykonanie

Wszystkie elementy, znajdujące się na schemacie elektrycznym, montuje się na płytce o dwustronnym druku. Mozaikę ścieżek strony elementów pokazano na rys. 12, a strony lutowania na rys. 13. Rysunek 14 przedstawia rozmieszczenie elementów na płytce.

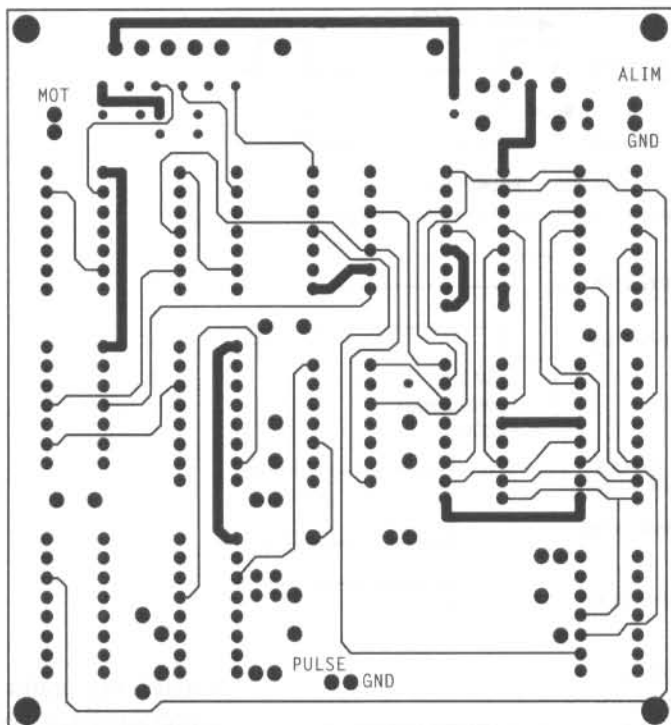
Montaż elementów nie powinien sprawiać trudności. Standardowym źródłem zasilania jest akumulator 8,4V/1300mAh. Układ po



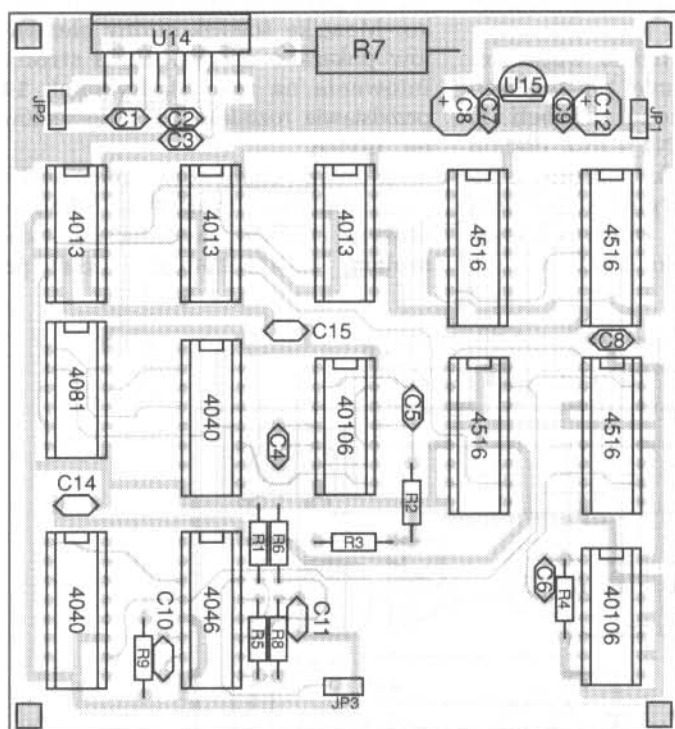
Rys. 11. Schemat funkcjonalny "wnętrza" układu L6203



Rys. 12. Mozaika ścieżek płytki drukowanej - strona lutowania



Rys. 13. Mozaika ścieżek płytki drukowanej - strona elementów



Rys. 14. Rozmieszczenie elementów na płytce drukowanej

WYKAZ ELEMENTÓW

Rezystory

R1, R2, R3, R4, R8: 10k Ω
 R5: 100k Ω
 R6, R9: 33k Ω
 R7: 0,1 Ω /1W

Kondensatory

C1, C2, C3, C7, C9, C11, C13, C14, C15: 100nF
 C4, C5, C6: 100pF
 C8, C12: 10 μ F
 C10: 330pF

Układy scalone

U1, U4: 4040
 U2: 4046
 U3, U7: 40106
 U5, U6, U13: 4013
 U8, U9, U10, U11: 4516
 U12: 4081
 U14: L6203 SGS- Thomson
 U15: 78L05AC

zmontowaniu nie wymaga żadnej regulacji, zatem po dołączeniu napięcia jest od razu gotowy do użytku. W razie potrzeby można sprawdzić pętlę stabilizacji fazy 204,8kHz. Napięcie kontrolne VCO (n. 9 układu 4046) powinno wynosić około 2,5V. Przewody łączeniowe należy przygotować przed umieszczeniem płytki

w modelu, zaś radiator dopasować do przestrzeni dostępnej w modelu.

Na koniec można wyrazić żal, że płytka jest tak duża. Może zatem w przyszłości warto by rozpatrzyć możliwość zastosowania elementów SMD lub układów programowalnych.

ERP