

Mikser klapolotek i usterzenia "V" do aparatury zdalnego sterowania

Przedstawiony w artykule układ zainteresuje na pewno wielu modelarzy korzystających z prostych i tanich urządzeń do zdalnego sterowania modeli, którzy pragną je rozbudować o funkcję miksowania kanałów. Do niedawna wykonanie takiego urządzenia, cyfrowego lub analogowego, wymagało niemałego nakładu pracy. Obecnie, przy zastosowaniu najpopularniejszych mikrokontrolerów, wykonanie miksera stało się możliwe nawet dla początkujących elektroników.

W przedstawionym układzie zastosowano mikrokontroler AT89C2051 firmy Atmel. Jednak z uwagi na kompatybilność wprowadzeń, można zastosować także mikroprocesor AT90S1200 tego samego producenta (mikrokontrolery te nie są jednak kompatybilne programowo). To drugie rozwiązanie posiada wiele zalet, m.in. możliwość przeprogramowania mikrokontrolera w systemie bez konieczności wyjmowania go z układu i bez użycia programatora (wystarczy tylko przewody i wtyczka do złącza Centronics komputera) oraz zabezpieczenie przed zawieszeniem się programu poprzez wykorzystanie wewnętrznego „watchdoga” i jedną wadę - brak gotowego programu - który trzeba napisać samodzielnie.

Co robimy?

Typowe zdalnie sterowane modele latające posiadają powierzchnie sterowe pokazane na rys. 1, z których każda sterowana jest oddzielnym proporcjonalnym mechanizmem wykonawczym. Jest to ster kierunku (a), ster wysokości (b), lotki (c) i kłapy (d). W pełni niezależne sterowanie tymi powierzchniami umożliwia dowolna 4-kanałowa aparatura. Gdybyśmy jednak chcieli zbudować model niekonwencjonalny, np. przedstawiony na rys. 2, napotykamy na problem sterowania tzw. klapolotkami (e) oraz usterzeniem motylkowym (f). Pomimo że każda z tych powierzchni wychylana jest oddzielnym mecha-

nizmem wykonawczym, musimy zapewnić odpowiednie sprzężenie ich wychyleń. Takie możliwości ma część nowoczesnych urządzeń do zdalnego sterowania, ale co mogą zrobić właściciele starszych lub mniej rozbudowanych urządzeń?

Wyjściem może być zbudowanie miksera w nadajniku. Zazwyczaj wystarczy kilka rezystorów i wzmacniaczy operacyjnych. Jednak oznacza to konieczność ingerencji w układ nadajnika (tym samym możliwość uszkodzenia), ale, co gorsza, nie w każdym nadajniku można taki układ zastosować.

Drugim, mniej inwazyjnym rozwiązaniem jest zbudowanie układu włączonego pomiędzy odbiorniki a serwomechanizmy. Jeżeli jeszcze będzie to układ na mikrokontrolerze, to praktycznie możemy uzyskać nieograniczone możliwości przetwarzania sygnałów z odbiornika. I takie właśnie rozwiązanie, którego ilustrację zasady działania przedstawiłem



na rys. 3, chciałbym zaproponować w niniejszym artykule.

Zasada działania

Sygnałami sterującymi typowym serwomechanizmem są impulsy o czasie trwania od 1 do 2ms z okresem powtarzania 15..25ms. Pojawiają się one kolejno na wyjściach poszczególnych kanałów (rys. 3). Mikrokontroler ma za zadanie zmierzyć czas ich trwania oraz wykonać obliczenia zgodnie z zależnościami:

$$T_{lew} = (T_1 + T_2) / 2,$$

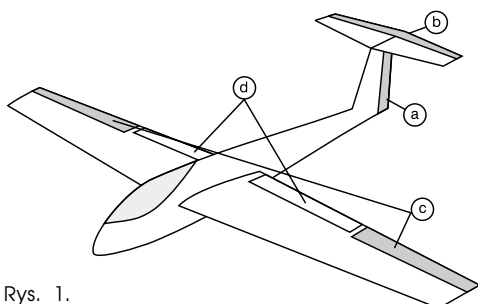
$$T_{praw} = (T_1 - T_2) / 2 + T_0,$$

gdzie $T_0 = 1,5ms$ - średni czas impulsu odpowiadający neutralnemu położeniu dźwigni sterującej serwomechanizmu. Następnie musi wygenerować nowe impulsy na wyjściach do serwomechanizmów. Jak łatwo sprawdzić, czas impulsów dla serwomechanizmów mieści się we właściwym przedziale 1 do 2ms. Możemy nawet „mieszać” impulsy T_1 i T_2 według innych proporcji, uzyskując różną czułość sterowania dla lotek i kłap.

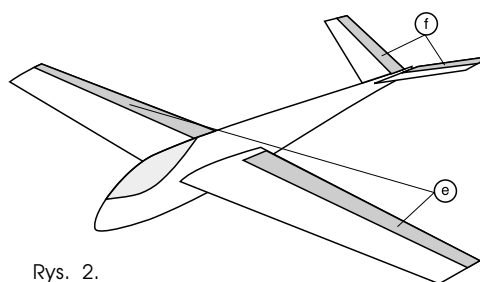
Jeśli kanał 1 obsługuje lotki, a kanał 2 kłapy, to zmodyfikowana zależność na obliczenie czasów impulsów będzie następująca:

$$T_{lew} = T_{neutral} + (T_1 - T_0) * K_{lotek} + (T_2 - T_0) * K_{klap},$$

$$T_{praw} = T_{neutral} + (T_1 - T_0) * K_{lotek} - (T_2 - T_0) * K_{klap},$$



Rys. 1.



Rys. 2.

gdzie K_{klap} i K_{lotek} - czułość odpowiednich organów sterowania.

Ze wzorów wynika, że obroty serwomechanizmów w obie strony będą „symetryczne”. Jednak w wypadku klapolotek, dla uzyskania prawidłowego zakrepu wychylenia do góry powinny być większe niż wychylenia do dołu. Uzyskano to programowo, przez regulację czasu $T_{neutrum}$ w granicach 1,375 do 1,5ms i “obcinanie” zbyt długich lub krótkich impulsów do przedziału 1..2ms. W wyniku tego, dla $T_{neutrum}=1,5ms$ uzyskujemy symetryczne wychylenia w górę i w dół, zaś dla $T_{neutrum}=1,375ms$ wychylenie w górę może być dwa razy większe niż w dół. Takie zróżnicowanie jest korzystne dla klapolotek, natomiast dla usterzenia typu V preferowane jest symetryczne wychylenie sterów. W tabeli 1 zestawiono parametry miksowania przewidziane w oryginalnej wersji programu.

Opis układu

Schemat elektryczny miksera przedstawiono na rys. 4. Jako wejścia, połączone z odbiornikiem, zastosowano wyprowadzenia P1.6 i P1.7, natomiast wyprowadzenia P1.4 i P1.5 zaprogramowano jako wyjścia połączone z serwomechanizmami. Wyprowadzenia P1.0 i P1.1 wykorzystano do testowania napięcia zasilania. Pozostałe wyprowadzenia portów mikroprocesora (z wyjątkiem P1.3, które możemy dowolnie wykorzystać) służą do wyboru parametrów pracy układu. Kondensator C1 wraz z wewnętrznym rezystorem zabezpiecza pewny start procesora po włączeniu zasilania, zaś kondensatory C2 i C5 blokują zasilanie.

Na uwagę zasługuje układ kontroli napięcia zasilania. Modelarze wiedzą czym grozi nadmierne wyładowanie baterii odbiornika, dlatego wykorzystano komparator analogowy mikroprocesora, wzbogacając mikser o niezwykle pożyteczną funkcję. W celu zminimalizowania liczby części dioda LED D1 pełni podwójną rolę:

- przy programowym zwarciu wyprowadzenia P1.0 do masy błyska z pełną jasnością (prąd diody ogranicza rezystor R3),
- przy zaprogramowaniu wyprowadzenia P1.0 jako wejście dioda daje w miarę stałe napięcie odniesienia dla komparatora (na wejściu P1.1 napięcie pochodzi

z dzielnika rezystorowego), a jednocześnie świeci z bardzo małą jasnością (dzięki dużej rezystancji R2).

Testowanie napięcia zasilania odbywa się cyklicznie w przerwach pomiędzy kolejnymi błysnięciami diody LED.

Częstotliwość błyskania informuje nas o pracy układu:

1) przy prawidłowym napięciu i sygnałach z odbiornika na obydwu wejściach, dioda LED błyska krótkimi (100ms) impulsami z częstością 1Hz,

2) w przypadku, kiedy napięcie zasilające obniży się poniżej 4,4V (tj. przy granicznej bezpiecznej wartości 1,1V/ogniwo dla akumulatorów kadmowo-niklowych) dioda LED zaczyna błyskać z dużą częstością, ok. 5Hz, sygnalizując nadmierne rozładowanie akumulatorów,

3) w przypadku braku impulsów sterujących z odbiornika dioda LED przestaje błyskać (pozostając w stanie w jakim była podczas zaniku impulsów).

W układzie zastosowano kwarc o częstości 6MHz, możemy jednak zastosować dowolny kwarc o częstości z przedziału 4..12MHz, modyfikując nieco dane programu. Wstawiając kwarc musimy mieć na uwadze fakt, że harmoniczne kwarcu będą odbierane przez odbiornik i mogą zakłócać jego działanie (należy też brać pod uwagę częstości lustrzane). Przykładowo, wybrana przeze mnie częstość 6MHz (z uwagi na dostępność kwarców w niskich obudowach tj. bardziej odpornych na drgania) nie jest optymalna, może bowiem zakłócać odbiornik na częstości 35,09 MHz (69 kanał). Szósta harmoniczna kwarcu wypada na częstości 185,14 MHz (359 kanał).

Tabela 1. Zależność stopnia miksowania kanałów od stanu zworek Z1..Z4

L.p.	Z1	Z2	Z3	Z4	Tneutrum [ms]	Czułość klap K_{klap}	Czułość lotek K_{lotek}	K_{lotek}/K_{klap}
1	X	X	X	X	1,375	0,1875	0,4375	2
2		X	X	X	1,375	0,22	0,405	1,84
3	X		X	X	1,375	0,25	0,375	1,5
4			X	X	1,375	0,28	0,344	1,23
5	X	X		X	1,375	0,3125	0,3125	1
6		X		X	1,375	0,344	0,28	0,81
7	X			X	1,375	0,375	0,25	0,67
8				X	1,5	0,125	0,375	3
9	X	X	X		1,5	0,156	0,344	2,2
10		X	X		1,5	0,1875	0,3125	1,67
11	X		X		1,5	0,22	0,28	1,27
12			X		1,5	0,5	0,5	1
13	X	X			1,5	0,28	0,22	0,79
14		X			1,5	0,3125	0,1875	0,6
15	X				1,5	0,344	0,156	0,45
16					1,5	0,375	0,125	0,33

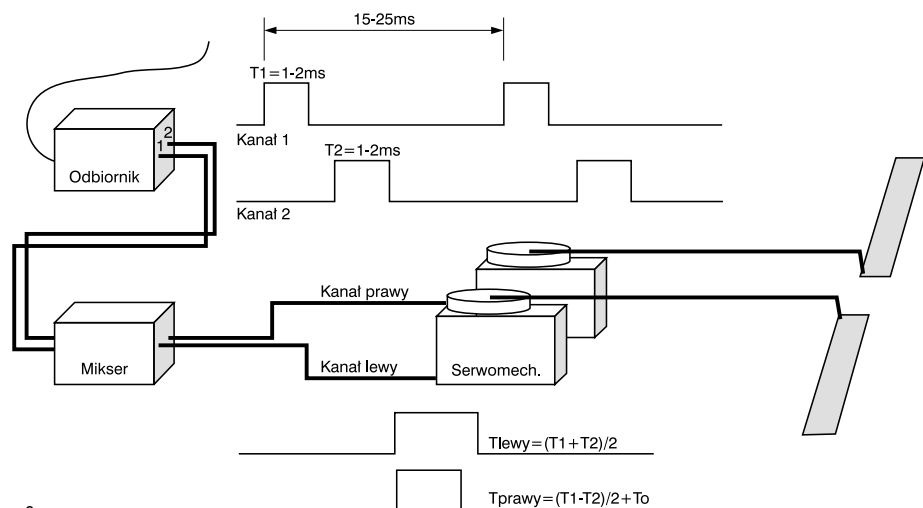
UWAGA: X-zworka zwarta do masy

tranej 35,09+2*0,455=36MHz (jeżeli użyjemy kwarcu 35,545MHz w odbiorniku o pojedynczej przemianie częstości z p.cz.=455kHz). Stosowanie kwarców poniżej 4MHz nie jest zalecane z uwagi na konieczność dokładnego pomiaru długości impulsów dla zapobieżenia drganiom serwomechanizmów wskutek błędów próbkowania.

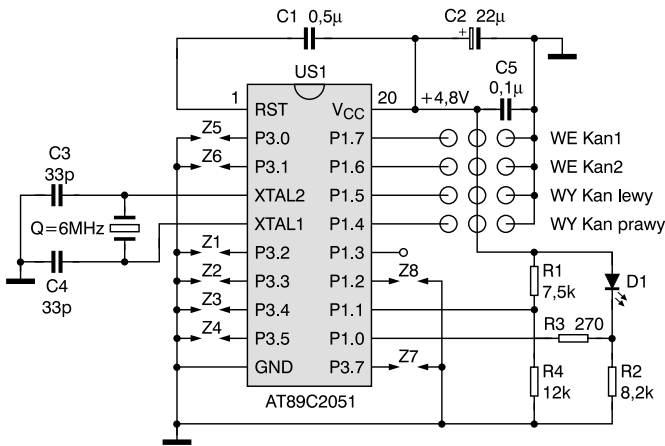
W programie miksera przewidziano także zabezpieczenie przed zakłóceniami. W przypadku, kiedy czas impulsów jest zbyt długi (ponad 2,4ms) lub zbyt krótki (poniżej 0,8ms) mikroprocesor traktuje sygnał jako zakłócony i następuje przesunięcie sterów do położenia neutralnego (lotki niewychylone a klapy wychylone wg czasu $T_{neutrum}$ z tabeli 1). W niektórych urządzeniach przyjęte wartości graniczne

mogą okazać się za bliskie czasom roboczym i stery będą przesuwac się do położenia neutrum przy skrajnie wychylonym trymerze i drażku. Przed rozpoczęciem lotów należy więc sprawdzić działanie sterów przy skrajnie wychylonych organach sterowania (łącznie z trymerami). Stery przy pełnych wychyleniach drażków nadajnika nie powinny wracać do neutrum. Jeżeli wystąpią problemy z tą funkcją (w nietypowych aparaturach), funkcję powrotu do neutrum można wyłączyć zwierając zworę Z8 do masy (lub wpisując inne graniczne wartości czasów w danych programu).

Mikser posiada możliwość podłączania do urządzeń starszego typu z czasem kanałowym 1,6±0,6[ms]. Możliwa jest także kombinacja: odbiornik 1,5±0,5[ms] a serwome-



Rys. 3.



Rys. 4.

chanizmy $1,6 \pm 0,6$ [ms] lub odwrotnie. Czas T_{neutrum} z tabeli 1 jest odpowiednio korygowany. Do wyboru czasów kanałowych służą zworki Z5 i Z6 zgodnie z tabelą 2.

Dodatkowa zworka Z7 odwraca kierunek ruchów jednego z serwomechanizmów (tzw. rewers), ułatwiając tym samym zabudowę popychaczy sterów w różnych modelach.

Uruchomienie układu

Widok płytki drukowanej pokazano na wkładce wewnątrz numeru, a na rys. 5 widać rozmieszczenie elementów wraz z numeracją zworek. Gniazda dla serwomechanizmów i jumperów wykonujemy ze złącz szpilkowych. Zworki JP1..JP4 (Z1..Z4) można ustawiać na lotnisku za pomocą jumperów, pozostałe zworki musimy włutować w domu (cienkim drucikiem miedzianym). Zalecam jednak ustawianie zworek w domu, gdyż każda pomyłka może skończyć się katastrofą.

Ważne jest także ustawienie kolejności kanałów. Zaleca się, aby wejście kanału 1 miksera było połączone do wyjścia odbiornika o niższym numerze niż wejście kanału 2. Przy innym połączeniu układ także pracuje, lecz „gubi” co drugi

impuls z odbiornika, co może powodować opóźnione lub skokowe działanie serwomechanizmów. Ostatecznie problem można rozwiązać zmieniając nieco program. Wartości pojemności kondensatorów C3 i C4 nie są krytyczne, można wykorzystać dowolne z zakresu 22..39pF. Mikser nie wymaga oddzielnego zasilania. Napięcie zasilające pobierane jest przez gniazda wejściowe wprost z odbiornika. Przed podłączeniem odbiornika i serwomechanizmów należy sprawdzić rozmieszczenie wyjść sygnałów na wtyczkach, gdyż różne firmy stosują różne rozwiązania.

Po podłączeniu układu do odbiornika (na początku bez serwomechanizmów) i włączeniu zasilania (nadajnika i odbiornika) powinna zacząć błyskać dioda LED. Podłączając odbiornik do regulowanego źródła napięcia (uwaga, napięcie ponad 6V może uszkodzić odbiornik i mikser) dobieramy rezystor R1 lub R4 i ustalamy próg sygnalizacji obniżenia napięcia na 4,4V (niestety rozrzuty parametrów LED zmuszają nas do tej niewdzięcznej czynności).

Następnie podłączamy serwomechanizmy i testujemy ich pracę. Testy należy wykonać do rozładowania akumulatorów odbiornika, także z podłączonym silnikiem elektrycznym i regulatorem obrotów (jeśli takie przewidujemy do napędu modelu) - mikser nie ma bowiem watchdoga, więc musimy się upewnić, że nie grozi nam zawieszenie pracy mikroprocesora. Ale bez obaw, testowane egzemplarze procesora C2051 pracowały jeszcze przy napięciu 2,4 V.

Przy wysokim poziomie napięcia wydajność prądowa portów procesora jest stosun-

Tabela 2. Wybór czasów kanałowych zworkami Z5 i Z6

L.p.	Z5	Z6	Czas kanałowy odbiornika [ms]	Czas kanałowy serwomechanizmu [ms]
1	x	x	1,6±0,6	1,6±0,6
2		x	1,6±0,6	1,5±0,5
3	x		1,5±0,5	1,6±0,6
4			1,5±0,5	1,5±0,5

UWAGA: X-zworka zwarta (do masy)

kowo mała (odpowiada rezystancji ok. 150kΩ) i może być za mała doysterowania niektórych serwomechanizmów. W przypadku pojawienia się takiego problemu wystarczy włutować rezystory o rezystancji 4,7..20kΩ pomiędzy P1.4, P1.5 a „+” zasilania.

Podczas testów układu z serwami „Hitec” i „Futaba” nie stwierdzono, aby te rezystory były potrzebne.

Uwagi końcowe

Źródłową wersję programu (w assemblerze) dla procesora 8051 oraz gotowy plik w formacie Intel-HEX udostępniłem do publikacji na płycie CD-EP7/2001B oraz na stronie WWW „Elektroniki Praktycznej” w dziale „download” (z uwagi na długość w artykule nie zamieszczono wydruku programu). Niektóre liczby począwszy od adresu \$700 zawierają dane czasowe dla kwarcu 6MHz w formacie dwubajtowym (kolejno młodszy i starszy bajt). W przypadku zastosowania innych kwarców musimy je przeliczyć wg wzoru $T_x = T_6 * X/6$. Wyprowadzenie P1.3 możemy użyć do sterowania np. brzęczyka ułatwiającego odszukanie modelu w wysokiej

WYKAZ ELEMENTÓW

Rezystory

- R1: 7,5kΩ ¹⁾
- R2: 8,2kΩ
- R3: 270Ω ²⁾
- R4: 12kΩ

1) Dobierany indywidualnie dla uzyskania sygnalizacji przy 4,4V

2) Dla uzyskania większej jasności świecenia diody można zmniejszyć do 220Ω.

Kondensatory

- C1: 0,47µF (w prototypie zastosowano tantalowy)
- C2: 22µF/16V (10..22µF)
- C3,C4: 33pF (22..39pF)
- C5: 100nF

Półprzewodniki

US1: AT89C2051 zaprogramowany (także AT89C4051 lub wymagający innego programu AT90S1200)

D1: LED dowolna prostokątna czerwona

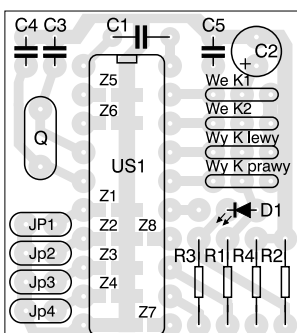
Różne

- Q: kwarc 6MHz (4..12MHz)
- Złącze szpilkowe pod jumper i ew. jako gniazda serwomechanizmów
- Wtyczki i gniazdko w zależności od posiadanej aparatury

trawie (zamieszczony program nie przewiduje tej funkcji).

Jako ciekawostkę (dla tych, którzy chcieliby napisać własne oprogramowanie do miksera) dodam, że po wysłaniu impulsów do serwomechanizmów, program musi odczekać min. 5ms przed analizą kolejnych impulsów z odbiornika po to, aby wyeliminować drgania serwomechanizmów.

Ireneusz Kuczek
ixkuczek@friko6.onet.pl



Rys. 5.