

# Headwards!

## Czyli: mysz się chowa, część 1

PROJEKT  
Z OKŁADKI



*Ulepszenie swojego „peceta“ - to dążenie wielu elektroników-hobbystów.*

*W artykule przedstawiono projekt zupełnie nietypowego urządzenia sterującego jego pracą. Dzięki niemu, przy niewielkiej wprawie, komputer staje się posłuszny naszej... głowie!*

**Rekomendacje:** fani komputerów są szczególnie podatni na rewolucyjne pomysły, a do takich niewątpliwie należy pomysł sterowania pracą komputera za pomocą ruchu głowy.

Kiedy firma Apple na początku lat osiemdziesiątych wyposażała produkowane przez siebie komputery w nowy typ urządzenia wskazującego (myszkę), nikt nie spodziewał się, że mysz przyjmie się tak szybko i na tak ogromną skalę. Mimo że później wymyślono jeszcze wiele innych urządzeń o podobnym zastosowaniu (jak choćby pióro świetlne, trackball czy tablet), żadne z nich nie odniosło sukcesu choćby porównywalnego z dokonaniem firmy Apple.

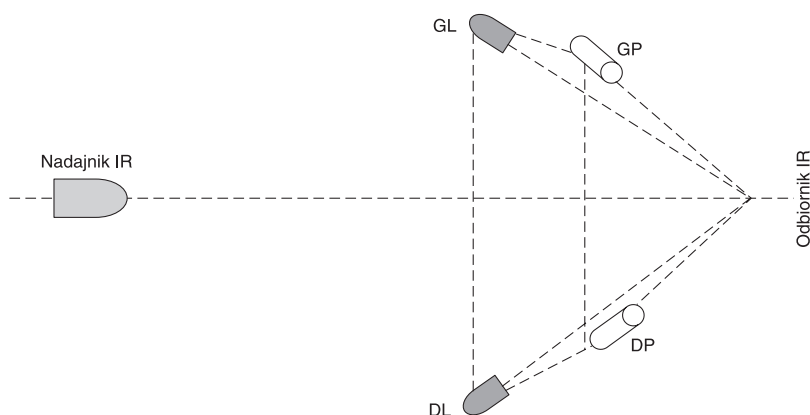
Dziś mysz jest już pełnoletnia i... chyba zaczyna trącić myszką! Mam zaszczyt przedstawić jej kolejnego konkurenta - nazwa się Headwards, co z angielskiego znaczy „w kierunku głowy“. Czytelnicy EP zapewne widzieli już wiele różnych, w tym także dziwnych projektów. Ten jest zdecydowanie jednym z tych najdziwniejszych. Przedstawione w artykule urządzenie ma za zadanie określać kierunek ustawienia głowy, reagować na mruganie powiek i komunikować się z komputerem. Wszystko to po to, żeby zastąpić urządzenie z zeszłego

wieku - myszkę mianowicie. Nie do wykonania? Przekonajmy się!

### Bez teorii ani rusz

Jak w większości amatorskich urządzeń elektronicznych, także i w tym projekcie najbardziej liczy się nie tyle wykonanie, co pomysł. Mniej czasu zajęło mi uruchomienie prototypu niż wcześniejsze rozwiązanie wszystkich problemów teoretycznych. Zaczniemy więc od sprawy najciekawszej, czyli od wykrywania pozycji głowy.

Choć sposobów na rozwiązanie tego problemu jest prawdopodobnie wiele (a każde ma swoje zalety i jeszcze więcej wad), to detekcja kierunku zwrócenia głowy wcale nie jest prosta w realizacji. Jedynymi z pomysłów, które początkowo zaprzętały moją głowę, było wykorzystanie ultradźwięków (problemy z echem), akcelerometrów (drogie i trudno dostępne) lub kamery (niedokładne, drogie i skomplikowane od strony programowej i sprzętowej). W omawianym projekcie stanęło w końcu na pomysł wykorzystania podczerwieni, za czym przemawia prostota, niski



Rys. 1. Idea działania nagłownego sterownika myszy

koszt i, jak się okazało, zupełnie niezły efekt praktyczny.

Wiemy już więc, w którym kierunku iść, problem tylko w tym, w jaki sposób przy pomocy samych nadajników i odbiorników podczerwieni uzyskać informacje o kierunku? Nic prostszego! Kilka nieprzespanych nocy zaowocowało pomysłem przedstawionym na rys. 1. Aby zrozumieć zasadę działania takiego układu odbiorników (w tym wypadku fototranzystorów) i nadajników (diod IR), należy przypomnieć sobie odrobinę fizyki, a dokładniej - teorię strumieni świetlnych. Zapomnijmy na chwilę, że przedstawione fototranzystory posiadają soczewkę skupiającą i przyjmijmy, że źródło światła w postaci diody IR emituje światło równomiernie rozproszone. Jak widać na rysunku, odbiorniki podczerwieni ustawione są wzdłuż

krawędzi bocznych ostrosłupa czworokątnego prawidłowego. W położeniu równowagi, tj. kiedy podstawa powstałego ostrosłupa jest prostopadła do osi nadajnika przechodzącej przez środek tej podstawy, na każdy fotoodbiornik pada taki sam strumień światła. Co się jednak stanie, kiedy cały układ odbiorników odrobinę przesuniemy względem stałego wierzchołka ostrosłupa? Oczywiście, strumienie światła na poszczególnych czujnikach zaczną się między sobą różnić. Na podstawie tych różnic, przy pomocy nieskomplikowanego algorytmu, będziemy w stanie określić zmianę położenia. Dla naszych potrzeb

wystarczy obliczanie wychyleń w pionie i poziomie na podstawie następujących wzorów:

$$X = (GL + DL) / (GL + GP + DL + DP)$$

oraz

$$Y = (GL + GP) / (GL + GP + DL + DP),$$

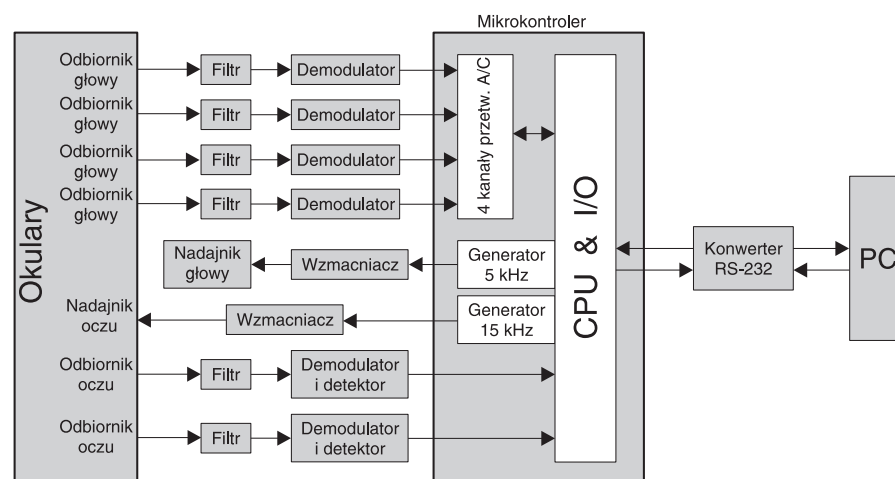
**Można także inaczej  
Pierwszy na łamach EP projekt  
umożliwiający nietypowe sterowanie  
kursorem myszki (także za pomocą  
głowy) opisałismy w EP4 i 5/2000. Była  
to "myszka" (pokazana na zdjęciu)  
wykorzystująca czujnik przyspieszenia  
ziemskiego firmy Analog Devices, a rolę  
przycisku spełniał czujnik ciśnienia -  
użytkownik myszki zamiast klikać, po  
prostu lekko dmuchał w specjalny ustnik.**



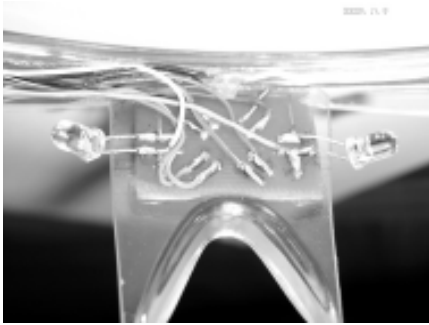
gdzie GL, GP, DL, DP to natężenia światła docierające do poszczególnych odbiorników (Górny Lewy, Górny Prawy itd.).

Zdaje się, że najtrudniejsza sprawa teoretyczna już za nami. Nie spoczywajmy jednak na laurach, przed nami kolejne zadanie - musimy wykrywać mrugnięcia okiem! Brzmi to śmiesznie, ale jeszcze śmieszniejsze było dojście do rozwiązania. Dobrze, że lustra mówią tylko w bajkach, bo moje na pewno by się odezwało, ale do rzeczy. Wystarczy parę razy do siebie pomrużyć, żeby dojść do wniosku, że przy mruganiu jednym okiem opuszczamy brew, a co za tym idzie, zmniejszamy prześwit nad oczodołem. Czemu by więc tego nie wykorzystać? Również do tego celu

możemy użyć podczerwieni. W urządzeniu prototypowym źródła światła umieszczone zostały przy nosie (nieznacznie poniżej brwi i równoległe do nich), natomiast fotoodbiorniki z boku okularów. A tak! Zapomniałbym napisać, że interfejs urządzenia będzie miał postać właśnie okularów. Tym razem sprawa (przynajmniej jeśli chodzi o teorię) przedstawia się dużo prościej - należy jedynie wykryć, czy do fotoodbiornika światło dociera czy też nie. Takie rozwiązanie wykrywania mrugnięć eliminuje problem ignorowania zwyczajnego mrugania oboma oczyma, przy którym brew nie zostaje ściągnięta.



Rys. 2. Schemat blokowy nagłownego sterownika kursora



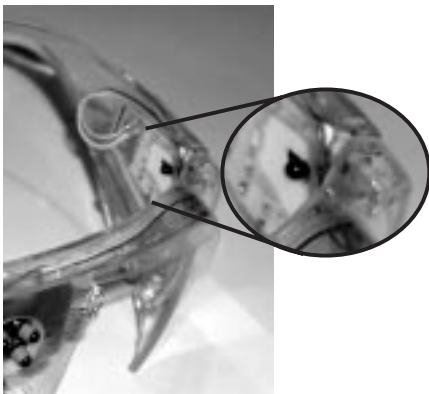
Fot. 3. Umieszczenie nadajnika podczerwieni na okularze

Upiekliliśmy więc dwie pieczenie na jednym ogniu - układ nie będzie musiał się już o to martwić i będziemy mogli klikać... oczami! Co więcej, będziemy dbali o zdrowie naszych oczu, a to dlatego, że wiele problemów z oczami jest wynikiem zbyt małej częstotliwości mrugania podczas pracy przed monitorem.

### Co tygryski lubią najbardziej

To, co najtrudniejsze, jest już za nami. Teraz wszystko będzie już przyjemne - musimy zająć się stroną elektroniczną. Spójrzmy więc na schemat blokowy z **rys. 2**, na którym przedstawiony został sposób realizacji wcześniej opisanych zagadnień.

Od początku wiadomo było, że układ sterujący będzie musiał mieć budowę analogowo-cyfrową. Okulary połączone są z analogową częścią układu i mają wbudowane dwa nadajniki podczerwieni dla oczu (**fot. 3**), dwa czujniki odpowiedzialne za wykrywanie mrugania (**fot. 4**) oraz cztery fotoodbiorniki badające pozycję głowy (**fot. 5**). Nadajniki są sterowane generatorem fali prostokątnej, genero-



Fot. 4. Umieszczenie czujników wykrywających mruganie

wanej programowo przez mikrokontroler, a następnie wzmacnianej przez prosty wzmacniacz. Aby uniemożliwić zakłócanie pracy urządzenia przez środowisko i wzajemne zakłócanie się obu części układu, nadajniki współpracujące z czterema fotoodbiornikami wykrywającymi pozycję głowy pracują na częstotliwości 5 kHz, natomiast nadajniki potrzebne do wykrywania mrugania migają z częstotliwością 15 kHz. Sygnały z czterech odbiorników podczerwieni poprzez filtry i demodulatory podawane są na wejścia przetwornika analogowo-cyfrowego, zawartego w mikrokontrolerze, natomiast sygnały z czujników oczu, po przejściu przez filtr i demodulator, poddawane są detekcji i doprowadza się je do cyfrowych wejść tego mikrokontrolera. Ten z kolei ma za zadanie plotkować o wszystkim czego się dowiedział z komputerem.

Nie pozostaje nam teraz nic innego, jak przyrzeć się schematowi elektrycznemu przedstawionemu na **rys. 6**. Nie zniechęcając się jego rozmiarami, zauważamy zgodność ze schematem blokowym przedstawionym wcześniej. Zaczniemy więc od układu zasilania.

Ponieważ układ będzie współpracować z komputerem i prawdopodobnie zechcemy włożyć go do jego wnętrza, niewybaczalne byłoby niewykorzystanie zasilacza komputerowego, doprowadzającego zasilanie do napędów wewnętrznych. Niestety, zasilanie to jest „zaśmiecone“ przez cyfrową elektronikę komputera, a ponieważ układ jest po części analogowy, to zasilanie to należy najpierw przefiltrować. Dla części analogowej układu zadanie to spełni zwykły filtr LC, część cyfrowa będzie natomiast zasilana bezpośrednio z zasilacza. Ważne jest, aby w projekcie obwodu drukowanego uwzględnić osobne linie zasilania dla obu części układu, a masy połączyć tylko w jednym punkcie, jak się to robi w układach audio.

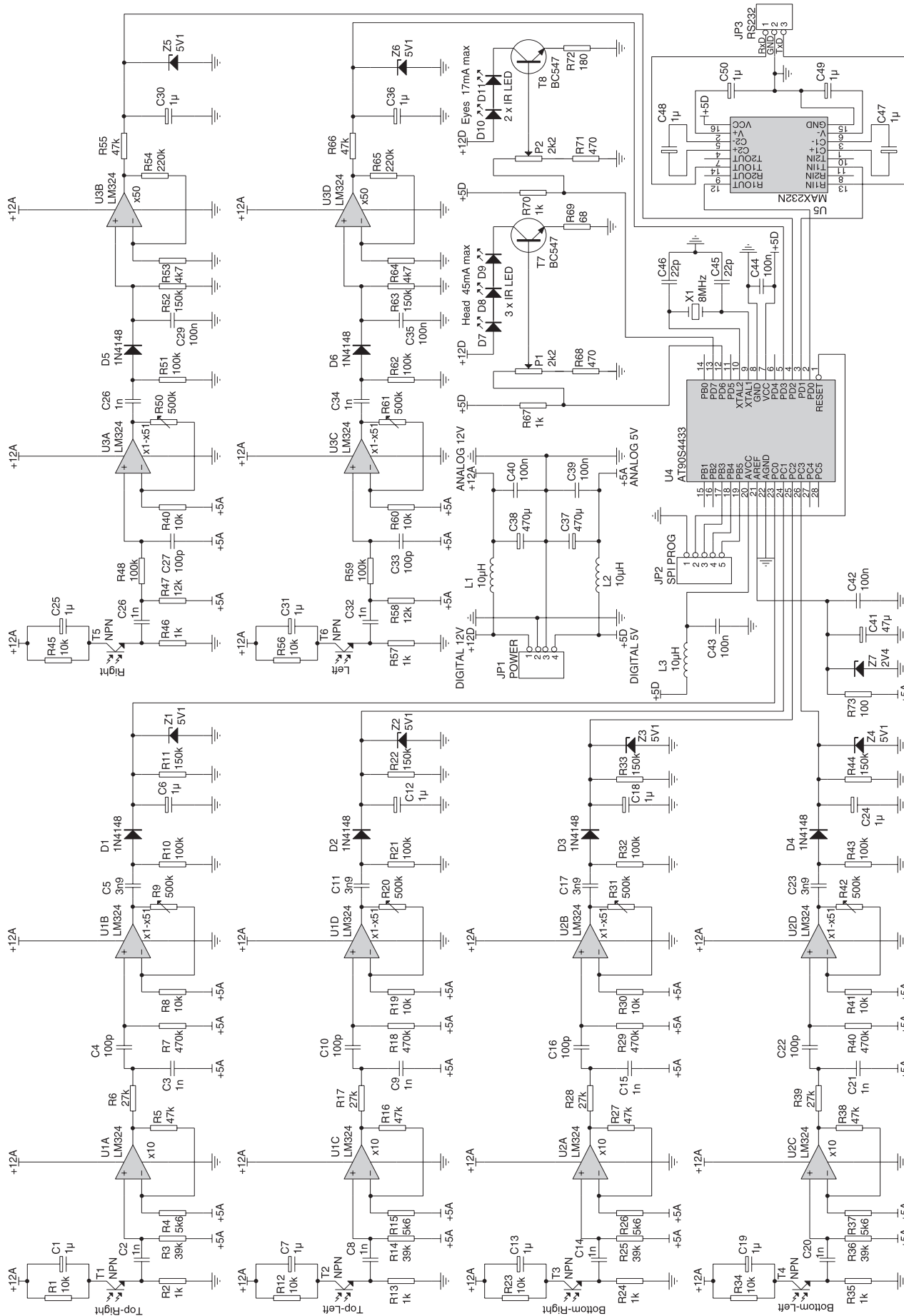
Już na pierwszy rzut oka widać było, że pewne bloki na schemacie są jednakowe. I tak, mamy cztery identyczne bloki analogowych filtrów pasmowych i demodulatorów dla czujników pozycji głowy oraz dwa nieznacznie różniące się od poprzednich



Fot. 5. Umieszczenie fotodetektorów wykrywających położenie głowy

filtry, demodulatory i detektory mrugania. W przypadku czujników pozycji, sygnał z fototranzystorów przepuszczany jest przez filtry górno- i dolnoprzepustowe RC w celu selekcji częstotliwości 5 kHz. Następnie sygnał wzmacniany jest przez wzmacniacze operacyjne zawarte w układzie LM324, który w zupełności wystarcza do tego zastosowania. Po dwustopniowym wzmocnieniu (drugi stopień ma możliwość regulacji, typowo x25) następuje demodulacja i filtracja dolnoprzepustowa, w wyniku czego otrzymujemy sygnał, którego napięcie zależne jest od strumienia światła padającego na fototranzystor. Dociekliwych Czytelników może zdziwić fakt, że układ został zbudowany w taki sposób, że podczas demodulacji sygnały o małych amplitudach zostają ignorowane (przez spadek napięcia na przewodzącej diodzie) - jest to zabieg celowy, wprowadzony dopiero przy pierwszych próbach. Małe sygnały obarczone są względnie tak dużym szumem, że w praktyce okazało się, że ich „obcięcie“ jest wręcz wskazane.

Nieco inaczej zbudowane są dwa bloki odpowiedzialne za wykrywanie mrugania. Tutaj częstotliwość, którą filtry mają za zadanie przepuścić, wynosi 15 kHz, natomiast wzmocnienie jest również dwustopniowe (pierwszy stopień regulowany, typowo x25). Ponieważ wyjście układu ma być z zasady dwustanowe (oko otwarte lub oko zamknięte), to zastosowano znacznie większe niż poprzednio wzmocnienie i wykorzystano histerezę wejść cyfrowych mikrokontrolera (wszystkie układy AVR ją posiadają).



Rys. 6. Schemat elektryczny nagłownego sterownika myszy

Jak już wcześniej wspomniano, modulacja światła nadajników przeprowadzana jest przez mikrokontroler. Dzięki temu nie trzeba stosować żadnych dodatkowych generatorów, a jedynie proste, regulowane źródła prądowe na tranzystorach T7 i T8, które zasilają diody IR. Jak zaznaczono na schemacie, nadajnik współpracujący z czujnikami pozycji składa się z trzech diod IR połączonych szeregowo. Nic nie stoi jednak na przeszkodzie, aby ich liczbę zwiększyć do pięciu. Regulacji prądu zasilającego nadajniki należy dokonać przy pomocy potencjometrów P1 i P2 już podczas normalnej pracy układu.

Ostatnim elementem wymagającym opisu jest serce układu, U4 - mikrokontroler AT90S4433 (AVR). Do tego zastosowania nadaje się on wprost idealnie - posiada 6-kanałowy, 10-bitowy przetwornik analogowo-cyfrowy, nie wspominając już o wszystkich innych zaletach jego rodziny, z których nawet połowy nie wykorzystamy. Układ ten obecnie jest już wypierany przez mikrokontroler ATmega8, jednak nic nie stoi na przeszkodzie, żeby go jeszcze stosować (dla układu ATmega8 program wymagałby jedynie kilku „przeróbek kosmetycznych“, a sam obwód drukowany i elementy pozostałyby identyczne). Wracając do sedna, aby wykorzystać przetwornik A/C tego układu, należy doprowadzić do niego zasilanie dla części analogowej oraz źródło napięcia odniesienia, którym w naszym wypadku z powodzeniem może być zwykła dioda Zenera. Ponieważ

układ będzie generował programowo sygnały o częstotliwościach 15 i 5 kHz, to aby przerwania nie występowały względnie zbyt często, zastosowany został kwarc 8 MHz. Ponieważ nie wszystkie wyjścia mikrokontrolera są wykorzystane, wyprowadzone zostały sygnały SPI, co umożliwia łatwe programowanie tego mikrokontrolera w układzie.

Program wykonywany przez procesor ma za zadanie wytwarzać sygnał modulujący światło nadajników, dokonywać konwersji analogowo-cyfrowej sygnałów z odbiorników podczerwieni, badać stany wejść połączonych z detektorami mrugania, wykrywać podwójne kliknięcia i komunikować się obustronnie z komputerem poprzez interfejs RS232, przy pomocy konwertera poziomów U5. W „rozmowie“ z komputerem układ wysyła wszystkie zebrane przez siebie dane oraz daje programowi sterującemu możliwość zmiany minimalnego czasu mrugania i częstotliwości próbkowania wejść analogowych.

**Rafał Baranowski**  
rufus@bloknet.pl

*Program sterujący dla Windows wraz ze źródłami oraz program dla mikrokontrolera i opis transmisji znajdują się na CD-EP4/2003B, można je także znaleźć pod adresem: <http://www.bloknet.pl/~rufus/headwards.zip>.*

*Wzory płytek drukowanych w formacie PDF są dostępne w Internecie pod adresem: <http://www.ep.com.pl/?pdf/kwiecien03.htm> oraz na płycie CD-EP4/2003B w katalogu PCB.*

## WYKAZ ELEMENTÓW

### Rezystory

R1, R8, R12, R19, R23, R30, R34, R41, R45, R49, R56, R60: 10kΩ  
R2, R13, R24, R35, R46, R57, R67, R70: 1kΩ  
R3, R14, R25, R36: 39kΩ  
R4, R15, R26, R37: 5,6kΩ  
R5, R16, R27, R38, R55, R66: 47kΩ  
R6, R17, R28, R39: 27kΩ  
R7, R18, R29, R40: 470kΩ  
R9, R20, R31, R42, R50, R61: 500kΩ pot. montażowy, stojący  
R10, R21, R32, R43, R48, R51, R59, R62: 100kΩ  
R11, R22, R33, R44, R52, R63: 150kΩ  
R47, R58: 12kΩ  
R53, R64: 4,7kΩ  
R54, R65: 220kΩ  
R68, R71: 470Ω  
R69: 68Ω  
R72: 180Ω  
R73: 100Ω  
P1, P2: 2,2kΩ potencjometr

### Kondensatory

C1, C6, C7, C12, C13, C18, C19, C24, C25, C30, C31, C36, C47...C50: 1μF/16V  
C2, C3, C8, C9, C14, C15, C20, C21, C26, C28, C32, C34: 1nF  
C4, C10, C16, C22, C27, C33: 100pF  
C5, C11, C17, C23: 3,9nF  
C29, C35, C39, C40, C42...C44: 100nF  
C37, C38: 470μF/16V  
C41: 47μF/16V  
C45, C46: 22pF

### Półprzewodniki

D1...D6: 1N4148  
D7...D11: Diodowe nadajniki IR  
Z1...Z6: Zenera 5,1V  
Z7: Zenera 2,4V  
T1...T6: fototranzystory npn (obud. LED 3mm z filtrem)  
T7, T8: BC547  
U1...U3: LM324  
U4: AT90S4433 zaprogramowany  
U5: MAX232 (lub odpowiednik)

### Różne

X1: Kwarc 8MHz  
L1, L2: 10μH (mały opór)  
L3: 10μH  
JP1: Gniazdo zasilania jak dla HDD  
JP2: SIP5 (dla ISP)  
JP3: DB9 na kabel, żeńskie  
DB15 kątowe, do druku, żeńskie  
DB15 na kabel, męskie  
Gniazdo jack mono, do druku  
Wtyk jack mono, na kabel