

Starsi Czytelnicy pamiętają, być może, opisywany przed laty w *Młodym Techniku* sposób na zrelaksowanie i odprężenie się, zwany z angielska "biofeedback". Z listów Czytelników EdW wiemy, że interesują się oni różnymi niecodziennymi zastosowaniami elektroniki. Przedstawiamy zatem przyrząd do eksperymentów psychoelektronicznych, pochodzący z pisma "Everyday with Practical Electronics". Autor tego artykułu zaprezentował już kilka takich przyrządów brytyjskim czytelnikom. Dla zupełnych nowicjuszy podaje skondensowaną historię i opis zastosowania tej techniki relaksacyjnej. Temat zapewne zainteresuje szerokie grono czytelników EdW. Jednak trzeba zaznaczyć, że ze względu na możliwość wywołania ataku epileptycznego urządzenie może być stosowane na wyłączną odpowiedzialność użytkownika.



## Fale mózgowe

Naukowcy badają elektryczną aktywność mózgu ludzkiego odkąd tylko rozwój technologii elektronicznej na to pozwolił. Znane są jego periodyczne sygnały, w większości w zakresie od 2Hz do 20Hz, z których niektóre jak się okazało korelują z pewnymi stanami umysłu.

Kiedyś, w latach sześćdziesiątych, w okresie Woodstock i dzieci kwiatów, ktoś wpadł na pomysł zmierzenia fal mózgowych pozostającego w stanie głębokiej medytacji adepta Zen. Odkryto u niego wysoki poziom alfa, częstotliwości mieszczącej się w granicach od 8Hz do 14Hz.

Wkrótce potem odkryto, że osoba, używająca monitora wykazującego jej aktywność mózgową, może szybko nauczyć się ją wywoływać i wpływać na jej natężenie. Przez krótki czas wydawało nam się wtedy, że posiadliśmy tajemnicę życia! Przy pomocy prostego monitora alfa wszyscy z dnia na dzień mogliśmy stać się mistrzami Zen!

Niestety nie było to takie proste. Większość ludzi albo nie potrafiła wywołać tych sygnałów pomimo dysponowania monitorem, albo doświadczała co najwyżej miłego "uczucia odprężenia", dobrego do pozbywania się stresu, ale dalekiego od "nirwany". Oprócz

tego monitora były stosunkowo trudne do skonstruowania i mało przyjemne w użyciu z powodu minimalnej amplitudy sygnałów, które trzeba było odbierać przy pomocy elektrod kontaktujących się ze skórą na głowie za pośrednictwem niemilego przewodzącego żeluz.

Czasy się zmieniły, przybyło wiedzy i technologii (ale niestety nie nirwany). Większość entuzjastów wie obecnie, że istnieją cztery rozpoznane pasma częstotliwości fal mózgowych, skorelowane ze stanami umysłu.

Najwyższa fala, beta, od 15Hz w górę, jest aktywna w czasie normalnego pobudzenia. Mam nadzieję, że czytelnicy EdW generują beta w czasie czytania tego artykułu. Wspomnianą poprzednio alfę, od 8Hz do 15Hz, uważa się za sprzyjającą "uczuciu odprężenia". Poniżej jest teta, od 4Hz do 7Hz, związana z dziennymi marzeniami i budząca znaczne zainteresowanie ze względu na związek z procesami twórczymi. Poniżej

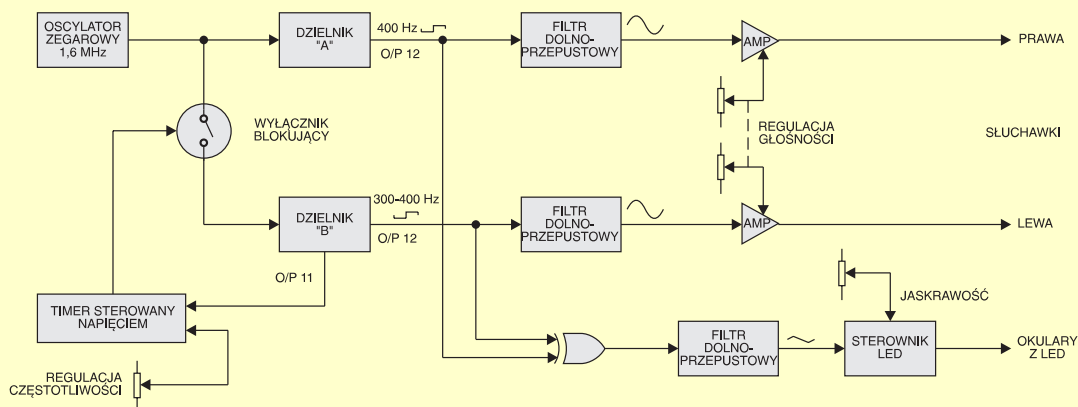
4Hz jest delta, wykrywana w głębokim śnie i u małych dzieci.

## Wpływy zewnętrzne

Właśnie monitory bierne, używane przez pierwszych eksperymentatorów, utarowały drogę urządzeniom "wciągającym", stosującym różne bodźce zewnętrzne, które ułatwiają powstawanie pożądanych częstotliwości fal mózgowych, zamiast tylko je ukazywać. Dwa najpowszechniej stosowane bodźce to migotanie LED umieszczonych w pobliżu oczu i odtwarzane przez słuchawki "półsynchroniczne" dźwięki. Tego rodzaju instrumenty są obecnie dostępne w handlu. Są powszechne w USA, zaczynają się pokazywać w Wielkiej Brytanii i brytyjscy czytelnicy mogli przypadkowo napotkać ogłoszenia w prasie, oferujące przyrządy działające na tej zasadzie. Kosztują około 250 funtów, a "programy" ograniczają się tylko do oferowanych wraz z nimi taśm. Ciągłe

## Ostrzeżenie

Świetlna stymulacja częstotliwości alfa u osób cierpiących na epilepsję może wywołać jej atak. Dlatego osobom tym NIE WOLNO posługiwać się takim instrumentem. Użytkownik, który nie jest epileptykiem, ale który w czasie stosowania psychomaszyny zaczyna odczuwać dziwne zapachy, odgłosy lub inne niewytłumaczalne efekty, powinien NATYCHMIAST JĄ WYŁĄCZYĆ i zasięgnąć porady lekarza specjalisty. Z powyższych powodów psychomaszyna może być używana wyłącznie na odpowiedzialność właściciela.



Rys. 1. Schemat blokowy układu dźwięku i światła psychomaszyny.

więc warto pokusić się o samodzielną konstrukcję.

## Psychomaszyna

Czego więc można po niej oczekiwać? Większość użytkowników twierdzi, że doznaje głębokiego odprężenia, którego skutki odczuwa jeszcze przez jakiś czas po zakończeniu sesji. W dobie ciągłych stresów i chorób od nich zależnych, ka za metoda odprężania umysłu jest warta wypróbowania. Opisywany układ umożliwi czytelnikowi wykonanie doskonałego instrumentu "wciągającego" za ułamek ceny gotowego urządzenia.

Użycie migoczących LED do wzbudzenia specyficznych częstotliwości mózgowych jest techniką najskuteczniejszą, ale pólynchroniczne dźwięki także są użyteczne. Kombinacja obu bodźców jest bardzo silnym stymulantem i była używana w większości dotychczasowych wersji psychomaszyny.

Dla niektórych czytelników będzie znany efekt dudnienia, w którym dwa tony o częstotliwościach różniących się o kilka Hz, na skutek zmieniających się relacji fazowych, tworzą efekt "wah-wah". Za pomocą "pólynchronu" dwa te tony są odtwarzane indywidualnie dla każdego ucha, a zdudniają się dopiero w mózgu. Termin "pólynchron" został ukuty przez wynalazcę tej techniki, a dźwięk jest odczuwany przez użytkownika jako przyjemnie uśmierający dzwoniący ton. Użyty wraz ze światłkami migoczącymi z tą samą częstotliwością jest rzeczywiście bardzo skuteczny, dlatego w tym modelu psychomaszyny, tak jak w jej poprzedniczkach, stosuje się równocześnie oba stymulanty.

"Programowanie" układu, aby w czasie działania stosował się do przyjętego wzoru częstotliwości, znacznie poprawia jego skuteczność i urządzenia do tego przeznaczone zostaną opisane w następnych odcinkach.

## Różnicowanie częstotliwości

Największe trudności przy wytwarzaniu efektów dźwiękowych i świetlnych sprawia generacja dwóch częstotliwości, różniących się tylko o kilka Hz oraz stabilne podtrzymywanie tej różnicy. W pierwszej chwili wydaje się to łatwe, ale w rzeczywistości dwa oscylatory o zbliżonych częstotliwościach mają tendencję do wzajemnego przeciągania, a stabilność większości prostych oscylatorów jest zbyt mała.

We wszystkich wersjach psychomaszyny użyto tej samej metody, polegającej na stosowaniu jednego generatora zegarowego o znacznie wyższej częstotliwości, którą redukuje się w dwóch dzielnikach do dwóch częstotliwości z zakresu audio. Jednej z nich używa się bezpośrednio, a w torze drugiej znajduje się układ, za pomocą którego w trakcie jednego półokresu częstotliwości wyjściowej blokuje się kilka okresów wejściowej częstotliwości zegarowej, dzięki czemu staje się ona nieco niższa. Czas trwania blokady daje się dogodnie zmieniać, więc różnicę częstotliwości można regulować łatwo i dokładnie. Obie częstotliwości biorą się ze wspólnego oscylatora zegarowego, zatem nie istnieje problem przeciągania. Wadą tej metody jest stopniowanie regulacji, więc częstotliwość zegarowa musi być na tyle wysoka, aby stopnie regulacji mogły być dostatecznie małe. W obecnej wersji, podobnie jak w poprzedniej, użyto częstotliwości zegarowej 1,6MHz z 12-stopniowymi dzielnikami, a częstotliwość wyjściowa wynosi 400Hz. Schemat blokowy systemu jest pokazany na **rysunku 1**.

Filtry dolnoprzepustowe zamieniają prostokątne sygnały dzielników na sygnały w przybliżeniu sinusoidalne, które poprzez wzmacniacze mocy wystero-wują słuchawki. Przytoczone częstotliwości są przybliżone, a która z nich ma być lewą a która prawą, jest obojętne.

Sygnal sterujący LED otrzymuje się

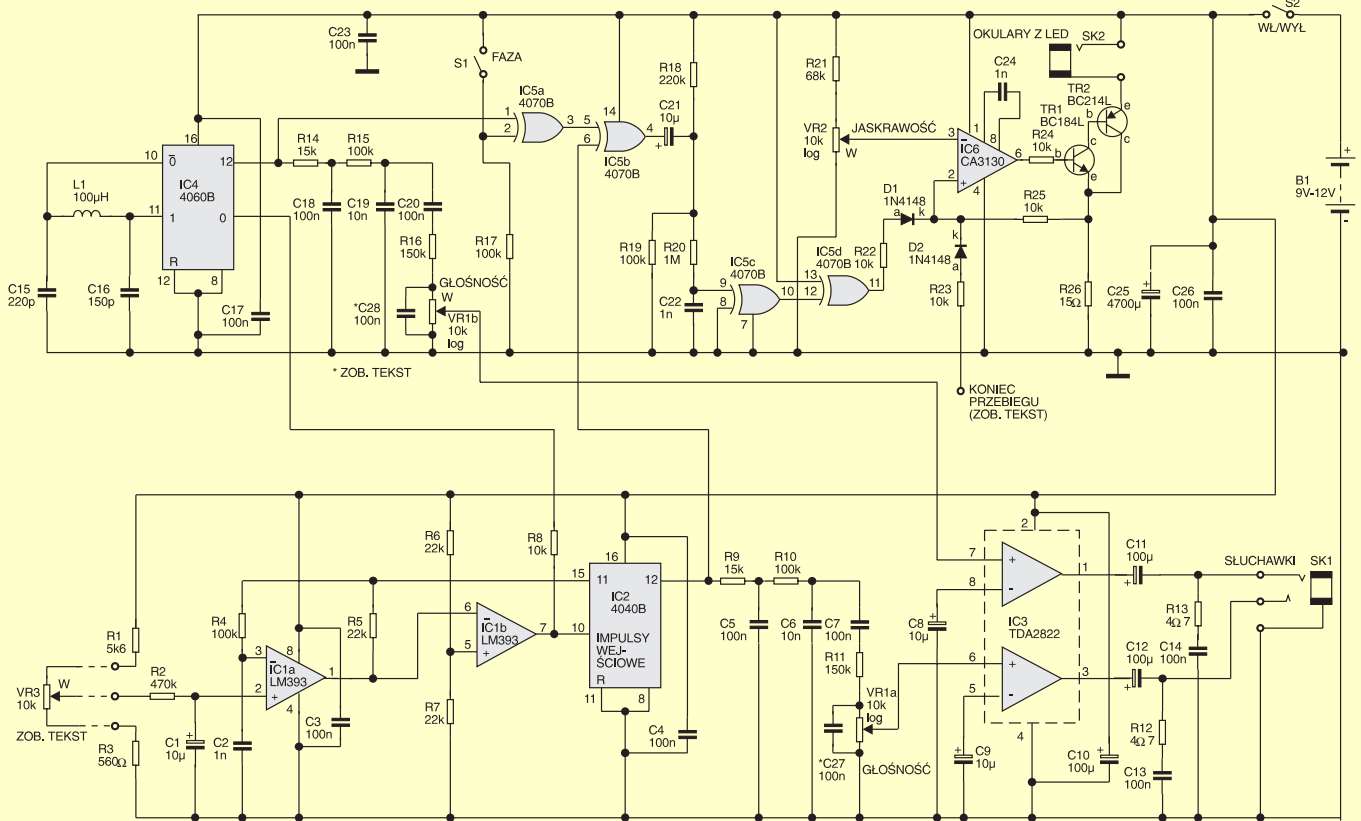
za pomocą bramki XOR (Exclusive-OR), z której otrzymuje się częstotliwość sumaryczną i różnicową. Sumaryczną eliminuje filtr dolnoprzepustowy, do sterowania światłem pozostawiając różnicową. Regulowanie prądu służy do regulacji jasności.

## Opis układu

Pełny schemat opisywanej psychomaszyny jest przedstawiony na **rys. 2**. W pierwotnej psychomaszynie do generacji częstotliwości zegarowej 1,6MHz użyto rezonatora kwarcowego, ponieważ oscylatory RC na dużych częstotliwościach są zawodne. Natomiast oscylatory LC są bardzo stabilne i daje się taki utworzyć z jednego z dwóch inwerterów CMOS, zawartych w układzie 4060B z 12-stopniowym dzielnikiem częstotliwości. Dostarcza on pierwszego sygnału audio. Indukcyjność L1 jest dławikiem 100µH, niewiele większym od rezystora, który wraz z kondensatorami C15 i C16 tworzy obwód rezonansowy. Pozostały inwerter wewnętrzny IC4 buforuje wyjście zegarowe 9, z którego sygnał wzbudza drugi dzielnik częstotliwości, IC2, typu 4040B. Regulacja częstotliwości różnicowej odbywa się przez blokowanie tego sygnału za pośrednictwem IC1, podwójnego komparatora LM393. W jego obwodzie wyjściowym znajduje się tranzystor z otwartym kolektorem, który może pobierać prąd, ale nie może go dostarczać.

## Działanie układu

Działanie układu jest następujące. Końcówka 15 IC2 jest wyjściem dzielnika, poprzedzającym wyjście z którego jest odbierany sygnał, występuje więc na nim częstotliwość dwukrotnie wyższa. Za każdym razem gdy napięcie na nim rośnie, to za pośrednictwem R5 i wejścia 6 IC1b zostaje włączone wyjście 7 IC1b, które zwiera do masy dopływający przez R8 sygnał zegarowy. W tym samym czasie przez R4 zaczyna



Rys. 2. Kompletny schemat układu dźwięku i światła psychomaszyny.

ładować się kondensator C2. Gdy napięcie na kondensatorze przewyższy napięcie sterujące z R2, włącza się wyjście IC1a i zwiiera R5 do masy, dzięki czemu IC1b odblokowuje sygnał zegarowy.

IC2 wyzwala się ujemnym zboczem sygnału, a opisaną akcją wyzwalamą dodatnie zbocza sygnału z wyjścia 15, więc blokowanie sygnału zegarowego odbywa się dogodnie, w trakcie każdego półokresu sygnału wyjściowego. Im jest wyższe napięcie sterujące z R2, tym jest dłuższy czas blokowania i tym więcej częstotliwości wyjściowe będą się różniły. Jeżeli napięcie sterujące różnicą częstotliwości nie będzie większe od połowy napięcia zasilania, to pomimo wykładniczej krzywej ładowania C1 zależność tej różnicy od napięcia sterującego będzie liniowa.

Prostokątne sygnały wyjściowe obu dzielników częstotliwości są poddane filtracji w biernych filtrach R9-C5-R10-C6 oraz R14-C18-R15-C19, zamieniających je w sygnały w przybliżeniu sinusoidalne, które przez obwody regulacji głośności z potencjometrami VR1a i VR1b są przesyłane do IC3, wzmacniacza stereo TDA2822. Doprowadza on do gniazdka SK1 więcej niż dostateczny sygnał dla słuchawek typu Walkman, albo nauszných. Posiadacze poprzednich modeli psychomaszyny zapewne pamiętają, że do kształtowania sygnałów

użyto w nich filtrów aktywnych, ale filtry biernie działają równie dobrze. W poprzednich wersjach użyto oddzielnych układów wyjściowych ze względu na niższe szumy, ale użyty w obecnej układ podwójny jest zupełnie wystarczający.

### Czas świecenia

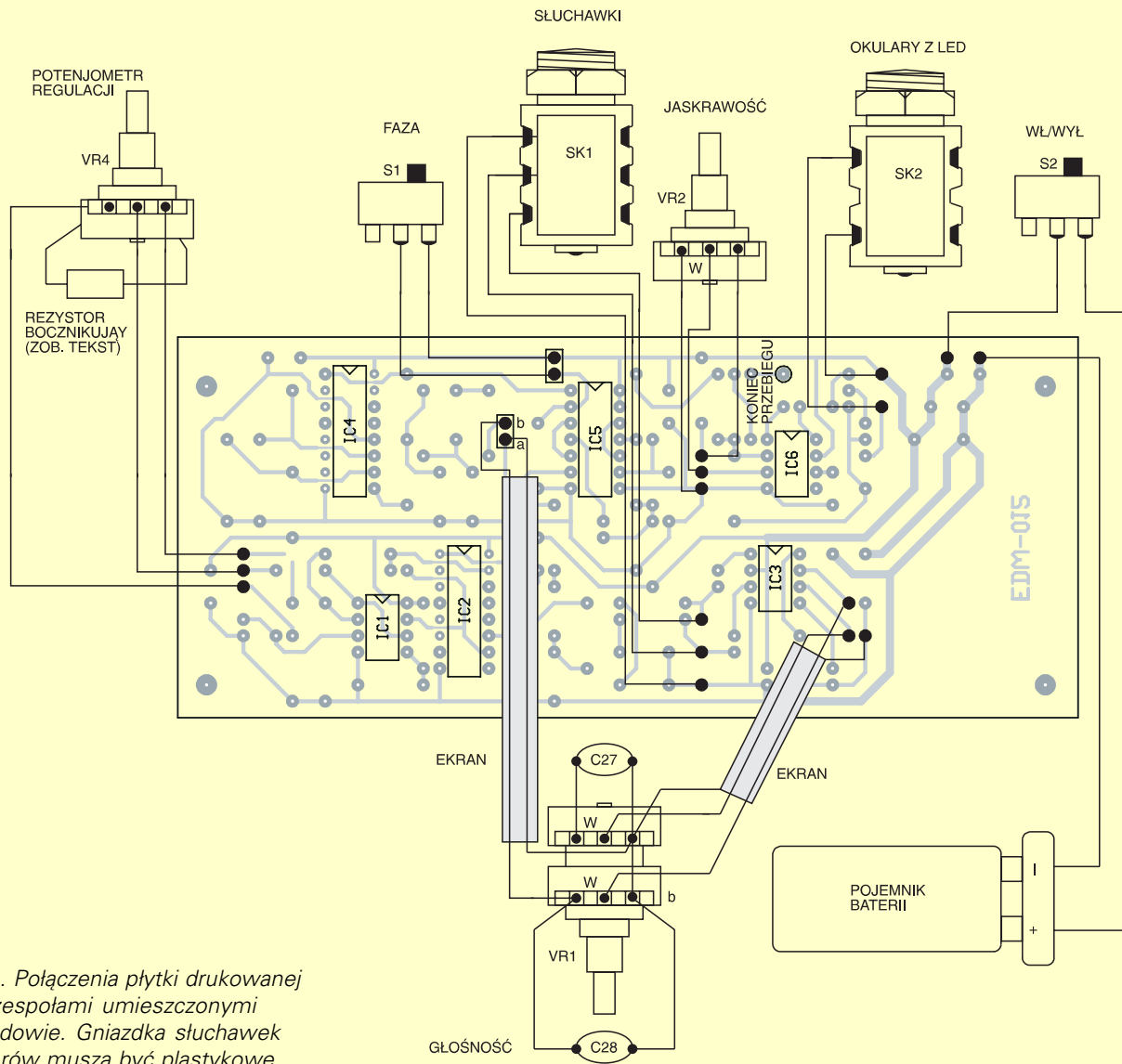
Sygnały z wyjść obu dzielników są doprowadzone również do bramki XOR IC5b. Jeden z nich, z IC4, przechodzi najpierw przez bramkę IC5a, która zmienia polaryzację sygnału, jeżeli przełącznik fazy S1 jest zwarty, światło może więc być z dźwiękiem w fazie zgodnej lub odwrotnej. Użytkownik może wypróbować obie możliwości i wybrać skuteczniejszą.

Sygnał wyjściowy z IC5b jest ciągiem impulsów o współczynniku wypełnienia zależnym od przesunięcia fazowego pomiędzy obu sygnałami wejściowymi. W efekcie drogą zwykłej filtracji przez obwód R20-C22 powstaje fala trójkątna o częstotliwości równej różnicy częstotliwości sygnałów wejściowych. Nakłada się ona na ustaloną dzielnikiem R18-R19 składową stałą, dzięki czemu wyjście IC5c staje się dodatnie na 1/4 do 1/3 każdego cyklu. IC5d odwraca polaryzację tego sygnału. W pierwotnej wersji również i w tym wypadku użyto filtru aktywnego z komparatorem wyznaczającym punkty przełączania. W obecnej wystarcza do tego jeden

układ CMOS. Na oscyloskopie wokół punktów przełączania widać trochę "śmieci", ale oko nie może zauważyć migotania z częstotliwością 800Hz, nie ma to więc żadnego znaczenia. Obecna wersja zawiera tylko jeden sterownik LED. Dzięki lepszym parametrom LED stymulacja każdego oka tylko jedną diodą jest dostateczna, a do dwóch szeregowo połączonych LED wystarczy jeden sterownik. Składa się on z IC6 z tranzystorami TR1 i TR2 i jest sterowanym napięciowo odbiornikiem prądu. Napięcie sterujące z potencjometru VR2 wyznacza natężenie prądu, który płynie przez LED dołączone do gniazdka SK2. VR2 jest potencjometrem logarytmicznym, ponieważ charakterystyka oka, podobnie jak ucha, jest logarytmiczna.

Działanie sygnału z wyjścia 11 IC5d polega na wyłączeniu LED przez wstrzykiwanie przez diodę D1 i rezystor R22 dodatniego prądu do pętli sprzężenia zwrotnego sterownika. Wywołuje to całkowite wyłączenie LED przez wymuszenie przerzutu wyjścia IC6 do napięcia zerowego. Wejście "koniec przebiegu" służy do połączenia z układem generującym programy, który może dodatkowo sygnałem wyłączać LED.

Napięcie zasilające przyrząd nie jest stabilizowane. Wszystkie napięcia sterujące, także w progmatatorach, które będą opisane w następnych odcinkach, zależą od napięcia zasilania, którego stabilizacja nie jest więc konieczna. Układ działa przy napięciu zasilania od 7V do 15V. Dolną granicę narzuca sterownik



Rys. 4. Połączenia płytki drukowanej z podzespołami umieszczonymi w obudowie. Gniazda słuchawek i okularów muszą być plastikowe.

## Montaż

Montaż i sprawdzanie przyrządu jest bardzo proste. Rozkład ścieżek płytki drukowanej i rozmieszczenie na niej elementów przedstawia rys. 3. Montaż należy zacząć od podzespołów biernych w kolejności od najmniejszych do coraz większych rozmiarami, a zatem od dwóch zworek z drutu, diod D1 i D2, rezystorów, małych kondensatorów ceramicznych i dławika L1. Każdy dławik 100µH nadaje się do użycia, ale typ z wyprowadzeniami z drutu jest łatwy w użyciu, a jego tolerancja 10% jest racjonalna.

Następnie należy wlotować sześć podstawek pod układy scalone. Ich użycie jest godne polecenia, ponieważ znacznie ułatwiają testowanie i odszukiwanie błędów. Pozwalają także na ewentualny odzysk wartościowych układów scalonych.

Teraz można wmontować tranzystory, większe kondensatory i wreszcie kondensatory elektrolityczne, pomijając

na razie C25 4700µF. Jego przeznaczeniem jest wspomaganie baterii w impulsowym zasilaniu LED, magazynuje on znaczny ładunek, mogący zniszczyć niektóre elementy, lepiej więc wmontować go po zakończeniu sprawdzania układu, gdy już wiadomo, że działa poprawnie.

Przy wykonywaniu połączeń z poszczególnymi podzespołami sterowania i sygnalizacji trzeba posłużyć się rys. 4. Przewody łączące płytkę z VR1 ze względu na niski poziom sygnałów muszą być ekranowane.

## Sprawdzanie

Płytkę można sprawdzać przy zasilaniu 9V, najlepiej z zasilacza o ograniczonej wydajności prądowej, ale można także użyć pakiet ogniwi AA, 9V. W czasie testów należy kontrolować prąd pobierany przez układ.

Po dokładnym sprawdzeniu montażu i lutowania płytkę zasila się bez układów scalonych. Nie licząc początkowe-

go skoku, spowodowanego ładowaniem się kondensatorów elektrolitycznych, płytka nie powinna pobierać więcej niż 0,25mA. Można teraz wstawić IC4, oscylator z pierwszym dzielnikiem częstotliwości i ponownie włączyć zasilanie. Trzeba pamiętać, że układ ten, podobnie jak kilka innych, jest typu CMOS, trzeba więc zachować normalną w takich wypadkach ostrożność, chroniąc je przed ładunkami elektrostatycznymi.

Jeżeli oscylator działa poprawnie, pobór prądu powinien wynosić około 2mA, a pomiar napięcia na wyjściu 1, dostarczającym sygnału 400Hz, powinien wykazać połowę napięcia zasilania.

Następnie można wstawić IC2, drugi dzielnik częstotliwości, skutkiem czego pobór prądu powinien wzrosnąć do 3,5mA, a na wyjściu 1 IC2 również powinno pojawić napięcie równe połowie napięcia zasilającego.

Teraz według rys. 4 do końcówek wejściowych na płytce trzeba prowizo-

## Projekty zagraniczne

rycznie przyłączyć potencjometr VR3. Powinien to być potencjometr liniowy.

Ze względu na dużą rozpiętość tolerancji potencjometrów oraz umożliwienie użycia różnych ich rodzajów, oporności rezystorów R1 i R3 zostały dostosowane do oporności regulacyjnej 5k $\Omega$ . Potencjometr o wyższej oporności należy więc zbocznikować takim rezystorem, aby wypadkowa oporność wyniosła 5k $\Omega$ . Na czas testów wystarczy, jak pokazano na rys. 4, przylutować do potencjometru rezystor 4,7k $\Omega$ .

Teraz trzeba wstawić komparator IC1 i bramki XOR IC5, co podwyższy pobór prądu do 5mA do 6mA. Jeżeli wszystko działa poprawnie, to na wyjściu 11 IC5 powinno pojawić się napięcie stałe około 6V, a przy niskim ustawieniu regulatora "test" powinno pulsować z częstotliwością około 2Hz. Przy zmianie ustawienia regulatora trzeba uwzględnić powolną reakcję układu, spowodowaną stałą czasową R1-C1.

### Test wizualny

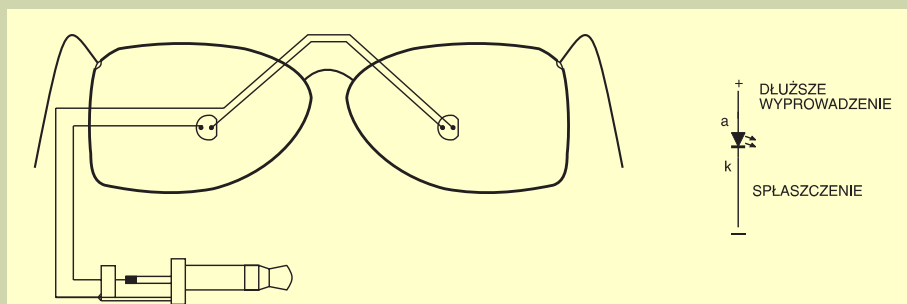
Do płytki trzeba przyłączyć LED (do testowania jest potrzebna tylko jedna) i regulator jasności VR2. Po wstawieniu IC6, LED powinna mrużyć lub błyskać z jasnością regulowaną przez VR2, a częstotliwością regulowaną przez VR3.

Na zakończenie trzeba przyłączyć ekranowanymi przewodami do płytki regulator głośności VR1, wstawić IC3 i posłuchać dźwięku przez słuchawki. W każdej ze słuchawek powinien być słyszalny stały ton, ale słuchanie obu powinno wywoływać efekt dudnienia o częstotliwości różnicowej. Prąd pobierany przez układ z baterii zależy od ustawienia jasności i głośności. Przy regulatorach skręconych do zera pobór ten wynosi około 15mA. Gdy wszystko działa poprawnie, można wmontować duży kondensator elektrolityczny C25. Trzeba go przykleić do płytki dwustronną taśmą samoprzylepną albo odpowiednim klejem.

### Montaż końcowy

Rysunek 4 pokazuje wszystkie połączenia zewnętrzne. Na ich temat więcej informacji znajdzie się w następnym odcinku z opisem programatora. Prototyp został zmontowany w standardowej obudowie z plastiku z wszystkimi regulatorami i gniazdkami w płycie czołowej. W przypadku gdy jest to płyta metalowa, gniazdko słuchawek i okularów muszą zostać od niej odizolowane, zwałyby bowiem zasilanie.

Trzeba zwrócić uwagę na dwa aspekty jakości dźwięku. Brzmienie tonów generowanych w układzie jest bardzo czyste i każde zakłócenie czy zniekształ-



Rys. 5. Połączenie w wtyczkę LED wmontowanych w okulary.

### WYKAZ ELEMENTÓW

#### Rezystory

0,25W 5% metalizowane

R1: 5,6k $\Omega$

R2: 470k $\Omega$

R3: 560W

R4, R10, R15, R17, R19: 100k $\Omega$

R5...R7: 22k $\Omega$

R8, R22...R25: 10k $\Omega$

R9, R14: 15k $\Omega$

R11, R16: 150k $\Omega$

R12, R13: 4,7W

R18: 220k $\Omega$

R20: 1M $\Omega$

R21: 68k $\Omega$

R26: 1,5W

plus 4,7k $\Omega$  do testów

VR1: 10k $\Omega$  podwójny logarytmiczny obrotowy potencjometr węglowy

VR2: 10k $\Omega$  obrotowy logarytmiczny potencjometr węglowy

VR3: 10k $\Omega$  obrotowy liniowy potencjometr węglowy, do testów

#### Kondensatory

C1, C8, C9, C21: 10 $\mu$ F/50V, stojący

C2: 1nF, polistyrenowy

C3, C4, C17, C23, C26...C28:

100nF, ceramiczny w żywicy

C5, C7, C13, C14, C18, C20:

100nF, poliestrowy

C6, C19: 10nF, poliestrowy

C10...C12: 100 $\mu$ F/25V, stojący

C15: 220pF, polistyrenowy

C16: 150pF, polistyrenowy

C22: 1nF, poliestrowy

C24: 1nF, ceramiczny w żywicy

C25: 4700 $\mu$ F/16V, stojący

#### Półprzewodniki

D1, D2: 1N4148

TR1: BC184L, npn

TR2: BC214L, pnp

IC1: LM393, podwójny komparator

IC2: 4040B, 12-stopniowy licznik dwójkowy, CMOS

IC3: TDA2822 wzmacniacz mocy stereo

IC4: 4060B, 14-stopniowy licznik dwójkowy z oscylatorem, CMOS

IC5: 4070B, cztery bramki XOR, CMOS

IC6: CA3130, wzmacniacz operacyjny, CMOS

#### Różne

L1: 100 $\mu$ H dławik w.cz.

SK1: gniazdko stereo

SK2: gniazdko mono

S1, S2: subminiaturowy wyłącznik suwakowy

B1: 6 lub 8 ogniw AA w pojemniku (zob. tekst)

płytko drukowana

obudowa plastikowa

3 8-stykowe dwurzędowe

podstawki do układów scalonych

1 14-stykowa dwurzędowa

podstawka do układów scalonych

2 16-stykowe dwurzędowe

podstawki do układów scalonych

2 lub 4 LED 5mm 3,5cd

przewód montażowy, przewód

ekranowany, szpilkowe końcówki lutownicze

lenie staje się niezwykle wyraźne i dokuczliwe.

Jedną z przyczyn zakłóceń może być przedostawanie się do wzmacniacza wyższych częstotliwości z innych części układu, słyszane jako rodzaj cichego jęczenia. Efekt ten daje się łatwo zwalczyć przylutowaniem ceramicznych kondensatorów 100nF C27 i C28 do obu sekcji potencjometru VR1. Są one poka-

zane na rys. 4.

Drugą przyczyną jest syczenie wzmacniacza. W pierwotnym układzie efekt został wyeliminowany przez staranny dobór wzmacniacza (dlatego użyto dwóch oddzielnych układów scalonych) i zastosowanie kondensatorów blokujących wyjścia. Był to jednak kompromis, ponieważ wymagał zwiększenia poboru prądu z zasilacza. W obecnej

wersji zastosowano prostsze rozwiązanie: tanie słuchawki!

Syczenie będzie bardzo wyraźne przez kosztowne słuchawki hifi. Ale przez najtańsze słuchawki z ograniczoną charakterystyką przenoszenia wysokich tonów dźwięk jest doskonały. Warto zalecić słuchawki douszne z wkładką z gąbki. Brak pałąka nad głową, który koliduje z okularami, jest dodatkową zaletą, a gąbka oprócz wygody dodatkowo tłumi syczenie. Komu zresztą może zależeć na słuchaniu pojedynczego tonu przez wysokiej jakości słuchawki hifi?

## Przygotowanie okularów

Specjalne okulary należy wykonać z jakichś zwykłych plastikowych okularów. Nadają się do tego tanie gogle narciarskie, ale lepsze są okulary pływackie, ponieważ w nich można umieścić

LED bardzo blisko oczu, a ich pozycja może być do pewnego stopnia regulowana.

LED powinny być możliwie najwydajniejsze, typu hiperjaskrawego (hyperbright), o jaskrawości 3,5cd, chociaż i 1cd też mogą się nadać. Łączy się je w szereg i wciska w otwory wywiercone w "szklach". Sposób ich połączenia przedstawia **rysunek 5**.

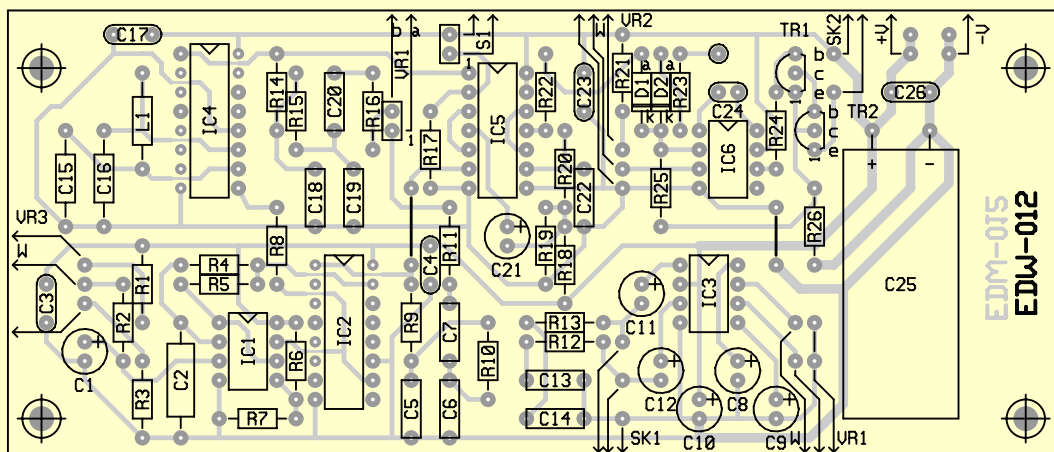
Wiele uwagi trzeba poświęcić znalezieniu optymalnej pozycji LED, pamiętając, że gdy oczy użytkownika są zamknięte, zrelaksowana pozycja gałek ocznych może być nieco przesunięta. Dobrym sposobem wyznaczania optymalnej pozycji jest przymocowanie ich do cienkiego giętkiego drutu, przyłączenie do układu, nałożenie okularów i eksperymentowanie przy zamkniętych oczach. Ułatwi to wyznaczenie punktów wiercenia otworów.

## Użytkowanie

Układ można używać z ręcznym regulatorem VR3. Najlepszym efektem prawdopodobnie okaże się wspaniałe odprężenie. Czasami widzi się w światłach wirujące wzory i kolory, zwłaszcza podczas początkowych sesji. Najlepsze wyniki dają zaprogramowane "sesje" dwudziesto lub trzydziestominutowe.

W następnym odcinku zostanie opisany pierwszy z dwóch programatorów sterujących - programator 16-suwakowy, zapamiętujący najbardziej relaksujący tryb. Jest on znacznie prostszy w użyciu od opisanych uprzednio.

**Andy Flind**



Rys. 3. Rozkład ścieżek płytki drukowanej i rozmieszczenie na niej elementów.