



Akustyczny wykrywacz kłamstwa



W artykule opisane jest urządzenie, będące odmianą detektora kłamstwa, zwane po angielsku VSA – Voice Stress Analyzer. Urządzenia tego typu są znane i wykorzystywane od około trzydziestu lat.

Za pomocą tego przyrządu można sprawdzać prawdziwość nie tylko bezpośrednio, ale także na odległość, nawet przez telefon albo za pomocą radia czy telewizji.

Działanie wykrywacza opiera się na obserwacji, że stres wpływa na właściwości głosu. Najogólniej biorąc, chodzi o obecność i wielkość modulacji dźwięków składowymi o częstotliwościach w granicach 10...20Hz. Stres powoduje zmniejszenie tej subtelnej modulacji.

Na **rysunku 1** pokazany jest zakres częstotliwości i poziomów mowy ludzkiej.

Rysunek ten pokazuje, że zakres częstotliwości mowy obejmuje zakres około 100Hz...10kHz. Dokładniejsze badania wykazały, że w niskim, męskim głosie mogą pojawić się składowe o częstotliwościach nieco niższych, ale nie niższych od 75Hz.

Dźwięków o częstotliwościach poniżej 75Hz ludzki aparat głosowy po prostu nie wytwarza i nie ma sensu ich szukać.

Oczywistym jest, że mowa ludzka wytwarzana jest w dynamicznym procesie i zawartość składowych o różnych częstotliwościach

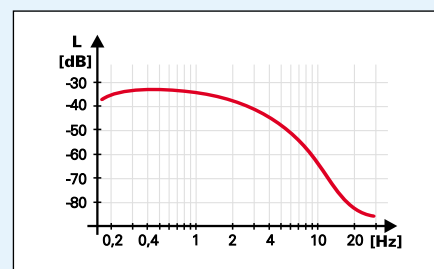
szybko się zmienia. Zmienia się zawartość częstotliwości składowych, zmieniają się płynnie te częstotliwości i co ważne, zmienia się też ich amplituda. Można więc mówić o modulacji częstotliwościowej i amplitudowej. W opisywanym projekcie wykorzystuje się modulację amplitudy związaną z powstawaniem głosu. Choć więc składowych o częstotliwościach tak niskich jak 8...15Hz w głosie bezpośrednio nie ma, można je znaleźć w obwiedni sygnału. Właśnie w obwiedni zawarte są interesujące informacje, będące podstawą działania urządzeń VSA, czyli dźwiękowych analizatorów stresu.

Rysunek 2 pokazuje przykładowy wykres przebiegu mowy, zobrazowany za pomocą wtyczki do popularnego Winampa. Amplituda zmienia się, obwiednia zupełnie nie przypomina linii prostej, a zmiany obwiedni świadczą o obecności w widmie prążków modulacyjnych. Nie jest to jednak istotne dla omawianego projektu.

Istotne jest, że choć częstotliwości składowe sygnału zawarte są w zakresie 100Hz...10kHz, w obwiedni można znaleźć składowe o dużo niższych częstotliwościach. Słusznie można się domyślać, że w obwiedni zawarte są składowe o częstotliwościach znacznie niższych od dolnej granicy pasma akustycznego. I tak jest w istocie. Na **rysun-**

ku 3 pokazano wynik badań nad obwiednią, a ściślej nad gęstością widma mocy obwiedni sygnału mowy. Jak widać, maksimum mocy przypada na częstotliwości rzędu 1Hz i mniej. Interesujące nas składowe o częstotliwościach rzędu 8...15Hz występują, ale są stosunkowo małe.

Rys. 3

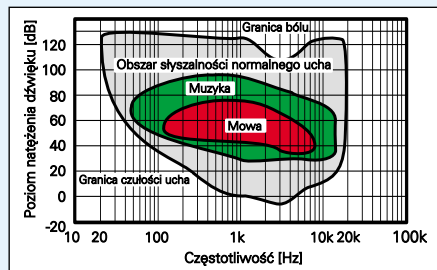


Działanie akustycznego wykrywacza kłamstwa (VSA) opiera się na fakcie, że zawartość tych składowych modulacji podczas stresu zmniejsza się. Opisany dalej przyrząd wykrywa te niewielkie składowe i pokazuje ich zmiany za pomocą najzwyklejszego woltomierza.

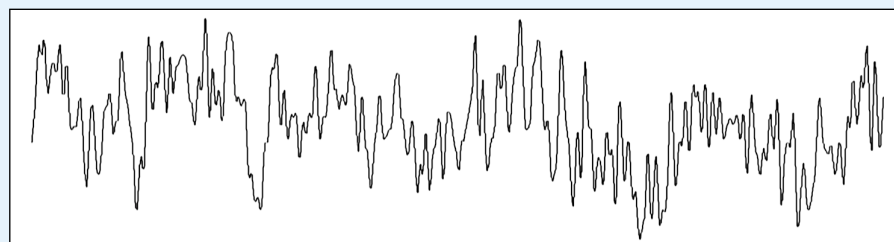
Opis układu

Urządzenie zbudowane jest w oparciu o dwie kostki NE614A. Układ scalony NE614A generalnie przeznaczony jest do pracy w torach

Rys. 1

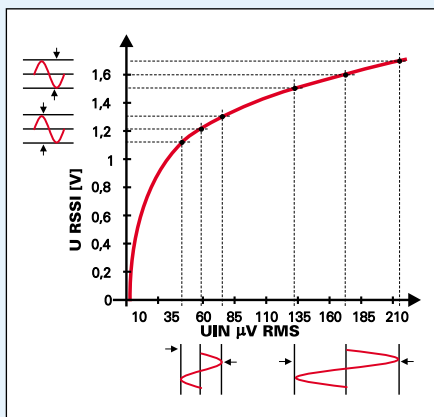


Rys. 2



pośredniej częstotliwości FM i może pracować przy częstotliwościach dochodzących do 25MHz. W prezentowanym urządzeniu nie wykorzystuje się wszystkich możliwości tych interesujących układów scalonych. Pracują tu one w zakresie częstotliwości akustycznych i wykorzystuje się w nich w zasadzie tylko obwód RSSI (Received Signal Strength Indicator), czyli obwód wskaźnika poziomu odbieranego sygnału. Bliższy opis układu scalonego NE614A zamieszczono w końcowej części artykułu. Poznanie budowy wewnętrznej układu scalonego pozwoli dociekliwym Czytelnikom wykorzystać tę pożyteczną kostkę na wiele innych sposobów.

Rys. 4



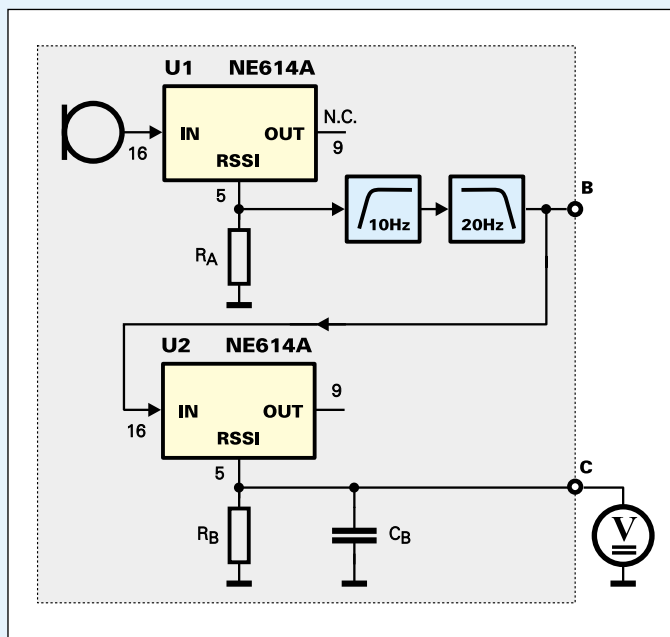
W prezentowanym zastosowaniu kluczowe znaczenie ma fakt, że obwód RSSI pełni funkcję pełnokresowego prostownika, a prąd wyjściowy jest proporcjonalny do logarytmu amplitudy sygnału wejściowego w wyjątkowo szerokim zakresie dynamiki (80dB). Logarytmiczna charakterystyka znakomicie ułatwia pomiary, bowiem zapewnia niezmienny sygnał wyjściowy, niezależnie od poziomu sygnału wejściowego.

Ilustruje to w pewnym uproszczeniu rysunek 4, na którym zaznaczono fragment logarytmicznej charakterystyki. W układzie NE614A sprawa jest nieco bardziej skomplikowana, ponieważ omawiany obwód RSSI zarówno prostuje, jak i logarytmuje sygnał wejściowy, niemniej końcowy efekt jest mniej więcej taki, jak pokazuje rysunek 4. Oznacza to, że czułość przyrządu prawie nie zależy od głośności sprawdzanego dźwięku, czyli od odległości od źródła dźwięku, co oczywiście jest wielką zaletą takiego rozwiązania.

Schemat blokowy opisywanego wykrywacza kłamstwa pokazany jest na rysunku 5. Sygnał z mikrofonu podawany jest na wejście kostki NE614A oznaczonej U1. Wzmocniony sygnał wyjściowy z nóżki 9 nie jest wykorzystywany. Do dalszej obróbki wykorzystuje się sygnał z obwodu RSSI, występujący na rezystorze RA włączonym w obwód nóżki 5. Na rezystorze tym występuje wyprostowany i zlogarytmowany przebieg wejściowy.

Dwa filtry wydzielają z tego sygnału składowe o częstotliwościach w zakresie 10Hz...20Hz. Przebieg może być zaobserwowany na oscyloskopie, dołączonym do punktu B. Jak wspomniano, amplituda tego przebiegu wskazuje na stopień napięcia mięśni aparatu głosowego. Bezpośredni pomiar amplitudy tego przebiegu zmiennego nie jest zbyt wygodny, dlatego wprowadzono drugą kostkę NE614A – U2. Pełni tu ona rolę precyzyjnego prostownika logarytmicznego. Napięcie stałe na rezystorze dołączonym do nóżki 5 kostki U2 informuje o amplitudzie przebiegu z punktu B. Wystarczy więc dołączyć woltmierz napięcia stałego do punktu C. Jak łatwo się domyślić, amplituda przebiegu modulującego w punkcie B nie jest jednokrotna, tylko zmienia się w czasie wypowiedzi, więc napięcie stałe w punkcie C również wykazuje wahania. W najprostszym przypadku wystarczy uśrednić ten przebieg, stosując kondensator filtrujący CB o odpowiednio dużej pojemności.

Rys. 5 Schemat blokowy



Schemat wykrywacza kłamstwa pokazany jest na rysunku 6. Układ może w pierwszej chwili wydać się skomplikowany, jednak jego działanie jest proste.

Całość jest zasilana pojedynczym napięciem 9V z zasilacza wtyczkowego lub z baterii. Napięcie to jest dzielone przy pomocy stabilizatora U4 typu 79L05 i wzmacniacza operacyjnego są ostatecznie zasilane napięciami +5V i -4V. Kostki U1, U2 (NE614A) są zasilane pojedynczym napięciem 5V.

Należy pamiętać, że masą nie jest ujemny biegun zasilania, tylko obwód związany z punktem O.

Elementy R3, R2, C2 tworzą obwód polaryzacji mikrofonu elektretowego. W ukła-

dzie wykorzystany jest zwykły, popularny „elektret”, którego parametry są tu aż nadto wystarczające. Wartość R2 śmiało można zmniejszyć do 1kΩ, a nawet 470Ω. W żadnym wypadku nie należy jej zwiększać powyżej 2,2kΩ, ponieważ oporność wejściowa układu NE614A wynosi tylko 1,6kΩ i będzie zmniejszać poziom sygnału zmiennego z mikrofonu.

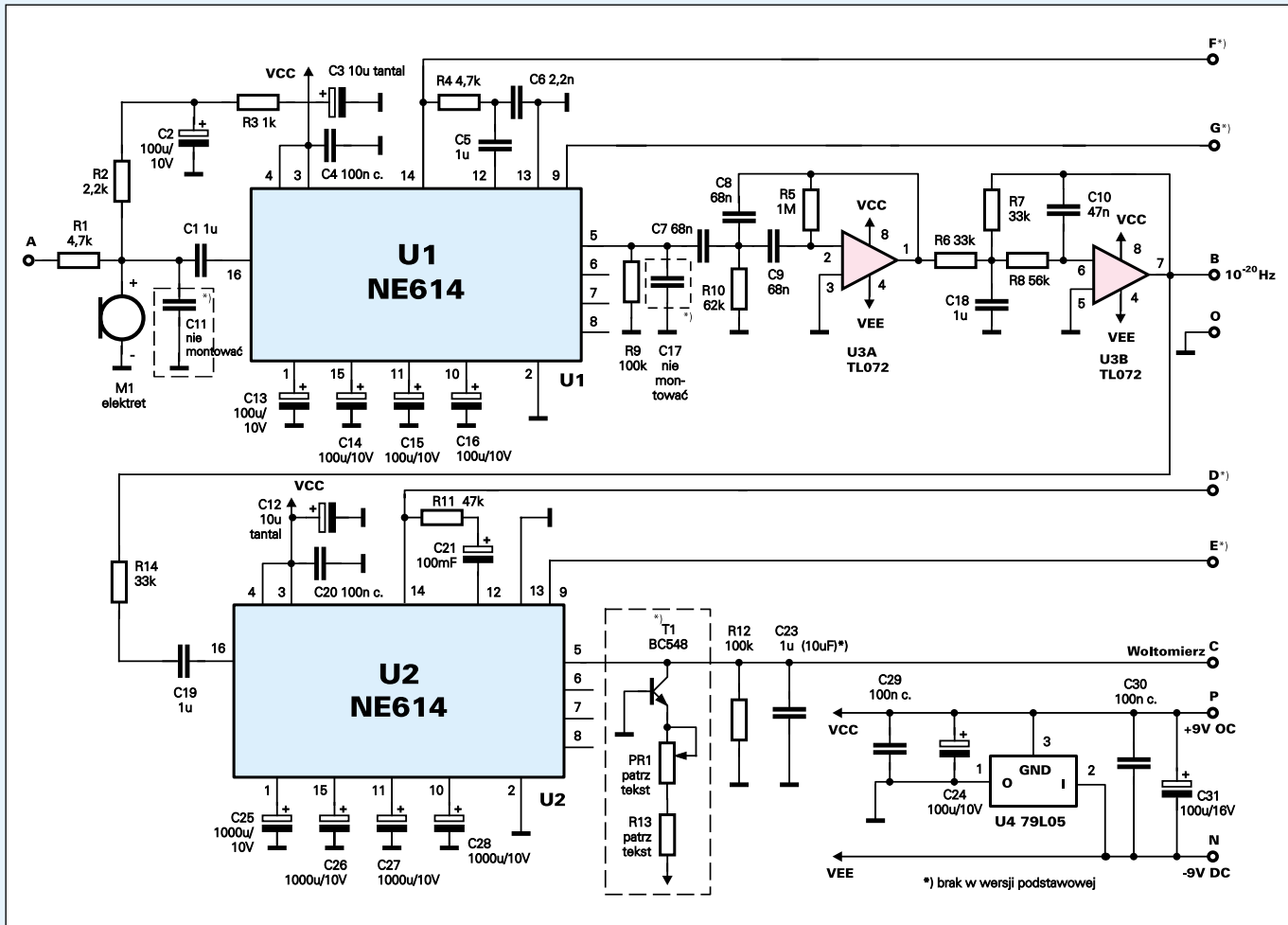
Punkt A i rezystor R1 przewidziano jako dodatkowe wejście do podłączenia sygnału z innych źródeł niż mikrofon. W wersji podstawowej kondensator C11 nie będzie montowany. W razie potrzeby może on posłużyć do ograniczenia pasma akustycznego od góry.

Kostki NE614A pracują z zewnętrznymi kondensatorami zalecanymi przez producenta (C13...C16, C25...C28). Są to kondensatory odsprężające. Na baczność uwagę zasługują jedynie kondensatory pracujące w obwodzie zasilania: C4, C20, C3, C12. Układ scalony NE614A przeznaczony jest do pracy przy wysokich częstotliwościach i ma bardzo duże wzmocnienie. Oznacza to, że w układzie łatwo mogą powstać pasożytnicze drgania wskutek samowzbudzenia.

Przyczyną samowzbudzenia może być sprzężenie pojemnościowe wyjścia z wejściem, niewłaściwe prowadzenie ścieżek albo złe odsprężanie obwodu zasilania. Układ ścieżek i rozmieszczenie elementów sprzyjają zachowaniu stabilności, niemniej zasilanie każdej kostki koniecznie musi być odprężone za pomocą kondensatora ceramicznego (100nF) i kondensatora tantalowego (4,7μF...22μF).

W roli C3, C12 w miarę możliwości nie należy stosować zwykłych aluminiowych „elektrolitów”, bo w niesprzyjających warunkach grozi to samowzbudzeniem układu.

Elementy R4, C6, C5 są obwodem sprzęgającym między dwoma stopniami wewnętrznego wzmacniacza. Nóżka 14 jest wejściem pierwszego stopnia, nóżka 12 – wejściem drugiego. R4 i C6 tworzą filtr dolnoprzepustowy obcinający składowe o częstotliwościach ponadakustycznych. C5 jest kondensatorem sprzęgającym, a jego duża wartość jest związana z niewielką rezystancją wejściową końcówki 12, wynoszącą 1,6kΩ - jest to filtr górnoprzepustowy o częstotliwości granicznej około 100Hz.



Rys. 6 Schemat ideowy

W układzie podstawowym nie jest wykorzystywany sygnał wyjściowy z końcówki 9, ani sygnał z wyjścia pierwszego stopnia wzmacniacza, czyli końcówki 14. Nie są też czynne obwody demodulatora FM, więc nóżki 6, 7, 8 pozostają niepodłączone.

W rzeczywistości nóżka 5 jest źródłem prądowym o wydajności zależnej od poziomu sygnału. Na rezystorze R9 dołączonym do nóżki 5 występuje napięcie, proporcjonalne do (logarytmu) amplitudy sygnału wejściowego. Właśnie z tego sygnału należy odfiltrować składowe o częstotliwościach w zakresie 10...20Hz. Realizują to dwa filtry. Wzmacniacz U3A pracuje w filtrze górno-przepustowym o częstotliwości granicznej około 10Hz. Należy zwrócić uwagę, że impedancja wejściowa tego filtry jest praktycznie równa reaktancji kondensatora C7, wobec czego kondensator C7 wraz z rezystorem są przez okazję filtrem dolnoprzepustowym o częstotliwości granicznej około 34Hz, a kondensator C17 nie jest montowany. Obecność takiego dodatkowego filtry jest jak najbardziej pożyteczna, niemniej właśnie dlatego pojemność C7 nie może przekraczać 68nF, bo niepotrzebnie obcięte zostaną użyteczne częstotliwości poniżej 20Hz.

Wzmacniacz U3B pracuje w filtrze dolno-przepustowym o częstotliwości granicznej nieco ponad 20Hz. Filtry ze wzmacniaczami operacyjnymi U3A, U3B mają wzmacnienie 1 (0dB), stromość charakterystyki 40dB/dekadę, a nierównomierność w paśmie i podbicie sięgają +3dB.

W punkcie B występuje sygnał zmienny. Są to składowe o częstotliwościach 8...20Hz występujące nie w sygnale z mikrofonu, tylko w jego obwiedni. To właśnie ten sygnał, a ściślej jego amplituda, niesie informację o stopniu zestresowania osoby wypowiadającej się.

W układzie detektora kłamstwa do analizy bardziej przydatne jest napięcie stałe, proporcjonalne do amplitudy sygnału zmiennego. Układ U2 pełni rolę precyzyjnego prostownika logarytmującego. Warto pamiętać, że kostka NE614A, pierwotnie przeznaczona do pracy przy częstotliwościach sięgających 25MHz, pracuje tu przy częstotliwościach w zakresie 10...20Hz. Stąd obecność kondensatorów odsprężających C25...C28 o wyjątkowo dużej pojemności 1000µF.

Sygnał zmienny z punktu B jest doprowadzony do wejścia układu U2 przez dwójnik R14C19. Obecność tego dwójnika, a nie jedynie kondensatora, jest konieczna z co naj-

mniej dwóch powodów. Po pierwsze sygnał z punktu B ma zbyt dużą amplitudę. Na wejście kostki NE614A można podawać sygnały w bardzo szerokim zakresie amplitud, ale maksymalna sensowna wartość wynosi 100mVsk, a tymczasem w punkcie B mogą wystąpić sygnały większe. Rezystor R14 wraz z rezystancją wejściową układu (1,6kΩ) tworzą dzielnik napięcia tłumiący sygnał mniej więcej dwudziestokrotnie. Wartość R14 (33kΩ) nie jest krytyczna i mogłaby być znacznie większa.

Po drugie obecność R14 umożliwia zastosowanie kondensatora sprzęgającego (C19) o względnie małej wartości. Problem w tym, że oporność wejściowa kostki NE614A jest mała (typowo 1,6kΩ), a częstotliwości robocze są rzędu 8...20Hz. Bez rezystora R14 wymagałoby to zastosowania kondensatora C19 o pojemności co najmniej 10µF.

Kostka U2 w wersji podstawowej pełni jedynie rolę prostownika. Wyprostowany sygnał wyjściowy dostępny jest na rezystorze R12. Wyjście kostki U2 (nóżka nr 5) dołączone jest do kolektorów tranzystorów PNP wewnątrz kostki pracujących jako źródła prądowe (prąd wypływa z nóżki 5 i płynie do masy). W proponowanym układzie przewidziano dodatkowo tranzystor T1, pełniący

rolę źródła prądu wpływającego. Obecność tego dodatkowego źródła zwiększa czułość urządzenia i ułatwia pomiary. W najprostszej wersji elementy T1, R13 PR1 nie muszą być montowane.

Kondensator C23 filtruje wyprostowany przebieg. Przy podanej w wykazie minimalnej wartości C23 równej 1 μ F stała czasowa uśredniania jest bardzo mała i na wyjściu C można zaobserwować nawet szybkie zmiany napięcia, czyli stopień modulacji głosu składowymi 8...20Hz. Takie szybkie zmiany można analizować na przykład za pomocą programu komputerowego.

W większości przypadków taka komputerowa analiza nie będzie przeprowadzana, a prostym wskaźnikiem będzie najwyczajniejszy woltomierz napięcia stałego, dołączony między punkty C, O. W takim przypadku należy zwiększyć pojemność C23 do 10 μ F, a nawet więcej. Proponowana wartość C23 w wersji podstawowej wynosi 10 μ F.

W układzie przewidziano dodatkowe wyjście z nóżek 14 i 9 obu układów NE614A. Są to punkty oznaczone D...E. W podstawowej wersji sygnały z tych punktów nie będą wykorzystywane. Nieco więcej informacji na ten temat można znaleźć pod śródtytułem *Możliwości zmian*.

Montaż i uruchomienie

Omawiany układ można zmontować na dwustronnej płytce drukowanej, pokazanej na **rysunku 7**. Ze względu na obecność wrażliwych i podatnych na samowzbudzenie kostek NE614A płytka drukowana została za-

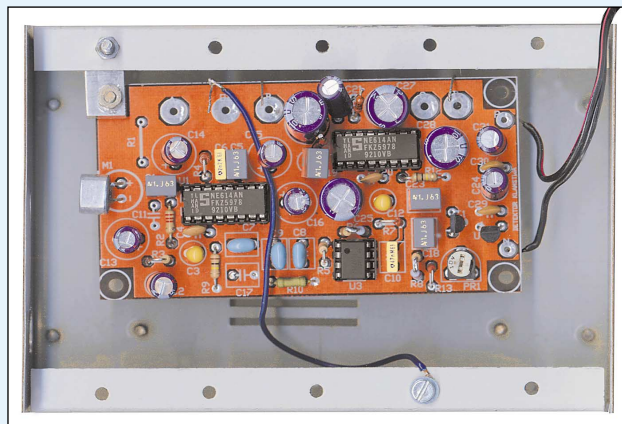
projektowana z uwzględnieniem zasad charakterystycznych dla układów w.cz.

Montaż układu nie powinien sprawić trudności. Warto zacząć od elementów najmniejszych (rezystory) a skończyć na największych (kondensatory elektrolityczne). Układy scalone U1...U3 należy włożyć do podstawek na końcu, po zmontowaniu i wstępnym, wzrokowym sprawdzeniu poprawności montażu.

Podczas montażu warto zachować daleko idącą staranność i unikać pomyłek, bowiem wylutowanie z dwustronnej płytki błędnie zmontowanego elementu i wlotowanie innego wcale nie jest zadaniem łatwym.

Układ poprawnie zmontowany ze sprawnych elementów działa od razu. Stopień trudności projektu określają dwie gwiazdki. Nie dotyczy to montażu, który jest łatwy i zasługiwałby co najwyżej na jedną gwiazdkę. Dzięki logarytmicznej charakterystyce kostek U1, U2 układ pracuje poprawnie w bardzo szerokim zakresie amplitud badanych sygnałów, i co ważne, w najprostszej wersji (bez T1, R13, PR1) nie wymaga żadnej regulacji. Między masą (punktem O) a punktem B występuje sygnał zmienny świadczący o modulacji głosu przebiegami 8...20Hz. Między masą a punktem C występuje napięcie stałe, określające wielkość tej modulacji.

tów okazało się, że korzystne jest dotknięcie ręką do obudowy i obwodu masy, bo zmniejsza to poziom wspomnianych „śmieci”, zwłaszcza w przypadku wykorzystania zasilacza sieciowego i oscyloskopu. **Fotografia poniżej** przedstawia model w małej metalowej obudowie.



Słabo zaekranowany układ będzie wzmacniał wszelkie „śmieci” i interpretacja wyników będzie dodatkowo utrudniona, a w skrajnym przypadku - niemożliwa.

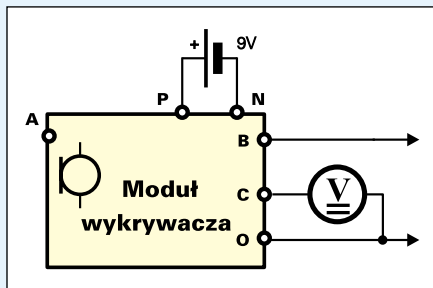
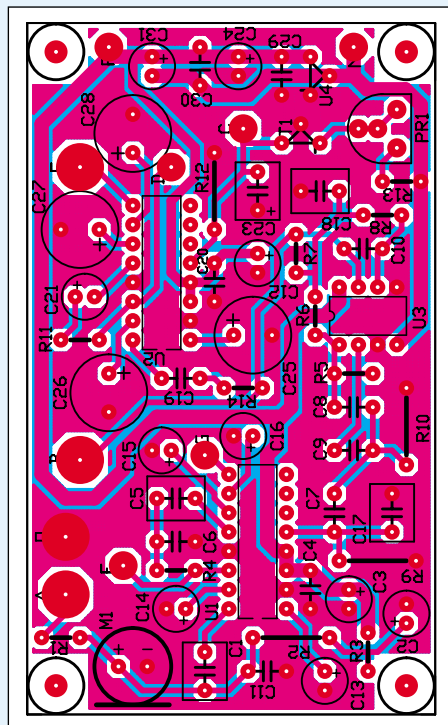
Obsługa prezentowanego wykrywacza kłamstwa jest prosta. Należy skierować mikrofon na osobę mówiącą i obserwować wskazania woltomierza, dołączonego do punktów C, O. Odległość mikrofonu od rozmówcy, głośnika telewizora czy kolumny zestawu audio teoretycznie nie ma większego znaczenia, nie powinna się jednak zmieniać w trakcie testu. W praktyce okazuje się, że układ bardzo silnie wzmacnia także wszelkie najdrobniejsze szумы i zakłócenia, dlatego warto mikrofon umieścić blisko źródła dźwięku (20cm...0,5m). Większy stres (napięcie mięśni) powinien spowodować zmniejszenie się modulacji przebiegami 8...20Hz, co jest wskaźnikiem, że dana osoba mija się z prawdą.

W zagranicznej literaturze ukazało się kilka opisów wykrywaczy kłamstwa pracujących na podobnej zasadzie. W każdym przypadku wskaźnikiem jest albo woltomierz, albo linijka diod LED. Zamieszczone schematy i opisy sugerują, że odróżnienie prawdy od kłamstwa jest dziecinnie proste, bo ma polegać na zmniejszeniu się amplitudy modulacji, co natychmiast znajdzie swe odzworowanie na wskaźniku.

W rzeczywistości zadanie nie jest aż tak łatwe. Bardziej złożone urządzenia tego typu dokonują komputerowej analizy obecności i poziomu wspomnianej modulacji z wykorzystaniem rozmaitych algorytmów.

Eksperymentalny układ akustycznego wykrywacza kłamstwa prezentowany w niniejszym artykule został wykonany i przetestowany. Zgodnie z oczekiwaniami okazało się, że amplituda modulacji przebiegami

Rys. 7 Schemat montażowy



Rys. 8 Układ pracy

Do podstawowych prób należy zestawić układ według **rysunku 8**. Do zasilania można wykorzystać zasilacz stabilizowany 9V lub baterię 9V. Moduł detektora kłamstwa pobiera mniej niż 15mA prądu.

Uwaga! W każdym przypadku należy umieścić układ w metalowej obudowie, połączonej z masą (punktem O). Takie zaekranowanie całego układu jest absolutnie konieczne, ponieważ kostka NE614A jest bardzo czuła, i przy braku sygnału z mikrofonu silnie wzmacnia i przetwarza wszelkie „śmieci” w tym głównie przydźwięk sieci 50Hz. Podczas ekspery-

8...20Hz nie jest stała. W okresach przerwy w wypowiedziach nie ma jej wcale, a miernik pokazuje przypadkowe przebiegi związane z szumami. Średnie napięcie wskazywane przez miernik będzie więc zależało nie tylko od tego, czy dana osoba kłamie, ściślej – jest zestresowana, ale też od kilku innych czynników. Przy próbie praktycznego wykorzystania opisanego przyrządu, tak samo jak przy innego rodzaju wykrywaczach kłamstwa, należałoby koniecznie przeprowadzić szereg testów, by ustalić swego rodzaju punkt odniesienia.

Do zobrazowania wyniku można wykorzystać dowolny woltomierz cyfrowy (jakikolwiek multimetr). W takim przypadku elementy T1, R13, PR1 nie będą potrzebne. Niektórzy Czytelnicy z różnych względów zechcą zamiast miernika cyfrowego zastosować miernik wskazówkowy lub linijkę diod LED, na przykład sterowaną kostką LM3914. W takim przypadku potrzebne będzie źródło prądowe z tranzystorem T1 i rezystorami R13, PR1. Problem w tym, że ze względu na ogromne wzmocnienie obu kostek NE614A, nawet przy braku sygnału z mikrofonu wszechobecne „śmieci” i szumy powodują występowanie na wyjściu przyrządu, w punkcie C, stałego „napięcia spoczynkowego” o wartości 1...2V. Gdy pojawi się sygnał użyteczny, głos ludzki, napięcie w punkcie C wzrośnie o kilkaset miliwoltów. Gdy do mikrofonu dotrze dźwięk głosu, napięcie w punkcie C wzrośnie o kilkaset miliwoltów, a potem większy lub mniejszy stres osoby mówiącej będzie objawiał się niewielkimi zmianami tego napięcia.

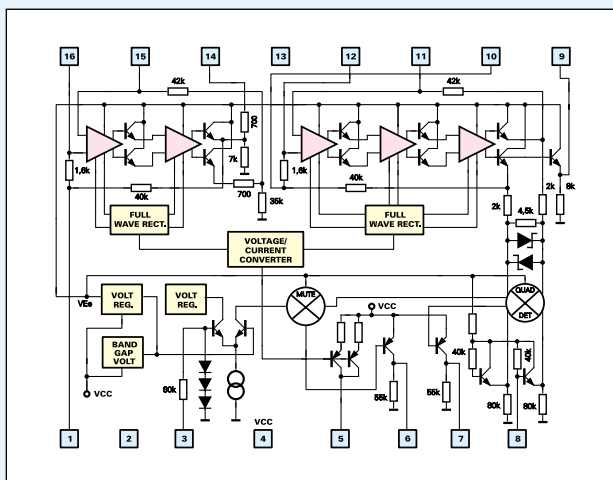
Potencjometr montażowy PR1 pozwala uzyskać na wyjściu C „napięcie spoczynkowe” bliskie zeru. Można wyregulować PR1 tak, by zerowe wskazanie występowało przy braku sygnału użytecznego, gdy dana osoba nic nie mówi. Można też zastosować wskaźnik o dużej czułości i za pomocą PR1 ustawić średnie wskazanie miernika wychyłowego lub linijki świetlnej dokładnie w połowie zakresu wskazań, gdy sprawdzana osoba się wypowiada. Wtedy nawet niewielkie zmiany właściwości głosu spowodują wyraźną reakcję wskaźnika.

Jeśli badany sygnał podawany byłby ze źródła innego niż mikrofon, nie trzeba montować mikrofonu i elementów R2, R3, C3. Należy w miejsce C11 włączyć rezystor (1...2,2kΩ) i dobrać wartość R1, by maksymalna amplituda sygnału na nóżce 16 układu U1 nie przekroczyła 200mVpp.

Układ scalony NE614A

W opisywanym przyrządzie wykorzystano dość popularny i niedrogi układ scalony NE614A. Jest to niemal kompletny tor częstotliwości pośredniej odbiornika FM. Może pracować w klasycznych domowych odbiornikach, a także w radiotelefonach i telefonach komórkowych. Pełni funkcje wzmacniacza-ogranicznika i demodulatora FM, FSK lub ASK. Zamiast niego można stosować kostki NE615, SA614A oraz NE604A, SA604A, mające identyczne funkcje i rozkład wyprowadzeń oraz nieco lepsze niektóre parametry. Blokowy schemat wewnętrzny wszystkich wspomnianych kostek jest pokazany na **rysunku 9**. W torze głównym pracują dwa bloki wzmocnienia. Pierwszy zawiera dwa stopnie i ma wzmocnienie sięgające 100x (39dB). Wejściem jest nóżka 16, wyjściem nóżka 14. Drugi zawiera trzy stopnie i ma wzmocnienie ponad 1000x (62dB); wyjściem jest końcówka 12, wyjściem – 9. Do końcówek 1, 15, 11, 10 są dołączone zewnętrzne kondensatory odsprężające. Oba wzmacniacze współpracują z dwoma oddzielnymi pełnokresowymi prostownikami. Sygnały z tych prostowników są sumowane i przetwarzane na sygnał prądowy. Jest to wykorzystywany w przyrządzie obwód RSSI (Received Signal Strength Indicator). Wyjściem obwodu RSSI jest nóżka 5. Prąd z niej wypływający jest wprost proporcjonalny do logarytmu amplitudy sygnału wejściowego.

Rys. 9



Dokładność jest bardzo dobra ($\pm 2\text{dB}$ dla kostki NE/SA614, $\pm 1,5\text{dB}$ dla NE/SA604A), jednak warunkiem prawidłowych wskazań obwodu RSSI w całym zakresie amplitud jest wprowadzenie dodatkowego tłumienia sygnału o 12dB (czterokrotnie) na drodze między nóżką 14 a 12. Nie należy się dziwić takiemu wymaganiu, ponieważ w typowych aplikacjach między nóżki 14, 12 włączony jest filtr p.cz., zwykle ceramiczny, tłumiący sygnał mniej więcej w takim stopniu. W prezentowanym rozwiązaniu tłumienie takie za-

pewnia rezystor R4, tworzący stosowny dzielnik wraz z rezystancją wyjściową końcówki 14 (około 700...1kΩ) i rezystancją wejściową końcówki 12 (typowo 1,6kΩ).

W typowych zastosowaniach wzmocniony sygnał jest doprowadzany nie tylko do nóżki 9, ale też (wewnątrz kostki) do dalszych stopni – do detektora kwadraturowego (QUAD. DET.) i do obwodu wyciszania (MUTE). Kostka zawiera także obwody stabilizacji napięcia. Są one niedostępne dla użytkownika

Układ, produkowany w 10-gigahercowym procesie, jest bardzo szybki i ma ogromne wzmocnienie, więc przy próbach jego wykorzystania należy przestrzegać zasad projektowych, charakterystycznych dla techniki w.cz. Więcej informacji można znaleźć w karcie katalogowej kostki NE/SA614A (NE/SA604A).

Wybrane parametry układu NE614A

Napięcie zasilania	4,5...8V
Pobór prądu	typ. 3,3mA (2,5...4mA)
Zakres pracy obwodu RSSI	80dB
Dokładność obwodu RSSI	typ. $\pm 2\text{dB}$
Impedancja wejść wzmacniacza (n. 16, 12)	typ. 1,6kΩ min 1,4kΩ

Możliwości zmian

Układ w zalecanej wersji podstawowej powinien pracować poprawnie. Jak wspomniano wcześniej, układ ma charakter eksperymentalny i można, a nawet warto, przeprowadzić dalsze testy po wprowadzeniu rozmaitych modyfikacji układowych.

Z pewnością podstawą konstrukcji powinien pozostać układ U1. Charakterystyka logarytmiczna obwodu RSSI jest jak najbardziej pożądana. Aby uzyskać jak najlepszą liniowość przetwarzania, można dokładniej dobrać wartość R4. Takie operacje wymagają jednak dostępu do profesjonalnej aparatury pomiarowej. Zalecana wartość R4 (4,3kΩ) powinna zapewnić dobre wyniki.

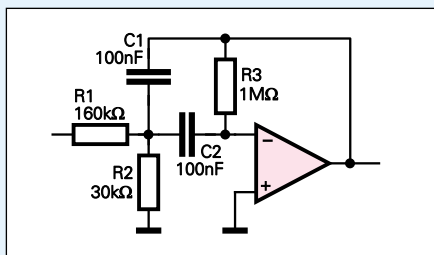
Jak wspomniano, jednym z kluczowych problemów jest przydźwięk sieci i szumy. Kto chce, może przeprowadzić próby i zmniejszyć wartość R2 nawet do 330Ω, zwiększając C2 do 1000μF. Można też między nóżki 14, 12 zamiast dzielnika z prościutkim filtrem wstawić filtr zaporowy, wycinający przebiegi o częstotliwości 50Hz. Trzeba tylko pamiętać, że obwód włączony między te nóżki powinien tłumić sygnał czterokrotnie (12dB).

Zamiast kostki U2 można wykorzystać inny prostownik. W zasadzie mógłby to nawet być prosty detektor z diodą germanową. Można też zastosować typowy prostownik aktywny. Więcej informacji o takim prostowniku można znaleźć w EdW 8/1998 na stronie 52 w artykule *Prostownik aktywny*.

Na płytce przewidziano dodatkowe punkty oznaczone D...G. Dają one dostęp do wyjść dwóch stopni wzmocnienia obu kostek NE614A. W punktach F, G występuję

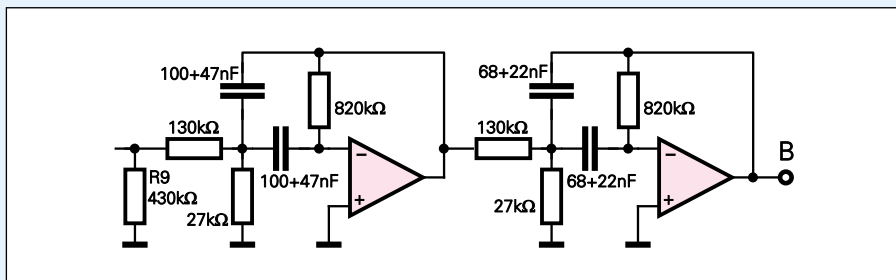
wzmocniony przebieg akustyczny. Ze względu na bardzo duże wzmocnienie przebieg ten będzie podobny do prostokąta, przy czym jego częstotliwość będzie odzwierciedlać obecność najsilniejszych składowych sygnału mowy. Z kolei w punktach D, E można zaobserwować wzmocniony i ograniczony przebieg modulujący o kluczowych częstotliwościach 8...20Hz.

Warto obejrzeć te przebiegi z pomocą oscyloskopu. Bardziej dociekliwi eksperymenciatorzy mogą we własnym zakresie próbować wyłowić z tych przebiegów dalsze istotne informacje, choćby przez pomiar ich częstotliwości.



Rys. 10

Rys. 11



Wykaz elementów

Rezystory

R1	.....	4,7kΩ (patrz tekst)
R2	.....	1...2,2kΩ
R3	.....	1kΩ
R4,R11	.....	4,3k (3,9...5,1kΩ)
R5	.....	1MΩ
R6,R7	.....	33kΩ
R8	.....	56kΩ
R9,R12	.....	100kΩ
R10	.....	62kΩ
R13	.....	120kΩ
R14	.....	33kΩ
PR1	.....	220kΩ (100kΩ...470kΩ)

Kondensatory

C1,C5,C18,C19	.....	1μF MKT
C2,C13-C16,C21,C24,C31	.....	100μF/10V
C3,C12	.....	10μF/16V tantal

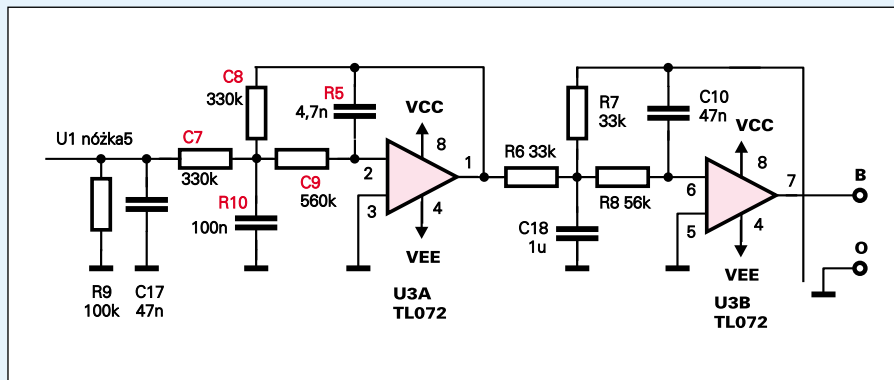
C4,C20,C29,C30	.....	100nF ceramiczny
C6	.....	2,2nF
C7-C9	.....	68nF
C10	.....	47nF
C11	.....	nie montować
C17	.....	nie montować
C23	.....	10μF (1μF...100μF)
C25-C28	.....	1000μ/10V

Półprzewodniki

T1	.....	BC548
U1,U2	.....	.NE614A (SA614A, NE/SA604A)
U3	.....	.TL072 (TL082)
U4	.....	.79L05

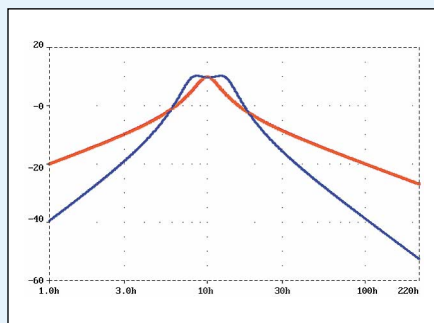
Pozostałe

M1	.....	mikrofon elektretowy dwukierunkowy
	.....	podstawki pod układy scalone
	.....	plytka drukowana



Rys. 13

Rys. 12



W układzie podstawowym przewidziano dwa filtry oparte na wzmacniaczach z kostki U3. Proponowane rozwiązanie dobrze zdaje egzamin, niemniej kto chce, może przeprowadzić próby z filtrami pasmowymi o większej dobroci. Podstawowy układ filtra pasmowego o częstotliwości 15Hz, wzmocnieniu równym 3x i dobroci równej 3 pokazany jest na rysunku 10. Połączenie dwóch podobnych filtrów o wzmocnieniu 4x i dobroci 3 według rysunku 11 da charakterystykę zaznaczoną na rysunku 12 linią niebieską. Linia czerwona pokazuje charakterystykę pojedynczego filtra z rysunku 10. Wnikliwi eksperymenciatorzy zapewne zechcą przetestować działanie wykrywacza z jeszcze innymi filtrami.

Podczas prób modelu sprawdzono działanie układu, gdy oba te filtry były dolnoprzepustowe o częstotliwości granicznej około 20Hz. Układ połączeń i wartości elementów były takie, jak na rysunku 13. W takiej opcji na wyjściu B występuje także składowa stała, świadcząca o średnim poziomie głośności, a także wszystkie składowe niskich częstotliwości, zawarte w obwiedni sygnału. Te wstępne próby przeprowadzono pod kątem zupełnie innego zastosowania. Autor artykułu planuje bowiem w dalszej przyszłości budowę analizatora, sprawdzającego różne właściwości głosu.

Zaprezentowany układ daje szerokie pole do rozmaitych prób. Kto choć trochę zna języki obce, powinien poszukać dalszych informacji w Internecie. Garść wskazówek i kilka adresów do początkowych poszukiwań podano w tym numerze EdW w artykule MEU na stronie 65.

Redakcja EdW z przyjemnością zaprezentuje szerokiemu gronu Czytelników doniesienia o wynikach eksperymentów z wykorzystaniem prezentowanego przyrządu oraz pozytywne i negatywne opinie dotyczące praktycznego wykorzystania wszelkich wykrywaczy kłamstwa. Prosimy o listy w tej sprawie.

Piotr Górecki

Komplet podzespołów z płytą jest dostępny w sieci handlowej AVT jako kit szkolny AVT-2615