

kit

3049

AVT

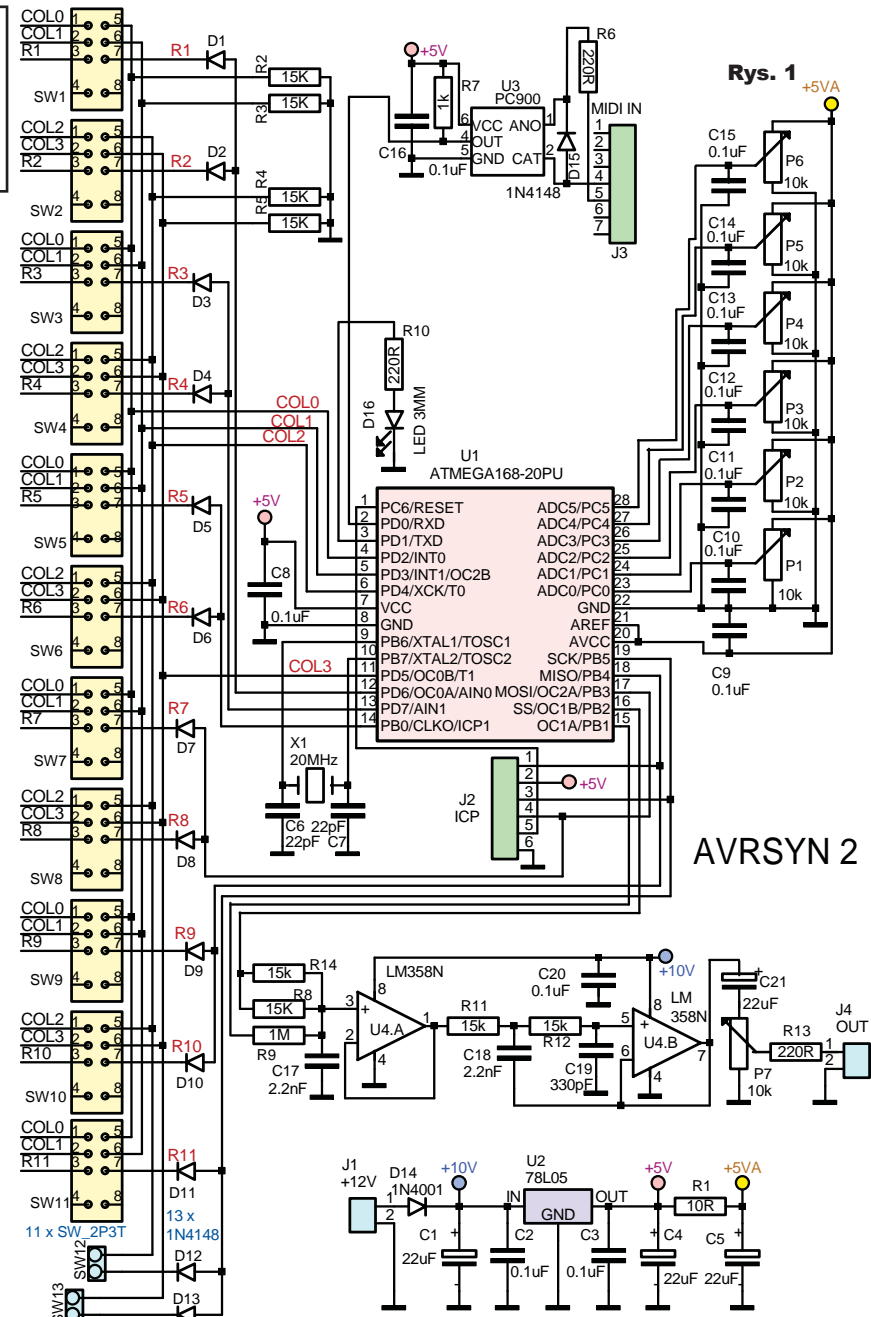
AVRSYN2

- synteza muzyczna na ośmiobitowym mikrokontrolerze

Urządzenie opisywane w poniższym artykule jest jednogłosowym cyfrowym syntezatorem muzycznym, sterowanym z zewnętrznej klawiatury wyposażonej w wyjście MIDI. Zgodnie z założeniami, synteza została oparta na popularnym ośmiobitowym mikrokontrolerze i zawiera minimalną liczbę elementów.

Schemat syntezatora przedstawiony jest na rysunku 1. Sercem układu jest mikrokontroler ATMEGA168 (U1). Odbiera on komunikaty MIDI przez port szeregowy. Wejście MIDI, zgodnie z wymaganiami standardu, zawiera transpopter. Odbiór komunikatów sygnalizuje dioda LED (D16). Do nastawiania parametrów brzmienia służą przełączniki i potencjometry. Styki przełączników są odczytywane w macierzy o sześciu wierszach (wejścia PD6, PD7, PB0, PB3, PB4, PB5) i czterech kolumnach (wejścia PD2, PD3, PD4, PD5). Wybór kanału odbiorczego MIDI zapewnia podwójny DIP switch SW12/SW13. Pozostałe przełączniki są trójpozycyjne. W ich dolnej pozycji zwarte są parami styki 3-4 oraz 7-8, w środkowej 3-2 oraz 7-6, natomiast w górnej 3-1 oraz 7-5. Potencjometry są dołączone do wejść analogowych mikroprocesora. Do zamiany cyfrowego dźwięku na sygnał analogowy służy czternastobitowy przetwornik C/A „ultra low cost”, wykorzystujący dwa wyjścia PWM Timera 1. Każdy przebieg PWM ma 7-bitową rozdzielczość i częstotliwość 156kHz. Oba są sumowane w stosunku 1:128 w sieci rezystorów, po czym trafiają do filtra/bufora z podwójnym wzmacniaczem operacyjnym (U4). Na jego wyjściu znajduje się potencjometr siły głosu oraz gniazdo jack 6,32mm. Urządzenie jest zasilane z zewnętrznej zasilacza napięciem stałym 12V 0,1A. Stabilizator 5V nie wymaga komentarza. Potencjometry, gałki do nich i trójpozycyjne przełączniki suwakowe pochodzą z firmy TRIM-POT (www.trim-pot.com.pl), gniazda z TME, pozostałe elementy można nabyć u wielu dystrybutorów. Rezystory najlepiej zastosować metalizowane. Przełącznik SW12/SW13 można zastąpić zworkami z drutu lub pominać.

W przyjętej minimalistycznej koncepcji do płytki nie jest przewidziana żadna obudowa. Synteza została zrealizowana w formie „desktop”. Płytkę drukowaną układu jest jednocześnie panelem czołowym z opisem sitodrukowym oraz



Rys. 1

AVRSYN 2

z elementami manipulacyjnymi (rysunek 2). Warto przykręcić nóżki gumowe, zwłaszcza że kilka podzespołów zamontowanych jest od spodu (rysunek 3). Montaż układu nie jest skomplikowany. Warto zacząć od elementów najmniejszych. Syntezator nie wymaga uruchamiania ani strojenia – prawidłowo zmontowany ze sprawnych elementów, z procesorem zaprogramowanym wsadem dostępnym w Elportalu (plik źródłowy .hex), powinien od razu prawidłowo pracować. Pomocą w montażu mogą być fotografie modelu.

Funkcje oraz możliwości syntezatora opisane są w drugiej części artykułu.

Trochę historii

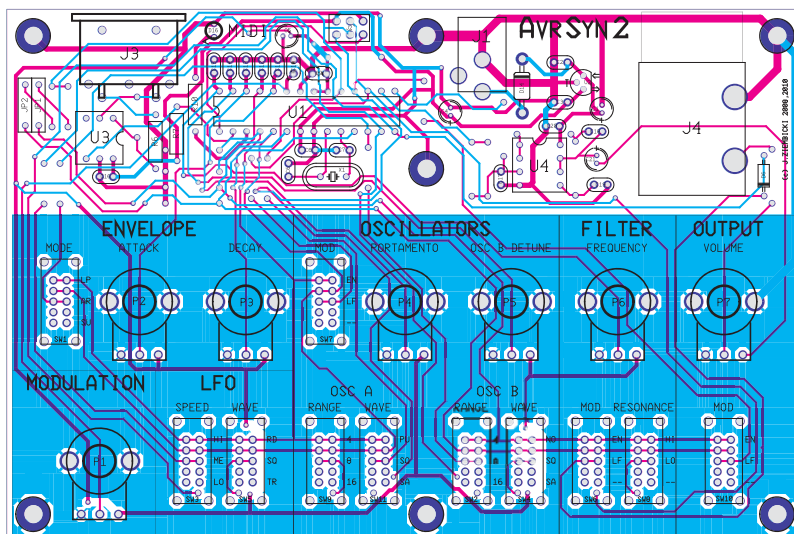
Co to jest syntezator muzyczny? Czym się różni od typowego keyboarda z głośniczkami? By odpowiedzieć na to pytanie, przyjrzymy się rozwojowi elektronicznych instrumentów muzycznych. Podążał on zawsze w dwóch kierunkach.

Z jednej strony konstruowano urządzenia dla muzyków o tradycyjnych przyzwyczajeniach. Organy Hammonda, fortepian elektryczny, mellotron czy dzisiejszy keyboard to wszystko instrumenty, na których zagra klasycznie wykształcony pianista i organista. Prawie wszystkie te urządzenia naśladują i zastępują akustyczne pierwowzory – fortepian, zespół smyczkowy, sekcję dętą itd. – chętnie używane w muzyce rozrywkowej, lecz dla wielu muzyków niedostępne.

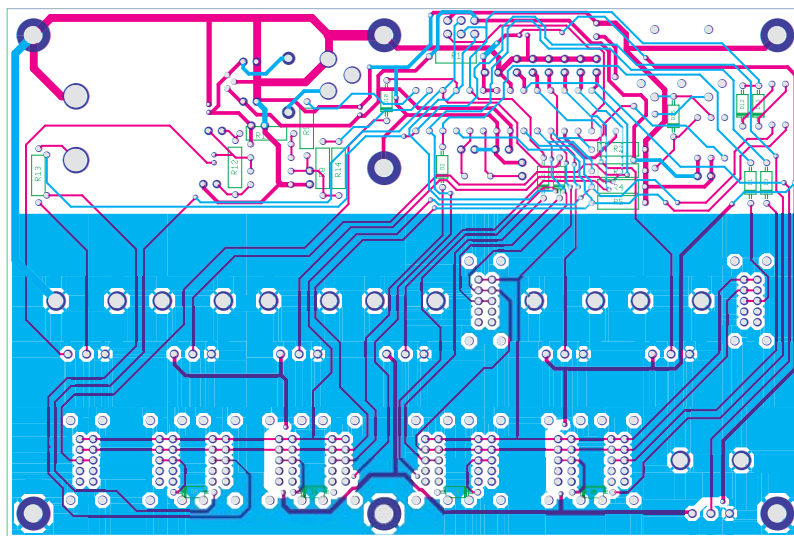
Drugim kierunkiem rozwoju była aparatura dla elektronicznej muzyki eksperymentalnej, opartej na dźwiękach wytworzonych sztucznie lub przekształconych dźwiękach naturalnych. Nagrywano ją w studiach wyposażonych nie w instrumenty muzyczne w tradycyjnym znaczeniu tego słowa, lecz raczej sprzęt laboratoryjny: generatory sygnałów, przetworniki, filtry, wzmacniacze. Urządzenia te pochodziły zwykle od różnych producentów, miały niezgodne standardy wejść/wyjść i odmienny sposób obsługi. Wszystko to znacznie obniżało komfort pracy i sprawiało, że kompozytor marnował czas na rozwiązywanie kwestii technicznych. Pojawił się więc pomysł zbudowania systemu składającego się ze standardowych, wymiennych modułów, dających się łatwo łączyć między sobą i obsłu-

giwać w jednolity sposób. Tak powstał modułowy syntezator muzyczny.

W syntezatorze takim dźwięk powstawał jako wynik działania modułów (bloków), z których jedno – oscylatory – wytwarzały drgania o określonej częstotliwości i kształcie, inne – filtry – tłumily lub podbijały składowe harmoniczne tych dźwięków, zmieniając widmo częstotliwościowe (barwę), jeszcze inne – tłumiki – odpowiadały za poziom sygnału i jego przebieg dynamiczny itd. Każdy blok był sterowany napięciem stałym (rewolucyjna koncepcja Roberta Mooga), a napięcia sterujące powstawały w innych blokach, np. klawiatury muzycznej, generatorów drgań wolnozmiennych czy układów obwodniowych. Na każdy parametr dźwięku można było wpływać niezależnie, przeprowadzając niejako proces syntezy – stąd też się wzięła nazwa całego urządzenia. Moduły zestawiało się według potrzeb i łączyło między sobą przewodami. Każde połączenie było dozwolone, dawały



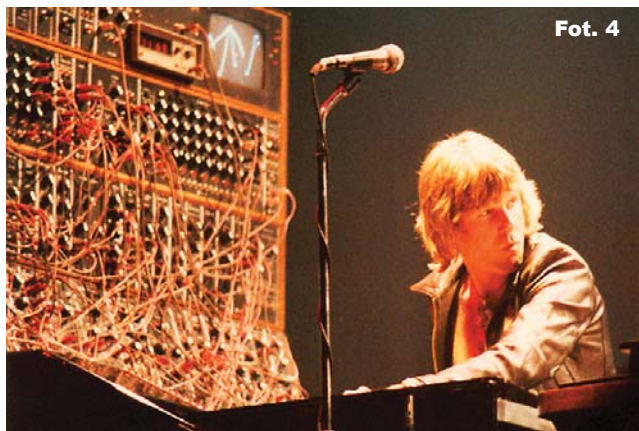
Rys. 2 Strona elementów (skala 70%)



Rys. 3 Strona lutowania (skala 70%)

się zatem realizować najbardziej wymyślne konfiguracje.

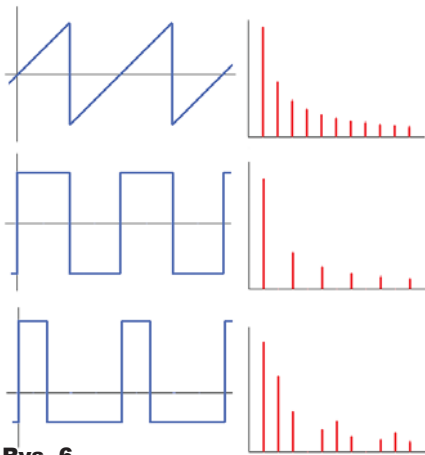
Syntezatory modułowe oferowały ogromne możliwości w studiu eksperymentalnym. Ale były wielkie, drogie i nadal niełatwe w obsłudze, co w zasadzie wykluczało je z obszaru zainteresowań muzyków tradycyjnych (choć były wyjątki, jak np. Keith Emerson i jego Moog 55, fotografia 4). Większość muzyków wolałaby mieć do czynienia z niewielkim, zwartym instrumen-



Fot. 4



Fot. 5



Rys. 6

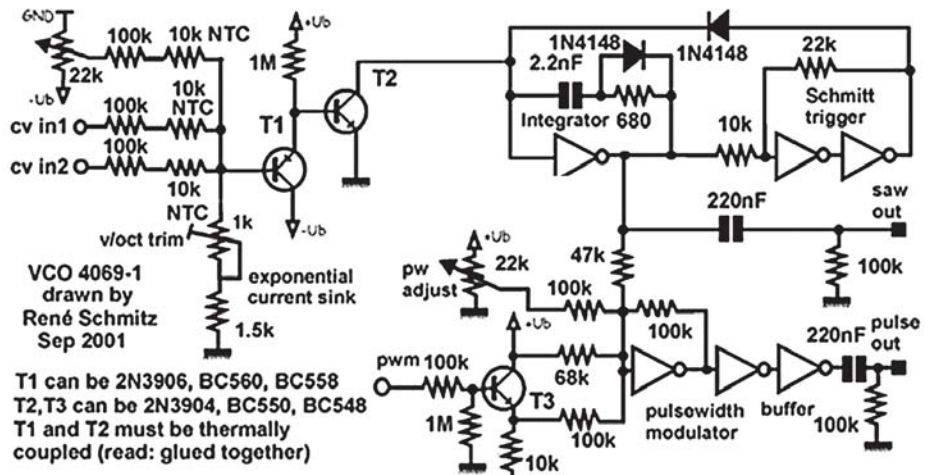
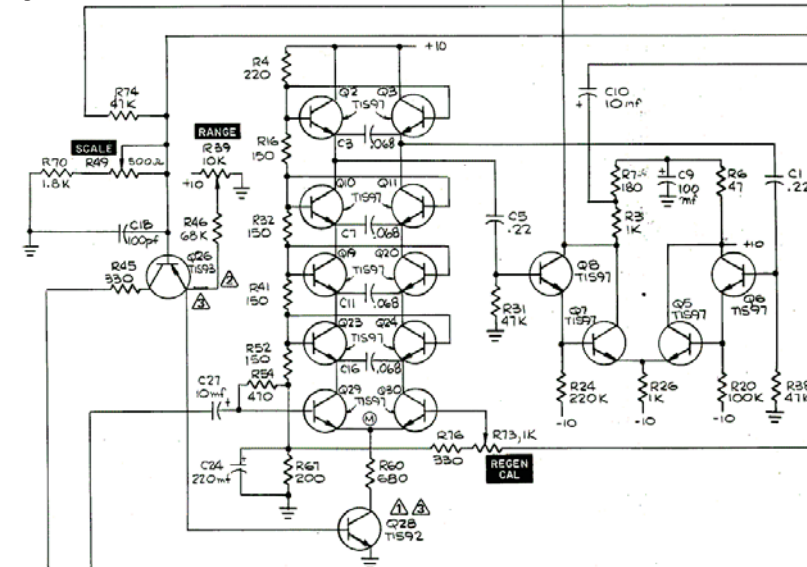
tem z standardową białą-czarną klawiaturą i bez kilometrów przewodów. Robert Moog wyszedł naprzeciw tym oczekiwaniom: scałił w jednym urządzeniu klawiaturę i kilka typowych modułów, kable zastąpił przełącznikami i po kilku przemyśleniach, w 1970 roku, wypuścił na rynek legendarnego Minimooga model D (fotografia 5).

Podobnie postąpili inni producenci. Pojawiły się syntezatory-instrumenty, na których można było grać niczym na organach elektronicznych. Lecz, w odróżnieniu od organów, w syntezatorach można było z wielką swobodą programować dźwięki zarówno przypominające instrumenty klasyczne, jak i całkiem nowe, wcześniej nieznanne.

Jednogłosowy syntezator analogowy może być zbudowany przez amatora. Schematy takich syntezatorów opisywano w literaturze elektronicznej już 30...40 lat temu, a obecnie można je znaleźć w Internecie. Podstawowym układem jest *voltage-controlled oscillator*, VCO – oscylator (generator) częstotliwości akustycznych, przestrajany napięciem stałym np. 0...10V. Charakterystyka sterowania zwykle nie jest liniowa, lecz wykładnicza, a przyrost napięcia o 1V powoduje dwukrotny (o oktawę) wzrost częstotliwości. VCO wytwarza na ogół przebiegi piłkowształtne i prostokątne, bogate w składowe harmoniczne (rysunek 6). Wymagana jest wysoka stabilność częstotliwości - na poziomie 0,1% w całym zakresie temperatur pracy. Wśród hobbystów popularny jest układ autorstwa René Schmitza (rysunek 7), konstrukcja dla syntezatorowych VCO bardzo reprezentatywna, a przy tym niezwykle prosta. Układ wykorzystuje inwertery logiczne 4069, użyte jako... wzmacniacze operacyjne i komparatory. Na tranzystorach T1 i T2 zbudowane jest źródło prądu

Rys. 8

do sterowanej napięciem, skompensowane termicznie, o wykładniczej charakterystyce. Prąd źródła ładuje kondensator integratora, powodując na jego wyjściu liniowy wzrost napięcia aż do chwili, gdy dołączony do integratora przerzutnik Schmita zostanie przerzucony w stan wysoki. Wtedy integrator zostaje szybko rozładowany poprzez diodę, a przerzutnik Schmita przechodzi w stan niski i cykl ładowania rozpoczyna się od początku. Na wyjściu integratora otrzymujemy sygnał piłkowształtne (*saw out*). Dodatkowy komparator o przestrajającym progu zadziałania wytwarza przebieg prostokątny o zmiennym współczynniku wypełnienia (*pulse out*).



Power from a dual 9-15V supply. +Ub means positive rail, -Ub means negative. 4069 inverter powered from +Ub/0V (pin 7-> GND, pin 14->+Ub)

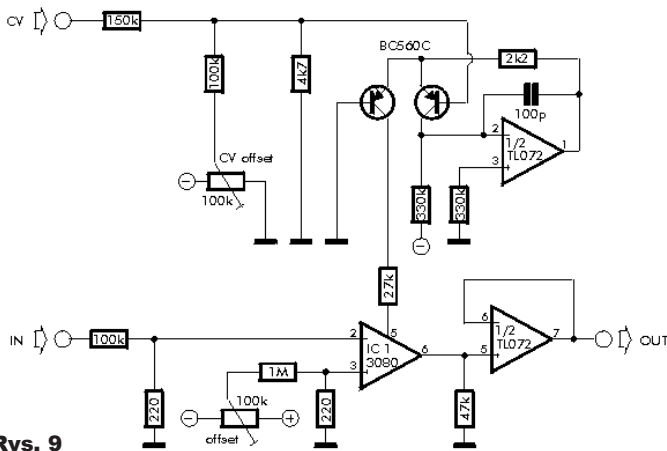
Rys. 7

Układy filtrów sterowanych napięciem (*voltage-controlled filter*, VCF) wykorzystują albo przestrajane elektrycznie rezystancje (np. rezystancję dynamiczną złącza półprzewodnikowego, która zależy od natężenia prądu płynącego przez to złącze), albo tzw. wzmacniacze transkonduktancyjne (z wyjściem prądowym o sterowanej wydajności) obciążone kondensatorami. Filtry są w większości przypadków dolnoprzepustowe, 2. lub

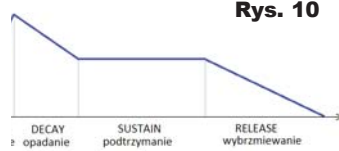
4. rzędu, o sterowanej napięciem częstotliwości granicznej (tu również obowiązuje zasada „oktawa na volt”) i ręcznie regulowanej dobroci. Lepsze układy to tzw. filtry zmiennej stanu, realizujące charakterystykę dolno-, górno- i pasmowoprzepustową, czasem też pasmowozaporową. Jako przykład rozwiązania VCF niech posłuży filtr dolnoprzepustowy z syntezatora Minimoog, słynna „drabinka Mooga” (rysunek 8). Wykorzystano w nim kaskadę tranzystorów, przez którą przepływa prąd pary różnicowej Q29/Q30. Składowa różnicowa tego prądu to sygnał akustyczny, natomiast składowa wspólna jest wykładniczą funkcją napięcia sterującego filtru i stanowi prąd przestrajający. Odwrotnie proporcjonalnie do tego prądu zmieniają się rezystancje dynamiczne złącza baza-emiter tranzystorów kaskady, a rezystancje te tworzą z kondensatorami C16/C11/C7/C3 cztery stopnie dolnoprzepustowe RC. Tranzystory kaskady spełniają dodatkowo funkcje separatorów oddzielających stopnie RC od siebie. Do bazy Q30 można doprowadzić regulowaną część sygnału wyjściowego, co umożliwia zmianę dobroci filtru. Układ jest genialny w swej prostocie i zyskał status kultowego. Firma Moog stosowała go we wszystkich chyba modelach, a po wygaśnięciu patentu, którym był objęty, doczekał się realizacji w syntezatorach innych producentów. Jest też chętnie powielany przez amatorów.

Sterowany napięciowo tłumik/wzmacniacz (*voltage-controlled amplifier*, VCA) jest z technicznego punktu widzenia dwuwartkowym układem mnożącym. Zwykle opiera się na tranzystorowej parze różnicowej albo wzmacniaczu

z budowane jest źródło prądu



Rys. 9



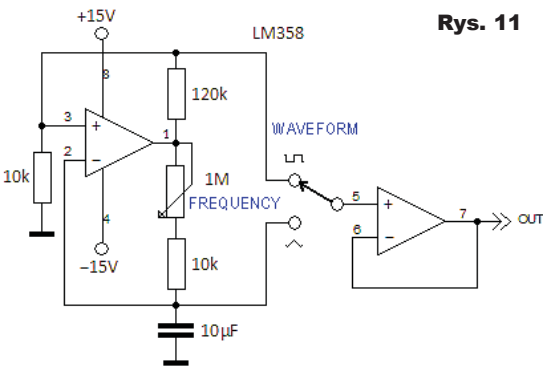
Rys. 10

na cyfrowym rejestrze przesuwającym ze sprzężeniem zwrotnym (LFSR), wytwarzającym pseudolosowy ciąg zero-jedynkowy (np. w automacie perkusyjnym BOSS DR-110, rysunek 14).

Typowy syntezator z lat 70. był zbudowany zgodnie ze schematem blokowym z rysunku 15. Zawierał od jednego do trzech VCO, jeden VCF i jeden VCA oraz klawiaturę, źródło szumu, generator wolnozmienny i dwa układy obwiedniowe. Użycie kilku oscylatorów wzbogacało brzmienie, ale nie zmieniało faktu, że syntezator był jednogłosowy, a więc na klawiaturze można było grać tylko „jednym palcem” a nie akordami. Ten stan rzeczy można było zmienić przez wprowadzenie większej liczby torów syntezy (głosów), wymagało to jednak użycia logicznego układu sterującego, przyporządkowującego te głosy wcisniętym klawiszom. Realizacja takiego sterownika z użyciem standardowych układów TTL była niecelowa. Właściwym środkiem stał się dopiero wynaleziony w latach 70. mikroprocesor i to on sprawił, że na rynku pojawiły się syntezatory wielogłosowe. Zawierały one kilka lub kilkanaście torów VCO-VCF-VCA, którymi sterował mikrokomputer poprzez wielokanałowy przetwornik cyfrowo-analogowy. Mikrokomputer przeglądał styki klawiatury muzycznej, obsługiwał elementy manipulacyjne i wyświetlacze na płycie czołowej, często też realizował programowo funkcje układów LFO i obwiednio-

klawisza wytwarzają jednokrotny przebieg narastająco-opadający (rysunek 10), stosowany przede wszystkim do otwierania i zamykania tłumika VCA (zauważmy, że bez tej funkcji syntezator wytwarzałby dźwięk bez ustanku, nawet jeśli nie naciśnięto żadnego klawisza klawiatury).

Na rysunku 11 pokazany jest schemat najprostszego LFO, będącego adaptacją układu z syntezatora Moog Rogue. Na wyjściu uzyskujemy przebieg trójkątny lub prostokątny, symetryczny względem zera, o amplitudzie ok. 1V. Natomiast rysunek 12 przedstawia generator obwiedni. Szczytowe napięcie na wyjściu wynosi +10V (można je zmienić wartością diody Zenera). Zastosowano układy CMOS serii 4000, zasilane z 15V. Sygnał sterujący GATE, pochodzący z bloku klawiatury muzycznej, przyjmuje stan wysoki (+15V), gdy wciskany jest któryś z klawiszy.



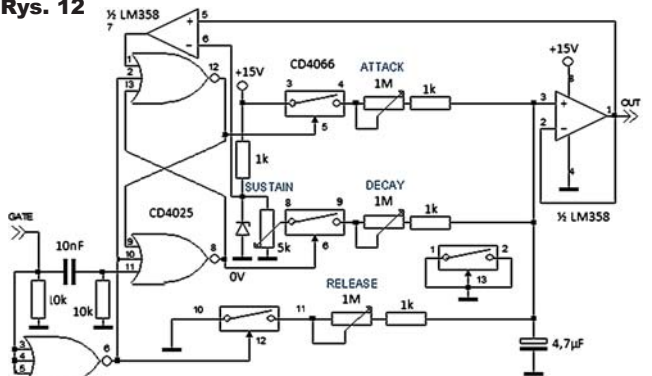
Rys. 11

transkonduktancyjnym. Rysunek 9 przedstawia układ Jörgena Bergforsa oparty na wzmacniaczu CA3080, który był niegdyś jednym z „koni roboczych” techniki analogowej i w syntezatorach muzycznych powszechnie go stosowano. CA3080 praktycznie nie jest już produkowany. Nawiasem mówiąc, podobny los spotyka powoli inny rodzaj podzespołów: zestawy dwóch lub więcej tranzystorów umieszczonych na jednej kostce krzemu (np. CA3046 = polski UL1111), umożliwiające budowanie ważnych „cegiełek” analogowej techniki syntezatorowej: skompensowanych termicznie źródeł prądowych i napięciowych.

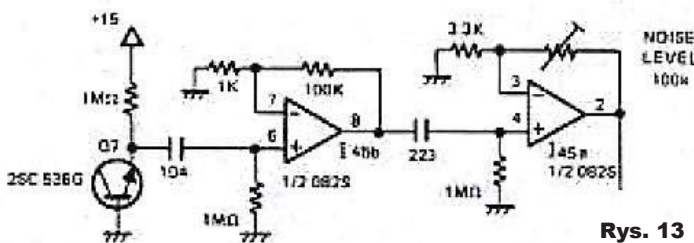
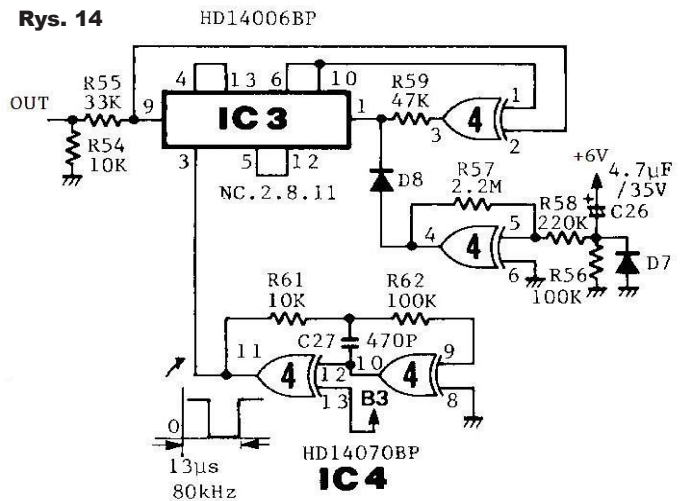
Z blokami VCO, VCF i VCA współpracują układy sterujące. Przede wszystkim klawiatura, czyli komutowane klawiszami źródło napięcia sterującego (1V na oktawę, a więc 83,3mV na półton) z układem pamiętającym. Poza tym generatory drgań wolnozmiennych (LFO) oraz układy obwiedniowe. Zadaniem tych pierwszych, używanych np. w celu uzyskania efektu vibrato, jest wytworzenie okresowych przebiegów trójkątnych, prostokątnych, piłokształtnych itp. o częstotliwościach od ułamka do kilkudziesięciu herców. Z kolei generatory obwiedni przy każdym wcisnięciu

Do często spotykanych układów zalicza się też ogranicznik prędkości zmian napięcia sterującego, umożliwiający uzyskanie efektu „portamento”, czyli płynnego przechodzenia od jednej częstotliwości do drugiej. Innym ważnym elementem syntezatora jest generator szumu. Szum może być sygnałem dźwiękowym, ale można go także użyć jako zmieniającego się losowo napięcia sterującego. Na rysunku 13 widzimy źródło szumu w syntezatorze KAWAI SX240 wykorzystujące wzmacnione szumy złącza baza-emiter pracującego w warunkach przebiecia. Stosowano też rozwiązania oparte

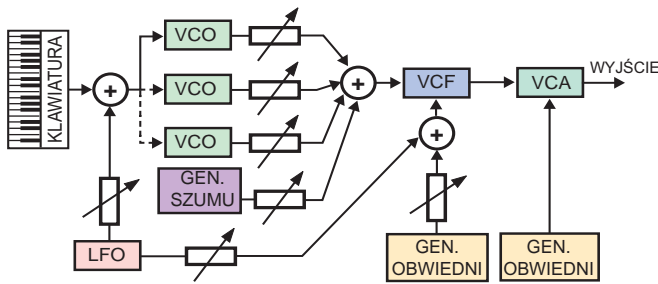
Rys. 12



Rys. 14



Rys. 13



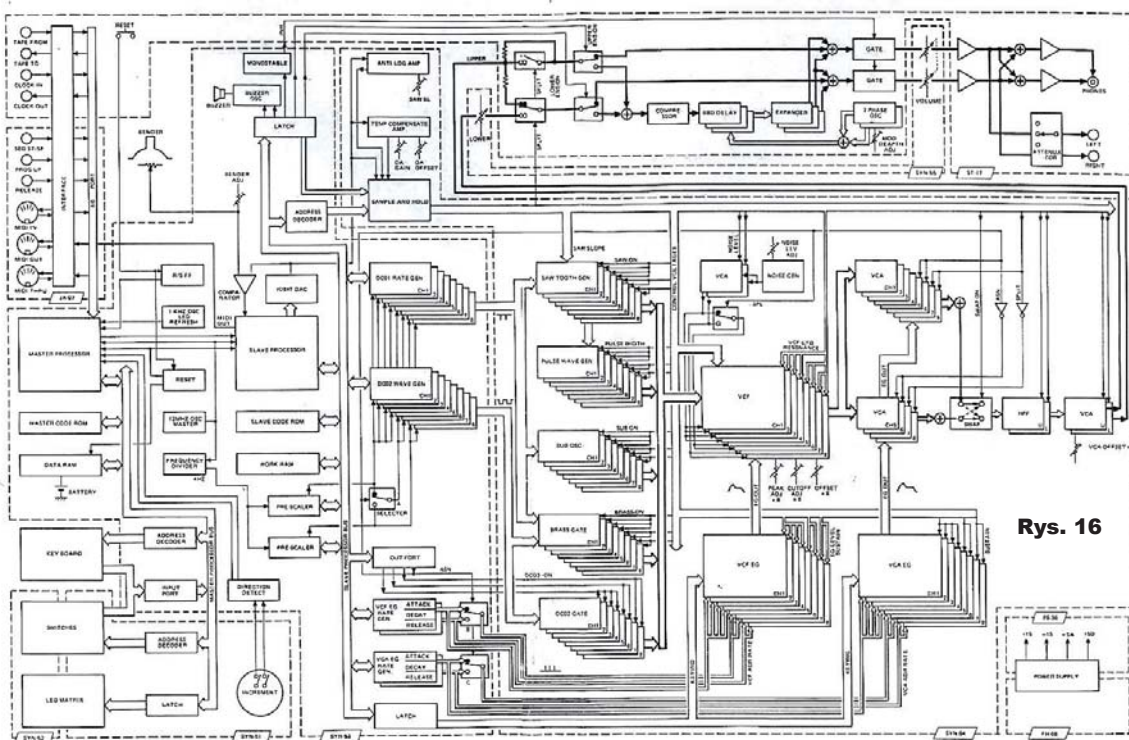
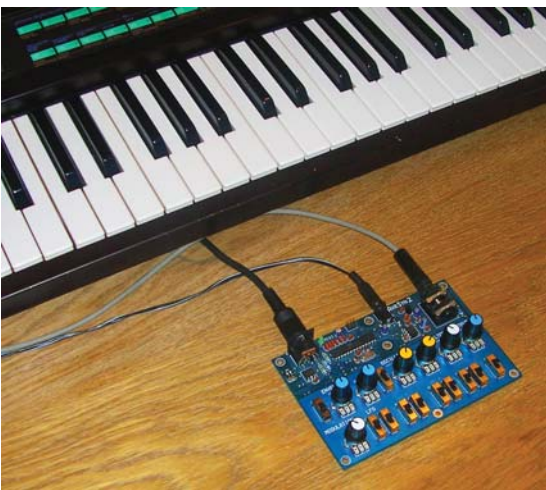
Rys. 15 wych, zastępując odpowiednie układy elektroniczne. Mikrokomputer zawierał pamięć nieulotną (SRAM zasilaną z baterijki litowej), co nareszcie umożliwiło zapamiętywanie i szybkie przywoływanie ustawień brzmieniowych syntezatora. W większości modeli był również interfejs do zgrzywania danych na zwykły magnetofon, co pozwalało zrealizować „pamięć masową” w ten sam sposób jak w pierwszych komputerach domowych. I wreszcie możliwe stało się

wym, a zbudowanie go jest trudną sztuką i zdecydowanie przekracza możliwości hobbysty. Ilustruje to przedstawiony na **rysunku 16** schemat blokowy syntezatora ośmiogłosowego KAWAI SX240, wyprodukowanego w 1984 r. Do sterowania użyto dwóch – na owe czasy bardzo nowoczesnych – mikrokontrolerów 8031. W torach syntezy instrument zawiera 16 oscylatorów, 8 filtrów i 8 tłumików, prócz tego jest wiele innych układów jak dzielniki częstotliwości, generator szumu, efekt *chorus*, wejście/wyjście MIDI i łącze do magnetofonu. Niewygórowana moc obliczeniowa 8031 sprawiła, że wszystkie 16 układów obwiedniowych trzeba było zrealizować sprzętowo.

Analogowy syntezator wielogłosowy był spełnieniem marzeń wielu muzyków, ale pod względem technicznym stanowił koszmar. Jego układy elektroniczne były bardzo rozbudowane, wymagały żmudnego strojenia w fabryce, reagowały na wpływy otoczenia, często się psuły. Co prawda na rynku pojawiły się specjalne układy scalone oscylatorów, filtrów i wzmacniaczy sterowanych napięciem i szybko trafiły one do syntezatorowych konstrukcji, ale mimo tych ulepszeń nadal dobitnie ujawniały się kaprysy techniki analogowej. Przede wszystkim

przy zmianach temperatury „rozejrzały” się częstotliwości oscylatorów. W takich gigantach jak Jupiter 8 (16 VCO) czy Matrix 12 (24 VCO) wprowadzono tryb automatycznego strojenia. Ale np. Yamaha CS80 co rusz wymagała kalibracji ręcznej (czym przypominała trochę... komputer ENIAC, który pracował przez godzinę, po czym następowała przerwa na wymianę przepalanej lampy). Była najwyższą porą na wprowadzenie precyzyjnej techniki cyfrowej. Pierwsze rozwiązania polegały na synchronizowaniu analogowych VCO z programowanych dzielników częstotliwości zegara kwarcowego (stosowano do tego celu np. znany układ czasowy 8253). Potem sięgnięto po układy oscylatorów z bezpośrednią syntezą cyfrową (DDS). Na **rysunku 17** pokazano przykład takiej wczesniej realizacji: blok oscylatorów w syntezatorze Korg DW8000. Zwraca uwagę użycie standardowych kostek pamięci TTL 74S189 (20-bitowe rejestry akumulatorów i przyrostów fazy), ale także specjalizowanych układów *gate array* (MB62H133 i MB62H129).

W latach 80. rozwój technologii pozwolił na w pełni cyfrowe zrealizowanie wszystkich funkcji syntezy i umieszczenie obwodów syntezatora w układach o wielkim stopniu scalenia. Pierwsza była Yamaha DX7 (realizowała nieomawianą tu syntezę typu FM). Pod koniec lat 80. syntezatory cyfrowe zdominowały rynek. Mogły one nie tylko generować proste przebiegi okresowe, ale też odtwarzać dźwięki prawdziwej sekcji smyczkowej, dętej, fortepianu, perkusji itp., zapisane w pamięci. W połączeniu z cyfrowym filtrowaniem i modulacjami dawało to olbrzymie możliwości kreowania brzmienia. Zaczęły się również pojawiać konstrukcje, w których skupiono się tylko na wier-



Rys. 16

nym odtwarzaniu dźwięków instrumentów akustycznych, mocno ograniczając modyfikacje sygnału i możliwości programowania. Tak powstał współczesny keyboard, od którego oczekujemy porządnego brzmienia fortepianu, smyczków czy gitary, natomiast raczej nie eksperymentujemy z uzyskiwaniem nowych dźwięków. Przeciwny biegun stanowią dzisiejsze syntezatory „z krwi i kości”, w pełni programowane, zwykle wzorowane koncepcyjnie na konstrukcjach z lat 70., ale

zrealizowane z użyciem nowoczesnej techniki cyfrowej. Aczkolwiek nadal buduje się urządzenia analogowe, cieszące się wielkim wzięciem wśród zwolenników „analogowego brzmienia”!

Skonstruowanie w warunkach amatorskich syntezatora cyfrowego uważane było przez długie lata za zwyczajnie niemożliwe z uwagi na niedostępność zaawansowanych układów scalonych. Czasy się jednak zmieniły i realizację prostego cyfrowego syntezatora umożliwia mikrokontroler, kosztujący kilka złotych. I tak wracamy do naszego syntezatora AVRSYN2, przedstawionego na rysunkach 1...3.

Funkcje układu

Cała synteza dźwięku w AVRSYN2 przeprowadzana jest programowo, co na ośmiobitowym mikroprocesorze stanowiło nie lada wyzwanie. By mu sprostać, pisałem cały program w assemblerze i stosowałem różne sztuczki pozwalające zaoszczędzić cenne nanosekundy. Było to o tyle ważne, że użyta jest tu arytmetyka 16-, 32-, a miejscami nawet 40-bitowa... Problemem było zmieszczenie się w dostępnych 16 kilobajtach pamięci FLASH. Sam program trzeba było upchnąć w 2KB, bo resztę zajęły spróbkowane przebiegi oscylatorów.

Pod względem funkcjonalnym tor syntezy wygląda następująco: dwa oscylatory (OSCILLATORS) wytwarzają przebiegi

o częstotliwościach zależnych przede wszystkim od wcisniętego klawisza klawiatury i o różnych kształtach. Przebiegi przechodzą przez filtr dolnoprzepustowy (FILTER) i tłumik (OUTPUT). Do sterowania służą: układ obwiedniowy (ENVELOPE) i generator małej częstotliwości (LFO), a także pokrętła PITCH BENDER i MODULATION w klawiaturze, o ile je ona ma.

Software składa się z trzech głównych części: podprogramu obsługi przerwań Timera 2, podprogramu obsługi przerwań odbiornika UART i programu głównego. W Elportalu, wśród materiałów dodatkowych do tego numeru EdW, można znaleźć program (plik w assemblerze) oraz rysunki płytek Gerber + NCdrill.

Podprogram przerwań timera cyklicznie wytwarza kolejne próbki dźwiękowe, czyli przeprowadza właściwą syntezę. Kolejno realizowane są:

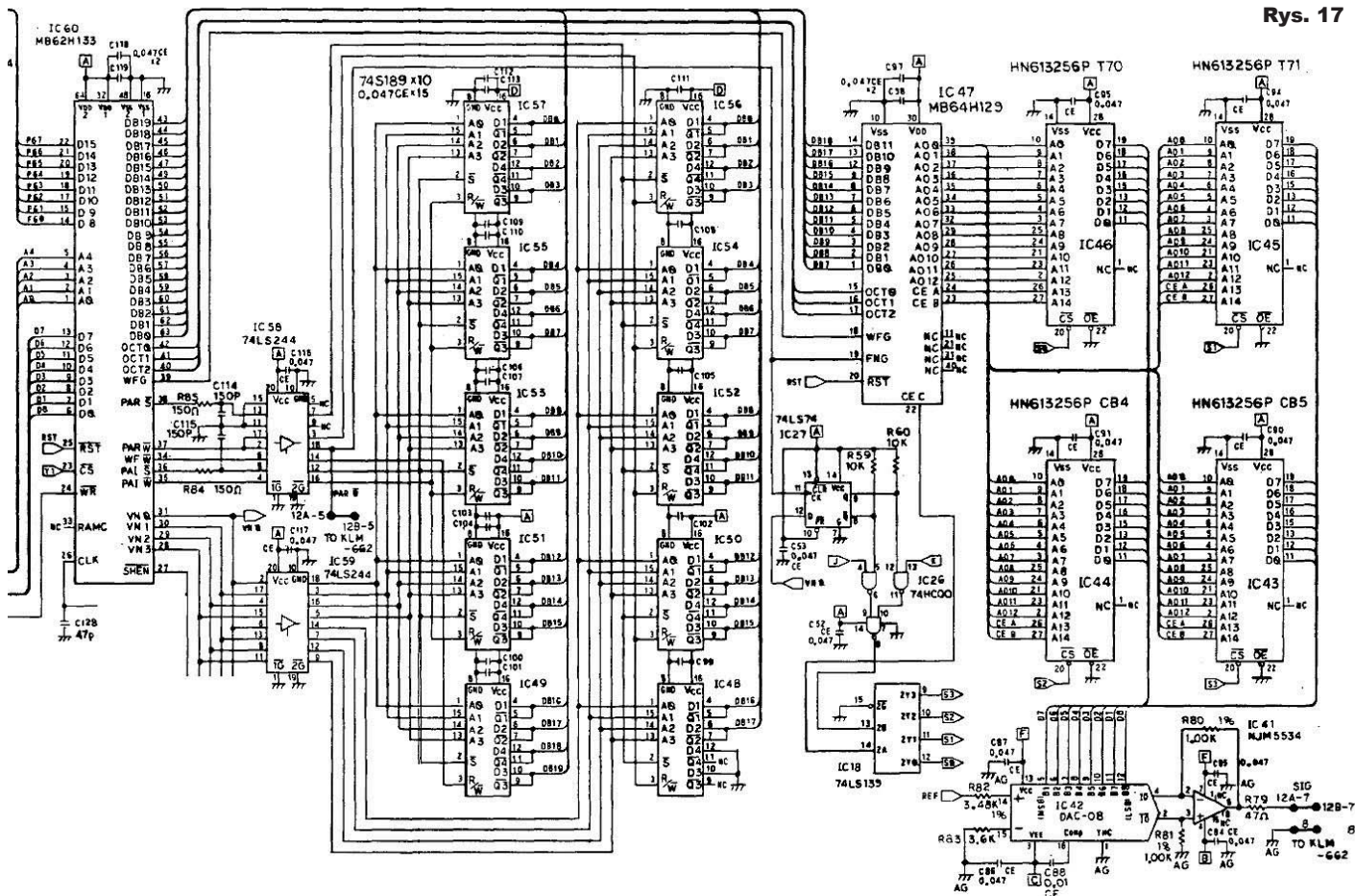
- źródło szumu w postaci 22-bitowego rejestru *LFSR*,
- przyrost fazy obu oscylatorów,
- odczyt próbek z pamięci przebiegów,
- filtr cyfrowy (dwie sekcje 1. rzędu),
- sterowany tłumik,
- wpisanie próbki wyjściowej do modulatorów PWM.

Przerwania przychodzą co 512 cykli zegarowych, czyli co 25,6µs, częstotliwość próbkowania wynosi zatem 39,06kHz.

Odczyt wejścia szeregowego MIDI i wstępna obsługa komunikatów odbywa się w podprogramie przerwań odbiornika UART. Uwzględniane są komunikaty *note on* i *note off*, a także *control change 1* i *pitch bender*. Komunikat *control change 1* przekazuje pozycję pokrętła MODULATION w klawiaturze. Pokrętłem tym możemy zwiększać intensywność LFO ponad poziom ustawiony potencjometrem MODULATION syntezatora. Z kolei komunikat *pitch bender* jest przesyłany, gdy poruszamy pokrętłem klawiatury służącym do „przeciągania” stroju instrumentu w górę lub w dół. W AVRSYN2 przyjęto zakres przestrajania równy ±1 oktawie.

I wreszcie program główny – odczytuje stany przełączników i potencjometrów, uwzględnia dane odebrane z łącza MIDI, realizuje funkcje ENVELOPE i LFO, a na końcu przelicza wszystko na elementarne parametry procesu syntezy odbywających się w przerwaniach timera.

W każdym syntezatorze muzycznym ważnym zagadnieniem jest łatwość nastawiania parametrów dźwięku. Największy komfort obsługi zapewnia przyporządkowanie każdemu parametrowi osobnego przełącznika czy pokrętła; tak było w epoce syntezatorów czysto analogowych. W latach 80. stosowano oszczędny (a skutecznie zniechęcający do programowania) sposób polegający na zmuszonym wybieraniu parametrów i ich zmianie za pomocą kilku przycisków i małego



Rys. 17

wyświetlacza LCD. Na szczęście w latach 90. rozpoczął się powrót do galek. W AVR SYN2 każdy parametr ma przynajmniej przełącznik, a sześć najważniejszych (bo tyle wejść ma przetwornik A/C w ATmega168) sterowanych jest potencjometrami.

Na panelu znajdują się następujące elementy manipulacyjne: **POTENCJOMETRY** (patrz tabela1) i **PRZEŁĄCZNIKI** (patrz tabela 2).

Jak widać, ograniczenie liczby potencjometrów wymagało pójścia na kompromis. Częstotliwość generatora LFO ustawiana jest bardzo zgrubnie. Intensywność każdego rodzaju modulacji jest regulowana jednym i tym samym pokrętelem; nie można więc np. nastawić lekkiego *vibrato* i jednocześnie intensywnie przestrajać filtr układem obwiedniowym. Istnienie takich ograniczeń trudno byłoby zaakceptować w sprzeczności z profesjonalnym. Pewną niedogodnością jest też brak możliwości zapamiętywania programów brzmieniowych. Wymagałoby to jednak dodania jakiegoś wyświetlacza oraz przycisków wyboru programu, a to stałoby w sprzeczności z minimalistyczną koncepcją konstrukcji.

Cały projekt jest swego rodzaju eksperymentem. Z rozmysłem użyłem prostego ośmiobitowego AVR-a, a nie np. zbliżonego cenowo (a wielokrotnie wydajniejszego) mikrosterownika z rdzeniem ARM. Miało to swoją cenę: z jednej strony w postaci długiego czasu realizacji projektu, a z drugiej – mocnych uproszczeń w algorytmie syntezy. Przełożyło się to na niedoskonałości brzmienia wynikłe ze zjawiska, z którym musi walczyć każdy konstruktor cyfrowych urządzeń muzycznych: *aliasingu*, czyli nakładania się widm. W tym przypadku bierze się ono stąd, że przebiegi sygnału zapisane w pamięci, a więc spróbkowane, są odtwarzane z inną częstotliwością próbkowania. W celu zmniejszenia efektów *aliasingu* zastosowałem pewien środek: w pamięci flash

POTENCJOMETRY		
sekcja	nazwa	parametr
MODULATION	-	intensywność wszystkich modulacji
ENVELOPE	ATTACK	czas narastania obwiedni
ENVELOPE	DECAY	czas opadania obwiedni
OSCILLATORS	PORTAMENTO	czas płynnego przechodzenia między wysokościami dźwięku
OSCILLATORS	OSC B DETUNE	odstrojenie oscylatora B od częstotliwości znamionowej
FILTER	FREQUENCY	częstotliwość graniczna filtru
OUTPUT	VOLUME	poziom sygnału na wyjściu (funkcja analogowa)

Tabela 1

przechowywany jest nie jeden, lecz kilka przebiegów sygnału, o coraz mniejszej zawartości składowych harmonicznym. Ten czy inny przebieg jest wybierany w zależności od częstotliwości podstawowej dźwięku tak, by harmoniczne nie wychodziły poza zakres kilkunastu kHz. Niestety, sposób ten jest bardzo pamięciożerny, a pomaga tylko częściowo. *Aliasing* objawia się niewielkim chrypieniem i drżeniem dźwięku. Na szczęście występuje prawie wyłącznie przy wysokich częstotliwościach sygnału.

Opisywany AVR SYN2 to następca syntezatora AVR SYN, który powstał w 2002 roku. Jest oferowany w formie „kitu”, aczkolwiek w dalekiej Australii (www.elby-designs.com/contents/en-us/p2.html). W Internecie można

znaleźć jego dokumentację, m.in. kompletny kod źródłowy programu.

Zbudowanie opisanego układu można polecić nie tylko elektronikom, ale także radzącym sobie z lutownicą muzykom. AVR SYN2 nie wymaga kłopotliwego uruchamiania, a pozwoli uzyskać wiele klasycznych brzmień syntezy; jest przy tym prosty i intuicyjny w obsłudze. Niedoskonałości toru syntezy owocują wprawdzie charakterystycznym „brudkiem” dźwiękowym, ale to, podobnie jak w starszym Minimooou D, nie tyle stanowi wadę, ile przekłada się na specyficzne, rozpoznawalne brzmienie.

Jarosław Ziembicki
j.ziembicki@wp.pl

Wykaz elementów	
R1	10Ω
R6,R10,R13	220Ω
R7	1kΩ
R2-R5,R8,R11,R12,R14	15kΩ
R9	1MΩ
P1-P7 ...	10kΩ liniowy (TRIM-POT RV121NP/H/-B10K-30F)
C6,C7	22pF ceramiczny NPO lub COG
C19	330pF 5% ceramiczny NPO lub COG
C17,C18	2,2nF 5% ceramiczny NPO lub COG
C2,C3,C8-C16,C20	0,1μF ceramiczny
C1,C4,C5,C21	22μF/16V elektrolityczny
D1-D13,D15	1N4148
D14	1N4001
D16	LED 3mm
SW1-SW11	przełącznik trójpoziomy (TRIM-POT SS23D03G5)
SW12,SW13	podwójny DIP switch
J1	gniazdo zasilania 2,1/5,5mm (TME PC-GK2.1)
J2	złącze goldpin 2x3, raster 2,54mm
J3	gniazdo DIN (TME DC-205)
J4	gniazdo JACK 6,32mm (TME JC-211)
U1	ATMEGA168-20PU (DIP28)
U2	78L05 (TO92)
U3	PC900 (DIP6)
U4	LM358 (DIP8)
X1	kwarc 20MHz (HC49)

Komplet podzespołów z płytą jest dostępny w sieci handlowej AVT jako kit szkolny AVT-3049.

Tabela 2

PRZEŁĄCZNIKI		
sekcja	nazwa	parametr
ENVELOPE	MODE	tryb obwiedni: SU = narastanie-podtrzymanie-wybrzmiewanie, jednokrotne; AR = narastanie-wybrzmiewanie, jednokrotne; LP = narastanie-wybrzmiewanie, cykliczne
LFO	SPEED	częstotliwość LFO: LO = 1Hz; ME = 7Hz; HI = 25Hz
LFO	WAVE	przebieg LFO: TR = trójkątny; SQ = prostokątny; RD = pseudolosowy
OSCILLATORS	MOD	źródło modulacji oscylatorów: -- = brak; LF = LFO (efekt <i>vibrato</i>); EN = obwiednia
OSC A	RANGE	przesunięcie częstotliwości oscylatora A: 16 = o oktawę w dół; 8 = bez przesunięcia; 4 = o oktawę w górę
OSC A	WAVE	przebieg oscylatora A: SA = piłokształtny; SQ = prostokątny o wypełnieniu 50%; PU = prostokątny o wypełnieniu modulowanym przez LFO
OSC B	RANGE	przesunięcie częstotliwości oscylatora B: 16 = o oktawę w dół; 8 = bez przesunięcia; 4 = o oktawę w górę
OSC B	WAVE	przebieg oscylatora B: SA = piłokształtny; SQ = prostokątny o wypełnieniu 50%; NO = szum biały
FILTER	MOD	źródło modulacji filtru: -- = brak; LF = LFO (efekt <i>wah-wah</i>); EN = obwiednia
FILTER	RESONANCE	dobroć filtru: -- = niska; LO = średnia; HI = wysoka
OUTPUT	MOD	źródło modulacji poziomego sygnału: -- = brak; LF = LFO (efekt <i>tremolo</i>); EN = obwiednia
MIDI IN	SW13/SW12	kanal odbiorczy MIDI: OFF/OFF = wszystkie (tryb OMNI) OFF/ON = 1. ON /OFF = 5. ON / ON = 9.