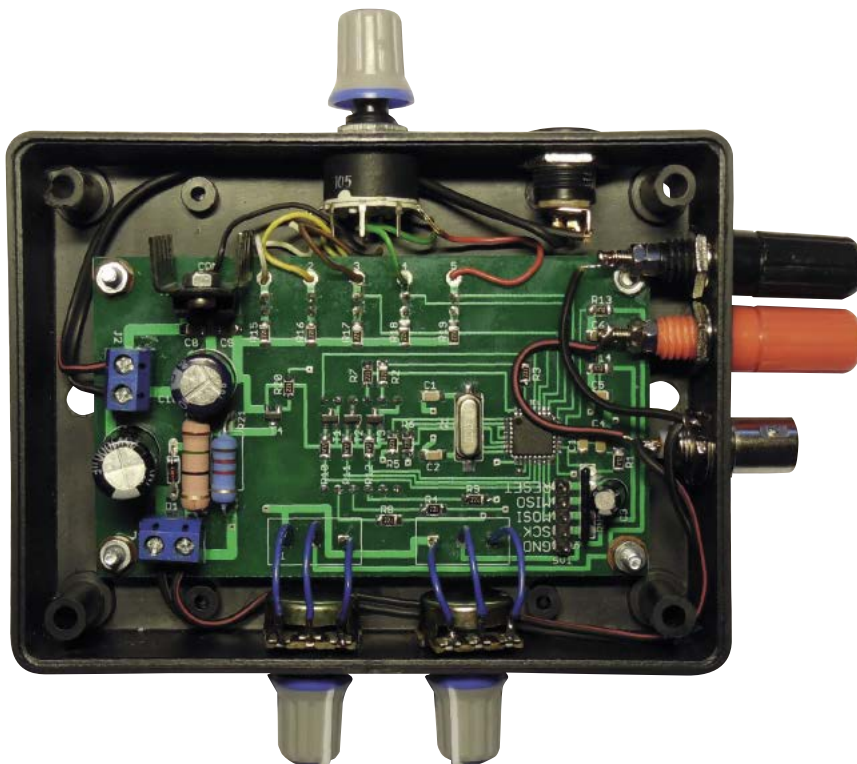


# Cyfrowy generator sygnału prostokątnego

**AVT  
5418**

Nieodzownym przyrządem w pracowni każdego elektronika jest generator. Jeśli zajmujemy się techniką cyfrową, to do większości zastosowań wystarczy generator przebiegu prostokątnego. Dobrze, aby miał regulowaną częstotliwość i wypełnienie impulsów. Napięcie wyjściowe powinno mieć co najmniej poziom TTL – do układów CMOS łatwo dopasować go np. za pomocą dzielnika rezystorowego. Te warunki spełnia projekt generatora opisany w artykule.

**Rekomendacje:** przyrząd dla elektroników-eksperymentatorów, którzy szukają niedrogiego i użytecznego wyposażenia dla swojej pracowni – generuje przebieg TTL o zadanej częstotliwości i wypełnieniu.



Schemat ideowy generatora pokazano na rysunku 1. Można na nim wyodrębnić następujące bloki funkcjonalne:

- Stabilizator napięcia zasilania.
- Mikrokontroler ATmega8 z rezonatorem kwarcowym i obwodami polaryzującymi odpowiednie wejścia.
- 3-cyfrowy wyświetlacz 7-segmentowy ze sterownikami anod i rezystorami ograniczającymi prąd segmentów.
- Potencjometryczne regulatory częstotliwości i wypełnienia.
- 5-pozycyjny przełącznik wyboru zakresu częstotliwości z diodami LED sygnalizującymi wybrany zakres.
- Tranzystor wykonawczy z zabezpieczeniami.

Stabilizator napięcia zasilania dostarcza dobrze odfiltrowanego napięcia stałego +5 V do zasilania innych bloków. Aby sygnał wyjściowy nie był zniekształcony (głównie przez wolno narastające zbrocza po dołączeniu stosunkowo dużego obciążenia), musi on charakteryzować się możliwie małą impedancją wewnętrzną. Z tego względu zastosowano kondensatory elektrolityczne o pojemności nieco większej niż ta, którą stosuje się zwy-

czajowo w układach o podobnym poborze prądu. Kondensatory ceramiczne C7 i C9 zamontowano bardzo blisko wyprowadzeń stabilizatora, by zakłócenia impulsowe, które będą propagowały się po ścieżkach, nie doprowadziły do jego wzbudzenia.

Mikrokontroler typu ATmega8 jest centralnym układem sterującym w generatorze. Odpowiada za obsługę interfejsu użytkownika oraz generowanie sygnału o pożądanej częstotliwości i wypełnieniu, dlatego źródło sygnału zegarowego musi być możliwie stabilne w funkcji czasu i temperatury. Temu zadaniu z powodzeniem może sprostać rezonator kwarcowy Q1 o częstotliwości 16 MHz.

Rezystor R1 oraz kondensator C4 filtrują napięcie zasilające, które jest używane jako napięcie referencyjne dla wbudowanego przetwornika A/C, który z kolei służy do odczytywania położenia osi potencjometrów. Takie rozwiązanie nie zapewnia wprawdzie wysokiej stabilności owego napięcia (stabilizatory typu 78xx nie nadają się do pracy jako źródła napięcia referencyjnego), lecz ceną zaletą wszystkich przetworników A/C jest prezentowanie pomiaru w formie względnej, to znaczy, jaką częścią napięcia odniesienia

#### W ofercie AVT\*

 AVT-5418 A AVT-5418 B  
 AVT-5418 UK

#### Podstawowe informacje:

- Sygnał wyjściowy: prostokątny, TTL o obciążalności ok. 300 mA.
- Zakres generowanych częstotliwości: 0...49,9 kHz.
- Zmiana wypełnienia w zakresie 1...99%.
- Płytką drukowaną o wymiarach 95 mm×55 mm

#### Dodatkowe materiały na CD lub FTP:

[ftp://ep.com.pl, user: 52062, pass: 2174bqnf](http://ftp://ep.com.pl, user: 52062, pass: 2174bqnf)

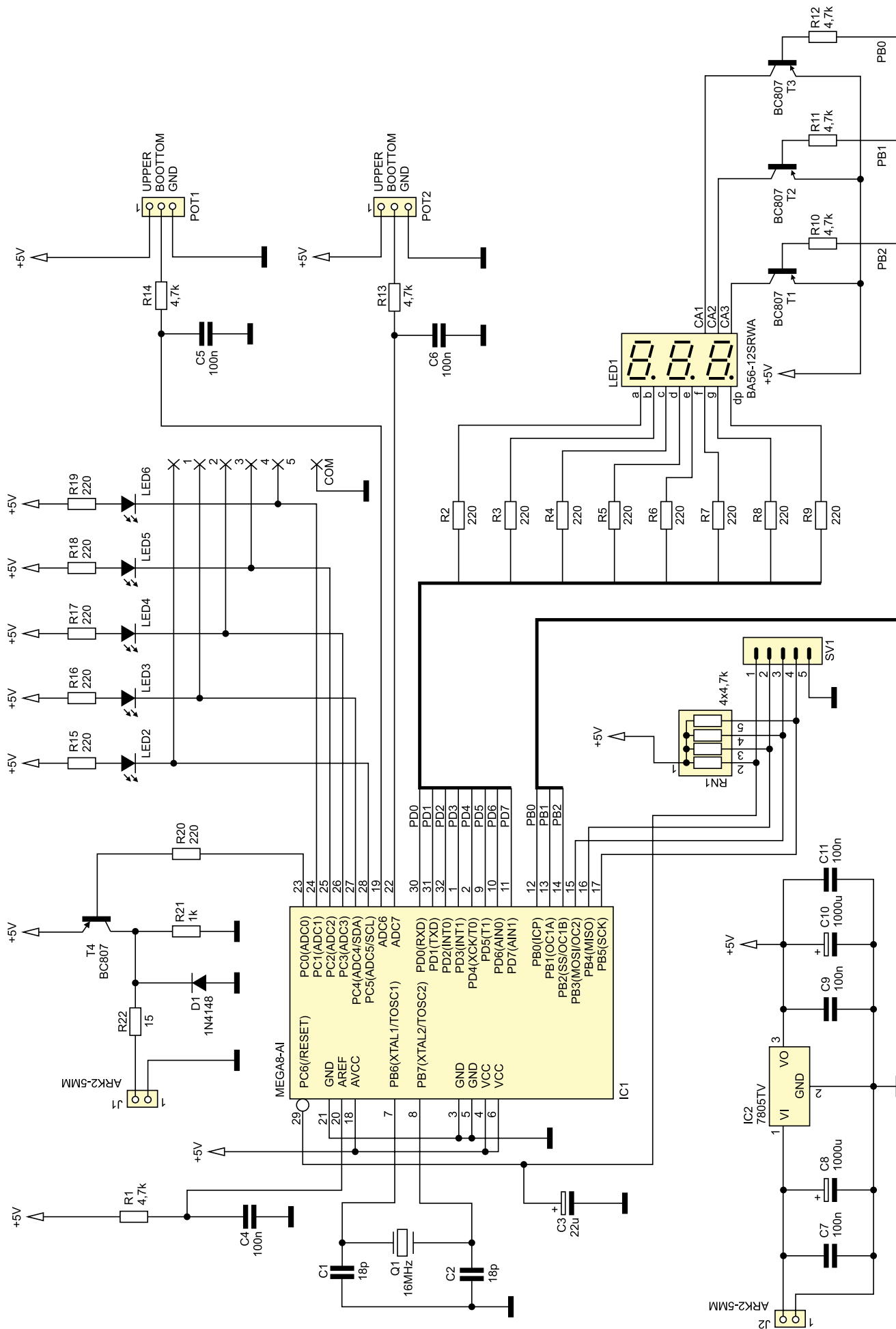
- wzory płytek PCB
- karty katalogowe i noty aplikacyjne elementów oznaczonych w Wykazie elementów kolorem czerwonym

#### Projekty pokrewne na CD/FTP:

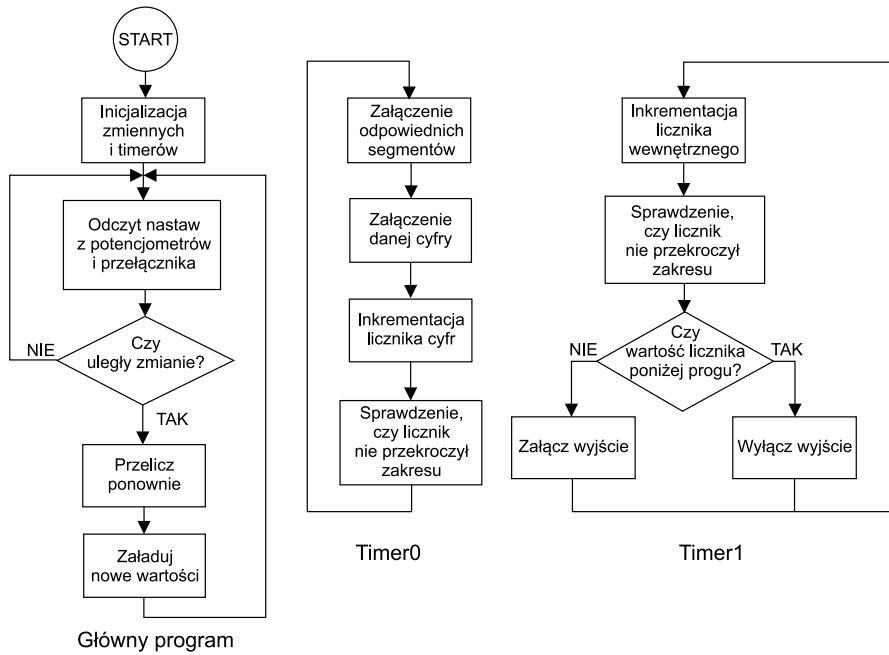
(wymienione artykuły są w całości dostępne na CD)

AVT-1728	Generator HF z powielaniem częstotliwości (EP 3/2013)
AVT-5155	Generator DDS (EP 10-11/2008)
AVT-1474	Generator fali prostokątnej o regulowanym współczynniku wypełnienia (EP 8/2008)
AVT-2869	Generator DDS (EdW 7/2008)
AVT-5124	Generator funkcyjny DDS (EP 2/2008)
AVT-2846	Generator funkcyjny 0,1 Hz–20 MHz (EdW 11/2007)

\* Uwaga: Zestawy AVT mogą występować w następujących wersjach:  
 AVT xxxx UK to zaprogramowany układ. Tylko i wyłącznie. Bez elementów dodatkowych.  
 AVT xxxx A płytką drukowaną PCB (lub płytki drukowane, jeśli w opisie wyraźnie zaznaczono), bez elementów dodatkowych.  
 AVT xxxx A+ płytką drukowaną i zaprogramowany układ (czyli połączenie wersji A i wersji UK) bez elementów dodatkowych.  
 AVT xxxx B płytką drukowaną (lub płytki) oraz komplet elementów wymienionych w załączniku pdf  
 AVT xxxx C to nic innego jak zmontowany zestaw B, czyli elementy wlotowane w PCB. Należy mieć na uwadze, że o ile nie zaznaczono wyraźnie w opisie, zestaw ten nie ma obudowy ani elementów dodatkowych, które nie zostały wymienione w załączniku pdf  
 AVT xxxx CD oprogramowanie (nieczęsto spotykana wersja, lecz jeśli występuje, to niezbędne oprogramowanie można pobrać, klikając w link umieszczony w opisie kitu)  
 Nie każdy zestaw AVT występuje we wszystkich wersjach! Każda wersja ma załączony ten sam plik pdf! Podczas składania zamówienia upewnij się, którą wersję zamawiasz! (UK, A, A+, B lub C). <http://sklep.avt.pl>



Rysunek 1. Schemat ideowy generatora



Rysunek 2. Schemat blokowy programu

jest napięcie mierzone. Jeżeli obydwa będą fluktuować dokładnie w ten sam sposób (poza zmiany na chwili wykonywania pomiaru, lecz to ma zbyt mały wpływ w tym układzie), wówczas wystawiana przez przetwornik wartość będzie niezależna od faktycznie panującego w układzie napięcia.

Nieużywane wyprowadzenia mikrokontrolera powinny mieć ustalony potencjał względem masy. Do takich należą piny służące do programowania w trybie ISP. Są

one „podciągnięte” do wysokiego poziomu logicznego za pomocą rezystorów RN1. Kondensator C3 jest odpowiedzialny za podanie logicznego „0” na wyprowadzenie *Reset* przez chwilę od włączenia napięcia zasilania. Powoduje to, iż wykonywanie programu rozpoczyna się po ustabilizowaniu się napięcia zasilającego.

Nastawiona wartość częstotliwości i wypełnienia jest wyświetlana na 3-cyfrowym wyświetlaczu 7-segmentowym LED. Cyfry mają wspólną anodę, dlatego do ich sterowania użyto tranzystorów bipolarnych typu PNP. Prądy poszczególnych segmentów są ustalane przez rezystory R2...R9. Sterowanie jest multipleksowane i odbywa się w procedurze obsługi przerwania od przepełnienia sprzętowego licznika Timer0.

Zdecydowano się, by częstotliwość i wypełnienia były ustalane za pomocą potencjometrów jednoobrotowych. Są one połączone w układzie dzielnika napięcia, a ich suwaki dołączone są (za pośrednictwem prostego filtra przeciwzakłócenieniowego) do wejść przetwornika A/C. Nastawiane wartości są wyświetlane na bieżąco.

Częstotliwość generowanego sygnału prostokątnego podzielono na 5 podzakresów. Do wybrania zakresu służy przełącznik 5-pozycyjny. Wybrany zakres jest sygnalizowany świeceniem się odpowiedniej diody. Ponieważ sam przełącznik nie został umiejscowiony na płytce, jego kształt ani rodzaj nie mają tu znaczenia – można użyć potencjometru obrotowego (jak w układzie testowym) lub suwakowego, czy jakiegokolwiek innego.

Wydajność prądowa pojedynczego wyjścia zastosowanego mikrokontrolera AVR to zaledwie 20 mA. Ponadto, w razie jego uszkodzenia, musi być wymieniony cały układ scalony. Z tych powodów zastosowa-

no tranzystor BC807 (identyczny, jak do wyświetlacza), którego prąd kolektora może sięgać wartości 800 mA, pracujący w układzie wspólnego emitera. Obciążeniem kolektora jest rezystor R21 oraz dołączony do złącza J1 obwód. Dioda D1 zabezpiecza przed wystąpieniem na tranzystorze napięcia o polaryzacji przeciwnej (np. powstającego przy wyłączeniu cewki przekaźnika), które mogłoby doprowadzić do jego uszkodzenia. Rezystor R22 służy do ograniczenia prądu wyjściowego do „bezpiecznej” wartości, wynoszącej około 300 mA. Wystarcza to do sterowania brkami logicznymi, diodami LED czy niewielkimi przekaźnikami. Takie rozwiązanie ma jednak pewną wadę: napięcie logicznej „1” będzie mniejsze od 5 V o napięcie  $U_{CEsat}$  tranzystora, które typowo wynosi ok. 0,5...0,7 V.

### Program

Program napisano w języku C. Składa się z programu głównego (wykonującego się w pętli nieskończonej) oraz dwóch podprogramów, których obsługa rozpoczyna się w momencie wykrycia przerwania od przepełnienia któregoś ze sprzętowych liczników Timer0 lub Timer1. Schemat blokowy oprogramowania sterującego zamieszczono na rysunku 2.

Timer0 zapewnia sterowanie wyświetlaczem w trybie multipleksowym. Jego pojemność wynosi 8 bitów, co w połączeniu z preskalerem 256 i zegarem 16 MHz daje ok. 244 przerwania na sekundę, więc każda cyfra jest odświeżana z częstotliwością ok. 80 Hz. Jest to wartość wystarczająca, aby zapobiec wrażeniu migotania, a jednocześnie na tyle mała, że nie wpływa negatywnie na podstawową funkcję układu.

Licznik Timer1 daje tyle przepełnień na sekundę, ile wynika z iloczynu żądanej częstotliwości oraz ilości kroków regulacji wypełnienia. Dla przykładu, jeżeli ustawiono częstotliwość 35 Hz i wypełnienie 27% (rozdzielczość regulacji wypełnienia wynosi 1%), Timer1 osiąga  $3 \times 100 = 3500$  przepełnień na sekundę, z czego w jednym okresie sygnału generowanego 27 przepełnień ustawia wyjście, a 73 je zeruje. Jest to stosunkowo prosta i niezawodna metoda osiągnięcia żadanego wypełnienia, okupiona koniecznością częstego wywoływania przerwania od przepełnienia, a co za tym idzie – niemożnością uzyskiwania dużych częstotliwości sygnału generowanego.

Wartość licznika Timer1 jest obliczana z następującej zależności:

$$Value(x) = 65535 - \frac{f_{clk} \cdot Max}{x \cdot f_{max} \cdot Steps \cdot Prescaler}$$

gdzie:

*Value* – nowa wartość do wpisania

*Steps* – ilość kroków, w jakich regulowane jest wypełnienie w danym zakresie (100, 10 lub 4)

### Wykaz elementów

#### Rezystory:

R1, R10...R14: 4,7 kΩ (SMD 1206)  
 R2...R9, R15...R20: 220 Ω (SMD 1206)  
 R21: 1 kΩ/0,25 W (przewlekany)  
 R22: 15 Ω/3 W (przewlekany)  
 RN1: 4 × 10 kΩ (SIL5)  
 P1, P2: 10 kΩ potencjometr

#### Kondensatory:

C1, C2: 18 pF/50 V (SMD 1206)  
 C3: 22 μF/25 V (elektrolit.)  
 C4...C7, C9, C11: 100 nF/50 V (SMD 1206)  
 C8, C10 1000 μF/25V elektrolityczny THT

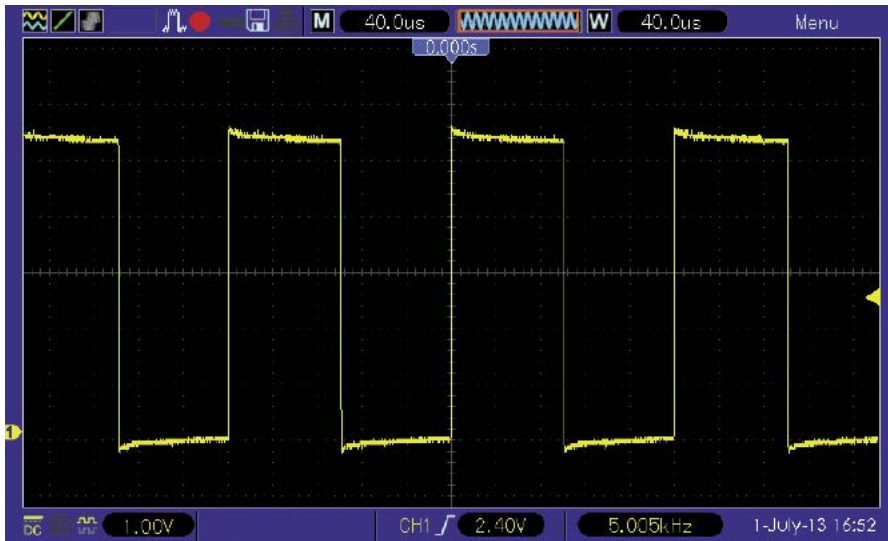
#### Półprzewodniki:

D1: 1N4148 (DO35)  
 IC1: ATmega8-16AU (TQFP32)  
 IC2: LM7805 (TO-220)  
 LED1: BA56-12SRWA  
 LED2...LED6: dioda LED 3 mm, czerwona, matowa

#### T1...T4: BC807

#### Inne:

J1, J2: ARK2 5 mm  
 Q1: kwarc 16 MHz (SMD, niski, HC49/U7S)  
 SV1: goldpin 5-pinowe, męski, proste 2,54 mm  
 Radiator na obudowę TO-220  
 Przełącznik obrotowy 1 × 5 pozycji (np. RS 16 mm)  
 Złącze zasilające (np. DC 2,5/5,5 mm)  
 Złącze sygnałowe (np. żeńskie BNC+gniazda bananowe)  
 Obudowa Z-80  
 Filtr czerwony na wyświetlacz



Rysunek 3. Oscylogram przebiegu napięcia wyjściowego

*Prescaler* – jeden z dostępnych sprzętowych prescalerów sygnału zegarowego: 256, 64, 4 lub 1

$f_{clk}$  – częstotliwość pracy zegara systemowego; tutaj 16 MHz

$f_{max}$  – maksymalna częstotliwość do uzyskania w danym zakresie

*Max* – ilość możliwych wartości zmiennej  $x$ ; tutaj: 1000

$x$  – wartość odczytana z ADC, w zakresie 0 – 999

Ponieważ wbudowany przetwornik A/C ma rozdzielczość 10 bitów, oznacza to, że

podawana przez niego wartość zawiera się w przedziale od 0 do  $2^{10}-1$ , czyli do 1023. Aby uprościć całe przeliczanie, zdecydowano się na jego ograniczenie do 999, co daje 1000 możliwych wartości. Jedyną drobną niedogodnością z tego tytułu jest niewielkie zawężenie dostępnego zakresu regulacji potencjometrem (o ok. 2%), za to nie odczuwa się skutków nieliniowości regulacji, wywołanej zaokrągleniem przeskalowanej wartości do postaci liczby całkowitej.

Tabela 1. Błąd względny generowanej częstotliwości w wybranych punktach

Częstotliwość ustawiona	Częstotliwość zmierzona	Błąd względny
49,9kHz	50,417kHz	1,03%
25,0kHz	24,781kHz	0,88%
9,90kHz	9,867kHz	0,33%
5,00kHz	5,004kHz	0,08%
995Hz	994,95Hz	0,01%
500Hz	498,77Hz	0,25%
99,5Hz	98,15Hz	1,38%
50,0Hz	49,01Hz	2,01%
9,95Hz	9,92Hz	0,30%
5,00Hz	4,96Hz	0,81%

Każdy z zakresów został podzielony na podzakresy (zależne od położenia potencjometru regulacji częstotliwości), w których do wyniku obliczenia dodawana jest pewna stała wartość. Dzięki temu zabiegowi błąd względny częstotliwości, rozumiany jako odchyłka odniesiona do wartości zmierzonej w najgorszym przypadku nie przekracza 2%. Udowadnia to poniższa tabela 1. Błąd względny wskazań użytego do pomiarów miernika MC56 wynosi 10 ppm i można go zaniedbać.

Oscylogram przebiegu wyjściowego przy częstotliwości 5 kHz i wypełnieniu 50% prezentuje rysunek 3.

REKLAMA

**Montaż**

Układ zmontowano na płytce dwustronnej o wymiarach 95 mm×55 mm, której schemat montażowy pokazano na **rysunku 4**. Ze względu na umiejscowienie elementów po obu stronach płytki oraz gęste ich zgrupowanie w niektórych miejscach, wskazana jest następująca kolejność montażu: mikrokontroler ATmega8, tranzystory T1...T4, rezystory i kondensatory SMD, kwarc Q1, dioda D1, drabinka rezystorowa RN1, złącze goldpin SV1, rezystory R21 i R22 (kilka milimetrów nad płytką), złącza śrubowe J1 i J2, kondensatory elektrolityczne (od najmniejszego), stabilizator IC1, przewody do potencjometrów i przełącznika, wyświetlacz LED (po przeciwnej stronie płytki, diody LED2...LED6 (po przeciwnej stronie płytki, 10 mm nad laminatem), radiator.

Przed wgraniem do pamięci Flash mikrokontrolera właściwego programu, należy uprzednio ustawić w nim odpowiednie bity zabezpieczające (**rysunek 5**); jest to zrzut okienka programu do obsługi programatora w z Bascom AVR.

**Eksploatacja**

Generowana częstotliwość znajduje się w jednym z pięciu zakresów – szczegóły umieszczono w **tabeli 2**. Układ należy zasilac ze źródła prądu stałego o napięciu nie mniejszym niż 8 V (wymagany spadek napięcia na stabilizatorze LM7805) oraz wydajności prądowej nie mniejszej niż 200 mA. Jeżeli do wyjścia będą dołączane obciążenia o znacznym poborze prądu, wówczas ta wydajność powinna być odpowiednio większa. Jednocześnie należy mieć na uwadze moc traconą w stabilizatorze. W urządzeniu modelowym zastosowano niewielki radiator, który dobrze spisuje się w opisanych wyżej warunkach.

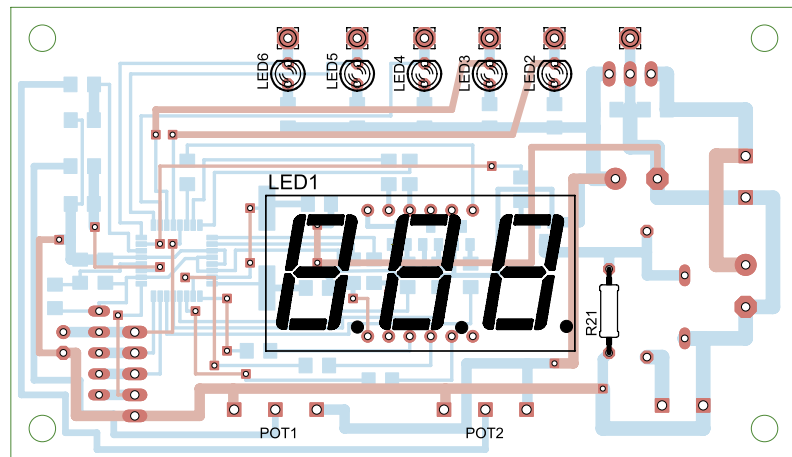
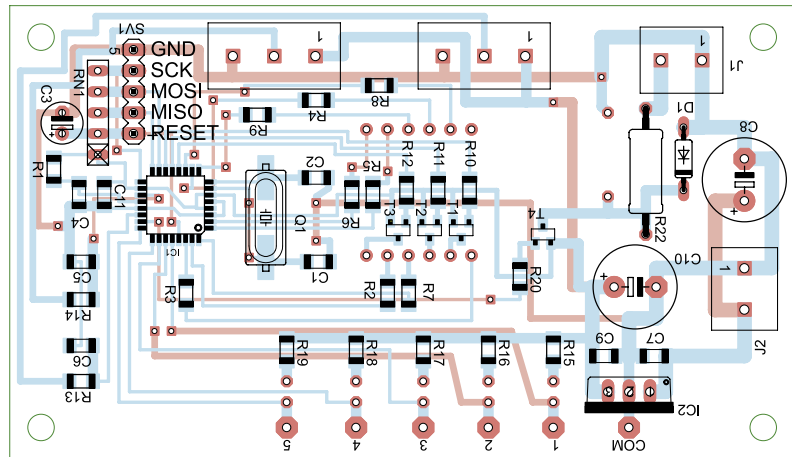
Po poprawnym zmontowaniu, układ gotowy jest do pracy i nie wymaga jakichkolwiek czynności uruchomieniowych. Aby uniknąć zwarcia wywołanego przypadkowym dotknięciem metalowymi przedmiotami, należy go zamknąć w obudowie mającej szybką osłaniającą wyświetlacz. Układ

dobrze pasuje do standardowej obudowy typu Z80, co prezentuje **fotografia 1**. Jako złącza zasilającego użyto standardowego DC 2,1/5,5 mm, natomiast jako sygnałowych – żeńskiego gniazda BNC i dwóch zacisków śrubowych z możliwością włożenia wtyku bananowego.

Nominalnie na wyświetlaczu jest wyświetlana ustawiona wartość częstotliwości. Regulacja wypełnienia powoduje przełącze-

nie go na wyświetlanie wypełnienia; po sekundzie od zaprzestania manewrowania pokrętelem, samoczynnie przełącza się na wskazywanie częstotliwości. Tak samo dzieje się po zmianie zakresu przełącznikiem. Jeżeli konieczne było ponowne obliczenie wartości wypełnienia sygnału, zaraz po przełączeniu wskazywana jest jego wartość, a sekundę później częstotliwość.

**Michał Kurzela, EP**



**Rysunek 4. Schemat montażowy generatora**

<b>Fusebits</b>	FF
Fusebit C	1:BODLEVEL 2.7V
Fusebit B	1:BODEN disabled
Fusebit KLA987	111111:Ext. Crystal/Resonator High Freq.; Start-up time: 16K CK + 64 ms; [i]
<b>Fusebits High</b>	D9
Fusebit High M	1:PIN PC6 is RESET
Fusebit High J	1:WDT enabled by WDTCSR
Fusebit High I	0:SPI enabled
Fusebit High H	1:CKOPT 1
Fusebit High G	1:Erase EEPROM when chip erase
Fusebit High FE	00:1024 words boot size, C00
Fusebit High D	1:Reset vector is \$0000

**Rysunek 5. Konfiguracja bitów zabezpieczających w mikrokontrolerze**

Tabela 2. Podział częstotliwości na zakresy		
Numer zakresu	Zakres	Wypełnienie
1	0 – 9,95Hz, krok 0,05Hz	Krok 1%
2	0 – 99,5Hz, krok 0,5Hz	Krok 1%
3	0 – 999Hz, krok 5Hz	Krok 10%
4	0 – 9,9kHz, krok 0,1kHz	Krok 25%
5	0 – 49,9kHz, krok 0,1kHz	Krok 25%

REKLAMA