

Uniwersalny timer oraz theremin

Fotografia wstępna pokazuje uniwersalny układ czasowy. Może się wydawać, że taki uniwersalny timer to temat banalny i niepraktyczny. W rzeczywistości każdy elektronik wcześniej czy później potrzebuje układu czasowego, za pomocą którego albo uruchomi jakieś inne urządzenie na pewien czas, albo też o pewien czas opóźni jego włączenie. Nasz uniwersalny układ czasowy ma nieskomplikowaną budowę, a realizuje dodatkowe pożyteczne funkcje. Zawiera linijkę czasu, która pokazuje upływ czasu, co w wielu zastosowaniach jest bardzo pożądane.

Po pierwsze, do wyboru mamy dwa główne tryby pracy:

1 – po naciśnięciu przycisku lub po włączeniu napięcia zasilania układ wytwarza impuls, który włącza przełącznik na określony czas,

2 – po włączeniu zasilania przełącznik zostanie włączony z określonym opóźnieniem.

Po drugie mamy do wyboru wersje:

A – z możliwością dowolnego przedłużania czasu za pomocą przycisku.

B – bez możliwości przedłużania czasu.

W wersji podstawowej czasy opóźnienia mogą sięgać do kilku minut, natomiast w wersji z dodatkowym licznikiem czasy mogą sięgać wielu godzin.

Opis układu dla „zaawansowanych”

Schemat uniwersalnego timera pokazany jest na rysunku A. Elementy R5, C2 zerują licznik po włączeniu zasilania, co jest bardzo ważne, żeby układ zaczynał pracę zawsze od „punktu zerowego”.

Gdy licznik zostaje wyzerowany, zaświeca się zielona dioda LED1. Na wyjściu Q9 (nóżka 11) panuje stan niski, a w punkcie X stan wysoki, co otwiera T2 i uruchamia przełącznik i diodę LED10 oraz umożliwia pracę generatora na bramce U1B i pulsowanie diody LED1, a potem następnych diod. Stan wysoki w punkcie X umożliwia też pracę głównego generatora z bramkami U1A, U1D, przez co licznik U2 zlicza kolejne impulsy i zaświeca kolejne diody.

Gdy stan wysoki pojawi się na wyjściu Q9 (n. 11), generatory przestają pracować, a przełącznik REL zostaje wyłączony – jest to stan spoczynku i układ nie pobiera prądu. Naciśnięcie przycisku S1 rozpocznie kolejny cykl pracy.

Dołączenie emitera T1 do punktu A powoduje, że podczas odliczania czasu każde naciśnięcie przycisku S1 zeruje licznik U2 i przedłuża zliczanie. Dołączenie do punktu B daje układ bez możliwości przedłużania czasu, jak w modelu z fotografii tytułowej.

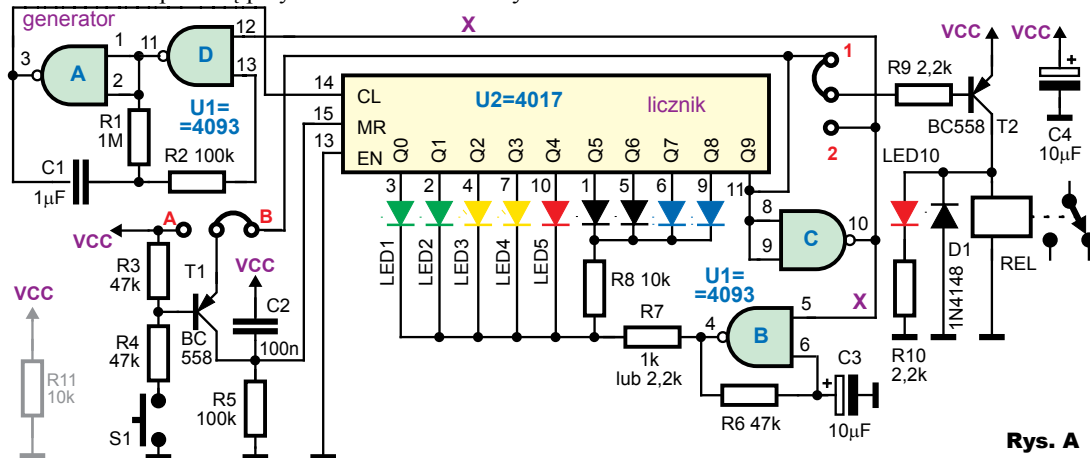
W spoczynku układ nie pobiera prądu i kondensator filtrujący C4 nie może się rozładować.

Gdy układ ma być uruchamiany przez podanie napięcia zasilania, równoległe do kondensatora C4 należy dołączyć rezystor zaznaczony szarym kolorem rezystor R11, który zapewni jego rozładowanie do zera, co po ponownym włączeniu zasilania pozwoli obwodowi R5, C2 prawidłowo wyzerować układ.

W Elportalu (elportal.pl/pke) można znaleźć dwa filmiki, pokazujące pracę wersji wytwarzającej impuls z możliwością przedłużania czasu i bez tej możliwości.

Poznajemy elementy i układy elektroniczne

W układzie tytułowym wykorzystaliśmy popularny generator dwubramkowy. Trzeba też wiedzieć, że istnieją specjalizowane układy scalone

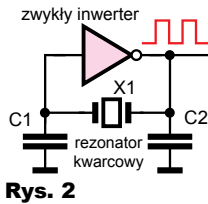


Rys. A

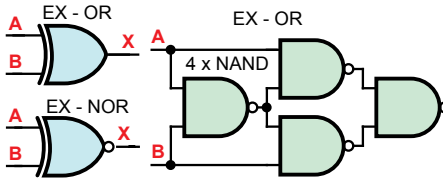
generatorów i prze-
rzutników monosta-
bilnych, w tym naj-
popularniejszy 555.
W rodzinie cyfrowych
układów CMOS 4000
mamy uniwersalny
timer 4047 oraz kilka
podwójnych uniwibratorów: 4098, 4528,
4538, 4548 o bardzo podobnej konstruk-
cji. We wszystkich odmierzany czas (czę-
stotliwość) wyznacza obwód RC, więc
dla uzyskania sensownej dokładności
oraz stabilności długoczasowej i termicz-
nej należy użyć kondensatora stałego
(foliowego lub ceramicznego C0G), a nie
elektrolitycznego. Z uwagi na ograniczo-
ną pojemność kondensatorów stałych,
praktycznie nie jest możliwe odmierzanie
w ten sposób długich czasów (powyżej
minuty). Odmierzany czas można dowolnie
zwiększyć, stosując liczniki (dzielniki).
W rodzinie CMOS 4000 mamy do
dziś popularny układ 4541 – specjali-
zowany uniwersalny timer z licznikiem
do odmierzania nawet bardzo długich
czasów. W wielu przypadkach można
wykorzystać popularne liczniki dwójko-
we: 4020, 4040, a naj-
chętniej stosowany jest
4060, który ma dodate-
kowy obwód oscylatora.
Jeden z tych liczników
można byłoby wykorzysta-
ć w układzie tytuło-
wego timera, by uzyskać
dowolnie długie czasy,
nawet dni.

Gdy potrzebna jest
większa dokładność,
wykorzystuje się rezonatory kwarcowe,
zwane potocznie kwarcami –
fotografia 1. Bardzo czę-
sto stosowany generator
kwarcowy na bramce lub
inwerterze pokazany jest
na **rysunku 2**.

Bramki złożone.
Oprócz absolutnie pod-
stawowych NOT,
AND, OR, NAND,
NOR, pożyteczna
bywa też bramka
realizująca funkcję
XOR, inaczej EXOR
(Exclusive OR).
Łatwo zapamiętać, że
dwuwejściowa bramka EXOR jest podobna do bramki OR, tylko przy stanie wysokim na obu wejściach, wyjście ma stan zero



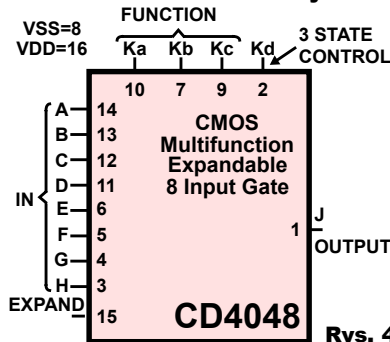
Rys. 2



EX - OR		
A	B	X
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Rys. 3

(w wielowejściowych
bramkach EXOR stan wysoki
na wyjściu występuje wtedy,
gdy na nieparzystej liczbie
wejść panuje stan wysoki).
Dostępne są też bramki EXNOR
(XNOR) z dodatkowym
negatorem na wyjściu.
Rysunek 3 pokazuje symbole
bramek EXOR i EXNOR oraz sposób
realizacji EXOR z czterech
bramek NAND. W rodzinach CMOS
4000 i 74HC dostępne są liczne
bramki, w tym XOR (XNOR).
Ciekawostką jest układ CMOS
4048, zawierający 8-wejściową
bramkę, której funkcję logiczną
można zmieniać za pomocą
trzech wyprowadzeń – **rysunek 4**.

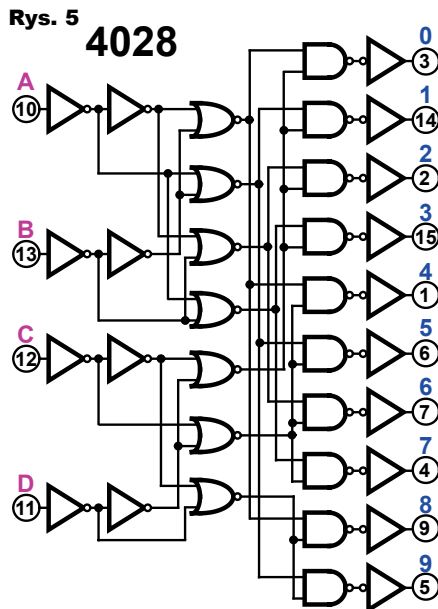


Rys. 4

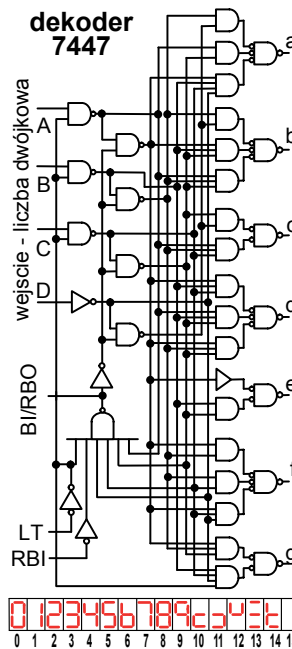
okazują się multiplexery i demultiplexery,
czyli swego rodzaju przełączniki.
Proste przykłady pokazuje **rysunek 8**.
Mamy tu dwa wejścia adresowe A1...A0,
na które podawana jest liczba dwójkowa
z zakresu 0...3 uruchamiająca jedno z
wejść/wyjść.

Wielokrotnie bardziej uniwersalne są tego
rodzaju układy z tak zwanymi

bramkami transmisyjnymi według **rysunku 9**.
Bramka transmisyjna jest odpowiednikiem
sterowanego wyłącznika, elektronicznego
przełącznika. W technologii CMOS
można je zrealizować bardzo łatwo,
uzyskując przy okazji klucz analogowy
załącz/wyłącz, mogący przekazywać
sygnały w obu kierunkach. Podstawą
budowy prostego klucza analogowego
są dwa komplementarne tranzystory
MOS połączone „równolegle”.
Rysunek 10 pokazuje schemat
budowy klucza analogowego z kostki
4016 (zastąpionej przez znacznie
ulepszony układ 4066).
Gdy na wejściu sterującym CONTROL
jest stan niski,



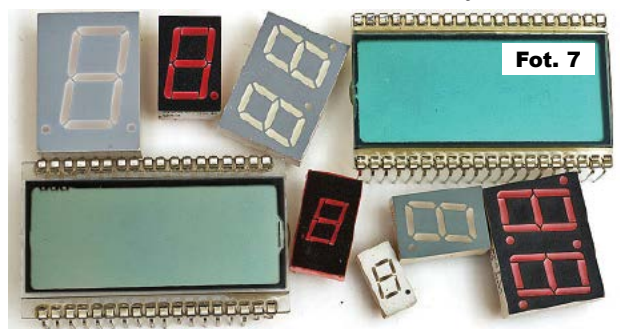
Rys. 5



Rys. 6



Fot. 1

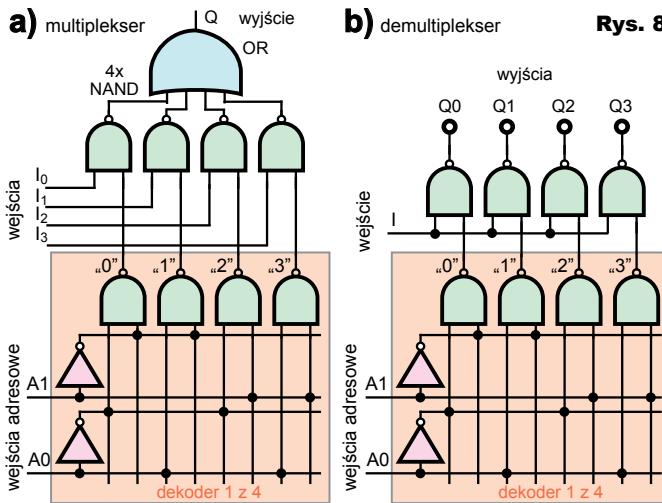


Fot. 7

oba tranzystory klucza (n i p) są zatkane i bramka nie przewodzi – rezystancja między punktami IM/OUT jest ogromna, rzędu wielu megaomów. Stan wysoki na wejściu CONTROL otwiera oba tranzystory – prądy mogą płynąć między punktami IN/OUT w obu kierunkach. Jednak taki otwarty klucz nie jest jednak doskonały – ma pewną rezystancję szeregową, rzędu kilkudziesięciu do kilkuset omów.

Kostki CMOS 4016 i 4066 zawierają cztery niezależne klucze analogowe. Dostępne są też (de)multiplexery z kluczami analogowymi: szesnastokanałowy 4067, ośmiokanałowy 4051, dwa czterokanałowe 4052 i trzy dwukanałowe w kostce 4053. Te klucze i multiplexery analogowe zasadniczo należą do układów cyfrowych, ale przewidziane są do pracy z sygnałami analogowymi (np. audio). Dlatego kostki 4051, 4052, 4053, oprócz końcówek plusa zasilania (V_{DD} , nóżka 16) i masy (V_{SS} , nóżka 8), mają jeszcze dodatkową końcówkę ujemnego napięcia zasilania (V_{EE} , nóżka 7), którą można albo podłączyć do masy (V_{SS}), albo podać na nią ujemne napięcie zasilania, by multiplexer mógł pracować z sygnałami zmiennymi, także ujemnymi względem masy.

Opracowano wiele innych interesujących układów scalonych. Ponieważ mamy do czynienia z liczbami przedstawnymi w systemie dwójkowym, przydatne są układy, które przeprowadzą na liczbach operacje czysto matematyczne. I tak istnieją **komparatory**, czyli układy porównu-

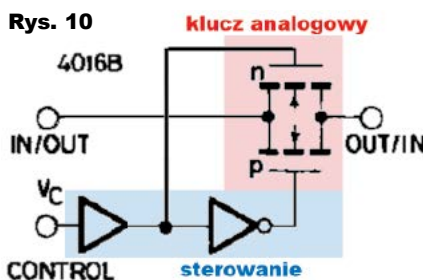


Rys. 8

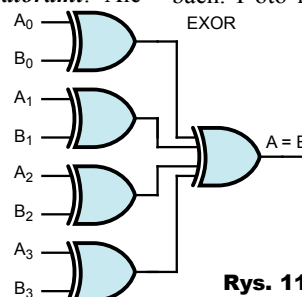
jące dwie liczby dwójkowe. Rysunek 11 pokazuje przykładowy schemat prościutkiego komparatora, sprawdzającego, czy dwie czterobitowe liczby są jednakowe. Scalone komparatory, np. CMOS 4585, dodatkowo określają, która liczba jest większa. Istnieją też układy scalone, które są najprawdziwszymi **sumatorami**. Ale

wych dodawanie, odejmowanie, mnożenie, funkcje logiczne AND, OR, XOR, NOT, a także je porównywać. Schemat wewnętrzny ALU z kostki CMOS40181 jest pokazany na **rysunku 14**.

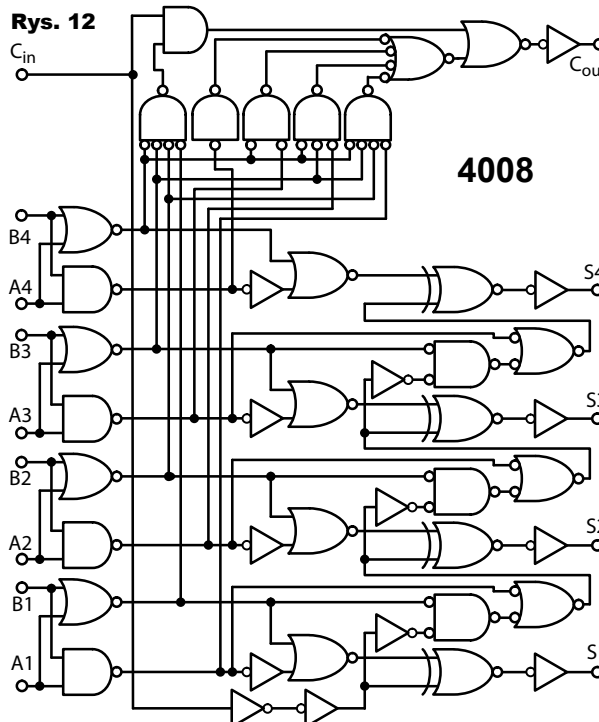
W każdym razie bardziej złożone układy mogą realizować operacje na liczbach. I oto masz też odpowiedź, dlaczego



Rys. 10



Rys. 11



Rys. 12

nie sumatorami logicznymi OR, tylko prawdziwymi układami dodającymi dwie liczby dwójkowe. W rodzinie CMOS4000 mamy 4-bitowy sumator liczb BCD (dziesiętny) 4560 oraz 4-bitowy sumator binarny 4008 o schemacie z **rysunku 12**.

Jeżeli wewnętrzny układ byłby jeszcze bardziej skomplikowany, możemy uzyskać uniwersalny układ arytmetyczny (ALU – *Arithmetic Logic Unit*) według idei z **rysunku 13**. Zależnie od stanu wejść sterujących, układ może przeprowadzać na liczbach wejścio-

wych dodawanie, odejmowanie, mnożenie, funkcje logiczne AND, OR, XOR, NOT, a także je porównywać. Schemat wewnętrzny ALU z kostki CMOS40181 jest pokazany na **rysunku 14**.

W każdym razie bardziej złożone układy mogą realizować operacje na liczbach. I oto masz też odpowiedź, dlaczego

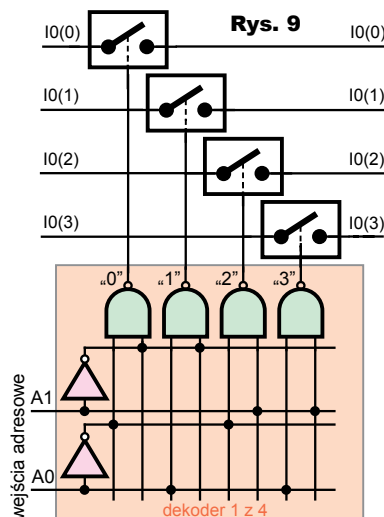
go używamy określenia: **układy cyfrowe**. Do tej pory mówiliśmy o kodzie dwójkowym, który zasadniczo może reprezentować tylko liczby naturalne (0, 1, 2, 3, 4, ...). Można też przedstawiać liczby ujemne, np. traktując jeden bit jako znak (minus), co dałoby kod

zwany **znak-moduł**. Jednak w praktyce liczby ujemne lepiej jest przedstawić nieco inaczej, w tak zwanym kodzie **uzupełnienia do jedynki** albo **uzupełnienia do dwóch**. Ciąg bitów może też reprezentować liczby ułamkowe. Oprócz różnych kodów liczbowych, często wykorzystywane są też inne kody.

W praktyce prawie nigdy nie interesuje nas, jaką wewnętrzną budowę mają układy scalone – ważna jest tylko pełniona funkcja i wymagania dotyczące wejść i wyjść. Dlatego więc przedstawiałem Ci liczne schematy wewnętrzne?

Otóż chcę pokazać, że z prostych bramek można zbudować układy cyfrowe, pełniące dowolnie skomplikowane funkcje.

Naprawdę popularne układy logiczne w postaci układów



Rys. 9

scalonych z rodziny 74 pojawiły się w roku 1964 – pierwsza była kostka 7400, zawierająca cztery dwuwęściowe bramki NAND. W ciągu kilkudziesięciu lat opracowano setki bardziej skomplikowanych układów cyfrowych. Pojęcie o układach z rodziny 74 oraz CMOS400 dają listy na stronach: http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_7400_series_integrated_circuits w skrócie: <http://goo.gl/ljvyPx> http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_4000_series_integrated_circuits w skrócie: <http://goo.gl/Wd7gFi>.

Istnieje więc mnóstwo „pojedynczych” układów scalonych realizujących wymienione tu funkcje przerzutników, liczników, rejestrów, dekodatorów, multiplexerów. Dawniej były wykorzystywane do realizacji złożonych systemów cyfrowych, w tym także komputerów. Dziś są używane coraz rzadziej, ponieważ postęp techniczny umożliwił umieszczenie w jednym układzie scalonym już nie tysięcy, czy milionów, ale miliardów tranzystorów, co pozwala stworzyć miliardy bramek i miliony liczników i rejestrów w jednej małej kostce. Wytworzenie dowolnych struktur pełniących dowolne funkcje logiczne (cyfrowe, obliczeniowe) nie jest dziś żadnym problemem.

Problem natomiast w tym, że każdy odbiorca ma inne potrzeby i potrzebuje układów o innych funkcjach. Duży odbiorca, potrzebujący wielu tysięcy egzemplarzy, może zamówić u producenta układ scalony „szyty na miarę”, dokładnie realizujący indywidualne potrzeby odbiorcy, tzw. ASIC (Application Specific Integrated Circuit). Jednak mniejsi odbiorcy, potrzebujący małych serii lub nawet pojedynczych egzemplarzy układów o określonych funkcjach, nie miałoby szans z uwagi na koszty opracowania. Tymczasem zapotrzebowanie na układy „szyte na miarę” było i jest ogromne.

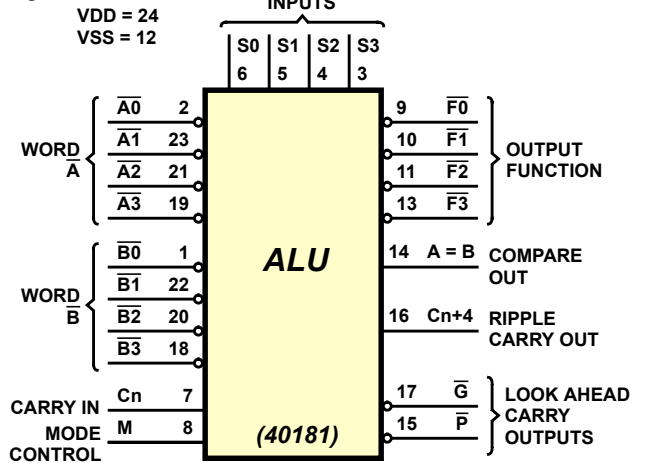
Producenci od dawna starali się dostosować do takich potrzeb. Aktualnie dostępne są mniej i bardziej skomplikowane układy scalone, które są w pewnym sensie „półproduktami”. Mają ogromne możliwości, ale użytkownik musi je zaprogramować do pełnienia potrzebnej mu funkcji. Rozwój poszedł w dwóch głównych kierunkach, dlatego trzeba wspomnieć o dwóch głównych grupach:

- programowalnych układach logicznych PLD – Programmable Logic Device (PAL, GAL, CPLD, FPGA)
- mikroprocesorach.

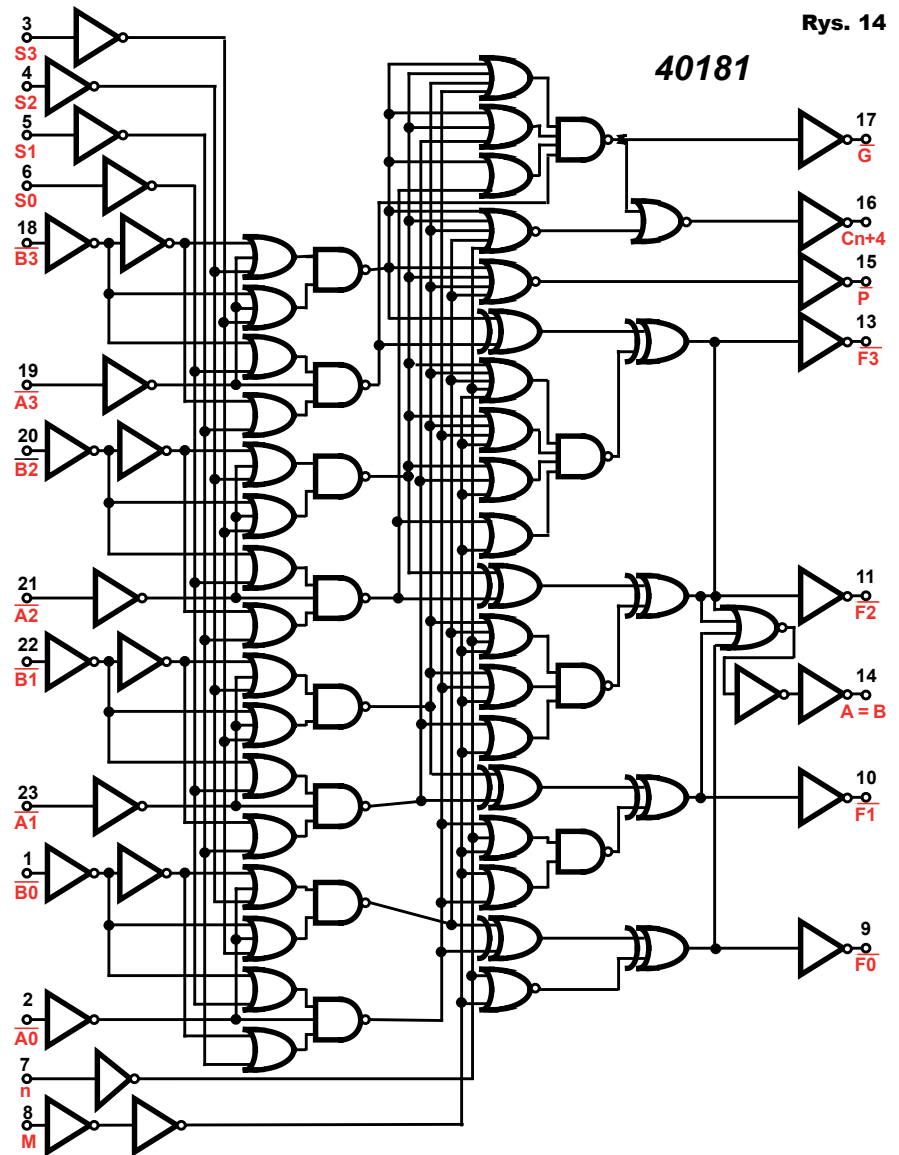
W największym uproszczeniu można powiedzieć, że w układzie PLD możemy samodzielnie stworzyć (zaprogramować) dowolny układ logiczny/cyfrowy o moż-

liwościach zależnych tylko od liczby dostępnych w nim elementarnych bramek i przerzutników. Programowanie układów PLD to w sumie jednorazowa konfiguracja elementarnych składników do pełnienia potrzebnej funkcji. Dawniej możliwe było jednorazowe, nieodwracalne skonfigurowanie przez przepalenie niepotrzebnych połączeń i pozostawienie pożądanych. Dziś konfiguracja przebiega na drodze elektronicznej i wykorzystywane są układy PLD, w których raz zapamiętaną konfigurację można później wielokrotnie zmieniać.

Rys. 13



Układy PLD mogą zawierać przerzutniki, liczniki, rejestry i inne składniki „pamiętające”, jednak w pierwszym zgrubnym przybliżeniu można sobie



Rys. 14

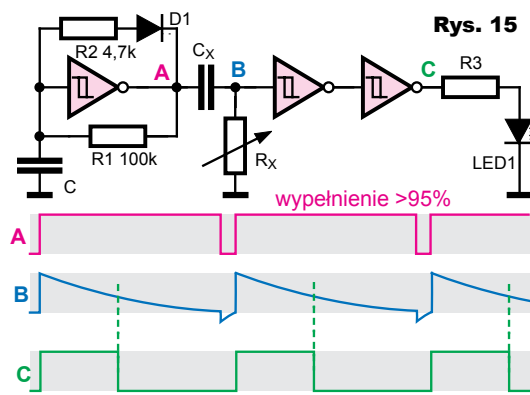
wyobrażać, że jest to konfiguracja przez użytkownika sieć mnóstwa bramek.

W ramach kursu PKE nawet nie dotknijemy układów PLD, które są niezbyt popularne wśród hobbystów. Spróbuj tylko zapamiętać: programowanie układów PLD oznacza, że użytkownik konfiguruje sprzęt: realizuje połączenia między zawartymi w układzie brkami, przerzutnikami, rejestrkami, licznikami i innymi blokami, by układ wykonywał potrzebne funkcje. W uproszczeniu można powiedzieć, że użytkownik tworzy specjalizowany układ scalony według swoich potrzeb. Ułatwiają to specjalne programy komputerowe.

Zupełnie czym innym jest programowanie mikroprocesorów. Mikroprocesor ma fabrycznie ustaloną, niezmienną wewnętrzną strukturę i zawiera pewne kluczowe bloki funkcjonalne, w tym pamięć. Programowanie polega na wpisaniu do pamięci rozkazów określających, co i kiedy poszczególne bloki mikroprocesora mają robić. Program to w sumie „przepis na działanie procesora”, składający się z mnóstwa elementarnych rozkazów.

Jest to zupełnie inna koncepcja niż w przypadku rozwiązań wykorzystanych w PLD oraz w ćwiczeniach cyklu PKE, gdzie realizowaliśmy i realizujemy różne rozwiązania sprzętowe. My w ramach elementarnego kursu PKE doszliśmy wprawdzie do mikroprocesora, ale nie mamy takowego w zestawie EdW09, więc go nie wykorzystamy. W tym i następnym wykładzie zbadamy natomiast niektóre tzw. układy peryferyjne, stosowane w mikroprocesorach. Oto kilka ćwiczeń praktycznych.

Przypomnijmy, że prosty obwód różniczkujący RC pozwala skracać impulsy. W układzie według **rysunku 15**, dzięki obecności diody D1 i rezystora R2, w punkcie A występuje przebieg prostokątny o jakiejś częstotliwości f i wypełnieniu ponad 95%. Przebieg taki jest podawany na obwód Rx, Cx, a na wyjściu C otrzymu-



Rys. 15

jemy przebieg prostokątny również o częstotliwości f , ale o wypełnieniu zależnym od stałej czasowej $RxCx$. Wstawiając fotorezystor w miejsce rezystora Rx, otrzymujemy możliwość płynnej regulacji współczynnika wypełnienia, a tym samym możemy impulsowo regulować jasność diody LED, bo dzięki dużej czę-

stotliwości pracy i bezwładności ludzkiego oka uzyskujemy płynne zmiany jasności diody.

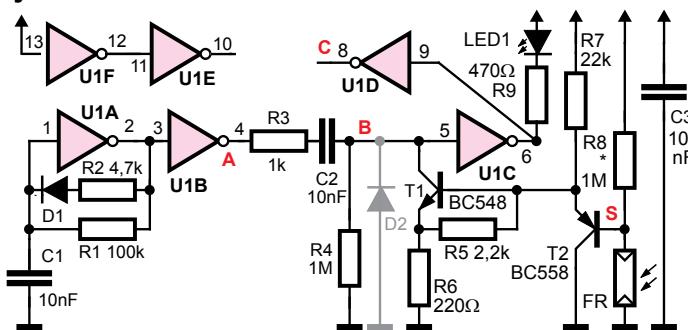
Można uniezależnić się od rozrzutu parametrów fotorezystora w układzie według **rysunku 16**. Mój model pokazany jest na **fotografii 17**. Kluczową rolę odgrywa tu tranzystor T1, który jest sterowanym źródłem prądowym. Tranzystor T2 i rezystor R7 tworzą zwykły wtórnik. Gdy w punkcie S napięcie jest równe zero, na emiterze T2 występuje napięcie około 0,7V, ale dzięki obecności rezystora R5 tranzystor T1 jest całkowicie zatkany.

Wtedy po wystąpieniu dodatkowego impulsu w punkcie A kondensator C2 ładuje się tylko przez rezystor R4 – stała czasowa ładowania jest duża, równa $R4C2$ i układ bez zmian przepuszcza przebieg: na wyjściu C występuje przebieg taki sam, jak w punkcie A. W chwili wystą-

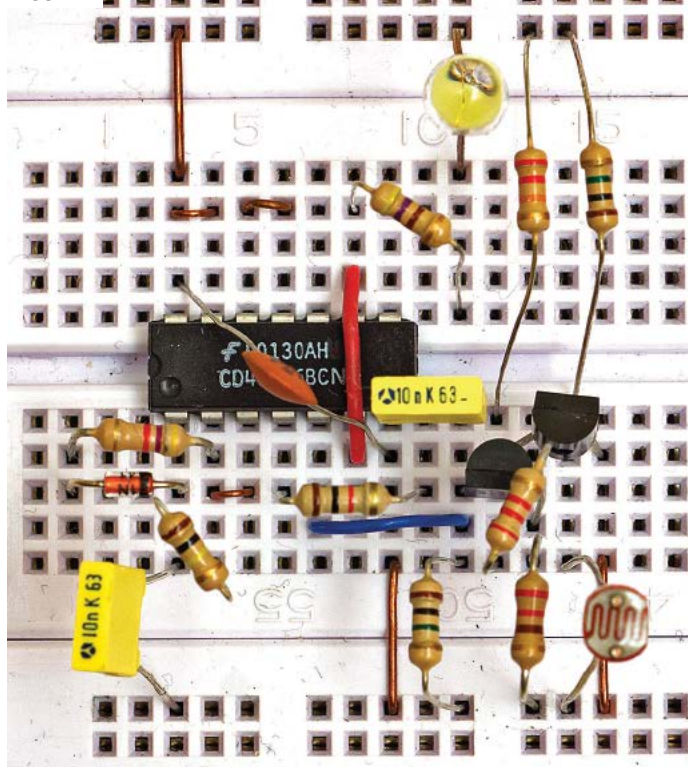
pienia ujemnego, opadającego zbocza w punkcie A kondensator C2 szybko rozładuje się przez diody ochronne na wejściu bramki U1C (przez co dioda D2 nie jest konieczna). Gdy tranzystor T1 przewodzi, ładowanie kondensatora C2 jest szybsze i impulsy w punkcie C są krótsze niż w punkcie A. Słabiej świeci dioda LED1. Gdy tranzystor T1 przewodzi znaczny prąd, może skrócić czas impulsów aż do zera (skutek obecności rezystancji wyjściowej bramki U1B i rezystora R3). Rezystor R8 pozwala dostosować czułość do użytego fotorezystora. W Elportalu umieszczony jest filmik, pokazujący pracę modelu z fotografii 17.

Właśnie zbudowaliśmy (dość prymitywny) modulator szerokości impulsów, czyli modulator PWM – Pulse Width Modulation. Przetwarza on wartość analogową (napięcie) na współczynnik wypełnienia przebiegu prostokątnego, co można łatwo zmierzyć metodami cyfrowymi. Przebieg prostokątny o stałej częstotliwości i zmiennym wypełnieniu można wytworzyć w różny sposób. **Rysunek 18a** pokazuje ideę rozwiązania analogowego: Przebieg z generatora przebiegu piłokształtnego o częstotliwości f_a jest porównywany przez komparator z napięciem stałym, podanym na wejście

Rys. 16

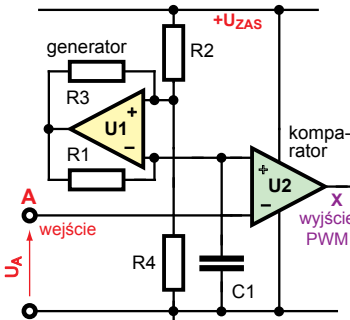
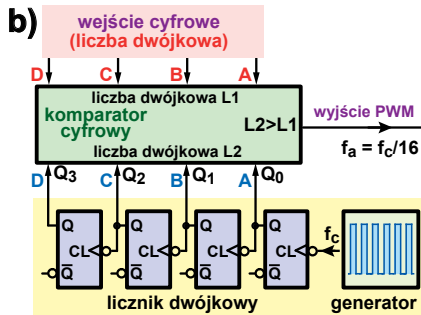
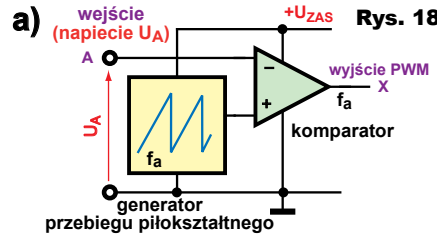


Fot. 17



L1. Na wyjściu X otrzymujemy przebieg prostokątny o częstotliwości f_a i wypełnieniu wprost proporcjonalnym do napięcia U_A .

Czysto cyfrowa wersja takiego modulatora PWM pokazana jest na **rysunku 18b**, gdzie rolę generatora „piły” odgrywa licznik dwójkowy z generatorem zegarowym, a komparator jest cyfrowy. Mający 16 stanów 4-bitowy licznik dwójkowy stale zlicza impulsy zegarowe o częstotliwości f_c , więc kolejno pojawiają się w nim liczby 0, 1, ..., 14, 15, 0, 1, ..., 14, 15, 0, 1, ... Cyfrowy komparator na bieżąco porównuje aktualny stan licznika z czterobitową liczbą dwójkową L1, podaną z zewnątrz. Na wyjściu X stan wysoki pojawia się wtedy, gdy stan licznika jest większy od liczby dwójkowej L. Otrzymujemy tam przebieg prostokątny o częstotliwości $f_a = f_c/16$, którego wypełnienie i czas trwania impulsów można zmieniać, zmieniając wartość dwójkowej liczby L1. Przy liczniku i komparatorze 4-bitowym mamy wybór jednej z 16 wartości wypełnienia, przy 8 bitach mamy 256 możliwości, a przy 10 bitach – 1024 możliwości. Dziś w mikroprocesorach powszechnie stosowane są 8- i 10-bitowe układy PWM.

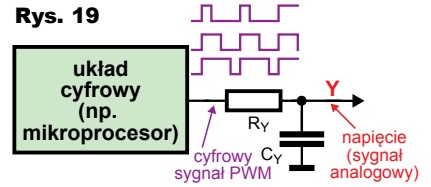


Rys. 20

Co bardzo ważne, cyfrowy sygnał PWM można w dziecinnie łatwy sposób przetworzyć w sygnał analogowy – wystarczy prosty obwód uśredniający RC według **rysunku 19**. W punkcie Y otrzymujemy napięcie stałe o wartości dokładnie odpowiadającej współczynnikowi wypełnienia. Przetworniki PWM z filtrem RC są powszechnie wykorzystywane jako przetworniki cyfrowo-analogowe. Są to przetworniki o małej szybkości z uwagi na konieczną znaczną stałą czasową obwodu filtrującego $R_Y C_Y$. W następnym wykładzie zrealizujemy zdecydowanie szybszy przetwornik cyfrowo-analogowy.

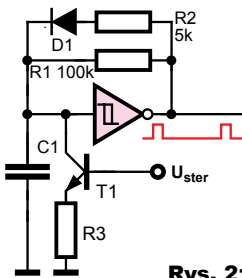
A na razie wspomnijmy, że modulator PWM można też zbudować według **rysunku 20**. Układ U1 pracuje jako generator i na kondensatorze C1 otrzymujemy przebieg zbliżony do trójkątnego. Komparator U2 porównuje chwilową wartość tego napięcia trójkątnego z napięciem stałym podanym na wejście A. Wypełnienie przebiegu na wyjściu X możemy regulować od zera do 100%.

W klasycznej modulacji PWM częstotliwość jest stała, a zmienia się tylko wypełnienie. W praktyce wykorzystuje

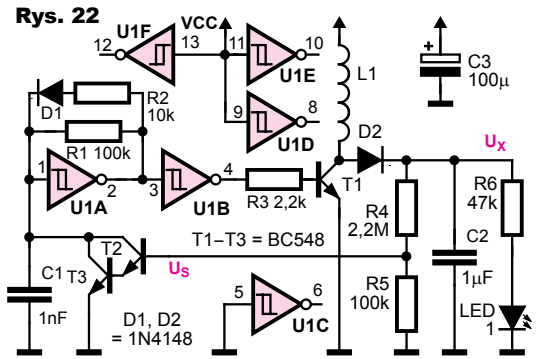


się pokrewnie metody, gdzie częstotliwość nie jest stała. **Rysunek 21** pokazuje taki generator. Gdy tranzystor T1 jest zatkany, kondensator C1 rozładowuje się tylko przez R1, a ładuje przez R1 i R2, więc czas trwania na wyjściu stanu wysokiego jest krótki. Wytwarzany przebieg ma współczynnik wypełnienia około 5%. Gdy tranzystor przewodzi, to po pierwsze zmniejsza czas rozładowania kondensatora. Przyspiesza rozładowanie, a więc skracza czas trwania stanu niskiego. Po drugie, jeśli T1 przewodzi stale, to opóźnia też ładowanie kondensatora, bo „zabiera” część prądu płynącego przez R1, R2, przez co zmiany częstotliwości są stosunkowo małe. Napięcie Uster zmienia współczynnik wypełnienia.

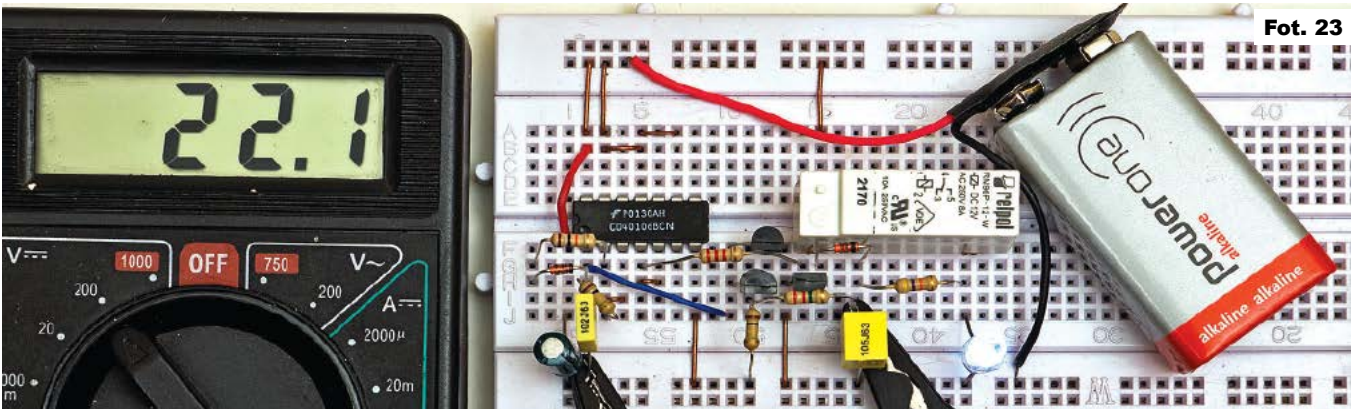
Wykorzystajmy taki układ w impulsowej przetwornicy podwyższającej z obwodem stabilizacji według **rysunku 22**. Indukcyjność L1 to cewka przekątnika. Gdy T2, T3 nie przewodzą, tranzystor T1 przewodzi przez większość okresu i w cewce gromadzi się energia. W chwili zatkania T1 cewka, która



Rys. 21



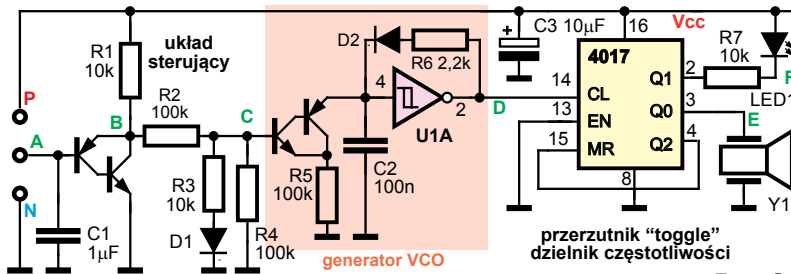
Fot. 23



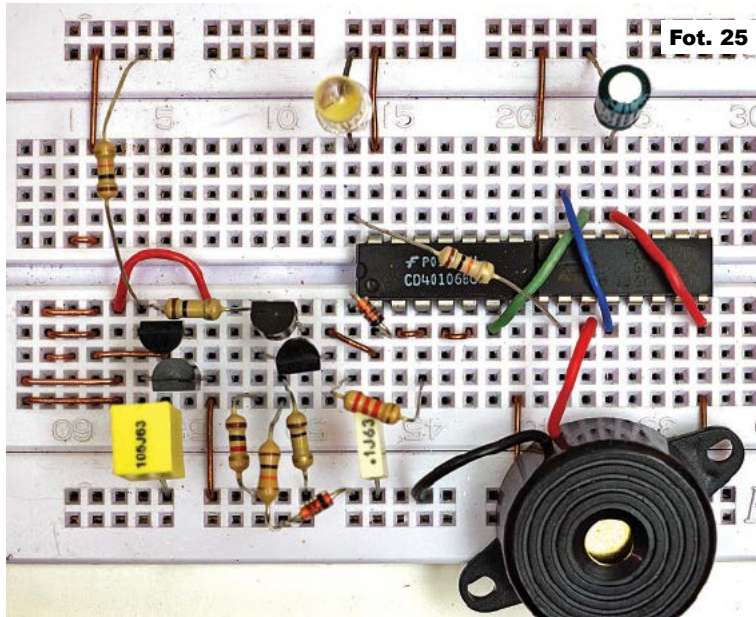
„nie lubi zmian prądu”, wytwarza impuls napięcia samoindukcji i prąd dalej płynie przez diodę D2, C2, R6 i LED1, co zwiększa napięcie wyjściowe U_x . Nadmierny wzrost U_x otworzy T1, T2, a to zmniejszy współczynnik wypełnienia impulsów sterujących T1, a więc ustabilizuje napięcie wyjściowe na wartości wyznaczonej przez dzielnik R4, R5.

Z uwagi na dużą rezystancję drutu cewki (bardzo małą dobroć), wydajność prądowa przetwornicy jest niewielka. Niemniej w takim układzie można byłoby uzyskać napięcie wyjściowe ponad 100V, jednak z uwagi na dopuszczalne napięcie tranzystora T1, diody D2 i kondensatora C2 musi być ono mniejsze. Jak pokazuje **fotografia 23**, w moim modelu przy zasilaniu z baterii 9V wynosi ono 22,1V.

Jeżeli w układzie z rysunku 22 usuniemy R1 i sensownie dobierzemy R2 i C1, to uzyskamy układ, w którym zmiany napięcia sterującego U_s powodują duże zmiany częstotliwości. Uzyskamy generator przestrajany napięciem, inaczej mówiąc VCO – *Voltage Controlled Oscillator*. W rodzinie CMOS4000 mamy kostkę 4046, która zawiera generator VCO (a także tak zwane komparatory fazy, bo jest kompletnym układem tzw. pętli fazowej PLL – Phase Locked Loop). Nie mając w zestawie EdW09 bardzo pożytecznej kostki 4046, możemy zbudować sterowany dotykowo VCO według **rysunku 24** i **fotografii 25**. Dotykając jednocześnie punktu A i jednego z punktów P, N, ładujesz lub rozładowujesz kondensator C1 i zwiększasz lub zmniejszasz częstotliwość generowanego przebiegu w szerokim zakresie. Działanie pokazane jest na filmiku, dostępnym w Elportalu. Elementy R2, R3, D1, R4 dopasowują wielkość sygnału sterującego – napięcie w punkcie C nie powinno być mniejsze od 0,6V ani większe od 1/3 napięcia zasilającego. Sam generator VCO wytwarza w punkcie D wąskie impulsy szpilkowe, dlatego dodany jest dzielnik częstotliwości przez 2 z kostką 4017, co daje w punktach E i F przebieg o częstotliwości o połowę mniejszej, ale za to głośniejszy, bo o wypełnieniu 50%.



Rys. 24



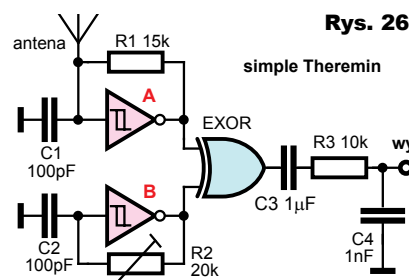
Fot. 25

Podając na punkt A lub punkt C odpowiednio dobrany przebieg trójkątny, uzyskalibyśmy syrenę policyjną.

A na koniec tajemniczy i intrygujący...

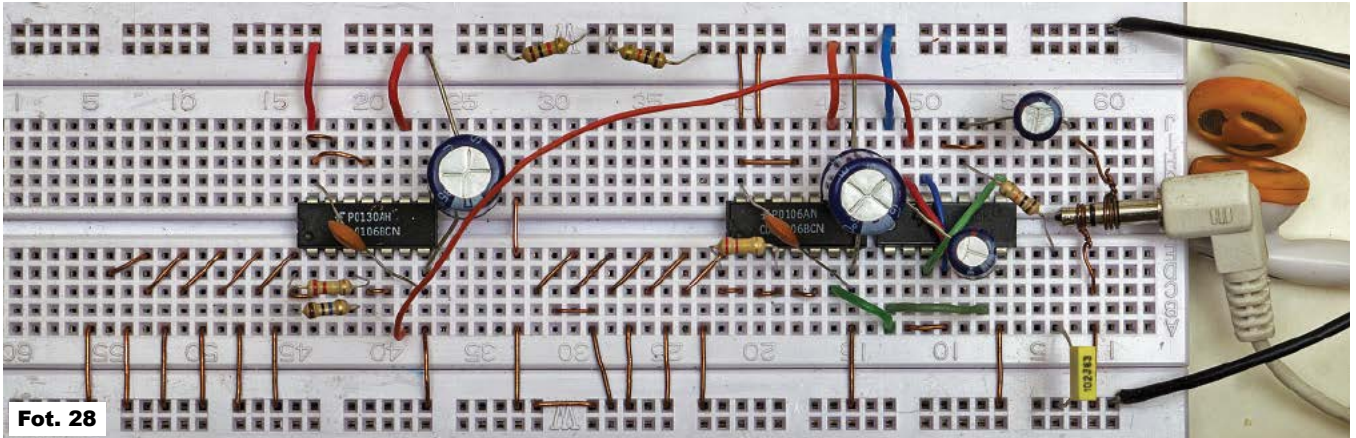
Theremin. Jest to tajemniczy instrument muzyczny, na którym gra się, zbliżając ręce do dwóch anten. Wynalazcą jest rosyjski uczonec Lew Sergejewicz Termen, znany też jako Leon Theremin. W roku 1920 zaprezentował on lampowe urządzenie, w którym zbliżenie ręki do jednej anteny zmieniało częstotliwość dźwięku, a do drugiej – głośność. Z technicznego punktu widzenia urządzenie zawiera dwa generatory o dużej, ponadakustycznej częstotliwości. Częstotliwość jednego jest płynnie przestrajana przez zmianę pojemności, jaka tworzy się między anteną a ciałem człowie-

ka i ziemią. Nieliniowy układ (mieszacz) wytwarza przebieg o małej częstotliwości, będący różnicą częstotliwości tych dwóch generatorów. Podobną zasadę powszechnie wykorzystuje się w odbiornikach radiowych i telewizyjnych (tzw. superheterodynowych). W roli mieszacza można wykorzystać różne elementy, które mają nieliniową charakterystykę. Funkcję mieszacza (a nawet tak zwanego detektora fazy) może też pełnić bramka EXOR (EXNOR). W Internecie można znaleźć zaskakującą propozycję układową bardzo uproszczonego pojemnościowego instrumentu theremin według **rysunku 26**. W praktyce trudno jest zbudować prawidłowo działający instrument, jeżeli inwertery A i B wchodzą w skład tej samej

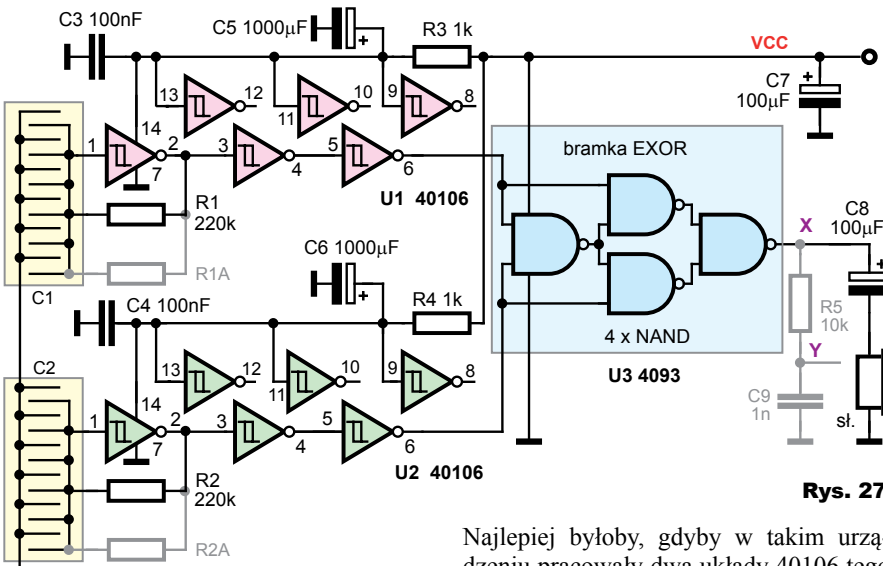


Rys. 26

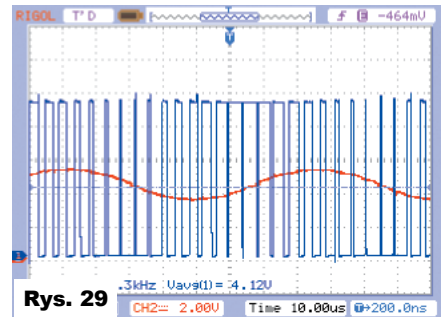
simple Theremin



Fot. 28



Rys. 27



Rys. 29

obu generatorów. Zbliżenie ręki zmienia pojemność w znikomym stopniu (poniżej 1 pikofarada), dlatego aby zmiany częstotliwości były znaczące, pojemności C1, C2 muszą być bardzo małe, co najwyżej do 100pF. Dlatego nie stosujemy kondensatorów, tylko w każdym z generatorów wykorzystujemy niewielką pojemność między blaszkami płytki stykowej, stąd na niej tyle zwór i taki dziwnie narysowany schemat z „grzebieniowymi” pojemnościami C1, C2.

W moim modelu częstotliwości pracy obu generatorów wynoszą około 122kHz.

Najlepiej byłoby, gdyby w takim urządzeniu pracowały dwa układy 40106 tego samego wytwórcy z jednej serii produkcyjnej, bo wtedy przy jednakowych elementach RC częstotliwości powinny być zbliżone. Nawet wtedy zapewne trzeba będzie skorygować częstotliwość jednego z generatorów tak, aby w spoczynku w słuchawkach występował dźwięk o możliwie małej częstotliwości. Uruchomienie bez przyrządów pomiarowych jest możliwe, wymaga jednak trochę cierpliwości. Najpierw trzeba uzyskać jakikolwiek wyraźny pisk w słuchawkach, a potem dołączając równoległe do R1 albo do R2 rezystory o jak największej rezystancji,

trzeba zmniejszyć częstotliwość „wyższego” generatora, by różnicowa częstotliwość w słuchawkach była jak najniższa. U mnie, jak pokazuje fotografia, trzeba było do rezystora R1=220kΩ dołączyć równoległe 10-megaomowy rezystor. Wtedy w słuchawkach wystąpił przebieg o stosunkowo niskiej częstotliwości różnicowej. **Rysunek 29** pokazuje (niebieski) przebieg w punkcie X za bramką EXOR oraz (czerwony) odfiltrowany przebieg o częstotliwości różnicowej, występujący w punkcie Y.

Zbliżenie ręki do którejkolwiek anteny (C1, C2) powoduje niewielką procentową zmianę częstotliwości jednego z generatorów, ale różnica ich częstotliwości zmienia się znacznie, co wyraźnie słychać w słuchawkach. Pracę mojego modelu możesz zobaczyć i posłuchać na filmiku, dostępnym w Elportalu (www.elportal.pl/pke).

Piotr Górecki

R E K L A M A

AVT 1066 Miniaturowy zasilacz uniwersalny z LM317

Kompletny moduł zasilający, wymagający jedynie dołączenia transformatora sieciowego. Wyposażony został w prostownik (mostek Graetza), pojemności wejściowe i układ stabilizatora. Dzielnik napięcia odpowiada za ustalenie napięcia wyjściowego, tak więc można je łatwo dostosować do wymagań zasilanego układu.



A: 4zł

B: 18zł

C: 24zł

