

Miernik uniwersalny, oscyloskop i generator to podstawowe wyposażenie warsztatu każdego elektronika. Na pewno i Ty, Czytelniku, posiadasz przynajmniej jeden miernik uniwersalny w postaci multimetru cyfrowego. Z oscyloskopem i generatorem bywa różnie. Nie od dziś wiadomo, że wykonanie w warunkach amatorskich użytecznego oscyloskopu jest nie tylko trudne, ale też nieopłacalne – ten przyrząd pomiarowy trzeba po prostu kupić. Nie namawiam Cię więc na razie do budowy oscyloskopu.

Inaczej jest z generatorami. Nawet mało zaawansowany hobbysta może z powodzeniem wykonać użyteczne generatory. W Elektronice dla Wszystkich zaprezentowaliśmy już wiele różnych przyrządów wytwarzających określone przebiegi. W praktyce elektronika najczęściej wykorzystywane są generatory przebiegów sinusoidalnych, trójkątnych i prostokątnych.

Układ opisany w artykule wytwarza nie tylko regularny przebieg prostokątny. Za pomocą przełączników typu DIP-switch można niezależnie regulować czas impulsu (stan wysoki) oraz czas przerwy (stan niski). Zakres regulacji jest bardzo szeroki: czas trwania najkrótszego impulsu wynosi około 50 nanosekund (50 miliardowych części sekundy), a najdłuższego – 5 sekund, daje to maksymalny okres równy 10 sekund. Współczynnik wypełnienia, czyli stosunek czasu impulsu do czasu przerwy, można zmieniać w szerokim zakresie 1:10000 ... 10000:1, co pozwala wytwarzać impulsy w pełni zastępujące na miano szpilkowych. Możliwość wytwarzania impulsów o dowolnym współczynniku wypełnienia znakomicie rozszerza zakres zastosowań opisanego przyrządu. Moduł doskonale nadaje się do testów urządzeń cyfrowych, ale znajdzie zastosowanie podczas różnorodnych eksperymentów oraz do sprawdzania innych urządzeń, na przykład wzmacniaczy audio.

Generator może być zasilany albo z badanego układu albo z zewnętrznego zasilacza,

co dodatkowo zwiększa jego elastyczność. Kolejną zaletą jest fakt, że moduł nie wymaga obudowy.

Na marginesie nadmienię, że wstępny projekt generatora impulsowego, prostego, taniego i łatwego w realizacji zacząłem realizować jeszcze w 1999 roku. Narysowałem schemat, który najpierw dłuższy czas leżał na półce, potem powstała płytka drukowana i wreszcie narodził się model. Nie był to jednak model pokazany na okładce i fotografii wstępnej, tylko model, który możesz zobaczyć na **fotografii poniżej**. Konstrukcja oparta była o dwie kostki 74HC00. Układ zawierał dwa dodatkowe MOSFET-y mocy, a zmianę parametrów impulsu zapewniały cztery zestawy przełączników typu DIP-switch. Na fotografii są niewidoczne, bo są montowane w podstawkach z drugiej strony płytki drukowanej. Model został gruntownie przebadany i...

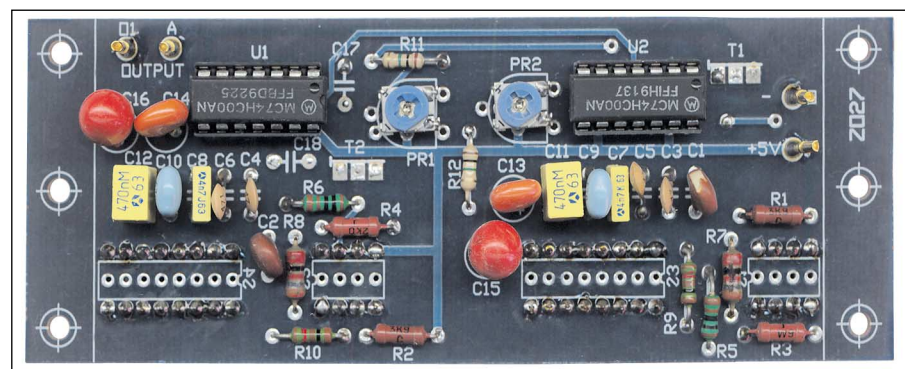
ty muszę przyznać Ci się do porażki.

niemu wypełnienia. Kłopoty z uzyskaniem ekstremalnego wypełnienia dotyczyły tylko zakresów najmniejszych częstotliwości. Krótko mówiąc, układ nie chciał generować wąskich szpilek o bardzo długim czasie powtarzania.

Bliższe testy pokazały, że przeceniłem kondensatory tantalowe. Co prawda słusznie cieszą się one opinią kondensatorów dużo lepszych, niż popularne aluminiowe „elektrolity”, jednak ich „znacznie lepsze” parametry mimo wszystko nie pozwoliły zrealizować celów postawionych generatorowi. Ponieważ także i Ty zapewne w przyszłości natkniesz się na ten problem, zanim zaprezentuję Ci dalszy ciąg historii mojego generatora impulsów, poświęćmy wspólnie trochę miejsca na omówienie problemu.

### Niedoskonałości kondensatorów

W podręcznikach szkolnych często opisuje się kondensator jako dwie płytki metalowe,



Układ generował prawidłowy przebieg prostokątny. Zakres zmian częstotliwości był bardzo dobry, stromość zboczy – znakomita. Rysując schemat nie zastanawiałem się nad szczegółami, ale chciałem uzyskać generator, pozwalający regulować współczynnik wypełnienia impulsów w szerokim zakresie. Jednak w dobrze zapowiadającym się modelu nie na wszystkich zakresach udawało się uzyskać przebieg o skrajnie małym i skrajnie dużym współczyn-

rozdzielone warstwą dielektryka (izolatora). Pojemność takiego kondensatora zależy od pola powierzchni okładek (S), od ich odległości, czyli grubości izolatora (d), a także od właściwości tego dielektryka zwanej przenikalnością dielektryczną ( $\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r$ ).

$$C = \frac{S}{d} \epsilon$$

Takie podejście nie zapowiada żadnych niespodzianek. Wszystko wydaje się jasne, proste

i oczywiście. Każdy, kto choć raz w życiu dla ciekawości sprawdził, jak zbudowany jest kondensator foliowy, utwierdza się w przekonaniu, że kondensator to rzeczywiście dwie metalowe okładki, przedzielone izolatorem.

Niestety, przy takiej budowie nie można osiągnąć dużych pojemności. Kondensatory foliowe mają pojemności sięgające 1μF, a co najwyżej 10μF. Aby uzyskać większe pojemności, trzeba stosować inne sposoby. Są one wykorzystane w kondensatorach ceramicznych oraz w kondensatorach elektrolitycznych aluminiowych i tantalowych.

W każdym przypadku właściwości kondensatora silnie zależą od użytego w nim dielektryka. A ten, oprócz przenikalności dielektrycznej, ma szereg innych parametrów, które znacząco wpływają na właściwości kondensatora. Na przykład podczas normalnej pracy kondensatory są na przemian ładowane i rozładowywane – płynie przez nie prąd. I oto podczas przepływu prądu nasz element zachowuje się, jak połączenie idealnego „podręcznikowego” kondensatora i szeregowego rezystora, jak pokazuje **rysunek 1**. Choć nie ma tam prawdziwego rezystora, pojawia się rezystancja, i co ważne, rezystancja ta nie jest stała – silnie zależy od częstotliwości i szybkości zmian prądu. Czym większa częstotliwość, tym większy wpływ ma ta szkodliwa rezystancja. Początkującym wydaje się to dziwne, a opisywany efekt wynika właśnie z niedoskonałości izolatora.

Aby scharakteryzować kondensator pod względem obecności takiej szkodliwej rezystancji, wprowadzono współczynnik strat oznaczany  $tg\delta$  który jest stosunkiem tej szeregowej rezystancji do reakcji pojemnościowej.

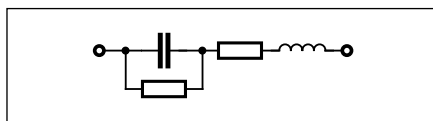
Dla bardzo dobrych kondensatorów mikrowych, dziś praktycznie już nie stosowanych, współczynnik ten wynosi 0,00001. W tabeli 1 możesz znaleźć wartości współczynnika strat dla kilku rodzajów popularnych kondensatorów stałych przy częstotliwości 10kHz i elektrolitycznych dla częstotliwości 100Hz. Zwróć uwagę, jak bardzo różnią się współczynnikami strat.

Typy kondensatorów	$tg\delta$
ceramiczne	0,001...0,03
foliowe styrofleksowe (KS)	0,00015
foliowe poliestrowe (MKT)	0,012
foliowe polipropylenowe (MKP)	0,0005
foliowe poliwęglanowe (MKC)	0,005
elektrolityczne tantalowe	0,03...0,1 (100Hz)
elektrolityczne aluminiowe	0,1...1 (100Hz)

Takie nieprzyjemne właściwości zwykle silnie dają o sobie znać dopiero przy dużych częstotliwościach i krótkich impulsach. Jeszcze bliższe przyjrzenie się zachowaniu kondensatorów pokazuje bowiem, iż zachowują się one jak połączenie kilku elementów,

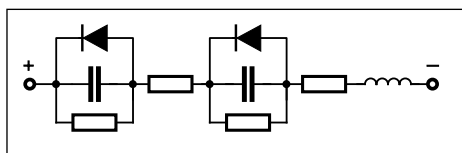
w tym cewki o maleńkiej indukcyjności, jak pokazuje **rysunek 2**.

Rys. 2



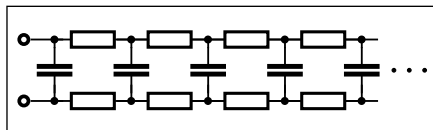
W przypadku kondensatorów elektrolitycznych na schemacie zastępczym należałoby dodać... diody, jak pokazuje **rysunek 3**, dotyczący popularnego aluminiowego „elektrolita”. Struktury zachowujące się jak diody powstają na styku okładek z elektrolitem.

Rys. 3



Przy dużych częstotliwościach należałoby też uwzględnić rezystancję samych okładek kondensatora, którymi w wielu typach kondensatorów są zwinięte w wałeczek dwa paski folii aluminiowej. Nietrudno się domyślić, że taki element można traktować jak połączenie wielkiej ilości (niewielkich) rezystancji i pojemności według **rysunku 4**, a to nieuchronnie prowadzi do wniosku, że mamy do czynienia z elementem w pewnym sensie opóźniającym.

Rys. 4



Wszelkie szkodliwe rezystancje, czy to według rysunku 1, czy 4, utrudniają a nawet wręcz uniemożliwiają natychmiastowe naładowanie czy rozładowanie kondensatora.

Ale to nie koniec niespodzianek. W kondensatorach występuje jeszcze dziwniejsze zjawisko. Niech kondensator zostanie naładowany, a potem skutecznie rozładowany „do zera”, aż przestanie płynąć prąd rozładowania. Powinien być „pusty”. Okazuje się jednak, że na pozostawionym w spoczynku kondensatorze po takiej próbie pojawi się stopniowo jakieś niewielkie napięcie. Znów przyczyną są właściwości izolatora, a właściwie parametr nazywany absorpcją dielektryczną. Choć opisany efekt jest stosunkowo niewielki, koniecznie trzeba go uwzględnić w co bardziej precyzyjnych układach impulsowych, na przykład w tak zwanych układach próbkująco-pamiętających.

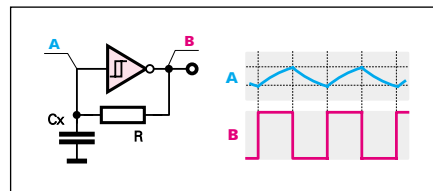
Omówione właśnie szkodliwe zjawiska uniemożliwiły mi zrealizowanie generatora wąskich impulsów i długim czasie powtarzania, zawierającego kondensatory tantalowe. Po prostu kondensator tantalowy nie dał się całkowicie rozładować w krótkim czasie. Teoretycznie powinien, ale ze względu na dużą wartość rezystancji szeregową i inne szkodliwe zjawiska nie pozwolił na uzyskanie impulsów o bardzo dużym i bardzo małym wypełnieniu.

Dlatego jakiś czas po zbadaniu i odrzuceniu pierwotnej wersji narysowałem odmienny schemat, nie zawierający jakichkolwiek „elektrolitów” i po kolejnych kilku miesiącach na biurku pojawił się nowy model. Doświadczenia z poprzednim modelem pokazały, że generator można przy okazji znacznie uprościć. W rezultacie opisywany układ, pokazany na okładce i fotografii wstępnej, został umieszczony na jednostronnej płytce drukowanej.

## Opis układu

Nowy układ generatora impulsów jest modyfikacją znanego generatora z jedną bramką Schmitta. Na **rysunku 5** pokazany jest schemat ideowy i przebiegi. Przebieg ma współczynnik wypełnienia równy 50% tylko wtedy, jeśli napięcia progowe i okno pętli histerezy danego egzemplarza kostki są umieszczone w połowie drogi między ujemnym a dodatnim napięciem zasilania. W większości egzemplarzy bramek z wejściem Schmitta ten warunek nie jest spełniony i generowany przebieg ma wypełnienie różne od 50%.

Rys. 5

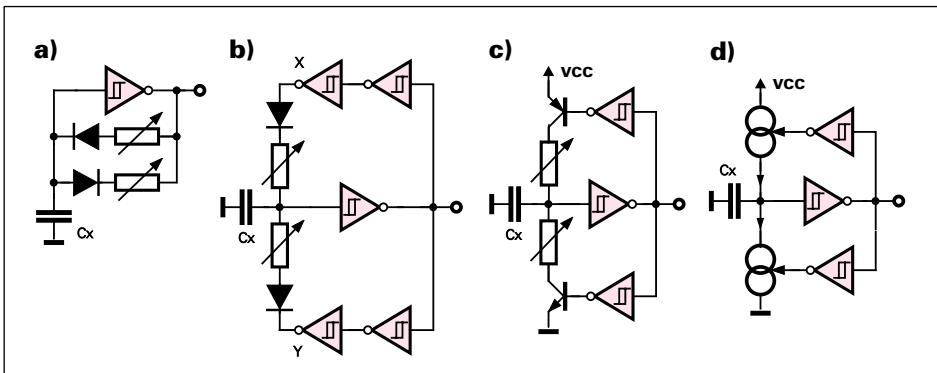


Współczynnik wypełnienia takiego generatora można zmieniać przez zróżnicowanie wartości prądu ładującego i rozładowującego kondensator Cx. **Rysunek 6a** pokazuje najprostszy sposób realizacji takiego generatora i przykładowe przebiegi. W prezentowanym module zrealizowano to nieco inaczej. **Rysunek 6b** pokazuje dziwną na pierwszy rzut oka modyfikację, gdzie rozdzielone są obwody ładujący i rozładowujący. Zastąpienie inwerterów X, Y tranzystorami według **rysunku 6c** pozwala nie tylko uprościć układ, ale też uzyskać dowolnie duży prąd ładowania i rozładowywania.

Takie rozdzielenie i wykorzystanie tranzystorów jeszcze bardziej pokazuje swoje zalety przy zastosowaniu do ładowania i rozładowywania kondensatora Cx dwóch niezależnych

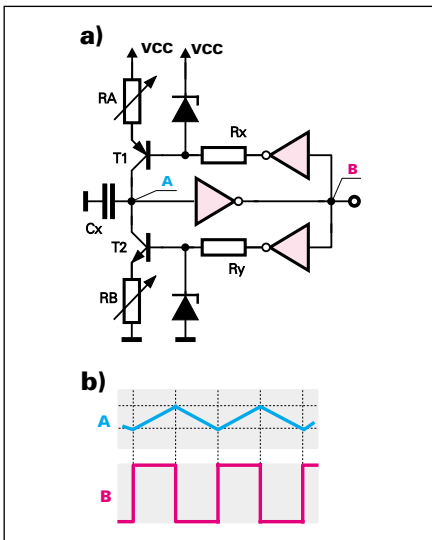
kluczowanych źródeł prądowych według idei pokazanej na **rysunku 6d**.

Tym sposobem doszliśmy do uproszczonego schematu naszego generatora, pokazanego na **rysunku 7a**. Tranzystory T1, T2, diody Zenera i rezystory Rx, Ry tworzą dwa źródła prądowe, których wydajność jest wyznaczona przez rezystancję umieszczoną w obwodach emiterów tranzystorów. Co ważne, dzięki zastosowaniu źródeł prądowych czasy impulsu i przerwy nie zależą już od rozrzutu napięć progowych, a zmiany napięcia na kondensatorze mają charakter liniowy. Ilustruje to **rysunek 7b**.



Rys. 6

Rys. 7



Pełny schemat ideowy modułu można zobaczyć na **rysunku 8**. W roli diod Zenera pracują po dwie zwykle diody krzemowe. Dzięki temu podczas pracy źródeł prądowych, na rezystorach RA, RB występuje napięcie około 0,6...0,7V i łatwo można obliczyć wartość prądów ładowania i rozładowania.

Podstawą konstrukcji jest układ scalony 74HC14, zawierający sześć inwerterów z wejściem Schmitta. Ten układ scalony jest szybki, ma dużą wydajność prądową wyjścia i doskonale nadaje się do wytwarzania nawet bardzo krótkich impulsów.

**Uwaga! W generatorze nie należy stosować kostki 74HCT14.** Układy z serii HCT mają poziomy napięć progowych odpowiadające klasycznym, bipolarnym układom TTL. Te obniżone progi mogą uniemożliwić prawidłową pracę układu. Można natomiast śmiało zastosować układ CMOS 40106, mający identyczny rozkład wyprowadzeń.

Najkrótszy impuls uzyskany podczas testów prezentowanego modelu z kostką 74HC14 miał około 35ns (przy wypełnieniu ok. 1:8). Przy proponowanych na schemacie wartościach elementów najkrótszy czas wyniesie około 40...50ns, co też jest znakomi-

godnym uwagi. W zestawie AVT-2633 zawarte są układy 74HC14 oraz 40106, które dzięki podstawie można stosować wymiennie.

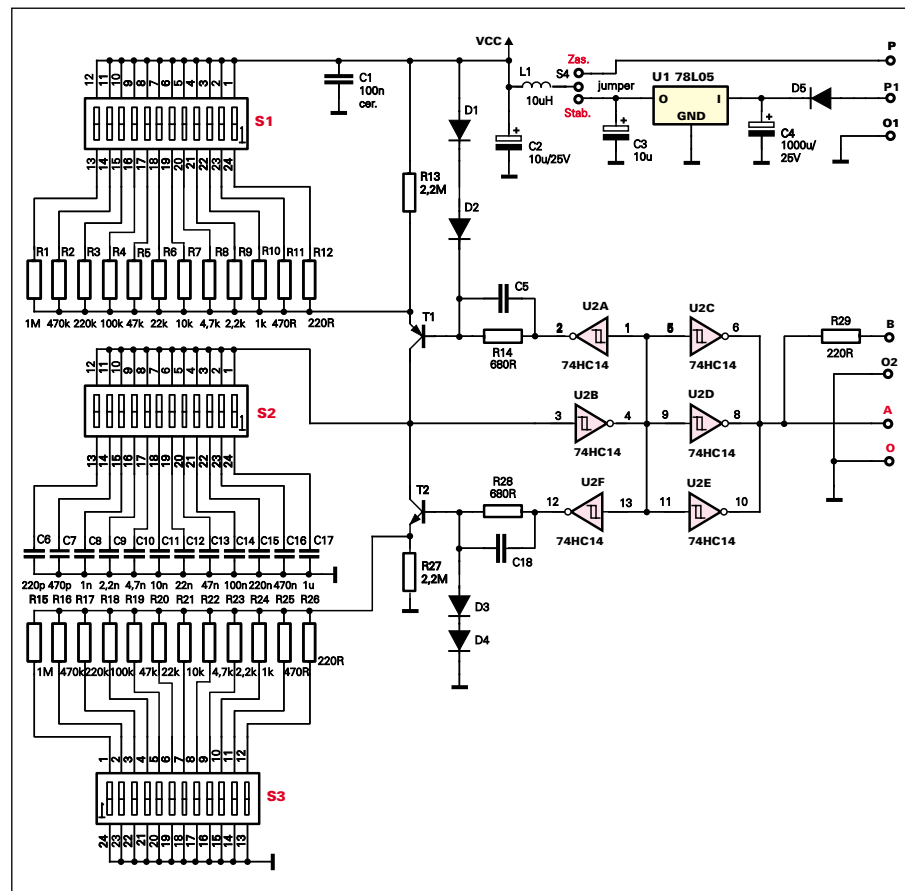
Jak widać na schemacie ideowym, generator może być zasilany ze współpracującego układu (przez punkt oznaczony P). Według katalogu, układ scalony 74HC14 może być zasilany napięciem 2...6V. Ze względu na specyfikę układu, zalecany zakres napięć zasilania generatora to 3,5...6V. Z kolei układ 40106 może być zasilany napięciem 3...18V, przy czym zalecany zakres napięć zasilania wynosi 5...18V. Zależnie od napięcia zasilania współpracującego układu należy po prostu zastosować w generatorze odpowiednią kostkę.

Dodatkowo w module przewidziano stabilizator U1. Przyda się w sytuacjach, gdy generator ma wytwarzać sygnały o poziomach typowych przy zasilaniu napięciem 5V. Dzięki diodzie D5 przy korzystaniu ze stabilizatora U1, układ można zasilać napięciem zmiennym 5...12V, podawanym na punkt P1. Wyboru sposobu zasilania dokonuje się za pomocą jumperka, zwierającego dwa z trzech kołków zwory S4.

Trzy zestawy 12-stykowych przełączników DIP-switch pozwalają ustawić potrzebne parametry przebiegu wyjściowego.

Rys. 8 Schemat ideowy

tym wynikiem. Model z kostką 40106 pozwolił przy napięciu zasilania 5V uzyskać najkrótsze impulsy o czasie trwania 120...350ns (zależnie od producenta danego egzemplarza kostki), co też jest wynikiem





Przełącznik S2 dołącza do wejścia bramki U2B kondensatory o pojemnościach 220pF...1μF, natomiast przełączniki S1, S3 decydują o wydajności obu źródeł prądowych. Ustawienie S1 decyduje o czasie przerwy (stan niski), a S3 – o czasie impulsu (stan wysoki). Gdy wszystkie styki S1, S3 są zwarte uzyskuje się największe prądy i najkrótsze czasy. Gdy wszystkie styki są rozwarne, prąd jest wyznaczony przez wartości R13 i R27, a czasy są najdłuższe.

Zauważ, że w każdym z przełączników można włączyć nie jeden, lecz kilka styków. Dzięki zastosowaniu wartości rezystorów i kondensatorów w sekwencji 1-2,2-4,7-10-22... umożliwiła to uzyskanie niemal dowolnej wartości czasu impulsu i przerwy. 36 styków daje prawie 70 miliardów (dokładnie 68719476736) różnych możliwości ustawienia przełączników S1, S2, S3. Niewątpliwie wszystkich nie wykorzystasz – gdybyś co sekundę wybierał inną kombinację, potrzebowalbyś ponad 2177 lat na wykorzystanie wszystkich możliwości!

Kondensatory C5, C18 okazały się niepotrzebne w wersji podstawowej z układem 74HC14 i 40106. Jedynie, gdyby ktoś chciał przeprowadzić eksperymenty z jeszcze szybszym układem 74AC14, może je wykorzystać do zwiększenia szybkości przełączania źródeł prądowych.

Trzy równolegle połączone inwertery U2C, U2D, U2E nawet z kostką 40106 pracującą przy napięciach rzędu 5V zapewniają znaczną wydajność prądową wyjścia.

Przy pierwszych testach modułu zastosowałem rezystory R1...R16 o znacznie mniejszych wartościach, niż podane na schemacie. Rezystory (R12, R15) miały po 10Ω, co dało maksymalny prąd ładowania i rozładowania rzędu stu miliamperów. Rezystory R13, R27 miały wtedy po 100kΩ, co przy maksymalnej pojemności kondensatora (C17 – 1μF) dało najdłuższy czas impulsu około 0,2...0,3s. Nie zmniejszyło jednak radykalnie czasu najkrótszych impulsów, bo oprócz czasu przeładowania pojemności decydującą rolę odgrywają czasy propagacji bramek. Dalsze próby wykazały, że układ prawidłowo pracuje także wtedy, gdy nie jest dołączony żaden z kondensatorów (wszystkie styki S2 są rozwarne). Ładowane i rozładowywane są wtedy pojemności montażowe i pojemność wejściowa inwertera U2B, a parametry przebiegu można normalnie regulować przełącznikami S1, S3. Dało to dodatkowy, najwyższy zakres i umożliwiło radykalne zwiększenie rezystorów do wartości podanych na schemacie.

Najkrótszy czas impulsu wynoszący około 40...50 nanosekund uzyskuje się przy rozwartych wszystkich stykach S2 i zwartych

wszystkich stykach S3. Ustawienie S1 decyduje wtedy o czasie powtarzania impulsów.

## Montaż i uruchomienie

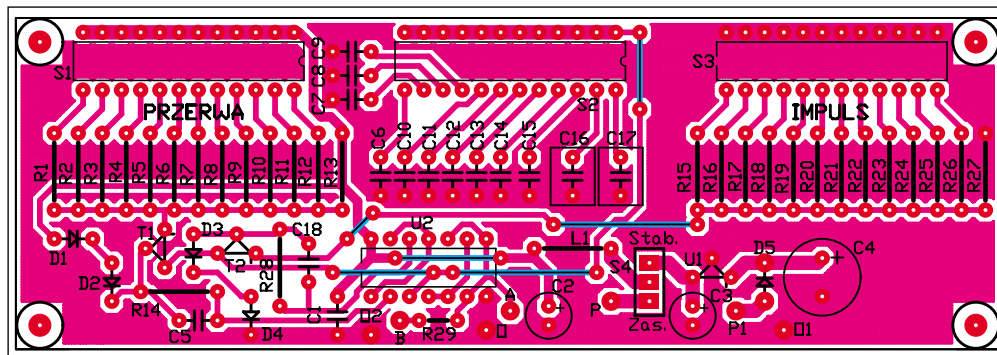
Układ generatora można zmontować na jednostronnej płytce drukowanej, pokazanej na rysunku 9. Montaż nie powinien sprawić trudności nawet mniej zaawansowanym. Pomocą będą też fotografie modelu. W modelu zastosowano przełączniki 6-pozycyjne tylko dlatego, że 12-pozycyjnych nie było akurat w magazynie. Płytkę modelu nieco różni się od tej z rysunku 8 – po testach modelu modyfikacji uległy obwody zasilania i pojawiła się zwora S4.

Montaż warto zacząć od kilku zaznaczonych na płytce zwór i potem kolejno montować elementy coraz większe. Pod układ scalony i wszystkie przełączniki DIP-switch warto dać podstawki. Umożliwi to nie tylko łatwą zamianę kostki 74HC14 na 40106, ale też przełącznika w razie jego zużycia – trzeba bowiem pamiętać, że generalnie przełączniki DIP-switch nie są przewidziane do częstego przełączania.

Układ przeznaczony jest do pracy bez obudowy. W rogach płytki umieszczono otwory, w które można wmontować nożki, choćby w postaci śrubek M3. Moduł może też być wmontowany do obudowy i umieszczony tuż pod płytą czołową, w której trzeba tylko wyciąć prostokątne otwory na przełączniki DIP-switch. W takim przypadku warto przełączniki i podstawki pod nie wlotować od strony druku. Choć nie będzie to łatwe, może warto podjąć taki trud, bo umożliwi to bezproblemowe umieszczenie modułu tuż pod płytą czołową.

Układ zmontowany bezbłędnie ze sprawnych elementów nie wymaga żadnego uruchamiania ani regulacji i od razu powinien pracować poprawnie. Właśnie ze względu na łatwość montażu i brak jakichkolwiek regulacji projekt oznaczono jedną gwiazdką. Nie oznacza to wcale, że jest on przeznaczony tylko dla początkujących. Taki generator impulsów przyda się przede wszystkim bardziej zaawansowanym elektronikom, którzy w pełni wykorzystają jego zalety.

Rys. 9 Schemat montażowy



## Wykorzystanie przyrządu

Zależnie od sposobu zasilania należy odpowiednio ustawić przełącznik zasilania – jumper na kołkach zwory S4.

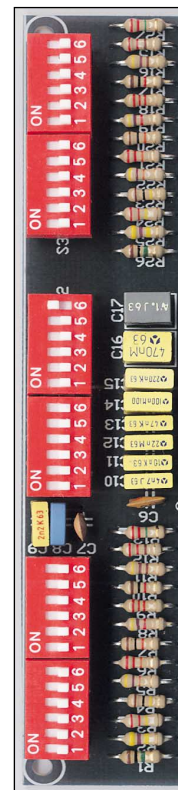
„Zwykły” przebieg prostokątny uzyskasz przy jednakowych ustawieniach S1, S3. Przy różnych ustawieniach S1, S3 współczynnik wypełnienia będzie różny od 50%. W skrajnym przypadku S1 – wszystkie styki zwarte, S3 – rozwarne (albo odwrotnie) czas przerwy i impulsu będą się różnić ponad 10 tysięcy razy. Uzyskasz tym sposobem impulsy szpilkowe, które są często potrzebne podczas eksperymentów i testów.

Do ustawienia potrzebnych parametrów impulsów całkowicie wystarczy jakikolwiek oscyloskop. Osoby, które nie mają oscyloskopu mogą orientacyjnie wyskalować generator w prosty sposób opisany dalej.

Ze względu na rozrzuty wielkości pętli histerezy poszczególnych egzemplarzy kostek 74HC14 i 40106, nie mogą niestety podać gotowego wzoru. Ale możesz z pomocą zwykłego zegarka z sekundnikiem taki wzór wyznaczyć samodzielnie.

**Uwaga! Takie obliczenia dotyczą konkretnego egzemplarza układu scalonego U2 i konkretnego napięcia zasilania.** Przy innym napięciu zasilania wyniki mogą być znacząco inne. Tak samo odmienne wyniki może dać inny egzemplarz układu scalonego U2.

Dołącz do punktów B, O2 dowolną diodę LED, wyłącz wszystkie styki przełączników S1, S3 (pozostaną dołączone tylko rezystory R13, R27) i ostatnim stykiem przełącznika S2 dołącz kondensator o pojemności 1μF. Ustawienia przełączników pokazuje fotografia obok. Dioda będzie migać w powolnym



rytmie. Sprawdź, ile wynosi okres generowanego przebiegu. Dla zwiększenia dokładności warto zmierzyć czas trwania np. 10 pełnych impulsów.

Oczywiście czas przerwy i czas impulsu będą proporcjonalne do pojemności i rezystancji odpowiednio R13 i R27.

$$t_L = K \cdot R13 \cdot C17 = K \cdot RC$$

$$t_H = K \cdot R27 \cdot C17 = K \cdot RC$$

Nie zmienia sytuacji fakt, że w układzie mamy źródła prądowe, a nie proste obwody RC. W tym przypadku  $C=1\mu F$ ,  $R=R13=R27=2,2M\Omega$ , co daje stałą czasową RC równą 2,2 sekundy.

W pokazanym na fotografiach modelu z kostką 74HC14 czas trwania całego okresu wyniósł 5,8 sekundy. Czas przerwy i impulsu wynoszą więc po około 2,9s.

możemy obliczyć współczynnik K

$$K = t_L / RC = t_H / RC$$

W przypadku mojego egzemplarza układu 74HC14 zasilanego napięciem 5V:

$$K = 2,9s / 2,2s = 1,32$$

Inaczej mówiąc, rzeczywisty czas impulsu jest 1,32 razy większy od stałej czasowej RC włączonych rezystorów i kondensatorów.

Znając ten współczynnik mogę potem dobrać ustawienie przełączników S1, S2, S3.

Jeśli wypełnienie ma być równe 50%, zadanie jest dziecinnie łatwe. Najpierw obliczam czas przerwy i impulsu, a potem wybieram sensowną wartość rezystancji i na koniec obliczam pojemność. Przykładowo, chcę uzyskać przebieg prostokątny o częstotliwości 36kHz. Okres wynosi

$$T = 1 / f$$

$$T = 1 / 36kHz = 27,8\mu s$$

czasy przerwy i impulsu wynoszą:

$$t_L = t_H = 13,9\mu s$$

Stąd

$$RC = 13,9\mu s / 1,32 = 10,5\mu s$$

Przyjmuję rezystancję  $R=10k\Omega$  (dołączam R7 i R21). Jeżeli

$$10k\Omega \cdot C = 10,5\mu s$$

to

$$C = 10,5\mu s / 10k\Omega = 1,05nF$$

Ponieważ tolerancja kondensatorów w generatorze wynosi 5% lub 10%, włączę kondensator C8 (1nF).

Mogę też włączyć rezystory 1-kiloomowe (R10, R24), a wtedy potrzebna pojemność wyniesie 10,5nF. Włączę C14, a jeśli trzeba byłoby dokładniej dobrać częstotliwość, jeszcze C7 (0,47nF), ewentualnie C6 (0,22nF). Uzyskanie jeszcze lepszej dokładności jest możliwe po dołączeniu rezystorów o dużych wartościach (47kΩ, 100kΩ, 220kΩ) w obu gałęziach.

W moim generatorze po dołączeniu C7=1nF i R7, R21=10kΩ uzyskałem częstotliwość mniejszą od oczekiwaną, i żeby uzyskać dokładniej 36,0kHz musiałem dodatkowo dołączyć rezystory o znacznie większych wartościach, jak pokazuje następną fotografię.

W przypadku przebiegu o współczynniku wypełnienia około 50% takie przybliżone

obliczenia są naprawdę bardzo proste, a ewentualny błąd można skorygować dołączając dodatkowe rezystory albo kondensatory.

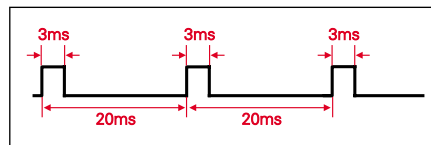
Obliczenia dla przebiegów o dowolnym współczynniku wypełnienia są tylko trochę trudniejsze. Załóżmy, że potrzebny jest przebieg o czasie impulsu równym 3ms i czasie powtarzania 20ms – patrz rysunek 10. Stała czasowa RC wyznaczająca przerwę ma wynosić:

$$RC = t_L / 1,32 =$$

$$17ms / 1,32 = 12,9ms$$

bo czas przerwy wyniesie 20ms-3ms=17ms, natomiast stała czasowa określająca impuls:

Rys. 10



$$RC = t_H / 1,32 = 3ms / 1,32 = 2,27ms$$

Znowu mamy mnóstwo możliwości doboru pojemności i rezystancji. Dla ułatwienia obliczeń przyjmijmy „okrągłą” wartość rezystancji wyznaczającą czas przerwy. Niech będzie to 100kΩ - dołączymy rezystor R4. Obliczamy teraz potrzebną wartość pojemności. Jeśli  $100k\Omega \cdot C = 12,9ms$

$$C = 12,9ms / 100k\Omega = 129nF$$

Dołączymy C14, C12, C10, co da pojemność około 127nF (pomijając tolerancję kondensatorów). Teraz obliczmy potrzebną rezystancję wyznaczającą czas impulsu. Ponieważ

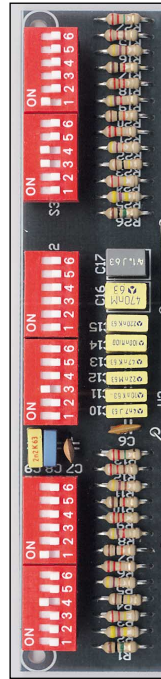
$$R \cdot 129nF = 2,27ms$$

stąd:

$$R = 2,27ms / 129nF = 17,6k\Omega$$

Włączymy rezystory R22 (22kΩ) i R18 (100kΩ), co da rezystancję połączenia równoległego około 18kΩ.

Przy takich ustawieniach w moim modelu czas impulsu wyniósł 3,3ms, a czas powtarzania 19,8ms, co jest bardzo dobrym wynikiem. Żeby uzyskać precyzyjne



wartości 3,0ms i 20,0ms musiałem nieco zmodyfikować ustawienia przełączników, jak pokazuje fotografia na dole strony.

Zgodność takich prostych obliczeń z rzeczywistością nie jest wprawdzie idealna, ale w bardzo wielu przypadkach wystarczy. Dokładnych wartości nie da się obliczyć za pomocą takich rachunków, choćby z uwagi na tolerancje rezystorów (5%) i kondensatorów (5 lub 10%). Przypominam jeszcze raz, że przy innym napięciu zasilania i innym egzemplarzu układu U2 współczynnik K będzie inny. Kto więc chce uzyskać lepszą dokładność, powinien dobrać parametry przebiegu za pomocą oscyloskopu lub miernika czasu.

### Wykaz elementów

Rezystory	
R1,R15	1MΩ
R3,R17	220kΩ
R4,R18	100kΩ
R5,R19	47kΩ
R6,R20	22kΩ
R7,R21	10kΩ
R8,R22	4,7kΩ
R9,R23	2,2kΩ
R10,R24	1kΩ
R11,R25	470Ω
R12,R26	220Ω
R13,R27	2,2MΩ
R14,R28	680Ω
R2,R16	470kΩ
R29	220Ω

### dodatkowe rezystory:

10Ω	2szt
22Ω	2szt
47Ω	2szt
100Ω	2szt

### Kondensatory

C1	100nF ceramiczny
C2,C3	10μF/25V
C4	1000μF/25V
C5,C18	* nie montować
C6	220pF
C7	470pF
C8	1nF MKT
C9	2,2nF MKT
C10	4,7nF MKT
C11	10nF MKT
C12	22nF MKT
C13	47nF MKT
C14	100nF MKT
C15	220nF MKT
C16	470nF MKT
C17	1μF MKT

### Półprzewodniki

D1-D4	1N4148	D5	1N4007
T1	BC558		
T2	BC548		
U1	78L05		
U2	74HC14		

### Pozostałe

L1	10μH
S1-S3	DipSwitch 12
S4	goldpin x 3
jumper	
podstawka DIP24 wąska	3szt
podstawka DIP14	1szt

Komplet podzespołów z płytką jest dostępny w sieci handlowej AVT jako kit szkolny AVT-2633

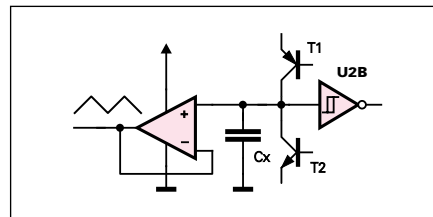
## Tylko dla dociekliwych

Zastosowanie w generatorze źródeł prądowych daje istotne korzyści. I o ile w prostych układach według rysunków 6a...c współczynnik wypełnienia zależy od wartości napięć progowych bramki U2B, o tyle w wersji ze źródłami prądowymi wypełnienie zależy tylko od wartości prądów tych źródeł. Trzeba jednak lojalnie przyznać, że uzyskiwane czasy zależą od szerokości pętli histerezy bramki U2B, a ta jest różna dla poszczególnych egzemplarzy układów scalonych. Warto podkreślić, że czasy te zależą tylko od wielkości histerezy, czyli różnicy wartości tych napięć progowych. Szerokość pętli histerezy zmienia się nieznacznie z temperaturą – te zmiany są jednak niewielkie i można je spokojnie pominąć. Szerokość pętli histerezy zależy natomiast w dużym stopniu od napięcia zasilania. W konsekwencji czasy impulsów będą różne przy różnych napięciach zasilających.

Nie będzie to jednak żadną przeszkodą podczas użytkowania przyrządu, bo w danym zastosowaniu wykorzystywane będzie jakieś konkretne napięcie zasilania. Pamiętaj

tylko, że wykorzystywany współczynnik K zmienia się wraz z napięciem zasilania – możesz to zresztą zmierzyć i zaznaczyć na wykresie zależność K od napięcia zasilania.

Rys. 11



Pamiętaj, że dzięki wykorzystaniu źródeł prądowych zmiany napięcia na dołączonych kondensatorach i wejściu bramki U2B mają charakter liniowy. Możliwe jest więc dodatkowo uzyskanie przebiegu trójkątnego lub piłokształtnego. Aby praktycznie skorzystać z tych interesujących przebiegów należy dodać bufor w postaci wtórnika, najlepiej ze wzmacniaczem operacyjnym według **rysunku 11**. Parametry przebiegu, zwłaszcza ostrość wierzchołków, zależą od szybkości użytego wzmacniacza operacyjnego.

Piotr Górecki