



PRAKTYCZNY KURS cz. 18 ELEKTRONIKI

POCZĄTEK CYFRÓWKI

To przełomowy moment w naszym kursie. Zakończyliśmy kurs układów analogowych i teraz zaczynamy kurs układów cyfrowych.

Oto osiemnasta część PRAKTYCZNEGO KURSU ELEKTRONIKI, który zainaugurowaliśmy w MT 2/2013 i będziemy kontynuować w kolejnych wydaniach. Zainteresowanie kursem jest olbrzymie, dlatego zdecydowaliśmy się umożliwić Czytelnikom dołączenie do niego w dowolnym momencie. Wszystkie poprzednie części są dla wszystkich dostępne w formacie PDF na stronie www.mt.com.pl. Można z nich korzystać w komputerze lub sobie je wydrukować. Można też kupić wszystkie archiwalne numery MT na www.ulubionykiosk.pl. Publikacja każdej kolejnej części jest zawsze poprzedzona jedną stroną wstępnych informacji (jest to właśnie ta strona), żeby nowi Czytelnicy mogli zapoznać się z zasadami KURSU i dołączyć do kursantów. ZAPRASZAMY!

Jeśli nie masz błędnego pojęcia o elektronice, ale chętnie byś poznał jej podstawy, to nadarza Ci się niepowtarzalna okazja. We współpracy z bratnią redakcją miesięcznika „Elektronika dla Wszystkich” publikujemy w „Młodym Techniku” cykl fascynujących lekcji dla zupełnie początkujących. Jest to **Praktyczny Kurs Elektroniki (PKE)** z akcentem na **Praktyczny**, gdyż każda lekcja składa się z **projektu i wykładu z ćwiczeniami**, przy czym **projekt** to konkretny układ elektroniczny samodzielnie montowany i uruchamiany przez „kursanta”. Pewnie myślisz sobie – pięknie, ale jak ja mam montować układy, nie mając lutownicy ani żadnych części elektronicznych. Otóż jest rozwiązanie! Lutownicy nie będziesz w ogóle używać, gdyż wszystkie układy będą montowane na **platce stykowej**, do której wkłada się „nóżki” elementów na wcisk.

I rzecz najważniejsza! Wydawnictwo AVT przygotowało zestaw **EdW09**, zawierający płytkę stykową i wszystkie elementy, jakie będą potrzebne do wykonania kilkunastu projektów zaplanowanych w PKE. Zestaw **EdW09** można kupić w sklepie internetowym www.sklep.avt.pl lub w sklepie firmowym AVT (Warszawa, ul. Leszczyńska 11) – cena brutto 47 zł.

Ale Ty nie musisz kupować! Dostaniesz ten zestaw **za darmo**, jeśli jesteś prenumeratorem MT lub wykupisz wkrótce prenumeratę. Wystarczy wysłać na adres: prenumerata@avt.pl dwa zdania:

„Jestem prenumeratorem MT i zamawiam bezpłatny zestaw EdW09. Mój numer prenumeraty:”

Jeśli otrzymamy to zamówienie przed 28 lipca 2014 r., to zestaw **EdW09** wyślemy Ci w połowie sierpnia 2014 r., wraz z wrześniowym numerem MT.

Uwaga uczniowie!

Szkoły prenumerujące MT otrzymują **Pakiety Szkolne PS EdW09**, zawierające po **10 zestawów EdW09** (każdy z nich zawiera komplet elementów z płytką stykową), skalkulowane na zasadach non profit w promocyjnej cenie 280 zł brutto za jeden pakiet PS EdW09 (tj. z rabatem 40% – 28 zł brutto za pojedynczy zestaw EdW09, którego cena handlowa wynosi 47 zł). Upewnij się, czy Twoja szkoła prenumeruje MT (niemal wszystkie szkoły ponadpodstawowe i wiele podstawowych otrzymują MT w prenumeracie sponsorowanej przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego) i przekaz nauczycielom informację o **Praktycznym Kursie Elektroniki** z promocyjnymi dostawami **Pakietów Szkolnych PS EdW09** do ćwiczeń praktycznych.

Zestaw EdW09 zawiera następujące elementy (specyfikacja rodzajowa):

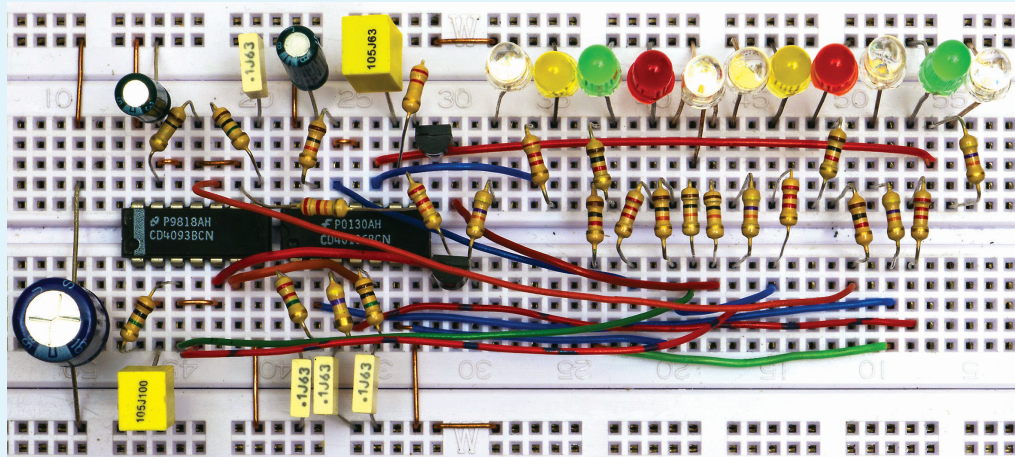
- | | |
|--------------------------------|-----------|
| 1. Diody prostownicze | 4 szt. |
| 2. Układy scalone | 4 szt. |
| 3. Transzystory | 8 szt. |
| 4. Fotorezystor | 1 szt. |
| 5. Przekaznik | 1 szt. |
| 6. Kondensatory | 22 szt. |
| 7. Mikrofon | 1 szt. |
| 8. Diody LED | 11 szt. |
| 9. Przewód | 1 m |
| 10. Mikroswitch | 2 szt. |
| 11. Piezo z generatorem | 1 szt. |
| 12. Rezystory | 64 szt. |
| 13. Srebrzanka | 1 odcinek |
| 14. Zatrask do baterii 9V | 1 szt. |
| 15. Płytki stykowe prototypowa | 1 szt. |
| 840 pól stykowych | |

Cena zestawu **EdW09** – 47 zł brutto
(www.sklep.avt.pl)

Uwaga Szkoły

Tylko dla szkół prenumerujących „Młodego Technika” przygotowano **Pakiety Szkolne** zawierające 10 zestawów EdW09 (**PS EdW09**) w promocyjnej cenie 280 zł brutto, tj. z rabatem 40%.

Autorem **Praktycznego Kursu Elektroniki** jest **Piotr Górecki**, redaktor naczelny kultowego w świecie hobbystów – elektroników miesięcznika „Elektronika dla Wszystkich”, autor legendarnych cykli artykułów i książek uczących elektroniki od podstaw.



Projekt 18

Cyfrowa tęcza świetlna

W wykładzie 18 zaczynamy badać i wykorzystywać **cyfrowe układy scalone**. Zaczynamy od układów najprostszych. Fotografia tytułowa pokazuje cyfrową tęczę świetlną. Wszystkie diody świecące z zestawu EdW09, czyli dziesięć pojedynczych diod LED i trójkolorowa dioda RGB, sterowane są przez kilka prostych generatorów i kilka bramek logicznych. Diody migoczą w niepowtarzalnym rytmie, wytwarzając przy poruszaniu efekt świetlny, po części widoczny na **fotografii A**. Podobną tęczową wstęgę realizowaliśmy w wykładzie 3, ale miała ona tylko sześć diod LED, a układ sterujący zawierał zdecydowanie więcej elementów. Teraz wykorzystaliśmy cyfrowe (logiczne) układy scalone, co znakomicie uprościło układ sterujący i dało jeszcze lepszy, zdecydowanie bogatszy efekt. Schemat ideowy cyfrowej tęczy świetlnej pokazany jest na **rysunku B**. Zwróć uwagę, że na schematach układów cyfrowych inaczej oznaczamy obwody zasilania.

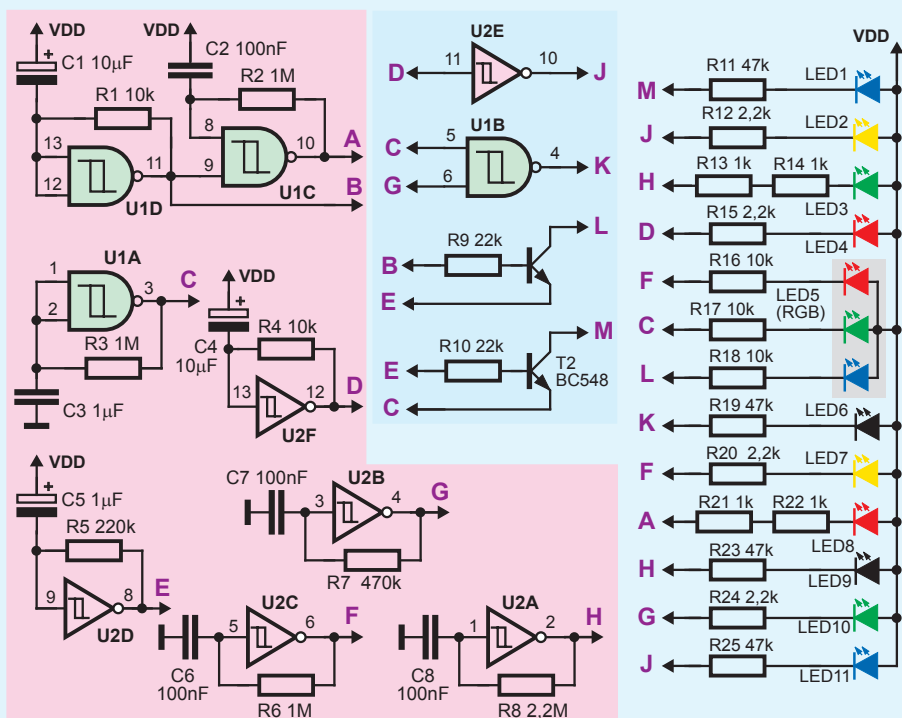
Nie zapomnij o podłączeniu nóżek 14 obu układów scalonych do plusa zasilania (V_{DD}), a nóżek 7 do masy (minusa zasilania – V_{SS}).

W Elportalu (www.elportal/pke) można znaleźć filmiki, pokazujące pracę układu z fotografii tytułowej.



Opis układu dla „zaawansowanych”

Tęczę świetlną tworzy 13 świecących struktur, zawartych w 11 diodach LED. Anody wszystkich diod są dołączone wprost do dodatniej szyny zasilania (V_{DD}). Rezystory szeregowo R11...R25 ograniczają ich prąd. Ja zastosowałem różne wartości rezystorów ograniczających, ponieważ skuteczność świetlna poszczególnych diod zawartych w moim zestawie znacznie się różni. U mnie



B

najmniej skuteczne były pojedyncze diody żółte, zielone i czerwone – dlatego współpracują z nimi rezystancje ograniczające o małej wartości 2...2,2 kΩ. Dużo jaśniej świecą struktury trójkolorowej diody LED RGB – tu jako ograniczniki pracują rezystory 10-kiloomowe. Najskuteczniejsze są diody niebieskie i białe – ich prąd ograniczają rezystory 47 kΩ.

W układzie tęczy świetlnej pracuje osiem generatorów, wyróżnionych różową podkładką. Mamy tu najprostsze generatory, zbudowane z użyciem tylko jednego rezystora i kondensatora na bramkach (U1D, U1A) i inwerterach (U2A, U2B, U2C, U2D, U2F). Generator na bramce U1C jest sterowany przez generator U1D. Częstotliwości poszczególnych generatorów nie są synchronizowane, przez co wytwarzana sekwencja błysków jest niepowtarzalna.

Większość diod LED sterowana jest bezpośrednio z wyjść generatorów. Jednak niektóre diody sterowane są za pośrednictwem bramek i inwertera, wyróżnionych jasnoniebieską podkładką. Rozszerza to możliwości tworzenia specyficznych wzorów świetlnych. Na **rysunku C** pokazane jest, że pojedynczy tranzystor z rezystorem w obwodzie bazy może pełnić funkcję podobną jak połączenie bramek NAND i negatora.

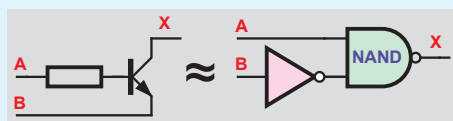
Na rysunku B fioletowe litery wskazują, jak połączone są generatory, bramki i diody LED w moim modelu. Ty też możesz je tak połączyć. Pomocą w montażu będzie wtedy fotografia tytułowa.

Jednak połączenia mogą być zupełnie inne. Możesz niemal dowolnie, według swojego uznania, połączyć diody LED do punktów A...M. Możesz też podać inne sygnały na wejścia bramek (wyróżnione ciemniejszym niebieskim paskiem).

Zwróć tylko uwagę na obciążenie wyjść generatorów – do jednego wyjścia (A...H, L, M) mogą być dołączone dwie diody LED, ale tylko jedna z nich może mieć rezystor ograniczający 2 kΩ...2,2 kΩ. Jeżeli do jednego wyjścia dołączysz dwie diody z rezystorami o tak małej wartości, generator może nie pracować prawidłowo z uwagi na nadmierne obciążenie.

Możesz też niemal dowolnie zmieniać wartości elementów RC w generatorach, by uzyskać inne częstotliwości pracy. Mój model podczas pracy przy zasilaniu napięciem 9 V pobiera średnio około 11 mA prądu. Można zwiększyć wartości rezystorów ograniczających prąd diod LED (zamiast 1 kΩ i 2,2 kΩ zastosować 2,2 kΩ i 4,7 kΩ), by układ pobierał mniej prądu. Efekt uzyskiwany w ciemności też będzie dobry.

Zachęcam Cię, żebyś po zapoznaniu się z treścią całego wykładu 18 wprowadził w układzie jeszcze



C

inne modyfikacje. Możesz zastosować generator dwubramkowy, możesz zmieniać współczynniki wypełnienia przebiegów, dodając diody. Możesz dodać inne bramki, zrealizowane na tranzystorach i diodach. Możliwości jest mnóstwo! Zachęcam do eksperymentów!

Poznajemy elementy i układy elektroniczne

Do tej pory w ramach PKE zajmowaliśmy się tak zwaną **techniką analogową**. Począwszy od wykładu 18 zaczynamy zajmować się **techniką cyfrową**. Według powszechnej opinii technika cyfrowa jest znacznie łatwiejsza od analogowej. Wielu elektroników zaczyna od „cyfrowki” i pomija technikę analogową. Okazuje się to dużym błędem – tacy „cyfrowi elektronicy” nie rozumieją ważnych zagadnień podstawowych i popełniają wiele błędów. Choć obecnie dominują układy cyfrowe, nieprzypadkowo zaczęliśmy kurs PKE od techniki analogowej. A teraz w wielkim skrócie omówimy podstawowe zagadnienia techniki cyfrowej. Ponieważ jest to ogromna dziedzina elektroniki, z konieczności nie omówimy wszystkiego. Zrealizujemy dwa wątki: jeden praktyczny, w którym będziemy realizować ćwiczenia oraz budować interesujące i pożyteczne układy. Natomiast w drugim wątku zapoznam Cię z grubsza z techniką cyfrową. Będzie to ogólny obraz kluczowych zagadnień i problemów. Dojdziemy do układów PLD i mikroprocesorów, ale w ramach PKE eksperymentować z nimi nie będziemy (jeżeli odpowiednio duża liczba Czytelników wyrazi takie życzenie, możemy też przedstawić w „EdW” i „Młodym Techniku” oddzielny kurs, dotyczący mikroprocesorów). W ramach najbliższych kilku wykładów PKE możesz w praktyczny sposób, solidnie poznać podstawy techniki cyfrowej. Wyposażony w taką wiedzę i umiejętności będziesz

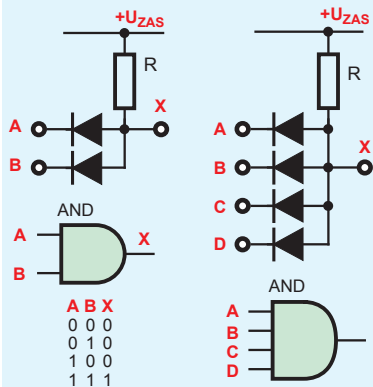
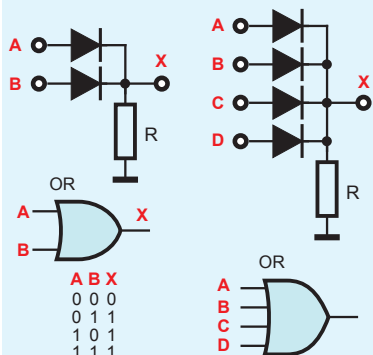
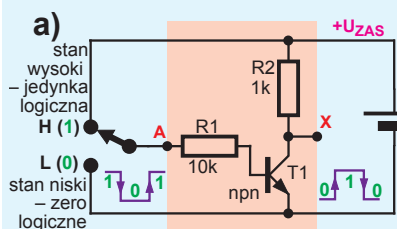
mógł samodzielnie budować rozmaite układy cyfrowe i zdobywać dalsze informacje.

Zaczynamy!

Już na początku wykładu 3 rozważaliśmy pracę tranzystora jako przełącznika, gdy wykorzystujemy tylko stan zatkania i nasycenia, a zakres pracy liniowej nas praktycznie nie interesuje. Już

tam wspomnieliśmy, że w takich układach „przełącznikowych” napięcie bliskie pełnemu napięciu zasilania to **stan logiczny wysoki**, oznaczany zwykle literą **H** (High), ale często też cyfrą **1** (**jedynka logiczna** – jest napięcie). Natomiast napięcie bliskie zeru, czyli potencjałowi masy, to **stan logiczny niski**, oznaczany albo literą **L** (Low), albo cyfrą **0** (zero logiczne – brak napięcia). Powiedzieliśmy, że tranzystor pracujący według **rysunku 1a** jest **inwerterem**, czyli układem odwracającym (stan logiczny). Symbol inwertera pokazany jest na **rysunku 1b**. Inwerter realizuje bodaj najprostszą **funkcję logiczną**: negację (zaprzeczenie), czyli zmienia stan logiczny na przeciwny, dlatego jest też często nazywany **negatorem**. W literaturze inwertery nazywane są funktorami NOT (od angielskiego NIE). Kółeczko na graficznym symbolu oznacza negację.

Oprócz inwerterów, czyli negatorów, bardzo pożyteczne okazują się też układy elektroniczne, realizujące inne funkcje logiczne. **Rysunek 2** pokazuje bardzo prostą realizację funkcji **sumy logicznej OR** (angielskie LUB) w wersji z dwoma i czterema wejściami oraz odpowiadające im symbole. Idea jest dziecinnie prosta: wystarczy, by stan wysoki H pojawił się **przynajmniej na jednym wejściu**, a na wyjściu też pojawi się stan wysoki. **Rysunek 3** pokazuje podobnie prostą realizację funkcji **iloczynu logicznego AND** (angielskie I) – aby na wyjściu pojawił się stan wysoki, stany wysokie muszą pojawić się **na wszystkich wejściach**. Bardziej pożyteczne okazują się układy, realizujące dodatkowo funkcję negacji NOR (NOT + OR), a w praktyce jeszcze bardziej NAND (NOT + AND), co można byłoby zrealizować na przykład według **rysunku 4**. Tak zwane tabele prawdy podstawowych bramek pokazane są w **tabeli 1**.



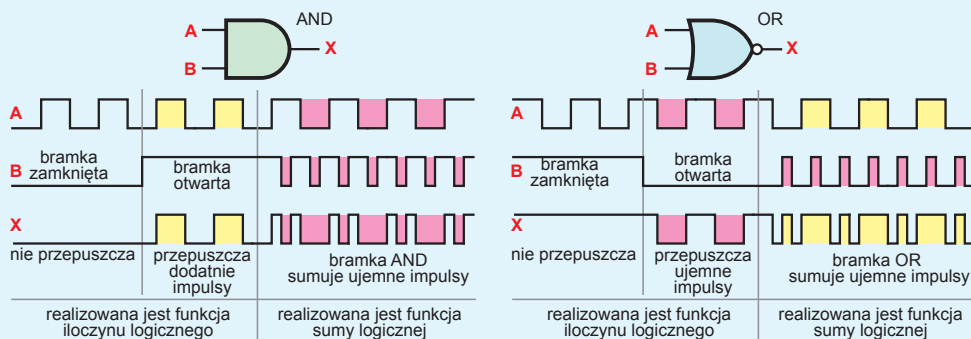
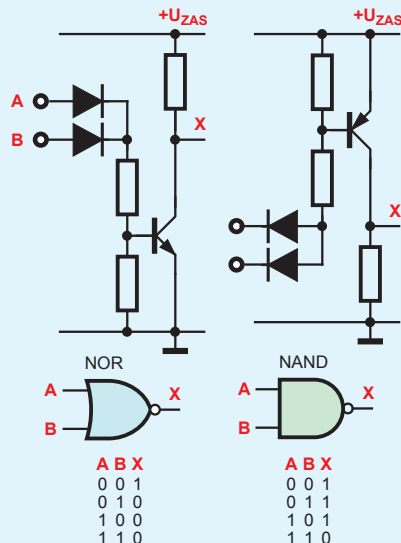


Układy takie nazywamy **bramkami**, a nazwa związana jest z tym, że bramka może być otwarta lub zamknięta, czyli przepuszczać (sygnały) lub nie przepuszczać. W zasadzie bramkowanie realizują elementy AND i NAND. Ale co istotne (i dziwne dla początkujących), każda z bramek OR, NOR oraz AND, NAND w praktyce może realizować funkcję iloczynu logicznego (bramkowania), ewentualnie sumy logicznej.

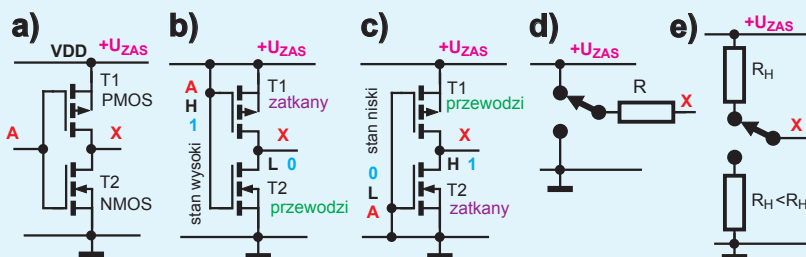
Na przykładzie bramek AND i OR pokazuje to **rysunek 5**. Podobnie jest z bramkami NOR i NAND. Ta sama bramka może pełnić funkcję OR oraz AND (NOR oraz NAND), co też sygnalizuje rysunek 5. Bramki z negacją (NOR, NAND) są zdecydowanie bardziej uniwersalne: mając wystarczająco dużą liczbę tylko jednego rodzaju bramek NOR albo NAND, moglibyśmy zrealizować dowolnie skomplikowany układ logiczny, na przykład potężny superkomputer.

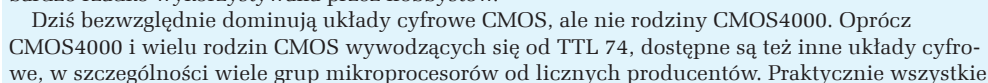
W praktyce inwertery, bramki i inne układy logiczne realizuje się inaczej niż na dotychczasowych rysunkach. Wszystkie współczesne układy logiczne są realizowane jako układy CMOS (Complementary MOS), to znaczy zbudowane są z komplementarnych tranzystorów MOSFET według idei z **rysunku 6**. NMOS, czyli MOSFET N, działa podobnie jak tranzystor NPN: otwierany jest dodatnim napięciem sterującym, natomiast PMOS – jak tranzystor PNP. Co istotne, obwód wejściowy tych tranzystorów i bramek CMOS jest w sumie kondensatorem o maleńkiej pojemności i w spoczynku nie pobiera prądu. Gdy na wejściu A jest stan wysoki H, dolny tranzystor T2 typu NMOS jest ot-

Wejścia		Wyjście			
A	B	AND	NAND	OR	NOR
0	0	0	1	0	1
0	1	0	1	1	0
1	0	0	1	1	0
1	1	1	0	1	0



warty i wyjście jest dołączone do masy przez rezystancję otwartego tranzystora T2. Górny tranzystor T1 typu PMOS jest zatkany. Gdy na wejściu jest stan niski, tranzystor T2 jest zatkany, T1 – otwarty i wyjście jest dołączone do dodatniej szyny zasilania przez rezystancję otwartego tranzystora T1. Co ważne, w obu „czystych” stanach logicznych sam inwerter nie pobiera prądu ze źródła zasilania, bo jeden z tranzystorów jest zatkany. Przez inwerter płynie prąd podczas przełączania, gdy napięcie wejściowe przyjmuje pośrednie wartości, „w okolicach” połowy napięcia zasilania.







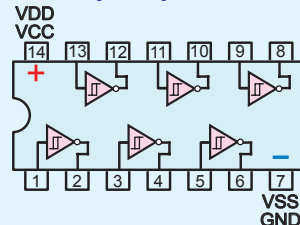
mikroprocesory to też układy CMOS, czyli zbudowane z komplementarnych tranzystorów MOSFET według rysunku 6a.

Jedną z kluczowych różnic, przynajmniej dla początkujących, między rozmaitymi rodzinami układów cyfrowych, jest zakres napięć zasilania. Wykorzystywane przez nas stare i nadal popularne **układy rodziny CMOS 4000 mają bardzo szeroki zakres napięć zasilania: 3...15 V**. W praktyce pracują też przy napięciu zasilania poniżej 3 V, a układy niektórych producentów mają maksymalne napięcie zasilania aż 20 V. Natomiast cyfrowe układy TTL serii 74 i pokrewnych zasilane były „standardowym” napięciem $5\text{ V} \pm 10\%$, czyli 4,5...5,5 V. Dla popularnej do dziś serii 74HC zalecany zakres napięć zasilania to 3...6 V. Obecnie obserwujemy tendencję zmniejszania wartości napięcia zasilania, nawet do 1,5 V i niżej. Na przykład rodziny 74AUC i 74AUP mają zakres napięć zasilania 0,8 V...2,7 V, a 74AXP 0,7 V...2,75 V.

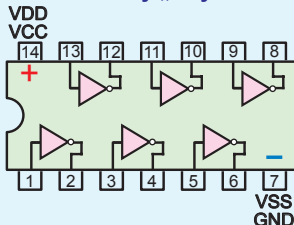
Układy scalone wykorzystywanej przez nas rodziny 4000 o identycznych funkcjach jak rodziny 74, oprócz innego zakresu napięć zasilania, zwykle mają odmienny rozkład wyprowadzeń. Tylko nieliczne układy rodzin 4000 i 74 mają identyczne funkcje i taki sam rozkład wyprowadzeń, na przykład inwertery 4069 i 7404 oraz 40106, 4584 i 74HC14. Przykłady na rysunku 9.

Warto dodać, że produkowane są też tak zwane bufory, podobne do negatorów. W zasadzie nie pełnią one żadnej funkcji logicznej (powtarzają na wyjściu logiczny sygnał wejściowy), ale bywają przydatne w praktyce, jak na przykład kostka 4050. Bufory 4050 oraz negatory 4049 nie mają na wejściach obwodów histerezy i choć pochodzą z rodziny 4000, mają znacznie zwiększoną wydajność prądową wyjść oraz inny rozkład wyprowadzeń, w tym końcówek zasilania, niż negatory 4069 i 40106 – **rysunek 10**. W układach CMOS4000, w większości układów

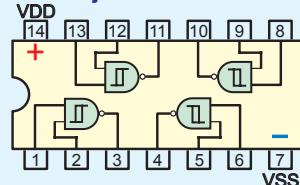
40106, 4584, 7414, 74HC14
inwertery z wejściem Schmitta



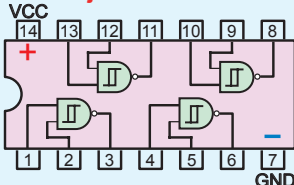
4069, 4069U, 7404, 74HC04
inwertery „zwykłe”



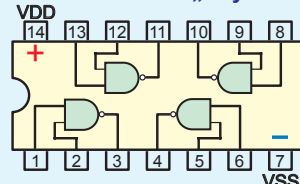
4093 – NAND
z wejściami Schmitta



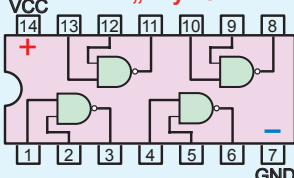
74132, 74HC132 – NAND
z wejściami Schmitta



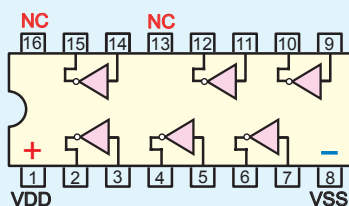
4011 – NAND „zwykłe”



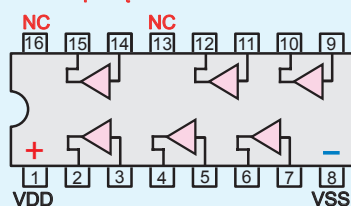
7400, 74HC00
NAND „zwykłe”



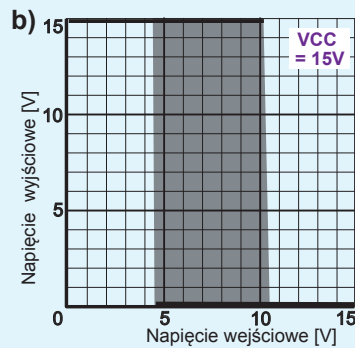
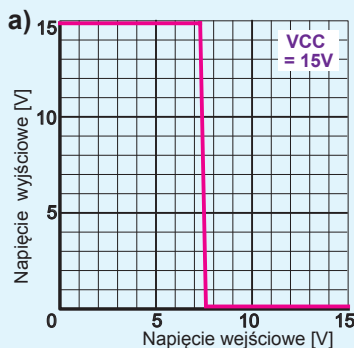
NC = Not Connected – końcówka niepodłączona

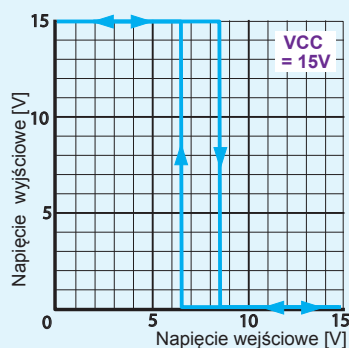


4049 – „zwykłe” negatory
o zwiększonym prądzie wyjść



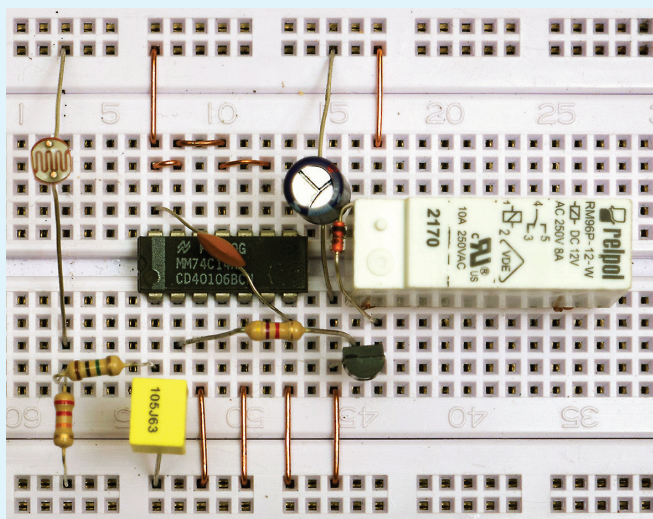
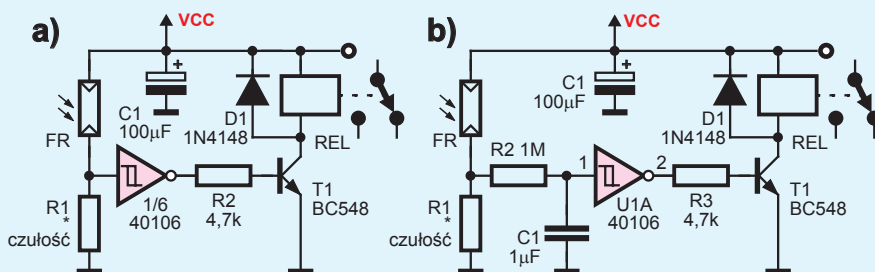
4050 – „zwykłe” bufory





rodziny 74 oraz w wielu innych układach scalonych wyprowadzenia zasilania umieszczone są „po przekątnej”, a końcówka o najwyższym numerze to „plus zasilania”.

Można przyjąć, że typowe wejście CMOS traktuje napięcia mniejsze od połowy napięcia zasilania jako stan niski, a większe – jako stan wysoki. Z uwagi na niedoskonałość technologii występują rozrzuty między egzemplarzami, w praktyce próg przełączania wynosi 40...60% napięcia zasilania, a teoretycznie może nawet wynosić 30...70% Uzas. W idealnym przypadku charakterystyka przełączania „zwykłego” inwertera, np. z kostki 4069B, byłaby taka, jak na **rysunku 11a**. Z uwagi na rozrzut parametrów, charakterystyka zmieści się w obszarze pokazanym na **rysunku 11b**. My w zestawie EdW09 mamy inwertery z wejściami



Schmitta z kostki 40106, gdzie występuje histereza, czyli mamy dwa progi przełączania: górny przy wzroście napięcia i dolny przy zmniejszaniu się napięcia. Ilustruje to w uproszczeniu **rysunek 12**.

Jeżeli chodzi o praktyczne realizacje, to na początek możemy wykorzystać bodaj najprostsz **wyłącznik zmierzchowy** według **rysunku 13a**. Inwertery kostki 40106 mają wbudowane na wejściu obwody zapewniające histerezę, dlatego nie boją się „śmiecici na wejściu” i wyłącznik zmierzchowy może być aż tak bardzo prosty – próg zadziałania wyznacza wartość rezystora R1 (większa rezystancja powoduje, że przełącznik zadziała przy

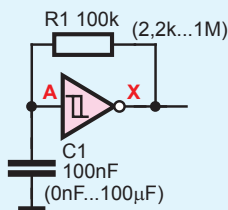
słabszym świetle). Jeżeli potrzebne byłoby zmniejszenie wrażliwości na silne zakłócenia impulsowe lub szybkie zmiany jasności (np. błyskawice podczas burzy), na wejściu można dodać obwód filtrujący R2, C1 według **rysunku 13b**.

Uwaga 1. Na schematach z reguły nie zaznacza się w ogóle końcówek zasilania układów cyfrowych.

Trzeba jednak pamiętać, żeby zawsze podłączać te końcówki.

Uwaga 2. Niewykorzystane wejścia układów CMOS nie mogą pozostać niepodłączone – należy je podłączyć albo do masy, albo do plusa zasilania, ewentualnie do jakiegoś wyjścia. Pozostawienie wejść niepodłączonych, czyli „wiszących w powietrzu” grozi w najlepszym przypadku zwiększeniem poboru prądu, w najgorszym – błędnym działaniem układu; do tej kwestii jeszcze będziemy wracać.

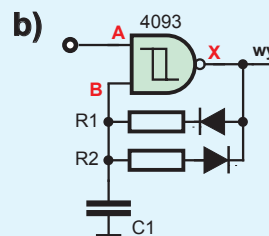
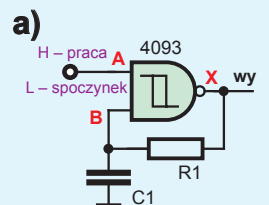
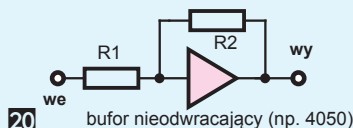
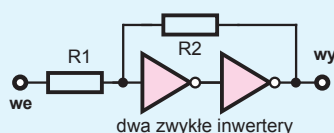
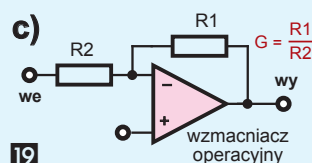
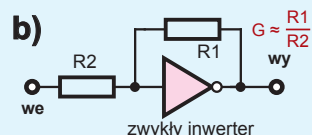
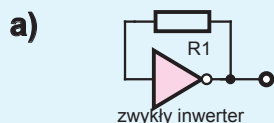
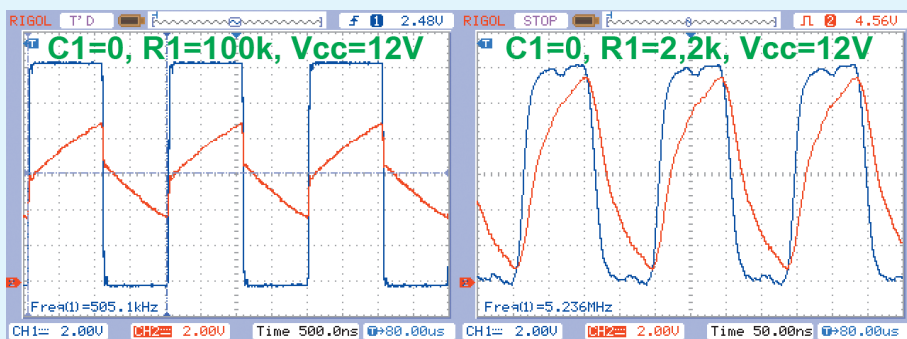
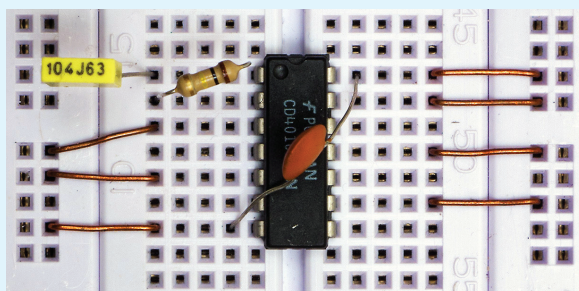
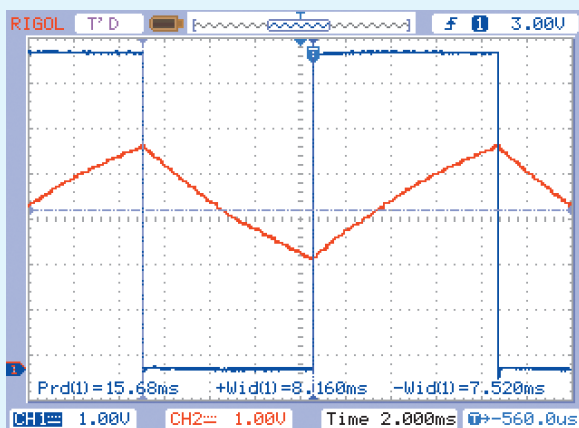
Fotografia 14 pokazuje mój model – zwróć uwagę, że wszystkie nieużywane wejścia zostały podłączone albo do masy, albo do plusa zasilania.

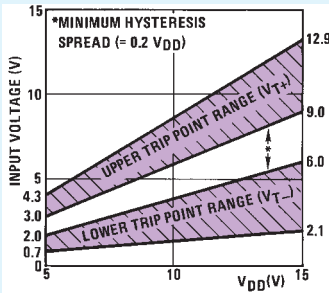




Ponieważ inwertery kostki 40106 i bramki 4093 mają na wejściach wbudowane obwody zapewniające histerezę, można na nich zrealizować najprostsze generatory według **rysunku 15**. Po włączeniu zasilania kondensator C1 jest rozładowany, napięcie na nim i na wejściu A jest równe zeru. Jest to stan niski, więc na wyjściu X panuje stan wysoki i kondensator ładuje się prądem płynącym przez rezystor R1. Gdy napięcie na kondensatorze dojdzie do górnego progu przełączania wejścia A, stan wyjścia zmieni się na niski i kondensator zacznie się rozładowywać. Gdy napięcie spadnie do dolnego progu przełączania, stan wyjścia zmieni się na wysoki, kondensator znów zacznie się ładować i zacznie się kolejny cykl. **Rysunek 16**, zrzut z ekranu oscyloskopu, pokazuje przebiegi w punktach A (czerwony), X (niebieski) zmontowanego przeze mnie modelu z elementami $R=100\text{ k}\Omega$ i $C=100\text{ nF}$ – **fotografia 17**.

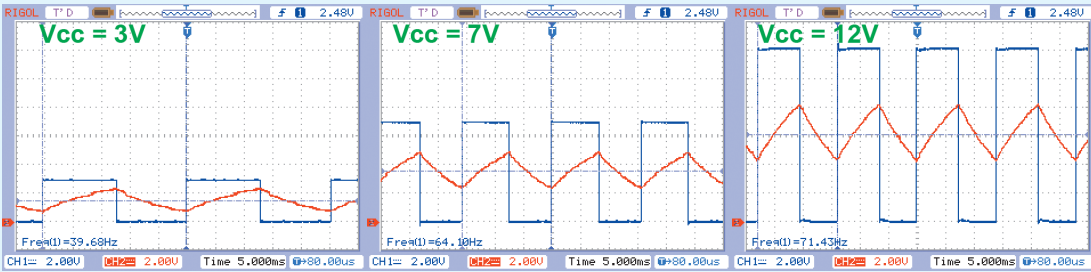
Co ciekawe, taki generator może z powodzeniem pracować także bez



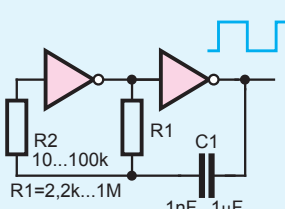


kondensatora C1! **Rysunek 18** pokazuje przebieg na wyjściu (niebieski) i w punkcie A (czerwony) przy $C1=0$, gdy $R1$ wynosi 100 k Ω oraz 2,2 k Ω . Wytwarzany wtedy przebieg ma dużą częstotliwość, nawet ponad 5 MHz. W rzeczywistości pojemność nie jest równa zero, tylko jest sumą pojemności montażowych oraz wewnętrznej pojemności wejścia inwertera (około 5...10 pF), a dodatkowe znaczenie mają opóźnienia wewnątrz inwertera – do tych zagadnień jeszcze wrócimy.

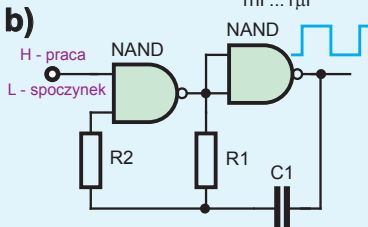
Praca w roli generatora jest możliwa z uwagi na histerezę na wyjściu. Nie da się natomiast w ten sposób zrealizować



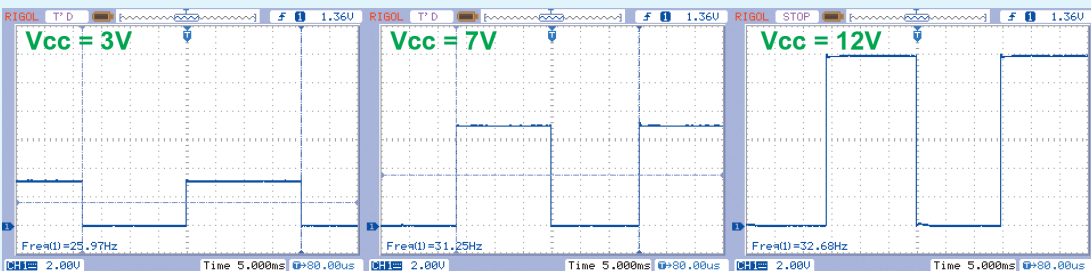
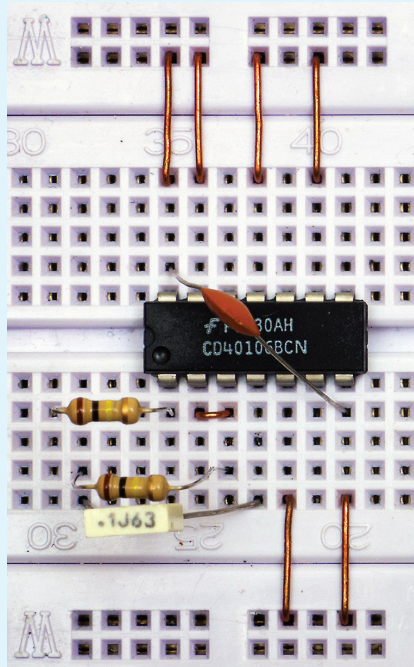
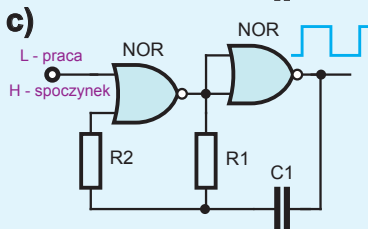
a)



b)



c)





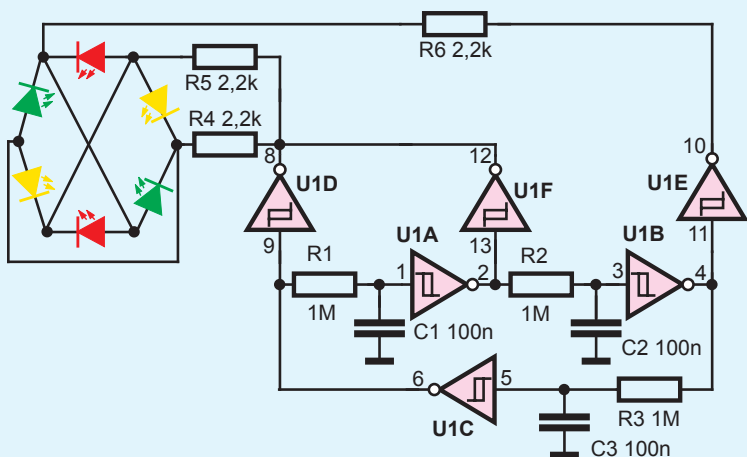
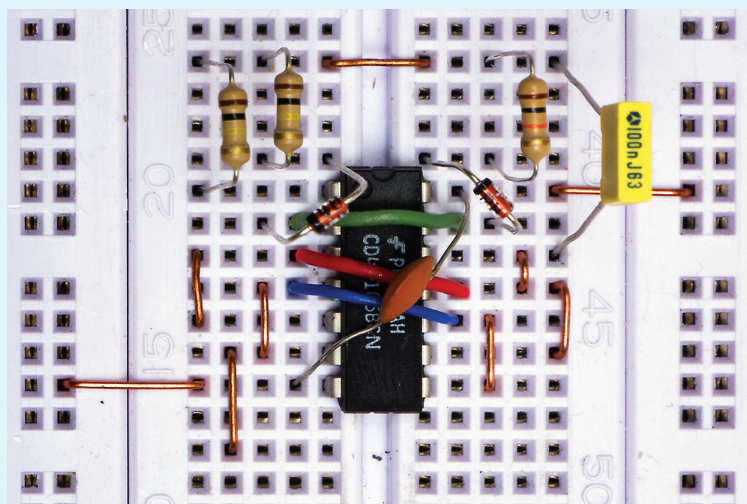
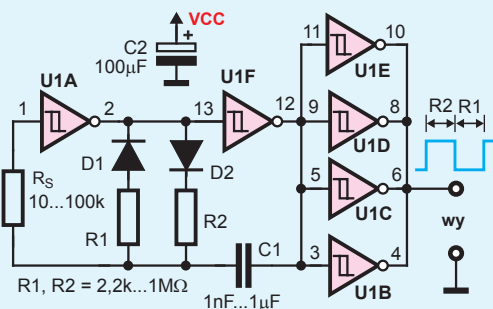
generatorów na jednym zwykłym inwerterze z kostki 4069, 4049 czy 7404. W takich układach włączenie rezystora między wejściem a wyjściem oznacza wprowadzenie ujemnego sprzężenia zwrotnego. W układzie z **rysunku 19a** na wejściu i wyjściu ustawi się napięcie stałe zbliżone do połowy napięcia zasilania, równe napięciu progowemu (przełączania) tej bramki. Dodanie jeszcze jednego rezystora według **rysunku 19b** pozwala zrealizować... wzmacniacz

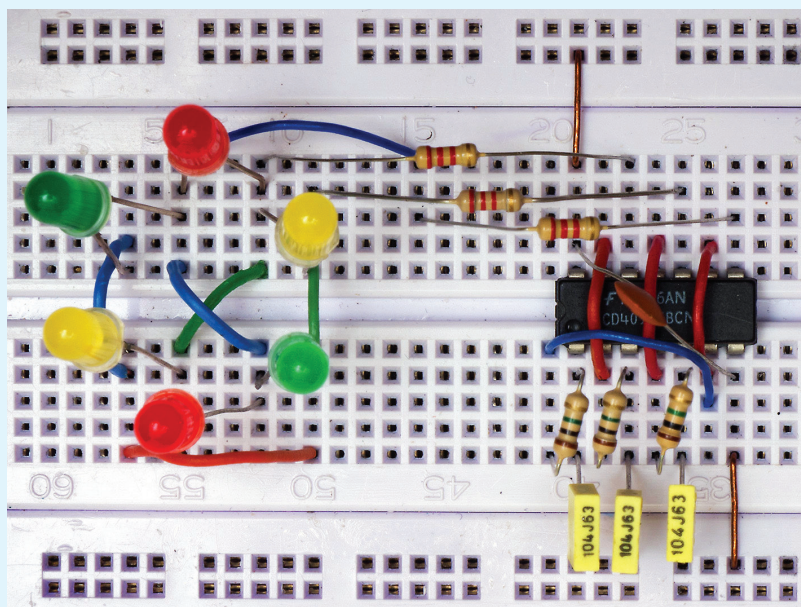
odwracający, niedoskonały odpowiednik znanego nam już wzmacniacza odwracającego według **rysunku 19c**. Proste wzmacniacze według rysunku 19b są wykorzystywane bardzo rzadko. Nie zbadały ich zalet i wad, ponieważ w zestawie EdW09 mamy tylko bardziej skomplikowane bramki z histerezą na wejściu.

A na marginesie: z dwóch „zwykłych” inwerterów lub jednego bufora można zbudować układ Schmitta z histerezą według **rysunku 20**, gdzie progi przełączania są wyznaczone przez stosunek wartości rezystorów.

Wracamy do najprostszych generatorów, które często są realizowane w wersji z wejściem sterującym na bramce NAND z wejściami Schmitta według **rysunku 21a**. Gdy na wejściu sterującym A panuje stan niski, na wyjściu X i w punkcie B jest stan wysoki, generator nie pracuje i wcale nie pobiera prądu. Co istotne, kondensator C1 jest naładowany, co jest korzystne, gdy miałby to być kondensator elektrolityczny (pozostając pod napięciem, jest zaformowany, nie traci pojemności i ma znikomy prąd upływu). Takie generatory można też realizować z diodami według **rysunku 21b**. Dwie rezystancje niezależnie określają czasy ładowania i rozładowania kondensatora, co zmienia nachylenie zbczy „trójkąta” w punkcie B i wypełnienie przebiegu na wyjściu X.

Na pozór takie generatory z jednym inwerterem „ze szmitem” są bardzo atrakcyjne, jednak ich poważną wadą jest mała stabilność częstotliwości. Pochodzący z katalogu kostki CD40106 **rysunek 22** przedstawia możliwy rozrzut napięć progowych i szerokości histerezy tych inwerterów. Z uwagi na tak duży rozrzut między





egzemplarzami, nie sposób obliczyć częstotliwości pracy. Natomiast w pierwszym, zgrubnym przybliżeniu można przyjąć, że $f \sim 1/RC$.

Z uwagi na rozrzuty i różnice między egzemplarzami, po wymianie układu częstotliwość pracy będzie inna z uwagi na inne wartości napięć progowych i inną szerokość histerezy. Ale to nie wszystko. Częstotliwość zależy też od temperatury, ponieważ temperatura zmienia wartość progów przełączania. Zależy ponadto od wartości napięcia zasilania.

Rysunek 23 pokazuje zrzuty z ekranu oscyloskopu przebiegów w punktach A (czerwony), X (niebieski) układu z rysunku 15 i fotografii 17, zdjęte przy napięciach zasilania U_z równych 3 V, 7 V, 12 V. Jak widać, częstotliwość zmienia się od 39,68 Hz przy 3 V do 71,43 Hz przy 12 V, czyli prawie dwukrotnie. Takie proste generatory mogą się sprawdzić wyłącznie w zastosowaniach niewymagających stabilności.

Dużo lepszą stabilność ma tak zwany *klasyczny generator dwubramkowy* według **rysunku 24a**. Wersje z **rysunku 24b** i **24c** mają dodatkowo wejście sterujące. W takim generatorze jak najbardziej mogą, a nawet powinny, pracować zwykłe inwertery lub bramki, ale my wykorzystamy posiadane inwertery 40106 i bramki 4093 „ze szmitem”.

Kondensator C1 musi być kondensatorem niebiegunowym (stałym). Nie można tu zastosować pojedynczego „elektrolita”. Zbadałem stabilność „napięciową” takiego generatora z elementami $R1 = 100 \text{ k}\Omega$, $C1 = 100 \text{ nF}$, $R2 = 100 \text{ k}\Omega$ (**fotografia 25**). **Rysunek 26**, zrzut ekranu oscyloskopu, pokazuje, że stabilność jest znacznie lepsza niż generatora badanego wcześniej – częstotliwość zmienia się tylko o około 25%.

Możesz zbudować praktyczny generator warsztatowy według **rysunku 27** i **fotografii 28**. Dwie diody pozwalają niezależnie i w szerokim zakresie ustawiać czas trwania dodatniego impulsu ($R2$) oraz czas trwania przerwy ($R1$), czyli regulować współczynnik wypełnienia impulsów.

Na koniec zrealizujmy zaskakująco efektowny, a bardzo prosty efekt świetlny *wirujące kółko*, zbudowany na jednym układzie scalonym według **rysunku 29** i **fotografii 30**. Wykorzystujemy tu bardzo rzadko spotykany układ generatora z trzema ogniwami opóźniającymi RC. Diody warto rozmieścić na obwodzie koła, co da efekt wirowania. Działanie mojego modelu można obejrzeć na filmiku, dostępnym w Elportalu.

Na koniec jeszcze raz przypominam, że na schematach układów cyfrowych z zasady nie zaznacza się końcówek zasilania, które zawsze powinny być podłączone.

Oczywiście wszystkie przedstawione układy można modyfikować i dostosować do swoich potrzeb. Można też zrealizować wiele pokrewnych układów z generatorami i bramkami.

Zachęcam do eksperymentów! ■

Piotr Górecki