

PKE – Praktyczny Kurs Elektroniki

Tęczowa wstęga

Wykład 3

Na powyższej fotografii pokazany jest model, zrealizowany na płytce stykowej oraz efekty uzyskiwane w mroku. Piękny wzór tęczowej wstęgi jest wytwarzany przez różnokolorowe diody LED, zaświecające się i gasnące w rytmie wyznaczanym przez cztery generatory o różnych częstotliwościach. Gdy urządzenie jest nieruchome widać tylko lekkie pulsowanie niektórych diod LED, co nie jest żadną atrakcją. Wspaniały widok świetlistej wstęgi ujawnia się gdy diody LED zostaną wprowadzone w ruch. Fantastyczny efekt uzyskuje się w nocy lub w zaciemnionym pomieszczeniu.

Energiczne poruszanie modelem, zbudowanym na płytce stykowej, nie jest zbyt wygodne. Trzeba uważać, żeby nie wypadła bateria lub jakieś elementy. Z drugiej strony właśnie taki model ma ogromną zaletę, ponieważ można bardzo łatwo dobierać rozmieszczenie, kolory i jasność poszczególnych diod LED oraz zmieniać częstotliwości generatorów.

Tego rodzaju efekty widmowe są naprawdę bardzo atrakcyjne i warto zrealizować je w bardziej trwałej postaci. Może to być urządzenie trzymane

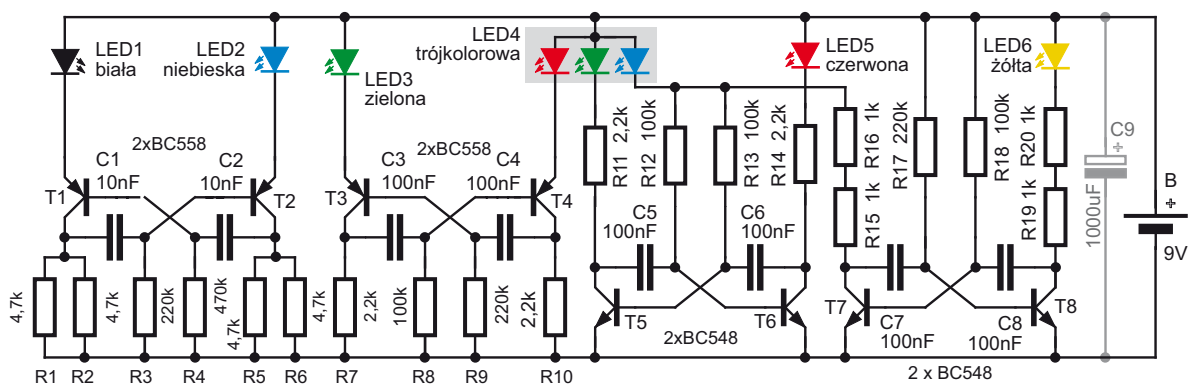
w rękę, rodzaj „magicznej pałki świetlnej”. Zmodyfikowaną wersję, być może uproszczoną albo rozdzieloną na mniejsze części (oddzielne generatory), można zamontować na kole roweru. Wtedy trzeba pamiętać o właściwym zrównoważeniu ciężaru (masy) i wyważeniu koła. Należy też zmniejszyć prąd diod i do zasilania użyć mniejszych baterii, być może dwóch lub trzech małych guzikowych CR2032, dostępnych w cenie nawet poniżej 2zł.

Opis układu dla „zaawansowanych”

Schemat ideowy układu pokazany jest na **rysunku A**. Jak widać, jest to zestaw czterech podobnych bloków, zrealizowanych na tranzystorach npn oraz pnp. Są to cztery niezależne generatory – klasyczne multiwibratory, zwane też przerzutnikami astabilnymi. Dwa tranzystory każdego generatora otwierają się i zamykają na przemian, a to powoduje migotanie diod

włączonych w ich kolektorach. Czasy włączenia i wyłączenia każdego z tranzystorów są wyznaczone przez stałe czasowe RC elementów dołączonych do ich baz. Warto zwrócić uwagę, że w niektórych generatorach wartości elementów RC, wyznaczające czasy trwania obu stanów, celowo nie są jednakowe. Dzięki temu można uzyskać przebiegi o współczynniku wypełnienia różnym od 50%, czyli zróżnicować czas zaświecania i wygaszania poszczególnych diod LED. Ścisłej mówiąc, stała czasowa obwodu RC, dołączonego do bazy danego tranzystora, wyznacza czas *wyłączenia* danej diody, natomiast o czasie jego *włączenia* decyduje stała czasowa obwodu RC, dołączonego do drugiego, współpracującego tranzystora. Czas wyłączenia danej diody można zmieniać, modyfikując wartość rezystora i kondensatora dołączonego do bazy sterującego nią tranzystora.

Rys. A



stora. Rezystory i kondensatory można łączyć szeregowo i równolegle, by uzyskać pośrednie wartości.

W modelu diody LED nieprzypadkowo ustawiono w rzędzie, a wszystkie anody są dołączone do plusa zasilania. Aby to uzyskać, nietypowo włączono diody LED w emiterach tranzystorów pnp T1 – T4. Dzięki temu diody o poszczególnych kolorach można dołączać do generatorów dowolnie. W modelu zastosowano też trójkolorową diodę LED. Zamiast niej można oczywiście włączyć dowolne trzy pojedyncze diody. Każdy Czytelnik może inaczej rozmieścić i dołączyć diody o dowolnych kolorach, by uzyskać odmienny, niepowtarzalny efekt.

Warto wypróbować działanie urządzenia z kondensatorem C9 o dużej pojemności 1000uF a także bez niego. Z kondensatorem generatory będą miały mniejszą skłonność do wzajemnej synchronizacji, a bez tego kondensatora (zależnie od tolerancji użytych elementów) może wystąpić synchronizacja generatorów, która zresztą może być potraktowana albo jako zaleta, albo jako wada.

Podane dalej wiadomości pozwolą zmodyfikować lub zupełnie inaczej zrealizować tęczową wstęgę. Możliwości są wręcz nieskończone i każdy może stworzyć niepowtarzalny wzór świetlny. Można też dobrać jasność świecenia poszczególnych diod LED i związany z tym pobór prądu, zmieniając wartości rezystorów w kolektorach wszystkich tranzystorów. W modelu prądy diod są zbliżone, ponieważ równolegle połączono po dwa rezystory 4,7kΩ, uzyskując 2,35kΩ, oraz łącząc w szereg 2 x 1kΩ, by uzyskać 2kΩ. Kto chce, może zmieniać wartość tych rezystorów kolektorowych w zakresie 1kΩ...10kΩ, np. by wyrównać jasność świecenia diod o różnych kolorach. Model może być zasilany z baterii 9V choć ze względów ekonomicznych warto byłoby do zasilania wykorzystać 6 (4...8) jednorazowych ogniw lub akumulatorów wielkości R6 (AA), które mają zdecydowanie większą pojemność. Pozwoli to na pracę przy większych prądach diod LED, przez co efekt będzie widoczny z daleka.

Poznajemy elementy i układy elektroniczne

W tym wykładzie poznamy kilka bardzo ważnych, popularnych, często wykorzystywanych obwodów i układów. Zapoznaj się z nimi, starannie wykonując wszystkie zaproponowane ćwiczenia!

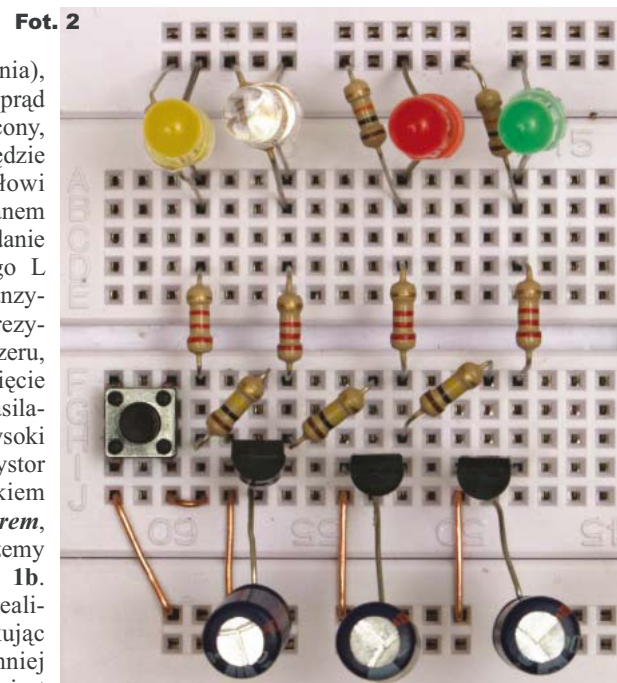
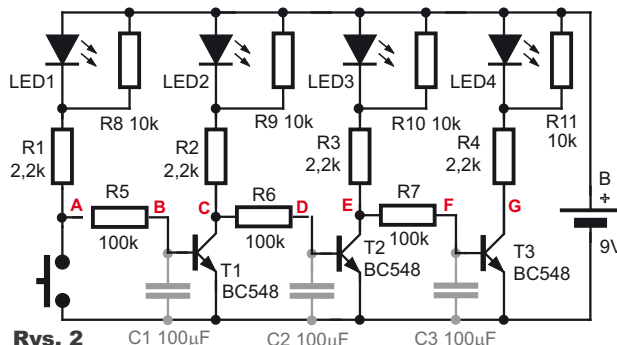
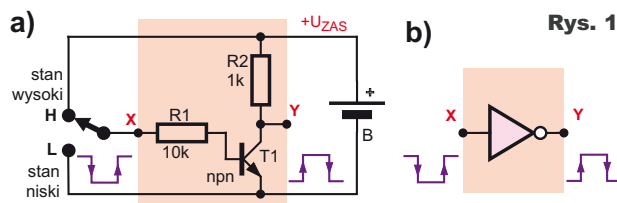
Tranzystor jako przełącznik. W poprzednim wykładzie zapoznaliśmy się z tranzystorami bipolarnymi. Przeko-

naliśmy się, że tranzystor jest wzmacniaczem. W wielu zastosowaniach tranzystory pracują w zakresie liniowym, czyli wzmacniają napięcia i prądy. Częściej jednak tranzystor pracuje w tak zwanych

układach logicznych, gdzie pełni funkcję przełącznika (klucza). Wtedy wykorzystujemy tylko stan zatkania i nasycenia, a zakres liniowy nas praktycznie nie interesuje. Na **rysunku 1a** pokazany jest tak pracujący tranzystor. Gdy przełącznik S1 ustawimy w położeniu H, czyli podamy na punkt X tak zwany **stan wysoki** (napięcie zasilania), wtedy przez R1 popłynie prąd i tranzystor zostanie nasycony, a w punkcie Y napięcie będzie równe zero (potencjałowi masy), co nazywany stanem niskim. I odwrotnie: podanie na wejście stanu niskiego L (potencjał masy) zatka tranzystor, spadek napięcia na rezystorze R2 będzie równy zero, więc w punkcie Y napięcie będzie równe napięciu zasilania, czyli będzie to stan wysoki – H. Tak pracujący tranzystor okazuje się przełącznikiem odwracającym – **inwerterem**, co w uproszczeniu możemy przedstawić na **rysunku 1b**.

W praktyce inwertery realizuje się inaczej, uzyskując lepsze parametry, niemniej także układ z **rysunku 1a** jest użyteczny. Taką ideę wykorzystaliśmy też w poprzednim odcinku, w tytułowym układzie alarmowym – tam tranzystor T1 pracował jako tego rodzaju przełącznik „odwracający”. Teraz zbadajmy kilkustopniowy układ, pokazany na **ilustracji 2**, ale na razie bez kondensatorów C1, C2, C3. W spoczynku jasno świeci dioda LED2, ponieważ T1 jest nasycony, a napięcie w punkcie C jest bliskie zero. Dlatego T2 jest zablokowany (stan odcięcia) i prąd przezeń nie płynie. Niewielki prąd płynie przez R3, R7 do bazy T3 i T3 jest otwarty (nasycony) – świeci LED4.

Gdy naciśniesz S1, napięcie w punkcie A stanie się równe zero, co zatka T1. Prąd kolektora T1 przestaje płynąć, zgaśnie LED2, a napięcie na kolektorze T1 (punkt C) wzrośnie, co spowoduje



włączenie i nasycenie T2 i zaświecenie LED3. Otwarty (nasycony) T2 spowoduje zatkanie T3 i zgaśnięcie LED4.

Prądy baz, płynące przez R1, R2, R3 powodowałyby niewielkie świecenie LED1, LED2, LED3. Aby diody te nie świeciły, równolegle z nimi włączyliśmy rezystory R8, R9, R10, R11 o takiej wartości, żeby prądy baz wywoływał na nich spadek napięcia mniejszy niż napięcie przewodzenia diod LED (poniżej 1,5V). Mogą to być rezystory 22kΩ lub 10kΩ. Wtedy stan diod LED pokazuje, jaki jest prąd kolektora danego tranzystora. Proponuję, żebyś sprawdził też działanie bez rezystorów R8-R11.

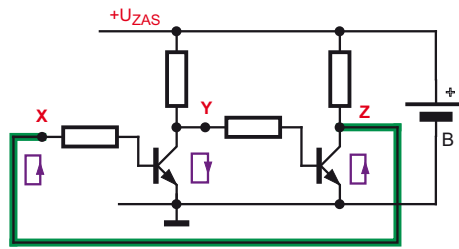
W każdym razie potwierdziliśmy, że układ z **rysunku 1a** istotnie jest przełącznikiem odwracającym, inwerterem,

inaczej negatorem: Gdy napięcie w punkcie A rośnie, to tak samo rośnie też napięcie w punkcie E. Podobnie, gdy rośnie napięcie w punkcie C, rośnie też w punkcie G. Możemy powiedzieć, że kierunki zmian napięcia w punktach A i E oraz C i G są zgodne. Natomiast kierunki zmian napięcia w punktach A, C oraz E, G są przeciwne, odwrotne.

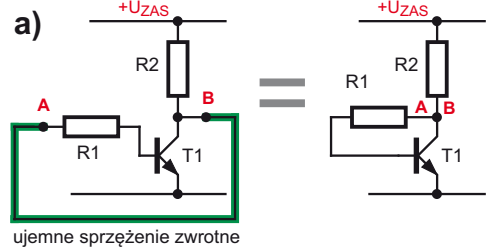
A teraz spowolnimy działanie każdego stopnia, dołączając kondensatory C1, C2, C3. Przy każdej zmianie stanu, kondensatory będą się ładować lub rozładowywać (według zielonej krzywej z rysunku 22 z pierwszego wykładu), co powoduje opóźnione zmiany napięcia na bazie tranzystora. W układzie bez kondensatorów też występują takie opóźnienia, ale zwykle są one mniejsze, niż 1 milionowa sekundy i zwykle możemy je zaniedbać.

Weźmy teraz dwa inwertery według rysunku 3. Łącząc wejście pierwszego z wyjściem drugiego, jak pokazuje zielono wyróżniona linia, wprowadzamy w układzie bardzo silne **dotądnie sprzężenie zwrotne**. Mamy *sprzężenie zwrotne*, bowiem *zwracamy* sygnał z wyjścia na wejście, a *dotądnie* jest ono dlatego, że zmiany napięć w punktach X, Z są zgodne. Gdybyśmy podobne połączenie wykonali w układzie z rysunku 4a lub 4b, byłoby to silne **ujemne sprzężenie zwrotne**, ponieważ kierunki zmian napięć w punktach A, B oraz w punktach A, D są odwrotne, przeciwne. Do ujemnego sprzężenia zwrotnego jeszcze wrócimy.

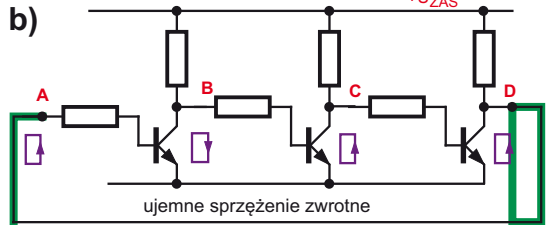
Na razie praktycznie zbadajmy układ według **ilustracji 5**. Mamy tu dwa stopnie (dwa inwertery), dodaliśmy dwa przyciski, a łącząc R3 z kolektorem T2 wprowadziliśmy bardzo silne **dotądnie sprzężenie zwrotne**. Na przemian naciskaj S1 i S2



Rys. 3 dodatnie sprzężenie zwrotne



ujemne sprzężenie zwrotne

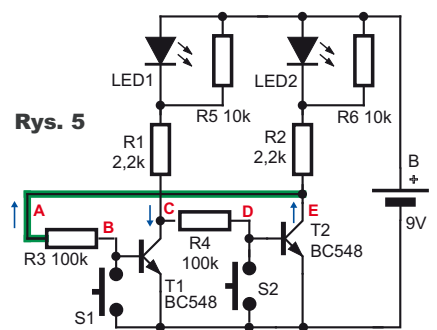


ujemne sprzężenie zwrotne

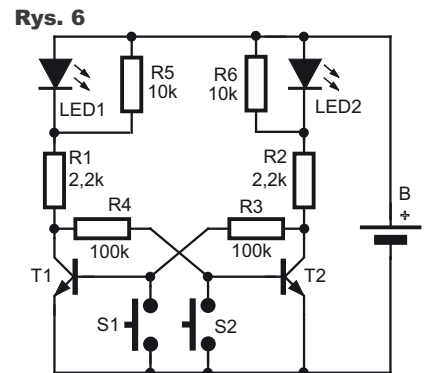
Rys. 4

– przekonaj się, że zbudowałeś właśnie elementarną komórkę pamięci, układ o dwóch stanach stabilnych. Zazwyczaj taki układ ma schemat narysowany inaczej – w podręcznikach przedstawiany jest tak, jak na **rysunku 6** i jest powszechnie znany jako **przerzutnik bistabilny**, lub **przerzutnik RS**, (RS – Reset – wyzeruj, Set – ustaw).

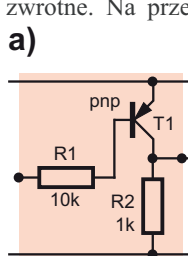
Analogicznie dwa stany stabilne ma połączenie dwóch tranzystorów komplementarnych (dopełniających), czyli npn i pnp. Tranzystor pnp też możemy traktować jak przełącznik z rysunku 1, co pokazuje **rysunek 7a**. Możemy wykorzystać komplementarne przełączniki – inwertery, na przykład według **rysunku 7b** – porównaj rysunki 3, 5, 6. Podobieństwo jest bardzo duże, zmiany napięć i prądów są zgodne, czyli też występuje bardzo silne **dotądnie sprzężenie zwrotne**. Schemat można narysować inaczej – jak na **rysunku 7c**. Możemy także uprościć układ do postaci z **rysunku 7d** – tutaj prąd kolektora jednego tranzystora staje się prądem bazy drugiego. Taki układ też ma dwa stany stabilne, występuje jednak istotna różnica w działaniu – to nie jest przerzutnik bistabilny o dwóch **równorzędnych** stanach. Tu w jednym ze stanów stabilnych oba tranzystory są zablokowane, nie przewodzą. Gdy choć na chwilę



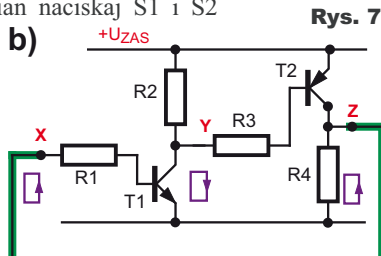
Rys. 5



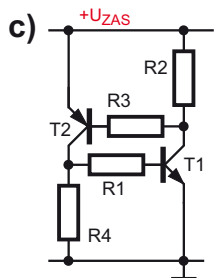
Rys. 6



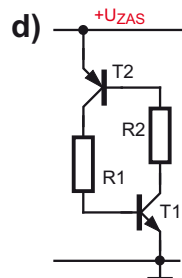
a)



b)



c)



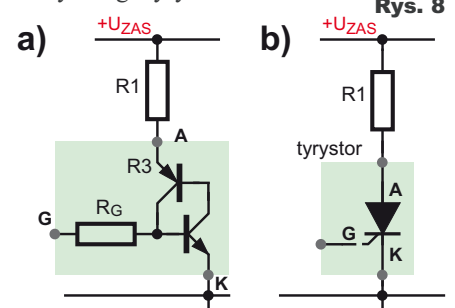
d)

Rys. 7

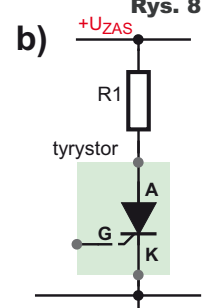
otworzymy jeden z tranzystorów, oba zaczną przewodzić – zostaną nasycone i pozostaną w takim stanie, dopóki będzie płynął prąd.

Taki układ można jeszcze bardziej uprościć, do postaci z **rysunku 8a**. I taką właśnie strukturę zastępczą ma element elektroniczny, znany jako **tyrystor** – jego symbol graficzny jest pokazany na **rysunku 8b**. Tyrystor byłby nazywany **sterowaną diodą**, dlatego elektrody nazywają się **anoda A**, **katoda K** oraz **bramka G** (*gate*). Tyrystory są produkowane jako pojedyncze elementy – **fotografia 9** pokazuje przykłady **tyrystorów** i **triaków** (triaki to tak zwane „tyrystory dwukierunkowe”). Tyrystorami i triaka-

mi nie będziemy się zajmować w ramach PKE. Zapamiętaj tylko, że tyrystor jest trochę podobny do tranzystora npn, bo do włączenia potrzebny jest prąd elektrody sterującej (bramki – G) i napięcie na bramce około 0,7V. Jednak w przeciwieństwie do tranzystora, nawet bardzo **krótki impuls prądu bramki włącza tyrystor na trwałe**. W przeciwieństwie do tranzystora, klasycznego tyrystora nie można



a)



b)

Rys. 8

wyłączyć, zwiernając bramkę do katody (na co wskazuje obecność rezystora R_G na rysunku 8a). **Tyrystor można wyłączyć tylko przerywając przepływ prądu obciążenia.** Czy zauważyłeś, że taką strukturę tyristorową zastosowaliśmy jako pamięć alarmu w projekcie wstępnym wykładu 2? Aby układ był mniej czuły na szkodliwe wpływy i zakłócenia, dodaliśmy tam rezystory i kondensatory według **rysunku 10**.

A teraz dokładnie zbadajmy pewne ważne zagadnienie, sprawiające kłopot wielu początkującym. **Nie zlekceważ tego ważnego ćwiczenia!** Zbuduj układ według **ilustracji 11**. W spoczynku T1 nie przewodzi, LED1 jest wygaszona, napięcie na kolektorze T1 jest wysokie. Prąd płynie przez R4 do bazy T2, który jest otwarty, dlatego świeci LED2.

Gdy naciśniesz i przytrzymasz przycisk S1, włączysz T1 i zaświeci LED1, przez chwilę zaświeci też włączona „odwrotnie” dioda LED3 i na pewien czas zgaśnie LED2. Wymień kondensator C1 z 10uF na 100uF - czas gaśnięcia LED2 zdecydowanie się wydłuży. Czy potrafisz wyjaśnić zachowanie diod LED2 i LED3?

Otóż w spoczynku, w stanie ustalonym, prąd płynie przez R4 i napięcie na bazie nasyconego tranzystora T2 wynosi około 0,6V. Takie też napięcie występuje na ujemnej końcówce kondensatora C1. Tranzystor T1 jest zatkany, jakby go nie było, więc przez R1 i R5 prąd nie płynie, nie występuje na nich spadek napięcia ($U=I \cdot R$), więc napięcie w punkcie C jest równe napięcia zasilania ($U_{ZAS}=9V$). Zgodnie z **rysunkiem 12a**, w spoczynku **kondensator C1 jest naładowany** i występuje na nim napięcie ($8,4V=9V-0,6V$), czyli bliskie pełnemu napięciu zasilania.

Gdy naciśniemy S1, otworzymy i nasycimy tranzystor T1. Choć nie jest to do końca prawdą, można śmiało przyjąć, że między kolektorem i emiternem powstanie wtedy zwarcie – punkt C zostanie zwarty do masy. A to oznacza, że dodatnia końcówka kondensatora C1 zostanie zwarta (ściągnięta) do masy.

A końcówka ujemna?

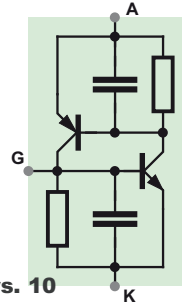
I właśnie tu początkujący mają duże problemy, a tymczasem sprawa jest prosta: przekonał się wcześniej, że nałado-

wany kondensator zachowuje się jak mała baterijka. I właśnie dołączenie dodatniego bieguna tej baterijki do masy spowoduje, że na drugiej końcówce napięcie będzie **ujemne względem masy**. Ilustruje to w uproszczeniu **rysunek 12b**. Po pierwsze, jak wskazują czerwone strzałki, spowoduje to chwilowy przepływ prądu przez włączoną „odwrotnie” diodę LED3 – chwilowy, bo pojemność C1 jest niewielka. Po drugie, na bazę tranzystora T2 zostanie wtedy podane napięcie **ujemne względem masy**. Dotychczas nie rozważaliśmy takiej możliwości – otóż w takich nietypowych warunkach tranzystor też będzie zatkany (odcięty). Gdyby nie było diody LED3, to ujemne napięcie w pierwszej chwili wynosiłoby $-8,4V$. Obecność diody LED powoduje ograniczenie tego napięcia poniżej 4V (napięcie przewodzenia diody LED, stąd zresztą silny, krótki błysk tej diody).

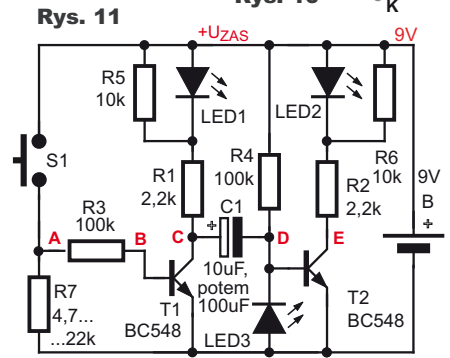
W każdym razie prąd bazy T2 nie będzie płynął, natomiast cały czas będzie płynął prąd przez rezystor R4, czego nie zaznaczyliśmy na rysunku 12b. Bateria zasilająca B zostaje szeregowo połączona z naładowanym kondensatorem C1 (dodatková baterijka), ich napięcia się dodają, i prąd płynie w obwodzie pokazanym na **rysunku 12c**. Kondensator C1 stopniowo się rozładowuje, napięcie na nim zmniejsza się do zera, a następnie... kondensator zaczyna się ładować, ale w przeciwnym kierunku. Gdyby nie było tranzystora, kondensator naładowałby się „odwrotnie” do pełnego napięcia baterii. Obecność złącza baza-emiter spowoduje, że „odwrotne” napięcie wzrośnie do około 0,6V – wtedy zacznie znów przewodzić tranzystor T2 i zaświeci LED2 – sytuację ilustruje **rysunek 12d**. Jeśli przycisk S1 będzie ciągle naciśnięty, to układ pozostanie w takim właśnie stanie. Zwróć uwagę, że kondensator elektrolityczny, który jest elementem biegunowym, zostanie naładowany napięciem o niewłaściwym kierunku,



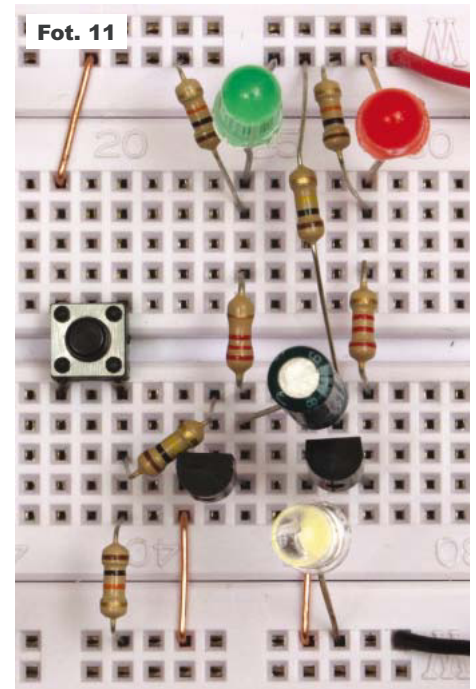
Fot. 9



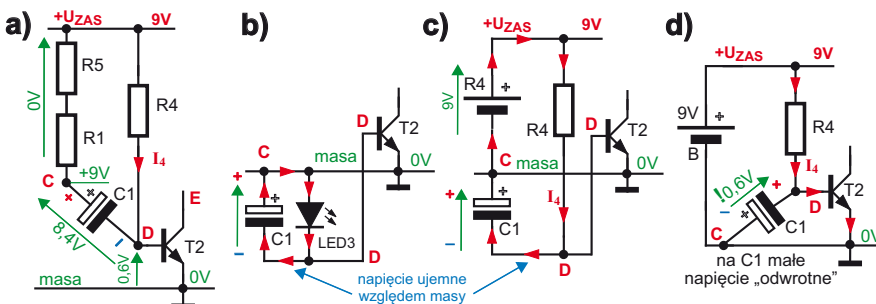
Rys. 10



Rys. 11



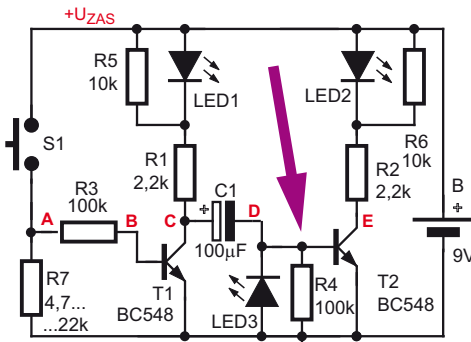
Fot. 11



Rys. 12

ku, jednak o małej wartości 0,6V...0,7V, co jest dopuszczalne.

Gdy przycisk S1 zostanie zwolniony, tranzystor T1 przestanie przewodzić – będzie stanowił rozwarcie – jakby go znów nie było. W pierwszej chwili po rozwarciu T1 kondensator C1 będzie „małą odwrotną baterijką” o napięciu 0,7V, jak pokazuje **rysunek 12e**. Oprócz płynącego

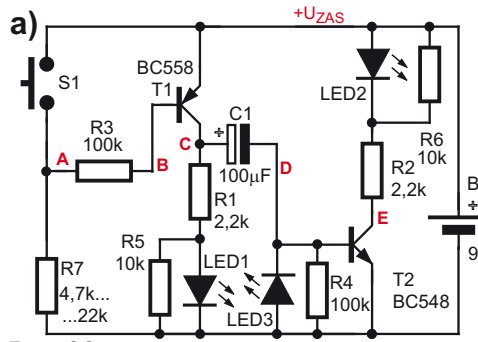


przez R4 prądu I_4 , pojawi się też przez chwilę płynący przez R1 prąd I_1 , który najpierw zmniejszy „niewłaściwe” napięcie na C1 do zera, a dalej naładuje kondensator napięciem o prawidłowej biegunowości. Rozwarcie S1 i zatkanie T1 nie wpłynie więc na stan T2, który pozostanie nasycony, bo do prądu, płynącego przez R4, przez chwilę dojdzie impuls prądu ładowania kondensatora C1 prądem I_1 . W zasadzie w chwili zatkania T1 powinna zgasnąć dioda LED1, jednak będzie ona świecić nieco dłużej, właśnie dzięki prądowi ładowania kondensatora C1 przez rezystor R1. Gdy C1 naładuje się do napięcia ($U_{ZAS} - 0,7V$), prąd I_1 zmniejszy się do zera i powrócimy do sytuacji spoczynkowej z rysunku 12a.

Nawet jeśli w pełni nie rozumiesz wszystkich szczegółów, zapamiętaj: 1 – przez jakiś czas w układzie pojawia się napięcie ujemne względem masy, o czym świadczy błysk LED3, 2 – LED1 świeci chwilę także po wyłączeniu (zatkanium) T1 wskutek prądu ładowania C1 przez R1.

Proponuję też, żebyś samodzielnie zbadał działanie wersji z **rysunku 13**, gdzie rezystor R4 dołączony jest do masy, a nie do plusa zasilania. Wtedy w spoczynku T2 jest zatkany i LED2 nie świeci. Nadal przy naciśnięciu S1 błyska „odwrotnie” włączona dioda LED3 – wiesz już dlaczego. Dioda LED2 zaświeca się, ale nie po naciśnięciu, tylko po zwolnieniu przycisku S1.

Proponuję teraz, żebyś NIE DEMONTOWAŁ wersji z rysunku 13, tylko dobudował nowy bardzo podobny układ według **rysunku 14a**. Wykorzystujemy

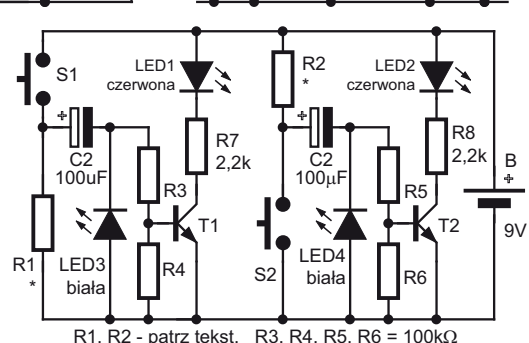
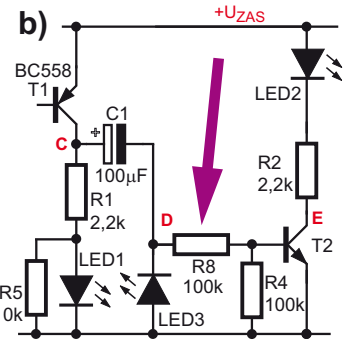


tutaj inny inwerter, z tranzystorem pnp, jednak działanie powinno być takie same (pomijając diodę LED1). Tymczasem w układzie z rysunku 14a widać wyraźne różnice w czasach świecenia LED2 i LED3 w stosunku do układu z rysunku 13. Czas błysku LED2 jest teraz krótszy, a LED3 – jakby dłuższy. Dlaczego?

W układzie z rysunku 13 czas ładowania kondensatora C1 określony jest teraz głównie przez rezystancje R1+R5. Natomiast w układzie z rysunku 14, C1 ładuje się przez małą rezystancję otwartego tranzystora pnp (T1) i małą rezystancję obwodu bazy T2 – stąd krótszy czas świecenia LED2, a z kolei C1 rozładowuje się przez rezystancje R1+R5 i dlatego dłużej świeci LED3. Aby zwiększyć czas świecenia LED2, można według **rysunku 14b** dodać szeregowy rezystor R8 – wtedy czas świecenia LED2 wyznaczy głównie stała czasowa R8C1.

Ostatnie ćwiczenia zwracają uwagę na ważną kwestię ładowania i rozładowania kondensatora w tego typu układach. Początkujący często zapominają, że tak pracujący kondensator trzeba nie tylko naładować, ale też skutecznie (i szybko) rozładować. Zachęcam: zbadaj bliżej te zależności, zbuduj i testuj jednocześnie dwa bliźniacze układy z **rysunku 15** przy różnych wartościach $R1=R2: 2,2k\Omega, 22k\Omega, 220k\Omega$.

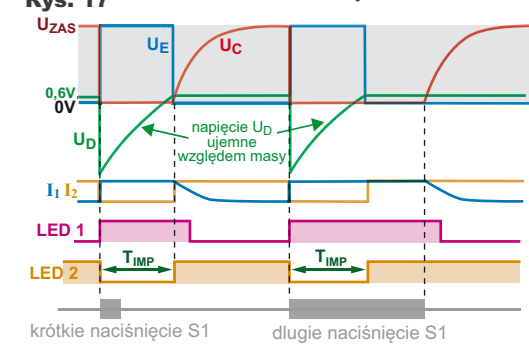
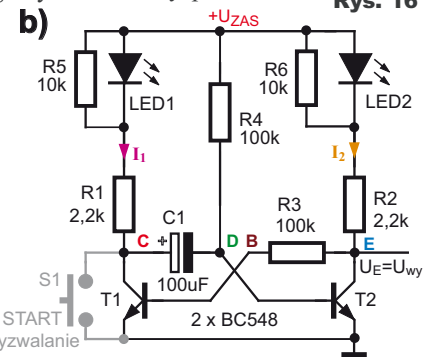
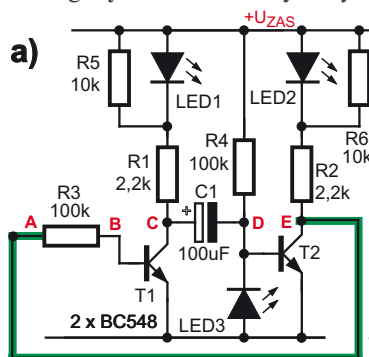
Uniwibrator. Wróć jeszcze do układu z rysunku 11 z kondensatorem $C1=100\mu F$. Dioda LED zgaśnie na dłużej, na czas określony przez war-



Rys. 15 tości R4C1, ale trzeba długo naciskać przycisk S1. Zapewne zauważyłeś też, że po pierwsze, impuls nie kończy się nagle, tylko płynnie. Po drugie, gdy tylko na chwilę naciśniesz S1, to LED2 też zgaśnie tylko na tę chwilę. W niektórych zastosowaniach byłyby to poważne wady. Możemy to w prosty sposób zmienić, dołączając w układzie z rysunku 11 punkt A do punktu E, czyli wprowadzając dodatkowo sprzężenie zwrotne. Możemy to przedstawić jak na **rysunku 16a**, jednak częściej rysujemy to tak, jak na **rysunku 16b**, gdzie dodatkowo szarym kolorem zaznaczyłem przycisk wzywający S1. Przebiegi w układzie z rysunku 16b pokazane są na **rysunku 17**. Przetestuj taki układ – przekonasz się, że:

- 1 – wcześniej LED2 gasła nagle, ale zaświecała się płynnie, a teraz także zaświecanie jest nagle.
- 2 – czas wytwarzanego impulsu nie jest zależny od czasu naciskania S1.

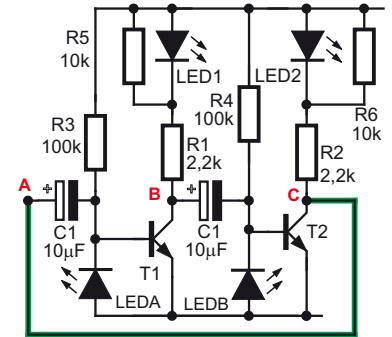
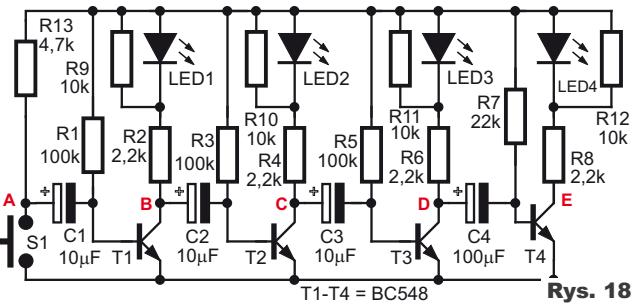
Otrzymaliśmy klasyczny **przerzutnik monostabilny**, zwany często **uniwibratorem**. Czas trwania impulsu jest wyznaczony przez stałą czasową R4C1. Taki układ można wzywać na kilka



sposobów, jednym z bezpieczniejszych jest dodanie przycisku lub tranzystora wyzwalającego, równoległe do T1 – bardzo podobne rozwiązanie, uniwersalnym z komplementarnymi tranzystorami npn i pnp, wykorzystaliśmy w układzie zaawansowanego alarmu w poprzednim odcinku (tranzystory T2, T3, T4 w wersji wzboagaconej).

Multiwibrator. W układzie z rysunku 2, dołączaliśmy trzy kondensatory opóźniające. Odmienny efekt „sztafety opóźnienia” możesz uzyskać w układzie z **rysunku 18**. Po dłuższym naciśnięciu S1 najpierw zgaśnie LED1, potem LED2, następnie LED3 i potem LED4. Gdy sprawdzisz działanie tego układu, odłącz R13, weź kawałek drutu i połącz punkt A najpierw z punktem E, potem z punktem D i wreszcie z punktem C. Zapewne we wszystkich przypadkach układ zacznie pracować jako generator.

W przypadku połączenia „w pętlę” dwóch ogniw takiego łańcucha, według **rysunku 19**, otrzymamy bardzo popularny do dziś układ, tzw. **przerzutnik**



astabilny, zwany też multiwibratorem. Taki układ możesz zrobić według rysunku 18, odłączając R13 i łącząc punkty A, C i dodając diody LEDA i LEDB, jak pokazuje **fotografia 20** (wtedy możesz też zmniejszyć wartości stałych czasowych R5C3 oraz R7C4, żeby uzyskać dodatkowe efekty). Tu też w chwilach przełączania, na bazach tranzystorów występuje napięcie ujemne, o czym świadczą LEDA i LEDB. Układ który zazwyczaj rysujemy jak na rysunku 21a. Przebiegi w kluczowych punktach pokazane są na **rysunku 21b**. Częstotliwość takiego generatora możesz ustawić dowolnie, wymieniając C1, C2 (1nF...1000uF) oraz R3, R4 (10kΩ...220kΩ), przy czym czasy T_C i T_D wyznaczone przez stałe czasowe odpowiednio R3C1 i R4C2 nie muszą być jednakowe.

Rys. 19 W tytułowym projekcie *Tęczowej wstęgi* wykorzystaliśmy też wersję z tranzystorami pnp i nietypowo włączonymi diodami LED. Częstotliwość takiego generatora można też zmieniać płynnie. Zbuduj układ według **ilustracji 22**. Silniejsze oświetlenie fotorezystora będzie zmniejszać częstotliwość. Wartość R5 dobierz, stosownie do oświetlenia i czułości posiadanego fotorezystora.

Poznałeś właśnie kilka ważnych elementarnych układów i bloków, które pozwolą Ci samodzielnie zrealizować wiele interesujących efektów świetlnych i innych urządzeń. Zachęcam Cię do takich samodzielnych prób modyfikacji oraz tworzenia zupełnie nowych rozwiązań. Powodzenia!

Piotr Górecki

