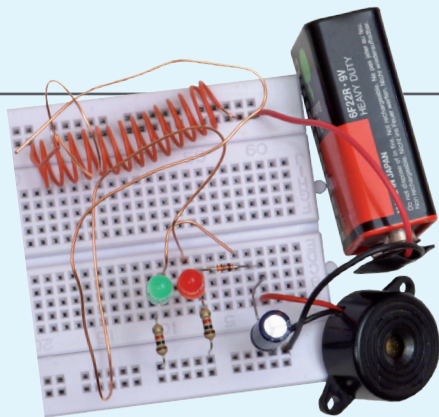




PRAKTYCZNY KURS cz. 2 ELEKTRONIKI



Oto druga część PRAKTYCZNEGO KURSU ELEKTRONIKI, który zaingurowaliśmy w numerze lutowym MT i będziemy kontynuować przez kilkanaście miesięcy. Zainteresowanie tym kursem jest olbrzymie, dlatego zdecydowaliśmy się umożliwić czytelnikom dołączenie do kursu w dowolnym momencie. Po prostu, wszystkie poprzednie części (na razie jest to część 1) będą dla wszystkich dostępne w formacie PDF na stronie www.mt.com.pl. Można z nich korzystać w komputerze lub wydrukować sobie. Publikacja każdej kolejnej części będzie 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 jedyna, niepowtarzalna okazja. We współpracy z bratnią redakcją miesięcznika Elektronika dla Wszystkich rozpoczęliśmy w Młodym Techniku cykl kilkunastu 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 **plytce stykowej**, do której wkłada się „nóżki” elementów na wcisk.

I rzecz najważniejsza! Wydawnictwo AVT przygotowało zestaw **EdW 09**, zawierający płytkę stykową i wszystkie elementy, jakie będą potrzebne do wykonania kilkunastu projektów zaplanowanych w PKE. Zestaw **EdW 09** będzie 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. lutego 2013 r., to zestaw **EdW09** wyślemy Ci w pierwszej dekadzie marca wraz z kwietniowym numerem MT.

Uwaga uczniowie!

Szkoły prenumerujące MT otrzymają **Pakiety Szkolne PS EdW09**, zawierające po **10 zestawów EdW09** (każdy zestaw EdW09 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. Tranzystory | 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 | 1 szt. |

Jest to specyfikacja ostateczna, nieznacznie skorygowana w stosunku do wydania opublikowanego przed miesiącem.

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

Uwaga Szkoły

Tylko dla szkół prenumerujących Młodego

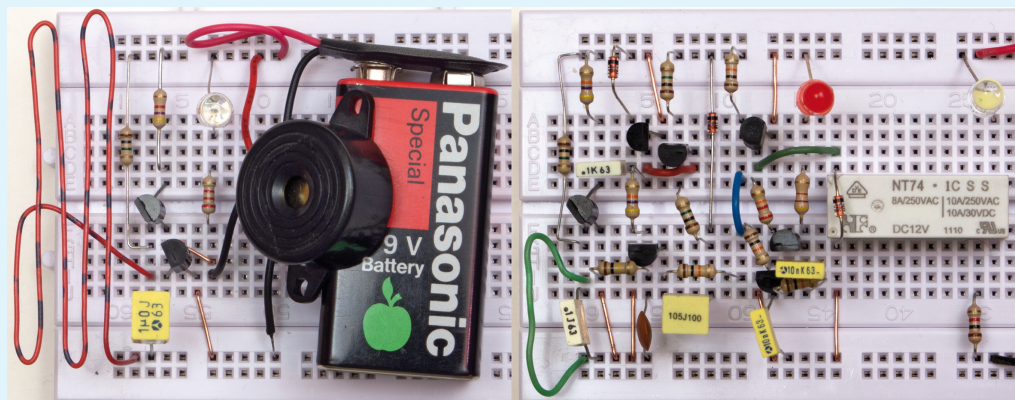
Technika przygotowano **Pakiety Szkolne**

zawierające 10 zestawów EdW09 (**PSE EdW09**)

w promocyjnej cenie 280 zł brutto,

tj. z rabatem 40%.

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



Projekt 2

Praktyczne układy alarmowe

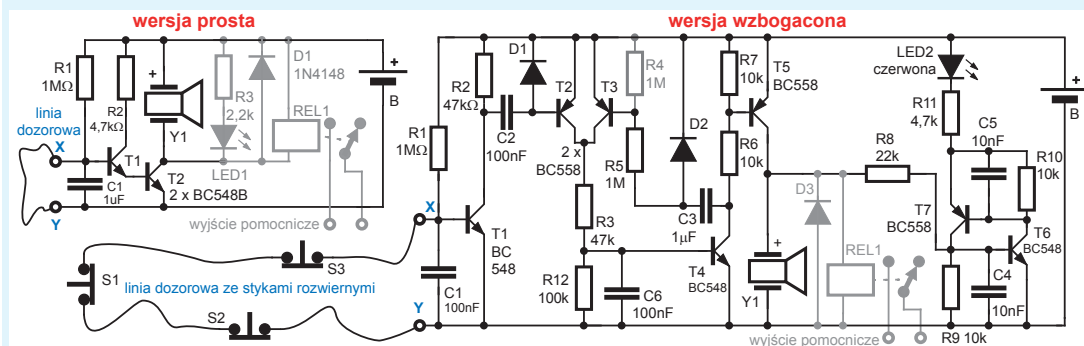
Na powyższej fotografii pokazane są dwie wersje układu alarmowego. Schemat ideowy obu wersji alarmu pokazany jest niżej na **rysunku A**. W spoczynku punkty X, Y są zwarte cienkim drutem, który tworzy tzw. linię dozorową. Przerwanie linii dozorowej przez włamywacza powoduje zaświecenie czerwonej lampki LED1 i włączenie brzęczyka piezo Y1.

Linia dozorowa może być zrealizowana na wiele sposobów: może to być cieniuteńki jak włos drucik miedziany, wydzielony z grubszego przewodu (linki). Mogą to być łatwe do rozerwania połączone odcinki (izolowanych) przewodów. Może to też być dowolny styk (np. dwie blaszki lub fabryczny wyłącznik), który w spoczynku jest zwarty, a jego rozwarcie spowoduje alarm.

Wersja prosta z powodzeniem znajdzie szereg interesujących zastosowań, na przykład jako prosty alarm do garażu, a latem do ochrony namiotu czy roweru na kempingu.

Natomiast wersja wzbogacona to kompletny minystytem alarmowy, przydatny na przykład do ochrony piwnicy lub w domu, gdzie będzie sygnalizować, że ktoś niepowołany (np. młodsze rodzeństwo) choćby na chwilę otworzył drzwi do pokoju lub szufladę w biurku. Oprócz wywołania alarmu na określony czas, urządzenie zapamięta fakt „włamania” i poinformuje właściciela światłem lampki. Do zasilania można wykorzystać baterie lub akumulatorki o napięciu 6...12 V.

Realizując taki alarm pomyśl nie tylko o sensownym sposobie realizacji linii dozorowej, ale też o tym, jak taki alarm obsługiwać (włączać i wyłączać) w niekłopotliwy sposób, na przykład za pomocą ukrytego wyłącznika. Gdyby jeden lub drugi alarm miał być wykorzystywany w praktyce, układ elektroniczny oraz linię dozorową trzeba zabezpieczyć przed wilgocią.



A



Opis układu dla „zaawansowanych”

W obu układach z rysunku A przez rezystor R1 stale płynie prąd o bardzo małej wartości. W stanie czuwania punkty X i Y są zwarte i prąd płynie między nimi „najkrótszą drogą”, przez linię dozorową, bezpośrednio do masy, „omijając” tranzystor T1. Rezystor R1 ma dużą wartość, dlatego pobór prądu podczas czuwania jest znikomy (około $10 \mu\text{A} = 0,00001 \text{ A}$) i nawet zwykła 9-woltowa baterijka starczy na co najmniej rok.

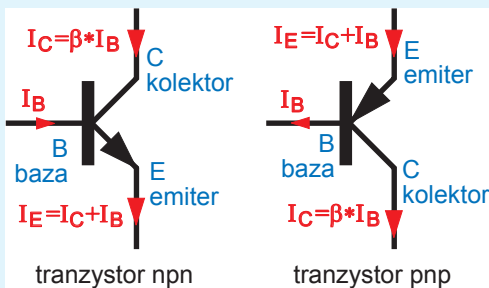
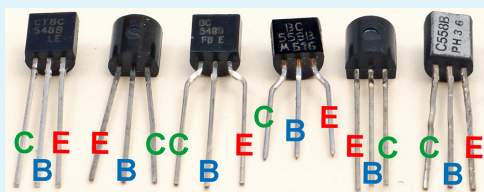
Gdy linia dozorowa zostanie przerwana, czyli gdy punkty X, Y zostaną rozwarte, to prąd rezystora R1 popłynie przez obwód bazy tranzystora T1 i tranzystor ten zostanie otwarty.

W wersji prostej otwarte zostaną tranzystory T1 i T2, co włączy brzęczyk Y1 – wtedy pobór prądu wyniesie 3–8 mA. Opcjonalnie można także dodać, narysowane kolorem szarym, kontrolkę LED1 oraz przełącznik REL1 z diodą D1, którego styki (wyjście pomocnicze) mogąysterować dodatkowy sygnalizator, np. lampkę czy syrenę.

W wersji wzbogaconej w spoczynku wszystkie tranzystory są zatkane. Po naruszeniu linii dozorowej, najpierw zostanie otwarty tranzystor T1. Napięcie na jego kolektorze obniży się i przez chwilę popłynie prąd przez kondensator C2 i obwód bazy tranzystora T2. Ten krótki impuls otworzy tranzystory T4 i T5, co włączy brzęczyk Y1 oraz opcjonalnie przełącznik REL1. Jednocześnie kondensator C3 zacznie się pomału ładować przez rezystor R5 i obwód bazy T3. Tranzystor T3 zostanie otwarty i podtrzyma przewodzenie T4, także po zakończeniu krótkiego impulsu z tranzystora T2. W miarę ładowania C3, prąd płynący przez bazę T3 będzie coraz mniejszy. Gdy prąd ten zmniejszy się poniżej pewnej wartości, nastąpi wyłączenie wszystkich tranzystorów T3-T5, brzęczyka Y1 i przełącznika. Dzięki temu, niezależnie od czasu przerwania linii dozorowej (na stałe, czy tylko na chwilę), brzęczyk Y1 da sygnał dźwiękowy o czasie wyznaczonym przez R5 i C3. Natomiast czerwona dioda LED2, informująca iż nastąpiła próba włamania, zaświeci się na stałe. Otwarcie choć na chwilę tranzystora T5 spowoduje też przepływ prądu przez R8 i obwód bazy tranzystora T6. A to włączy też tranzystor T7. Między tranzystorami T6, T7 występuje bardzo silne dodatnie sprzężenie zwrotne i w efekcie obwód ten „zatrzęśnie się” – zachowa się jak tyristor. Przerwanie choć na chwilę linii dozorowej spowoduje więc trwałe włączenie tranzystorów T6, T7, co trwale zaświeci kontrolkę LED2. Skasowanie wskaźnika alarmu i powrót do pierwotnego stanu nastąpi po wyłączeniu i ponownym włączeniu zasilania.

Elementy R12, C6 okazały się potrzebne, by alarm nie został uruchomiony przy włączaniu zasilania.

Z rezystorem $R4=R5=1 \text{ M}\Omega$ czas alarmu wynosi około 5 sekund. Czas ten możesz wydłużyć, usuwając



Wykład z ćwiczeniami 2

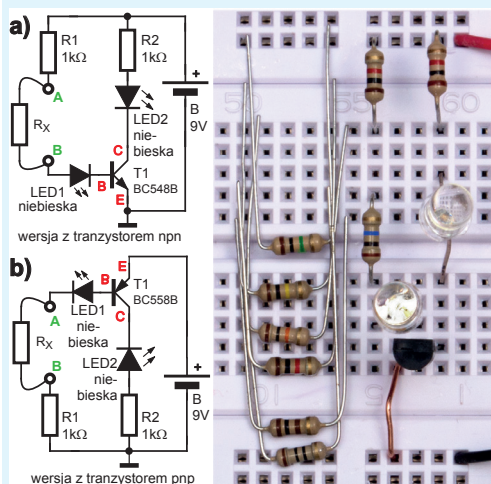
Poznajemy elementy i układy elektroniczne

R4 i zwiększając wartość R5 do 2,2 M Ω , 4,7 M Ω lub nawet 10 M Ω . Możesz też zwiększyć pojemność C3 do 2 μF , dołączając równolegle drugi kondensator 1 μF , który masz w zestawie EdW09.

Uwaga! Wersja z przełącznikiem REL1 powinna być zasilana napięciem 12 V, np. z akumulatora lub zasilacza stabilizowanego.

Poniższe informacje i wskazówki są znakomitą okazją, by dobrze poznać i „poczuć” działanie tranzystorów – elementów, które są podstawą dzisiejszej elektroniki. Ale samo przeczytanie, to zdecydowanie za mało. Dlatego nie żałuj czasu i skrupulatnie zrealizuj wszystkie przedstawione ćwiczenia.

Tranzystory. Na schematach tranzystory są oznaczane literą T (za granicą często literą Q). Istnieje kilka głównych rodzajów tranzystorów. Historycznie najwcześniejsze są tak zwane **tranzystory bipolarnie**, typu **npn** oraz typu **pnp**, których elektrody (końcówki) to: emiter (E), baza (B) oraz kolektor (C). **Fotografia 1** pokazuje popularne tranzystory małej mocy, wykorzystywane w naszym kursie. Strzałka



w symbolu tranzystora oznacza emiter (E) i pokazuje kierunek przepływu prądu. **Rysunek 2** przedstawia rozptył prądu w tranzystorach npn i pnp.

Zasada pracy tranzystora bipolarnego jest... beznadziejnie prosta. W warunkach „normalnej” (tzw. liniowej) pracy:

1. prąd kolektora jest β -krotnie większy od prądu bazy, gdzie β to współczynnik wzmocnienia prądowego, wynoszący kilkadziesiąt do kilkuset, zależnie od egzemplarza tranzystora,
2. napięcie między bazą a emiternem wynosi 0,6...0,8 V.

Zbadamy tę pierwszą zależność. Zestaw układ według dowolnego ze schematów z **ilustracji 3** – jak widać, tranzystory npn i pnp są w pewnym sensie odwrotne, a także dopełniające, czyli komplementarne. **UWAGA! Błędne dołączenie nóżek oraz zastosowanie tranzystora niewłaściwego typu uniemożliwi pracę urządzenia.** Rezystory R1, R2 nie dopuszczają do przepływu nadmiernego prądu, który doprowadziłby do uszkodzenia. Wkładaj kolejno w miejsce Rx rezystory 10 M Ω (brązowy, czarny, niebieski, złoty), 1 M Ω (brązowy, czarny, zielony, złoty), 100 k Ω (brązowy, czarny, żółty, złoty), 10 k Ω (brązowy, czarny, pomarańczowy, złoty) i 1 k Ω (brązowy, czarny, czerwony, złoty). Zwracaj uwagę na jasność obu diod – tranzystor niewątpliwie wzmacnia prąd. Warto też analogicznie zbadać układ z **rysunku 4**.

Zanim zbadamy zależności napięciowe w tranzystorze, najpierw zbudujmy monitor napięcia według **rysunku 5a** – czym wyższe napięcie w punkcie X, tym większa jest jasność diody

LED1 (wprawdzie nasze oko ma logarytmiczną charakterystykę czułości, niemniej jasność diody świadczy o wielkości napięcia). Mając monitor, jak na **fotografii 5b**, zbadajmy różne **dzielniki napięcia**.

Tu warto dodać, że zazwyczaj mierzymy napięcia w różnych punktach układu względem masy (która zwykle jest ujemny biegun zasilania), co ilustruje **rysunek 6a**. Monitor z rysunku 5 pozwala mierzyć **napięcie w danym punkcie względem masy**. Ale czasem mierzymy też (np. za pomocą woltomierza) napięcie na danym elemencie – przykłady na **rysunku 6b**. Zgodnie z prawem Ohma, prąd I przepływający przez rezystancję R wywołuje na niej spadek napięcia: $U=I \cdot R$. Czym większa rezystancja R, tym większe napięcie U. Znajduje to odzwierciedlenie w pracy **dzielników napięcia**.

Na rysunku 5 masz kilka dzielników napięcia. Dołączaj punkt X kolejno do punktów A, B, C, D, E – napięcie jest coraz większe. Napięcie w punktach F1 i F2 jest równe połowie napięcia zasilania (napięcia baterii): napięcie zostaje podzielone na połowy, bo pary rezystorów są jednakowe, niezależnie od ich wartości – różna jest tylko wartość prądów I_2, I_3 .

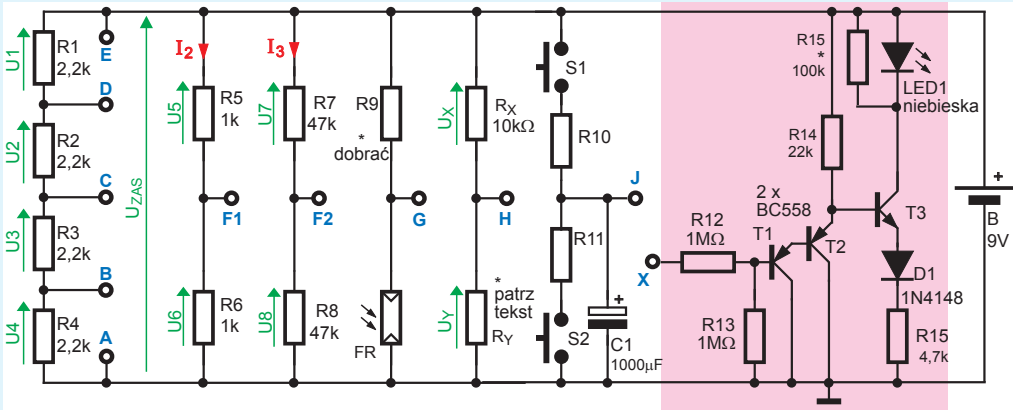
Natomiast napięcie w punkcie G będzie zależało od oświetlenia. Spróbuj najpierw dobrać wartość rezystora R9, żeby w spoczynku napięcie w punkcie G (zależne od oświetlenia i czułości fotorezystora) było zbliżone do napięcia w punktach F1, F2. Później zmieniaj oświetlenie fotorezystora – czym silniej jest oświetlony, tym mniejsza jest jego rezystancja, a to powoduje zmniejszenie napięcia w punkcie G – otrzymaliśmy dzielnik napięcia o zmiennym współczynniku podziału.

Nie żałuj czasu – spróbuj „poczuć” zależności w dzielniku, wkładając w miejsce R_y rezystory o różnej wartości, w tym także rezystor o wartości zero, czyli zworę z drutu, jak też rezystor o nieskończonej wielkiej wartości, czyli usuwając R_y (możesz też zmieniać wartość R_x , ale na nie mniej niż 1 k Ω z uwagi na wartość prądu dzielnika).

Suma napięć na elementach dzielnika zawsze jest równa napięciu zasilania (co bardziej precyzyjnie określa tzw. **napięciowe prawo Kirchhoffa**), a napięcia na poszczególnych rezystorach są proporcjonalne do ich rezystancji (co z kolei wynika z **prawa Ohma**). Czym większa wartość R_y w stosunku do R_x , tym większe będzie napięcie w punkcie H. Zależność napięcia z dzielnika od stosunku wartości rezystorów R_x, R_y pokazana jest na **rysunku 7**. Jeśli posiadasz woltomierz (multimetr), możesz zmierzyć

3

4



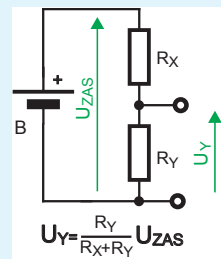
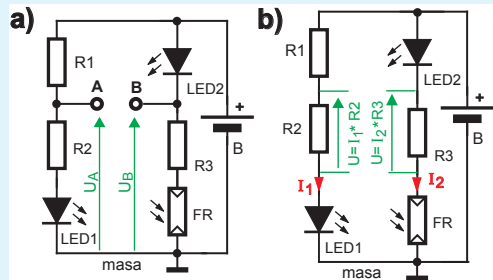
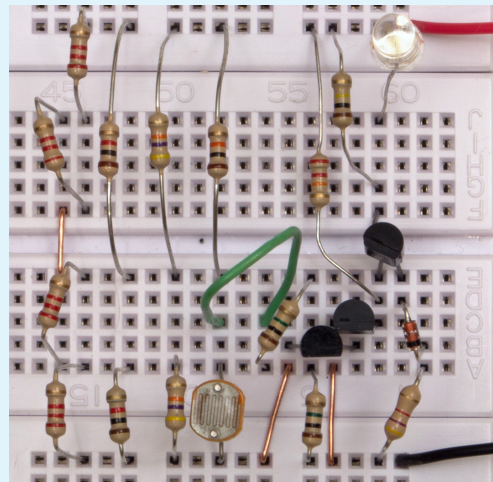
napięcia, a potem sprawdzić tę zależność dla różnych posiadanych rezystorów (uwzględniając ich tolerancję, czyli fakt, że nie mają wartości idealnie równej nominalnej).

A teraz sprawdź jeszcze, jakie są napięcia przewodzenia różnych diod. W układzie z **rysunku 5** dołącz punkt X do punktu J, usuń R6 i w jego miejsce kolejno wstawiaj diody: najpierw krzemową diodę 1N4148, potem diody LED wszystkich kolorów. Napięcie przewodzenia zwykłych diod krzemowych (np. 1N4148) wynosi 0,6...0,8 V, a w diodach świecących jest zależne od długości wytwarzanego promieniowania i wynosi od 1,6...2 V dla niektórych diod czerwonych, do 3...3,5 V w diodach LED niebieskich i białych. Możesz zmieniać wartość R5 – przekonasz się, że napięcie przewodzenia diody niewiele zależy od płynącego przez nią prądu.

Dołącz jeszcze punkt X do punktu J. Naciśnij przycisk S1. Kondensator zacznie się ładować i napięcie na nim będzie rosnąć. Gdy zwolnisz S1 i naciśniesz S2, kondensator będzie się szybko rozładowywał przez rezystor R11 (przy zwolnieniu obu przycisków będzie się powoli rozładowywał przez R12 i R13). Przebiegi, czyli zmiany napięcia w czasie będą takie, jak na rysunku 22 z poprzedniego wykładu. A teraz zbadajmy dokładniej...

Właściwości tranzystora. W układzie z **rysunku 8** i **fotografii 9**, diody LED poinformują o wartościach i prądów, i napięć. Jeśli masz do dyspozycji dwa woltomierze – dołącz je. Włączony na stałe rezystor R1 o bardzo dużej wartości (10 MΩ) daje znikomo mały prąd bazy T1, poniżej 1 mikroampera. Niemniej dioda LED2 zauważalnie świeci, ponieważ wzmacnienie prądowe (β) tranzystora wynosi 200...400 razy. Jasno świeci także dioda LED3 – napięcie U_{CE} jest duże.

Zwiększaj teraz prąd bazy, dołączając równolegle do R1 rezystor R_x o wartości najpierw 1 MΩ, potem 100 kΩ, 10 kΩ i 1 kΩ. Uważnie obserwuj, co się dzieje z jasnością wszystkich diod. Po dołączeniu rezystora $R_x = 1$ MΩ, prąd kolektora (I_C) znacznie wzrośnie, co pokaże LED2, a napięcie na kolektorze (U_{CE}) znacząco się obniży – co pokaże LED3. Dołączenie $R_x = 100$ kΩ jeszcze zwiększy prąd kolektora, natomiast napięcie (U_{CE}) się zmniejszy praktycznie do zera. Dołączane rezystory $R_x = 10$ kΩ i mniejsze będą wyraźnie zwiększać prąd bazy, ale nie będą zwiększać prądu kolektora ani zmniejszać bliskiego zera napięcia na kolektorze.

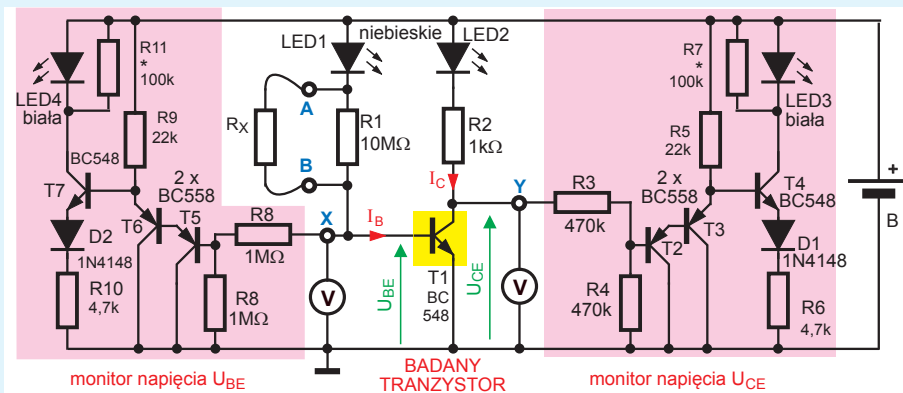


5 A

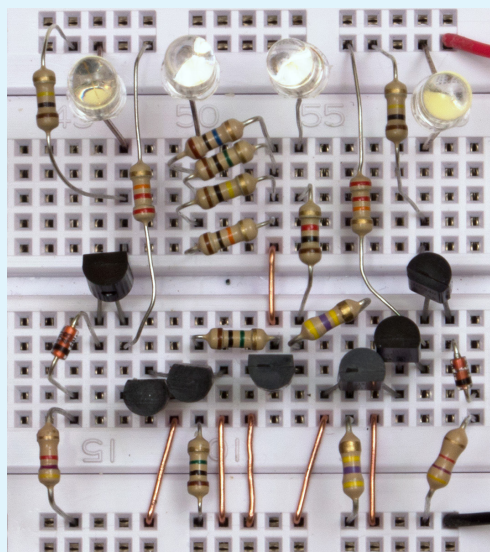
5 B

6

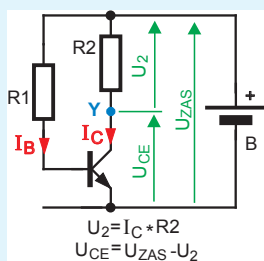
7



8



9



10

Zwróć uwagę, że nawet duże zmiany prądu bazy wywołują małe, praktycznie niezauważalne zmiany napięcia U_{BE} (wynoszącego 0,6...0,8 V), co sygnalizuje dioda LED4.

Zauważ, że rezystor R2 i tranzystor T1 tworzą dzielnik napięcia, a wyjściem jest punkt Y. W zasadzie tranzystor (*transistor = transfer resistor*) można by potraktować jako zmienny rezystor, którego rezystancja zmienia się od nieskończoności do zera, ale takie wyobrażenie bardziej przeszkadza, niż pomaga. **Nie wyobrażaj sobie, że tranzystor to zmienny rezystor.** Zapamiętaj: *obwód kolektora tranzystora to tzw. źródło prądowe.* Tranzystor to w istocie źródło prądowe, sterowane prądem bazy. Najczęściej nie zastanawiamy się nad rezystancją tranzystora, interesuje nas tylko prąd kolektora, który płynie też przez rezystor kolektorowy R2.

Ogólnie biorąc, gdy zwiększamy prąd bazy (I_B), zwiększa się prąd kolektora (I_C), a napięcie na kolektorze (U_{CE}) obniża się. Wraz ze wzrostem prądu kolektora, napięcie U_{CE} dąży do zera. W normalnych warunkach, podczas pracy w zakresie liniowym, prąd kolektora jest β -krotnie większy od prądu bazy. Prąd kolektora, płynąc przez rezystor R2, powoduje powstanie na tym rezystorze napięcia (spadku napięcia), o wartości zgodnej z prawem Ohma $U = I_C \cdot R_2$. Jak pokazuje **rysunek 10**, napięcie U_{CE} jest różnicą między napięciem zasilania U_{ZAS} i napięciem na R2: $U_{CE} = U_{ZAS} - U_2 = U_{ZAS} - I_C \cdot R_2$.

Przy niedużych prądach, prąd kolektora jest proporcjonalny do prądu bazy – wtedy tranzystor pracuje w **zakresie liniowym**. Wtedy niewątpliwie **jest wzmacniaczem**, ponieważ w tym zakresie liniowym:

- małe zmiany prądu bazy I_B powodują duże zmiany prądu kolektora I_C ,
- małe zmiany napięcia U_{BE} powodują duże zmiany napięcia U_{CE} .

Czy zwróciłeś uwagę, że w układzie z rysunku 8, już przy $R_x = 100 \text{ k}\Omega$ dioda LED2 osiąga maksymalną jasność, a LED3 świadczy, że U_{CE} jest bliskie zero? Dalsze zwiększanie prądu bazy nie powoduje już zwiększania prądu kolektora – mówimy wtedy, że tranzystor się **nasycił**, inaczej że wszedł w **stan nasycenia**. Prąd I_C nie może wzrastać dowolnie – nawet gdybyśmy uznali, że rezystancja w pełni otwartego tranzystora jest równa zero, prąd ograniczy wartość rezystora R2: $I_{max} = U_{ZAS}/R_2$. W stanie nasycenia napięcie na kolektorze (U_{CE}) jest bliskie zero (w praktyce 0,01...0,5 V), a spadek napięcia na rezystorze R2 jest bliski U_{ZAS} .

Możesz też wprowadzić tranzystor w **stan odcięcia** – zatkania, zablokowania. W tym celu zmniejsz prąd bazy do zera, wyjmując diodę LED1. Zmniejszy to prąd kolektora, też praktycznie do zera. Prąd bazy możesz też zmniejszyć do zera inaczej. Wstaw LED1 na swoje miejsce, możesz dołączyć



$R_x = 2,2 \text{ k}\Omega \dots 100 \text{ k}\Omega$ i **kawałkiem drutu zewrzyj bazę z emiterem tranzystora T1 – fotografia 11**. Niezależnie od prądu płynącego przez LED1 i R1, zwarcie złącza baza-emiter zmniejszy napięcie U_{BE} do zera, prąd I_B do zera i na pewno wyłączy, czyli zablokuje, zatkna tranzystor. Prąd kolektora będzie wtedy równy zeru, więc spadek napięcia na R2 też będzie równy zeru, a więc napięcie na tranzystorze (U_{CE}) będzie równe U_{ZAS} .

A teraz pokrewna ważna sprawa...

Problem mocy. Jeśli na elemencie (rezystorze, tranzystorze, diodzie) występuje napięcie U i przez ten element płynie prąd I , to w tym elemencie wydziela się ciepło, co zwykle traktujemy jako niepożądane straty. Moc strat wynosi $P = U \cdot I$ i jest wyrażana w Watach. Podczas pracy tranzystora T1 i rezystora R2, też wydziela się w nich moc strat. O wielkości strat decyduje wartość rezystora kolektorowego R2. Zbyt duża moc strat i duży prąd bazy, spowodowałyby przegrzanie i uszkodzenie tranzystora i rezystora.

W stanie odcięcia (zatkania), przez tranzystor i rezystor R2 prąd nie płynie, więc moce strat są równe zeru. Największa moc w rezystorze kolektorowym R2 wydziela się w *stanie nasycenia*, największa moc w tranzystorze wydziela się wtedy, gdy napięcie na nim jest równe połowie napięcia zasilania (w połowie liniowego zakresu pracy). W sytuacji nasycenia z **rysunku 12a** prąd kolektora wynosi 90 mA. W rezystorze R2 wydzieli się moc $P = 9 \text{ V} \cdot 90 \text{ mA} = 810 \text{ mW} = 0,81 \text{ W}$. To dość duża moc i mały rezystor z zestawu EdW09 zrobiłby się gorący, a po pewnym czasie mógłby się nawet spalić (dla małych rezystorów maksymalna dopuszczalna moc strat wynosi 0,25 W...0,4 W). Moc strat w tranzystorze jest mała, wynosi $P = 0,2 \text{ V} \cdot 90 \text{ mA} = 18 \text{ mW} = 0,018 \text{ W}$. Natomiast w sytuacji z **rysunku 12b**, w połowie zakresu liniowego, prąd kolektora jest mniejszy i wynosi 46 mA. Na rezystorze występuje napięcie $U_{R2} = 46 \text{ mA} \cdot 100 \Omega = 4600 \text{ mV} = 4,6 \text{ V}$ i wydziela się moc $P = 4,6 \text{ V} \cdot 46 \text{ mA} = 211,6 \text{ mW} \approx 0,2 \text{ W}$. W tranzystorze tak samo:

$P = 4,6 \text{ V} \cdot 46 \text{ mA} = 211,6 \text{ mW} \approx 0,2 \text{ W}$ (w zasadzie powinniśmy doliczyć moc w obwodzie bazy $P_B = I_B \cdot U_{BE}$, ale jest ona rzędu pojedynczych miliwatów). Takie warunki pracy są jak najbardziej dopuszczalne dla tranzystora typu BC548, dla którego katalog podaje $I_{Cmax} = 100 \text{ mA}$, $P_{Dmax} = 625 \text{ mW}$. Przy mniejszej rezystancji kolektorowej R2 moc byłaby większa i trzeba byłoby zastosować tranzystor o większej mocy, umieszczony w innej obudowie. **Fotografia 13** pokazuje nasz znajomy tranzystor małej mocy BC548 oraz *tranzystory mocy* w obudowach umożliwiających przykręcenie do metalowego radiatora, zdecydowanie polepszające odprowadzanie ciepła do otoczenia. W ramach naszego kursu takich tranzystorów nie będziemy wykorzystywać.

Za miesiąc zajmiemy się kolejnymi układami, realizowanymi z zastosowaniem tranzystorów. ■

Piotr Górecki

