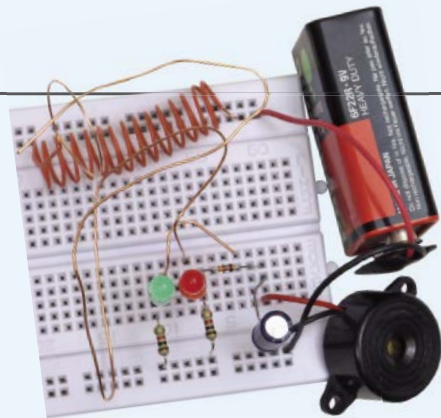




PRAKTYCZNY KURS cz. 4 ELEKTRONIKI



Oto czwarta 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 są 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 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 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 **platce 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 30. kwietnia 2013 r., to zestaw **EdW09** wyślemy Ci w pierwszej dekadzie maja wraz z czerwcowym 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 | |
| 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

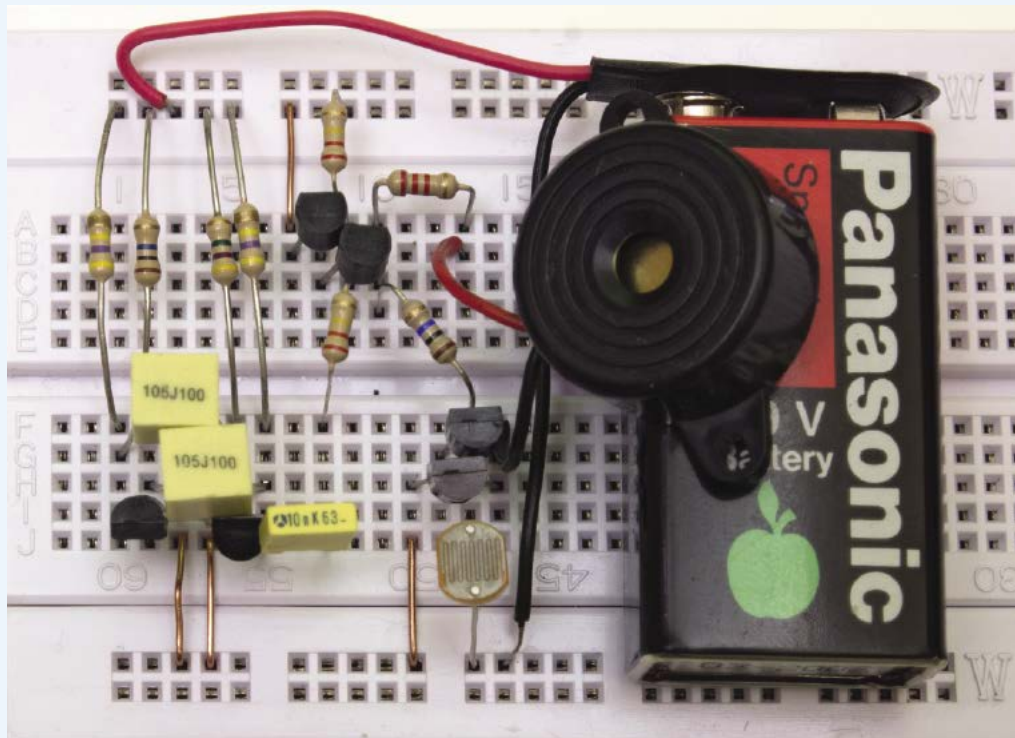
Technika przygotowano **Pakiety Szkolne**

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

w promocyjnej cenie 280 zł brutto,

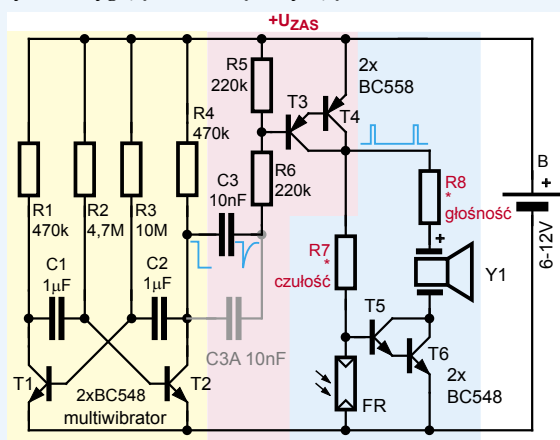
t.j. z rabatem 40%.

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.



Nocny dręczyciel – elektroniczny świerszcz

Na powyższej fotografii pokazany jest model **Nocnego dręczyciela**. Jest to układ do robienia dowcipów. Aby zrobić komuś dowcip, należy podrzucić to urządzenie do jego sypialni w miejsce niewidoczne i trudno dostępne, na przykład na szafę (regał). Układ wyposażony jest w fotorezystor, przez co rozpoczyna działanie dopiero wtedy, gdy zrobi się ciemno – w praktyce, gdy ofiara dowcipu zgaśnie światło. Wtedy co około dziesięć sekund wytwarza krótki, niezbyt głośny pisk. Dobrze słyszalne kolejne piski są nie tylko intrygujące, ale wręcz irytujące.



Gdy jednak zaintrygowana, a może już także zirytowana ofiara zaświeci światło, żeby poszukać dokuczliwego „owada”, fotorezystor wyłączy dźwięk. Układ będzie milczał do czasu, gdy nieszczęśliwiec znów zgasi światło. Dręczenie zacznie się od nowa...

UWAGA 1! Z uwagi na nieuniknione różnice oświetlenia i rozrzut parametrów, być może konieczne będzie dostosowanie czułości dręczyciela na światło – jest to prosta czynność, dokładnie opisana dalej.

Dźwięk słychać, ale ponieważ jest to dość wysoki pisk i trwa krótko, bardzo trudno jest zlokalizować źródło tego dźwięku za pomocą słuchu. Ofiara takiego dowcipu zapewne kilka razy zgasi i zaświeci światło, zanim wreszcie po żmudnych



poszukiwaniach ze zdziwieniem odkryje, że nie jest to żaden świerszcz czy inny owad, tylko dziwny układ elektroniczny.

A wtedy biada temu, kto podrzucił taki gadżet do sypialni...

UWAGA 2! Na takie żarty można sobie pozwolić wyłącznie względem zaprzyjaźnionych osób, mających duże poczucie humoru. W przeciwnym wypadku układ może zostać zniszczony, a autor dowcipu naraża się na poważną awanturę, a być może sam stanie się ofiarą rękoczynów.

Opis układu dla „zaawansowanych”

Nocny dręczyciel jest prostym układem elektronicznym, o schemacie pokazanym na **rysunku A**.

Na schemacie wyróżnione są poszczególne bloki, po części omówione we wcześniejszych wykładach. Podstawą jest popularny multiwibrator z tranzystorami T1, T2, wyróżniony żółtą podkładką. Bardzo duża wartość współpracujących rezystorów powoduje, że generator ten pobiera bardzo mało prądu, około 0,02 miliampera, dzięki czemu nawet zwykła bateria starczyłaby na tysiące godzin pracy (o ile układ wcześniej nie zostałby zniszczony przez porywczą ofiarę nękania).

Po włączeniu zasilania, multiwibrator pracuje stale, niezależnie od poziomu oświetlenia. Duże stałe czasowe R2C1 i R3C2 powodują, że cykl pracy trwa około 10 sekund.

Obwód kształtowania krótkich impulsów wyróżniony jest różową podkładką. Podczas przełączania, gdy na kolektorze T2 pojawia się opadające zbocze, obwód R6C3 wytwarza ujemny impuls, który otwiera tranzystory T3 i T4. Impuls ten też bardzo krótki, trwa około 5 milisekund (0,005 s). W punkcie A pojawia się wtedy napięcie o wartości około ($U_{ZAS} - 0,7$ V). Napięcie to zasila obwód z tranzystorami T5, T6 tylko w tym krótkim czasie – kilku milisekund. Wtedy obwód czujnika świetlnego sprawdza, czy jest ciemno. Gdy jest jasno, fotorezystor ma małą rezystancję, napięcie na dzielniku R7, FR jest małe i tranzystory T5, T6 pozostają zatkane. Brzęczyk Y1 nie pracuje.

Gdy natomiast jest ciemno, wtedy rezystancja fotorezystora FR jest bardzo duża. Napięcie na dzielniku R7FR staje się na tyle duże, że tranzystory T5, T6 zostają otwarte, co uruchamia brzęczyk. Brzęczyk celowo zasilany jest obniżonym napięciem, przez szeregowy rezystor R8, żeby jego dźwięk nie był za głośny, a przez to zbyt łatwy do zlokalizowania.

Podane na rysunku A wartości rezystorów $R7 = 10$ M Ω i $R8 = 2,2$ k Ω okazały się optymalne w przedstawionym modelu, jednak należy liczyć się z dużym i nieuniknionym rozrzutem parametrów brzęczyka Y1, a zwłaszcza fotorezystora FR. Właśnie z uwagi na rozrzut właściwości poszczególnych typów i egzemplarzy fotorezystora oraz na różne warunki oświetleniowe w sypialniach, najprawdopodobniej **konieczne będzie, żebyś indywidualnie dobrał wartość rezystora R7**, który wyznacza próg zadziałania. Nie obawiaj się, jest to łatwe.

Proponuję, żebyś najpierw zmontował układ według rysunku A, jednak z następującymi zmianami: na razie nie montuj FR, a jako C1, C2 wstaw wstępnie kondensatory 100 nF (0,1 μ F), a nie 1 μ F. Multiwibrator będzie pracował z dziesięciokrotnie większą częstotliwością i będzie dawał impuls co około sekundę. Teraz w razie potrzeby możesz śmiało zmienić wartość R8 (0...10 k Ω), żeby uzyskać optymalną Twoim zdaniem głośność dźwięku – pamiętaj jednak, że w sypialni będzie cicho i sygnał nie może być zbyt głośny. Powinieneś uzyskać krótkie „ćwierknięcia”. Jeżeli uznasz, że te „ćwierknięcia” są za krótkie, możesz dodać równoległe do C3, drugi kondensator 10 nF.

Na początek rezystor R7 może mieć wartość 1 M Ω (brązowy, czarny, zielony, złoty).

Dalsze czynności wykonaj wieczorem lub w nocy: Najpierw przy włączonym świetle włóż fotorezystor FR. Gdyby brzęczyk od razu się odezwał, zwiększ wartość R7, bowiem przy włączonym oświetleniu brzęczyk musi milczeć. Wyłącz światło. Brzęczyk powinien wydać dźwięk.

Uwaga! Ustawienie czułości najlepiej byłoby przeprowadzić w planowanym „miejscu akcji”. Może się bowiem okazać, że np. w danej sypialni nigdy nie robi się zupełnie ciemno z uwagi na pobliską lampę za oknem, albo odwrotnie: oświetlenie w sypialni może być słabe i dręczyciel zostałby włączony przed wyczerpaniem światła. Dlatego warto w płytkę wpiąć szereg zapasowych rezystorów, żeby w razie potrzeby szybko skorygować czułość. Zasada jest prosta: jeżeli brzęczyk pracuje przy włączonym świetle – zwiększ wartość R7. Jeżeli natomiast nie chce się włączyć po zgaszeniu światła – wartość R7 należy zmniejszyć.

Zastosowanie w modelu $R7 = 10$ M Ω powoduje, że sygnały dźwiękowe pojawiają się dopiero wtedy, gdy zrobi się naprawdę ciemno.

Gdy za pomocą R7 ustawisz pożądaną czułość, a R8 – głośność, wymień kondensatory C1, C2 na 1 μ F. Jeśli chcesz, możesz zmienić odstęp między impulsami, dobierając wartości R2, R3 w zakresie 1 M Ω ... 15 M Ω .

Uwaga! Dobierając wartości rezystorów być może stwierdzisz, że dany rezystor daje efekt za mały, a następny z posiadanych – za duży. Wtedy połącz dwa rezystory o „sąsiednich” wartościach – uzyskasz wartość pośrednią. Przykładowo masz elementy 220 k Ω i 470 k Ω , a potrzebowalbyś wartość pośrednią. Możesz do większej z tych wartości dołączyć równoległe rezystor o większej wartości.

I tak łącząc **równolegle** 470 kΩ i 1 MΩ, uzyskasz 320 kΩ, a łącząc 470 kΩ i 2,2 MΩ uzyskasz około 390 kΩ. Natomiast łącząc **szeregowo** mniejsze nominały 220 kΩ i 100 kΩ uzyskasz 320 kΩ, a łącząc 220 kΩ i 47 kΩ uzyskasz około 270 kΩ. W ten sposób możesz dobrać praktycznie dowolną rezystancję „pośrednią”.

Układ modelowy, pokazany na fotografii wstępnej, został zmontowany na płytce stykowej. Kto chciałby mieć model „w wersji użytkowej” o zdecydowanie mniejszych rozmiarach, może zmontować układ inaczej, niekoniecznie na płytce drukowanej. Początkujący mogą montować proste układy bez lutowania, na przykład wykorzystując kawałek sztywnego kartonu, robiąc szpilką dziurki na końcówki elementów. Wystające z drugiej strony końcówki elementów można skrócić ze sobą i z przewodami łączącymi poszczególne punkty, dokładnie według schematu ideowego.

Wykład z ćwiczeniami 4

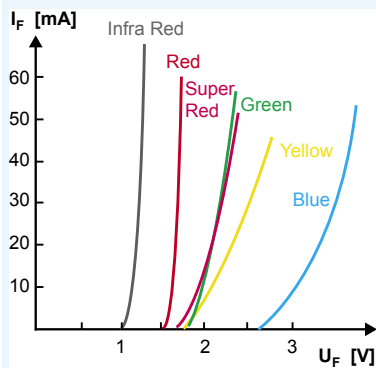
Poznajemy elementy i układy elektroniczne

Badając tranzystor w ramach wykładu 2 sprawdziliśmy, że nawet przy dużych zmianach prądu bazy i prądu kolektora, napięcie U_{BE} zmienia się bardzo niewiele i wynosi około 0,6...0,7 V – w uproszczeniu możemy przyjąć, że jest niezmiennie. Często można przyjąć taki uproszczony wniosek, jednak w rzeczywistości napięcie baza-emiter w tranzystorze, a także napięcie na zwykłej diodzie i na diodach LED w pewnym niezbyt dużym stopniu zależy od prądu. O ile w rezystorze zależność między prądem i napięciem jest liniowa ($U=I \cdot R$), o tyle w diodach jest logarytmiczna.

Rysunek 1 pokazuje tę samą zależność prądu i napięcia popularnej diody 1N4148, tylko narysowaną raz w skali logarytmicznej, i dwa razy w skali liniowej (dla różnych zakresów prądu). Dawniej wykorzystywano diody oraz złącza baza-emiter tranzystorów w tzw. komputerach analogowych do przeprowadzania matematycznych operacji logarytmowania i alogarytmowania (także do mnożenia, dzielenia, podnoszenia do potęgi i wyciągania pierwiastków). Jednak w większości przypadków nie interesuje nas logarytmiczna zależność napięcia i prądu, a jedynie fakt, że zmiany napięcia na diodzie lub złączu baza-emiter, wynoszące zwykle 600...700 mV, są niewielkie. Rysunek 1 wskazuje, że duże zmiany prądu powodują znaczące zmiany napięcia – o około 100 mV (60...120 mV) przy dziesięciokrotnym zwiększeniu lub zmniejszeniu prądu. Przy dwukrotnej zmianie prądu (podwojeniu lub zmniejszeniu do połowy), napięcie zwiększy się lub zmniejszy tylko o 30 mV, czyli o około 5%. Natomiast przy wzroście lub zmniejszeniu prądu o 10%, napięcie zwiększy się lub zmniejszy o około 4 mV, czyli o około 0,6%. Nie jest to wprawdzie stabilizacja idealna, ale dość przyzwoita. Bardzo podobnie, a nawet lepiej, jest z diodami LED, które dość często



1



2

wykorzystujemy w roli **źródeł napięcia odniesienia**. **Rysunek 2** pokazuje przybliżone charakterystyki prądowo-napięciowe niektórych diod LED, dotyczące temperatury pokojowej. Niestety, do tego dochodzą znaczące zmiany napięcia pod wpływem zmian temperatury. Tym aspektem zajmiemy się w następnym wykładzie.

Wtórnik. Możemy przyjąć, że napięcie między bazą i emiterym podczas normalnej, liniowej pracy tranzystora zmienia się bardzo mało, prawie wcale. A to znaczy, że w układach z **rysunku 3** podczas normalnej pracy napięcie na emiterym będzie podążać za napięciem na bazie (wtórować) – dlatego taki układ nazywany **wtórnikami**. W typowych warunkach (liniowej) pracy wtórnik z **rysunku 3a**, napięcie na emiterym jest o około 0,7 V niższe od napięcia na bazie, a we wtórniku z **rysunku 3b** – o około 0,7 V wyższe.

Możemy też zbudować wtórnik podwójny według **rysunku 4**.



Różnica napięć między wejściem i wyjściem będzie mniejsza, niż 0,1 V (z uwagi na niejednakowe zwykle wartości R_1 , R_2 , prądy tranzystorów i niejednakowe napięcia U_{BE}). Dwa takie podwójne wtórniki dają układ z **rysunku 5a**, który czasem bywa wykorzystywany w praktyce. Częściej wykorzystywane są odmiany komplementarnego wtórnika z dwoma diodami według idei z **rysunku 5b**. Zamiast dwóch diod, częściej wykorzystywany jest dodatkowy tranzystor, na przykład według **rysunku 6a** – stosunek rezystorów R_A , R_B decyduje, jaki prąd płynie przez tranzystory T_1 , T_2 w spoczynku. W praktyce często spotykamy rozwiązanie wtórnika według **rysunku 6b**, gdzie tranzystor T_3 i potencjometr P_1 , pozwalają płynnie nastawić napięcie polaryzujące U_x , a tym samym prąd, który w spoczynku płynie przez tranzystory T_1 , T_2 . Czasem wykorzystywana jest też wersja z **rysunku 6c**, gdzie w spoczynku oba tranzystory są zatłane.

Tylko po co komu takie wtórniki, które nie wzmacniają napięcia? Otóż tranzystory mają duże wzmocnienie prądowe: prąd wejściowy jest wielokrotnie mniejszy od prądu wyjściowego. Dlatego fachowo mówimy, że *wtórniki mają dużą rezystancję wejściową i małą wyjściową*. Często mówimy, że wtórnik jest buforem.

Oto przykład: na **rysunku 7a** mamy dzielnik $R_1=R_2=100\text{ k}\Omega$. Voltmierz, dołączony równolegle do rezystora R_2 w moim modelu pokazzał 4,49 V, czyli mniej więcej połowę napięcia zasilania. Po dołączeniu do tego dzielnika rezystora $R_L=10\text{ k}\Omega$, zgodnie z **rysunkiem 7b**, napięcie na wyjściu dzielnika, w punkcie A wyniosło tylko 0,78 V!

Po dołączeniu rezystora R_3 za pośrednictwem wtórnika npn, napięcia były takie, jak pokazuje **rysunek 7c**. Dołączenie podwójnego wtórnika dało znakomite wyniki pokazane na **rysunku 7d**. **Fotografia 8** pokazuje układ z rysunku 7d podczas testów.

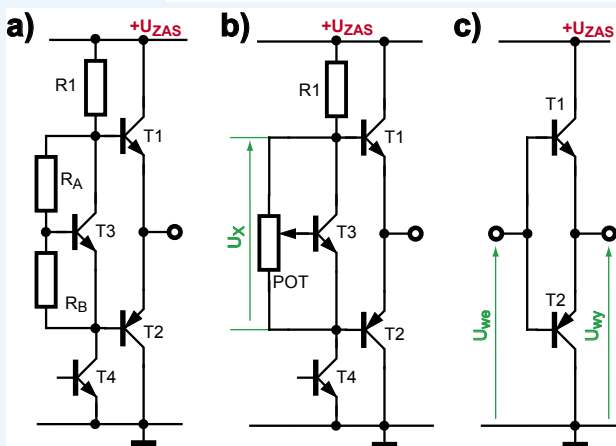
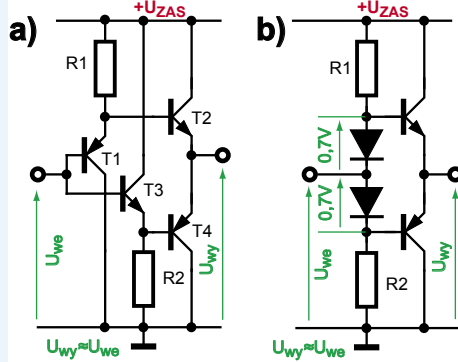
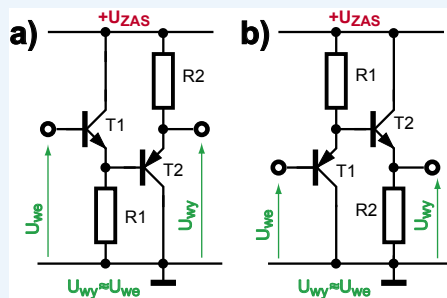
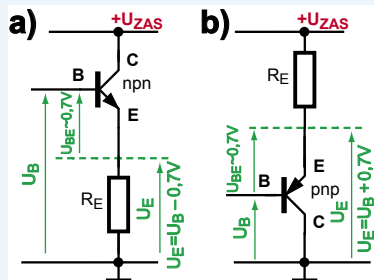
Uwaga! Do dokładnych pomiarów dwóch napięć potrzebne są dwa mierniki, trzeba bowiem pamiętać, że voltmierz stanowi jakąś rezystancję. Tanie mierniki mają rezystancję 1 M Ω , a lepsze – 10 M Ω . I już dołączenie (rezystancji) miernika zmienia w jakimś stopniu napięcie dzielnika.

Różnego rodzaju wtórniki – bufory są wykorzystywane jako „cegielka” do budowy rozmaitych wzmacniaczy. I nie tylko wzmacniaczy.

Równoległy stabilizator napięcia. Wiemy, że stabilność napięcia U_p na diodach oraz stabilność napięcia U_{BE} w tranzystorze nie jest doskonała. Jednak w mniej wymagających zastosowaniach, z powodzeniem wykorzystujemy napięcie U_{BE} oraz napięcie przewodzenia różnych diod, jako napięcie wzorcowe i zakładamy, że jest niezmienne. Na **rysunku 9a** masz przykład prościutkiego tzw. stabilizatora równoległego. Napięcie wyjściowe zależy od liczby i koloru diod LED.

Rezystor R_1 należy tak dobrać, żeby prąd I_1 nie przekroczył 20 mA, bezpiecznego dla diod LED i żeby był 2...10 razy większy od spodziewanego prądu wyjściowego – prądu obciążenia I_L . Elementem stabilizującym mogą być diody LED lub zwykłe diody – **rysunek 9b**.

Przy wyższych wymaganiach stosujemy tzw. *diody Zenera*, w których stabilność napięcia jest dużo lepsza. Na **ilustracji 10** pokazane są typowy układ pracy i wygląd diod Zenera o różnych napięciach stabilizacji (od 2,1 V do nawet 160 V, przy czym z reguły zamiast przecinka, stosuje się literę V, stąd np. 5V1=5,1 V). Trzeba

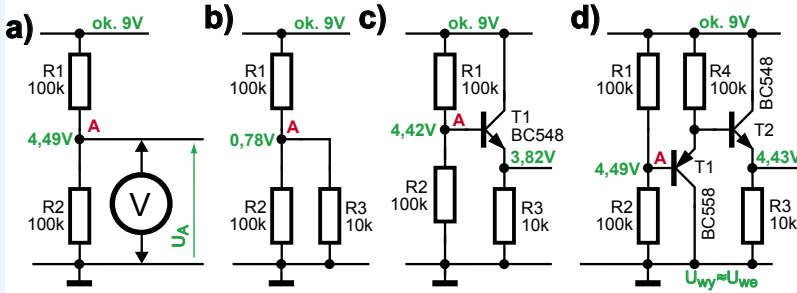


3

4

5

6

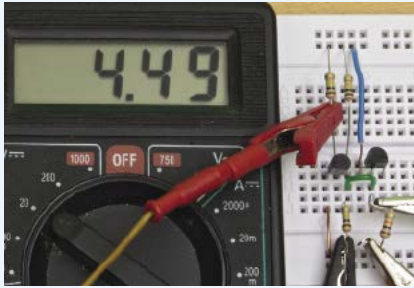


podkreślić, że dioda Zenera jest włączana „odwrótnie” - w kierunku wstecznym. Natomiast włączona w kierunku przewodzenia, zachowuje się jak zwykła dioda krzemowa ze spadkiem napięcia około 0,7 V.

Obecnie, zamiast diod Zenera, w roli precyzyjnych źródeł napięć odniesienia powszechnie wykorzystujemy układy scalone, zawierające w jednej strukturze wiele elementów, np. typu TL431 czy LM385, które na schematach oznaczamy jak pojedyncze diody Zenera. Przykład na **ilustracji 11**. Zapewniają one znakomitą stabilizację. W przypadku TL431 rezystory R2, R3 pozwalają dowolnie ustawić wartość napięcia wyjściowego.

Szeregowy stabilizator napięcia. Mając źródło napięcia odniesienia i wtórnik, możemy zrealizować stabilizator napięcia, o zwiększonym prądzie wyjściowym. Układ z **rysunku 9a** wzbogaciliśmy o wtórnik – przykład na **rysunku 12**. Nawet przy znacznych zmianach napięcia U_{ZAS} oraz prądu I_L , napięcie na szeregowo połączonych diodach zmienia się niewiele, napięcie U_{BE} tranzystora T1 też niewiele zależy od prądu – zmiany napięcia na obciążeniu R_L są niewielkie.

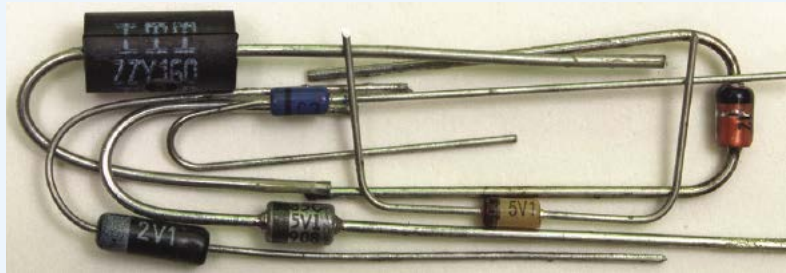
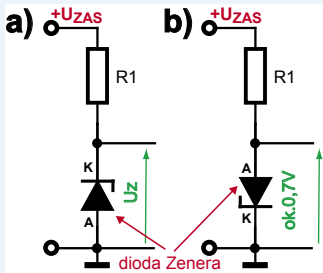
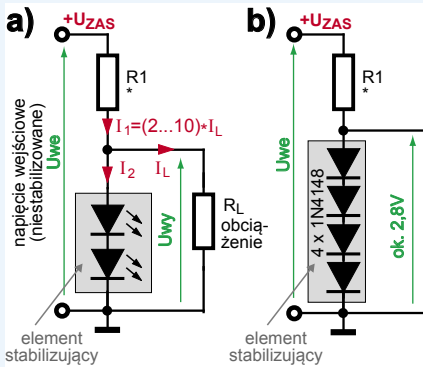
Znacznie lepsze parametry można uzyskać, dodając wtórnik według **rysunku 13a**. Inny przykład masz na **rysunku 13b**. Tranzystor T2 pełni rolę tzw. *wzmacniacza błęd*: porównuje napięcie wyjściowe z napięciem wzorcowym i tak steruje tranzystorem T1, żeby minimalizować błąd (różnicę napięć). Wartość napięcia wyjściowego określają dzielniki R2, R3. **Fotografia 14** pokazuje stabilizatory z **rysunku 13**.



W praktyce od dawna nie wykorzystujemy takich rozwiązań z pojedynczymi tranzystorami. Obecnie powszechnie stosujemy dużo bardziej skomplikowane stabilizatory scalone – **ilustracja 15** pokazuje typowe schematy aplikacyjne bardzo popularnych stabilizatorów z rodziny 78xx (gdzie xx określa napięcie wyjściowe i układu LM317). Rzadziej stosujemy podobne stabilizatory napięć ujemnych z rodziny 79xx oraz LM337.

Stabilizator prądu. **Rysunek 16** pokazuje dwie wersje prostego układu źródła prądowego. Przy znacznych zmianach napięcia zasilania U_{we} , znacznie będzie się zmieniał prąd I_L , jednak praktycznie niezmiennie będą napięcia U_F na diodach i U_{BE} tranzystora T1, więc niezmiennie będzie też napięcie na rezystorze R2, przez który popłynie niezmienny prąd $I_E = U_F / R_2$. Prąd emitera jest sumą prądu bazy i prądu kolektora ($I_E = I_B + I_C$), ale prąd bazy jest małej wielkości, więc przyjmujemy w uproszczeniu $I_E = I_C$. Prąd kolektora nie zależy też od oporności obciążenia R_L i napięcia na kolektorze (byle tranzystor T1 nie wszedł w stan nasycenia).

W praktyce zdecydowanie częściej wykorzystujemy układ, pokazany na **ilustracji 17**. Przez rezystor R2 płynie niewielki prąd, który otwiera T1. Tranzystor T2 sprawdza spadek napięcia na R1. Gdy rośnie prąd T1 i napięcie na R1, otwiera się tranzystor T2 i jego kolektor „zabiera” część prądu, płynącego

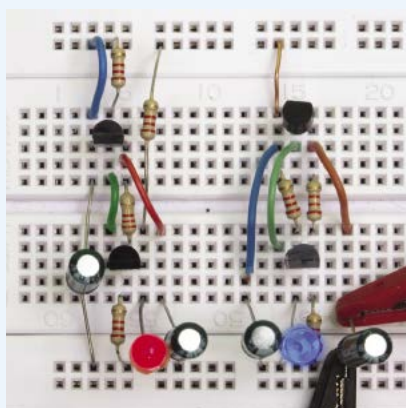
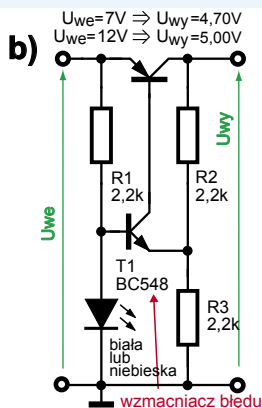
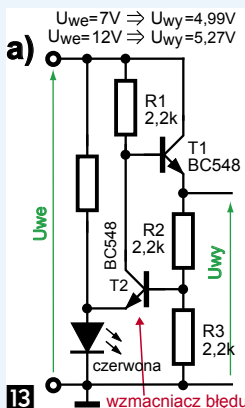
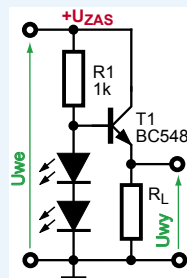
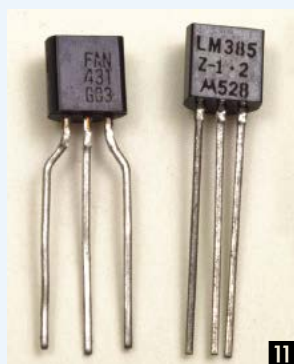
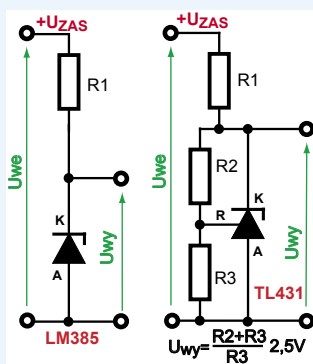


7

8

9

10

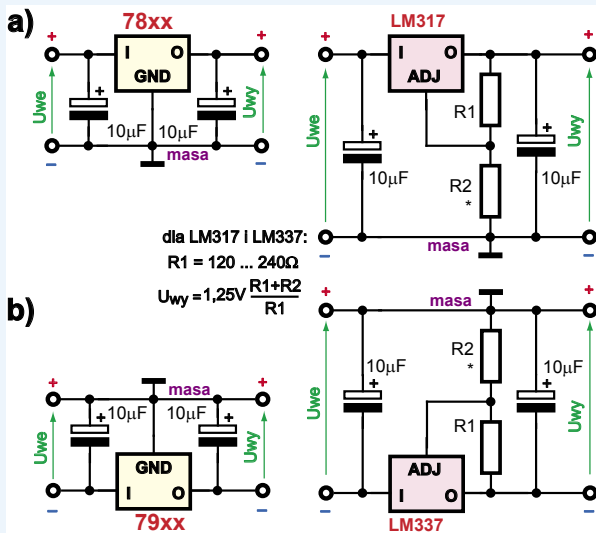


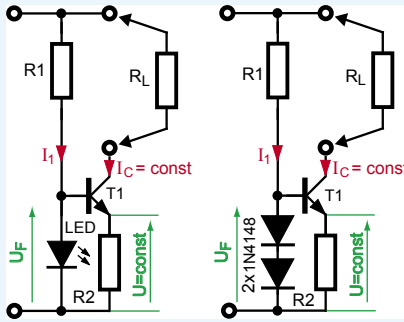
przez R2, a tym samym zmniejsza prąd bazy, kolektora i emitera T1. Tym samym zmniejsza napięcie na R1.

Gdyby jednak prąd tranzystora T1 i napięcie na R1 z jakichkolwiek powodów znacznie się zmniejszyły, T2 zostanie zatkany, prąd jego kolektora zmniejszy się do zera i cały prąd R2 będzie prądem bazy T1, co momentalnie zwiększy prąd T1 i spadek napięcia na R1. Mamy tu „czuwający” układ, w którym tranzystor T2 cały czas stara się utrzymać na rezystorze R1 jednakowy spadek napięcia, a tym samym niezmienny prąd kolektora T1. Rezystor R1 trzeba dobrać, zależnie od napięcia zasilania i prądu I_C. Obciążeniem R_L może być np. dioda LED, jak na fotografii – jej prąd będzie niezmienny, bardzo mało zależny od napięcia zasilania.

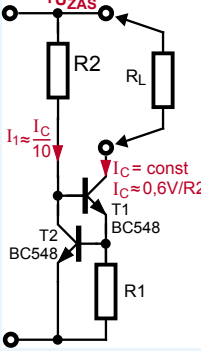
Sterowane źródła prądowe. Źródłem prądowym jest też obwód kolektorowy „gołego” tranzystora. Na rysunku 18a pokazany jest najprostszy, niestosowany w praktyce układ źródła prądowego, sterowanego zarówno prądem I_B, jak i napięciem U_{BE}.

Na rysunku 18b żółta podkładka wyróżnione jest **źródło prądowe sterowane napięciem**. Prąd źródła prądowego zależy



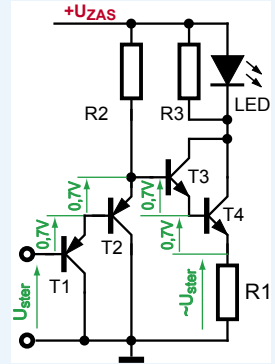
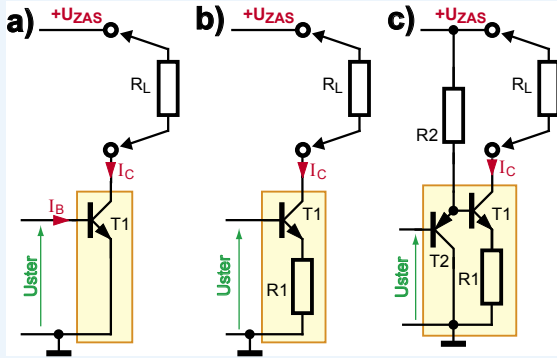


$U_{ZAS} = 4V \Rightarrow I_C = 2,77mA$
 $U_{ZAS} = 8V \Rightarrow I_C = 2,80mA$
 $U_{ZAS} = 12V \Rightarrow I_C = 2,94mA$



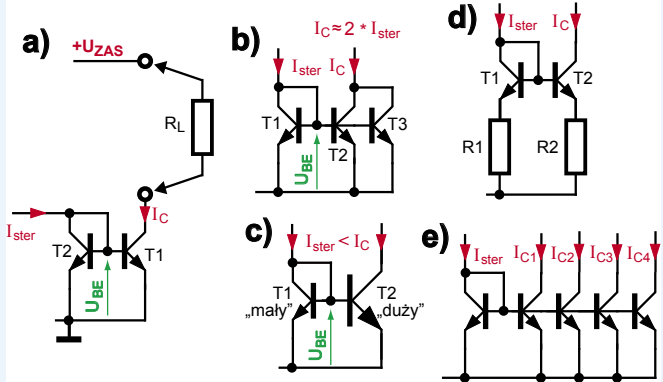
16

17



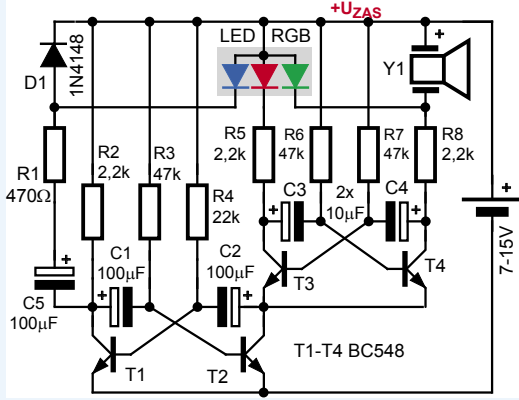
18

19



nie tylko od wartości rezystancji R1, ale też od napięcia na bazie T1. Ulepszony układ mógłby wyglądać jak na **rysunku 18c**. Tego rodzaju układ sterowanego napięciem źródła prądowego według **rysunku 19** wykorzystaliśmy w monitorze napięcia w wykładzie 2. Aby zmniejszyć prąd wejściowy, mamy tu „podwójny” wtórnik T1, T2 (tzw. układ Darlingtona). Drugi analogiczny wtórnik powoduje, że na rezystorze R1 mamy napięcie zbliżone do napięcia wejściowego Uster. Z uwagi na drobne różnice

20



napięcie na złączach baza-emiter i na diodzie, dodajemy rezystor R3, by przy zerowym napięciu Uster, dioda LED nie świeciła. W wykładzie 2, na rysunkach 4 i 6 zamiast T4 zastosowaliśmy diodę.

Kontrolę prądu kolektorowego źródła prądowego możemy realizować w różny sposób, niekiedy za pomocą napięcia. Bardzo popularny jest też układ z **rysunku 20a**. Na chwilę pominiemy prądy baz tranzystorów, które są kilkakrotnie mniejsze od prądów kolektorów. Zakładamy, że tranzystory są jednakowe, ich temperatura jest jednakowa, napięcia U_{BE} są identyczne, więc „wyjściowy” I_C będzie taki sam, jak prąd „wejściowy” Ister. Mamy tu **źródło prądowe sterowane**

21



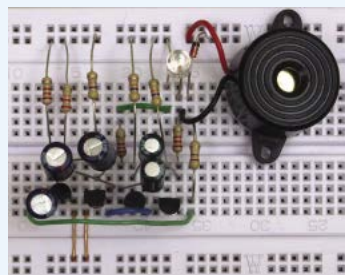
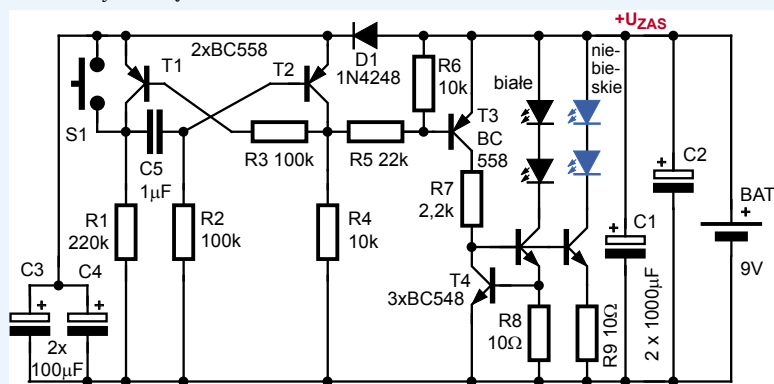
prądem, które częściej nazywane jest **lustrem (zwierciadłem) prądowym**.

W praktyce spotyka się też lustra prądowe o niejednakowych prądach, z tranzystorami o różnej wielkości wewnętrznych struktur, oraz zrealizowane z użyciem dodatkowych rezystorów – przykłady na rysunku 20b ... 20d.

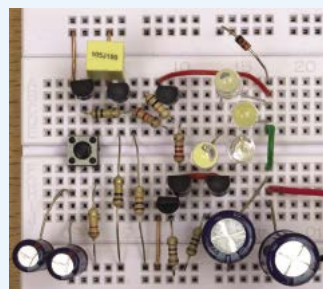
Na koniec tego wykładu jeszcze kilka układów do samodzielnej budowy.

Symulator alarmu. Nie zawsze gotowi jesteśmy chronić swoje mienie za pomocą urządzeń alarmowych. Często dla odstraszenia

potencjalnego złodzieja chcemy zainstalować jedynie symulator alarmu, wytwarzający impulsy świetlne i dźwiękowe. „Inteligentny” symulator z trójkolorową diodą LED, dający nietypową sekwencję kolorowych impulsów świetlnych, możesz zrealizować według rysunku 21 i fotografii 22.



22



24

Lampa błyskowa – stroboskop. Możesz też zrealizować lampę błyskową-stroboskop

z dwiema białymi i dwiema niebieskimi diodami LED według rysunku 23 i fotografii 24. Mała bateryjka, 9-woltowy bloczek, ma niewielką wydajność prądową. Jednak dzięki magazynowaniu energii w kondensatorach C1, C2, prąd podczas krótkich impulsów będzie miał dużą wartość. Przekonasz się, że nawet przy prawie całym zużyciu baterii, można uzyskać jasne błyski diod LED.

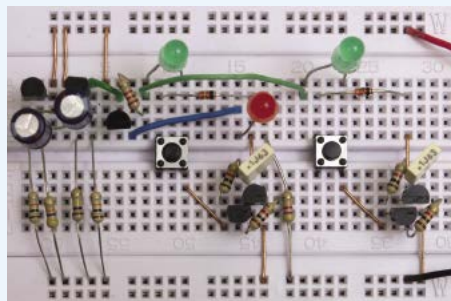
UWAGA! Nie należy świecić diodami prosto w oczy, ponieważ silne impulsy mogą być szkodliwe dla wzroku!

Gra zręcznościowa – Kto szybszy? To tester refleksu dla dwóch uczestników, pokazana jest na rysunku 25 i fotografii 26. Mamy tu zwyczajny multiwibrator, pracujący z bardzo małą częstotliwością oraz dwie struktury tyrystorowe, a do tego trzy diody LED.

Gdy zaświeci się czerwona dioda LED3, każdy uczestnik jak najszybciej naciska swój przycisk. Wygrywa ten, kto zaświeci „swoją” zieloną diodę LED. Zamiast diody LED3 (lub równolegle do niej) można włączyć brzęczyk piezo.

Zachęcam Cię też do wykorzystywania oraz do samodzielnej modyfikacji dotychczas poznanych układów i obwodów w jeszcze innych konstrukcjach własnego pomysłu. ■

Piotr Górecki



26