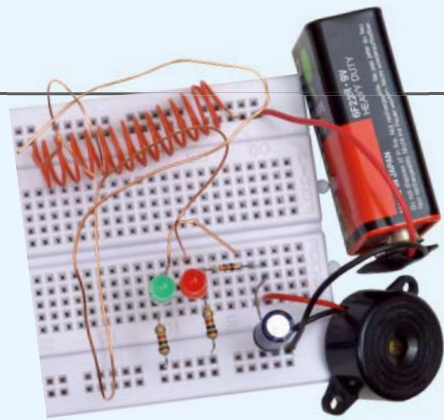




# PRAKTYCZNY KURS cz. 7 ELEKTRONIKI



Oto siódma część PRAKTYCZNEGO KURSU ELEKTRONIKI, który zainaugurowaliśmy 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](http://www.mt.com.pl). Można z nich korzystać w komputerze lub wydrukować sobie. Można też kupić wszystkie archiwalne numery MT na [www.ulubionykiosk.pl](http://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 bladego 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 publikujemy 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** można kupić w sklepie internetowym [www.sklep.avt.pl](http://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](mailto:prenumerata@avt.pl) dwa zdania:

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

Jeśli otrzymamy to zamówienie przed 31. sierpnia 2013 roku, to zestaw **EdW09** wyślemy Ci w połowie września wraz z październikowym numerem MT.

## Uwaga uczniowie!

Szkoły prenumerujące MT otrzymują **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<br>840 pól stykowych | 1 szt.    |

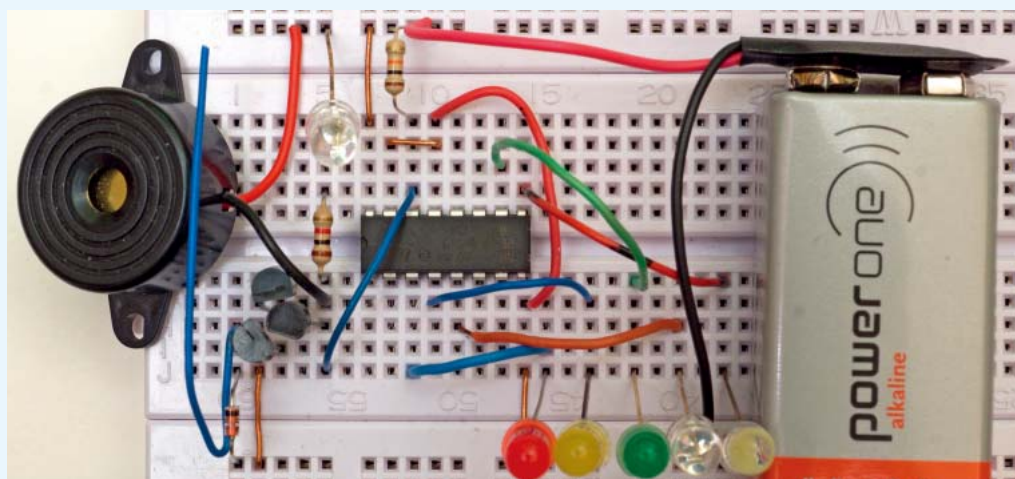
Cena zestawu **EdW09** – 47 zł brutto

([www.sklep.avt.pl](http://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 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 7

# Tajemniczy sensor zblizeniowy

Na **fotografii wstępnej** przedstawiony jest układ **tajemniczego sensora zblizeniowego**. Wyposażony jest on w izolowaną „antenkę” (niebieski drut z lewej strony). Zbliżenie ręki do tej „antenki” po pierwsze powoduje zaświecanie niebieskiej diody LED i terkot brzęczyka. Po drugie zaczyna pracować efektywny wielobarwny wąż świetlny, składający się z pięciu różnokolorowych diod LED.

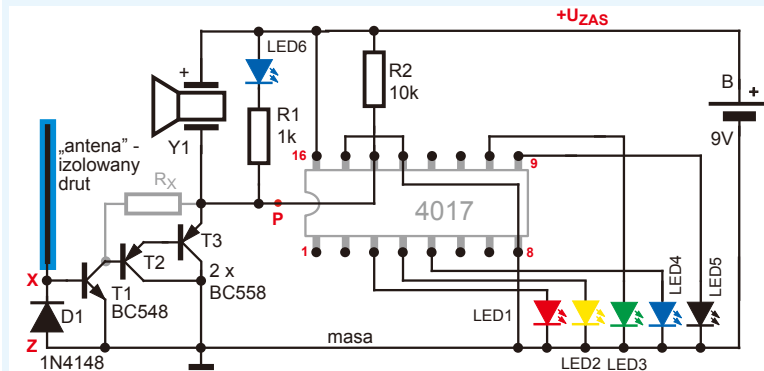
Układ jest tajemniczy dlatego, że reakcja następuje na odległość – wystarczy samo zbliżenie ręki. Nie trzeba niczego dotykać. Wykorzystujemy prosty sensor, czyli czujnik pojemnościowy.

Działanie prezentowanego układu możesz obejrzeć na filmiku, dostępnym w dwóch wersjach (o różnej jakości i objętości), w Elportalu pod adresem [www.elportal.pl/pke](http://www.elportal.pl/pke)

W trakcie filmiku podawane są informacje o warunkach pracy i sposobach zasilania układu. Jak widać, czułość sensora bardzo się zmienia, zależnie od różnych czynników. Czułość jest najmniejsza przy zasilaniu z baterii, jednak zależy między innymi od tego, czy w pomieszczeniu są włączone jakieś urządzenia elektryczne, choćby żarówki. Czułość zdecydowanie wzrasta, jeżeli obwód masy zostanie uziemiony, czyli dołączony elektrycznie do ziemi za pośrednictwem sieci wodociągowej czy nawet instalacji centralnego ogrzewania. Zdecydowanie większą, nawet zbyt dużą czułość, układ uzyskuje przy zasilaniu z zasilacza, dołączonego do sieci energetycznej.

Nie zdziw się więc, że gdy zrealizujesz taki układ i zaczniesz go testować, jego czułość zapewne będzie

trochę inna niż w pokazanym na filmie moim modelu.



**UWAGA! W ŻADNYM WYPADKU nie dołączaj układu wprost do jakiegokolwiek punktu sieci energetycznej. W domowej sieci energetycznej występuje śmiertelnie groźne dla życia napięcie 230 V!**



Jedynym wyjątkiem jest użycie do zasilania stabilizowanego fabrycznego zasilacza sieciowego, np. wtyczkowego, o napięciu 7,5...12 V.

Zaskakujące działanie prezentowanego nieskomplikowanego układu oparte jest na prostych, ale słabo rozumianych zasadach. Dlatego warto potraktować ten i inne opisane dalej układy i ćwiczenia nie tylko jako ciekawostki, ale jako znakomitą sposobność do praktycznego zapoznania się z zarysami bardzo ważnego problemu zakłóceń „pojemnościowych”, dotyczącego wszystkich układów elektronicznych, w szczególności występujących w ulubionych przez hobbystów układach audio.

Wykład i proponowane ćwiczenia udowadniają, że wbrew potocznym wyobrażeniom, w elektronice nie ma działania żadnych tajemnych sił nieczystych. Są tylko ściśle, niepodważalne prawa fizyki oraz skomplikowana rzeczywistość, w której czasami trudno ogarnąć wszystkie szczegóły.

## Opis układu dla „zaawansowanych”

Schemat tajemniczego sensora jest pokazany na **rysunku A**. Wejściem jest punkt X. Tranzystory T1-T3 tworzą „supertranzystor” o ogromnym wzmocnieniu prądowym. Gdy popłynie choćby znikomo małe prąd bazy T1, zostanie on wzmocniony. W obwodzie kolektora T1 popłynie taki wzmocniony prąd, a potem zostanie on jeszcze wzmocniony najpierw przez T2, potem przez T3. Wzmocnienie prądowe takiego „supertranzystora” może być większe niż milion, więc już znikomo mały prąd bazy T1, rzędu nanoamperów, czyli miliardowych części ampera, spowoduje zaświecenie niebieskiej diody LED6 i reakcję brzęczyka piezo Y1. Wcześniejsze informacje o tranzystorach wskazują, iż reakcja taka nastąpi, gdy w punkcie X pojawi się napięcie dodatnie.

Jak udowadnia umieszczony w Elportalu film, po zbliżeniu ręki do izolowanej anteny, dioda LED6 będzie migotała, a brzęczyk Y1 wyda przerywany, terkoczący dźwięk. Przy zbliżaniu ręki do izolowanej antenki, w punkcie X pojawia się napięcie, ale nie stałe, tylko zmienne, o czym świadczy terkot i migotanie. Dodatnie połówki tego napięcia zmiennego powodują przepływ prądu przez złącze baza-emiter tranzystora T1, natomiast ujemne połówki, powodują przepływ prądu przez diodę D1.

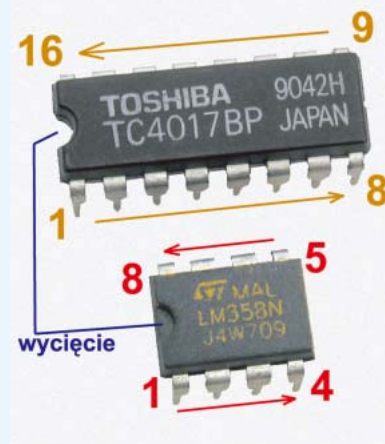
**Uwaga!** Z uwagi na ogromne wzmocnienie zestawu trzech tranzystorów i na tzw. prądy zerowe tranzystorów, może się zdarzyć, że w spoczynku brzęczyk Y1 będzie wydawał cichy ciągly dźwięk, a dioda LED6 będzie się leciutko świecić. Gdyby się tak zdarzyło, należy dołączyć rezystor o jak największej wartości (10 MΩ lub mniej) między emiter tranzystora T3 i bazę tranzystora T3 albo T2 - na rysunku A jest to narysowany szarym kolorem rezystor Rx.

W związku z przerywaną pracą, na emiterze T3, czyli w punkcie P występuje przebieg pulsujący, który powoduje migotanie diody LED6 i terkot brzęczyka. Ten przebieg pulsujący jest podany na wejście układu scalonego U1 typu CMOS4017. Dodatkowy rezystor R2 podciąga napięcie w punkcie P, gdy tranzystory są zatkane (bez niego „stan wysoki” ograniczałoby napięcie przewodzenia diody LED6). Układ 4017 to licznik, zliczający od 0 do 9. Ma on 10 wyjść, z których wykorzystujemy 5, dołączając do nich różnokolorowe diody LED1...LED5. Gdy w punkcie P pojawi się pulsujący przebieg (zmiany napięcia), licznik zaczyna liczyć. Każdy impuls w punkcie P powoduje zwiększenie stanu licznika i stan wysoki pojawia się na kolejnym z jego dziesięciu wyjść. Stany wysokie, pojawiające się na pięciu wykorzystanych wyjściach powodują zaświecenie linijki LED1...LED5, dając efekt „płynącej fali”.

Montując układ na płytce stykowej zwróć uwagę na sposób wygięcia nóżek i włożenia w płytkę tranzystorów, a zwłaszcza tranzystora T1 (BC548), co jest pokazane na **fotografii B**.

W tym układzie po raz pierwszy wykorzystujesz układ scalony w obudowie zwanej DIL (dual-in-line). Zapamiętaj raz na zawsze, że w tego typu obudowach numeracja nóżek jest standardowa: patrząc na obudowę od góry tak, żeby napisy – oznaczenia były normalnie czytelne, z lewej strony zawsze masz znak szczególny – wycięcie. I zawsze nóżka nr 1 jest przy tym wycięciu z lewej strony na dole. Ilustruje to **rysunek C**.

Uwaga! Przed realizacją projektu tytułowego, najpierw starannie zapoznaj się z zamieszczonym dalej wykładem.



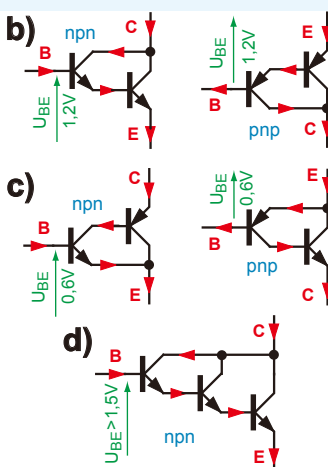
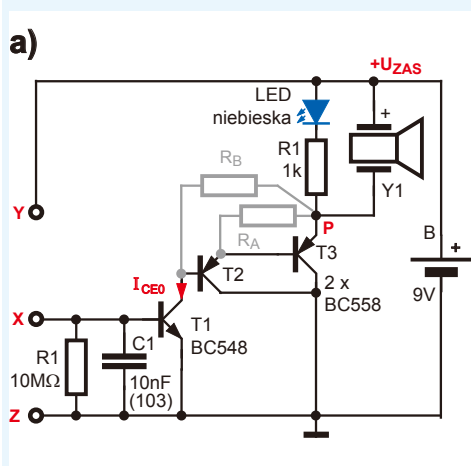
# Wykład z ćwiczeniami 7

## Poznajemy elementy i układy elektroniczne

W tym wykładzie zajmiemy się przebiegami zmiennymi, zaczynając nietypowo od problemu zakłóceń. Proponowane ćwiczenia pozwolą zapoznać się z tym ogromnie ważnymi, a bardzo słabo rozumianymi problemami zewnętrznych zakłóceń, przedostających się do układów elektronicznych z zewnątrz.

**Sensor dotykowy.** Możesz zbudować układ według **rysunku 1a**. Gdy będziesz montować go na płytce stykowej, z co najmniej dwóch względów zwróć uwagę na dołączenie nóżek tranzystora T1, jak pokazują wcześniejsza fotografia B. Gdy w układzie z rys. 1 jednocześnie dotkniesz jednym palcem do punktu X, drugim do punktu Y, dioda LED zaświeci się ciągłym światłem i głośno odezwie się brzęczyk Y1. Nasza skóra ma jakąś (zwykle dużą) rezystancję, więc dotykając palcami punkty X, Y włączamy między te punkty rezystor. Tranzystor T1 wzmacnia małe prądy płynące przez rezystancję naszego ciała, T2 wzmacnia prąd tranzystora T1, a T3 wzmacnia prąd T2. Diody LED na pewno nie zaświeci jednoczesne dotknięcie punktów X i Z, czyli włączenie rezystancji ciała między te punkty.

Przy okazji: połączenie według **rysunków 1b** to tak zwany **układ Darlingtona**, a według **rysunku 1c** – **układ Sziklai'ego**. Wzmocnienie prądowe ( $\beta = I_C/I_B$ ) jest równe iloczynowi wzmocnień obu tranzystorów ( $\beta = \beta_1 * \beta_2$ ),

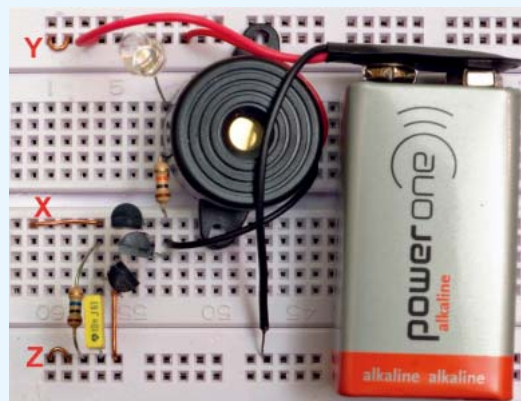


w praktyce 1500...500000 razy. Zwróć też uwagę na wartości  $U_{BE}$ , niezbędne do ich otwarcia.

My w układzie tytułowym i na rysunku 1a realizujemy bardzo czuły sensor, łącząc trzy tranzystory: pojedynczy npn T1 i układ Darlingtona T2+T3. Możesz też wykorzystać

inne kombinacje trzech tranzystorów, w tym wersję z **rysunku 1d** - „potrójnego darlingtona”, ale do otwarcia takiego „potrójnego darlingtona” potrzebne jest napięcie  $U_{BE}$  o potrójnej wielkości (około 1,5 V).

Na **fotografii 2** pokazany jest układ w wersji z rysunku 1a. Tranzystory BC548B i BC558B typowo mają wzmocnienie prądowe około 300 lub trochę więcej, więc teoretycznie uzyskujemy „supertranzystor” o niebotycznej wartości wzmocnienia prądowego, rzędu 27 milionów. W praktyce bardzo dużo, ale nie aż tyle, z uwagi na zmniejszone wzmocnienie prądowe tranzystora T1 przy małych prądach. Ponadto



tranzystory T2, T3 będą wzmacniać tak zwany prąd zerowy kolektora tranzystora T1, w katalogach oznaczany  $I_{CE0}$ , o wartości rzędu nanoamperów. W zależności od wielkości prądu  $I_{CE0}$  oraz wzmocnienia T2, T3 może się zdarzyć, że w układzie z rysunku 1a w spoczynku i brzęczyk i dioda LED będą leciutko pracować. Aby w takim przypadku tranzystor T3 w spoczynku nie przewodził, należy go „znieczulić”, by małe prądy bazy go nie otwierały. Zapewnia to rezystor włączony między emiterem a bazą. Można go włączyć jako  $R_A$  między bazę i emiter T3, albo między bazę T2 i emiter T3 jako  $R_B$  – małe prądy płyną wyłącznie przez taki rezystor, a prąd bazy jest równy zero, dopóki spadek napięcia ( $U=I \cdot R$ ) jest mniejszy od napięcia

1

2





progowego  $U_{BE}$ .

Przebadalem w ten sposób kilkanaście tranzystorów i tylko w jednym przypadku potrzebny był rezystor „znieczulający” – wystarczył  $R_B$  o wartości 10 M $\Omega$ .

W takim czujniku wszystko jest jasne – do zadziałania wykorzystujemy rezystancję naszego ciała włączaną między punkty X, Y. Mniej jasne jest zachowanie nieco zmodyfikowanych wersji układu...

Na początek usuń rezystor  $R1=10\text{ M}\Omega$ . Gdy na chwilę dotkniesz palcami punktów X, Y, włączysz diodę LED i brzęczyk na długi czas. Naładujesz C1 o małej pojemności 10 nF i potem będzie się on zaskakująco długo rozładowywał znikomym prądem bazy T1. Świadczy to, że do zadziałania układu wystarczy znikomo mały prąd bazy T1.

A teraz włóż  $R1=10\text{ M}\Omega$ , a za to usuń C1. Dotknij tylko punktu X, nie dotykając ani punktu Y ani Z. Najprawdopodobniej zaobserwujesz coś zaskakującego – dotknięcie tylko jednego punktu spowoduje reakcję układu. Gdybyś zmniejszył wartość  $R1$ , zmniejszył tym czułość układu. Zbadajmy to dokładniej, bo to bardzo ważne zagadnienie.

#### Sensor pojemnościowy - zbliżeniowy.

Zmodyfikuj układ według rysunku 3, nie zapominając o zamontowaniu tranzystora T1 według fotografii B (chodzi m.in. o to, żeby obwód bazy nie sąsiedował bezpośrednio z kolektorem). Rezystor  $R1$  zastępujemy diodą D1 włączoną „odwrotnie”. W razie potrzeby dobrać jak największy rezystor  $R_x$ , żeby w spoczynku brzęczyk nie wydawał ciągłego pisku. Najpierw dołącz do punktu X „antenkę” w postaci kawałeczka drutu **BEZ izolacji**. Nie dotykaj do punktu Y, ani do punktu Z, ani do żadnego innego punktu w układzie, a jedynie dotknij palcem do punktu X. Najprawdopodobniej zaczniesz migotać dioda LED1, a brzęczyk Y1 wyda nie ciągły dźwięk, tylko terkot.

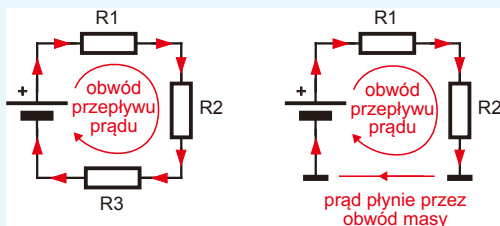
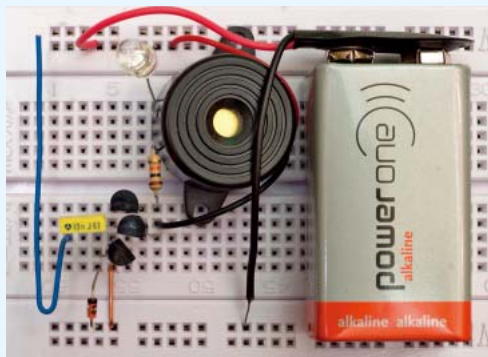
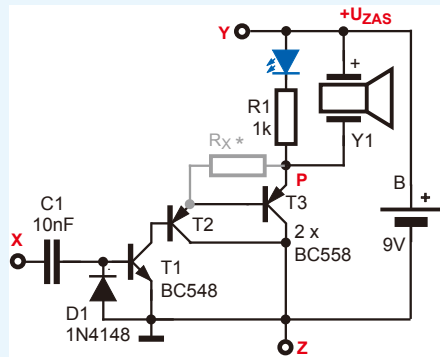
Następnie wymień „antenkę”: zastosuj kawałek drutu **w izolacji** – jak na fotografii 4. Nie dotykaj innych punktów układu, tylko ściśnij dwoma palcami taką izolowaną „antenkę” – brzęczyk też powinien wydać terkot, a prawdopodobnie zaświeci się także dioda LED. Czułość będzie jednak zależna od różnych czynników.

Takie eksperymenty i zamieszczony w Elportalu film nie tylko dziwią, ale na pozór podważają podstawowe zasady elektroniki. Po pierwsze dziwimy się, dlaczego tranzystory zostają otwarte po dotknięciu, a nawet tylko przy zbliżeniu ręki do „antenki”? Z wcześniej zdobytych informacji zdaje się wynikać, że przez kondensator nie może płynąć prąd. Teraz wszystko wskazuje, że przez kondensator C1 prąd jednak płynie i to ten prąd otwiera tranzystor T1.

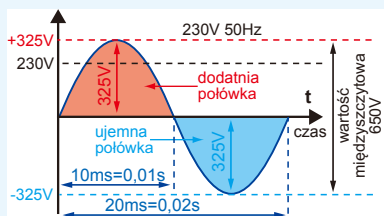
Pod drugie, powszechnie wiadomo, choćby ze szkolnych zajęć fizyki, że prąd elektryczny zawsze płynie w zamkniętych obwodach, pętlach, jak ilustruje to rysunek 5. Tymczasem jak mówić o przepływie prądu w zamkniętej pętli, gdy jeden palec dotyka lub tylko zbliża się do punktu X? Nie widać tu żadnej „drogi powrotnej” dla prądu.

Być może sądzisz, że nasza antena i układ reagują na fale radiowe. Nie w tym przypadku – odebrane fale radiowe dają bardzo małe napięcia, rzędu mikrowoltów, najwyżej pojedynczych miliwoltów.

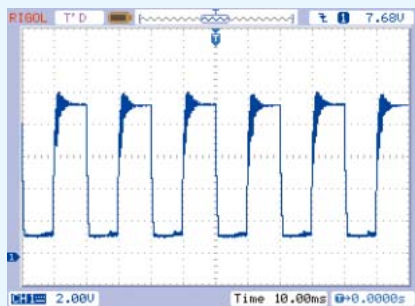
Może też przypomnisz sobie o napięciach wytwarzanych przez ludzkie ciało, o badaniach EKG i EEG i o bioprądach. Też nie tędy droga – to też byłyby napięcia rzędu miliwoltów. A przecież my mamy na wejściu tranzystor T1, a jak wiemy, do jego otwarcia potrzebne jest napięcie  $U_{BE}$  około 600...700 mV (0,6...0,7 V). W tym przypadku wystarczy znikomo mały prąd bazy, który popłynie już przy napięciu rzędu 0,5 V, a może nawet troszkę mniej. W każdym razie do otwarcia tranzystorów T1...T3 potrzebne jest dodatkowo napięcie w punkcie X o wielkości około +0,5 V względem masy i oczywiście „dodatni” prąd bazy, płynący od punktu X przez kondensator C1 i złącze baza-emiter T1.



6



7



ewentualnie do kaloryfera, wtedy nawet przy zasilaniu z baterii reakcja nastąpi już przy zbliżaniu do czujnika ręki na odległość 1..2 cm.

Zacznijmy wyjaśnianie działania układu. Do tej pory mówiliśmy głównie o napięciach stałych z baterii czy zasilacza, a w domowej w sieci energetycznej mamy napięcie zmienne, sinusoidalne o wysokim, śmiertelnie groźnym napięciu nominalnym 230 V i czasie powtarzania 20 ms (0,02 s), czyli 50 razy na sekundę. Mówiąc fachowo, o częstotliwości 50 herców (50 Hz). Napięcie w sieci i płynący tam prąd zmienia nie tylko wartość, ale i kierunek: przez 10 milisekund napięcie jest dodatnie i płynie w kierunku, powiedzmy dodatnim, a przez następne 10 ms – napięcie jest ujemne i prąd płynie w kierunku ujemnym, jak pokazuje **rysunek 6**. I właśnie dodatnie połówki przebiegu przemiennego, mającego początek w sieci 50 Hz powodują przepływ maleńkiego prądu przez złącze baza-emiter T1 naszego układu z rysunku 3. Natomiast podczas ujemnych połówek prąd płynie przed diodę D1. W każdym razie tranzystory są otwierane i zamykane przez przebieg sieci energetycznej 50 Hz, dlatego dioda LED migocze, a Y1 terkocze. **Rysunek 7** to zrzut z ekranu oscyloskopu, pokazujący przebieg w punkcie P podczas pracy układu z fotografii tytułowej. Niewątpliwie ma on związek z przebiegiem sieci energetycznej.

Rysunek ten udowadnia też, że przyczyną działania układu NIE są tak zwane **ładunki statyczne**, które się wytwarzają wskutek elektryzowania, np. przez pocieranie ubrań z sztucznych włókien, np. polaru. Przy zdejmowaniu polaru często wręcz przeskakują iskierki, co znaczy, że tak wytwarzane napięcia są bardzo duże, rzędu tysięcy woltów. Owszem, ubrany w polar, dodatnio naelektryzowany człowiek, dotykając punktu X spowoduje, że dioda LED zaświeci się na pewien czas światłem ciągłym i brzęczyk Y1 wyda ciągły dźwięk. Jednak z uwagi na ogromne napięcia, nie eksperymentuj z elektryzowaniem ubrań, bo możesz nieodwracalnie uszkodzić tranzystory.

I w układzie tytułowym, i układzie z rysunku 3 podstawą działania i przyczyną dziwnych zachowań są właśnie prądy ładowania i rozładowania kondensatorów, płynące z przewodów sieci 230 V przez różne pasożytnicze pojemności. Te pasożytnicze pojemności (niczym małe kondensatorki) występują pomiędzy wszystkimi przewodzącymi ciałami, które są rozdzielone izolatorem. Kondensator to w sumie dwie przewodzące okładki, przedzielone izolatorem – dielektrykiem. Przewodzące ciała to wszelkie druty, dowolne przedmioty metalowe, przewodzące ciało człowieka oraz ziemia, która też przewodzi prąd. Natomiast izolatory to przede wszystkim powietrze, ale także tworzywa sztuczne, papier, szkło, drewno.

Potoczna opinia głosi, że prąd nie może przepływać przez ten izolator. Jednak kondensator może się ładować i rozładowywać, a to ładowanie i rozładowywanie to nic innego jak przepływ prądu w dwie strony – czyli przepływ prądu zmiennego, ściślej przemiennego.

Wcześniej słusznie traktowaliśmy kondensator jako maleńki zbiornik energii. Teraz widzimy drugą ważną rolę kondensatorów – nie przepuszczają prądów stałych, ale przepuszczają przebiegi zmienne, co wynika z ładowania i rozładowywania tych zbiorników energii. **Czym większa pojemność, tym większe są te prądy.**

W domowej sieci energetycznej jeden spośród dwóch przewodów prowadzących do żarówki (a dwa spośród trzech prowadzących do gniazdka) jest uziemiony, czyli dołączony do ziemi. Napięcie w tym przewodzie, mierzone względem ziemi jest równe lub bliskie zeru – dlatego taki dołączony do ziemi

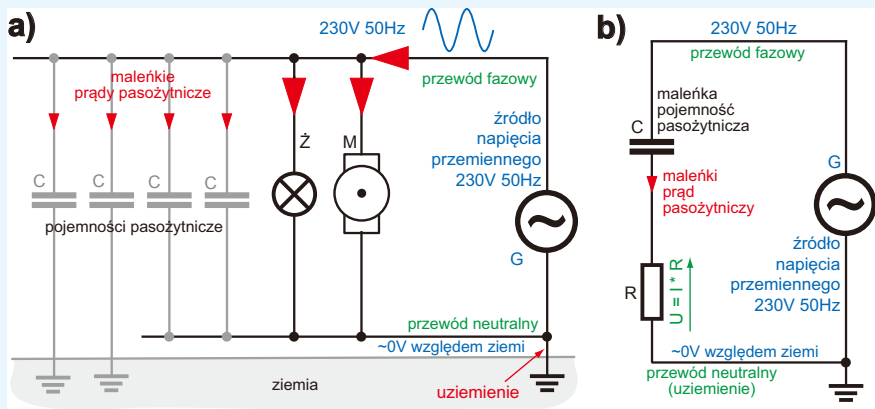
Nasz układ nie reaguje na znikomo małe napięcia rzędu miliwoltów. Reaguje natomiast na znikome nawet prądy. Mamy tu **czujnik pojemnościowy**, reagujący głównie na... przebiegi z domowej sieci elektroenergetycznej.

Właśnie dlatego reakcja układu będzie silnie zależeć od otoczenia. Gdy przeprowadziłem opisany test w sypialni, reakcja układu była bardzo słaba. Gdy jednak, pisząc ten artykuł, położyłem układ blisko włączonego monitora LCD (30 cm), nawet nie trzeba było ścisnąć ani dotykać „antenki” - wystarczyło zbliżyć palec do antenki na odległość 5 mm, by brzęczyk terkotał i by zaczęła migotać dioda LED. Mało tego – taką samą reakcję powodowało dotknięcie punktu Y, Z czy jakiegokolwiek innego punktu układu, a nawet zbliżenie dłoni do baterii na odległość kilku milimetrów.

Reakcja byłaby też bardzo silna przy zasilaniu układu z zasilacza sieciowego, (przy czym nawet odwrotne włożenie wtyczki zasilacza do gniazdka może mieć wpływ na działanie). Natomiast ogólnie biorąc, przy zasilaniu z baterii układ reaguje znacznie słabiej. Jeżeli jednak dołączysz punkt Z (masę układu) lub punkt Y, jakimkolwiek przewodem do uziemienia, na przykład do Kranu wodociągowego,



przewód nazywamy zerowym lub *neutralnym*. Natomiast w drugim przewodzie napięcie względem ziemi wynosi 230 V – nazywamy go przewodem fazowym.



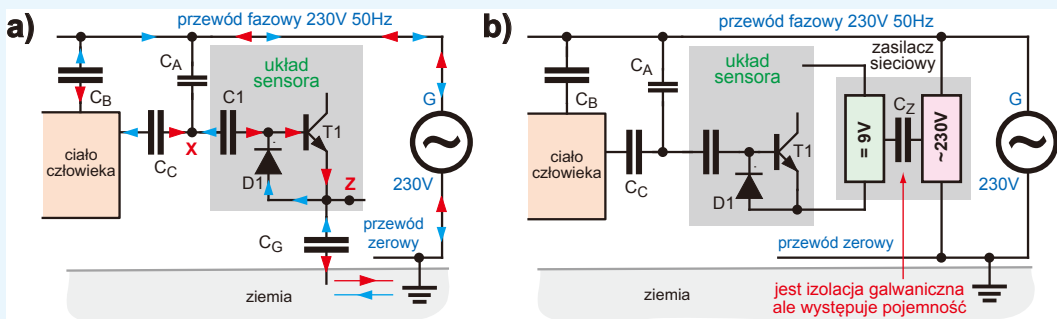
Pomiędzy przewodem fazowym a przewodem zerowym włączone są odbiorniki, np. żarówki czy silniki. Ale oprócz tego, pomiędzy przewód fazowy, a przewód zerowy i ziemię, włączonych jest mnóstwo pasywniczych „odbiorników” pojemnościowych. Otóż pomiędzy wszelkimi przewodzącymi elementami (także ciałem człowieka), występują małe pojemności (często rzędu pojedynczych pikofaradów) – jakby małe kondensatorki, co w pewnym uproszczeniu ilustruje **rysunek 8a**. Zwykle są one niepożądane, stąd nazwa **pojemności pasywnicze**, inaczej **parazytowe**. I przez te pasywnicze pojemności płyną małe prądy zmienne – są to prądy ładowania i rozładowywania tych „kondensatorów”. Wartość tych prądów jest znikoma, nieodczuwalna, zwykle poniżej 0,000001 ampera. Ale jeśli te znikome prądy „po drodze” przepływają przez rezystancję o dużej wartości, wtedy wywołują na tej rezystancji spadki napięcia o wartości  $U = I \cdot R$  jak ilustruje to **rysunek 8b**. Po prostu tworzą się dzielniki napięcia, zawierające pojemności i rezystancje. Czym większa rezystancja, tym większy spadek napięcia. I właśnie dlatego, że te pojemności i prądy są małe, wywołują znaczące spadki napięć tylko na rezystancjach o dużej i bardzo dużej wartości. A jest to możliwe, ponieważ duże jest napięcie zasilające w sieci – 230 V.

Zapewne miałeś już do czynienia z tzw. **próbnikiem fazy** – wkrętakiem z wbudowaną neonówką (**fotografia 9**). Neonówka zaświeca się, gdy dotkniesz do przewodu fazowego – prąd płynie z przewodu fazowego przez neonówkę, wbudowany rezystor ograniczający i dalej przez pojemność między ciałem człowieka do ziemi.



W testowanym przez nas układzie terkot brzęczyka świadczy, że przyczyną jest sieć energetyczna. Teraz już możemy określić, jak płyną prądy zmienne (dwukierunkowe) w układzie z rysunku 3 i w układzie tytułowym.

Ilustruje to **rysunek 10a**. Jakaś bardzo mała pojemność  $C_A$  występuje między przewodem fazowym, gdzie występuje przemienne napięcie sieci 230 V 50 Hz, a małą „antenką”. Jakiś prąd tam płynie, ale jest tak mały, że nie powoduje reakcji układu. Spowodowałby reakcję, gdyby większe rozmiary



miała „antenka” i gdyby większa była jej pojemność  $C_A$  względem przewodu fazowego, o czym możesz się samodzielnie przekonać, dołączając do punktu X znacznie dłuższą i większą „antenkę”.

Ale w naszym układzie celowo „antenka” i jej pojemność jest mała. Wielokrotnie większa (choć też mała) pojemność  $C_B$  występuje między przewodem fazowym, a powierzchnią Twojego przewodzącego ciała. Jeżeli zbliżysz palec do „antenki”, to dodatkowo między Twoim palcem (ciałem) powstanie znacząca pojemność  $C_C$ . Prąd zmienny popłynie z przewodu fazowego najpierw przez pojemność  $C_B$  do Twojego ciała, potem przez pojemność  $C_C$  między palcem i „antenką” do punktu X, a następnie przez kondensator C1. Dodatkowo połówki tego przebiegu zmiennego popłyną przez złącze baza-emiter T1, a ujemnie przez diodę D1.

Prąd musi się zamknąć w pętli – musi popłynąć dalej do masy układu elektronicznego (punkt Z) i dalej do ziemi i przewodu zerowego – neutralnego sieci energetycznej.

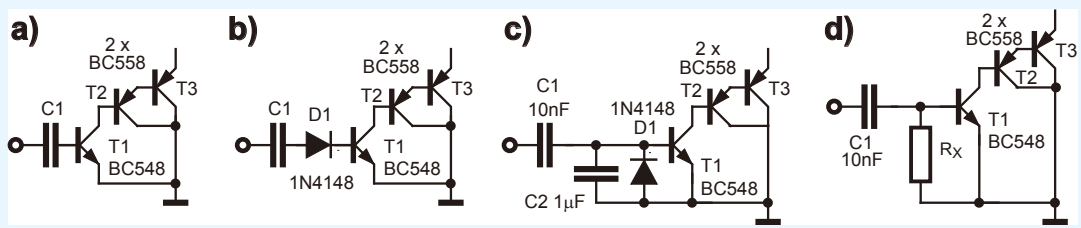
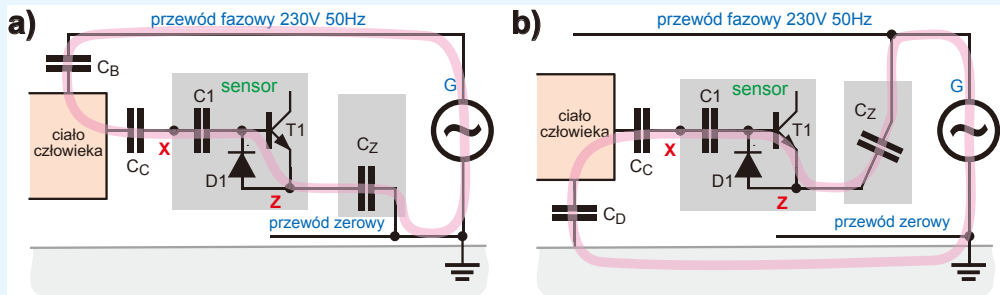
Jeżeli nasz układ zasilany jest z baterii, to prąd ten popłynie dalej przez pojemność między masą układu a ziemią, jak ilustruje to rysunek 10a. Ta pojemność (oznaczona  $C_G$ ) też jest mała, więc prąd ładowania i rozładowania takiego zestawu szeregowo połączonych pojemności jest znikomy, dlatego mieliśmy wrażenie, że przy zasilaniu bateryjnym słaba jest „czułość” sensora. Gdy masę naszego układu połączyliśmy z uziemieniem, czyli gdy punkt Z dołączyliśmy przewodem wprost do ziemi, wtedy zaobserwowaliśmy zdecydowany wzrost „czułości”. W rzeczywistości „czułość” naszego sensora jest niezmienna. Uziemiacząc masę naszego układu, ominęliśmy pojemność  $C_G$ , „skróciliśmy łańcuch pojemności”, przez co zwiększyliśmy płynące prądy.

Podobnie jest przy zasilaniu naszego sensora nie z baterii, tylko z zasilacza sieciowego. Wprawdzie dla bezpieczeństwa w każdym zasilaczu obwody dołączone do sieci 230 V są galwanicznie oddzielone od obwodów wyjściowych, jednak jak ilustruje to **rysunek 10b**, między nimi zawsze występuje pojemność  $C_Z$ , dużo większa od zaznaczonej na rysunku 10a pojemności  $C_G$ . Przepływ naszych małych „prądów czujnikowych” przez taką dużą pojemność  $C_Z$  nie napotyka przeszkód.

Zwróć uwagę, że niezależnie od konstrukcji zasilacza i innych czynników, na przykład „kierunku włożenia wtyczki zasilacza w gniazdko”, omawiane małe prądy mogą płynąć różnymi drogami. I tak na przykład prąd może popłynąć według **ryśunku 11a** od przewodu fazowego przez  $C_B$ , ciało człowieka,  $C_C$ , punkt X, C1, T1+D1, punkt Z i dalej przez  $C_Z$  do ziemi. Ale mały prąd zmienny może też popłynąć według **ryśunku 11b**: od przewodu fazowego przez pojemność  $C_Z$  do punktu Z (masy), przez T1+D1, C1,  $C_C$  do ciała człowieka, a dalej przez  $C_D$  do ziemi i przewodu zerowego. Co ciekawe, pojemność  $C_D$  zwykle jest większa od pojemności  $C_B$ , a w rezultacie przy zasilaniu z zasilacza sieciowego „czułość” może być większa, niż zasilaniu bateryjnym i uziemieniu według rysunku 10a.

Rysunki 10 i 11 są bardzo uproszczone. W rzeczywistości nie chodzi o pojedyncze pojemności, tylko o skomplikowaną i nieprzewidywalną sieć mnóstwa pojemności rozproszonych „wszystkiego ze wszystkim”, przez co tworzą się najrozmaitsze konfiguracje, dzielniki i drogi przepływu prądu. Właśnie dlatego zachowanie omawianych układów może się wydawać dziwne, a wręcz sprzeczne z logiką.

W ramach takich testów możesz sprawdzić działanie układu bez diody D1, modyfikując wejście



11

12





według **rysunku 12a – bez diody**. Teoretycznie nie powinien działać, bowiem kondensator nie ma się jak rozładować. Tak samo, a nawet tym bardziej, nie powinna działać wersja z **rysunku 12b – dioda w szereg z kondensatorem**, ponieważ kondensator ewidentnie nie ma się jak rozładować. Jednak u mnie takie wersje też działają dzięki pewnym niedoskonałościom tranzystorów, pojemności wewnętrznej diod, innym pasożytniczym pojemnościom i ogromnej czułości układu.

W układzie z rysunku 1a, aby zlikwidować wpływ takich zmierzających zakłóceń, włączyliśmy kondensator C1 między bazę T1 i masę. Podobnie będzie, gdy w układzie z rysunku 3 dodasz taki kondensator – wersja z **rysunku 12c** przestanie być czujnikiem pojemnościowym, ponieważ kondensator C2 o dużej pojemności niejako zwiera przebiegi zmienne do masy – te ważne zagadnienia omówimy w jednym z następnych wydań. Dla ciekawości usuń kondensator i według **rysunku 12d** między bazę i emiter T1 włącz rezystor  $R_x$ , zaczynając od 10 M $\Omega$ , potem 1 M $\Omega$  i 100 k $\Omega$ .

Czułość się obniży, ponieważ małe prądy nie wywołują na rezystancji  $R_x$  spadku napięcia rzędu 0,5 V, niezbędnego do otwarcia tranzystora.

Działanie mojego modelu z fotografii i fotografii 4 możesz obejrzeć na filmie, dostępnym w Elportalu pod adresem [www.elportal.pl/pke](http://www.elportal.pl/pke)

Jednak u Ciebie najprawdopodobniej będzie nieco inaczej. Działanie zależy m.in. od wielkości (powierzchni) „antenki”, od rozmieszczenia przewodów energetycznych w mieszkaniu i innych czynników.

Niemniej podstawowa idea jest prosta. Zapamiętaj, że **do każdego układu elektronicznego przez różne pasożytnicze pojemności przenikają zakłócenia**. Zagadnienie to jest bardzo obszerne i skomplikowane, ale też bardzo ważne w praktyce. Dlatego zachęcam do przeprowadzenia testów, nawet jeśli takie testy dały dziwne wyniki, na pozór niewytłumaczalne.

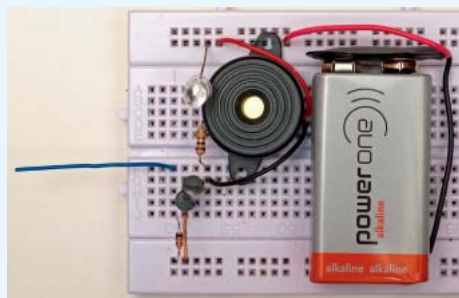
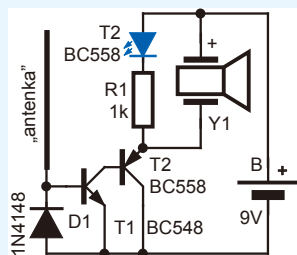
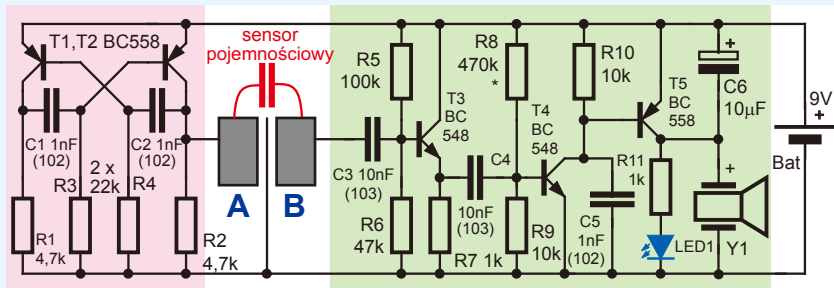
Wykład 6 poświęciliśmy ważnym i trudnym zagadnieniom przenikania zakłóceń przez pasożytnicze pojemności (przez pole elektryczne). Całkowicie pominęliśmy natomiast odrębny, także ważny temat przenikania zakłóceń przez indukcyjności wzajemne (przez pole magnetyczne).

Na koniec jeszcze trzy propozycje układów o bardziej użytecznym charakterze.

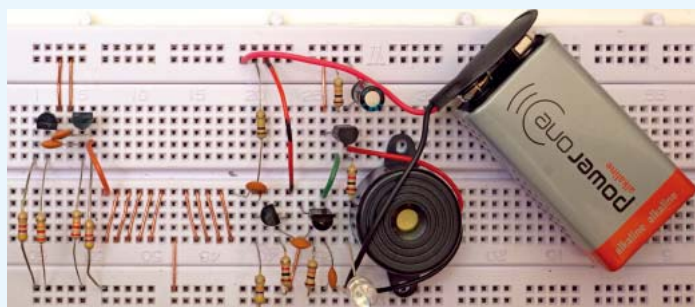
**Praktyczny szukacz kabli** to nieco uproszczona odmiana sensora zbliżeniowego. Uproszczona, bo zawierająca tylko dwa tranzystory według **rysunku 13**. Wypróbuj „antenki” różnej wielkości i kształtu. Mój model na płytce stykowej pokazany jest na **fotografii 14**. Proponuję, żebyś wykonał taki szukacz w bardziej zwartej postaci i żebyś wykorzystał go do eksperymentów i poszukiwania przebiegu kabli w ścianach. Zadanie może być o tyle trudne, że niektóre materiały budowlane zawierają nieco wilgoci i już to powoduje, iż nie są izolatorami, a raczej bardzo kiepskimi przewodnikami, co „rozmywa sytuację” i utrudnia pomiary.

**Praktyczny czujnik pojemnościowy**. W układzie według **rysunku 15** mamy wyróżniony różową podkładką generator, który wytwarza przebieg o częstotliwości dużo większej, niż częstotliwość sieci (około 30000 Hz). Zieloną podkładką wyróżniony jest układ czujnika. Oba te układy połączone są sensorem pojemnościowym. **Fotografia 16** pokazuje cały model. Tranzystor T3 ma nóżki wygięte według wstępnego rysunku B.

Na filmie, dostępnym w Elportalu ([www.elportal.pl/pke](http://www.elportal.pl/pke)), można zobaczyć działanie mojego modelu z rezystorem  $R_8 = 470$  k $\Omega$ , zarówno przy



16



zasilaniu z zasilacza wtyczkowego, jak i z baterii.

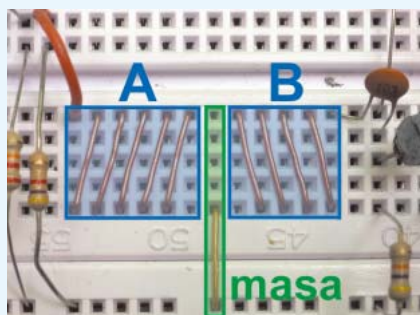
Między punktami A, B występuje jakaś mała pojemność  $C_x$ . Gdy zbliżymy (bez dotykania) palec do obu pól czujnika, pojemność  $C_x$  zwiększy się. Zasada działania jest mniej więcej taka, że gwałtowna zmiana napięcia w punkcie A powoduje ładowanie pojemności



$C_x$  (i dużo większej  $C_3$ ). Ładowanie powoduje przepływ przez chwilę prądu. Wielkość takiego impulsu zależy od pojemności  $C_x$ . W stanie spoczynku impulsy prądowe są na tyle małe, że nie powodują otwarcia tranzystorów T4, T5. Zbliżenie palca do sensora zwiększa pojemność  $C_x$  i w takt sygnału generatora otwierane są tranzystory T4, T5, co uruchamia brzęczyk Y1 i zaświeca diodę LED1. **Rysunek 17** pokazuje przebieg z generatora w punkcie A oraz wielokrotnie mniejsze i krótsze impulsy w punkcie B w spoczynku i po zbliżeniu palca do sensora.

17

Omawiane impulsy prądowe są małe i bardzo krótkie. Najkrócej mówiąc, aby je przedłużyć, dodane są kondensatory C5 i C6. Natomiast tranzystor T3 pełni rolę tzw. wtórnika – bufora.



Wszystkie omawiane układy po pierwsze realizujemy na płycie stykowej, po drugie wykorzystujemy tylko elementy z zestawu EdW09. Oba te czynniki bardzo ograniczają.

Projektując praktyczny czujnik pojemnościowy, zwiększylibyśmy częstotliwość i zastosowalibyśmy innej konstrukcji sensor. To uprościłoby układ. W związku z ograniczeniami, a zwłaszcza problemem pasożytniczych pojemności między polami i listwami stykowymi, nie sposób na płycie wykonać sensora o dobrych parametrach. Właśnie z uwagi na pasożytnicze pojemności płytki, elektrody A, B sensora zostały zrealizowane nietypowo z szeregu zwór, łączących pola stykowe, a jedna listwa stykowa pomiędzy nimi musi

18

być dołączona do masy, jak pokazuje **fotografia 18**. Wprawdzie to połączenie do masy zmniejsza pojemność  $C_x$ , ale za to procentowe zmiany tej pojemności przy zbliżeniu palca są większe.

Pojemność  $C_x$  sensora w spoczynku jest na tyle mała, że impulsy w punkcie B, a także na bazie i emiterze wtórnika T3 są mniejsze niż 0,6 V. Impulsy te podawane są na bazę tranzystora T4, ale w spoczynku są za małe, żeby otworzyć T4. Po zbliżeniu palca do sensora impulsy te stają się większe niż 0,6 V i otwierają T4, co otwiera też T5. Tak jest przy zasilaniu bateryjnym. Jak widać na dostępnym w Elportalu filmie, układ zasilany z baterii działa nawet bez rezystora R8. Natomiast przy zasilaniu z sieci energetycznej za pomocą zasilacza wtyczkowego, w grę wchodzi dodatkowa pojemność i czułość układu obniża się. Wtedy przy zbliżaniu palca do sensora impulsy w punkcie B są za małe, by otworzyć T4. Aby zwiększyć czułość, można wstępnie podwyższyć napięcie stałe na bazie T4 o 0,1 V...0,4 V, co spowoduje, że mniejsze impulsy będą otwierać T4. W praktyce należy tak dobrać R8 o jak najmniejszej wartości, by w spoczynku brzęczyk i LED1 nie pracowały (można łączyć rezystory równolegle i szeregowo). W moim modelu taką minimalną wartością R8 okazało się 230 kΩ (220 kΩ+10 kΩ), ale przy wartości R8=220 kΩ odzywał się brzęczyk. Dla bezpieczeństwa w modelu zastosowałem R8=470 kΩ. W Twoim modelu może to wyglądać nieco inaczej.

Zachęcam do wykonania opisanych ćwiczeń! Nawet gdybyś wszystkiego nie rozumiał lub nie uzyskał takich wyników jak ja, zdobyta wiedza przyda Ci się w przyszłości. ■

Piotr Górecki