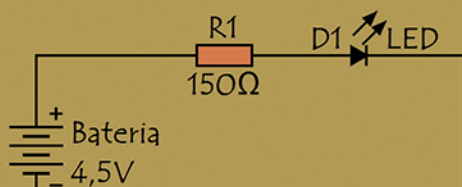


Paweł Borkowski

PRZYGODA Z ELEKTRONIKĄ




Helion

Wszelkie prawa zastrzeżone. Nieautoryzowane rozpowszechnianie całości lub fragmentu niniejszej publikacji w jakiegokolwiek postaci jest zabronione. Wykonywanie kopii metodą kserograficzną, fotograficzną, a także kopiowanie książki na nośniku filmowym, magnetycznym lub innym powoduje naruszenie praw autorskich niniejszej publikacji.

Wszystkie znaki występujące w tekście są zastrzeżonymi znakami firmowymi bądź towarowymi ich właścicieli.

Autor oraz wydawca dołożyli wszelkich starań, by zawarte w tej książce informacje były kompletne i rzetelne. Nie biorą jednak żadnej odpowiedzialności ani za ich wykorzystanie, ani za związane z tym ewentualne naruszenie praw patentowych lub autorskich. Autor oraz wydawca nie ponoszą również żadnej odpowiedzialności za ewentualne szkody wynikłe z wykorzystania informacji zawartych w książce.

Redaktor prowadzący: Michał Mrowiec

Projekt okładki: Magdalena Stasik

Ilustracje w książce i na okładce: Agnieszka Borkowska

Helion S.A.

ul. Kościuszki 1c, 44-100 Gliwice

tel. 32 231 22 19, 32 230 98 63

e-mail: helion@helion.pl

WWW: <http://helion.pl> (księgarnia internetowa, katalog książek)

Drogi Czytelniku!

Jeżeli chcesz ocenić tę książkę, zajrzyj pod adres

<http://helion.pl/user/opinie?prelev>

Możesz tam wpisać swoje uwagi, spostrzeżenia, recenzję.

ISBN: 978-83-283-8568-9

Copyright © Helion S.A. 2013, 2021

Printed in Poland.

- [Kup książkę](#)
- [Poleć książkę](#)
- [Oceń książkę](#)

- [Księgarnia internetowa](#)
- [Lubię to! » Nasza społeczność](#)

Spis treści

Wstęp	7
-------------	---

Wprowadzenie do elektroniki analogowej

1. Przygotowujemy się do wspaniałej wyprawy	13
1.1. Spis rzeczy niezbędnych	15
1.2. Montujemy przewody pomiarowe	19
1.3. Bliskie spotkanie trzeciego stopnia z miernikiem uniwersalnym	23
1.4. Płytki stykowa	33
1.5. Współczesne hieroglify, czyli schematy obwodów elektrycznych	38
Odpocznijmy	44
2. Przygoda z rezystancją i diodą LED	45
2.1. Zabawa przed nauką	47
2.2. Pierwszy obwód	60
2.3. Rezystory	71
2.4. Układy składające się z wielu diod LED	88
2.5. Co dalej z tym rezystorem?	108
Odpocznijmy	142
3. Przygoda w świecie półprzewodników	143
3.1. Diody	145
3.2. Tranzystory	181
Odpocznijmy	211
4. Kontynuujemy przygodę w świecie półprzewodników, następnie spotykamy pojemność i indukcję	213
4.1. Półprzewodnikowe dziwadła	215
4.2. Kondensatory	256
4.3. Indukcja	285
Odpocznijmy	303

Wprowadzenie do elektroniki cyfrowej i programowania mikrokontrolerów

5. Cyfrowe klocki	307
5.1. Klocki o nazwach XOR i NOT	309
5.2. Więcej o tajemniczych powiązaniach logiki z bramkami logicznymi	329
5.3. Kodowanie binarne	337
5.4. Dlaczego tęsknie spoglądamy w stronę mikrokontrolerów?	355
Odpocznijmy	364
6. Wprowadzenie do programowania mikrokontrolerów	365
6.1. Budujemy programatory	367
6.2. Pierwsze programy z diodami LED	407
6.3. Obsługa przycisku	444
6.4. Budujemy i programujemy robota jeżdżącego	452
6.5. Pierwszy krok w kierunku robota kroczącego	460
Odpocznijmy	472
A. Miernik uniwersalny V12 DT830B	473
B. Symbole elementów elektronicznych	479
C. Rozwiązanie zadania z rozdziału 4.	491
D. Spis wykorzystywanych elementów elektronicznych	493
Skorowidz	497





2.1. Zabawa przed nauką

Co nam będzie potrzebne?

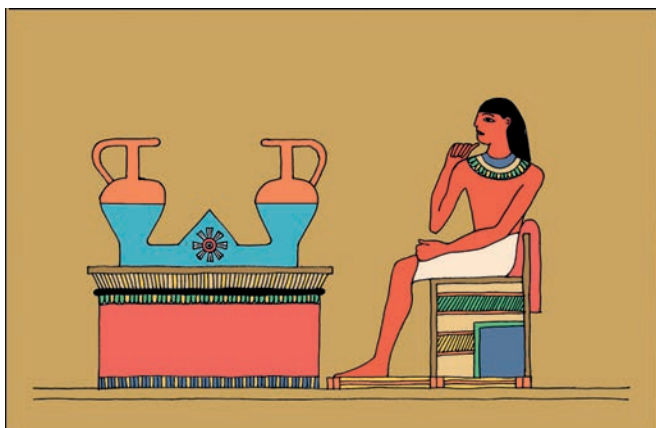
Zanim udasz się na daleką i ekscytującą wyprawę, musisz się dowiedzieć, co to właściwie jest prąd. Pomoże Ci w tym niniejszy podrozdział i dwa eksperymenty — jeden myślowy, a drugi prawdziwie laboratoryjny. Potrzebne nam będą multimetr, przewody pomiarowe, drut miedziany bez izolacji lub płytka miedziana, puszka (np. aluminiowa) i karton soku pomarańczowego (rysunek 2.1).



Rysunek 2.1. Zestaw do budowy i pomiaru ogniwa galwanicznego

Opowieść o starożytnym Egipcjaninie

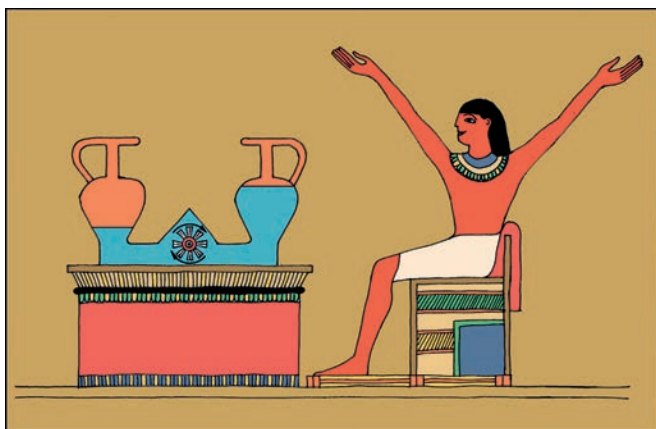
Żył kiedyś Egipcjanin o imieniu Ptholemenops. Jako namiętny miłośnik gorącego kakao skonstruował robota kuchennego do mielenia ziaren kakaowca. Robot miał być napędzany przez drewniane łopatki, które — w zamierzeniu Ptholemenopsa — powinny się obracać pod wpływem siły wody. Egipcjanin zrobił wszystko jak należy: skonstruował robota z obracającymi się łopatkami, napełnił wodą dwie wielkie amfory i czekał. Czekał długo, jedną klepsydrę, dwie klepsydry, trzy klepsydry, czekał cały sandał i nic — łopatki robota się nie poruszyły. Ptholemenops popadł w depresję (rysunek 2.2).



Rysunek 2.2. Egipcjanin o imieniu Ptholemenops i jego nie działający robot

Na dokładkę przypomniał sobie taki widok: płynące wody Nilu i wpadająca do tych wód koza jego brata. Koza wytrwale obracała odnóżami, aż w końcu przepłynęła na drugi brzeg rzeki i uciekła na wolność. Badacz uświadomił sobie, że musi w końcu powiedzieć bratu prawdę i odwołać poprzednią wersję o zamianie kozy w skarbeusza. W efekcie popadł w depresję po raz drugi.

Pogrążonego w myślach uczonego zastała jego służąca, która delikatnie kopnąwszy swego pana, kazała mu posprzątać cały ten bałagan. Pochwaliła go jednakże za to, że przygotował dla niej wodę do mycia podłogi. Zanurzyła więc chochlę w pierwszej amforze i jednym ruchem opróżniła od razu pół zbiornika. Po chwili tę samą wodę wylała do drugiej amfory, twierdząc, że nadto czuć ją zepsutym winem i że nie nadaje się do mycia podłóg. Ale oto stała się rzecz niezwykła — łopatki robota nagle zaczęły się obracać. Ptholemenops promieniał szczęściem (rysunek 2.3).

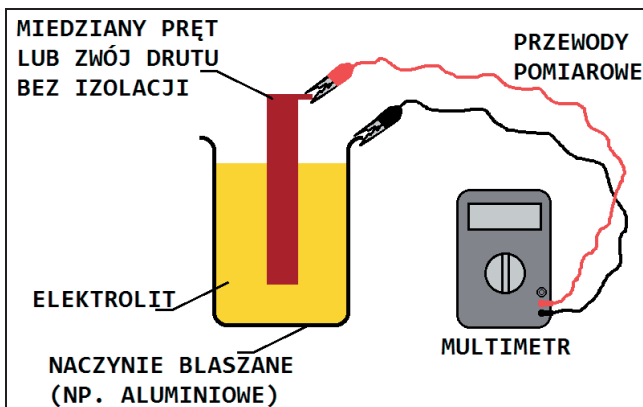


Rysunek 2.3. Szczęśliwy Ptholemenops i jego działający robot

Okazało się, że aby łopatkę robota mogły się obracać, woda musi płynąć. A woda płynie jedynie wtedy, gdy w jednym naczyniu jest mało wody, a w drugim wprost przeciwnie. Odtąd Ptholemenops zaczął eksperymentować. Wlewał do amfory to mało wody, to dużo, to znów zatykał rurę pakułami, tworzył sieć rur i rurek, w końcu sformułował słynne prawo Ptholemenopsa, że jedna amfora wody jest więcej warta niż dwa krokodyle (niektórzy to prawo formułują inaczej — powiedzmy sobie szczerze, że błędnie — a mianowicie: ciało zanurzone w Nilu traci na wadze w sposób wprost proporcjonalny do liczby znajdujących się w okolicy głodnych krokodyli).

Eksperyment współczesny

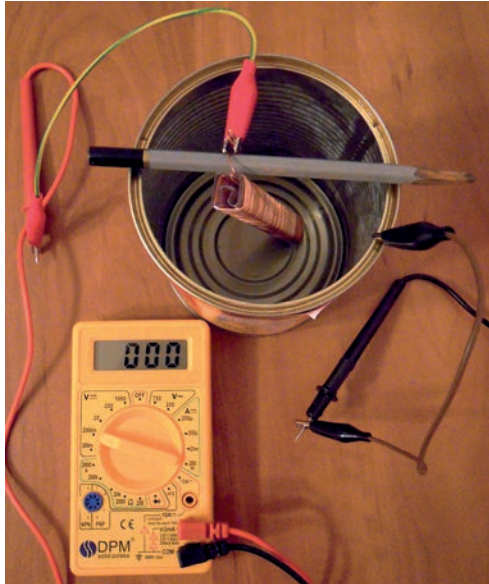
Woda płynąca w rurze bardzo często stanowi pomoc dydaktyczną wspomagającą zrozumienie praw rządzących przepływem prądu. Do tego typu analogii będziemy się często odwoływać. Ale na razie przeprowadzimy doświadczenie, które pozwoli nam lepiej przyjrzeć się owej analogii. Skonstruujemy ogniwo galwaniczne, czyli proste źródło prądu, i podłączymy do niego multimetr. Schemat układu prezentuje rysunek 2.4.



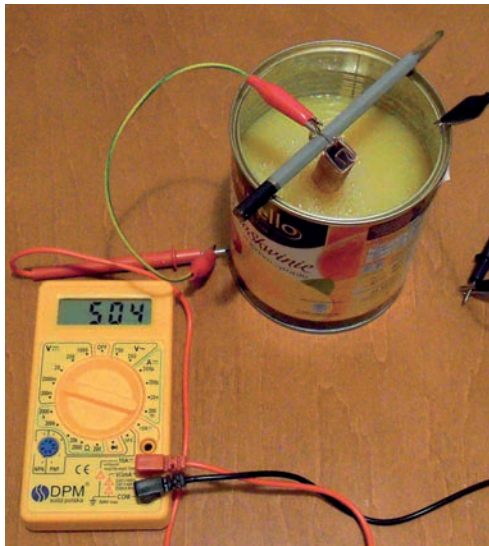
Rysunek 2.4. Schemat układu z ogniwem galwanicznym podłączonym do multimetru

Przedstawione na rysunku 2.4 naczynie metalowe to przygotowana przez nas wcześniejszej puszka. Wkładamy do niej miedziany rdzeń, ale tak, by rdzeń się z nią nie stykał. Już teraz możemy podłączyć miernik uniwersalny, w którym przełącznik zakresów ustawiamy na pozycji pomiaru napięcia stałego do 2000 mV. Multimetr powinien wskazywać 0 (rysunek 2.5).

Teraz do naczynia (puszki) wlewamy elektrolit. W naszym przypadku elektrolitem jest sok pomarańczowy, ale warto eksperymentować z przeróżnymi cieczami. Okazuje się, że gdy wlewamy już niewielką ilość soku, multimetr zaczyna rejestrować napięcie, które w moim przypadku ustabilizowało się na poziomie około 500 mV (rysunek 2.6).



Rysunek 2.5. Układ przygotowany do rozpoczęcia eksperymentu

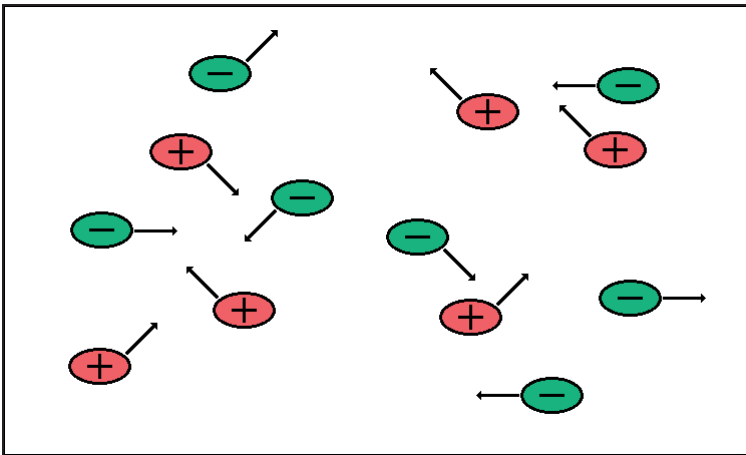


Rysunek 2.6. Miernik pokazuje napięcie wynoszące 0,5 V!

Skoro zarejestrowaliśmy napięcie, to znaczy, że w naszym obwodzie popłynął prąd. Czas na chwilę refleksji.

Chwila refleksji nad prądem

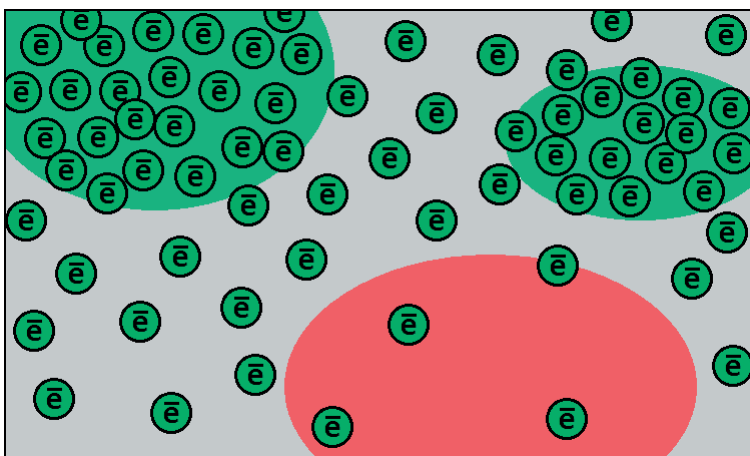
O tym, że źródła napięcia elektrycznego znajdują się wokół nas, dowiedziałeś się już po przestudiowaniu rozdziału pierwszego, szczególnie po eksperymentach z miernikiem uniwersalnym oraz jabłkiem i herbatą. Zastanówmy się: skoro jesteśmy właściwie otoczeni ładunkami elektrycznymi, to dlaczego żarówka nie świeci, wieszając po prostu w powietrzu? Dlaczego dioda LED wetknięta w jabłko nie mruga? Na te pytania odpowiedział nam Ptholemenops. Jak rozumował Ptholemenops? Wiedział, że aby łopatkki przytwierdzone do obrotowego rdzenia mogły się poruszać, potrzebna jest siła wody. Nappełnił więc dwie amfory połączone rurą, wlewając do każdej taką samą ilość wody, ale — jak pamiętamy — nic się nie stało. Do zasilania robota potrzebny był bowiem przepływ wody, który należało wymusić, różnicując poziom wody w naczyniach. Podobne zjawisko ma miejsce w obwodach elektrycznych. Ładunki elektryczne będące w substancjach (ciałach stałych, cieczech, gazach) poruszają się chaotycznie (rysunek 2.7).



Rysunek 2.7. Ładunki elektryczne w ciałach poruszają się chaotycznie

Co to są właściwie te ładunki elektryczne? Przyjmijmy dla ułatwienia, że interesują nas zjawiska zachodzące wyłącznie w metalach. Gdybyśmy mogli zrobić bardzo duże powiększenie obiektów z rysunku 2.7 i zobaczyć ich mikroskopijne szczegóły, okazałoby się, że widać tam poruszające się w metalu elektrony. Na dodatek poruszają się one chaotycznie. Tam, gdzie chwilowo zgromadzi się ich więcej, powstaje ładunek elektryczny ujemny, a w miejscach niedoboru elektronów mamy ładunek elektryczny dodatni (rysunek 2.8).

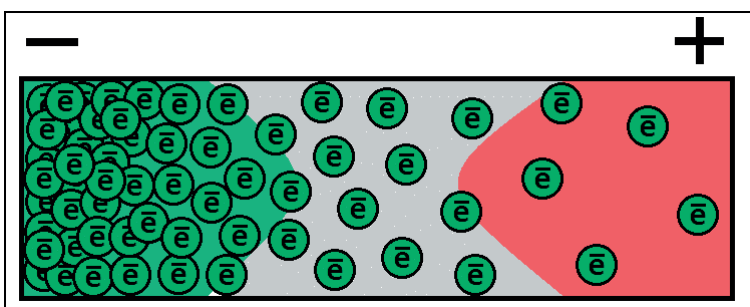
Na rysunku 2.8 widzimy dwa obszary szczególnie dużego zagęszczenia elektronów. Tam został zgromadzony ładunek ujemny. Obszar pozbawiony elektronów jest naładowany dodatnio, a pozostała część ciała jest elektrycznie obojętna. Dlaczego tak jest? Przypomnijmy sobie ze szkoły, że atom jest zbudowany z trzech cząsteczek:



Rysunek 2.8. Powstawanie ładunków elektrycznych jest spowodowane ruchem elektronów swobodnych

elektronu (odpowiedzialnego za ładunek ujemny atomu), protonu (odpowiedzialnego za ładunek dodatni) i neutronu (elektrycznie obojętnego). W miejscach niedoboru elektronów ładunek dodatni jest sumą ładunków protonów, które choć same się nie poruszają, to jak najbardziej wpływają na stan elektryczny ciała.

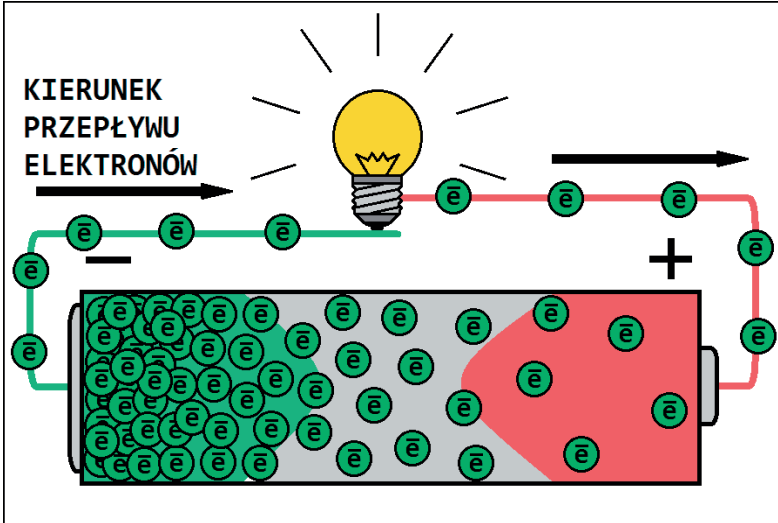
A teraz wyobraźmy sobie, że posiadamy zdolność „przesuwania” elektronów. W ten sposób z jednej strony pewnego ciała udało nam się zgromadzić dużą ilość elektronów kosztem drugiej strony, gdzie powstał ich znaczny niedobór. Stronę z nadmiarem elektronów oznaczymy minusem ($-$), a stronę z ich niedoborem — plusem ($+$). Jeśli siła, która spowodowała przesunięcie elektronów w ciele, wciąż będzie w nim aktywna, otrzymamy ogniwo baterii (rysunek 2.9).



Rysunek 2.9. Schemat ogniwa baterii

A jakąż to siłą jest zdolna do takiego przesunięcia elektronów? Tą siłą są na przykład reakcje chemiczne (w tym przypadku nazywane elektrochemicznymi), które są stosowane w produkcji ogniw baterii. Dopóki owe reakcje uniemożliwiają przywrócenie stanu równowagi elektrycznej ogniwa, jedyną drogą, którą mogą podążać

elektrony, jest podłączony do ogniwa zewnętrzny obwód wykonany z przewodzącego materiału. Płynący nim strumień elektronów może przy okazji wykonać pracę, z której to ewentualności chętnie korzystamy, podłączając do baterii odbiorniki prądu (rysunek 2.10).



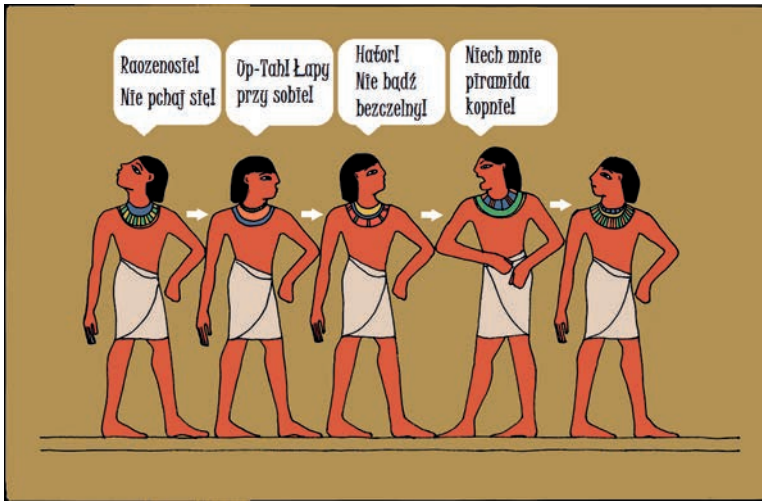
Rysunek 2.10. Aby przywrócić stan równowagi elektrycznej w ogniwie baterii, elektrony poruszają się drogą podłączonego przewodnika

Być może zastanawia Cię, z jaką prędkością poruszają się elektrony? Jest to prędkość niewielka, rzędu ułamków milimetra na sekundę¹. Jednakże rozpatrując prąd jako falę elektromagnetyczną, mamy do czynienia z szybkością zbliżoną do prędkości światła. Jak to jest możliwe? Na to pytanie odpowie nam historia z życia starożytnych Egipcjan i rysunek 2.11.

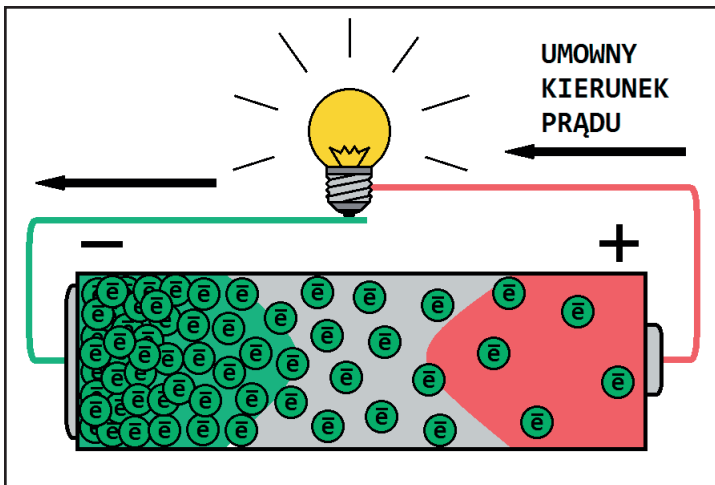
Na rysunku 2.11 widzimy Egipcjanina (pierwszy z lewej), który jako pierwszy szturchnął sąsiada w prawą rękę. Zaraz po tym kompan znajdujący się obok niego dał kuksańca w prawą rękę swojemu sąsiadowi. Ten szturchnął następnego... I w ten sposób fala kuksańców rozchodzi się bardzo szybko, mimo że Egipcjanie się nie przemieszczają. Podobnie elektrony przekazują sobie energię, która rozchodzi się bardzo szybko, choć same elektrony poruszają się dość niemrawo.

W elektronice można rozpatrywać prąd płynący z końcówki oznaczonej minusem do końcówki oznaczonej plusem lub odwrotnie. Przyjęło się oznaczać kierunek przepływu prądu jako kierunek poruszania się fikcyjnych ładunków dodatnich, tak jak na rysunku 2.12.

¹ Mówimy, że jest to prędkość nośna elektronów. Na przykład dla miedzi wynosi ona 0,000075 cm/s.



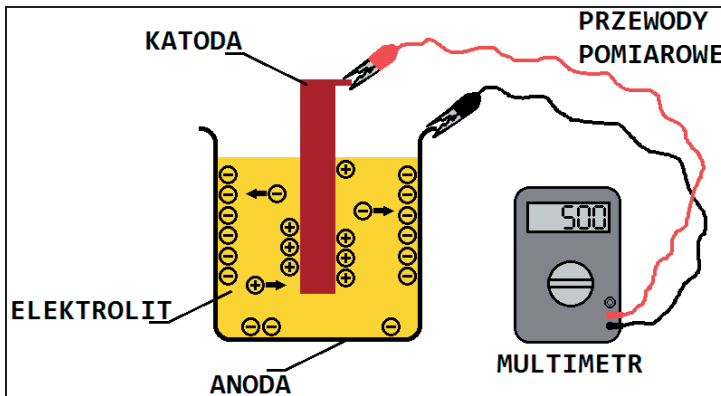
Rysunek 2.11. Choć Egipcjanie prawie wcale się nie poruszają, fala kusańców rozchodzi się z dużą prędkością



Rysunek 2.12. Przyjęło się, że prąd w obwodach elektrycznych płynie od bieguna „plus” do bieguna „minus”

Powrót do współczesnego eksperymentu

Jak w świetle poznanych informacji wygląda nasz eksperyment z marnowaniem soku pomarańczowego? Otóż ten nieszczęsny sok w puszcze stał się elektrolitem, czyli substancją, która zapoczątkowała pewną reakcję chemiczną. Jaka, o tym zaraz sobie opowiemy. Przed owym opowiadaniem, pasjonującym zresztą, spójrzmy na rysunek 2.13.

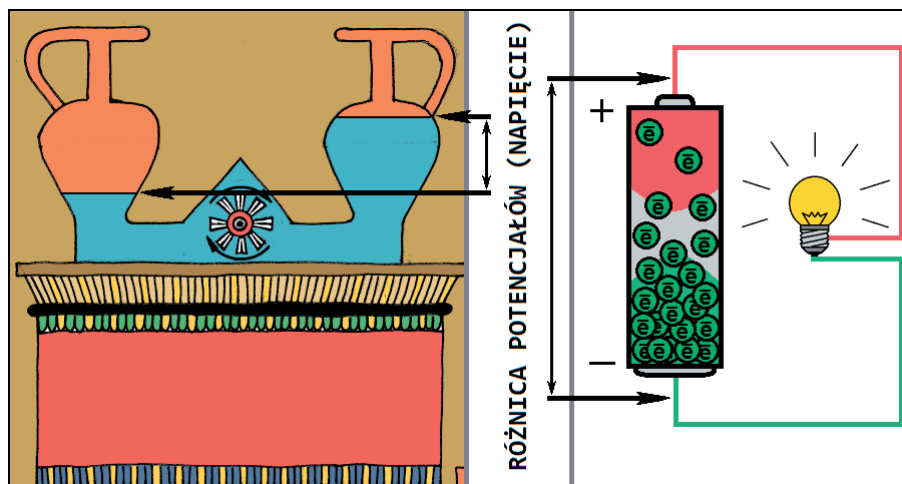


Rysunek 2.13. Schemat reakcji elektrochemicznej zachodzącej w układzie z ogniwem galwanicznym

Wcześniejsze rozważania o naturze prądu ograniczyliśmy do zjawisk zachodzących w metalach. Uczyniliśmy tak w celu uproszczenia wykładu, gdyż przepływ prądu w metalach (znajdujących się w stanie stałym lub ciekłym) polega jedynie na ruchu elektronów. Nieco inaczej jest w przypadku cieczy i gazów. Nie wdając się zbyt w szczegóły, powiedzmy, że tam nośnikami ładunku elektrycznego są, prócz elektronów, jony. Co to są jony? Nazywamy tak szczególne atomy i cząsteczki. Są ich dwa rodzaje. Atomy lub cząsteczki, które mają nadmiar elektronów (czyli są naładowane ujemnie), nazywamy anionami, natomiast atomy lub cząsteczki, które mają niedobór elektronów (czyli są naładowane dodatnio), nazywamy kationami. To elektrolit zapoczątkowuje reakcje chemiczne, w wyniku których powstają aniony i kationy. Jak widać na rysunku 2.13, ładunki ujemne podążają w kierunku puszkę, a dodatnie koncentrują się w bezpośredniej bliskości miedzianego rdzenia. Powtórzmy ostatnie spostrzeżenie: „ładunki ujemne podążają w kierunku puszkę”. To nie brzmi dumnie. Aby zaimponować koleżankom i kolegom, puszkę możemy od tej pory nazywać anodą, co oznacza miejsce w ogniwie elektrochemicznym, gdzie zachodzi utlenianie (tu gromadzą się ładunki ujemne), z kolei miedziany rdzeń będziemy nazywać katodą (fachowo mówimy, że tam zachodzi redukcja). Dzięki temu na pytanie kolegi: „Co robiłeś wczoraj wieczorem?”, możemy odpowiedzieć: „Mierzyłem różnicę potencjałów między anodą a katodą samodzielnie skonstruowanego ogniwa galwanicznego”, co brzmi znacznie lepiej niż: „Wlewałem sok pomarańczowy do puszkę”.

Co to jest napięcie elektryczne?

W każdym razie zapoczątkowana przez elektrolit reakcja chemiczna wywołała podział ładunków elektrycznych w ogniwie. Osiągnęliśmy w nim stan nierównowagi: na anodzie odnotowujemy nadmiar elektronów, tymczasem na katodzie mamy ich znaczny niedobór. Taki stan nierównowagi elektrycznej nazywamy *różnicą potencjałów* lub *napięciem elektrycznym* (rysunek 2.14).



Rysunek 2.14. Napięcie jako różnica stanu wody w amforach Ptholemeopsa (z lewej) i napięcie jako różnica potencjałów dwóch punktów obwodu elektrycznego (z prawej)

Napięcie elektryczne oznaczamy literą U , a jego wartość podajemy w woltach (symbol V). To właśnie napięcie elektryczne jest odpowiedzialne za to, że w obwodzie zaczyna płynąć prąd. Można sobie wyobrazić, że jest to pewnego rodzaju ciśnienie, które wymusza przepływ elektronów z bieguna o niższym potencjale (nadmiar elektronów) do bieguna o potencjale wyższym (niedobór elektronów) — dokładnie tak samo jak różnica poziomów wody w amforach wymusza przepływ wody z naczynia z większą ilością wody do tego z jej mniejszą ilością¹.

W obwodzie z rysunku 2.13 reakcje elektrochemiczne zachodzące w ogniwie galwanicznym sprawiają, że anoda ma dużo, a katoda mało elektronów. Jednakże elektrony, płynąc przez podłączony multimetr, wracają do katody i napięcie elektryczne stabilizuje się na pewnym poziomie (w naszym przypadku było to 500 mV). Aby podobna sytuacja miała miejsce w układzie z amforami, ktoś musiałby wciąż przelatywać wodę z amfory z mniejszą ilością wody do amfory zawierającej większą jej ilość. Tego zadania podjął się starożytny ptak egipski Czaplach (rysunek 2.15).

Stan równowagi opisany zarówno dla ogniwa galwanicznego, jak i dla układu z amforami nie trwa w nieskończoność. Ptak Czaplach w końcu się zmęczy lub zgłodnieje i odleci. Poziom wody w obu naczyniach zrówna się, przepływ cieczy ustanie i łopatki robota przestaną się obracać. W przypadku ogniwa galwanicznego zużywają się części ogniwa i elektrolit. Wytwarzane przez ogniwo napięcie elektryczne

¹ Ten sposób wyjaśnienia zjawiska elektryczności jest na początku naszej drogi bardzo dobry. Później dowiesz się, że napięcie wiąże się ściśle z natężeniem prądu i że możemy mówić, iż nie tylko przepływ prądu jest wymuszony przez różnicę potencjałów (napięcie), ale również że różnica potencjałów powstaje w wyniku przepływu prądu.



Rysunek 2.15. Czaplach, przelewając wodę, sprawia, że różnica między jej poziomami

w amforach jest wciąż jednakowa znacznie spadać po pewnym czasie. Spotykamy się z tym zjawiskiem zawsze, gdy musimy wymienić zużytą baterię na nową. Mniejsze napięcie elektryczne oznacza mniejszy prąd. Za chwilę wyjaśnię tę zależność.

Co to jest natężenie prądu?

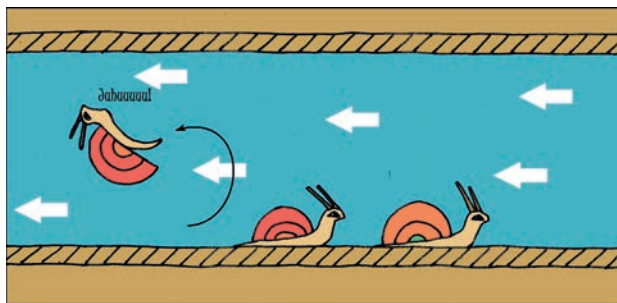
Jak pamiętamy, Egipcjanin Ptholemenops zbudował układ dwóch amfor połączonych rurą. Woda przepływająca rurą napędzała łopatki robota mielącego ziarna kakaowca. Wiemy już, że aby woda płynęła, w jednej z amfor musi być więcej wody niż w drugiej. Ptholemenops, jako szczególnie dociekliwy Egipcjanin, zaczął eksperymentować z przepływem wody. Zauważył, że jeśli przez rurę przepływa większa ilość wody, łopatki robota kręcą się szybciej. To wydało mu się ciekawe. Ptholemenops zanotował:

Sila strumienia wody (natężenie wody) jest równa ilości wody przepływającej w jednostce czasu przez dowolny przekrój rury.

Pojęcie strumienia wody Ptholemenops oznaczył krótko — literą I. Powtórzmy to jeszcze raz. Symbol I oznacza siłę strumienia wody albo inaczej ilość wody przepływającą w jednostce czasu przez dowolny przekrój rury bądź jeszcze inaczej — coś, co nazywamy prądem wodnym lub natężeniem prądu wody.

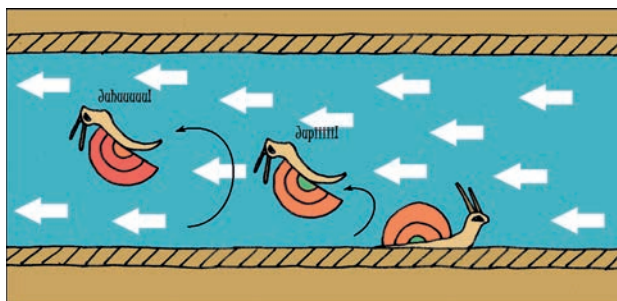
Skoro już udało się Ptholemenopsowi oznaczyć prąd wodny I, należało wymyślić sposób jego mierzenia. Żeby zbadać, ile wody przepływa przez rurę, Ptholemenops wymyślił ciekawy eksperyment. Otóż okazuje się, że był on nie tylko dociekliwym uczonym, ale i zagorzałym akwarystą. Hodował ślimaki ampularie. Wpuścił więc je do rury z przepływającą wodą. Im strumień wody był silniejszy, tym większa

liczba ampularii, nie wytrzymując jego naporu, była odrywana od powierzchni rury i unoszona wraz z wodą (rysunek 2.16).



Rysunek 2.16. Strumień wody porwał jedną ampularię

Ptholemenops ustanowił więc jednostkę miary przepływu wody (natężenia wody). Nazwał ją ampularią i oznaczył literą A. Strumień wody o sile wystarczającej do tego, by oderwać od rury jedną ampularię, Ptholemenops oznaczał jako 1 A. Jeśli strumień był silniejszy i porywał ze sobą aż dwie ampularie, oznaczany był jako 2 A (rysunek 2.17).



Rysunek 2.17. Strumień wody porywa dwie ampularie, a więc ma natężenie 2 A

Notatka Ptholemenopsa:

Silę prądu wodnego I mierzymy w ampulariach A.

Heroizm poczynań Ptholemenopsa najlepiej odda inna notatka pochodząca z jego pamiętników:

Dwie klepsydry od piątego wschodu słońca trzydziestego wylewu Nilu za panowania Amenhotepa III

Dziś udało mi się wygenerować prąd I równy 20 A (dwudziestu ampulariom)! Pękła rura i cała galeria jest zalana wodą. Po ścianach chodzą ślimaki. Służąca wściekła. Powiedziała, że nie będzie sprzątać. Mimo trudności nie przerywam eksperymentów.

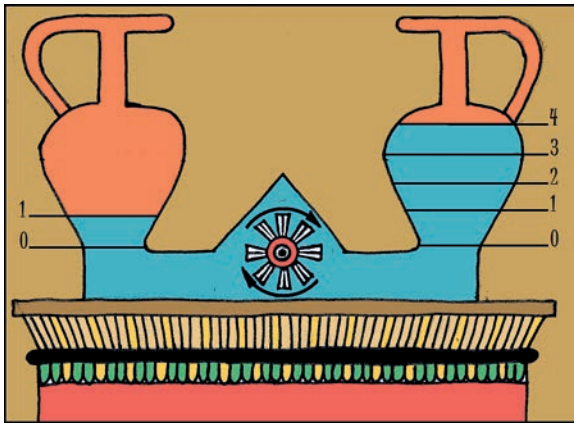
Pozostawmy na chwilę Ptholemenopsa z jego kłopotami. Wróćmy do naszych eksperymentów z prądem. Otóż wiedz, że ilość prądu płynącego przez przewodnik także możemy mierzyć, i to zupełnie tak samo, jak Ptholemenops mierzył prąd wodny. *Natężenie prądu*, nazywane też krócej *prądem*, oznaczamy literą I . Definiujemy je następująco:

Natężenie prądu I jest równe ilości ładunku elektrycznego przepływającego w jednostce czasu przez dowolny przekrój przewodnika.

Prąd mierzymy w amperach (skrót A). Jeden amper to dość duży prąd. W naszych obwodach będziemy się spotykać z prądem liczonym w miliamperach, czyli w tysięcznych częściach ampera. Odnotujmy: im więcej elektronów przepływa w danym czasie przez przewodnik, tym większy mamy prąd.

Jak się ma V do A ?

Właściwie tytuł powinien brzmieć *Jak się ma U do I* ², ale wtedy nie byłoby rymu. Wróćmy jeszcze do eksperymentów Ptholemenopsa, aby przyjrzeć się zależności między napięciem elektrycznym a prądem. Ptholemenops zawsze wlewał do amfor równe miarki wody, dzięki czemu łatwo mu było obliczyć różnicę potencjałów (poziomów wody) w amforach. Oznaczmy tę różnicę tak samo jak w obwodach elektrycznych — literą U . Na rysunku 2.18 widzimy U równe 3.

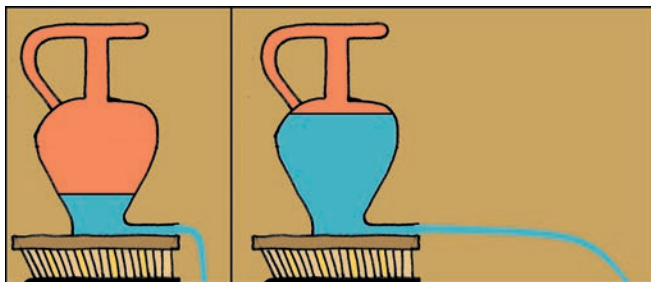


Rysunek 2.18. Różnica poziomów wody w amforach wynosi $U = 4 - 1 = 3$

Co otrzymał Ptholemenops? Dla U równego 2 otrzymał w rurze przepływ wody o sile 1 A. Dla U równego 4 siła wody wyniosła 2 A. Dla U równego 5 siła wody wyniosła 2,5 A (jedna ampularia trzymała się rury na koniuszku swojej stopy, więc Ptholemenops zinterpretował to w ten sposób, że oderwała się w połowie). Ptholemenops zauważył, że im większa jest różnica poziomów w naczyniach, tym silniejszy strumień wody płynie przez rurę. Uczony zanotował:

I zależy od U .

Czyli siła prądu wody zależy od ciśnienia wody wytwarzanego przez różnicę potencjałów. Jest to stwierdzenie dość intuicyjne. Sceptykom proponuję następujący eksperyment. Zróbmy dziurkę blisko dna plastikowego kubka i nalejmy niewiele wody. Woda będzie wypływać przez otwór, ale bardzo powoli. Właściwie będzie ledwo ciec. A teraz nalejmy wody prawie po sam brzeg kubka. Oczywiście tym razem woda będzie tryskała wartkim strumieniem (rysunek 2.19).



Rysunek 2.19. Przy niskim stanie wody w amforze (z lewej) woda ledwie ciec, natomiast wysoki jej stan w amforze (z prawej) wywołuje duży strumień

Rozumiemy więc to — co tak zadziwiło Ptholemeosa — że siła wody w rurze dla U równego 3 była większa niż dla U równego 1 lub 2.

Nie muszę chyba dodawać, że analogicznie zachowuje się prąd w obwodzie elektrycznym. Napięcie elektryczne jest odpowiednikiem ciśnienia wody. Duże napięcie jest w stanie generować duży prąd. Ale nie zawsze generuje. Dlaczego? Spróbuj znaleźć odpowiedź na to pytanie, wracając do analogii z wodą. Powiedzmy, że masz kilka plastikowych kubków i w każdym robisz otwór (zawsze w tej samej odległości od dna kubka) igłą o innej średnicy. Wlewamy do kubków tę samą ilość wody. Czy woda będzie z nich wypływać otworami tak samo? A może z któregoś wypłynie szybciej? Z którego? Jeszcze do tych pytań wrócimy.



2.2. Pierwszy obwód

Co nam będzie potrzebne?

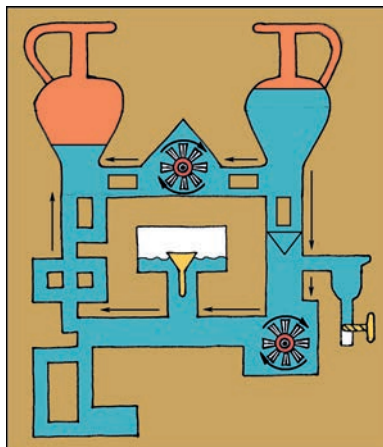
Wreszcie skonstruujemy pierwszy obwód elektryczny z prawdziwego zdarzenia. Co prawda już we wcześniejszych eksperymentach płynął prąd, a nawet mierzyliśmy związane z owym przepływem podstawowe wielkości, jednakże teraz jesteś zupełnie świadomy tego, co konstruujesz. Dodatkowo posiadasz podstawowy bagaż pojęciowy. A propos — rysunek 2.20 pokazuje, co jeszcze powinno się znaleźć w Twoim bagażu.



Rysunek 2.20. Części potrzebne do zbudowania pierwszego obwodu elektrycznego

Co to jest obwód elektryczny?

To dobre pytanie. Otóż skoro wiemy, że prąd to nic innego jak ruch elektronów, warto nauczyć się używać go tak, by wykonywał dla nas określoną pracę. Aby obwód elektryczny miał sens, musi w nim istnieć źródło prądu (bateria, akumulator, zasilacz itp.). Do źródła prądu podłączamy przeróżne komponenty tak, by osiągnąć zamierzony cel. Co i jak podłączyć, by ten cel osiągnąć — o tym właśnie mówi wielka i prężnie rozwijająca się dziedzina wiedzy, jaką jest elektronika. Podobnie hydraulika jest dziedziną wiedzy, która podaje zasady łączenia rur z odbiornikami wody, tak by płynący strumień wykonał określoną pracę (rysunek 2.21).



Rysunek 2.21. Obwód hydrauliczny Ptholemenopsa

Reasumując, obwodem elektrycznym nazywamy zbiór odpowiednio połączonych ze sobą komponentów elektrycznych.

Konstruujemy pierwszy obwód

Z góry uprzedzam, że będzie to wadliwy obwód. Jak może do tego dojść? Niestety, dojdzie. Ale zanim to nastąpi, przyjrzymy się nowym komponentom. Na pewno spotkałeś się już z diodą LED (czyli diodą świecącą). Widziałeś ją już w rozdziale pierwszym. Więcej o diodach powiemy sobie kilka podrozdziałów dalej, na razie wystarczy wiedzieć, że dioda LED to taka szczególna dioda... która, no właśnie, po prostu świeci! Z bliska prezentuje się jak na rysunku 2.22.



Rysunek 2.22. Dioda LED z bliska

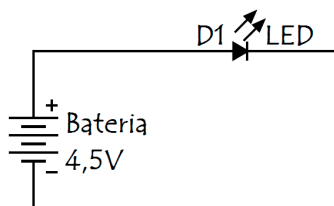
Dioda LED ma dwie nóżki (o ile jest nowa). Dłuższą nóżkę nazywamy anodą, krótszą katodą (rysunek 2.23).



Rysunek 2.23. Oznaczenie nóżek diody LED rzeczywistego komponentu (z lewej) i symbolu stosowanego w schematach (z prawej)

Dziś diody świecące pełnią w obwodach elektrycznych taką samą funkcję, jaką kiedyś pełniły żarówki. Pierwsze podobieństwo między diodami LED a żarówkami zatem już znasz — obydwie części elektroniczne świecą. Tu podobieństwa się kończą. Żarówkę można dołączyć do obwodu, łącząc jej gwint z plusem, a stopkę z minusem baterii; można też podłączyć wszystko odwrotnie (stopka do plusa, gwint do minusa) — żarówka będzie świeciła. W przypadku diody LED kierunek podłączenia odgrywa fundamentalną rolę. Zawsze podłączamy dłuższą nóżkę (anodę) do plusa baterii, krótszą nóżkę (katodę) do minusa. Jeśli postąpimy odwrotnie, dioda LED nie będzie świecić.

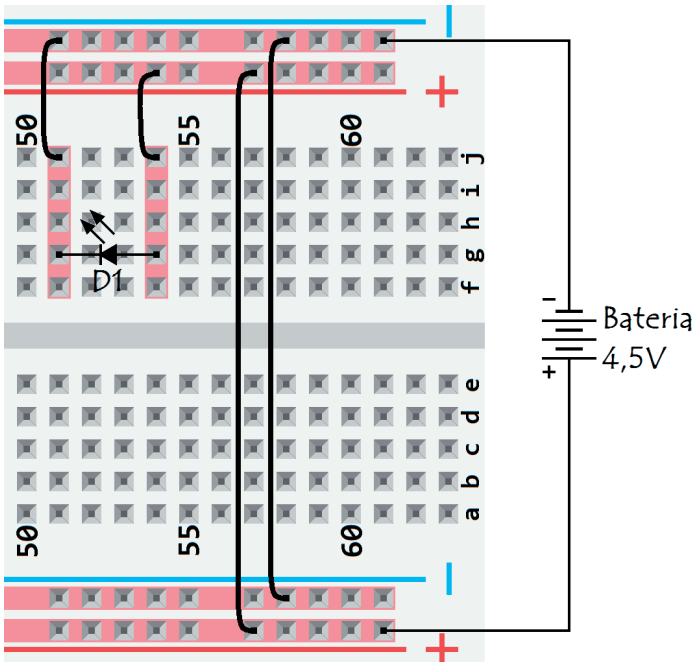
Schemat naszego pierwszego obwodu przedstawia rysunek 2.24.



Rysunek 2.24. Schemat pierwszego obwodu składającego się z baterii i diody LED

Należy wyraźnie zaznaczyć, że podłączenie diody LED bezpośrednio do baterii 4,5 V jest niedobrym pomysłem. Dioda może ulec zniszczeniu (popularnie mówimy, że może się spalić). Tutaj robimy tak jedynie w celach dydaktycznych. Starajmy się podłączać zasilanie do diody na czas jak najkrótszy, by jedynie sprawdzić, że dioda rzeczywiście świeci.

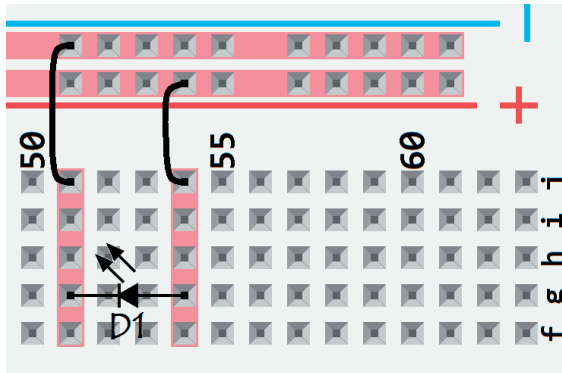
Schemat z rysunku 2.24 może być zrealizowany na płytce stykowej na wiele różnych sposobów. Na przykład tak, jak pokazuje rysunek 2.25.



Rysunek 2.25. Wykonanie obwodu z rysunku 2.24 na płytce stykowej

Zauważmy, że na rysunku 2.25 umieszczony został symbol baterii. W ten sposób nasz schemat osiągnął szczyt dokładności. Prawdę mówiąc, nie trzeba być aż tak drobiazgowym. Umówmy się, że na liniach oznaczonych „+” i „-” zawsze będzie zasilanie o odpowiednim napięciu (w naszym przypadku 4,5 V), pochodzące z dowolnego źródła (z baterii, z nosa węgorza elektrycznego itp.). Dzięki temu założeniu schematy znacznie nam się uproszczą. Spójrzmy na rysunek 2.26, który przedstawia taki sam układ połączeń jak na rysunku 2.25, lecz został przygotowany według nowych standardów.

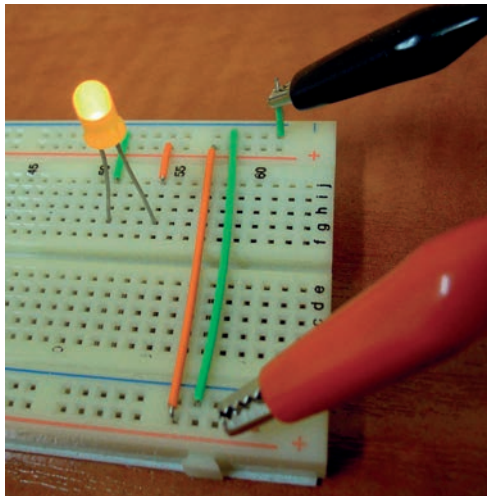
Czy pamiętasz rozkład połączeń pół płytki stykowej z podrozdziału 1.4? Wiesz, że pola płytki są ze sobą połączone w charakterystyczny sposób. Na przykład na rysunku 2.26 anoda diody D1 została wetknięta w pole 54g. Lecz równie dobrze mogłaby się znaleźć w pozostałych czterech polach rzędu 54., ponieważ wszystkie



Rysunek 2.26. Obwód z rysunku 2.24 na płytce stykowej w wersji uproszczonej, w której zakładamy, że linie oznaczone „+” i „-” są podłączone do źródła zasilania o odpowiednim napięciu

te pola są ze sobą połączone (jeden rząd tworzą pola 54f, 54g, 54h, 54i, 54j). Aby podkreślić ten fakt, na schematach płytki stykowej rząd z użytym polem będzie w całości zaznaczany, jak widać na rysunku 2.26.

Jak wygląda rzeczywisty układ na płytce stykowej, pokazuje rysunek 2.27.



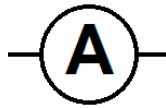
Rysunek 2.27. Tak wygląda rzeczywisty układ na płytce stykowej

Pamiętaj, aby podłączyć zasilanie tylko na chwilę. Dotknij diodę. Czy jest gorąca? Zapewne tak, o ile się nie spaliła. Nie ma wątpliwości, że natężenie prądu płynącego prosto z baterii jest zbyt duże dla diody LED. Czy prąd może być za duży? O tak. Tego typu zjawisko najczęściej spotykamy w domowej sieci elektrycznej, gdy uruchamiamy naraz zbyt dużo odbiorników prądu (jednocześnie pieczemy ciasto w piekarniku elektrycznym, gotujemy herbatę w elektrycznym czajniku, robimy

pranie, prasujemy i oglądamy ulubiony serial w telewizji). Nie ma możliwości, by domowa sieć elektryczna wytrzymała takie obciążenie — w tym momencie przepalają się bezpieczniki lub tylko wyłączają (co zależy od ich typu). Pamiętamy, co się stało, gdy Ptholemenops wywołał w swoim obwodzie przepływ wody o sile 20 A... Rura pękła. Wszystkie te przykłady wskazują, że istnieje zjawisko, które nazwalibyśmy przepływem zbyt dużego prądu — zbyt dużego dla odbiornika, oczywiście, gdyż prąd z baterii, zbyt duży dla diody LED, w ogóle nie zostanie „dostrzeżony” przez standardową pralkę.

Mierzimy płynący prąd i wyciągamy wnioski

Optymalna wartość prądu, jaka powinna zasilić diodę LED, zależy od jej koloru. Na ogół wystarczy przyjąć, że prąd nie powinien przekroczyć 20 mA. A jakie natężenie prądu pojawiło się w naszym obwodzie? Sprawdźmy. Przed rozpoczęciem pomiaru zapoznaj się z symbolem amperomierza, czyli miernika dokonującego pomiaru prądu (rysunek 2.28).



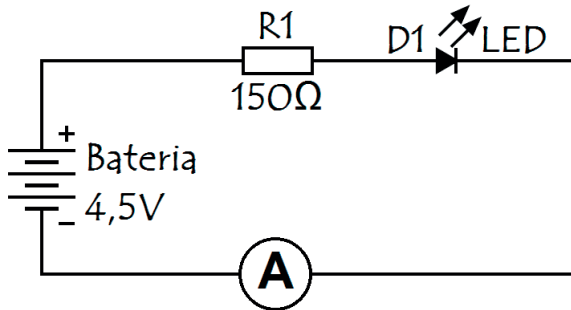
Rysunek 2.28. Symbol amperomierza

Multimetr staje się amperomierzem, gdy przestawimy przełącznik funkcji i zakresów na pozycję pomiaru prądu. Przystawmy go więc na pomiar prądu stałego do 200 mA (rysunek 2.29).



Rysunek 2.29. Pomiar prądu stałego w zakresie do 200 mA

Jak podłączyć amperomierz do obwodu? Teoria mówi, że amperomierz do obwodu podłączamy zawsze szeregowo, a woltomierz zawsze równolegle. Warto to zapamiętać, gdyż w elektronice, jak w mało której dziedzinie wiedzy, teoria pozostaje w doskonałej harmonii z praktyką. Popatrzmy na rysunek 2.30 z przykładowym obwodem i podłączonym amperomierzem.



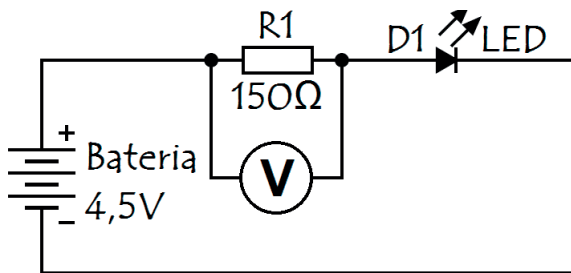
Rysunek 2.30. Amperomierz podłączamy do obwodu szeregowo

Czy masz jeszcze wątpliwości dotyczące tego, co nazywamy woltomierzem? Załóżę się, że nie. Woltomierzem nazywamy oczywiście miernik napięcia. Jego symbol przedstawia rysunek 2.31.



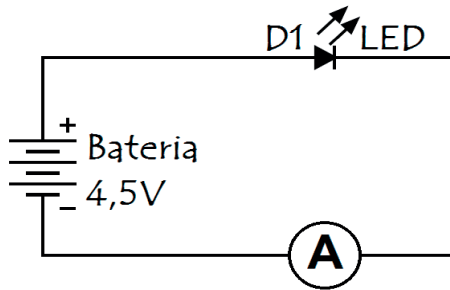
Rysunek 2.31. Symbol woltomierza

Sposób podłączania woltomierza do obwodu przedstawia rysunek 2.32.



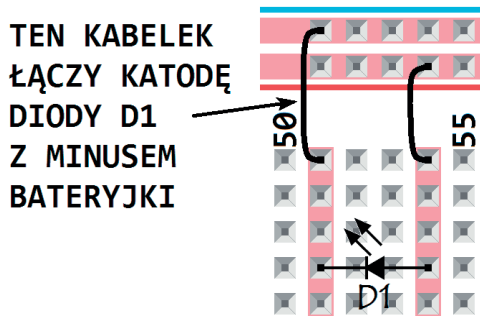
Rysunek 2.32. Woltomierz podłączamy do obwodu równolegle

Schematy na rysunkach 2.30 oraz 2.32 miały charakter przykładów. Schemat obwodu, z którym na razie się zapoznajesz, jest prostszy. Obwód ten z podłączonym amperomierzem jest przedstawiony na rysunku 2.33.



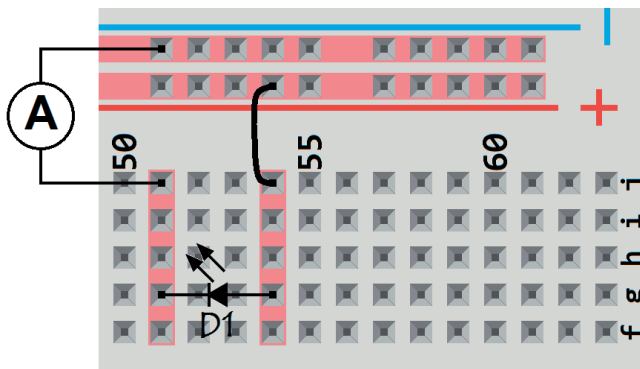
Rysunek 2.33. Obwód składający się z baterii, diody LED i amperomierza

No dobrze, wszystko to bardzo mądre, ale w końcu jak mamy podłączyć multimetr do obwodu? To bardzo proste. Mamy umieścić amperomierz między katodą diody D1 a minusem baterii. Na płytce stykowej katodę diody D1 z minusem baterii łączy jeden kabelek (rysunek 2.34).



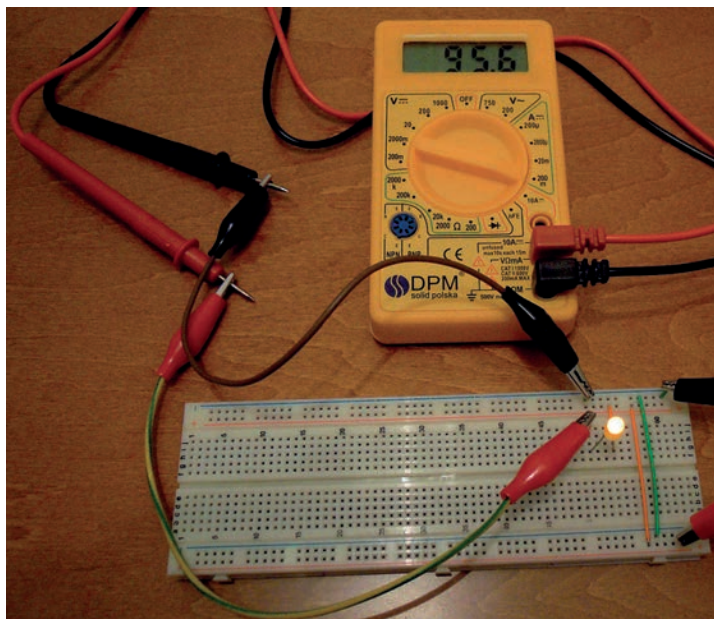
Rysunek 2.34. Krótka historyjka obrazkowa pewnego kabelka

W miejscu wskazanego kabelka należy umieścić multimetr. Czerwona sonda powinna łączyć się z katodą diody D1, a czarna z linią „minus” zasilania (rysunek 2.35).



Rysunek 2.35. Schemat podłączenia amperomierza na płytce stykowej

Przydadzą się wyprostowane łączówki, które wtykamy w pola podłączenia multimetru. Sondę multimetru z łączkami spinamy przewodami mierniczymi (rysunek 2.36).

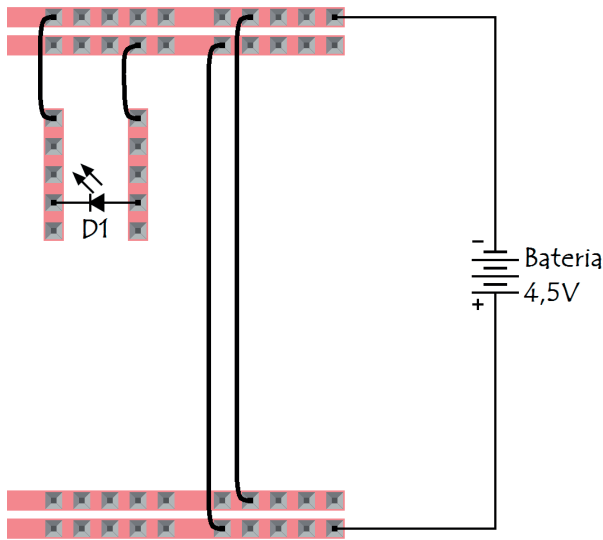


Rysunek 2.36. Multimetr w roli amperomierza

Świecąca się dioda świadczy o tym, że w obwodzie płynie prąd. Jaki — to wskazuje multimetr. W moim eksperymencie na wyświetlaczu pokazała się liczba 95,6 mA. To ponad czterokrotnie więcej, niż powinno być! Nic dziwnego, że dioda LED się grzeje. Przy prawidłowo podłączonym zasilaniu (nie więcej niż 20 mA) dioda LED może świecić kilka lat. Zasilając ją prądem 95,6 mA, skracamy jej trwałość do kilku minut, a nawet sekund. Naszym zadaniem dotyczącym następnego obwodu będzie zmniejszenie prądu płynącego przez diodę D1.

Którędy właściwie płynie ten prąd?

Zanim zajmiemy się konstruowaniem drugiego obwodu, spróbujmy odpowiedzieć na powyższe pytanie. Chodzi tu o płytkę stykową — którądy płynie w niej prąd? Być może pytanie to wyda Ci się banalne. Muszę Cię jednak zapewnić, że często sprawia ono trudności początkującym elektronikom. Podanie poprawnej odpowiedzi wymaga wcześniejszego zrozumienia mechanizmów rządzących ruchem elektronów, a także wymaga czegoś, co nazwalibyśmy intuicją elektroniczną. Punktem odniesienia będzie dla nas schemat z rysunku 2.25. Na chwilę do niego wrócimy. Spróbujmy w myślach odjąć ze schematu płytki wszystkie te pola, które nie są połączone ani ze źródłem zasilania, ani z polami z diodą LED. Otrzymamy schemat podobny do tego z rysunku 2.37.



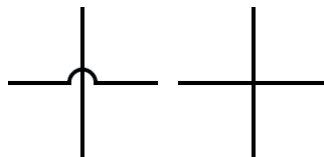
Rysunek 2.37. Schemat zbudowany z aktywnych pól płytki stykowej

Schemat będzie wyglądał profesjonalnie, jeśli rysunek aktywnych pól zastąpimy symbolem przewodnika. Stosuje się tu pewną konwencję — jeśli przewodniki są ze sobą połączone w punkcie przecięcia, zaznacza się to zgrubieniem symbolizującym połączenie lutownicze (rysunek 2.38).



Rysunek 2.38. Symbol trzech połączonych ze sobą przewodników

Rysując schematy obwodów elektrycznych, staramy się rysować przewodniki tak, by nie krzyżowały się ze sobą. Czasem jednak choćbyśmy wylazili ze skóry, wili się i jęczeli, nie da się narysować dwóch przewodników inaczej, jak tylko krzyżując je ze sobą. To skrzyżowanie też ma odpowiedni symbol, wskazujący, że przewodniki nie są ze sobą połączone (rysunek 2.39).

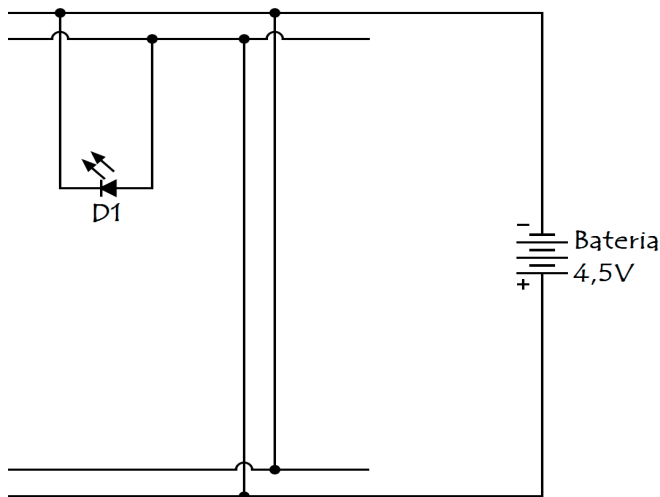


Rysunek 2.39. Dwa symbole przewodników, które choć krzyżują się na schemacie, nie są ze sobą połączone

Dziś stosuje się właściwie tylko symbol znajdujący się z prawej strony rysunku 2.39, a szkoda, bo jego odpowiednik z półkołem wydaje się bardziej obrazowy.

Proponuję, abyśmy zastosowali go w niniejszym podrozdziale, a potem — zgodnie z obowiązującymi standardami — zapomnimy o nim i będziemy wykorzystywać w schematach symbol dwóch przecinających się linii.

Uzbrojeni w nowe symbole zamieńmy nieprofesjonalny rysunek 2.37 na rysunek 2.40, także nieprofesjonalny, ale składający się wyłącznie z symboli używanych na schematach.

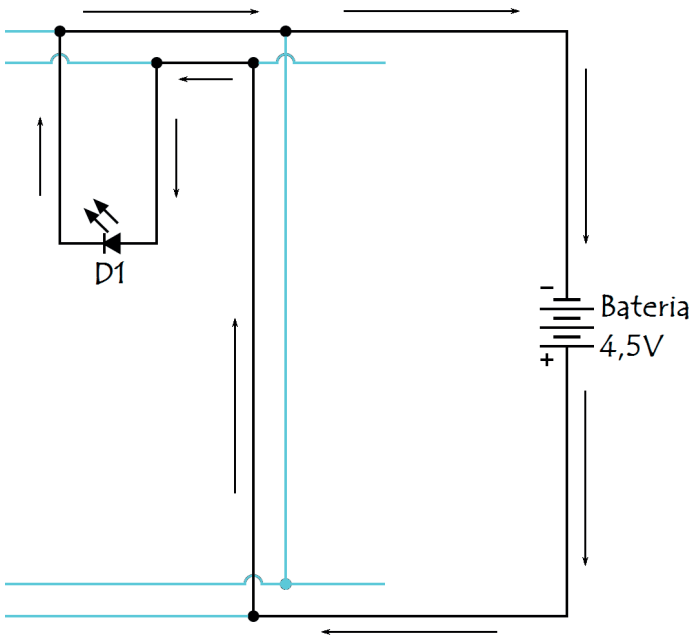


Rysunek 2.40. Którędy płynie prąd?

Żeby znaleźć drogę, po której porusza się strumień elektronów, należy znów odwołać się do analogii z hydrauliką. Wyobraźmy sobie zatkaną rurę. Okropna wizja, ale trudno, rura musi być zatkana. Teraz oczyma wyobraźni popatrzymy na znajdującą się w niej mętną wodę. Czy ona się porusza? Co za niemądre pytanie. Oczywiście, że się porusza! Pływa w niej stado małych robaczków. Oj, błąd dydaktyczny. Powinienem zapytać, czy ta woda płynie. To już lepiej. Otóż nie płynie. Nie może płynąć, skoro rura jest zatkana. Dokładnie tak samo jest z przewodnikami w obwodach elektrycznych, które nie są podłączone do żadnego odbiornika (o takich przewodach mówimy, że wiszą w powietrzu). Elektrony w nich „nie płyną”.

Jak pamiętasz, przyjęło się oznaczać kierunek przepływu prądu odwrotnie do kierunku, jakim podąża strumień elektronów. Zmodyfikujemy schemat z rysunku 2.40, zaznaczając wyblakłym kolorem te fragmenty przewodników, w których prąd nie płynie, a także oznaczając strzałkami kierunek prądu (rysunek 2.41).

Teraz wystarczy mały wysiłek umysłowy, by przekształcić w myśli ten obwód i otrzymać obwód z rysunku 2.24. Tak oto prześledziliśmy proces, który od rzeczywistego układu doprowadził nas do jego schematu ideowego.



Rysunek 2.41. A więc to tędy płynie prąd!



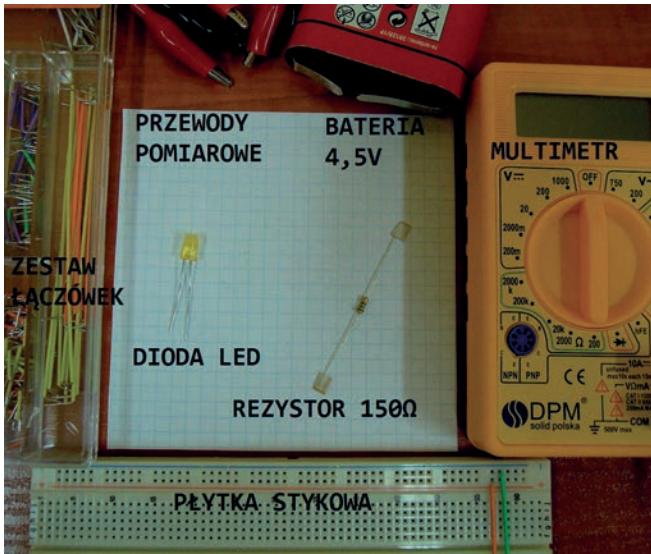
2.3. Rezystory

Co nam będzie potrzebne?

Pierwszy obwód był niedoskonały. Aby go udoskonalić, potrzebne nam będą: płytka stykowa, zestaw łączówek, bateria 4,5 V, przewody pomiarowe, multimetr i szypce, którymi często będziemy się posługiwać — te elementy wyposażenia od tej pory będziemy zaliczać do standardowej części bagażu podróżnika-elektronika. Trzon naszego obwodu będą stanowić dioda LED (może być zielona, czerwona lub żółta) i rezystor 150 Ω (rysunek 2.42).

Dlaczego pierwszy obwód był niedoskonały?

Aby odpowiedzieć na to pytanie, wróćmy do eksperymentu Ptholemeosa. Ten niestrudzony uczonej znów postanowił zemleć nieco ziaren kakaowca. Przypomnijmy, jak wygląda układ amfor z robotem mielącym ziarna (rysunek 2.43).



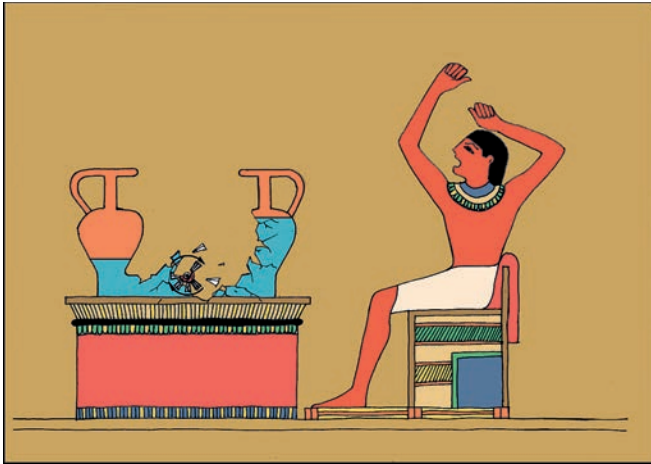
Rysunek 2.42. Zestaw elementów potrzebnych do zbudowania drugiego obwodu



Rysunek 2.43. Ptholemenops ze swoim robotem

Tym razem niezadowolenie Ptholemenopsa wynika z tego, że łopata robota kręca się zbyt wolno (a może Ptholemenops chce się napić kakao zbyt szybko). Dość, że uczony postanowił zwiększyć siłę strumienia wody, która obracała łopatkami robota. Znał już tę zasadę, że im większa różnica poziomów wody w naczyniach (napięcie), tym większy jest otrzymywany przepływ wody między amforami (prąd wody). Cóż więc łatwiejszego niż zastosowanie większych naczyń i wlanie do nich większej ilości wody? Ptholemenops podłączył do robota największe amfory, jakie miał, nalał do pierwszej jak najwięcej wody, upewnił się, że przewód łączący

naczynia nie pęknie, i uruchomił układ. Przez chwilę wydawało się, że robot pobił wszystkie znane rekordy w prędkości mielenia ziaren kakaowca. Było pięknie bardzo krótko, gdyż łopatkę robota się połamały (rysunek 2.44).



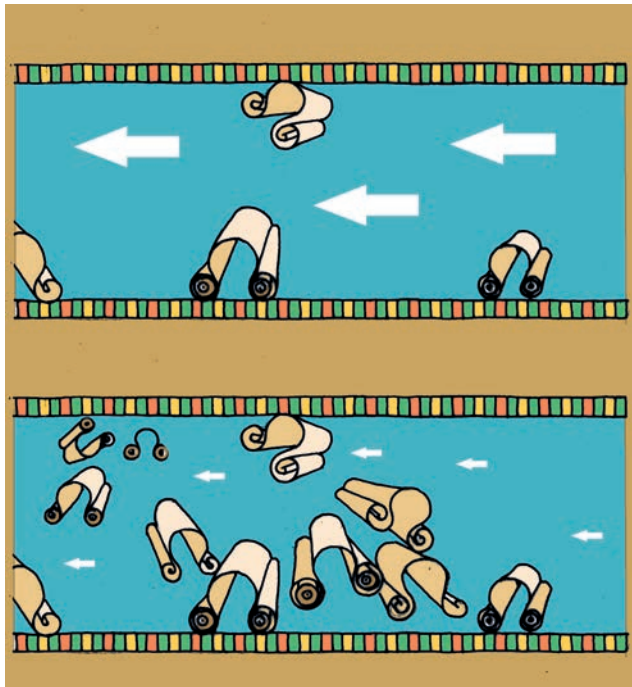
Rysunek 2.44. Ptholemenops odkrywa, że przesadził z prądem wody

Tego należało się spodziewać — zbyt duży prąd skutkuje zniszczeniem odbiornika. Skąd się wziął tak duży prąd? Z dużej różnicy potencjałów, oczywiście. Ujmując to w terminologii hydraulicznej, można powiedzieć, że silny strumień wody jest skutkiem dużej różnicy poziomów wody w zbiornikach. „Duża różnica poziomów wody nie jest zła — myślał Ptholemenops. — Im więcej wody w zbiorniku, tym rzadziej trzeba go napełniać. Tylko co zrobić, by woda nie płynęła tak silnym strumieniem?”.

Czy to ten podrozdział, w którym będzie trochę matematyki?

Owszem, będzie trochę matematyki. Ale bardzo mało, na dodatek na elementarnym poziomie. Zdradźmy w tym miejscu, że Ptholemenops namiętnie kolekcjonował wszystkie dekrety faraona Amenhotepa III, które z racji nietrafionych decyzji popularnie zwano „omyłkami”. Ptholemenops zaczął napełniać nimi rurę. Jak można było się spodziewać, im więcej omyłek napchał do rury, tym większe tworzyło się w rurze zwężenie. A im większe było zwężenie w rurze, tym mniejszy płynął w niej strumień wody (rysunek 2.45).

Mozemy powiedzieć, że omyłki stawiały opór napierającej wodzie, w konsekwencji zmniejszając jej przepływ. Sięgnijmy do pamiętników Ptholemenopsa, przy czym zauważmy, że dla skrócenia pisowni zamiast „omyłka” Ptholemenops często pisał „om”.



Rysunek 2.45. W rurze z mniejszą liczbą dekretów (omów) opór stawiany wodzie jest mały, a strumień wody duży (część górna); w tej samej rurze z dużą liczbą dekretów opór stawiany wodzie jest duży, a w rezultacie strumień wody jest mały (część dolna)

Osiem klepsydr od dwunastego wschodu słońca trzydziestego wylewu Nilu za panowania Amenhotepa III

Wciąż eksperymentuję z omyłkami. Zapycham rurę, notuję przepływ. Dobrze, że mi się ampularie rozmnożyły, bo każde pęknięcie rury kończy się ich ucieczką.

Znowu notuję: różnica poziomów wody w anforach wynosi 10 V, do rury napchałem 5 omów oporu. Tylko dwie ampularie zostały porwane przez prąd wody, czyli $I = 2$ A.

I znów notatka: dla różnicy poziomów wynoszącej 10 V przy rurze napchanej dwoma omami, prąd wody I wynosi 5.

Potem sprawdziłem takie dane: różnica poziomów wody wynosi 8 V, w rurze jest opór wynoszący tylko 2 omy. Okazało się, że prąd wody I w rurze wynosi 4 A.

Czy potrafisz, znając powyższe dane, wywnioskować zależność między wielkością różnicy poziomów wody i oporem a siłą strumienia wody? Spróbuj. Wiesz już, co wynika z wcześniejszych doświadczeń Ptholemenopsa (i Twoich też), że natężenie I zależy od przyłożonego napięcia U .

I zależy od U .

Pytanie jest następujące: jak I zależy od U ? Zapiszmy to zadanie tak:

$$I = \text{coś} * U.$$

Czytamy: natężenie prądu równa się napięciu pomnożonemu przez wielkość nazywaną *coś*. Tym „cosiem” oczywiście będzie opór, który płynącej wodzie stawiają wetknięte do rury dekrety („omyłki”). Opór będziemy oznaczać literą R , a jego symbolem, przypominającym zresztą kształt „omyłki”, będzie znak Ω (czytamy go „om”). Już wyjaśniam, o co chodzi. Przypuśćmy, że kupiliśmy rezystor i chcemy podzielić się radością z tym związaną ze swoim przyjacielem. Mówimy:

„Kupiłem rezystor o oporności 100Ω ”.

Możemy też powiedzieć krócej:

„Oporność rezystora równa się 100Ω ”.

A najkrócej, jak się da, zanotujemy tak:

$$R = 100 \Omega.$$

Podobnie wyrażamy każdą wielkość elektryczną. Powiemy na przykład, że napięcie zmierzone na końcówkach baterii wynosi $4,5 \text{ V}$, a możemy także zanotować to krótko:

$$U = 4,5 \text{ V}.$$

W świetle doświadczenia Ptholemenopsa — im większy opór, tym mniejsze otrzymujemy natężenie wody. Z drugiej strony natężenie prądu jest tym większe, im większe przyłożymy napięcie. Mówimy, że *natężenie prądu jest wprost proporcjonalne do przyłożonego napięcia i odwrotnie proporcjonalne do oporu*. Zapisujemy to tak:

$$I = \frac{U}{R}.$$

Czy ten wzór sprawdza się w praktyce? Podstawmy dane otrzymane podczas eksperymentów Ptholemenopsa. Dla $U = 10 \text{ V}$ oraz $R = 5 \Omega$ otrzymujemy:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{10\text{V}}{5\Omega} = 2\text{A},$$

czyli dokładnie tyle, ile otrzymał Ptholemenops. Druga próba: $U = 10 \text{ V}$ oraz $R = 2 \Omega$. Otrzymujemy:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{10\text{V}}{2\Omega} = 5\text{A}.$$

W ten sposób wyniki otrzymane w trakcie doświadczeń Ptholemenopsa znalazły swoje teoretyczne uzasadnienie.

Prawo Ohma

Czy słyszałeś kiedyś wyrażenie „prawo Ohma”? Na pewno. A czy wiesz, czego ono dotyczy? Otóż dowiedz się, że dotyczy właśnie omówionego związku między napięciem a natężeniem prądu. Związek ten wyraża się równaniem:

$$I = \frac{U}{R}.$$

Wzór ten można zapisać także tak:

$$U = I \times R.$$

A można i tak:

$$R = \frac{U}{I}.$$

Od tej pory także i Ty możesz się chwalić, że znasz prawo Ohma.

U czy V, I czy A, R czy Ω ? Jak się połąpać w tej literomanii?

Przyznaję, że mnogość stosowanych oznaczeń może początkującego elektronika wprowadzić w zakłopotanie. Odwołajmy się więc do znanego wszystkim przykładu, tj. do pomiaru temperatury. Jak wiemy, temperaturę najczęściej oznaczamy literą T, a wynik pomiaru zależy od tego, w jakich jednostkach będziemy ją mierzyć. Powiedzmy, że dokonujemy pomiaru z wykorzystaniem standardowego termometru, podającego wynik w stopniach Celsjusza. Wtedy temperaturę zdrowego człowieka zapiszemy tak:

$$T = 36,6^{\circ}\text{C}.$$

Litera T oznacza, że podajemy wynik pomiaru temperatury. Natomiast symbol $^{\circ}\text{C}$ mówi, w jakich jednostkach ów wynik podajemy. Możemy na przykład podać temperaturę w skali Kelvina, co oznaczamy K. Wtedy napiszemy:

$$T = 309,75 \text{ K}.$$

I tak jest w przypadku pomiaru wielkości elektrycznych. Kiedy mierzymy płynący prąd I, wynik podajemy w amperach (symbol A).

$$I = 3,1 \text{ A}.$$

Kiedy mierzymy napięcie prądu U, wynik podajemy w woltach (symbol V).

$$U = 4,5 \text{ V}.$$

Kiedy mierzymy rezystancję R, wynik podajemy w omach (symbol Ω).

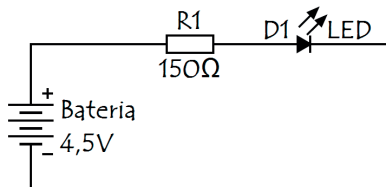
$$R = 120 \Omega.$$

I jeszcze mała uwaga terminologiczna. W części literatury dotyczącej elektroniki pojęcia *rezystor*, *rezystancja* uważane są za poprawne, natomiast ich spolszczenia *opornik*, *opór* za nieco potoczne. Oczywiście przyjęta konwencja zależy od autora. W niniejszym podręczniku słowa *opór* i *rezystancja* będą używane zamiennie, podobnie jak *opornik* i *rezystor*.

Poprawiamy pierwszy obwód, czyli konstruujemy drugi

Zbierzmy w tym miejscu dotychczasowe wiadomości dotyczące konstruowania obwodów elektrycznych. Wiemy, że duże napięcie generuje duże natężenie płynącego prądu. Każde urządzenie podłączane do obwodu pracuje najlepiej, gdy przepływający przez nie prąd mieści się w pewnym przedziale (prąd zbyt mały może nie wywołać pracy urządzenia — dioda LED nie będzie świecić — a prąd zbyt duży może zniszczyć urządzenie — dioda LED się spali). W pierwszym obwodzie, w którym diodę LED podłączyliśmy bezpośrednio do baterii 4,5 V, zmierzaliśmy prąd wynoszący 95,6 mA. To o wiele za dużo. Prąd nie powinien być większy niż 20 mA; przyjmijmy, że ideałem byłby dla nas prąd wynoszący 15 mA. Jak go zmniejszyć? Oczywiście, stosując rezystor. Musimy jedynie dobrać odpowiednią wartość rezystancji.

W zestawie elementów potrzebnych do zbudowania obwodu został wyszczególniony rezystor o oporności 150 Ω . Nieprzypadkowo. Zanim jednak uzasadnimy tę wartość teoretycznie, proponuję, abyśmy wcześniej zbudowali obwód i wykonali pomiar. Schemat drugiego obwodu przedstawia rysunek 2.46.



Rysunek 2.46. Schemat obwodu składającego się z baterii, rezystora i diody LED

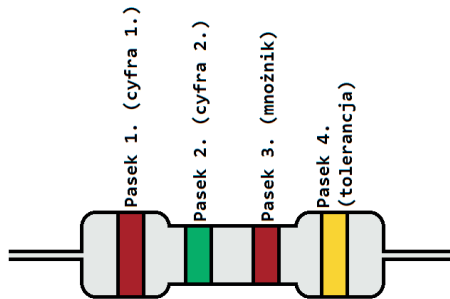
Czy potrafisz, kierując się schematem z rysunku 2.46, skonstruować obwód na płytce stykowej? Spróbuj! Zakładam, że znalazłeś już odpowiedni rezystor. Zadanie to wcale nie musi być łatwe, zważywszy, że rezystory często są dostarczane w postaci zwoju taśm z elementami o różnej oporności (ale tej samej oporności w jednej taśmie, rysunek 2.47).

Kod barwny i odczytywanie oporności rezystora

Jak wśród setek rezystorów znaleźć potrzebny? Zauważmy, że każdy rezystor został oznaczony kilkoma kolorowymi paskami. To jest tak zwany kod barwny. Z niego odczytujemy oporność rezystora. Jak to robimy? Najtrudniejszą rzeczą jest ustalenie kolejności pasków (rysunek 2.48).



Rysunek 2.47. Zwój rezystorów



Rysunek 2.48. Kod barwny na rezystorze i znaczenie poszczególnych pasków

Otóż rezystor, tak jak kij, ma dwa końce. Żaden z końców nie jest wyróżniony, zatem nie ma znaczenia kierunek podłączenia rezystora do obwodu (inaczej, niż to ma miejsce w przypadku diody LED). Ta wygodna właściwość rezystorów utrudnia odczytywanie kodu barwnego, gdyż nie zawsze wiadomo, który pasek jest pierwszy. Na szczęście będziemy korzystać ze standardowych rezystorów o tolerancji 5%, oznaczonych czterema paskami, z których ostatni jest koloru złotego. Wartości kolorów przedstawia tabela 2.1.

Sposób odczytywania wartości rezystancji poznasz na przykładach.

Przykład 1. Oto wpadł nam w ręce rezystor oznaczony trzema paskami czerwonymi i jednym złotym. Od razu domyślamy się, że pasek złoty jest paskiem czwartym. Mamy więc:

1. Pierwszy pasek — czerwony — cyfra 2.
2. Drugi pasek — czerwony — cyfra 2.
3. Trzeci pasek — czerwony — mnożnik 100 Ω .
4. Czwarty pasek — złoty — tolerancja 5%.

Tabela 2.1. Wartości kolorów kodu barwnego rezystorów

Kolor	Pasek 1. (cyfra 1.)	Pasek 2. (cyfra 2.)	Pasek 3. (mnożnik)	Pasek 4. (tolerancja)
Czarny	0	0	× 1 Ω	20%
Braźowy	1	1	× 10 Ω	1%
Czerwony	2	2	× 100 Ω	2%
Pomarańczowy	3	3	× 1 kΩ	3%
Żółty	4	4	× 10 kΩ	0,1%
Zielony	5	5	× 100 kΩ	0,5%
Niebieski	6	6	× 1 MΩ	0,25%
Fioletowy	7	7	× 10 MΩ	0,1%
Szary	8	8	-	0,05%
Biały	9	9	-	-
Srebrny	-	-	× 0,01 Ω	10%
Złoty	-	-	× 0,1 Ω	5%
Brak	-	-	-	20%

Oporność rezystora wynosi:

$$22 \cdot 100\Omega = 2200\Omega = 2,2\text{k}\Omega$$

przy tolerancji 5%. Pięć procent z liczby 2200 równa się 110. To oznacza, że faktyczna oporność tego rezystora może się wahać od 2090 Ω do 2310 Ω.

Przykład 2. Mamy odczytać oporność rezystora oznaczonego paskami kolejno: pomarańczowym, białym, czerwonym i złotym.

1. Pierwszy pasek — pomarańczowy — cyfra 3.
2. Drugi pasek — biały — cyfra 9.
3. Trzeci pasek — czerwony — mnożnik 100 Ω.
4. Czwarty pasek — złoty — tolerancja 5%.

Oporność rezystora wynosi:

$$39 \cdot 100\Omega = 3900\Omega = 3,9\text{k}\Omega$$

przy tolerancji 5%. Pięć procent z liczby 3900 równa się 195. To oznacza, że faktyczna oporność tego rezystora może się wahać od 3705 Ω do 4095 Ω.

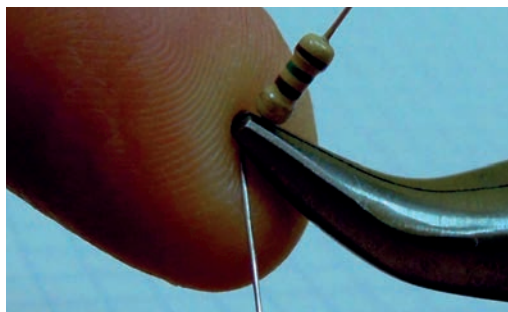
Przykład 3. Jakimi kolorami powinien być oznaczony rezystor $150\ \Omega$ o tolerancji 5%?

1. Pierwsza cyfra — 1 — kolor brązowy.
2. Druga cyfra — 5 — kolor zielony.
3. Mnożnik (czyli liczba zer po dwóch cyfrach) — $10\ \Omega$ — kolor brązowy.
4. Tolerancja standardowa — 5% — kolor złoty.

Odpowiedź: rezystor $150\ \Omega$ o tolerancji 5% powinien być oznaczony paskami kolejno: brązowym, zielonym, brązowym i złotym.

Budujemy obwód na płytce stykowej

Znaleźliśmy potrzebny rezystor. Teraz musimy go wyciąć z taśmy i przygotować do umieszczenia na płytce stykowej. Zaginamy końcówki rezystora, przy czym zaciskamy końcówkę w szczypcach i wyginamy drut palcem, aby nie uszkodzić opornika (rysunek 2.49).



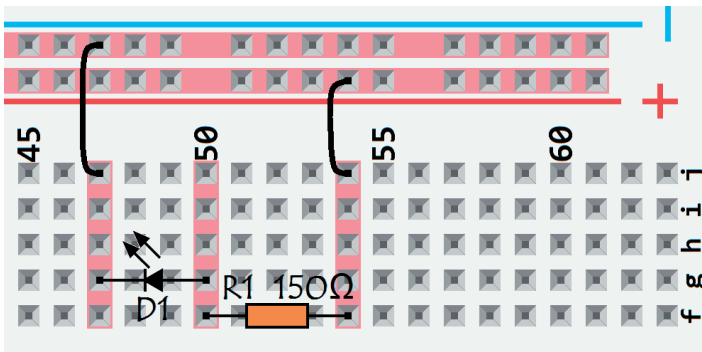
Rysunek 2.49. Sposób zaginania końcówek rezystora zapobiegający jego uszkodzeniu

Wygięte końcówki należy przyciąć do długości około 1 – 2 cm (rysunek 2.50).



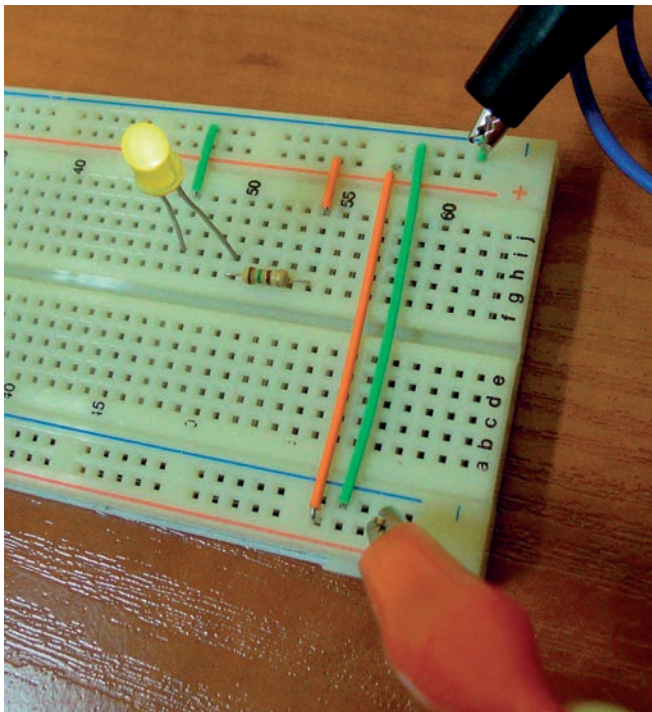
Rysunek 2.50. Rezystor z odpowiednio wygiętymi i przyciętymi końcówkami

Schemat z rysunku 2.46 można zrealizować na płytce stykowej na wiele różnych sposobów, z których każdy mniej lub bardziej będzie przypominał schemat z rysunku 2.51.



Rysunek 2.51. Schemat układu z rysunku 2.46 na płytce stykowej. Zakładamy, że do linii oznaczonych „+” i „-” zostały podłączone odpowiednie bieguny baterii 4,5 V

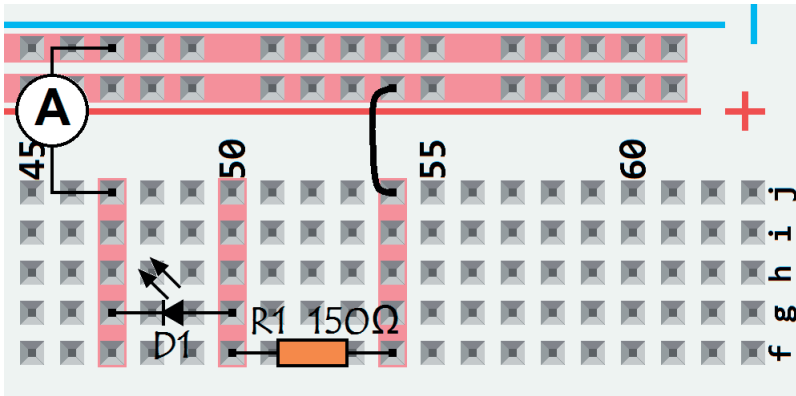
Zdjęcie realizacji układu na płytce stykowej przedstawia rysunek 2.52.



Rysunek 2.52. Realizacja układu z rysunku 2.46 na płytce stykowej

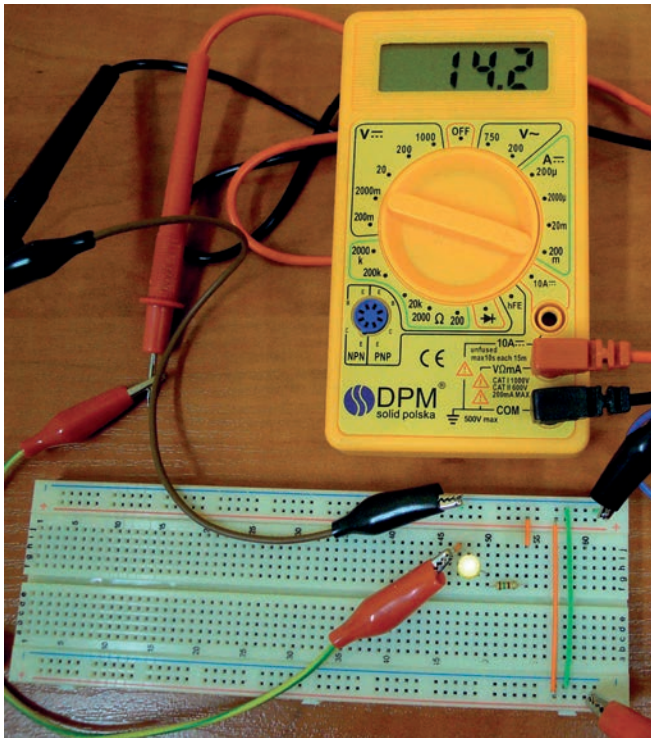
Mierzemy płynący prąd i wyciągamy wnioski

Aby zmierzyć płynący prąd, podłączymy końcówki multimetru w miejsce przewodu łączącego rząd nr 47 płytki stykowej z linią oznaczoną „-” tejże płytki (rysunek 2.53).



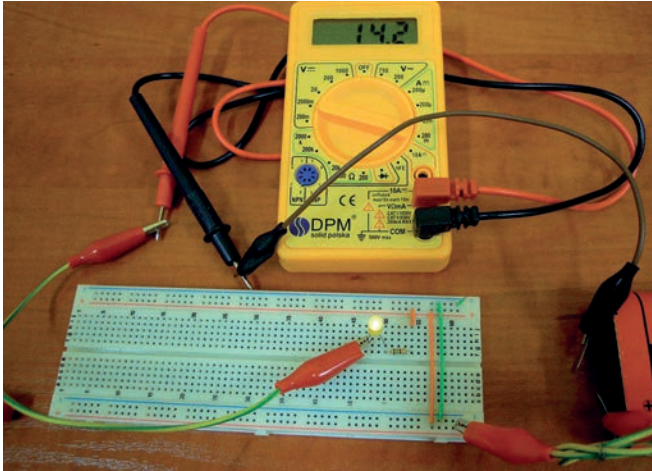
Rysunek 2.53. Schemat podłączenia multimetru do obwodu

Tak jak było w przypadku poprzedniego pomiaru, czerwona sonda multimetru powinna łączyć się z katodą diody D1, a czarna z linią „minus” zasilania. Przeszujemy zakres pracy multimetru na pomiar prądu stałego do 200 mA. Podłączamy zasilanie do układu i kontemplujemy wynik (rysunek 2.54).



Rysunek 2.54. Pomiar prądu w obwodzie z diodą LED i rezystorem

Zwróćmy uwagę na sposób podłączenia końcówek multimetru do obwodu z diodą LED i rezystorem. Wiemy, że amperomierz (czy też multimetr pracujący w trybie amperomierza) włączamy do obwodu szeregowo. Ale w przypadku obwodów pozbawionych rozgałęzień (rozważany obwód do takich należy) miejsce podłączenia amperomierza nie ma znaczenia. Równie dobrze moglibyśmy podłączyć go przed rezystorem czy też między rezystorem a diodą. Zauważmy w końcu, że zamiast lokalizacji sond zaproponowanej na rysunku 2.53, czerwoną sondę multimetru możemy podłączyć do katody diody D1, a sondę czarną bezpośrednio do końcówki „-” baterii (rysunek 2.55).



Rysunek 2.55. Pomiar prądu w obwodzie z diodą LED i rezystorem

Bez względu na miejsce podłączenia sond multimetru do obwodu wnioski z pomiaru są optymistyczne: dołączenie rezystora do obwodu zdało egzamin. Prąd 14,2 mA nie jest w stanie zaszkodzić diodzie LED. Prawdę mówiąc... spodziewaliśmy się sukcesu. Tak jak zwężenie w rurze z wodą zmniejsza przepływ cieczy, tak rezystor powoduje zmniejszenie przepływu strumienia elektronów i — w konsekwencji — zmniejszenie płynącego prądu. Pozostaje pytanie, skąd wiedzieliśmy, że należy zastosować rezystor 150 Ω .

Znów małe obliczenia

Zanim przejdziemy do obliczeń, przytoczę ciekawy fakt z życia Ptholemenopsa. Otóż ten wielki uczoney potrafił do tego stopnia być zaabsorbowany swoją pracą, że eksperymentując, zdradzał objawy częściowej głuchoty. Dość powiedzieć, że kiedy jego służąca wołała go na obiad, nie wystarczyło, żeby tłukła przy tym chochlą w jeden gong. Nawet hałasowanie dwoma gongami nie przynosiło efektów (albo przynosiło efekty niezmiernie słabe). Dopiero — rzecz sprawdzona — jednoczesne bicie w trzy gongi lub ich większą liczbę mogło obudzić Ptholemenopsa ze stanu zadumy.

Odnieśmy przykład Ptholemenopsa do zasilania diody LED. Otóż wiedz, że dioda LED także posiada pewien pułap napięcia, którego przekroczenie jest konieczne do jej zaświecenia. Tę wielkość nazywamy napięciem progowym w kierunku przewodzenia lub napięciem przewodzenia. Poniżej napięcia progowego prąd przewodzenia jest bardzo mały. Napięcie przewodzenia zależy od koloru diody, producenta, a również samej diody, ponieważ także wśród diod LED tego samego koloru i pochodzących od tego samego producenta możliwe są niewielkie różnice. Na przykład minimalne napięcie, które wywoła świecenie diody LED koloru niebieskiego, wynosi (typowo) 3,6 V, a wahać się może od 3,2 V do 4,3 V (te wielkości mogą być inne dla diod różnych producentów). Tabela 2.2 przedstawia typowe poziomy napięć progowych dla diod LED różnych kolorów.

Tabela 2.2. Napięcie progowe dla diod różnych kolorów przy zasilaniu prądem 20 mA

Kolor diody	Napięcie progowe	
	Typowe	Zakres
Czerwona	2,0 V	1,5 V – 2,6 V
Pomarańczowa	2,0 V	1,7 V – 2,8 V
Żółta	2,4 V	1,7 V – 3,0 V
Zielona	2,8 V	1,7 V – 4,0 V
Niebieska	3,6 V	3,2 V – 4,3 V
Biała	3,6 V	3,2 V – 4,3 V

Napięcie progowe należy rozumieć także w ten sposób, że w obwodzie z diodą LED, w którym dioda ma świecić, należy uwzględnić spadek napięcia na diodzie o wielkość odczytaną z tabeli 2.2. W ten sposób dowiadujemy się, że każdy element podłączony do obwodu wywołuje spadek napięcia. Jak to się dzieje? Popatrzmy na rysunek 2.56.

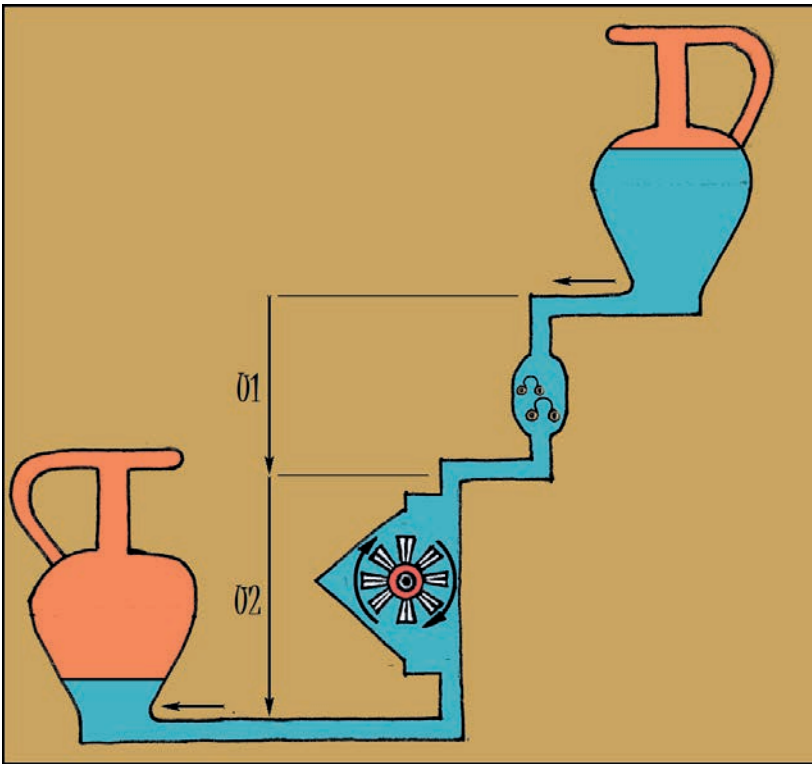
Z rysunku 2.56 odczytujemy, że na części układu z opornikiem (rura zapchana omyłkami) spadek napięcia wynosi U_1 , a na części z systemem napędzającym łopatkę robota — U_2 . Całkowita różnica poziomów wody wynosi:

$$U = U_1 + U_2.$$

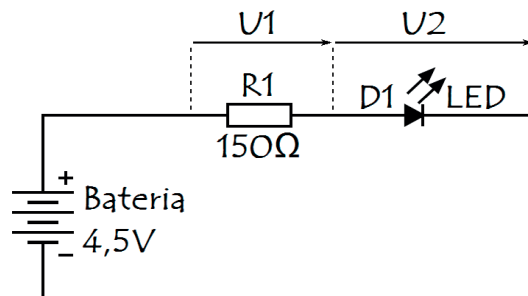
W naszym obwodzie z rezystorem i diodą LED spadek napięcia na rezystorze oznaczmy U_1 , natomiast spadek napięcia na diodzie — U_2 (rysunek 5.57).

Ponieważ obwód jest zasilany baterią 4,5 V, całkowity spadek napięcia wynosi:

$$U = U_1 + U_2 = 4,5V.$$



Rysunek 2.56. Układ hydrauliczny Ptholemenopsa



Rysunek 5.57. Zaznaczenie spadków napięcia na elementach obwodu

No dobrze, rozwiążmy wreszcie tę tajemnicę. Skąd wiedzieliśmy, że w obwodzie potrzebny będzie rezystor $150\ \Omega$, a nie na przykład $200\ \Omega$ czy też $5\ \text{k}\Omega$? Z prawa Ohma. Przypomnijmy sobie jeden z poznanych wzorów:

$$R = \frac{U}{I}.$$

Napięcie U dla obwodu wynosi $4,5\text{ V}$. Przyjmujemy, że na diodzie $D1$ nastąpi spadek napięcia U_d wynoszący $2,4\text{ V}$ (dioda żółta). Naszym marzeniem jest, by dioda LED była zasilana prądem I równym 15 mA , czyli $0,015\text{ A}$. Stąd obliczamy:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{U - U_d}{I} = \frac{4,5\text{V} - 2,4\text{V}}{15\text{mA}} = \frac{2,1\text{V}}{0,015\text{A}} = 140\Omega.$$

Okazało się, że nasze potrzeby spełni rezystor o oporności $140\ \Omega$. To dobry czas, abyś się dowiedział, że nie produkuje się rezystorów o każdej wymyślonej oporności. Zapewne domyślałeś się tego, ale ten fakt wymagał wyraźnego zaznaczenia. Wartości rezystancji zostały znormalizowane i rezystory są produkowane według tak zwanych szeregów (tabela 2.3).

Tabela 2.3. Główne szeregi wartości rezystancji oporników produkowanych seryjnie

Szereg E3 (tolerancja 50%)	Szereg E6 (tolerancja 20%)	Szereg E12 (tolerancja 10%)	Szereg E24 (tolerancja 5%)	
10	10	10	10	
			11	
			12	
			13	
			15	
	15	15	15	
			16	
			18	
			20	
			22	
22	22	22	22	
			24	
			27	
			30	
			33	
	33	33	33	33
				36
				39
				43
				47
47	47	47	47	
			51	
			56	
			62	
			68	
	68	68	68	68
				75
				82
				91

Wartości umieszczone w jednej kolumnie noszą nazwę dekady. W szeregu E3 istnieją tylko 3 wartości w dekadzie (dlatego E3), szereg E6 ma 6 wartości w dekadzie itd. Znajdując potrzebną rezystancję opornika, bierzemy pod uwagę wartość z dekady i mnożymy ją przez $1\ \Omega$, $10\ \Omega$, $100\ \Omega$, $1\ \text{k}\Omega$, $10\ \text{k}\Omega$, $100\ \text{k}\Omega$, $1\ \text{M}\Omega$ itd. Na przykład w szeregu E24 znajdziemy rezystory o oporności:

$36\ \Omega$,

$360\ \Omega$,

$3600\ \Omega = 3,6\ \text{k}\Omega$,

$36\ 000\ \Omega = 36\ \text{k}\Omega$,

$360\ 000\ \Omega = 360\ \text{k}\Omega$,

$3\ 600\ 000\ \Omega = 3,6\ \text{M}\Omega$.

Z podobnymi szeregami spotykamy się także w życiu codziennym. Przyzwyczajiliśmy się na przykład do tego, że nie ma monet o nominale 3 zł. Używane w Polsce monety są wielokrotnością nominalów 1 zł, 2 zł i 5 zł (rysunek 5.58).



Rysunek 5.58. Polskie monety zaliczylibyśmy do szeregu E3

Jak zostało zaznaczone w tabeli 2.3, przynależność do szeregu wskazuje na tolerancję rezystora. Tak jest najczęściej, ale nie zawsze. Zakładam jednak, że stosowane przez nas rezystory pochodzą z szeregu E24 (mają tolerancję 5%). Zauważmy, że w szeregu E24 nie ma wielkości 14, która pomnożona przez $10\ \Omega$ dałaby potrzebną oporność $140\ \Omega$. W takim razie powinniśmy użyć bądź rezystora $130\ \Omega$, bądź też $150\ \Omega$. Tak oto wyjaśniła się tajemnica, dlaczego w naszym obwodzie zastosowaliśmy rezystor o oporności $150\ \Omega$. Możemy także, korzystając z prawa Ohma, wyliczyć teoretyczny przepływ prądu w obwodzie z tym rezystorem. Otrzymamy:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{U - Ud}{R} = \frac{4,5V - 2,4V}{150\Omega} = \frac{2,1V}{150\Omega} = 0,014A.$$

Wynik $0,014\ \text{A}$, czyli $14\ \text{mA}$, odpowiada wielkości zmierzonej w obwodzie.

Albo prawo Ohma jest nieprawdziwe, albo zepsuł mi się multimetr!

Tak być może zakrzyknałeś. O co chodzi? Otóż jako bardzo spostrzegawczy Czytelnik pewnie przypomniałeś sobie nasz pierwszy obwód, w którym diodę LED podłączyliśmy bezpośrednio do baterii 4,5 V. W obwodzie nie było żadnego rezystora. Skoro multimetr zarejestrował prąd 95,6 mA, to z prawa Ohma wynika, że jednak gdzieś rezystor musiał być. Obliczmy:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{4,5V - 2,4V}{0,0956A} = \frac{2,1V}{0,0956A} = 21,96\Omega .$$

Jeśli obliczenia nie kłamią, to w obwodzie mieliśmy rezystor o oporności około 22 Ω . Gdzie on był?

Czy zdziwię Cię, gdy powiem, że ten rezystor był w baterii? Ponieważ źródła napięcia mają różną wydajność prądową, umownie przyjmuje się, że rzeczywiste źródło napięcia składa się ze źródła napięcia połączonego z wewnętrzną opornością. Tak oto kolejna zagadka została rozwiązana, a jako spostrzegawczy Czytelnik otrzymujesz brawa za dociekliwość.

Skorowidz

A

adres pamięci, 425
aktywne pola płytki, 69
alarm, 219, 232, 238
alarm z tyrystorem, 241
algorytm, 457
alternatywa, 331
amper, 59, 76
amperomierz, 31, 66
amplituda, 224
aniony, 55
architektura
 mikrokontrolera, 371
Atmel Studio 6, 408
Atmel USB Driver, 408
atomy, 55

B

badanie wzmocnienia
 prądowego, 187, 188
bateria, 17, 39
 9 V, 90
 typu AAA, 90
baza, 138
beta, , 190
bezpieczniki, 65
biblioteka
 delay.h, 435
 io.h, 421
bit, 428
bity konfiguracyjne, 397, 399
bramka, 244
 AND, 329, 333
 NOT, 323, 333
 OR, 333

XNOR, 323

XOR, 315, 323

bramki logiczne, 315, 317
budowa
 kondensatora, 265
 rezystora, 95
budowanie
 jeżdżącego robota, 453
 programatora, 378, 380, 390
buzzer piezoelektryczny, 221

C

cewka indukcyjna, 298, 302
charakterystyka prądowo-
 napięciowa diody, 152–155
chip CD4017BE, 293
ciągłość obwodu, 35
ciśnienie wody, 60
CMOS, 292
cyfrowy układ scalony, 290
cyfry
 najbardziej znaczące, 24
 najmniej znaczące, 430
czas
 trwania impulsu, 464
 włączenia diody LED, 264
cząsteczki, 55
częstotłokościomierz
 cyfrowy, 31
częstotliwość, 224
 drgań przerzutnika, 199
 pracy mikrokontrolera, 437
czujnik
 otwarcia drzwi, 219, 231
 zmiernych, 135
 przepływ prądu, 140
 regulacja czułości, 139

D

dielektryk, 266
diody, 145
 1N4148, 453
 LED, 38, 40, 62
 półprzewodnikowa, 151
 prostownicza, 145, 157
 spolaryzowana
 w kierunku
 przewodzenia, 154
 w kierunku
 zaporowym, 155
 Zenera, 145, 175
dobór rezystancji, 77
dokładność pomiaru, 27
dokumentacja
 elementu ULN2003A, 296
 mikrokontrolera
 ATmega16A, 446
 programatora USBasp, 391
 tranzystora BC547B, 191
 tyrystora MCR100, 218
 układu 74LS04, 324
 układu ATmega16A, 376
 układu IRFZ44N, 252
 układu NE555, 236
 układu ULN2003A, 206
dołączanie biblioteki, 421
dren, 244
dyrektywa #include, 421
działanie
 cewki indukcyjnej, 300
 kondensatora, 263
 mikrokontrolera, 426
 przerzutnika astabilnego,
 202

działanie

- rejestr PINA, 450
- silnika krokowego, 298
- tranzystora, 137
- tranzystora N-MOSFET, 245
- tyrystora, 216
- wzmacniacza, 185
- dzielnik napięcia, 119, 121, 125, 134

E

- eksperyment głośnikowy, 285
- elektrolit, 49, 267
- elektromagnes, 298
- elektronika
 - analogowa, 9, 290
 - cyfrowa, 9, 290, 291
 - dwustanowa, 309
- elektrony swobodne, 52
- emiter, 138

F

- fala elektromagnetyczna, 53
- farad, 258
- filtry, 302
- firmware, 390
- formowanie kondensatora, 169
- fotorezystor, 136
- fotorezystor RPP130, 108, 137
- funkcja, 451
 - _delay_ms(), 435
 - bit_is_clear(), 450
 - bit_is_set(), 450
- funkcje
 - miernika, 473
 - tranzystora, 194

G

- generator
 - impulsów, 171
 - potęg liczby 2, 351, 354
 - sygnału zmiennego, 224, 234
 - z regulacją częstotliwości, 288

- z układem NE555, 235
- głośnik
 - dynamiczny, 221, 256
 - GDW, 236
 - piezoelektryczny, 220
- gniazdo
 - 10A, 23
 - COM, 23
 - V mA, 23

H

- henr, 302
- herc, 200

I

- iloczyn bitowy, 459
- ilustracja pojęć zboczy, 353
- impuls sterujący, 465
- indukcja, 285
- indukcyjność, 302
- inkrementacja, 350
- instalacja
 - Atmel Studio 6.0, 408–411
 - eXtreme Burner – AVR, 403
 - ISP Programmer, 387
- instrukcja warunkowa, 452
- inwerter, 325
- izolator, 241, 266

J

- jednostka centralna
 - mikrokontrolera, 424
- języki programowania, 373
- jony, 55

K

- kationy, 55
- kierunek przepływu prądu, 53, 70, 157
- kod
 - barwny, 77, 78
 - BCD, 344, 345
 - programu, 435
 - źródłowy, 436
- kodowanie binarne, 337

- kolejność podłączenia
 - wyprowadzeń, 361
- kolektor, 138
- komentarz
 - blokowy, 420
 - liniowy, 420
- komórki rejestru, 428
- kompilacja, 374, 420, 432
- komunikacja
 - komputera
 - z programatorem, 374
 - z układem scalonym, 426
- komunikat o błędzie
 - programatora, 405
- kondensatory, 256
 - ceramiczne, 145, 168, 270
 - elektrolityczne, 145, 167, 267
 - aluminiowe, 269
 - tantalowe, 269
 - foliowe, 268
 - poliesterowe, 271
 - polistyrenowe, 273
 - stałe, 167
- konfiguracja źródła
 - taktowania, 438
- konfigurowanie fusebitów, 396
- koniunkcja, 330
- kontaktron, 215, 219, 229
- krokodylki, 20

L

- liczba wyprowadzeń układu, 370
- licznik Johnsona, 289, 350, 359
- linia
 - MISO, 377
 - MOSI, 377
 - RESET, 377, 414
 - SCK, 377
- linie
 - programujące, 412
 - wejściowe, 427
 - wyjściowe, 427
 - wysokiego napięcia, 166
 - zasilające płytki, 37
- listing programu, *Patrz* plik
- listwa kołkowa, 384

litera

A, 76
 B, 185
 C, 185
 E, 185
 I, 57
 P, 130
 R, 130
 T, 76
 V, 76

Ł

ładowanie

kondensatora, 168, 265
 programu do pamięci
 mikrokontrolera, 437

ładunki elektryczne, 51

łączenie

kondensatorów, 274
 rezystorów, 109
 równoległe, 88, 99, 112,
 274
 szeregowo, 88, 99, 110, 274
 szeregowo-równoległe,
 89, 90

M

magnes, 302

maksymalny prąd kolektora,
191

masa, 19, 162, 164

Microsoft .NET Framework
4.0, 408Microsoft Visual Studio 2010
Shell, 408

miernik

AX-MS811, 31
 V12 DT830B, 23, 473

mierniki uniwersalne, 16, 23

mikrofon pojemnościowy,
256, 275

mikrokontroler, 248

ATmega16A, 367, 407
 ATmega32, 370
 ATmega8A, 367, 390
 PIC18F96J65, 371

mikrokontrolery, 355, 361,

367, 370

ATmega, 375

kontrolery przerwań, 372

pamięć flash, 372

pobieranie informacji, 427

porty, 427

przetworniki analogowo-

cyfrowe, 372

rejestry, 371

sterowanie urządzeniami,

427, 431

sygnał taktujący, 427

systemy komunikacji, 372

ustawianie częstotliwości,
437

zasilanie, 427

zastosowanie, 371

moc

elektryczna, 97

obciążenia stabilizatora, 171

potencjometru, 132

znamionowa rezystora,

96, 97

mostek

Graetza, 145, 156, 158

H, 247, 254

multimetr, 31, 34, 68, 174

N

napięcie, 55, 60

otwierające tranzystor, 244

progowe, 84

przewodzenia, 84

rozwarcia, 124

stabilizacji, 148

symetryczne, 280

natężenie, 57, 59

nawiasy klamrowe, 422

negacja, 331

O

obciążenie dzielnika

napięcia, 123

obliczanie

częstotliwości, 226, 235

mocy, 106

natężenia, 75, 94

pojemności, 274

prądu diody, 111

rezystancji, 92

spadku napięcia, 192

obsługa

programatora ISP, 387

przycisku, 444

obudowa

DIP, 209, 370

DIP40, 375

RM-065, 133

TQFP, 370

obwód

elektryczny, 61, 102

hydrauliczny, 61

roboata, 317, 326

z diodami, 88

z kontaktronem, 229

odczytywanie zawartości

pamięci mikrokontrolera,
405

ogniwo galwaniczne, 47, 49

okno

bitów konfiguracyjnych,

398

eXtreme Burner – AVR,

404

Fuse and lock bits, 397

ISP Programmer, 389

konfiguracji taktowania,

439

nowego projektu, 417

opcji nowego projektu, 418

programu, 419

wyboru mikrokontrolera,

418

okres T, 224, 235

operator inkrementacji, 467

opornica suwakowa, 128, 129

opornik, 77

opornik dekadowy, 111

oporność

amperomierza, 193

cewki, 302

rezystora, 77, 79

oznaczenia

alternatywy, 332

kondensatorów, 272, 273

koniunkcji, 332

mikrokontrolerów, 371

oznaczenia

- rezystorów, 41
- stabilizatorów, 161
- tranzystorów, 198
- układów scalonych, 234

P

- panel miernika, 24
- pętla, 422, 424
 - nieskończona, 425
 - while, 467
- pierwsze prawo Kirchhoffa, 126, 127
- pisanie programu, 416, 420, 431
- pliki wynikowe .hex, 374
- plytka stykowa, 15, 33
 - alarm, 227
 - alarm z tyristorem, 242
 - czujnik otwarcia drzwi, 232
 - czujnik zmierzchu, 139
 - diody LED, 107, 108
 - generator potęg liczby 2, 354
 - kod binarny, 347
 - kolejno mrugające diody, 295, 296
 - mikrokontroler z czterema diodami, 441
 - mikrokontroler z diodą, 416
 - mikrokontroler z diodą i przyciskiem, 448
 - mostek Graetza, 157
 - programator, 384
 - programator i mikrokontroler, 386
 - programator ISP, 395
 - programator USBasp, 393
 - programator USBasp z mikrokontrolerem ATmega16A, 400
 - przełącznik DIP Switch, 113, 119
 - przerzutnik astabilny, 201
 - stabilizator napięcia, 180
 - sterownik robota, 455, 457
 - sterownik silnika krokowego, 301

- sterownik szalonego jeźdźca, 255
- ściemniacz, 135
- tester telepatyczny, 326
- testowanie tyristora, 218
- układ 4030, 321
- układ migania świateł, 209, 210
- układ NE555, 237
- układ zasilający, 173
- wyświetlacz LED, 118
- wzmacniacz mikrofonowy, 281
- wzmocnienie prądowe, 189
- zamek szyfrowy, 336, 356, 363
- zestaw audio, 284
- podciąganie linii do źródła zasilania, 446
- podłączanie
 - amperomierza, 66
 - diody, 105
 - diody LED, 63
 - diody Zenera, 181
 - multimetru, 82
 - przewodu LPT, 389
 - serwomechanizmu, 463
 - silnika, 455
 - woltomierza, 66
- pojemności kondensatorów, 169, 258, 261
 - ceramicznych, 271
 - poliestrowych, 271
- polaryzacja diody, 151
- pole magnetyczne, 219, 298
- połączenia pół płytki, 36
- połączenie wyświetlacza z przełącznikiem, 116
- pomiar
 - bety tranzystora, 193
 - napięcia stałego, 26, 27
 - napięcia zmiennego, 30
 - ogniwa galwanicznego, 47
 - oporności, 34, 96
 - oporności multimetru, 192
 - pojemności kondensatora, 169
 - prądu stałego, 65, 82, 93
- pompa ciśnienia, 223

port

- LPT, 401
- USB, 399
- potencjometr, 128, 181
 - montażowy, 108, 130
 - obrotowy, 129
 - regulacyjny, 129
 - suwakowy, 129
- poziomy napięcie, 290, 292
- półprzewodnik, 150
 - typu n, 150
 - typu p, 150
- prawo
 - Kirchhoffa, 184
 - Ohma, 76, 85, 88
 - Ptholemenopsa, 49
- prąd, 51, 53
- prąd zwarcia, 125
- prędkość nośna elektronów, 53
- program
 - AVRDUDE, 401
 - eXtreme Burner – AVR, 401, 432
 - ISP Programmer, 387, 388
- programowe sterowanie serwomechanizmem, 463
- programator, 368, 374
 - ISP, 395
 - ISP Programmer, 378
 - USBasp, 378, 389, 407
- programowanie mikrokontrolerów, 367, 372–375
 - robota, 452
 - serwomechanizmów, 460
 - układu ATmega8, 390, 395
 - układu z diodą, 416
 - układu z przyciskiem, 448
- programy ładujące, 401
- projektowanie zamka szyfrowego, 334
- przebieg sygnału zmiennego, 224
- przedrostki jednostek, 28, 29
- przełącznik, 217
 - DIP Switch, 108, 113, 116
 - dwupozycyjny, 245
- przepływ prądu, 53

przepływ prądu w mostku H, 251
 przelutownik astabilny, 199, 228
 przesłanie prądu, 165
 przetwornice, 302
 przewody pomiarowe, 19–22
 przewód
 LPT, 367, 380, 399
 USB, 367, 399
 przycisk, 217, 444, 445
 punkt pracy tranzystora, 193, 204

R

radiator, 159, 246, 293
 reakcja elektrochemiczna, 55
 rejestr, 427
 DDRx, 430, 449
 PINx, 449
 PORTx, 430, 449
 rezonator kwarcowy, 392
 rezystancja, 77
 rezystor, 40, 71, 77
 nastawczy, 132
 RT, 124
 warstwowy metalowy, 94
 warstwowy węglowy, 94
 robot
 jeżdżący, 452
 część napędowa, 454
 część sensorowa, 453
 część sterująca, 457
 robot Juras, 437
 robot kroczący, 460
 rozkład prądów w obwodzie, 101
 rozładowywanie
 kondensatora, 265
 równoległe połączenie
 rezystancji, 112
 różnica potencjałów, 56, 60
 rysowanie schematów, 101, 104, 207

S

schemat
 czujnika zmierniczu, 136
 dzielnika napięcia, 134
 generatora, 288

kondensatora, 266
 linii portu ATmega, 446
 mostku Graetza, 156
 mostku H, 249
 odczytywania pamięci, 424
 ogniwa baterii, 52
 płytki stykowej, 34
 podłączenia
 amperomierza, 67, 93
 multimetru, 82
 programatora ISP, 379
 programatora USBasp, 391
 przelutownika astabilnego, 199
 rozmieszczenia łączówek, 171
 stabilizatora napięcia, 170, 177, 180
 sterownika oświetlenia, 491
 sterownika silnika
 krokowego, 300
 ściemniacza, 133
 testera telepatycznego, 328
 tranzystora n-p-n, 137
 układu
 555, 233
 audio, 275
 migających świateł, 207
 sterowania robotem, 456
 z ogniwem
 galwanicznym, 49
 zasilającego, 161, 167
 wzmacniacza
 głośnikowego, 282
 wzmacniacza
 mikrofonowego, 277, 281
 zamka szyfrowego
 klawiatura, 358
 napęd, 360
 sterowanie, 359
 schematy ideowe, 38, 41
 serwomechanizmy, 461
 sieć elektroenergetyczna, 164
 sieć trakcyjna, 164
 silnik
 DC, 334
 krokowy, 285, 297–300
 krokowy bipolarny, 299
 krokowy unipolarny, 299
 prądu stałego, 248, 285
 siła elektromotoryczna, 302
 siła prądu wody, 58
 skala logarytmiczna, 253
 słowo kluczowe, 419
 Begin, 422
 End, 422
 int, 421, 466
 main, 421
 void, 422, 451
 spadek napięcia, 85
 spis
 elementów
 elektronicznych, 493
 symboli, 479
 sposoby kodowania
 informacji, 353
 sprawdzanie
 ciągłości obwodu, 35
 mikrokontrolera, 398
 programatora, 389
 serwomechanizmu, 466
 stabilizacja prądu, 96
 stabilizator, 145, 170
 7805, 171
 L7812, 160, 285, 293
 stabilizatory napięcia, 145, 148, 159, 177
 stan
 niski sygnału, 310, 352
 wysoki sygnału, 310, 352
 sterowanie
 mostkiem H, 251
 oświetleniem, 246
 serwomechanizmami, 469
 silnikami prądu stałego, 254
 sterownik
 robota jeżdżącego, 455
 silnika krokowego, 297–301
 strata mocy, 97
 strumień wody, 58
 styki kontaktronu, 219
 suma bitowa, 459
 sygnał
 prostokątny, 225, 228, 235
 sinusoidalny, 225
 trójkątny, 225
 w stanie niskim, 235
 w stanie wysokim, 235
 zmienny, 222

symbol

amperomierza, 65
 baterii, 39, 90
 bramki XOR, 315
 cewki, 298
 diody, 147
 diody LED, 40
 diody Zenera, 147
 fotorezystora, 136
 głośnika, 221
 kondensatora, 168

- ceramicznego, 270
- elektrolitycznego, 269

 masy, 42, 162
 mikrofonu, 275
 napięcia stałego, 477
 napięcia zmiennego, 477
 połączonych

- przewodników, 69

 potencjometru, 128, 132
 prądu stałego, 477
 przełącznika, 217
 przełącznika DIP Switch, 116
 przełącznika

- dwupozycyjnego, 245

 przycisku, 217
 rezonatora kwarcowego, 392
 rezystora, 40, 129
 silnika prądu stałego, 250
 stabilizatora, 160
 tranzystora, 197

- bipolarnego, 203
- N-MOSFET, 244
- P-MOSFET, 246

 tyrystora, 216
 uziemienia, 164
 woltomierza, 66
 wyświetlacza LED, 115
 wzmacniacza, 278
 wzmacniacza

- operacyjnego, 277, 279

 zworki, 391
 źródła napięcia, 391
 żarówki, 208

symbole elementów
 elektronicznych, 479

system

- czwórkowy, 340
- dwójkowy, 341

dziesiętny, 338
 szalony jeździec, 256
 szerepcze, 16
 szeregi E24, 100
 szeregi wartości rezystancji, 86
 szum, 291

Ś

ściemniacz, 133
 ślizgacz, 131
 środowisko programistyczne, 373, 408

T

tablica prawdy, 314, 330

- alternatywy, 331
- bramki AND, 333
- bramki NOT, 324, 327
- bramki XOR, 315, 327
- koniunkcji, 331, 332
- negacji, 331

 technologia CMOS, 290, 292
 teoretyczny przepływ prądu, 87
 test diody, 174
 tester ciągłości obwodu, 381
 tester telepatyczny, 320, 326
 testowanie tyrystora, 216
 tlenek glinu, 267
 tłumienie tętnień, 229
 tolerancja potencjometru, 131
 tolerancja rezystorów, 78
 transformatory, 302
 tranzystor, 181, 184

- BC547, 185
- BC547B, 108, 137
- BUZ11, 244

 tranzystory

- bipolarne, 203
- germanowe, 182
- krzemowe, 182
- N-MOSFET, 243
- n-p-n, 196
- P-MOSFET, 246
- p-n-p, 137, 196
- polowe, 215, 243
- polowe MOS, 292

twierdzenie Thevenina, 123
 tworzenie schematu

- zastępczego, 126

 typy zmiennych, 466
 tyrystor, 216, 219, 240
 tyrystor MCR100, 215, 216

U

układ

CMOS, 292
 Darlingtona, 199, 203, 296
 logiczny, 318
 mikrokontrolera z diodą, 412–415, 426
 napędowy

- serwomechanizmu, 462

 programatora

- z mikrokontrolerem, 401

 szalony

- 2003A, 309
- 4017, 355
- 4030, 309, 319
- 4072, 355, 358
- 4081, 355, 359
- 4082, 329, 334
- 4511, 342
- 74HC244, 367
- 74HC244N, 378
- 74LS04, 324
- 74LS86, 319
- CD4017BE, 289, 291, 295
- L298N, 453, 454
- LM324N, 256, 280
- NE555, 233, 285
- TBA820M, 283
- UCA6404, 309, 324
- ULN2003A, 181, 204, 229, 285, 296, 329, 355

 sterowania obrotami

- silnika, 247

 sterowania

- serwomechanizmem, 462

 testowania tyrystora, 216
 tranzystorowego źródła prądowego, 186
 włączający alarm, 230

wzmacniacza
ze wspólnym emiterem, 195
wzmacniający z
 tranzystorem, 277
z alarmem, 241
z bramką XOR, 316, 319
z dwoma
 serwomechanizmami, 469
z migającymi diodami, 200, 206, 207
z potencjometrem, 130
z wyświetlaczem LED, 117
zamka szyfrowego, 357
zasilający, 159, 161, 167, 170, 174, 401
zasilania diody, 108, 197
układy AVR, 375
układy cyfrowe, 290
ustalenie punktu pracy
 tranzystora, 194
ustawianie
 bitów konfiguracyjnych, 396, 398
 linii, 430
ustawienia programatora, 392
ustawienie bitu zerowego, 429

W

wartości
 graniczne, 191
 kolorów kodu, 79
wartość logiczna zdania, 330, 423
wczytywanie
 kodu maszynowego, 374
 oprogramowania
 programatora USBasp, 395
 pliku, 432
 programu do pamięci, 394, 433
 wartości do rejestru, 430
własne
 cewki, 287
 głośniki dynamiczne, 286
własny kondensator, 258
właściwości diody, 148

włącznik alarmu, 240, 241
wnętrze kondensatora, 267
wolt, 76
woltomierz, 66
współczynnik wzmocnienia
 prądowego, 190, 191, 194
wtyczka
 DB25M, 367
 serwomechanizmu, 462
 USB typu A, 399
wtyki goldpin, 367
wybór mikrokontrolera, 405, 418
wydajność prądowa, 88
wykres charakterystyki
 liniowej, 156
wykrywanie intruza, 239
wyładowanie
 elektrostatyczne, 244
wyprowadzenia
 mikrokontrolera, 426
 tranzystora, 186
 tranzystorów polowych, 244
 układu 4030, 319
 układu 4072, 358, 369
 układu 4081, 359
 układu 4082, 334
 układu 4511, 342
 układu 74LS04, 324
 układu ATmega16A, 376, 377
 układu ATmega8A, 390
 układu CD4017BE, 289, 291
 układu L298N, 454
 układu LM324N, 280
 układu scalonego, 205
wyprowadzenie
 CLOCK, 292
 GND, 291
 OUT, 347
 RESET, 292
 VCC, 291
wyświetlacz
 LED, 113, 115, 343
 wyświetlacz miernika, 24
wzbudzanie stabilizatora, 170
wzmacniacz
 głośnikowy, 275, 282

 mikrofonowy, 275, 276
 operacyjny, 195, 277, 280
 prądu, 139, 184
 TBA820M, 256, 282
wzmocnienie stabilne, 195

Z

zabezpieczenia przycisków, 357
zaciskanie styku, 382
zakres pomiaru, 25, 31
zakresy pracy miernika, 473
zależność I od U, 59, 75
zamek szyfrowy, 333, 356
 część napędowa, 360
 część sterująca, 358
 klawiatura, 357
zapis binarny, 341
zarządzanie portem
 mikrokontrolera, 449
zasilanie płytki stykowej, 38
zasilanie stabilne, 174
zbocze
 narastające, 352
 opadające, 352
zerowanie bitów, 459
zestaw elementów, 17
zjawisko ulotu elektrycznego, 166
złącze LPT, 380
złącze p-n, 150
zmiennie, 466
znak , 75
znormalizowane wartości
 rezystancji, 86
zworki, 391

Ź

źródło, 244
źródło napięcia UT, 124
źródło zasilania, 171

Ż

żarnik, 96

PROGRAM PARTNERSKI

— GRUPY HELION —

- 
1. ZAREJESTRUJ SIĘ
 2. PREZENTUJ KSIĄŻKI
 3. ZBIERAJ PROWIZJĘ

Zmień swoją stronę WWW w działający bankomat!

Dowiedz się więcej i dołącz już dzisiaj!

<http://program-partnerski.helion.pl>

GRUPA
Helion

Poznaj i zrozum elektronikę!

Elektronika jest wszędzie i nie da się już od niej uciec. Telewizor, telefon komórkowy, komputer, a nawet kuchenka mikrofalowa czy niewinna z pozoru zmywarka – w każdym z tych urządzeń znajduje się magiczne coś, dzięki czemu możemy słuchać wiadomości, rozmawiać ze znajomymi, przeglądać strony internetowe, podgrzewać mleko do porannej kawy lub zmywać po obiedzie, zbytnio się przy tym nie przemęczając. Tym magicznym czymś jest mniej lub bardziej skomplikowany układ elektroniczny. A raczej cały zestaw takich układów, o których działaniu przeciętny użytkownik nie ma najmniejszego pojęcia.

Jeśli technika jest Ci obca, lecz zawsze ciekawiło Cię, co sprawia, że otaczające Cię sprzęty elektroniczne są w stanie ułatwiać i uprzyjemniać życie, właśnie znalazłeś odpowiednią książkę! *Przygoda z elektroniką* bezboleśnie i z humorem wprowadzi Cię w cudowny świat elektroniki, czyli zaprezentuje zasady działania podstawowych elementów i układów elektronicznych oraz zjawiska fizyczne, którym zawdzięczamy ich pracę. Wszystko, co najważniejsze, zobrazowano tu kilkudziesięcioma konkretnymi przykładami. Wkręć się w elektronikę!

- Zestawianie obwodów pomiarowych
- Podstawowe wielkości elektryczne
- Parametry biernych elementów obwodów
- Elementy półprzewodnikowe czynne i biernie
- Podstawowe bramki logiczne
- Kodowanie binarne i układy cyfrowe
- Programowanie mikrokontrolerów

Oto książka, która sprawi, że zupełnie inaczej spojrzysz na swój telewizor!

	<i>Sprawdź nasze szkolenia!</i>	KOD KORZYŚCI Sięgnij po więcej! ▶	
 helion.pl	SZKOLENIA 	ISBN 978-83-283-8568-9	
 HELION SA ul. Kościuszki 1c 44-100 Gliwice tel.: 32 230 98 63 helion@helion.pl	AKADEMIA IT & BUSINESS HELIONSZKOLENIA.PL	 9 788328 385689	
INFORMATYKA W NAJLEPSZYM WYDANIU		Cena: 99,00 zł	