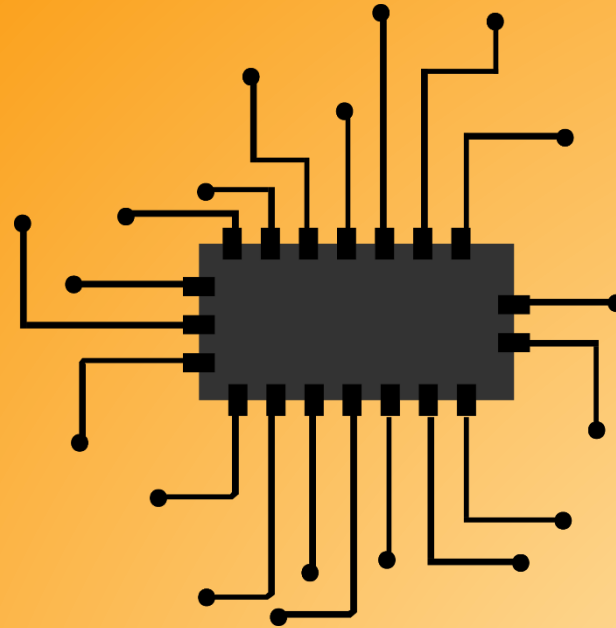


# ELEKTRONIKA

## OD PODSTAW 2



AUTODESK®  
TINKERCAD®



2

Podstawy elektroniki w oparciu o platformę Tinkercad i projekty fizyczne

# ELEKTRONIKA OD PODSTAW 2

Podstawy elektroniki w oparciu o platformę Tinkercad i projekty fizyczne

Autor, redakcja, ilustracje, skład: Mateusz Wiliński

Wydanie 1.0

Kontakt:

PIKADEMIA Mateusz Wiliński

[www.pikademia.pl](http://www.pikademia.pl)

[pikademia@gmail.com](mailto:pikademia@gmail.com)

Publikacja ELEKTRONIKA OD PODSTAW 2 została wydana w systemie self-publishing pod znakiem PIKADEMIA.

Wszystkie prawa zastrzeżone

Legnica, 2021

|   |    |
|---|----|
| Jednostki SI .....                            | 5  |
| Symbole na schematach .....                   | 6  |
| Układ okresowy pierwiastków chemicznych ..... | 7  |
| Chemia .....                                  | 8  |
| Chemia – liczby kwantowe .....                | 9  |
| Elektrostatyka .....                          | 10 |
| Elektromagnetyzm .....                        | 11 |
| Konduktywność .....                           | 12 |
| Rezystancja, ze względu na temperaturę .....  | 13 |
| Obwód elektryczny, gałąź, węzeł i oczko ..... | 14 |
| Prawo Kirchhoffa .....                        | 15 |
| Dzielnik napięcia (Voltage divider) .....     | 16 |
| Wzmacniacz napięcia (Step Up Converter) ..... | 18 |
| Energia elektryczna, a rachunki .....         | 19 |
| Moment obrotowy Nm vs dżul .....              | 20 |
| Obliczanie prądów w układzie .....            | 21 |
| Obliczanie prądów metodą węzłową 1 .....      | 23 |
| Obliczanie prądów metodą węzłową 2 .....      | 24 |
| Obliczanie prądów metodą węzłową 3 .....      | 25 |
| Obliczanie prądów metodą węzłową 4 .....      | 26 |
| Niebezpieczeństwo – bateria Li-ion .....      | 27 |
| Filtr pasywny RC .....                        | 28 |
| Filtr pasywny LC .....                        | 29 |

|  |    |
|--|----|
| Tranzystor bipolarny (BJT) .....                                   | 30 |
| Przykładowe zadania z tranzystorami .....                          | 31 |
| Układ Darlingtona i Sziklaiego .....                               | 32 |
| Układ, który wyłączy się po pewnym czasie .....                    | 33 |
| Różnica w połączeniu NPN i PNP jako switch .....                   | 34 |
| Oscylator Esaki .....  | 35 |
| Układ wykrywający podczerwień .....                                | 36 |
| Tranzystor MOSFET .....  | 37 |
| Timer 555 .....  | 38 |
| Przełącznik bistabilny z użyciem dwóch przycisków chwilowych ..... | 40 |
| Przełącznik bistabilny z pinem Reset .....                         | 41 |
| Przełącznik bistabilny z użyciem potencjometru .....               | 42 |
| Generator monostabilny (uniwibrator) .....                         | 43 |
| Generator astabilny (multiwibrator) .....                          | 44 |
| Fotorezystor LDR 55xx .....  | 46 |

## Jednostki SI

### Podstawowe jednostki układu SI

| Wielkość           | Nazwa    | Oznaczenie |
|--------------------|----------|------------|
| Długość, odległość | metr     | m          |
| Masa               | kilogram | kg         |
| Czas               | sekunda  | s          |
| Prąd elektryczny   | amper    | A          |
| Temperatura        | kelwin   | K          |
| Liczność materii   | mol      | mol        |
| Światłość          | kandela  | cd         |

Jednostki pochodne tworzone są z jednostek podstawowych, np.:

| Wielkość               | Nazwa  | Oznaczenie | W jedn. SI          |
|------------------------|--------|------------|---------------------|
| Ładunek elektryczny    | kulomb | C          | A*s                 |
| Siła                   | niuton | N          | kg*m/s <sup>2</sup> |
| Praca, energia, ciepło | dżul   | J          | N*m                 |
| Moc                    | wat    | W          | J/s                 |
| Napięcie               | wolt   | V          | W/A                 |
| Opór                   | om     | Ω          | V/A                 |
| Pojemność              | farad  | F          | C/V                 |
| Indukcyjność           | herc   | Hz         | s <sup>-1</sup>     |

### Dziesiętne wielokrotności jednostek miar

| Przedrostek | Oznaczenie | Mnożnik                                       |
|-------------|------------|---|
| eksa        | E          | 10 <sup>18</sup> = 1 000 000 000 000 000 000  |
| peta        | P          | 10 <sup>15</sup> = 1 000 000 000 000 000      |
| tera        | T          | 10 <sup>12</sup> = 1 000 000 000 000          |
| giga        | G          | 10 <sup>9</sup> = 1 000 000 000               |
| mega        | M          | 10 <sup>6</sup> = 1 000 000                   |
| kilo        | k          | 10 <sup>3</sup> = 1 000                       |
| hekto       | h          | 10 <sup>2</sup> = 100                         |
| deka        | da         | 10 <sup>1</sup> = 10                          |
| decy        | d          | 10 <sup>-1</sup> = 0.1                        |
| centy       | c          | 10 <sup>-2</sup> = 0.01                       |
| mili        | m          | 10 <sup>-3</sup> = 0.001                      |
| mikro       | μ          | 10 <sup>-6</sup> = 0.000 001                  |
| nano        | n          | 10 <sup>-9</sup> = 0.000 000 001              |
| piko        | p          | 10 <sup>-12</sup> = 0.000 000 000 001         |
| femto       | f          | 10 <sup>-15</sup> = 0.000 000 000 000 001     |
| atto        | a          | 10 <sup>-18</sup> = 0.000 000 000 000 000 001 |

| Symbol | Opis  |  | Symbol | Opis   |
|--------|---|--|--------|--|
|        | rezystor, opornik                             |  |        | LED  |
|        | potencjometr                                  |  |        | dioda prostownicza   |
|        | fotorezystor                                  |  |        | dioda zenera i schottky'ego                                      |
|        | termistor                                     |  |        | dioda IR, IR receiver  |
|        | kondensator (niespolaryzowany, spolaryzowany) |  |        | silnik   |
|        | cewka   |  |        | mikrofon, głośnik  |
|        | transformator                                 |  |        | bezpiecznik  |
|        | ogniwo, źródło napięcia                       |  |        | łącznik chwilowy (NC, NO)  |
|        | biegun ujemny, masa, uziemienie               |  |        | przełącznik (3-pozycyjny SPDT, 2-pozycyjny SPST)                 |
|        | tranzystor bipolarny NPN i PNP                |  |        | antena   |
|        | tranzystor MOSFET                             |  |        | układy scalone (czujnik pir, regulator napięcia, złodziej dżuli) |

# Układ okresowy pierwiastków chemicznych



|  |                                     |                                      |                                     |                                      |                                      |                                      |                                     |                                     |                                       |                                      |                                    |                                   |                                    |                                       |                                     |                                     |                                    |                                    |                                  |
|--|-------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|
| Układ okresowy pierwiastków chemicznych  |                                     |                                      |                                     |                                      |                                      |                                      |                                     |                                     |                                       |                                      |                                    |                                   |                                    |                                       |                                     |                                     |                                    |                                    |                                  |
| 1  |                                     |                                      |                                     |                                      |                                      |                                      |                                     |                                     |                                       |                                      |                                    |                                   | 13                                 | 14                                    | 15                                  | 16                                  | 17                                 | 18                                 |                                  |
| 1<br>2,1<br>1<br>H<br>wodór<br>1,008     |                                     |                                      |                                     |                                      |                                      |                                      |                                     |                                     |                                       |                                      |                                    |                                   | 5<br>2,0<br>B<br>bor<br>10,811     | 6<br>2,5<br>C<br>węgiel<br>12,011     | 7<br>3,0<br>N<br>azot<br>14,007     | 8<br>3,5<br>O<br>tlen<br>15,999     | 9<br>4,0<br>F<br>fluor<br>18,998   | 10<br>-<br>Ne<br>hel<br>4,003      |                                  |
| 2<br>3<br>1,0<br>Li<br>lit<br>6,941      | 4<br>1,5<br>Be<br>beryl<br>9,012    |                                      |                                     |                                      |                                      |                                      |                                     |                                     |                                       |                                      |                                    |                                   |                                    | 13<br>1,5<br>Al<br>glin<br>26,982     | 14<br>1,8<br>Si<br>krzem<br>28,085  | 15<br>2,1<br>P<br>fosfor<br>30,974  | 16<br>2,5<br>S<br>siarka<br>32,065 | 17<br>3,0<br>Cl<br>chlor<br>35,453 | 18<br>-<br>Ar<br>argon<br>39,948 |
| 3<br>11<br>0,9<br>Na<br>sód<br>22,990    | 12<br>1,2<br>Mg<br>magnez<br>24,305 | 3                                    | 4                                   | 5                                    | 6                                    | 7                                    | 8                                   | 9                                   | 10                                    | 11                                   | 12                                 | 13                                | 14                                 | 15                                    | 16                                  | 17                                  | 18                                 |                                    |                                  |
| 4<br>19<br>0,9<br>K<br>potas<br>39,098   | 20<br>1,0<br>Ca<br>wapń<br>40,078   | 21<br>1,3<br>Sc<br>skand<br>44,956   | 22<br>1,5<br>Ti<br>tytan<br>47,867  | 23<br>1,7<br>V<br>wanad<br>50,942    | 24<br>1,9<br>Cr<br>chrom<br>51,996   | 25<br>1,7<br>Mn<br>mangan<br>54,938  | 26<br>1,9<br>Fe<br>żelazo<br>55,845 | 27<br>2,0<br>Co<br>kobalt<br>58,933 | 28<br>2,0<br>Ni<br>nikiel<br>58,693   | 29<br>1,9<br>Cu<br>miedź<br>63,546   | 30<br>1,6<br>Zn<br>cynk<br>65,39   | 31<br>1,6<br>Ga<br>gal<br>69,723  | 32<br>1,8<br>Ge<br>german<br>72,61 | 33<br>2,0<br>As<br>arsen<br>74,922    | 34<br>2,4<br>Se<br>selen<br>78,96   | 35<br>2,8<br>Br<br>brom<br>79,904   | 36<br>-<br>Kr<br>krypton<br>83,798 |                                    |                                  |
| 5<br>37<br>0,8<br>Rb<br>rubid<br>85,468  | 38<br>1,0<br>Sr<br>stront<br>87,62  | 39<br>1,3<br>Y<br>itr<br>88,906      | 40<br>1,4<br>Zr<br>cyrkon<br>91,224 | 41<br>1,6<br>Nb<br>niob<br>92,906    | 42<br>2,0<br>Mo<br>molibden<br>95,94 | 43<br>1,9<br>Tc<br>technet<br>97,905 | 44<br>2,2<br>Ru<br>ruten<br>101,07  | 45<br>2,2<br>Rh<br>rod<br>102,906   | 46<br>2,2<br>Pd<br>pallad<br>106,42   | 47<br>1,9<br>Ag<br>srebro<br>107,868 | 48<br>1,7<br>Cd<br>kadm<br>112,411 | 49<br>1,7<br>In<br>ind<br>114,818 | 50<br>1,8<br>Sn<br>cyna<br>118,710 | 51<br>1,9<br>Sb<br>antymon<br>121,760 | 52<br>2,1<br>Te<br>tellur<br>127,60 | 53<br>2,5<br>I<br>jod<br>126,904    | 54<br>-<br>Xe<br>ksenon<br>131,293 |                                    |                                  |
| 6<br>55<br>0,7<br>Cs<br>cez<br>132,905   | 56<br>0,9<br>Ba<br>bar<br>137,327   | 57<br>1,1<br>La<br>lantan<br>138,905 | 72<br>1,3<br>Hf<br>hafn<br>178,49   | 73<br>1,5<br>Ta<br>tantal<br>180,948 | 74<br>2,0<br>W<br>wolfram<br>183,84  | 75<br>1,9<br>Re<br>ren<br>186,207    | 76<br>2,2<br>Os<br>osm<br>190,23    | 77<br>2,2<br>Ir<br>iryd<br>192,217  | 78<br>2,2<br>Pt<br>platyna<br>195,084 | 79<br>2,4<br>Au<br>złoto<br>196,967  | 80<br>1,9<br>Hg<br>ręć<br>200,59   | 81<br>1,8<br>Tl<br>tal<br>204,383 | 82<br>1,8<br>Pb<br>ołów<br>207,2   | 83<br>1,9<br>Bi<br>bismut<br>208,980  | 84<br>2,0<br>Po<br>polon<br>208,982 | 85<br>2,2<br>At<br>astat<br>209,987 | 86<br>-<br>Rn<br>radon<br>222,018  |                                    |                                  |
| 7<br>87<br>0,7<br>Fr<br>frans<br>223,020 | 88<br>0,9<br>Ra<br>rad<br>226,025   | 89<br>1,1<br>Ac<br>aktyn<br>227,028  | 104<br>Rf<br>rutherford<br>261,11   | 105<br>Db<br>dubn<br>263,11          | 106<br>Sg<br>seaborg<br>265,12       | 107<br>Bh<br>bohr<br>264,10          | 108<br>Hs<br>has<br>269,10          | 109<br>Mt<br>meitner<br>268,10      | 110<br>Ds<br>darmsztadt<br>281,10     | 111<br>Rg<br>roentgen<br>280         | 112<br>Cn<br>kopernik<br>285       | 113<br>Nh<br>nihonium<br>284      | 114<br>Fl<br>flerovium<br>289      | 115<br>Mc<br>moscovium<br>288         | 116<br>Lv<br>livermorium<br>292     | 117<br>Ts<br>tennessine<br>294      | 118<br>Og<br>oganesson<br>294      |                                    |                                  |

elektroujemność (wg Paulinga)

liczba atomowa (l. porządkowa)

masa atomowa, u

symbol pierwiastka chemicznego

nazwa pierwiastka chemicznego

elektroujemność (wg Paulinga)

liczba atomowa (l. porządkowa)

masa atomowa, u

symbol pierwiastka chemicznego

nazwa pierwiastka chemicznego



metale

gazy



niemetale

cieczy

|                                   |   |                                      |                                      |                                      |                                     |                                      |                                    |                                     |                                    |                                   |                                   |                                    |                                     |
|-----------------------------------|---|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|
| 1,1<br>58<br>Ce<br>cer<br>140,116 | 1,1<br>59<br>Pr<br>prazeodym<br>140,908 | 1,2<br>60<br>Nd<br>neodym<br>144,242 | 1,2<br>61<br>Pm<br>promet<br>144,913 | 1,2<br>62<br>Sm<br>samar<br>150,36   | 1,0<br>63<br>Eu<br>europ<br>151,964 | 1,1<br>64<br>Gd<br>gadolin<br>157,25 | 1,2<br>65<br>Tb<br>terb<br>158,925 | 1,2<br>66<br>Dy<br>dysproz<br>165,5 | 1,2<br>67<br>Ho<br>holm<br>164,930 | 1,2<br>68<br>Er<br>erb<br>167,259 | 1,2<br>69<br>Tm<br>tul<br>168,934 | 1,1<br>70<br>Yb<br>iterb<br>173,04 | 1,2<br>71<br>Lu<br>lutet<br>174,967 |
| 1,3<br>90<br>Th<br>tor<br>232,038 | 1,5<br>91<br>Pa<br>protaktyn<br>231,036 | 1,7<br>92<br>U<br>uran<br>238,029    | 1,4<br>93<br>Np<br>neptun<br>237,048 | 1,3<br>94<br>Pu<br>pluton<br>244,064 | 95<br>Am<br>ameryk<br>243,061       | 96<br>Cm<br>kiur<br>247,070          | 97<br>Bk<br>berkel<br>247,1        | 98<br>Cf<br>kaliforn<br>251,080     | 99<br>Es<br>einstein<br>252,088    | 100<br>Fm<br>ferm<br>257,095      | 101<br>Md<br>mendelew<br>258,098  | 102<br>No<br>nobel<br>259,101      | 103<br>Lr<br>lorens<br>262,110      |



Wiedza z chemii, podczas rozwijania wiedzy elektronicznej jest niezbędna, ponieważ zrozumienie przepływu prądu wymaga od nas wiedzy o budowie atomów, ich właściwości i zależności. Ponadto, elementy elektroniczne nie mogłyby powstać bez znajomości chemii. Działanie baterii i elektrolitów opiera się na chemii i bez jej znajomości nie mogłyby powstać nowe rodzaje akumulatorów.

Wiemy już, że atom pierwiastka składa się z dodatnio naładowanych protonów, obojętnych neutronów i ujemnie naładowanych elektronów. Elektrony krążą wokół jądra na wielu różnych powłokach. Elektrony umieszczone na ostatniej powłoce (tzw. walencyjnej) biorą udział w tworzeniu związków chemicznych, a także przemieszczają się między atomami umożliwiając przepływ prądu. Niektóre atomy chętnie przyjmują elektrony, a niektóre chętnie oddają elektrony. Zależy to od ich stopnia elektroujemności (czerwone liczby na układzie) i ilości elektronów na ostatniej powłoce. Generalnie rzecz biorąc, atomy, które mają 4 i mniej elektronów na powłoce walencyjnej będą je chętniej oddawać, a te, które mają powyżej 4 będą je chętniej przyjmować, by osiągnąć oktet (czyli, aby zappełnić powłokę 8 elektronami). Gazy szlachetne (hel, neon, itp.) nie reagują, ponieważ na ostatniej powłoce mają komplet elektronów.

Atomy, które oddają elektrony mają nadmiar ładunków dodatnich, stają się kationami, a te atomy, które przyjęły elektrony mają nadmiar ładunków ujemnych i stają się anionami. Wiemy zatem, że niektóre atomy, ze względu na swoją budowę, zazwyczaj będą stawiały się kationami jak większość metali (bo chętnie oddają elektrony, np. miedź, srebro, magnez), a inne anionami (jak większość niemetali, np. wodorów, siarka, chlor). Taka wiedza jest niezbędna przy projektowaniu np. baterii.

Będziemy poruszać wiele kwestii związanych z ładunkami elektrycznymi i większość z nich będzie dużym uproszczeniem prawdziwych zjawisk, które mają miejsce w rzeczywistości. Należy zapamiętać, że w większości przypadków, kiedy mówimy o ciałach stałych, przemieszczają się tylko ładunki naładowane ujemnie, czyli elektrony. W przewodniku, elektrony walencyjne bardzo łatwo odrywają się od atomów i tworzą chmurę elektronową, która będzie zmierzać do miejsca o wyższym potencjale energetycznym. Pamiętajmy, że ładunki o takim samym znaku się odpychają, a przyciągają się ładunki o różnych znakach. Dlatego też w prawdziwym życiu, elektrony pędzą od minusa do plusa, mimo, że umowny kierunek prądu pokazywany w większości publikacji wskazuje ruch prądu od plusa do minusa.

Kolejną, bardzo ważną informacją, jest **zasada zachowania ładunku elektrycznego**, która mówi o tym, że ładunku nie można ani stworzyć, ani zniszczyć. Może się on przemieszczać pomiędzy ciałami, ale nie może dezintegrować 😊 Podobnie, nie można stworzyć energii. Panele słoneczne, piece węglowe, czy wiatraki nie tworzą energii tylko przekształcają jeden rodzaj energii w inny. Energię kinetyczną ruchu można zamienić w prąd lub przez tarcie w ciepło, ciepło można zamienić w ruch (kotły z parą wodną), energię słoneczną można zamienić w prąd lub ciepło, itp. itd. W ostatecznym rachunku, bilans energetyczny pozostaje stały, nie ma takiej możliwości, aby za pomocą małej energii, wykonać pracę wymagającą dużej energii.

Wiesz, że, gdy przewód miedziany rozgrzewa się, jego rezystancja rośnie? Dlaczego?

Im przedmiot staje się cieplejszy, tym zwiększa się drganie atomów. Drgające atomy stają się większą przeszkodą dla przepływających elektronów, część z nich zderza się z jądrami wyzwalając dodatkowe ciepło i powodując, że mniej elektronów dociera do końca w określonym czasie.

Podobnie jest z przekrojem przewodnika, im grubszy przewód tym elektrony mają więcej miejsca do swobodnego przepływu, a dzięki temu wydzielają mniej ciepła. Im grubszy przewód, tym mniejsza rezystancja. Wszystkie te właściwości mają swój początek w mikrostrukturze, dlatego musimy poznać część z tych zagadnień, by stać się dobrym elektronikiem.



Atom składa się z powłok(K,L,M,N,O,P,Q), podpowłok (s,p,d,f) i orbitali(x,y,z,...).

Maks. ilość elektronów na powłokach oblicza się ze wzoru  $2s^2$ , czyli K=2, L=8, M=18, N=32, O=50, P=72, Q=98, choć nie znaleziono (wynaleziono) jeszcze pierwiastków, które mogłyby zapełnić choćby powłokę O.

Maks. ilość elektronów na podpowłokach to: s=2 (1 orbital), p=6 (3 orbitale), d=10 (5 orbitali), f=14 (7 orbitali).

Wszystko to określają liczby kwantowe i nie mogą istnieć 2 elektrony o takiej samej liczbie kwantowej w danym atomie.

Na powłoce K, jest jedna podpowłoka s, z jednym orbitalem co daje maksymalną liczbę elektronów = 2

Na powłoce L, są 2 podpowłoki s i p. Na podpowłoce s, zawsze może być maksymalnie 2 elektrony, a na podpowłoce p mogą być 3 orbitale po 2 elektrony, czyli maksymalnie 6 elektronów. Razem na powłoce L może być maksymalnie 8 elektronów.

Na powłoce M, są 3 podpowłoki s, p i d. Na s mogą być maks. 2 elektrony, na p mogą być może być maks. 6 elektronów, a na d maks. 5 orbitali po 2 elektrony, czyli 10 elektronów. Łącznie na powłoce M może być 18 elektronów.

Oczywiście w naturze, nic nie działa zero-jedynkowo i istnieje pełno odstępstw i wyjątków, a samo rozdzielanie elektronów na powłokach nie przebiega tak prostoliniowo. Istnieje schemat rozmieszczania elektronów i wygląda to tak, że czasami najpierw zapełnia się część kolejnej powłoki, zanim w pełni zapełni się powłokę bliższą jądra. Ma to związek z poziomami energetycznymi elektronów.

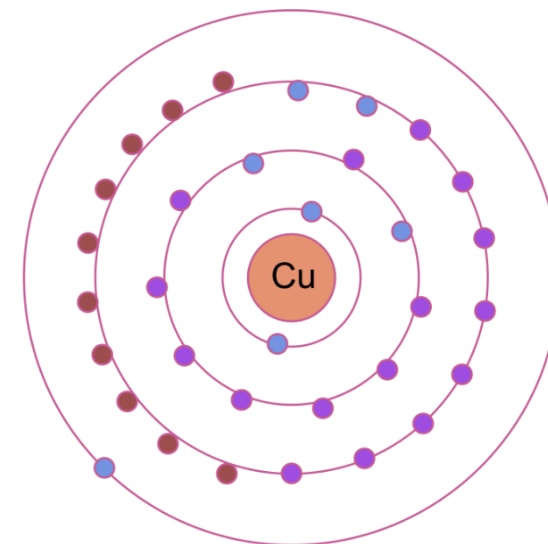
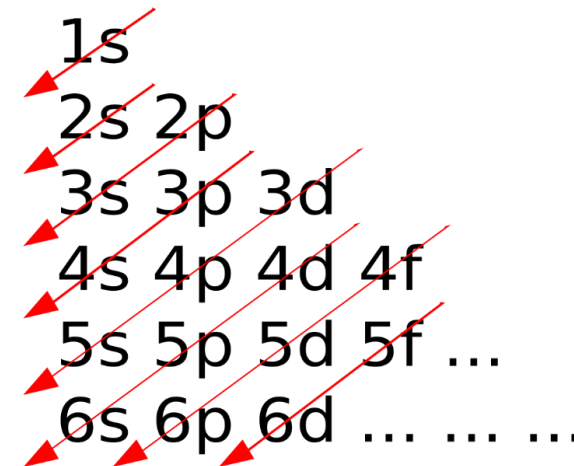
Weźmy za przykład miedź, ponieważ jest ona głównym pierwiastkiem, z którego wytwarza się przewody elektryczne.

Miedź jest na 29 miejscu, w 11 grupie układu pierwiastków i 4 okresie, więc posiada 29 elektronów na 4 powłokach i teoretycznie 1 elektron walencyjny. Zobaczmy jak rozkładają się elektrony w tym pierwiastku, zgodnie z regułą przedstawioną obok.

K – s=2                      L – s=2, p=6                      M – s=2, p=6                      N – s=1                      M – d=10

Konfigurację atomu miedzi możemy zapisać następująco:  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^1$

Teoretycznie na ostatniej powłoce N jest 1 elektron, ale w rzeczywistości w reakcjach może brać udział aż 11 elektronów walencyjnych.



Elektrostatyka zajmuje się oddziaływaniami i właściwościami ładunków elektrycznych, które są w spoczynku.

Dlaczego jest to dla Nas ważne?

Nieświadomość zjawiska elektrostatyczności może być niebezpieczna, ponieważ ciało obce naładowane ładunkiem może w jednej chwili przenieść ładunek na inne ciało wyzwalając dźwięk, ciepło i łuk elektryczny. Z pewnością zdarzyło Ci się czuć wyładowania elektrostatyczne, podczas zdejmowania polaru lub koszulki z poliestru. Z drugiej strony, porządnym wyładowaniem elektrostatycznym jest uderzenie pioruna. Układy elektroniczne nie lubią wyładowań elektrostatycznych, ponieważ cechuje je nagłe uwolnienie ładunku, które może zniszczyć podzespoły elektroniczne (szczególnie narażone są tranzystory mosfet), które mogą ulec zniszczeniu nawet przed wpięciem ich do układu. Dlatego większość komponentów elektronicznych sprzedaje się i przechowuje wewnątrz specjalnych torebek(folii) antystatycznych, które zapobiegają gromadzeniu się ładunku. Technicy, którzy pracują przy elektronice noszą specjalne opaski elektrostatyczne, które za pomocą przewodu odprowadzają ładunki czyniąc stanowisko pracy bezpiecznym.



Spodziewamy się, że materiały plastikowe ładują się ujemnie, a szkło dodatnio. Laska ebonitowa pocierana wełną naładowuje się ładunkiem ujemnym, a wełna dodatnim. Jeżeli laskę szklaną pocieramy jedwabiem, to szkło naelektryzuje się dodatnio, a jedwab ujemnie. Balon pocierany o włosy naładowuje się ujemnie, a włosy dodatnio.

Ryzyko wyładowań elektrostatycznych: <https://www.youtube.com/watch?v=IGkzU2YXI3g>

Ładunek elektryczny oznaczany jest literą  $q$  lub  $Q$ , a jego jednostką jest kulomb o symbolu  $C$ . 1 elektron ma ładunek równy  $-1,602 \cdot 10^{-19} C$ .

1C to ładunek na który składa się  $6,24 \cdot 10^{18}$  elektronów ( $1C = 1 / 1,602 \cdot 10^{-19} = 6,24 \cdot 10^{18}$ ).

## Prawo Coulomba

Dwa ładunki punktowe przyciągają się lub odpychają siłą o wartości wprost proporcjonalnej do iloczynu wartości tych ładunków, a odwrotnie proporcjonalnej do kwadratu odległości między tymi ładunkami:

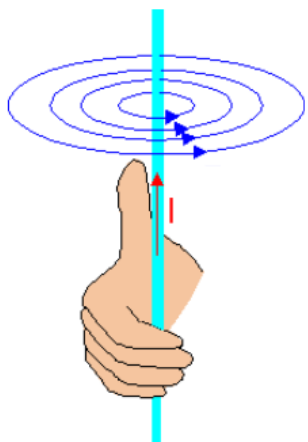
$$F_e = k \frac{q_1 * q_2}{r^2}$$

$F_e$  – siła wzajemnego oddziaływania

$q_1, q_2$  – wartości ładunków elektrycznych

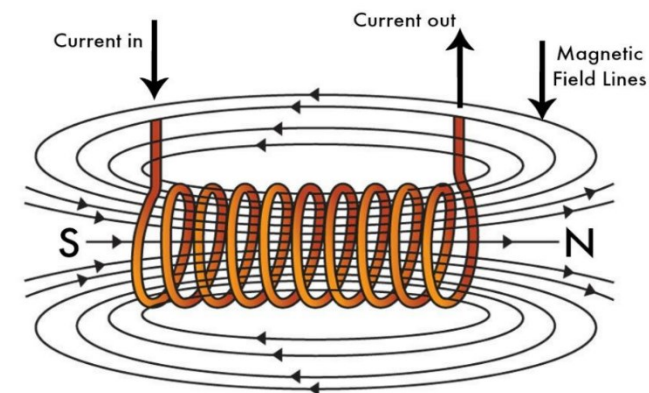
$r$  – odległość między ładunkami (środkami naelektryzowanych ciał)

$k$  – wsp. proporcjonalności



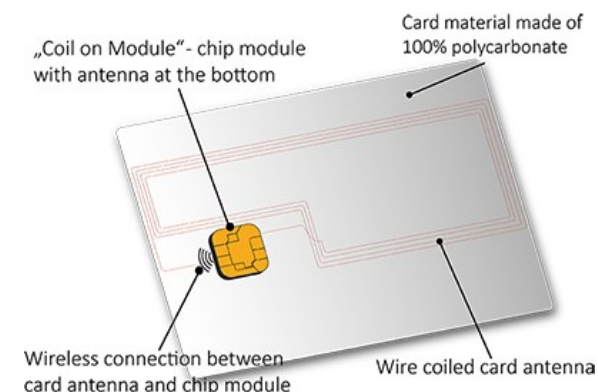
Jednym ze skutków przepływu prądu w przewodniku jest pojawienie się wokół tego przewodnika pola magnetycznego. W celu wyznaczenia kształtu i zwrotu linii pola magnetycznego, używa się reguły prawej dłoni. Kciuk wskazuje kierunek przepływu prądu, a pozostałe zgięte palce wskazują kształt i zwrot linii pola magnetycznego.

Często będziemy mieć do czynienia ze zwojnicą (solenoidem), czyli przewodem w postaci zwojów. jeżeli prawą dłoń obejmiemy zwojnicę tak, by cztery zgięte palce wskazywały kierunek prądu w zwojach, to odchylony kciuk wskaże północny biegun magnetyczny zwojnicy.



Za pomocą zwojnicy i umieszczonego wewnątrz rdzenia można stworzyć elektromagnes. Prąd płynący przez zwojnicę, wytwarza pole magnetyczne, które magnesuje rdzeń, który staje się silnym magnesem. Po przerwaniu prądu, rdzeń ulega szybkiemu rozmagiesowaniu. Przewód używany do takiego projektu musi być oczywiście izolowany. Są to specjalne druty nawojowe, która mają cieniutką warstwę izolacji. Siła elektromagnesu zależy od wielu czynników, np.: od tego z czego wykonany jest rdzeń, ile zwojów ma zwojnica i jak gruby jest przewód zwojnicy czy jaki prąd przepływa przez zwojnicę. Oczywiście jeżeli użyjemy zbyt grubego i krótkiego przewodu to będziemy powodować zwarcie w baterii i będzie się ona grzać, trzeba odpowiednio dobrać przekrój przewodu i jego długość oraz liczbę zwojów, by cały układ działał prawidłowo.

Wytwarzające się pole magnetyczne jest podstawą działania silników elektrycznych, transformatorów i wielu urządzeń elektronicznych. Karty kredytowe lub chipy do mieszkań mają wbudowany chip połączony ze spiralą (taki układ nazywamy RFID), która po zbliżeniu do źródła prądu (a przez to wchodzi w jego pole magnetyczne) część energii jest indukowana (przenoszona) na kartę i w ten sposób informacja z chipu może być przekazana do urządzenia. Oczywiście karty i chipy nie mają baterii i są zasilane za pomocą pola magnetycznego. Wygięte, złamane karty lub takie, które były narażone na silne pole magnetyczne mogą przestać działać prawidłowo.



## Konduktywność

Konduktywność to wielkość określająca własności przewodzące przewodnika. To, czy dany materiał jest dobrym przewodnikiem, zależy od liczby elektronów swobodnych przypadających na jednostkę objętości materiału.

Przewodnictwo metali spada przy wzroście temperatury, a przewodnictwo w roztworach kwasów, soli i zasad rośnie wraz ze wzrostem temperatury.

Obok, w tabeli, przedstawione są wartości konduktywności dla poszczególnych materiałów w jednostce S/m (simens na metr)

$$\sigma = \frac{J}{E} = \frac{A * m}{m^2 * V} = \frac{S}{m} = \frac{1}{\Omega * m}$$

| Substancja    | Przewodność właściwa 1/(Ωm) |
|---------------|-----------------------------|
| srebro        | 61,39·10 <sup>6</sup>       |
| miedź         | 58,6·10 <sup>6</sup>        |
| złoto         | 44,0·10 <sup>6</sup>        |
| glin          | 36,59·10 <sup>6</sup>       |
| wolfram       | 18,38·10 <sup>6</sup>       |
| żelazo        | 10,02·10 <sup>6</sup>       |
| cyna          | 9,17·10 <sup>6</sup>        |
| Sn 63% Pb 37% | ok. 6,9 ·10 <sup>6</sup>    |
| chrom         | 8,74·10 <sup>6</sup>        |

Odwrotność konduktywności oznaczamy przez  $\rho$  i nazywamy rezystywnością materiału przewodzącego. Jednostką rezystywności jest omometr ( $\rho = \Omega m$ ), a symbolem  $\rho$  (ro).

$$\rho = \frac{1}{\sigma}$$

Obliczanie rezystancji przewodu w temp. pokojowej, tj. 20°C

$$R = \frac{U}{I} = \frac{l}{\sigma S} = \frac{\rho l}{S}$$

$l$  – długość przewodnika w m

$S$  – przekrój przewodnika w m<sup>2</sup> ( $S$  w mm<sup>2</sup> \* 10<sup>-6</sup>)

$\sigma$  – konduktywność

$\rho$  – rezystywność

Wiemy już, że rezystancja przewodników rośnie wraz ze wzrostem temperatury, za pomocą poniższego wzoru możemy obliczyć rezystancję przewodnika w temperaturach różnych od 293K (20°C), ponieważ ta wartość jest wartością bazową.

$$R_T = R_0[1 + \alpha(T - T_0)]$$

$R_0$  – rezystancja w temp. bazowej

$T, T_0$  – temp. docelowa, temp. bazowa

$\alpha$  (współczynnik temperaturowy rezystancji) = 0.004 1/K

Możemy powiedzieć, że przewód miedziany żyłowy o przekroju 2.5mm<sup>2</sup> ( $R = 7,41\Omega/\text{km}$  w temp. 20°) w temp. 100°C będzie miał rezystancję równą:

$$R_T = 0,00741\Omega/\text{m}[1 + 0,004(100 - 20)] = 0,00978\Omega/\text{m}$$

co daje nam rezystancję większą o ponad 30%.

Obliczanie rezystancji przewodu ze względu na jego długość, przekrój i temperaturę

Przykład

Oblicz wartość rezystancji przewodu miedzianego o długości  $l=30\text{m}$  i przekroju  $S=0,2\text{mm}^2$  (AWG 24, średnica 0,5mm) w temperaturze  $t_1=20^\circ\text{C}$  i  $t_2=60^\circ\text{C}$ .

$$R_1 = l / \sigma S = 30\text{m} / (58,6 \cdot 10^6 \text{ 1}/\Omega\text{m} * 0,2 \cdot 10^{-6} \text{m}^2) = 2,56\Omega$$

$$R_2 = R_1(1 + \alpha(60-20)) = 2,56\Omega(1+0,004*40) = 2,56\Omega * 1,16 = 2,97\Omega$$

Przykład

Oblicz wartość rezystancji przewodu miedzianego o długości  $l=10\text{km}$  i przekroju  $S=120\text{mm}^2$  w temperaturze  $t_1=20^\circ\text{C}$  i  $t_2=40^\circ\text{C}$ .

$$R_1 = l / \sigma S = 10000\text{m} / (58,6 \cdot 10^6 \text{ 1}/\Omega\text{m} * 120 \cdot 10^{-6} \text{m}^2) = 1,42\Omega$$

$$R_2 = R_1(1 + \alpha(40-20)) = 1,42\Omega(1+0,004*20) = 1,42\Omega * 1,08 = 1,53\Omega$$

Najprostszy obwód elektryczny składa się z jednego elementu źródłowego (np. ogniwa) i jednego elementu odbiorczego, np. rezystora. Taki obwód nazywamy obwodem nierozgałęzionym, ponieważ występuje w nim tylko jedna wartość prądu (przez wszystkie elementy płynie takie same natężenie).

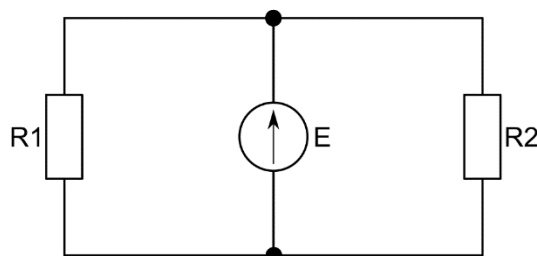
**Gałąź** obwodu jest utworzona przez jeden lub kilka połączonych ze sobą szeregowo elementów.

**Węzeł** obwodu elektrycznego to zacisk gałęzi, do której jest przyłączona inna gałąź lub kilka gałęzi.

Gałąź obwodu jest ograniczona dwoma węzłami.

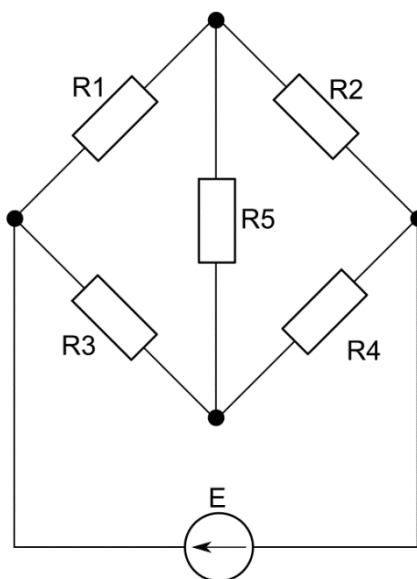
Schemat 1

Układ o 2 węzłach i 3 gałęziach



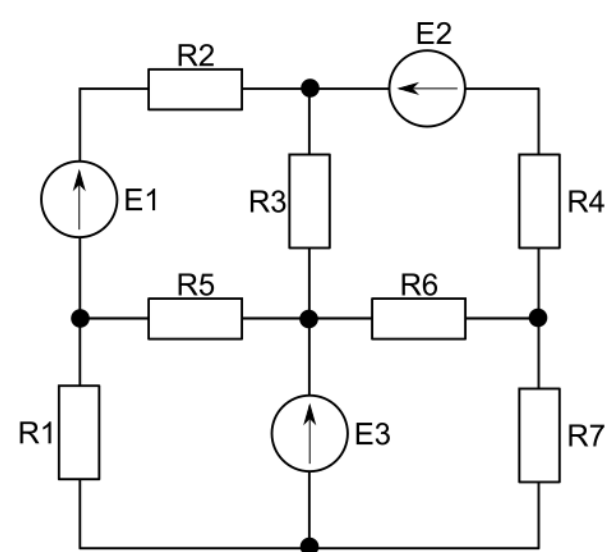
Schemat 2

Układ o 4 węzłach i 6 gałęziach



Schemat 3

Układ o 5 węzłach i 8 gałęziach



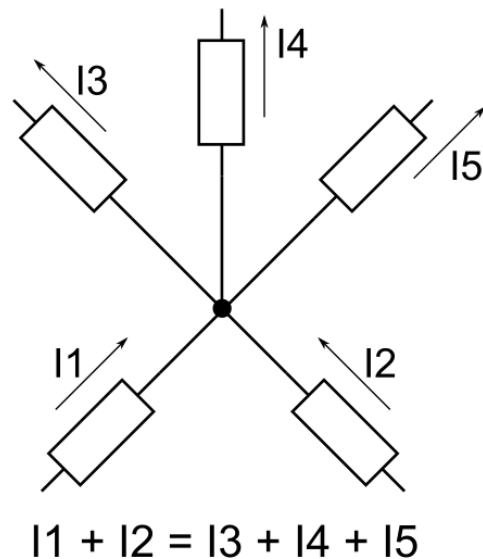
Oczko to zbiór połączonych ze sobą gałęzi, tworzących drogę zamkniętą dla przepływu prądu. Oczko ma taką własność, że po usunięciu dowolnej gałęzi, pozostałe gałęzie nie tworzą drogi zamkniętej.

Po co nam ta wiedza? Kiedyś zapewne przyjdzie nam obliczać prądy płynące w danych oczkach za pomocą specjalnych praw i operacji matematycznych.

Ale na pewno nie dziś, ani jutro...Może kiedyś... 😊 Dla ciekawych, możecie zajrzeć na yt do Wojtka Wojciechowskiego lub ieso.pl, który tłumaczy to bardzo dobrze: <https://www.youtube.com/watch?v=eRA3sc0oOak> , ale bez obaw, to już są zagadnienia zaawansowane, których nie będziemy poruszać w tym kursie.

## Prądowe prawo Kirchhoffa (I prawo Kirchhoffa)

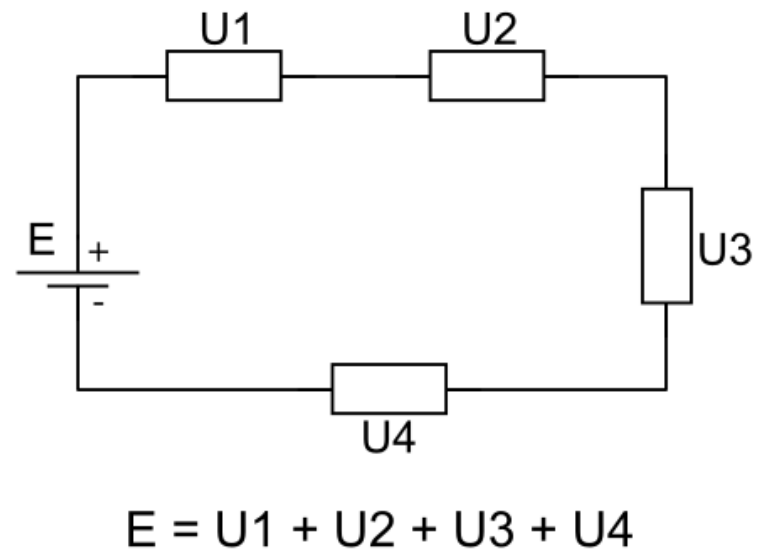
Suma prądów wpływających do węzła jest zawsze równa sumie prądów z niego wypływających.

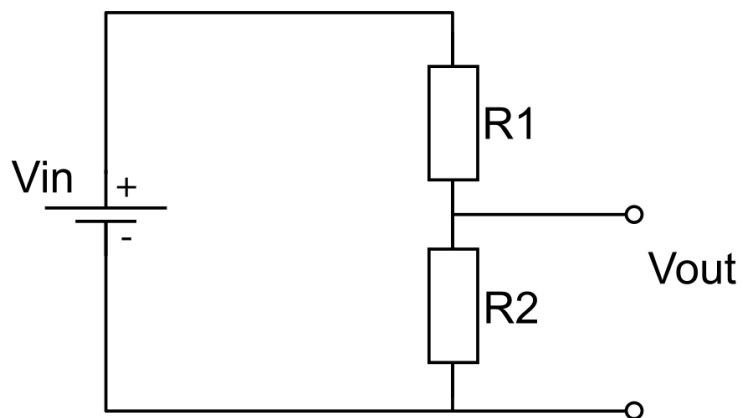


## Napięciowe prawo Kirchhoffa (II prawo Kirchhoffa)

Suma napięć na wszystkich komponentach szeregowego obwodu prądu stałego wynosi zero (biorąc pod uwagę polaryzację) lub inaczej

W zamkniętym obwodzie suma spadków napięć na oporach równa jest sumie sił elektromotorycznych występujących w tym obwodzie, przy czym obwód ten może być elementem większej sieci. Wówczas nosi on nazwę oczka sieci.

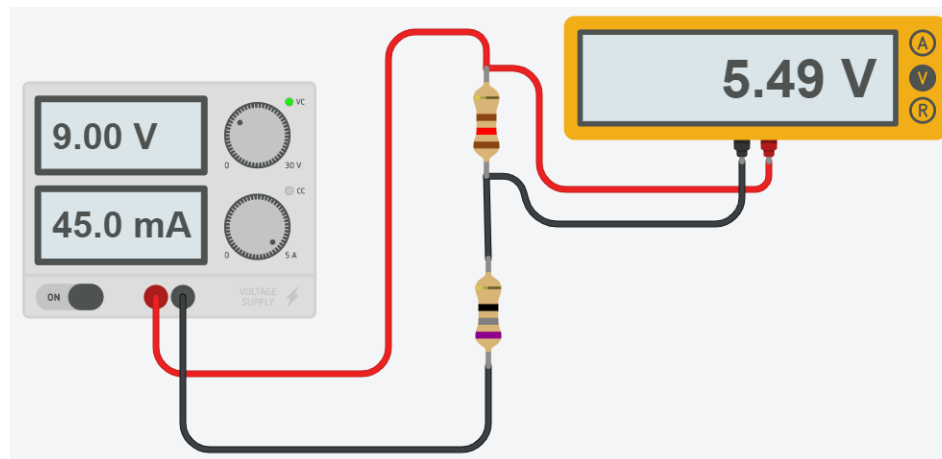




$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} * V_{in}$$

Przykład:

Stwórz dzielnik napięcia, tak, aby prąd płynący w układzie wynosił 45mA, a napięcia na wyjściu wynosiły 5.5V i 3.5V.



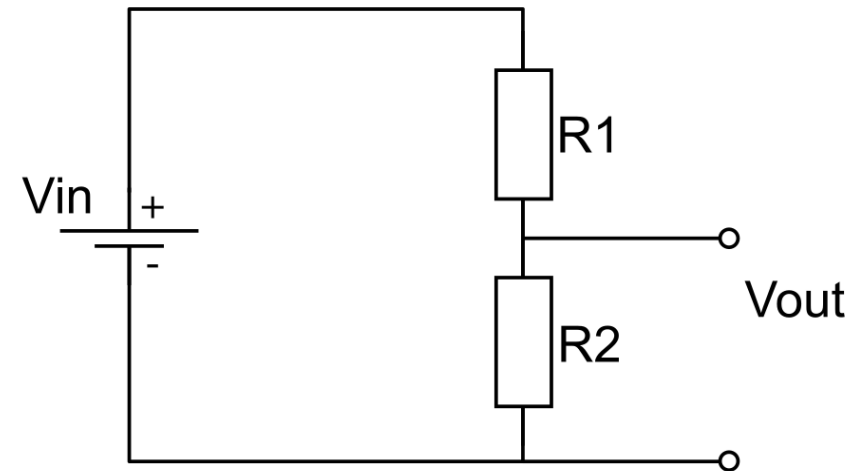
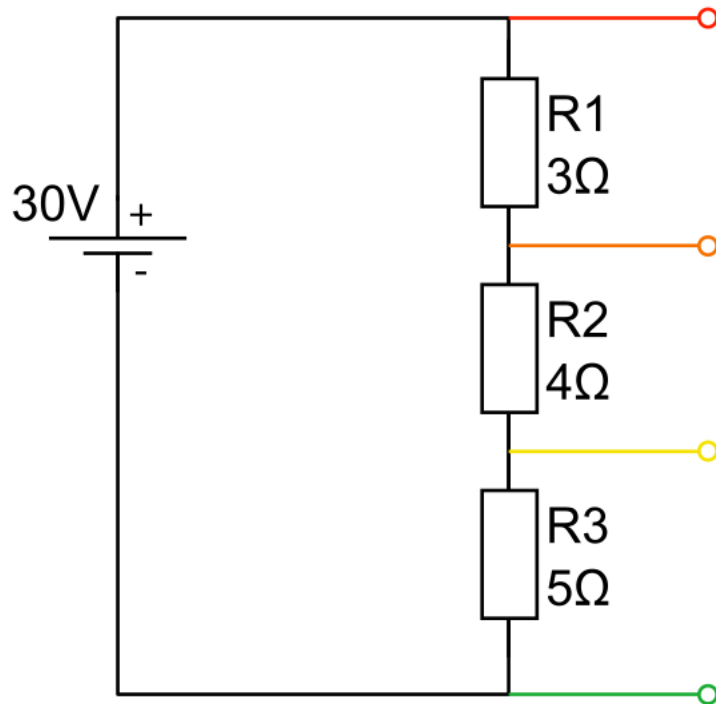
1. Oblicz maksymalny prąd, który może przepłynąć przez rezystor  $R_1$  o mocy 0.25W, ponieważ taki też będzie maksymalny prąd płynący w układzie  $P=U*I$

2. Oblicz rezystancję zastępczą obu rezystorów  $U = I * R$

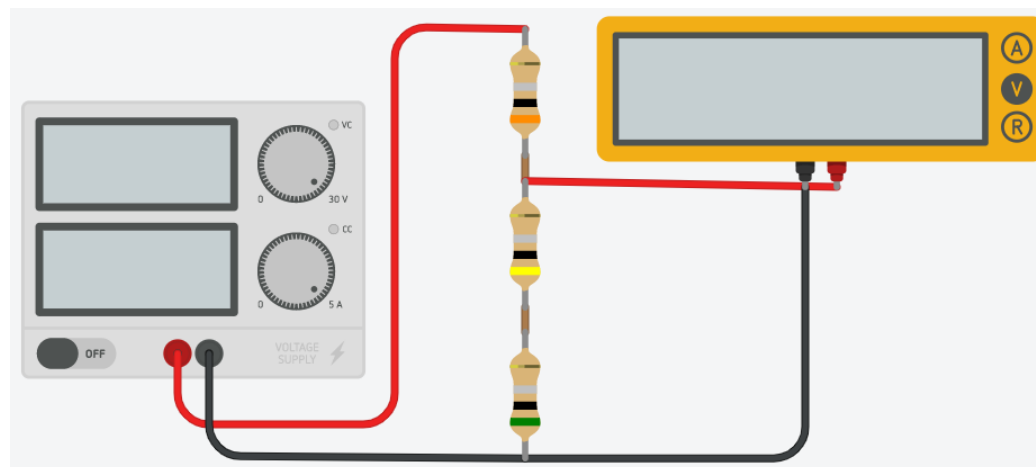
3. Oblicz  $R_1$  ze wzoru

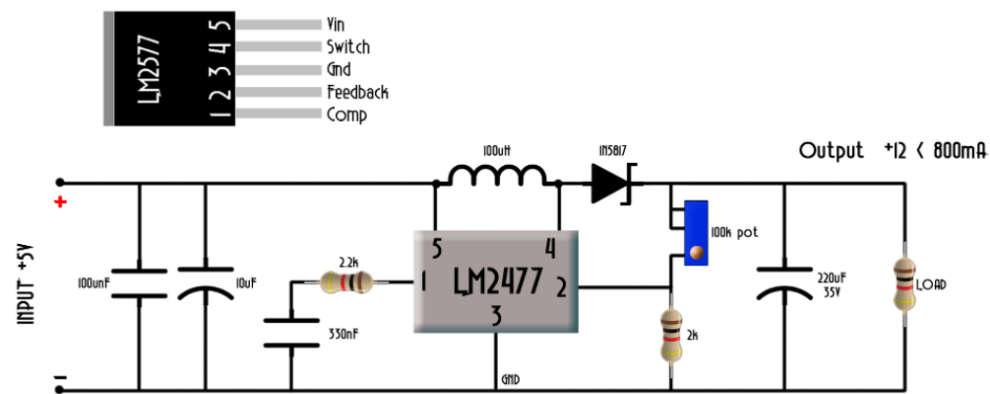
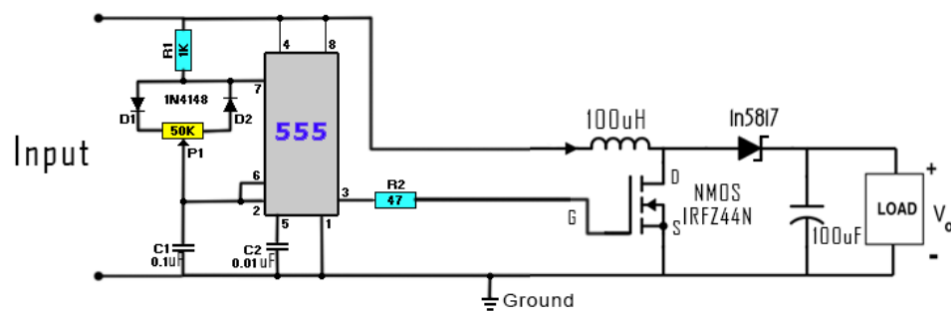
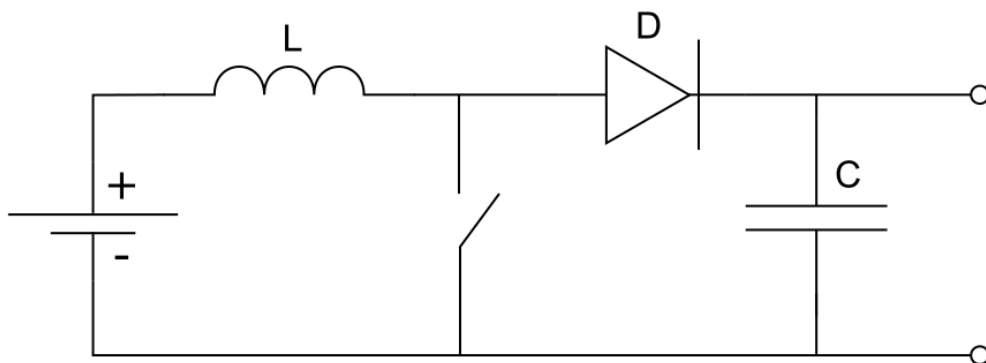
$$V_{out} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} * V_{in}$$





$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} * V_{in}$$





Rachunki, które płacimy za zużytą energię elektryczną są przedstawiane w jednostce zwanej kilowatogodziną (kWh). Jest to tysiąc watów na godzinę.

Prześledźmy poniższy przykład, aby mieć pewność, że wiecie jak odnieść moc i zużycie urządzenia do kosztów jego użytkowania.

Przykład.

Oblicz wartość energii elektrycznej pobranej podczas suszenia włosów przez 20min suszarką o mocy 2000W. Wynik podaj w kWh. Sprawdź cenę energii i oblicz koszt użycia urządzenia w podanych warunkach.

$$t(\text{czas}) = 20\text{min} = 1/3\text{h}$$

$$P(\text{moc}) = 2000\text{W} = 2\text{kW}$$

$$W(\text{praca}) = P \cdot t = 2\text{kW} \cdot 1/3\text{h} = 2/3\text{kWh} = 0,67\text{kWh}$$

Średnia cena 1kWh w Polsce w 2021 wynosi ok. 0,76zł.

Koszt używania suszarki przez 20min to:  $0,67\text{kWh} \cdot 0,76\text{zł} = 0,51\text{zł}$ .

Teraz policzymy ile energii zużyje małe urządzenie, które podłączymy do ładowarki od telefonu i jaki będzie roczny koszt użytkowania. Załóżmy, że to będzie LED, która sama włączy się po zapadnięciu zmroku.

Widzimy, że nasz układ działa pod napięciem 5V i pobiera 14,7mA prądu.

$$P(\text{moc}) = U \cdot I = 5\text{V} \cdot 0,0147\text{A} = 0,0735\text{W}$$

Jednak nie uwzględniono tutaj, mocy pobieranej przez zasilacz. Ładowarka też zużywa energię, nawet jak nic nie jest do niej podłączone. Przyjmijmy, że jest to 0,1W.

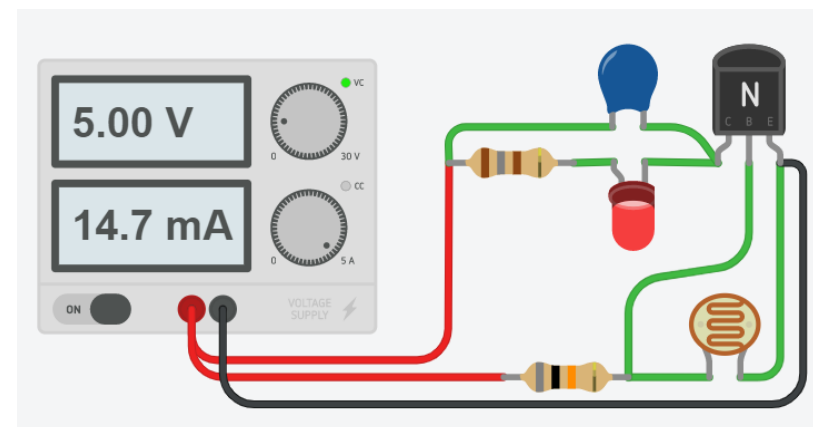
$$P(\text{moc}) = 0,0735\text{W} + 0,1\text{W} = 0,1735\text{W} = 0,0001735\text{kW}$$

Oczywiście w dzień, urządzenie będzie pobierać prąd rzędu mikroamperów, więc prawie pomijalny, wieczorem pobór się będzie zwiększał, a w nocy będzie największy. Ciężko byłoby to wszystko uwzględnić więc przyjmijmy, że średnio urządzenia pracuje 12h dziennie z pełną wydajnością.

$$t(\text{czas}) = 12\text{h} \cdot 365\text{dni} = 4380\text{h}$$

$$W(\text{praca}) = 0,0001735\text{kW} \cdot 4380\text{h} = 0,76\text{kWh}$$

Koszt zasilania takiego urządzenia przez cały rok to zaledwie  $0,76\text{kWh} \cdot 0,76\text{zł} = 0,58\text{zł}$ .



## Dżul vs. Nm (moment obrotowy)

Patrząc na jednostki układu SI, napotykamy pewną nieścisłość. Określając pracę czy energię używamy jednostki dżul, czyli Nm. Ta sama jednostka, Nm, spotykana jest do określania momentu siły dla silników. I mimo, że to jest to samo, to jednak to nie jest to samo 😊

Niutonometr, mimo, że ma takie same składowe, co dżul, to jednak nie można tych jednostek używać zamiennie. Określając energię, używamy dżula, a określając moment obrotowy używamy niutonometra, czyli Nm.

Bedąc przy temacie warto go odrobinę zgłębić, ponieważ (jak to zazwyczaj w świecie bywa) nie zawsze sprzedawcy czy firmy podają Nam łatwe do odczytania dane. Moment obrotowy silnika mówi jak łatwo będzie silnikowi wykonać obrót przy podanym promieniu i wadze obciążenia, więc można powiedzieć, że im większy moment tym silnik będzie silniejszy 😊 Możemy też powiedzieć, że moment obrotowy to siła, potrzebna, by zatrzymać obracający się wirnik silnika.

Często, chcąc kupić silnik, nie znajdziemy informacji o momencie obrotowym podanym w Nm, lecz w innych pseudojednostkach, np. kg\*cm, a czasami w ogóle takiej informacji nie znajdziemy.

Jak więc przeliczyć taką pseudojednostkę kg\*cm na Nm?

Zaużmy, że widzimy silnik o podanym momencie 2.2kg.cm.

Zastanówmy się czym w ogóle jest 1N? 1N to siła, która nadaje przyspieszenie  $1\text{m/s}^2$  ciału o wadze 1kg. Na ziemi działa na nas siła przyciągania o wartości  $9.81\text{m/s}^2$ , czyli ciało o wadze 1kg spada z przyspieszeniem  $9.81\text{m/s}^2$ , czyli prawie 10-krotnie większym. W związku z tym możemy przyjąć, że 1kg na Ziemi to inaczej 9.81N.

Mnożymy  $2.2 * 9.81\text{N} * \text{cm}$ , co daje Nam 21.6Ncm.

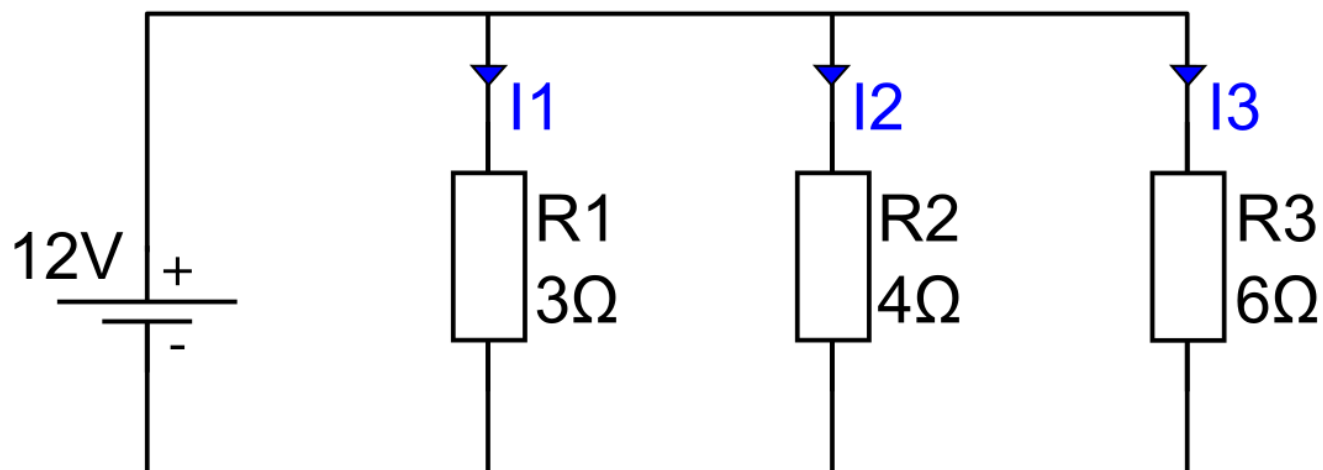
Podana jednostka nadal odbiega od Nm, ponieważ powyżej mamy cm zamiast metra. 1cm to 0.01m, więc w miejsce cm wstawiamy 0.01m:

$$21.6\text{N} * 0.01\text{m} = 0.216\text{Nm}$$

Moment obrotowy na wale silnika, można obliczyć z podanej mocy P i liczby obrotów n:

$$M[\text{Nm}] = 9550 \frac{P [\text{kW}]}{n [\frac{\text{obr}}{\text{min}}]}$$

Silnik o mocy 45W i 10000RPM będzie miał moment na wale równy:  $9550 * 0.045\text{kW} / 10000 = 0.04\text{Nm}$



$$U1 = I1 * R1$$

$$12V = I1 * 3\Omega$$

$$I1 = \frac{12V}{3\Omega} = 4A$$

$$U2 = I2 * R2$$

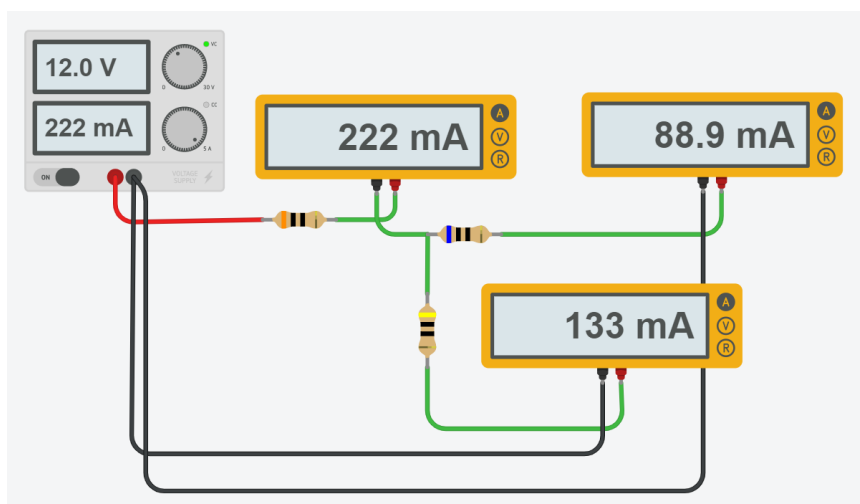
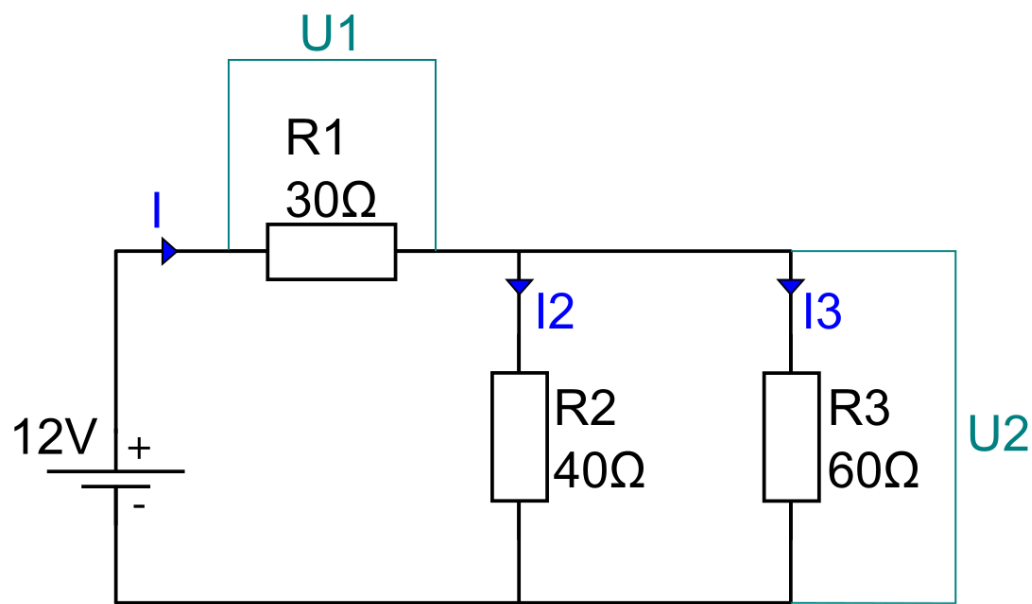
$$12V = I2 * 4\Omega$$

$$I2 = \frac{12V}{4\Omega} = 3A$$

$$U3 = I3 * R3$$

$$12V = I3 * 6\Omega$$

$$I3 = \frac{12V}{6\Omega} = 2A$$



$$\frac{1}{R_{Z12}} = \frac{1}{R2} + \frac{1}{R3}$$

$$\frac{1}{R_{Z12}} = \frac{1}{40} + \frac{1}{60} = \frac{3}{120} + \frac{2}{120} = \frac{5}{120}$$

$$R_{Z12} = \frac{120}{5} = 24\Omega$$

$$U = I * R \rightarrow I = \frac{U}{R} = \frac{12V}{54\Omega} = 0,22A$$

$$U1 = I * R1 = 0,22A * 30\Omega = 6,7V$$

$$U2 = I * R2 = 0,22A * 24\Omega = 5,3V$$

$$I2 = \frac{U2}{R2} = \frac{5,3V}{40\Omega} = 0,133A$$

$$I3 = \frac{U3}{R3} = \frac{5,3V}{60\Omega} = 0,088A$$

W celu wyznaczenia prądów metodą węzłową należy:

- 1) Zidentyfikować węzły
- 2) Wybrać węzeł referencyjny (zazwyczaj ten na dole z potencjałem 0V)
- 3) Napisać równania (ilość równań jest zawsze o jeden mniejsza od ilości węzłów)

Wyznaczenie napięcia na węźle V1

$$\frac{V1 - 10V}{2\Omega} + \frac{V1}{5\Omega} + \frac{V1}{4\Omega} = 0$$

$$0,5V1 - 5V + 0,2V1 + 0,25V1 = 0$$

$$0,95V1 = 5V$$

$$V1 = 5,26V$$

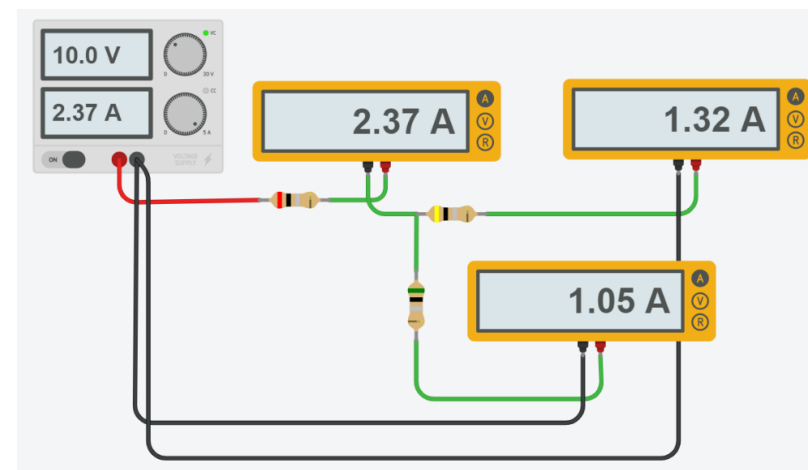
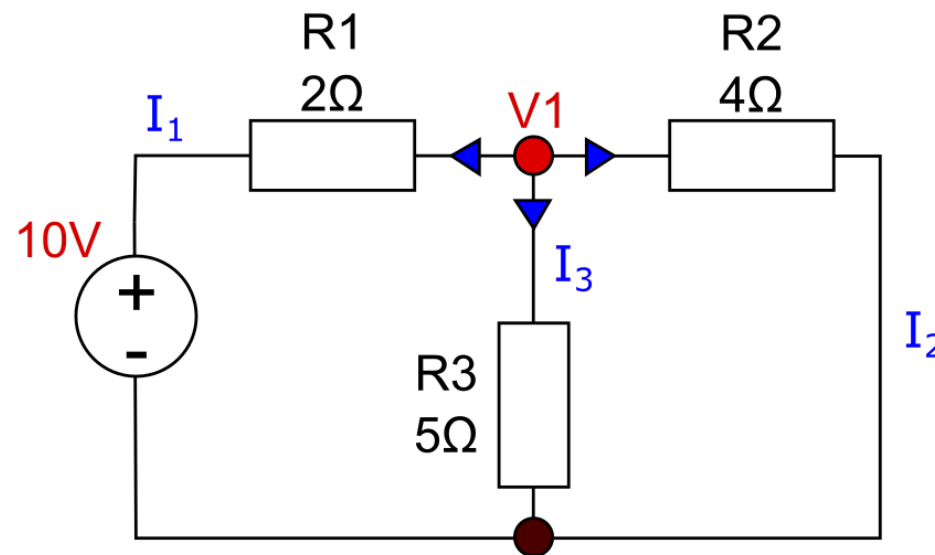
Wyznaczenie prądów w gałęziach

$$I_1 = \frac{V1 - 10V}{2\Omega} = \frac{-4,74}{2\Omega} = -2,37A$$

$$I_2 = \frac{V1 - 0}{4\Omega} = \frac{5,26}{4\Omega} = 1,315A$$

$$I_3 = \frac{V1 - 0}{5\Omega} = \frac{5,26}{5\Omega} = 1,052A$$

Wartość ujemna prądu I1 oznacza, że wstępne założenie było błędne, ponieważ prąd I1 wpływa do węzła V1, a nie odwrotnie.



Obliczamy prądy na każdej gałęzi dołączonej do węzła V1

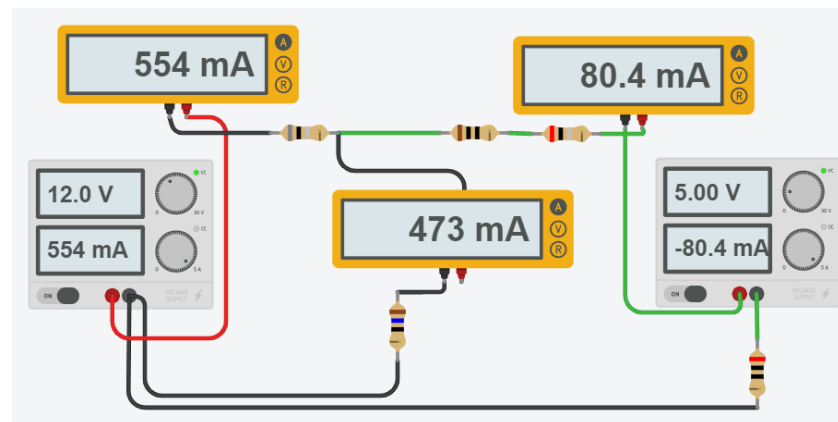
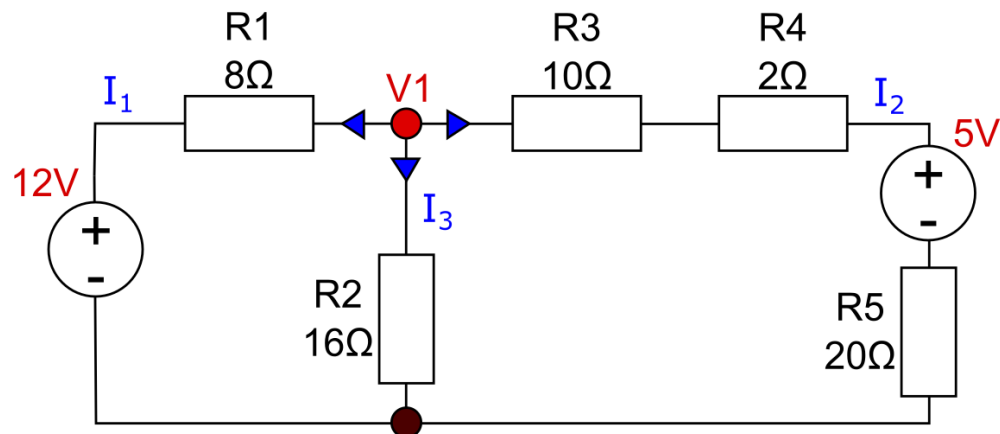
$$\frac{V1 - 12}{8\Omega} + \frac{V1}{16\Omega} + \frac{V1 - 5}{32\Omega} = 0$$

$$V1 = 7,57\text{V}$$

$$I_1 = -0,55\text{A}$$

$$I_2 = 0,08\text{A}$$

$$I_3 = 0,47\text{A}$$





$$1) -6A + \frac{V1}{40\Omega} + \frac{V - V2}{8\Omega} = 0$$

$$2) \frac{V2 - V1}{8\Omega} + \frac{V2}{80\Omega} + \frac{V2}{120\Omega} + 1A = 0$$

$$1) 6V1 - 5V2 = 240$$

$$2) -30V1 + 35V2 = -240$$

$$V1 = 120$$

$$V2 = 96$$

$$I1 = 6A$$

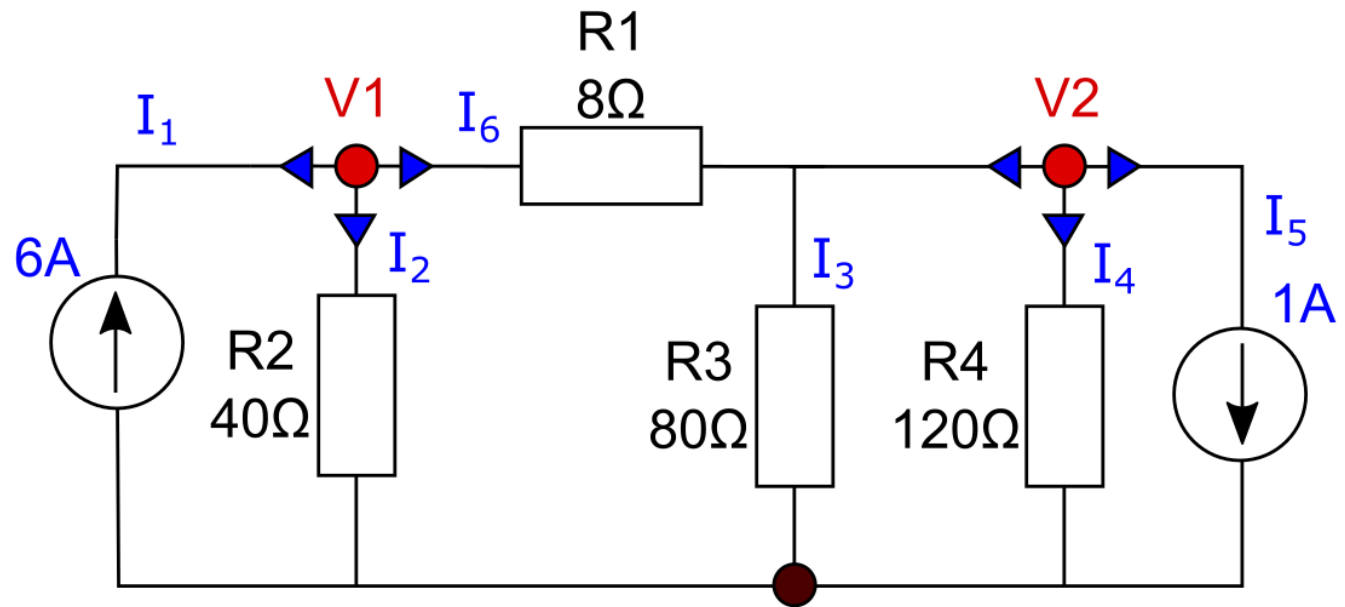
$$I2 = 3A$$

$$I3 = 1,2A$$

$$I4 = 0,8A$$

$$I5 = 1A$$

$$I6 = 3A$$



$$1) \frac{V1 - 12}{471} + \frac{V1 + 5}{1} + \frac{V1 - V2}{100} = 0$$

$$2) \frac{V2 - V1}{100} + \frac{V2}{220} + \frac{V2}{390} = 0$$

$$V1 = -4,94V$$

$$V2 = -2,89V$$

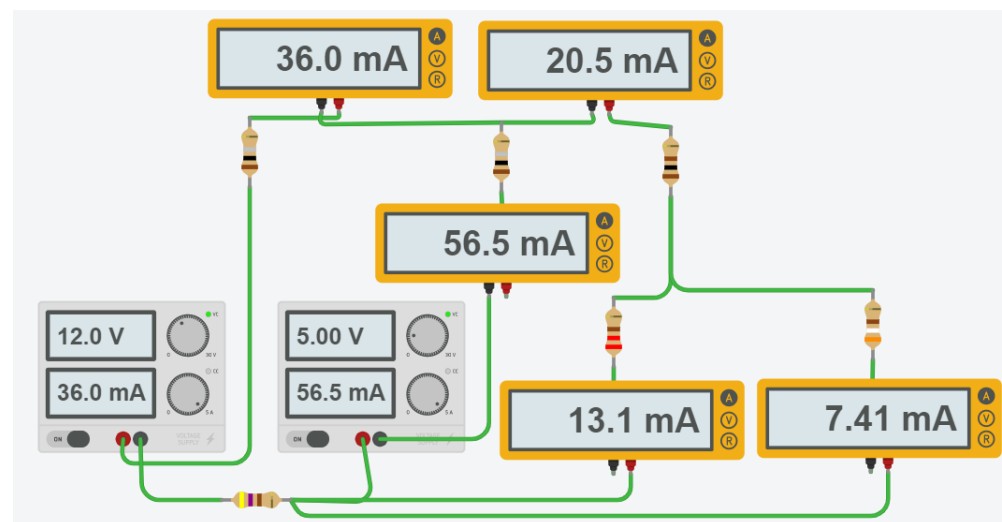
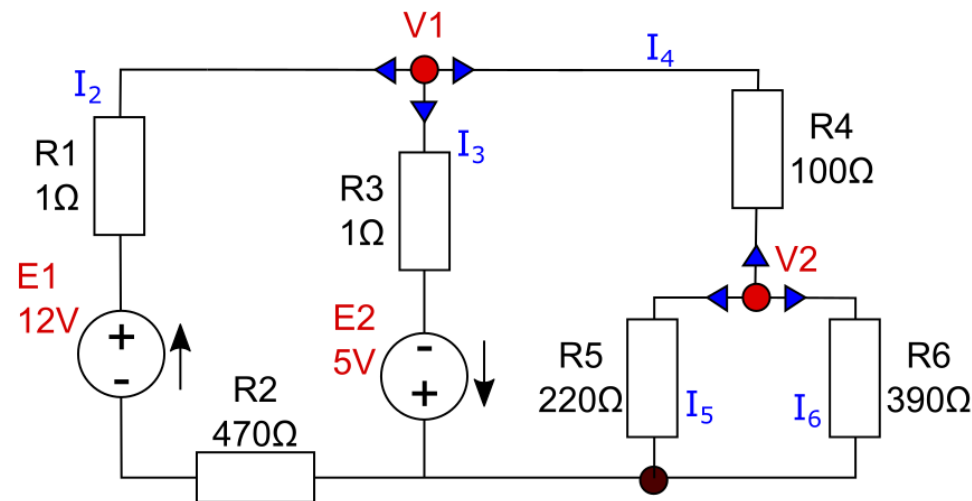
$$I_2 = \frac{-4,94 - 12}{471} = -0,036A$$

$$I_3 = \frac{-4,94 + 5}{1} = 0,06A$$

$$I_4 = \frac{-4,94 - (-2,89)}{100} = -0,02A$$

$$I_5 = \frac{-2,89}{220} = -0,013A$$

$$I_6 = \frac{-2,89}{390} = -0,007A$$



Nie chomikuj baterii Li-ion !

Baterie litowe mogą być niebezpieczne, przechowywane w nieodpowiednich warunkach mogą "puchnąć", a w skrajnych wypadkach wywołać pożar i wybuchnąć!



Filtry to układy elektroniczne, które przepuszczają sygnały sinusoidalne oraz składowe złożonych sygnałów o pożądanych częstotliwościach, a tłumią sygnały o częstotliwościach niechcianych.

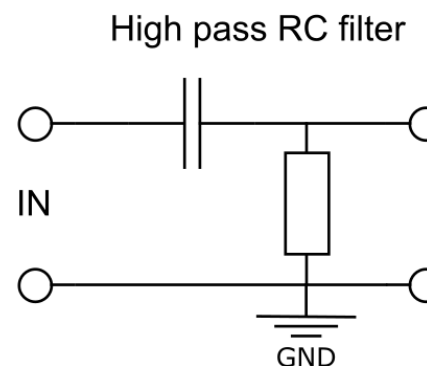
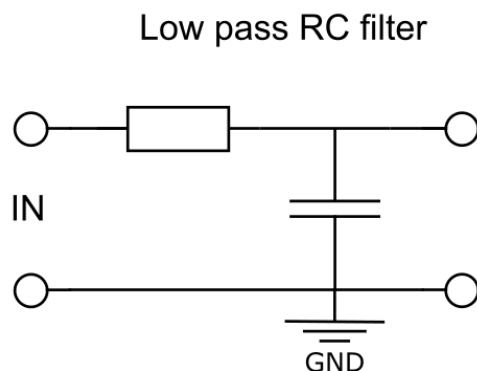
Filtr pasywny RC tworzy się za pomocą R - rezystora i C - kondensatora.

Możemy stworzyć filtr RC dolnoprzepustowy (low pass), który będzie przepuszczał sygnały o częstotliwościach poniżej granicznej.

Zamieniając miejscami rezystor i kondensator tworzymy filtr górnoprzepustowy (high pass), który przepuszcza sygnały powyżej wartości granicznej.

Możemy powiedzieć, że kondensator "przepuszcza" sygnał o wysokiej częstotliwości, a blokuje sygnał o niskiej częstotliwości.

Wartość graniczną oblicza się ze wzoru:  $f_g = \frac{1}{2\pi RC}$



Przykład: Dla układu Low pass RC, aby odciąć sygnały powyżej 100Hz, mając do dyspozycji rezystor 1k, obliczymy wartość kondensatora.

$$f_g = \frac{1}{2\pi RC} \rightarrow f_g 2\pi RC = 1 \rightarrow C = \frac{1}{f_g 2\pi R}$$

$$C = \frac{1}{100\text{Hz} * 2 * 3,1416 * 1000} = 1,59 * 10^{-6}\text{F} = 1,59\mu\text{F}$$

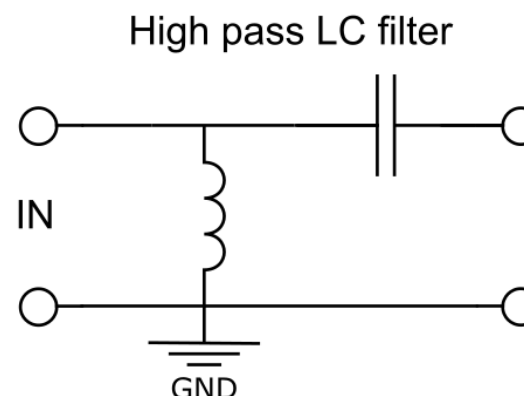
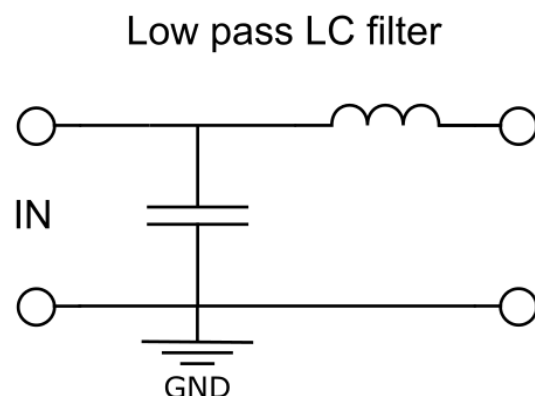
W większości przypadków, łatwiej będzie dobierać wartości rezystora do dobranych wcześniej wartości kondensatora, ponieważ są tańsze i można je z łatwością połączyć szeregowo, by uzyskać wymaganą wartość.

Filtr pasywny LC tworzy się za pomocą L - cewki i C - kondensatora.

Im większa indukcyjność cewki, tym lepszą stanowi barierę dla prądu zmiennego i sprawdza się świetnie do tłumienia drgań zasilania.

Cewka przepuszcza sygnał stały oraz zmienny o niskiej częstotliwości, a kondensator przepuszcza sygnały zmiennie o wysokiej częstotliwości, zatem te 2 podzespoły mają przeciwne działanie w układzie.

LPF przepuszcza DC i sygnały AC o niskiej częstotliwości, a HPF przepuszcza sygnał AC o wysokiej częstotliwości, tłumiąc pozostałe spektrum sygnałów.



Wartość graniczną dla filtra LC oblicza się ze wzoru:  $f_g = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$

## Różnice pomiędzy filtrami RC i LC.

Filtry RC są stosowane przy układach pobierających mało prądu i znajdują zastosowanie przy filtrowaniu sygnałów małej mocy, podczas gdy filtry LC są używane przy układach o dużym poborze prądu.

Zastosowanie rezystora w filtrach RC powoduje dodatkowe straty energii, w związku z wytwarzaniem ciepła na rezystorze.

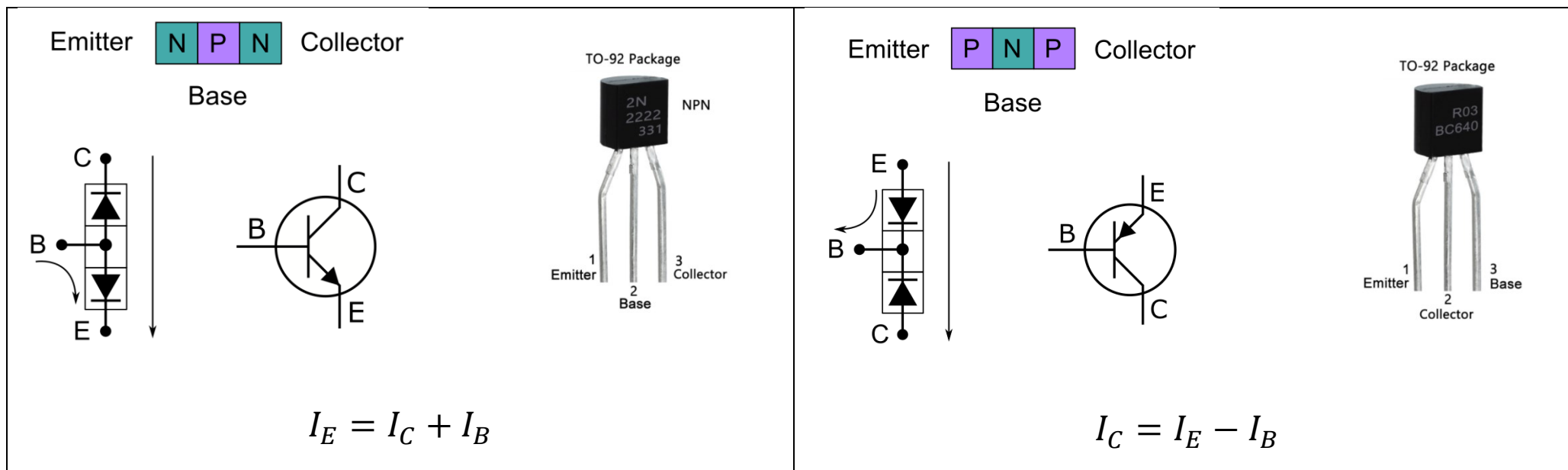
Filtry RC są tańsze od filtrów LC, ale słabiej regulują napięcie.

Tranzystor może działać w 3 trybach:

- 1) Aktywny, wtedy, gdy tranzystor wzmacnia prąd płynący przez złącze C-E, na podstawie prądu bazy:  $I_C = \beta(h_{FE}) * I_B$
- 2) Nasycenia, wtedy, gdy tranzystor jest w pełni otwarty i nie może już wzmacniać natężenia (działa jak przełącznik)
- 3) Odcięcia, tranzystor jest wyłączony (napięcie pomiędzy Bazą, a Emiterem jest mniejsze od 0.7V), natężenie płynące przez złącze C-E wynosi 0.

Karta charakterystyki popularnego tranzystora NPN 2N2222: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/686484/SURGE/2N2222.html>

Karta charakterystyki popularnego tranzystora PNP BC640: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/11556/ONSEMI/BC640.html>



$$I_C = I_B * \beta$$

$$I_B = \frac{V_B - V_{BE}}{R_B}$$

## Przykładowe zadania z tranzystorami

Przykład.

Napięcie zasilające bazę tranzystora wynosi 10V, a rezystor do niej dołączony ma wartość 100k. Oblicz natężenie wpływające do bazy tranzystora.

$$I_B = \frac{V_B - V_{BE}}{R_B} = \frac{10V - 0.7V}{100\,000} = \frac{9.3V}{100\,000} = 93\mu A$$

Przykład.

Dane dla tranzystora są następujące:  $\beta=200$ ,  $I_C = 4mA$ ,  $I_B = 20\mu A$ . Znajdź wartość rezystora bazy, aby w pełni włączyć tranzystor przy napięciu powyżej 2.5V.

$$R_B = \frac{V_{IN} - V_{BE}}{I_B} = \frac{2.5V - 0.7V}{0.000020A} = 90k\Omega$$

Przykład.

Parametr tranzystora  $\beta=200$ . Znajdź wartość minimalnego natężenia bazy, aby doprowadzić tranzystor do pełnego włączenia(saturacji) dla urządzenia, które potrzebuje 200mA natężenia, przy napięciu 5V. Jak powinna być wartość rezystora dołączonego do bazy tranzystora?

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{200mA}{200} = 1mA$$

$$R_B = \frac{V_{IN} - V_{BE}}{I_B} = \frac{5V - 0.7V}{0.001A} = 4.3k\Omega (4k3)$$

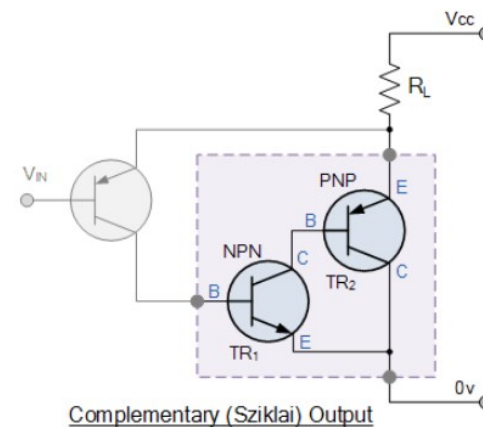
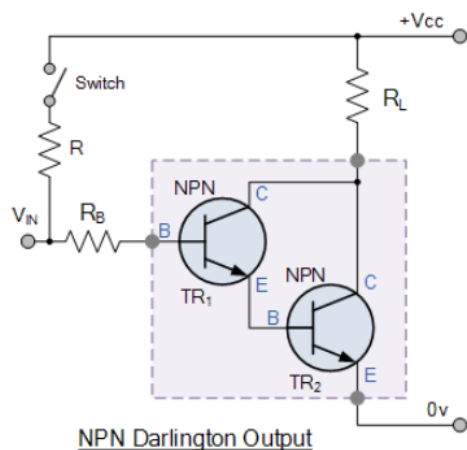
## Układ Darlingtona i Sziklaiego

Układy Darlingtona to połączenie przynajmniej 2 tranzystorów tego samego typu, co pozwala uzyskać znacznie większe wzmocnienie. W przypadku takiego połączenia wzmocnienia całkowite jest produktem (ilorazem) wzmocnienia każdego z tranzystorów. Należy pamiętać, jednak, że w przypadku łączenia tranzystorów, należy dopasować odpowiednie napięcie na bazie (0,7V dla każdego tranzystora).

W podobny sposób tworzy się układ Sziklaiego, tyle, że korzysta się zarówno z tranzystora typu NPN jak i PNP.

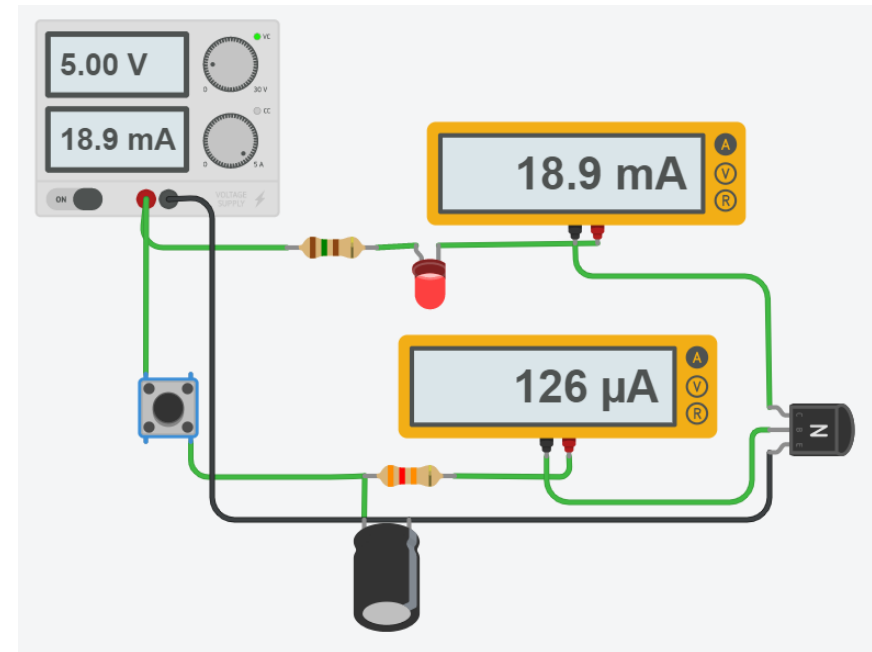
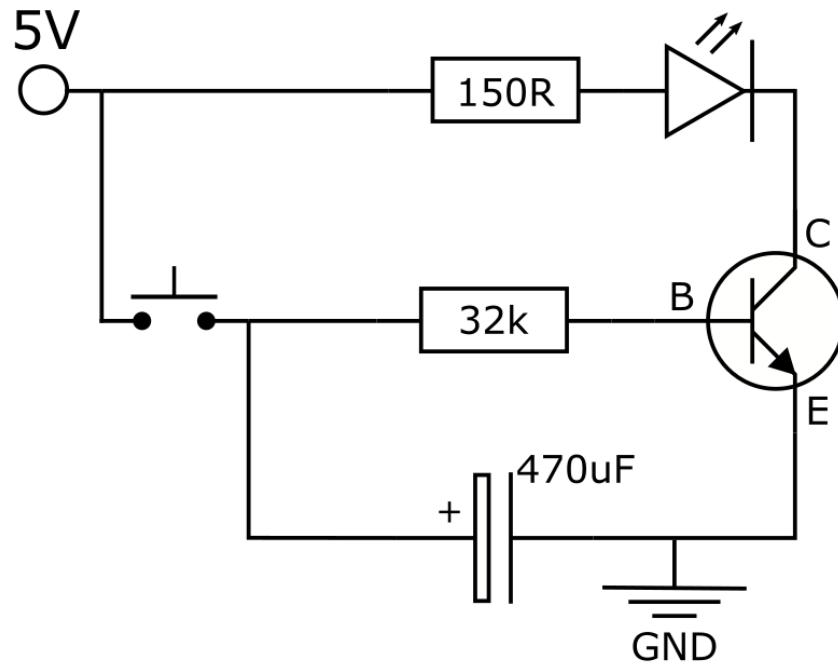
Problemem tych układów jest wolniejsze przełączanie stanów nasycenia i odcięcia.

$$\beta_{TOTAL} = \beta_1 * \beta_2$$

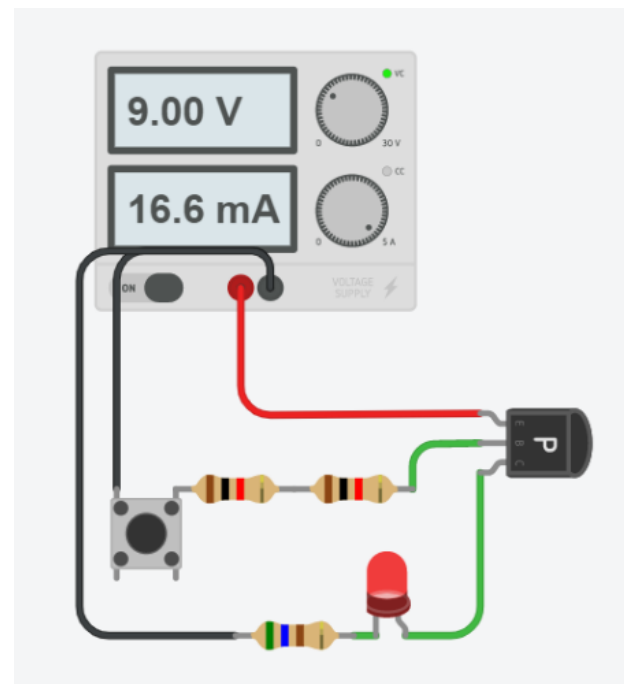
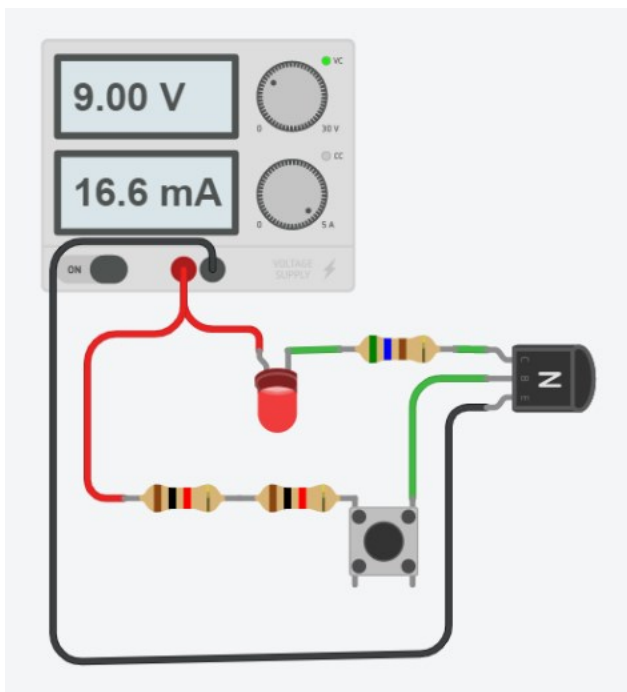




Układ, który wyłączy się po pewnym czasie.



## Różnica w połączeniu NPN i PNP jako switch



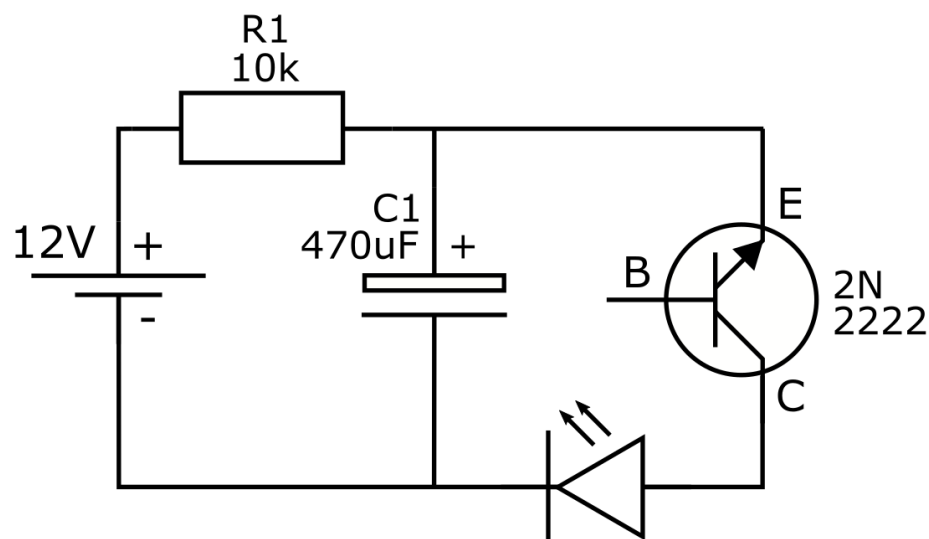
W miejsce przycisku chwilowego, można wyprowadzić 2 przewody, których bezpośrednie lub pośrednie zetknięcie pozwoli aktywować tranzystor. Aktywację tranzystora może wywołać złapanie przewodów w dłoniach lub zanurzenie ich np. w wodzie, co może być podstawą dla wielu interesujących projektów.

## Oscylator Esaki

Jest to jeden z najprostszych oscylatorów, a zarazem bardzo ciekawy, ponieważ używa się w nim tranzystora podłączonego odwrotnie bez prądu dołączonego do bazy.

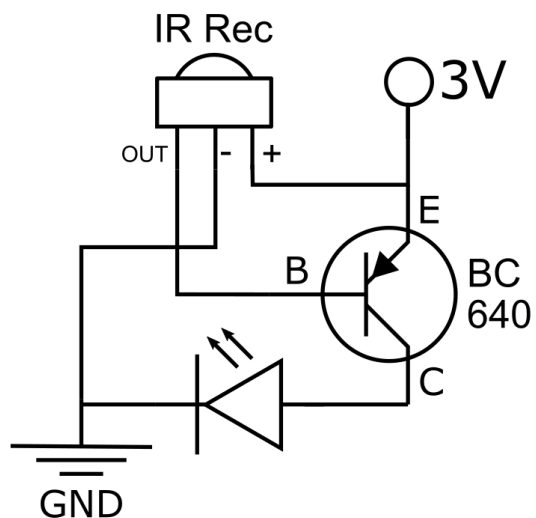
Układ działa w ten sposób, że kondensator jest ładowany przez rezystor, a gdy osiągnie on wartość przebicia tranzystora, zostaje rozładowany i przez tranzystor przepływa chwilowy prąd. Po rozładowaniu, kondensator zaczyna się ponownie ładować, w trakcie czego prąd nie płynie w prawej części układu.

Zatem, im większa wartość rezystora R1 i kondensatora C1, tym dłużej będzie się ładować kondensator, a co za tym idzie, zmniejszy się częstotliwość aktywacji tranzystora.

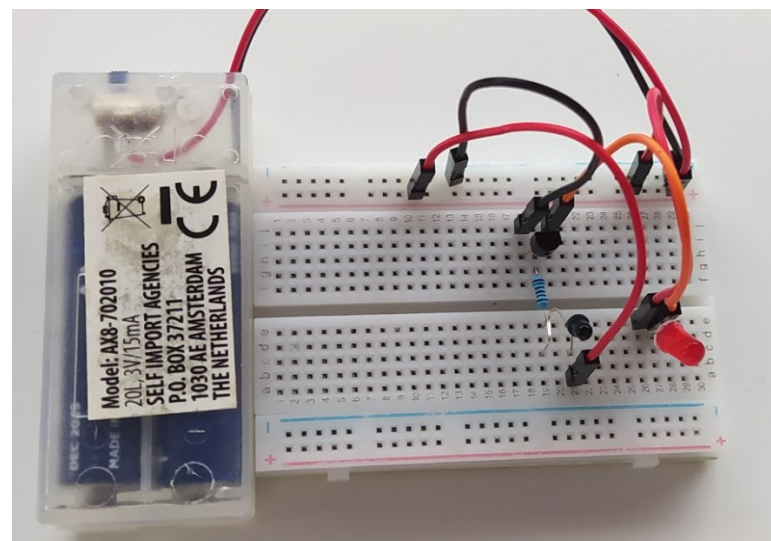
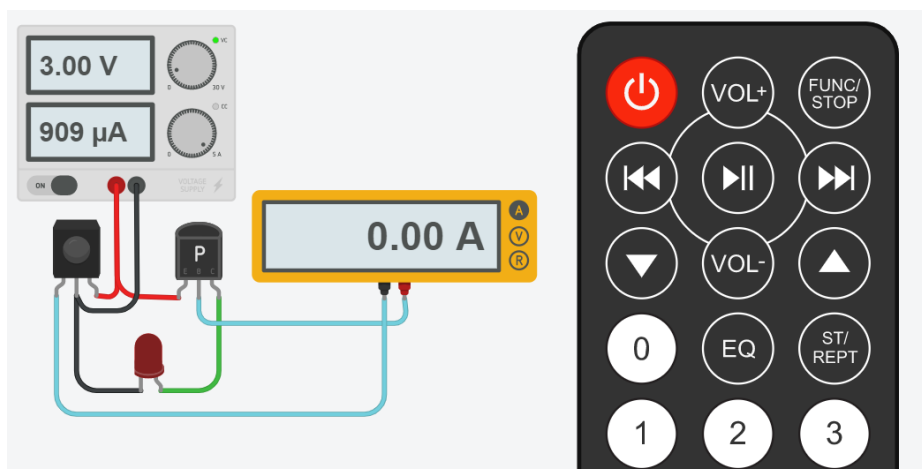
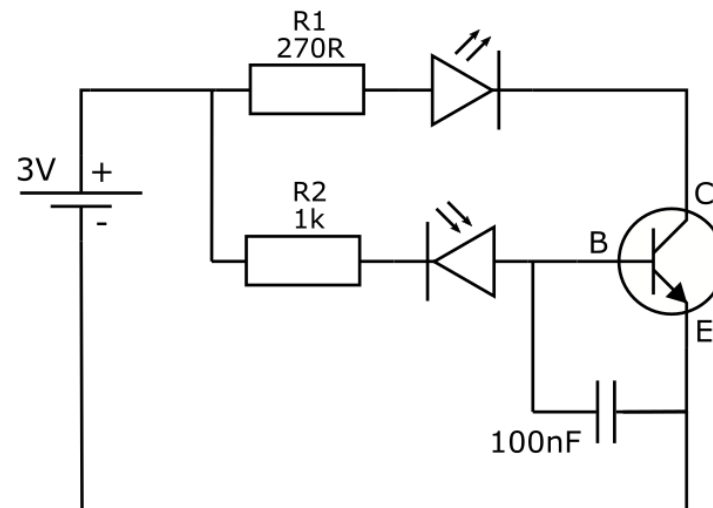


## Układ wykrywający podczerwień

Układ z tranzystorem PNP i sensorem IR



Układ z tranzystorem NPN 2N2222 i fotodiodą (IR receiver)



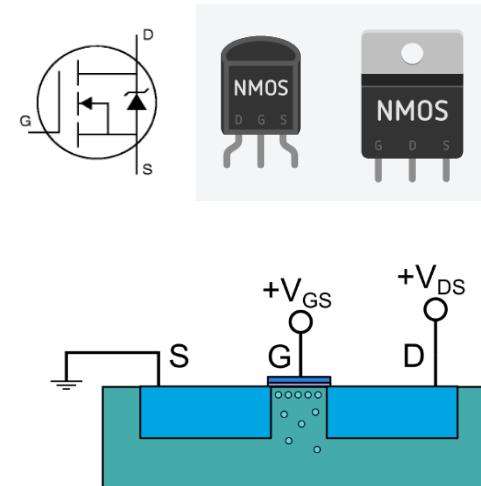
Tranzystor MOSFET posiada 3 piny: Bramka (Gate), Dren (Drain) oraz Źródło (Source)

Tranzystor typu MOSFET, w przeciwieństwie do tranzystorów bipolarnych, działa w oparciu o wartość napięcia pomiędzy pinem Gate i Source, zwanym napięciem progowym. Różnica potencjałów tworzy kanał, który umożliwia przepływ prądu między pinami Drain i Source, czyli im większe napięcie między Gate i Source tym więcej prądu płynie między Drain i Source.

Typy tranzystorów MOSFET

Wyróżniamy typ N i P, ale w większości zastosowań będziemy korzystać z typu N.

Poza tym wyróżniamy typ tranzystora: enhancement i depletion. Enhancement działa w ten sposób, że normalnie nie ma kanału przewodności pomiędzy Drain i Source, a tworzy się on po podaniu napięcia na pin Gate. Typ depletion działa odwrotnie, w stanie wyłączenia występuje kanał przewodzenia, a po aktywacji tranzystora prąd przestaje płynąć przez bramę D-S.



Nota katalogowa przykładowego tranzystora MOSFET IRLZ44N <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/68872/IRF/IRLZ44N.html>

Natężenie ciągłe (Drain Current) przy napięciu 10V może wynosić 47A, pod warunkiem, że będziemy w stanie odpowiednio chłodzić tranzystor. Maksymalne rozproszenie mocy wynosi 110 Watów.

Maksymalne napięcie jakie można doprowadzić do pinu Gate(Bramki) wynosi 16V.

Ważnym parametrem jest również napięcie progowe ( $V_{GS(th)}$ ), które musi zostać osiągnięte, by tranzystor zaczął pracować (otworzył przepływ prądu między Drenem, a Źródłem). W tym wypadku wynosi ono od 1 do 2 V, czyli możemy użyć źródła napięcia o małej wartości (np. mikrokontrolera).

Tranzystory pracują w kilku stanach:

Kiedy napięcie wejściowe wynosi zero, MOSFET jest wyłączony i znajduje się w stanie zatkania (odcięcia). Napięcie bramka-źródło jest mniejsze od napięcia progowego  $V_{GS} < V_{TH}$

Stan pełnego otwarcia występuje wtedy, gdy napięcie bramka-źródło jest znacznie większe od napięcia progowego  $V_{GS} > V_{TH}$

|                           | Parameter                                | Max.     | Units |
|---------------------------|--|----------|-------|
| $I_D @ T_C = 25^\circ C$  | Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10V$ | 47       | A     |
| $I_D @ T_C = 100^\circ C$ | Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10V$ | 33       |       |
| $I_{DM}$                  | Pulsed Drain Current ①                   | 160      |       |
| $P_D @ T_C = 25^\circ C$  | Power Dissipation                        | 110      | W     |
|                           | Linear Derating Factor                   | 0.71     | W/°C  |
| $V_{GS}$                  | Gate-to-Source Voltage                   | $\pm 16$ | V     |

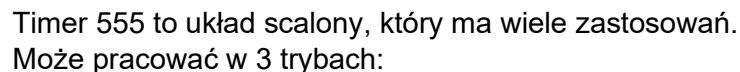
|                 | Parameter                           | Min. | Typ. | Max. | Units |
|-----------------|-------------------------------------|------|------|------|-------|
| $R_{\theta JC}$ | Junction-to-Case                    | —    | —    | 1.4  | °C/W  |
| $R_{\theta CS}$ | Case-to-Sink, Flat, Greased Surface | —    | 0.50 | —    |       |
| $R_{\theta JA}$ | Junction-to-Ambient                 | —    | —    | 62   |       |

|              |                                      |     |   |       |          |                                   |
|--------------|--------------------------------------|-----|---|-------|----------|-----------------------------------|
| $R_{DS(on)}$ | Static Drain-to-Source On-Resistance | —   | — | 0.022 | $\Omega$ | $V_{GS} = 10V, I_D = 25A$ ④       |
|              |                                      | —   | — | 0.025 |          | $V_{GS} = 5.0V, I_D = 25A$ ④      |
|              |                                      | —   | — | 0.035 |          | $V_{GS} = 4.0V, I_D = 21A$ ④      |
| $V_{GS(th)}$ | Gate Threshold Voltage               | 1.0 | — | 2.0   | V        | $V_{DS} = V_{GS}, I_D = 250\mu A$ |

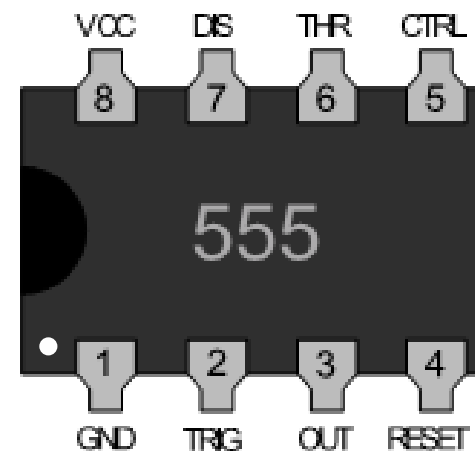
  

|          | Parameter                              | Min. | Typ. | Max. | Units | Conditions   |
|----------|--|------|------|------|-------|--|
| $I_S$    | Continuous Source Current (Body Diode) | —    | —    | 47   | A     | MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode. |
| $I_{SM}$ | Pulsed Source Current (Body Diode) ①   | —    | —    | 160  |       |  |
| $V_{SD}$ | Diode Forward Voltage                  | —    | —    | 1.3  | V     | $T_J = 25^\circ C, I_S = 25A, V_{GS} = 0V$ ④                   |



- ## Opis pinów timera 555

- 



Układ 555 pracuje zazwyczaj przy wartościach napięć między 5V do 15V. Obecnie produkuje się wiele innych typów, które odbiegają od tych wartości więc zawsze dobrze jest sprawdzić to z dokumentacją danego komponentu.

Do układu zasilającego należy dołączyć kondensator bocznikowy (wpięty równolegle do linii zasilania), by wygładzać napięcie i uchronić się przed zakłóceniami.

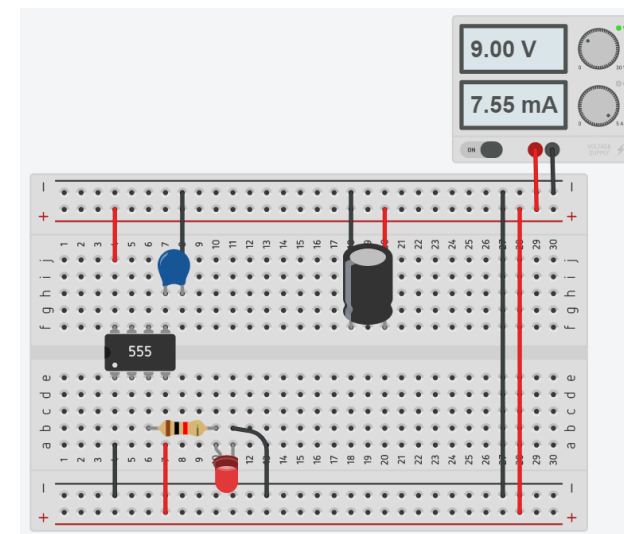
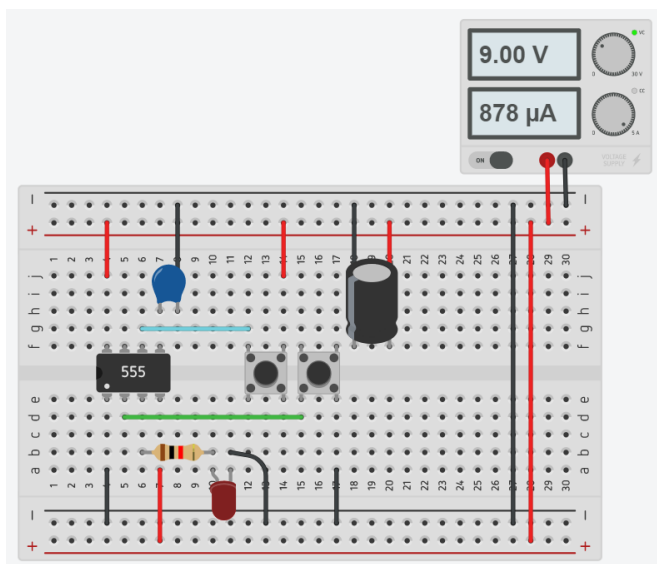
Do przełączania stanów na pinie 6 Threshold należy podać minimalne natężenie, które w zależności od typu timera może wynosić ok. 250nA. Na tej podstawie przyjmujemy, że maksymalna wartość rezystora zewnętrznego, który ładuje kondensator nie powinna być większa od  $6M\Omega$  dla zasilania 5V i  $20M\Omega$  dla zasilania 15V. W praktyce jednak stosuje się mniejsze wartości wynikające z upływności kondensatora. Minimalna wartość tego rezystora powinna wynosić około  $5k\Omega$ .

## Przełącznik bistabilny z użyciem dwóch przycisków chwilowych

Timer 555 może działać jako przełącznik. W tym przykładzie stworzymy układ, który będzie włączał i wyłączał diodę LED za pomocą dwóch przycisków chwilowych.

Na początku podłączamy stałe elementy, czyli:

- piny 4 i 8      źródła zasilania
- pin 1          0V(GND)
- pin 3          dioda LED z rezystorem 300R
- pin 5          połączony z kondensatorem 10nF, który działa jako filtr, z 0V (opcjonalne)



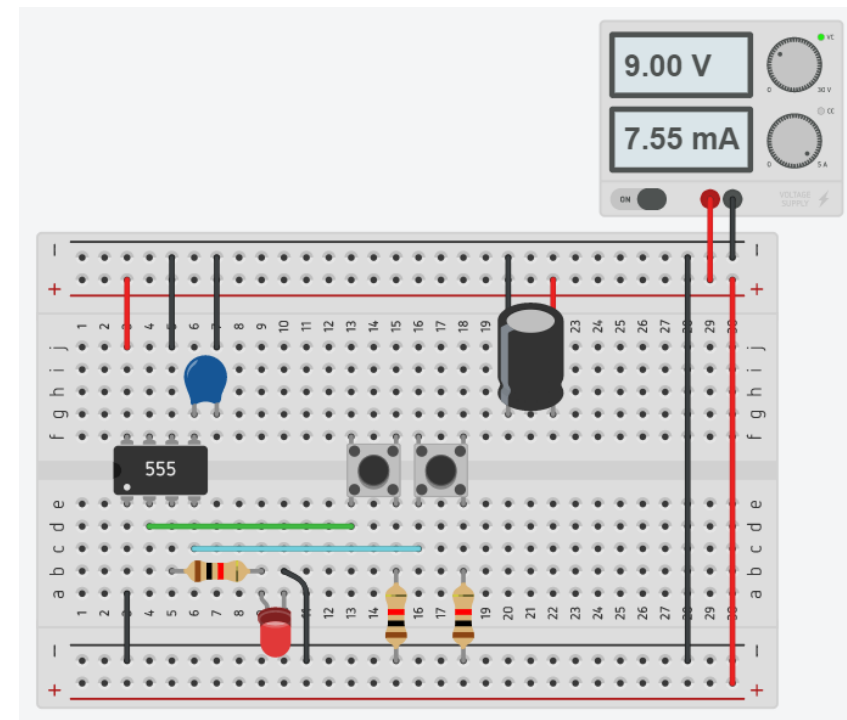
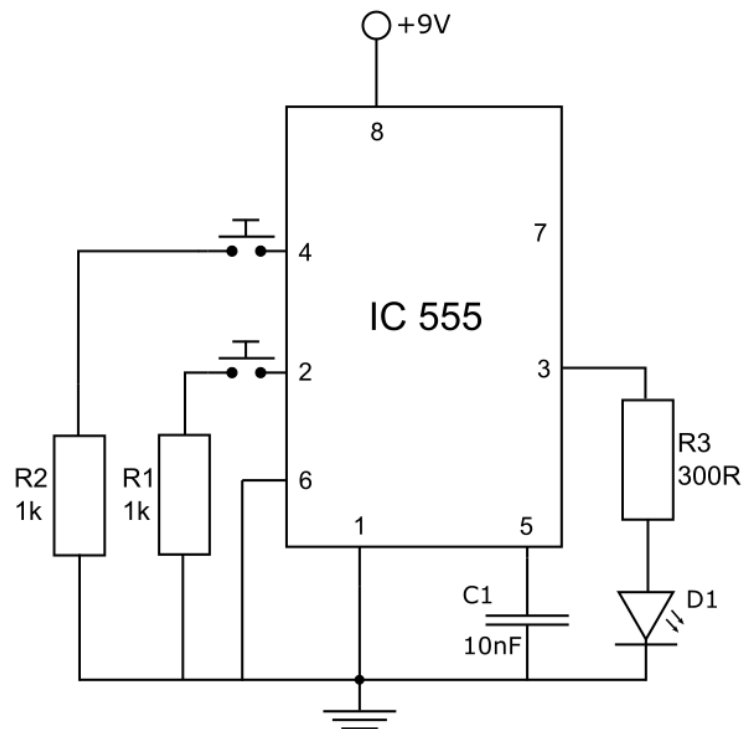
Aby wyłączyć LED musimy podać na pin 6 (THR) stan wysoki, czyli poprzez przycisk chwilowy podpinamy go ze źródłem napięcia (zielony przewód).

Aby włączyć diodę musimy podać na pin 2 (TRIG) stan niski, dlatego poprzez łącznik podpinamy go z minusem na płytce prototypowej (niebieski przewód).



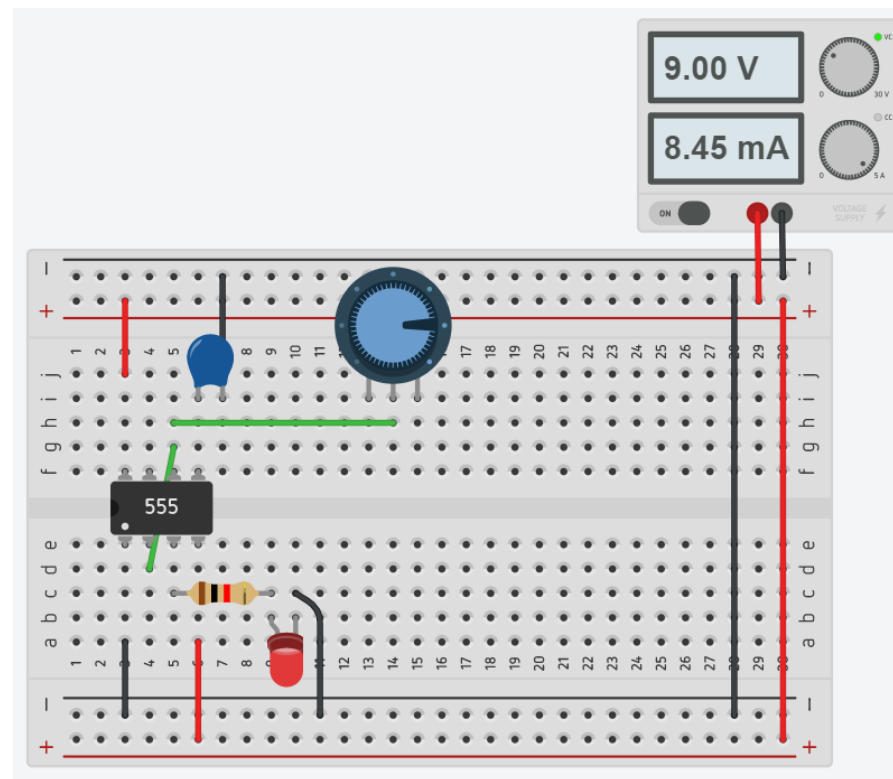
## Przełącznik bistabilny z pinem Reset

W tym przykładzie użyjemy pinu 4 RESET do przełączania pomiędzy stanem wysokim i niskim na wyjściu 3 OUT. W układach bistabilnych nie ma potrzeby używania pinu 7.



## Przełącznik bistabilny z użyciem potencjometru

W tym przykładzie będziemy włączać/wyłączać diodę za pomocą potencjometru, który będzie służył jako dzielnik napięcia. W tym celu należy połączyć ze sobą bezpośrednio piny 2 i 6.



## Generator monostabilny (uniwibrator)

Timer 555 najczęściej pracuje jako generator monostabilny i w takiej konfiguracji wymaga dwóch elementów zewnętrznych, rezystora R1 i kondensatora C1, których wartości wpływają na czas trwania impulsu wyjściowego. Wpina się jednak dodatkowe elementy, by zapewnić odpowiednie warunki pracy generatora.

Rezystor R2 podciąga wejście wyzwalające Trigger (pin 2) do bieguna dodatniego zasilania wymuszając poziom wysoki na wejściu oraz eliminuje zakłócenia. Kondensator C2 służy jako filtr.

1) W chwili kiedy zostaje naciśnięty przycisk chwilowy, pin Trigger łączy się z masą i przyjmuje wartość 0V. To powoduje zmianę stanu na pinie wyjściowym Out (3) dioda zaczyna świecić, a kondensator C1 zaczyna się ładować.

2) W chwili kiedy kondensator naładowuje się do wartości przekraczającej 2/3 napięcia zasilania, takie samo napięcie będzie dostępne na pinie 6 (Threshold) co powoduje przełączenie wewnętrznego przerzutnika RS. Wyjście Out przyjmuje stan niski, a dioda przestaje świecić. Kondensator ulega szybkiemu rozładowaniu przez pin 7, Discharge.

Punkty 1 i 2 będą się powtarzać, za każdym razem, kiedy zostanie naciśnięty przycisk chwilowy.

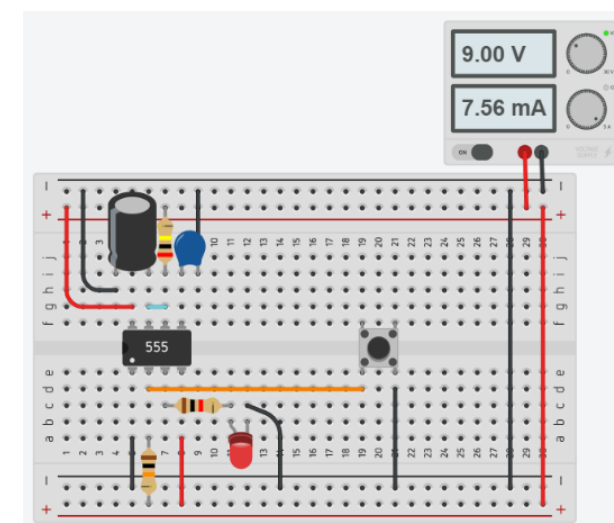
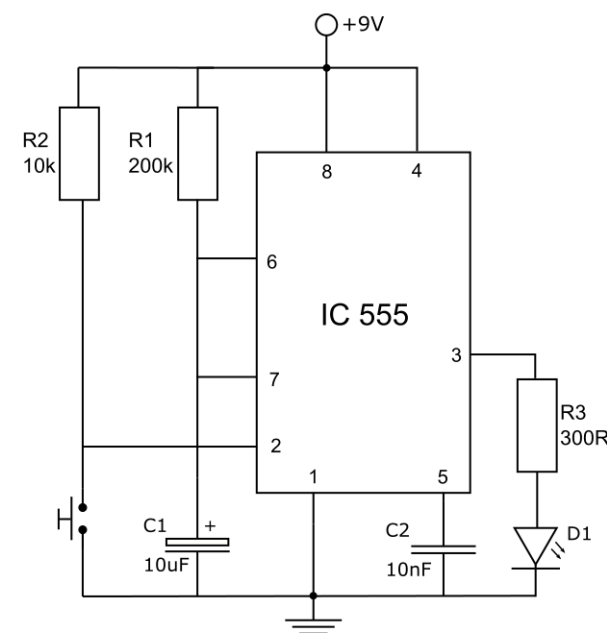
Czas trwania impulsu wyjściowego zależy od wartości elementów R1 i C1:

$$T(s) = 1,1 * R1[\Omega] * C1[F]$$

Maksymalna wartość rezystancji R1 to ok. 20MΩ. Stosując kondensatory elektrolityczne można uzyskać impulsy wyjściowe trwające nawet kilka godzin.

W przykładzie długość impulsy wyjściowego będzie wynosić:  $T(s) = 1,1 * 200000R * 0,000010F = 2,2s$

Należy pamiętać, że po włączeniu układu potrzebuje on chwili, aby się ustabilizować. Kondensatory muszą się odpowiednio naładować, itd. Taka jest mała wada tych układów, że jego działanie, za pierwszym razem, różni się od działania układu w kolejnych cyklach.



## Generator astabilny (multiwibrator)

Timer 555 w trybie astabilnym wysyła ciągłe sygnały, o długościach określonych za pomocą rezystorów R1, R2 i kondensatora C1. W takim trybie zazwyczaj pin Trigger i Threshold są ze sobą połączone bezpośrednio.

Czas kiedy pin OUT jest włączony obliczamy:

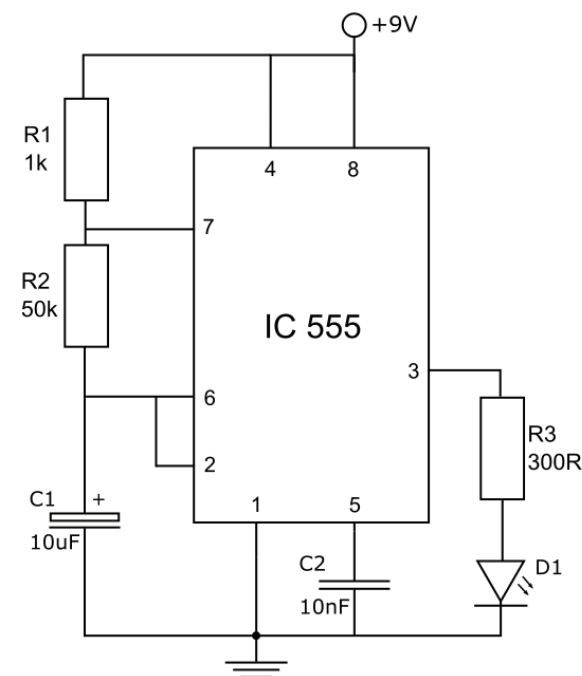
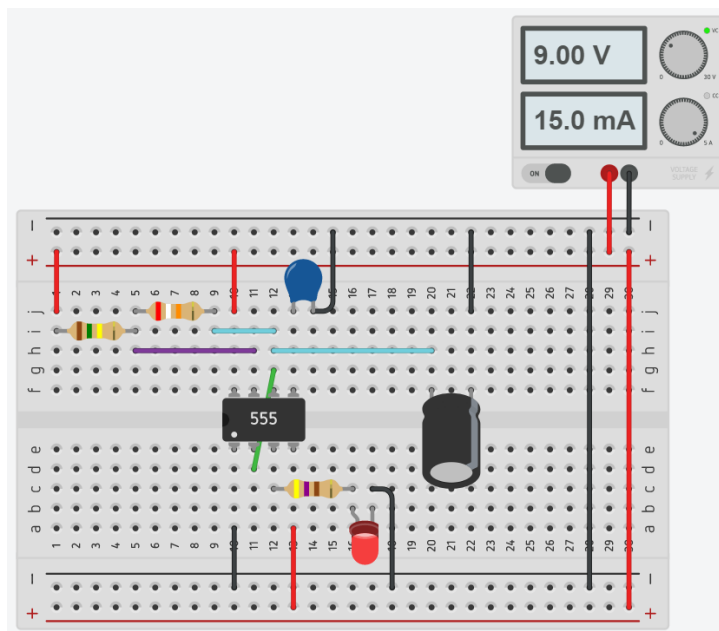
$$t_{on}(s) = 0.693 * (R1 + R2) * C1$$

Czas kiedy pin OUT jest wyłączony obliczamy:

$$t_{off}(s) = 0.693 * R2 * C1$$

Częstotliwość generowanych impulsów:

$$f = 1,44 / (R1 + 2*R2) * C1$$



Pamiętaj, że pierwszy sygnał jest zawsze dłuższy od pozostałych, ponieważ kondensator ładuje się od stanu zerowego.

## Zadanie

Stwórz układ astabilny o czasie włączenia 5s i wyłączenia 2s, dla kondensatora 100uF. Oblicz wartości rezystorów.

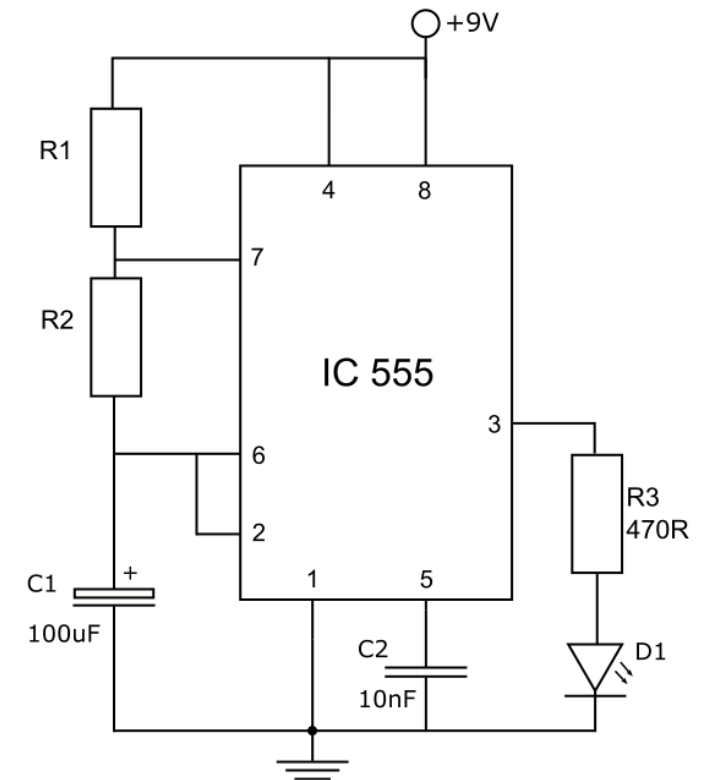
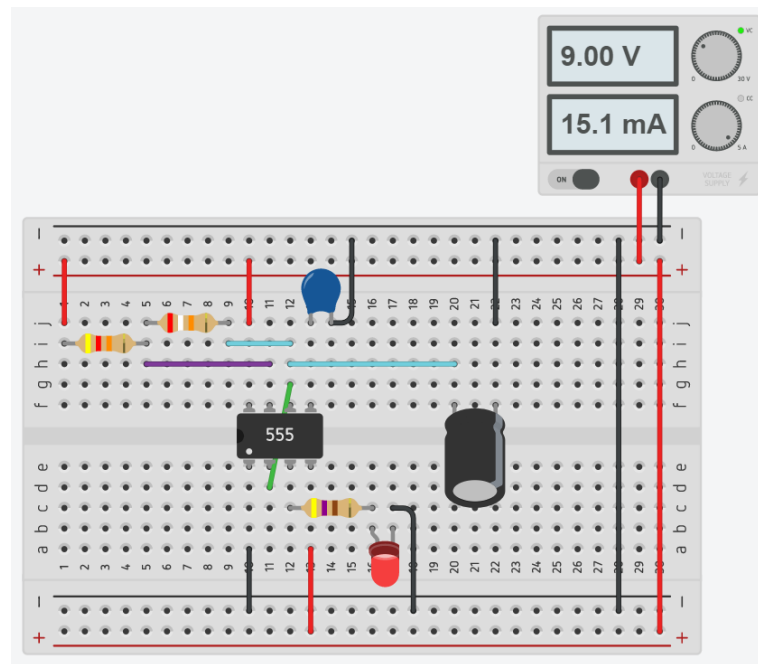
Czas kiedy pin OUT jest włączony:  $t_{on}(s) = 0.693 * C1 * (R1 + R2)$

Czas kiedy pin OUT jest wyłączony:  $t_{off}(s) = 0.693 * C1 * R2$

Odpowiedzi:

R1 = 42k

R2 = 29k





Fotorezystor LDR to rezystor, który zmienia swoją rezystancję ze względu na poziom natężenia światła (lux). Rezystancja zmniejsza się wraz ze wzrostem poziomu światła.

Specyfikacja fotorezystorów 55xx.

Rezystancja w ciemności: 1 - 2 M $\Omega$

Rezystancja w świetle: 10 lx – 10-50 k $\Omega$  , 100 lx – 2-10 k $\Omega$  , 10000 lx – 100R

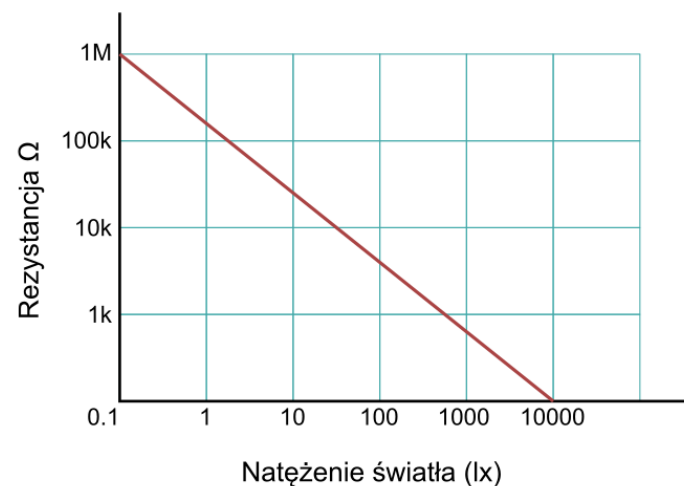
Czas reakcji: 20-30 ms

Max. napięcie: 150V

Max. moc: 100mW

Największa wrażliwość spektralna: 540nm

Promieniowanie widzialne przez człowieka zawiera się w przedziale długości fal od 380 – 780 nm.



Średnia zależność rezystancji fotorezystora GL 55xx od natężenia światła

