

Adeptus Elektronicus

Spotkanie 4 - Wielkie otwarcie - zamki elektromagnetyczne



Mróz Krzysztof

hs3city.slack.com : @mroz

private@mrozo.pl

github.com/mrozo

Plan spotkania

- 0. Wstęp
- 1. Zdefiniowanie wymagań projektowych
- 2. Omówienie elementów indukcyjnych
- 3. Iteracyjne wykonywanie projektu
 - 3.1. Wybór podzespołów
 - 3.2. Omówienie podzespołów
 - 3.3. Realizacja
 - 3.4. Wnioski
 - 3.5. Możliwości
- 4. Omówienie Technologii RFID
- 5. Wnioski, możliwości

Wstęp - starożytne tramwaje

[podobno] Pierwsze tramwaje elektryczne miały silniki dostatecznie mocne do jazdy, ale zbyt słabe do jazdy. Problem ten rozwiązano za pomocą kół zamachowych.

Podczas hamowania takie koło było podłączane do napędu tramwaju - powodowało to rozkręcenie koła (zmagazynowanie w nim energii) oraz hamowanie tramwaju. Przed zatrzymaniem koło było odłączane.

Podczas ruszania, gdy silnik elektryczny był zbyt słaby aby pokonać opory statyczne, wciąż kręcące się koło było z powrotem podłączane do napędu. W ten sposób energia odzyskana z hamowania była zużywana do pokonania maksymalnego tarcia statycznego, czyli po prostu do ruszenia.

Wymagania funkcjonalne projektu 1

1. Stworzenie prototypu urządzenia zamykającego drzwiczki instrumentów na czas pracy celem uniknięcia wypadków związanych z niepoprawnym użytkowaniem. Przykład zastosowania: komora klimatyczna, piekarnik, pralka, komora do eksperymentów z niebezpiecznymi substancjami.
 - 1.1. Sterowanie sygnałem 5 V, np. z arduino

Wymagania funkcjonalne projektu 2

- 2. Stworzenie prototypu urządzenia kontroli dostępu do szfek, sejfów, szuflad itp.
 - 2.1. Urządzenie powinno się automatycznie zatrzymać w momencie zamknięcia.
 - 2.2. Urządzenie powinno zostać zamknięte nawet po utracie zasilania.
- 3.3. Otwierania drzwi tylko z wykorzystaniem identyfikatora RFID

Wymagania funkcjonalne projektu 3

3. Stworzenie prototypu systemu kontroli dostępu do pomieszczenia w oparciu o zamek elektromagnetyczny, który:
 - 3.1. Domyślnie jest zatrzaśnięty.
 - 3.2. Samoczynnie ulega zatrzaśnięciu w momencie zamknięcia drzwi.
 - 3.3. Istnieje możliwość zdalnego otwarcia.
 - 3.4. Ze względów bezpieczeństwa w razie utraty zasilania ulega automatycznemu otwarciu.
 - 3.5 Sterowanie sygnałem 5 V, np. z arduino

Wymagania funkcjonalne projektu 3

4. Stworzenie prototypu urządzenia kontroli dostępu do pomieszczenia, z możliwością:
 - 4.1. współpracy z klasycznymi, istniejącymi już drzwiami wejściowymi, posiadającymi od wewnątrz klamkę, zaś od zewnątrz tylko dziurkę od klucza, czyli możliwość otwierania drzwi przez naciśnięcie klamki oraz/lub za pomocą klucza od zewnątrz oraz/lub zdalnie.
 - 4.2. Sterowanie sygnałem 5 V, np. z arduino
 - 4.3. Otwierania drzwi z wykorzystaniem identyfikatora RFID
 - 4.4. Dodawanie oraz usuwanie autoryzowanych identyfikatorów RFID
 - 4.5. Otwarcia drzwi z wykorzystaniem przycisku

Indukcja elektromagnetyczna

Aby unikać nieeleganckich powtórzeń termin "indukcja elektromagnetyczna: od czasu do czasu zostanie zastąpiony terminem "magia".

W najprostrzych słowach to zjawisko/cecha naszego wszechświata będąca relacją między przepływem prądu, a zmianą strumienia pola magnetycznego.

Opis ilościowy:

1. Prąd płynący "w kółko" generuje pole magnetyczne proporcjonalne do prądu.
2. Zmiana strumienia pola magnetycznego przepływającego przez pętlę przewodnika generuje w nim prąd proporcjonalny do zmiany wartości strumienia.

Strumień pola magnetycznego generuje prąd? A po ludzku?

1. Weź kawałek druta, magnes oraz diodę LED.
2. Zrób z druta sprężynkę na dyle dużą, aby móc przez nią swobodnie przepuścić magnes. Im więcej zwojów, tym lepiej.
3. Do końców sprężynki podłącz LED.
4. Poprzepuszczaj magnes przez środek sprężynki z różnymi prędkościami i w obydwu kierunkach.
5. Jakie są wnioski?
 - 5.1. Co powoduje przepuszczanie magnesu przez sprężynkę?
 - 5.2. Co powoduje zmiana prędkości przepuszczania magnesu?
 - 5.3. Kiedy LED się świeci, a kiedy nie?

Prąd generuje pole magnetyczne? A po ludzku?

1. Weź sprężynkę z poprzedniego eksperymentu, odłącz lada.
2. Weź dwie takie same śruby (nie każdy metal zadziała). O rozmiarach zbliżonych do magnesu.
3. Nałóż sprężynę na jedną ze śrób - nie zrób zwarcia!
4. Podłącz sprężynkę do baterii.
5. Sprubuj najpierw dotknąć drugiej śruby śrubą w sprężynce, a potem rozłączyć te śruby.
6. Powtórz eksperyment z bateriami o różnych napięciach oraz śrubami z różnych metali.
7. Jakie są wnioski?

Czekaj czekaj!

Jeśli:

1. zmiana prądu generuje zmianę strumienia pola magnetycznego
2. zmiana strumienia pola magnetycznego generuje prąd

To oznacza że zmiana prądu przepływającego przez sprężynkę (dalej zwaną cewką) powoduje zmianę strumienia pola magnetycznego, która to z kolei generuje prąd przeciwstawiający się zmianie. Tym większy, im większa jest zmiana.

Energia potrzebna do przeciwstawiania się zmianom jest przekazywana lub pobierana z pola magnetycznego cewki. Oznacza to, że idealna cewka jest bezstratną "baterią".

Urządzenia elektromechaniczne, a indukcja elektromagnetyczna

Omówione wyżej zjawiska są wykorzystywane do przetwarzania energii elektrycznej na energię kinetyczną, czyli mówiąc prościej "magia sprawia że prąd porusza przedmiotami".

Możliwe jest również wykorzystanie tego zjawiska w drugą stronę - zarówno do generacji prądu, np. dynamo, przetwarzania parametrów energii elektrycznej, np. transformator, jak i do tworzenia czujników np. przepływu prądu, czy przesunięcia. Zagadnienia te nie wchodzą w obszar zainteresowań dzisiejszego spotkania.

Problem stanów przejściowych

Urządzenia wykorzystane do realizacji tego projektu to różne wariacje na temat elektromagnesu, który może znajdować się w trzech stanach: wyłączonym, włączonym oraz przejściowym. O ile dwa pierwsze stany nie stanowią problemu - cewka elektromagnesu działa wtedy jak zwykły przewodnik, o tyle stan przejściowy musi zostać dokładnie przeanalizowany.

Stan przejściowy

To nic innego, jak moment przełączania stanu urządzenia. W tym momencie teoretycznie następuje natychmiastowa zmiana wartości prądu z X do zera, albo na odwrót. Czy widać już problem?

Odpowiedź cewki na skokową zmianę przyłożonego napięcia

Skoro:

1. Im większa/szybsza zmiana prądu przepływającego przez cewkę, tym większa zmiana strumienia magnetycznego,
2. Im większa/szybsza zmiana strumienia magnetycznego, tym większy prąd indukowany w cewce.

to co się stanie jeśli nagle odłączymy prąd od cewki, powodując tym samym nieskończenie szybką zmianę prądu przepływającego przez tę cewkę?

Ja się pytam: co się wtedy stanie???

Otóż to! - Włączenie elektromagnesu



Otóż to! - Wyłączenie elektromagnesu



Analogia do starożytnych tramwajów

- Co się stanie, jeśli podłączymy cewkę do zasilania? - **Prąd** zacznie powoli **wzrastać**. Tym wolniej, im większa jest pojemność cewki.
- Co się stanie, jeśli podłączymy koło zamachowe do napędu? - **Prędkość kątowna** koła zacznie powoli **wzrastać**. Tym wolniej im większa jest masa koła.

Opisy nie są zdefiniowane z precyzją naukową. Mają tylko dostarczyć skojarzeń ułatwiających zrozumienie zagadnienia.

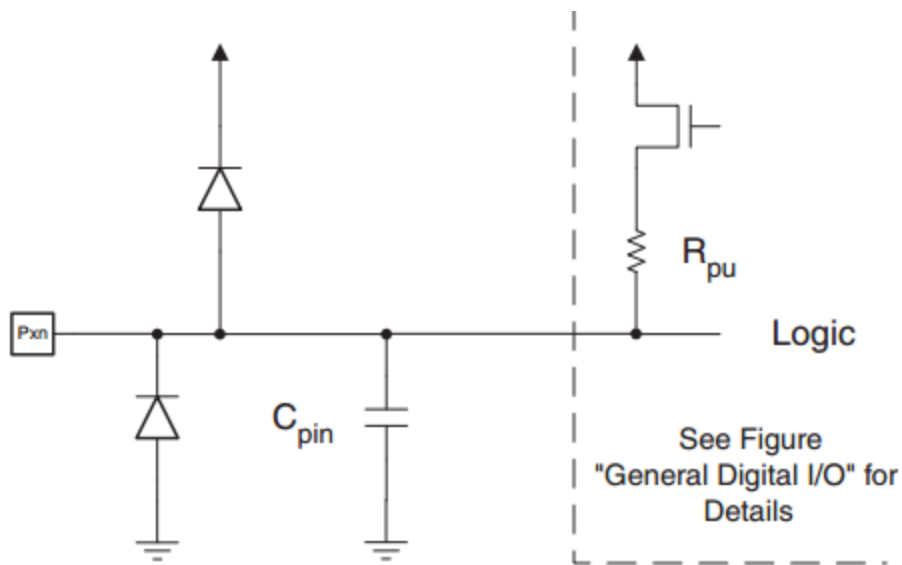
Analogia do starożytnych tramwajów

- Co się stanie jeśli nagle prąd przestanie płynąć przez cewkę? - **Napięcie na cewce** gwałtownie wzrośnie, tak aby w miarę możliwości **utrzymać stałą wartość prądu** przepływającego przez cewkę. Im większa indukcyjność cewki, tym dłużej wspomniane napięcie będzie się utrzymywać.
- Co się stanie jeśli nagle wychamujemy koło zamachowe? - **Siła, z którą koło napiera na wał** gwałtownie wzrośnie, tak aby w miarę możliwości uniemożliwić zmianę szybkości kątowej koła. Siła będzie działać tym dłużej i będzie większa, im cięższe jest koło.

Walka ze szpilkami napięciowymi

Sposoby na poradzenie sobie ze szpilkami generowanymi przez elementy indukcyjne:

1. Stosowanie elementów z zapasem parametrów (maksymalnego napięcia).
2. Stosowanie szybkich diud półprzewodnikowych spolaryzowanych zaporowo odprowadzających szpilki do linii zasilania.



Walka ze szpilkami napięciowymi

3. Stosowanie diud spolaryzowanych zaporowo, podłączonych równolegle do elementu indukcyjnego, tak, aby szpilka "odwrotnego napięcia" przeszła przez diodę, zamiast przez układ.
4. Albo skorzystać z gotowych układów zabezpieczających...

Wstęp do części projektowej

1. Wszystkie projekty wykorzystują proste programy napisane na platformę arduino pro mini $16MHz$, $5V$.
2. Projekty wykorzystują dwie linie zasilające: $+5V$ oraz $+12V$. Obie generowane są przez moduły konwerterów buck z jednego, zewnętrznego źródła zasilania. W dalszych częściach prezentacji temat lini zasilania jest pomijany.

Pliki źródłowe

1. w katalogu `sources` znajdują się źródła programów na platformę arduino.
2. w katalogu `circuits` znajdują się źródła schematów wykorzystywanych w prezentacji, stworzonych za pomocą programu circuitjs, dostępnego pod adresem:
<http://www.falstad.com/circuit/circuitjs.html>
3. W katalogu `datasheets` znajdują się noty katalogowe wykorzystanych układów.

Projekt 1: zamek do drzwiczek instrumentów/urządzeń

1. Stworzenie prototypu urządzenia zamykającego drzwiczki instrumentów na czas pracy celem uniknięcia wypadków związanych z niepoprawnym użytkowaniem. Przykład zastosowania: komora klimatyczna, piekarnik, pralka, komora do eksperymentów z niebezpiecznymi substancjami.
 - 1.1 Sterowanie sygnałem 5 V, np. z arduino

Analiza wymagań:

1. jako że cały układ ma być zintegrowany w ramach jednego urządzenia, nie trzeba stosować zabezpieczeń przed przepięciami/zwarciami wyjścia.
2. Cały układ może być maksymalnie prosty.

Wybrane rozwiązanie - zamek magnetyczny



Parametry:

1. Napięcie zasilania: 12 V
2. Pobór prądu: ~130 mA

Części składowe: elektromagnes, płytki na drzwi, śruby montażowe

Wybrane rozwiązanie - analiza

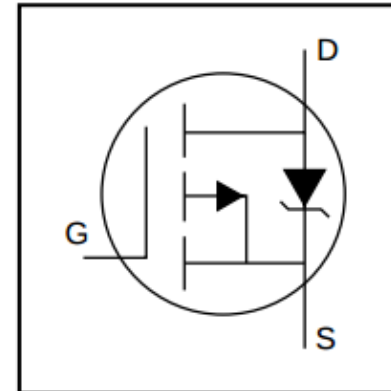
1. Jako, że całość ma być zamknięta w jednym urządzeniu, można zastosować najprostrze możliwe rozwiązanie - tj. sterowanie elektromagnesem z wykorzystaniem jednego tranzystora.
2. Ponieważ prąd i napięcie są stosunkowo duże, zaś układ ma pracować w trybie ciągłym, zostanie zastosowany tranzystor typu MOS.
3. Ponieważ sygnał sterujący ma poziom 5 V i małą wydajność prądową, należy dodać układ umożliwiający wystawianie tranzystora kluczującego na wyjściu.

- Advanced Process Technology
- Dynamic dv/dt Rating
- 175°C Operating Temperature
- Fast Switching
- P-Channel
- Fully Avalanche Rated

Description

Fifth Generation HEXFETs from International Rectifier utilize advanced processing techniques to achieve extremely low on-resistance per silicon area. This benefit, combined with the fast switching speed and ruggedized device design that HEXFET Power MOSFETs are well known for, provides the designer with an extremely efficient and reliable device for use in a wide variety of applications.

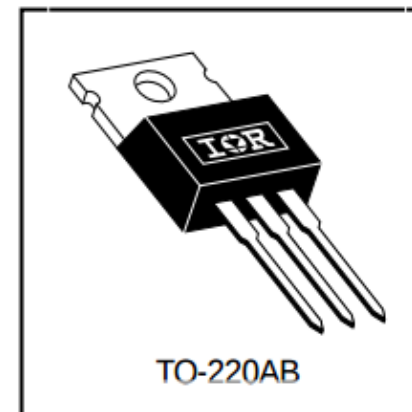
The TO-220 package is universally preferred for all commercial-industrial applications at power dissipation levels to approximately 50 watts. The low thermal resistance and low package cost of the TO-220 contribute to its wide acceptance throughout the industry.



$$V_{DS} = -55V$$

$$R_{DS(on)} = 0.10\Omega$$

$$I_D = -19A$$

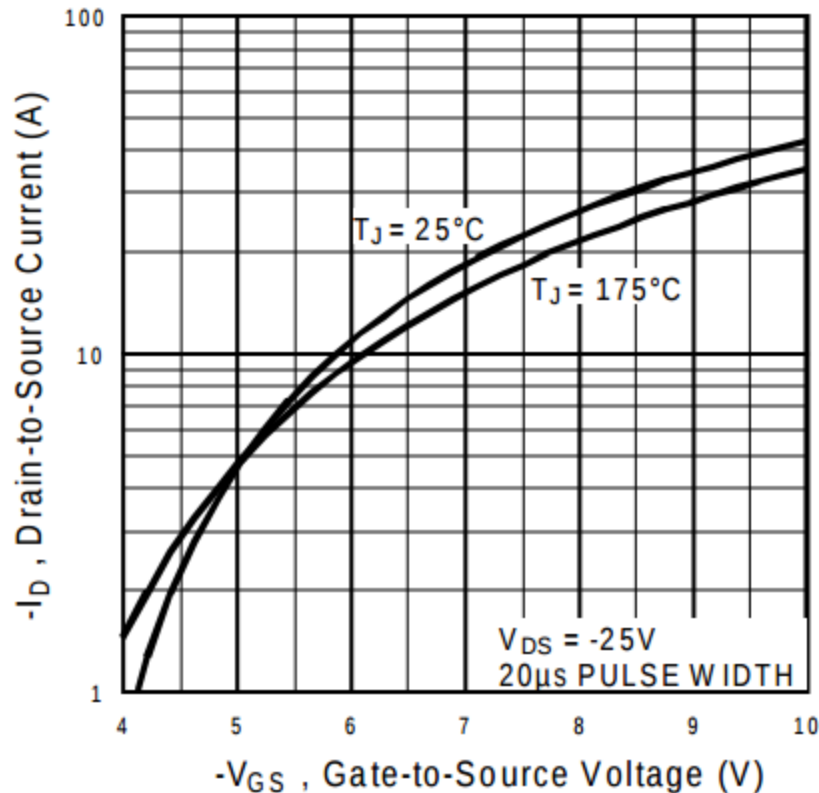


Dlaczego irf9z34n?

Tranzystor ten jest o wiele, wiele za mocny do tego zastosowania. Z powodzeniem mógłby sterować urządzeniami o mocy wyjściowej rzędu kilkudziesięciu watów - np. grzałkami, silnikami dużych mocy, oświetleniem itp. W tym projekcie został zastosowany ponieważ:

1. Ma duży zapas każdego możliwego parametru umożliwiający wykorzystanie go bez dodatkowych zabezpieczeń.
2. W tym przypadku można go wykorzystać bez żadnych dodatkowych układów chłodzących (w przypadku niektórych tranzystorów bipolarnych byłby konieczny).
3. Akurat miałem ich kilkadziesiąt w szafce.

Jak działa mosfet? - sterowanie

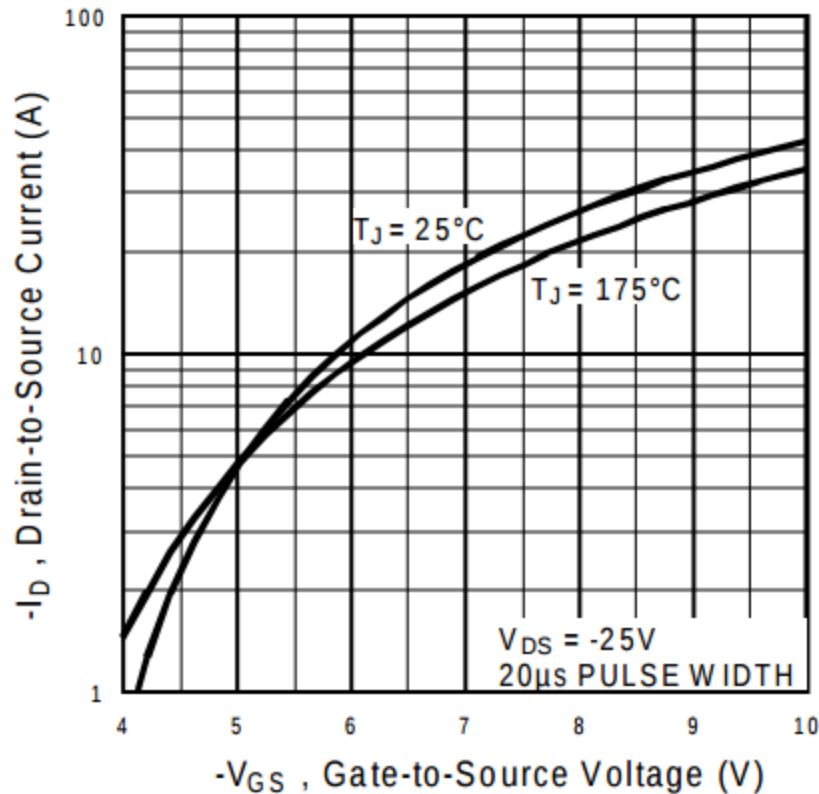


Wykres przedstawia maksymalny prąd przepuszczany przez tranzystor w funkcji napięcia sterującego V_{GS} .

Zauważ że tranzystor MOS jest sterowany napięciem

Jak działa mosfet? - sterowanie

cd.



Jako że chcemy wykorzystać tranzystor w roli przełącznika, interesują nas tylko skrajne punkty pracy dla $V_{GS} \approx 0$ oraz $V_{GS} \approx V_{cc}$ dla których prąd maksymalny wynosi odpowiednio 0A oraz $\approx 12\text{A}$

Sterowanie mosfetem - tranzystorocpcja

Według założeń projektowych, sygnał sterujący ma amplitudę $5V$,
zaś na poprzedniu slajdzie ustaliliśmy, że do sterowania mosfetem potrzebujemy sygnału o amplitudzie $12V$. Jak to obejść?

Gdybyśmy tylko posiadali jakiś przełącznik zdolny do takich rzeczy...

Tranzystor bipolarny sterujący mosfetem

Switching and Applications

- High Voltage: BC546, $V_{CE0}=65V$
- Low Noise: BC549, BC550
- Complement to BC556 ... BC560

NPN Epitaxial Silicon Transistor

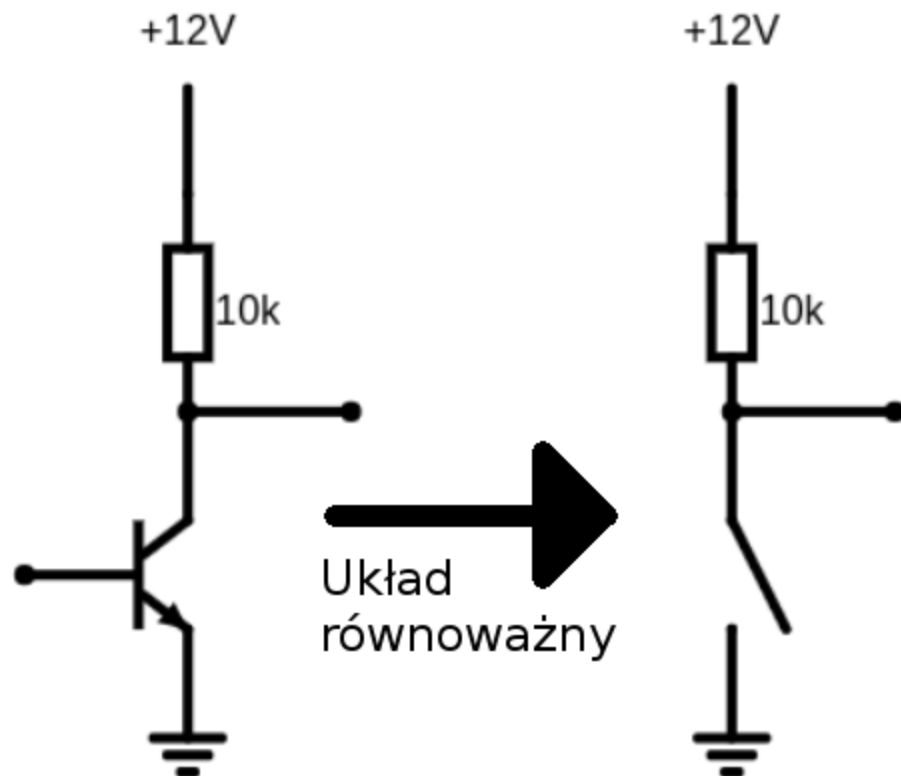
Absolute Maximum Ratings $T_a=25^{\circ}C$ unless otherwise noted

| Symbol | Parameter | Value | Units |
|-----------|-----------------------------------|-----------|-------------|
| V_{CBO} | Collector-Base Voltage : BC546 | 80 | V |
| | : BC547/550 | 50 | V |
| | : BC548/549 | 30 | V |
| V_{CEO} | Collector-Emitter Voltage : BC546 | 65 | V |
| | : BC547/550 | 45 | V |
| | : BC548/549 | 30 | V |
| V_{EBO} | Emitter-Base Voltage : BC546/547 | 6 | V |
| | : BC548/549/550 | 5 | V |
| I_C | Collector Current (DC) | 100 | mA |
| P_C | Collector Power Dissipation | 500 | mW |
| T_J | Junction Temperature | 150 | $^{\circ}C$ |
| T_{STG} | Storage Temperature | -65 ~ 150 | $^{\circ}C$ |



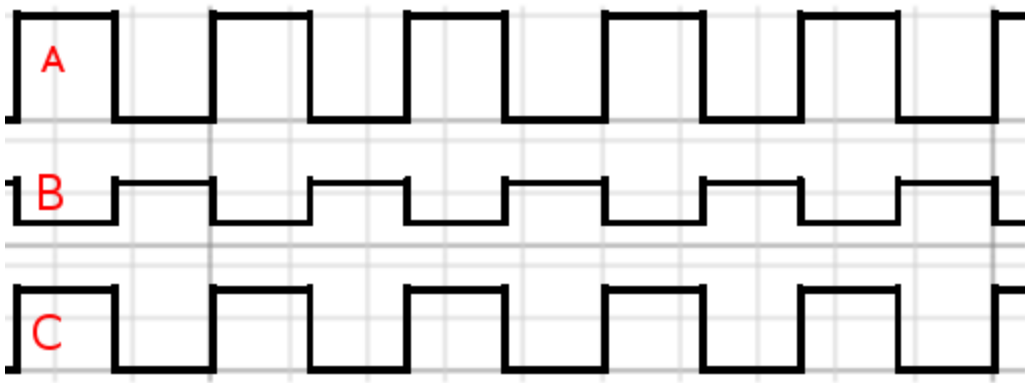
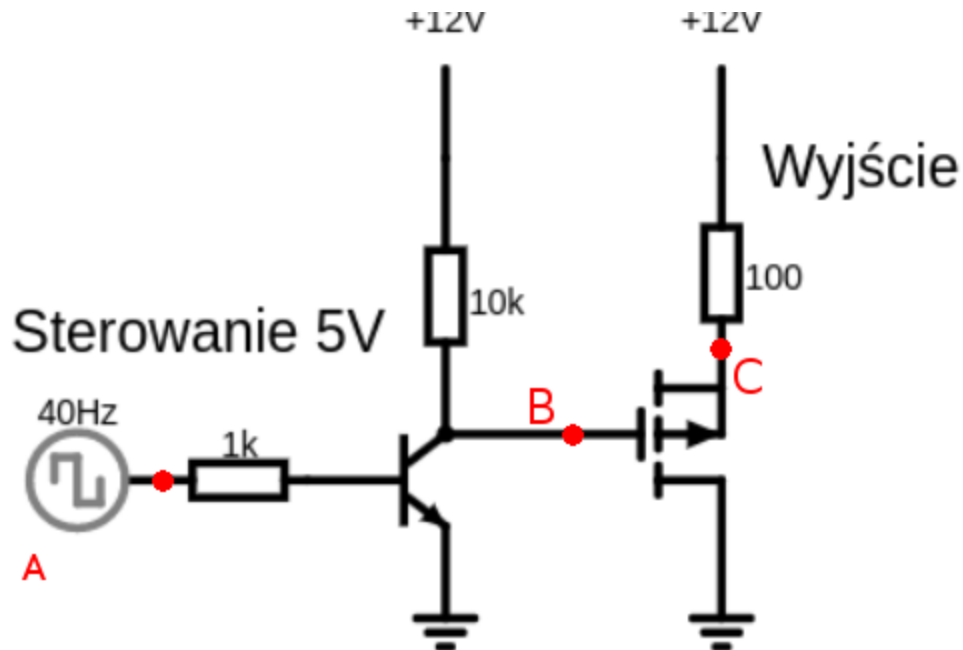
Dlaczego BC547? Bo to klasyk do takich zastosowań.

Tranzystor bipolarny w roli sterownika mosfeta



Działanie: gdy tranzystor jest włączony, wyjście jest zwarte do masy, zaś gdy wyłączony wyjście jest zwarte przez rezystor do zasilania. Taki rezystor nazywamy rezystorem podciągającym.

Jak to działa? Poziomy logiczne na kolejnych węzłach układu



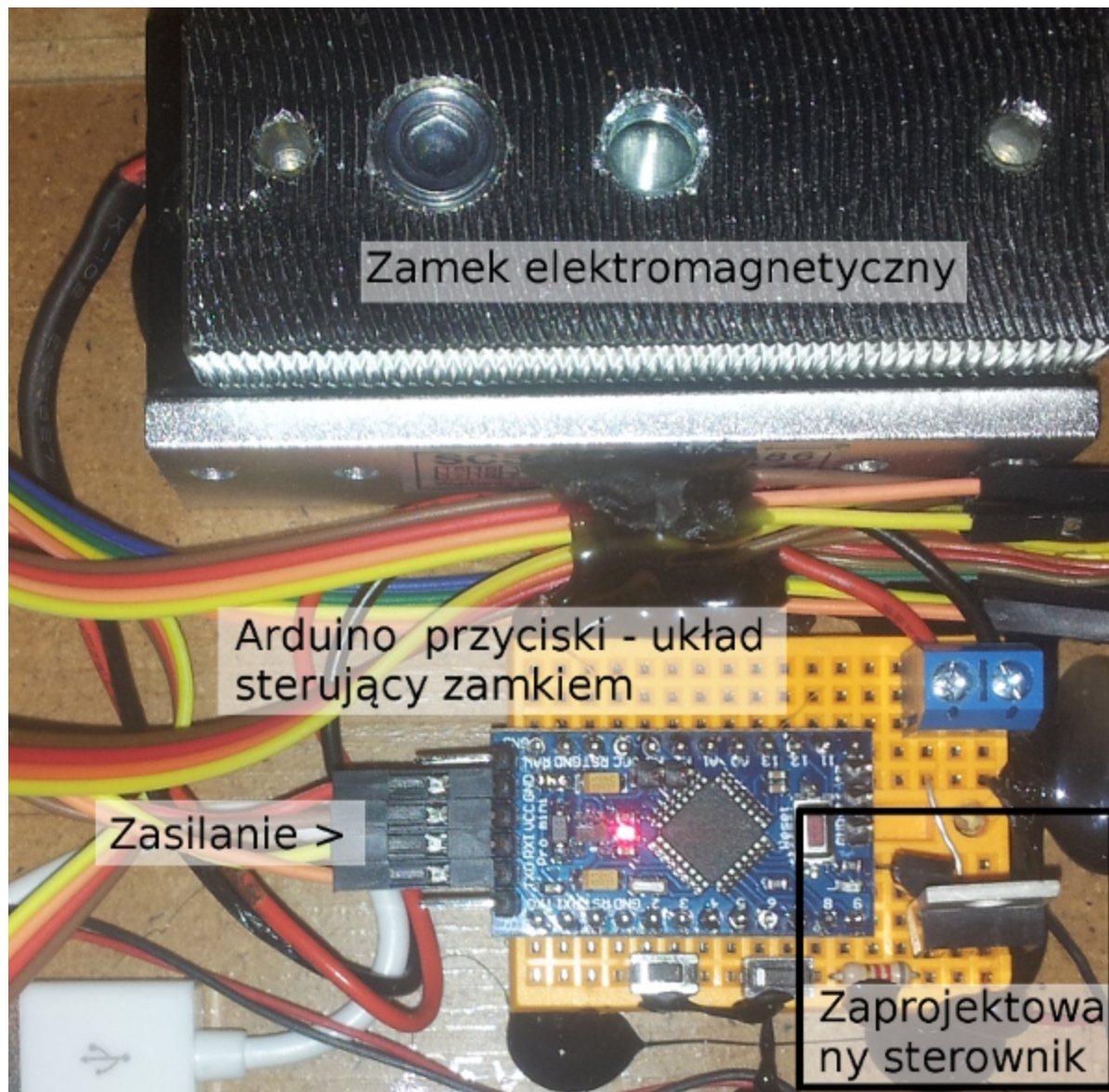
Po co rezystor podciągający do zasilania przy tranzystorze MOS?

Jak zauważyliśmy na stronie 21, tranzystory MOS są sterowane napięciem. Jest tak ponieważ wejście sterujące mos (bramka) nie jest zwarte z wyjściem - **prąd nie płynie przez bramkę**. Oznacza to, że nóżka tranzystora podłączona do bramki, **jeśli nie zostanie do czegoś podłączona**, "wisi w powietrzu", a każdy wiszący w powietrzu kawałek metalu działa jak antena - zbiera śmieci z eteru. Te śmieci indukują ciągle zmieniające się, losowe zmianypotencjału przewodnika.

Wniosek: nigdy nie zostawiaj w układzie nie podłączonych do niczego nóżek. Nawet jeśli ich nie używasz zewrzyj je do masy, ewentualnie zasilania. W mikrokontrolerach wymuś zerowy potencjał na nieużywanych pinach

@mos @pullup @nieuzywane_piny
`digitalWrite(PIN, LOW) !`

Prezentacja



Sposób użycia układu

Z zaprezentowanego na stronie 26 wykresu można łatwo wywnioskować, że stan wysoki na wejściu powoduje włączenie elektromagnesu (zatrzaśnięcie zamka).

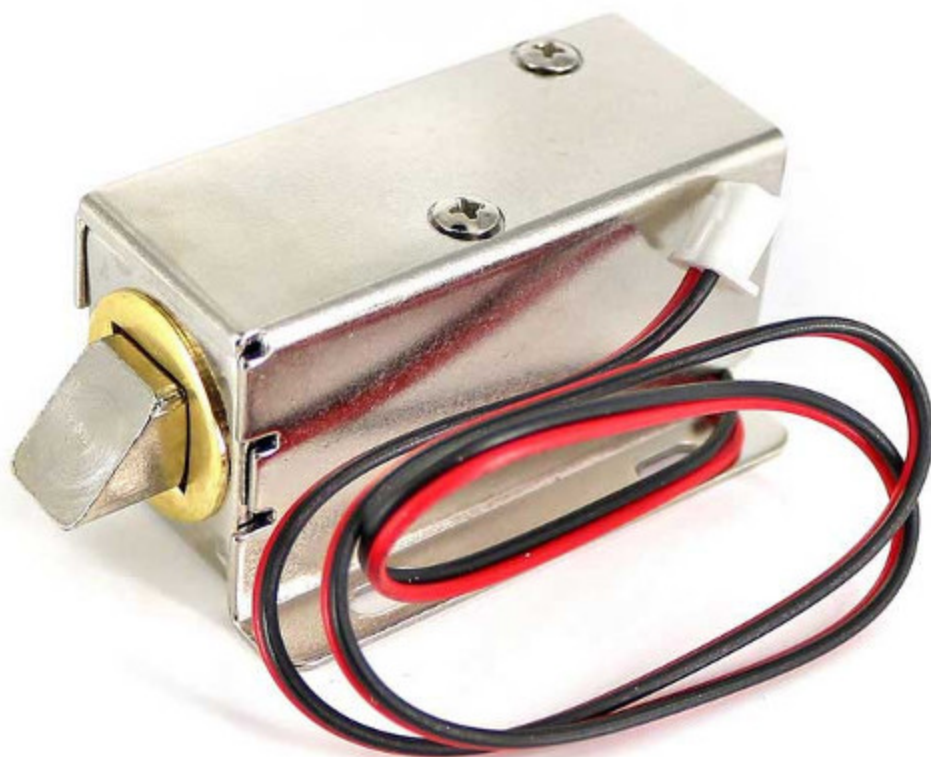
W pliku `sources/1_simple_electromagnet` znajduje się implementacja prostego programu używanego do sterowania zamkiem za pomocą dwóch przycisków - jednego do zamykania, a drugiego do otwierania.

Notka: Ze względu na ograniczoną ilość miejsca na płytce stykowej zastosowano brudny trik. Więcej w komentarzach zawartych w kodzie.

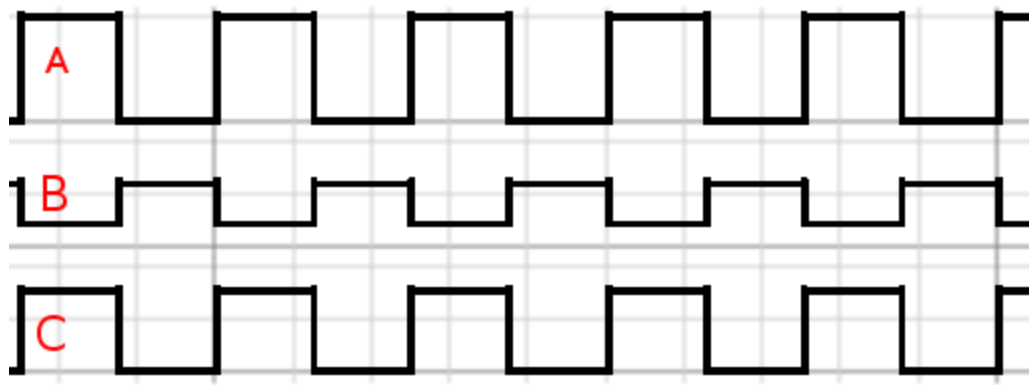
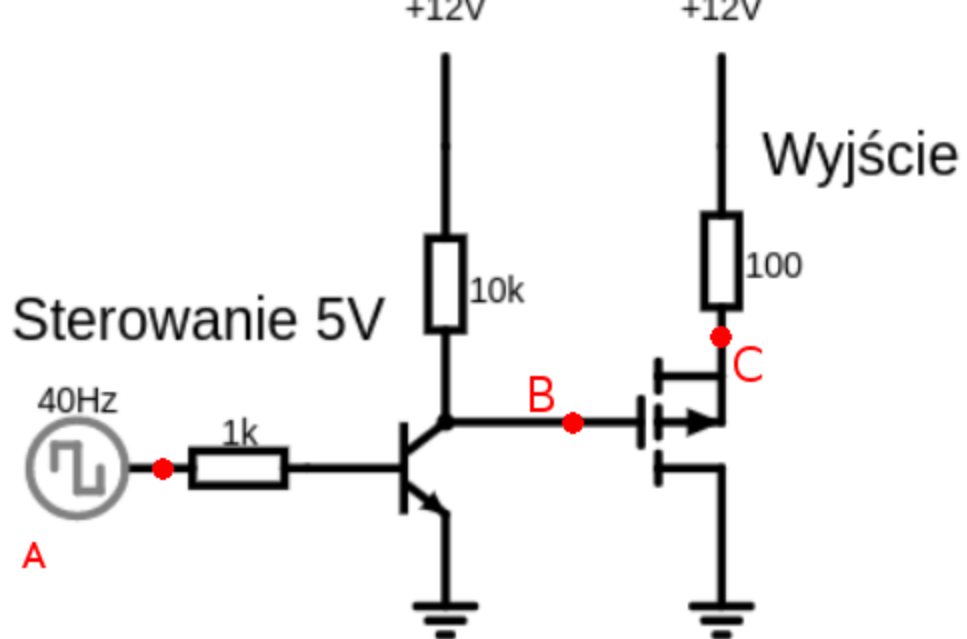
Projekt 2 - zamek do szafki/szuflady

- 2. Stworzenie prototypu urządzenia kontroli dostępu do szfek, sejfów, szuflad itp.
 - 2.1. Urządzenie powinno się automatycznie zatrzymać w momencie zamknięcia.
 - 2.2. Urządzenie powinno zostać zamknięte nawet po utracie zasilania.
 - 3.3. Otwierania drzwi tylko z wykorzystaniem identyfikatora RFID

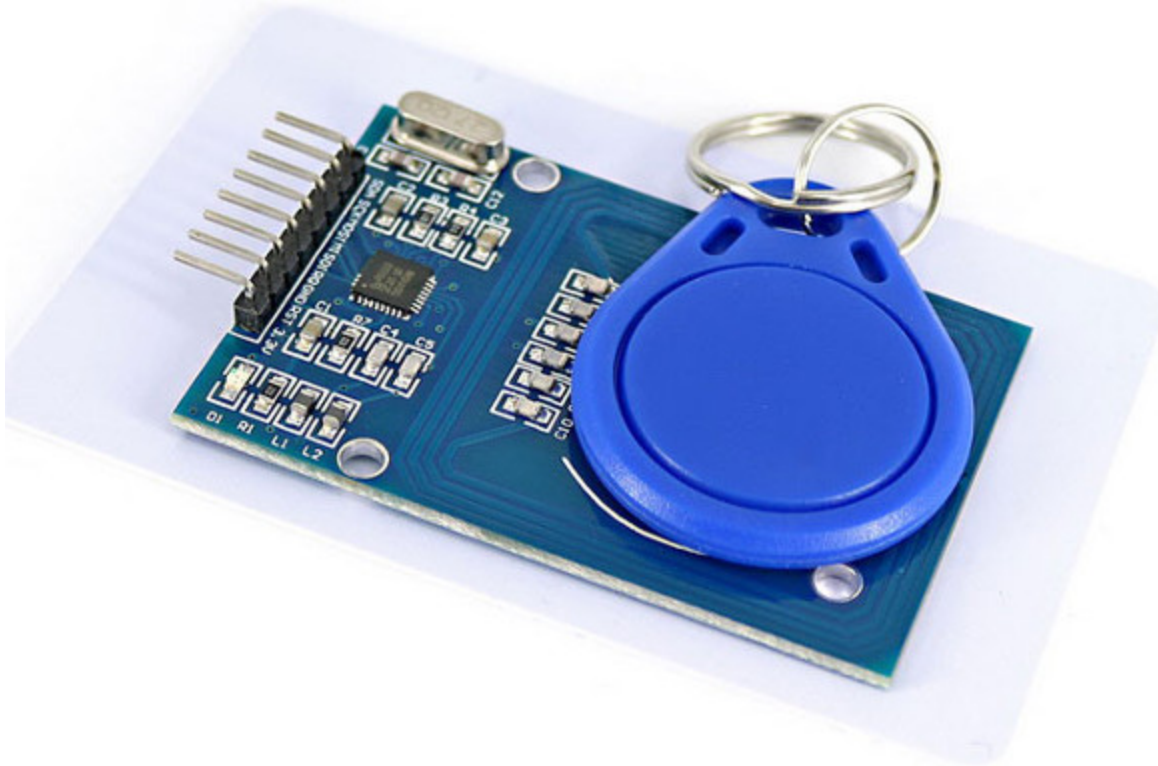
Projekt 2 - wykorzystany zamek



Właściwości: normalnie zamknięty, po przyłożeniu napięcia otwiera się, napięcie pracy $12V$, pobór prądu $\approx 150mA$, otwory montażowe, może pracować w dowolnej orientacji.



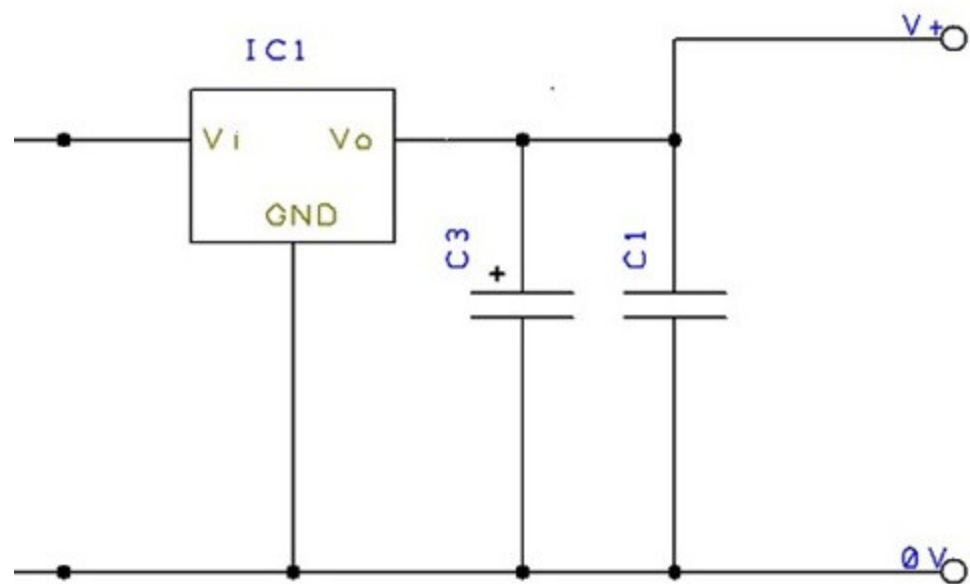
Wykorzystane rozwiązania



Czytnik rfid **RC522** - Cechy: Komunikacja SPI, napięcie pracy 3.3V, piny tolerujące sygnały cyfrowe 5V.

RFID - obsługa

1. zasilanie - układ wymaga zasilania $3.3V$, w związku z czym zastosowano klasyczny układ LD1117V33 - stabilizator liniowy $3.3V$ z dwoma kondensatorami -



$100\mu F$ oraz $10\mu F$.

Zastosowano tani czytnik z Chin, a do jego uruchomienia wykorzystano tutorial:

<http://playground.arduino.cc/Learning/MFRC522>

Prezentacja projektu



Komentarz do projektu

Identyfikator autoryzowanej karty jest zakodowany z sztywno w programie. W momencie wykrycia autoryzowanej karty zamek otwiera się na 3 sekundy - akurat żeby otwożyć szufladę.

Projekt jest prostym rozwinięciem poprzedniego. Należy go traktować jako kolejną iterację, która może się przydać w określonych warunkach wyszczególnionych w założeniach projektowych - w szfkach i szyfladach. Sam czytnik może być ukryty za plastikową obudową lub nawet deską.

Ze wzgldu na to, że projekt ma być zamknięty i niedostępny dla człowieka, bez możliwości dotknięcia - brak interfejsu użytkownika w postaci przycisków itp. - można darować wszelkie dyskusje na temat bezpieczeństwa, przebić i izolacji galwaniaczej.

Projekt 4

4. Stworzenie prototypu urządzenia kontroli dostępu do pomieszczenia, z możliwością:
 - 4.1. współpracy z klasycznymi, istniejącymi już drzwiami wejściowymi, posiadającymi od wewnątrz klamkę, zaś od zewnątrz tylko dziurkę od klucza, czyli możliwość otwierania drzwi przez naciśnięcie kalmki oraz/lub za pomocą klucza od zewnątrz oraz/lub zdalnie.
 - 4.2. Sterowanie sygnałem 5 V, np. z arduino
 - 4.3. Otwierania drzwi z wykorzystaniem identyfikatora RFID
 - 4.4. Dodawanie oraz usuwanie autoryzowanych identyfikatorów RFID
 - 4.5. Otwarcia drzwi z wykorzystaniem przycisku

Wybrane rozwiązanie

Ciekawe linki

1. Wspaniały stefan i podstawy cewek część 1 i 2:
<https://youtu.be/kdrP9WbJlb8> ,
<https://youtu.be/XCnI6ZOYKes>
2. Toturial o arduino i RFID:
<http://playground.arduino.cc/Learning/MFRC522>
3. Symulator prostych układów elektronicznych:
<http://www.falstad.com/circuit/circuitjs.html>

