

MATURITNÍ PRÁCE

Obohacené zapínací tlačítko se zabezpečovací funkcionalitou

Studijní obor: IT

Třída: C4

Školní rok: 2022/2023

Jméno a příjmení: Vít Bezouška

Vedoucí práce: Radek Lampíř

Abstrakt

Popis zařízení zlepšující požitek ze zapínání stolního počítače. Nabízí základní zabezpečovací funkce a možnosti přizpůsobení.

Abstract

Describing a device used to enhance the user experience of turning on one's PC. Some basic security and customization features are included.

Klíčová slova

Arduino, hardware, periferie, C++, elektronika

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval(a) samostatně a použil(a) jsem literární prameny a informace, které cituji a uvádím v seznamu použité literatury a zdrojů informací.

V Praze dne

.....

jméno a příjmení

Obsah

Úvod	9
Účel zařízení	10
Ochrana zapnutí počítače	10
Ochrana před fyzickými keyloggery	10
Způsob, jak zapnout počítač bez sehnutí	11
Zpříjemnění začátku pracovní doby	11
Zobrazení času nebo data	11
Limitace zařízení	12
Zapínání počítače nelze zabezpečit	12
Heslo na RFID čipu lze přepsat	12
Přeprogramovatelnost Arduin	12
Použité materiály	13
Popis jednotlivých součástí	14
Arduino Nano	14
Co je COM port?	15
Arduino Leonardo	15
Breadboardy	16
Jednopinové spoje	16
LCD displej	16
Reproduktor	17
Červené tlačítko s krytkou	17
Páčkový přepínač	17
Čtečka micro SD karet a karta samotná	17
PNP tranzistor	18

680KΩ rezistor	18
Drát do počítače a zpět	18
Spínač na zámek	18
LED diody	18
RFID-RC522 a MIFARE čip	19
Dvojité terminál	19
Malé šroubky	19
Použitý software	20
Word	20
Arduino IDE	20
PyCharm Professional	24
GIMP	24
image2cpp	24
Audacity	25
GitHub	25
FontConvert	25
Tinkercad	26
Použité knihovny	27
Adafruit GFX a SSD1306	27
TMRpcm	27
SpaniakosAES	27
Implementace base64	27
CzechKeyboard	27
Easy MFRC522	27
Popis jednotlivých modulů	28

Obrazovkový modul	28
Popis fungování	28
setup()	28
loop()	29
Uživatel nemačká tlačítko	29
Uživatel mačká tlačítko	29
Audio modul je připraven	30
Audio modul není připraven	30
Audio modul	30
Popis fungování	30
setup()	30
loop()	31
RFID moduly	31
Zapisovací (šifrovací) modul	31
Popis fungování	32
setup()	32
loop()	32
Čtecí (dešifrovací) modul	33
Popis fungování	33
setup()	33
loop()	34
Šasí	35
Základ krabičky	35
Stropní panel	36
Boční panel	36

Závěr

37

Úvod

Tato práce popisuje mnou navržené a vytvořené zabezpečovací zařízení pro stolní počítač a jeho vlastnosti.

Funkcionalita je rozdělená mezi tři mikrokontrolery Arduino, konkrétně dva modely Nano a jeden model Leonardo. Jedno Nano ovládá displej, zapíná počítač a komunikuje s pythonovým skriptem. Toto Nano a k němu připojené periferie budou nazývat displejovým nebo obrazovkovým modulem. Druhé z Nano na povel displejového modulu přečte z micro SD karty audio soubor a přehraje ho. Nazýváme jej zvukovým modulem. Úkolem Arduina Leonardo je přečíst zašifrované heslo z přiloženého RFID čipu nebo karty, dešifrovat ho, a následně ho poslat jako klávesnicový vstup do počítače. To je modul čipový.

Zabezpečení samotné je zajišťováno třemi funkcemi. Zařízení zaprvé omezuje přístup k napájecímu tlačítku počítače nepovolaným osobám tak, aby nemohly počítač vypnout ani zapnout. Zadruhé pracuje jako password manager hesel uložených na RFID čipu či kartě. Poslední funkcí je možnost nastavení automatického odhlášení z uživatelského profilu v systému Windows po odejmutí čipu či karty ze čtecího senzoru.

Součástí práce bylo navrhování a sestavování hardwarových obvodů, navrhování 3D tištěného šasí, programování mikrokontrolerů Arduino v C++ a vytváření pythonového skriptu, který zprostředkovává komunikaci mezi počítačem a jedním z Arduin.



1 První vizualizace toho, jak by mohla vypadat finální podoba zařízení

Účel zařízení

Hlavním cílem tohoto modulu je pomoci i laickému uživateli zabezpečit jeho počítač před těmi nejobecnějšími kyberhrozbami a navíc trochu zpříjemnit jeho používání.

Ochrana zapnutí počítače

Spínač na klíč funguje jako prevence neoprávněného zapnutí. Tento způsob ochrany je sice velmi jednoduchý, ale nelze ho obejít, aniž by byly zanechány známky vniknutí. Stačí na šroubky na krabici a od počítače nalepit bezpečnostní nálepky. Když se uživatel vrátí k počítači a uvidí, že se do něj někdo pokoušel dostat, může si okamžitě změnit hesla a zabránit tak neoprávněnému přístupu do svých účtů.



2 Příklad použití bezpečnostní nálepky k zabezpečení krabičky čokoládových bonbónů

Ochrana před fyzickými keyloggery

Keylogger je zařízení, které si zapamatovává uživatelské vstupy aniž by je blokovalo a je schopno je poté poskytnout útočníkovi, který z nich může vyčíst citlivé údaje. Proti digitálním keyloggerům se lze bránit pomocí aktuálního antivirového programu. Existují ale také fyzické keyloggery, malá zařízení se dvěma USB porty. Do jednoho se připojí zařízení, které bude odposloucháváno a ten druhý se připojí do počítače. Zařízení si všechny vstupy ukládá do interního úložiště, nebo je přeposílá dál přes wifi.¹

Můj modul má v sobě integrovanou čtečku MIFARE RFID karet, ze kterých přečte zašifrované heslo, sám si ho dešifruje a výsledek pošle do počítače jako klávesnicový vstup. Je tedy také zranitelný vůči tomuto útoku. Když se ale zkombinují tyto dva způsoby zadávání hesla, může to útočníkovi ztížit získávání

¹ Keelog. *Hardware Keylogger: AirDrive & KeyGrabber Keylogger - C64 PSU Power Supply*. USB keylogger hardware solutions - KeyGrabber - USB Keylogger, Wireless Keylogger, DIY Keylogger, Wi-Fi Keylogger, C64 PSU, C64 Power Supply, Commodore 64 [internet]. [Wrocław], [2004-02-05], 2023/01/31 [31.1.2023]. Veřejně přístupné na keelog.com.

hesla. Například když klávesnicí uživatel zadá *hes*, mým modulem *lo*, a klávesnicí ještě *123*, útočníkovi se zobrazí *hes123* a *lo* odděleně a bude pro něj těžší získat tu správnou kombinaci.

Způsob, jak zapnout počítač bez sehnutí

Umístí-li si uživatel modul na stůl, nebude se muset shýbat k zemi, aby si zapnul počítač.

Zpříjemnění začátku pracovní doby

Modul po spuštění počítače přehraje náhodný zvuk z připojené micro SD karty. Uživatel si na ní může nahrát své oblíbené písničky a zlepšit si náladu ještě než se pustí do práce.

Zobrazení času nebo data

Podle toho, co si uživatel zvolí, se na displeji může při nečinnosti zobrazovat buď aktuální datum, nebo čas. Nastavení data a času se aktualizuje na systémové hodnoty při každém spuštění počítače, není tedy třeba modul přenastavovat každých půl roku.

Limitace zařízení

Toto zařízení není perfektní a má jisté chyby. Považujme ho za proof of concept, ne jako finální produkt. Mnoho těchto chyb je způsobeno limitacemi, které není realistické řešit v mém socioekonomickém postavení.

Zapínání počítače nelze zabezpečit

Dokud se budou počítače zapínat pomocí zkratování dvou pinů, nebude možné je efektivně ochránit před neoprávněnými osobami. Vždy totiž bude možné nějakým způsobem obnažit kontakty a zkratovat je.

Tohle by se dalo vyřešit spoluprací s výrobcí základních desek. Kdyby totiž základní deska reagovala pouze na zaslání nějakého relativně unikátního kódu, šlo by moje zařízení vybavit zabezpečovacím čipem, který by se základní deskou komunikoval a takovýto kód poskytl.

Mohlo by se jednat o hardwarový bezpečnostní token, který by si se zapnutým počítačem vyměňoval seedy ke generování klíčů. Vypnutý počítač by pak požadoval kód, který by hardwarový token vygeneroval třeba z několika posledních seedů a aktuálního času. Útočník by potom neměl jak počítač zapnout.

Heslo na RFID čipu lze přepsat

Jelikož jsou data zapsaná na čipy, užívané v tomto projektu, přepsatelná, útočník by je teoreticky mohl změnit anebo smazat. Ideálně by se používaly čipy s pamětí WORM².

Přeprogramovatelnost Arduin

Mikrokontrolery, které používám jsou jednoduše přeprogramovatelné. Stačí je připojit k počítači a nahrát do nich jiný kód. Tento nedostatek by se dal vyřešit využitím vlastních designů mikrokontrolerů s WORM pamětí.

² Write once, read many. Druh paměti, která nedovoluje měnit data, která jsou na ni zapsána.

Použité materiály

Na každý projekt je potřeba trocha hardwaru. Zde je seznam toho, co bylo použito na tento projekt.

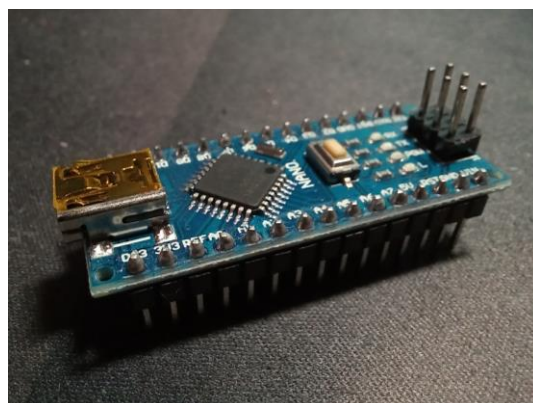
Počet	Součástka
2	Arduino Nano
1	Arduino Leonardo
1	Breadboard malý
2	Breadboard velký
>50	Jednopinový spoj
1	IIC LCD displej 128x32px, jednobarevný
1	Reproduktor 2W 8Ω
1	Velké červené tlačítko
1	Odklápěcí kryt na velké červené tlačítko
3	Páčkový přepínač
1	Micro SD modul
1	Micro SD karta
4	PNP tranzistor
1	Malý 10KΩ rezistor
2	Kabel, který dosáhne od krabičky k PW pinům
1	Spínač na zámek (s klíčkem)
4	Libovolná LED dioda
1	RFID modul RC-522
1	MIFARE Classic čip
1	Šroubovací terminál na dva drátky
12	Šroubků 2x10mm

Popis jednotlivých součástí

Důležité je vědět nejen co použít, ale i jak to použít.

Arduino Nano

Nejstarší model Arduina, který se dnes běžně používá. Arduino je vlastně jen veřejně dostupná technická specifikace, podle které si kdokoliv může nechat vytvořit své vlastní Arduino. Arduina, která já používám v tomto projektu nejsou originální, jde o verzi z Číny



3 Arduino Nano

za zlomek ceny. Pořád ale mají naprosto identickou funkcionalitu jako kdybych si koupil originální Genuino,³ a protože se prodejce nesnažil tvrdit, že by šlo o oficiální výrobek, je toto Arduino naprosto legální.⁴

Arduino Nano v sobě má mikrokontroler ATmega328 o frekvenci 16 MHz a samo o sobě spotřebovává zhruba 20 mA při 5V DC. Tato spotřeba se samozřejmě zvyšuje, když k němu připojíme nějakou periferii. Každý z jeho 22 I/O⁵ pinů totiž dokáže poskytnout až 40 mA. Arduino ale nemusíme napájet přes USB port. Někdy může být vhodnější mít samostatnou baterii, ke které Arduino rovnou připojíme. V takovém případě by baterie měla mít napětí mezi 7 a 12V DC. Co se týče úložiště, má Nano k dispozici zhruba 30KB flash paměti z celkových 32, ty 2KB zabírá bootloader⁶. Operační paměť Arduina má kapacitu 2KB. Jak se s Arduinem pracuje?

Arduino Nano se k počítači připojuje do USB portu počítače pomocí mini USB kabelu. Počítači se ohlásí jako zařízení připojené přes emulovaný COM port.

³ Globální trademark, označující Arduina prodávaná společností Arduino LLC, která Arduina vyvíjí.

⁴ Arduino LLC. How to spot a counterfeit Arduino – Arduino Help Center. *Arduino*. [internet]. [3.2.2023]. Veřejně dostupné na <https://support.arduino.cc/hc/en-us/articles/360020652100-How-to-spot-a-counterfeit-Arduino>

⁵ Input/Output – Vstup/Výstup. Jak budou tyto piny použity záleží na naprogramování.

⁶ Program, který se stará o správný start systému a načtení nahraného programu.

Co je COM port?

COM porty byly sériové porty, které se dříve používaly k připojení tiskáren, obrazovek a dalších periférií v dobách před USB.

Dnes už na počítačích tyto porty fyzicky nenajdeme, ale některé periférie si i tak vyžadají, aby jim byl přidělen virtuální COM port, protože jinak komunikovat neumí. Operační systém tedy „vytvoří“ nový COM port, který těmto zařízením přiřadí. Ten nový port sice fyzicky neexistuje, ale programy, ani připojená zařízení rozdíl nepoznají.



4 Konektor DE-9 přes který původně probíhala komunikace COM (volné dílo)

Proč se ale tato stará technologie pořád používá? Hlavním důvodem je, že implementace komunikace přes COM je relativně nenáročná a může probíhat i se zařízeními připojenými přes běžné USB.

Nevýhodou tohoto způsobu komunikace je velmi nízká propustnost dat, ta se pohybuje v jednotkách až desítkách kilobitů za sekundu,⁷ ale zařízení, která COM využívají, nepotřebují, aby komunikace byla *rychlá*. Naprosto jim stačí, že *nějaká vůbec je*, protože by vyšší rychlosti buď nestíhala, anebo neposílají tak velké objemy dat, aby vyšší propustnost měla nějaký znatelný dopad.

Arduino Leonardo

Arduino Leonardo si lze představit jako větší a lepší Arduino Nano. Má o 500B větší operační paměť, pohání ho mikrokontroler ATmega32u4 a napájet ho lze 6 až 20V DC. Navíc nepotřebujeme breadboard, abychom do něj něco zapojili, drátky můžeme rovnou strkat do jeho zdířek.



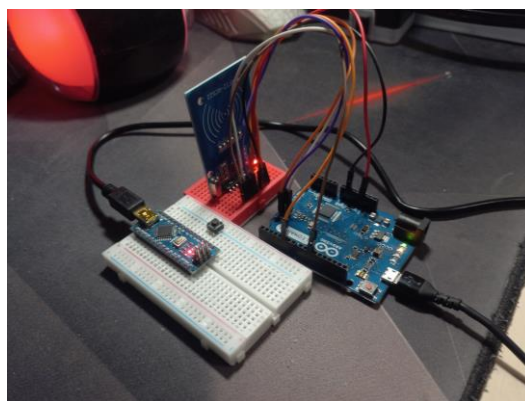
5 Arduino Leonardo

⁷ Wikimedia Foundation, Inc. Serial port – Wikipedia. *Wikipedia: The Free Encyclopedia*. [online]. 26 October 2005, 1 December 2022 [31.1.2023] Veřejně dostupné z https://en.wikipedia.org/wiki/Serial_port

Jeho hlavní výhodou je ale schopnost posílat do počítače klávesnicové vstupy a to bez použití jiných kabelů, než micro USB, kterým ho napájíme. Můžeme pomocí něj tedy ulehčit uživateli práci a například za něj napsat heslo, nebo pomocí klávesové zkratky Win + L zamknout jeho počítač, pokud detekuje jeho nepřítomnost.

Breadboardy

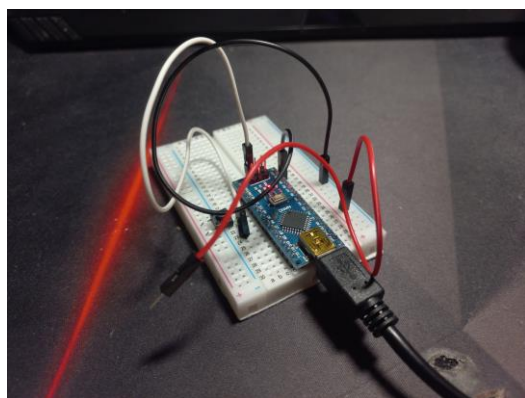
Breadboard je destička, pomocí které se dají navrhovat a testovat obvody bez pájení. Sloty v breadboardu jsou spojené do řádků, kraje velkých breadboardů pak do sloupců. Dovolují vývojářům a kutilům zastrčit do nich součástky, vyzkoušet funkcionalitu, a pak součástky zase vyndat a použít znova. Breadboardy mívají na stranách zářezy anebo výstupky, aby se daly spojit pro jednodušší práci.



6 Příklad použití breadboardů

Jednopinové spoje

Drátky kompatibilní s breadboardy a jinými součástkami. Dají se pořídít v jakékoliv kombinaci konektorových pohlaví.



7 Příklad použití jednopinových spojů

LCD displej

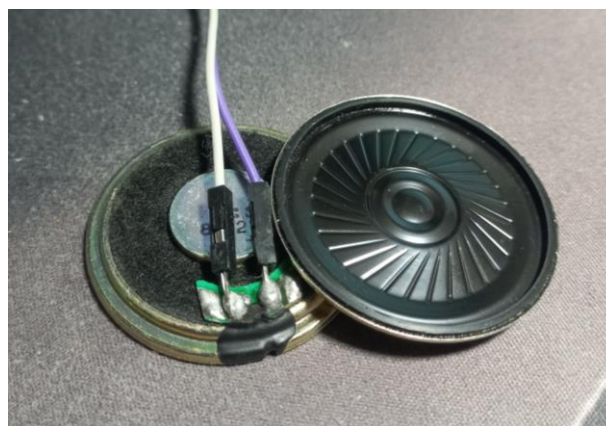
LCD displej, který používám má rozlišení 128x32 pixelů. Umí zobrazovat jen jednu barvu, a to světle modrou. Komunikuje s Arduinem pomocí protokolu IIC. Lze na něm zobrazovat jednotlivé pixely, čáry, obrazce, anebo rovnou obrázky, či text s vlastním fontem. Více o zobrazování obrázků anebo používání vlastních fontů najdete v sekci použitý software.



8 Příklad použití displeje k zobrazení mého pseudonymu při startu obrazkového modulu

Reproduktor

Reproduktor, který používám má výkon 2W a impedanci 8Ω. Výborně reprodukuje vysoké frekvence, u těch nižších jsou tišší a reprodukováný zvuk je méně kvalitní. Kvalita přehrávaného audia je ale také limitována přehrávacími schopnostmi Arduina, které dokáže z SD karty přehrát audio maximálně o 8 bitové hloubce a vzorkovací frekvenci 16KHz.



9 K reproduktoru bylo potřeba připojit konektory

Červené tlačítko s krytkou

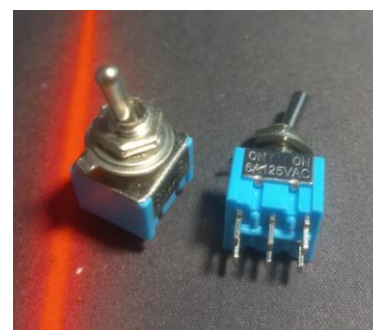
Je vůbec potřeba důvod mít červené tlačítko s krytkou? To je snad sen každého kutila, někam takové tlačítko zakomponovat! Tlačítko se bez matice vloží do krytky a matice se pak nandá na závit tlačítka. Krytka pak pevně drží a chrání před nechtěným odpálením.



10 "Pane prezidente, rozhodnutí je na Vás."

Páčkový přepínač

Běžný přepínač, který vypadá, jako z kokpitu letadla. Jeden dokáže přepínat dva oddělené obvody zároveň. Přichycovací mechanismus se silně podobá uchycovacímu mechanismu u červeného tlačítka.



11 Běžná páčka, běžný přepínač.

Čtečka micro SD karet a karta samotná

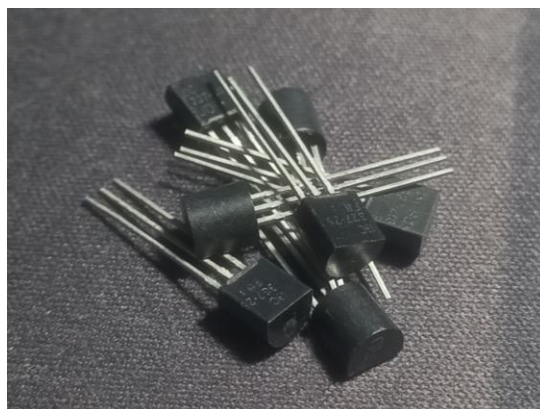
Jeden z mála modulů, který je napájen 3.3V místo 5V. Co se týče kapacity micro SD karty, úplně by stačilo 64MB. Arduino dokáže přehrát jen velmi jednoduché soubory, které nemají šanci zabrat moc místa, a to i při uložení ve formátu bez komprese, jako je .wav.



12 I dnes může několik desítek MB bohatě stačit

PNP tranzistor

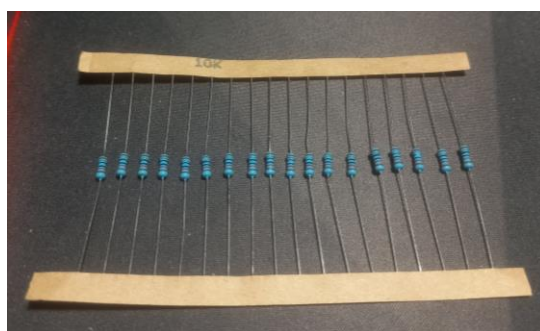
PNP tranzistory jsou něco jako velmi jednoduchý programovací if. Propouští proud z emitteru do kolektoru jenom když je napětí v bázi zhruba o půl voltu nižší než v emitteru. Tranzistory fungují jen při nízkých napětích a nízkých proudech. Při vyšších zatíženích se používají relé.



13 Kupička silikonu na nožičkách

680KΩ rezistor

Bez pulldown odporu na lince signálu z obrazovkového do zvukového modulu se stávalo, že zvukový modul začal sám o sobě hrát. U jiných modulů se tohle zatím nestalo.



15 Jeden chybí, ten už byl použit

Drát do počítače a zpět

Je docela jedno, co za drát použijete, ale musí být dost dlouhý. Drát, který jsem použil já, byl červený CYA 1, nejlevnější druh prodáváný po metrech, vhodný víceméně na všechny nízkonapěťové účely.



14 Zhruba 25m kabelu. Sestříhat a použít.

Spínač na zámek

Stejně jako většina visacích zámků lze i tento být jednoduše obejit, ale šlo mi spíš o estetickou hodnotu. Je to další vychytávka, která zaujme kutily.



16 Záložní klíček se vždycky hodí

LED diody

Jak jinak indikovat zapnutí, provoz, nebo funkcionalitu? Žárovky by potřebovaly víc proudu než by Arduino bylo schopno poskytnout a doutnavka běží na AC.



17 Osvětlení jako v nightclubu

RFID-RC522 a MIFARE čip

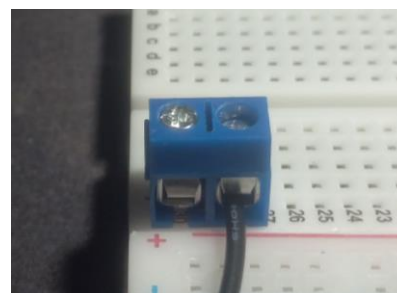
Pomocí tohoto modulu lze zapisovat i číst z kompatibilních čipů a čipových karet MIFARE CLASSIC.



18 RFID modul i s čipem a čipovou kartou

Dvojité terminál

Takovýto šroubovací terminál je nejjednodušší a nejspolehlivější způsob, jak připojit něco k Arduino kabelem. Šroubek se vyšroubuje a do slotu se nacpe obnažený kabel nebo drát. Šroubek se zase zašroubuje a kabel se přiskřípne mezi konektory. I přes mírná škubání a popotahování je pak kabel dobře připojen.



19 Jeden slot volný, v druhém slotu pevně připojený kabel

Malé šroubky

Těmito šroubky jsem přišrouboval k sobě části 3D tištěné krabičky na finální produkt. Krásně se také vejdou do zdírek v Arduino Leonardo, takže se dá nádherně připevnit ke stropu krabičky.



20 Netuším, co je to za kov. Možná mosaz?

Použitý software

Word

Myslím si, že nikoho nepřekvapí, že k psaní této práce byl použit Microsoft Word, konkrétně Word 2019.

Arduino IDE

Integrované vývojové prostředí, neboli IDE je program určený k psaní dalších programů. IDE většinou podporují jen některé programovací jazyky, nebo jen některé platformy. K vývoji programů na Arduino potřebujeme takové IDE, které by nám dovolilo nejen napsat program v C++, ale i ho bezbolestně nahrát do Arduina.

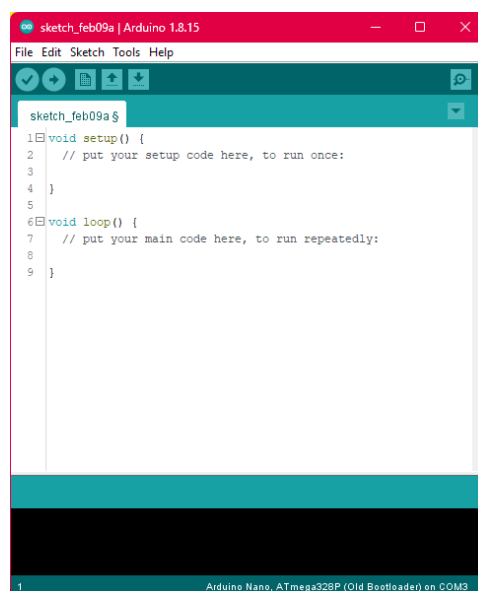
Jedno takové vyvinuli sami tvůrci Arduina. Nenabízí sice našeptávání, či jiné pokročilé funkce, ale jednoduše se přes něj nahrávají programy na Arduina. Stáhnout se dá na

<https://www.arduino.cc/en/software>.

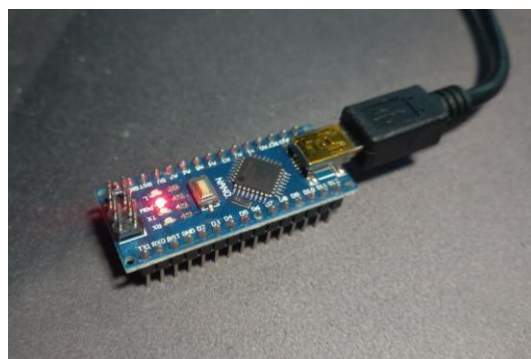
Když si IDE nainstalujeme, musíme ještě připojit samotné Arduino k počítači. Každý model má nějaký USB port, přes který ho lze jednoduše připojit. Starší modely mívají mini USB, novější mají micro USB a ty nejnovější podporují USB C.

Spustíme Arduino IDE. Objeví se nám

šablona nového projektu s dvěma metodami, `setup()` a `loop()`. Jak napovídají komentáře, kód v metodě `setup()` se spustí jednou při startu Arduina a metoda `loop()` se bude volat donekonečna.



21 Prázdný projekt v Arduino IDE



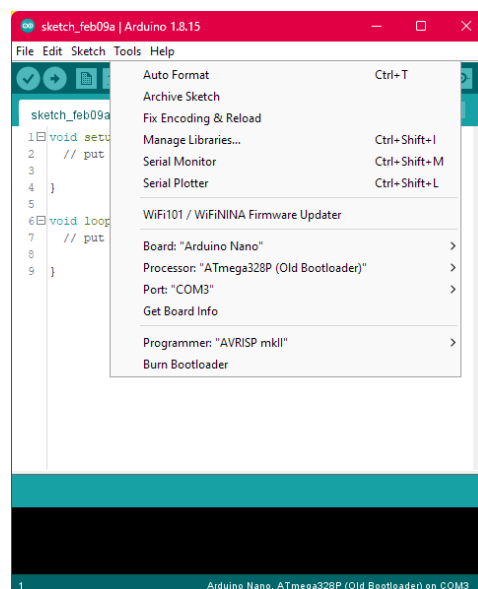
22 Připojené Arduino Nano

Arduino se programuje v C++. Můžeme se tedy rovnou pustit do programování. Chceme-li například, aby Arduino po zapnutí rozsvítilo LED diodu, kterou má v sobě zakomponovanou, vložíme do metody setup() následující kód:

```
pinMode(LED_BUILTIN, OUTPUT);  
digitalWrite(LED_BUILTIN, HIGH);
```

Tím Arduino řekneme, že pin LED_BUILTIN bude výstupní a že do něj chceme zapsat hodnotu HIGH, čili pustit do něj proud.

Chceme-li do Arduina kód zapsat, musíme nejdříve IDE říct, co máme za Arduino a přes který COM port s ním má komunikovat. To nastavíme v dropdown menu *Tools* na horní liště okna. Jakmile si navolíte správné nastavení, můžete kliknout na ikonku šipky vlevo nahoře. Tím dáte IDE povel zkompilovat a poslat program do Arduina.



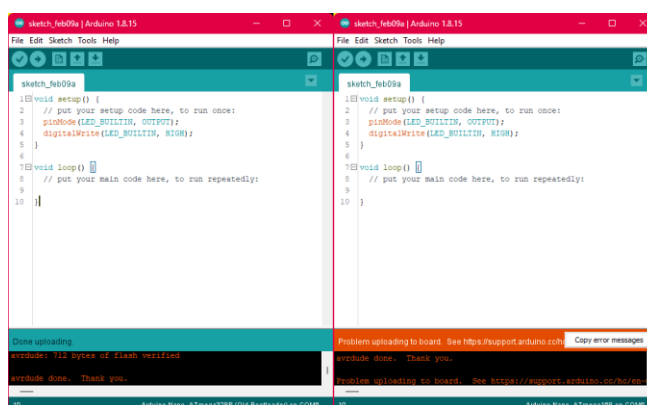
23 Rozbalené menu Tools

Pokud jste zvolili správná nastavení, mělo by se Arduino rozblikat a pak by mělo rozsvítit dvě ze svých diod. Jedna indikuje zapnutí a tu druhou jste zapnuli programem.

Pokud se vám v konzolovém výstupu IDE objevila chybová hláška, není třeba panikařit. Pravděpodobně jste špatně nastavili něco v *Tools*. Vraťte se tam a zkuste jiná nastavení.

Kdybyste chtěli, aby dioda po zmáčknutí tlačítka zhasla, můžete do setup() přidat ještě:

```
pinMode(3, INPUT_PULLUP);
```

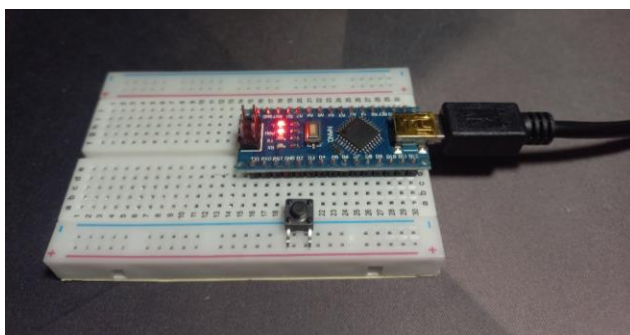


24 Výsledek úspěšného a neúspěšného pokusu o nahrání programu

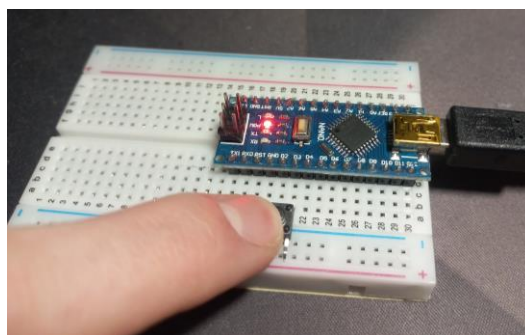
Čímž řeknete Arduino, že pin D3 bude vstupní a dokud ho nespojíte s jedním z uzemňovacích GND pinů, tak z něj Arduino vyčte hodnotu HIGH. Do loop() pak přidejte ještě

```
if (digitalRead(3) == LOW){
    digitalWrite(LED_BUILTIN, LOW);
}
```

Potom jeden pin tlačítka spojte s D3 a druhý s GND. Dokud nezmáčknete tlačítko, dioda bude svítit, ale jakmile ho zmáčknete, dioda zhasne.



26 Tlačítko nezmáčkuto, dioda svítí

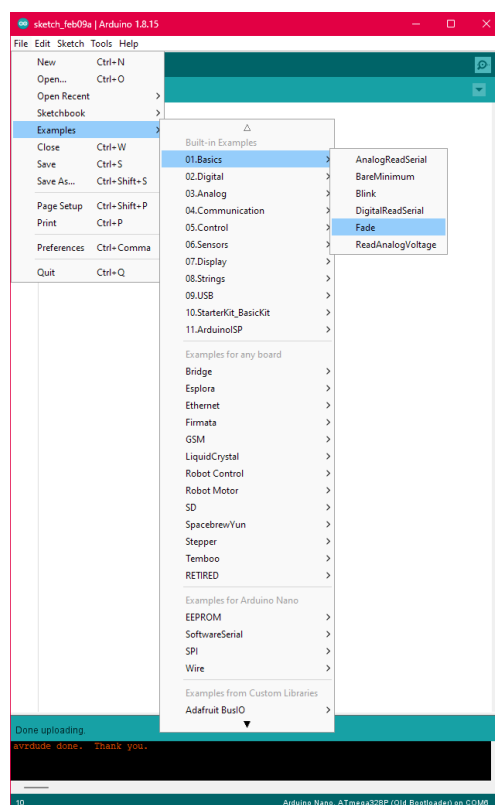


25 Tlačítko zmáčkuto, dioda přestala svítit

Nemusíme ale všechno programovat sami. Arduino IDE také obsahuje ukázky. V dropdown menu *File* v horní liště okna je můžeme najít pod volbou *Examples*. Ukázky mohou pocházet jak od tvůrců Arduina, tak od developerů různých knihoven.

Podívejme se třeba, jak se podle tvůrců Arduina dělá, aby LED dioda postupně zhasínala a zase se rozsvěcela. Najděte v *Examples* položku *01.Basics*, a v ní najděte *Fade*. Po rozkliknutí se vám načte už hotový projekt.

Tyto projekty jsou většinou velmi dobře okomentované, aby se z nich dalo jednoduše vyčíst, která část co dělá.



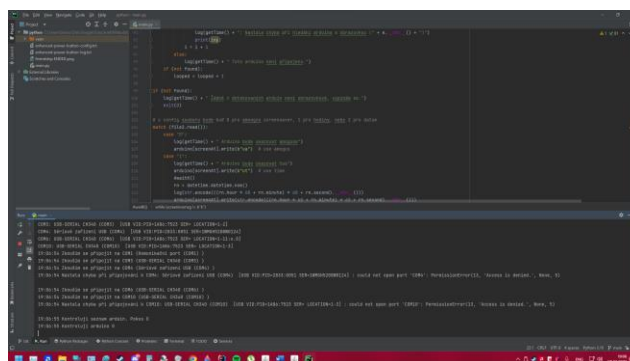
27 Tudy se k ukázce *Fade* dostaneme

28 Ukázka Fade v Arduino IDE

Podívejme se tedy na kód. Můžeme z něj vyčíst, že program bude do pinu 9 velmi rychle střídavě posílat a neposílat proud v poměru, který se každých 30ms zvýší o $\frac{5}{255}$, dokud nebude na $\frac{255}{255}$. Jakmile této hodnoty dosáhne, bude zase poměr postupně snižovat dokud nedosáhne nuly. Když k pinu 9 připojíme LED diodu, uvidíme ji postupně zhasínat a zase se rozsvěcet. Tím jsme měli možnost zjistit nejen jak funguje PWM, ale i jak ho v projektu použít.

PyCharm Professional

PyCharm je IDE vytvořené speciálně pro práci s Pythonem. Vyvinula jej česká společnost JetBrains, která je mimochodem také zodpovědná za vytvoření programovacího jazyka Kotlin, což je nadstavba na Javu.

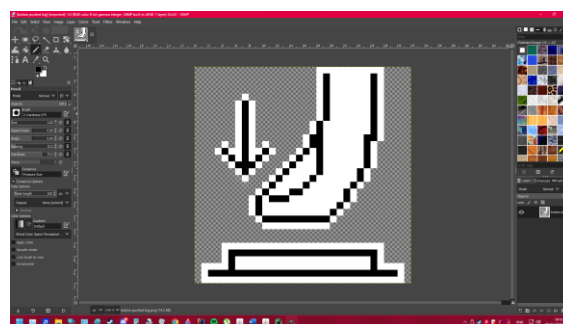


29 Práce v prostředí PyCharm

PyCharm jako takový má dvě varianty, Community Edition, která je zdarma a open-source, a Professional Edition, která je placená a proprietární. Liší se hlavně v pokročilých funkcích jako podpora databází a SQL, která chybí v bezplatné edici. Jako student ale mám k dispozici edici Professional zdarma.

GIMP

Program k manipulaci s obrázky pod licenci GNU je freewarová imitace Photoshopu. Využil jsem jej hlavně k tvorbě pixel artu, který jsem pak zobrazoval na displeji obrazovkového modulu.

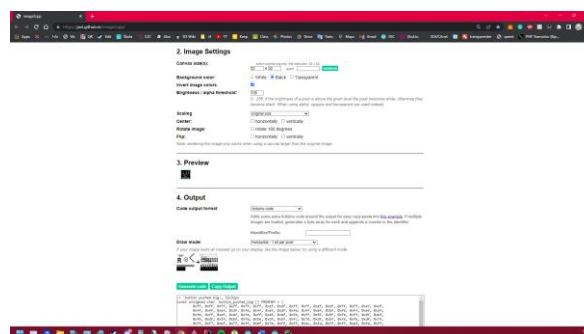


30 Práce s GIMPem

Abych redukoval množství informací, které se musí na Arduino vejít, vytvořil jsem vždy nejprve návrh jak bude nějaká scéna či animace vypadat a poté jsem ji rozdělil na jednotlivé komponenty a ty teprve nahrál na Arduino.

image2cpp

I2CPP je jednoduchá webová aplikace, která je schopná konvertovat obrázek na bytecode, se kterým je Arduino schopno pracovat. Umí ale fungovat i obráceně, tzn. z bytcodeu udělat obrázek.

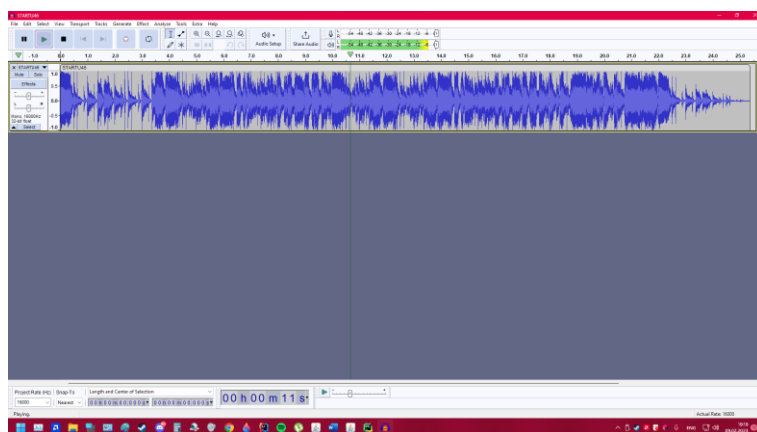


31 Konverze malé bitmapy na kód.

Bez tohoto programu bych musel buď všechny obrázky přepisovat na bytecode ručně, anebo se obejít bez nich.

Audacity

Audacity je freewarový program, pomocí kterého jsem překodekoval zvukové soubory pro audio modul. Arduino totiž nemá dost rychlé CPU, aby zvládlo v reálném čase přechíst a dekomprimovat příliš náročný audio soubor.

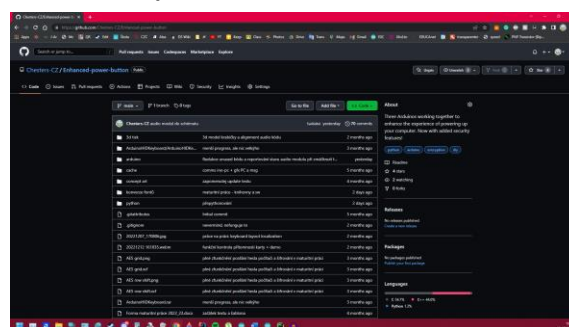


32 STARTU46.WAV otevřený v Audacity

Bohužel se při zjednodušování audia pro Arduino výrazně zhorší kvalita zvuku. Snímkovací frekvence se musí snížit na 16 000 za sekundu a ukládat se mohou jen hodnoty od 0 do 255, takže nelze reproduktor ovládat tak jemně, jak by bylo potřeba. Na druhou stranu reproduktor, který používám, není moc závažné kvality, takže i s vysokou kvalitou zdroje zvuku by to neznělo o moc lépe.

GitHub

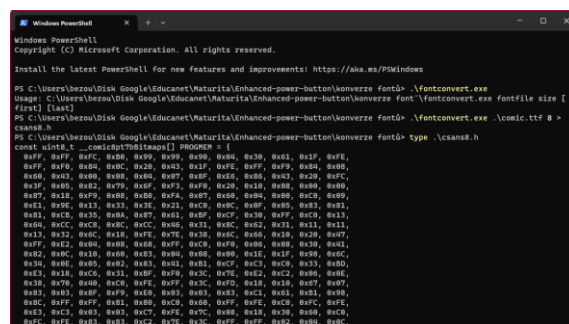
GitHub je společnost, u které si můžete vytvořit libovolný počet programovacích projektů, tzv. repozitářů, a poté do nich v balících posílat změny v kódu. Všechny iterace kódu jsou uloženy a lze se jednoduše vrátit k jakékoliv verzi.



33 Chesters-CZ/Enhanced-power-button je repozitář tohoto projektu

FontConvert

FontConvert je jednoduchý konzolový program, který ze souboru s fonty přečte, jak jednotlivé znaky vypadají, a pak je konvertuje na bitmapy, které uloží ve formátu kompatibilním s grafickými knihovnami na Arduino.



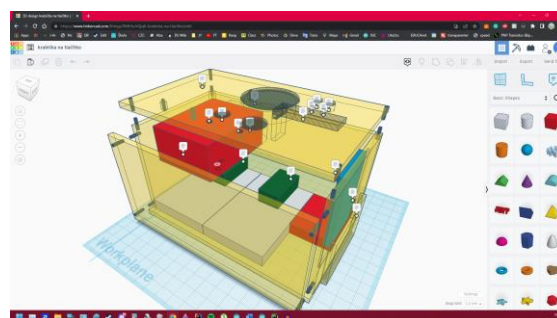
34 Trochu návrat do éry MSDOSu

Tinkercad

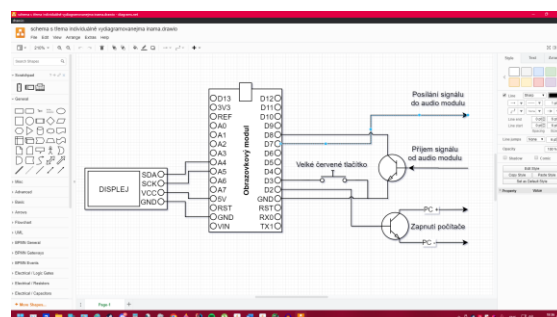
Další webová aplikace, ale tentokrát na design 3D tištěného šasí na všechny 3 moduly. Dovoluje pracovat v reálných rozměrech a následně exportovat do formátů, které podporuje většina slicerů.

Draw.io

Draw.io je bezplatná webová aplikace, která se dá stáhnout i jako lokální. Výborně se v ní dělají profesionálně vypadající schémata a flowcharty.



35 Tinkercad dovoluje nejen modelovat, ale i komentovat.



Použité knihovny

Tento projekt by nebylo možné reálně začít, kdyby nebylo vývojářských hrdinů, kteří naprogramovali knihovny, které jsem použil. Využil jsem i některé zabudované knihovny, které zde nejmenuji.

V pythonovém scriptu jsem nepoužil žádné externí knihovny.

Adafruit GFX a SSD1306

Tyto knihovny se starají o vykreslování grafiky a následnou komunikaci s displejem. Vyvinula je společnost Adafruit Industries, LLC, která designuje, vyrábí a prodává různé součástky k použití s Arduiny, Raspberry Pi a dalšími mikrokontrolery.

TMRpcm

Knihovna, která si z připojené SD karty přečte audio soubor a pokusí se ho přehrát. Jméno jejího autora je neznámé, schovává se pod pseudonymem TMRh20.

SpaniakosAES

Implementace šifrovacího standardu AES. Podporuje všechny tři verze, AES-128, AES-192 i AES-256. Jejím autorem je řecký programátor Georgios Spanos.

Implementace base64

Base64 je způsob, jak konvertovat binární kód do textu pomocí písmen, čísel a pár znamínek. Jejím autorem je Densaugeo.

CzechKeyboard

Upravená verze knihovny Keyboard od Arduina s upravenou konfigurací pro české keyboard layouty. Vytvořil ji Michal Altair Valášek.

Easy MFRC522

Knihovna pro jednoduché použití RFID čtečky RC522. Vytvořil ji Pablo Sampaio.

Popis jednotlivých modulů

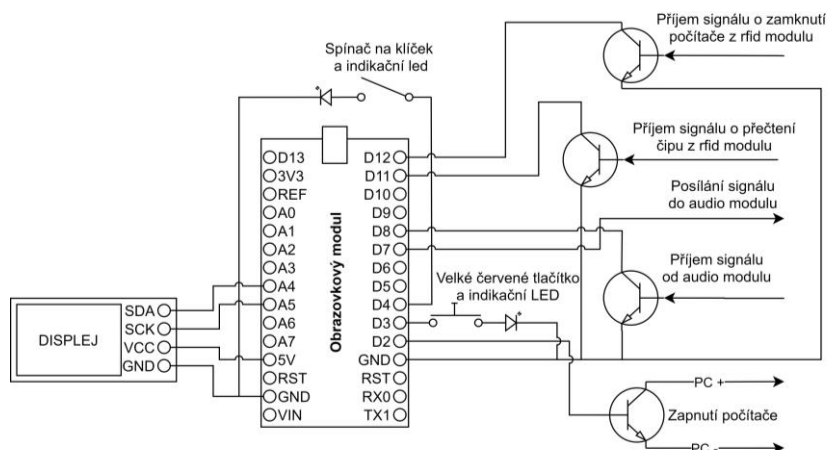
V této sekci najdete detailní popis fungování všech tří modulů i pythonového scriptu.

Obrazkový modul

Tento modul se stará o zapínání počítače a zobrazování informací na displeji. Komunikuje také s pythonovým scriptem na počítači, aby získal aktuální datum a čas.

Tento modul zahrnuje:

- Arduino Nano
- Displej
- 2 tranzistory
- Velké červené tlačítko



37 Schéma obrazkového modulu

Popis fungování

`setup()`

Arduino začne tím, že si inicializuje potřebné hodnoty a pak zobrazí hezkou animaci. Poté se pokusí přes sériovou komunikaci do počítače poslat zprávu a čeká, jestli mu přijde odpověď.

Pokud ne, znamená to, že spojení s pythonovým scriptem nebylo navázáno. Arduino o tom informuje uživatele a pokračuje metodou `loop()`.

Pokud odpověď dostane, informuje o tom uživatele a z odpovědi si přečte jaký „spořič obrazovky“ bude používat. Tento spořič obrazovky ale doopravdy nic nešetří, jde spíš jen o využití displeje při nečinnosti. Jsou tři možnosti: odrážející se animace, která připomíná spořič obrazovky starých DVD přehrávačů, zobrazování času anebo zobrazování data.

Pokud si uživatel zvolil odrážející se animaci, Arduino nepotřebuje žádné další informace. Potvrdí přijetí zprávy a pokračuje metodou `loop()`.

Pokud si uživatel zvolil datum nebo čas, Arduino potvrzením přijetí zprávy také zažádá počítač o informace o čase. Ty mu pythonový script pošle jako počet milisekund od půlnoci toho dne. Arduino si informaci uloží a pošle potvrzení přijetí.

Bude-li Arduino zobrazovat datum, dostane ještě informaci o datu ve formátu ISO, tzn. YYYY-MM-DD. Arduino si data zpracuje a potvrdí přijetí.

`loop()`

Arduino si nejdříve vyčistí display buffer, aby mu na displeji nezbývaly zbytky z předchozích zobrazování.

Poté zkontroluje, jestli uživatel právě mačká tlačítko.

Uživatel nemačká tlačítko

Arduino zkontroluje, zda od RFID modulu nepřichází nějaký signál. Pokud ano, zobrazí příslušnou hlášku spolu s ikonou. Potom pokračuje dále.

Pokud je tlačítko nezmáčknuté alespoň 100 čtecích pokusů za sebou, začne zobrazovat spořič obrazovky. Pokud to ještě nebylo 100 pokusů, zobrazí Arduino na displeji piktogram spícího Arduina, čímž uživatele informuje o blížícím se spuštění spořiče.

Uživatel mačká tlačítko

Arduino zkontroluje, je-li spínač na klíček odemknut. Pokud ne, zobrazí na displeji informační hlášku. Pokud ano, informuje pythonový script o statusu tlačítka, začne do počítače posílat vypínací/zapínací signál a na obrazovce ukáže piktogram prstu mačkajícího tlačítko, aby informoval uživatele o zpracování jeho akce.

Jakmile uživatel přestane tlačítko mačkat, Arduino přestane posílat do počítače signály a zkontroluje, jestli je audio modul připraven přehrát nějakou skladbu. To zjistí tak, že do něj audio modul posílá signál.

Audio modul je připraven

Arduino začne do audio modulu posílat signál a čeká, až to audio modul zjistí a přestane posílat signál zpátky. Do té doby zobrazuje na displeji načítací animaci.

Pokud audio modul neodpoví zhruba do tří sekund, Arduino o tom informuje uživatele přes chybovou hlášku na displeji a spustí loop() znovu.

Pokud audio modul odpoví, loop() se spustí bez chybové hlášky.

Audio modul není připraven

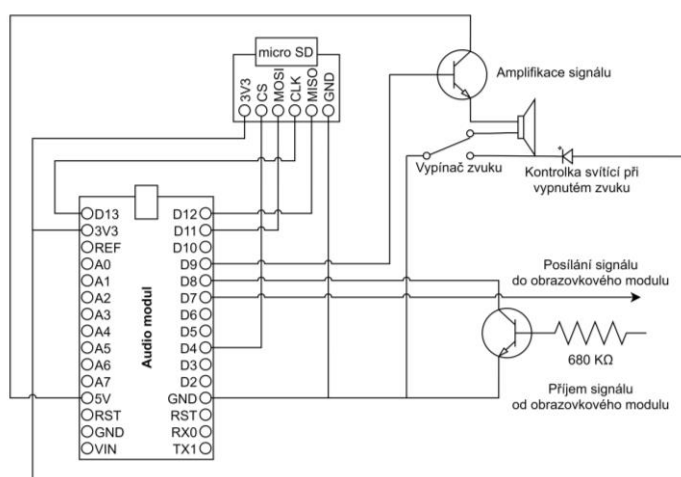
Pokud audio modul právě signál neposílá, znamená to buď že už nějakou znělku nahrává z SD karty, anebo že není zapnutý. Každopádně by povel ke spuštění písničky nezpracoval, takže Arduino žádný nepošle, ale jen oznámí uživateli proč nic nehraje.

Audio modul

Audio modul na povel obrazovkového modulu načte náhodnou skladbu z SD karty a přehraje ji.

Tento modul zahrnuje:

- Arduino Nano
- Čtečku micro SD karet
- Reproduktor
- 2 tranzistory
- Rezistor



38 Schéma audio modulu

Popis fungování

setup()

Po zapnutí si Arduino ověří, že je připojená SD karta a jestli je na ní aspoň jeden audio soubor k přehrávání. Pokud ano, inicializuje stavy pinů a nastaví hlasitost

přehrávaného zvuku na 5, což je nejvyšší hlasitost bez zkreslení. Pokud ne, oznámí kde se stala chyba pomocí Morseovy abecedy a dále již nepokračuje.

Nebyl-li detekován problém, Arduino si načte náhodný seed, který bude používat pro generování náhodných čísel. Nakonec už jen započne komunikaci s SD kartou a přehraje z ní soubor BOOT.WAV, čímž uživatele upozorní, že je připraven.

loop()

Na začátku loopu Arduino začne posílat do obrazovkového modulu signál. Obrazovkový modul tím ví, že je audio modul připraven zpracovat povel. Arduino potom zkontroluje, jestli od obrazovkového modulu povel už nepřišel. Pokud ne, spustí loop() znovu.

Pokud povel přišel, Arduino potvrdí obrazovkovému modulu přijetí tím, že do něj přestane posílat signál a přijetí povelu také oznámí počítači přes sériovou komunikaci. Následně pokud nějaký zvuk už hraje, zastaví jeho přehrávání a hodí si n-strannou kostkou, kde n je přednastavený počet skladeb na SD kartě. Toto číslo pak vycpe nulou, je-li třeba, a dosadí ho do STARTU__.WAV. Tento soubor pak přehraje a jeho přehrání také oznámí počítači. Nutno poznamenat, že Arduino neví, jestli je reproduktor odpojen či připojen a signál do něj pouští vždy.

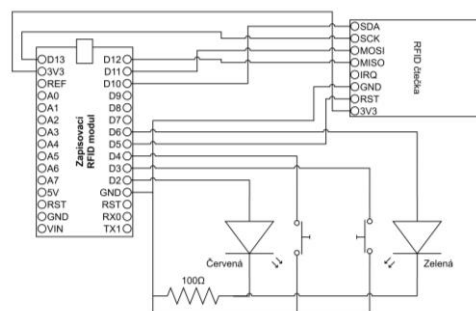
S dalším spuštěním metody loop() pak počká čtvrt sekundy po tom, co přestane od obrazovkového modulu dostávat signál.

RFID moduly

Pro tento projekt je nutné buď využívat dva RFID moduly zároveň, nebo si pro nahrání dat na čipy dočasně přeprogramovat Arduino. Funkcionalita obou variant je rovnocenná, ale může být jednodušší mít k dispozici dedikovaný nahrávací modul.

Zapisovací (šifrovací) modul

Tento modul zašifruje uložené heslo šifrovacím klíčem za použití inicializačního vektoru, zakóduje ho do base64, a zapíše



39 Schéma šifrovacího modulu

na libovolný počet čipů spolu s informací, jestli po odebrání čipu zamknout počítač či ne.

Před nahráním programu na Arduino je nutné, aby uživatel upravil výchozí hodnoty v projektu na své. Šifrovaný text (heslo) může obsahovat alfanumerické znaky a symboly a musí mít délku menší než 48 znaků. Inicializační vektor může být libovolné celé číslo od 0 do zhruba 18.4 trilionů⁸⁹ Šifrovací klíč se zadává jako text a může také obsahovat alfanumerické znaky a symboly. Jeho délka ale musí být přesně 16, 24 nebo 32 znaků. Délka šifrovacího klíče také určuje bezpečnost šifry, buďto AES128, AES192, nebo AES256.

Tento modul zahrnuje:

- Arduino Nano
- RFID modul RC522
- 2x tlačítko
- Červená LED dioda
- Zelená LED dioda

Popis fungování

setup()

Po zapnutí Arduino pouze naváže kontakt s počítačem, komunikuje-li, a inicializuje čtečku čipů.

loop()

Arduino inicializuje vstupní a výstupní piny a rozsvítí obě diody. Přes sériovou komunikaci pošle instrukce na používání; pokud chce uživatel, aby se jeho počítač po ztrátě spojení s čipem zamkl, má zmáčknout tlačítko u zelené diody, pokud ne, zmáčkne tlačítko u té červené.

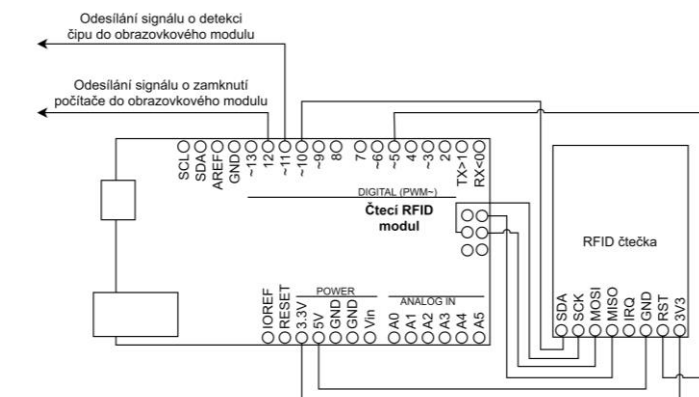
⁸ Jde o 64 bitový kladný integer. Jeho maximální hodnota je 2^{64} , což je 18 446 744 073 709 551 615.

⁹ UtkarshPandey6. Maximum value of unsigned long long int in C++. In: Sandeep Jain. *GeeksforGeeks*. [internet]. A-143, 9th Floor, Sovereign Corporate Tower, Sector-136, Noida, Uttar Pradesh – 201305: GeeksforGeeks, 03 Dec, 2020 [11.2.2023]. Veřejně dostupné na <https://www.geeksforgeeks.org/maximum-value-of-unsigned-long-long-int-in-c/>

Když uživatel zvolí, Arduino zhasne diodu u nezvolené volby a zkontroluje délku šifrovacího klíče. Nabývá-li délka jedné ze správných hodnot, zašifruje heslo a výsledek zakóduje do base64, aby se dalo zapsat na čip. Pak si připraví ještě délku hesla zakódovaného v base64 a zdali se má počítač vypnout po ztrátě kontaktu s čipem, a jakmile uživatel přiloží kompatibilní čip ke čtečce, tyto informace na něj zapíše a znovu spustí loop().

Čtecí (dešifrovací) modul

Tento modul přečte zašifrované heslo z RFID čipu, pomocí přednastaveného šifrovacího



40 Schéma dešifrovacího modulu

klíče jej dešifruje a pošle do počítače jako klávesnicový vstup. Poté podle nastavení, které si také přečte z čipu, po odebrání čipu z dosahu čtečky buď zamkne počítač, nebo neudělá nic.

Jako u šifrovacího modulu je i tady nutné upravit program před nahráním na čip. Uživatel si ale tentokrát nemůže zvolit nový šifrovací klíč ani inicializační vektor, musí použít ty, které použil při šifrování, jinak Arduino nedešifruje heslo správně. Heslo samotné ale není třeba do tohoto modulu ukládat, Arduino ho zjistí z čipu.

Tento modul zahrnuje:

- Arduino Leonardo
- RFID modul RC522

Popis fungování

setup()

Po zapnutí se Arduino pokusí navázat sériovou komunikaci s počítačem a inicializuje RFID modul a klávesnicovou komunikaci.

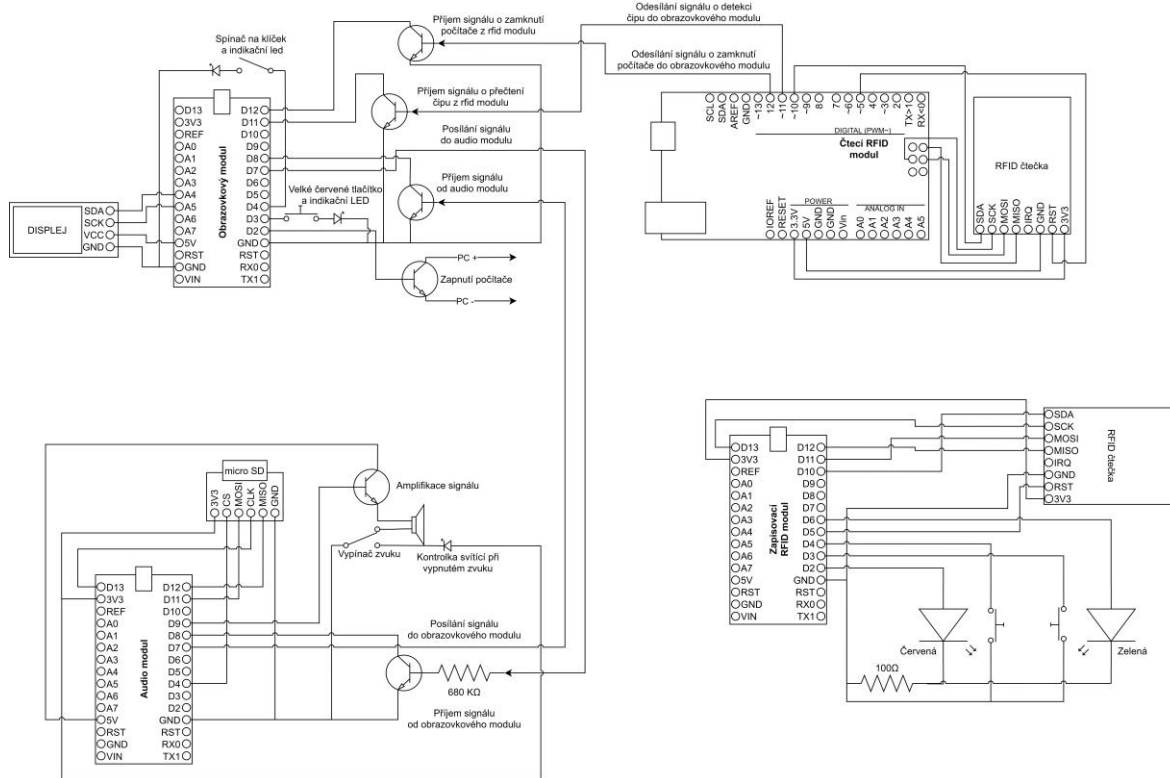
loop()

Arduino zkontroluje délku šifrovacího klíče a podle ní se připraví na příslušnou úroveň šifry k dešifrování. Pak každých 50ms zkontroluje, jestli je v dosahu čtečky RFID čip. Jakmile je, počká ještě další desetinu sekundy, aby se mohl čip více přiblížit, a spojení bylo stabilnější. Poté si přečte všechny potřebné informace a dešifruje heslo, které pak pošle do počítače jako klávesnicový vstup.

Pokud bylo na čipu zapsáno, že se počítač má zamknout jakmile se čip odebere od čtečky, Arduino bude každých 100ms ukončovat a opět navazovat kontakt s čipem a bude ověřovat, že má pořád stejné ID.

Aby nedošlo ke zbytečnému vyrušení uživatele kvůli pár špatným pokusům o přečtení, povel zamknout se se počítači pošle až s desátým neúspěšným pokusem.

Povel samotný se pošle jako klávesová zkratka Win + L, která, alespoň na počítačích se systémem Windows 2000 a novějším,¹⁰ „zamkne“ počítač, tzn. odhlásí právě přihlášeného uživatele aniž by ukončila běžící programy.



Šasí

Tento projekt by byl relativně úplný i bez obalu, jen jako několik součástí propojených drátky. Na druhou stranu, průměrný člověk pracující v sedavém zaměstnání by si pravděpodobně na stůl nedal něco, z čeho koukají obnažené kontakty.

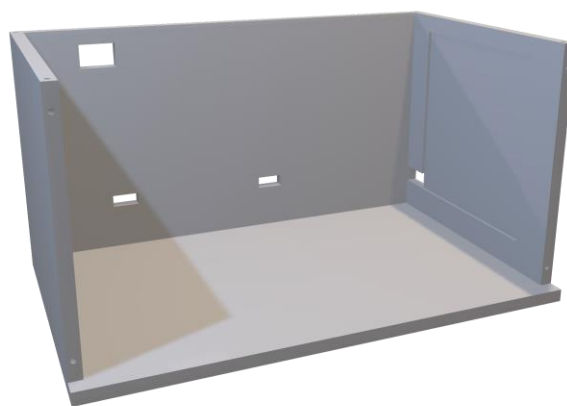
Navrhl jsem tedy jednoduchý 3D model krabičky, do které jsem postupně přidával díry na různé periferie a kabeláž. Byl to můj vůbec první pokus o práci s 3D tiskárnou, a tak se mnohé nepovedlo. Některé sloty byly moc blízko u sebe, jiné moc daleko a pár jich dokonce bylo moc malých.

Všechny mouchy se mi podařilo vychytat bez nutnosti cokoli tisknout znovu. Díry, co chyběly jsem provrtal, ty, které byly moc malé jsem zvětšil a ty, které byly na špatném místě jsem buď nahradil, anebo jsem se obešel bez nich.

Možná jsem se mohl pokusit model vylepšit, aby byl perfektní bez jakýchkoli modifikací hrubou silou, ale vzhledem k tomu, že 3D tisk mi zajišťoval vedoucí práce z jeho dobré vůle pomocí jeho osobní 3D tiskárny a jeho filamentu, nechtěl jsem zbytečně zneužívat jeho pohostinnost.

Základ krabičky

Základem krabičky je kvádr bez horní a přední strany. Aby se mi projekt lépe sestavoval do krabičky, rozhodl jsem se ponechat Arduina v breadboardech a ty pouze přilepit k podlaze krabičky. Abych ušetřil trochu místa, Arduino z RFID modulu jsem připevnil na strop krabičky. Proto je také jedna z dírek



42 Šikmý pohled na základ krabičky zepředu

tak vysoko. Tyto dírky bylo potřeba zvětšit, protože jsem při jejich návrhu nepočítal s tloušťkou celého kabelu, nýbrž jen konektorové části portu.

Tyto dírký jsou potřeba, aby bylo možné Arduina zapojit do počítače. Celkem je potřeba mít v počítači 3 volné USB-A porty, anebo si pořídit USB hub. Ta čtvrtá osamocená dírka na pravé straně je na drátky z počítače.

Vedle této dírky si také můžete všimnout ztenčené stěny. Tam jsem se snažil o lepší propustnost elektromagnetických vln. Když se totiž podíváme na tuto stranu zvenčí, najdeme tam prostor na ponechání čipové karty.

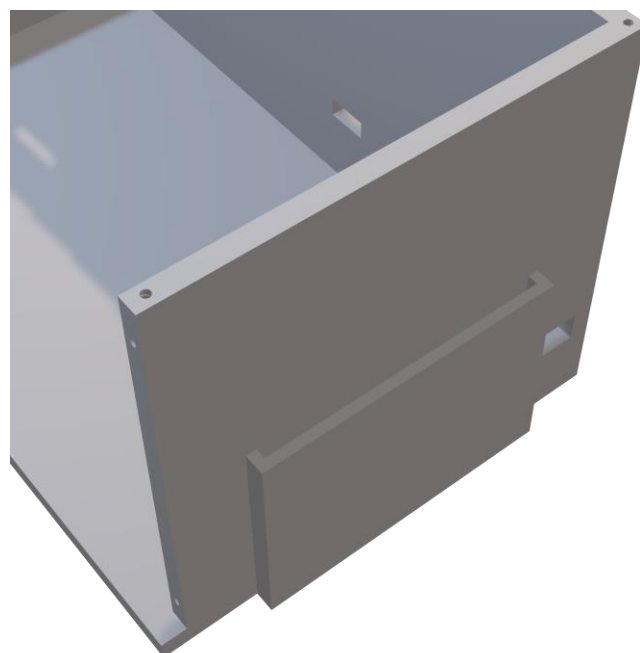
V rozích jsou také umístěny malé otvory na šroubky. Tyto otvory se tiskárně ale pravděpodobně nepodaří vytisknout přesněji než malý důlek. To ale stačí na to, aby se tam dala opřít špička šroubku. Zbytek se tam dá našroubovat hrubou silou.

Stropní panel

Hlavní vlastností tohoto panelu je několikero kulatých otvorů na reproduktor, tlačítko, spínač na klíček, displej, spínače a LED kontrolky. Zespoda jsou na panelu výstupky na připevnění Arduina Leonardo z RFID modulu. Panel sám o sobě totiž není dost tlustý na to, aby šroubek neprošel skrz.

Boční panel

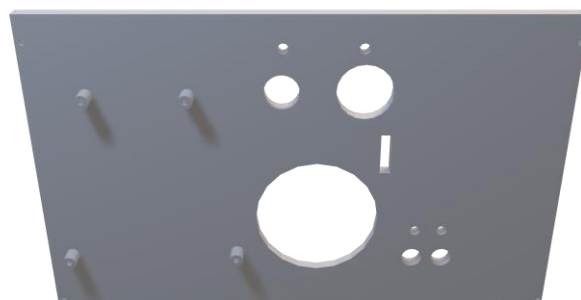
Tento panel už jen zavírá krabičku a nemá na sobě žádné speciální výstupky.



43 Pohled zblízka na prostor pro čipovou kartu



44 Pohled shora na stropní panel



45 Pohled na stropní panel zespodu



46 Boční panel

Závěr

Tento projekt byl jako vztah. Když jsem na něm začal pracovat, bylo to něco, co jsem dělal jen tak pro radost. Sem tam jsem na něm zapracoval, ale žádné velké pokroky jsem neudělal, dokud jsem se nedozvěděl, že to s ním mohu někam dotáhnout. Jakmile mi byl uznán jako maturitní, začal jsem na něm pracovat dennodenně. Trávil jsem na něm čas a utrácel jsem kvůli němu peníze. Byly i týdny, kdy jsem na něm vůbec nepracoval, ale nakonec se mi povedlo to dotáhnout do šťastného konce.

Cítím, že jsem odvedl perfektní práci na něčem, co mě opravdu bavilo. Nedovedu si představit jak bych vůbec mohl tento projekt nějak zlepšit. Ani teď, ani v průběhu práce na něm.

Odnáším si z něj mnohé. Naučil jsem se programovat v C++, vytvářet modely k 3D tisku, porozumět jednoduché elektronice a jejím principům, naučil jsem se pájet a sestavovat obvody a ještě jsem mnoho dalších dovedností oprášil. Jsem toho názoru, že jsem tím dokázal nejen, že umím použít znalosti, které jsem se naučil ve škole, ale i že jsem schopen si informace dohledávat a co je potřeba i sám sebe naučit.