

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

SEMESTRÁLNÍ PRÁCE

Brno, 2020

Renata Zemanová



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY
A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ**
FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV MIKROELEKTRONIKY
DEPARTMENT OF MICROELECTRONICS

ELEKTRONICKÁ HRA LOGIC
ELECTRONIC GAME LOGIC

SEMESTRÁLNÍ PRÁCE
SEMESTRAL THESIS

AUTOR PRÁCE Renata Zemanová
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE doc. Ing. Jiří Háze, Ph.D.
SUPERVISOR

BRNO 2020



Semestrální práce

bakalářský studijní program **Mikroelektronika a technologie**

Ústav mikroelektroniky

Studentka: Renata Zemanová

ID: 211251

Ročník: 3

Akademický rok: 2020/21

NÁZEV TÉMATU:

Elektronická hra Logic

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s principem hry Logic. Navrhněte a realizujte elektronickou verzi této hry s různými úrovněmi obtížnosti a v praxi ověřte funkčnost vašeho řešení.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího práce

Termín zadání: 21.9.2020

Termín odevzdání: 18.12.2020

Vedoucí práce: doc. Ing. Jiří Háze, Ph.D.

doc. Ing. Jiří Háze, Ph.D.
předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:

Autor semestrální práce nesmí při vytváření semestrální práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Cílem práce je navrhnut elektronickou hru Logic. Elektronická hra musí respektovat pravidla deskové hry. Dále by se hra měla i svým vzhledem podobat deskové hře. Elektronická hra je navržena jako jedna DPS, která obsahuje řídicí elektroniku i herní prvky. Byl vyroben prototyp hardwaru elektroniky, na němž byla otestována funkčnost zapojení.

KLÍČOVÁ SLOVA

Elektronická hra Logic, pravidla deskové hry, ESP32-PICO, inteligentní LED WS2812C, USB, DPS

ABSTRACT

The goal of this thesis is design an electronic game Logic. This electronic game should look like the board game and also respect the game's rules.

The electronic game is designed as one PCB that contains control electronics and game elements. A prototype of electronics hardware was made, on which the functionality of the connection was tested.

KEYWORDS

Electronic game Logic, board game rules, ESP32-PICO, intelligent control LED WS2812C, USB, PCB

ZEMANOVÁ, Renata. *Elektronická hra Logic*. Brno, 2020, 46 s. Semestrální práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav mikroelektroniky. Vedoucí práce: doc. Ing. Jiří Háze, Ph.D.

Obsah

| | |
|--|-----------|
| Úvod | 8 |
| 1 Pravidla deskové hry | 9 |
| 2 Návrh elektroniky | 10 |
| 2.1 Řídicí elektronika | 11 |
| 2.2 Napájení | 11 |
| 2.2.1 Verze 0.0 | 12 |
| 2.2.2 Verze 1.0 | 14 |
| 2.3 Snižující měnič napájecího napětí pro mikrokontrolér | 15 |
| 2.4 Převodník z USB na RS-232 | 15 |
| 2.5 Herní prvky | 17 |
| 2.5.1 Rozdělení | 18 |
| 2.5.2 Zapínání napájení | 18 |
| 2.6 Spínací prvky | 19 |
| 2.7 Indikace přítomnosti napájecího napětí | 20 |
| 3 Návrh DPS | 21 |
| 3.1 Vzhled DPS | 21 |
| 3.2 Funkční rozmístění součástek | 22 |
| 4 Oživení DPS | 24 |
| 4.1 Verze 0.0 | 24 |
| 4.2 Verze 1.0 | 25 |
| 5 Způsob ovládání elektronické hry | 27 |
| Závěr | 28 |
| Literatura | 29 |
| Seznam symbolů, veličin a zkratek | 31 |
| Seznam příloh | 32 |
| A Schéma zapojení DPS verze 1.0 | 33 |
| B Výrobní podklady DPS verze 1.0 | 41 |

Seznam obrázků

| | | |
|------|--|----|
| 1.1 | Desková hra Logic [2] | 9 |
| 2.1 | Blokové schéma zapojení verze 0.0 | 10 |
| 2.2 | Blokové schéma zapojení verze 1.0 | 10 |
| 2.3 | Schéma zapojení mikrokontroléru ESP32-PICO [4] | 12 |
| 2.4 | Pouzdro na baterie 18650 [11] | 13 |
| 2.5 | Schéma zapojení čipu TP4056 [13] | 13 |
| 2.6 | Schéma zapojení čipu SY8105 [14] [12] | 15 |
| 2.7 | Schéma zapojení převodníku z USB na RS-232 [3] | 16 |
| 2.8 | Zapojení LED pro indikaci komunikace čipu CP2102 s mikrokontrolérem [15] | 17 |
| 2.9 | Zapojení inteligentních LED WS2812C [16] | 17 |
| 2.10 | Obvod pro zapínání napájení pro inteligentní LED | 19 |
| 2.11 | Zapojení tlačítek | 20 |
| 2.12 | Zapojení LED pro indikaci napájecího napětí | 20 |
| 3.1 | Rozložení součástek kolem čipu SY8105 na DPS [14] | 22 |
| 4.1 | Verze 0.0 z výroby | 24 |
| 4.2 | Oživená verze 0.0 s opravami | 25 |
| 4.3 | 3D pohled verze 1.0 DPS | 26 |
| 5.1 | Vývojový diagram | 27 |
| A.1 | Blokové schéma DPS verze 1.0 | 33 |
| B.1 | Vrstva mědi TOP | 41 |
| B.2 | Vnitří vrstva mědi napájení | 42 |
| B.3 | Vnitří vrstva mědi GND | 43 |
| B.4 | Vrstva mědi BOTTOM | 44 |
| B.5 | Vrstva s popisky | 45 |
| B.6 | Celá DPS | 46 |

Seznam tabulek

| | | |
|-----|---|----|
| 2.1 | Nastavení nabíjecího proudu rezitorem R13 [13]. | 14 |
| 2.2 | Parametry čipu SY8105 [14] | 15 |
| 2.3 | Parametry čipu CP2102 [15] | 16 |
| 2.4 | Parametry inteligentních LED WS2812C [16] | 18 |

Úvod

Tato práce se zabývá návrhem elektronické hry Logic. Tato hra by se měla co nejvíce podobat deskové hře a musí respektovat pravidla deskové hry. Hra Logic je určená pro všechny věkové kategorie hráčů. Podporuje a rozvíjí logické myšlení.

Hra musí být navržena jako přenosné zařízení, takže musí být kladen důraz na spotřebu jednotlivých použitých komponentů.

Hra Logic není komerčně dostupná v elektronické verzi. Existuje pouze ve verzi deskové hry pro dva hráče. Elektronická hra Logic je navržena pro jednoho hráče. Hra je jedinečná svými ovládacími prvky a způsobem hry.

V této práci je popsán návrh elektronické hry. Na začátku jsou popsána pravidla deskové hry, která jsou respektována i u elektronické hry. Elektronická hra Logic je tvořena DPS, která obsahuje veškeré potřebné komponenty pro funkci hry i pro její ovládání.

Na závěr je popsán způsob elektronické hry a její ovládání.

1 Pravidla deskové hry

Hra Logic je desková hra pro dva hráče [8]. Jeden hráč určí hledanou kombinaci, dále bude označován jako hráč A, a druhý tuto kombinaci za pomocí logických úvah a vyhodnocení hráčem A hledá, dále bude označován jako hráč B.

Hráči si určí herní pozice. Hráč A vybere barevné kolíky dle libosti a následně je v určitém pořadí vloží do zadávacího pole. Zadání zakryje stříškou, aby tuto kombinaci spoluhráč neviděl. Hráč B se v tuto chvíli nedívá. Hráč B následně zvolí náhodnou kombinaci barev a jejich pozic. Po ukončení tahu nechá hráče A, aby jeho tah vyhodnotil. Hráč A vyhodnotí tah následujícím způsobem. Pokud hráč B vložil správnou barvu na správnou pozici, tak vloží do vyhodnocovací sekce černý kolík. Pokud vložil barvu, která se v zadání vyskytuje, ale vložil ji na nesprávnou pozici, tak vloží bílý kolík. Pokud zůstanou některé pozice neobsazené, tak to znamená, že se dané barvy v zadání nevyskytují. Vyhodnocovací kolíky umisťuje od kraje, nejprve černé a pak bílé, aby hráči B nebylo jasné, kterých hracích kolíků se vyhodnocení týká [8]. Poté začne hráč B na základě vyhodnocení a svých všech předchozích tahů hledat správnou kombinaci.

Hráč B má maximálně 10 pokusů na zjištění správné kombinace. Po skončení hry hráč A odkryje stříšku a ukáže hledanou kombinaci. Hra skončí po určení správné kombinace, nebo po vypotřebování všech pokusů.

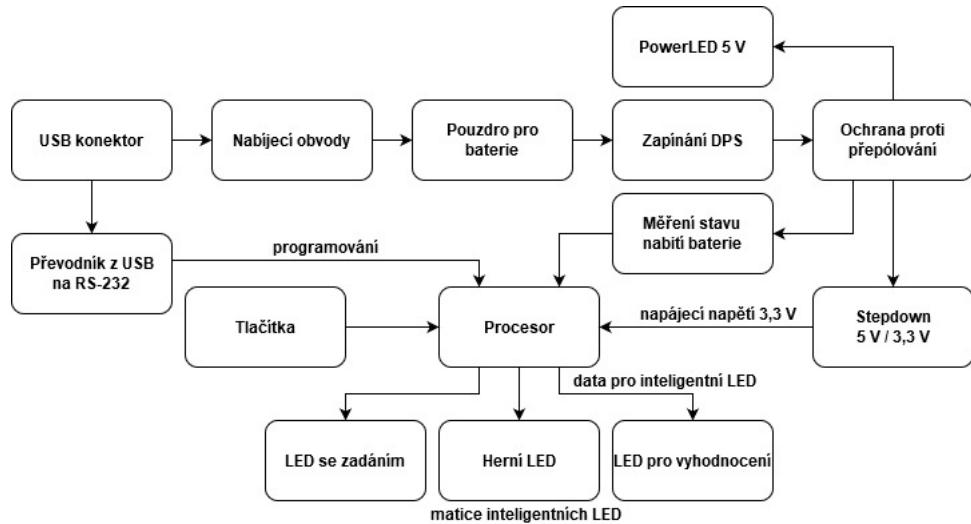
Hru lze hrát ve více variantách. Hráči se mohou domluvit, zda zadání může, nebo nesmí obsahovat volnou pozici. Zároveň existuje více variací této hry. Většinou se liší v délce hledané kombinace.



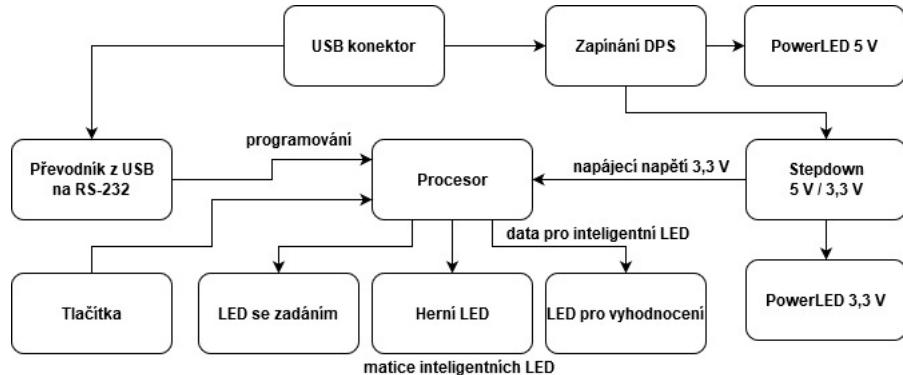
Obr. 1.1: Desková hra Logic [2].

2 Návrh elektroniky

Již byly navrženy 2 verze DPS elektronické hry Logic. Verze 0 byla pouze testovací, takže neobsahovala celé herní pole. Sloužila pro ověření funkčnosti daných zapojení různých čipů a zároveň pro testování softwaru.



Obr. 2.1: Blokové schéma zapojení verze 0.0.



Obr. 2.2: Blokové schéma zapojení verze 1.0.

Asi největším rozdílem mezi verzí 0 a 1 je způsob napájení. Verze 0 je napájena z baterií a verze 1 je napájena z USB. Díky této změně odpadly i mnohé části obvodu. Díky absenci baterií bylo možné postrádat nabíjecí obvody, ochranu proti přepólování a měření napětí na bateriích.

2.1 Řídicí elektronika

Jako řídicí elektronika byl vybrán mikrokontrolér ESP32-PICO-D4. Hlavním důvodem pro výběr tohoto mikrokontroléru bylo, že je téměř totožný jako ESP32-WROOM, se kterým mám dlouhodobé zkušenosti. Tento mikrokontrolér má veškeré periferie, které jsou pro výrobu této hry zapotřebí.

Mikrokontrolér ESP32-PICO také podporuje Arduino framework, díky kterému bude programování značně zjednodušeno.

Mikrokontrolér ESP32-PICO obsahuje [4]:

- WiFi,
- Bluetooth,
- 32 GPIO pinů,
- dvoujádrový 32bitový procesor Xtensa LX6,
- 520 kB SRAM,
- 4 MB FLASH.

Napájecí napětí tohoto mikrokontroléru je od 3,0 do 3,6 V a průměrný odběr proudu je 80 mA [4]. ESP32-PICO má vyvedeno 32 GPIO pinů, které je možno softwarově nastavit jako vstupní nebo výstupní. Na tyto piny lze poté připojit různá zařízení. Vstupním senzorem může být typicky tlačítko a výstupním indikátorem např. LED. Tato zařízení zprostředkovávají komunikaci mezi mikrokontrolérem a okolním světem.

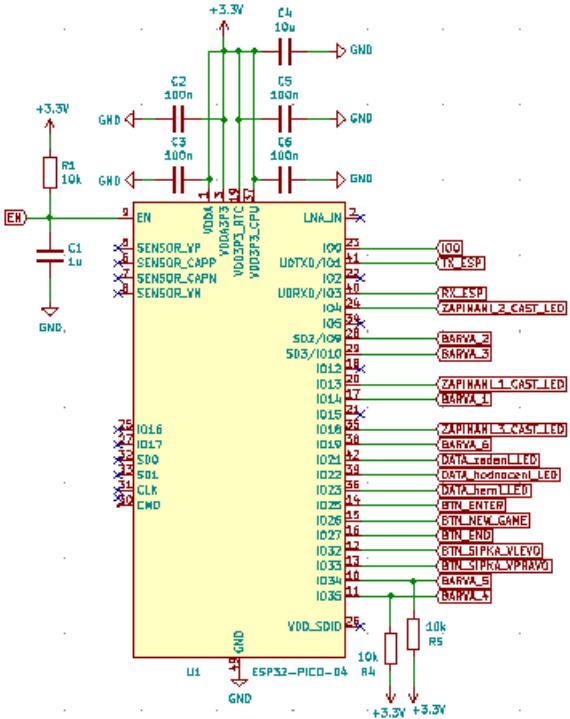
GPIO piny IO16 a IO17 nemohou být použity, protože ESP32-PICO má na těchto pinech připojenou flash paměť [4]. Pokud by na tento pin bylo připojeno nějaké zařízení, tak by mikrokontrolér ztratil přístup ke své paměti.

GPIO piny IO02, IO05, IO12 a IO15 slouží jako konfigurační piny při spouštění nebo resetu mikrokontroléru ESP32-PICO. Slouží například k výběru paměti, ze které se mikrokontrolér ESP32-PICO načítá. Při resetu musí být tyto piny ve správné konfiguraci. Z důvodu dalších využitelných pinů nebyly tyto piny využity pro připojení zařízení.

GPIO piny IO34 a vyšší jsou pouze vstupní [4]. Vstupní piny nemají softwarově zapojitelný pullup rezistor. Pokud je tedy zapotřebí pullup rezistor, musí se fyzicky zapojit.

2.2 Napájení

V následujících kapitolách jsou rozebrány způsoby napájení obou vyrobených verzí DPS elektronické hry Logic.



Obr. 2.3: Schéma zapojení mikrokontroléru ESP32-PICO [4].

2.2.1 Verze 0.0

V první verzi byly pro napájení použity baterie Li-Ion INR18650-29E od firmy Samsung. Tyto baterie mají jmenovité napětí 3,7 V, při plném nabití až 4,2 V. Kapacita jedné baterie je 2850 mAh [10]. Byly použity 2 články baterií, které byly zapojeny paralelně. Paralelním zapojením se celková kapacita zdvojnásobila.

Baterie typu Li-Ion jsou náchylné na podvybití. Verze 0.0 proto obsahovala i měření napětí na bateriích. Pokud by došlo k podvybití, mohla by se bateriím zmenšovat kapacita, nebo by se mohly zničit.

Pro baterie bylo vybráno pouzdro na 2 články s THT montáží do DPS [11].

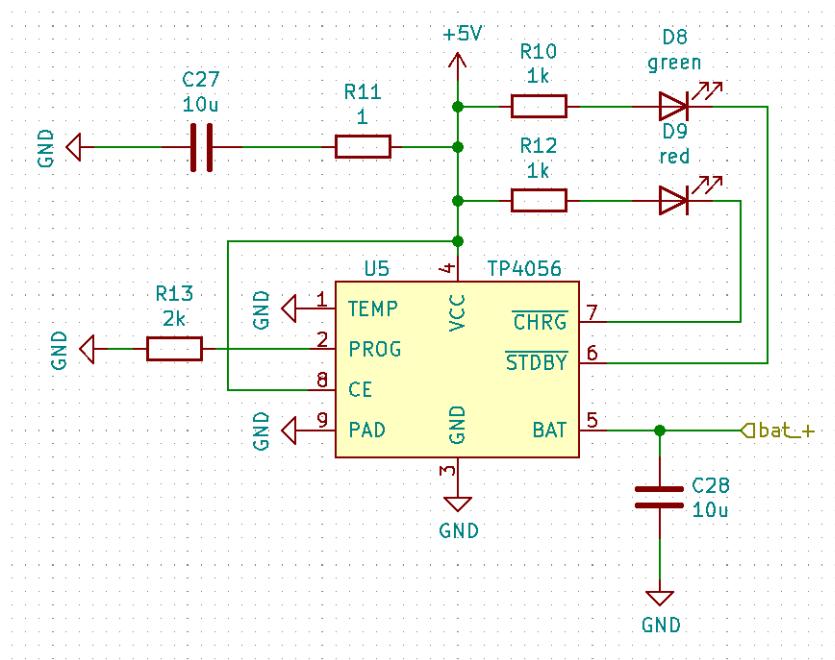
Baterie byly připevněny a zapájeny přímo do DPS, a proto musel být integrován i nabíjecí obvod. Nabíjení probíhalo přes konektor USB Micro.

Pro nabíjecí obvod byl zvolen čip TP4056. Tento obvod byl vybrán, protože je přímo určen pro nabíjení baterií typu Li-Ion. Existují moduly pro nabíjení těchto baterií, které mají integrovaný tento čip [9]. Tyto moduly jsou často používané, a proto bylo zapojení tohoto modulu převzato do této práce.

Vlastnosti čipu jsou přizpůsobeny bateriím Li-Ion. Nabíjení baterií probíhá do 4,2 V, což je maximální napětí na použitych bateriích [10] [13]. Díky tomu nemůže dojít ke zničení baterií nabíjením.



Obr. 2.4: Pouzdro na baterie 18650 [11].



Obr. 2.5: Schéma zapojení čipu TP4056 [13].

Červená LED D9 indikuje nabíjení baterií a zelená LED D8 svítí, pokud jsou baterie nabité [13]. Pokud nesvítí ani červená ani zelená LED, znamená to, že baterie jsou podvybité, baterie nejsou vloženy a nebo je příliš vysoká, nebo nízká jejich teplota [13].

Rezistorem R13 se určuje nabíjecí proud baterií [13]. Aby baterie nabíjením nebyly poškozovány, měl by být nabíjecí proud maximálně 0,5 C (polovina kapacity baterie). Vybraná baterie má kapacitu 2850 mAh. Nabíjecí proud proto může být

až 1425 mA. Jelikož je pro tuto hru důležitější kapacita baterie, než doba nabíjení, byl zvolen nabíjecí proud pouze 0,5 A. Čím menším proudem je baterie nabíjena, tím má delší životnost a pomaleji ztrácí svoji kapacitu.

Tab. 2.1: Nastavení nabíjecího proudu rezitorem R13 [13].

| R13 [kΩ] | Nabíjecí proud [mA] |
|----------|---------------------|
| 10 | 130 |
| 5 | 250 |
| 4 | 300 |
| 3 | 400 |
| 2 | 580 |
| 1,66 | 690 |
| 1,5 | 780 |
| 1,33 | 900 |
| 1,2 | 1000 |

Byl zvolen rezistor o hodnotě 2 kΩ, kterým byl určen nabíjecí proud 580 mA.

2.2.2 Verze 1.0

Ve verzi 1.0 byl změněn způsob napájení. Napájení v této verzi neprobíhá přes baterie, ale pouze přes USB konektor, přes který ve verzi 0.0 probíhalo pouze nabíjení baterií.

Výhody

- absence drahých baterií,
- absence nabíjecího obvodu,
- absence hlídání stavu nabití baterie,
- absence ochrany proti přepólování (USB konektor je uzpůsoben svým tvarem, aby uživatel nemohl napájení přepólovat.),
- napájení inteligenčních LED napětím přímo z USB (Inteligenční LED mají menší odběr proudu.).

Nevýhody

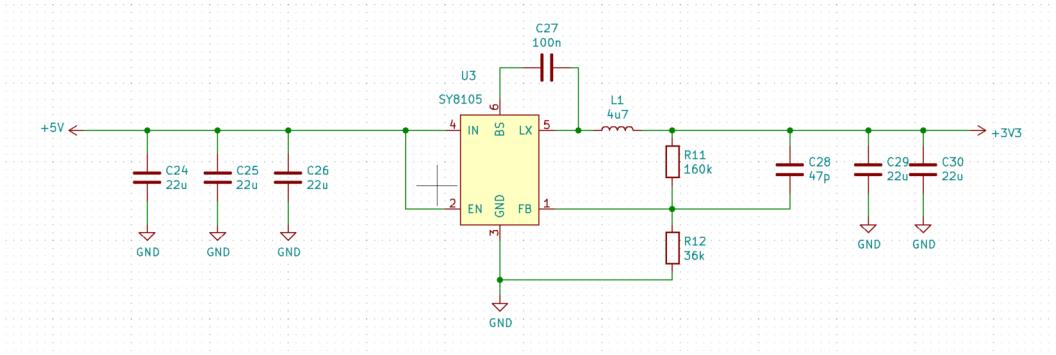
- předpokládá se, že uživatel vlastní powerbanku,
- výdrž závisí na kapacitě powerbanky.

Byl zvolen konektor USB Micro, protože se jedná o nejrozšířenější USB konektor dnešní doby.

2.3 Snižující měnič napájecího napětí pro mikrokontrolér

Mikrokontrolér ESP32-PICO má napájecí napětí 3,3 V. Napětí z powerbanky přes USB je 5 V. Proto je tedy zapotřebí zapojit měnič pro snížení napětí, který bude vytvářet z napájecího napětí 5 V napájecí napětí 3,3 V pro mikrokontrolér ESP32-PICO.

Jako měnič byl zvolen čip SY8105. Tento čip byl vybrán podle projektu RB0005-UniversalStepDown [12]. V tomto projektu zapojení funguje bezproblémově, a proto bylo rozhodnuto toto zapojení použít v mé práci.



Obr. 2.6: Schéma zapojení čipu SY8105 [14] [12].

V tomto projektu existují varianty pro stabilizaci na výstupu pro 5 V a pro 3,3 V. Z poznámek v projektu RB0005-UniversalStepDown vyplývá, že výstupní napětí je závislé na poměru rezistorů R11 a R12. Rezistory byly zvoleny pro výstupní napětí 3,3 V a přepočítány, aby byl zachován jejich poměr, ale aby byly použity rezistory ze standardní rezistorové řady.

Tab. 2.2: Parametry čipu SY8105 [14]

| | |
|--------------------------|------------|
| Vstupní napětí | 4,5 - 18 V |
| Maximální výstupní proud | 5 A |

2.4 Převodník z USB na RS-232

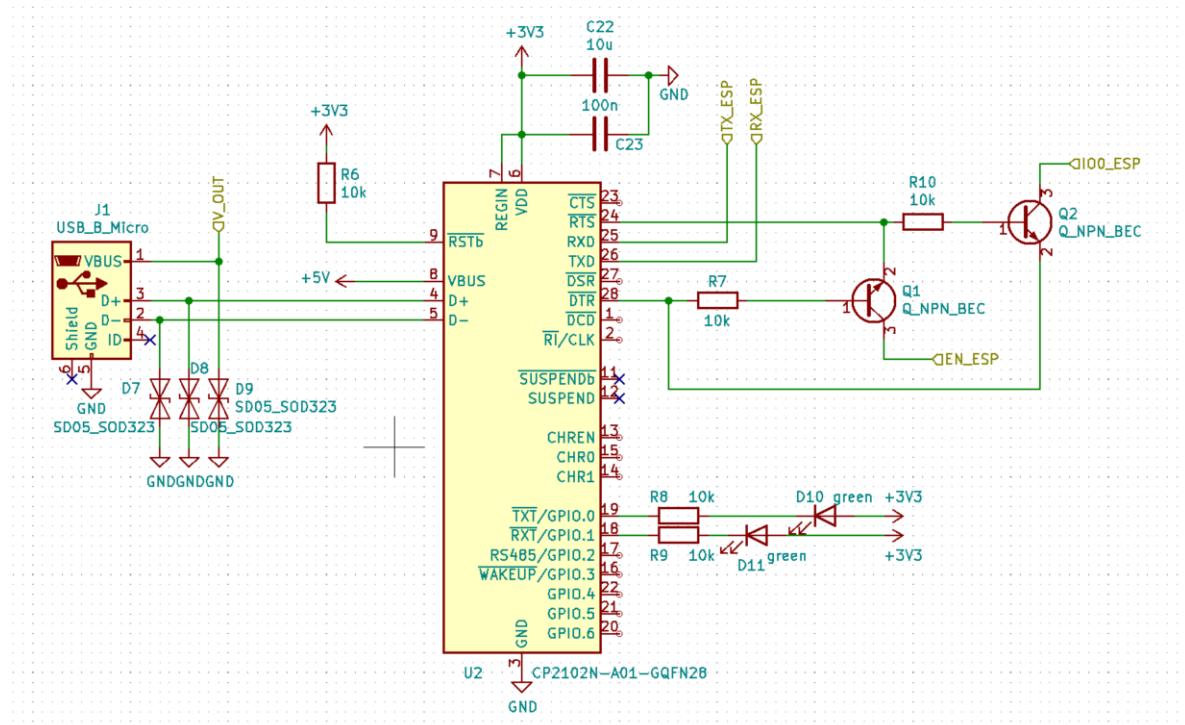
Mikrokontrolér ESP32-PICO používá jako komunikační rozhraní linku RS-232. Programování ale probíhá přes USB konektor, který toto rozhraní nemá. Proto bylo potřeba použít převodník z USB na rozhraní RS-232.

Velkou inspirací při výběru součástek byl kit ESP32-DEVKITC [3]. Tento kit obsahuje ESP32-WROOM a také převodník z USB na RS-232. Na tomto kitu je převodník realizován čipem CP2102. ESP32-WROOM a ESP32-PICO se liší pouze v drobnostech, a proto byl převodník CP2102 použit i při návrhu převodníku u elektronické hry Logic. Tento čip zároveň převádí logiku z 0 - 5 V na logiku 0 - 3,3 V [15].

Tab. 2.3: Parametry čipu CP2102 [15]

| | |
|----------------------|-----------|
| Typický odběr proudu | 9,5 mA |
| Napájecí napětí | 3 - 3,6 V |

Čip CP2102 dokáže komunikovat velkým množstvím komunikačních rychlostí (300, 9600, 19200, 38400, 115200, 256000 Bd, atd) [15]. PC započne komunikaci určitou rychlostí a tento čip tuto komunikaci zachytí, určí rychlosť a touto rychlosťí začne probíhat programování.

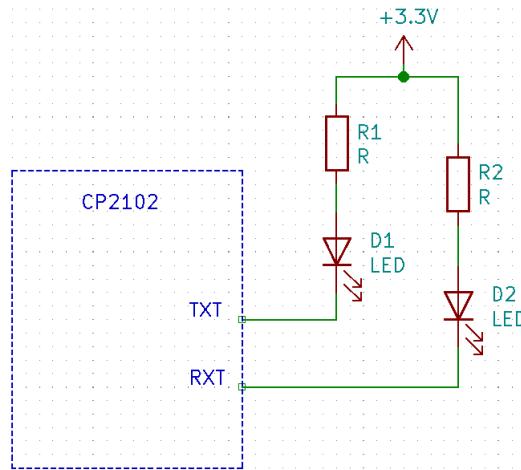


Obr. 2.7: Schéma zapojení převodníku z USB na RS-232 [3].

Z USB jsou signály D+ a D- připojeny k čipu CP2102. Tento čip signál z USB převede na signály RX a TX, které mají výstup na pinech RXD a TXD. Následně

jsou tyto signály připojeny k mikrokontroléru ESP32-PICO. Signály RX a TX musí být překříženy – RX CP2102 je připojeno na TX ESP32-PICO a TX CP2102 je připojeno na RX ESP32-PICO.

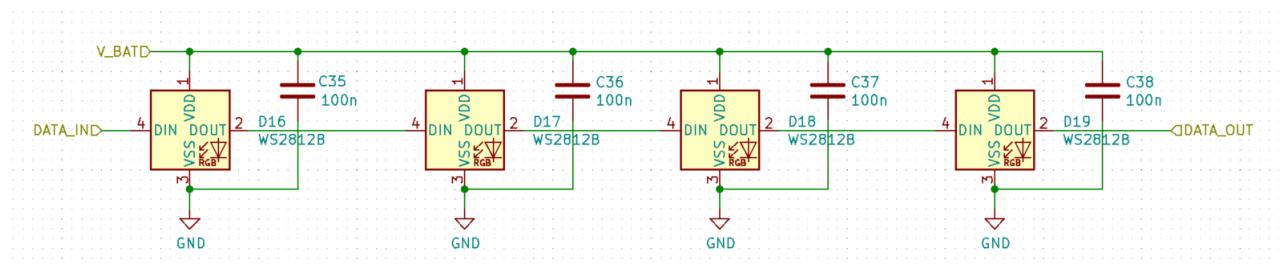
LED D10 a D11 slouží k indikaci komunikace s mikrokontrolérem ESP32-PICO. Pokud je do mikrokontroléra nahráván program, tak LED D10 a D11 blikají.



Obr. 2.8: Zapojení LED pro indikaci komunikace čipu CP2102 s mikrokontrolérem [15].

2.5 Herní prvky

Herními prvky elektronické hry Logic jsou inteligentní LED typu WS2812C. Tento typ inteligentních LED je určen pro přenosná zařízení díky jejich nízké spotřebě. Jsou také plně kompatibilní s typem WS2812B [16]. K těmto inteligentním LED existují knihovny, které usnadňují softwarovou práci s nimi.



Obr. 2.9: Zapojení inteligentních LED WS2812C [16].

Každá inteligentní LED má v sobě procesor, který slouží pro zpracování dat. Inteligentní LED WS2812C se zapojují za sebou přes piny DATA IN a DATA OUT. Každá inteligentní LED převeze data z pinu DATA IN, která jsou pro ni určena, a zbytek pošle ven přes pin DATA OUT.

Tab. 2.4: Parametry inteligentních LED WS2812C [16]

| | |
|----------------------|-----------------------------|
| Napájecí napětí | 3,5 - 5,3 V |
| Výstupní napětí | (VDD - 0,5) - (VDD + 0,5) V |
| Typický odběr proudu | 5 mA |
| Klidový odběr proudu | 0,3 mA |

Ke každé inteligentní LED je připojen na napájení filtrační kondenzátor [16], aby LED svítily kontinuálně a nedostal se jím na napájení žádný šum.

2.5.1 Rozdělení

Inteligentní LED jsou rozděleny do tří skupin. Skupina inteligentních LED pro zadání, skupina inteligentních LED pro herní pole a skupina inteligentních LED pro zobrazení vyhodnocení tahu. Skupina inteligentních LED pro zadání obsahuje 4 LED a skupiny pro herní pole a pro vyhodnocení každá 40 LED.

2.5.2 Zapínání napájení

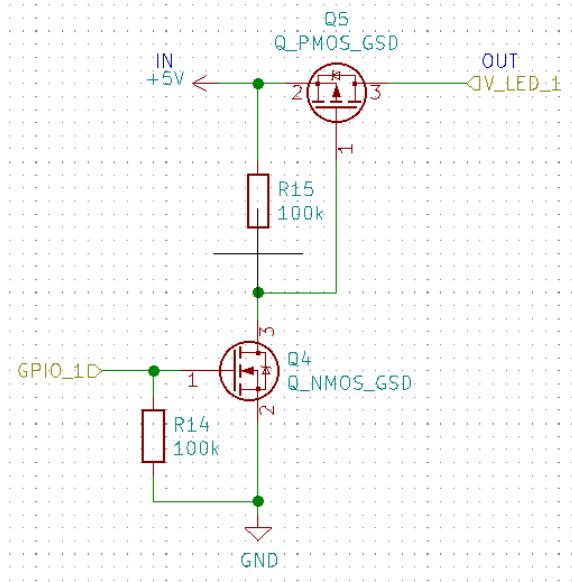
DPS je navrhována pro přenosnou aplikaci, a proto je potřeba zajistit její co nejnižší odběr.

Inteligentní LED WS2812C mají spotřebu 0,3 mA, i když zrovna nesvítí žádnou barvou. Proto je herní pole dohromady s vyhodnocovacími LED rozděleno na 3 části. Do první části patří inteligentní LED se zadáním a první 4 čtverice inteligentních LED z herního pole a z vyhodnocení. Do druhé části patří další 3 čtverice inteligentních LED z herního pole a z vyhodnocení. Do třetí části patří poslední 3 čtverice inteligentních LED z herního pole a z vyhodnocení.

Těmto 3 částem je postupně zapínáno napájecí napětí. Každé části se zapne napájení až pokud se hráč dostane do fáze, kdy danou oblast potřebuje. K zapínání dochází softwarově spínáním GPIO pinu řídicího mikrokontroléru ESP32-PICO.

Ke spínání slouží obvody s MOSFET tranzistory. MOSFET tranzistory byly zvoleny pro jejich nulovou spotřebu, narozdíl od bipolárních tranzistorů.

Napájení inteligentních LED nelze spínat pouze jedním tranzistorem, protože logická 1 mikrokontroléru ESP32-PICO má hodnotu 3,3 V, ale je zapotřebí spínat



Obr. 2.10: Obvod pro zapínání napájení pro inteligentní LED.

5 V. Pokud by byl pro spínání použit pouze jeden tranzistor, tak by bylo napájení vždy sepnuto.

GPIO pin mikrokontroléru ESP32-PICO je nastaven do logické 0, dokud není potřebné přivedení napájecího napětí dané skupině. Při logické nule na gate tranzistoru Q4 je tranzistor zavřený. Tranzistor Q5 v tomto okamžiku drží zavřený rezistor R15.

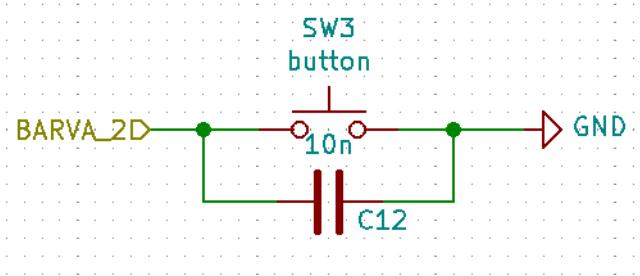
Když je GPIO pin mikrokontroléru přepnuto do logické 1, tak se tranzistor Q4 otevře. Otevřením tranzistoru Q4 je gate tranzistoru Q5 pripojeno ke GND a tím se otevře i tranzistor Q5, kterým je sepnuto napájecí napětí dané skupině inteligentních LED.

Rezistor R14 udržuje tranzistor Q4 zavřený při nestandardních stavech pinu mikrokontroléru, jako je např. při resetu procesoru.

2.6 Spínací prvky

Přepínač SW1 slouží pro zapínání celé DPS. Tento přepínač připojuje napájecí napětí 5 V z USB k celému zbytku DPS.

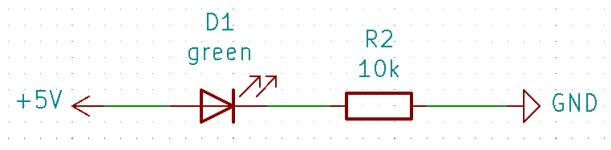
Tlačítka slouží pro ovládání hry. Ke každému tlačítku je připojen kondenzátor o hodnotě 100 nF. Tento kondenzátor slouží pro filtraci zákmitů při zmáčknutí tlačítka. Filtrace se proto nemusí řešit softwarově.



Obr. 2.11: Zapojení tlačítek.

2.7 Indikace přítomnosti napájecího napětí

Pro indikaci přítomnosti napájecího napětí slouží LED D1 a D2. LED D1 indikuje přítomnost napájecího napětí 5 V a LED D2 indikuje přítomnost napájecího napětí 3,3 V. Obě LED mají zelenou barvu.



Obr. 2.12: Zapojení LED pro indikaci napájecího napětí.

3 Návrh DPS

DPS je navržena v programu KiCad a její parametry jsou určeny pro výrobu i osazení ve firmě JLCPCB [5] [6]. Výrobní podklady proto musely být navrženy v souladu s jejich výrobními možnostmi [7].

DPS má 4 vrstvy. Vnitřní vrstvy slouží pro napájení a vnější pro signálové dráhy. V jedné vnitřní vrstvě je po celé její ploše polygon GND a ve druhé vnitřní vrstvě jsou polygony jednotlivých napájecích napětí.

Na vrchní straně jsou umístěny plošky pro osazení SMD součástek, protože firma JLCPCB osazuje pouze SMD součástky a pouze z jedné strany. THT součástky jsou připraveny na ruční pájení.

Signálové dráhy jsou vedeny tenkou dráhou a napájecí dráhy jsou vedeny širší dráhou. V signálových drahách tečou zanedbatelné proudy, proto mohou být co nejtenčí. Výrobce umožňuje vyrobit u čtyřvrstvé DPS nejtenčí dráhu 0,09 mm [7]. Aby nebyly použity krajní hodnoty, byla zvolena šířka signálové dráhy 0,150 mm.

Dráhy, kterými je veden napájecí napětí, mají tloušťku 0,5 mm. Pro výpočet šířky dráhy byla použita online kalkulačka Printed Circuit Board Width Tool [1]. Proud dráhami při použití všech inteligentních LED je 420 mA a tloušťka mědi 35 μ A [7]. Doporučená šířka dráhy byla tedy 0,236 mm, a proto byla zvolena šířka dráhy 0,5 mm.

$$n = 84 \text{ ks}$$

$$I_{LED} = 5 \text{ mA}$$

$$I = I_{LED} \cdot n = 5 \cdot 84 = 420 \text{ mA} \quad (3.1)$$

3.1 Vzhled DPS

Vzhled této DPS byl ovlivněn vzhledem deskové hry a výrobními možnostmi firmy JLCPCB. Firma JLCPCB vyrábí DPS o maximálních rozměrech $10 \times 10 \text{ cm}$ [6]. Tato DPS tedy byla navržena na maximální vyrobitevnou velikost a poté byly do těchto rozměrů rozmístovány součástky.

Nejprve byly na DPS rozloženy inteligentní LED. Jejich rozmístění je důležité, pro zachování podobnosti deskové hře. Zároveň díky jejich množství a poměrně velkým rozměrům ($5 \times 5 \text{ mm}$) zabírají velkou část DPS [16]. Proto musely být inteligentní LED rozmístěny jako první. Následně byl ostatními obvody využíván zbylý prostor.

Dráhy s napájecím napětím by měly být vedeny co nejvíce zpříma. Proto musely být součástky se stejným napájecím napětím sdruženy u sebe. Díky tomu mohlo být

napájení tvořeno polygony. Dílčí obvody byly rozmístěny v následujícím pořadí - USB, měnič napětí, převodník z USB na RS-232 a ESP332-PICO. USB konektor musel být umístěn na okraj DPS. Proto byly jednotlivé části obvodu naskládány podél levého okraje DPS.

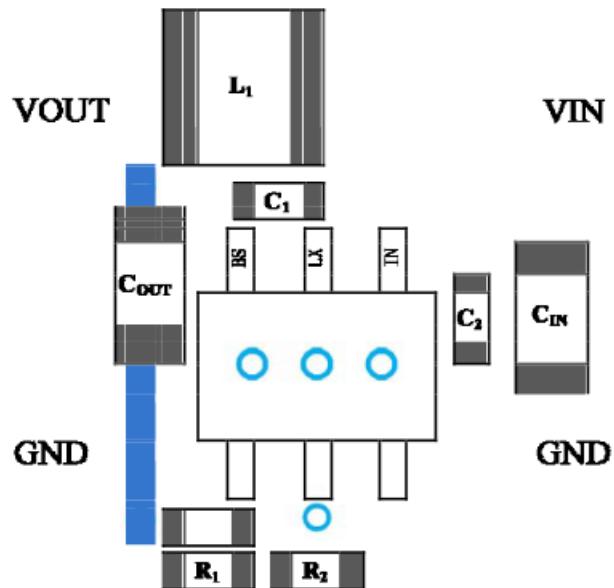
V pravém horním rohu vzniklo prázdné místo, které bylo využito pro popis DPS.

3.2 Funkční rozmístění součástek

U některých součástek není jejich umístění na DPS lhostejné. Rozmístění součástek často ovlivňuje funkčnost obvodu. Rozmístění součástek často souvisí s rozkreslením ve schématu. Například kondenzátory filtrující napájení se umisťují co nejblíže přívodu napájení.

Inteligentní LED WS2812C jsou rozděleny do 3 skupin, aby se hra co nejvíce podobala deskové hře. Inteligentní LED pro zadání jsou v horní části DPS. V levém sloupci pod zadáním jsou inteligentní LED, které slouží jako herní pole, a v pravém sloupci jsou inteligentní LED pro vyhodnocení tahu. Každá inteligentní LED musí mít svůj filtrační kondenzátor na napájení co nejblíže svému pouzdrovi.

Rozložení součástek měniče napětí na DPS může velmi ovlivnit jeho funkčnost. Proto bylo rozložení a zapojení součástek převzato z datasheetu.



Obr. 3.1: Rozložení součástek kolem čipu SY8105 na DPS [14].

Signály D+ a D- od USB k čipu CP2102 jsou diferenciální pář, a proto tomu musely být přizpůsobeny i dráhy těchto signálů. Dráhy jsou vedeny vedle sebe a blízko u sebe.

Kondenzátory u mikrokontroléru ESP32-PICO a u čipu CP2102 musí být umístěny co nejblíže jejich pouzdru. Tyto kondenzátory slouží pro filtraci šumu na napájení.

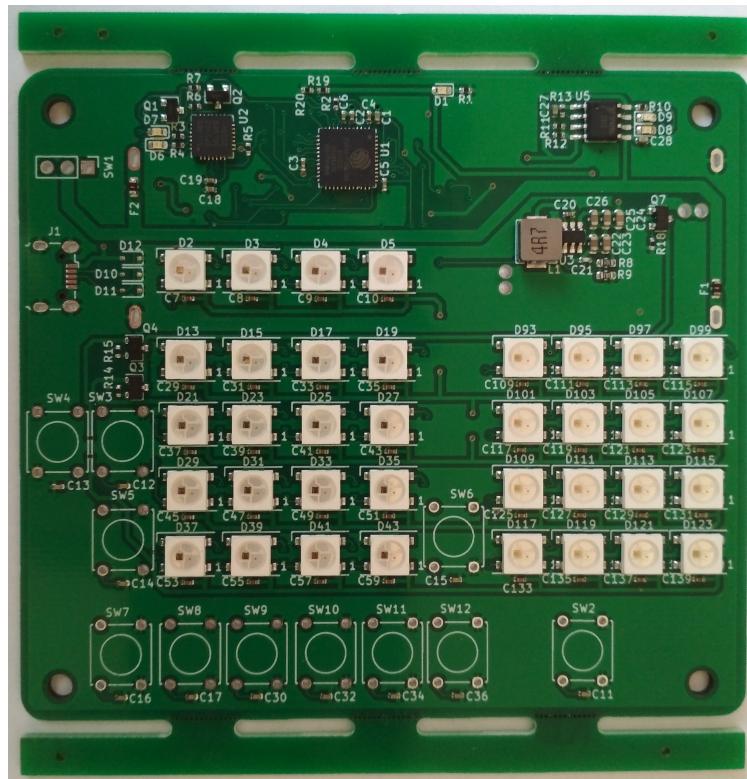
Kondenzátory u tlačítek jsou také umístěny co nejblíže pouzdru tlačítka. Čím blíže pouzdru kondenzátor bude, tím lépe budou filtrovány zákmity při stisku tlačítka.

4 Oživení DPS

Následující kapitola popisuje oživení obou verzí DPS poté, co přijdou z výroby.

4.1 Verze 0.0

DPS přijde z výroby ve stavu, kdy jsou osazeny pouze SMD komponenty.



Obr. 4.1: Verze 0.0 z výroby.

Po dodání DPS z výroby byly zapájeny THT komponenty (pouzdro na baterii, konektor USB micro, tlačítka a vypínač). Na testovací verzi byl místo vypínače osazen konektor, na který je pro zapnutí DPS potřeba nasunout propojku. Po zapojení baterií 18650 do pouzdra a zapnutí vypínače se rozsvítí zelená LED D1, která indikuje přítomnost napájecího napětí.

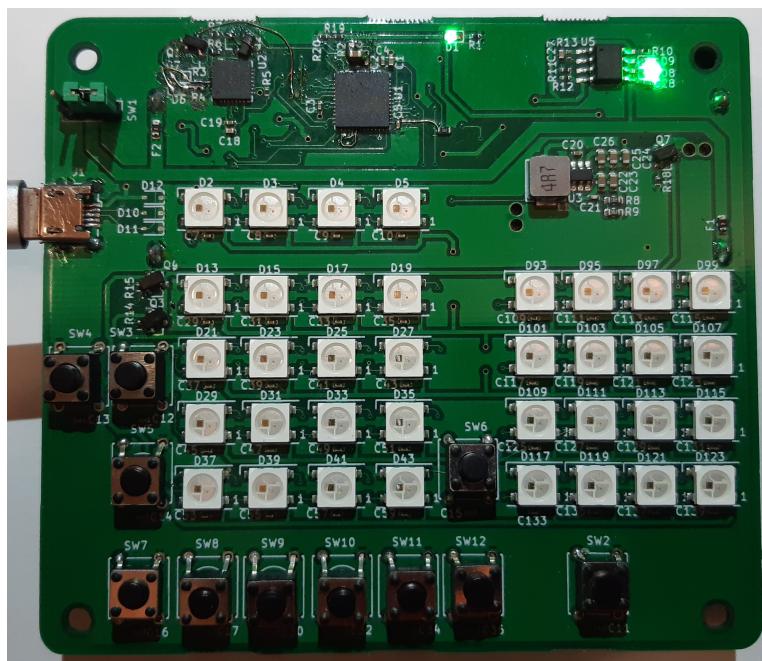
Po vložení baterií do pouzdra a zapnutí DPS bylo pomocí multimetru zjištěno, že ochrana proti přepólování baterií nepropouští napětí dále, i když jsou baterie v pouzdře umístěny správně. Bylo zjištěno, že pouzdro tranzistoru zajišťujícího ochranu proti přepólování neodpovídá navrženému pouzdrovi tranzistoru. Všechny MOSFET tranzistory byly stejného typu, takže musely být všechny otočeny.

Při zkoušce nabíjení bylo zjištěno, že červená LED indikující nabíjení baterií je přepólovaná. LED se povedla otočit a indikace nabíjení baterií z USB byla v pořádku.

Při programování byl zjištěn problém s komunikací po lince RS-232. Bylo zjištěno, že LED pro indikaci komunikace po lince RS-232 jsou špatně zapojeny, a proto byly odstraněny a nahrazeny zkratem. Jejich zapojení této komunikaci bránilo. Bipolární tranzistory byly taktéž osazeny ve špatném pouzdře a neodpovídaly navrženým pouzdrům.

Při programování a testování všech inteligentních LED WS2812C a tlačítka bylo zjištěno, že jedno tlačítko bylo zapojeno na pin, který nemá softwarově zapínatelný pullup rezistor. Tento rezistor byl dodatečně osazen.

Po veškerých opravách byla DPS připravena na testování softwaru elektronické hry Logic.

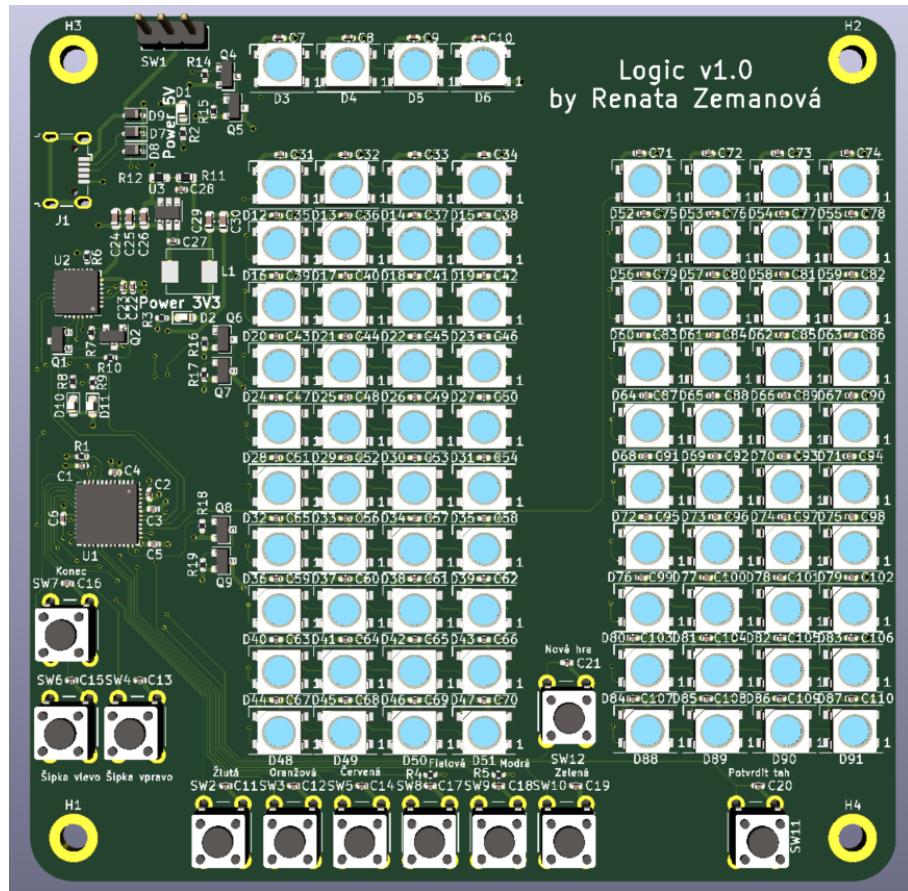


Obr. 4.2: Oživená verze 0.0 s opravami.

4.2 Verze 1.0

DPS přijde z výroby ve stavu, kdy jsou osazeny pouze SMD komponenty.

Poté je nutné ručně osadit THT součástky, tj. vypínač, tlačítka a konektor USB micro. Po připojení DPS přes USB konektor k powerbance, nebo do počítače, se rozsvítí LED D1 a D2, které indikují přítomnost napájecího napětí. LED D2 zároveň značí, že zapojení měniče napětí je funkční.



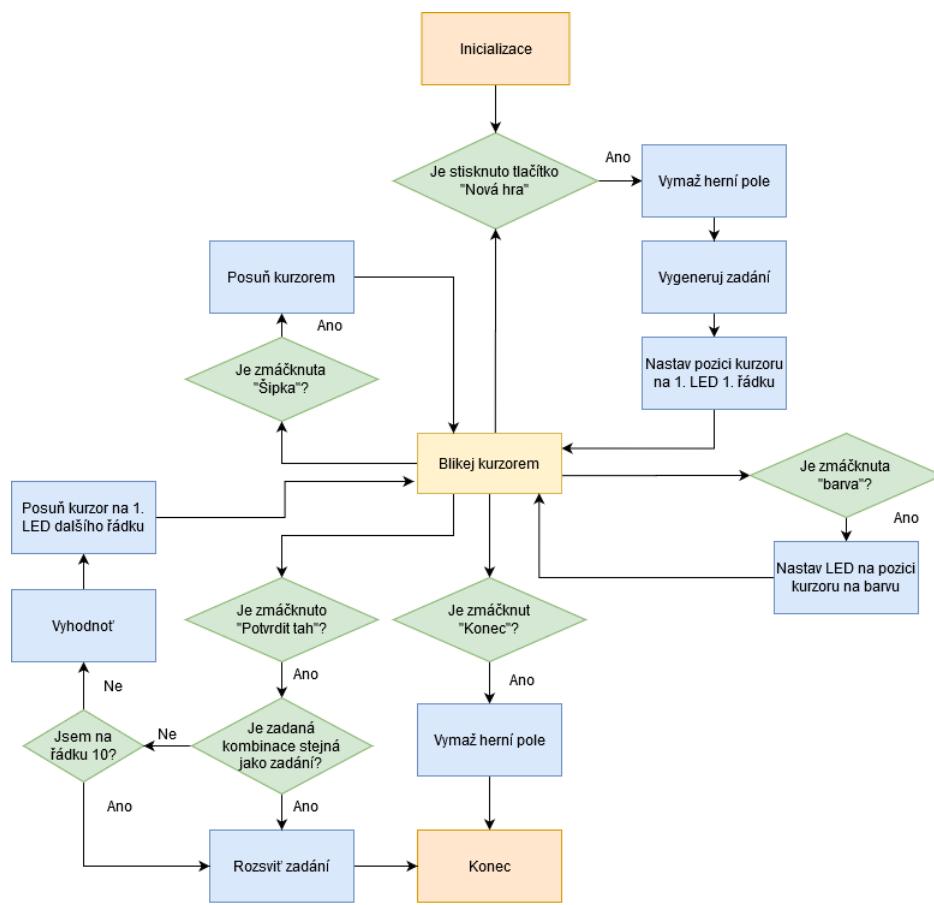
Obr. 4.3: 3D pohled verze 1.0 DPS.

Všechny chyby z předchozí verze byly odstraněny.

5 Způsob ovládání elektronické hry

Tato verze hry je navržena jako hra pro jednoho hráče. Funkci druhého hráče nahrazuje řídicí mikrokontrolér ESP32-PICO.

Po zapnutí DPS stiskneme tlačítko "Nová hra". V této chvíli se vygeneruje zadání, které není vidět, a první herní LED se rozblíká. Rozblíkání herní LED značí pozici kurzoru. Kurzorem lze pohybovat pomocí tlačítek "Šipka vpravo" a "Šipka vlevo". Barvy herních LED se nastavují tlačítka ve spodní části DPS. Tato tlačítka jsou označena danými barvami. Po zadání kombinace stiskneme tlačítko "Potvrdit tah". Po stisku tlačítka proběhne vyhodnocení a to se zobrazí na vyhodnocovacích LED. Kurzor se posune na první LED v dalším řádku. Po zadání správné kombinace barev a jejich pozic se rozsvítí zadání a hra je u konce. Pro novou hru stiskneme tlačítko "Nová hra" a pro ukončení tlačítko "Konec". Po stisku tlačítka "Konec" zhasnou všechny herní, vyhodnocovací LED i LED pro zadání. Poté je DPS připravena pro vypnutí vypínačem.



Obr. 5.1: Vývojový diagram.

Závěr

Byla navržena elektronická hra Logic. Tato hra vychází z původní deskové hry. Byl také vyroben prototyp této hry.

V této práci byla uvedena pravidla deskové hry Logic. Dále byl popsán kompletní návrh elektronické verze této hry. Při výběru elektronických komponentů byl kladen důraz na spotřebu jednotlivých zařízení. Hru řídí mikrokontrolér ESP32-PICO. Herními prvky jsou inteligentní LED WS2812C, které jsou určeny pro přenosná zařízení. Hra Logic je integrována do jedné DPS, která řídí hru a zároveň jsou na ní umístěny herní prvky.

Při návrhu je kladen velký důraz na vizuální podobu s deskovou hrou Logic. Zároveň byla také zachována veškerá doporučená zapojení použitých čipů a modulů a rozmístění součástek na DPS.

Byl vyroben prototyp, na kterém byla otestována funkčnost zapojení. Při oživování prototypu byly odhaleny chyby, jejichž opravy jsou zpracovány do návrhu verze 1.0. Na prototypu byl následně otestován i software.

Dále bude projekt pokračovat v řešení softwaru. Bude vyrobena krabička na DPS a umístěn vypínač. Také budou vyzkoušeny další alternativy způsobu ovládání. DPS bude navržena, aby bylo možné hrát hru jak v konfiguraci pro jednoho hráče, tak v konfiguraci pro dva hráče.

Jsou také zvažovány další možnosti snížení spotřeby DPS, jako je například regulace jasu inteligentních LED v závislosti na okolním osvětlení.

Literatura

- [1] ADVANCED CIRCUITS: *PCB Trace Width Calculator* Denver, Colorado: [cit. 09. 12. 2020]. Dostupné z URL:
[<https://www.4pcb.com/trace-width-calculator.html>](https://www.4pcb.com/trace-width-calculator.html).
- [2] Agátin svět: *Dřevěná hra Logik* Praha: [cit. 08. 12. 2020]. Dostupné z URL:
[<https://www.agatinsvet.cz/drevena-hra-logik/?gclid=Cj0KCQiA5bz-BRD-ARIsABjT4nhc98iKGbskL1JDi_E0A2-Yynl_DG03UGjG5w-4-1mWRE58qwTKp1oaAj9CEALw_wcB>](https://www.agatinsvet.cz/drevena-hra-logik/?gclid=Cj0KCQiA5bz-BRD-ARIsABjT4nhc98iKGbskL1JDi_E0A2-Yynl_DG03UGjG5w-4-1mWRE58qwTKp1oaAj9CEALw_wcB).
- [3] Espressif: *ESP32_DevKic_v4* Poslední aktualizace 06. 12. 2017 [cit. 24. 11. 2020]. Dostupné z URL:
[<https://dl.espressif.com/dl/schematics/esp32_devkitc_v4-sch.pdf>](https://dl.espressif.com/dl/schematics/esp32_devkitc_v4-sch.pdf).
- [4] Espressif Systems: *ESP32-PICO-D4* Poslední aktualizace 2019 [cit. 24. 11. 2020]. Dostupné z URL:
[<https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-pico-d4_datasheet_en.pdf>](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-pico-d4_datasheet_en.pdf).
- [5] Jean-Pierre Charras, Dick Hollenbeck, Wayne Stambaugh: *KiCad EDA* [cit. 07. 12. 2020]. Dostupné z URL:
[<https://kicad.org>](https://kicad.org).
- [6] JLCPCB: *JLCPCB* [cit. 23. 11. 2020]. Dostupné z URL:
[<https://jlcpcb.com>](https://jlcpcb.com).
- [7] JLCPCB: *PCB Capabilities* [cit. 23. 11. 2020]. Dostupné z URL:
[<https://jlcpcb.com/capabilities/Capabilities>](https://jlcpcb.com/capabilities/Capabilities).
- [8] Klub deskových her Paluba: *Logik pravidla* [cit. 30. 11. 2020]. Dostupné z URL:
[<http://testapp.hrejsi.cz/logik/pravidla.htm>](http://testapp.hrejsi.cz/logik/pravidla.htm).
- [9] Laskarduino: *Nabíječka Li-ion článku TP4056 microUSB* [cit. 04. 12. 2020]. Dostupné z URL:
[<https://www.laskarduino.cz/nabijecka-li-ion-clanku-tp4056-microusb>](https://www.laskarduino.cz/nabijecka-li-ion-clanku-tp4056-microusb).
- [10] NKON: *INR18650-29E* [cit. 01. 12. 2020]. Dostupné z URL:
[<https://eu.nkon.nl/samsung-inr18650-29e.html>](https://eu.nkon.nl/samsung-inr18650-29e.html).
- [11] POSTAV ROBOTA: *Držák na baterie, 2 akumulátorové články 18650 do DPS* [cit. 01. 12. 2020]. Dostupné z URL:

<<https://www.postavrobotu.cz/Drzak-na-baterie-2-akumulatorove-clanky-18650-d.htm>>.

- [12] RoboticsBrno, Jan Mrázek: *RB0005-UniversalStepDown* Brno: Poslední aktualizace 30. 11. 2020 [cit. 04. 12. 2020]. Dostupné z URL:
<<https://github.com/RoboticsBrno/RB0005-UniversalStepDown>>.
- [13] Satic Chipid: *TP4056 A Standalone Linear Li-lon Battery Charger with Thermal Regulation in SOP-8* [cit. 03. 12. 2020]. Dostupné z URL:
<<https://static.chipdip.ru/lib/977/DOC002977110.pdf>>.
- [14] SILERGY: *Applocation Note:AN_SY8105* [cit. 24. 11. 2020]. Dostupné z URL:
<https://datasheet.lcsc.com/szlcsc/Silergy-Corp-SY8105ADC_C178247.pdf>.
- [15] Silicon Laboratories Inc.: *CP2102N Data Sheet* USA: Poslední aktualizace květen 2016 [cit. 24. 11. 2020]. Dostupné z URL:
<<https://www.silabs.com/documents/public/data-sheets/cp2102n-datasheet.pdf>>.
- [16] Worldsemi: *WS2812C* Poslední aktualizace 06. 12. 2017 [cit. 24. 11. 2020]. Dostupné z URL:
<https://datasheet.lcsc.com/szlcsc/1810231210_Worldsemi-WS2812C_C114587.pdf>.

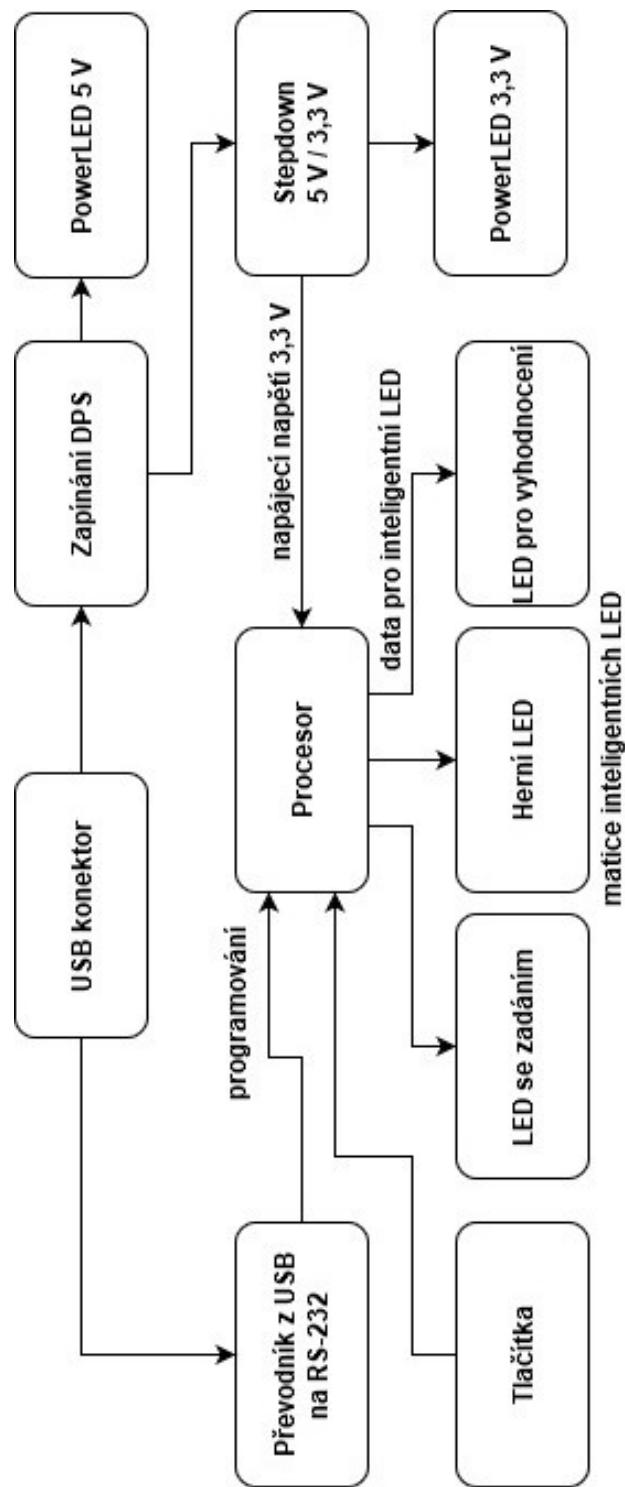
Seznam symbolů, veličin a zkratek

| | |
|---------------|---|
| Bd | Baud - (jednotka modulační rychlosti) |
| C | Kapacita |
| DPS | Deska plošného spoje |
| FLASH | Typ paměti, která je trvalá - nesmaže se ani při ztrátě napájení |
| GND | Ground - pin, který má nulový potenciál, vůči němu jsou referencované všechny ostatní signály |
| GPIO | General Purpose Input Output - piny, které mohou být vstupní nebo výstupní |
| kB | Kilobajt (jednotka velikosti paměti) |
| LED | Light-Emitting Diode - dioda emitující světlo |
| Li-Ion | Lithium-iontový akumulátor (druh nabíjecí baterie) |
| mAh | Miliampérhodina (jednotka kapacity používaná hlavně u baterií) |
| MB | Megabajt (jednotka velikosti paměti) |
| MOSFET | Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor - tranzistor řízený elektrickým polem |
| RS-232 | Druh sériového komunikačního rozhraní |
| RX | Receiver - přijímač sériového rozhraní |
| SMD | Surface Mount Device - součástky určené pro povrchovou montáž |
| SRAM | Static Random Access Memory - rychlá statická paměť, která se smaže při ztrátě napájení |
| THT | Through-hole technology - vývodová technologie součástek |
| TX | Transceiver - vysílač sériového rozhraní |
| USB | Universal Serial Bus - univerzální sériová sběrnice, která se používá pro připojení zařízení k počítači |
| VDD | Označení napájecího napětí |

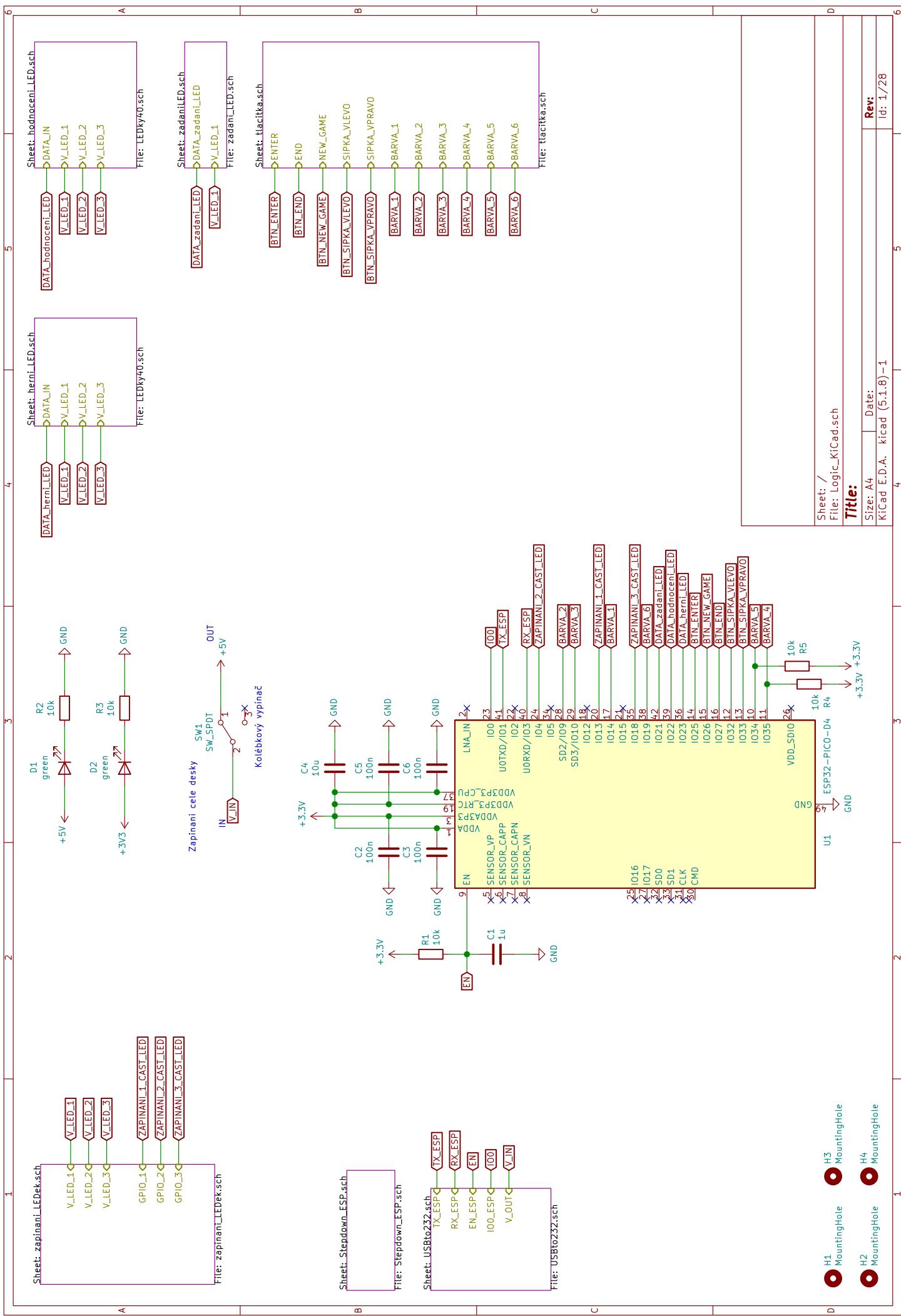
Seznam příloh

| | |
|----------------------------------|----|
| A Schéma zapojení DPS verze 1.0 | 33 |
| B Výrobní podklady DPS verze 1.0 | 41 |

A Schéma zapojení DPS verze 1.0



Obr. A.1: Blokové schéma DPS verze 1.0.

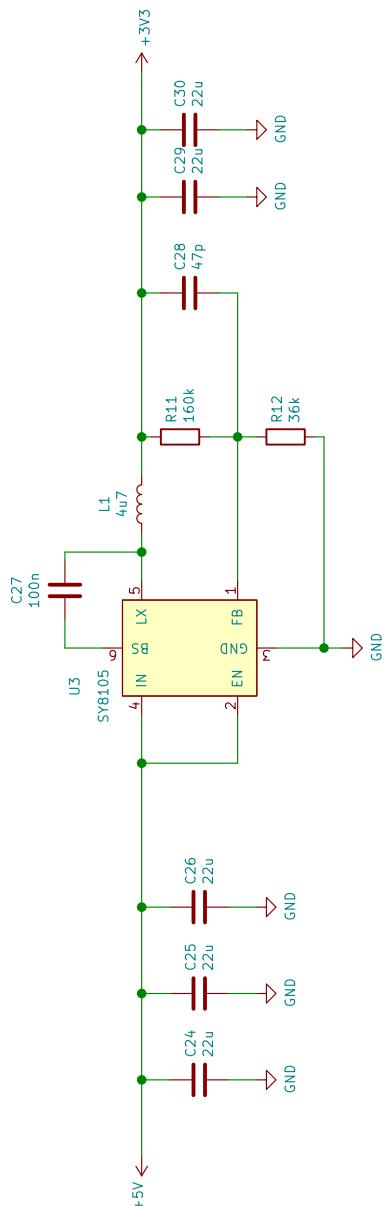


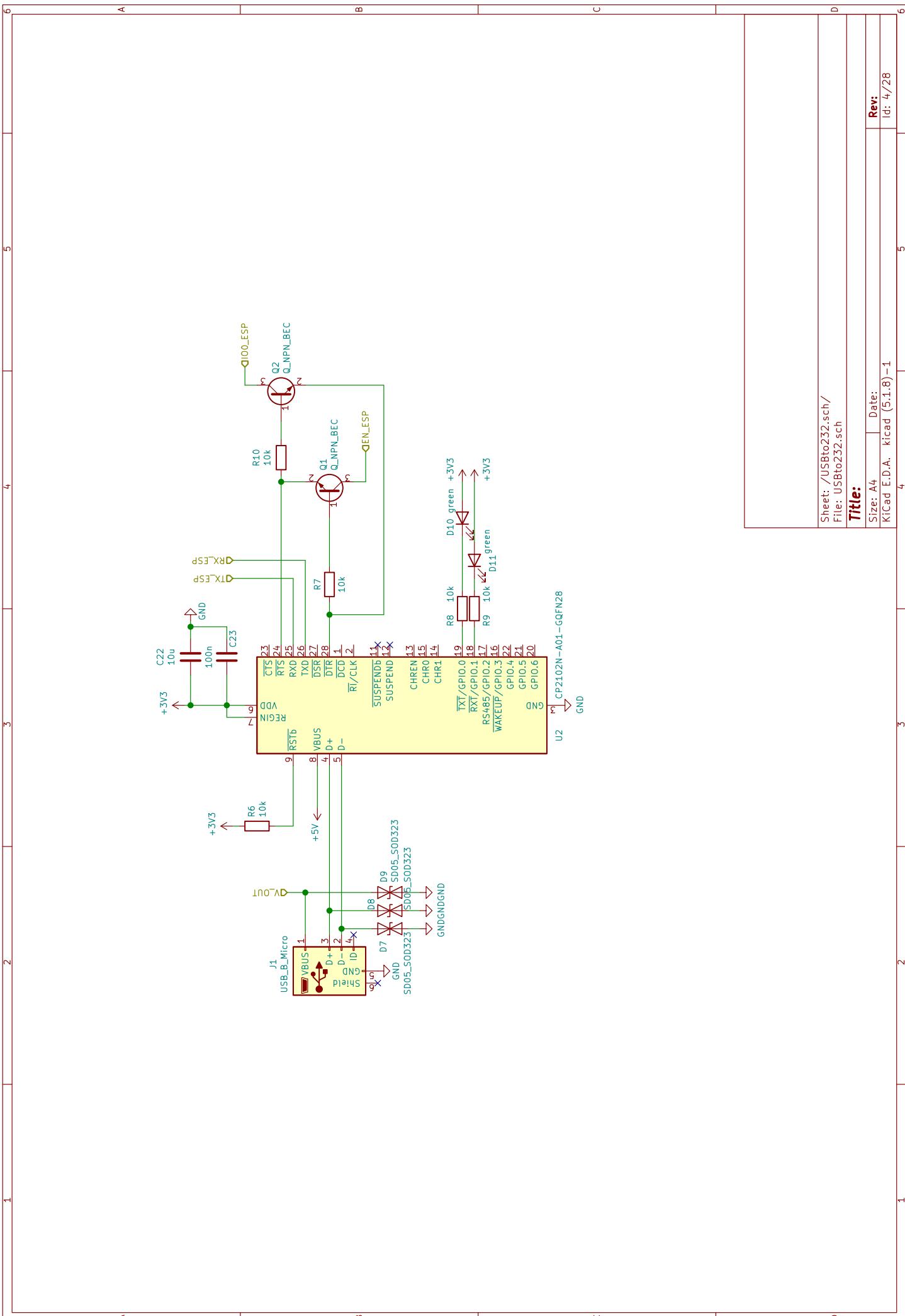
Sheet: /Stepdown_ESP.sch/
File: Stepdown_ESP.sch

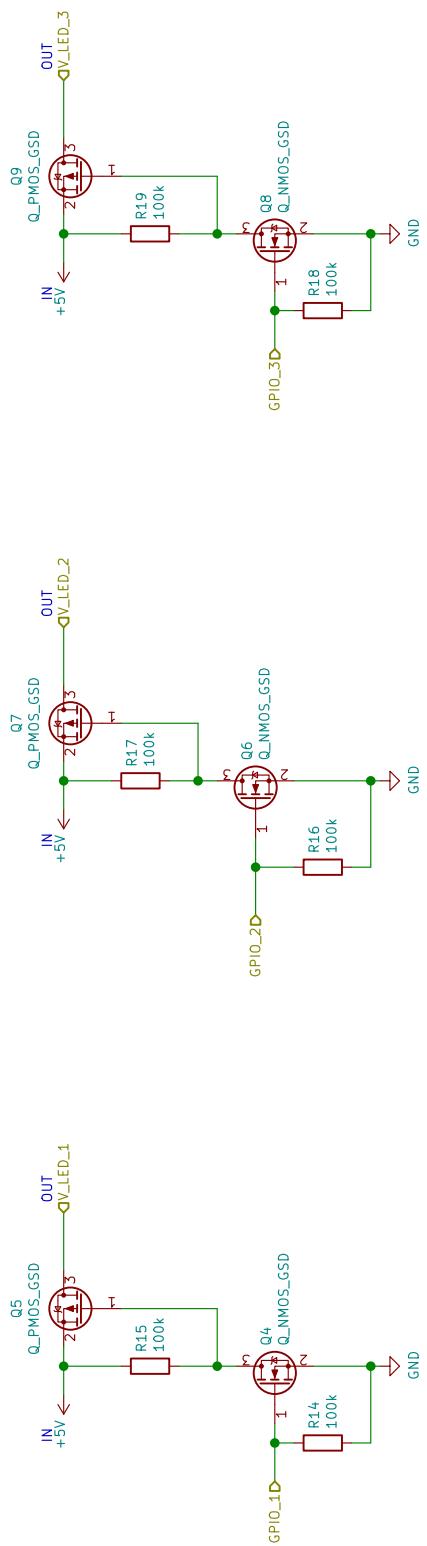
Title:

Size: A4
KiCad E.D.A. Date:
Id: 5/28

Rev:





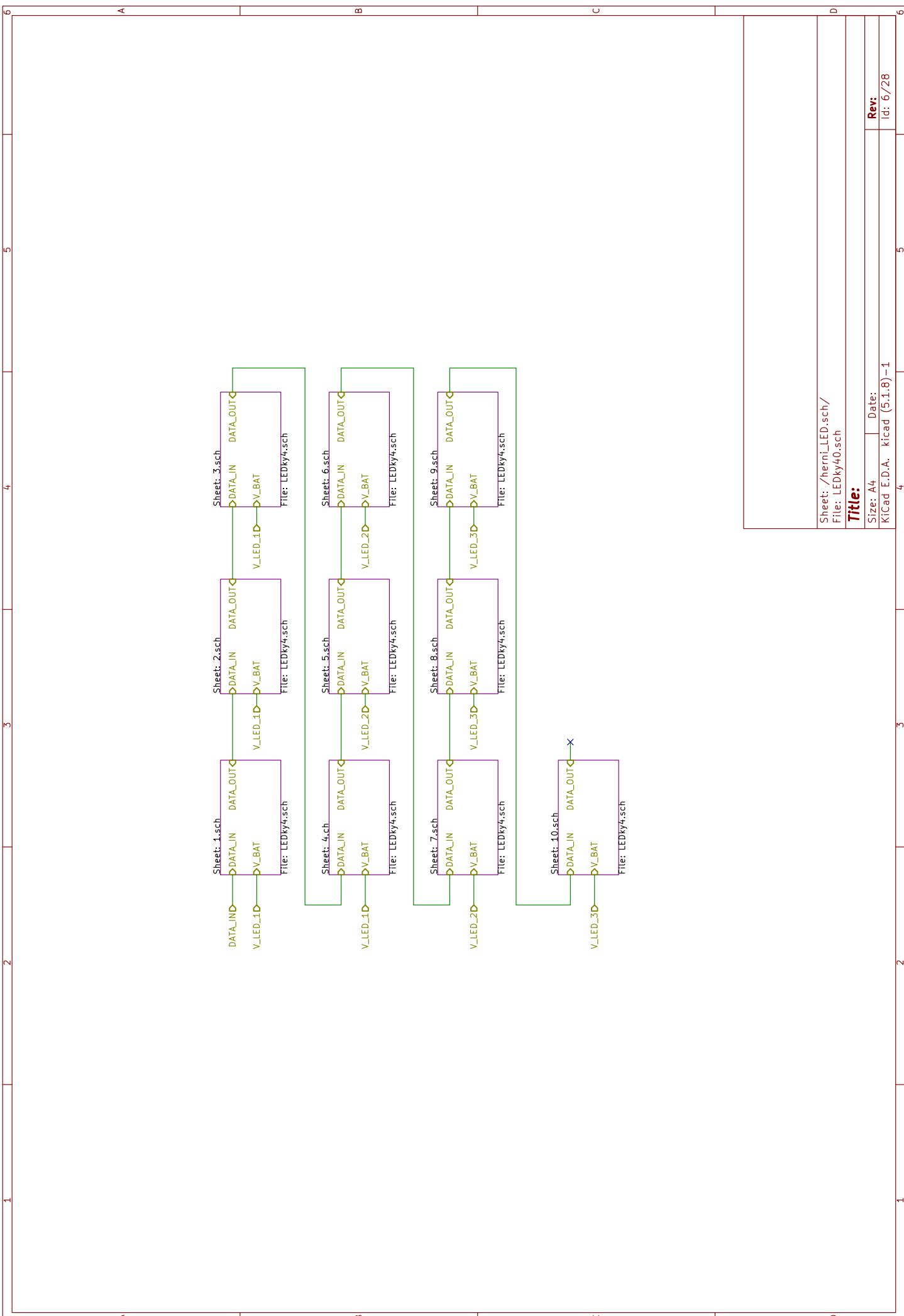


Sheet: /zapinani_LEDek.sch/
File: zapinani_LEDek.sch

Title:

Size: A4
KiCad E.D.A. Date:
kicad (5.1.8)-1
Id: 17/28

| Rev: | 5 | 6 |
|------|---|---|
| | | |

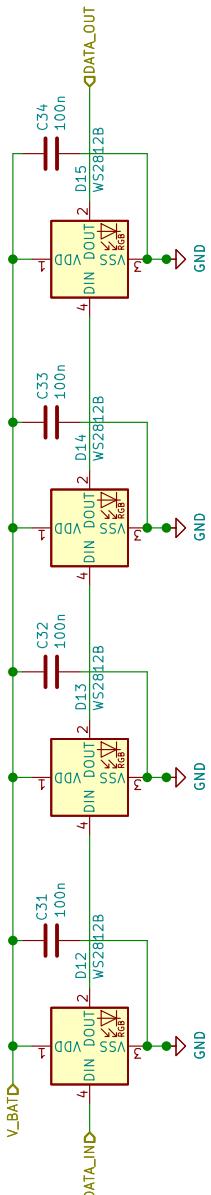


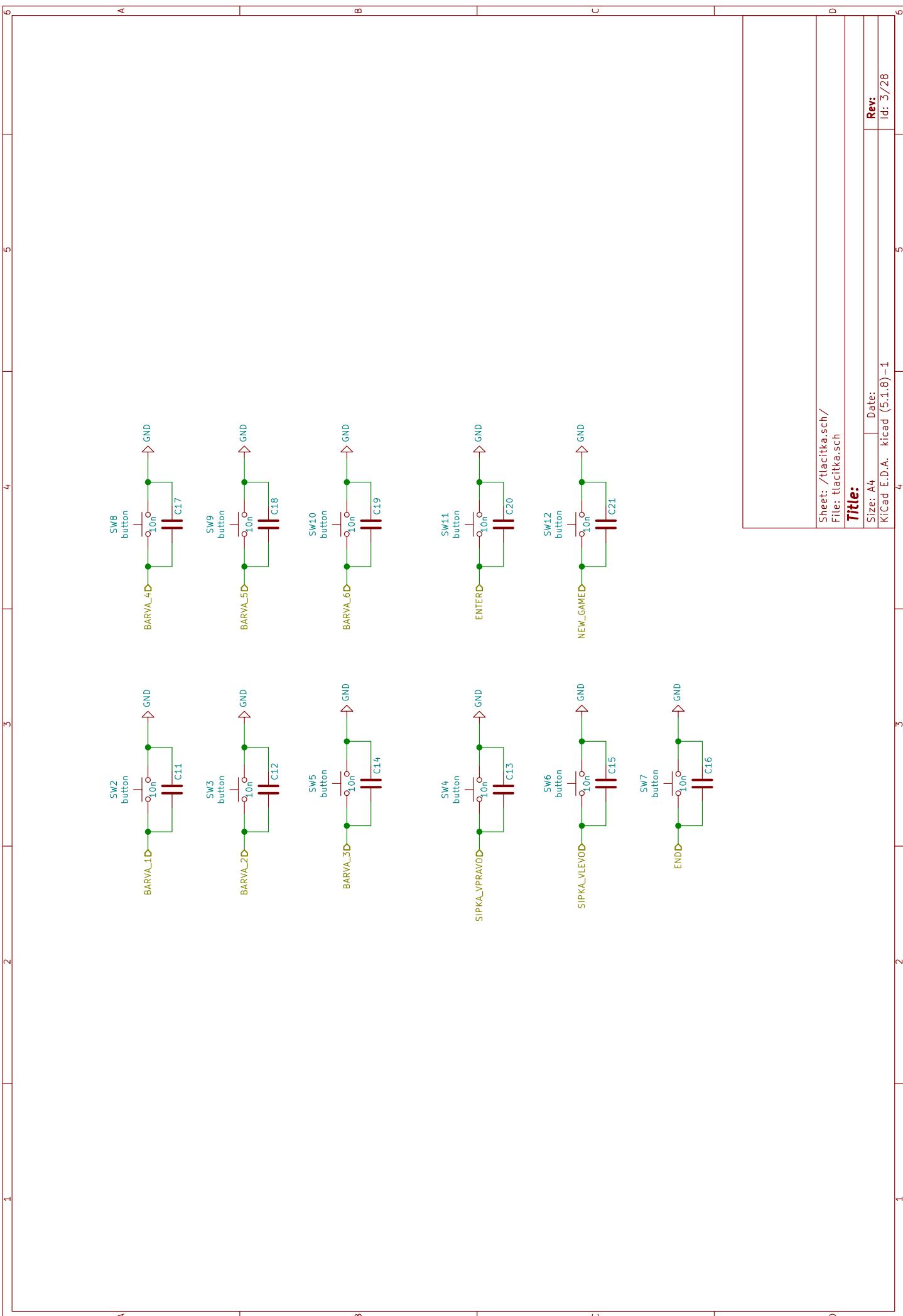
Sheet: /herni_LED.sch/1.sch/
File: LEDKy4.sch

Title:

Size: A4 Date:
KiCad E.D.A. kicad (5.1.8)-1
Id: 7/7/28

Rev: 5 5 5 5 5 5





Sheet: /tacitka.sch/
File: tacitka.sch

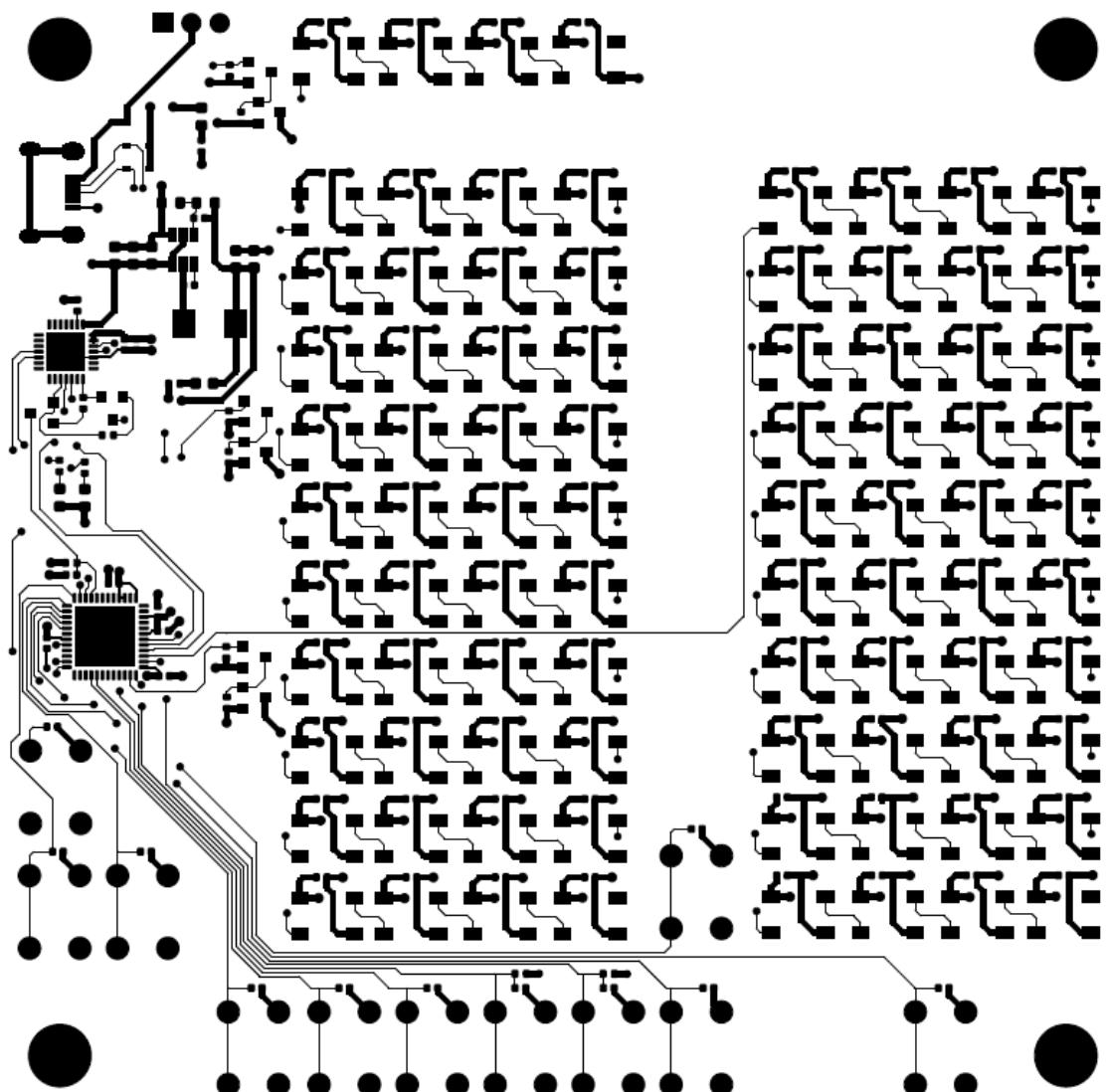
Title:

Size: A4
KiCad E.D.A. Date:
Id: 3/28

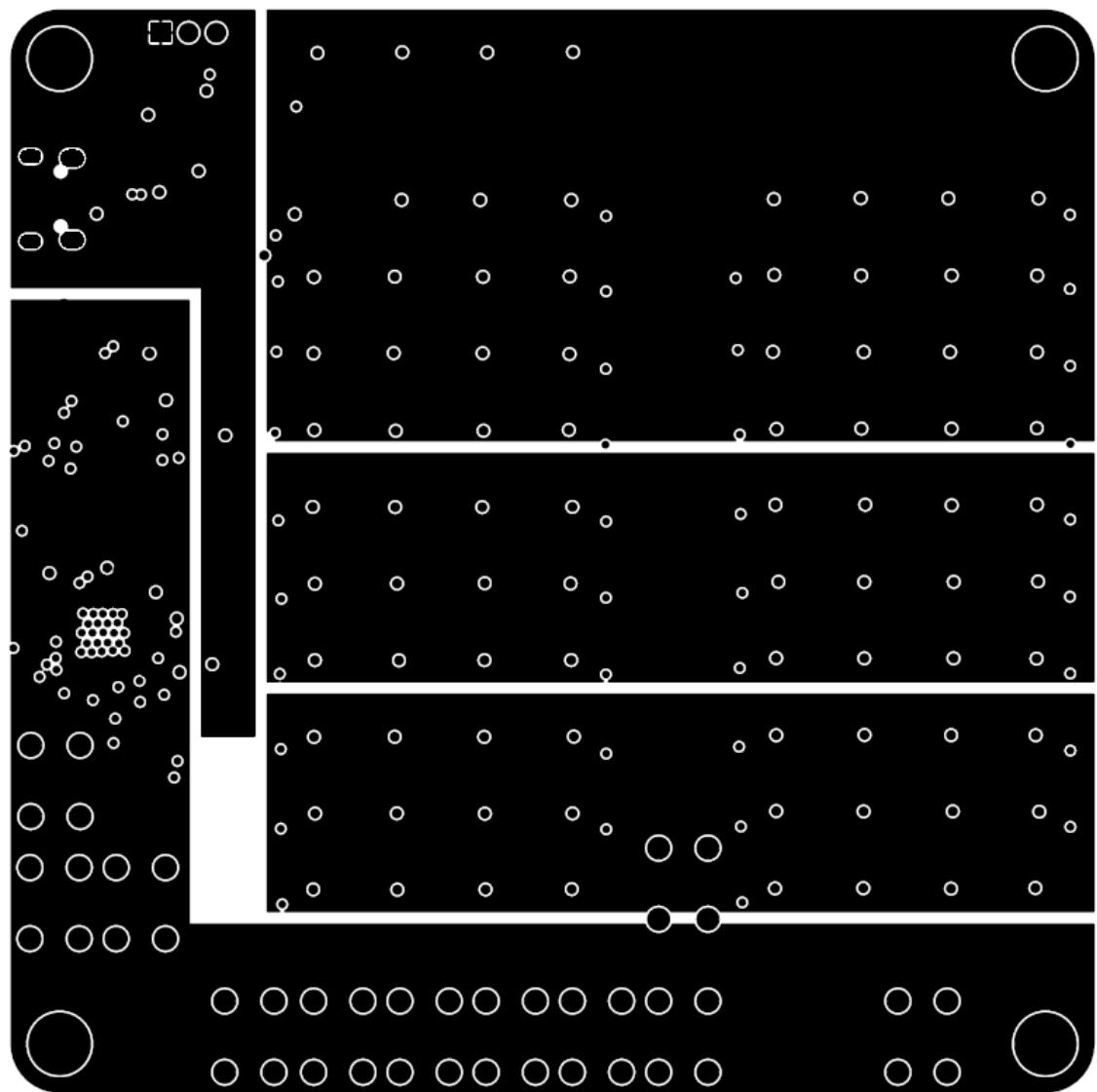
Rew:

Size: A4
KiCad E.D.A. Date:
Id: 3/28

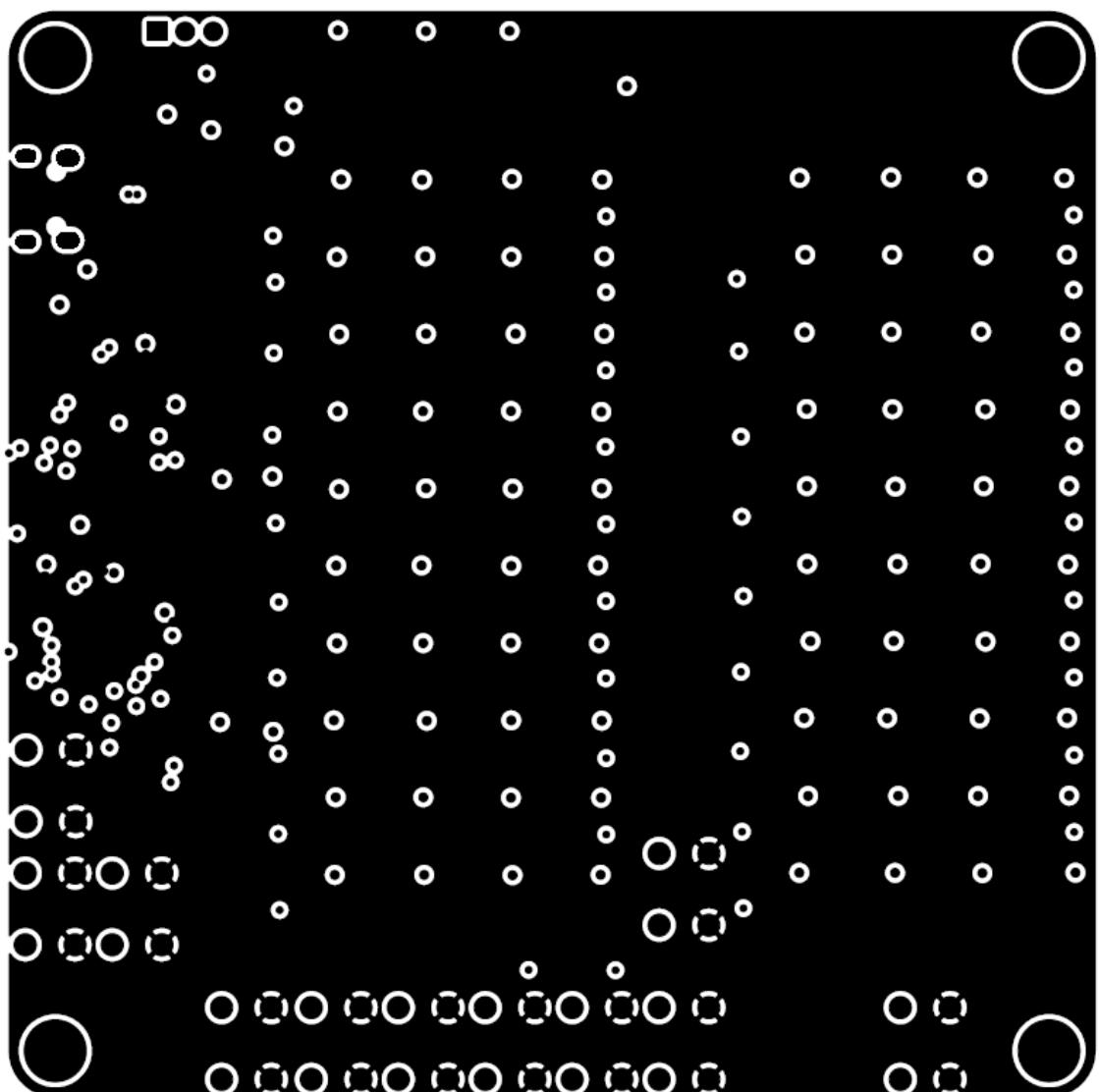
B Výrobní podklady DPS verze 1.0



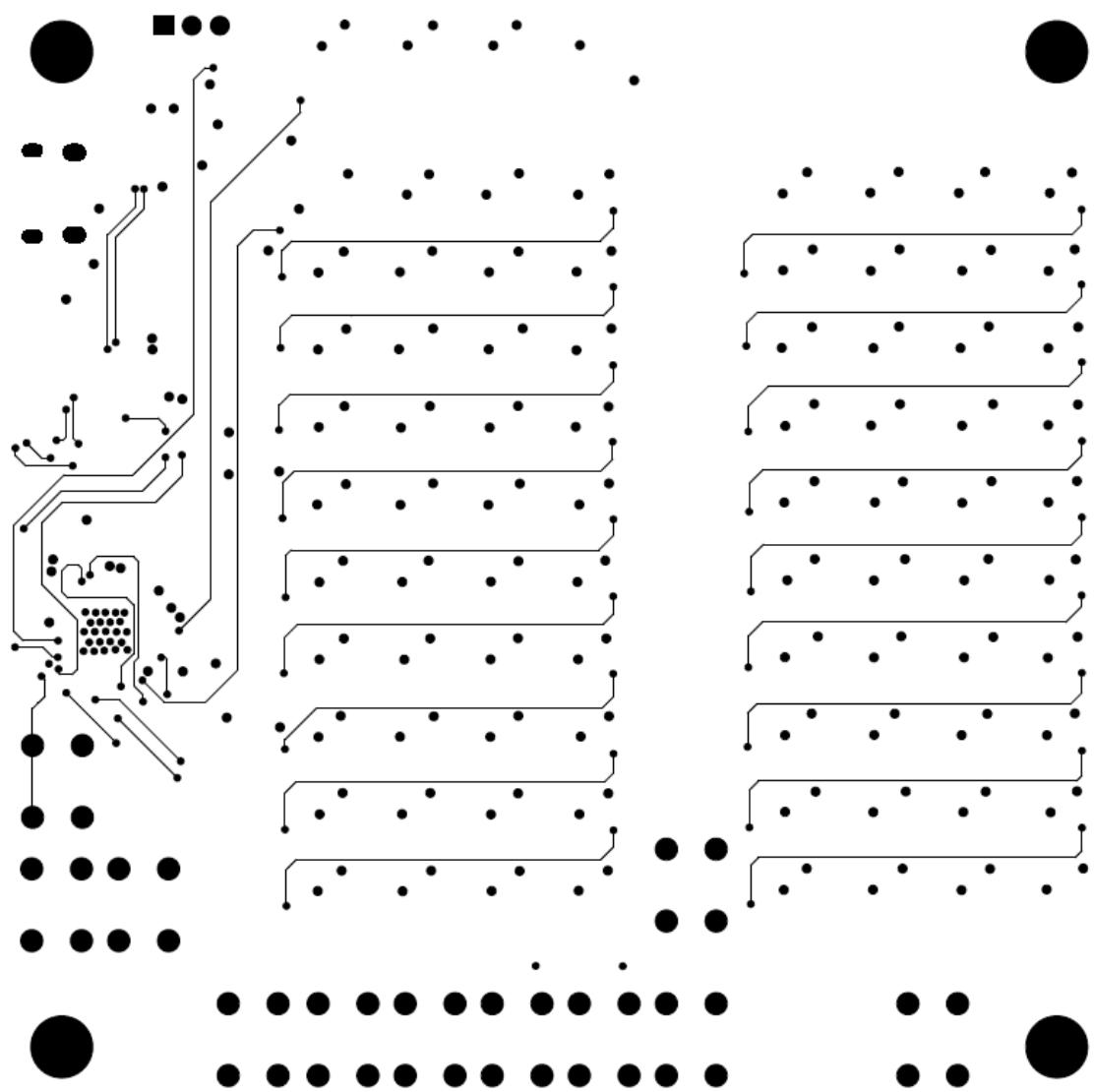
Obr. B.1: Vrstva mědi TOP.



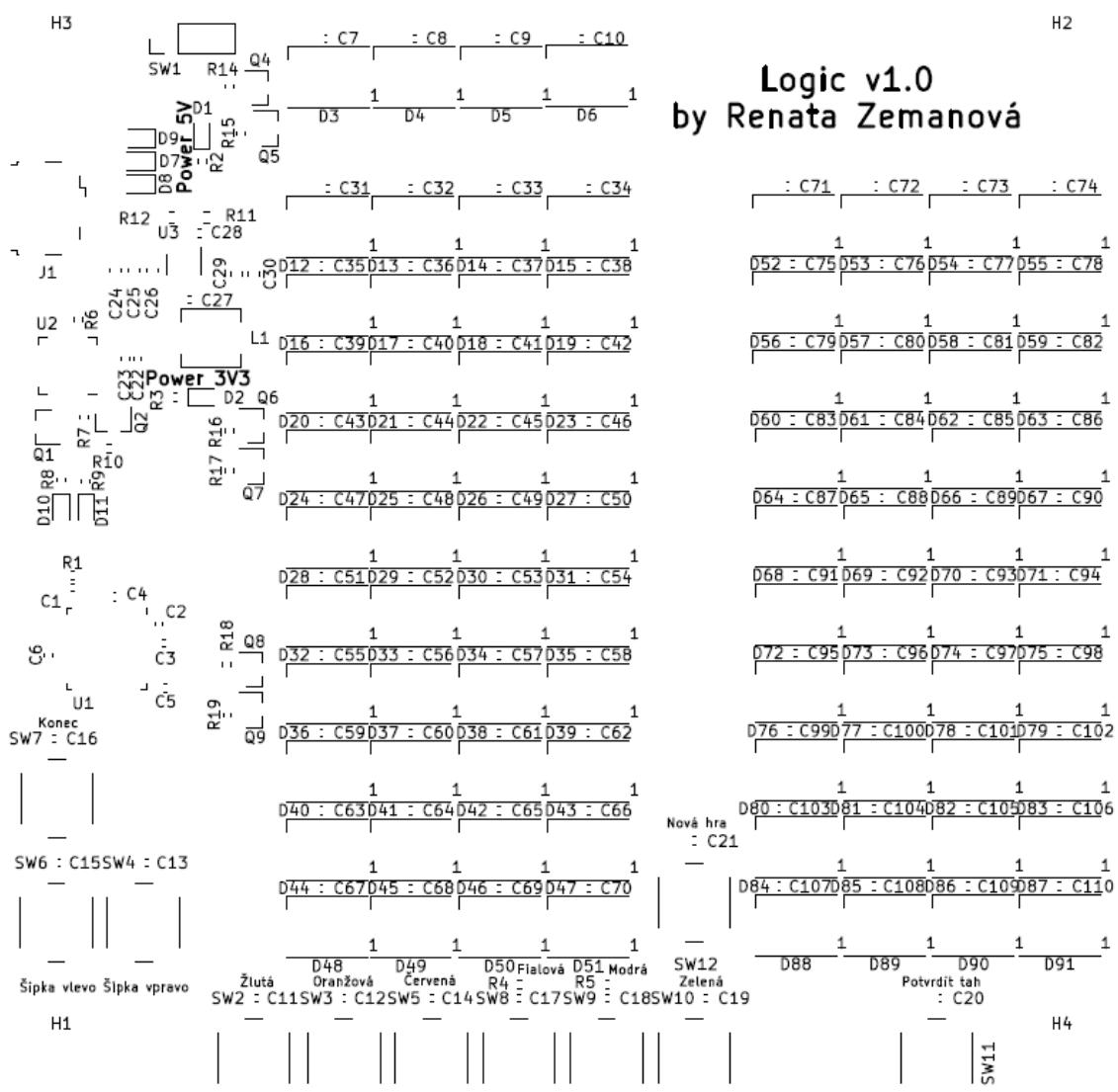
Obr. B.2: Vnitří vrstva mědi napájení.



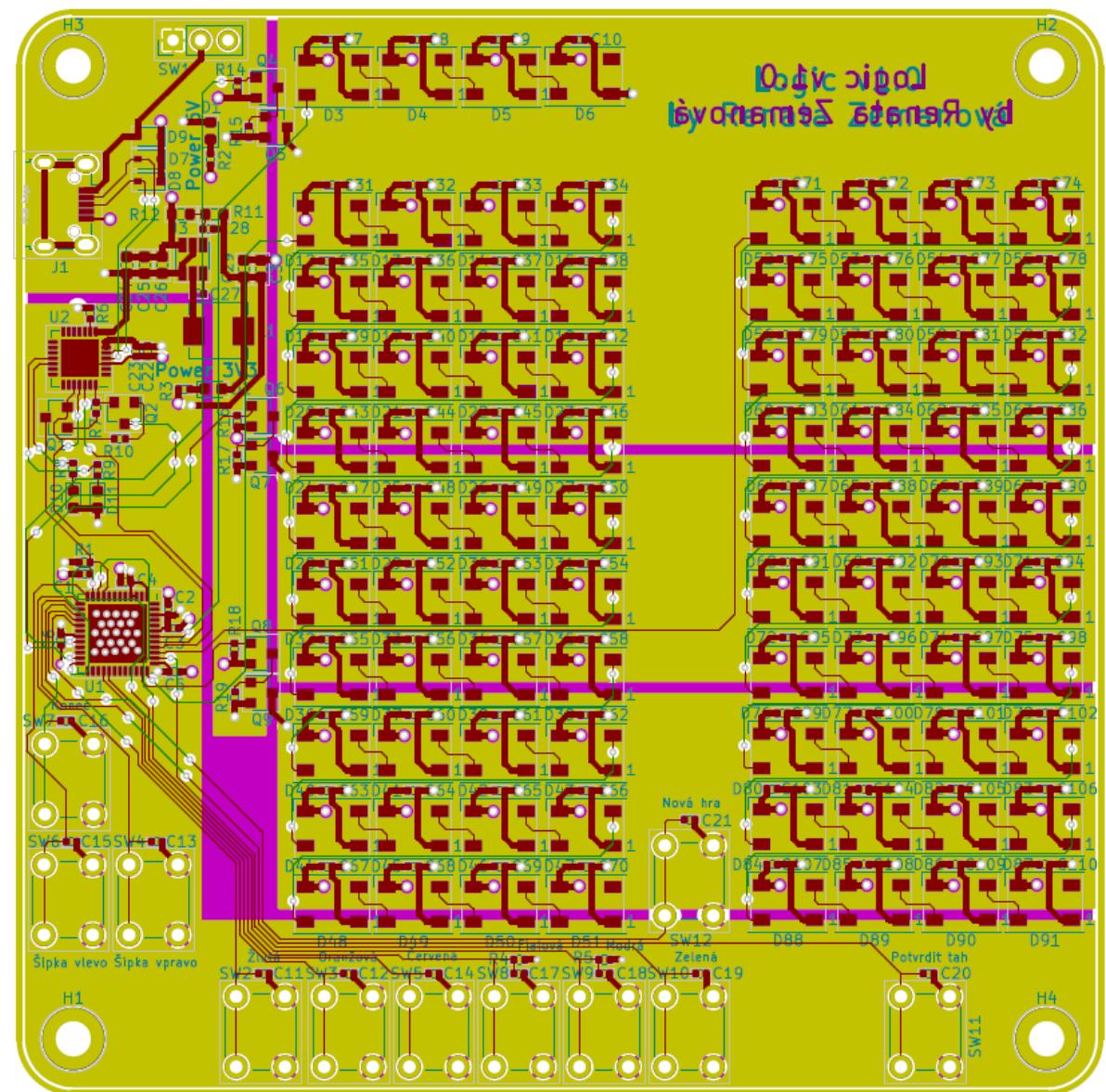
Obr. B.3: Vnitří vrstva mědi GND.



Obr. B.4: Vrstva mědi BOTTOM.



Obr. B.5: Vrstva s popisky.



Obr. B.6: Celá DPS.