

**KATEDRA EKONOMIKY,  
MANAŽERSTVÍ A HUMANITNÍCH  
VĚD**

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V PRAZE**



**FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ  
NÁVRH A REALIZACE STŘÍDAČE  
MALÉHO VÝKONU**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**ÚNOR 2022**

**VOJTĚCH  
ČANDA**



## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Čanda** Jméno: **Vojtěch** Osobní číslo: **478214**  
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**  
Zadávající katedra/ústav: **Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd**  
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**  
Specializace: **Elektrotechnika a management**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Návrh a realizace střídače malého výkonu**

Název bakalářské práce anglicky:

**Design of Low Power Inverter**

Pokyny pro vypracování:

- 1) Zvolte topologii a součástky pro stavbu měniče podle plánovaného výkonu
- 2) Navrhněte plošný spoj pro realizaci měniče
- 3) Naprogramujte jednoduchou modulaci výstupního napětí střídače
- 4) Sestavte a vyhodnoťte podnikatelský návrh maloseriové výroby a prodeje střídače

Seznam doporučené literatury:

- [1] BREALEY, Richard A., Stewart C. MYERS a Franklin ALLEN. Teorie a praxe firemních financí. 2., aktualiz. vyd. Brno: BizBooks, 2014. ISBN 978-80-265-0028-5.  
[2] TRZYNADLOWSKI, Andrzej M. Introduction to Modern Power Electronics [online]. Hoboken: John Wiley & Sons, Incorporated, 2015. ISBN 9781119003212;1119003210.  
[3] RASHID, Muhammad H. Power Electronics Handbook. Saint Louis: Elsevier Science & Technology, 2017. ISBN 9780128114070;012811407.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**doc. Ing. Jan Bauer, Ph.D. katedra elektrických pohonů a trakce FEL**

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **15.02.2022** Termín odevzdání bakalářské práce: **20.05.2022**

Platnost zadání bakalářské práce: **19.02.2024**

\_\_\_\_\_  
doc. Ing. Jan Bauer, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

\_\_\_\_\_  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

\_\_\_\_\_  
prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_  
Podpis studenta



## PODĚKOVÁNÍ

---

Mé díky patří především vedoucímu mé bakalářské práce doc. Ing. Janu Bauerovi, Ph.D., který si vždy našel čas na konzultaci a svými cennými poznámkami přispěl k její zdárné realizaci. Neméně chci také poděkovat Ing. Miroslavu Vítkovi, CSc. za jeho mnohá doporučení a všem, kteří mi s ní pomáhali a v modlitbě pamatovali.

## PROHLÁŠENÍ

---

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 20. května 2022

## ABSTRAKT

---

Tato bakalářská práce se zabývá procesem návrhu a realizace střídače, včetně jeho ekonomického zhodnocení. Text obsahuje úvod do problematiky, proces návrhu, jakož i chyb, ke kterým může dojít. Dále obsahuje náklady na výrobu, odhad tržní ceny a prognózu budoucího peněžního toku.

**Klíčová slova:** střídač, frekvenční měnič, sinusová PWM, výrobní náklady, zjištění poptávky

## ABSTRACT

---

This bachelor thesis contains process of design and built process of an power inverter including its economic evaluation. The text contains an introduction to the topic, the design process, as well as errors that may occur. It also includes production costs, an estimate of the market price and a forecast of future cash flow.

**Keywords:** power inverter, frequency converter, sinusoidal PWM, production cost, determination of the demand

# OBSAH

---

<b>ÚVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>KAPITOLA 1: APLIKACE</b> .....	<b>2</b>
<b>1.1 FREKVENČNÍ MĚNIČ</b> .....	<b>2</b>
1.1.1 Nepřímý měnič frekvence .....	2
<b>1.2 SÍŤOVÉ STRÍDAČE</b> .....	<b>2</b>
1.2.1 Ve fotovoltaických elektrárnách.....	3
1.2.2 Stejnoseměrné přenosy.....	3
<b>KAPITOLA 2: PRINCIP ČINNOSTI</b> .....	<b>4</b>
<b>2.1 STRÍDAČE S VNĚJŠÍ KOMUTACÍ</b> .....	<b>4</b>
<b>2.2 STRÍDAČE S VLASTNÍ KOMUTACÍ</b> .....	<b>4</b>
<b>2.3 METODY ŘÍZENÍ</b> .....	<b>5</b>
2.3.1 Obdélníkové řízení .....	6
2.3.2 Sinusová PWM.....	7
<b>KAPITOLA 3: NÁVRH ZAPOJENÍ</b> .....	<b>8</b>
<b>3.1 KONFIGURACE SPÍNAČŮ</b> .....	<b>8</b>
<b>3.2 ŘÍZENÍ MŮSTKU</b> .....	<b>8</b>
3.2.1 Bootstrap driver .....	8
<b>KAPITOLA 4: NÁVRH LAYOUTU PCB</b> .....	<b>10</b>
<b>4.1 ZÁSADY SPRÁVNÉHO NÁVRHU</b> .....	<b>10</b>
<b>4.2 MNOU NAVRŽENÝ LAYOUT</b> .....	<b>10</b>
<b>KAPITOLA 5: NÁVRH ŘÍDÍCÍHO SOFTWARE</b> .....	<b>12</b>
<b>5.1 KONFIGURACE MIKROKONTROLÉRU</b> .....	<b>12</b>
5.1.1 Konfigurace PWM .....	12
<b>5.2 IMPLEMENTACE</b> .....	<b>13</b>
5.2.1 Tabulka hodnot funkce sinus.....	14
<b>KAPITOLA 6: PROBLÉMY A CHYBY V NÁVRHU</b> .....	<b>15</b>
<b>6.1 MONTÁŽ CHLADIČE</b> .....	<b>15</b>
<b>6.2 ŠPATNĚ ZVOLENÉ PINY MIKROKONTROLÉRU</b> .....	<b>15</b>
<b>6.3 ZKRAT NA NOŽIČKÁCH INTEGROVANÉHO OBVODU</b> .....	<b>15</b>
<b>6.4 NEDOSTATEČNÁ IZOLAČNÍ VZDÁLENOST</b> .....	<b>16</b>
<b>KAPITOLA 7: MĚŘENÍ</b> .....	<b>17</b>
<b>7.1 POUŽITÉ PŘÍSTROJE</b> .....	<b>17</b>
<b>7.2 NAMĚŘENÉ PRŮBĚHY</b> .....	<b>18</b>
7.2.1 Proud fází a napětí na hradle .....	18
<b>KAPITOLA 8: VÝROBNÍ NÁKLADY</b> .....	<b>19</b>
<b>8.1 INVESTIČNÍ NÁKLADY</b> .....	<b>19</b>
<b>8.2 NÁKLADY NA SOUČÁSTKY</b> .....	<b>19</b>
<b>8.3 NÁKLADY NA PLOŠNÝ SPOJ</b> .....	<b>20</b>
<b>8.4 NÁKLADY NA MONTÁŽ</b> .....	<b>21</b>
<b>8.5 NÁKLADY NA VÝROBNÍ PROSTORY</b> .....	<b>21</b>

8.6	VÝVOJOVÉ NÁKLADY.....	22
8.7	MOŽNOSTI SNÍŽENÍ VÝROBNÍCH NÁKLADŮ .....	22
8.8	URČENÍ CELKOVÝCH NÁKLADŮ.....	22
	<b>KAPITOLA 9: ZAJIŠTĚNÍ VÝROBY .....</b>	<b>23</b>
9.1	ZÁVISLOST NA DODAVATELÍCH SOUČÁSTEK.....	23
9.2	POŽADAVKY NA VÝROBNÍ PROSTORY.....	23
	<b>KAPITOLA 10: POPTÁVKA .....</b>	<b>24</b>
10.1	POPTÁVKOVÁ KŘIVKA.....	24
10.2	MAXIMALIZACE TRŽEB.....	25
10.3	UPLATNĚNÍ ZNALOSTI EKONOMICKÝCH MECHANISMŮ NA KONKRÉTNÍM VÝROBKU 25	
	<b>KAPITOLA 11: PROGNOZA PENĚŽNÍHO TOKU.....</b>	<b>29</b>
11.1	VARIANTA 1.....	29
11.2	VARIANTA 2.....	29
11.3	VARIANTA 3.....	30
	<b>KAPITOLA 12: POŽADAVKY NA VÝROBKY V ELEKTROTECHNICE.....</b>	<b>31</b>
12.1	EMC .....	31
12.1.1	Zkoušky elektromagnetické odolnosti.....	31
12.2	LVD.....	31
12.3	ROHS.....	32
12.4	EKODESIGN .....	32
	<b>KAPITOLA 13: ANALÝZA KONKURENCE.....</b>	<b>33</b>
	<b>KAPITOLA 14: SWOT ANALÝZA.....</b>	<b>34</b>
14.1	ANALÝZA SILNÝCH A SLABÝCH STRÁNEK – SW .....	34
14.2	ANALÝZA PŘÍLEŽITOSTÍ A HROZEB – OT .....	34
14.3	ZHODNOCENÍ A ZPRACOVÁNÍ VÝSLEDKŮ.....	34
	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>36</b>
	<b>LITERATURA.....</b>	<b>37</b>
	<b>PŘÍLOHA A: SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>39</b>
A.1	SEZNAM SYMBOLŮ.....	39
A.1.1	Seznam zkratk.....	39



## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1-1 Blokové schéma 3 f. nepřímého frekvenčního měniče .....	2
Obr. 1-2 Blokové schéma 2pólového přenosu (vlevo) a 1pólového přenosu (vpravo).....	3
Obr. 2-1 Schéma třífázového napětového střídače..	4
Obr. 2-2 Graf s průběhy fázových a sdružených napětí při obdélníkovém řízení.....	6
Obr. 2-3 Graf referenčního sinusového a nosného trojúhelníkového signálu.....	7
Obr. 3-1 Schéma zapojení půlmůstkového IGBT driveru .....	9
Obr. 4-1 PCB layout .....	11
Obr. 5-1 Náhled prostředí STM32CubeMX .....	12
Obr. 5-2 Vývojový diagram .....	13
Obr. 6-1 Detail na část PCB s nedostatečnou izolační vzdáleností .....	16
Obr. 6-2 Layout doporučený výrobcem [24, str. 14] .....	16
Obr. 7-1 Obrázek měřící sestavy .....	17
Obr. 7-2 Schéma zapojení zátěže.....	17
Obr. 7-3 Průběh fázových proudů a napětí na hradle .....	18
Obr. 10-1 Poptávková křivka .....	24
Obr. 10-2 Křivka tržeb. ....	25
Obr. 10-3 Náhled formuláře. ....	26
Obr. 10-4 Poptávková křivka .....	27
Obr. 10-5 Graf tržeb, nákladů a zisku .....	28

## SEZNAM TABULEK

Tab. 2-1 Tabulka spínání tranzistorů.....	6
Tab. 8-1 Tabulka kapitálových nákladů.....	19
Tab. 8-2 Tabulka cen součástek.....	20
Tab. 8-3 Tabulka cen plošného spoje .....	21
Tab. 8-4 Tabulka možných výrobních variant ..	21
Tab. 10-1 Data nutná k sestrojení poptávkové křivky.....	26
Tab. 10-2 Závislost tržeb, nákladů a zisku na prodávaném množství.....	28
Tab. 11-1 Prognóza CF pro var. 1.....	29
Tab. 11-2 Prognóza CF pro var. 2.....	29
Tab. 11-3 Prognóza CF pro var. 3.....	30
Tab. 13-1 Tabulka konkurenčních frekvenčních měničů.....	33
Tab. 14-1 SWOT analýza .....	35



## ÚVOD

Téma této práce jsem vybral tak, abych mohl svůj návrh realizovat a získat tím zkušenosti. Uvažoval jsem nejprve jaké zařízení by bylo vhodné sestrojít. Moje představa byla taková, že by to měl být jeden z měničů výkonové elektroniky. Nakonec jsem se rozhodl pro střídač. Zvažoval jsem také jestli ho cílit na nějakou konkrétní aplikaci, síťový střídač a frekvenční měnič by mohly být právě jednou z nich. Cílové parametry se budu snažit zvolit tak, aby střídač našel reálné uplatnění.

Jedním z požadavků na tuto bakalářskou práci bylo zahrnout do ní ekonomický bod. Nabízí se tak možnost určitého ekonomického zhodnocení návrhu. Pokusím se tedy o vytvoření jakéhosi business planu, ve kterém se pokusím zjistit, zda je produkt rentabilní či nikoliv. Měla by mi k tomu posloužit data o poptávce a nákladech, která zohledním už ve výběru součástek.

## KAPITOLA 1: APLIKACE

Ačkoliv jsou střídače známé již od konce 19. století, reálný rozvoj zaznamenáváme až v druhé polovině 20. století. Na počátku se jednalo o mechanická soustrojí motor-generátor se spojenou hřídelí, později o elektronické měniče, jejichž postupný vývoj se odvíjel od objevení P-N přechodu v roce 1947 a následnému vývoji výkonových elektronických spínacích prvků probíhajících do současnosti. Pro své výhody našly uplatnění v mnoha aplikacích, mezi ně patří například:

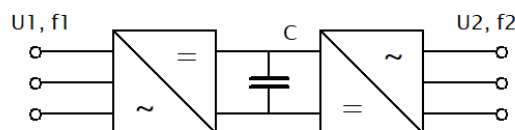
- Propojení střídavých elektrických soustav
- HVDC – stejnosměrné přenosy elektrické energie
- Síťové střídače ve fotovoltaických elektrárnách
- Napájení střídavých motorů
- UPS – záložní zdroje napájení
- Indukční ohřevy
- Elektrické paralyzéry
- Spínané zdroje

### 1.1 Frekvenční měnič

Frekvenční měnič je zařízení měnící parametry elektrické energie o napětí  $U_1$  frekvenci  $f_1$  na napětí  $U_2$  frekvenci  $f_2$ . Toho využíváme jak pro regulaci otáček synchronních a asynchronních strojů v řádu jednotek až tisíců Hz, tak i pro indukční ohřevy, kde se jedná řádově o sta až tisíce Hz. Další využití nalézáme v energetice například pro propojení sítí 50 a 60 Hz nebo v elektronice pro napájení malé spotřební elektroniky. Tam vyšší frekvence umožňuje zmenšit objem transformátoru podle transformátorové rovnice.

#### 1.1.1 Nepřímý měnič frekvence

Oproti přímému měniči frekvence je nepřímý schopen měnit výstupní napětí a frekvenci zcela nezávisle na vstupní. Tyto vlastnosti jsou charakteristické pro zapojení usměrňovače a střídače se stejnosměrným meziobvodem (Obr. 1-1). Právě stejnosměrný meziobvod zajišťuje nepřímou změnu napětí. V závislosti na jeho zapojení hovoříme o napětovém meziobvodu, v případě zapojení filtračního kondenzátoru  $C$  na vstup střídače zajišťujícím charakter napětového zdroje, nebo o proudovém meziobvodu v případě zapojení tlumivky do série mezi měniče, a tedy proudového charakteru zdroje. Mezi jeho výhody patří skoro sinusový výstupní proud v případě pulzně šířkového řízení a vyšší výstupní frekvence závislá především na spínací frekvenci tranzistorů.



Obr. 1-1 Blokové schéma 3 f. nepřímého frekvenčního měniče

### 1.2 Síťové střídače

V energetice se střídače objevují ve dvou hlavních aplikacích, na nízkém napětí ve fotovoltaických elektrárnách a na vyšších napětích v invertorových stanicích stejnosměrných přenosů energie.

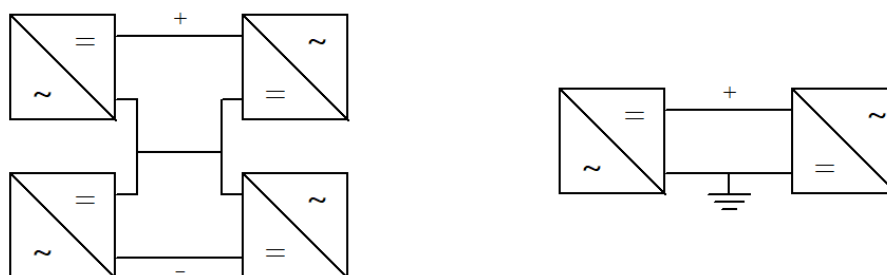
### 1.2.1 Ve fotovoltaických elektrárnách

Fotovoltaické elektrárny dělíme dle zapojení na centrální a decentrální. V případě centrálních zapojení je použit jeden střídač pro celou elektrárnu, jehož výkon se pohybuje v řádu desítek kilowattu až jednotek megawattu, naproti tomu u decentrálního zapojení je použito mnoho střídačů menšího výkonu, které jsou na střídavé straně vzájemně propojeny. Vstupní napětí se v obou případech pohybuje od 400 do 800 V a výstupní napětí 400 V v síti TN, nebo nižší v síti IT.

### 1.2.2 Stejnoseměrné přenosy

Stejnoseměrné přenosy se používají hlavně pro dlouhá kabelová vedení nebo pro propojení střídavých soustav. Účel definuje použitou topologii. Pro dálkové přenosy se používá buď jedno nebo dvoupólové uspořádání se zpětným vodičem, nebo uspořádání bez zpětného vodiče. Pro propojení střídavých soustav, tedy vedení nulové délky, se používá jednopólového uspořádání se zpětným vodičem, viz Obr. 1-2.

Napětí těchto systémů se pohybuje přibližně od 100 až 1100 kV, ale spínací prvky na toto napětí dimenzovány nejsou. Například IGBT tranzistory nejsou vyráběny na vyšší napětí než 6,5 kV, což může působit problémy. Obvyklé řešení spočívá v použití víceúrovňových střídačů, které pomocí kapacitního děliče rozdělí napětí na několik potenciálů.



Obr. 1-2 Blokové schéma 2pólového přenosu (vlevo) a 1pólového přenosu (vpravo)

## KAPITOLA 2: PRINCIP ČINNOSTI

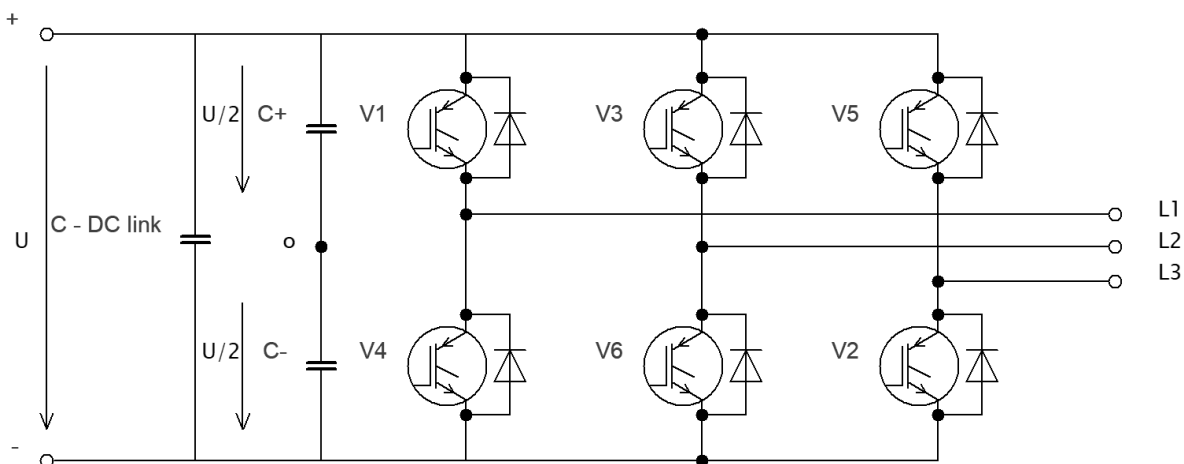
Skupinu měničů měnící stejnosměrné napětí a proud na střídavé nazýváme střídače, v anglicky mluvících zemích známé též jako inverters. Dělíme je podle typu komutace na vlastní a vnější, v závislosti na počtu fází a charakteru napájení. O němž svědčí to, jestli je v meziobvodu zapojen kondenzátor, nebo tlumivka. V takovém případě se střídač chová jako zdroj napětí, respektive proudu.

### 2.1 Střídače s vnější komutací

Střídače s vnější komutací jsou dvoukvadrantové měniče pracující v režimech usměrňovače a invertoru. Komutace, tedy vypnutí a přenesení proudu z jedné součástky na druhou při současném přivedení zapínacího impulsu, probíhá ze sítě a zároveň determinuje použité součástky. Jedná se o tyristory, které jsou řídicí logikou vhodně spínány. K tomu je nutné vědět kdy dochází k průchodu napětí nulou, abychom mohli určit řídicí úhel  $\alpha$ . Pokud dochází k toku proudu, potažmo energie, ze stejnosměrné strany na střídavou znamená to, že měnič pracuje s řídicím úhlem  $\alpha$  větším jak  $90^\circ$  v invertorovém chodu. Naopak při toku ze střídavé strany na stejnosměrnou pracuje s řídicím úhlem  $\alpha$  menším než  $90^\circ$  v usměrňovačovém chodu.

### 2.2 Střídače s vlastní komutací

V aplikacích, v nichž střídač není připojen na síť, musíme komutaci zajistit použitím vhodného komutačního obvodu, nebo použít vypínatelné součástky, jako jsou tranzistory. Na Obr. 2-1 je vidět typický příklad napět'ového střídače v trojfázovém provedení. Na vstupních svorkách střídače je připojen filtrační kondenzátor  $C_{DC\ link}$ , jehož úkolem je zajistit, aby napětí nekleslo pod stanovenou mez. Napětí meziobvodu  $U$  má totiž vliv na napětí výstupní. Například při připojení na distribuční síť nízkého napětí nesmí dojít k poklesu pod  $230/400\ V \pm 10\ %$ . Další kondenzátory, dvojice  $C_+$  a  $C_-$ , jsou součástí DC linku tvořícího kapacitní dělič, na kterém se napětí meziobvodu rovnoměrně rozdělí tak, že na každém z těchto kondenzátorů je poloviční napětí. V praktických zapojeních tuto dvojici povětšinou nenajdeme, smysl má pouze k vytvoření určité reference o potenciálu  $U/2$  na svorce  $o$  sloužící k určení fázových napětí.



Obr. 2-1 Schéma třífázového napět'ového střídače

Integrované součásti každého střídače jsou tranzistory opatřené zpětnými diodami. Zpětné diody mají dvojí funkci. Slouží jednak k ochraně tranzistorů při spínání indukivní zátěže, jednak k přetoku energie na stejnosměrnou stranu, což umožňuje dvoukvadrantový provoz. Tranzistory jsou zapojeny ve dvojicích k meziobvodu s vývodem tvořícím fázi mezi nimi. Takto zapojené

tranzistory vytváří větev střídače, někdy též označovanou jako půlmůstek. Vrchní tranzistor připíná kladný pól, zatímco spodní záporný, zjednodušeně si jejich funkci lze představit jako přepínač, přičemž vrchní tranzistor je sepnut po dobu odpovídající úhlu  $180^\circ$ , tedy půl periody. V další půlperiodě je po stejnou dobu sepnut zase spodní tranzistor. Nikdy tedy nejsou oba sepnuty současně, pokud by k tomu došlo, způsobilo by to zkrat a potenciálně i zničení tranzistoru. Předejít se tomu dá implementací tzv. „dead timu“, ať už softwarově nebo analogově použitím driverů s ochranou proti zkratu. Jedná se dobu, po kterou nevede ani jeden z tranzistorů, tento stav trvá přibližně 3 až 10 mikrosekund.

Topologie jako na Obr. 2-1 se vyznačuje použitím tří větví pro tři fáze, jejichž fázory jsou vzájemně posunuty o  $120^\circ$ . Uzel zátěže může být připojen ke svorce  $o$ , ale častější je zapojení s plovoucím uzlem. Další varianta třífázového střídače je čtyřvětвовá, kde poslední větev je připojena k odporu, nebo může sloužit jako vstup stejnosměrného měniče napětí. Varianta s odporem se používá pro brzdění asynchronních motorů. Motor v rekuperačním režimu využívá zpětných diod k dodání energie do sítě. Pokud ale dojde k situaci, ve které síť není schopna energii přijmout, například proto, že se na vstupu stejnosměrného meziobvodu nachází diodový usměrňovač, přes který proud v závěrném směru neprojde, dojde k akumulaci energie v kondenzátoru ss. meziobvodu, což se projeví zvýšením napětí, které může vést až k jeho destrukci. Připojení odporu nám dává možnost energii mařit a napětí držet ve stanovených mezích. Varianta se zvyšovacím měničem využívá spodního tranzistoru k připnutí indukčnosti k zápornému pólu ss. meziobvodu, což má za následek uložení energie do cívky. V dalším kroku tranzistor vypne a proud proteče přes diodu horního tranzistoru do zátěže, na které se objeví napětí zdroje plus napětí na cívce.

U jednofázových střídačů se používá dvou větví, a to i přes to, že zátěž je možné zapojit pouze k jedné větvi, mezi svorku  $o$  kapacitního děliče a svorku  $L_1$ . Vede nás k tomu jednak efektivnější využití napětí meziobvodu, jednak jednodušší řízení. Na kapacitním děliči dochází při spínání k tomu, že proud zátěže prochází vždy pouze jedním z kondenzátorů, což vede k jejich vybíjení a z toho plynoucí napěťové nerovnováze.

## 2.3 Metody řízení

Střídače můžeme řídit se zpětnou vazbou, nebo bez ní. Mezi druhy zpětnovazebního řízení lze zahrnout především hysterezní proudovou regulaci. Kolem žádaného signálu je vytvořeno pásmo hystereze, ve kterém se udržuje regulovaná veličina. Při protnutí pásma hystereze dojde ke komutaci mezi horním a spodním tranzistorem větve a proud, který regulujeme, změní monotonii.

Řízení bez zpětné vazby najdeme též pod označením „dopředné“. Dělíme jej na obdélníkové a pulzně šířkové řízení, zkráceně PWM. Tento typ řízení, respektive modulace je v současnosti nejrozšířenější. V principu jde o rychlé spínání s měnící se šířkou pulzů. Tak abychom dosáhli žádaného sinusového průběhu. Reálně se mu ale moc podobat nebude, vlivem spínání bude kromě chtěné základní harmonické obsahovat i nechtěné vyšší harmonické, které jsou zdrojem zvýšených ztrát, zvýšeného namáhání izolace a vyššího hluku. Ve většině aplikací proto musíme počítat s filtrem, který je schopen vyšší harmonické potlačit a přiblížit se tak více žádanému průběhu. Další možností zlepšení tvaru je použití vyšší spínací frekvence. Jsou dvě základní techniky pulzně šířkové modulace: modulace prostorového vektoru (SVPWM) a sinusová (SPWM). Modulace prostorového vektoru vychází z představy, že modulovaný sinusový signál odpovídá rotaci prostorového vektoru. Výsledný prostorový vektor potom bude dán složením dvou nejbližších vektorů možných sepnutí. Sinusovou PWM popíši blíže v podkapitole 2.3.2.

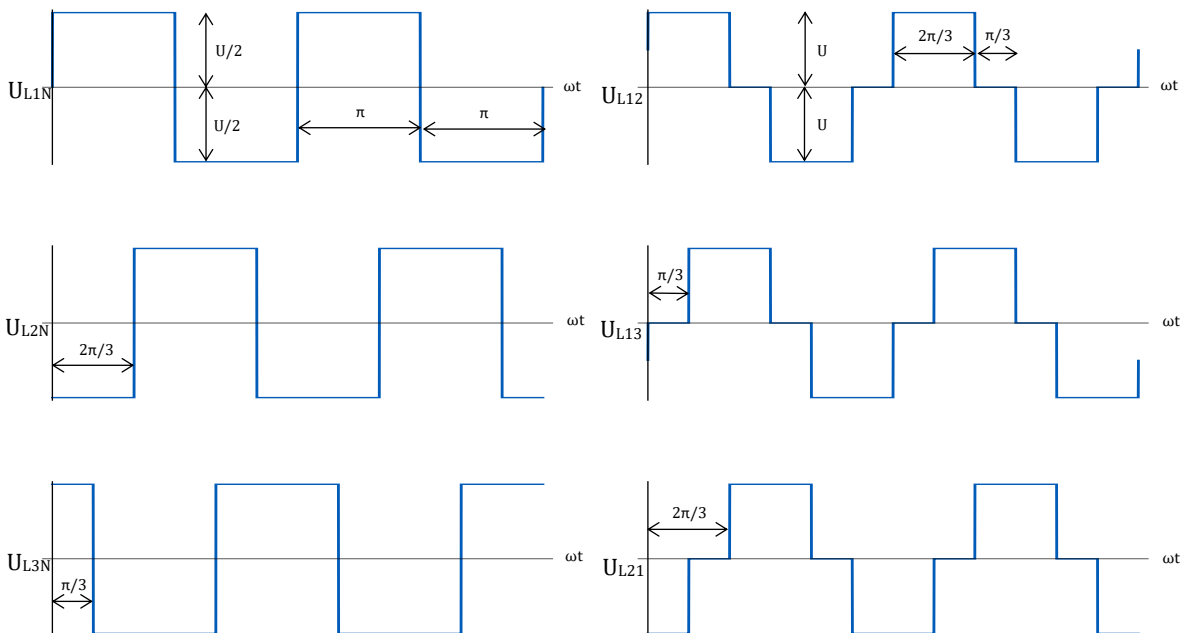
### 2.3.1 Obdélníkové řízení

Obdélníkové řízení vychází přímo z principu, který jsem popsal v podkapitole 2.2. Každá fáze je připojena buď k svorce +, nebo - po dobu odpovídající úhlu  $180^\circ$  což je úhel, ve kterém funkce sinus prochází nulou a mění tak svou polaritu. Mezi sebou jsou pak vzájemně posunuty o  $120^\circ$ . Z těchto požadavků lze vytvořit tabulku Tab. 2-1, která určuje potenciál fáze v každém okamžiku.

Tab. 2-1 Tabulka spínání tranzistorů

fáze:	úhel $\cdot \omega t$					
	$0^\circ - 60^\circ$	$60^\circ - 120^\circ$	$120^\circ - 180^\circ$	$180^\circ - 240^\circ$	$240^\circ - 300^\circ$	$300^\circ - 360^\circ$
L1	+	+	+	-	-	-
L2	-	-	+	+	+	-
L3	+	-	-	-	+	+

Vzniklý trojfázový systém je nejlépe patrný z Obr. 2-2. Průběhy napětí na levé straně zachycují fázová napětí proti svorce  $o$ , zatímco průběhy na pravé straně zachycují napětí sdružená, které ale lze jednoduše odvodit z rozdílu fázových napětí. Zde je ale třeba rozlišovat. Svorky  $o$  a  $N$  nemají stejný potenciál. Pokud bychom změřili průběhy napětí mezi nimi, zjistili bychom, že osciluje mezi  $U/6$  a  $-U/6$  s frekvencí šestkrát vyšší, z čehož plyne, že fázová napětí střídače a zátěže se od sebe liší. Další pozorovatelnou skutečností je fakt, že se obdélníkový průběh sinusovému moc nepodobá.

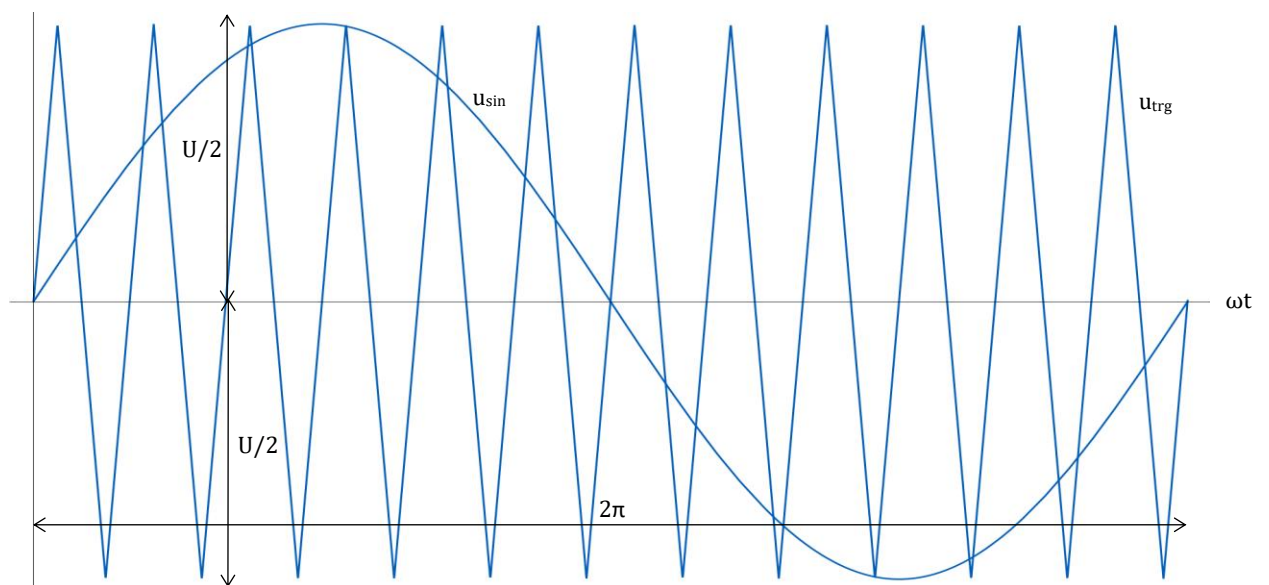


Obr. 2-2 Grafy průběhů fázových a sdružených napětí při obdélníkovém řízení



### 2.3.2 Sinusová PWM

Sinusová PWM, známá též jako suboscilační modulace, je způsob pulzně šířkové modulace, při které se porovnává sinusový referenční signál s trojúhelníkovým nosným signálem, jak to zachycuje Obr. 2-3. Průsečíky obou signálů určí okamžik, při kterém dojde k přepnutí. Pokud je aktuální hodnota napětí referenčního signálu větší než nosného, povede vrchní tranzistor příslušné větve. Analogicky pokud je napětí referenčního signálu menší než nosného, povede dolní tranzistor. Zde je ale třeba zajistit, aby frekvence nosného signálu byla alespoň dvakrát větší, jak praví Nyquistův-Shannonův vzorkovací teorém. Při jeho nedodržení by totiž došlo k aliasingu. Vytvoření trojfázového systému se opírá o stejný princip jako popsany jednofázový, s tím rozdílem, že budeme naráz porovnávat referenční signály proti sobě navzájem posunutých sinusovek o  $120^\circ$  s jedním nosným signálem. Implementace analogovými obvody spočívá v použití integrátoru k vytvoření nosného signálu a komparátoru k určení okamžiků přepnutí. Digitální implementace je o něco složitější a lze k ní přistoupit více způsoby, kterými se budu více zabývat v podkapitole 5.2.



## KAPITOLA 3: NÁVRH ZAPOJENÍ

Zapojení jsem se snažil navrhnout tak, abych dosáhl výkonu 4 kW při napájecím napětí do 358 V. Toto kritérium ale není jediné, kterému musí použité součástky vyhovovat. Svou roli hraje i ekonomická stránka a zkušenosti s výrobcí. Zapojení vychází z Obr. 2-1, ale je doplněno o dílčí obvody, a to jak řídicí, tak měřicí. Ve většině případů se budu řídit obvyklými zapojeními, které se dají najít v prakticky každém datasheetu integrovaného obvodu.

### 3.1 Konfigurace spínačů

Při spínání zátěže rozlišujeme konfiguraci spínače podle zapojení zátěže. V dnešní době bude spínač nejčastěji reprezentován MOS-FET tranzistorem nebo IGBT tranzistorem. Nejjednodušší zapojení představuje zapojení zátěže mezi kladný pól napájecího napětí a spínač připojený k zápornému pólu, proto je označován jako spodní spínač (lss). Alternativně je možné zátěž připojit k zápornému pólu a spínač (hss) ke kladnému pólu napájecího napětí. Třetí možností je použití dvou komplementárních spínačů lss a hss zapojených v sérii. Takovouto konfiguraci nazýváme půlmůstkem a zátěž zapojujeme mezi ně, nejedná se ale o zapojení do série, ale o zapojení do můstku, tedy dvou nebo více půlmůstků.

### 3.2 Řízení můstku

Z předchozí kapitoly víme, že v můstku se vyskytují tranzistory připojené jak k zápornému, tak ke kladnému pólu napájecího napětí. Každý je sice řízen odlišně, ale požadavky pro jejich úspěšné sepnutí jsou stejné, to jest přiložení minimálně prahového napětí na jejich hradlo ( $U_{Gsth}$ , respektive  $U_{Geth}$ ). Odlišné řízení vyplývá z odlišných řídicích napětí proti zápornému pólu. Pro spodní tranzistor (lss) musí být řídicí napětí ( $U_s$ ) rovno minimálně prahovému. Pro horní tranzistor ale musíme zajistit vyšší napětí, než je součet prahového napětí a napětí na zátěži ( $U_L$ ), jak plyne z rovnice (3-1). Tuto nepříjemnost lze snadno vyřešit například bootstrap zapojením, jehož funkce bude popsána v následující kapitole.

$$U_{Gsth} + U_L = U_{Shss} \quad (3-1)$$

#### 3.2.1 Bootstrap driver

Ve výkonových aplikacích nedochází k přímému spínání tranzistoru řídicí logikou, místo toho je použit jakýsi mezičlánek, driver sloužící k úpravě signálů na potřebné parametry. Logické obvody obvykle pracují se signály o napětí 5, nebo 3,3 V, a nejsou schopny dodat více než několik desítek miliampér. Běžné drivery dokážou dodat bez problémů několik ampér, což je obzvláště důležité k snížení spínacích ztrát. Pokud je totiž tranzistor používán při vyšších spínacích frekvencích, spínací ztráty již nelze zanedbat. Snažíme se tak tranzistory zapínat a vypínat co nejrychleji. Brání nám v tom ale parazitní vstupní kapacita, kterou musíme při každém sepnutí nejprve nabít. K tomuto účelu slouží kondenzátory umístěné mimo vlastní integrovaný obvod driveru. Jak vidíme na obrázku Obr. 3-1, tuto úlohu zabezpečují dva páry kondenzátorů. Pro spodní tranzistor C23, C26 a pro horní C25, C24. Kondenzátory C23 a C26 jsou nabitě stále, ale kondenzátory C25 a C24 nikoliv. Aby se totiž mohly nabít, musí se uzavřít obvod, který se uzavírá přes spodní tranzistor. Přivedením impulzu na pin LIN začne protékat proud od VCC, přes diodu, zmíněné kondenzátory a spodní tranzistor do země GND. V okamžiku, kdy se kondenzátory C25 a C24 nabijí na dostatečné napětí, bude driver připraven k sepnutí vrchního tranzistoru. Přivedením impulzu na pin HIN dojde k propojení na pinech VB a HO a na hradlo se dostane napětí o velikosti VCC, které tranzistor sepne. Záměrně říkám o velikosti, protože ho již nevztahuji k zemi ale k fázi. Přesto to ale není docela přesné, jelikož jsem zanedbal úbytek napětí na diodě. Reálně tak bude napětí o velikosti VCC mínus prahové napětí diody D12.



## KAPITOLA 4: NÁVRH LAYOUTU PCB

Návrh layoutu plošného spoje spočívá ve vhodném rozmístění součástek tak, aby šla deska vyrobit, osadit a aby byla zajištěna její správná funkčnost. To, zdali je možné desku vyrobit, se řídí technickými možnostmi dodavatele, v případě výkonových aplikací ale tento aspekt nepředstavuje větší problém, jelikož se používají nižší třídy přesnosti. Podobně je to i s osaditelností, nižší třída přesnosti znamená větší odstupy spojů, a tedy i součástek. Nejnáročnějším aspektem bývá aspekt správné elektrické funkčnosti, jelikož je ovlivněn velkým množstvím externích vlivů. Zásady správného návrhu se pokusím popsat v následující podkapitole. Vlastní rozmístění poté provedeme podle dílčích zapojení nebo samotných skupin součástek, pamatujeme při tom ale na zmíněné zásady. Například výkonové tranzistory bych mohl zařadit do jedné z takových skupin. Při použití společného chladiče je totiž jejich vzájemná pozice do značné míry dána předem.

### 4.1 Zásady správného návrhu

Při návrhu PCB vycházíme z očekávaných provozních parametrů zahrnujících jejich proudovou a napěťovou zatížitelnost. Nejjednodušší je vycházet z tabulek. Dimenzování spojů na PCB z hlediska proudového zatížení se totiž od vodičů liší. Může za to větší plocha, která zlepšuje odvod tepla. Při napěťovém dimenzování zohledňujeme především vzdálenost od spojů na odlišném potenciálu a použití ochranného povlaku. Při špatném návrhu může docházet ke svodům a v horším případě ke zkratům.

Pokud bychom brali v potaz jen právě zmíněné požadavky, byla by zajištěna pouze bezpečnost. Pokud ale chceme zajistit i správnou funkčnost, musíme zohlednit i elektromagnetickou kompatibilitu. Ta hraje obzvlášť ve výkonových aplikacích velkou roli. Nejlepším doporučením je snažit se vést spoje tak, abychom v co největší míře omezili parazitní indukčnosti. To nejlépe provedeme použitím širokých spojů, vodivých ploch a snížením plochy proudových smyček.

Mnou zmíněné faktory nejsou jediné, ale měly by být dostačující. Pro dílčí zapojení je velmi vhodné využít layout navržený výrobcem, takto můžeme mnoha problémům předejít.

### 4.2 Mnou navržený layout

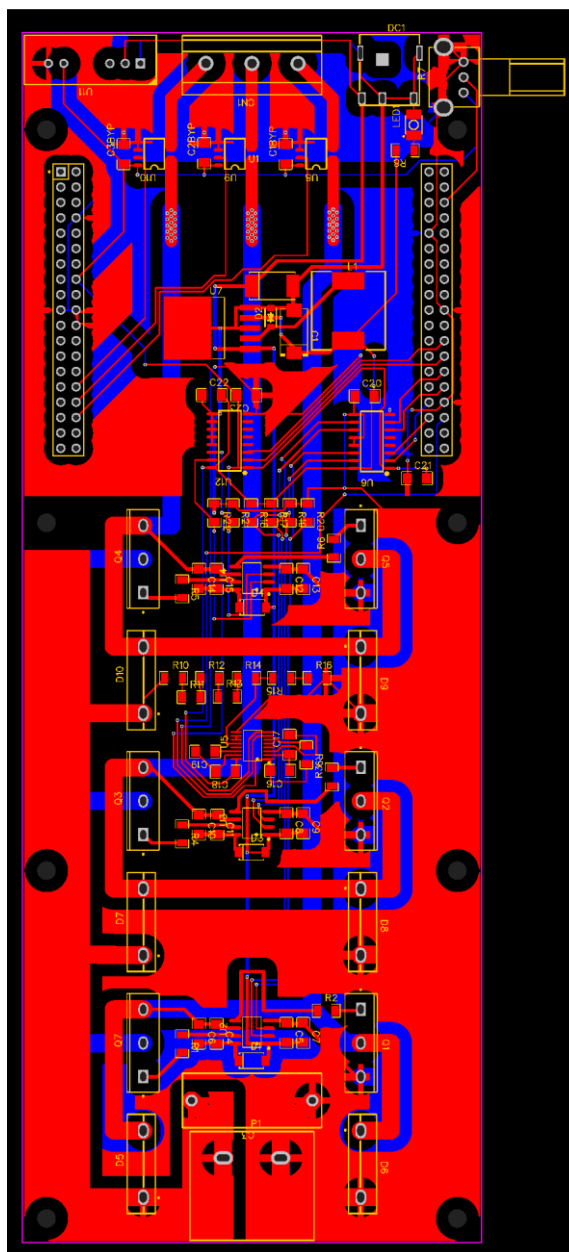
Na začátku jsem nejdříve stanovil, které komponenty potřebuji mít na kraji PCB. Například konektory by nebylo vhodné umísťovat doprostřed, to samé by platilo i pro výkonové tranzistory, které je nutné chladit. Vycházel jsem zároveň z toho, že by nebylo vhodné mít plošný spoj jiného než obdélníkového tvaru. Dopracoval jsem se tak k tomu, že v levé části byly tranzistory se zpětnými diodami a v pravé části vývojová deska Nucleo. Drivery jsem se snažil umístit, tak aby byly co možná nejbližší hradel tranzistorů s ohledem na blokování napájení. Konektory a potenciometr jsem umístil na kratší strany PCB. Zbylé součástky jsem umístil, kde bylo místo.

Pokračoval jsem proudovým dimenzováním. Maximální provozní teplota materiálu FR4 je 125 °C tloušťka vodiče plošného spoje je  $d = 70 \mu\text{m}$ . Pokud má být výstupní výkon  $P = 4 \text{ kW}$ , sdružené napětí 230 V a teplota okolí 35 °C při účinnosti  $\cos \varphi = 0,8$ , vychází nám v tomto velmi nepříznivém případě proud okolo 12,55 A (4-1) a oteplení  $\vartheta = 90 \text{ K}$ . Použitím vzorce (4-2) vycházejícího z normy IPC-2221[23] jsem došel k šířce spojů minimálně 1,3 mm. Konstanty ve vzorci (4-2) popisují křivku uvedenou v jmenované normě, kromě 0,0254, kterou jsem přidal do vzorce, aby výsledek vyšel v milimetrech. Vzhledem k použitým součástkám jsem se v tomto případě rozhodl použít 2 mm jako maximální šířku přípustnou pro IO měření proudu. Obdobně jsem postupoval i v ostatních případech.

$$I_f = \frac{P \cdot \sqrt{3}}{3 \cdot U \cdot \cos \varphi} = \frac{4000 \cdot \sqrt{3}}{3 \cdot 230 \cdot 0,8} = 12,55 \text{ A} \quad (4-1)$$

$$l = \frac{0,0254 \left( \frac{I}{0,048 \cdot 9^{0,44}} \right)^{\frac{1}{0,725}}}{d \cdot 1,378} = \frac{0,0254 \left( \frac{12,55}{0,048 \cdot 9^{0,44}} \right)^{\frac{1}{0,725}}}{2 \cdot 1,378} = 1,3 \text{ mm} \quad (4-2)$$

Při napětovém dimenzování jsem šel odlišnou cestou. Nevycházel jsem ze vzorce popisující křivky k dimenzování, ale hodnoty jsem rovnou odečetl z grafu závislosti izolační vzdálenosti na max. pracovním napětí převzatého z normy ČSN EN 60950[22, str. 68]. V mém návrhu bude nejvyšší napětí na stejnosměrném meziobvodu. Jelikož počítám s možností napájení z jednofázové sítě přes Graetzův můstek, bude maximální napětí 358 V. Při výpočtu jsem vynásobil efektivní hodnotu napětí jednofázové sítě 230 V koeficientem 1,1, reprezentujícím maximální možnou odchylku, a  $\sqrt{2}$  k určení amplitudy z efektivní hodnoty napětí. Odečtením z grafu jsem zjistil, že pro 358 V je minimální izolační vzdálenost 0,85 mm.



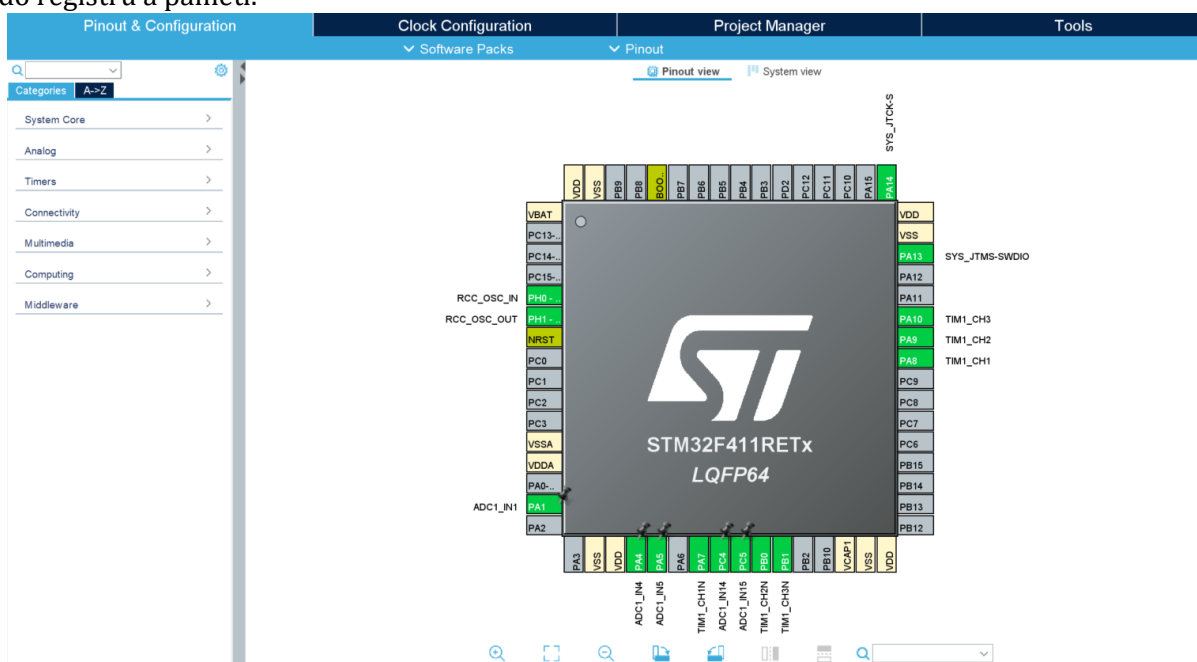
Obr. 4-1 PCB layout

## KAPITOLA 5: NÁVRH ŘÍDÍCÍHO SOFTWARE

Stejně jako u návrhu zapojení a layoutu je dobré vycházet ze zvolených parametrů, které se promítnou nejen do konfigurace, ale i do algoritmu. Výhodné je nakreslit si vývojový diagram, skrze který je jednodušší pochopit celý algoritmus, což je obzvláště výhodné k odhalení případné chyby. Po něm provedeme konfiguraci a přepíšeme algoritmus do kódu.

### 5.1 Konfigurace mikrokontroléru

Pro zvolený mikrokontrolér je nejlepší zvolit grafického rozhraní nabízeného výrobcem. Firma ST k tomuto účelu nabízí STM32CubeMX v rámci softwaru STM32CubeIDE. Umožňuje nastavit funkci pinů, AD převodníku, časovačů, komunikace etc. Po nastavení se vytvoří soubor main.c, který již bude obsahovat vygenerovaný kód se zvolenými konfiguracemi. Máme tak mimo jiné možnost vybrat si, jestli chceme provést nastavení prostřednictvím grafického rozhraní, nebo v kódu. Po kompilaci můžeme využít další nástroje nabízené IDE jako například debugger umožňující náhled do registrů a paměti.



Obr. 5-1 Náhled prostředí STM32CubeMX

#### 5.1.1 Konfigurace PWM

Před vlastní konfigurací PWM nakonfigurujeme hodiny v záložce Clock Configuration. Vybereme vstupní frekvenci, v našem případě se jedná o 8 MHz krystal, dále s využitím fázového závěsu PLL nastavíme hodiny HCLK na maximální frekvenci, která pro mnou použitý mikrokontrolér činí 100 MHz. Tento krok zabezpečí, že časovač ABP2 bude moci běžet na stejné frekvenci.

Časovač TIM1 je jediný, který dokáže generovat PWM na všech čtyřech kanálech včetně komplementárních. Ze schématu bychom zjistili, že je zapojen na ABP2, a proto v položce Clock source vybereme Internal Clock. V položkách Channel1 až Channel3 vybereme PWM Generation CHx CHxN, kde x je číslo příslušného kanálu. V menu NVIC Settings povolíme přerušování TIM1 update interrupt and TIM10 global interrupt, této funkce využijeme později při programování.

$$CK\_CNT = \frac{f_{CK\_PSC}}{PSC[15:1] + 1} \quad (5-1)$$

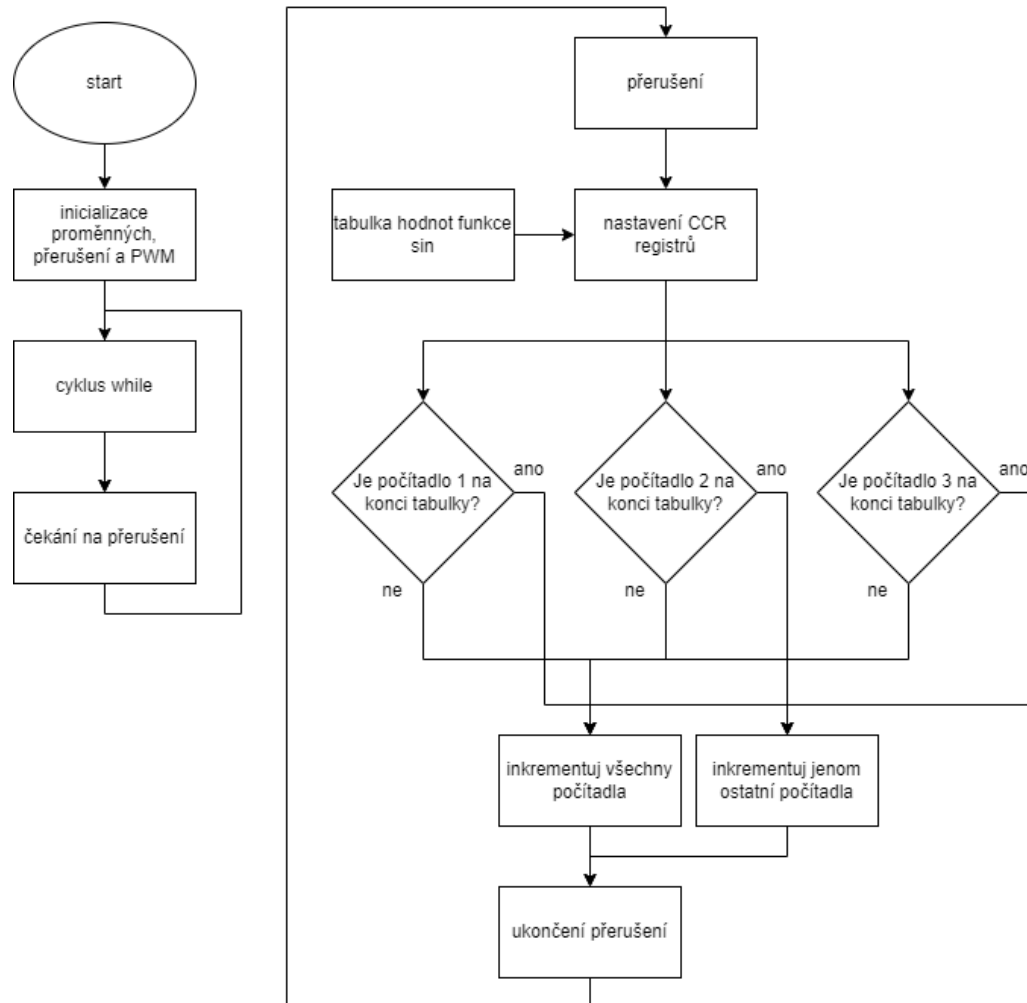
$$PWM \text{ frequency} = \frac{CK\_CNT}{TIMx\_ARR + 1} \quad (5-2)$$

Spínací frekvenci PWM frequency určují vztahy (5-1) a (5-2). Ve vztahu (5-1) mohou snížit frekvenci zadáním přirozeného čísla do děličky Prescaler (PSC), je ovšem třeba mít na paměti, že se k zadanému číslu připočte jednička. Další snížení provedeme zadáním přirozeného čísla do položky Counter Period (TIMx\_ARR). Pokud tedy chceme, aby PWM pracovala na spínací frekvenci například 10 kHz, zvolíme PSC rovnu 10-1 a TIMx\_ARR rovnu 1000-1.

Položka Counter mode určuje průběh signálu, vůči kterému se bude porovnávat navzorkovaný referenční signál. V módech up a down generují signál ve tvaru pily, zatímco v módu Center Aligned generují trojúhelníkový průběh, což je vlastně kombinace dvou pil up a down. V tomto režimu počítá časovač od 0 do hodnoty uložené v ARR registru, kde dojde k přetečení, poté počítá dolů k 1, kde dojde k podtečení. Vybírám Center Aligned mode1. V následujícím kroku povolím auto-reload preload nutný pro automatický restart časovače při podtečení. V posledním kroku už zvolím jen dead time, jehož důležitost jsem popsal v podkapitole 2.2.

## 5.2 Implementace

Program běžící na mikrokontroléru jsem napsal v jazyce C, jednom ze dvou jazyků podporovaných softwarem STM32CubeIDE po C++. Využil jsem přitom zejména hardwarovou abstraktní vrstvu HAL, umožňující jednodušší implementaci ovládání hardwaru.



Obr. 5-2 Vývojový diagram



Smysl algoritmu nejlépe vysvětlím z Obr. 5-2 zachycujícího vývojový diagram. Program counter začne v buňce start, po kterém následuje inicializace proměnných, přerušení a PWM. Klíčové pro nás budou následující proměnné:

```
uint32_t counter1 = 0; //počítadlo 1
uint32_t counter2 = 66; //počítadlo 2
uint32_t counter3 = 132; //počítadlo 3
```

Každá reprezentuje něco jako ukazatel na pozici v tabulce s hodnotami funkce sinus. Pro 3 fáze 3 počítadla, kde hodnoty, na které jsou inicializovány, jsou zvoleny tak, aby se mezi nimi vytvořil fázový posun. Velikost tabulky 5.2.1, implementované jako pole, je 201 hodnot, takže fázový posun o 1/3 způsobí posun v tabulce přibližně na 66. index. Analogický posun o 2/3 odpovídá přibližně 132. indexu.

Následně skočí PC do cyklu while, kde čeká na přerušení od TIM1. V okamžiku, kdy k němu dojde, nastaví hodnoty z tabulky v CCR registru a rozvětví se na tři podmínky, jednu pro každé počítadlo. Testuje se vždy, jestli je hodnota proměnné počítadlo rovna velikosti tabulky -1, to proto, že pole je indexováno od nuly. Pokud je podmínka splněna, přiřadí se proměnné počítadlo 0, zbylá počítadla se inkrementují a ukončí se přerušení. Pokud není splněna žádná z podmínek inkrementují se všechna počítadla a ukončí se přerušení.

```
void HAL_TIM_PeriodElapsedCallback(TIM_HandleTypeDef *htim) {
    __HAL_TIM_SET_COMPARE(&htim1, TIM_CHANNEL_1, pwmData[counter1]);
    __HAL_TIM_SET_COMPARE(&htim1, TIM_CHANNEL_2, pwmData[counter2]);
    __HAL_TIM_SET_COMPARE(&htim1, TIM_CHANNEL_3, pwmData[counter3]);
    if (counter1 == TABLESIZE - 1) {
        counter1 = 0;
        counter2++;
        counter3++;
    } else if (counter2 == TABLESIZE - 1) {
        counter2 = 0;
        counter1++;
        counter3++;
    } else if (counter3 == TABLESIZE - 1) {
        counter3 = 0;
        counter1++;
        counter2++;
    } else {
        counter1++;
        counter2++;
        counter3++;
    }
}
```

### 5.2.1 Tabulka hodnot funkce sinus

Navzorkování funkce sinus jsem provedl s pomocí aplikace Excel. Spínací frekvence činní 10 kHz, a proto pro 50Hz výstup musí být sinusovka navzorkována 201 hodnotou. Perioda této funkce je rovna 360°, což odpovídá kroku 1,8°. Hodnoty budou odpovídat oboru hodnot, což může být kdekoliv od -1 do 1. Je tedy nutné provést normalizaci. Do CCR registru můžeme ukládat hodnoty od 0 do 1000 a zároveň budeme chtít, aby střední hodnota sinu byla v polovině hodnot, které můžeme do CCR registru ukládat. Takovému požadavku lze popsat funkcí, která v každém bodě vynásobí hodnotu sinu 500 a 500 přičte. Výsledek je patrný v náhledu do tabulky pod tímto textem.

```
uint32_t pwmData[TABLESIZE] //data for sinewave
= { 500, 516, 531, 547, 563, 578, 594, 609, 624, 639, 655, 669, 684, 699,
```



## KAPITOLA 6: PROBLÉMY A CHYBY V NÁVRHU

### 6.1 Montáž chladiče

Při montáži chladiče jsem nepostupoval nejlépe. Nejprve jsem osadil celý plošný spoj. Chladiče jsem dostal do určené pozice a tuhou jsem přes díry v PCB, výkonových tranzistorech a diodách označil místa pro vrtání. Do označených míst jsem udělal důlčíkem díry pro dobré vedení vrtáku. Po vyvrtání děr jsem se pustil do řezání závitů. Vzhledem k velikosti montážních otvorů tranzistorů a diod jsem zvolil rozměr M3, který neposkytoval skoro žádnou vůli. To se ukázalo jako problém, o kterém jsem v té době ale ještě nevěděl. Pokračoval jsem tedy s řezáním závitů. Pro urychlení práce jsem postupně upnul a aku šroubovákem vyřezal skoro celý závit z několika již hotových, se mi podařilo závitník zlomit. Nejdříve jsem se snažil část uvízlého závitníku odvrtnat, ale vzhledem k jeho velké tvrdosti bezúspěšně. Nakonec pomohl průbojník, kterým se mi podařilo část uvízlého závitníku vyrazit, což se neobešlo bez poškození závitu. Po tomto martyriu, jsem již práci dodělal běžným vratidlem, se kterým stejný problém nenastal. Když jsem však chtěl chladič přišroubovat, zjistil jsem, že díra v chladiči není v ose s jednou diodou. Napadlo mě tedy diodu vypájet, nasadit, přišroubovat a opět připájet. Po dlouhém snažení se mi ji podařilo jenom povytáhnout, a to za cenu částečného poškození PCB. Jak se totiž ukázalo, souvislá vodivá plocha v blízkosti odváděla značné množství tepla ze spoje, což znemožňovalo zahřát pájku na teplotu vhodnou k odsání.

### 6.2 Špatně zvolené piny mikrokontroléru

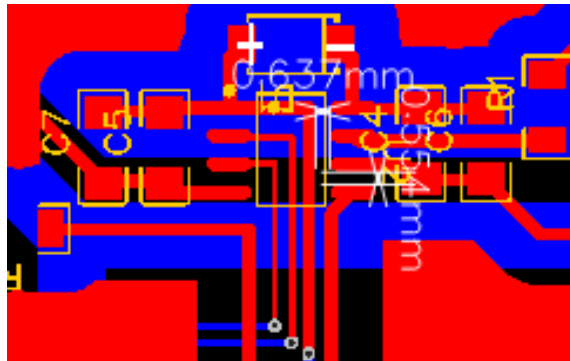
Výstupy pulzně šířkové modulace jsem vybíral podle umístění ve schématu, aniž bych zohlednil jejich zapojení. Šest kanálů bylo připojeno na tři různé časovače. Došlo k tomu, že jsem musel generovat SPWM nezávisle pro horní a dolní tranzistory, a zároveň se rozcházel vzájemný fázový posun kvůli špatné synchronizaci časovačů. Tento způsob implementace se také velmi negativně projevil na tvaru vlny a ztrátách. Za běžných okolností spíná spodní tranzistor, i když generuji kladnou periodu sinusovky, bootstrap kondenzátor se tak pravidelně nabíjí a zajistí bezproblémové spínání pro horní tranzistor. Pokud ale dojde k několika sepnutím horního tranzistoru bez současného sepnutí spodního tranzistoru, bootstrap kondenzátor se začne postupně vybíjet. Nejdříve spíná bez problémů, potom s klesajícím napětím začne docházet k neúplnému sepnutí. Příklad bych to k situaci, kdy pracuje tranzistor v zesilovacím režimu, což má za následek mimo jiné neúměrné ztráty a z toho plynoucí vznik většího množství tepla. Jelikož se toto řešení ukázalo jako nevhodné, rozhodl jsem se upravit plošný spoj tak, aby byly všechny signály PWM generovány časovačem TIM1. K tomu bylo nutné přerušit stávající spoje vyškrobáním a vytvořit nové propojky, na které jsem použil žíly z UTP kabelu.

### 6.3 Zkrat na nožičkách integrovaného obvodu

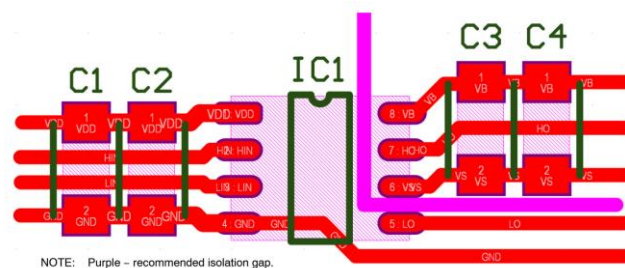
SMD montáž jsem prováděl přetavením. Při tomto způsobu pájení se využívá pájecí pasty, která se nanáší dvojím způsobem, šablonovým tiskem, nebo s použitím stříkačky a aplikační trubičky. Nechtělo se mi investovat do šablony (stencil), a tak jsem nanášel tavidlo stříkačkou. Špatně se mi ale odhadovalo, jaké množství použít. Na některých místech jsem nedopatřením nanesl nepřiměřené množství, ale domníval jsem se, že přebytečnou pájku spoj stejně nepojme. V místech, kde měla pájka kam uniknout, se tak opravdu stalo, pájka vytvořila jakési kuličky, které se usadily na nepájivé masce a posléze jsem je mohl odstranit. Ale velké množství pájecí pasty pod jedním z driverů nemělo, kam by uniklo, a způsobilo zkrat na dvou nožičkách. Svůj podíl na tom mělo nesporně i špatné umístění driveru a špatná technika přetavení. Odnesl jsem si z toho důležité ponaučení: nebát se ohřívat vlastní integrovaný obvod, protože pak se uplatní samovyrovňovací efekt, k čemuž nedojde, pokud ohřívám nožičky na každé straně zvlášť.

## 6.4 Nedostatečná izolační vzdálenost

Na několika místech plošného spoje jsem patřičně nedbal na minimální izolační vzdálenost. Neuvědomil jsem si, jak velký rozdíl potenciálů se nachází mezi spoji na protějších stranách driveru a z tohoto důvodu jsem byl nucen snížit provozní napětí na 230 Vss. Problémová místa jsou vyznačena kótami. První problém je s přivedením napájení do pinu 1, které vede středem IO, druhý spočívá v rozteči pinů pouzdra IO, jak je vidět na Obr. 6-1. Řešením je vést většinu vývodů dál od středu a v postižených místech vyfrézovat izolační mezeru, jak doporučuje výrobce. Jeho doporučení zachycuje Obr. 6-2, kde růžová barva označuje izolační mezeru a červená vedení spojů.



Obr. 6-1 Detail na část PCB s nedostatečnou izolační vzdáleností



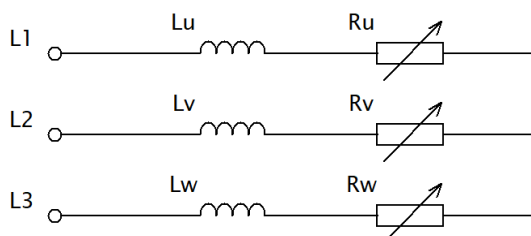
Obr. 6-2 Layout doporučený výrobcem [24, str. 14]

## KAPITOLA 7: MĚŘENÍ

Ověření správné funkčnosti proběhlo měřeními v laboratoři elektrických pohonů a trakce. Měřicí sestava (Obr. 7-1) sestávala ze zdroje stejnosměrného napětí, střídače, zátěže a osciloskopu. Zátěž byla tvořena sériovými RL články zapojenými do hvězdy podle schématu na Obr. 7-2. Proud se měřil pomocí halových sond připojených k osciloskopu na všech třech fázích. Napětí se měřilo pomocí napěťových sond především na hradle tranzistoru a páru bootstrap kondenzátorů. Oživení proběhlo postupným zvyšováním napájecího napětí až k 50 V, přičemž se sledovaly průběhy a hodnoty jak elektrických, tak neelektrických veličin, například teploty. Měření přineslo především zjištění, že na bootstrap kondenzátorech výrazně klesá napětí, kvůli čemuž nedochází k úplnému otevření tranzistoru, což vyústí ve špatný tvar vlny. Podrobnějšímu vysvětlení tohoto problému jsem věnoval podkapitulu 6.2.



Obr. 7-1 Obrázek měřicí sestavy



Obr. 7-2 Schéma zapojení zátěže

### 7.1 Použité přístroje

- Osciloskop Tektronix THS3014: vzorkovací frekvence 2,5 GSa/s, šířka pásma 100 MHz
- Halova sonda Tektronix A622: rozsah 0,05 – 100 A

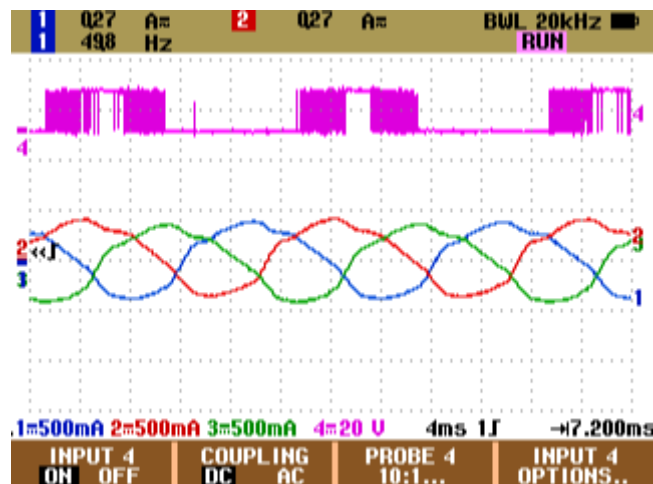
## 7.2 Naměřené průběhy

### 7.2.1 Proud fází a napětí na hradle

Oscilogram (Obr. 7-3) zachycuje proudy fází na kanálu 1–3 a napětí na hradle na kanálu 4.

Průběhy proudů jsou vzájemně posunuty o  $120^\circ$  podle očekávání, což ale nelze říci o tvaru, který je značně deformován a sinusový průběh připomíná pouze vzdáleně. Za zmínku také stojí, že tvar proudu na každé fázi je téměř identický, to je dáno tím že indukčnost cívky i odpor reostatu jsou na každé fázi velmi podobné a tvoří tak takzvanou souměrnou zátěž. Naměřená frekvence 49,8 Hz se mírně liší od požadované frekvence 50 Hz, kterou jsem pro tento experiment stanovil. Pokud by byl tento střídač zdrojem napájení ostrovní sítě, vešel by se ještě do tolerance, která musí být splňována 100 % času, tj. 50 Hz + 4 % / -6 %, ale už ne do tolerance, která se musí plnit 99,5 % času, činící 50 Hz  $\pm$  1 %.

Průběh napětí na hradle tranzistoru (hss) koresponduje s průběhem proudu na kanále 2. Dochází zde ale k fázovému posunu, při kterém napětí předbíhá proud. V místech, kde napětí fluktuuje mezi nulou a maximem, dochází k modulaci kladné části vlny sinusovky a vede tedy vrchní tranzistor hss, naopak v místech, kde je napětí trvale nulové, vede komplementární, tedy spodní tranzistor lss.



Obr. 7-3 Průběh fázových proudů a napětí na hradle

## KAPITOLA 8: VÝROBNÍ NÁKLADY

V době, kdy tento text píše, se svět stále potká s pandemií Covidu - 19, která výrazným způsobem ovlivňuje situaci na trhu elektronických součástek jak na straně poptávky, tak nabídky. Omezení pohybu, vnučená vládou v mnoha zemích, vede spotřebitele k nákupu nových spotřebičů. Naproti tomu se ale omezuje výroba. Oba tyto faktory tedy vedou k nedostatku zboží na trhu, a tedy i růstu cen. Výrobci na vzniklou situaci reagují navyšováním výrobní kapacity, která však v delším horizontu může vést k převisu nabídky nad poptávkou.

V ekonomické teorii rozlišujeme dva druhy nákladů, fixní a variabilní náklady. Fixní náklady na rozdíl od variabilních nákladů nezávisí na objemu produkce, a tak s rostoucím množstvím klesají průměrné fixní náklady, které jsou jejich dalším možným vyjádřením. Obdobně i u variabilních nákladů můžeme mluvit o průměrných variabilních nákladech, tedy variabilních nákladech na jednotku produkce. Součtem zmíněných nákladů jsou průměrné celkové náklady.

### 8.1 Investiční náklady

Investiční nebo kapitálové náklady jsou náklady dlouhodobého charakteru určené k obnově nebo pořízení nového majetku, ať už hmotného, či nehmotného. V mém případě se jedná o investice do vybavení pro pájení, montáž a programování, viz Tab. 8-1. Pájecí hrot by sice do investičních nákladů patřit nemusel, jelikož je jeho životnost dána počtem kusů vyrobených plošných spojů, ale z praktických důvodů jsem ho tam zařadil.

Tab. 8-1 Tabulka kapitálových nákladů

Produkt:	Odhadovaná životnost:	Cena:
stůl dílenský EN 15	16 let	5 055 Kč
židle JT MEBEL	16 let	678 Kč
pájecí stanice AT-980E	2 roky	2 096 Kč
pájecí hrot	200 PCB	58 Kč
ESD náramek	4 roky	162 Kč
ESD podložka	8 let	247 Kč
klíč očkový M8	8 let	28 Kč

### 8.2 Náklady na součástky

Po úspěšném návrhu zařízení, které bylo navrženo v některém ze softwarů učených k návrhu plošných spojů, budou ve většině případů k dispozici dva soubory, BOM file a gerber file. První zmíněný obsahuje soupis součástek, který dává informace k jednoznačnému určení té které součástky. Jedná se mimo jiné o kód pouzdra, kód výrobce, či hodnotu v případě pasivních součástek. Je obvyklé, že u větších distributorů je možné tento soubor nahrát na jejich stránky a obratem získat nabídku.

V mém případě spočíval výběr v tom, jestli jsou distributoři schopni poptávané zboží dodat, či nikoliv. Jedním z nich byl LCSC, sídlící v Asii, kde se odehrává naprostá většina současné produkce, který má vazby na místní výrobce. Zboží, které nebylo skladem, jsem musel objednat u dodavatelů s českým zastoupením.

Následující tabulka Tab. 8-2 obsahuje část dat, které jsou k dispozici v BOM filu. Cena za kus může být přepočtena, jelikož u levnějších součástek není nabízen kusový prodej. Například u rezistorů nebo menších kondenzátorů obsahuje obvyklé balení 50 ks. Cena představuje součin ceny za kus a množství. Pokud byla cena v dolarech, je přepočtena podle kurzu, který v době platby činil 22,289 Kč za dolar.

Tab. 8-2 Tabulka cen součástek

Součástka:	Výrobce:	Počet:	Cena za kus:	Cena:
k. 1000uF	AVX	1	177,74 Kč	177,74 Kč
k. 0,1 uF		13	2,91 Kč	37,83 Kč
k. 100uF	KEMET	1	\$1,36	30,34 Kč
k. 1uF	Jimson	1	\$0,22	4,90 Kč
Nucleo-F411RE	STMicroelectronics	1	301,67 Kč	301,67 Kč
k. 10uF	TDK	6	\$0,12	15,78 Kč
k. 1uF	TDK	4	\$0,08	7,49 Kč
GMKDS1.5/3-7.62	Phoenix Contact	1	\$1,17	26,12 Kč
PMEG3050BEP,115	Nexperia	3	\$0,23	15,18 Kč
1N5819HW1-7-F	DIODES	1	\$0,17	3,70 Kč
LTTH3060PW	LITEON	6	\$1,47	196,86 Kč
DC-044B-5A-2.0	XKB Connectivity	1	\$0,40	8,92 Kč
WE-PD 330 µH ±20%	Würth Elektronik	1	52,0 Kč	52,02 Kč
VLMO333U2AB-GS08	Vishay Intertech	1	\$0,22	4,93 Kč
HB9500-2P black	ReliaPro	1	\$0,08	1,81 Kč
IGW30N60T	Infineon Technologies	6	\$2,61	348,38 Kč
r. 10R	Vishay Intertech	6	\$0,01	1,98 Kč
r. 10k	ALPS Electric	1	\$1,05	23,40 Kč
r. 1k	PANASONIC	1	\$0,30	6,60 Kč
r. 10k	Vishay Intertech	7	\$0,01	2,31 Kč
r. 470k	Vishay Intertech	5	\$0,02	1,84 Kč
r. 16k	YAGEO	1	\$0,01	0,16 Kč
r. 1,4k	YAGEO	1	\$0,01	0,16 Kč
Nucleo-F411RE Header	Samtec	2	127,76 Kč	255,52 Kč
NCD57200	onsemi	3	38,51 Kč	115,53 Kč
ADUM3190ARQZ	Analog Devices	1	\$2,89	64,35 Kč
Digital Isolator + I2C Isolator				
MAX14850	Maxim Integrated	2	59,67 Kč	119,34 Kč
LM2575S-5.0/TR	HGSEMI	1	\$0,71	15,71 Kč
ACS722LLCTR-05AB-T	Allegro MicroSystems	3	\$4,70	314,07 Kč
NCS1S2403SC	Murata Electronics	1	188,70 Kč	188,70 Kč
CHL32/60	EZK	1	293,38 Kč	293,38 Kč
KAP-218	FISCHER EEKTRONIK	12	10,71 Kč	128,52
			Celkem:	2 549,65 Kč

### 8.3 Náklady na plošný spoj

Náklady na výrobu plošného spoje závisí do značné míry na velikosti, respektive ploše desky, tloušťce mědi a povrchové úpravě. Velikost desky stejně jako tloušťku měnit nebudeme, ta je daná už při návrhu. U povrchové úpravy je možnost zvolit základní úpravu s olovem HASL, bezolovnatou HASL-RoHS, nebo zlatou ENIG, která je oproti HASL přibližně třikrát dražší.

Společnosti specializující se na výrobu plošných spojů mají stejně jako distributoři součástek možnost dát odběrateli obratem nabídku, na poptávaný plošný spoj, a to díky online nabídkovému systému. Ten požaduje nahrání takzvaného gerber filu a bližší specifikaci výsledné desky. Gerber file je soubor dat určený k výrobě plošného spoje a náklady určuje pouze velikostí.

Za výrobce mého plošného spoje jsem zvolil JLCPCB, pro jeho spolupráci s LCSC, v rámci které nabízí slevu na dopravu. V tabulce Tab. 8-3 jsou uvedené přepočtené náklady na jeden kus



desky. Přepočtení ceny v dolarech na českou korunu je dán kurzem platným v době nákupu, který činil 23,04 Kč za dolar.

Tab. 8-3 Tabulka cen plošného spoje

Výrobek:	Výrobce:	Cena za kus:	Cena:
Gerber_PCB_stridac_2	JLCPCB	\$2,06	47,46 Kč

## 8.4 Náklady na montáž

Náklady na montáž do značné míry závisí na kvalifikovanosti pracovníků, uspořádání výroby a výrobních zařízeních. V případě malosériové výroby je nutná větší odbornost montážních dělníků, jelikož provádí velké množství operací odlišného charakteru, jako je například pájení ručním nebo horkovzdušným pájedlem, montáž chladičů a nahrávání kódu do mikrokontroléru. Ne všechny činnosti musí být prováděny interně, některé můžeme outsourcovat u externích dodavatelů. Obzvláště výhodné je to v případě osazování plošných spojů, které nabízí výrobci jako doplňkovou službu za malý poplatek. Mnou zvolený výrobce tuto službu také nabízí.

Z výše uvedených poznatků zjednodušíme výběr optimální kombinace interně a externě prováděných činností na dvě možnosti. Celou montáž provedeme buď vlastními silami, nebo si necháme plošný spoj osadit jinde a o to se sníží doba montáže. Ta trvá přibližně 80 minut, respektive 40 min.

Mzdu zaměstnance jsem určil ze zaručené mzdy dané § 112 zákoníku práce, který mimo jiné stanovuje, že výši mzdy určí vláda. Našeho pracovníka bych zařadil do 4. skupiny, pro kterou byla v tomto roce stanovena zaručená mzda 121,8 Kč/h při práci na plný úvazek. Pro porovnání ale budu uvažovat 1,5násobek, který se více přiblíží ceně na trhu práce. V případě, že by byl pracovník zaměstnán na hlavní pracovní poměr, zvýšily by se mzdové náklady na 134 % oproti práci na dohodu. Zde je však třeba upozornit na fakt, že dle § 75 zákoníku práce nesmí odpracovaná doba překročit 300 hodin za rok.

Tab. 8-4 Tabulka možných výrobních variant

	Doba montáže:	Mzdové náklady zaměstnance na HPP:	Mzdové náklady zaměstnance na DPP:	Cena osazení:
všechny činnosti prováděny interně	1 h 20 min	326 Kč	244 Kč	-
osazování prováděno externí firmou	40 min	163 Kč	122 Kč	44 Kč

Z Tab. 8-4 vyplývá, že optimální možností by bylo zvolit osazení externí firmou, pro níž tvoří náklady na montáž 207 Kč, respektive 166 Kč při práci na dohodu. V mém případě by se jednalo o JLCPCB.

## 8.5 Náklady na výrobní prostory

Pro výrobu jsem určil, že je optimální zvolit prostor o výměře kolem 20 m<sup>2</sup>, tedy prostor přibližně velikosti garáže. S ohledem na možné rozšíření provozu se mi jeví výhodnější zvolit pronájem oproti koupi. Cena se odvíjí od lokality, například v Praze můžeme jistě čekat vyšší ceny než ve Středočeském kraji. Pokud by byl provoz umístěn v něm, počítám s cenou okolo 120 Kč/m<sup>2</sup>, což by dělalo kolem 2400 Kč měsíčně.

## 8.6 Vývojové náklady

Náklady na vývoj se těžko odhadují. Během vývoje totiž může nastat celá řada problémů. A to jak dodáváním komponent, tak samotným návrhem. Může se jednat jak o zjevné, tak o skryté závady, které se špatně odhalují a často vyžadují diagnostické vybavení. V krajních případech je nutné začít s návrhem znova, potom se jedná o tzv. utopené náklady. Je tedy zřejmé, že tu hraje významnou roli faktor nejistoty. Potom je zde také otázka platu zaměstnanců vývojového oddělení, u kterých je vyžadována vyšší kvalifikace a tomu odpovídající plat. Alternativně je možné si koupit již hotový návrh, zde je ale problém s pozdějšími modifikacemi. Ve svém případě bych stanovil cenu vývoje jako cenu ušlé příležitosti. Dobou vývoje jsem strávil cca 160 hodin, což při mzdě 150 Kč čistého příjmu na hodinu, které bych si mohl vydělat na brigádě, dělá 22500 Kč.

## 8.7 Možnosti snížení výrobních nákladů

Jednou z možných cest ke zvýšení zisku je snižování nákladů. „Při snižování nákladů se firmy nejčastěji soustředí na ty oblasti, kde mají největší náklady (často využívají Paretova principu – soustředí se hlavně na oblasti, kde mohou být úspory největší). [5]“ Mohu uvést příklad několika řešení, kterými by mohlo dojít k žádanému cíli:

- úspory z rozsahu
- řízení nákladů
- relokace výroby
- redesign výrobku
- mzdové náklady
- jednání s dodavateli

## 8.8 Určení celkových nákladů

Celkové náklady (8-2) zjistím z průměrných variabilních nákladů (8-1).

$$AVC = (0,29 + 2549,65 + 47,46 + 131,24) \cdot 1,21 + 166 = 3468 \quad (8-1)$$

$$TVC = AVC \cdot Q = 3468 Q \quad (8-2)$$

Při výpočtu jsem počítal pouze s přímými náklady, tedy těmi, u kterých se průměrné variabilní náklady nemění s produkcí. Například vybavení dílny kromě pájecího hrotu a nájemného se ve výpočtu nevyskytne. Za zmínku stojí, že jsem náklady vynásobil 1,21 kvůli připočtení 21 % DPH. Částka 166 Kč představuje mzdové náklady zaměstnance pracujícího na DPP na vyrobení jednoho kusu. Také jsem zavedl předpoklad, že dopravné je zdarma. Další částka 131,24 Kč, která v předchozích bodech nebyla uvažována, představuje částku, za kterou by se daly koupit čtyři diody, potřebné k vytvoření můstkového usměrňovače. Jeho zapojením na vstup střídače získáme zapojení obvykle označované jako nepřímý měnič frekvence. To je zařízení s velkým zastoupením na trhu a bude se hodit v kapitole 10 k určení poptávky.



## KAPITOLA 9: ZAJIŠTĚNÍ VÝROBY

### 9.1 Závislost na dodavatelích součástek

Závislost konkrétního výrobku na dodavatelích začíná už při návrhu. Snaha je nevytvářet závislost na dodavateli, který by nás mohl dostat do takzvaného proprietárního uzamčení či jinak ovlivnit výrobu. Odběratel je v takové situaci v jeho područí, což se může projevit v ceně, kvalitě nebo dodávaném množství. Pokud k takovému uzamčení dojde, je velmi obtížné z něj vystoupit. U některých součástek ale toto pravidlo nelze dodržet. Platí to především pro integrované obvody, které jsou chráněny patentem. U pasivních součástek tento problém nevzniká. Je to dáno tím, že se výrobci drží norem a odběratel má tak možnost vybírat z široké nabídky skoro identických výrobků.

### 9.2 Požadavky na výrobní prostory

Požadavky na výrobní prostory v elektrotechnice jsou dvojí, jednak na čistotu jednak na ochranu před elektrostatickým výbojem. V případě výroby součástek, jako jsou například integrované obvody, je nutné zajistit odpovídající třídu čistoty, kterou dosahujeme buď metodou vícenásobného zapouzdření, řízenou cirkulací, použitím neprašných materiálů nebo omezením pohybu osob. V případě výroby zařízení již nejsou požadavky na čistotu tak striktní a implementují se tedy jen některá opatření pro zvýšení čistoty. Další požadavek na výrobu se týká jak výroby součástek citlivých na elektrostatický výboj, tak zařízení, při jejichž výrobě jsou součástky použity jako vstup. Tento požadavek je nejčastěji implementován v takzvaných EPA, z anglického Electrostatic Protected Area, což je prostor vybavený prostředky pro minimalizaci možnosti poškození součástek citlivých na elektrostatický výboj, dále jen ESD. Jako prostředky slouží ESD náramky, přezůvky, pláště, nebo ESD podlahy. Jejich funkce spočívá ve svedení náboje do země přes odpor v řádu kilo až Megaohm.

## KAPITOLA 10: POPTÁVKA

Pokud kupujeme určitý produkt, je pro nás nejdůležitější cena. Pokud vzroste, pravděpodobně budeme poptávat méně. Tento předpoklad je jedním z pilířů, o které se mikroekonomika opírá, tedy racionální chování. Dalším podstatným předpokladem je, že z mnoha vlivů zkoumáme pouze dva, přičemž ostatní jsou ponechány beze změny, to je známo jako *ceteris paribus*<sup>1</sup>. Jedná se tedy o podstatné zjednodušení, které způsobuje, že mnoho odborníků ji věnuje malou pozornost.

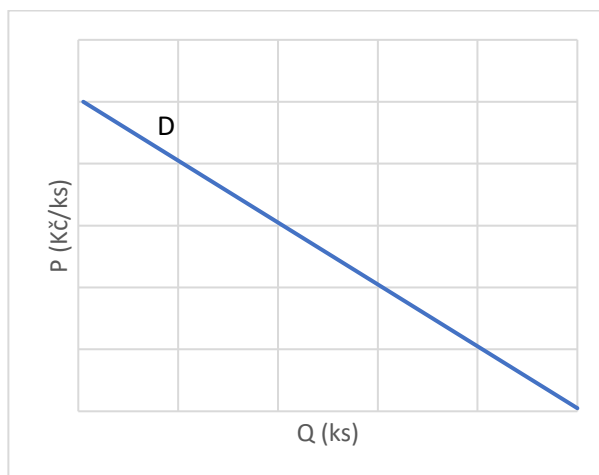
*„Je to nejspíše způsobeno tím, že marketingovým expertům, vesměs prakticky založeným, připadá používání poptávkové křivky příliš suše teoretické, protože jsou si vědomi nesmírně košatého (zeleně větnatého) stromu možností konstrukce ceny konkrétního výrobku či služby a možností cenových vyjednávání mezi prodejcem a zákazníkem. [8, str 1]“*

### 10.1 Poptávková křivka

Poptávková křivka vyjadřuje funkční závislost mezi cenou  $P$  a množstvím  $Q$ . Tato funkce:

$P = f(Q)$  nemusí být obecně afinní, jako na obrázku Obr. 10-1, ale lze říci, že je klesající. Tedy pokud budeme uvažovat poptávku po nějakém konkrétním produktu můžeme říci, že s rostoucím množstvím klesá i cena, za kterou je zákazník ochoten produkt nakoupit.

*„V daném prostoru a čase je křivka poptávky perfektní charakteristikou trhu, protože na základě její znalosti je možno odhadnout poptávané množství podle toho, za jakou cenu dané zboží nabídneme. [8, str 2]“*



Obr. 10-1 Poptávková křivka

Důležité je říci „v daném prostoru a čase“, jelikož křivka nezůstává neměnná. Její tvar a posun ovlivňuje značné množství faktorů. Mezi faktory ovlivňující tvar křivky řadíme zejména:

- dostupnost zboží
- příjmy a bohatství kupujících
- ceny substitutů
- ceny komplementů
- charakteristiku kupujících (chutě, vkus, preference)
- počet kupujících
- reklamu
- informovanost o výrobku
- očekávání vývoje

<sup>1</sup> „Za jinak stejných podmínek“. Abstrakce, kde při sledování vlivu změny jedné ekonomické veličiny předpokládáme, že všechny ostatní relevantní veličiny zůstávají beze změny [7, str. 42].

Posun křivky doleva případně doprava znamená, že pro nějakou konkrétní cenu se mění množství, které zákazník očekává. To, jestli se množství zvýší nebo sníží, závisí na směru posuvu. Posun doleva se projeví jako snížení poptávky a posun doprava jako její zvýšení. Faktory ovlivňující snížení poptávky jsou především:

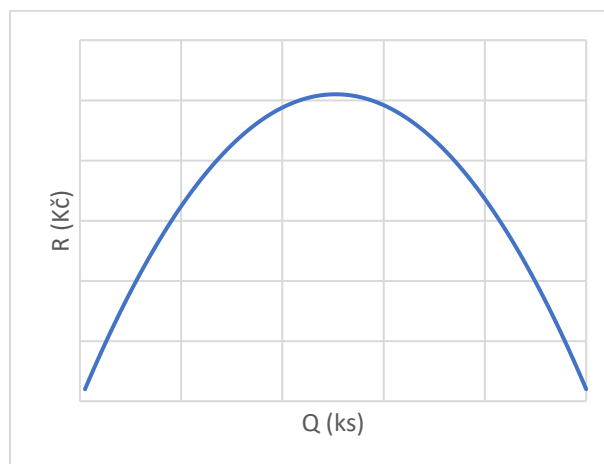
- snížení příjmů
- zvýšení daní
- pokles cen substitutů
- vzestup cen komplementů
- negativní informace o trhu

Faktory ovlivňující zvýšení poptávky jsou opačné výše zmíněným.

## 10.2 Maximalizace tržeb

Tržba je zavedena jako součin množství  $Q$  a ceny  $P$ . Tvar její křivky tedy závisí na poptávkové funkci, respektive jejím tvaru. Obrázek Obr. 10-2 zachycuje typickou závislost tržeb na množství a je z něj zřejmé, že se jedná o parabolu, obecně to ale tak být nemusí. V případě monopolu by se jednalo o vhodnou ilustraci, pro dokonale konkurenční trh by už byla vhodnější reprezentace například konstantní funkcí. Pokud bychom chtěli tržby maximalizovat, hledali bychom extrém funkce tržeb, pokud extrém má. Extrém funkce najdeme nejlépe pomocí derivace. Položením zderivované funkce rovnu nule zjistíme stacionární body, tj. body podezřelé z extrému. Dále pak určíme druhou derivaci funkce tržeb v stacionárních bodech. To, jestli se jedná o maximum, rozhodneme pomocí kritéria (10-1), z kterého plyne, že druhá derivace musí být záporná.

$$f''(Q) < 0 \quad (10-1)$$



Obr. 10-2 Křivka tržeb.

## 10.3 Uplatnění znalosti ekonomických mechanismů na konkrétním výrobku

V předchozích paragrafech bylo řečeno něco o chování a využití poptávkové křivky. Ale jak ji lze sestavit? Nejdůležitější je získat informace od dostatečného počtu zákazníků, kteří se v určitém čase a místě nachází na trhu. „Počet potřebných respondentů (velikost výběrového vzorku) neroste přímo úměrně se zvětšující se velikostí základního souboru, ale mnohem pomaleji, tzn. že v podstatě není nikdy třeba získávat větší počet odpovědí než 1000. Postačující velikost náhodně vybraného vzorku bez opakování se ve většině případů pohybuje okolo 100.“ [8, str 5] Možností, jak získat informace, je řada. Jde o to, kolik chci do sběru dat investovat. Nejlepší je přímé oslovení

respondentů, ať už po telefonu, nebo na ulici. Tento způsob je ale náročný na zdroje a nabízí se tak možnost využít online dotazníku. Při dotazování se hodí stručně popsat nabízený produkt a položit otázku, kolik by byli ochotni za daný produkt zaplatit.

Ve svém případě jsem zvolil Google Formuláře Obr. 10-3. Po konfiguraci formuláře jsem odkaz na něj umístil do několika skupin a zároveň jsem oslovil vyučující katedry ekonomiky, manažerství a humanitních věd s prosbou o jeho vyplnění za účelem získání širšího vzorku.

**Poptávka po frekvenčním měniči**

(nesdíleno) [Přepnout účet](#)

Kolik Kč byste byli ochotni dát za frekvenční měnič?  
Měnič je určen pro synchronní a asynchronní motory na napětí D/Y 230/400V a výkonu nepřevyšujícím 4kW.

Vaše odpověď

**Odeslat** [Vymazat formulář](#)

Nikdy přes Formuláře Google neposílejte hesla.

Tento formulář byl vytvořen v doméně Faculty of Electrical Engineering, Czech Technical University in Prague. [Nahlásit zneužití](#)

Google Formuláře

Obr. 10-3 Náhled formuláře.

Pro sestrojení poptávkové křivky jsem musel získaná data (Tab. 10-1) zpracovat. Data, respektive ceny, jsem seřadil od nejvyšších po nejnižší a ke každé hodnotě jsem přiřadil číslo podle řádku. Vznikl jakýsi seznam dvojic informací o množství a ceně, na každou takovou dvojici můžeme nahlížet jako na souřadnici kartézského souřadného systému Q - P. V případě, že existuje více souřadnic se stejnou cenou, bereme v úvahu pouze tu s největším množstvím.

Tab. 10-1 Data nutná k sestrojení poptávkové křivky

P (Kč/ks)	Q (ks)	R (Kč)
50000	1	50000
30000	2	60000
20000	3	60000
6000	4	24000
6000	5	30000
5000	6	30000
5000	7	35000
5000	8	40000
4700	9	42300
4000	10	40000
4000	11	44000
4000	12	48000
4000	13	52000
2000	14	28000
2000	15	30000
2000	16	32000

1500	17	25500
900	18	16200
400	19	7600
300	20	6000
230	21	4830
100	22	2200
100	23	2300
4	24	96
3	25	75
1	26	26
1	27	27
1	28	28
1	29	29

Vzniklý graf vidíme na obrázku Obr. 10-4. Body jsou proloženy metodou nejmenších čtverců polynomem šestého stupně (10-2). Rovnice (10-2) popisující poptávku má spíše hyperbolický charakter, což by lépe odpovídalo modelu dokonalé konkurence.



Obr. 10-4 Poptávková křivka

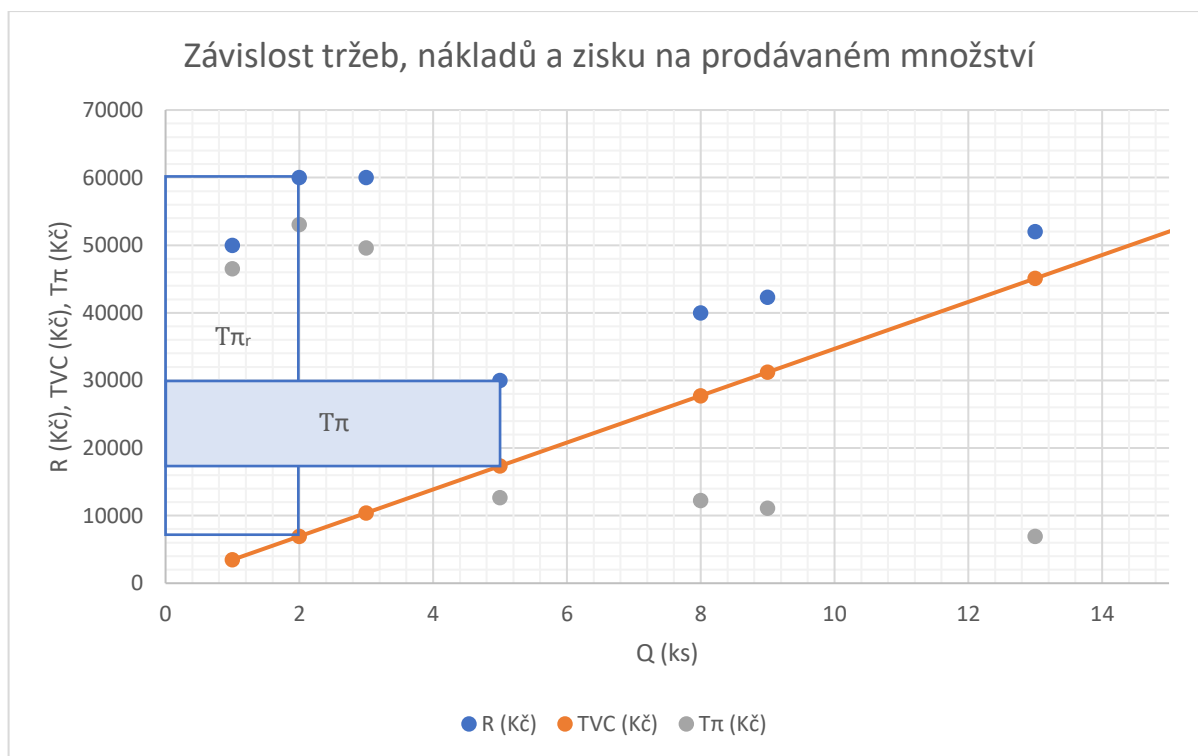
$$P = 0,0052Q^6 - 0,5616Q^5 + 24,202Q^4 - 524,9Q^3 + 5965,7Q^2 - 33582Q + 77991 \quad (10-2)$$

K určení vyráběného množství a ceny můžeme počítat diskrétně, nebo pomocí rovnic. V obou případech by ale po zaokrouhlení na jednotky kusů měly být výsledky stejné. Pokud je cílem maximální zisk  $\pi = R - TVC$ , dosáhneme ho při množství 2 kusů a ceně 30 000 Kč za kus. Tabulka Tab. 10-2 a graf Obr. 10-5 tuto skutečnost zachycují. Zde je ale třeba se zastavit a položit si otázku, nakolik získaná data zachycují reálný obraz. V kapitole 13 Analýza konkurence bychom totiž

zjistili, že podobný výrobek se prodává za 9393 Kč. Nebylo by tedy moudré počítat s tím, že by byl zákazník ochoten dát více než trojnásobek za náš produkt. Maje tuto skutečnost na mysli bych zvolil další lokální maximum. Prodejní cena 6000 Kč se mnohem více blíží konkurenční ceně, a proto s ní budu v následujících výpočtech počítat. V Obr. 10-5 je zachycen zisk  $\pi_r$ , kterého bych teoreticky dosáhl, pokud bych se striktně držel výsledků, a zisk  $\pi$ , kterého dosáhnu po korekci.

Tab. 10-2 Závislost tržeb, nákladů a zisku na prodávaném množství

P (Kč/ks)	Q (ks)	R (Kč)	TVC (Kč)	$\pi$ (Kč)
50000	1	50000	3468	46532
30000	2	60000	6936	53064
20000	3	60000	10404	49596
6000	5	30000	17340	12660
5000	8	40000	27744	12256
4700	9	42300	31212	11088
4000	13	52000	45084	6916
2000	16	32000	55488	-23488
1500	17	25500	58956	-33456
900	18	16200	62424	-46224
400	19	7600	65892	-58292
300	20	6000	69360	-63360
230	21	4830	72828	-67998
100	23	2300	79764	-77464
4	24	96	83232	-83136
3	25	75	86700	-86625
1	29	29	100572	-100543



Obr. 10-5 Graf tržeb, nákladů a zisku

## KAPITOLA 11: PROGNOZA PENĚŽNÍHO TOKU

Díky odhadu budoucího vývoje peněžního toku bude možné zhodnotit čistou současnou hodnotu celého projektu. Při výpočtech jsem zavedl několik předpokladů. Částky jsou uváděny v nominálních cenách v tisících Kč. Mzdy zaměstnanců jsou počítány podle počtu odpracovaných hodin, a ne podle úvazku. Daň je odváděna jenom u zaměstnanců, a to jako část mzdových nákladů. Investice do zařízení neodepisuji, jelikož podle zákona je do 80 000 Kč odepisování dobrovolné. Diskont jsem určil podle úrokové míry spořicího účtu Výhoda+ u společnosti TRINITY BANK a.s., který činí 2,58 % p. a. Celou prognózu jsem rozdělil na tři varianty podle roční výroby. Z Tab. 10-2 jsme zjistili, že optimum výroby je 5 ks, ovšem pro velmi malý vzorek, proto budu počítat s potenciálem, který bych podle varianty viděl na 50, 500 a 5000 ks ročně. Dále jsem se rozhodl do položky označené „investice do zařízení“ zahrnout i výrobní náklady na 1, 10 a 100 ks na propagační účely. Jako nejreálnější se mi jeví varianta 2.

### 11.1 Varianta 1

- 50 vyrobených kusů za rok
- 1 zaměstnanec pracující na DPP
- NPV = 809 Kč
- IRR = 284 %

Tab. 11-1 Prognóza CF pro var. 1

roky	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
investice do zařízení	-34		-2		-2		-2		-3		-2
tržby		300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
materiál		-165	-165	-165	-165	-165	-165	-165	-165	-165	-165
subdodávky		-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2
nájem		-29	-29	-29	-29	-29	-29	-29	-29	-29	-29
mzdové náklady		-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6
CF	-34	98	96	98	96	98	96	98	95	98	96

### 11.2 Varianta 2

- 500 vyrobených kusů za rok
- 1 zaměstnanec pracující na HPP
- NPV = 10 528 Kč
- IRR = 1847 %

Tab. 11-2 Prognóza CF pro var. 2

roky	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
investice do zařízení	-66		-2		-2		-2		-3		-2
tržby		3 000	3 000	3 000	3 000	3 000	3 000	3 000	3 000	3 000	3 000
materiál		-1 651	-1 651	-1 651	-1 651	-1 651	-1 651	-1 651	-1 651	-1 651	-1 651
subdodávky		-22	-22	-22	-22	-22	-22	-22	-22	-22	-22
nájem		-29	-29	-29	-29	-29	-29	-29	-29	-29	-29
mzdové náklady		-82	-82	-82	-82	-82	-82	-82	-82	-82	-82
CF	-66	1 216	1 214	1 216	1 214	1 216	1 214	1 216	1 213	1 216	1 214

### 11.3 Varianta 3

- 5000 vyrobených kusů za rok
- 3 zaměstnanci pracující na HPP
- NPV = 107 363 Kč
- IRR = 3106 %

Tab. 11-3 Prognóza CF pro var. 3

roky	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
investice do zařízení	-398		-6		-8		-6		-8		-6
tržby		30 000	30 000	30 000	30 000	30 000	30 000	30 000	30 000	30 000	30 000
materiál		-16	-16	-16	-16	-16	-16	-16	-16	-16	-16
subdodávky		510	510	510	510	510	510	510	510	510	510
nájem		-220	-220	-220	-220	-220	-220	-220	-220	-220	-220
mzdové náklady		-86	-86	-86	-86	-86	-86	-86	-86	-86	-86
CF	-398	12 367	12 361	12 367	12 359	12 367	12 361	12 367	12 359	12 367	12 361



## KAPITOLA 12: POŽADAVKY NA VÝROBKY V ELEKTROTECHNICE

Uvádění výrobků na trh je legislativně ošetřeno zejména zákonem č. 102/2001 Sb. O obecné bezpečnosti výrobků. Stanovuje kritéria bezpečnosti a ochrany zdraví spotřebitele, pro něž je výrobek určen. Vlastnosti, životnost, složení, návod a rizika pro spotřebitele jsou jedním z nich. Odpovědnost za dodržení zmíněných kritérií nese výrobce nebo distributor, ale i jiný subjekt dodavatelského řetězce, který má vliv na vlastnosti výrobku. Výrobky, na které se vztahuje alespoň jedno nařízení vlády jsou podle zákona č. 22/1997 Sb. výrobky stanovenými, a proto musí být před uvedením do prodeje vypracováno prohlášení o shodě. To může být na jednu stranu svazující kvůli velkému množství směrnic, na druhou stranu to ale zabezpečí volný pohyb zboží v rámci Evropské unie. V praxi to tak znamená, že zařízení vyrobené v ČR může být bez jakýchkoliv dalších restrikcí prodáváno na území jiného členského státu.

Nařízení vztahující se na elektrická zařízení popíše podrobněji v následujících podkapitolách.

### 12.1 EMC

Elektromagnetická kompatibilita (dále jen EMC) je schopnost elektrického zařízení fungovat bez potíží v prostředí elektromagnetického záření. Požadavky na elektrická zařízení z hlediska jejich EMC upravuje nařízení vlády č. 117/2016 Sb. Zařízení musí být navržena a vyrobena tak, aby jejich elektromagnetické rušení nepřesáhlo úroveň, při níž by jiná zařízení nemohla správně fungovat a zároveň aby samotné el. zařízení odolalo elektromagnetickému rušení bez nepřijatelného zhoršení provozních vlastností. Splnění požadavků je nutné pro posouzení shody.

#### 12.1.1 Zkoušky elektromagnetické odolnosti

K ověření požadovaných vlastností poslouží zkoušky dané harmonizovanou normou. Jedná se o měření úrovně emisí a odolnosti proti nim. V obou případech je třeba brát ohled na okolní vlivy, které by mohly měření ovlivnit a zpochybnit tak validitu výsledku.

Mezi zkoušky elektromagnetické odolnosti patří např.:

- krátkodobé poklesy napětí
- krátká přerušení napětí
- rázový impuls nesymetrický, symetrický (surge)
- rychlé elektrické přechodné jevy/skupiny impulzů (burst)

Mezi zkoušky elektromagnetických emisí řadíme např.:

- změny a kolísání napětí, flickr
- harmonické proudy
- vf. rušení po vedení 0,15 MHz až 30 MHz

### 12.2 LVD

Low Voltage Directive je nařízení vztahující se na elektrická zařízení nízkého napětí. Jeho aktuální verze 2014/35/EU vyšla v platnost nařízením vlády č.118/2016 Sb., které mimo jiné stanovuje technické požadavky na elektrická zařízení a povinnosti výrobců, případně distributorů. Mezi základní požadavky řadíme následující, aby byl k zařízení přiložen návod v českém jazyce, aby mohlo být bezpečně a správně připojeno, a zároveň aby bylo vyrobeno tak, aby při řádném používání byla zajištěna ochrana osob, zvířat a majetku. Splnění uvedených požadavků se prokazuje posouzením shody. V případě, že má výrobce kompletní technickou dokumentaci, tedy včetně schémat, výpočtů a protokolů ke zkouškám, může vydat prohlášení o shodě a umístit na zařízení označení CE. Činí tak na základě takzvaného interního řízení na vlastní odpovědnost. Další možností k posouzení shody je využití akreditované zkušebny na základě zákona č. 22/1997 Sb. Obsah prohlášení o shodě je uveden v příloze 3 zmíněného nařízení takto:

1. „Model výrobku/výrobek (číslo dávky, výrobku či typu nebo sériové číslo):
2. Jméno a adresa výrobce nebo jeho zplnomocněného zástupce:
3. Toto prohlášení o shodě se vydává na výhradní odpovědnost výrobce.
4. Předmět prohlášení (identifikace elektrického zařízení umožňující je zpětně vysledovat; může zahrnovat dostatečně zřetelné barevné vyobrazení, je-li to pro identifikaci daného elektrického zařízení nezbytné):
5. Výše popsaný předmět prohlášení je ve shodě s příslušnými harmonizačními právními předpisy Evropské unie:
6. Odkazy na příslušné harmonizované normy, které byly použity, nebo na jiné technické specifikace, na jejichž základě se shoda prohlašuje:
7. Další informace:“[14]

Výrobci jsou povinni zajistit, aby jimi vyráběná zařízení byla v souladu se zmíněnými technickými požadavky, a to i v případě změny návrhu nebo norem. Kromě toho zajistí zkoušky vzorků za účelem ochrany zdraví uživatelů. Distributoři zajistí kontrolu, zda výrobce splnil všechny náležitosti.

### 12.3 RoHS

Směrnice o omezení používání některých nebezpečných látek upravuje a omezuje použití nebezpečných látek v elektrotechnice, a zároveň klade další podmínky pro uvádění elektrických zařízení na trh s ohledem na lidské zdraví a životní prostředí. Základní informace k této směrnici se dozvíme v nařízení vlády č. 481/2012 Sb., které vzniklo její transpozicí. Definuje nový termín elektrozařízení, jedná se jak o elektrická, tak elektronická zařízení nízkého napětí. Vztahuje se na všechna elektrozařízení, vyjma těch, u kterých je nutno zajistit vyšší spolehlivost, jako jsou zařízení používané k vojenským účelům, vysílaná do vesmíru nebo aktivní implantáty. Mezi omezené látky patří například olovo, rtuť, šestimocný chrom, kadmium, polybromované bifenyly, nebo polybromovaný difenyléter. Za zmínku stojí, že na barvy, laky a autobaterie, ve kterých je olovo použito v hojném množství, se rozsah této směrnice nevztahuje. Na výrobce a distributory jsou kladeny velmi podobné nároky jako v LVD.

### 12.4 Ekodesign

„Proces navrhování a vývoje, výroby výrobku, který vedle funkčnosti, ekonomické efektivnosti, technické proveditelnosti atd., klade důraz i na dosažení minimálního negativního dopadu daného výrobku na životní prostředí v rámci jeho celého životního cyklu.“ [19, str. 3] Při designu se řídíme strategiemi zabezpečujícími čistší produkci, použití menšího množství materiálu, zvýšení životnosti, snadnou renovaci, případně recyklaci. Výrobci se aplikací těchto strategií zvýší náklady, na druhou stranu se ale může zlepšit marketing, protože zboží může být prodáváno jako ekologicky šetrnější alternativa. Spotřebitelé to pocítí zvyšováním účinnosti elektrozařízení, a tím i snížením spotřeby. Rozhodující bylo zavedení vyhlášky o energetickém štítkování č. 319/2019 Sb. a jí předcházejícího legislativního ustanovení. Racionálně uvažující spotřebitel hledí na třídu energetické účinnosti a v mnoha případech zvolí úspornější variantu, což vede výrobce k vývoji nových, úspornějších zařízení.

## KAPITOLA 13: ANALÝZA KONKURENCE

Konkurenčních výrobců nabízejících frekvenční měniče je nespočet. Řadí se mezi ně renomovaní výrobci jako ABB, Siemens, Invertek, nebo Schneider Electric nabízející měniče do řádově stovek kW, dnes už povětšinou s vektorovým řízením nebo přímou regulací momentu. S ochranami proti přepětí, poklesu napětí, či přehřátí.

Pro porovnání konkurenčních výrobků je nejprve nutné stanovit parametry podle kterých budou srovnávány. Jelikož frekvenční měnič nepracuje samostatně, ale napájí asynchronní motor, lze očekávat, že ho vybereme podle výkonu motoru.

Pro porovnání není třeba uvažovat parametry, které jsou pro všechny výrobky stejné. Pro úplnost je ale uvedu.

Parametry námi uvažovaného frekvenčního měniče:

- Napájení: jednofázové 230 V
- Výstupní napětí: až 3 x 230 V
- Maximální výkon motoru: 4 kW
- Přímá regulace momentu
- Jmenovitý proud: 17,4 A
- Výstupní kmitočet: 0-500 Hz

Zmíněné parametry nemusí být nutně neměnné. Například napětí je úzce svázáno s metodou řízení. Při čistě sinusové PWM nemůžeme dosáhnout 3 x 230 V na výstupu, ale při jiných druzích řízení a modulace téměř ano. Injektáž třetí harmonické je jedno z možných řešení, je tu ovšem podmínka plovoucího uzlu zátěže, která ale například pro asynchronní motor splněna je. Je to pouze otázka implementace a hardware měnit nutné není. Výjimkou jsou případy, ve kterých je potřeba inkrementálního čidla pro řízení se zpětnou vazbou. Výstupní kmitočet by se dal zvýšit změnou spínací frekvence PWM, ale ztratili bychom při tom rozlišení.

Tab. 13-1 Tabulka konkurenčních frekvenčních měničů

Produkt:	Výrobce:	Výstupní kmitočet:	Jmenovitý proud:	Cena s DPH:
CIMR-VCBA0018BAA	YASKAWA	0...400 Hz	17,5 A	10387
CIPR-GA50CB018ABAA-BAAASA	YASKAWA	0...590 Hz	17,6 A	9393
ODE-3-320153-1F4A	INVERTEK DRIVES	0...500 Hz	15,3 A	20799
ODE-3-320153-1F4B	INVERTEK DRIVES	0...500 Hz	15,3 A	24593
Q2V-AB018-BAA	OMRON	0...590 Hz	17,6 A	16436

Z přehledu Tab. 13-1 je patrné, že větší hráči v dané kategorii nenabízí produkt podobných parametrů. Je to dáno zejména tím, že pro daný výkon spotřebitel obvykle preferuje třífázové napájení, což vyplývá z toho, že frekvenční měnič pro 4 kW motor nemůže být napájen ze standardní jednofázové zásuvky<sup>2</sup>, ale musí být napájen ze zásuvky průmyslové.

Z tabulky zároveň plyne, že racionálně uvažující zákazník by zvolil produkt CIPR-GA50CB018ABAA-BAAASA, jelikož se parametry blíží srovnávanému produktu a zároveň je nabízen za nejnižší cenu.

<sup>2</sup> Standardní jednofázová zásuvka je dimenzována na jmenovitý proud 16A.

## KAPITOLA 14: SWOT ANALÝZA

„Cílem SWOT analýzy je identifikovat, do jaké míry je současná strategie firmy a její specifická silná a slabá místa relevantní a schopná se vyrovnat se změnami, které nastávají v prostředí.“ [25, str. 103] Název je akronymem ze čtyř anglických slov strengths – silné stránky, weaknesses – slabé stránky, opportunities – příležitosti a threats – hrozby. Skládá se z interní SW analýzy a externí OT analýzy. Při zkoumání nám mohou posloužit zejména výsledky jiných analýz, jako například analýzy trhu, konkurence, odběratelů, PESTLE analýzy atd.

### 14.1 Analýza silných a slabých stránek – SW

Je o posouzení výhod, které produkt přináší, ale zároveň i nevýhod, které si s sebou ve srovnání s konkurencí nese. Jako výhodu bych uvedl vysoký výkon dosažitelný při nízkých výrobních nákladech, díky kterým jsem schopen produkt nabídnout za cenu určenou poptávkou. Navíc z analýzy konkurence víme, že mezi nejbližší konkurencí je velký cenový rozestup, umožňující zvýšení prodejní ceny v případě zvýšení cen vstupů. Slabé stránky vidím hlavně v samotném řízení. Pokud si zákazník vystačí s nejjednodušším V/f řízením, není po připojení inkrementálního čidla problém zajistit správnou funkčnost. Pokud ale požaduje přímou regulaci momentu, bude třeba ji naprogramovat. Není sice nutné provádět změny na hardwaru, ale správné odladění je velmi složité, což ovšem nerozporuje fakt, že je třeba ji dodělat, a pro tuto analýzu předpokládám, že již je implementovaná. Dalším důležitým faktem je, že postrádá uživatelsky přívětivé interface. Nastavené hodnoty není možné ověřit jinak než přes počítač.

### 14.2 Analýza příležitostí a hrozeb – OT

Zachycuje mimofiremní a mimoproduktové charakteristiky potažmo faktory, které ovlivňují poptávku. Faktory zvyšující poptávku jsou pro firmu příležitostmi. Naproti tomu faktory snižující poptávku jsou hrozbami. Do příležitostí bych řadil očekávaný vývoj, u kterého nelze předpokládat strmý, ale spíše velmi mírný růst. Hrozeb je o poznání více a jsou závažnější. Závislost na dodavatelích jsem popsal v podkapitole 9.1, a proto se mu již nebudu dále věnovat. Nesplnění požadavků na výrobky se týká hlavně elektromagnetické kompatibility. Během návrhu není jasné, zda z hlediska EMC výrobek projde nebo ne. Přesto, že jsem se snažil na toto hledisko brát ohled je dost možné, že bude nutné provést dodatečná opatření, a to bez jistoty, že pomohou. Další hrozbu vidím v přísnějších ekologických opatřeních týkajících se efektivity a technologii výroby, což si pravděpodobně vyžádá novou verzi. Posledním bodem je vnímání odběratelů. Zde může být také velký problém, poněvadž by se jednalo o malosériovou výrobu, povědomí zákazníků o tomto produktu by bylo malé. To je ale možné změnit zlepšením marketingu (například začít sám oslovovat zákazníky).

### 14.3 Zhodnocení a zpracování výsledků

Vyhodnocení provedeme následujícím způsobem. Každému bodu v Tab. 14-1 přiřadíme číslo 0 až 1 reprezentující váhu a číslo od -5 až 5 reprezentující škálu. Pozitivní faktory škálujeme od 0 do 5 s tím, že 0 není ani silná ani slabá stránka. Následně vynásobením váhy a škály dojdeme k vážené škále, která již dává dobrý obrázek o tom, na co se zaměřit. Pokud nás zajímá, jak si na tom stojí jednotlivé kategorie mezi sebou, můžeme v jednotlivých kategoriích vážené škály sečíst a porovnat je mezi sebou.

Tab. 14-1 SWOT analýza

		váha:	škála:	vážená škála:	celkem:		váha:	škála:	vážená škála:	celkem:
interní analýza	<b>silné stránky</b>					<b>slabé stránky</b>				
	vysoký výkon	0,5	3	1,5	3,5	přímá r. momentu ještě není impl.	0,3	-2	-0,6	-4
	nízká prodejní cena	0,5	4	2		bez odpovídajícího interface	0,7	-5	-3,5	
externí analýza	<b>příležitosti</b>				1	<b>hrozby</b>				
	očekávaný vývoj	1	1	1		závislost na dodavatelích	0,3	-5	-1,5	-5
						nesplnění požadavků na výrobky	0,4	-5	-2	
						ekologie	0,2	-4	-0,8	
					vnímání odběratelů	0,1	-3	-0,3		

Z výsledků v Tab. 14-1 vidíme, že negativa převažují nad pozitivy. Pro obrácení této disproporce musíme negativní stránky eliminovat, případně potlačit, nebo posílit pozitivní. Pojďme si tedy jednotlivé body rozebrat. Větší výkon znamená větší náklady, a pokud nechceme hýbat s prodejní cenou, museli bychom se smířit se snížením naší marže, což nechceme. Očekávaný vývoj také nemůžeme ovlivnit, proto je nutné zaměřit se na věci, které změnit můžeme. Určitě je důležitá implementace přímé regulace momentu, ale ještě důležitější je nabídnout adekvátní interface, což se rozhodně nákladů výrazněji nedotkne a může zvrátit poměr pozitiv a negativ. Jako největší hrozbu vnímám nesplnění požadavků na výrobky v elektrotechnice, jelikož bych svůj produkt nemohl prodávat. Pokud bych je ale úspěšně splnil, stále bych se musel zaměřit na ostatní body, jako například na závislost na dodavatelích, které jsem se věnoval v kapitole 9.1. Nařízení týkající se ekologie neovlivním, ale vnímání odběratelů ano, a proto bych vyčlenil část finančních prostředků na propagaci výrobku.

## ZÁVĚR

Ačkoliv se návrh podařilo realizovat a splnil svou funkci, nešlo splnit všechny vytyčené cíle. Musel jsem jej několikrát revidovat, nejen kvůli nedostatku součástek na trhu, ale i kvůli chybám, kterých jsem se dopustil. Ne všechny se mi podařilo odhalit včas, těm na které se přišlo pozdě jsem věnoval jednu z kapitol. Některé na trhu nedostupné součástky jsem se pokoušel nahradit, ale například u čidla měření proudu bezúspěšně. Navíc není vůbec jasné, kdy budou mnou navržené součástky k dispozici. Kromě toho není jisté, zda malovýrobní podniky budou schopni garantovat dodání. Pokud se totiž na trh dostanou nějaké součástky jsou nabízeny pouze s minimálním odběrem, který se leckdy pohybuje v řádu tisíců.

Podnikatelský plán nevystihuje plně realitu. V průzkumu poptávky, který jsem za tímto účelem sestavil se nevyjádřilo dostatečné množství respondentů a někteří záměrně uváděli nesmyslné částky. Byl jsem tak nucen cenu upravit s přihlédnutím ke konkurenci. Plánované peněžní toky vycházejí z příliš optimistického scénáře a je nepravděpodobné, že by současná hodnota tohoto podnikatelského plánu byla tak vysoká. Vzhledem k vysokým technickým nárokům na výrobky v elektrotechnice není ani jasné, zda by můj produkt mohl jít na trh.

Při psaní této práce a realizaci svého návrhu jsem získal množství praktických zkušeností a nápadů na vylepšení. Pokusil bych se například získat více dat k lepšímu popsání poptávky. Kde je to možné volil bych SMD součástky a zvolil bych čtyřvrstvý plošný spoj. Lépe bych tak využil místa a zjednodušil proces montáže chladiče, který je časově náročný. Opravil bych také chyby vyplývající, ze špatného layoutu a zvolil aktuálně dostupné součástky abych dostal vytyčeným parametrům. Do ekonomické rozvahy by bylo potřeba správně počítat s několika vývojovými verzemi cca. dvěma až třemi, než by se podařilo získat výrobní verzi měniče.



## LITERATURA

- [1] PALAŠČÁKOVÁ, Pavla. Čipů bude dost nejdříve ve druhé půlce roku 2022. Rozbíhají se závody v navyšování výroby. E15.cz [online]. Praha: E15.cz, 2021 [cit. 2021-12-29]. Dostupné z: <https://www.e15.cz/byznys/prumysl-a-energetika/cipu-bude-dost-nejdrive-ve-druhe-pulce-roku-2022-rozbihaji-se-zavody-v-navysovani-vyroby-1386111>
- [2] Globální nedostatek na trhu elektronických součástek. Kdo je vinen a co dělat? Ipc2u.cz [online]. Praha: ipc2u.cz, 2021 [cit. 2021-12-29]. Dostupné z: <https://ipc2u.cz/blogs/news/globalni-nedostatek-na-trhu-elektronickyh-soucastek-kdo-je-vinen-a-co-delat>
- [3] Proprietární uzamčení. Wikipedie [online]. San Francisco: Wikipedie, b. r. [cit. 2021-12-29]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Propriet%C3%A1rn%C3%AD\\_uzam%C4%8Den%C3%AD](https://cs.wikipedia.org/wiki/Propriet%C3%A1rn%C3%AD_uzam%C4%8Den%C3%AD)
- [4] OTTA, Vlastimil. Závislost na jednom dodavateli. Metodický portál RVP.CZ [online]. Praha: RVP.CZ, 2011 [cit. 2021-12-29]. Dostupné z: [https://wiki.rvp.cz/Knihovna/1.Pedagogick%C3%BD\\_lexikon/S/Svobodn%C3%BD\\_software/Z%C3%A1vislost\\_na\\_jednom\\_dodavateli](https://wiki.rvp.cz/Knihovna/1.Pedagogick%C3%BD_lexikon/S/Svobodn%C3%BD_software/Z%C3%A1vislost_na_jednom_dodavateli)
- [5] Snižování nákladů (Cost-cutting). MANAGEMENT MANIA [online]. Wilmington: ManagementMania.com, 2018 [cit. 2021-12-29]. Dostupné z: <https://managementmania.com/cs/snizovani-nakladu-cost-cutting>
- [6] CHAL, Ján. Design to Cost – Jak snížit přímé náklady o desítky procent. Capability.cz [online]. Praha: Integrated Consulting Group, 2019 [cit. 2021-12-29]. Dostupné z: <https://capability.cz/design-to-cost-jak-snizit-prime-naklady-o-desitky-procent/>
- [7] FIALOVÁ, Helena a Jan FIALA. EKONOMICKÝ SLOVNÍK. 3. aktu. a rozš. vyd. Praha: A plus, 2014. ISBN 978-80-87681-02-2.
- [8] VÍTEK, Miroslav. Poptávková křivka není jenom teorie. 7.
- [9] FIALOVÁ, Helena a Jan FIALA. EKONOMICKÉ CHOVNÁNÍ: Příběhy o lidech, firmách a hospodaření vlády. Praha: A plus, 2013. ISBN 978-80-87681-00-8.
- [10] HÁJEK, Jiří prezentace předmětu Výroba výkonových zařízení, 2014
- [11] PAVELKA, Jiří, Zdeněk ČEŘOVSKÝ a Jiří LETTL. VÝKONOVÁ ELEKTRONIKA. 3. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2009. ISBN 978-80-01-03626-6.
- [12] KOBRLÉ, Pavel a Jiří PAVELKA. ELEKTRICKÉ POHONY A JEJICH ZAŘÍZENÍ. 3. přepracované vydání. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2019. ISBN 978-80-01-06007-0.
- [13] MAJLING, Eduard. HVDC – stejnosměrný přenos elektrické energie. OENERGETICE.CZ [online]. Třebíč: OM Solutions, 2017 [cit. 2022-03-08]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/technologie/hvdc-stejnosmerny-prenos-elektricke-energie>
- [14] Nařízení vlády č. 118/2016 Sb. In: . Praha, 2016, ročník 2016, číslo 118. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-118/zneni-20160420>
- [15] KÜNZEL, Karel, Václav PAPEŽ, Tomáš CETL, Jiří HÁJEK a Jaroslav ŽÁČEK. *Profesní vzdělávání v oblasti elektromagnetické kompatibility*. Praha: Česká elektrotechnická společnost, 2010. ISBN 978-80-02-02225-1.
- [16] *Nařízení vlády č. 117/2016 Sb.* In: . Praha, 2016, ročník 2016, číslo 117.
- [17] *Nařízení vlády č. 481/2012 Sb.* In: . Praha, 2012, ročník 2012, číslo 481.
- [18] Základní informace k problematice RoHS. *Ministerstvo průmyslu a obchodu* [online]. Praha: MPO, 2019 [cit. 2022-03-15]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/prumysl/prumysl-a-zivotni-prostredi/rohs-elektrozarizeni/zakladni-informace-k-problematice-rohs--158558/>
- [19] WEINZETTEL, Jan prezentace předmětu Výroba výkonových zařízení na téma Ekodesing
- [20] Uvedení výrobku na trh. *Česká obchodní inspekce* [online]. Praha, [cit. 2022-03-18]. Dostupné z: <https://www.coi.cz/pro-podnikatele/uvedeni-vyrobku-na-trh/>
- [21] WATANABE, E.H., M. AREDES, P.G. BARBOSA, F.K. DE ARAÚJO LIMA, R.F. DA SILVA DIAS a G. SANTOS JR. *Power Electronics Handbook*. 3. vydání. Butterworth-Heinemann, 2011. ISBN 9780123820365.
- [22] STEJSKAL, Petr. *Modulační techniky pro víceúrovňové střídače*. Praha, 2015. Diplomová práce. ČVUT. Vedoucí práce Ing. Pavel Kobrlé Ph.D.
- [22] ZÁHLAVA, Vít. *Návrh a konstrukce DPS: Principy a pravidla praktického návrhu*. Praha: BEN - technická literatura, 2010. ISBN 978-80-7300-266-4.

- [23] Printed Circuit Board Width Tool. Advanced Circuits [online]. Aurora, CO: Advanced Circuits, 2018 [cit. 2022-05-03]. Dostupné z: <https://www.4pcb.com/trace-width-calculator.html>
- [24] *Half Bridge Gate Driver (Isolated High & Non-Isolated Low): NCD57200* [online]. In: . [cit. 2022-05-03]. Dostupné z: <https://www.onsemi.com/pdf/datasheet/ncd57200-d.pdf>
- [25] JAKUBÍKOVÁ, Dagmar. *Strategický marketing*. Praha: Expert (Grada), 2008. ISBN 978-80-247-2690-8.



## PŘÍLOHA A: SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

### A.1 Seznam symbolů

=	stejnoseměrné napětí/proud
~	střídavé napětí/proud

### A.1.1 Seznam zkratk

lss	z ang. low side switch
hss	z ang. high side switch
AD	analogově digitální
TC	celkové náklady
VC	variabilní náklady
FC	fixní náklady
TVC	celkové variabilní náklady
AVC	průměrné variabilní náklady
AFC	průměrné fixní náklady
HPP	hlavní pracovní poměr
DPP	dohoda o provedení práce
TN	sít' s uzemněným uzlem a přímým spojením neživých částí s ním
IT	sít' s izolovaným uzlem, případně s uzlem uzemněným přes velkou impedanci a přímým uzemněním neživých částí
PCB	printed circuit board – plošný spoj
CE	z fran. conformité européenne
EMC	z ang. Electromagnetic compatibility
PWM	z ang. Pulse width modulation
RoHS	z ang. Restriction of the use of certain Hazardous Substances
EU	Evropská unie
PC	program counter