

UNIVERZITA PARDUBICE
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2017

Daniel Buben

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky

Návrh a realizace elektronického switche

Daniel Buben

Bakalářská práce

2017

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Akademický rok: 2016/2017

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Daniel Buben**
Osobní číslo: **I14002**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komunikační a mikroprocesorová technika**
Název tématu: **Návrh a realizace elektronického switche**
Zadávající katedra: **Katedra elektrotechniky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Cílem bakalářské práce je navrhnout a realizovat ethernetový switch pro použití ve stavědlech K-2002 a SIRIUS. Elektronický switch by měl být napájen z rozvodu 24V (s rozsahem 18 - 36V) a realizován v designu kazet OCcpu a OS1. Velikost elektronického switche by měla být volena pro zástavbu do vany SCHROFF výšky 3U. Konektivita by měla být 6x Ethernet 10/100 Mbit a 2x slot pro SFP modul. Připojení Ethernetu by mělo být pomocí konektorového dílu. Součástky použité při konstrukci ES1 by měly být v co největší míře kompatibilní s existujícími prvky (OS1, OCcpu). ES1 nahrazuje průmyslové Ethernetové switche umístované na DIN lištu. Součástí teoretické části bakalářské práce bude rešerše dostupných řešení na trhu.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

1. SHINDER, Debra Littlejohn. Počítačové sítě: nepostradatelná příručka k pochopení síťové teorie, implementace a vnitřních funkcí [sic]. Praha: SoftPress, c2003. Cisco systems. ISBN 80-864-9755-0.
2. ODOM, Wendell, Rus HEALY a Naren MEHTA. Směrování a přepínání sítí: autorizovaný výukový průvodce. Vyd. 1. Brno: Computer Press, 2009. Samostudium. ISBN 978-80-251-2520-5.
3. PERLMAN, Radia. Interconnections: bridges, routers, switches, and internetworking protocols. 2nd ed. Reading, Mass.: Addison Wesley, c2000. Addison-Wesley professional computing series. ISBN 02-016-3448-1.
4. KUROSE, James F. a Keith W. ROSS. Počítačové sítě. 1. vyd. Brno: Computer Press, 2014. ISBN 978-80-251-3825-0.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jan Pidanič, Ph.D.

Katedra elektrotechniky

Datum zadání bakalářské práce:

31. října 2016

Termín odevzdání bakalářské práce:

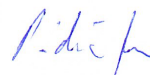
12. května 2017



Ing. Zdeněk Němec, Ph.D.
děkan



L.S.



Ing. Jan Pidanič, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 15. listopadu 2016

Prohlášení autora

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 10. 05. 2017

Daniel Buben

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat svému vedoucímu práce Ing. Janu Pidaničovi, Ph.D., za vedení mé práce, za čas, který mi věnoval a za užitečné rady. Také bych rád poděkoval firmě Starmon s.r.o. a jejím pracovníkům, za podporu ve studiu a při tvorbě této práce.

ANOTACE

Práce pojednává o návrhu vlastního řešení ethernetového switche. Switch má konektivitu 6x ethernet 100Mb/s a 2x slot pro SFP modul. Podmínkou je také industriální rozsah teplot a zasazení do vany SCHROFF 3U.

KLÍČOVÁ SLOVA

Switch, ethernet, industrial, SFP

TITLE

The Development of Electronic Switch

ANNOTATION

The Bachelor thesis deals with a market research and a design of its own Ethernet switch solution. The switch has 6x Ethernet 100Mbps connectivity and 2x SFP module slot. Industrial temperature range and installation into SCHROFF 3U tub is also a condition.

KEYWORDS

Switch, Ethernet, industrial, small form-factor pluggable

OBSAH

0	Úvod.....	13
1	Teoretická část	14
1.1	Co je vlastně Ethernet	14
1.1.1	ISO/OSI model	14
1.1.2	Ethernetový rámec	15
1.2	Síťové prvky ethernetu.....	15
1.3	Ethernetový switch.....	16
1.3.1	Způsoby přeposílání rámců.....	17
1.4	SFP port.....	17
1.5	Dostupná řešení na trhu.....	18
1.6	Výběr vhodného čipu	21
2	Praktická část	23
2.1	Blokové schéma	23
2.2	Napájecí zdroj	23
2.3	Ethernetový switch.....	28
2.4	Signálové transformátory a vedení diferenciálního signálu.....	33
2.5	SFP moduly a jejich připojení ke switchi	37
2.6	Návrh DPS a osazení.....	39
2.6.1	Rozpiska verzí.....	41
2.7	Oživování, měření a testy zařízení	42
2.8	Návrh dalších komponent	44
3	ZÁVĚR	45
4	POUŽITÁ LITERATURA	46
5	Přílohy.....	48

SEZNAM ILUSTRACÍ A TABULEK

Obrázek 1 – ISO referenční vrstevný model	14
Obrázek 2 – Struktura ethernetového paketu a rámce podle IEEE 802.3 [1], [3]	15
Obrázek 3 – Konektorová jeskyně značky Amphenol [4]	17
Obrázek 4 – Switch Korenix JetNet 2005 [5]	18
Obrázek 5 – Switch Korenix JetNet 2005f [5]	18
Obrázek 6 – Planet a) IGS-10020PT b) IGS-624HPT c) ISW-514PSF d) IGS-801T [6]	19
Obrázek 7 – a) MEN F301 b) MEN SF2 c) ABACO Systems GBX411 [8], [9]	20
Obrázek 8 – Blokové schéma elektronického switche	23
Obrázek 9 – Blokové schéma napájecího zdroje	23
Obrázek 10 – Schéma první části zdroje (na výstupu TRACA je 3,3V)	24
Obrázek 11 – Schéma druhé části zdroje (na výstupu napěťového regulátoru je 2,1V)	25
Obrázek 12 – Schéma doporučeného zapojení stabilizátoru [12]	26
Obrázek 13 – Schéma třetí části zdroje	27
Obrázek 14 – Blokové schéma KSZ8999 [13]	28
Obrázek 15 – Schematická značka KSZ8999 a její zapojení [13]	29
Obrázek 16 – Zapojení signalizačních LED diod, fungujících i jako pull-up odpory	30
Obrázek 17 – Zapojení obvodu resetu	31
Obrázek 18 – Konfigurační odpory ke KSZ8999	32
Obrázek 19 – Ukázka výhody diferenciálního vedení v odolnosti [3]	33
Obrázek 20 – Vnitřní zapojení izolačního transformátoru od Wurth Elektronik [14]	34
Obrázek 21 – Schéma zapojení signálového transformátoru a zakončení vedení	35
Obrázek 22 – Vnitřní zapojení ESD ochrany firmy TEXAS INSTRUMENTS [15]	36
Obrázek 23 – Cesta ethernetového vedení	36
Obrázek 24 – Konektor pro připojení SFP modulu [4]	37
Obrázek 25 – Schéma připojení SFP modulu [18]	37
Obrázek 26 – Zakončení vedení od SFP slotu	38
Obrázek 27 – Výměnné moduly do SFP slotu	38
Obrázek 28 – Rozvržení vnitřní vrstvy pro GND [13]	39
Obrázek 29 – Kreslení diferenciálních párů na DPS (u konektoru Harting)	40
Obrázek 30 – DPS z Prago Boardu (verze switchu 2.0)	41
Obrázek 31 – UDP stresser	42

Obrázek 32 – a) měřič izolačního odporu MI315 b) upravený UTP kabel pro měření pevnosti RX a TX.....	43
Obrázek 33 – Pohled na konektorový díl (zespod je zpevněn výztuží).....	44
Tabulka 1 – Přehled výše zmíněných průmyslových switchů.....	20
Tabulka 2 – Přehled výše zmíněných čipů od firmy Microchip.....	21
Tabulka 3 – Soupiska verzí switche	41
Tabulka 4 – Měření odběru při různých teplotách.....	43

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

ADJ	Adjustable
DC	Direct current (stejnoseměrný proud)
DIN	Deutsche Industrie Norm
DPS	Deska plošných spojů
EMC	Electromagnetic compatibility (elektromagnetická kompatibilita)
EMI	Electromagnetic interference (elektromagnetické rušení)
ES1	Elektronik switch 1
ESD	ElectroStatic Discharge
GND	Ground
GND A	Analog Ground
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IP	Internet Protocol
ISO	International Organization for Standardization
LAN	Local Area Network
LED	Light-Emitting Diode
LOS	Loss Of Signal
MAC	Medium Access Control
MII	Media-independent interface
PCB	printed circuit board
PE	Protective earth
PHY	Physical layer
POE	Power Over Ethernet
PPTC	Polymeric Positive Temperature Coefficient (Vratná pojistka)

PQFP	plastic quad flat pack (typ pouzdra SMD)
RX, TX	Receive and Transieve pair
SFP	Small Form-factor Pluggable
SMD	Surface Mount Device
UDP	User Datagram Protocol
UTP	Unshielded Twisted Pair
VLAN	Virtual Local Area Network
WIFI	označení pro několik standardů IEEE 802.11

0 ÚVOD

Bakalářská práce se zabývá návrhem a realizací elektronického switche. Switch by měl být napájen z 24 V (rozsah 18 až 36) a splňovat teplotní rozsah alespoň -20 °C až +50 °C. Také by měl splňovat konektivitu 6x 100Mb ethernet a 2x SFP modul pro připojení optiky. Dále by pak také switch měl být umístěn ve vaně SCHROFF 3U a veškeré připojení by mělo být přes konektorový díl.

Teoretická část práce se zabývá teorií ethernetových sítí. Jsou v ní rozebrány nejzákladnější vrstvy síťové komunikace, a ISO/OSI model. Také se zde zmiňují o SFP slotu a optice. V dalších kapitolách se budu věnovat průzkumu vhodných zařízení na trhu, a protože tato řešení nevyhovují, tak následuje průzkum vhodných řešení vlastního switche.

Praktická část práce pojednává o návrhu vlastní switche. Je zde postupně v jednotlivých kapitolách rozebrán návrh zdroje, návrh a konfigurace switche. Dále pak problematika a nutné znalosti k vedení a práci s diferenciálním signálem a také především připojení SFP slotu. Praktická část končí návrhem vlastní DPS, jejím oživením a několika dostupnými testy, které jsem mohl provést v domácím prostředí. Vlastní návrh DPS bude proveden v softwaru KiCad a měl by mít 4 nebo 6 vrstev.

Poslední část práce obsahuje přílohy, kde jsem přiložil jednotlivé vrstvy DPS a fotografie hotového zařízení a dalších dílů.

Tento switch (ES1 – electronic switch) bude nasazován do stavek K-2002 a SIRIUS, kde bude spolu s kazetou ER1 (electronic router) zajišťovat komunikaci jednotlivých prvků v zabezpečovací technice.

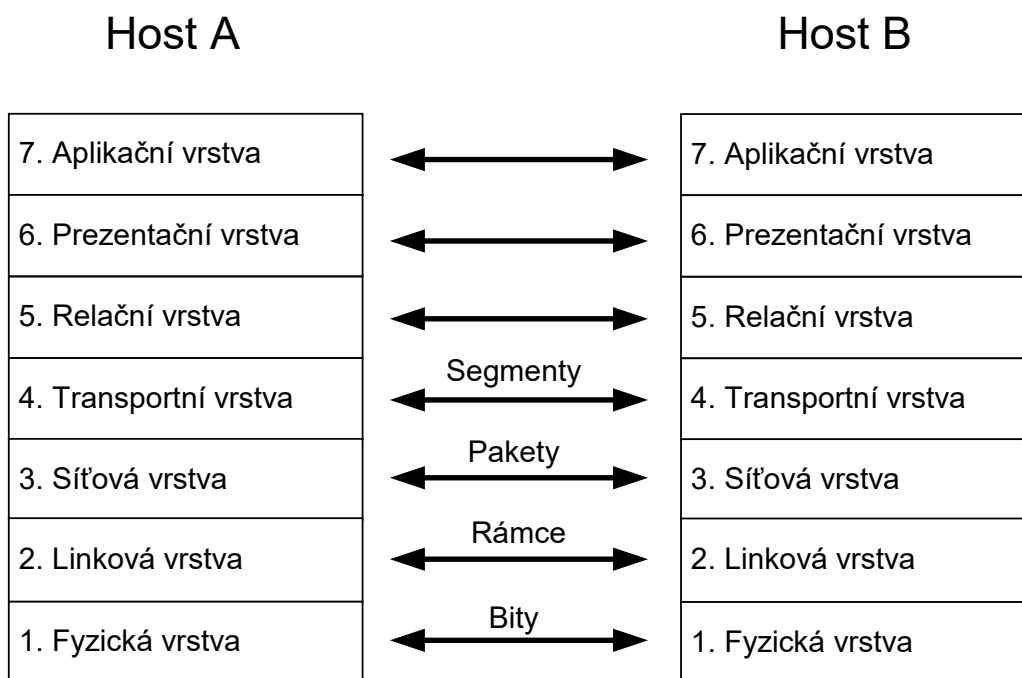
1 TEORETICKÁ ČÁST

1.1 Co je vlastně Ethernet

Jedná se o nejrozšířenější jednotnou síť, která je standardizována jako IEEE 802.3 a provozuje se celá na optických vláknech, kroucené dvoulince a koaxiálních kabelech (případně bezdrátově). Síť ethernet realizují fyzickou a linkovou vrstvu ISO modelu (viz Obrázek 1). V dnešní době se tyto sítě používají na propojení mezi počítači, notebooky, tiskárnami, servery, datovými uložisti, a i WIFI přístupovými body. Dnešním základem je, že každé zařízení, které je vybaveno konektivitou LAN, tak má konektor 8P8C (RJ-45) a má minimální rychlost portu 100Mb/s. [1], [2], [3]

1.1.1 ISO/OSI model

Je to referenční model počítačové sítě, který předvádí principiální funkci komunikace v počítačových sítích. Tento model je složený z různých vrstev, viz Obr. 1. Ovšem není jediný, existují i další modely.



Obrázek 1 – ISO referenční vrstvý model

V bakalářské práci se věnuji především prvním dvěma vrstvám, a to Fyzické a Linkové vrstvě. [3]

1.1.2 Ethernetový rámec

Veškerá komunikace v síti ethernet probíhá v tzv. paketech, které představují jednoduché bloky, obsahující MAC adresy, data, a kontrolní bajty. Díky tomuto systému můžeme jednoduše požádat o zpětné zaslání dat, v případě že nedojdou v pořádku. Ethernetový rámec obsahuje hlavičku s MAC adresami zdroje a cíle, přenášena data a kontrolní součet. Ethernetový rámec je vytvářen/zpracováván v linkové vrstvě. Vezmeme-li rámec ethernetu a přidáme k němu preambuli a oddělovač začátku rámce, které se nacházejí na fyzické vrstvě, tak máme ethernetový paket (viz. Obrázek 2).

Vrstva	Preamble	Oddělovač začátku rámce	MAC adresa cíle	MAC adresa zdroje	802.1Q tag (volitelný)	Délka/Typ	Datové pole	Kontrolní posloupnost rámce (32bitovýCRC)	Mezera mezi pakety
	7 bajtů	1 bajt	6 bajtů	6 bajtů	(4 bajty)	2 bajty	46(42) 1500 bajtů	4 bajty	12 bajtů
Ethernetový rámec (linková vrstva)			<-64-1518(1522) bajtů->						
Ethernetový paket (fyzická vrstva)	<- 72-1526(1530) bajtů->								

Obrázek 2 – Struktura ethernetového paketu a rámce podle IEEE 802.3 [1], [3]

- Preamble – Jedná se o sekvenci střídajících se nul a jedniček sloužících k synchronizaci přijímače.
- Oddělovač začátku rámce – obdoba preamble, pouze jsou na konci dvě jedničky, které značí skutečný začátek rámce
- MAC adresa cíle – Adresa cílového zařízení
- MAC adresa zdroje – Adresa zdrojového zařízení
- Volitelný tag 802.1Q – Indikuje příslušnost k VLAN a prioritu podle IEEE 802.1p
- Délka/Typ – Udává délku pole v bajtech
- Datové pole – Obsahuje data, v případě, že jsou kratší než 46 bajtů jsou doplněna nulami
- Kontrolní posloupnost rámce – Kód CRC, který zabezpečuje MAC adresy a data.

1.2 Síťové prvky ethernetu

Pro vytvoření celosvětové počítačové sítě jsou potřeba prvky, které umožní vzájemně propojit velké množství počítačů. Normálně by bylo možné vzájemně propojit pouze dvě zařízení, ale

ovšem díky síťovým prvkům máme možnost připojit mnohem více zařízení, a dokonce i s různými přenosovými rychlostmi. Dělí se na aktivní a pasivní, pasivní prvky jsou kabely, které celou síť spojují. Aktivní prvky pak jsou [1], [3]:

- Repeater (opakovač) – Přijímá signál (například zarušený), a posílá ho dál, ale obnovený a se správným časováním a tento prvek patří do fyzické vrstvy ISO modelu.
- Hub (rozbočovač) – Jedná se o prvek, který spojuje celou síť a má vlastnostmi repeatru. Hub spojuje několik zařízení a co do něj přijde, tak pošle obnovené dál. Ale pošle to všem, a ne jenom tam, kam to patří.
- Bridge (most) – Spojuje dvě části sítě, pracuje na linkové vrstvě a slouží k oddělení dvou oblastí a zmenšení vytížení. Ve chvíli, kdy na něj paket přijde z jedné oblasti a bridge pozná, že paket má jít na zařízení ve stejné oblasti, tak ho pošle pouze tam, a ne do celé sítě.
- Switch (přepínač) – Propojuje jednotlivé části sítě a pracuje na linkové vrstvě. Umí bezpečněji spojovat jednotlivé části sítě. Jakmile přijde paket, tak ho pošle jenom tam, kam je určený, a ne do celé sítě.
- Router (směrovač) – Je zařízení pracující na třetí síťové vrstvě. Jeho činnost je tzv. routování, které přeposílá pakety podle IP adres zařízení. Může to být počítač s možností routování, ovšem nejčastěji se jedná o specializovaný hardware.

1.3 Ethernetový switch

Switch je zařízení, které spojuje jednotlivé prvky sítě, podle toho, kam má který paket jít. Může mít až několik stovek portů, na které se připojují jednotlivá zařízení, nebo případně celé části sítě. Switch funguje tak, že na něj přijde paket a v tu chvíli si začíná stavět tabulku MAC adres. Paket je odeslán na všechny porty, a podle toho odkud přijde odpověď, určí příjemce a nadále už přeposílá pakety pouze mezi těmito dvěma zařízeními. Toto je možné díky tomu, že switch pracuje na linkové vrstvě a umí nahlédnout do hlavičky rámce, aby si přečetl MAC adresu odesílatele a příjemce.

Switche mají ovšem problém se smyčkami (když mezi dvěma zařízeními existuje více cest). To umí samy řešit pomocí protokolu Spanning tree protocol. Ten funguje tak, že si switch vybere pouze jednu z několika možných cest a posílá pouze na ni. V případě odpojení kabelu z portu, si umí zase zpětně zpřístupnit jinou cestu, kterou předtím uzavřel. Switche nabízejí i pokročilejší funkce, například LAN switching. Normální switch pracuje na linkové vrstvě a

rozhoduje o cestě pomocí MAC adres. Ovšem jsou i switche pracující na síťové vrstvě a rozhodují pomocí IP adres, které pracují také na transportní vrstvě, kdy se rozlišuje podle čísla portu. [1], [2], [3]

1.3.1 Způsoby přeposílání rámců

Switch přeposílá rámce několika způsoby:

- Store and forward – Přijme rámec z jednoho zařízení, prozkoumá jeho hlavičku a zkontroluje podle kontrolních bajtů, potom ho celý přepošle.
- Cut-trough switching – Nečeká se až dojde celý rámec, ale hned po přijmutí a dekodování hlaviček začíná posílat na správný port.
- Fragment free – Čeká na přijetí 64 bitů, v tu chvíli ví, že nedošlo ke kolizi a začíná posílat. Má to smysl pouze v sítích, kde je Hub.
- Adaptive switching – Automaticky přepíná mezi prvními dvěma metodami.

1.4 SFP port

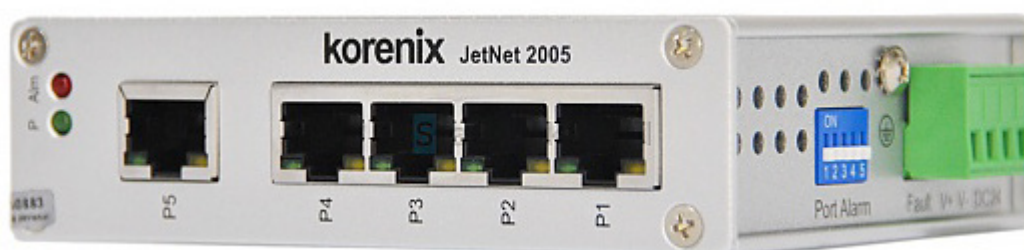
Anglicky small form-factor pluggable, je port na konektor pro připojení k optické síti. Ovšem lze sem připojit i klasické metalické vedení, to záleží na modulu, který je v portu vložen. V podstatě je to konektor na DPS (viz. Obrázek 3), do které se vloží modul pro připojení k optické síti nebo k metalické. Moduly na optickou síť jsou v provedení 2 portů a každý má svůj simplex jedná se o RX a TX, nebo v provedení half-duplexu, kdy se střídá komunikace v jednom vláknu. [18]



Obrázek 3 – Konektorová jeskyně značky Amphenol [4]

1.5 Dostupná řešení na trhu

Nynějším alternativním řešením jsou switche firmy Korenix [5]. Jmenovitě se jedná o switche Korenix JetNet 2005 (viz. Obrázek 4) a Korenix JetNet 2005f (viz. Obrázek 5), které vyhovují požadavkům (s jistými omezeními). Jsou to 5-ti portové switche s instalací na DIN lištu. Může se jednat o pět ethernetových portů (JetNet 2005), nebo o čtyři ethernetové porty a jeden optický (JetNet 2005f). Switche musíme kombinovat, abychom dostali minimálně dva optické porty a dostatečné množství ethernetových portů. Tyto switche představují stávající řešení.



Obrázek 4 – Switch Korenix JetNet 2005 [5]



Obrázek 5 – Switch Korenix JetNet 2005f [5]

Jednou z dalších alternativ jsou switche značky Planet [6], například Planet IGS-10020PT. Jedná se o 8 ethernetových portů a 2 SFP moduly. Jeho nevýhodou je vysoká cena a zbytečné gigabitové porty. Opět je na DIN lištu nebo přímo na zeď.

Všechny switche, které uvedu do výběru musí také splňovat požadovaný teplotní rozsah (industrial -40°C až 80°C), díky čemu cena switche značně roste. Firma Planet má více zajímavých switchů (viz. Obrázek 6), ovšem bylo by je nutné kombinovat pro dosažení požadovaného počtu potřebných portů. Planet IGS-624HPT je switch se 4 ethernetovými porty, pro naše využití opět zbytečně gigabitové porty a také má 2 optické porty.



Obrázek 6 – Planet a) IGS-10020PT b) IGS-624HPT c) ISW-514PSF d) IGS-801T [6]

Dalším zajímavým řešením je Planet ISW-514PTF, jenž má čtyři 100 megabitové porty a jeden optický. Je podobný stávající alternativě v podobě switchu značky Korenix, a také má možnost napájení z 24 V, zatímco předešlé dva switche Planet měli napájení ze 48 V. Posledním zajímavým switchem od firmy Planet je IGS-801T. Má 8 gigabitových portů, ale nemá žádnou optiku, ovšem splňuje teplotní podmínky a je ze všeho nejlevnější, a to pod hranicí 5 tisíc korun.

Nyní bude provedeno srovnání switchů do vany SCHROFF U3.

Jak je vidět, tak switchů na DIN lištu je dostatek, nyní se přesuneme na switche do vany SCHROFF U3. Těch je k sehnání podstatně méně. Jediné firmy, které vyhovovaly tomuto průzkumu jsou MEN [8], Kontron [7] a ABACO Systems [9] (Obrázek 7).

Firma MEN nabízí switche F301 SF2, oba mají 8x 100Mb port, ovšem žádný optický. Firma Kontron nabízí switch CP 932, který má 5x 1Gb port, ovšem žádný optický.

Jediným switchem do vany 3U, nabízejícím připojení pro optiku, je switch GBX411 od ABACO Systems. Ten splňuje požadované počty ethernetových i optických portů, ovšem nemá vhodný konektor.



Obrázek 7 – a) MEN F301 b) MEN SF2 c) ABACO Systems GBX411 [8], [9]

Pro upřesnění a udělení si pořádku ve zmíněných produktech byla vyhotovena přehledová tabulka, ze které se udělá závěr (Tabulka 1).

Tabulka 1 – Přehled výše zmíněných průmyslových switchů

Výrobce	Název	instalace	provozní teplota	Napájení	počet ethernetů	počet SFP	cena
Korenix	JetNet 2005-w	DIN lišta	-40 až 75°C	18-32V (24V)	5x 10/100Base-TX	0	-
Korenix	JetNet 2005f	DIN lišta	-40 až 75°C	18-32V (24V)	4x 10/100Base-TX	1x 100Base-FX	-
Planet	IGS-10020PT	DIN lišta	-40 až 75°C	48V	8x 10/100/1000Base-T	2x 1000BASE-SX/LX/BX and 100Base-FX	12 236 Kč
Planet	IGS-624HPT	DIN lišta	-40 až 75°C	48V	4x 10/100/1000Base-T	2x 1000Base-SX/LX and 100Base-FX	10 811 Kč
Planet	ISW-514PTF	DIN lišta	-40 až 75°C	24/48V	4x 10/100Base-TX	1x 100Base-FX	5 743 Kč
Planet	IGS-801T	DIN lišta	-40 až 75°C	12-48V (24V)	8x 10/100/1000Base-T	0	3 998 Kč
Kontron	CP932	3U	-40 až 85°C	5V	5x 10/100/1000Base-TX	0	-
MEN	F301	3U	-40 až 85°C	5V/3,3V	8x 10/100Base-T	0	-
MEN	SF2	3U	-40 až 85°C	14,4 až 154 V	8x 10/100Base-T	0	-
ABACO systems	GBX411	3U	-40 až 85°C u Layer 5	-	10x 10/100Base-T	2x 10GBase-SR/LR/ER	-

Hlavním kritériem při výběru bylo se řídit dle zadání. Z toho vyplývá, že switche na DIN lištu jsou nepoužitelné, ač Planet IGS-10020PT by byl vhodný.

Při průzkumu switchů do vany SCHROFF 3U [16] bohužel žádný switch nevyhovoval. Tím se dostávám k návrhu vlastního řešení, protože dle zadaných požadavků s danými parametry neexistuje na trhu žádné vhodné řešení. Z toho důvodu se bude další kapitola zabývat výběrem vhodného řešení pro vlastní realizace switche.

1.6 Výběr vhodného čipu

Pro tuto realizaci se jeví jako vhodná tři řešení:

1. Použít čip, který má 8x PHY
2. Použít čip, který má 5x PHY, a takové dva čipy propojit. Toto řešení se jeví zajímavé, protože často existuje čistě ethernetová verze a u stejného čipu také verze kdy je ethernet kombinovaný s FX a toto řešení se cenově pohybuje kolem prvního řešení.
3. Provést tento úkol by bylo také možné pomocí 8 PHY, které komunikují například po sběrnici I2C a přidat k nim procesor, který by to řídil.

Ovšem samozřejmě nejdůležitějším faktorem bude výsledná náročnost a cena řešení.

Ze srovnání čipů, viz. Tabulka 2, vyplývá, že možným řešením by bylo použít čip od firmy Microchip KSZ8999 [13]. Jedná se o čip, který má 8x PHY, a na každé z nich může být SFP modul nebo klasický ethernetový port. Podobnou funkci by mohl vytvořit čip KSZ8895, kdy by byl jednou použit čistě s ethernetovými porty, kde stojí kus 183 korun a druhý by potom byl použit se 3 ethernetovými porty a dvěma optickými, který stojí 359 korun. Spojením těchto dvou nám vznikne řešení, které vyjde dokonce levněji než pomocí KSZ8999. [10]

Tabulka 2 – Přehled výše zmíněných čipů od firmy Microchip

Výrobce	Název	provozní t.	Napájení	Interface	PHY	MAC	ethernet	optika	cena
Microchip	KSZ8999	-40 až 85°C	3,3V	MII	8	9	8x10/100	8x100FX	791 Kč
Microchip	KSZ8895	-40 až 85°C	3,3V	MII/RMII	4	5	5x10/100	-	183 Kč
Microchip	KSZ8895	-40 až 85°C	3,3V	MII/RMII	4	5	4x10/100	2x100FX	359 Kč
Microchip	KSZ8873	-40 až 85°C	3,3V	MII(2)/RMII	2	3	2x10/100	2x 100FX	182 Kč
Microchip	KSZ8863	-40 až 85°C	3,3V	MII(2)/RMII	2	3	2x10/100	1x 100FX	151 Kč
Microchip	KSZ8893	-40 až 85°C	3,3V	MII(2)/RMII	2	3	2x10/100	?x FL,SX,FX	320 Kč
Microchip	KSZ8993	-40 až 85°C	3,3V	MII(2)/RMII	2	3	2x10/100	?x FL,SX,FX	-

Všechny vybrané čipy jsou od firmy Microchip [10], jiná dostupná řešení nebyla nalezena.

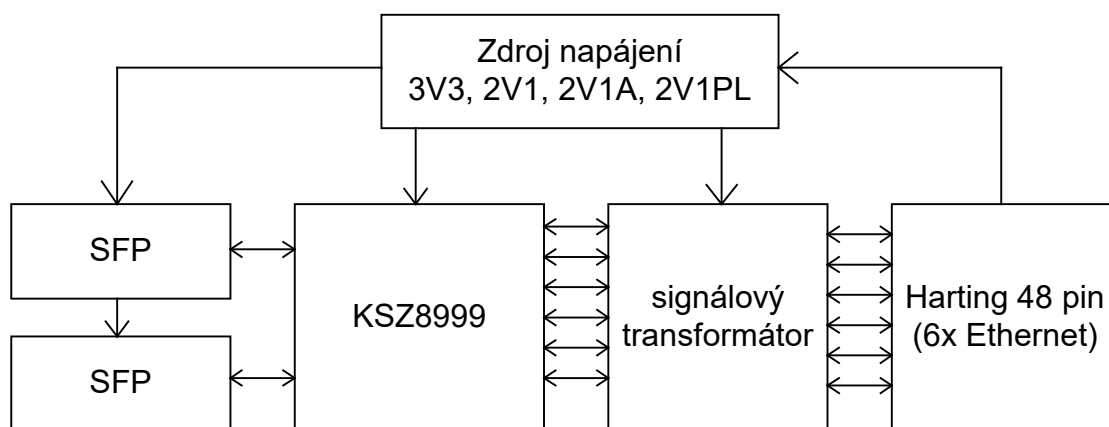
Při výběru čipů do přehledu se nesmělo opomenout, že musí být všechny industrial, tedy aby splňovali teplotní rozdíl od -40°C do +85°C. Všechny ceny jsou z obchodu Mouser [19] (ke dni 14.3.2017). Z průzkumu vyplývá ještě jedno velice zajímavé řešení, kdy by se použil dvakrát KSZ8895 s 5 ethernetovými porty. Ty by se spojili k sobě a k tomu by se přidal jeden 3-portový KSZ8873FLL. V tu chvíli je toto řešení cenově na 2x 183Kč + 182Kč. Kdy za 550 korun máme šest ethernetových portů a 2 SFP moduly a zbyde ethernetový port, na který by

se mohl posadit procesor s jedním ethernetovým PHY. Tím bychom měli switch, který splňuje požadavky na počet portů, vyjde s podobnou cenou jako KSZ8999, a navíc by mohl mít vzdálenou správu a popřípadě i nějakou diagnostiku za pomoci zvoleného procesoru.

2 PRAKTICKÁ ČÁST

2.1 Blokové schéma

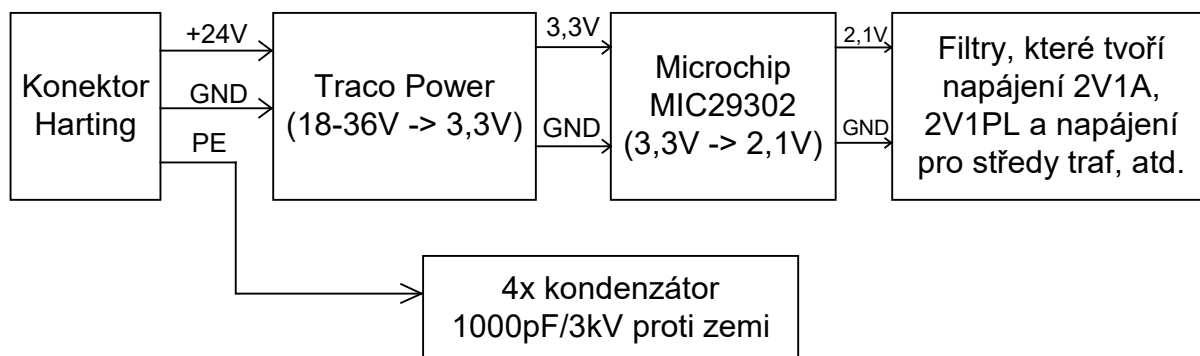
Jak je vidět níže na blokovém schématu (viz. Obrázek 8), tak byl pro vlastní návrh switche vybrán čip KSZ8999 [13], který bude požadovanému řešení vyhovovat. Postupoval jsem podle zadaných požadavků, takže je vidět, že switch bude mít dva SFP moduly, do kterých se dá vložit optický modul (na různé vzdálenosti), nebo metalický modul, a také 6 ethernetů. Ty budou připojeny pomocí konektoru od firmy Harting [20] (48 pinový průmyslový konektor).



Obrázek 8 – Blokové schéma elektronického switche

2.2 Napájecí zdroj

Napájení je složeno z několika jednotlivých stupňů. První tvoří zdroj 3,3V, a to ze vstupního napájecího napětí 24V (s kolísáním 18-36V). Druhou částí zdroje je transformace ze 3,3V na 2,1V a takovou pomyslnou třetí částí je vytvoření napětí 2V1A a 2V1PL pomocí filtračních cívek a kondenzátorů. Níže můžeme vidět blokové schéma zdroje (viz. Obrázek 9).



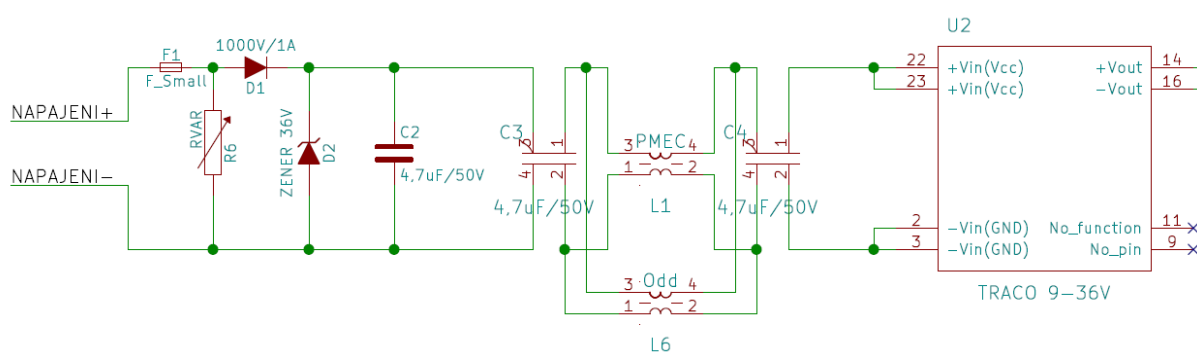
Obrázek 9 – Blokové schéma napájecího zdroje

Veškeré napájení, 24V, GND a PE, je přivedené skrze konektor Harting, přes který jsou spolu s napájením přivedeny i Ethernetové linky. Pro větší rezervu jsou napájecí piny skrze konektor zdvojeny.

Tím se přes konektor dostáváme do DPS, kde jsou následně ochrany v podobě tepelné vratné pojistky (PPTC), varistoru, diody zapojené v sérii (proti přepólování) a zenerové diodě (36V), která chrání zařízení proti přepětí. Dále mám na vstupu za těmito ochranami filtrační cívky, proti nežádoucímu rušení (šum, špičky atd.). Odborně jsou tyto cívky nazývány EMI filtrační ochrany.

Po vyřešení základní ochrany, přistoupíme k výběru stabilizátoru, který bude mít rozsah vstupních napětí minimálně od 18V do minimálně 36V, a na výstupu bude poskytovat 3,3V a alespoň 1,5A. Původní řešení bylo počítat pulzní zdroj realizovaný za pomoci čipu (step down) a výkonové tlumivky. Ovšem na první verzi DPS se objevovalo rušení, které pravděpodobně pocházelo ze zdroje, ač byla DPS okolo zdroje vylita polygony. Přistoupil jsem na sice poněkud dražší řešení, ale mnohem odolnější a kvalitnější. Rozhodl jsem se použít zdroj od firmy TracoPower [11], který zaručí mnohem lepší vlastnosti celého zdroje.

Jedná se o zdroj TEN 6-2410N, je to izolovaný DC/DC převodník, který má rozsah vstupního napětí 18 až 36V, na výstupu má 3,3V a je schopný dodat až 6W. Jelikož je izolovaný, tak z něho nevyzařuje téměř žádné EMI (Electromagnetic interference – elektromagnetické rušení), a to ani do DPS, ani pro blízké okolí (například kazety, které budou hned vedle switchu v panelu 3U). Níže na obrázku je vidět schéma první části zdroje, viz Obrázek 10.

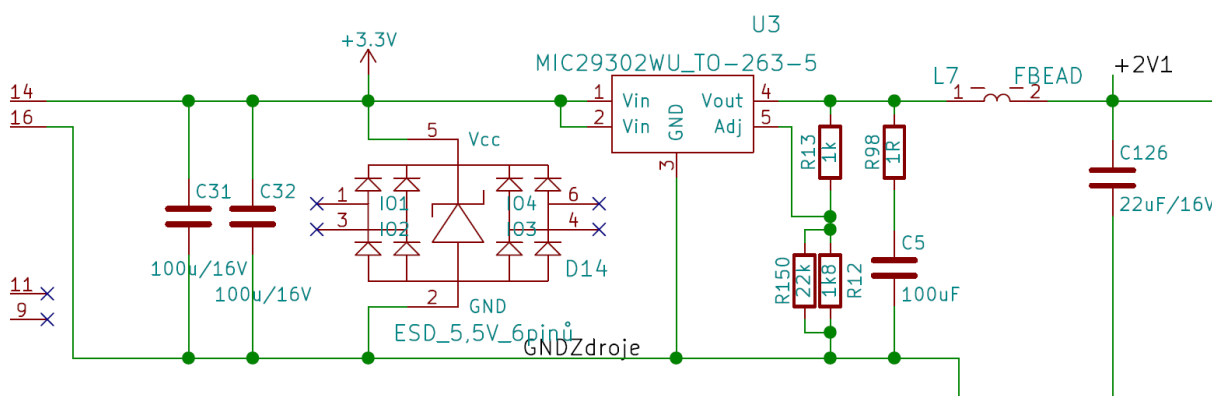


Obrázek 10 – Schéma první části zdroje (na výstupu TRACA je 3,3V)

Na obrázku je také vidět, že jsou ve schématu paralelně dvě odrušovací cívky. Je to z důvodu možnosti pozdější volby, která z nich bude osazena (z důvodu ceny, popřípadě dostupnosti). Je to velice dobře proveditelné, protože se jejich patice na DPS dají dát do sebe a nezaberou tak dvojnásobek místa. Jedna odrušovací cívka je od české firmy PMEC a vyjde přibližně na

40 korun a druhá je od Muraty (BNX002-01), a ta vyjde na 216 korun. Cívka od firmy Murata nepotřebuje pomocné kapacity, protože je již obsahuje. K druhé cívce je nutné je doplnit. Jedná se o čtyři vývodové kondenzátory, co jsou před a za cívkami. Jsou to SMD kondenzátory v pouzdru 1206, pouze na ně mám speciální footprint. Jedná se opět o jistou ochranu, kdy mám power plošku a zemní plošku a v případě, že by se kondenzátor odtrhnul z DPS, tak se tím rozpojí ta určitá cesta.

Tím bych mohl přistoupit k druhé části zdroje (viz. Obrázek 11), a to k vytvoření napájení pro hlavní čip, který bude napájen napětím 2,1V a při vytížení všech linek si vezme 850 mA. Po celkem dlouhém pátrání bylo rozhodnuto použít nastavitelný stabilizátor od firmy Microchip. Jeho vstupní napětí se může pohybovat od 2V do 26V, to je splněno, protože bude fungovat na 3,3V a umožňuje výstup 1,27V až 25V a to až 3A, což také splňuje požadavky. Bylo potřeba ho nastavit tak, aby měl na výstupu 2,1V. [12]



Obrázek 11 – Schéma druhé části zdroje (na výstupu napěťového regulátoru je 2,1V)

Máme zde schéma druhé části zdroje, vidíme na něm část zdroje od výstupu z Traca, až po výstup ze stabilizátoru na 2,1V. Na výstup z Traca byly dodány dva 100uF tantalové kondenzátory na 16 V, aby byla dostatečně posílena stabilizace napětí, a opět zde byla umístěna ochrana proti přepětí (D14). Více o této ochraně se nachází v kapitole k ethernetovým linkám a signálovému transformátoru.

Níže je uveden výpočet ztrátového výkonu stabilizátoru, který činí přibližně 1W, tudíž bude chlazen pouze pomocí rozlitého polygonu.

Ztrátový výkon stabilizátoru MIC29302 [12]:

$$P = (U_1 - U_2) * I$$

$$P = (3,3 - 2,1) * 0,85$$

$$P = 1,02 \text{ W}$$

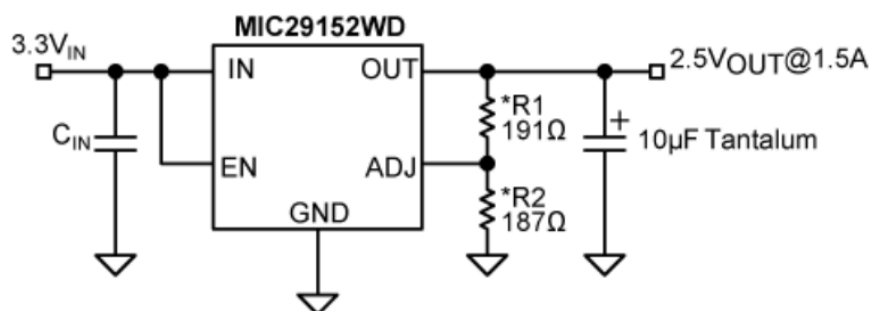
kde,

P – ztrátový výkon stabilizátoru,

U_1 – napětí na vstupu stabilizátoru,

U_2 – napětí na výstupu ze stabilizátoru,

I – proud protékající stabilizátorem.

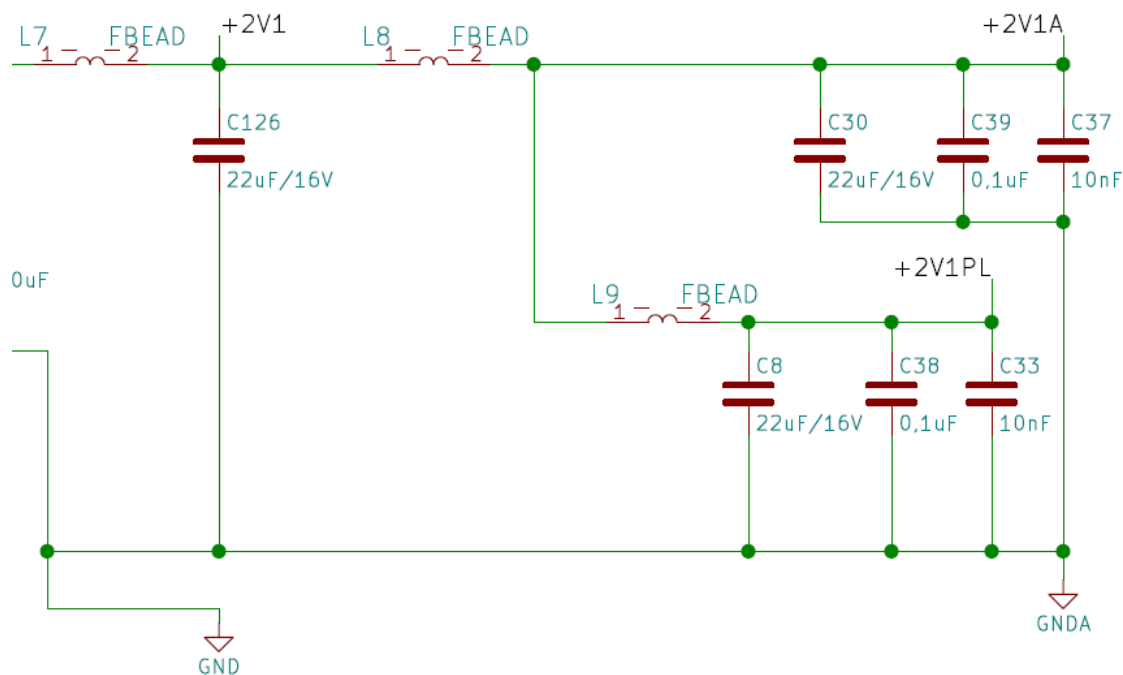


Adjustable Output Voltage
(*See Minimum Load Current Section)

Obrázek 12 – Schéma doporučeného zapojení stabilizátoru [12]

Z obrázku (Obrázek 12) je vidět, že pomocí odporů R1 a R2 je nastavováno napětí do vývodu ADJ, který reguluje zesílení operačního zesilovače uvnitř stabilizátoru (viz.).

Tím je hotový zdroj, až po vytvoření napájecího napětí 2,1V. Dále je však nutné vytvořit další napájecí bloky, a to 2V1A a 2V1PL. Další napájení, jako například k signálovým transformátorům bude v jiné kapitole. Napětí 2,1V, které je hned za stabilizátorem, bude pro digitální část čipu. Dále vybraný čip vyžaduje i analogové napájení a napájení pro hodiny.



Obrázek 13 – Schéma třetí části zdroje

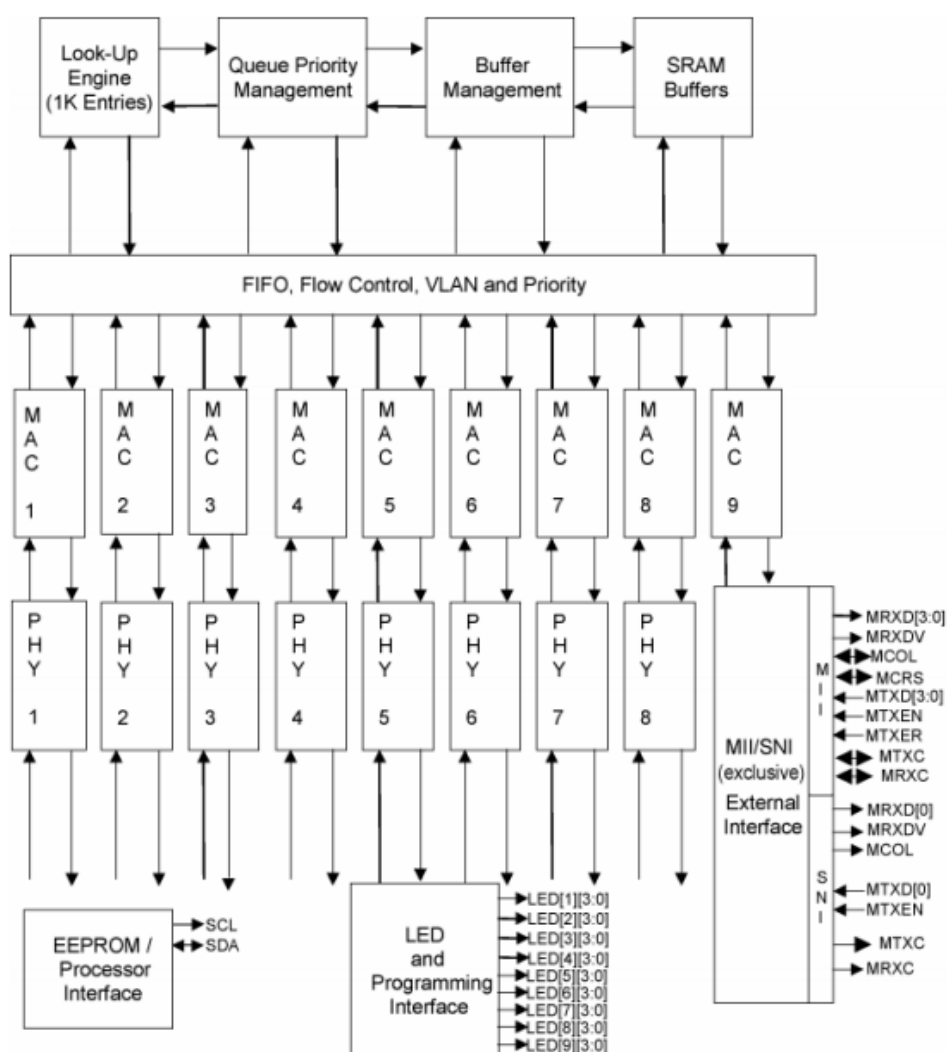
Výše (Obrázek 13) je vidět provedení třetí části zdroje, kdy se vezme 2,1V a přes indukčnost a za pomoci blokovacích kondenzátorů se takto vytvoří napájení 2V1A. Stejným způsobem, ale z potenciálu 2V1A je uděláno napájení pro hodiny.

Z této poslední části zdroje je vidět, že GND a GNDA jsou spojeny. Při prvním návrhu DPS jsem zkusil země spojit přes indukčnost, ale to se mi neosvědčilo. Proto jsem se rozhodl pro realizaci, kdy obě země vzájemně propojím napřímo, ovšem co nejdál od analogových (náchylných) obvodů.

2.3 Ethernetový switch

Jak již bylo o něco dříve řečeno, tak k realizaci řešení byl zvolen čip KSZ8999 [13] od firmy Microchip, který má 8x PHY a je 9-portový. Jeho blokové schéma je k vidění níže (Obrázek 14). Jelikož to má být obyčejný „hloupý“ switch, tak rozhraní MII se nevyužije.

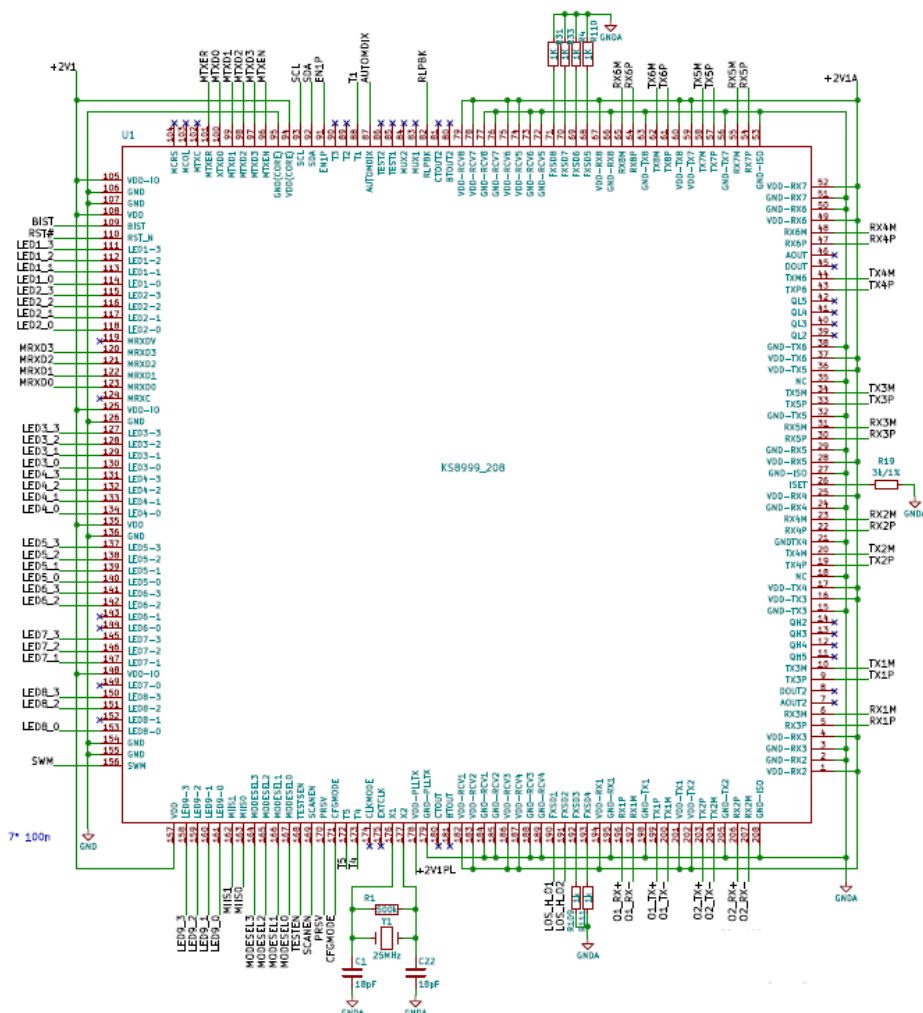
Použijí 6x PHY pro připojení ethernetových linek, které jsou přivedeny přes signálové transformátory. A další 2 PHY použijí pro připojení dvou SFP modulů. Tím je vyřešena konektivita. Jinak celý čip potřebuje dohromady k napájení napětí 2V1, 2V1A a 2V1PL. Z datasheetu lze vyčíst, že při vytížení všech linek, by si měl odebírat 850mA. Zároveň potřebuje dva druhy zemí a to digitální (GND) a signálovou (GNDA).



Obrázek 14 – Blokové schéma KSZ8999 [13]

Tento čip je ovšem nutné sehnat s názvem KSZ8999I, aby splňoval normu na -40 až 80°C, tak musí být industrial. V tomto provedení se dá sehnat například na Mouseru za necelých 800 korun a v pouzdru PQFP208. Jak je znát už z označení pouzdra, tak se jedná o 208 pinový čip, který má rozteč 0,5mm. Ovšem i tak se dá ručně osazovat, což byla nutnost, abych ho mohl použít do své práce. Jeho schematická značka je na obrázku níže (viz. Obrázek 15).

Tento čip funguje jako klasický switch, co jde dovnitř, to pošle na všechny porty a pak dál už pouze tam, odkud přišla odpověď. V případě, že by se časem měla doplnit například diagnostika či vzdálená správa, tak se zde nachází rozhraní MII, které ovšem momentálně není nijak využíváno. Toto rozhraní poskytuje 9. MAC adresu, která by se do budoucna mohla využít. Ovšem bylo by třeba vytvořit novou DPS, anebo na tu stávající dodělat konektor pro přídatnou menší DPS s procesorem (který podporuje MII).



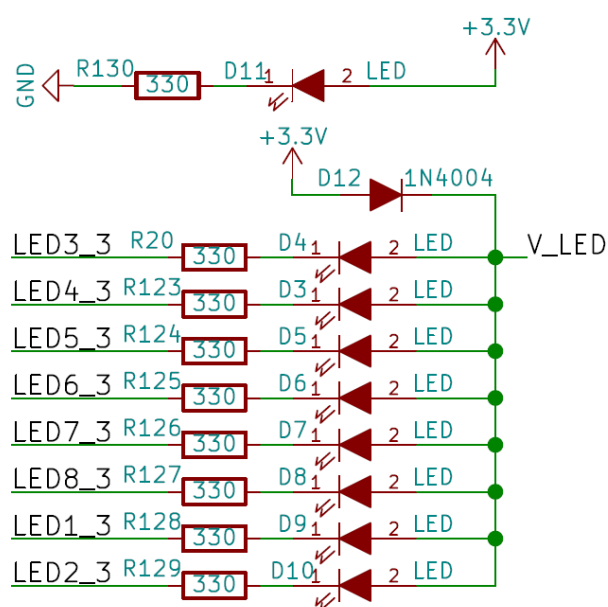
Obrázek 15 – Schematická značka KSZ8999 a její zapojení [13]

Veškerá funkcionálna tohoto čipu se nastavuje pomocí konfiguračních odporů, tedy alespoň v tomto případě. Například při použití EPROM paměti se dá konfigurace nahrát do ní a při startu by si jí switch přečetl.

Jak je výše zmíněno, tak je nutné při návrhu myslet na konfiguraci, pro tento čip, a to není právě malé množství odporů. Je důležité pořádně prostudovat datasheet, a vybrat co je potřeba a co jak mám udělat.

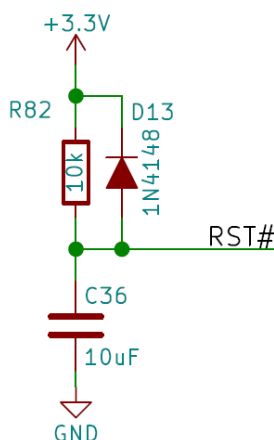
Pro příklad zde uvedu pár velice důležitých nastavení, bez kterých by tento switch vůbec nefungoval. V první fázi bylo nutné vybrat mód v jakém budou fungovat signalizační LED diody, abych vůbec byl schopen říci co se právě děje. Zde jsem vybral mód, který je využíván většinou zařízení, a to že bez zapojení je led zhasnutá, po zapojení se rozsvítí a při aktivitě bliká. Takto se dá skvěle poznat, když by se mi například odpojil kabel.

Ze zapojení ledek (viz. Obrázek 16) je vidět, že D11 mi signalizuje napájení switchu, tím poznám jestli má napájení a může fungovat. Dále pro znamení že switch nastartoval a funguje, tak by po zapnutí napájení měli po nějaké chvilce všechny signalizační LED dvakrát zablikat a pak se uvést rovnou do stavu v jakém jsou linky, ke kterým patří.



Obrázek 16 – Zapojení signalizačních LED diod, fungujících i jako pull-up odpory

Tento switch má samozřejmě také klasický resetovací obvod (Obrázek 17), jako například procesory, takže je použita doporučená dioda, kapacitu 10uF a 10kohmový odpor.



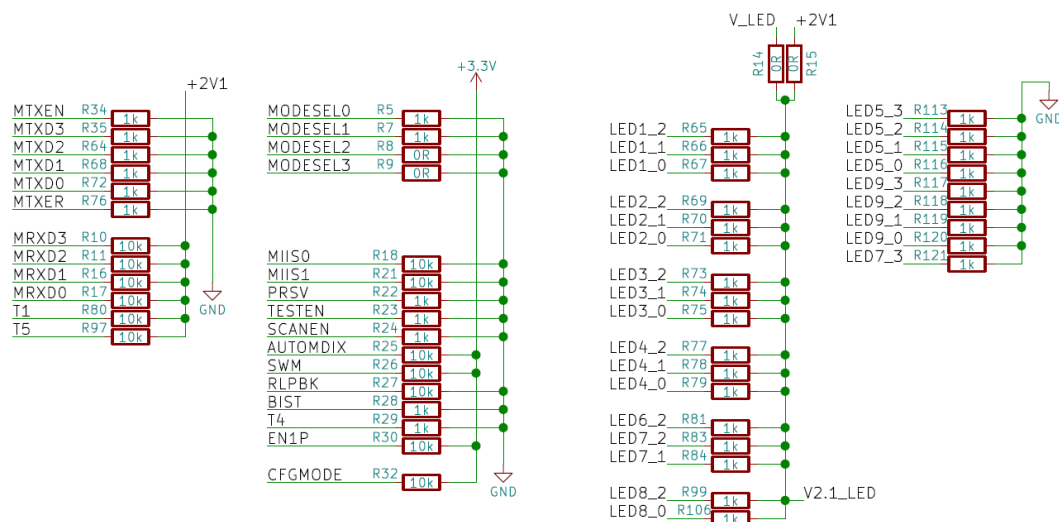
Obrázek 17 – Zapojení obvodu resetu

Dále je v datasheetu také naznačeno, že každý napájecí pin doporučují zablokovat pomocí řady kondenzátorů. Switch má 24 analogových napájecích pinů, 7 pinů digitálních a 1 PL napájení. Z důvodu rozumného počtu součástek, aby se vešly ze spodní strany co nejblíže pod čip, jsem musel zvolit, že místo celé řady budou použity pouze kondenzátory 100nF a 10nF. To je na každý napájecí pin dva kondenzátory, tudíž vyjde (s tím že na PL se použijí čtyři místo dvou kondenzátorů), že se na spodní stranu DPS musí dát co nejblíže k napájecím pinům 66 kondenzátorů (bylo zvoleno pouzdro 0603). Na napájení 2V1PL bylo zvoleno 2x100nF a 2x10nF.

Jako další byla zapojena 4x 100uF kapacita, co nejblíže k rohům tohoto čipu. Ta bude osazena z horní strany DPS, protože už se jedná o celkem velké pouzdro, a tudíž i těžkou součástí.

Tímto řešením by měly být pokryté jakékoliv výkyvy v napájení.

Dalším velice důležitou stránkou tohoto čipu, a to souvisí i s možnostmi nastavení je to, že každá z jeho 8 PHY může být použita pro připojení metalického vedení, ovšem může být využita i k připojení SFP modulu. Z toho důvodu má vývody FXSD1...FXSD8. V případě, že připojím 1kΩ na FXSD1, a to celé na GNDA, tak tím říkám, že linka 1 bude metalické vedení. Oproti tomu, když na nějaké lince mám SFP modul, tak musím na její FXSD pin připojit LOS signál z tohoto modulu. Více o tomto signálu napíšu v kapitole k SFP modulům.



Obrázek 18 – Konfigurační odpory ke KSZ8999

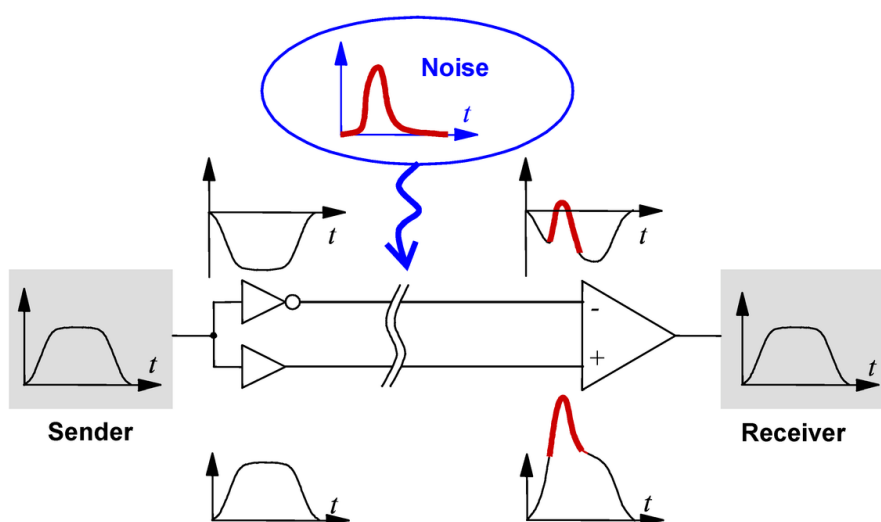
Na obrázku výše (Obrázek 18) můžeme vidět další konfigurační odpory. Tím že přes zapojené LED vývody již jsou hotové pullupy, tak zde už nemusely být realizovány pomocí rezistorů. Nastavení čipu je celkem složité a je nutné dost studovat. Na poslední verzi DPS je tato konfigurace, kde se především laboruje s napětími, pomocí kterých jsou tvořeny pullupy. V ranější verzi zapojení byla ta chyba, že byly připojeny jiné pullupy u ostatních led vývodů na 3,3V, ač měly být na 2V1. Zde je možnost připojit jako referenci pomocí 0Ω odporu buď 2V1, nebo V_LED, které je připojené na zelených LED diodách. A to z důvodu společné reference pro všechny pullupy.

Ač se to zdá složité, tak na druhou stranu k sobě tento čip potřebuje pouze správně zablokované napájení, správnou konfiguraci a 25MHz krystal a může fungovat. Takže bych teoreticky řekl, že ty nejdůležitější věci, co se týkají čipu samotného jsou probrané.

2.4 Signálové transformátory a vedení diferenciálního signálu

V této kapitole se budu věnovat řešení přivedení ethernetových signálů do DPS a zakončování vedení diferenciálních párů. Také se podíváme na smysl fungování signálového transformátoru.

Je nutné vzít v potaz že při vedení diferenciálního páru nějakého signálu se musím řídit jistými pravidly, aby ve výsledku spoj správně fungoval. Navíc je nutné provést impedanční zakončení takového vedení. Diferenciální signál znamená, že v jednom vodiči je nějaký napětový signál a v tom druhém do páru je stejný signál co do amplitudy, ale s opačnou polaritou. Tím je tento signál mnohem odolnější vůči rušení (na obou vodičích se projeví stejné rušení, díky tomu je rozdíl mezi nimi při příjmu stejný), protože při příjmu se vyhodnocuje rozdíl mezi těmito vodiči (viz. Obrázek 19). U klasického vedení je problém v tom, že máme napětový signál, který ovšem porovnáváme přímo proti zemi.



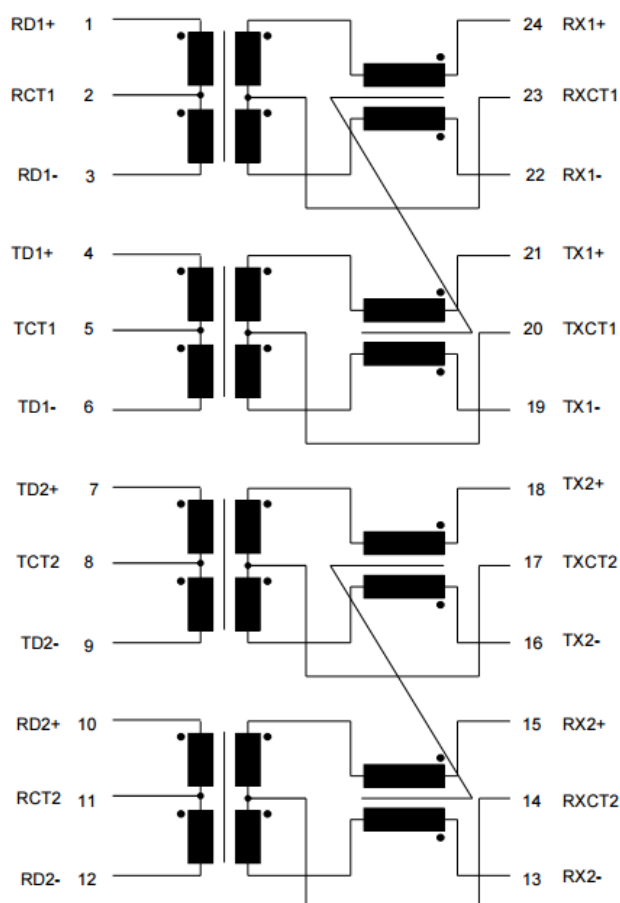
Obrázek 19 – Ukázka výhody diferenciálního vedení v odolnosti [3]

Toto je nesporná výhoda diferenciálního vedení, proto se začalo tak hojně využívat v různých komunikacích, jako například v kabelu UTP, ve kterém jsou 4 páry kroucených vodičů. Tento kabel je zakončen koncovkou RJ-45. Jak jsem psal je v něm 8 vodičů, které se mohou využívat pro přenos dat, anebo pro přenos dat a napájení. Pak se jedná o tzv. POE switche (power over the ethernet).

Takže jsme si vysvětlili k čemu je diferenciální vedení a teď bude potřeba vymyslet, jak takové vedení přivedu do switchu a jak ho správně zakončit.

Většinou se používají zařízení, která mají speciální LAN konektor, ve kterém už je signálový transformátor, a dvě diody a celé to je uzavřené v plechovém krytu, a pájí se rovnou do DPS. Toto řešení zde ovšem nemůže být použito, protože dle zadání nebude použit pro připojení UTP kabelu konektor RJ45, ale použije se konektorový díl se zářezovými konektory. Z tohoto důvodu je signál nejdříve veden přes konektorový díl a konektor Harting. Poté je signál sveden do DPS a až potom je doveden přes signálové transformátory a případné ESD ochrany do switche.

Takže bylo nutno vybrat vhodný signálový transformátor, případně větší množství pro 6 ethernetových linek. Při výběru jsem si nechal poradit od zkušenějších kolegů v práci a nakonec byl vybrán s ohledem na kvalitu, cenu a jejich zkušenosti transformátor od firmy WURTH ELEKTRONIK [14] s číslem 749013021. Ten je v 2-portovém provedení, tudíž stačí tři tyto transformátory a pokryje se všech 6 linek. Vnitřní schéma tohoto transformátoru můžeme vidět níže (viz. Obrázek 20).



Obrázek 20 – Vnitřní zapojení izolačního transformátoru od Wurth Elektronik [14]

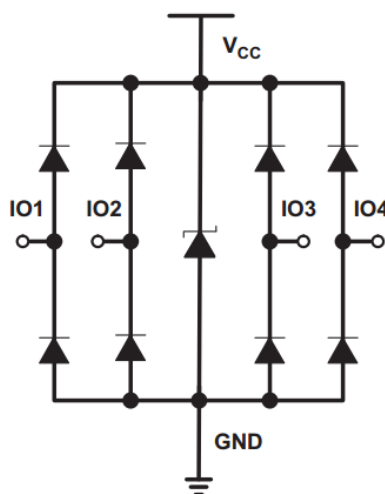
Signálový transformátor slouží ke galvanickému oddělení zařízení.

Na levé straně je pak vedení, které jde už rovnou do switchu. Zde jsou středy transformátorů napájeny stejnosměrným napětím, které je vytvořeno z 2V1A, a to přes indukčnost a opět podepřeno kondenzátory, samozřejmě proti GNDA. Tím je vyřešeno připojení signálového transformátoru, ovšem ještě je nutné zakončit vedení u strany, kde se nachází switch. A také, ač to není nutné, je zde doplněna ESD ochrana proti výbojům.

Dále se musí umístit do cesty signálu ochrana proti špičkám, protože signálový transformátor bez problémů přenese i vyšší napětí. Proto je nutné sem umístit nějaké ESD ochrany. Opět bylo vyzkoušeno více typů ochran, ale vycházel jsem především z inspirace od jiných

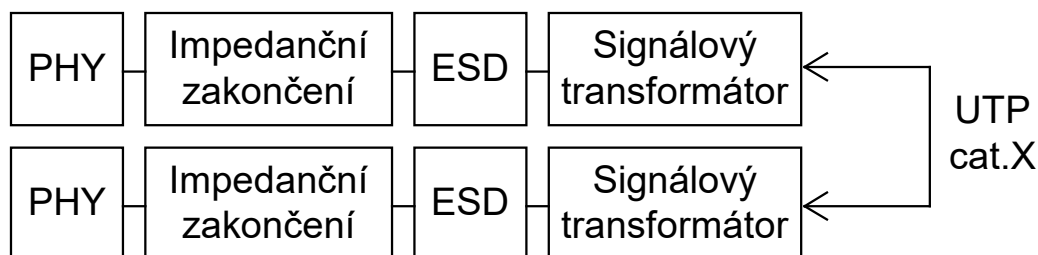
zařízení, která mají ethernetové připojení. Nejprve byla použita ochranná TVS dioda od WURTH ELEKTRONIK [14] číslo 8240136, jednalo se o 4 pinové pouzdro, ve kterém je zenerova dioda a antiparalelní diody. Ovšem tato ochrana stála asi 31 korun, což není málo, a tak se časem přešlo na lepší alternativu.

Alternativu mi poskytla firma TEXAS INSTRUMENTS [15], která dělá ochranné ESD zařízení v 6 pinovém pouzdře. Jmenuje se TPD4E001DCKR a vyjde na 12 korun. Tato ochrana navíc oproti té od WURTH pokryje místo jednoho páru vodičů páry dva, takže celé jedno ethernetové vedení (Obrázek 22).



Obrázek 22 – Vnitřní zapojení ESD ochrany firmy TEXAS INSTRUMENTS [15]

Pro představu, jak vypadá celá přenosová cesta ethernetového vedení ve většině zařízení, ještě přidám blokový diagram (Obrázek 23).

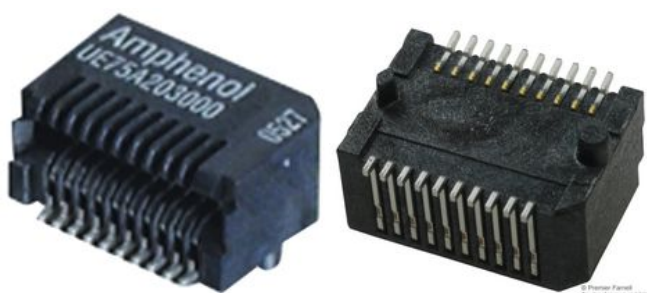


Obrázek 23 – Cesta ethernetového vedení

2.5 SFP moduly a jejich připojení ke switchi

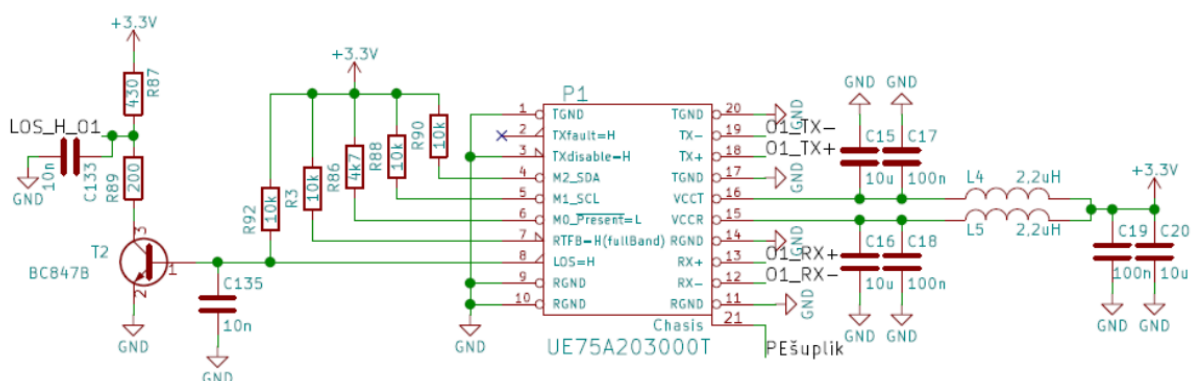
V teoretické části jsme si přiblížili, jak vypadá SFP slot a řekli jsme si k čemu vlastně je. Výrobci těchto modulů, se moc nechťejí podělit o přesné schéma, ale berme to tak, že uvnitř je nějaký převodník, který udělá z paketů signál, který se potom vysílá pomocí laserových diod do vlákna. Teď mluvím o optickém modulu, ale dělají se i metalické moduly, ovšem jsou drahé a proč řešit metalické vedení takto, když lze udělat jednoduše. Ovšem všechny tyto moduly mají normalizovaný konektor, přes který se připojí do desky, když modul zapadne na místo.

Pro připojení SFP modulu do DPS se používají speciální 20 pinové konektory, já jsem zvolil od firmy Amphenol UE75A203000T. Jedná se o zásuvku na SFP modul, a zásuvka má 20 SMD pinů a 2 plastové kolyčky, které se zapustí do frézování v DPS, aby to mechanicky bylo dostatečně odolné (viz. Obrázek 24).



Obrázek 24 – Konektor pro připojení SFP modulu [4]

Tento konektor je použit na DPS a na obrázku níže je vidět jeho zapojení ve schématu.

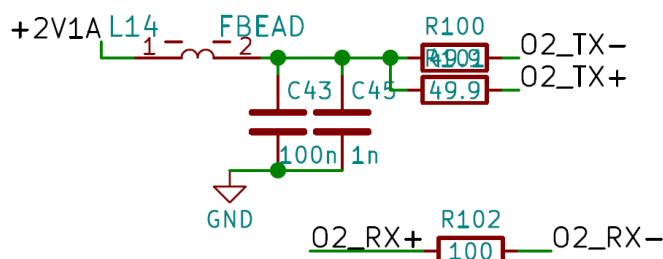


Obrázek 25 – Schéma připojení SFP modulu [18]

Na schématu (Obrázek 25) je vidět konektor P1, do kterého se připojí optický modul. Napravo od konektoru je vidět, jak je vytvořené jeho napájení. Máme zablokované napájení a přes indukčnosti ho ještě jednou zablokujeme a připojíme ke konektoru. Jak můžeme vidět ze schématu, tak SFP moduly vyžadují napájení 3,3V. Na pravé straně máme také vyvedené

diferenciální páry vedení. Nalevo se nachází nějaké pullupy, jejichž konfiguraci jsem si našel v datasheetech. Ovšem hlavně se zde nachází LOS signál, pomocí kterého dává šuplík o sobě vědět switchi. Má 2 rozhodovací úrovně napětí, a tudíž switch po připojení modulu vyhodnotí s kým má tu čest, a to může být metalický modul, optický modul nebo optický modul (half-duplex). Kondenzátor C133 je zde spíše z praktických důvodů, a to že délka cesty LOS signálu je dost dlouhá, tudíž ji bylo potřeba zablokovat. Ze stejného důvodu zde je i C135.

Také zde je nutné zakončit vedení, ovšem provádí se to trochu jinak než u klasického diferenciálního páru od metalického vedení. [18]



Obrázek 26 – Zakončení vedení od SFP slotu

Na obrázku výše (Obrázek 26) je vidět, že pár vodičů TX je zakončený $49,9\Omega$ odpory, které jsou napájeny vlastním napájením, a to 2V1A přes indukčnost a zablokováno kondenzátory. Ovšem RX vodiče mají v tomto případě pouze 100Ω odpor mezi vodiči diferenciálního páru.

Tím jsem ukázal, jak jsou SFP moduly připojeny do switchu, ovšem zde je absolutní minimum informací. Všem, kteří by chtěli něco podobného dělat, tak bych doporučil si podrobně nastudovat materiály na internetu. Takto vypadají moduly do SFP slotu (viz. Obrázek 27).



Obrázek 27 – Výměnné moduly do SFP slotu

2.6 Návrh DPS a osazení

Všechny části návrhu již byly popsány a je čas přistoupit k popisu návrhu DPS. Jak je dáno v zadání, tak zařízení přijde do kazety SCHROFF formátu 3U [16]. Tím jsem se řídil a udělal jsem si přesný výkres, jaký má mít DPS tvar a rozměry.

V minulosti jsem se seznámil s několika prostředími k návrhu DPS. Na střední škole jsme kreslili s ORCADU a v EAGLU. Sám ze zájmu jsem si zkoušel Altium designer. Ovšem v práci kreslím návrhový program jménem KiCad [17]. Tento software má jednotlivé podprogramy, a to jsou Schematic Capture, PCB Layout a 3D Viewer. To jsou pouze hlavní tři, obsahuje samozřejmě také prohlížeč gerber souborů a všelijaké kalkulátory, například na tloušťky čar. Navíc se jedná o program s otevřenou licencí.

Takže jsem měl software, ve kterém budu kreslit a měl jsem schéma, které jsem popsal v předchozích kapitolách, takže jsem mohl začít navrhovat DPS. Nejdříve jsem se věnoval návrhu schématu, ve kterém jsem již promýšlel velikosti pouzder pro jednotlivé součástky. Dále jsem přistoupil k návrhu DPS, což byl celkem oříšek. Podle doporučení z datasheetu od KSZ8999, bych měl kreslit switch na 6-ti vrstvé desce, ovšem já jsem se především z důvodu ceny rozhodl pro 4 vrstvou DPS. Tudíž mám návrh, kdy vrchní a spodní vrstva jsou signálové, a vnitřní dvě jsou na napájení a zem.

V materiálech k demoboardu KSZ8999 jsem našel soubor s návrhem vytvoření země uvnitř shieldu (PE), viz Obrázek 28.

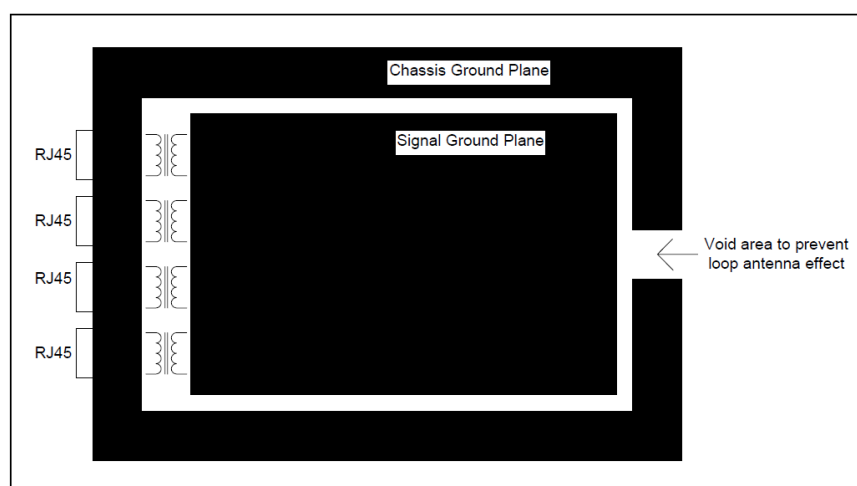


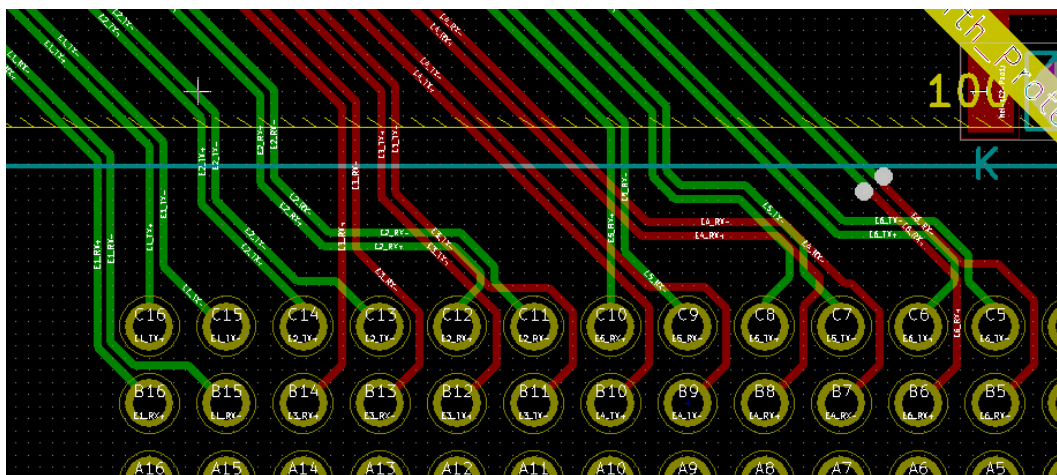
Figure 1: Ground Planes

Obrázek 28 – Rozvržení vnitřní vrstvy pro GND [13]

Na obrázku je vidět, že PE použiji jako stínění v dané vrstvě, a uvnitř bude rozlity požadovaný signál (v tomto případě GND). Nesmím zapomenout přerušit smyčku, aby mi nevznikla anténa. Tímto jsem schopen oddělit část DPS, která by mohla rušit, tudíž příkop mezi PE a GND musí procházet pod signálovými transformátory. Nejlepší je provést toto opatření ve všech vrstvách kromě napájecí, a celém obvodu rozmístit průchodky. Důležité je, aby PE z DPS bylo spojeno vícebodově. Proto jsem zde ponechal tradiční řešení, kdy se v těchto kazetách PE vodič přidělá pod šroub na čele, ale zároveň jsem vytvořil z odmaskované mědi na delších hranách ,lyže‘, na kterých sedí DPS v kovové kazetě, která je také připojena na PE.

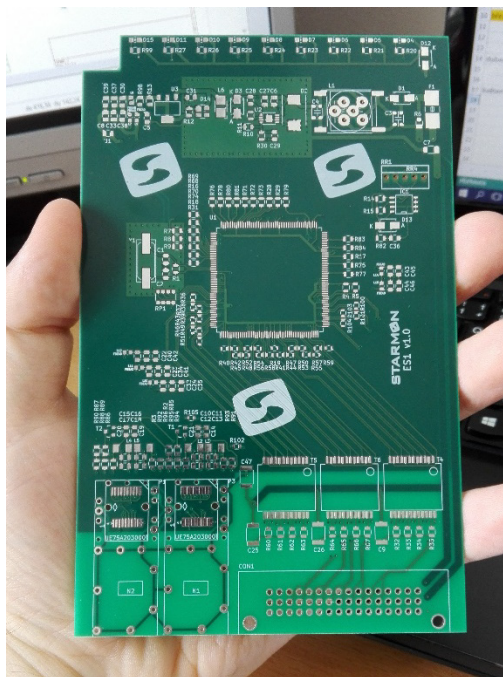
S touto částí návrhu je nutné počítat nejdříve, protože podle ní potom rozvrhnuji vše ostatní. Poloha byla přesně dána u konektoru Harting a u SFP konektorů. Zdroj jsem se snažil alespoň vstupní částí dát před signálové transformátory, abych si nerušil signál, který z nich vystupuje. Switch jsem umístil dál od zdroje, který by ho mohl rušit. Jak jsem psal v návrhu, bylo nutno umístit na spodní stranu DPS asi 70 kondenzátorů velikosti 0603. Je nejlepší, když se nacházejí pod čipem, protože potom mají nejkratší cestu. Větší kondenzátory jsem musel umístit z vrchní strany DPS, aby se z té spodní neutrhly, protože jsou moc těžké. Také LED diody bylo nutné rozmístit rovnoměrně na čelní hraně DPS. Jedná se o pravoúhlé LED, takže na DPS leží a svítí do strany, tedy přes čelní panel, na kterém je samolepka s popiskem.

Důležité je správně nakreslit cesty diferenciálních párů, protože pro ně platí jistá pravidla (stejná délka vodičů, táhnout vodiče v páru, nelomit cestu v pravém úhlu atd.). Ukázka vedení diferenciálních párů, viz. Obrázek 29.



Obrázek 29 – Kreslení diferenciálních párů na DPS (u konektoru Harting)

Nakreslil jsem čtyřvrstvou DPS, kde vnitřní vrstvy byly použité na napájení a země a horní a spodní vrstva na signály. Součástky jsou téměř všechny na vrchní vrstvě, pouze blokovací kondenzátory pod čipem jsou na spodní vrstvě. Poté jsem vygeneroval gerbery a měl jsem připravené podklady pro výrobu. DPS byla vyrobena firmou Prago Board v Pool servisu a na materiálu IS400. Pro přiblížení velikosti desky přikládám obrázek jedné ze starších verzí switchu (Obrázek 30).



Obrázek 30 – DPS z Prago Boardu (verze switchu 2.0)

Při osazování jsem vždy začínal čipem switchu. Poté jsem osadil konfigurační odpory, krystal a signalizační LED diody a zdroj. A zkusil jsem zapojit napájení (zdroj sem měl ozkoušený ze starší verze, takže jsem věděl že ten fungovat bude). Zkontroloval jsem, jestli se signalizační LED chovají tak jak mají a potom jsem pokračoval osazováním ethernetových linek a SFP modulů. V tabulce níže je možné vidět postupný vývoj switchu (Tabulka 3).

2.6.1 Rozpiska verzí

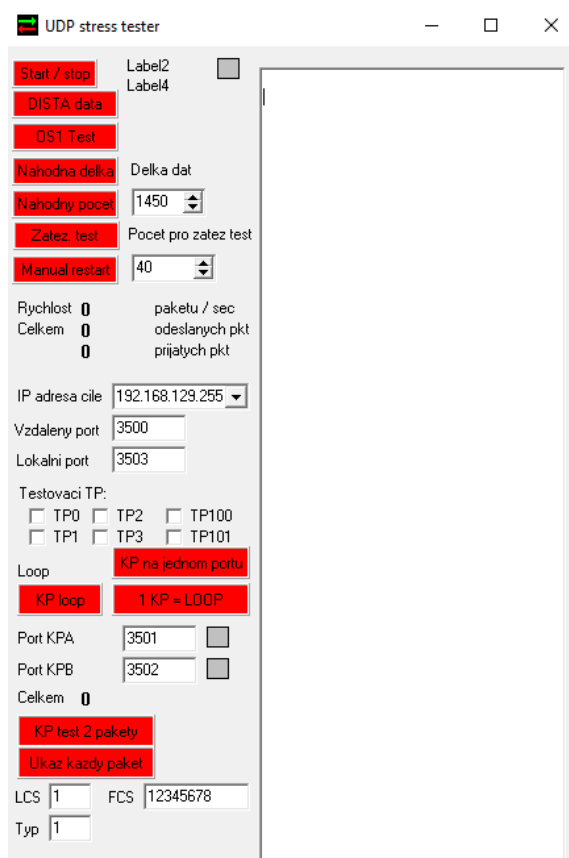
Tabulka 3 – Soupiska verzí switchu

Verze 1.0	Fungoval jen 10Mb ethernet a nacházelo se zde více nedostatků
Verze 2.0	Funkční vše, ovšem narazil jsem na problém s EMC
Verze 3.0	EMC se zlepšilo, ale drobnosti tu ještě byly
Verze 3.1	Vše v pořádku, problémy s EMC nejsou

2.7 Oživování, měření a testy zařízení

Po osazení a postupném zkoušení jednotlivých částí jsem zkontroloval chování signalizačních LED, a ještě jednou přeměřil napájecí napětí. Potom jsem zkontroloval, jak se chovají LED diody při připojení kabelu. A následovaly testy, při kterých jsem proměřoval cesty přes ethernetové porty na 10Mb/s i na 100Mb/s.

Toto měření mi umožnil software UDP stress tester firmy Starmon s.r.o. (Obrázek 31). Jedná se o program, pomocí kterého jsem byl schopen změřit, jestli se mi na cestě neztrácejí pakety.



Obrázek 31 – UDP stresser

Takto jsem proměřil všechny ethernetové porty a poté i porty optické. Po ověření funkčnosti zařízení za normálních podmínek jsem naměřil a sestavil tabulku V-A charakteristiky odběru kazety ES1.

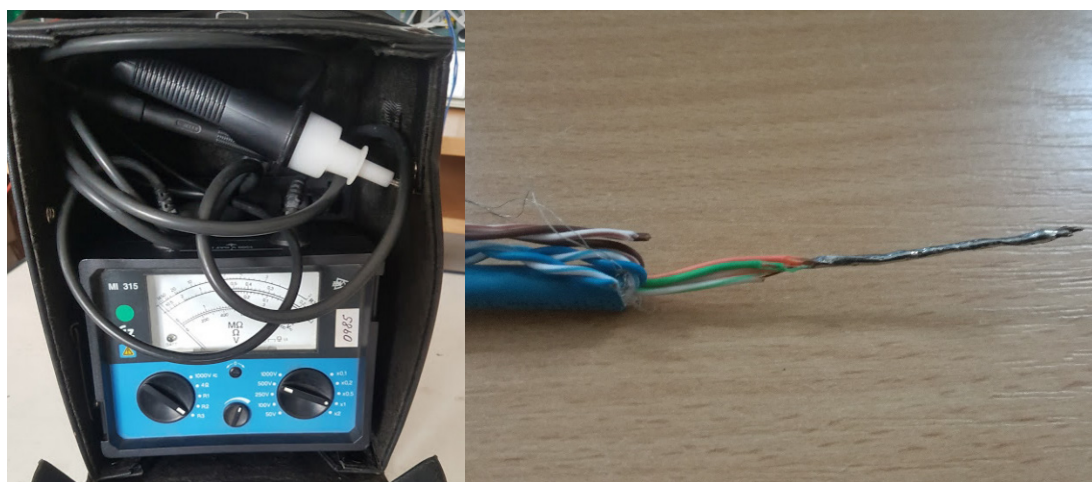
Dále jsem provedl také teplotní testy zařízení, kdy jsem použil po domácku upravené pracoviště. Bylo nutné nasimulovat teploty -20°C a 50°C, a zároveň proměřit odběr zařízení na stanovených napětích a také sledovat po celou dobu pomocí UDP stresseru, zdali se mi neztrácejí pakety. Jelikož se pakety neztrácely, tak uvedu pouze tabulku hodnot napětí a proudu (Tabulka 4).

Tabulka 4 – Měření odběru při různých teplotách

U [V]	I [mA]	T [°C]
36	82	-19
24	116	-19
18	150	-19
16	168	-19
36	82	50
24	116	50
18	151	50
16	170	50

Tím jsem měl ověřenou funkčnost zařízení i teplotní rozsahy. Vibrační testy jsem nebyl schopen udělat, ovšem zařízení půjde na testy do Uherského Hradiště, takže to nebyl problém.

Posledním testem, který jsem byl schopen provést a také jsem ho provedl, bylo proměření pevnosti portů pomocí měřiče izolačního odporu MI315 (Obrázek 32). Pomocí něho jsem proměřil elektrickou pevnost na 500V mezi všemi třemi napájecími vodiči navzájem a také mezi UTP vodičem a jednotlivými napájecími vodiči. K tomuto měření jsem si připravil UTP kabel, kde jsem RX a TX páry spojil dohromady a proměřoval všechny najednou.



Obrázek 32 – a) měřič izolačního odporu MI315 b) upravený UTP kabel pro měření pevnosti RX a TX

2.8 Návrh dalších komponent

Ve chvíli, kdy jsem měl hotový switch, tak jsem musel také navrhnout další příslušné díly. Těmi díly jsou samolepka na čelní panel, čelní panel a zadní konektorový díl.

Zadní konektorový díl je DPS, na které je protikus konektoru Harting [20] a zářezové konektory pro přivedené UTP vodiče. V této desce jsou také vyvrtané díry, přes které je konektorový díl přichycen k vaně 3U. K zářezovým konektorům byla nutná přidat další DPS na distanční sloupky, na které jsou popisky jednotlivých konektorů. Ovšem tato konstrukce se kvůli zeslabené části v místě, kde se nachází SFP sloty značně prohýbala při zasouvání kazety, proto jsem navrhl plechový díl, který celou konstrukci zpevnil.



Obrázek 33 – Pohled na konektorový díl (zespod je zpevněn výztuží)

Konstrukce je vidět na obrázku výše (Obrázek 33). Konektorový díl je připojen přes konektor Harting a celé je to zpevněno výztuží.

3 ZÁVĚR

Cílem této práce bylo navrhnout Ethernetový switch s požadovanými parametry, což se povedlo. Pro realizaci switchu byl vybrán čip od firmy Microchip KSZ8999, jedná se o 9 portový switch. Práce se zabývala rešerší dostupných zařízení a řešení. Při vlastním návrhu potom především návrhem zdroje, návrhem konfigurace pro čip switchu. Dále pak návrhem připojení SFP slotu a návrhem vedení diferenciálního signálu a ochrany v jeho cestě.

Podstatnou částí práce byl také návrh ostatních komponent ke switchi, jako například zadního konektorového dílu, anebo čelního dílu. Veškeré výkresy těchto dílů byly vytvořeny v programu Visio a stejně tak i značné množství obrázků pro tuto práci.

Práce splnila zadání ve všech bodech, tedy rozsah napájecího napětí, také zadaná konektivita (6x 10/100Mb ethernet + 2x SFP slot pro připojení optiky), připojení switchu přes konektorový díl, zasazení zařízení do vany SCHROFF 3U a také především požadovaný teplotní rozsah.

Práci jsem testoval v domácích podmínkách na teplotní rozsahy, vyjmenovanou konektivitu a pevnost portů a napájení na 500 V. Práce těmito testy prošla, proto byla nasazena na zkušební provoz na firmě do zařízení a už několik týdnů funguje. Toto opatření bylo nasazeno, abychom otestovali switch dlouhodobě, v řádech jednotek hodin se pakety neztrácely.

Do budoucna je možnost rozšíření tohoto switchu o jeho vlastní diagnostiku přes devátý neobsazený port, anebo vytvoření konektorového dílu, který by měl šest konektorů LAN 45.

4 POUŽITÁ LITERATURA

[1] SHINDER, Debra Littlejohn. *Počítačové sítě: nepostradatelná příručka k pochopení síťové teorie, implementace a vnitřních funkcí [sic]*. Praha: SoftPress, c2003. Cisco systems. ISBN 8086497550.

[2] ODOM, Wendell, Rus HEALY a Naren MEHTA. *Směrování a přepínání sítí: autorizovaný výukový průvodce*. Brno: Computer Press, 2009. Samostudium. ISBN 9788025125205.

[3] *Wikipedie: Otevřená encyklopedie* [online]. nadace Wikimedia [cit. 2017-05-05]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Hlavn%C3%AD_strana

[4] *Farnell: element14* [online]. Premier Farnell UK Limited [cit. 2017-05-05]. Dostupné z: <http://cz.farnell.com/>

[5] *Korenix: Beijer Electronics Group* [online]. Korenix Technology (Beijer Electronics Group) [cit. 2017-05-05]. Dostupné z: <http://www.korenix.com/>

[6] *Planet: networking & communication* [online]. PLANET Technology Corporation [cit. 2017-05-05]. Dostupné z: <http://www.planet.com.tw/>

[7] *Kontron: Embedded Computers, Boards, Modules & Industrial Computer Systems* [online]. Kontron [cit. 2017-05-05]. Dostupné z: <http://www.kontron.com/>

[8] *MEN* [online]. MEN Mikro Elektronik [cit. 2017-05-05]. Dostupné z: <https://www.men.de/>

[9] *Abaco Systems: Rugged Embedded Computing Leader & Supplier* [online]. ABACO SYSTEMS [cit. 2017-05-05]. Dostupné z: <https://www.abaco.com/>

[10] *Microchip: Technology Inc.* [online]. Microchip Technology [cit. 2017-05-06]. Dostupné z: <http://www.microchip.com/>

[11] *TRACO POWER* [online]. Traco Electronic [cit. 2017-05-06]. Dostupné z: <http://www.tracopower.com/home/>

[12] *Microchip: MIC29302* [online]. Microchip Technology [cit. 2017-05-06]. Dostupné z: <http://www.microchip.com/wwwproducts/en/mic29302>

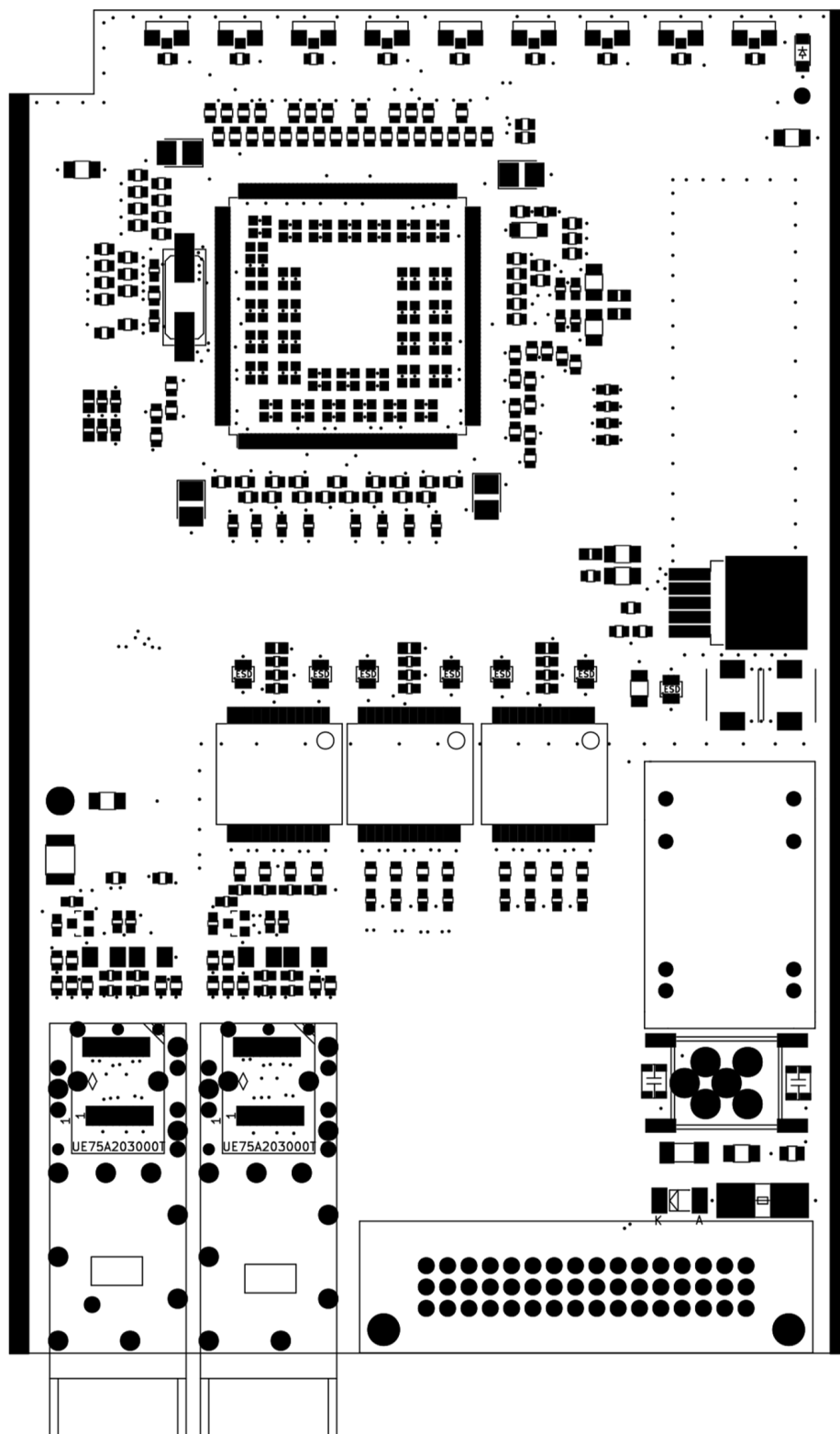
[13] *Microchip: KSZ8999* [online]. Microchip Technology [cit. 2017-05-06]. Dostupné z: <http://www.microchip.com/wwwproducts/en/ksz8999>

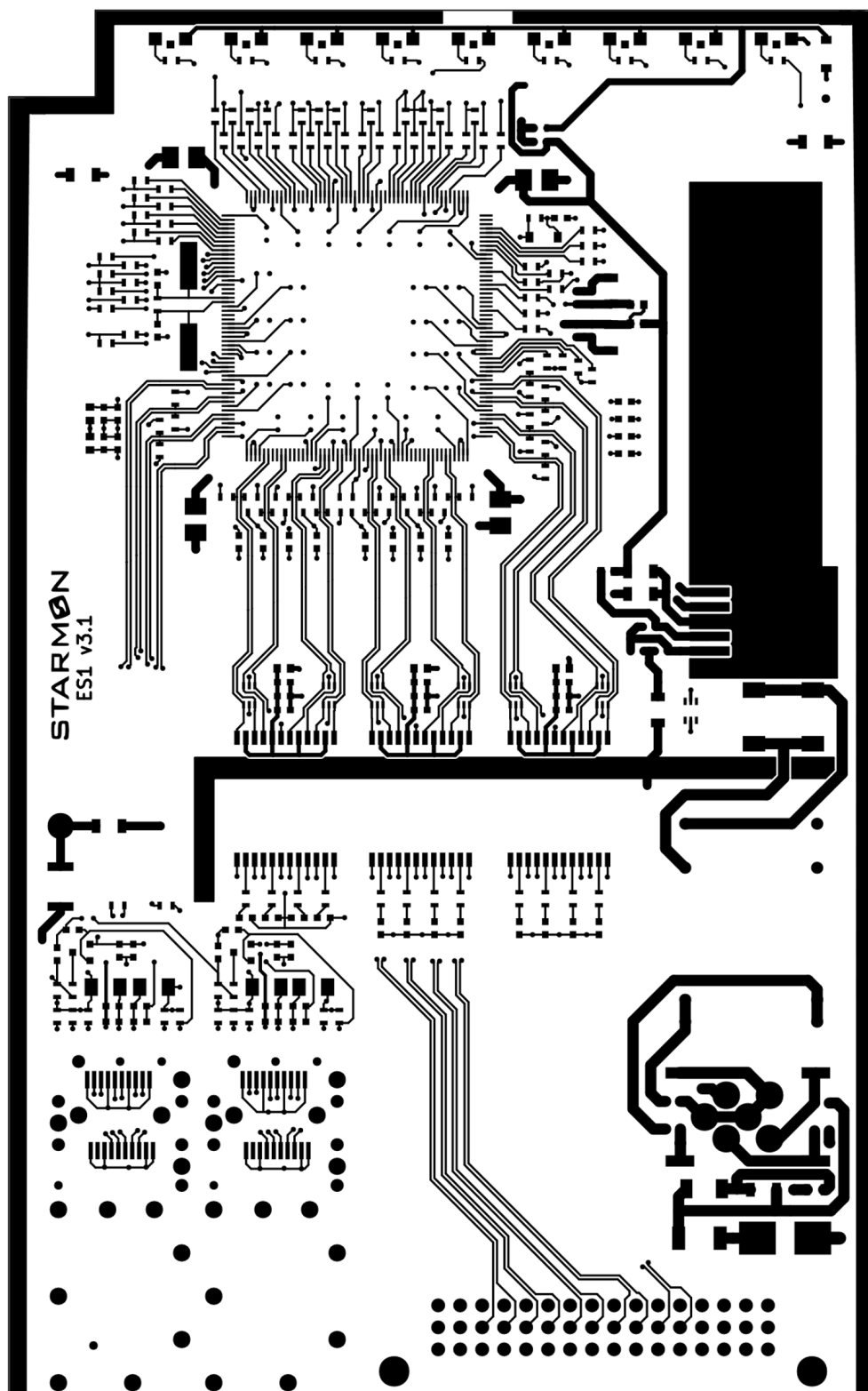
- [14] *WE: Würth Elektronik* [online]. Würth Elektronik GmbH & Co. [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: https://www.we-online.com/web/en/wuerth_elektronik/start.php
- [15] *Texas Instruments* [online]. Texas Instruments Incorporated [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: <https://www.ti.com/>
- [16] *Schroff: Pentair Electronics Protection* [online]. Pentair [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: <https://schroff.pentair.com/>
- [17] *KiCad EDA: A Cross Platform and Open Source Electronics Design Automation Suite* [online]. [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: <http://kicad-pcb.org/>
- [18] *Small Form-factor Pluggable (SFP) Transceiver MultiSource Agreement (MSA)* [online]. Agilent Technologies, Blaze Network Products, E2O Communications, Inc., ExcelLight Communications, Finisar Corporation, Fujikura Technology America Corp., Hitachi Cable, Infineon Technologies Corp., IB, 2000 [cit. 2017-05-06]. Dostupné z: <http://www.schelto.com/sfp/sfp%20msa.pdf>
- [19] *Mouser Electronics: Electronic Components Distributor* [online]. Mouser Electronics [cit. 2017-05-09]. Dostupné z: <http://cz.mouser.com/>
- [20] *Harting: zákaznická řešení, konektory* [online]. HARTING Technology Group [cit. 2017-05-09]. Dostupné z: <http://www.harting.cz/home/>

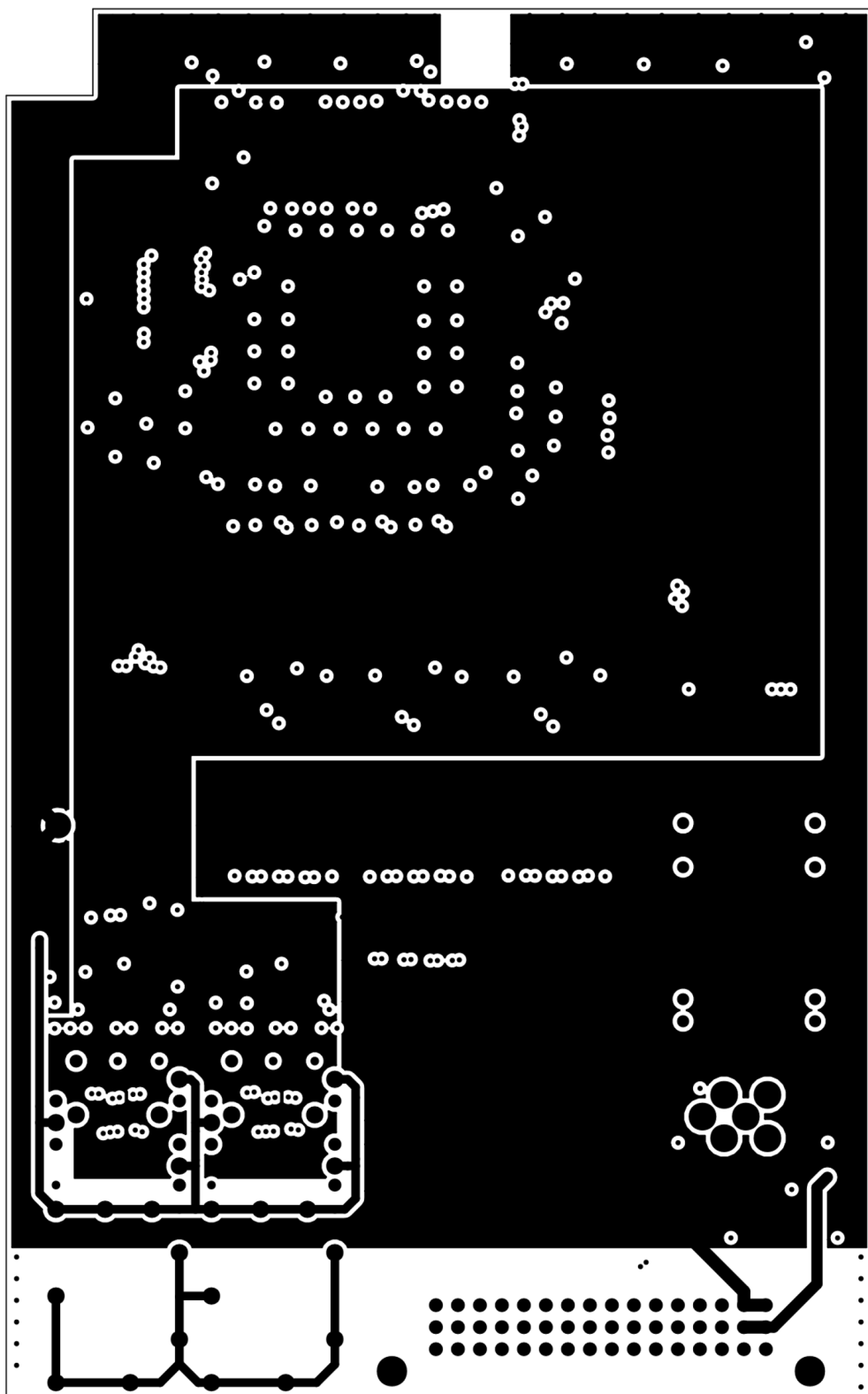
5 PŘÍLOHY

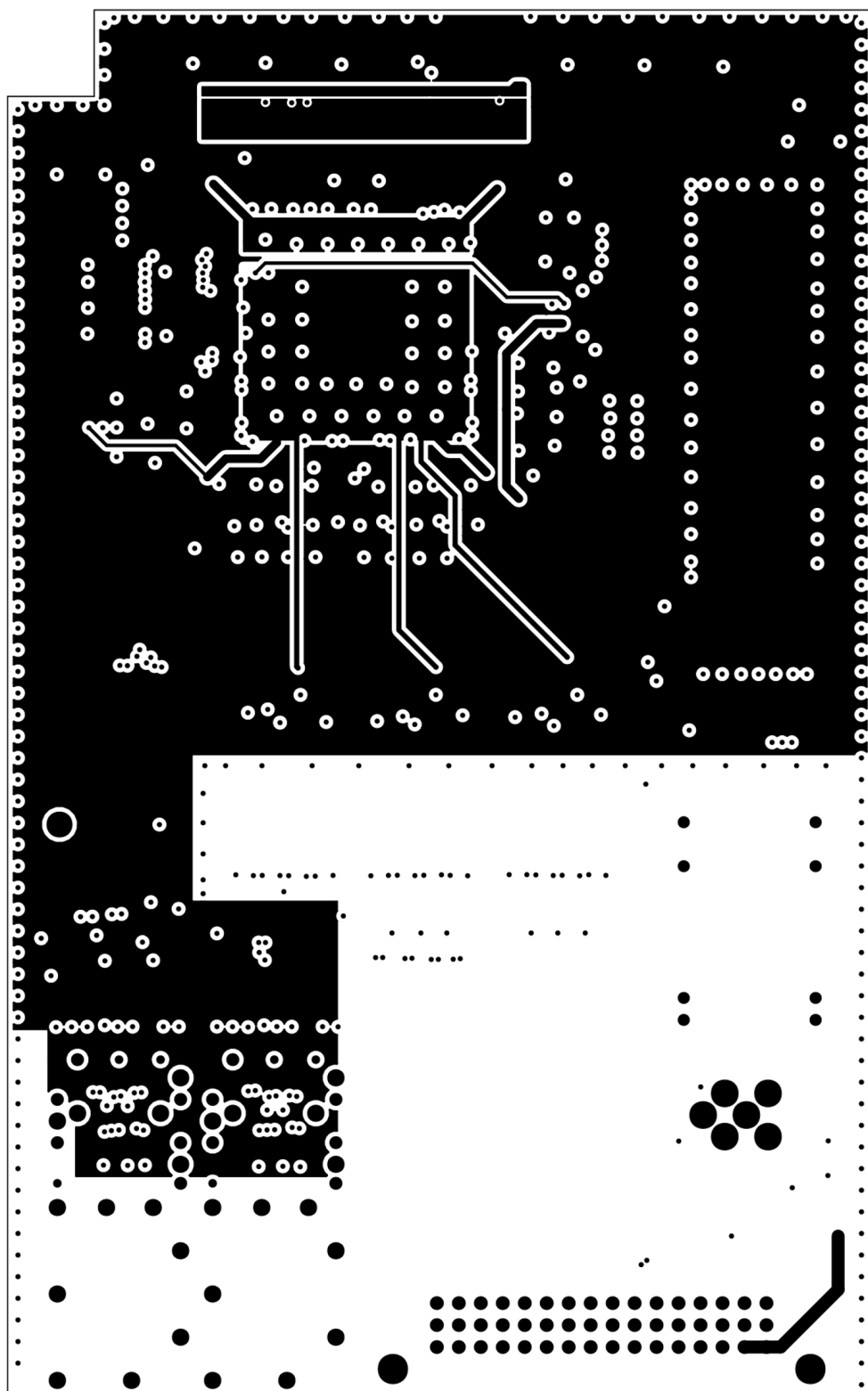
Příloha A.1 – Osazovací plán	49
Příloha A.2 – Vrchní vrstva - měď	50
Příloha A.3 – GND vrstva - měď	51
Příloha A.4 – POWER vrstva - měď	52
Příloha A.5 – Spodní vrstva - měď	53
Příloha A.6 – Fotografie horní strany switchu	54
Příloha A.7 – Fotografie spodní strany switchu	55
Příloha A.8 – Fotografie switchu a kazety do 3U panelu	56
Příloha A.9 – Fotografie čelní samolepky	57
Příloha A.10 – Fotografie zadního konektorového dílu	58
Příloha A.11 – Obsah CD	59

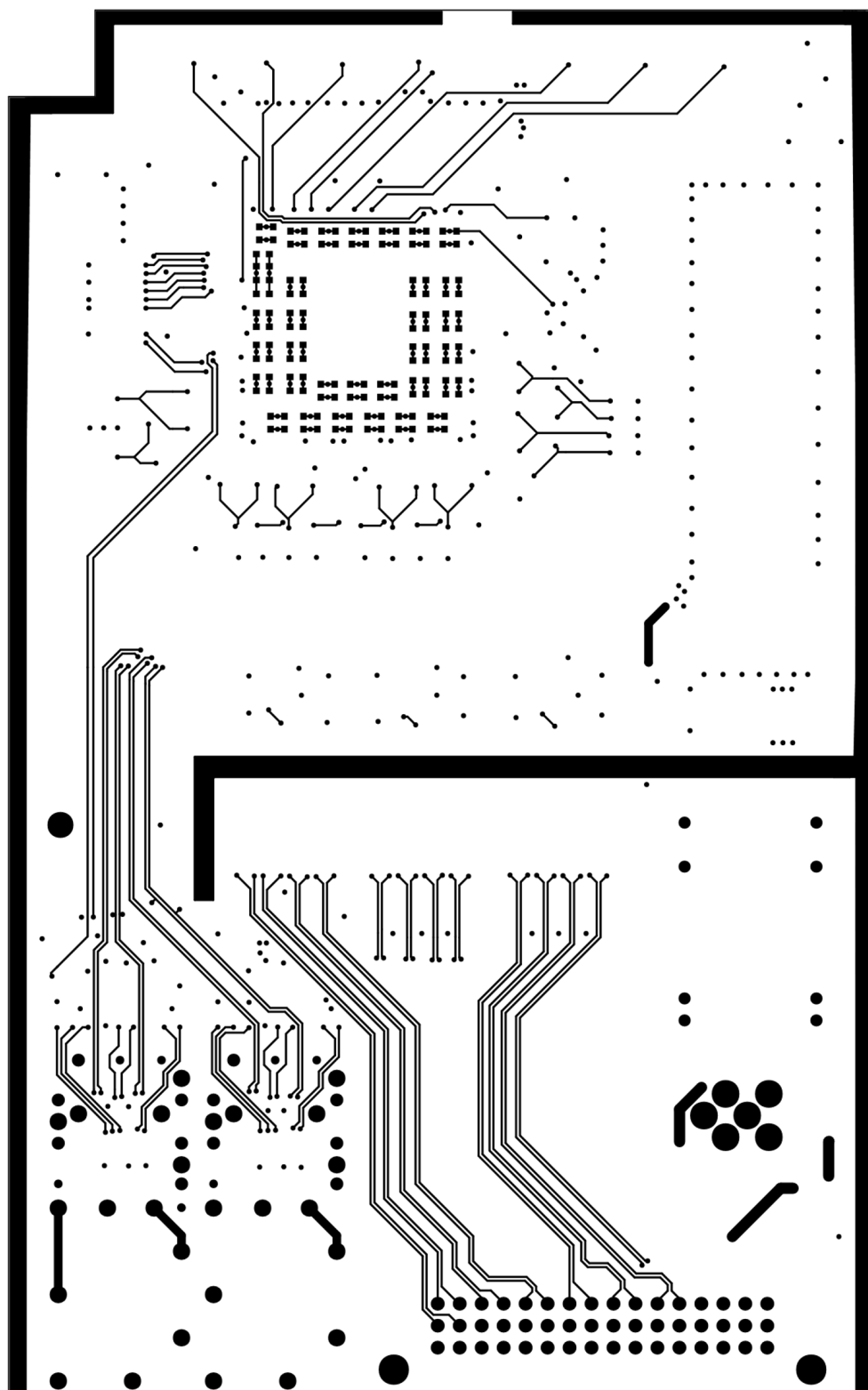
Příloha A.1 – Osazovací plán



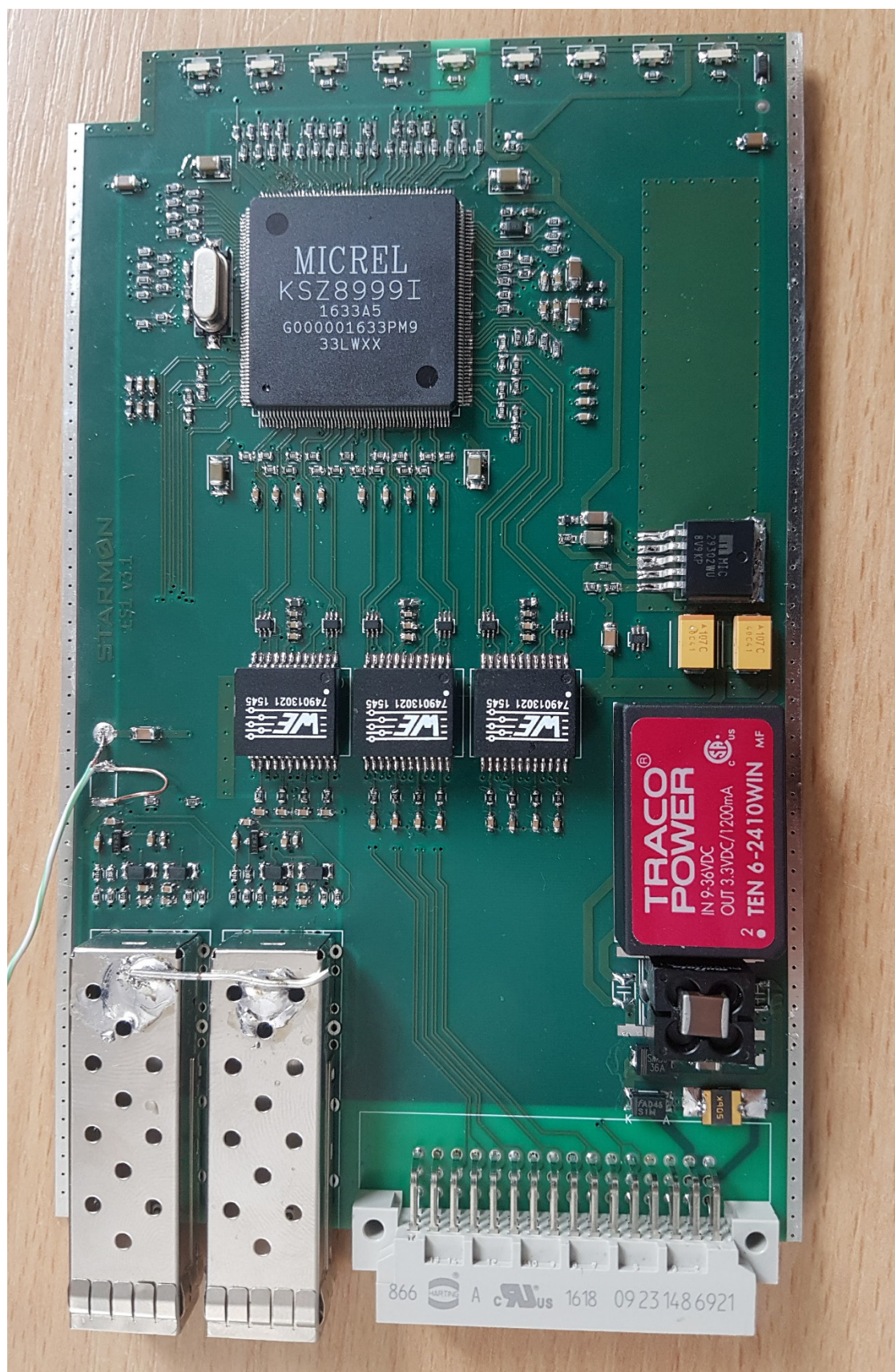




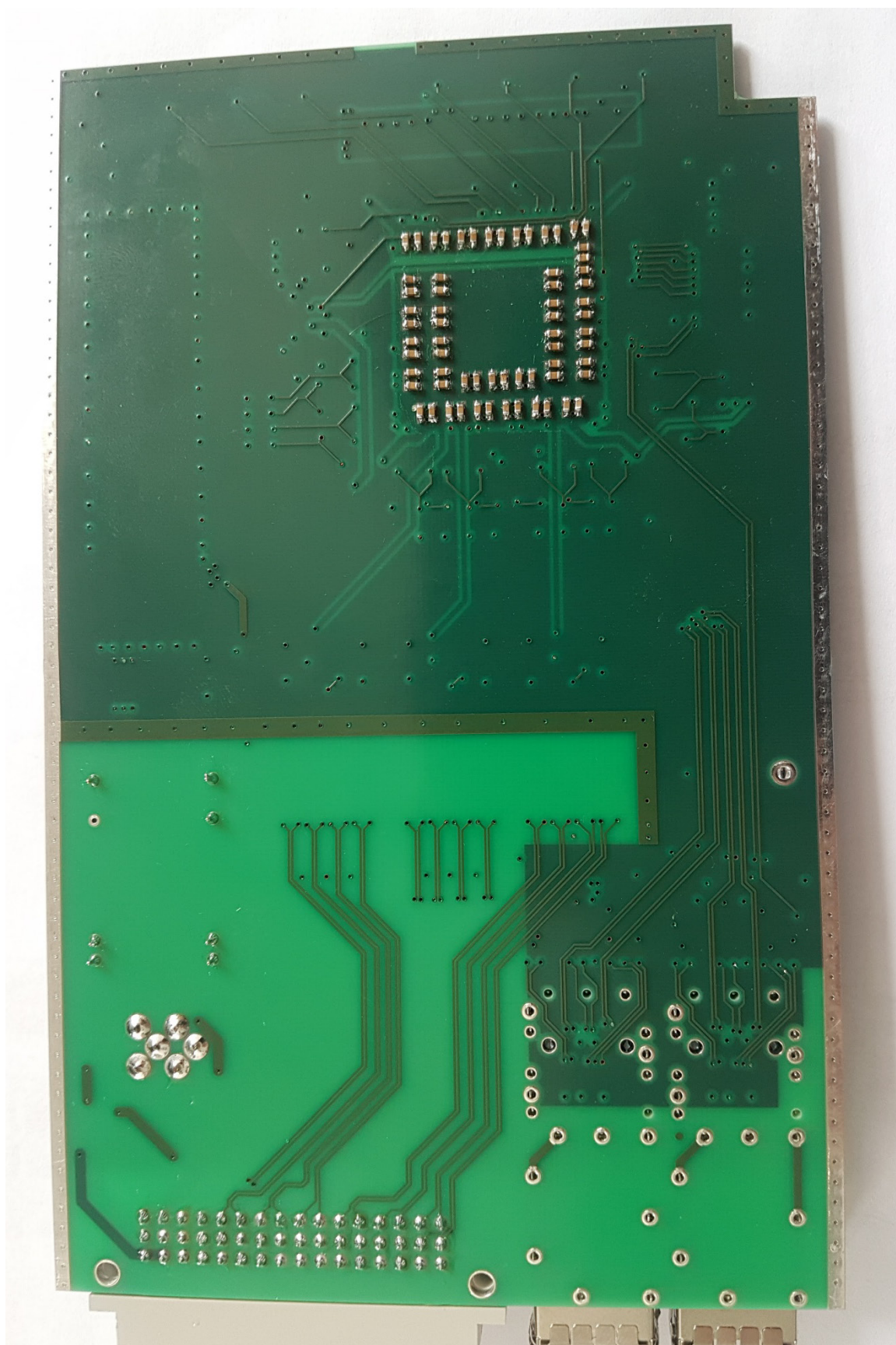




Příloha A.6 – Fotografie horní strany switchu



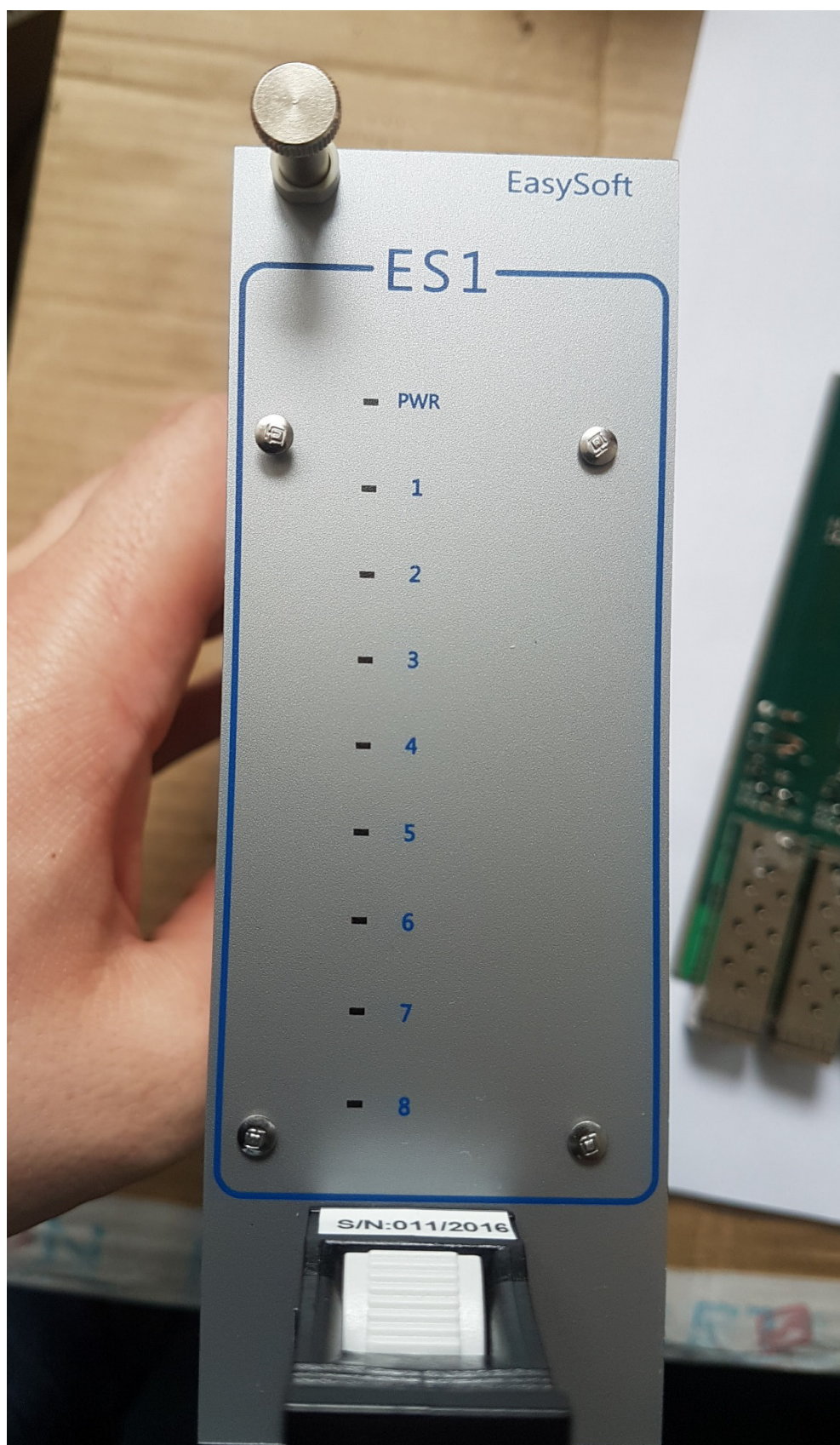
Příloha A.7 – *Fotografie spodní strany switchu*



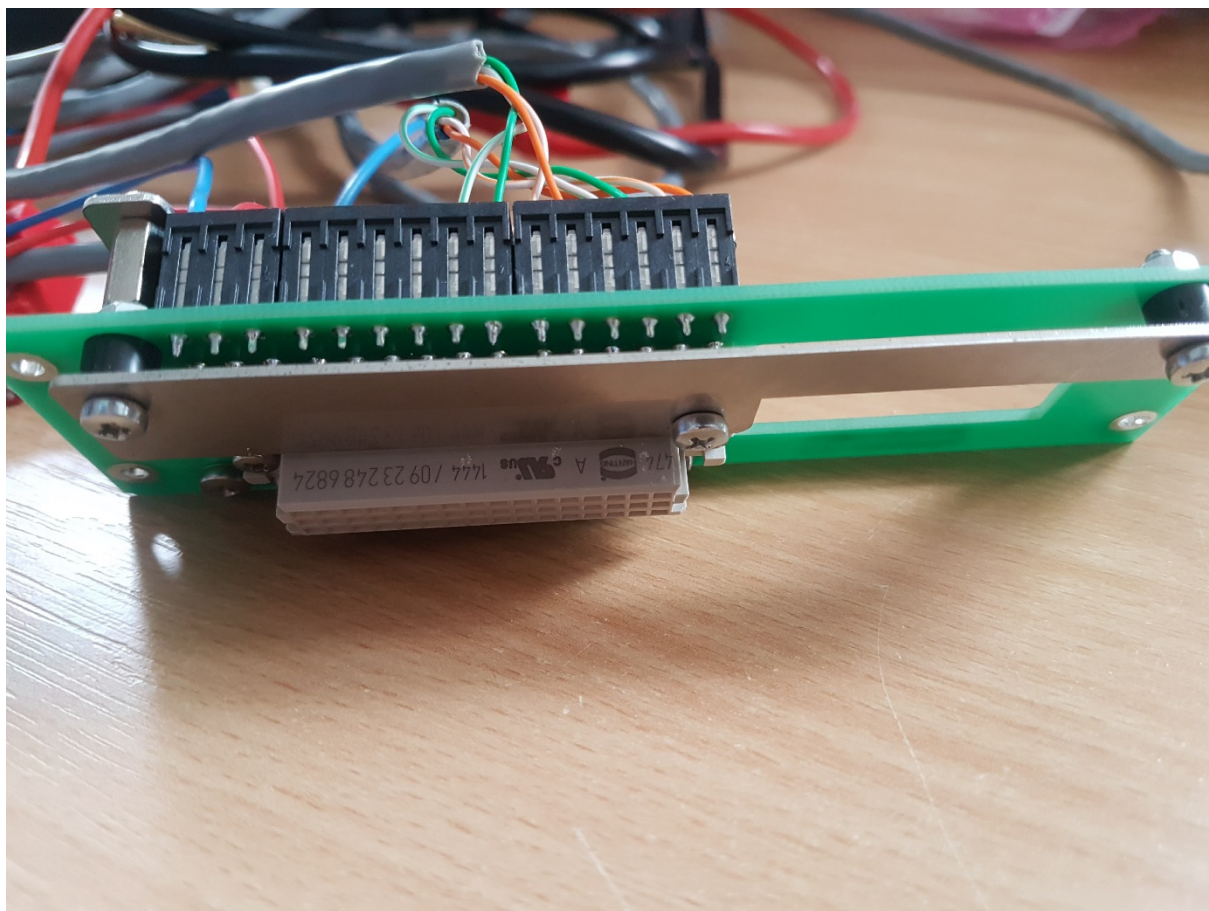
Příloha A.8 – Fotografie switchu a kazety do 3U panelu



Příloha A.9 – Fotografie čelní samolepky



Příloha A.10 – *Fotografie zadního konektorového dílu*



Příloha A.11 – *Obsah CD*

Přiložené CD obsahuje textovou část bakalářské práce pod názvem BubenD_NavrhSwitche_JP_2017.pdf.