



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ**

**ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

## **VÝVOJOVÁ DESKA S ARM CORTEX M4**

ARM CORTEX M4 DEVELOPMENT BOARD

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

MASTER'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Bc. LUKÁŠ VOLEK**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**Ing. FRANTIŠEK BURIAN**

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav automatizace a měřicí techniky

# Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor  
**Kybernetika, automatizace a měření**

**Student:** Bc. Lukáš Volek

**ID:** 132189

**Ročník:** 2

**Akademický rok:** 2012/2013

## NÁZEV TÉMATU:

### Vývojová deska s ARM Cortex M4

## POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Seznamte se s mikrokontrolery ARM Cortex M4
2. Realizujte demonstrační desku pro mikrokontroler rodiny ARM Cortex M4.
3. na demonstrační desce zapojte obvod PHY a oživte ethernetové spojení protokolem TCP/IP
4. Vytvořte program do PC, který dokáže zpracovat data z této demonstrační desky.

## DOPORUČENÁ LITERATURA:

YIU, J.: The Definitive Guide to the ARM Cortex-M3. 2nd. ed. [s.l.] : Newnes, 2007. 400 s. ISBN 0750685344.

VÁŇA, V.: ARM pro začátečníky. [s.l.] : BEN, 2009. 196 s. ISBN 978-80-7300-246-6.

**Termín zadání:** 11.2.2013

**Termín odevzdání:** 20.5.2013

**Vedoucí práce:** Ing. František Burian

**Konzultanti diplomové práce:**

**doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.**

*Předseda oborové rady*

## UPOZORNĚNÍ:

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

## **Abstrakt**

V práci jsem se převážně zaměřil na návrh univerzálního systému pro testování nejen mikrokontroléru STM32F407/417 od firmy STMicroelectronics, ale následně i různých senzorů a komunikačních sběrnic. Výsledkem tak je hlavní deska s mnoha specializovanými konektory pro jednotlivé sběrnice současně s konektory zpřístupňujícími všechny I/O piny. Napájení je díky pokročilejším verzím spínaných stabilizátorů opět variabilní od jednoho Li-Ion článku přes dvojici alkalických článků, autobaterii, běžné síťové napájecí adaptéry (stejnoseměné i střídavé do 15 V<sub>pp</sub>), USB, laboratorní zdroje s několika výstupy až po POE (napájení přes Ethernet). Napájecí napětí jsou pod kontrolou komparátorů s optickou signalizací. (S jejich použitím je ve většině případů možné snadno určit postiženou větev bez měřicího přístroje a hořících součástek.) Dalším důležitým parametrem byla robustnost napájecích větví i komunikačních linek. V rámci možností je tedy osazeno množství TVS, tlumicích indukčností a velkých kondenzátorů s nízkým ESR. Software pro počítač je určen pouze k základní demonstraci funkčnosti.

## **Klíčová slova**

ARM, Cortex M4, STM32F407, STM32F417, KMZ8895, KMZ8995, Ethernet, Přepínač, Fyzická vrstva, TCP/IP, mikrokontrolér, USB, vývojová deska, UART, modulární systém, modul, senzor

## **Abstract**

In this work I aimed at designing a universal system for testing either STM32F407/417 by STMicroelectronics and later various sensors and communication buses. The result then is a main board with many specific connectors for individual buses even with connectors making all I/O pins accessible at the same time. Thanks to advanced switching regulators the power supply is capable of accepting a wide range of sources like single Li-Ion cell, pair of alkaline cells, 12V Lead battery, common wall power adapters (both DC and AC up to 15 V<sub>pp</sub>), USB, laboratory power supplies with multiple outputs and finally POE (Power Over Ethernet). Supply voltages are supervised by voltage comparators with an optical signalisation. (It is possible to determine the sick branch without a measuring instrument and blowing components in the most cases.) Another important parameter was a robustness of the supply and communication lines. There is a number of TVSSs, chokes, and big and low ESR capacitors A PC software is intended for a basic functionality demonstration only.

## **Keywords**

ARM, Cortex M4, STM32F407, STM32F417, KMZ8895, KMZ8995, Ethernet, Switch, PHY, TCP/IP, microcontroller, USB, EvalBoard, UART, modular system, module, sensor

## **Bibliografická citace:**

VOLEK, L. *Vývojová deska s ARM Cortex M4*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2013. 58s. Vedoucí diplomové práce byl Ing. František Burian.

## **Prohlášení**

„Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Vývojová deska s ARM Cortex M4 jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: 20. května 2013

.....

podpis autora

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Františku Burianovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce. Děkuji Ing. Soběslavu Valachovi za konzultaci připojení PHY pomocí MII. Dále děkuji výrobcům STMicroelectronics, Micrel, Analog Devices, Texas Instruments, Linear Technology, Vishay, Bourns, Kemet a Semtech za poskytnutí vzorků pro hlavní desku mikrokontroléru i pro rozšiřující moduly a firmě Apama za expresní výrobu desky plošných spojů.

V Brně dne: 20. května 2013

.....

podpis autora

## Obsah

1	Úvod.....	9
2	Možnosti řešení.....	10
2.1	Složitost zapojení.....	10
2.1.1	Univerzálnost.....	10
2.1.2	Robustnost.....	10
2.1.3	Jednoduchost ovládání.....	11
2.2	Rozvržení DPS.....	11
2.3	Programování.....	11
2.3.1	Programátory.....	12
2.3.2	Vývojová prostředí.....	12
2.4	Vývojové sestavy od známých značek.....	12
	Praktické provedení.....	13
2.5	Konečné rozvržení.....	13
2.5.1	Návrh obvodu.....	13
2.5.2	Výběr součástek.....	13
2.5.3	Návrh tištěného spoje.....	14
2.5.4	Objednání tištěného spoje.....	14
2.5.5	Osazení tištěného spoje.....	14
2.6	Rozbor obvodu.....	15
2.6.1	Napájení 2,7 – 15 V.....	15
2.6.2	Napájení 5 V.....	17
2.6.3	Napájení 3,3 V.....	18
2.6.4	Záložní napájecí článek.....	19
2.6.5	Obvody hlídání napájecích napětí.....	20
2.6.6	Napájení mikrokontroléru.....	23
2.6.7	Napájení integrovaného obvodu fyzické vrstvy ETH.....	25
2.6.8	Napájení rozšiřujícího modulu s ETH konektory a POE.....	27
2.6.9	Zapojení mikrokontroléru.....	27

2.6.10	Obvody nutné pro základní funkce mikrokontroléru .....	29
2.6.11	Konektory pro přístup ke všem vývodům mikrokontroléru.....	32
2.6.12	Napájecí konektory pro hlavní rozšiřující moduly .....	33
2.6.13	Externí paměť SRAM.....	33
2.6.14	Ethernet 10/100 Mbit.....	34
2.6.15	Programovací rozhraní SWD/JTAG.....	38
2.6.16	USB OTG HighSpeed nebo FullSpeed .....	39
2.6.17	USB OTG FullSpeed, UART1 nebo CAN1 .....	41
2.6.18	UART 6 .....	42
2.6.19	CAN1 a 2.....	42
2.6.20	SPI1 .....	43
2.6.21	SPI2 .....	44
2.6.22	I2C1, I2C3 a UART1 nebo CAN1, I2C3 a UART1 .....	45
2.6.23	I2C2 nebo UART3.....	46
2.6.24	SDIO nebo SPI3.....	46
2.6.25	IrDA (UART1).....	47
2.6.26	Kvadrurní Enkodéry na čítačích TIM5 a TIM8 + tlačítka .....	47
2.6.27	Tlačítka pro všeobecné použití .....	48
2.6.28	Teplotní snímač.....	48
2.7	Ovládací program pro počítač.....	49
3	Závěr .....	51
5	Bibliografie .....	52
6	Seznam použitých zkratk .....	54
7	Seznam příloh.....	55
	Příloha A – Fotografie.....	56
	Příloha B – BlokoVé schéma STM32F417 .....	59
	Příloha C – CD .....	60
	Příloha D – Schéma vývojové desky .....	60
	Příloha E – Návrh desky plošných spojů.....	60



# 1 ÚVOD

Záměrem této diplomové práce je návrh vývojové desky pro účely testování 32bitového mikrokontroléru STM32F407/417 od firmy STMicroelectronics. Je požadována možnost rozšíření o další modul/moduly například senzorů, zobrazovačů, budičů sběrnic, ovládacích prvků apod. Navržen má být i obvod pro připojení do sítě Ethernet. Protože samotný mikrokontrolér integruje pouze část elektroniky pro připojení k Ethernetu, je třeba vybrat integrovaný obvod fyzické vrstvy. Vedoucím práce je navrženo použití konkrétního obvodu s čtyřnásobným ethernetovým přepínačem. Pro účely demonstrace má být napsán program komunikující s vývojovou deskou.

## 2 MOŽNOSTI ŘEŠENÍ

### 2.1 Složitost zapojení

Snad každý obvod může být navržen jako jednoduchý nebo složitý. Vždy záleží na prioritách. Složitost zapojení tedy odpovídá dále popsaným kritériím.

#### 2.1.1 Univerzálnost

Vývojové desky jsou navrhovány ve verzích od zaměření na jednu konkrétní vlastnost propagovaného výrobku (šum, přesnost, dlouhodobá stabilita, rozsah, ...) až po komplexní vývojové systémy. Komplexní systémy zahrnují nejen hlavní desku a moduly, ale také například programátor, výkonové (osvětlovací prvky, topení, ...) a mechanické prvky (montážní konstrukce), vlastní napájecí zdroj, počítačový software a ukázkové kódy. Pro většinu jednotlivých modelů mikrokontrolérů od 8bitových po 32bitové jsou od předních výrobců k dostání verze pro začátečníky i pro profesionály.

#### 2.1.2 Robustnost

Vše se točí především kolem ceny a spolehlivosti, což jsou výrazné protiklady. Další parametry pak jsou přesnost, rozměry, dostupnost dílů, náročnost výroby a podobně. Ano, spolehlivost lze někdy dosáhnout použitím jednoduchých součástek a obvodů, protože méně potenciálních zdrojů poruch může odpovídat menší četnosti poruch. Častěji se ale setkáme s opakem – zněkolikanásobení celých podobvodů s automatickou detekcí závad a přepojováním funkčních bloků. Přidávání ochranných prvků je pak samozřejmostí.

U vývojových desek se běžně nesetkáme s požadavky na teplotní rozsahy, odolnost proti výbojům na sběrnících nebo v napájení. Rozhodně se žádné bloky nezdvoují pro účely spolehlivosti ani se nepoužívá automatická detekce poruch. Takové systémy by několikanásobně, někdy i řádově zvýšily náklady na vývojový systém. Na druhou stranu tu musíme počítat s větším rizikem uživatelské chybné manipulace s deskou. To zahrnuje přepólování napájení, nesprávné vložení modulární desky, zkratky kolíkových lišt vodivým nástrojem, výboje ESD do odhalených kolíkových lišt kvůli nedodržování zásad manipulace s ESD citlivými zařízeními, přetížení výstupů a ve výčtu by se dalo pokračovat (stačí si sáhnout do svědomí).

**Z těchto důvodů je třeba určitá opatření zařadit do návrhu**

### 2.1.3 Jednoduchost ovládání

Dalším bodem, kde se hledá kompromis, je množství a rozmístění ovládacích prvků a celkové možnosti nastavení. Pokud bude ovládání řešeno pouze několika málo prvky, může být systém snadno ovladatelný ale jen obtížně zároveň i komplexní, nastavitelný a univerzální. V nepřehledném množství voleb se jen těžko vyznáme bez jejich jednoznačného označení a ovládání. V opačném případě nepřehledně uspořádané a neseskupené prvky ovládání uživateli nepomohou ani pro jednoduché úkony.

Konkrétně v rámci vývojových desek pro mikrokontroléry se většinou setkáme s množstvím konektorů, tlačítka, svítivými diodami, znakovými či grafickými zobrazovači a okrajově jinými prvky jako jsou potenciometry, trimery a jiné snímače. Vzhledem k téměř výhradně nekrytovanému provedení je užíváno k označení potisku (silkscreen) desky plošných spojů (DPS). Takovéto označování je běžně přehledné a srozumitelné. Téměř výhradně jsou používány zkratky s anglického jazyka.

## 2.2 Rozvržení DPS

Podobně jako elektrický návrh musí být i deska plošných spojů navrhována s ohledem na aplikaci. Mnoho malých vývojových desek si vystačí s dvouvrstevným návrhem, jednoduché rozšiřující moduly dokonce s jednou vrstvou (tlačítka, LED signalizace, akustické moduly, ...).

Použití čtyř a vícevrstevných materiálů bývá opodstatněno několika základními důvody:

- požadavek na vysokou hustotu osazení,
- potřeba impedančního přizpůsobení s jednolitou zemní plochou,
- konstrukce Faradayovy klece pomocí zemnicích ploch na vnějších a okrajových prokovech,
- nebo jednoduše snazší distribuce napájení vnitřní napájecí a zemnicí vrstvou.

Další důležitý parametr je třída přesnosti odvíjející se od minimální mezery mezi vodivými plochami, minimální šířky spoje a minimálního průměru vrtaného otvoru (1) Pochopitelně při použití součástek v SMD pouzdrech s vysokou hustotou vývodů není možné dosáhnout třídy nižší než V (s číslem třídy roste přesnost).

## 2.3 Programování

Výrobci mikrokontrolérů se snaží poskytnout vývojáři co nejkompaktnější servis, aby tak urychlili nasazení vlastních výrobků do výroby. Spolupracují proto i s vývojáři

počítačových programů, vývojových prostředí i návrháři vývojových desek. V případě firmy STMicroelectronics jsou přímo na stránce dokumentů a podpory mikrokontroléru STM32F417 nabízeny kromě sestav od STM také sestavy od předních výrobců vývojových desek.

### 2.3.1 Programátory

Běžný postup jak nahrát program do mikrokontroléru býval od dob 8051 stisknutí správné sekvence tlačítek a poslání hexadecimálního souboru programu po sériové lince. Tento postup je v současnosti ve stínu programování přímo pomocí ladicích programátorů s JTAG sběrnici. Není však 100% nahrazen a existují dokonce i jeho varianty přes další, modernější sběrnice jako USB, CAN, Ethernet a I2C. K dispozici přímo na stránce vývojářské podpory vybraného mikrokontroléru jsou nabízeny RKit-ARM a STX-RLINK od Raisonance, MDK-ARM od Keil a možnost programování po sběrnici SWD umožňuje například i miniaturní vývojový kit STM32F4DISCOVERY od STM s integrovaným převodníkem USB-SWD a konektorem pro programování externí desky.

### 2.3.2 Vývojová prostředí

V současné době je na stránce vývojářské podpory STM32F417 řada nabízených vývojových prostředí. Znamé značky jsou IAR, Keil, Raisonance a Crossworks, ale vlastní zkušenost s STM32 mám pouze v prostředí Ride7 od firmy Raisonance. V prostředích od IAR i Keil jsem již také programoval Cortex M3, ale ten byl od firmy Analog Devices s jejich vlastní knihovnou funkcí a registrů.

## 2.4 Vývojové sestavy od známých značek

Mikrokontroléru ARM Cortex v provedení od firmy STM jsou velmi oblíbené, proto STM neustále rozšiřuje jejich řady a vydává nové modely. Ze stejného důvodu vznikla na trhu relativně různorodá škála vývojových desek. Přímou u STMicroelectronics je možné si vybrat z modelů [STM3240G-EVAL](#), [STM3241G-EVAL](#) a [STM32F4DISCOVERY](#). Od Raisonance jsou nabízeny [STM32-PRIMER](#) a [STMPRIMER](#). IAR nabízí [STM3240G-SK/IAR](#) a Keil konkuruje svým [STM3240G-SK/KEI](#). Také firma Olimex známá svými vývojovými kity má tento mikrokontrolér v nabídce v kitech [STM32-E407](#) a [STM32-H407](#). Takovýto výběr ovšem před několika lety nebyl a i v současné době jsem stále rád, že si navrhuji vlastní desku podle vlastních kritérií.

# PRAKTICKÉ PROVEDENÍ

## 2.5 Konečné rozvržení

Nepadlo na samém začátku, ale v průběhu návrhu jsem musel ustupovat z některých původních požadavků a definovat nové. Ustoupil jsem například od představy, že by podobně jako u pokročilých vývojových systémů byly veškeré budiče sběrnic na hlavní desce. Takový ústupek byl ovšem nahrazen novou koncepcí s v tomto projektu normalizovanými konektory sběrnic. Výhodnější je toto řešení nejen díky možnosti použít modulární desky i s jinou mikrokontrolérovou deskou, ale především pro umožnění používání izolovaných budičů sběrnic jako je USB ([ADUM4160](#)), CAN ([ADM3053](#)), RS232 ([ADM3251](#)), RS485 ([ADM2682](#)), SPI ([ADUM3441](#)), I2C ([ADUM1250](#)), které by se na univerzální desku nehodily pro větší potřebnou plochu.

### 2.5.1 Návrh obvodu

Jak jsem již rozebíral v kapitole 2.1.2 (Robustnost), určitá robustnost je nutná i u vývojových desek. S tímto ohledem jsem vybíral pojistku, přepěťové ochrany, odrušovací indukčnosti, vyhlazovací kondenzátory i sériové rezistory. Schéma jsem se rozhodnul popisovat v angličtině pro jeho srozumitelnost širší veřejnosti.

### 2.5.2 Výběr součástek

U integrovaných obvodů většinou hrála roli cena, což jsem řešil, kde to bylo možné, výběrem vzorků u velkých výrobců polovodičů. Pasivní součástky jsem pak s preferencí pouzdra 0603 palcového značení vyhledával v katalogu společnosti Farnell za pomoci pokročilých filtrů. Z těchto seznamů jsem nakonec vybíral položky dostupné v malých objednacích objemech za přijatelnou cenu v pouzdře, které nabízí i jiný výrobce (záložní zdroj objednávek). LED diody jsem koupil výhodně ve výprodeji, takže nejsem schopen uvést modelové číslo. Modré LED s rezistorem pro malý, neoslňující If (50-100  $\mu$ A) slouží jako neutrální nebo pozitivní informace. Červené LED s předřadným rezistorem nastavujícím proud kolem 1-10 mA pak působí jako výstraha nebezpečného stavu. Kondenzátory jsem se snažil volit s povoleným napětím 1,5-2x větším než je očekávané. Výjimkou jsou kondenzátory s velkou kapacitou, kde jsem ovšem rozhodně nepřekročil povolené napětí předpokládanou hodnotou.

### 2.5.3 Návrh tištěného spoje

S ohledem na cenu výroby tištěných spojů mi vedoucí práce doporučil, abych se pokusil navrhnout pouze dvouvrstvou desku. Na návrh jsem přistoupil a své úsilí směřoval tímto směrem. Později se ukázalo, že čtyřvrstvá deska by v tomto případě byla opodstatněná a mohla by teoreticky nabídnout výrazně lepší parametry zaručené samotným způsobem zapojení vysokorychlostních sběrnic. Rozhodl jsem se však vyzkoušet, zda se i takto navržená deska bude chovat dle požadavků. Třidu přesnosti jsem dodržoval VI (0,15 mm spoj; 0,15 mm mezera; 0,3 mm vrtání), protože to je maximum mnoha středních firem.

### 2.5.4 Objednání tištěného spoje

Již před návrhem tištěného spoje je důležité mít představu, u jaké formy a při dodržení jakých parametrů je možné nakonec DPS objednat a nechat vyrobit. Opět je řeč o třídě přesnosti spojů, materiálu DPS (tloušťka dielektrika, tloušťka mědi jsou parametry důležité pro výpočet impedance). Také je vhodné vědět jaké značení a pořadí vrstev používá výrobce. Stejně tak formát dat. Pokud výrobce nepodporuje použitý CAD systém, většinou přijímá formát Gerber-X, do kterého většina programů umí expedovat. Běžné dodací lhůty českých firem jsou 10 pracovních dnů. Příplatky za expres rostou prudce, ale je tam možné získat výrobek třeba i do druhého dne. Velké firmy s pobočkami v ČR nabízejí standardní dodací lhůty 5 pracovních dnů s příplatky z expres. Rozhodoval jsem se mezi výrobcí Gatema Pool servis (možnost vyzvednutí v Brně), Pragoboard Pool servis – naprosto stejný ceník Pool servisu (kusová výroba) a firmou Apama se sídlem v Brně. Vyhrála Apama zvýhodněnou nabídkou expres objednávky.

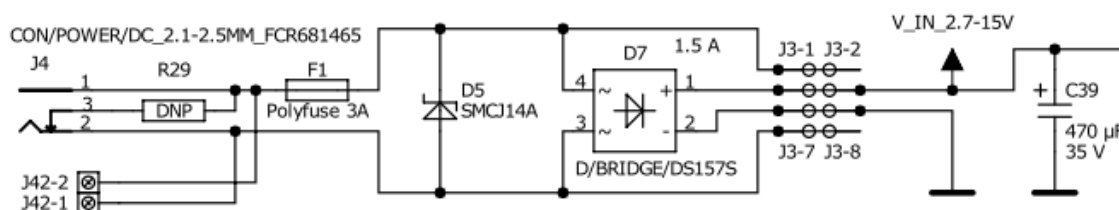
### 2.5.5 Osazení tištěného spoje

Rozhodnul jsem se osazovat postupně a testovat jednotlivé podobvody. Je to výhodnější oproti hromadnému zapájení v peci a následnému hledání případné závady: Je chyba na DPS? Je chyba v návrhu DPS? Není někde skrytý zkrat? Je vše správně zaletováno? Nebyla některá součástka poškozena pájením? Součástky jsou umístěny na své místo po nanesení pájecí pasty a poté zapájeny ruční mikropájkou s nástavcem pro „mini vlnu“. Po každé skupině je připojeno napájení a otestována funkce (stabilizace, detekce napětí komparátorem, první pokusy o programování, ...)

## 2.6 Rozbor obvodu

Nyní projdeme jednotlivé podobvody a vše si detailně popíšeme. Pro jednoduchost jsem všechny **přepínače** s možnostmi A či B zapojil tak, aby **volba A byla výchozí nastavení** desky. Dále jsou všechny výchozí pozice zkratovacích propojek ve schématu vyznačovány obdélníčkem spojujícím příslušné piny.

### 2.6.1 Napájení 2,7 – 15 V



Obr 1 – Vstupní obvod napájení 2,7 – 15 V (úprava)

#### J4 – Standardní DC konektor s vypínačem:

FCR681465 svou unikátní konstrukcí (listové pružiny na středovém kolíku) nabízí možnost připojit koncovky otvory 2.1 mm i 2.5 mm.

#### J42 – Standardní průmyslový konektor – svorkovnice/odpojitelná svorkovnice:

Již mnohokrát jsem pracoval s vývojovou deskou, která byla připojena desítkou kabelů ve svorkovnicích a pokud jsem chtěl odpojit napájení, bylo třeba vypnout zdroj, nebo odšroubovat vodič napájení („skvělé“ obzvláště pokud se jedná o tři nezávislá napětí a není známo optimální pořadí napájecí sekvence). Proto jsem vybral konektor (Série 3221) od firmy Würth Elektronik s odpojitelnou svorkovnicí (Série 3611). Nabízí vysokou spolehlivost připojení i proudovou zatížitelnost (10 A) a zároveň flexibilitu snadného odpojení/připojení.

#### R29 – Vybíjecí rezistor:

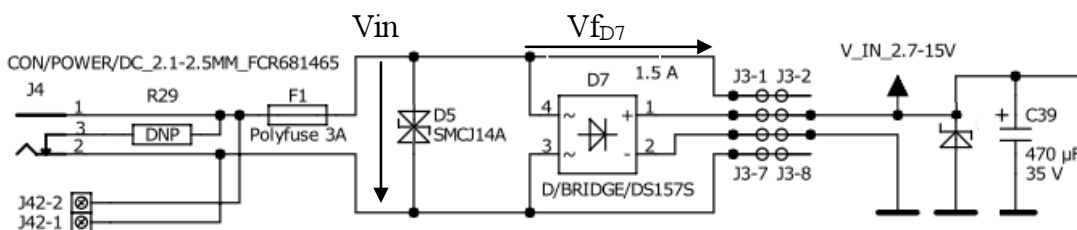
Neosazený rezistor R29 může být osazen při požadavku na vybití kondenzátorů na desce rychle po odpojení napájení. V takovém případě může být konektor J42 použit pouze zároveň s nezapojenou koncovkou vloženou do J4 (jinak by R29 stále zatěžoval napájení). Hodnota R29 závisí na velikosti osazených kondenzátorů a povolené výkonové ztrátě na daném pouzdře rezistoru. Bude se jednat o hodnoty vyšší než DC

specifikace, a zároveň nižší než výjimečně udávaná ESD specifikace. Například katalogový list (2) silnovrstvého rezistoru pro pulzní aplikace CRM1206 od firmy Bourns udává pro pouzdro 1206 DC výkon 0,5 W a záruku změny hodnoty odporu pod 2 % po pětinasobném výkonovém přetížení po dobu 5 s.

### Dále:

Za dvěma standardními konektory J4 a J42 následuje polovodičová nadproudová pojistka v kombinaci s TVS. Tato sestava má za úkol chránit vývojovou desku před nevhodným napájením.

POZOR: Původní schéma není optimální. TVS D5 může být osazena původní pouze v případě dodržování polarit napájení! V takovém případě není třeba osazovat usměrňovací můstek D7. V případě potřeby usměrňovače D7 doporučuji nahradit unipolární D5 verzi bipolární (SMCJ14CA) a pokud to aplikace dovoluje, nahradit C39 původní diodou SMCJ14A. SMCJ14A By také mohla být umístěna na dále popsaném zkratovacím konektoru pro J3 (nebo v nejhorším naletovat pouzdra SMCJ14A a C39 jedno na druhé na pozici C39). Na Obr 2 je návrh úpravy pro příští verzi DPS.



Obr 2 – Vstupní obvod napájení 2,7 – 15 V (úprava)

### J3 – 8pinový konektor pro přemostění můstku:

Konektor J3 slouží k přemostění usměrňovacího můstku D7 v případech:

- nízké vstupní napětí [ $V_{in} < (2,7 + V_{fD7})$ ],
- neosazení usměrňovacího můstku,
- potřeby vyššího proudu (maximálně však 6 A), než 1,5 A (maximální povolený proud můstkem)

Konektor se spíná čtveřicí zkratovacích propojek takto: 1-3, 2-4, 5-7, 6-8. Samozřejmě není vyloučena výroba zkratovacího konektoru z dvouřadé dutinkové lišty.



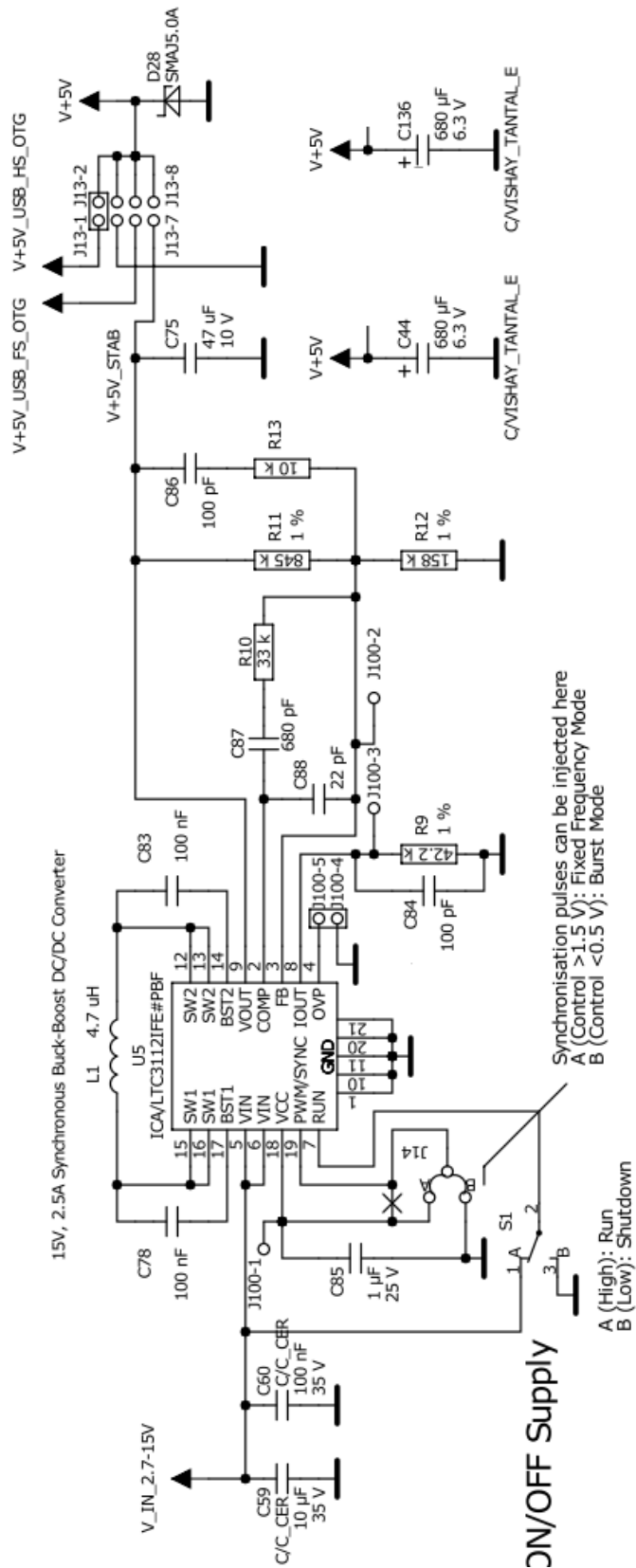
## 2.6.2 Napájení 5 V

Do napájecí větve jsou přidány dva kondenzátory C59 (10  $\mu$ F) a C60 (100 nF) na desce plošných spojů umístěné těsně u pouzdra spínaného stabilizátoru U5.

### U5 – Buck-Boost spínaný stabilizátor s integrovanými spínači v můstku:

Vysoce integrovaný výkonný spínaný stabilizátor od Linear Technology s integrovanou nadproudovou a tepelnou pojistkou, s možností nastavení precizní výstupní přepětové ochrany. Nabízí synchronizaci pro snížení zvlnění na napájecích větvích, vypínací pin ovládaný přepínačem S1 a výstup úměrný odebranému proudu. Výstup je dostupný na J100-3 s rezistorem R9 pro převod stabilizovaného proudu na napětí a vyhlazovacím kondenzátorem C84.

Integrovaný není pouze spínačový můstek měniče ale také boost diody pro napájení vrchních tranzistorů můstku. Nevýhodou oproti možným variantám je pouze absence verze s pevným výstupním napětím a bylo tedy třeba nastavit výstupní dělič s kompenzací pro rychlou odezvu na pulzní zátěž.



Obr 3 – Obvod napájení 5 V

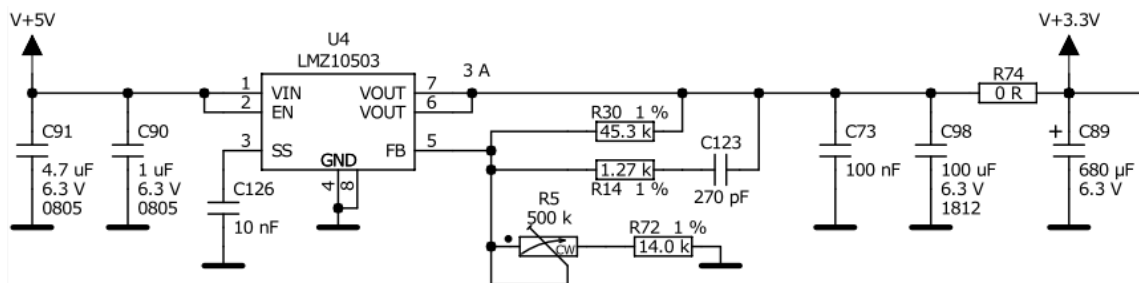
### J100 – 5pinový konektor:

Slouží pro případné doplňkové obvody, jako jsou kontrola přepětí a výstupu, měření proudu či obvod nastavitelné nadproudové ochrany s operačním zesilovačem. Operační zesilovač by sloužil k injekci napětí do zpětné vazby na základě měření výstupního proudu (schéma neuvedeno).

### J13 – 8pinový konektor pro výběr zdroje 5V:

- 1-2 Napájení z USB z konektorů A (J22) a mini-B (J20) u ULPI modulu,
- 3-4 Případné připojení externího zdroje stabilizovaných 5 V,  
3 ... GND, 4 ... +5V
- 5-6 Napájení z USB FS z konektoru J29,
- 7-8 Využití výstupu ze stabilizátoru U5.

### 2.6.3 Napájení 3,3 V



Obr 4 – Obvod stabilizace 3,3 V

### U4 – Spínaný stabilizátor s integrovanou indukčností:

Zde návrháři z Texas Instruments zašli ještě o krok dále. Integrovaný obvod v pouzdře podobném známému TO220 **integrovali** dokonce i **indukčnost**.

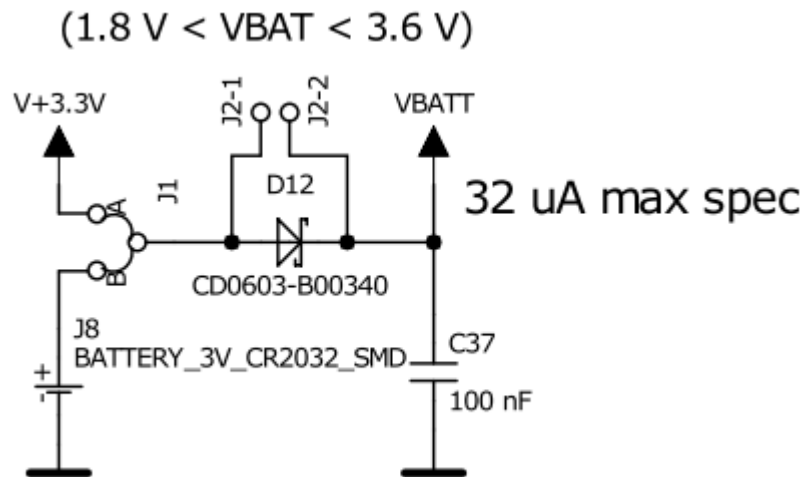
Do zpětnovazebního děliče opět s kompenzací rychlých změn zátěže jsem přidal precizní miniaturní **11otáčkový trimmer**. Ten nám umožní **simulaci změn v napájení** mikrokontroléru a dosažení resetovacích úrovní.

### R74 – Propojovací nulový rezistor:

Umožňuje odpojení integrovaného stabilizátoru od obvodu například pro účely injekce vnějšího napětí z testovacího zdroje nebo připojení pokročilejšího modulu POE-PD se stabilizovanými napětími ke konektoru J48

## 2.6.4 Záložní napájecí článek

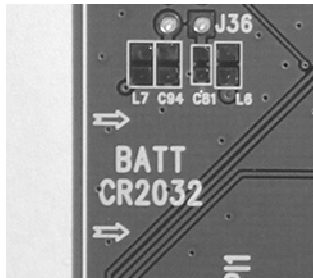
Záložní článek slouží pro napájení pouze malé části integrované paměti mikrokontroléru a LSE – pomalého oscilátoru pro přesné hodiny integrovaného kalendáře. Proud odebíraný ze záložního zdroje je specifikován (3) jako menší než  $32 \mu\text{A}$  za nejhorších podmínek.



Obr 5 – Záložní napájecí lithiový článek 3 V

### J8 – Držák článku CR2032:

SMD pružinový držák s pohodlným stranovým zasouváním článku je umístěn na spodní straně desky plošných spojů. Shora je jeho umístění označeno potiskem.



Obr 6 – Záložní napájecí lithiový článek – potisk DPS

### J1 – Výběr napájení zálohované paměti:

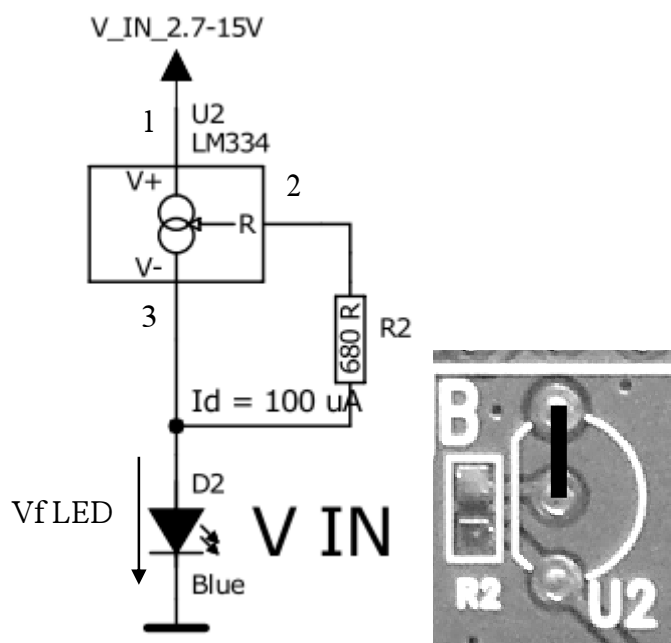
Po provoz bez záložního článku je výrobcem mikrokontroléru doporučeno (4) na vstup VBAT připojit napájecí větev digitální části rozvodů. Pokud chceme experimentovat se superkondenzátory nebo jinými zdroji záložního napájení, využijeme prostřední pin konektoru J1 a libovolný zemnicí pin (samozřejmě čím blíže pouzdra mikrokontroléru, tím lépe).

### D12 – Diode proti dobíjení nenabíjecího článku:

Schottkyho dioda je doporučena (4) výrobcem mikrokontroléru z důvodu možných (ač krátkých) pulzů při přepínání vnitřních struktur mezi režimy napájení z článku nebo z hlavního napájení. Pokud článek není chopen zpracovat nabíjecí pulzy, je třeba diodu nechat zapojenou. Pro zdroje jiné než Lithiový článek může být D12 přemostěna zkratováním J2.

## 2.6.5 Obvody hlídání napájecích napětí

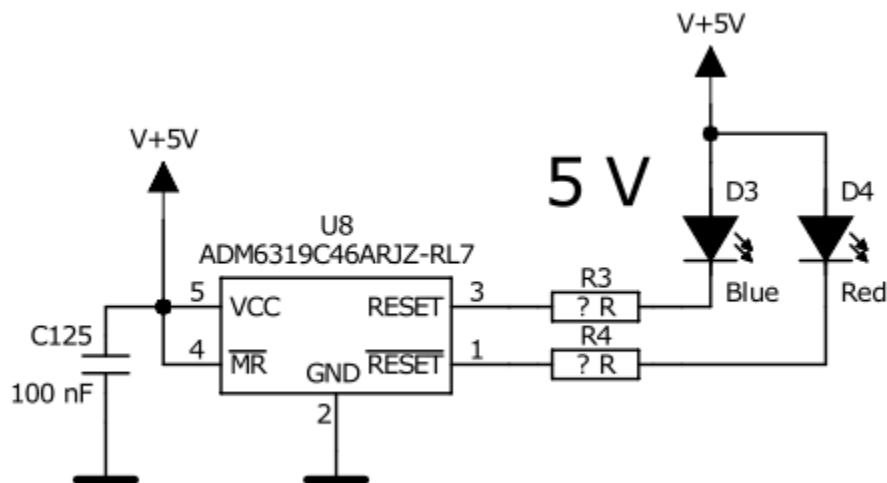
### U2 – Lineární sériový stabilizátor proudu do 40 V:



Obr 7 – Obvod hlídání vstupního napětí

Proudový stabilizátor jsem místo předřadného rezistoru vybral proto, že v rozsahu napájecího napětí by jas signalizační LED nadměrně kolísal. Rezistorem R2 je proud nastaven na přibližně 100  $\mu$ A (50  $\mu$ A by také stačilo), což je proud dostatečný pro signalizaci napájení. LED samozřejmě nebude svítit při vstupním napětí pod přibližně 3,8 V [3 V ( $V_f$  LED)+0,8 V ( $V_{cc}$  min LM334)]. Prakticky jsem ovšem vyzkoušel, že s danou vysocesvítivou modrou LED stačí na DPS přemostit (zkratovat) otvory 1 a 2 neosazeného obvodu U2 a R2 osadit hodnotou přibližně 82 k $\Omega$  (v rozsahu 47 až 100 k $\Omega$ ). Svit je pro signalizaci dostatečný i při 4 V a není nepříjemně intenzivní při 15 V. Dokonce LED svítí od samého napájecího minima 2,7 V a svit je stále rozeznatelný.

## U8 – Napět'ový komparátor se zabudovanou referencí:



Obr 8 – Obvod hlídání napětí 5V

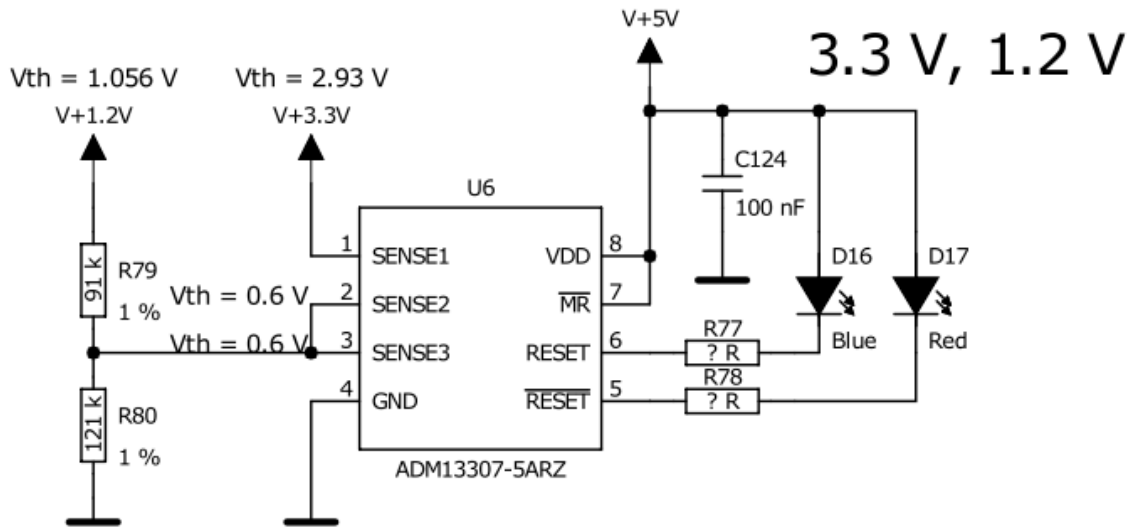
Precizní komparátor s referencí a časovačem umožňuje snadno hlídat napět'ový rozvod. Vzhledem k tomu, že je sám z kontrolované větve napájen, může dojít ke stavu, kdy napětí je nízké a výstražná LED (D4, červená, Err) přesto nesvítí. Proto jsem přidal i LED (D3, modrá, OK) signalizující normální stav. Časovač prodloužením zachyceného výpadku na minimálně 140 ms zajišťuje postřehnutelnost výpadku pouhým okem. (Okno je schopno vnímat změny pomalejší než 25 Hz;  $1/0,14s = 7,1$  Hz.) Hlídané napětí je 5 V.

Nastat tedy mohou kombinace:

- Svítí pouze LED „OK“ = v pořádku,
- svítí pouze LED „Err“ = napětí nižší než 4,63 V,
- Svítí LED „Err“ a problikává LED „OK“ = v napájení dochází k opakovaným výpadkům s fází „OK“ delší než 140 ms, takže se LED „OK“ rozsvítí do dalšího výpadku.
- Libovolná LED svítí slabě nebo problikává slabě = napětí pravděpodobně kleslo pod 1 V, kdy stav na výstupu komparátoru již není zaručen.
- Nesvítí žádná LED = napětí pravděpodobně kleslo pod 1 V, kdy stav na výstupu komparátoru již není zaručen.

Komparátor je pouze jednostranný a přepětí tedy nehlídá, ale to nevadí, jelikož ve všech napájecích větvích jsou TVS a pokud by ani ony nezasáhly, systému už těžko něco „pomůže“.

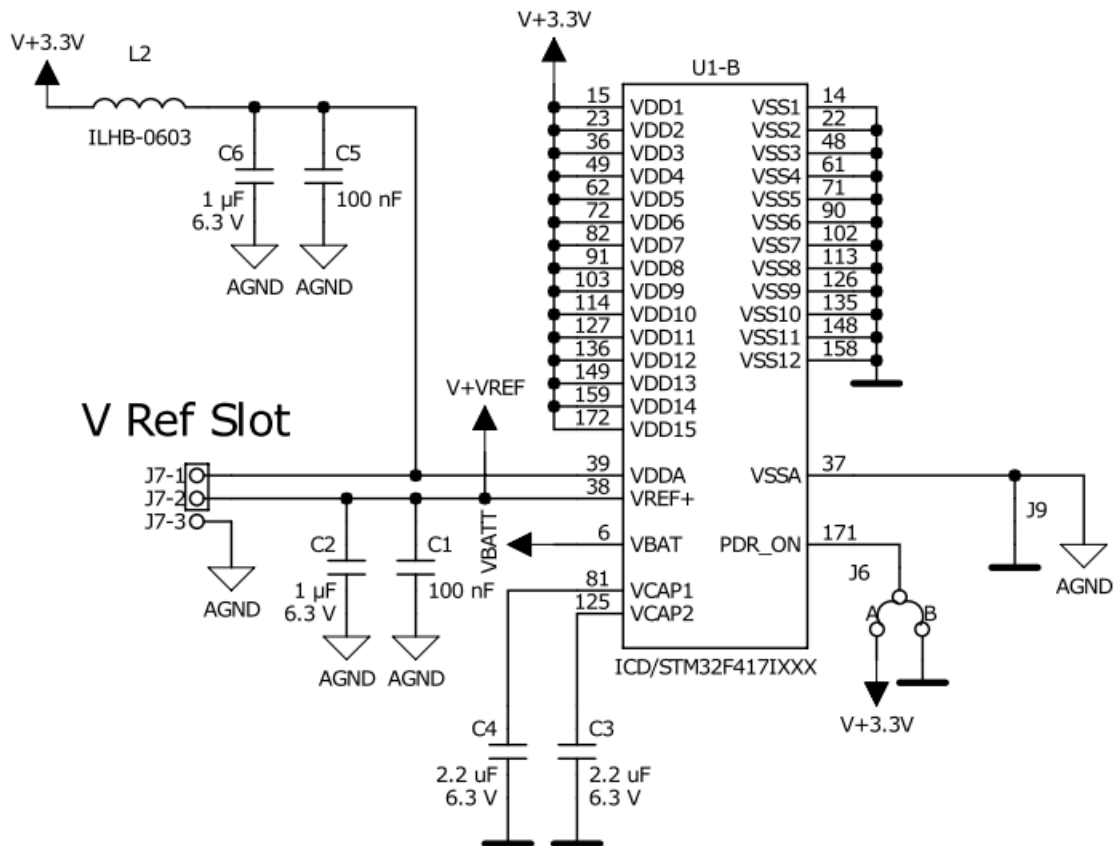
### U6 – Trojnásobný napěťový komparátor se zabudovanou referencí:



Obr 9 – Obvod hlídání napětí 3,3 V a 1,2 V

Oproti U8 disponuje tento komparátor třemi vstupy a nezávislým napájecím napětím. Zde, pokud hlavní napájení funguje, zobrazuje U6 všechny stavy hlídáných napětí definovaně. Hlídaná napětí jsou 1,2 V s minimem 1,06 V a 3,3 V s minimem 2,93 V. Stavů jsou sjednoceny do jednoho společného výstupu, což pro vizuální kontrolu správné funkce desky postačuje. Časovač zde plní stejnou funkci jako u U8 (prodloužením zachyceného výpadku na minimálně 140 ms zajišťuje postřehnutelnost výpadku pouhým okem).

## 2.6.6 Napájení mikrokontroléru



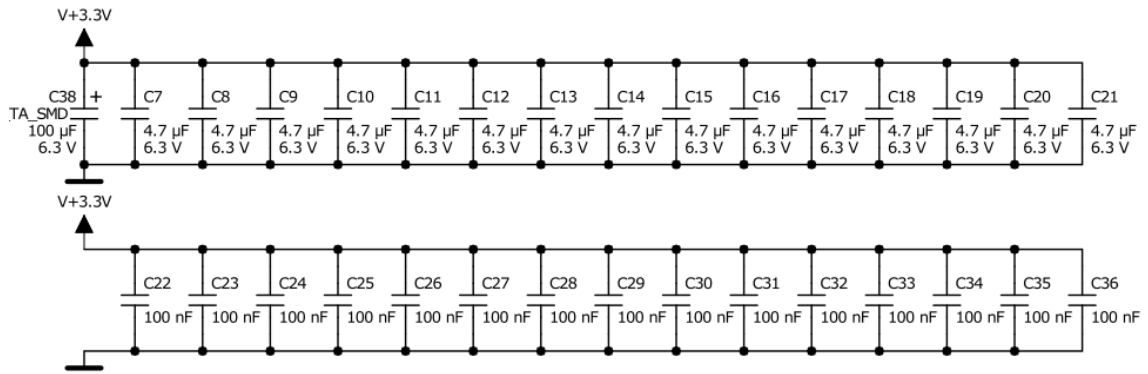
Obr 10 – Napájení mikrokontroléru

Tento podobvod z větší části odpovídá doporučenému zapojení z referenčního manuálu (3). Digitální napájení je pro účely využití v analogové části vyhlazeno přes L2, C5 a C6. Co bych podotknul je, že konektor J7 slouží k výběru referenčního napětí pro převodníky A/D a D/A.

Základní možnosti jsou:

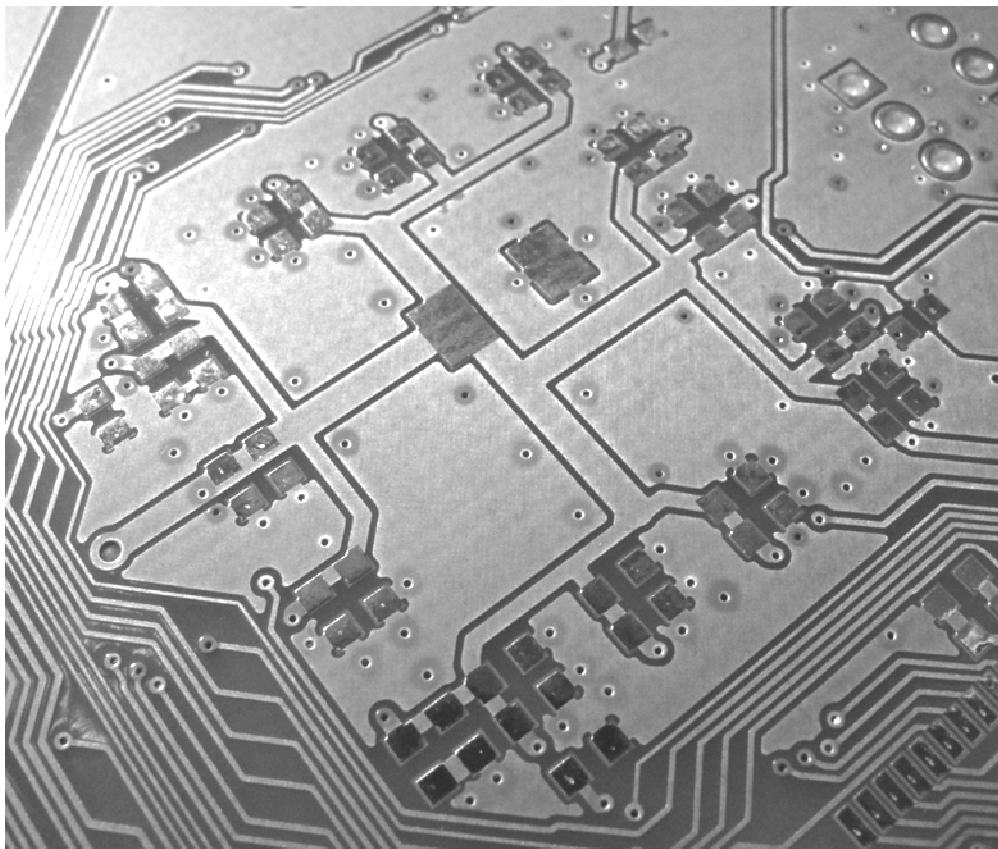
- připojení přesné reference,
- jednoduchého trimru pro podělení vyhlazeného digitálního napájení
- nebo přímé připojení vyhlazeného digitálního napájení zkratovací propojkou mezi J7-1 a J7-2.

Analogová zem je tu oddělená a k dispozici je na dvou pinech ze čtyř hlavních rozšiřujících konektorů (J39-24 a J34-1). Země jsou spojeny v jediném místě a to pod mikrokontrolérem v místě vývodu analogové země. Referenční napětí je vyvedeno pouze na J34-2. (Viz. 2.6.11 – Konektory pro přístup ke všem vývodům mikrokontroléru)



**Obr 11 – Baterie kondenzátorů pro mikrokontrolér**

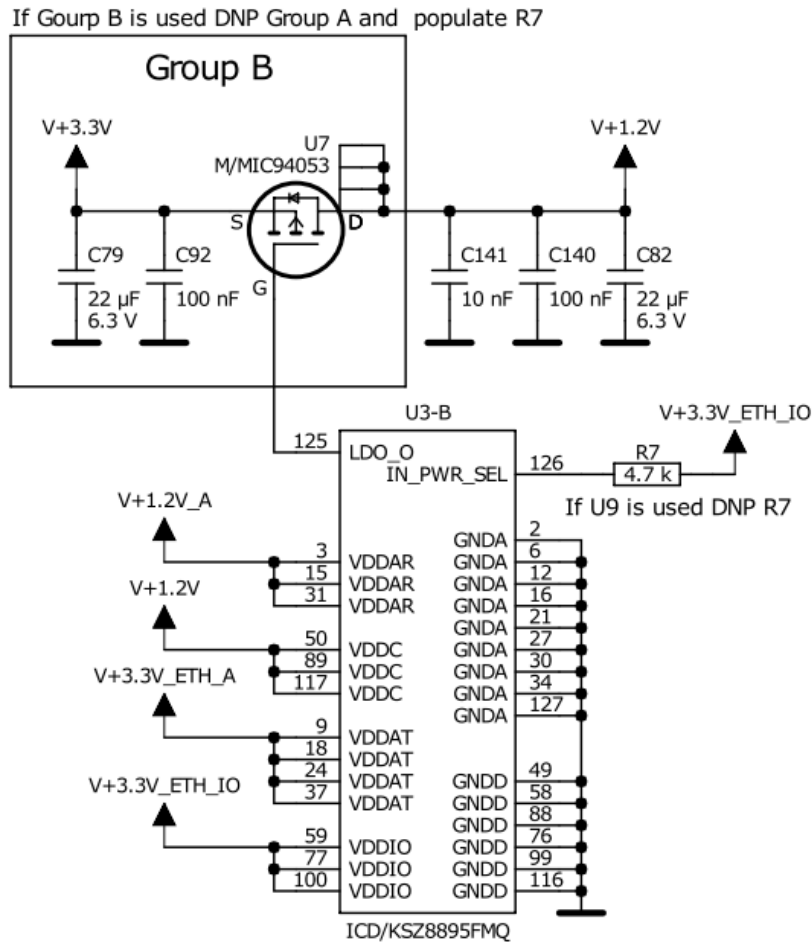
Každý vývod napájení mikrokontroléru je blokován dvojicí kondenzátorů  $4,7 \mu\text{F}$  a  $100 \text{ nF}$  co nejbližše vývodu. V návrhu desku plošných spojů jsem kondenzátory umístil na spodní stranu DPS a prokovy spojil s vývody.  $100 \text{ nF}$  kondenzátory jsou umístěné blíže než  $4,7 \mu\text{F}$ . Celá baterie společně sdílí jeden  $100$  mikrofardový kondenzátor pod středem mikrokontroléru. Cesty se poté hvězdnicovitě rozbíhají k jednotlivým dvojicím. Jednotlivá zemnicí plocha zůstala na straně součástek přímo pod mikrokontrolérem.



**Obr 12 – DPS  $\mu\text{C}$  – Náhled na hvězdici cest pro blokovací kondenzátory**



## 2.6.7 Napájení integrovaného obvodu fyzické vrstvy ETH

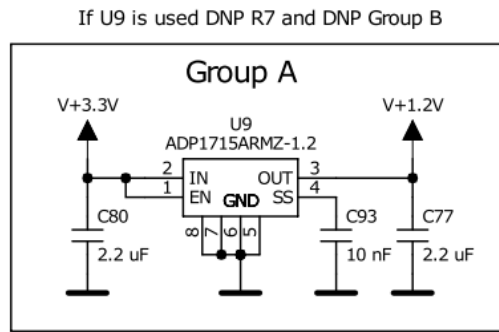


Obr 13 – Napájení Ethernetu + skupina B

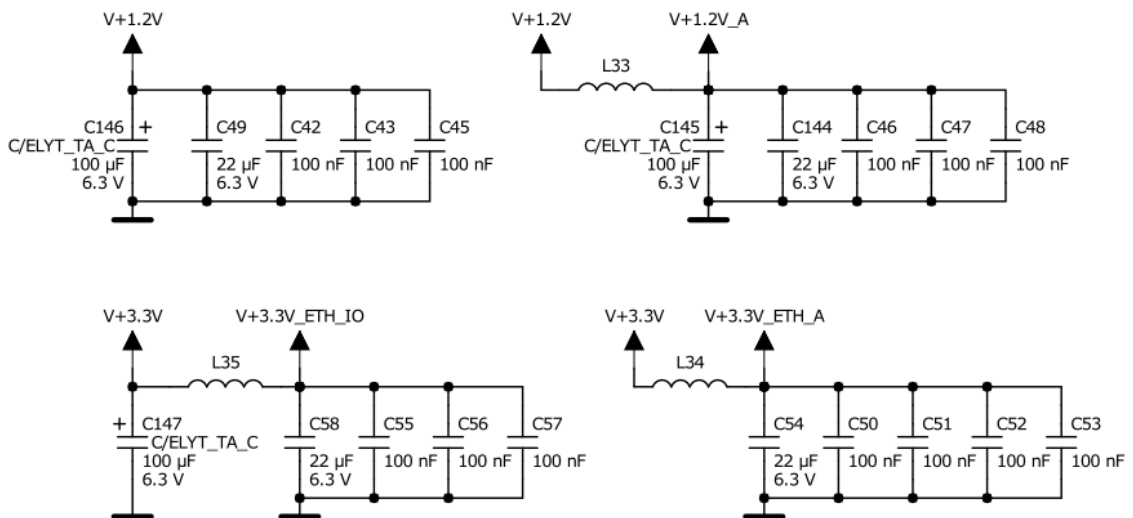
Starší verze integrovaného ethernetového přepínače (KSZ8995) vyžadovala více napájecích napětí (1,8 V, 2,5 V, 3,3 V) a externí stabilizátor pro každé.

Novější verze integrovaného ethernetového přepínače (KSZ8895) si vystačí s 3,3 V a 1,2 V, přičemž nabízí možnost stabilizace napájecího napětí 1,2 V z 3,3 V větve pomocí miniaturního a levného tranzistoru (U7) s integrovaným zvyšovacím (pull-up) rezistorem. Pro tuto volbu je určena skupina B společně s R7, který integrovaný regulační obvod zapíná.

Pokud se chceme raději spolehnout na kompletní lineární stabilizátor, vybral jsem precizní výrobek Analog Devices (U9) také v kompaktním pouzdru. Označil jsem jej s jemu příslušnými kondenzátory Skupina A. Nedoporučuji osadit Skupiny A i B najednou. Zprv by to bylo zbytečné a zadruhé by jistě docházelo saturaci jednoho z regulátorů a tak zhoršení reakcí i druhého.

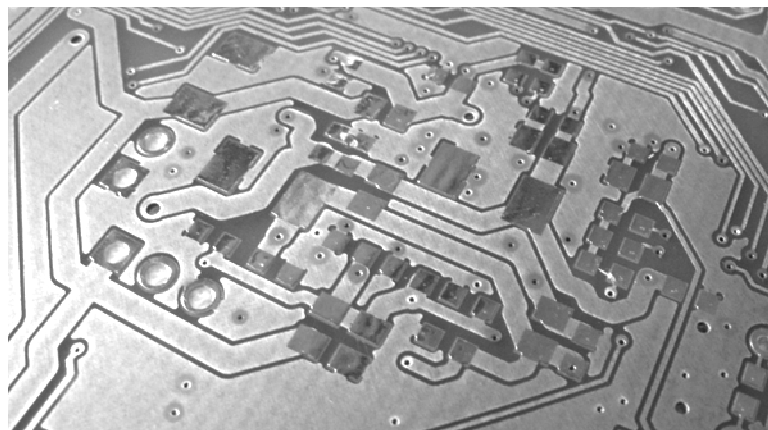


**Obr 14 – Napájení Ethernetu – skupina A**



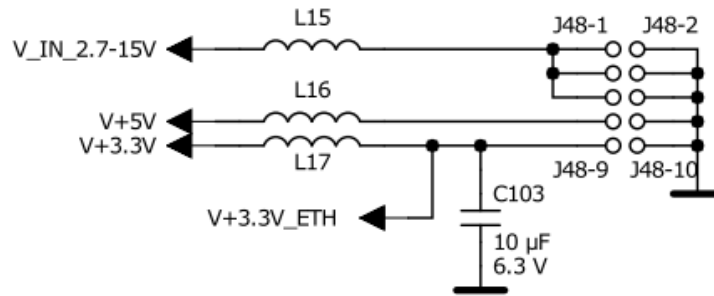
**Obr 15 – Napájení Ethernetu – blokovací kondenzátory**

Je zřejmé, že tato napájecí síť bude komplikovanější než u mikrokontroléru, protože tu mimo zem a 3,3 V jsou navíc tři další větve. Naštěstí se nekříží všechny se všemi a tak i na dvouvrstvé desce plošných spojů jsem byl schopen vše zapojit relativně rozumně.



**Obr 16 – DPS ETH – Náhled na hvězdičci cest pro blokovací kondenzátory**

## 2.6.8 Napájení rozšiřujícího modulu s ETH konektory a POE



Obr 17 –

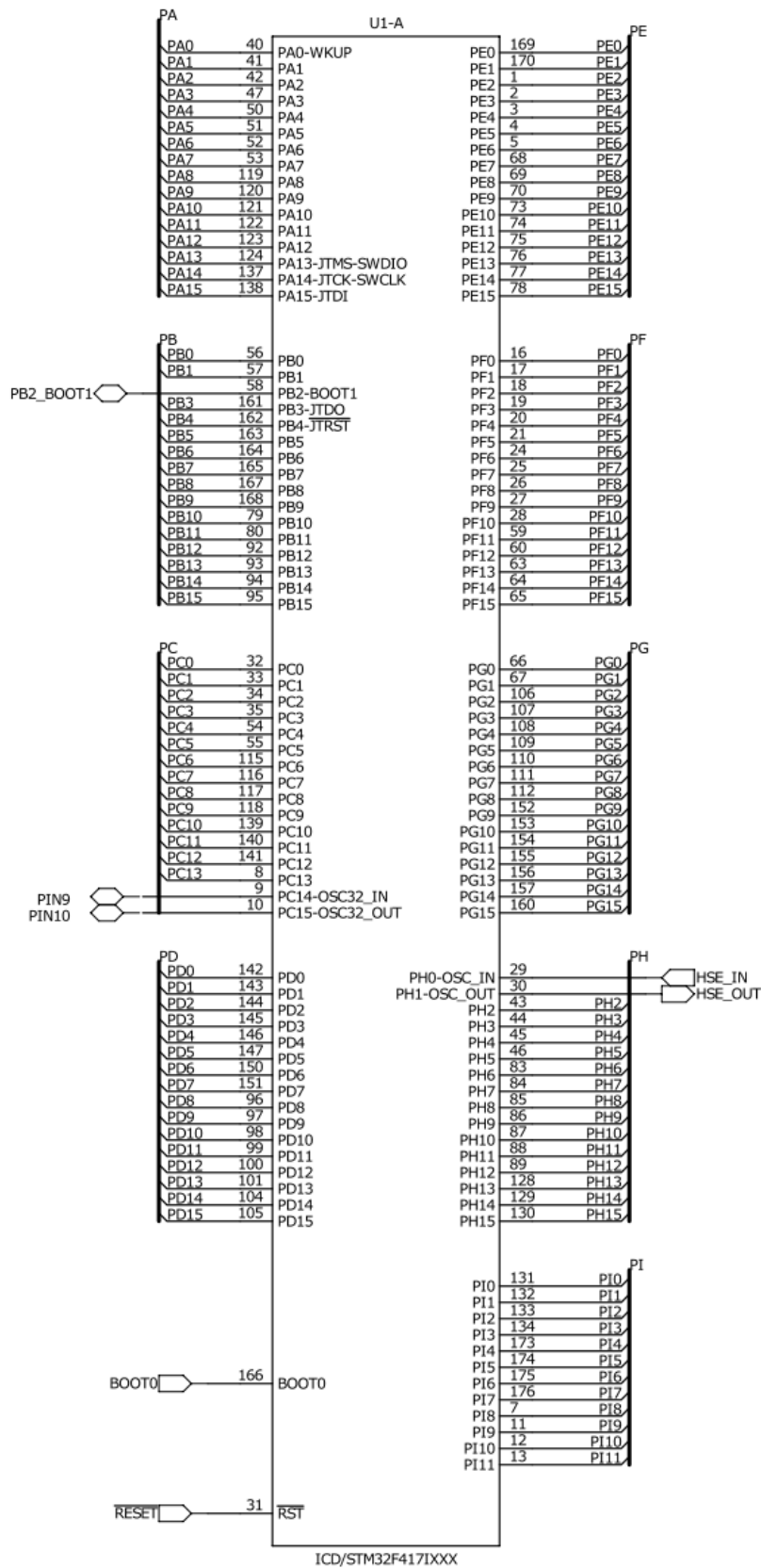
Primární záměr je poskytnout tímto konektorem napájení pro rozšiřující modulární desku, která by fungovala v režimu POE-PSE (Power Over Ethernet - Power Sourcing Equipment) a tedy by napětí distribuovala dále. Později jsem ale navrhnul několik změn zmíněných u napájecích stabilizátorů (2.6.1 – Napájení 2,7 – 15 V a 2.6.3 – Napájení 3,3 V). Jedná se o možnost odpojit stabilizátory vývojové desky a napájet systém z modulární desky s vlastními stabilizátory v režimu POE-PD (Powered Device). Ve stejném režimu však může POE-PD napájet systém i s použitím stabilizátorů vývojové desky po odpojení napájecích adaptérů. Jednoduše připojí napětí na piny J48-1, 3 a 5 a tak se bude chovat jako napájecí síťový adaptér nebo podobně.

## 2.6.9 Zapojení mikrokontroléru

Téměř všechny piny mikrokontroléru jsou dostupné na čtveřici hlavních rozšiřujících konektorů.

Výjimky:

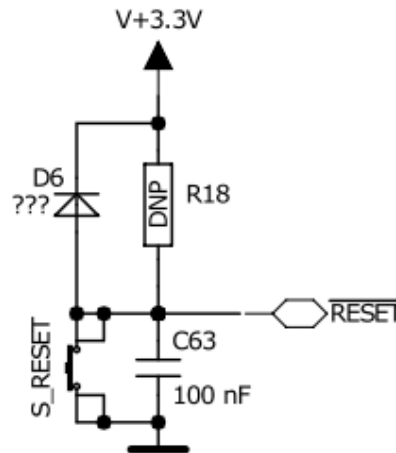
- PB2 – BOOT1 – připojitelný na hlavní konektor pomocí přepínačů J15 a J16 v poloze J15-2 a J16-1,
- PC14 a PC15 jsou vyhrazeny pro pomalý externí oscilátor LSE, jejich připojení je však také možné a to přepínači J41 a J43 v poloze B.
- PH0 a PH1 jsou vyhrazeny pro rychlý externí oscilátor HSE,
- BOOT0 – pouze na tlačítku.



Obr 18 – Zapojení mikrokontroléru - brány

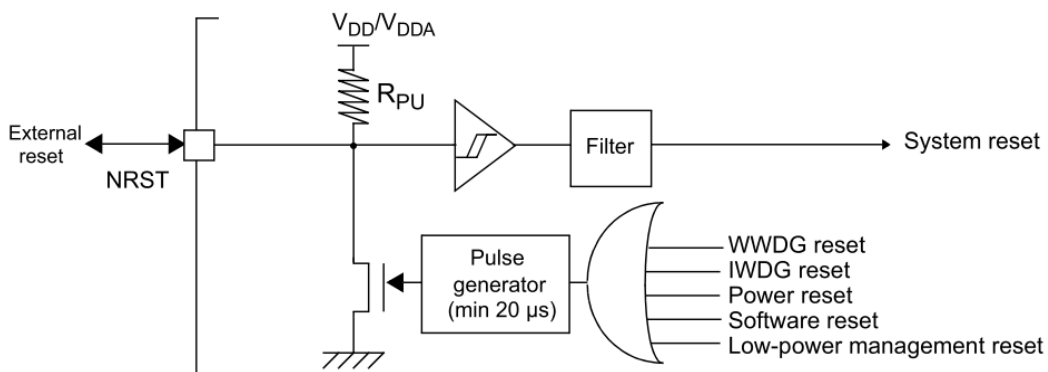
## 2.6.10 Obvody nutné pro základní funkce mikrokontroléru

### Reset



Obr 19 – Tlačítka – Reset

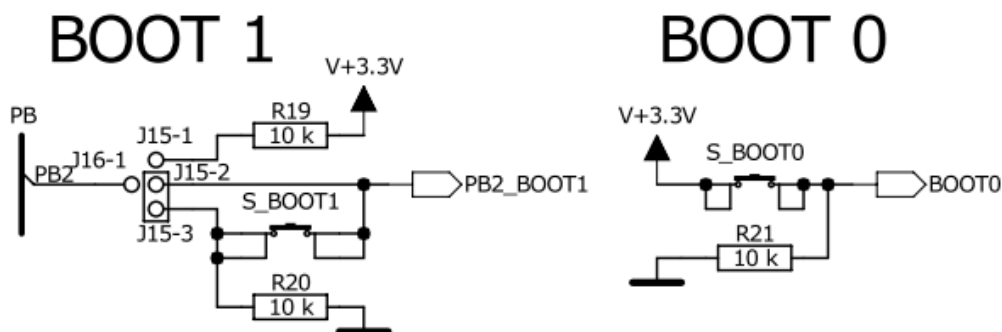
Resetovací obvod se zpožděným startem po připojení napájení. Dioda D6 slouží k rychlému vybití časovacího kondenzátoru při výpadku napájení pro správnou reakci resetovacího vstupu. Rezistor R18 není třeba osazovat, neboť jeden rezistor je zapojený na napájení již uvnitř integrovaného obvodu ( $R_{PU} \approx 50 \text{ k}\Omega$ ). Tlačítkem S\_RESET je možné vyvolat reset manuálně. Signál –Reset je distribuován dále po desce a to jak pro synchronní resetování generované mikrokontrolérem, tak pro resetování připojenými obvody (v tom případě je třeba používat výstupy s otevřeným kolektorem, nebo k Push-Pull vývody zapojit do série usměřovací diodu směrem od Reset pinu mikrokontroléru).



Obr 20 – Tlačítka – Reset(4)

ai16095c

## Tlačítka BOOT0 a BOOT1

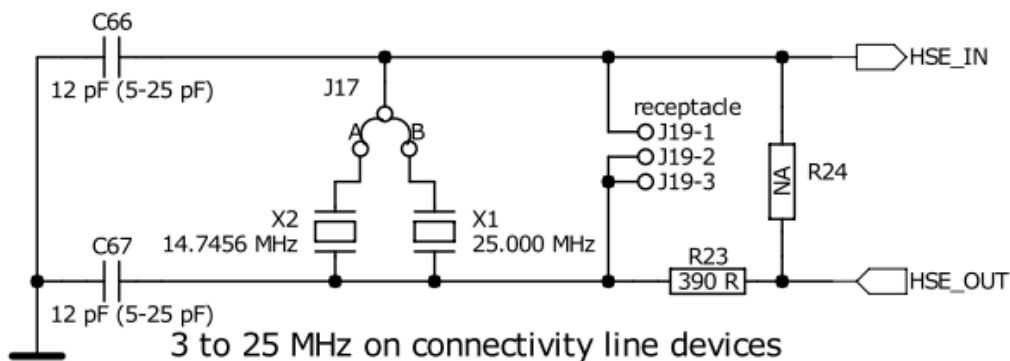


Obr 21 – Tlačítka – BOOT0 a BOOT1

Tab 2.6-1 – Nastavení Bootovací paměti

Boot mode selection pins		Boot mode	Aliasing
BOOT1	BOOT0		
x	0	Main Flash memory	Main Flash memory is selected as the boot space
0	1	System memory	System memory is selected as the boot space
1	1	Embedded SRAM	Embedded SRAM is selected as the boot space

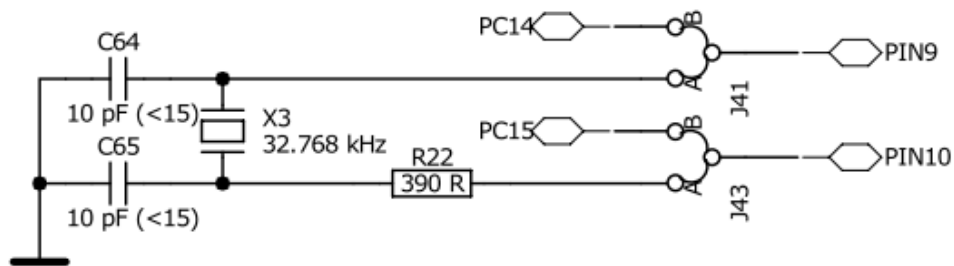
## Rychlý externí oscilátor (HSE)



Obr 22 – Oscilátor – Rychlý, externí (HSE)

Přepínačem J17 je možné vybírat mezi 25,000 MHz krystalem pro HighSpeed USB a Ethernet, nebo 14,7456 MHz vhodným pro pomalejší komunikace. Do konektoru J19 může být po vyjmutí propojky z J17 vložen libovolný jiný krystal. Rezistory a kondenzátory jsou pouze pro ladění parametrů oscilátoru. Částečně inspirováno z (5).

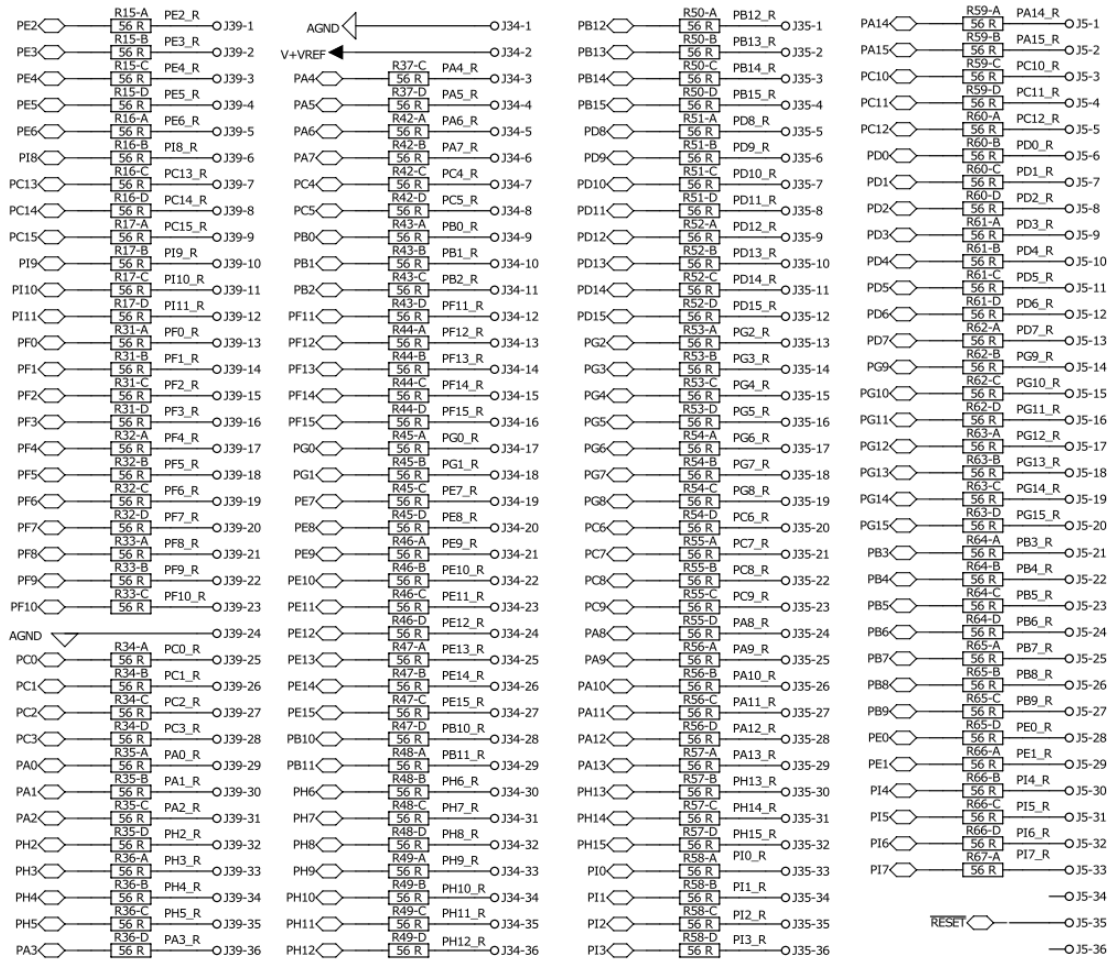
### Pomalý externí oscilátor (LSE)



**Obr 23 – Oscilátor – Pomalý, externí (LSE)**

Pomalý externí oscilátor je určen především pro v mikrokontroléru implementovaný obvod reálného času. Tato periférie může být v případě výpadku napájení napájena ze záložního zdroje připojeného k vývodu VBAT. K přepínání dochází automaticky, pokud je toto povoleno v příslušných registrech (3). Částečně inspirováno z (5).

## 2.6.11 Konektory pro přístup ke všem vývodům mikrokontroléru

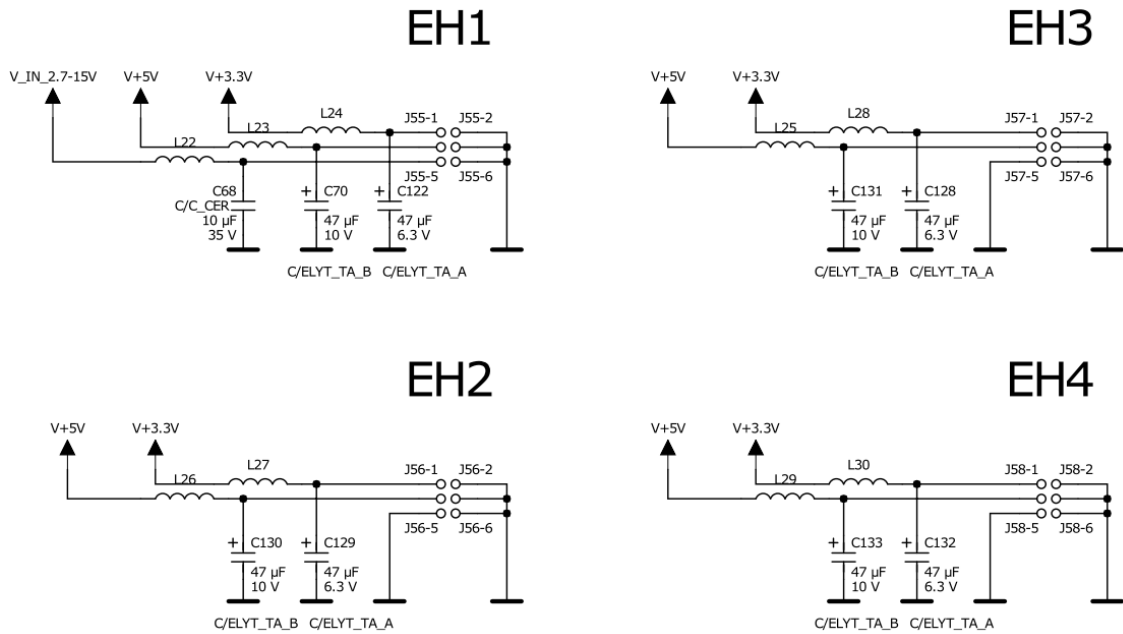


**Obr 24 – Konektory pro přístup ke všem vývodům mikrokontroléru**

Jedná se o čtyři konektory rozmístěné do obdélníku kolem mikrokontroléru, na něž jsou vyvedeny téměř všechny digitální i analogové vývody mikrokontroléru. Pro snížení námahy integrovaných ESD struktur výboji při manipulaci s deskou jsou mezi konektor a vývody integrovaného obvodu zařazeny 33  $\Omega$  rezistory. Pro snazší montáž jsem vybral čtyřnásobné rezistorové sítě v pouzdře 1206. Z Obr 24 je možné vyzorovat korespondenci pořadí názvů pinů mikrokontroléru s rozložením na připojeném rozšiřujícím konektoru. Je tomu tak z důvodu snazšího návrhu desky plošných spojů (na dvouvrstvé DPS se jedná prakticky o nutnost.) V místech z topologického hlediska výhodných (opět poblíž odpovídajících vývodů mikrokontroléru; zároveň blízko analogových vývodů) jsem ještě přidal analogovou zem, referenční napětí a reset.



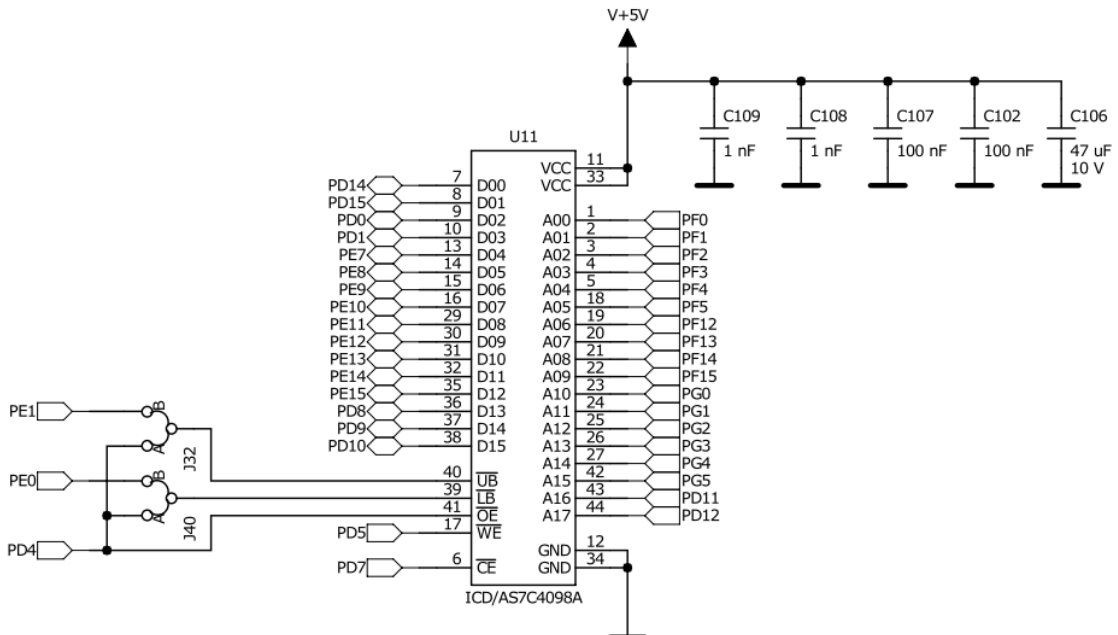
## 2.6.12 Napájecí konektory pro hlavní rozšiřující moduly



Obr 25 – Napájecí konektory pro hlavní rozšiřující moduly

EH1 nabízí i **plné** vstupní napájecí **napětí**. Konektory jsou rozmístěny v rozích obdélníku tvořeného čtyřmi hlavními rozšiřujícími konektory. Každý napájecí výstup je oddělen indukčností a velkokapacitním kondenzátorem.

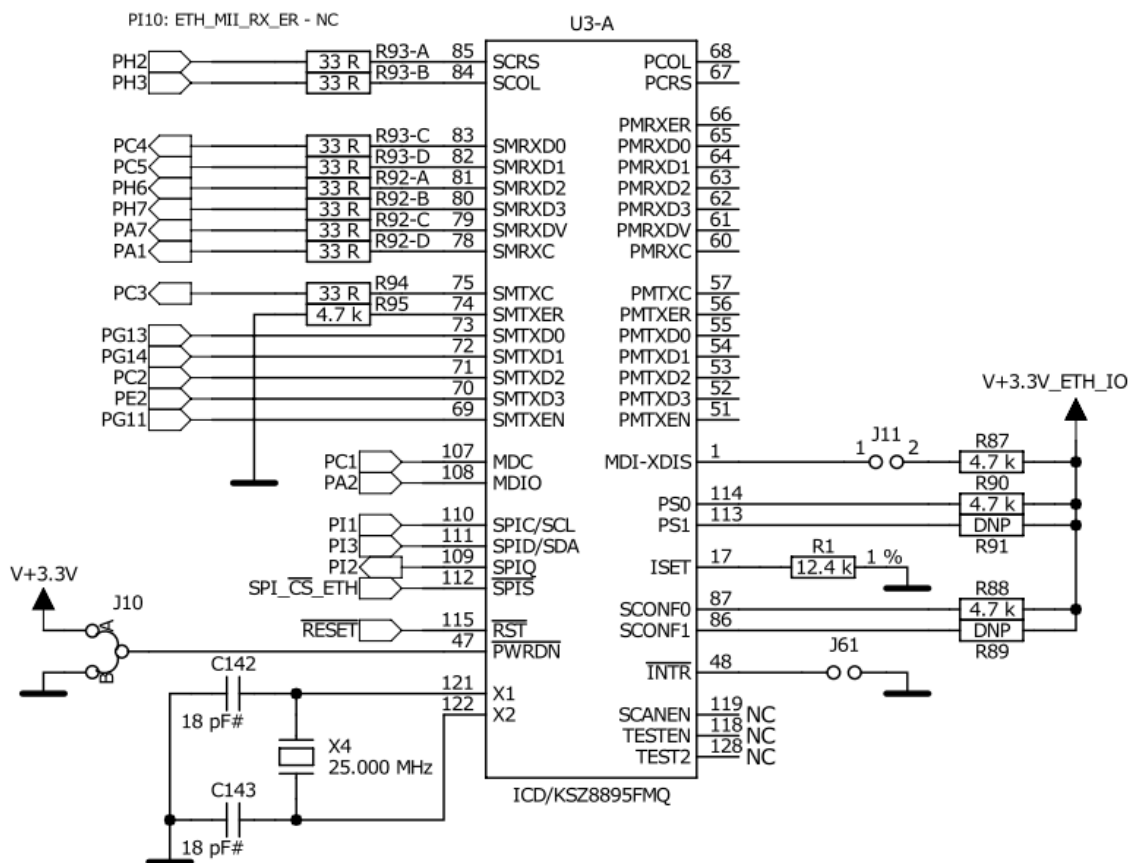
## 2.6.13 Externí paměť SRAM



Obr 26 – Externí paměť SRAM

**Paměť SRAM** jsem vybral AS7C4098A (5.0 V 256 K × 16 CMOS SRAM), ale pro prvotní zapojení není osazena. Přepínače J32 a J40 umožňují přepnout do dvoubytového režimu zápisu. Ostatní signály jsou již připojeny přímo na FSMC (flexible static memory controller). Blokovací kondenzátory jsou opět umístěny co možná nejbližně napájecím vývodům paměti.

### 2.6.14 Ethernet 10/100 Mbit



**Obr 27 – Externí obvod fyzické vrstvy Ethernetu**

**Externí obvod fyzické vrstvy** Ethernetu je s MAC mikrokontroléru propojen sběrnici MII. Výběr připojení se provádí rezistory R88 a R89 podle Tab 2.6-2. Nastavení ethernetového přepínače se provádí po sběrnici SPI (piny SPIC, SPID, SPIO a SPIS\_N). Integrovaný obvod KSZ8859 nabízí i jiné možnosti nastavení (čtení pinů LED při startu, kde mohou být připojeny nastavovací hodnoty, nebo připojení EEPROM paměti přes I2C ve slave režimu). Volba se provádí rezistory R90 a R91 podle Tab 2.6-3. Oscilátor s krystalem X4 by mohl být nahrazen hodinovým signálem generovaným z mikrokontroléru, ale ten by vyžadoval nízký frekvenční jitter (rozkmít, chvění), takže krystal blízko pouzdra PHY je výhodnější volba.

**Přepínač J10** umožňuje vypnutí obvodu PHY (poloha B).

**Přepínač J11** ovládající signál MDI-XDIS volí mezi automatickým křížením ethernetových diferenciálních párů (propojka vyjmuta) a pevným nastavením (propojeno).

**Tab 2.6-2 – Nastavení typu připojení MII sběrnice**

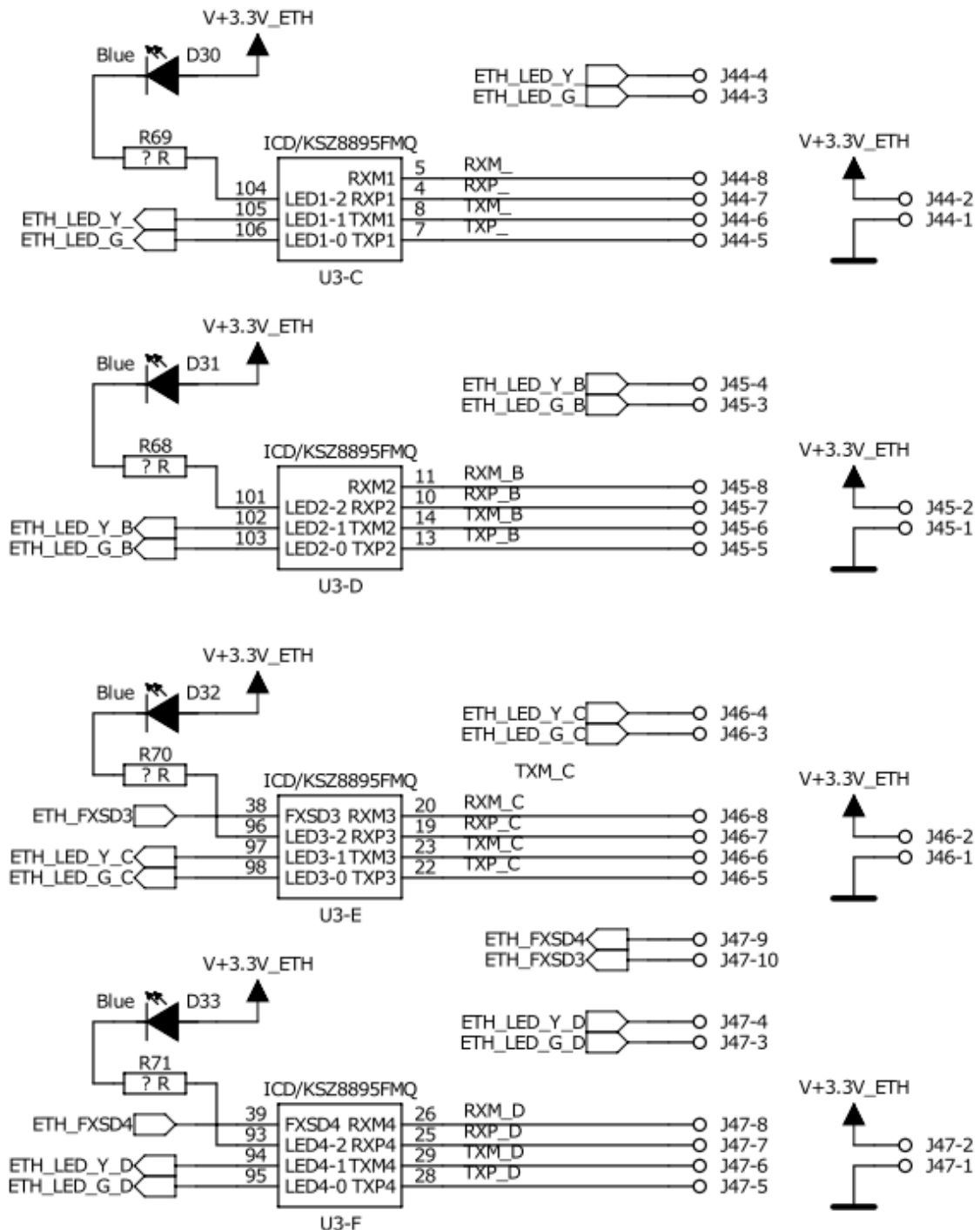
Pin Number	Pin Name	Type <sup>(1)</sup>	Port	Pin Function <sup>(2)</sup>		
86	SCONF1	IPD		Pins 91, 86, and 87 are dual MII/RMII configuration pins for the Port 5 MAC5 MII/RMII and PHY[5] MII/RMII. SW5-MII supports both MAC mode and PHY modes. P5-MII supports PHY mode only. See pins configuration below.		
				<b>Pin# (91, 86, 87)</b>	<b>Port 5 Switch MAC5 SW5-MII/RMII</b>	<b>Port5 PHY5 P5- MII/RMII</b>
				000	Disable, Otri	Disable, Otri
				001	PHY Mode MII, or RMII	Disable, Otri
				010	MAC Mode MII, or RMII	Disable, Otri
				011	PHY Mode SNI	Disable, Otri
				100	Disable (default)	Disable (default)
				101	PHY Mode MII or RMII	P5-MII/RMII
				110	MAC Mode MII or RMII	P5-MII/RMII
111	PHY Mode SNI	P5-MII/RMII				
87	SCONF0	IPD		Dual MII/RMII configuration pin. See pin 86 descriptions.		
91	LED5-1	IPU/O	5	LED indicator 1. Strap option: PU (default): enable PHY[5] MII I/F.		

**Tab 2.6-3 – Nastavení sériové servisní komunikace**

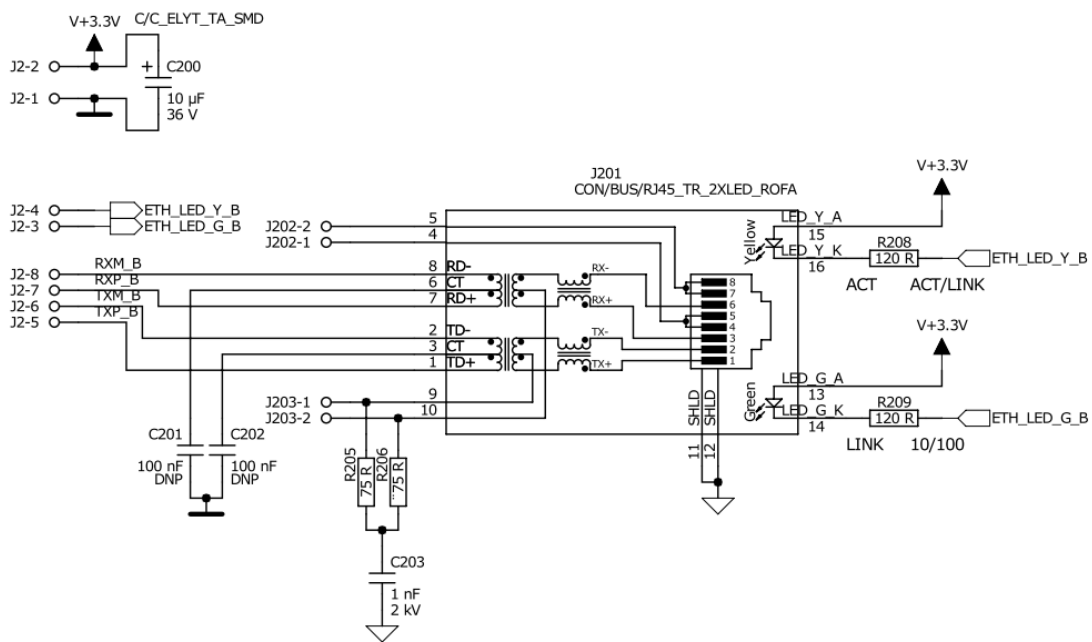
Pin Number	Pin Name	Type <sup>(1)</sup>	Port	Pin Function <sup>(2)</sup>	
113	PS1	IPD		Serial bus configuration pin. For this case, if the EEPROM is not present, the KSZ8895MQ/RQ/FMQ will start itself with the PS[1.0] = 00 default register values.	
				Pin Configuration	Serial Bus Configuration
				PS[1.0] = 00	I <sup>2</sup> C Master Mode for EEPROM
				PS[1.0] = 01	SMI Interface Mode
				PS[1.0] = 10	SPI Slave Mode for CPU Interface
PS[1.0] = 11	Factory Test Mode (BIST)				
114	PS0	IPD		Serial bus configuration pin. See "Pin 113."	

**Konektory pro připojení rozšiřujícího modulu** (osazeného konektory RJ45, LED diodami, transformátory, přepětovou ochranou a případně celým POE obvodem) jsem propojil s integrovaným obvodem KSZ89895 diferenciálními páry cest s laděnou délkou a délkou a impedancí. Na modulární konektor jsou vyvedeny signály pouze pro dvě ze tří LED na kanál (což odpovídá nejběžnější verzi konektoru JR45 s LED),

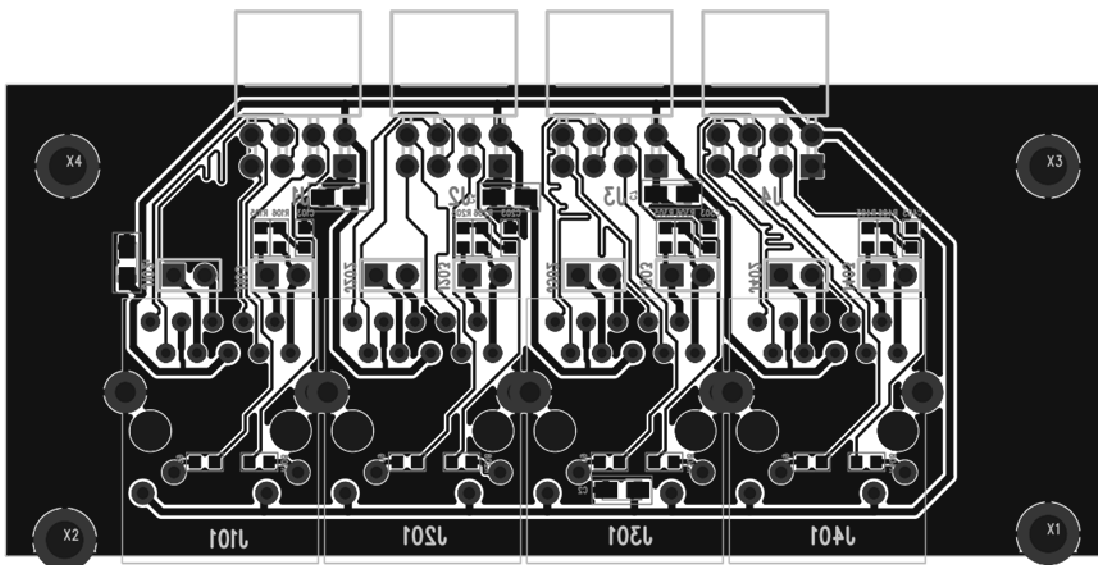
proto jsem třetí signalizační LED umístil k jednotlivým konektorům. Každá dvojice diferenciálních párů je tedy na konektoru se dvěma signály pro LED a navíc vlastním napájením.



**Obr 28 Konektory pro připojení rozšiřujícího modulu Ethernetu**

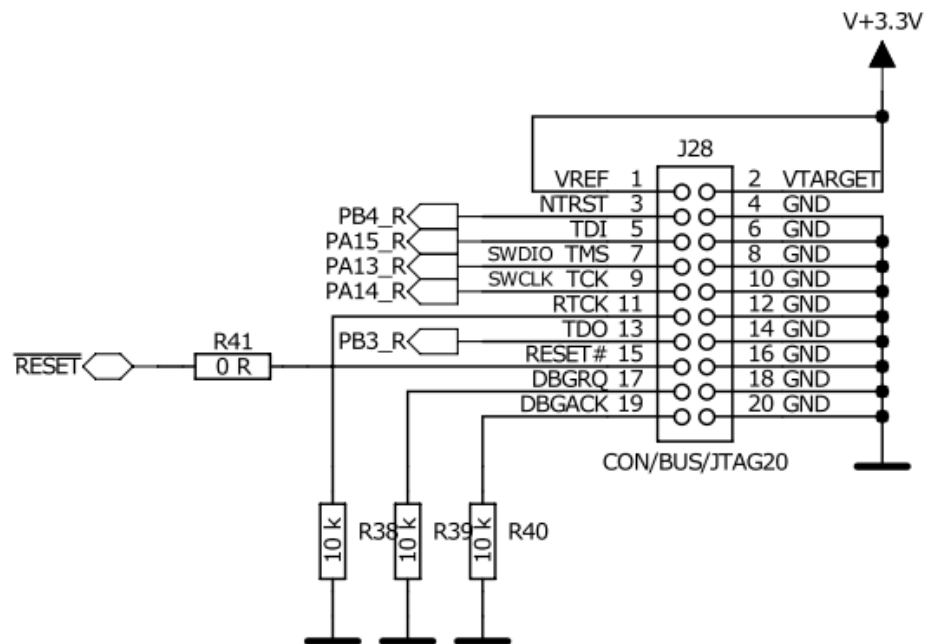


**Obr 29 Jeden ze čtyř konektorů rozšiřující desky Ethernetu**



**Obr 30 Návrh desky plošných spojů modulu Ethernetu**

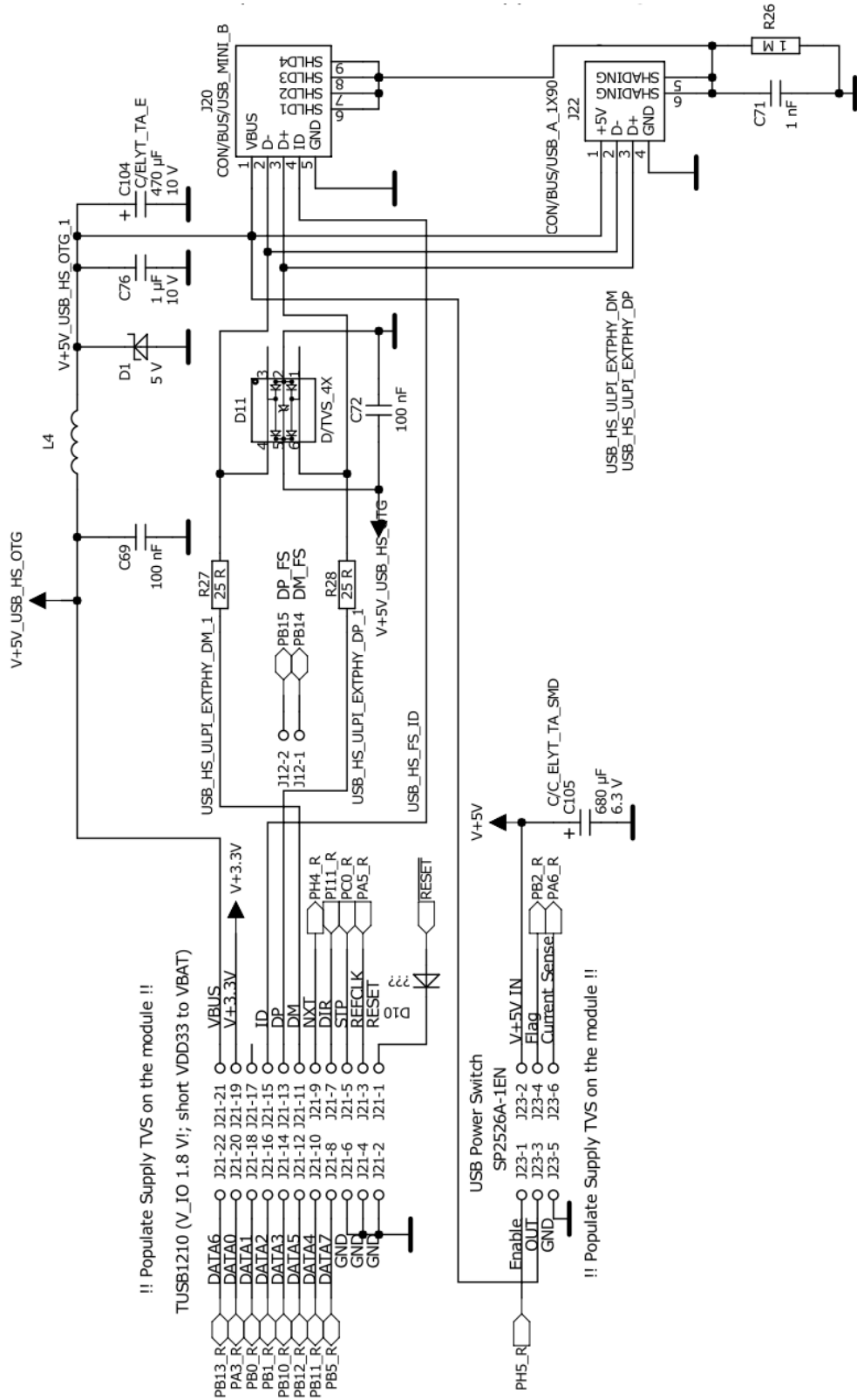
## 2.6.15 Programovací rozhraní SWD/JTAG



**Obr 31 Programovací rozhraní SWD/JTAG**

Zapojení JTAG konektoru odpovídá standardu používanému na vývojových kitech firmy STM (5). SWD pak využije jen některé signály tohoto konektoru. Příště by mohlo být praktické přidat jednořadý konektor výhradně pro SWD.

## 2.6.16 USB OTG HighSpeed nebo FullSpeed



Obr 32 – USB OTG HighSpeed nebo FullSpeed

### **J20 a J22 – Standardní USB konektory A a mini-B:**

Stínění je připojeno přes oddělovací kondenzátor s paralelním rezistorem vysoké hodnoty pro předcházení rušená zemními smyčkami a zároveň zabezpečení stínění na vyšších frekvencích. Napájecí větev obsahuje velkokapacitní kondenzátory pro pokrytí velkých nárazových odběrů, sestavu pro potlačení rušení z a do mikrokontrolérové desky a TVS pro ochranu před výboji na sběrnici.

Ze stejného důvodu je umístěna diodová síť D11 na datových vodičích DP a DM následovaná 25  $\Omega$  rezistory.

### **J21 – 22pinový konektor pro moduly ULPI (HS) či I2C (FS):**

Primárně určen pro integrovaný obvod fyzické vrstvy USB OTG HS s ULPI sběrnici (např. TUSB1210 od firmy Texas Instruments), ale je možné modul zaměnit za modul s jednodušším integrovaným obvodem přes I2C (např. MIC2555 od firmy Micrel). Toto I2C je přepínatelným výstupem z řadiče USB integrovaného v mikrokontroléru (primárně ULPI). Zde výjimečně není zapojení odolné proti opačnému vložení modulu, proto je doporučeno rozšiřující desku osadit konektorem se zámkem na pinu 17 nebo ochrannou diodou (TVS) s vratnou pojistkou v napájení.

Jen pro případ, že by tento přístup byl vhodnější než z hlavního rozšiřujícího konektoru, zmiňuji možnost zapnout výstup UART3 na piny 10 a 14 konektoru J21 v případě, že není využíván k původnímu účelu.

### **J12 – 2 piny pro připojení FS budiče integrovaného v mikrokontroléru:**

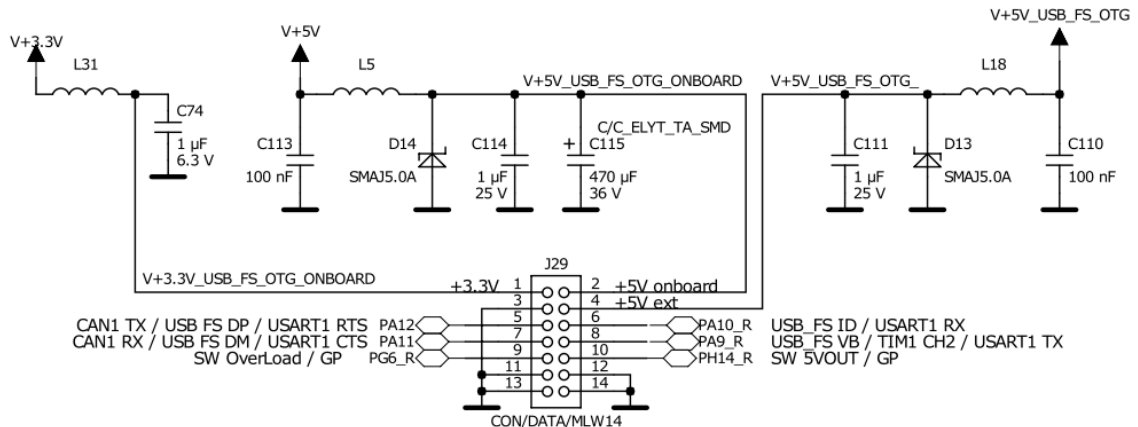
Pokud konektor J21 není obsazen modulem, je možné propojit zkratovacími propojkami piny J12-1 s J21-11 a J12-2 s J21-13 (osazeny přímo vedle sebe). Takto získáme výstup Full-Speed budiče USB OTG integrovaného v mikrokontroléru na osazené USB konektory J20 (mini-B) a J22 (A).

### **J23 – 6pinový konektor pro modul spínače výstupního napětí USB:**

Předpokládá se použití polovodičového spínače s proudovým omezením odpovídajícím USB normám. Konektor J23 je sesazen do rastru s konektorem J21 a je tedy snadné spojit moduly budiče a spínače v jednu modulární desku (případně rozdělitelnou). Tento konektor také není „přepólování-vzdorný“. Platí tedy stejná doporučení jako pro konektor J21.



## 2.6.17 USB OTG FullSpeed, UART1 nebo CAN1



Obr 33 – USB OTG FullSpeed, UART1 nebo CAN1

První z řady hranových konektorů pro v tomto systému normalizované moduly. Jedním z důležitých parametrů je **odolnost proti poškození při náhodném přepólování** modulu díky rozvržení napájení a zemnění. V takovém případě sice s velkou pravděpodobností dojde k resetu celého systému, protože napájení bude zkratováno se zemí, ale nemělo by dojít k poškození datových vývodů žádné desky.

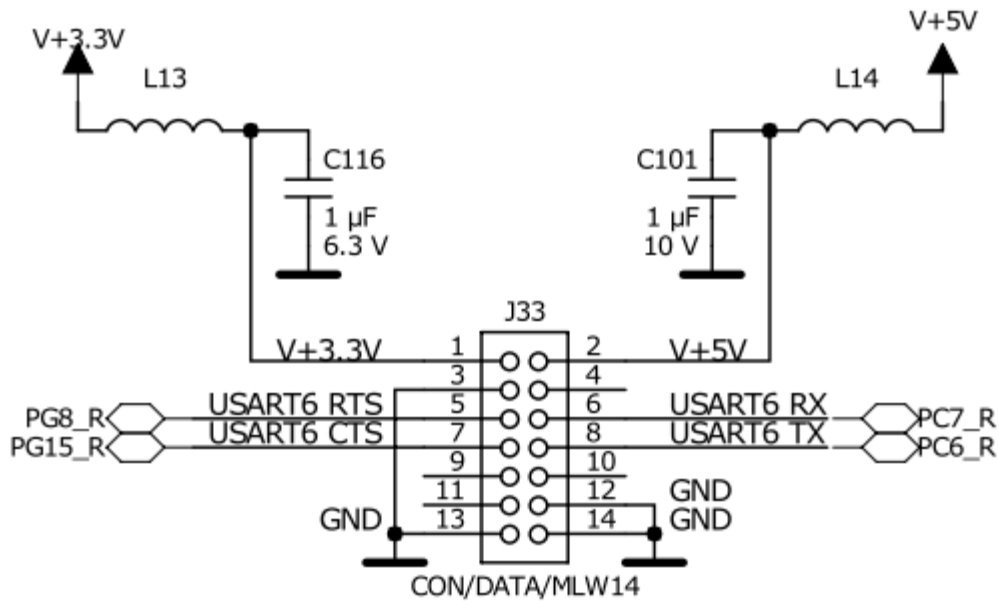
Vývody mikrokontroléru umožňují výstupu USB, **UART1 a CAN na stejných pinech** proto jsem se rozhodnul vycházet při navrhování rozložení pinů dalších konektorů právě z tohoto konektoru. Normalizované moduly pro jednotlivá rozhraní tedy mohou být použity v libovolném konektoru, označením daným rozhraním. Je sice třeba respektovat určité výjimky, ale základní rozložení signálů odpovídá.

Pro účely **USB** modulu jsou k dispozici obecné GPIO vývody pro řízení napájecího spínače a zpětnou vazbu signalizující přetížení.

**UART1** je dostupný i se signály RTS a CTS potřebnými pro **řízení modemu**. V současné době se samozřejmě modemy pro počítačovou komunikaci téměř nepoužívají, ale v průmyslu se můžeme setkat například s HART protokolem na proudové smyčce 4-20 mA, který je realizován právě modemem.

Protože z tohoto konektoru může být napájen celý systém, jsou napájecí větve osazeny **TVS a odrušovacími filtry**. Pro napájení externího zařízení je osazen velkokapacitní kondenzátor.

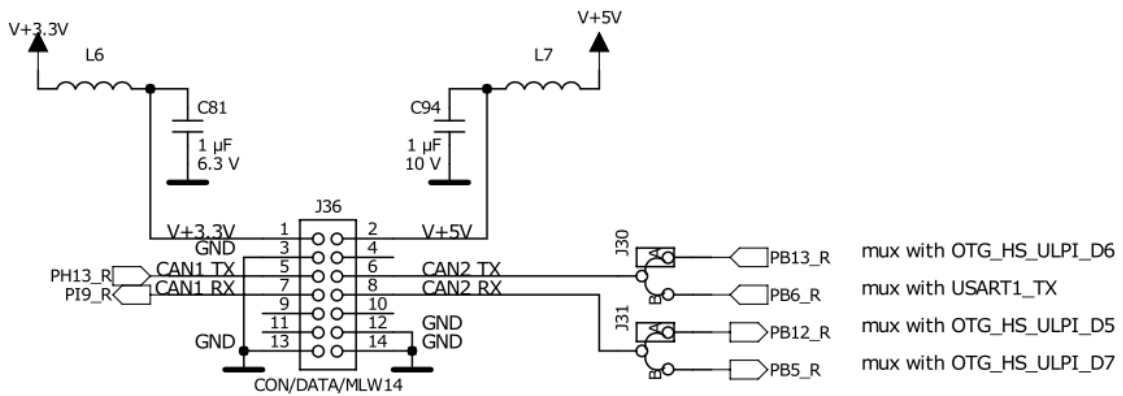
### 2.6.18 UART 6



Obr 34 – UART6

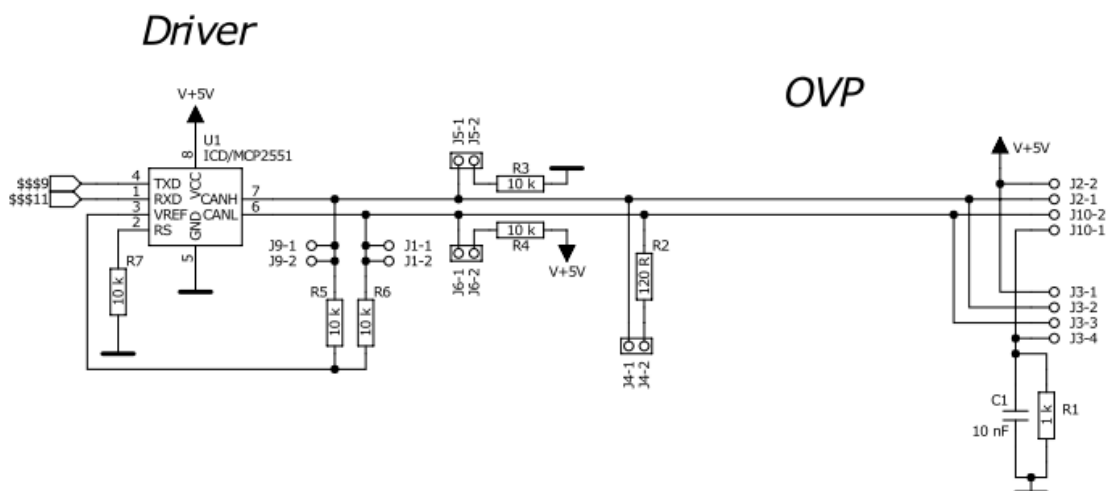
UART6 je stejně jako UART 1 dostupný i se signály RTS a CTS potřebnými pro řízení modemu. V současné době se samozřejmě modemy pro počítačovou komunikaci téměř nepoužívají, ale v průmyslu se můžeme setkat například s HART protokolem na proudové smyčce 4-20 mA, který je realizován právě modemem.

### 2.6.19 CAN1 a 2



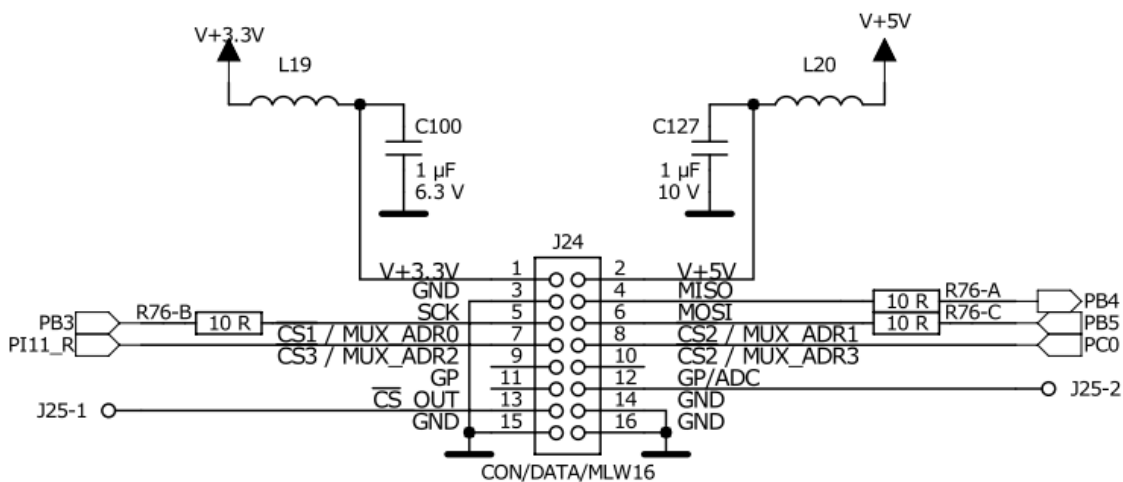
Obr 35 – CAN1 a CAN2

CAN2 je připojen stejně jako CAN1 na konektoru J29 a přepínači J30 a J31 můžeme vybrat jeho připojení k mikrokontroléru. Pokud bude modul pouze s jedním budičem CAN, doporučuji na modul přidat přepínače pro výběr CAN1 nebo CAN2 z konektoru J36.



Obr 36 – CAN – Rozšiřující modul

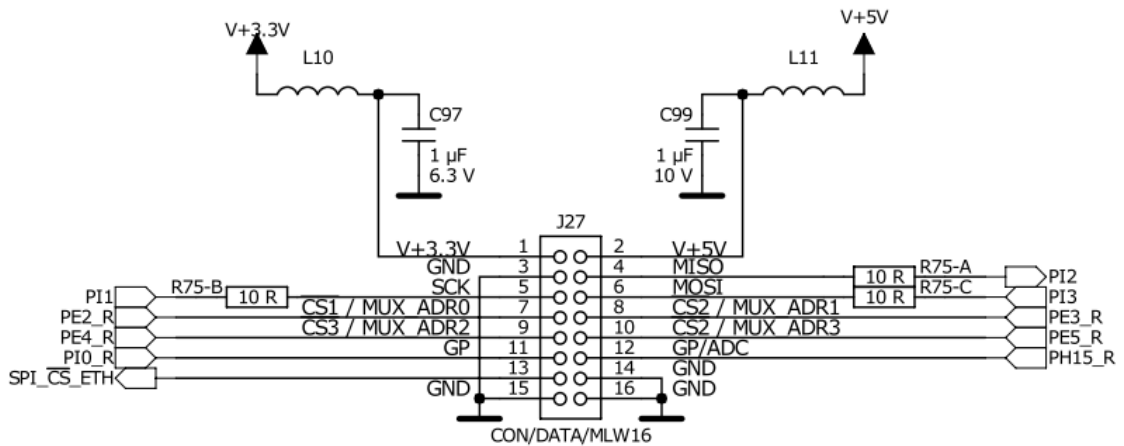
## 2.6.20 SPI



Obr 37 – SPI

**SPI1** je připojeno přes menší odpory pro zlepšení rychlosti změny logické hodnoty na sběrnici zatížené parazitními kapacitami. Na tomto konektoru jsou k dispozici pouze dva adresní signály pro dekodér. Předpokládá se připojení maximálně čtyř zařízení s dekodérem 1 ze 4, nebo dvou zařízení s přímým ovládním CS. Možností je také Daisy-Chain zapojení. Jedná se o sériové řazení průchozích shift registrů s jediným společným /CS signálem. Na přídatný dvoupinový konektor jsem vyvedl alespoň dva užitečné signály pro možnost zapojení propojovacími kabely na hlavní rozšiřující konektory dle dostupnosti volných vývodů mikrokontroléru. **Pozor, dostupné pouze při nevyužívání modulu ULPI!**

## 2.6.21 SPI2



Short pins 13 & 14 by a jumper to enable ETH without a module connected  
Or short pins 13 & 11 by a jumper to control SPI\_CS\_ETH by GPIO PIO

Obr 38 – SPI2

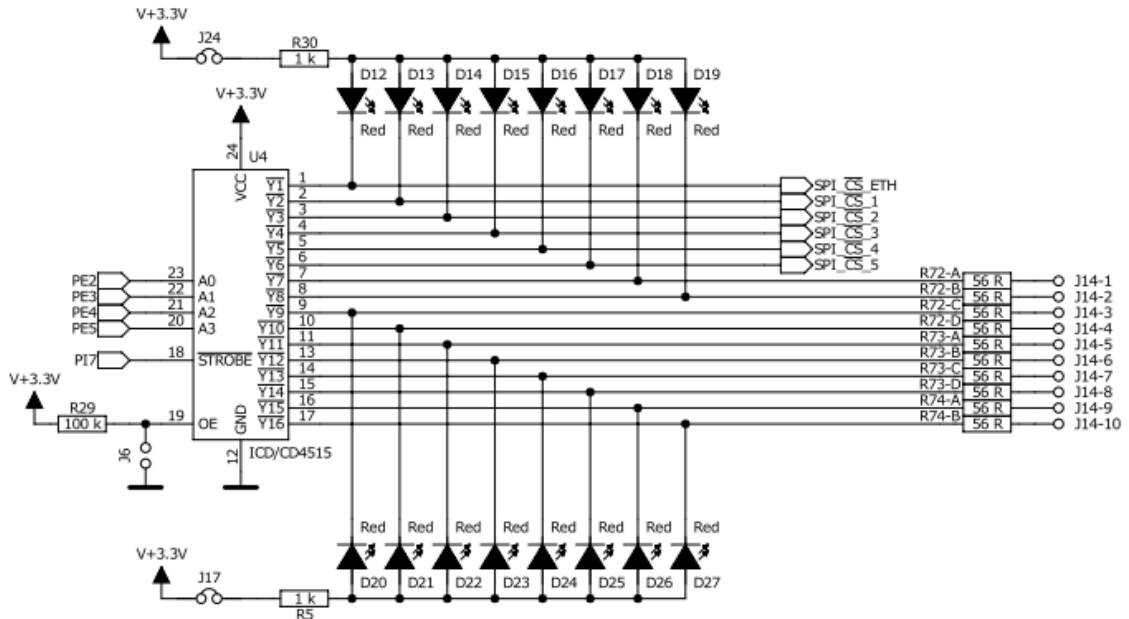
**SPI2** je plně zapojený **referenční konektor pro SPI moduly**. SPI2 je také připojeno přes menší odpory pro zlepšení rychlosti změny logické hodnoty na sběrnici zatížené parazitními kapacitami. Na tomto konektoru jsou k dispozici čtyři adresní signály pro dekodér. Předpokládá se tedy připojení dekodéru 1 z 16 (Obr 39), nebo až čtyř zařízení s přímým ovládaním CS. (Možností je také Daisy-Chain zapojení. Jedná se o sériové řazení průchozích shift registrů s jediným společným /CS signálem.)

**SPI\_CS\_ETH** je vývod z adresního dekodéru k ethernetovému PHY. Je tedy třeba dbát na jeho příslušné zapojení na modulu. Pokud není připojen žádný modul a je vyžadována komunikace s ETH PHY, **zkratujte piny J27.13 a J27.14** propojkou.

**Piny 11 a 12** jsou připojeny k obecným GPIO vývodům a mohou sloužit k libovolným účelům na jednotlivých modulech. Pokud je třeba pouze jeden, **doporučují použít J27.12**, protože na konektoru SPI1 J24 je možnost jej připojit a ovládat (pouze pomalé signály, protože připojení bude kablíkem v prostoru).

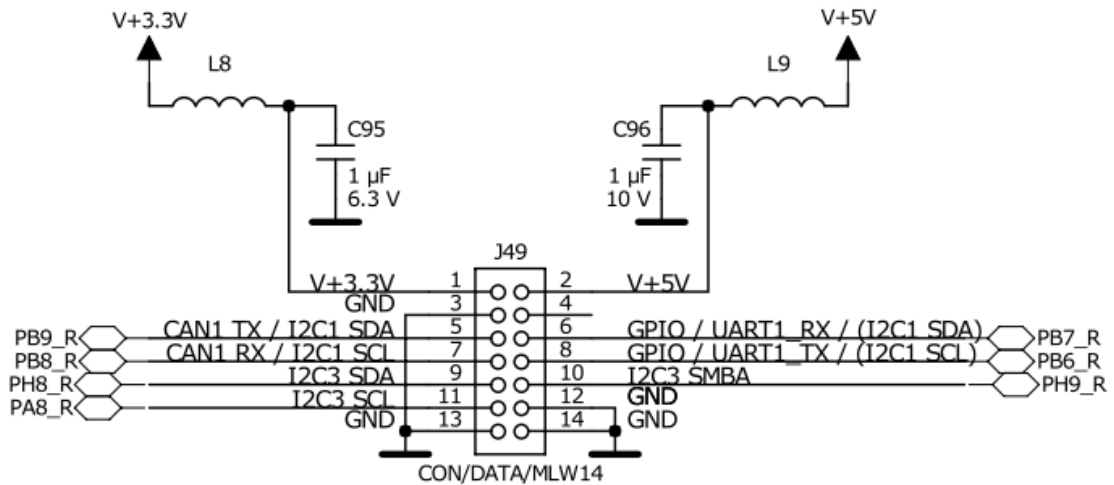
**Adresní dekodér** na rozšiřujícím modulu podle mého návrhu (Obr 39) obsahuje i svítivé diody a tak poskytuje **informaci o vytížení** jednotlivých připojených **zařízení**. To je způsobeno modulací svitu příslušných led, která odpovídá době aktivní komunikace s připojeným zařízením

## CS address decoder for SPI2 & LEDs



Obr 39 – SPI – Adresní dekoder s LED signalizací

### 2.6.22 I2C1, I2C3 a UART1 nebo CAN1, I2C3 a UART1

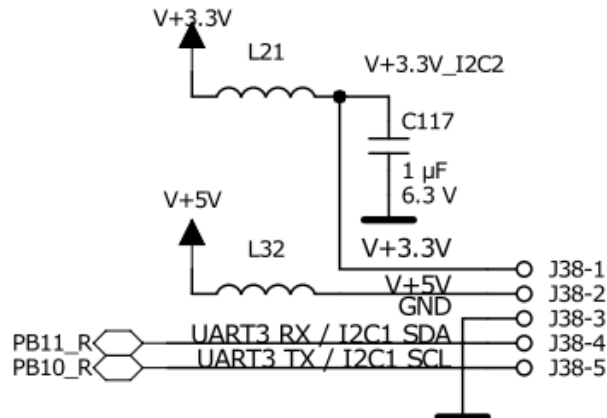


Obr 40 – I2C1, I2C3 a UART1

Toto je další konektor poskytující možnost připojení modulů pro různé sběrnice kompatibilní s jejich referenčními konektory. Toto rozložení signálů může být považováno za referenci pro I2C podle I2C1.

I2C3 je rozšířen o pin I2C3 SMBA pro nadstavbový režim **SM-BUS**.

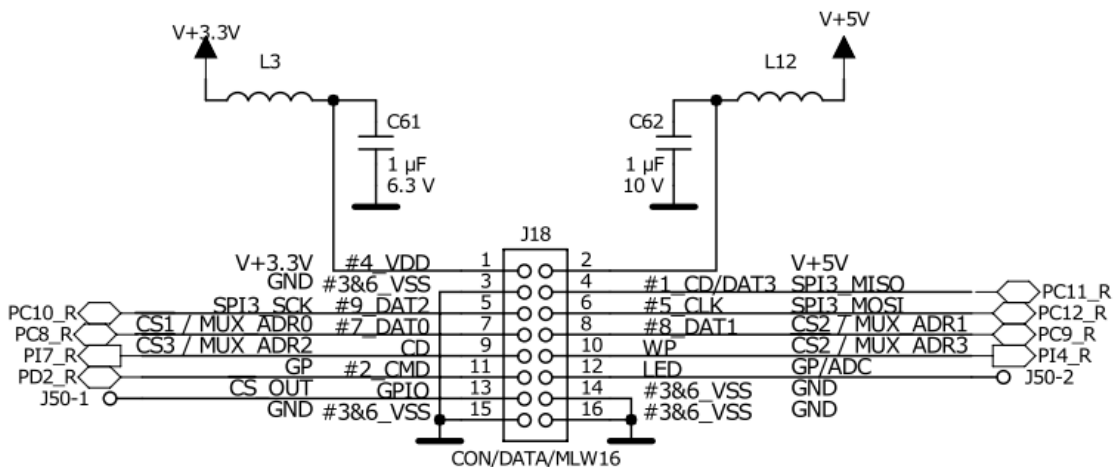
### 2.6.23 I2C2 nebo UART3



Obr 41 – I2C2 nebo UART3

Tentokrát se jedná o miniaturní konektor pouze pro jednoduchá zařízení. Při návrhu jsem omylem prohodil piny 1 a 2, takže pokud budeme chtít desky určené k tomuto konektoru připojit k normalizovanému konektoru, musíme zaměnit piny 1 a 2 v pouzdře kontaktů (předpokládám krimplovací kontakty v dutinkovém pouzdře). **Pozor, dostupné pouze při nevyužívání modulu ULPI!**

### 2.6.24 SDIO nebo SPI3

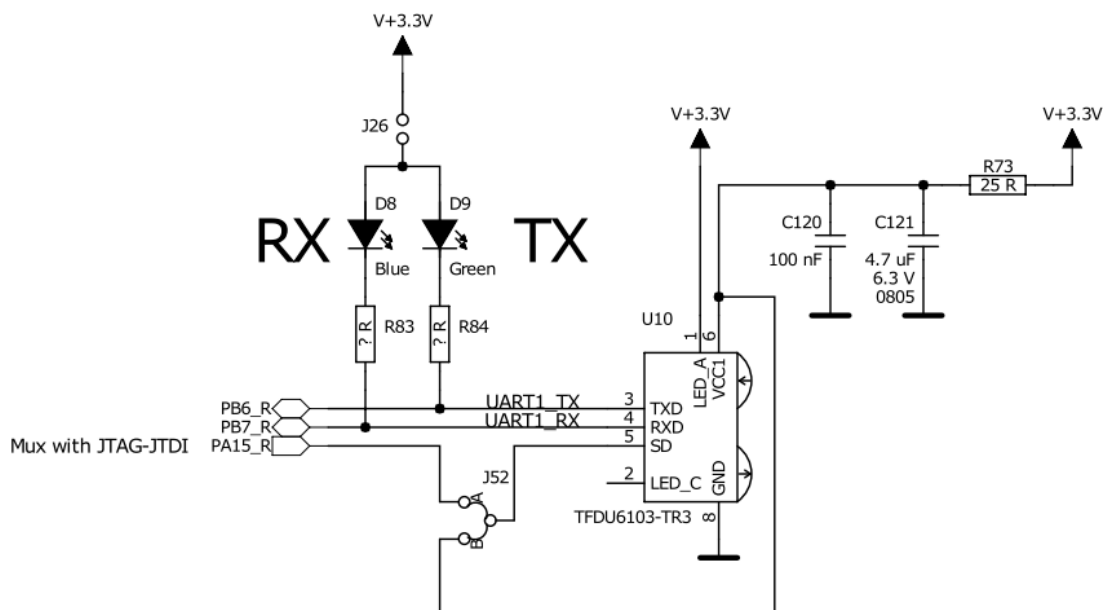


Some LED with a wire to some free GPIO would be useful

Obr 42 – SDIO nebo SPI3

**Konektor J18** byl primárně navrhován pro modulární desku s konektorem SD karty. Tomu bylo původně také přizpůsobeno rozložení signálů. Avšak z důvodu normalizace rozložení signálů jsem ustoupil rozložení na SPI a tak návrh DPS po konektoru SD karty nebude tak primitivní, jako původně mohl být. Výhodou ovšem je další přístupná sběrnice SPI s kompletním adresním prostorem.

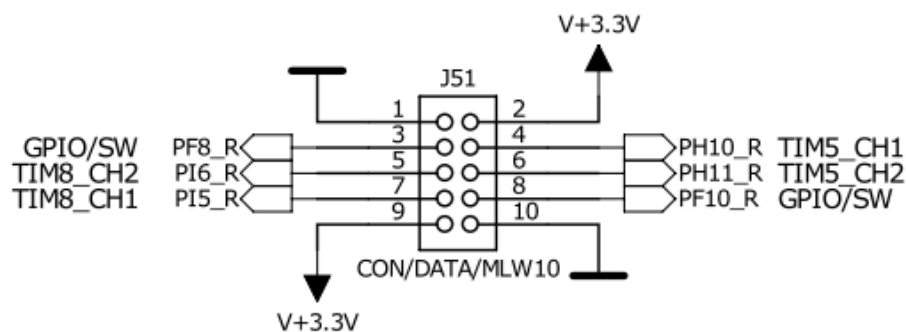
## 2.6.25 IrDA (UART1)



Obr 43 – IrDA (UART1)

Pro snadné připojení ke staršímu notebooku nebo PC s tímto IrDA rozhraním jsem na desku osadil miniaturní transceiver TFDU6103. Tento je certifikován IrDA standardem pro fyzické vrstvy a umožňuje komunikaci až 4 Mbit/s. Signalizace komunikace může být zapnuta zkratováním J26. Vypnout modul můžeme přepínačem J52. To doporučuji kdykoliv není modul používán, aby nedošlo ke konfliktu výstupu TXD s jiným signálem na vývodu PB6 (TXD vypnutého modulu je plovoucí).

## 2.6.26 Kvadrurní Enkodéry na čítačích TIM5 a TIM8 + tlačítka



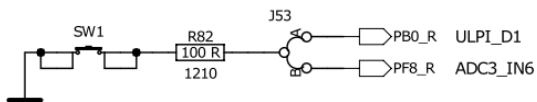
Obr 44 – Kvadrurní Enkodéry

Čítače 5 a 8 (krom dalších) mohou fungovat přímo s výstupy kvadrurních enkodérů, čehož můžeme využít před konektor J51. Tim8 je šestnáctibitový, Tim5 dokonce dvaatřicetibitový. Na konektoru J51 mohou být připojena také středová

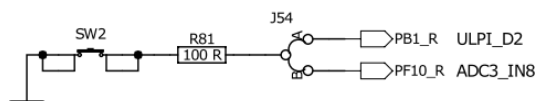
tlačítka, pokud jsou dostupná v enkodérech, nebo libovolné signály včetně ovládání LED na připojeném modulu.

### 2.6.27 Tlačítka pro všeobecné použití

#### GP Button 1



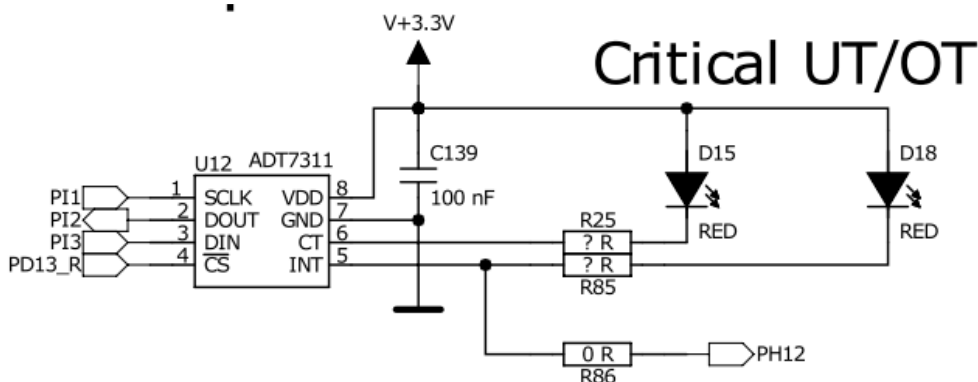
#### GP Button 2



Obr 45 – Tlačítka pro všeobecné použití

Mohou být připojena k běžným digitálním vstupům, pokud není používán modul v konektoru ULPI. Pokud je ULPI používáno nebo je přímo chceme použít v kombinaci s analogovým vstupem (např. zátěž 133 Ω připojitelná ke zdroji vstupního signálu), jsou k dispozici analogové vstupy ADC3\_IN6 a IN8. I tyto můžeme konfigurovat jako běžné GPIO.

### 2.6.28 Teplotní snímač



Obr 46 – Teplotní snímač

Opět osazen pro účely robustnosti systému. Umístil jsem jej mezi oba spínané stabilizátory, takže slouží jako teplotní hlídač. Pomocí SPI sběrnice lze nastavit teplotní úroveň alarmů a samozřejmě průběžně vyčítat aktuální teplotu. Alarmy jsou signalizovány dvěma vysoce svítivými červenými LED. Vývod PH12 mikrokontroléru může být připojen rezistorem R86 pro příjem přerušení od teploměru.

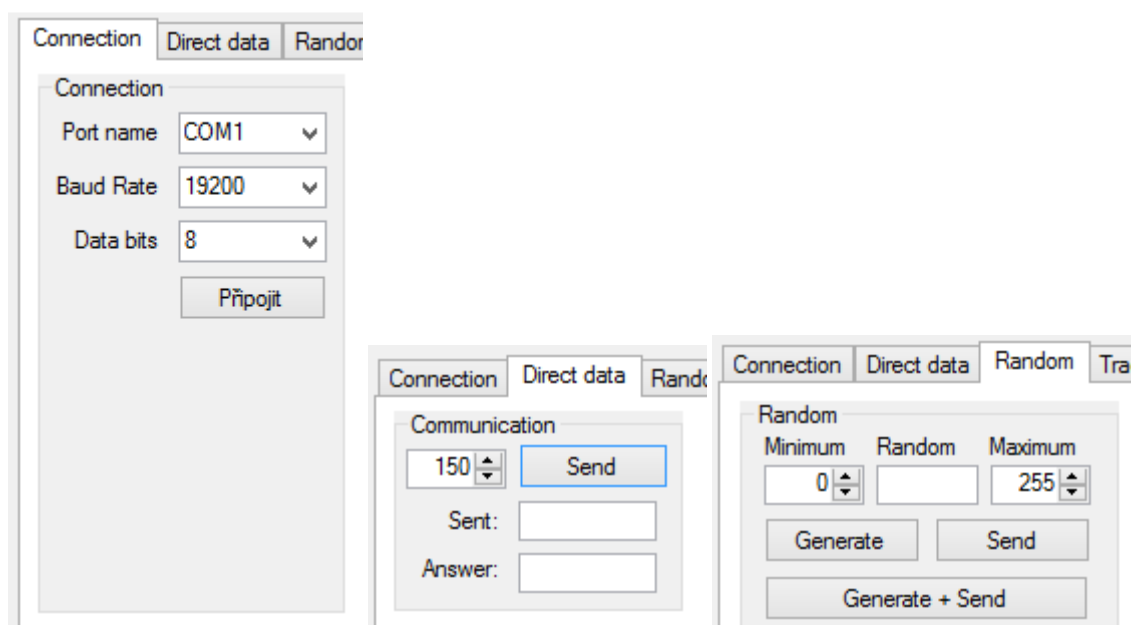


## 2.7 Ovládací program pro počítač

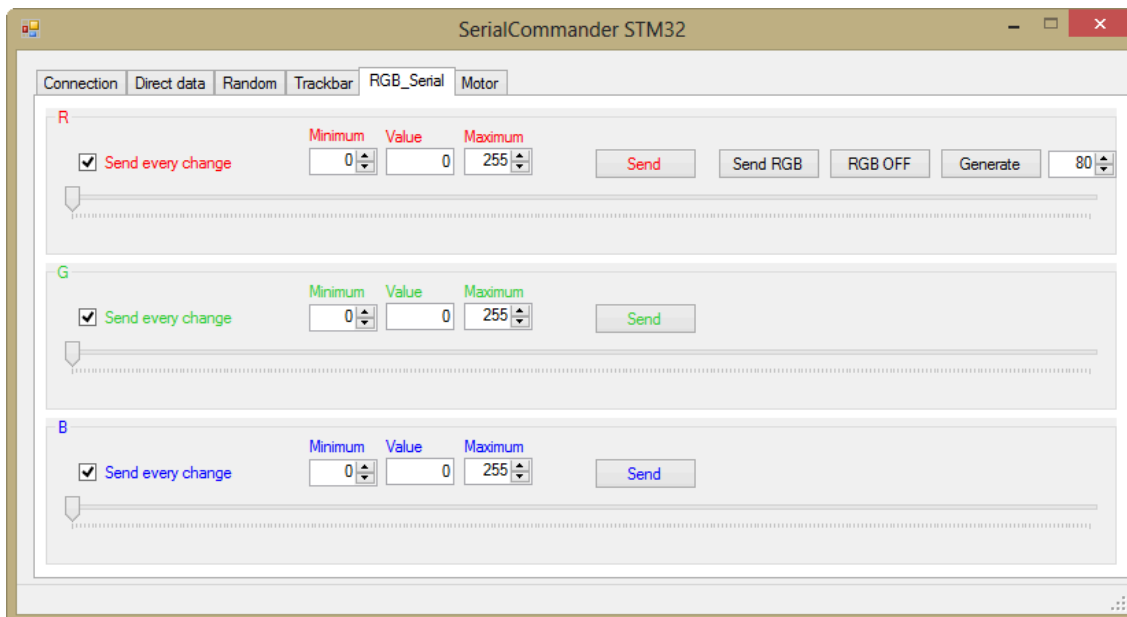
Pro účel komunikace počítače s vývojovou deskou jsem na začátek zvolil sériovou linku. Počítač s RS232 vlastním, ale již dříve jsem si vyrobil i USB-UART převodník s FTDI čipem, takže standardní metalická komunikace může být použita. Ještě výhodnější mi ovšem přijde využití IrDA na vývojové desce a notebooku – bezkontaktní a galvanicky oddělená komunikace bez hledání propojovacích kabelů.

Komunikační protokol jsem zvolil podobný AT příkazům z prostředí modemů. Nejprve je odesílána hlavička o proměnné délce několika znaků a následuje hodnota nebo parametry příkazu.

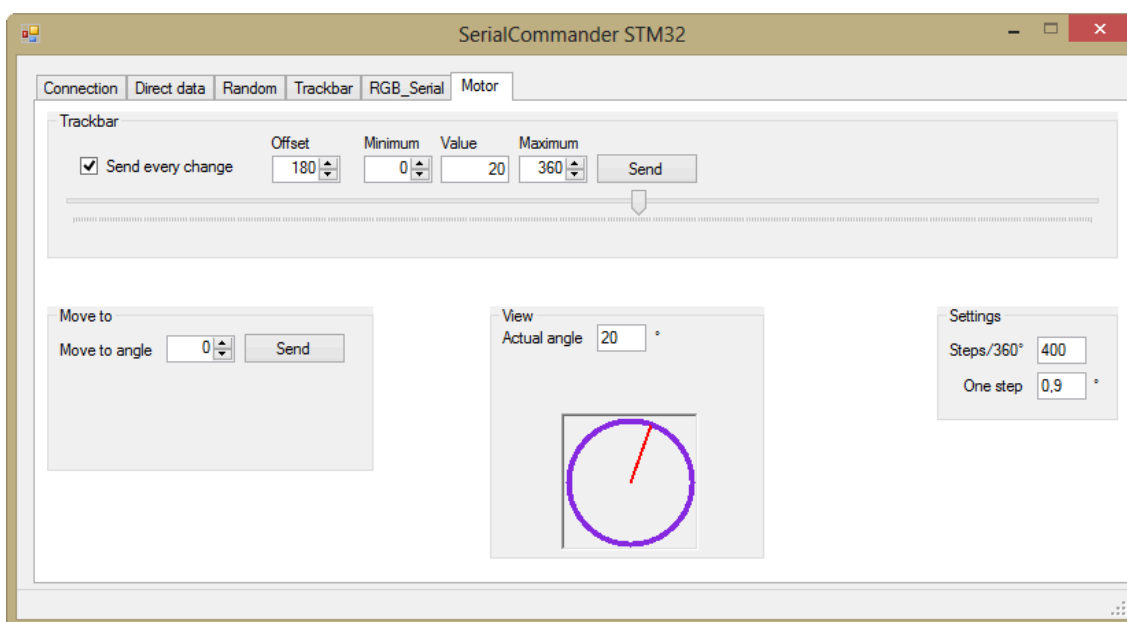
Program je realizován v jazyce C# (.NET) a projekt programován v prostředí Visual Studio 2012. Jedná se o jednoduché posílání příkazů a to konkrétně pro tříbarevnou svítivou diodu nebo krokový motor. Záložka ovládání barevné LED nabízí možnost nastavení minima a maxima jednotlivých posuvníků, odesílání změn v jednotlivých barvách nezávisle, hromadně a pro demonstrační účely je integrován generátor duhy. Generátor rozmítá postníky v jejich nastavených mezích a to s vzájemným fázovým posunem  $2/3\pi$ .



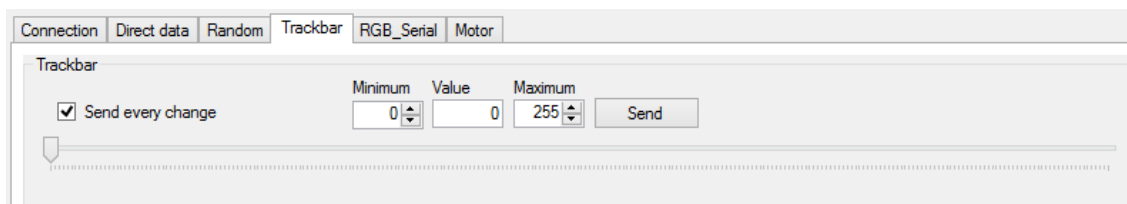
Obr 47 – Nastavení sériové linky a odesílání vybraných či náhodných hodnot



**Obr 48 – Ovládání barev RGB svítivé diody**



**Obr 49 – Ovládání krokového motoru**



**Obr 50 – Posuvník pro odesílání zvolené hodnoty**

### 3 ZÁVĚR

Tuto diplomovou práci jsem si vybral kvůli svému zájmu o 32bitové mikrokontroléry, z nichž mi již před časem byl představen právě Cortex od STM. Tenkrát jsme mluvili ještě o Cortex M3 a mezitím STM uvedlo Cortex M4 mimo jiné s novější architekturou periférií a vyšší maximální hodinovou frekvencí. Také obvod fyzické vrstvy (PHY) ethernetu KSZ8995 jsem od prvního návrhu nahradil novějším modelem KSZ8895. Od semestrálního projektu SP1 jsem tedy změnil mikrokontrolér i obvod PHY.

Obvod PHY je čtyřnásobný přepínač (switch) připojený sběrnici MII. Tato byla zvolena pro nižší frekvenci komunikace i za cenu většího počtu obsazených vývodů mikrokontroléru. Nastavení přepínače se provádí po sběrnici SPI. Pro účely vývoje a seznamování se s technologií Ethernet připojení jsou konektory RJ45 připojeny na zvláštní modulární desce. Ta poté může obsahovat i obvody pro POE obou verzí (Vstup či výstup napájení)

Zamýšlenou univerzálnost zajišťuje modulární provedení. Systém však neztrácí na robustnosti a spolehlivosti díky konceptu normalizované matice montážních otvorů v palcovém systému (rastr 0,5"). Palcový systém koresponduje s rozmístěním kolíkových lámacích lišt v rastru 2,56 mm. Moduly přišroubované do podkladové desky navrtané otvory 3 mm ve zmíněném rastru 12,7 mm jsou velmi stabilní a odolné vůči rozpojování při manipulaci se sestavou.

Robustnost je po elektrické stránce zajišťována systémem odrušovacích indukčností, vyhlazovacích kondenzátorů, ochrannými sériovými rezistory v datových spojích a přepětovými TVS diodami v napájení i na některých datových vodičích, můstkem proti přepólování napájení a resetovací polovodičovou pojistkou v napájení.

V současné chvíli deska není plně osazena z důvodů postupného ožívání a v některých případech kvůli čekání na objednané vzorky součástek. Nadále pracuji na jejím plném osazení a pokračuji s ožíváním.

Ovládací program byl otestován s mobilním telefonem (v režimu komunikace s modemem) a vývojovou deskou pro 8051.

Dále pracuji na dalších rozšiřujících modulech jako jsou senzory, ovládací panel s LCD a tlačítka, izolované budiče sběrnic a podobně.

## 4 BIBLIOGRAFIE

1. **Gatema.** Technické podmínky pro výrobu DPS. *Naše služby*. [Online] Gatema, 2013. [Citace: 10. květen 2013.] <http://pcb.gatema.cz/technicke-podminky/>.
2. **Bourns.** Datasheet CRM0805/1206/2010 Chip Resistors. *Pulse Power Resistors*. [Online] Leden 2013. [Citace: 18. Květen 2013.] [http://www.bourns.com/data/global/pdfs/CRM0805\\_1206\\_2010.pdf](http://www.bourns.com/data/global/pdfs/CRM0805_1206_2010.pdf).
3. **STMicroelectronics.** STM32F417xx Reference Manual. *Design Resources*. [Online] Rev 4, únor 2013. [http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/reference\\_manual/DM00031020.pdf](http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/reference_manual/DM00031020.pdf). RM0090.
4. —. STM32F417xx Datasheet. *Design Resources*. [Online] Rev 3, květen 2012. <http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/datasheet/DM00035129.pdf>. Doc ID 022063.
5. —. STM3241G Eval Usermanual. *Design Resources*. [Online] Rev 2, Říjen 2011. [http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/user\\_manual/DM00036744.pdf](http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/user_manual/DM00036744.pdf). Doc ID 022136.
6. **Micrel.** App Note-Migration from 8995 to 8895. *KSZ8895FMQ\_DP*. [Online] V1.0, září 2010. [Citace: 10. březem 2013.] [http://www.micrel.com/\\_PDF/Ethernet/hw\\_designkit/8895FMQ/KSZ8895FMQ\\_DP\\_V1.0.zip](http://www.micrel.com/_PDF/Ethernet/hw_designkit/8895FMQ/KSZ8895FMQ_DP_V1.0.zip).
7. —. Application Note 105. *Application Notes*. [Online] duben 2004. [Citace: 10. březem 2013.] [http://www.micrel.com/\\_PDF/Ethernet/app-notes/an-105.pdf](http://www.micrel.com/_PDF/Ethernet/app-notes/an-105.pdf).
8. —. Application Note 106. *Application Notes*. [Online] červen 2004. [Citace: 10. březem 2013.] [http://www.micrel.com/\\_PDF/Ethernet/app-notes/an-106.pdf](http://www.micrel.com/_PDF/Ethernet/app-notes/an-106.pdf).
9. —. Application Note 107. *Application Notes*. [Online] květen 2004. [Citace: 10. březem 2013.] [http://www.micrel.com/\\_PDF/Ethernet/app-notes/an-107.pdf](http://www.micrel.com/_PDF/Ethernet/app-notes/an-107.pdf).

10. —. Datasheet. *KSZ8895FMQ Product Page*. [Online] Rev. 1.6, 22. leden 2013. [Citace: 10. březen 2013.] [http://www.micrel.com/\\_Autologin/private.php?url=ksz8895mq\\_rq\\_fmqs\\_ds.pdf&part=ksz8895mq\\_rq\\_fmqs](http://www.micrel.com/_Autologin/private.php?url=ksz8895mq_rq_fmqs_ds.pdf&part=ksz8895mq_rq_fmqs).
11. —. KSZ8895FMQ\_EVAL\_BOARD\_V1\_0. *KSZ8895FMQ\_DP*. [Online] V1.0, 18. leden 2013. [Citace: 10. březen 2013.] [http://www.micrel.com/\\_PDF/Ethernet/hw\\_designkit/8895FMQ/KSZ8895FMQ\\_DP\\_V1.0.zip](http://www.micrel.com/_PDF/Ethernet/hw_designkit/8895FMQ/KSZ8895FMQ_DP_V1.0.zip).
12. —. KSZ8895FMQ\_REF\_DESIGN. *KSZ8895FMQ\_DP*. [Online] V1.0, 7. leden 2013. [Citace: 10. březen 2013.] [http://www.micrel.com/\\_PDF/Ethernet/hw\\_designkit/8895FMQ/KSZ8895FMQ\\_DP\\_V1.0.zip](http://www.micrel.com/_PDF/Ethernet/hw_designkit/8895FMQ/KSZ8895FMQ_DP_V1.0.zip).
13. —. KSZ8895FMQ\_User Guide. *KSZ8895FMQ\_DP*. [Online] 8. leden 2013. [Citace: 10. březen 2013.] [http://www.micrel.com/\\_PDF/Ethernet/hw\\_designkit/8895FMQ/KSZ8895FMQ\\_DP\\_V1.0.zip](http://www.micrel.com/_PDF/Ethernet/hw_designkit/8895FMQ/KSZ8895FMQ_DP_V1.0.zip).
14. **Alliance Semiconductor**. Datasheet. *alliancememory.com*. [Online] V1.2, 21. Únor 2006. [Citace: 3. Únor 2013.] [http://www.alliancememory.com/pdf/sram/fa/as7c4098a\\_v1.2.pdf](http://www.alliancememory.com/pdf/sram/fa/as7c4098a_v1.2.pdf).

## 5 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

Zkratka	Obsah	Překlad, vysvětlení
A	Ampér	Základní jednotka elektrického proudu
Buck-Boost		Měnič napětí se zvyšovacím i snižovacím režimem zároveň
DPS		Deska plošných spojů
FS	FullSpeed	Režim rychlosti USB
FSMC	flexible static memory controller	Řadič statické paměti
GND	Ground	Zem, nula Voltů
GPIO	General Purpose Input Output	Univerzální vstup/výstup
HS	HighSpeed	Režim rychlosti USB
IrDA	Infrared Data Association	Komunikační standard infra
POE	Power Over Ethernet	Napájení přes kabely ethernetu společně s daty
POE-PD	Powered Device	Napájené zařízení
POE-PSE	Power Sourcing Equipment	Napájecí zařízení
RS232		Specifikace průmyslové fyzické vrstvy pro sériovou komunikaci
uC	μC = MicroController	Mikrokontrolér
ULPI	Standard for High-Speed USB PHYs	Sběrnice rozhraní pro budiče USB
USB	Universal Serial Bus	Univerzální sběrnice pro počítače
V	Volt	Základní jednotka elektrického napětí
Vpp	Volt peak-to-peak	Napětí šicka-špička
RGB	Red Green Blue	Základní barvy

## **6 SEZNAM PŘÍLOH**

PŘÍLOHA A – FOTOGRAFIE

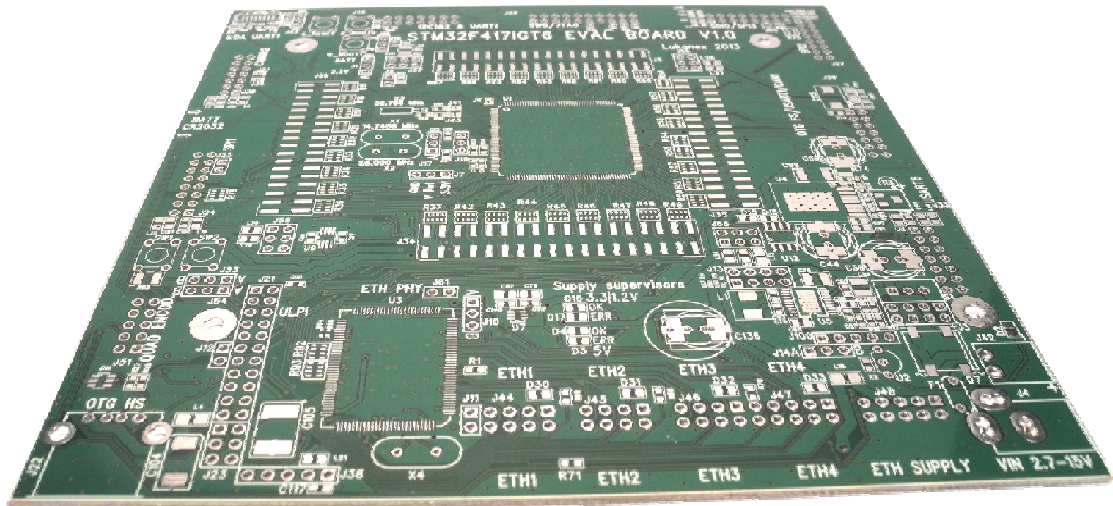
PŘÍLOHA B – BLOKOVÉ SCHÉMA STM32F417

PŘÍLOHA C – CD

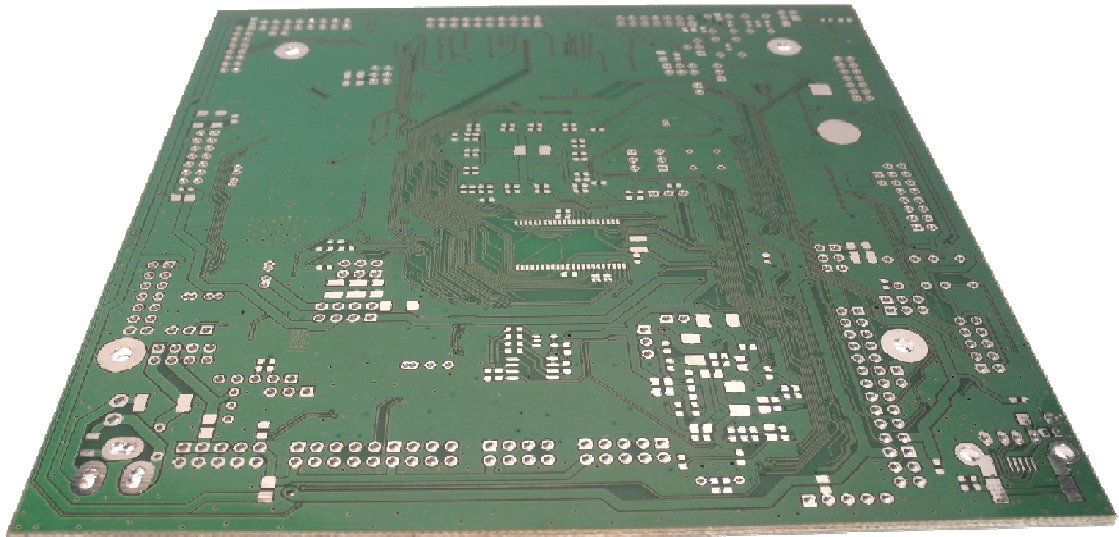
PŘÍLOHA D – SCHÉMA VÝVOJOVÉ DESKY

PŘÍLOHA E – NÁVRH DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ

## PŘÍLOHA A – FOTOGRAFIE

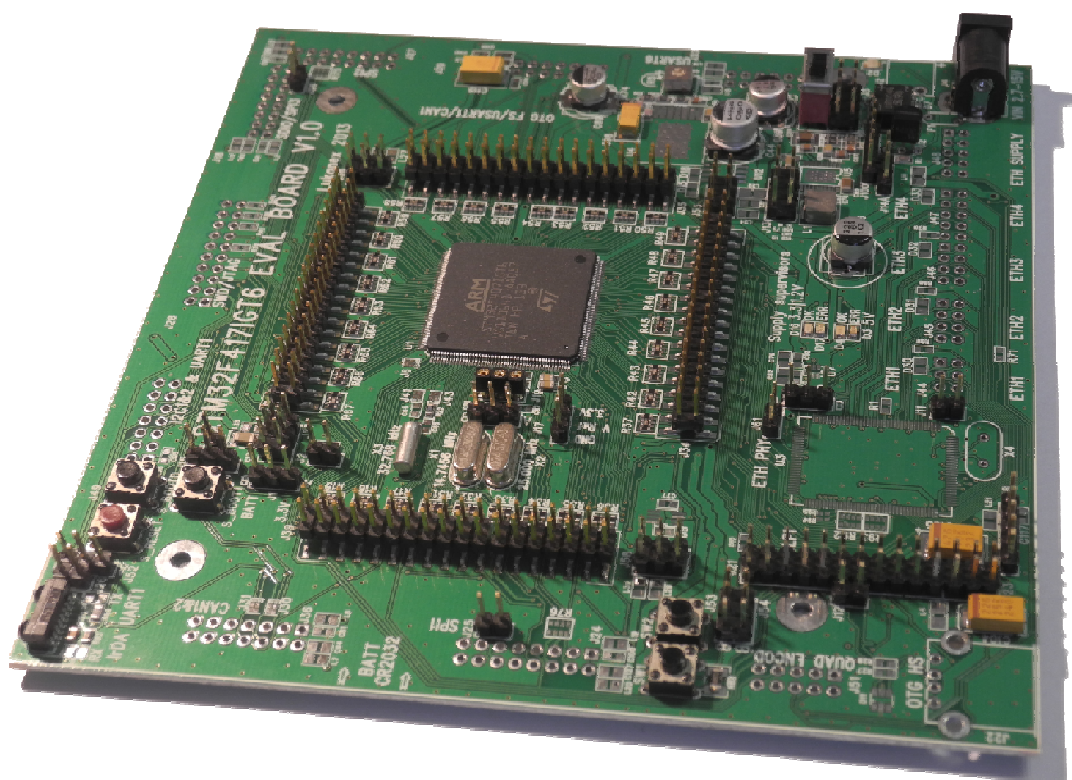


**Obr 51 – Vývojová deska neosazená – Shora (Top)**

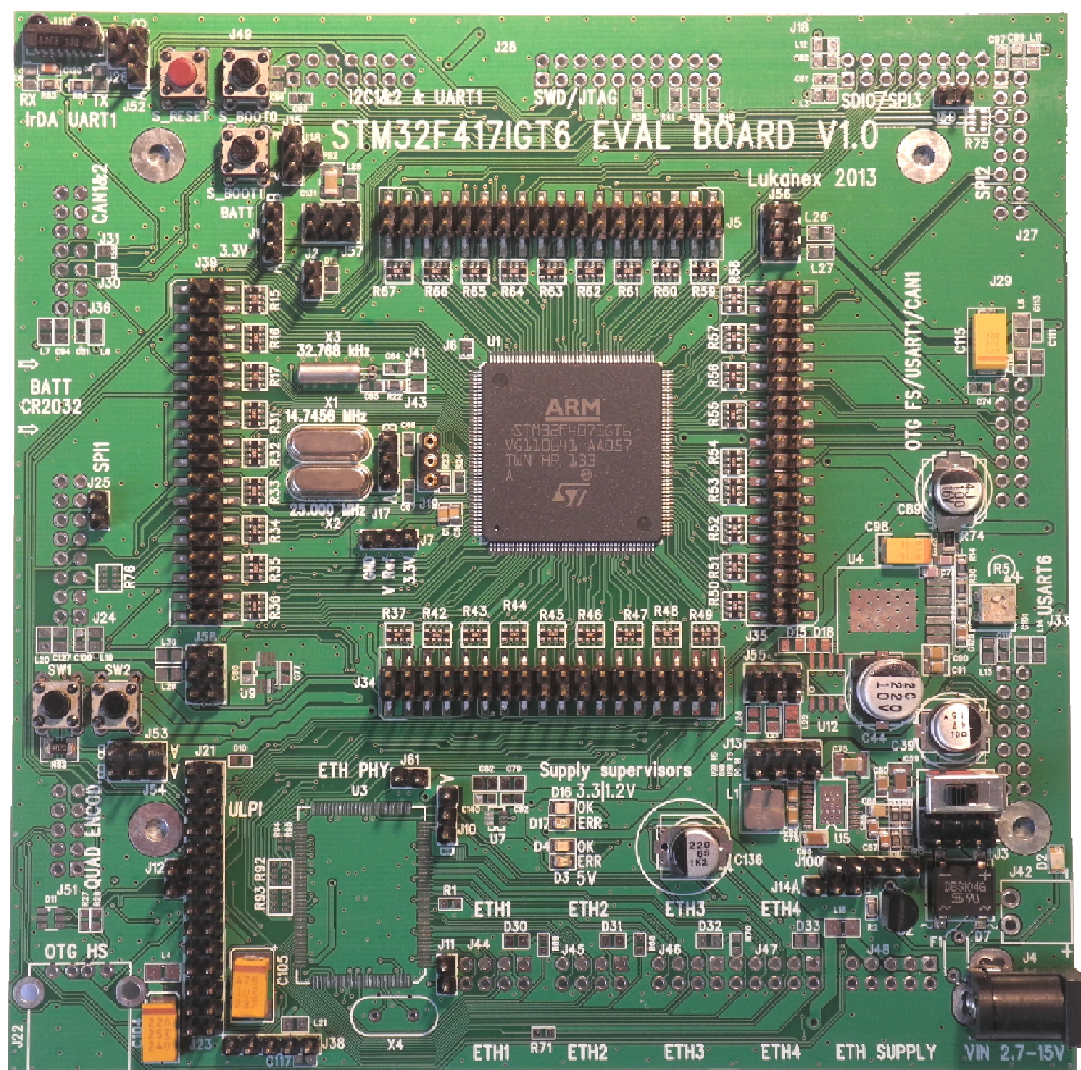


**Obr 52 – Vývojová deska neosazená – Zespodu (Bottom)**



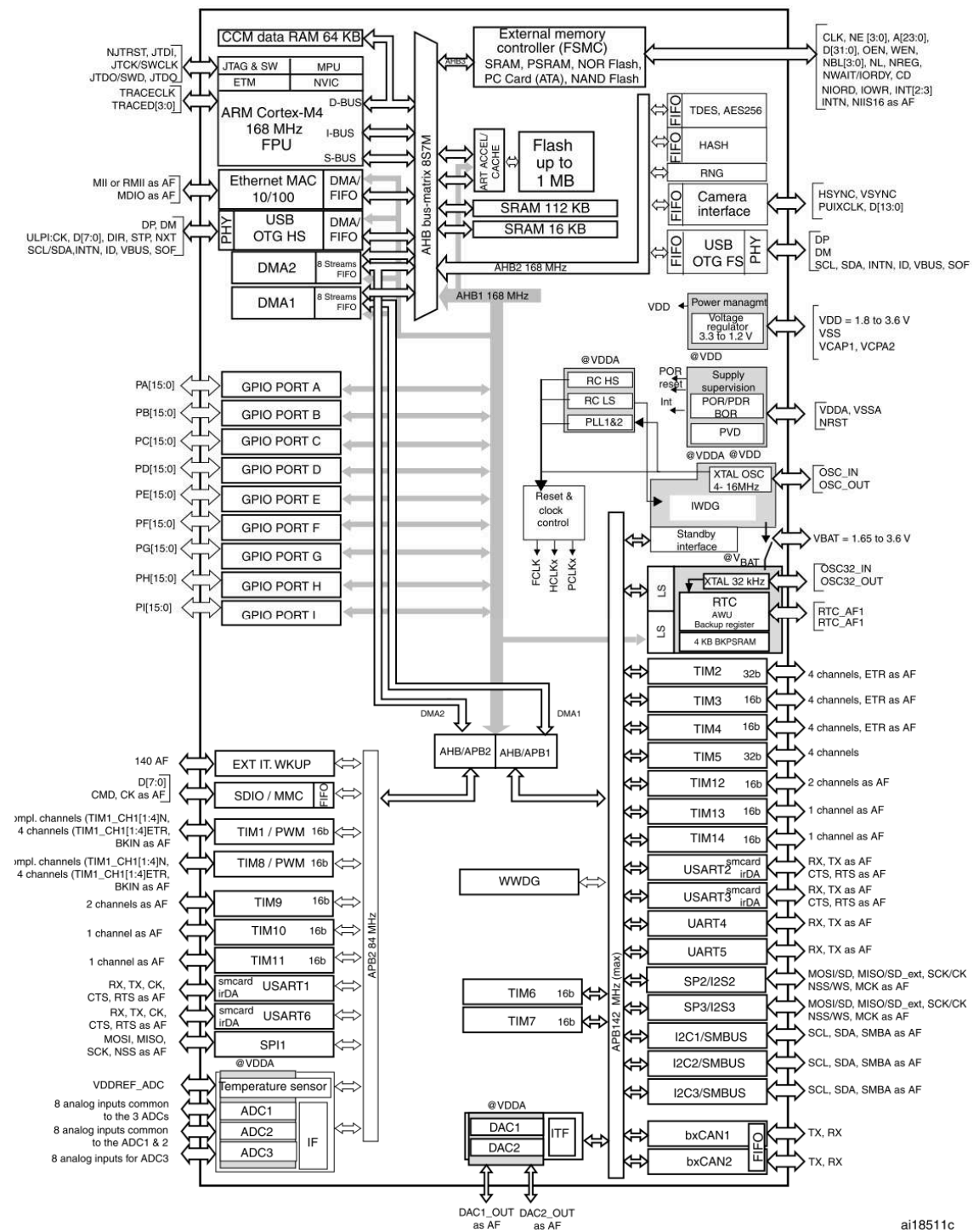


Obr 53 – Částečně osazená vývojová deska



Obr 54 – Částečně osazená vývojová deska 1:1

# PŘÍLOHA B – BLOKOVÉ SCHÉMA STM32F417

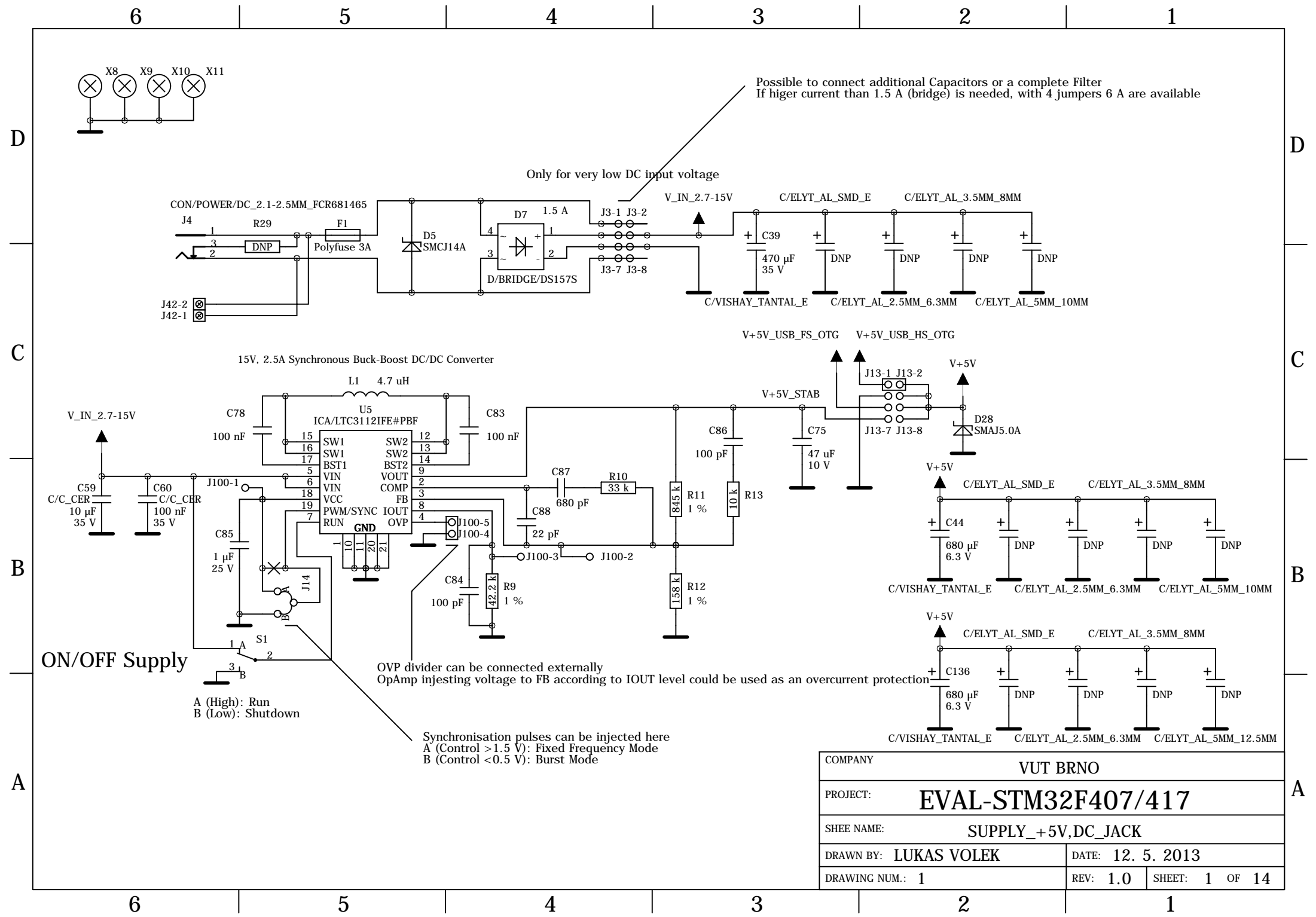


ai18511c

PŘÍLOHA C – CD

PŘÍLOHA D – SCHEMA VÝVOJOVÉ DESKY

PŘÍLOHA E – NÁVRH DESKY PLOŠNÝCH  
SPOJŮ



Possible to connect additional Capacitors or a complete Filter  
If higher current than 1.5 A (bridge) is needed, with 4 jumpers 6 A are available

Only for very low DC input voltage

15V, 2.5A Synchronous Buck-Boost DC/DC Converter

ON/OFF Supply

A (High): Run  
B (Low): Shutdown

OVP divider can be connected externally  
OpAmp injecting voltage to FB according to IOUT level could be used as an overcurrent protection

Synchronisation pulses can be injected here  
A (Control >1.5 V): Fixed Frequency Mode  
B (Control <0.5 V): Burst Mode

COMPANY		VUT BRNO	
PROJECT:		EVAL-STM32F407/417	
SHEE NAME:		SUPPLY_+5V,DC_JACK	
DRAWN BY: LUKAS VOLEK		DATE: 12. 5. 2013	
DRAWING NUM.: 1		REV: 1.0	SHEET: 1 OF 14

6

5

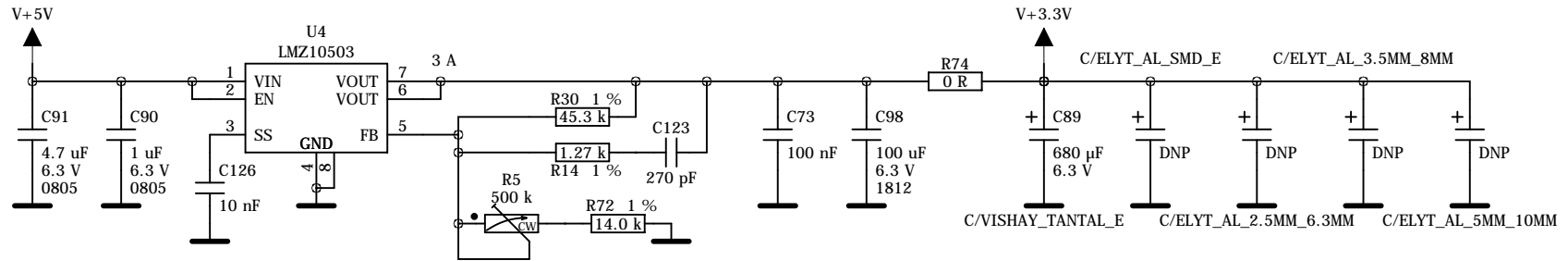
4

3

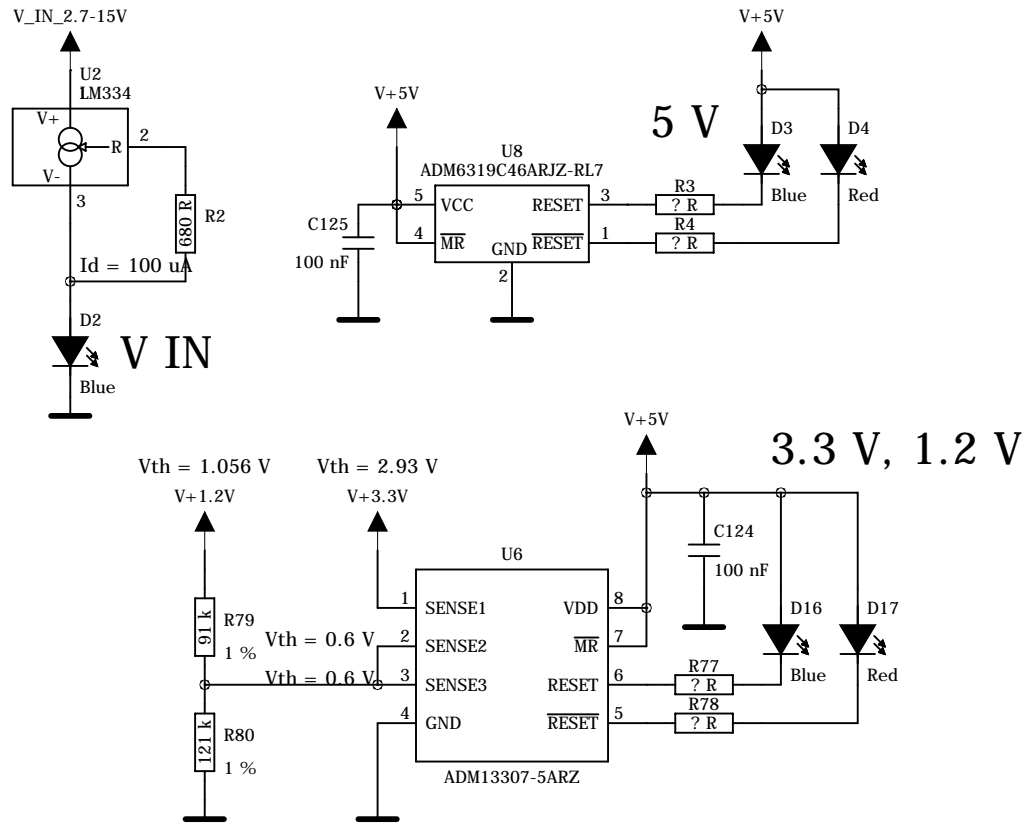
2

1

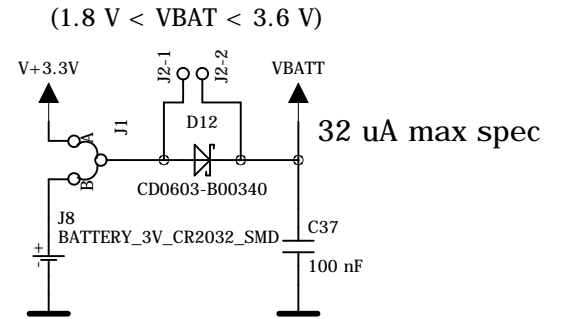
# +3.3 V



# Power Indicating LEDs



# Backup battery



COMPANY		VUT BRNO	
PROJECT:		EVAL-STM32F407/417	
SHEET NAME:		SUPPLY_+3.3V,BATT,LED	
DRAWN BY: LUKAS VOLEK		DATE: 12. 5. 2013	
DRAWING NUM.: 1		REV: 1.0	SHEET: 2 OF 14

6

5

4

3

2

1

6

5

4

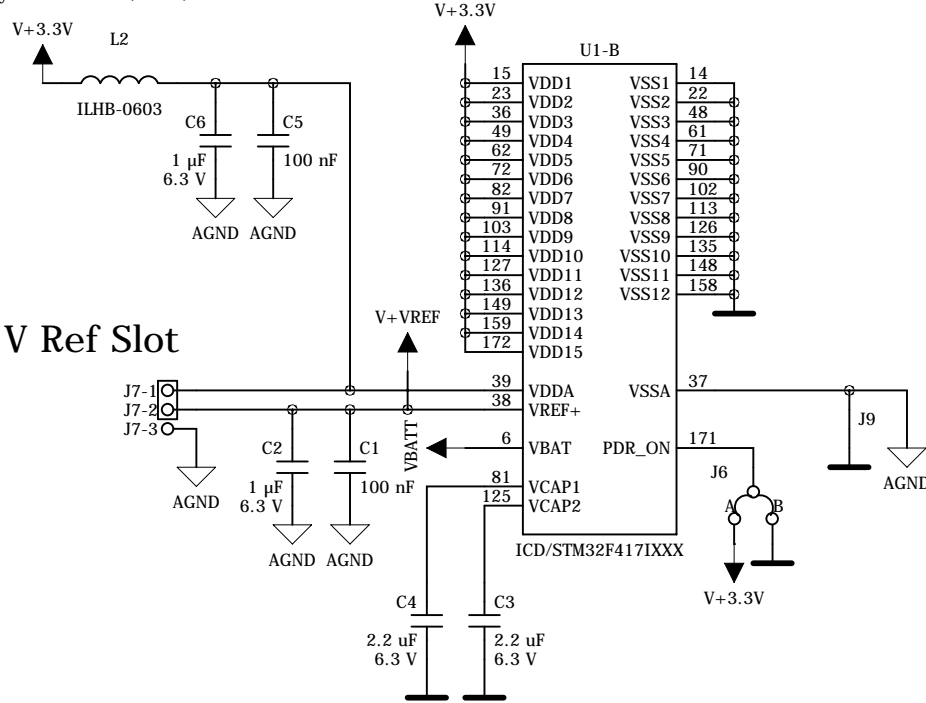
3

2

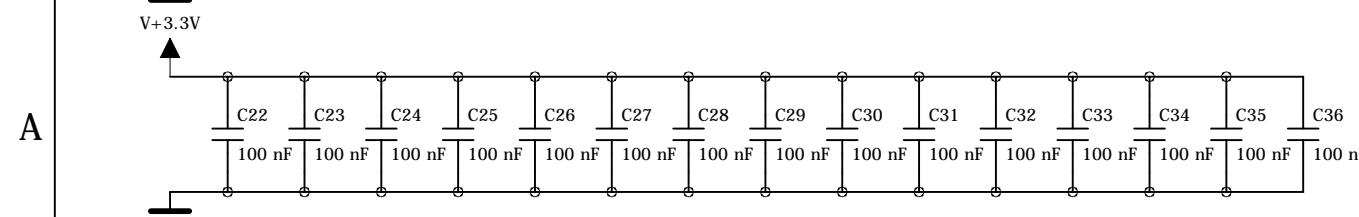
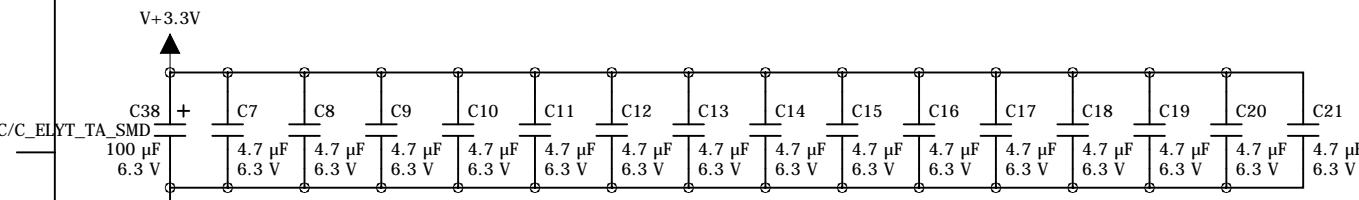
1

# µController

High Current Multilayer Ferrite Bead, 0603, 220/600 Ohm @ 100 MHz



V Ref Slot



COMPANY		VUT BRNO	
PROJECT:		EVAL-STM32F407/417	
SHEET NAME:		SUPPLY_MICROCONTROLLER	
DRAWN BY: LUKAS VOLEK		DATE: 12. 5. 2013	
DRAWING NUM.: 1		REV: 1.0	SHEET: 3 OF 14

6

5

4

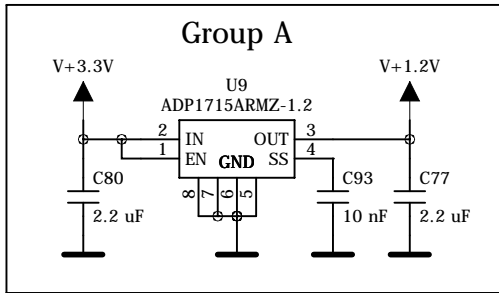
3

2

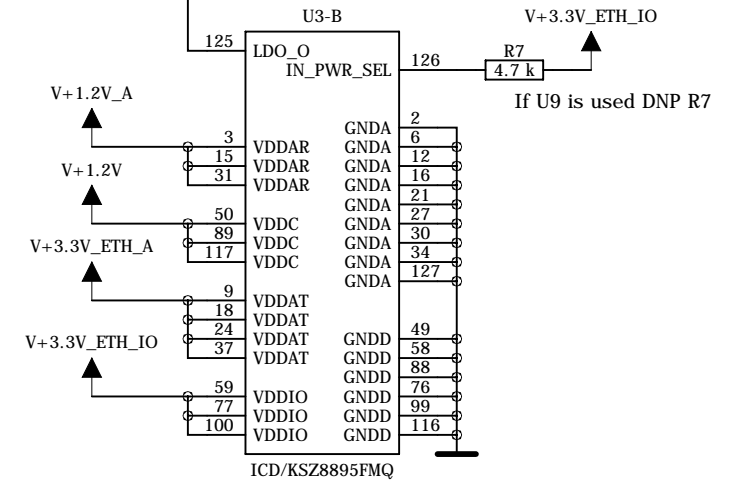
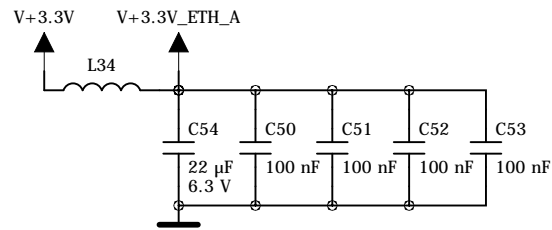
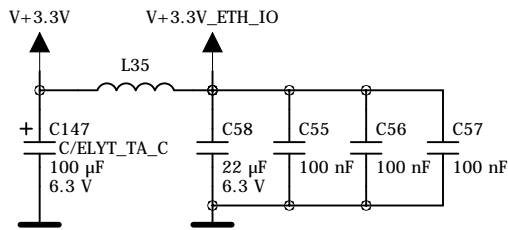
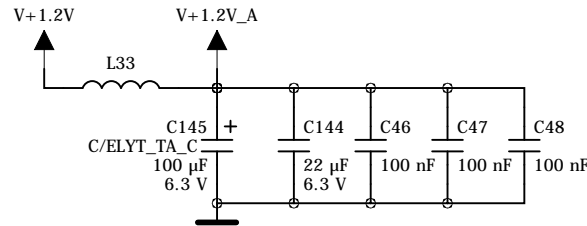
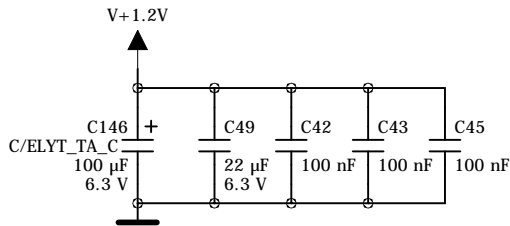
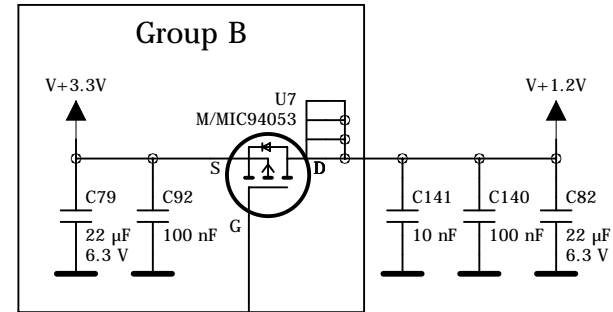
1

# Supply for ETH PHY

If U9 is used DNP R7 and DNP Group B



If Group B is used DNP Group A and populate R7



COMPANY:	VUT BRNO		
PROJECT:	EVAL-STM32F407/417		
SHEET NAME:	SUPPLY_ETHERNET		
DRAWN BY:	LUKAS VOLEK	DATE:	12. 5. 2013
DRAWING NUM.:	1	REV:	1.0 SHEET: 4 OF 14



6

5

4

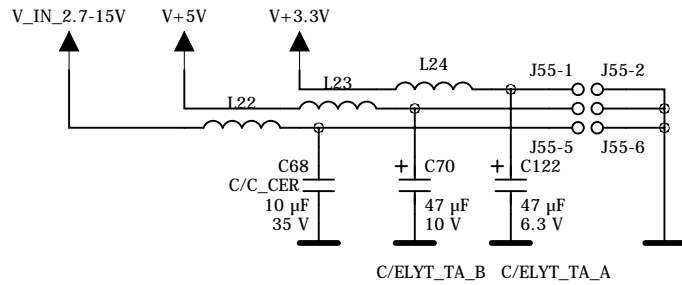
3

2

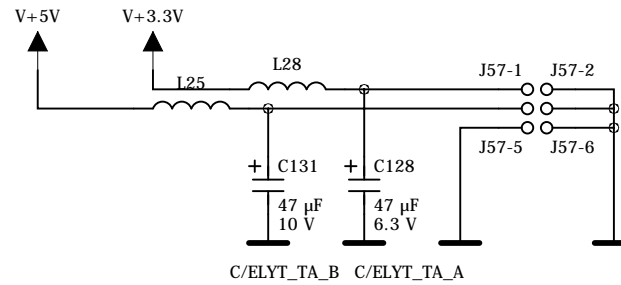
1

D

EH1

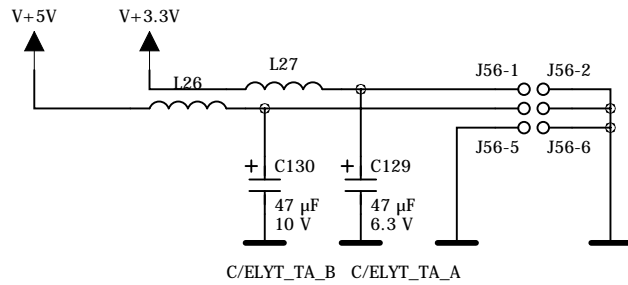


EH3

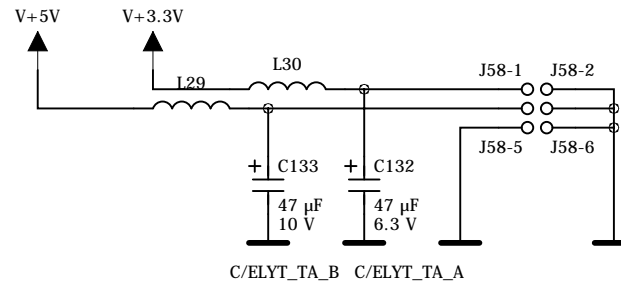


C

EH2



EH4



B

A

COMPANY	VUT BRNO		
PROJECT:	EVAL-STM32F407/417		
SHEE NAME:	SUPPLY_EXTENSION_HEADERS		
DRAWN BY:	LUKAS VOLEK	DATE:	12. 5. 2013
DRAWING NUM.:	1	REV:	1.0 SHEET: 5 OF 14

6

5

4

3

2

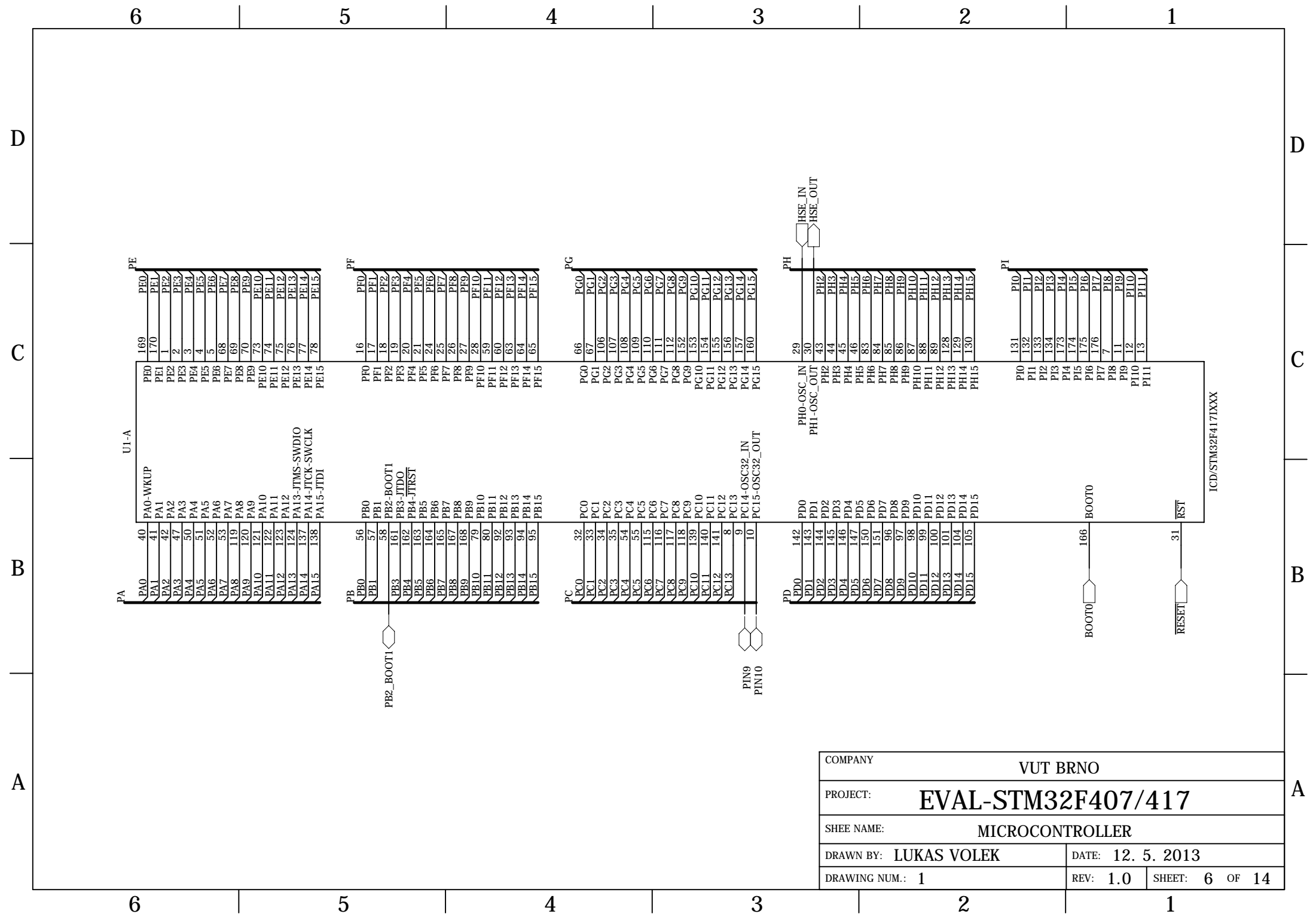
1

D

C

B

A



COMPANY		VUT BRNO	
PROJECT:		EVAL-STM32F407/417	
SHEET NAME:		MICROCONTROLLER	
DRAWN BY: LUKAS VOLEK		DATE: 12. 5. 2013	
DRAWING NUM.: 1		REV: 1.0	SHEET: 6 OF 14

6

5

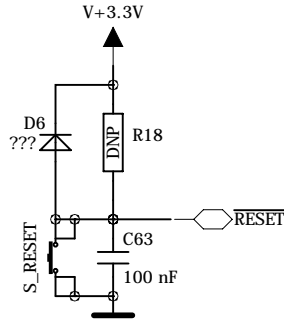
4

3

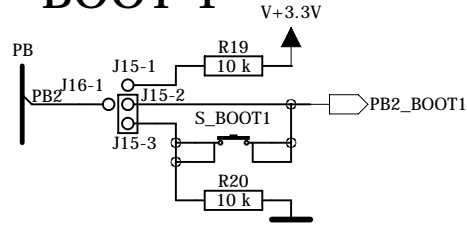
2

1

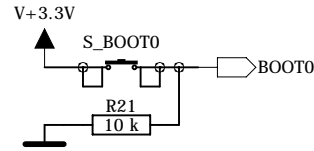
### RESET



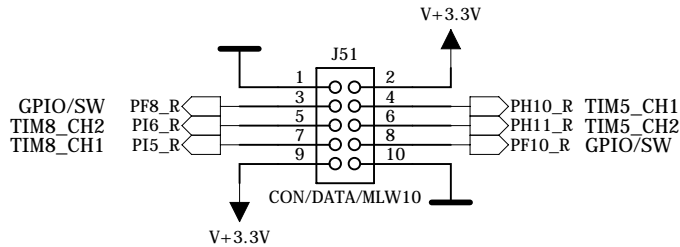
### BOOT 1



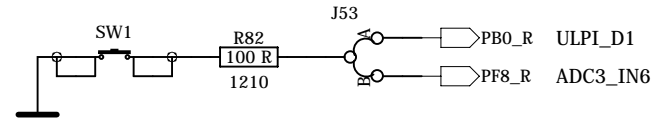
### BOOT 0



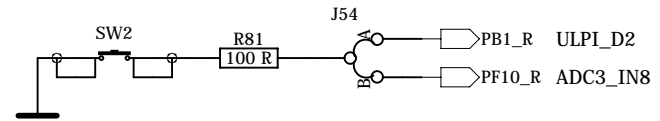
## Quadrature Encoders TIM5 & TIM8



## GP Button 1

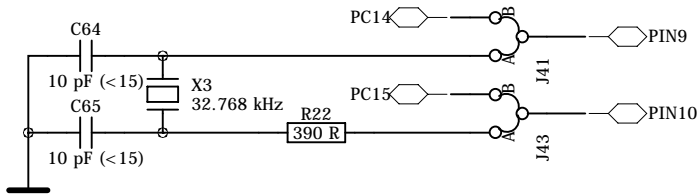


## GP Button 2

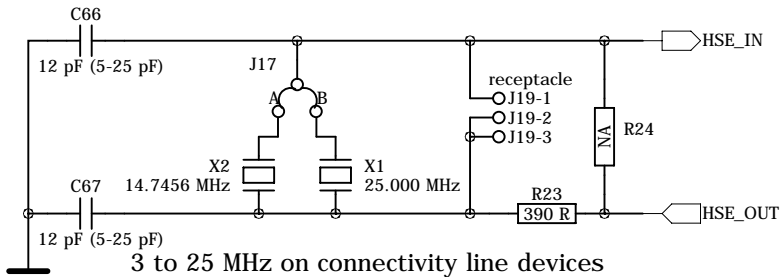


100 R (156 enclosing the 56 R protection res.) resistors due to a possible conflict with another signal

### LSE



### HSE



COMPANY	VUT BRNO		
PROJECT:	EVAL-STM32F407/417		
SHEET NAME:	OSCILLATORS_&_BUTTONS		
DRAWN BY: LUKAS VOLEK	DATE: 12. 5. 2013		
DRAWING NUM.: 1	REV: 1.0	SHEET: 7 OF 14	

6

5

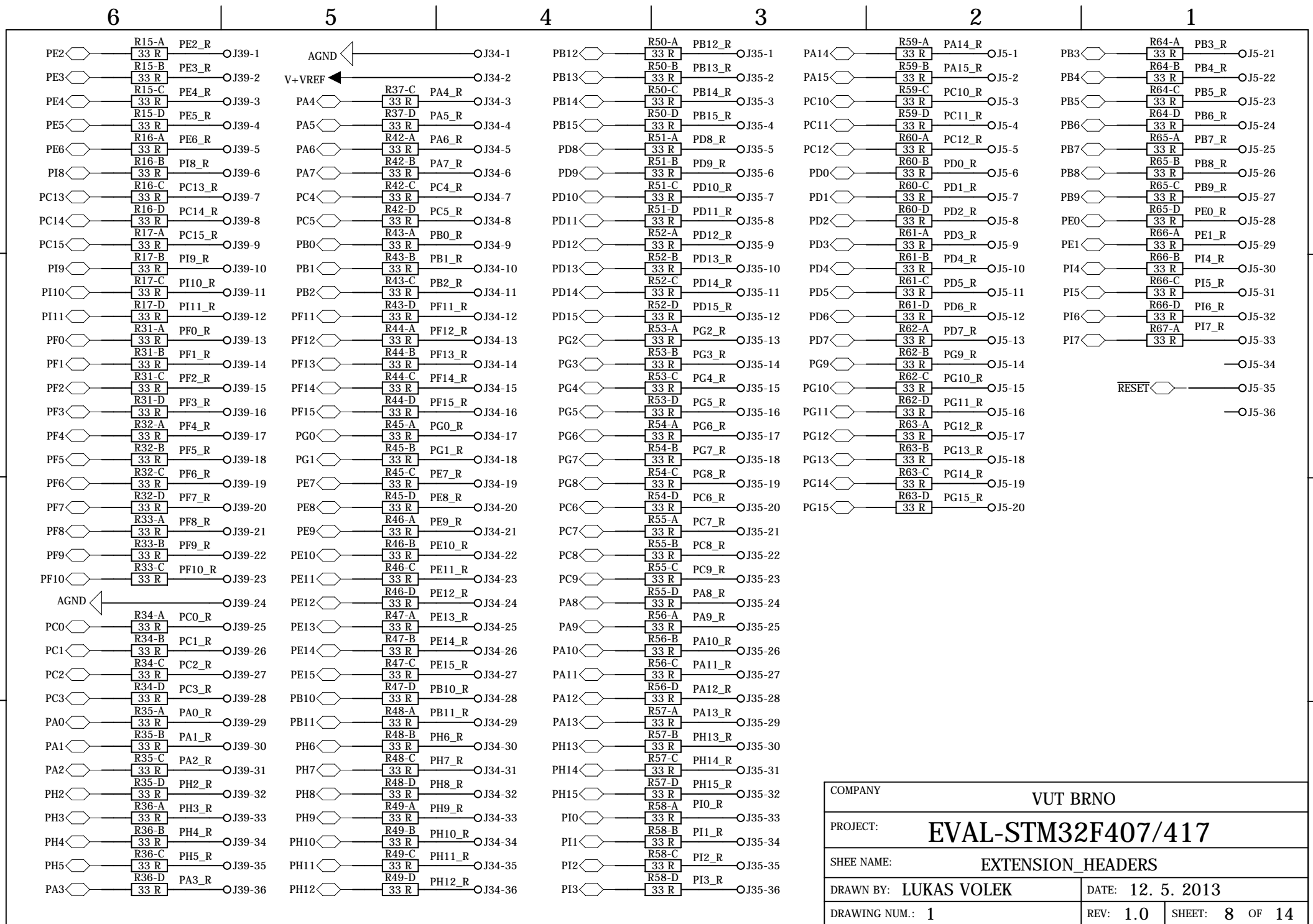
4

3

2

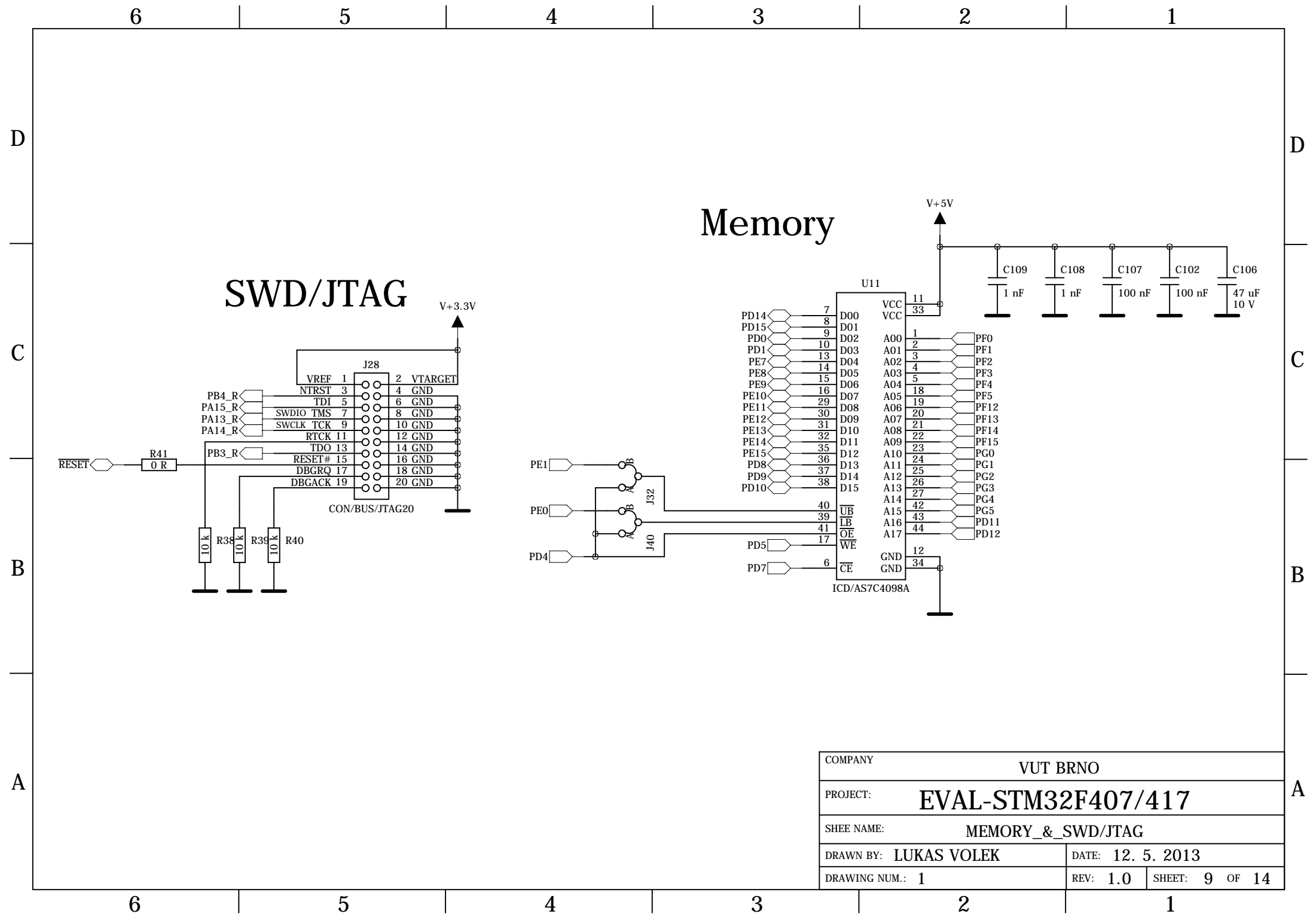
1

D  
C  
B  
A



COMPANY		VUT BRNO	
PROJECT:		EVAL-STM32F407/417	
SHEET NAME:		EXTENSION_HEADERS	
DRAWN BY: LUKAS VOLEK		DATE: 12. 5. 2013	
DRAWING NUM.: 1		REV: 1.0	SHEET: 8 OF 14

6 5 4 3 2 1



# SWD/JTAG

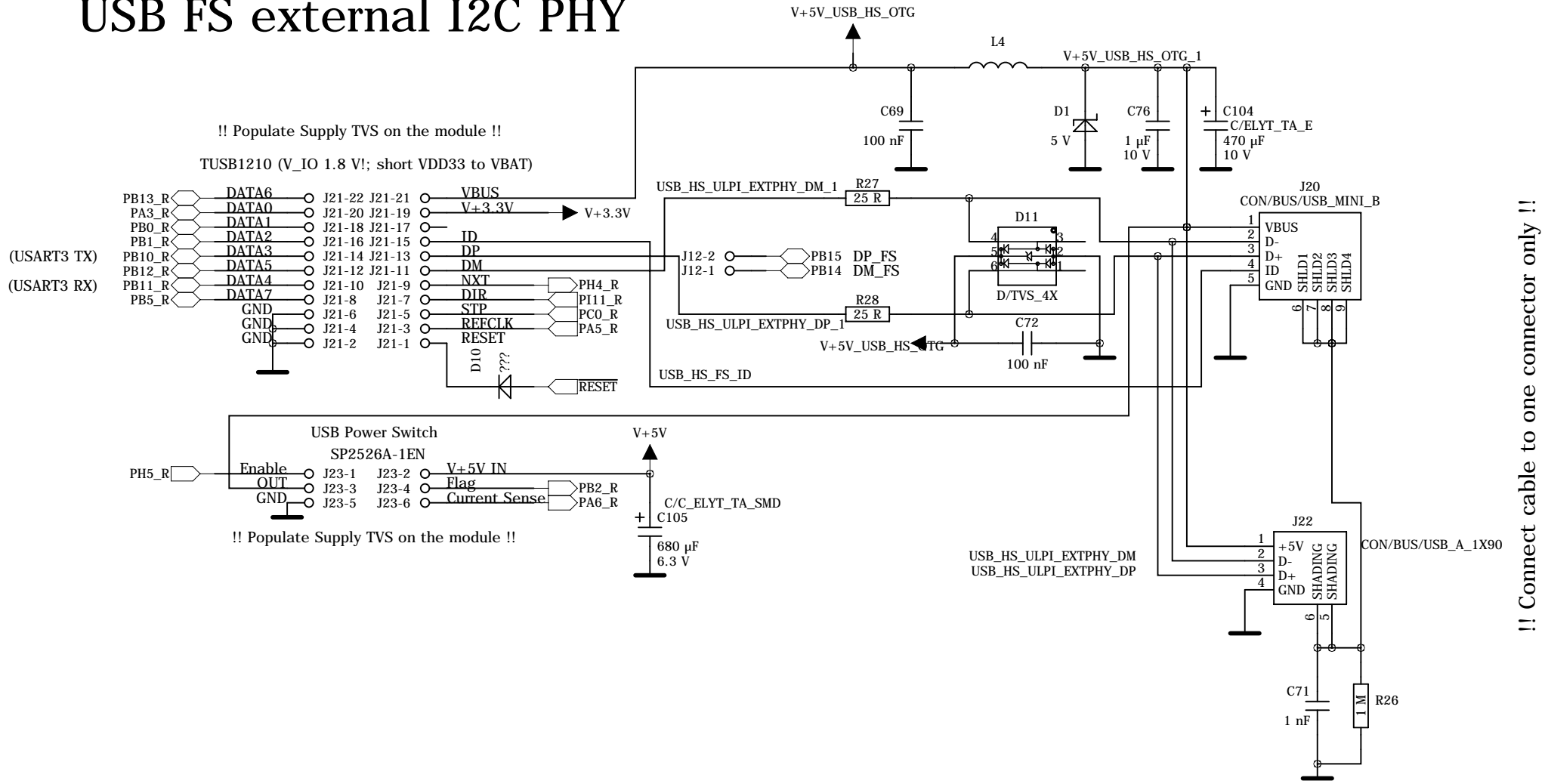
# Memory

COMPANY		VUT BRNO	
PROJECT:		EVAL-STM32F407/417	
SHEET NAME:		MEMORY_&_SWD/JTAG	
DRAWN BY: LUKAS VOLEK		DATE: 12. 5. 2013	
DRAWING NUM.: 1		REV: 1.0	SHEET: 9 OF 14



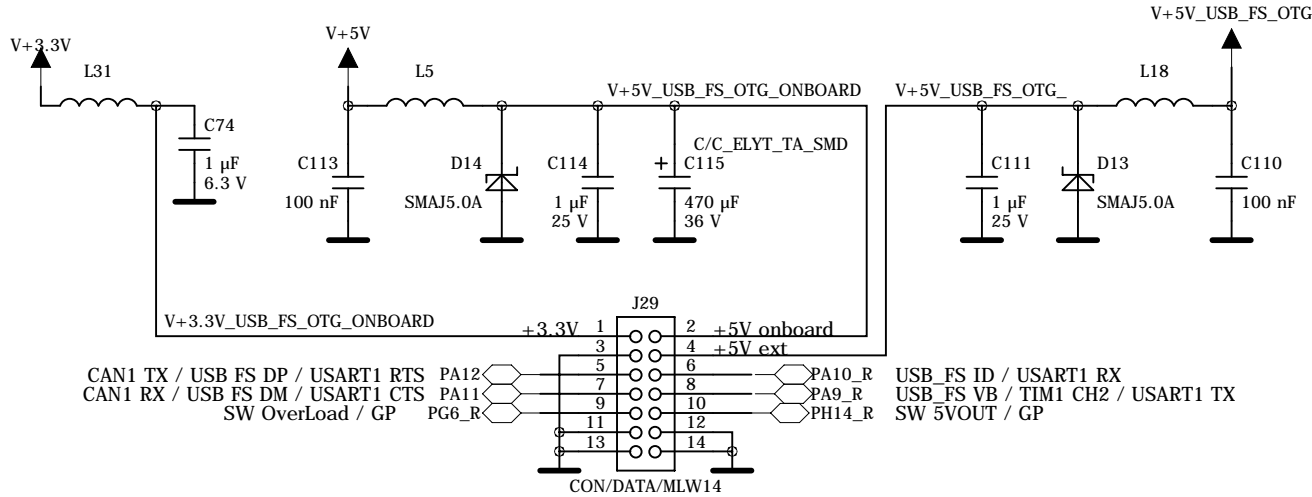
# USB HS ULPI external PHY

## USB FS external I2C PHY

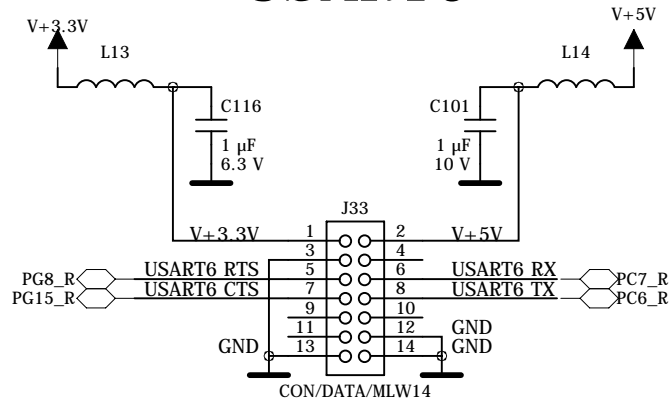


COMPANY	VUT BRNO		
PROJECT:	EVAL-STM32F407/417		
SHEET NAME:	INTERFACE_OTG_HS/FS		
DRAWN BY:	LUKAS VOLEK	DATE:	12. 5. 2013
DRAWING NUM.:	1	REV:	1.0 SHEET: 11 OF 14

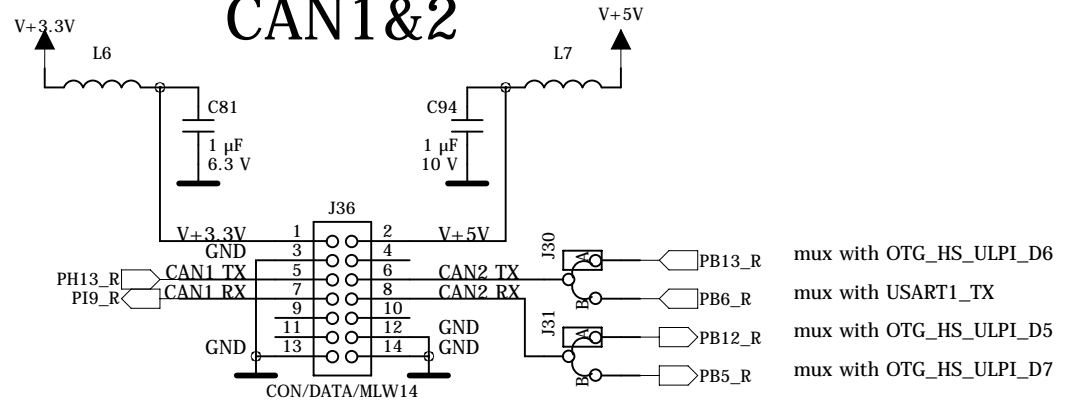
# OTG\_FS/USART1/CAN1



# USART6



# CAN1&2



COMPANY		VUT BRNO	
PROJECT:		EVAL-STM32F407/417	
SHEET NAME:		INTERFACE_OTG_FS/USART16/CAN12	
DRAWN BY: LUKAS VOLEK		DATE: 12. 5. 2013	
DRAWING NUM.: 1		REV: 1.0	SHEET: 12 OF 14



6

5

4

3

2

1

D

D

C

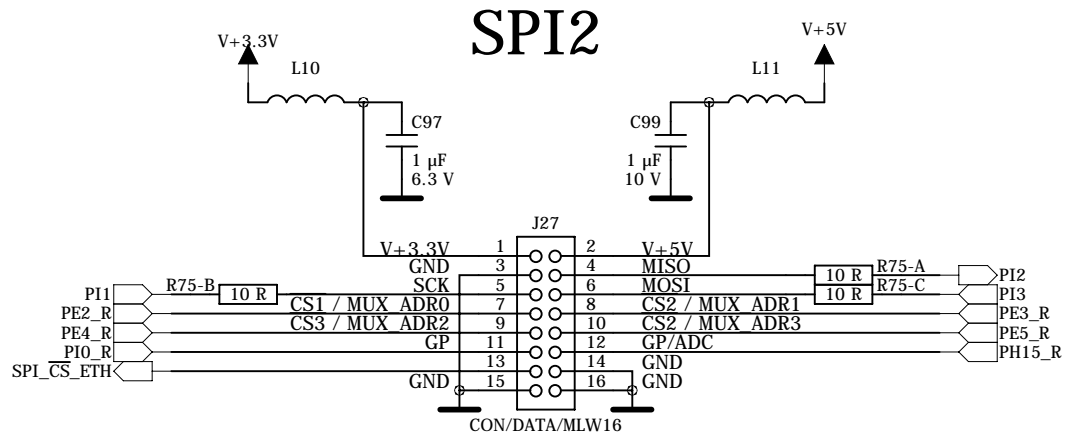
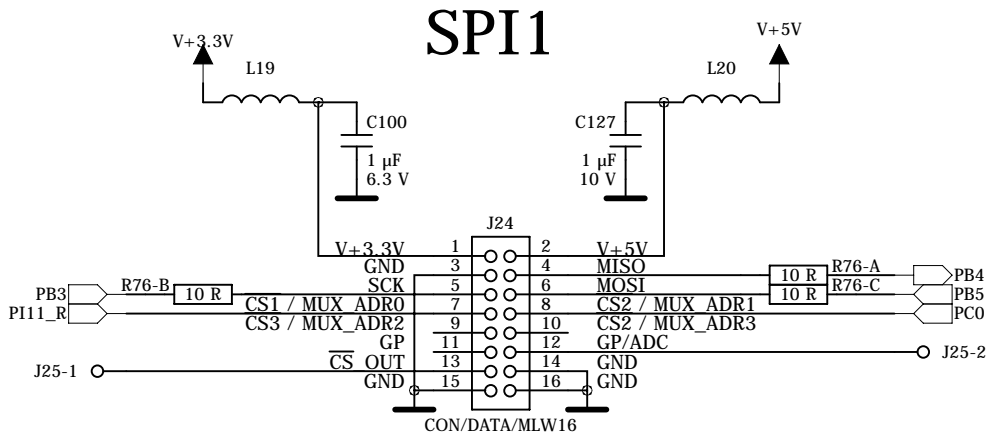
C

B

B

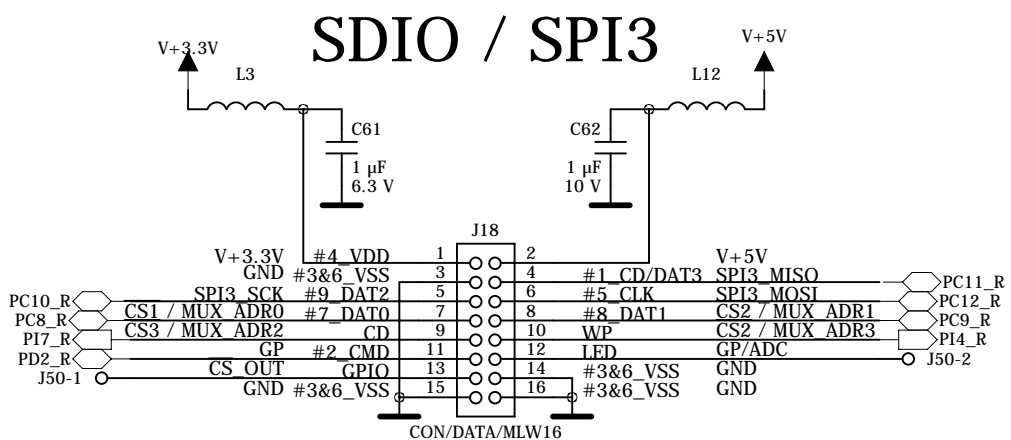
A

A



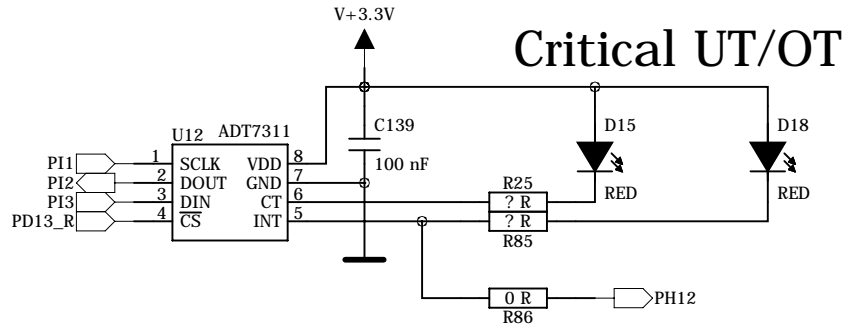
Available only if not using ULPI (OTG\_HS)

Short pins 13 & 14 by a jumper to enable ETH without a module connected  
Or short pins 13 & 11 by a jumper to control SPI\_CS\_ETH by GPIO PIO



Some LED with a wire to some free GPIO would be useful

# Onboard Temperature Sensor



COMPANY		VUT BRNO	
PROJECT:		EVAL-STM32F407/417	
SHEET NAME:		INTERFACE_SPI123	
DRAWN BY: LUKAS VOLEK		DATE: 12. 5. 2013	
DRAWING NUM.: 1		REV: 1.0	SHEET: 13 OF 14

6

5

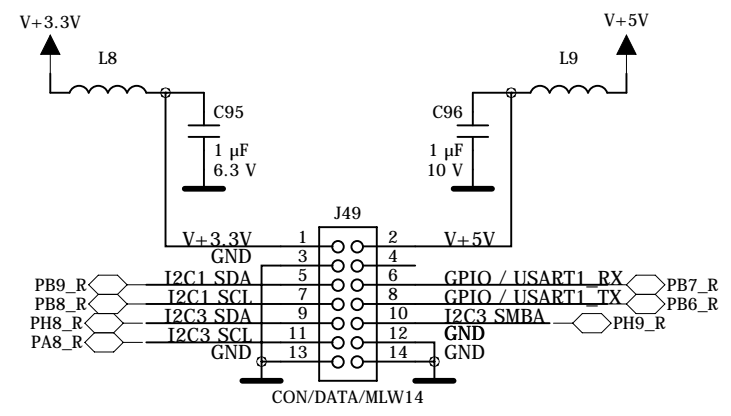
4

3

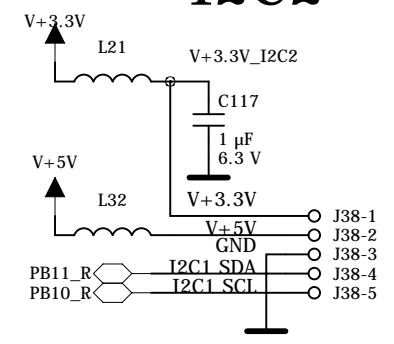
2

1

# I2C1&3 & USART1

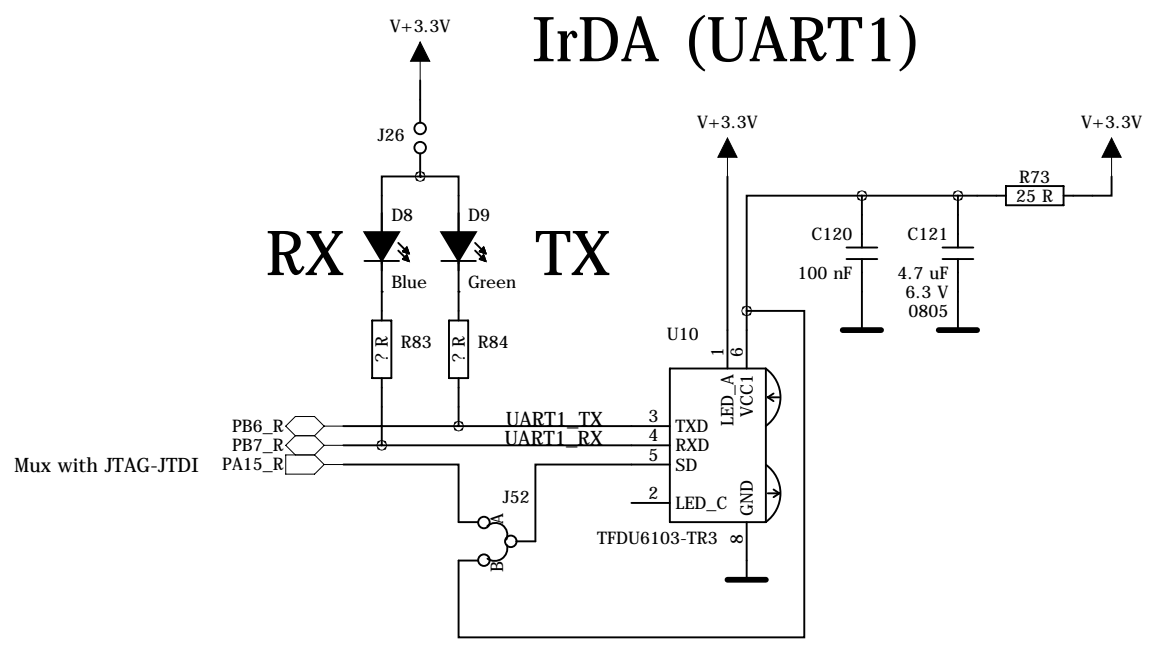


# I2C2



Available only if not using ULPI (OTG\_HS)

# IrDA (UART1)



COMPANY	VUT BRNO		
PROJECT:	EVAL-STM32F407/417		
SHEET NAME:	INTERFACE_I2C123_&_UART1		
DRAWN BY:	LUKAS VOLEK	DATE:	12. 5. 2013
DRAWING NUM.:	1	REV:	1.0 SHEET: 14 OF 14

