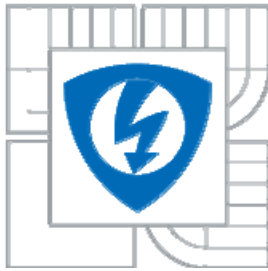




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ  
ÚSTAV MIKROELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF MICROELECTRONICS

# NÍZKOPŘÍKONOVÝ INTERNETOVÝ SERVER

LOW-POWER INTERNET SERVER

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

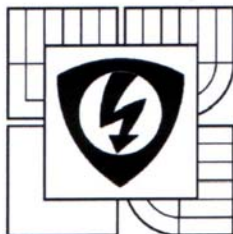
Bc. PETR DOHNAL

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. MICHAL PAVLÍK, Ph.D.

BRNO 2012



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav mikroelektroniky

# Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor  
**Mikroelektronika**

**Student:** Bc. Petr Dohnal

**Ročník:** 2

**ID:** 106406

**Akademický rok:** 2011/12

**NÁZEV TÉMATU:**

## Nízkopříkonový internetový server

### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte a realizujte nízkopříkonový web-server, který bude umožňovat mimo webových služeb také sdílení souborů v síti. Službu založte na službě typu Samba. Základem serveru bude mikrokontroler ARM9 s operačním systémem Linux. Jako úložiště pro sdílení souborů použijte paměťovou kartu SD a pevný disk s rozhraním PATA.

### DOPORUČENÁ LITERATURA:


Podle pokynů vedoucího práce

**Termín zadání:** 6.2.2012

**Termín odevzdání:** 24.5.2012

**Vedoucí práce:** Ing. Michal Pavlík, Ph.D.

**Konzultanti diplomové práce:**

  
**prof. Ing. Vladislav Musil, 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:

Náplní této práce je popis základních mechanismů správy paměti a přístupu k perifériím prostřednictvím sběrnice EBI u mikrokontroléru rodiny ARM9. Dále je řešeno připojení fyzického rozhraní ethernetu, SD/MMC karet k zařízení, návrh a konstrukce vývojového kitu s možností připojení pevného nebo SSD disku. Druhá polovina je zaměřena na operační systém Linux, jeho modifikaci pro rodinu mikrokontrolérů ARM9 a instalaci programových balíčků.

## Abstract:

The aim of this work is to describe the basic mechanisms of memory management and access to peripherals via EBI at the ARM9 microcontroller family. It is a solution for connecting physical ethernet interface, SD / MMC card to the device and design a development kit with the ability to connect a hard or SSD drive. The second part is aimed at operating system Linux, its modification for the ARM9 family of microcontrollers and installing software packages.

## Klíčová slova:

ARM9, AT91SAM9260, EBI, CompactFlash, SDRAM, NAND Flash, DataFlash, IDE, Bootstrap, U-Boot, Linux, Ångstrom, SAMBA, CIFS, PHP, MYSQL, DLNA

## Key words:

ARM9, AT91SAM9260, EBI, CompactFlash, SDRAM, NAND Flash, DataFlash, IDE, Bootstrap, U-Boot, Linux, Ångstrom, SAMBA, CIFS, PHP, MYSQL, DLNA

## Bibliografická citace:

DOHNAL, Petr. *Nízkopříkonový internetový server*. Brno, 2012. 74 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Vedoucí práce Ing. Michal Pavlík, Ph.D.

## Prohlášení autora o původnosti díla:

Prohlašuji, že jsem tuto vysokoškolskou kvalifikační práci 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 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 § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne 21. května 2012

.....

podpis autora

## Poděkování:

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Michalovi Pavlíkovi, Ph.D. za metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce. Také bych chtěl poděkovat své rodině a přítelkyni za podporu během studia.

V Brně dne 21. května 2012

.....

podpis autora

# Obsah

<b>ÚVOD</b> .....	<b>7</b>
<b>1 SROVNÁNÍ KONKURENCE</b> .....	<b>8</b>
<b>2 ARM9</b> .....	<b>10</b>
2.1 RODINA ARM9V4T .....	10
2.2 RODINA ARM9E.....	11
<b>3 MIKROPROCESORY ARM9</b> .....	<b>12</b>
3.1 NXP .....	12
3.1.1 LPC32X0.....	12
3.1.2 LH7A404.....	12
3.2 MARVELL.....	12
3.2.1 88F6192 .....	13
3.2.2 88F6282 .....	13
3.3 PLX TECHNOLOGY .....	13
3.3.1 OXE810DSE.....	13
3.4 TEXAS INSTRUMENTS.....	13
3.4.1 OMAP-L138 .....	14
3.5 ATMEL.....	14
3.5.1 AT92SAM9200.....	14
3.5.2 AT92SAM9260.....	14
3.5.3 AT92SAM9263 .....	14
<b>4 AT91SAM9260</b> .....	<b>15</b>
4.1 ROZDĚLENÍ PAMĚŤOVÉHO PROSTORU .....	17
4.2 ROZHRAŇÍ EBI .....	18
4.3 PŘIPOJENÍ PERIFERNÍCH OBVODŮ .....	20
4.3.1 SDRAM .....	20
4.3.2 Paměť DataFlash .....	21
4.3.3 Paměť NAND Flash.....	21
4.3.4 Rozhraní SD karet.....	24
4.3.5 IDE rozhraní .....	24
4.3.6 Fyzická vrstva ethernetu .....	26
4.4 ZAVÁDĚCÍ PROGRAM – BOOT PROGRAM .....	27
<b>5 PROGRAMOVACÍ PROSTŘEDKY PRO VÝVOJ APLIKACÍ</b> .....	<b>30</b>
5.1 PROGRAMY PRO VÝVOJ SOFTWARE .....	30
5.1.1 Placené vývojové nástroje.....	30
5.1.2 Volně šiřitelné vývojové nástroje.....	30
<b>6 KONSTRUKCE SERVERU</b> .....	<b>32</b>
6.1 NAPÁJENÍ .....	32
6.2 SDRAM .....	32
6.3 NAND FLASH.....	35
6.4 DATAFLASH .....	35
6.5 IDE .....	36
6.6 FYZICKÁ VRSTVA ETHERNETU .....	37
6.7 RTC .....	37
6.8 SÉRIOVÉ LINKY .....	38

6.9	VRSTVA TOP .....	38
6.10	VRSTVA BOTTOM .....	38
6.11	SERVER VERZE 2.....	38
6.11.1	Napájení .....	39
6.11.2	IDE .....	39
<b>7</b>	<b>LINUX PRO ARM.....</b>	<b>41</b>
7.1	BOOTSTRAP .....	41
7.1.1	Instalace vývojového nástroje.....	42
7.1.2	Úpravy zdrojového kódu .....	43
7.2	U-BOOT .....	44
7.2.1	Vývojový nástroj .....	44
7.2.2	Úpravy zdrojového kódu .....	45
7.3	JÁDRO OS LINUX .....	49
7.3.1	Vývojový nástroj .....	49
7.3.2	Úpravy zdrojového kódu .....	50
7.4	SOUBOROVÝ SYSTÉM .....	55
<b>8</b>	<b>ZAVEDENÍ PROGRAMOVÉHO VYBAVENÍ DO ZAŘÍZENÍ .....</b>	<b>56</b>
<b>9</b>	<b>INSTALACE BALÍKŮ PRO LINUX.....</b>	<b>59</b>
9.1	SAMBA SERVER .....	59
9.2	WEB SERVER S ROZŠÍŘENÍM JAZYKA PHP .....	59
9.3	MYSQL SERVER.....	60
9.4	SERVER SSH, SFTP A SCP.....	60
9.5	DLNA SERVER.....	60
9.6	NTP SERVER.....	60
9.7	DHCP A DNS SERVER .....	60
<b>10</b>	<b>VÝSLEDKY MĚŘENÍ NA ZAŘÍZENÍ .....</b>	<b>61</b>
10.1	SPOTŘEBA ZAŘÍZENÍ .....	61
10.2	PROPUSTNOST SÍTĚ ETHERNET .....	62
<b>11</b>	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>63</b>
<b>12</b>	<b>LITERATURA.....</b>	<b>65</b>
<b>13</b>	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>70</b>
<b>14</b>	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>71</b>
<b>15</b>	<b>SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK.....</b>	<b>72</b>
<b>16</b>	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>74</b>

## Úvod

V dnešní době nás na každém kroku obklopují méně či více složité počítače. Při návrhu těchto počítačů bývá zejména kladen důraz na jejich rychlost, velikost a spotřebu. Tyto požadavky nutí vývojáře navrhovat zařízení s minimem součástek a používat čipy s vysokou integrací. Vysoká integrace umožnila sloučit několik funkčních jednotek na jeden čip, dokonce tak složité jako počítač. Takovému „jednočipovému“ počítači se anglicky říká System-on-a-Chip zkráceně SoC. Použitím jednočipového počítače se nejen ušetřilo místo, ale i vyřešilo napájení jednotlivých částí zařízení. Jelikož jsou v dnešní době energie drahé jsou stále častěji vyhledávány přístroje s nízkým příkonem. Tyto požadavky právě splňují výše zmiňované „jednočipové“ počítače.

Cílem této práce bylo prozkoumat možnosti běžně dostupných datových úložišť a procesorů založených na architektuře ARM9. Navrhnout schematické zapojení všech obvodových prvků tak, aby bylo možné k zařízení připojit síťovou kartu LAN, SD kartu, pevný disk z počítače a na zařízení spustit operační systém Linux. Následně vyrobit a oživit desku plošných spojů. Součástí práce je také postup instalace operačního systému Linux spolu s nastavením serverových aplikací.

# 1 Srovnání konkurence

Na českém trhu existuje značné množství zařízení s pevným diskem určené pro ukládání nebo distribuci dat pomocí počítačové sítě LAN. Většinou jde o datová úložiště NAS (Network Attached Storage) s jedním či více pevnými disky. Rozlišují se podle účelu použití na zařízení určené pro domácnost nebo pro profesionální činnost. Všechny tyto zařízení pracují na operačním systému Linux [1]. Jejich hlavní nevýhodou je nemožnost přímého přístupu do operačního systému a jeho modifikace, popřípadě omezená nabídka nových programových balíčků. Přístup a konfigurace těchto zařízení je možná pouze přes software dodávaný výrobcem nebo přes webové rozhraní. Toto omezení způsobuje nemožnost přidání nových funkcí, ačkoliv by byly operačním systémem podporovány. Základní přehled jednodiskových zařízení NAS s jejich funkcemi uváděnými výrobcem na českém trhu v roce 2012 je uveden v tabulce 1.

Tabulka 1: Srovnání síťových úložišť [1],[2],[3]

Výrobce	WD	QNAP	Synology	Zyxel	Seagate
Model	MyBook World	TS-110	DS110j	NSA-210	BlackArmor NAS 110
Procesor (CPU)	OXE800SE	Marwell 6281	Marwell 6281	OXE810DSE	M88F6192
Frekvence procesoru	200 MHz	800 MHz	800 MHz	370 MHz	800 MHz
Jádro CPU	ARM926EJ-S				
Operační paměť	32 MB	256 MB	128 MB	128 MB	128 MB
Maximální kapacita	2 TiB	3 TiB	3 TiB	2 TiB	1 TiB
Souborový systém	ext3	ext3, ext4	ext3, ext4	XFS	neuvezeno
Spotřeba s diskem	10,5 W	12 W	13 W	15 W	14 W
Funkce a síťové služby	Samba, AFP, FTP, DLNA, iTunes	Samba, AFP, NFS, FTP, HTTP, PHP, MySQL, UPnP/DLNA, iTunes	Samba, AFP, NFS, FTP, HTTP, PHP, MySQL, UPnP/DLNA, iTunes	Samba, AFP, NFS, FTP, HTTP, PHP, MySQL, UPnP/DLNA, iTunes	Samba, NFS, FTP, UPnP/DLNA, iTunes
Orientační cena	2 879 Kč	3 551 Kč	3 479 Kč	1 811 Kč	3 239 Kč

Naprostá většina jednodiskových i vícediskových NAS, určených do domácností, obsahuje mikrokontrolér založený na architektuře ARM9. V drtivé většině používají jádro ARM926EJ-S pracující na frekvenci do 800 MHz [1]. Tak vysoký pracovní

kmitočet jim poskytuje dostatečný pracovní výkon, relativně rychlou reakci a rychlý přenos velkého množství dat. Nelze srovnávat úložiště pro domácí účely s profesionálními, které jsou osazeny počítačovými procesory a tím dosahují obrovských výkonů [4]. Téměř všechny umožňují spuštění síťových služeb jako FTP, SFTP, Samba, DLNA.

U některých typů lze spustit službu webového serveru WWW s podporou jazyka PHP a databází SQL a to i několikanásobně na více síťových portech. Některé NAS mají dokonce zpřístupněny Linuxové konfigurační soubory k těmto službám. Dražší modely jsou schopné zajistit spravování síťového času serverovou službou NTP (Network Time Protocol) [1]. U typů s více disky, je možné vytvoření diskového pole RAID a tím zabezpečit uložená data proti ztrátě vlivem selhání pevného disku [4].

File Transfer Protokol zkráceně FTP je protokol určený pro přenos souborů mezi počítači po počítačové síti. Je to protokol využívající porty TCP/21 a TCP/20. Port 21 slouží k řízení přenosu a jsou jím také přenášeny příkazy FTP. Port 20 slouží k vlastnímu přenosu dat, který je 8bitový. Přenos může být binární nebo ascii (textový). Při textovém přenosu dochází ke konverzi konců řádků CR/LF (DOS, Microsoft Windows) nebo jen LF (unixové systémy), pokud jsou koncové systémy rozdílné. Přístup k datům může být podmíněn zadáním hesla. Hlavní nevýhodou protokolu FTP je přenos nekódovaných přihlašovacích údajů po síti, proto byly vyvinuty modifikace protokolu, které tento nedostatek odstraňují. Jedná se o protokoly FTPS a SFTP, které již pracují na odlišných TCP portech [5].

Samba je software, který umožňuje počítači s operačním systémem Linux nebo Unix sdílet v síti soubory a tiskárny s počítači s nainstalovaným systémem Windows. Tato služba se ve Windows nazývá „Sdílení souborů a tiskáren“. Nosným protokolem pro komunikaci mezi počítači je používán nejčastěji protokol TCP/IP, ale lze rovněž s úspěchem komunikovat po vzoru Novellu protokolem IPX/SPX. SMB neboli „Server Message Block“ je službou nesenou na tomto protokolu [6],[7].

DLNA (Digital Living Network Alliance) je název neziskové organizace spolupracující s firmou Sony. Je zodpovědná za správu komunikačních protokolů a pravidel umožňující sdílení multimédií přes počítačovou síť. Také se touto značkou označuje síťová služba umožňující sdílení obrázků, hudby a videa mezi multimediálními zařízeními [8].

## 2 ARM9

Zkratka ARM vznikla zkrácením názvu společnosti Acorn Risc Machines. Společnost byla založena roku 1978. Nejdříve se zabývala konstrukcí jednoduchých počítačových systémů stejně jako společnost Apple. Později se začala zabývat vývojem 32 bitových RISC procesorů a kladla si za cíl vytvořit mikroprocesor, který by dosahoval co nejmenšího zpoždění (latence) mezi vstupem/výstupem a odezvy na přerušení. V dubnu 1983 byl vyroben první mikroprocesor nesoucí název ARM1. Jednalo se o první komerční RISC procesor. Byl určen pro použití v běžných osobních počítačích. Společnost ještě vyrobila procesory ARM2 a 3. Po velkém úspěchu se oddělila divize zabývající se vývojem a vznikla nová společnost Advanced Risc Machines Ltd. Ta už se v dnešní době nezabývá výrobou samotných RISC procesorů, ale pouze jejich vývojem tzv. IP (Intellectual Property). Prodává jen licence svým partnerům [9].

Se zvyšujícími se požadavky trhu byly na čipy procesorů integrovány specializované obvody jako USB rozhraní, ethernet, externí sběrnice, řadiče displejů, obvody pro zpracování signálů (DSP) či obvody umožňující přímé připojení paměťových karet SD/MMC nebo dokonce Compact Flash. Také není výjimkou rozhraní pro připojení zvukového kodeku AC97.

### 2.1 Rodina ARM9v4T

Pod tuto rodinu spadají typy procesorů ARM920T, ARM922T. Základ obou typů tvoří jádro ARM9TDMI obsahující i 16 bitový Thumb instrukční soubor. Použití Thumb instrukčního souboru dokáže uspořit až 35% paměti programu oproti 32 bitovému souboru instrukcí a to vše bez výrazného poklesu výkonu. Tyto procesory se užívají nejvíce v moderní spotřební elektronice s multimediálním výstupem.

#### **Vlastnosti:**

- 32 bitový RISC procesor podporující ARM32 nebo Thumb instrukční soubor
- 5 stupňová pipeline
- výkon až 300 MIPS
- single 32 bitová AMBA bus interface
- MMU - podpora Windows CE, Symbian OS, Linux, Palm OS
- až 16 kB / 16 kB paměti cache (instrukce/data)
- řadič externí paměti RAM

## **2.2 Rodina ARM9E**

Rodina ARM9E zahrnuje tyto typy jader: ARM926EJ-S, ARM946E-S, ARM966E-S, ARM968E-S a ARM996HS. Oproti ARM9 má tato rodina kompletně přepracované jádro, které je založeno na pokročilejší architektuře ARMv5TE. Byl také rozšířen instrukční soubor o instrukce pro digitální zpracování signálu (DSP). Další vylepšení přišlo s jádrem ARM926EJ-S. Jednalo se technologii Jazelle, která umožňuje přímé vykonání programů psaných v Javě, což umožnilo urychlení Java kódu až 8x.

### **Vlastnosti:**

- 32 bitový RISC procesor podporující ARM32, Thumb a DSP instrukční soubor
- jádro ARM926EJ-S podporuje technologii Jazelle
- 5 stupňová pipeline
- výkon až 500 MIPS
- 2× 32 bitová AMBA bus interface
- MMU - podpora Windows CE, Symbian OS, Linux, Palm OS
- volitelně operace s plovoucí řádovou čárkou - technologie VFP9-S
- integrováno až 16 kB/16 kB paměti cache (instrukce/data)
- řadič externí paměti RAM

### **Využití:**

- IP kamery, digitální kamery, fotoaparáty
- zpracování MPEG4 videa
- CD/DVD přehrávače
- VoIP, LAN, Wireless LAN
- přístupové terminály
- snímače biometrických údajů

## 3 Mikroprocesory ARM9

Mezi hlavní požadavky internetového serveru je obsluha velkokapacitních médií, například pevných počítačových HDD či SSD disků, SD/MMC karet, externích USB disků a v neposlední řadě USB Flash klíčenek. Proto je nutnost vybrat pro zařízení správný procesor či mikrokontrolér, který umožní obsluhu všech těchto periférií. Z výrobců procesorů rodiny ARM9 dominuje trhu NXP, Marvell, PLX Technology, Samsung, Texas Instruments a Atmel. Jelikož se v dnešní době nejvíce vyrábí pevné disky s rozhraním SATAII, je v některých mikrokontrolérech přímo implementováno toto rozhraní. Všechny tyto čipy jsou pouzdřeny do BGA (Ball Grid Array) pouzder. Tím jsou zvýšeny požadavky na desku plošného spoje, který by měl být nejméně čtyřvrstvý. Ostatní mikrokontroléry v pouzdrech např. v QFP (Quad Flat Pack) již standard SATAII neimplementují.

### 3.1 NXP

Firma vznikla v roce 2006 oddělením od divize výroby polovodičových součástek firmy Philips. Je zaměřená především na výrobu polovodičových součástek jako například mikrokontroléry, tranzistory, převodníky, zesilovače a jiné [10].

#### 3.1.1 LPC32X0

Mikrokontroléry LPC3220/30/40/50 jsou přímo navrženy pro nízkopříkonová zařízení. Čip je vybaven jádrem typu ARM926EJ-S s maximální taktovací frekvencí 266 MHz a koprocem s plovoucí řádovou čárkou. Je vybaven 5 stupňovým zřetězeným zpracováním prováděných instrukcí (pipelining), MMU jednotkou, rozhraním pro SD karty, USB, I2C, AD převodníku, SPI, LCD displeje a ethernet. Lze také připojit operační paměť typu SDR či DDR SDRAM [11].

#### 3.1.2 LH7A404

Vznikl z méně vybaveného předchůdce LH7A404, který neobsahoval rozhraní SD karet, dotykové vrstvy displeje a PS2. Jeho jádro je typu ARM922 taktované maximální frekvencí 266 MHz. Je vybaven stejnými typy rozhraní jako LPC32X0. Mikrokontrolér je vyráběn pouze v pouzdrech LFBGA324 (Low profile Fine-pitch BGA) [12].

### 3.2 Marvell

Firma byla založena v roce 1995 v Kalifornii. Od začátku se zabývá výrobou polovodičových součástek jako například mikroprocesorů, DSP, obvodů pro použití v bezdrátových technologiích, řadičů ethernet, IDE, SATA a jiných [13].

### **3.2.1 88F6192**

Primárně je tento mikrokontrolér navržen pro zařízení jako například routery, gateway, media servery, datová úložiště, set-top-boxy a síťové tiskárny. Čip vznikl integrací procesorového jádra Sheeva, které je plně kompatibilní s jádry ARM926EJ-S, tím se řadí mezi rodinu Forceon (označení firmy Marvell) [14]. Taktovací kmitočet jádra je 800 MHz. Mikrokontrolér je vybaven rozhraními 2× SATA II, 2× Gigabit Ethernet, PCI-Express, USB 2.0, 2× kanál TDM, Nand Flash, UART, SPI. Také je vybaven bloky pro podporu síťového šifrování a přenos multimédií. RAM paměti jsou podporovány výhradně DDR2 do maximální pracovní frekvence 400 MHz [15].

### **3.2.2 88F6282**

Tento mikrokontrolér je spíše znám pod obchodní značkou ARMADA 300. Jádro a rozhraní jsou podobná jako u 88F6192, avšak pracovní kmitočet jádra je 2GHz. Oproti 88F6192 obsahuje navíc jedno rozhraní PCI-Express. Paměti RAM podporuje typu DDR2 a DDR3 až do maximální frekvence 1066 MHz. Výrobce označuje tento mikrokontrolér jako vysoce výkonný pro použití zejména v zařízeních jako jsou routery, media servery, datové úložiště, tenčí klienti (thin clients), tiskárny a set-top-boxy [16].

## **3.3 PLX Technology**

Firma PLX Technology sídlí ve městě Sunnyvale v Kalifornii, je předním světovým dodavatelem zařízení využívající rozhraní PCI Express a jiné standardní sběrnice. Také je zaměřena na výrobu polovodičových čipů pro komunikaci, servery, síťová úložiště a embedded systémy. V roce 2009 koupila firmu Oxford Semiconductor, která byla podobného zaměření, navíc vyráběla mikrokontroléry pro spotřební elektroniku [17].

### **3.3.1 OXE810DSE**

Mikrokontrolér byl vyroben ještě pod firmou Oxford Semiconductor. Dle výrobce je primárně určen pro disková úložiště a media servery. Je založen na jádře ARM926EJ-S taktované frekvencí 367 MHz. Podporuje paměti RAM typu DDR1 a DDR2. Pro připojení do počítačové sítě je vybaven rozhraním gigabitového ethernetu GMII. Také je vybaven periferiemi SATA II, PCI a USB [18].

## **3.4 Texas Instruments**

Texas Instruments je americká společnost sídlící v Dallasu. Je to třetí největší společnost na světě zabývající se výrobou polovodičů. Firma je zaměřena především na výrobu mikroprocesorů, DSP a čipů zpracovávající analogový signál [19].

### **3.4.1 OMAP-L138**

Mikrokontrolér je založen na dvoujádrové technologii. Obsahuje jádra ARM926EJ-S a C674x. Druhé jádro je digitálně signální procesor. Obě jádra jsou schopná pracovat na maximálním kmitočtu 456 MHz. K čipu je možné připojit RAM paměti typu DDR2. Mikrokontrolér umožňuje připojit fyzickou vrstvu ethernetu MII, SATA II disk, NAND Flash, dvě SD karty, LCD display, audio kodek AC97 a zařízení komunikující přes sériové linky typu SPI a UART [20].

## **3.5 Atmel**

Firma Atmel vznikla v roce 1984 se zaměřením na polovodičové a integrované obvody. Mezi jeho produkty patří zejména mikrokontroléry řad 8051, AVR, AVR32, AT91SAM a paměťové moduly typu Flash.

### **3.5.1 AT92SAM9200**

Tento mikrokontrolér je založen na jádře ARM920T maximálním taktovacím kmitočtem 180 MHz. Podporuje připojení RAM paměti typu SDRAM. Také je možné připojit všechny statické paměti jako například DataFlash, NAND Flash, Compact Flash. Mikrokontrolér má implementovanou podporu fyzického rozhraní ethernetu (MII a RMII), SD karet, USB, UART, SPI a TWI. Je vyráběn v pouzdrech PQFP a BGA [21].

### **3.5.2 AT92SAM9260**

Z hlediska možnosti připojení periférií se jedná o podobný mikrokontrolér jako AT91SAM9200, avšak je vybaven odlišným jádrem ARM926EJ-S. Taktovací kmitočet je v katalogovém listu uveden 180 MHz. Typ podporovaných SDRAM pamětí je stejný jako u předešlého modelu. Rozhraní pro ovládání Compact Flash karet podporuje pravý IDE mód, proto je možné na něj připojit pevný počítačový disk. Mikrokontrolér je vyráběn v pouzdrech LQFP (Large QFP) a BGA. Jelikož je distribuován i na český trh, byl vybrán do projektu v pouzdře LQFP, které má menší technologické nároky na desku plošných spojů [22].

### **3.5.3 AT92SAM9263**

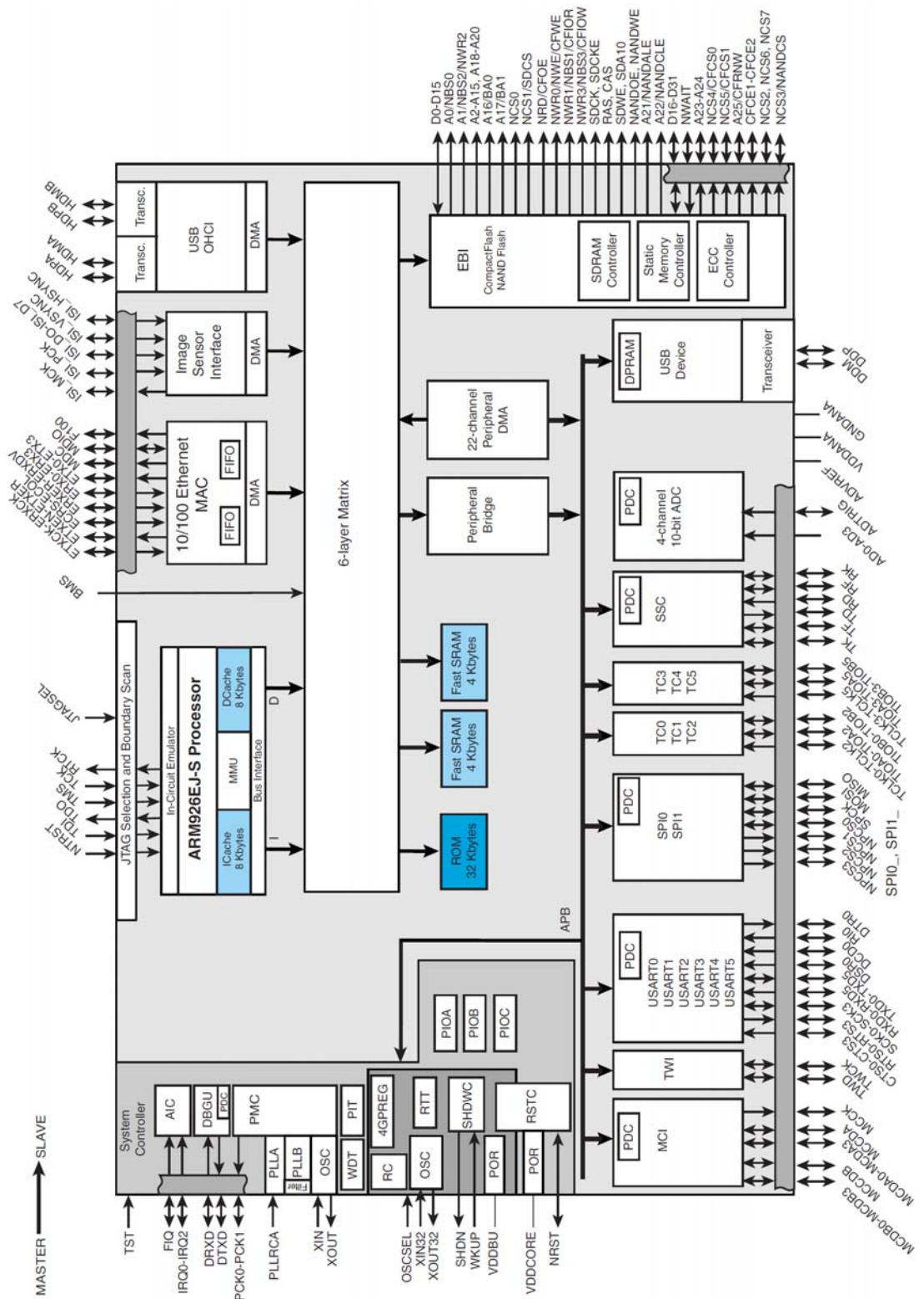
Oproti mikrokontroléru AT91SAM9260 byl zvýšen pracovní kmitočet jádra na 200 MHz. Také byl doplněn blok řadiče LCD/TFT displeje, 2D grafického rozšíření a přidána druhá sběrnice EBI. Je vyráběn pouze v pouzdře TFBGA [23].

## 4 AT91SAM9260

Tento mikrokontrolér byl zvolen z důvodu nízké ceny 240 Kč [24], dostupnosti na českém trhu a nižších požadavků na plošný spoj. Jelikož je vybaven řadičem pro Compact Flash karty, prostřednictvím kterého lze připojit pevný nebo SSD disk. Bližší pohled na blokové schéma je na obrázku 1.

### Vlastnosti:

- 210 MIPS při taktovacím kmitočtu 180MHz
- integrovaná paměť cache velikosti 8 kb pro instrukce a 8 kb pro data
- 32 kB interní ROM a 2× 4 kB rychlé SRAM
- MMU jednotka
- podpora Windows CE, Linux, Symbian
- paměťový řadič pro SDRAM, statické paměti NAND a NOR, dvě CompactFlash karty a pro dvě MMC/SD karty
- tři 32 bitové vstupně/výstupní sběrnice s možností přepnutí více funkcí
- rozhraní USB 2.0 hostitel
- USB 2.0 zařízení
- rozhraní pro fyzickou vrstvu ethernetu
- obvod reálného času, integrovaný watchdog
- čtyři kanály USART
- možnost připojení JTAG
- 32 zdrojů přerušení z libovolných vstupně/výstupních linek
- 4 kanálový 10 bitový AD převodník
- možnost zavádění operačního systému z DataFlash, NAND flash a SD/MMC karet



Obrázek 1: Blokové schéma AT91SAM9260 [22]

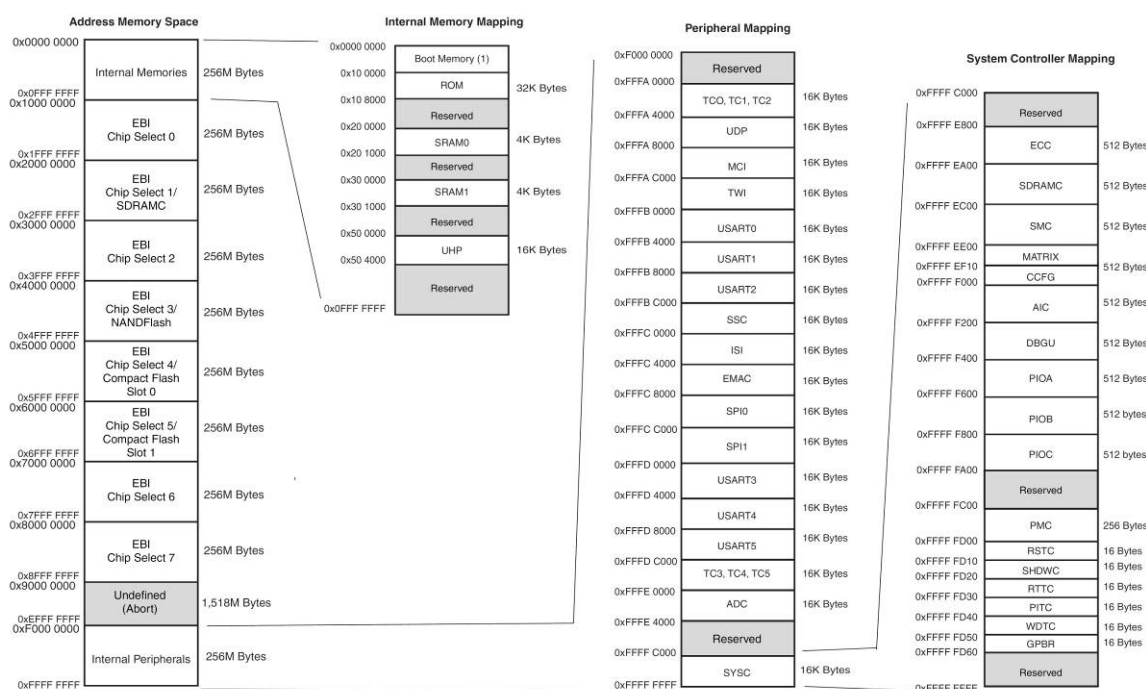
## 4.1 Rozdělení paměťového prostoru

Dekódování adresy se provádí v bloku 6 vrstvé matici sběrnic (6-layer Bus Matrix), která je přímo napojena na vysokorychlostní periferie z důvodu větší datové propustnosti. Matice je složena celkem z 11 vysokorychlostních sběrnic AHB (Advanced High Performance Bus). Více o principu celého bloku Bus Matrix je uvedeno v katalogovém listu výrobce [22]. Celková velikost paměťového prostoru, který je schopen mikrokontrolér AT91SAM9260 adresovat je 4GB.

Tento prostor je rozdělen do 16 paměťových bank o velikosti 256 MB. Banka číslo 0 je vyhrazena k adresaci vnitřních pamětí čipu jako jsou paměti ROM, SRAM0, SRAM1 a UHP (USB hostitelský port). Banky 1 až 7 slouží pro adresaci externích pamětí pomocí rozhraní EBI sběrnic. Pro každou tuto banku je vyhrazen jeden externí pin, který slouží k výběru daného čipu náležejícího dané bance tzv. Chip select.

Paměťový prostor bank 8 až 14 není u tohoto mikrokontroléru vyhrazen žádné periférii a při jeho adresaci je adresa ignorována.

Banka 15 slouží pro přístup do všech vnitřních periférií mikrokontroléru. Pro detailnější znázornění je rozdělení paměti vyobrazeno na obrázku 2.

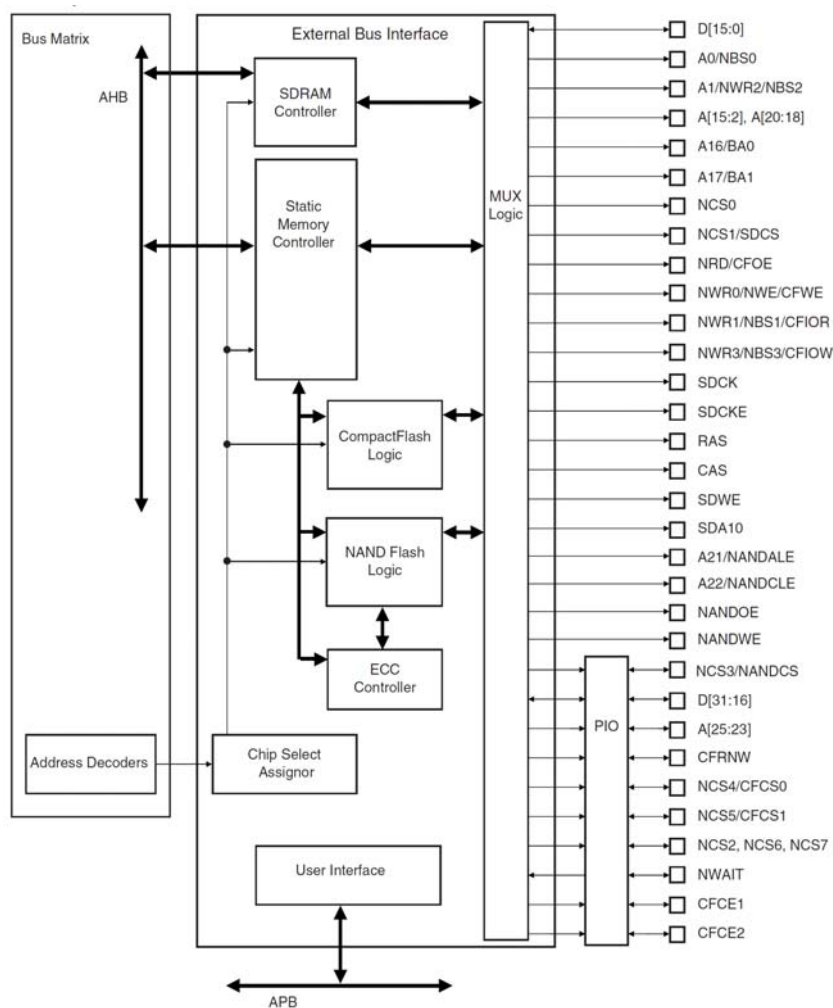


Obrázek 2: Rozdělení paměťového prostoru AT91SAM9260 [22]

## 4.2 Rozhraní EBI

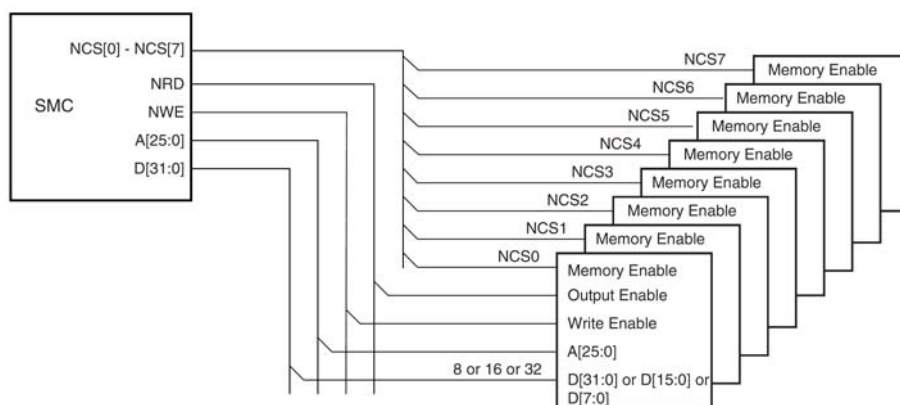
Rozhraní EBI (External Bus Interface) slouží k vysokorychlostnímu datovému propojení zejména pamětí a dalších funkčních celků vně zařízení. EBI je schopno adresovat až osm zařízení po 256 MB externího adresového prostoru a pro každý tento prostor lze zvlášť programově konfigurovat šířka datové sběrnice, volitelně 8, 16 a 32 bitů. Lze připojit více typů pamětí, protože obsahuje i řídicí signály nezbytné k jejich funkci, například SDRAM, SRAM, PROM, EPROM, EEPROM Compact Flash a NAND Flash.

EBI je složeno z různých funkčních bloků zajišťujících řízení a obsluhu různých typů externích pamětí, což zaručuje jistý programátorský komfort k jejich přístupu. Skládá se z řadiče SDRAM, řadiče statických pamětí, logických obvodů pro CompactFlash karty a NAND či NOR Flash paměti, bloku pro korekci chyb, obvodu pro výběr signálu Chip Select pro jednotlivé periferie a logických obvodů pro přepínání (multiplex) signálů. Pro lepší názornost je na obrázku 3 zobrazeno blokové schéma kompletní sběrnice.



Obrázek 3: Blokové schéma EBI [22]

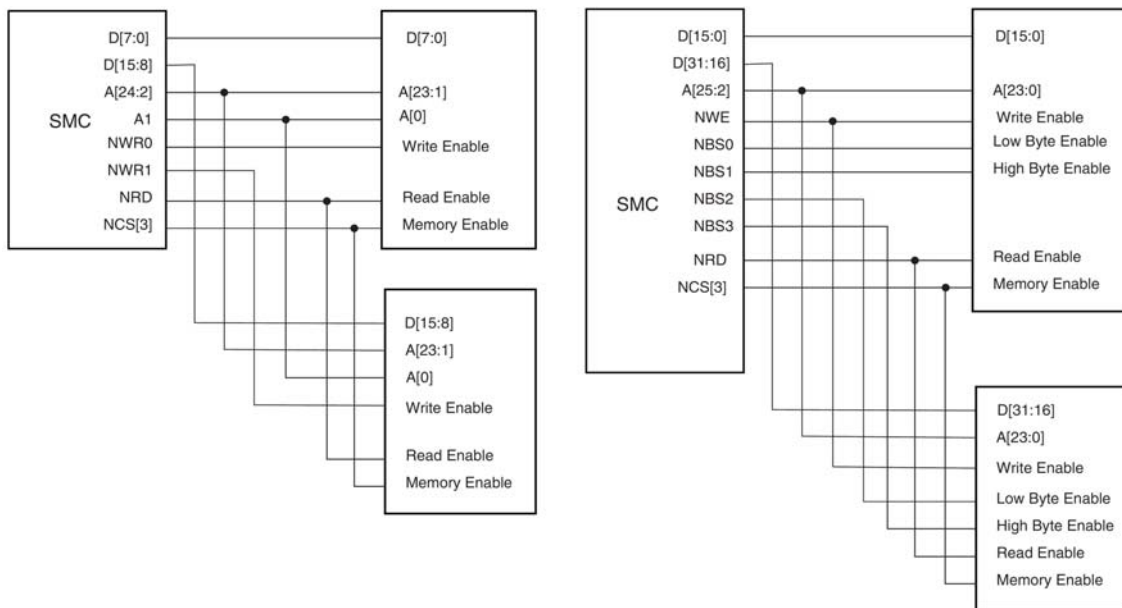
Ke sběrnici je možné připojit najednou až 8 paměťových zařízení. Pro všechna zařízení připojená k EBI je společná adresová a datová sběrnice viz obrázek 4. Avšak komunikace s každou pamětí probíhá odděleně. O výběru paměti, se kterou bude probíhat komunikace se stará adresový dekodér umístěný v bloku Bus Matrix spolu s blokem přiřazení Chip selectu.



Obrázek 4: Připojení paměti k EBI [22]

Jak již bylo řečeno, je možné k EBI připojit paměti s různou šířkou datové sběrnice, popřípadě kombinovat stejné paměťové bloky tak, aby byla vytvořena širší datová sběrnice do 32 bitů, což bude mít za následek zvýšení celkové velikosti paměťového prostoru a datové propustnosti. Jsou dovoleny různé možnosti kombinací paměťových bloků. Pro vytvoření 32 bitové sběrnice je možno použít paměti o šířce  $1 \times 32$  bitů,  $2 \times 16$  bitů,  $4 \times 8$  bitů. Pro 16 bitovou šířku lze užít  $1 \times 16$  bitů nebo  $2 \times 8$  bitů. Také lze použít paměti s datovou sběrnicí  $1 \times 8$  bitů. Šířka sběrnice je volena pro každé zařízení zvlášť v konfiguračním registru mikrokontroléru. Je nutné ji nastavit před samotnou komunikací s pamětí. Příklad zapojení paměti k EBI je na obrázku 5.

Jelikož je možné adresovat pouze 256MB dat, jsou při různých velikostech datových sběrnic kladeny také různé nároky na šířku adresové sběrnice. Pro 32 bitovou šířku datové sběrnice je potřeba 23 adresových vodičů k adresaci celého datového prostoru. Zde jsou využity pouze adresové vodiče  $A[0..23]$ . V případě použití 16 bitové datové sběrnice je potřeba 24 adresových vodičů  $A[0..24]$ . Pro 8 bitovou je potřeba šířka adresy 25 bitů za využití linek  $A[0..25]$ . Tato problematika je detailně popsána v katalogovém listu výrobce [22].



Obrázek 5: Připojení paměti k EBI, vlevo organizace 2×8b, vpravo 2×16b [22]

### 4.3 Připojení periferních obvodů

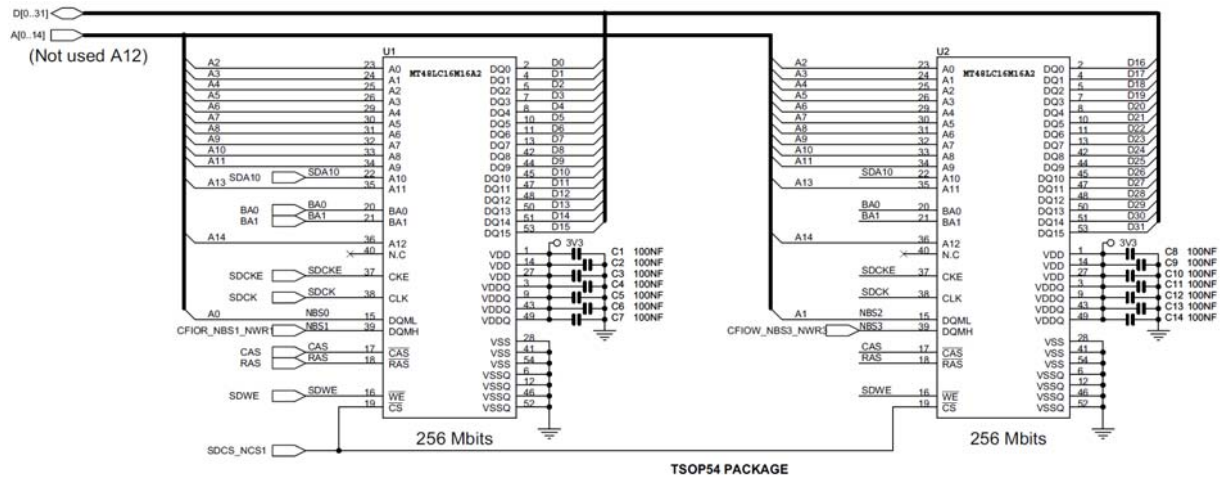
#### 4.3.1 SDRAM

Pro rychlou funkci operačního systému Linux je potřeba, aby k mikrokontroléru byla připojena rychlá paměť SDRAM, protože se do ní po startu zavádí program u-boot a následně celé jádro operačního systému. Navíc v ní běží všechny spuštěné programy.

Výrobce ve svém katalogovém listu [22] zaručuje kompatibilitu dynamických paměti s latencí CAS v rozmezí 1–3, počtem řádků 2048–8192, 256–2048 sloupci, podporou přístupu 8–32 bitů se dvěma nebo čtyřmi paměťovými bankami a s 16 nebo 32 bitovou šířkou datové sběrnice. Frekvence paměti je totožná s interní frekvencí zdroje hodinových signálů Master Clock. Pracovní frekvence tohoto zdroje je odvozena od hlavního taktovacího kmitočtu procesoru Processor Clock a je možné ji nastavovat pomocí zápisu do registru interní děličky kmitočtu MDIV, která umožňuje nastavit dělení signálu Processor Clock celočíselně 1, 2 a 4. Master Clock neslouží jen pro taktování paměti, ale jsou jím časovány všechny periferní obvody procesoru. Při jeho změně je potřeba přenastavit děličky ostatních periférií pracujících na nižších kmitočtech.

Jelikož se jedná o dynamické paměti je potřeba zajistit po určité době obnovu dat v paměti tzv. refresh paměti. O tuto funkci se stará sám řadič paměti, aniž by tuto nutnost musel sám programátor softwarově ošetřovat. V zapojení je patrné, že názvy adresových vodičů mikrokontroléru nejsou připojeny ke stejnojmenným vodičům paměti a navíc je zaměněn vodič A12 za SDA10. Tato záměna adresových vodičů je vytvořena právě kvůli obnově dat. Signál SDA10 zaručuje obnovu dat paměti aniž by byly k obnově potřeba ostatní adresové a datové signály a musela se tak periodicky

blokovat komunikace sběrnice. Díky tomu nedochází k přerušování ostatní komunikace po EBI, čímž je zvýšena datová propustnost celého systému. Linka SDA10 je určena pouze pro obsluhu dynamických pamětí a nelze jí přiřadit žádnou jinou funkci.



Obrázek 6 : Zapojení SDRAM [22]

### 4.3.2 Paměť DataFlash

Pro uložení a zavádění programu umožňuje mikrokontrolér připojit sériovou paměť DataFlash. Ve svém katalogovém listu doporučuje výrobce použití několika typů těchto pamětí, bohužel jen od jediného výrobce a to Atmel. Komunikace s DataFlash probíhá pomocí sériového rozhraní SPI. Jelikož mikrokontrolér disponuje dvěma rozhraními SPI, lze připojit až čtyři tyto paměti. Signál výběru paměti Chip Select lze připojit na signály NPC0 až NPC3. Pro zavádění programu pomocí DataFlash je určeno rozhraní SPI0 a linky výběru NPC0 a NPC1.

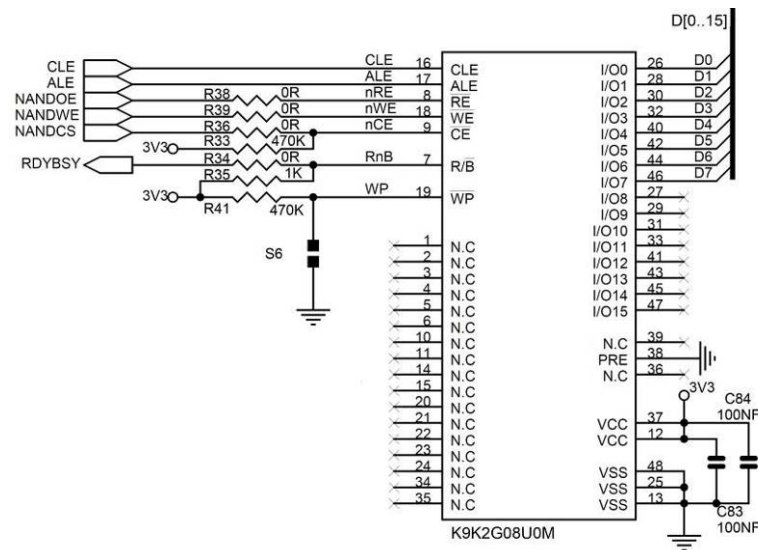
### 4.3.3 Paměť NAND Flash

Operační systém nemůže být uchovávan v dynamických pamětích i po vypnutí, proto je nutné jeho obraz ukládat do statické paměti. Z tohoto důvodu byla do projektu zařazena paměť NAND Flash, ve které bude nahrán celý operační systém.

Tyto statické paměti mají sloučenou datovou a adresovou sběrnici. Její šířka bývá obvykle 8 nebo 16 bitů. Pro zápis a čtení dat slouží pomocné řídicí signály. Řadič statických pamětí má vyvedeny signály pouze pro obsluhu pamětí, které neobsahují datové linky názvů R/B2 a /CE2. V případě použití modulu s těmito linkami nebude adresována druhá polovina adresového prostoru. Proto je nutné dávat pozor při výběru provedení paměti.

V případě, že by bylo do této paměti nahráno pouze jádro operačního systému, do kterého není většinou potřeba zapisovat data za běhu systému, je v zapojení uvažována propojka S6 pro zakázání zápisu viz obrázek 7. Zákaz zápisu je vhodný v případě, kdy bude v paměti uloženo pouze jádro systému Linux, které je neměnné a dochází

k problémům s chaotickým přepisem dat při nesprávném ukončení systému či nečekanému výpadku napájení. Tímto opatřením je potlačeno přepsání důležitých dat a nastavení pro další start zařízení.



Obrázek 7: Připojení NAND flash paměti [26]

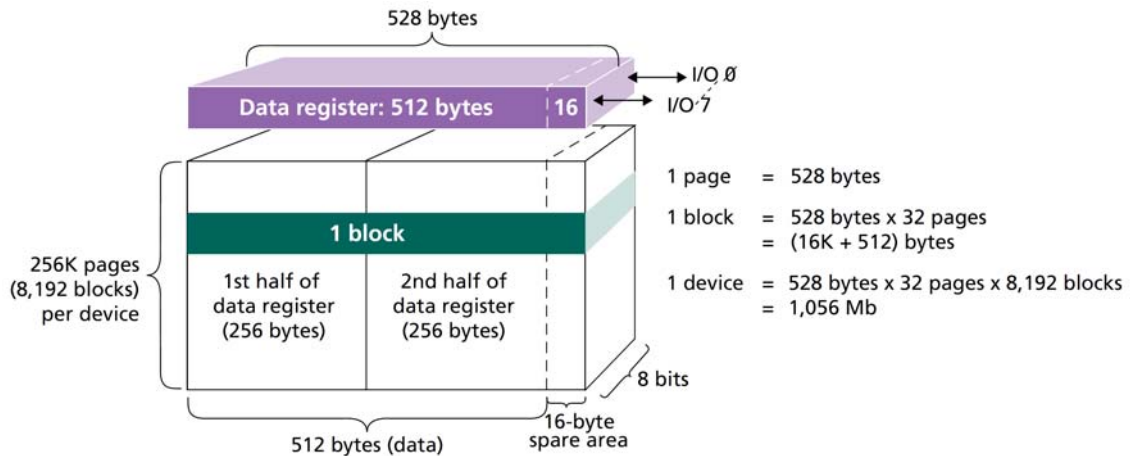
Paměti NAND jsou vyráběny ve dvou koncepcích lišících se organizací vnitřní paměti a také odlišnou komunikací. Název značení je odvozen od organizace paměťových bloků. Rozlišují se typy malých a velkých bloků (Small a Large Block).

Důvod proč jsou paměti vyráběny v různých velikostech paměťových bloků je jejich výsledná velikost paměti na čipu, která postupem času narostla až do řádů desítek GB. Jelikož byly dříve maximální velikosti paměti omezeny z hlediska dostupnými výrobními technologiemi, byl vytvořen standard adresování a komunikace, který vyhovoval požadavkům z hlediska adresace paměťového prostoru a rychlosti komunikace tehdejší doby. S rostoucími požadavky na celkovou kapacitu a rychlost komunikace, musela být vytvořena nová koncepce organizace a komunikace s paměti.

Pro určení typu paměti se lze řídit podle celkové velikosti paměti na daném čipu tak, že paměti typu Small jsou omezeny adresací do 1Gb (128 MB) dat, zatímco typ Large je většinou vyráběn větší než 1Gb dat [25]. K záměně typu může dojít jen u velikosti 1Gb, pro kterou jsou vyráběny oba typy. Ovšem výrobci dávají přednost u této velikosti velkým blokům.

Paměti Small obsahují maximálně 8192 paměťových bloků složených ze 32 stran. Každá stránka obsahuje 512 bajtů dat s 16 náhradními bajty. Při adresaci jediného bajtu se do datového registru vždy ukládá celá strana, kde prvních 8 bitů adresy obsahuje informaci o umístění daného bajtu ve straně, také se této pozici říká sloupec. Na obrázku 8 je přibližně vyobrazeno rozložení paměti. Každá paměťová strana je rozdělena na tři oblasti A, B a C, ke kterým se přistupuje jednotlivě pomocí příkazů

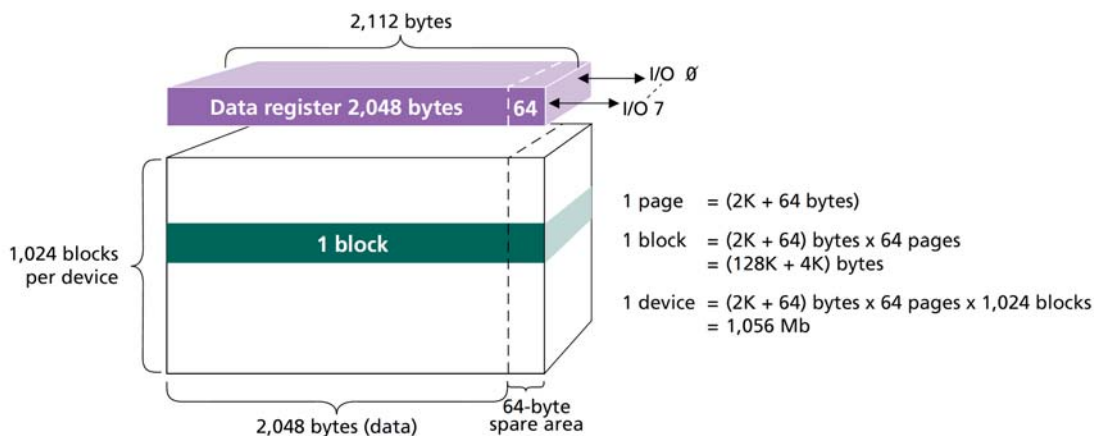
(Commands), podrobnější popis komunikace je uveden v pramenu [25]. Aby bylo možné k paměti přistupovat k jednotlivým bajtům je zapotřebí 24 bitové adresace. Tudíž pro adresaci každého bajtu v paměti jsou zapotřebí 4 bajty odeslané přes sběrnici. Pro lepší názornost je na obrázku 8 graficky znázorněna struktura této paměti.



Obrázek 8: Organizace paměti Small block [25]

Large Block paměti obsahují pouze 1024 paměťových bloků, které jsou složeny z paměťových stran obsahující 2048 bajtů s 64 náhradními bajty. U tohoto typu paměti jsou zavedeny pojmy řada a sloupec (anglicky Row a Column). Přičemž za řadu jsou označovány jednotlivé strany paměti a za sloupce jednotlivé bajty strany. Počet adresových bajtů je závislý na velikosti celkové paměti tj. na počtu řad. U paměti 1Gb jsou vysílány 4 bajty stejně jako u Small, ale při velikosti 2Gb a více je nutno vysílat 5 bajtů. Další rozdíl oproti pamětem Small je nutnost vyslání potvrzení o konci adresace. Tím komunikace narůstá ještě o jeden bajt.

Výhody paměti typu Large jsou zejména možnost adresace paměťového místa většího než původní 1Gb, rychlejší komunikace při přenosu většího objemu dat, snížení velikosti vlastního čipu a úspora periferních obvodů integrovaných přímo v čipu což snižuje náklady na výrobu a celkové zlevnění paměti. Maximální rychlost čtení bloku dat je u paměti Small 12,65 MB/s a u typu Large 16,13 MB/s [25]. Více informací o rozdílech komunikačních protokolů obou typů paměti je uvedeno v pramenu [25].



Obrázek 9: Organizace paměti Large block [25]

#### 4.3.4 Rozhraní SD karet

V projektu se počítá kvůli co nejnižšímu příkonu i s využitím SD nebo lépe SDHC karet, které by mohli mít dostatečnou velikost vnitřní paměti pro uchování velkého množství dat. Mikrokontrolér obsahuje dva řadiče SD/MMC karet s možností komunikace přímo ve 4 bitovém SD módu. Jelikož všechny SD karty mohou pracovat s napětím 3,3 V, není nutno používat žádné překladače úrovní a je možné konektor karty připojit přímo k mikrokontroléru. Indikace vsunutí či zamknutí karty proti zápisu je indikována volnými vstupně/výstupními datovými linkami, které jsou softwarově napojeny na přerušovací systém mikrokontroléru. Komunikační protokol SD karet je podrobně popsán ve specifikaci [27].

#### 4.3.5 IDE rozhraní

Rozhraní IDE (Integrated Device Electronic) nazývané také ATA (Advanced Technology Attachment) nebo PATA (Parallel ATA) bylo navrženo v roce 1986 firmami Western Digital a Compaq. Jedná se o rozhraní s paralelním přenosem dat zprostředkovávající komunikaci mezi pevným diskem a obvodem na základní desce osobního počítače. Zapojení diskových jednotek IDE se provádí pomocí jednoho 40 žilového kabelu, na který lze připojit dva disky. Maximální teoretická přenosová rychlost je 8 MB/s [28]. Připojení jiných zařízení než pevné disky není podporováno.

Kvůli nedostatku přenosové rychlosti bylo navrženo firmou Western Digital rozhraní EIDE (Enhanced IDE). Vychází ze standardu IDE a je zpětně kompatibilní. Největší výhodou EIDE je možnost připojit až 4 zařízení (2 kanály). Také lze připojit zařízení typu CD-ROM či páskové mechaniky. Přenosová rychlost byla navýšena. Komunikace může probíhat v režimu PIO (Processor Input Output) nebo DMA (Direct Memory Access). Postupem času se tyto režimy vyvíjely a postupně byla navyšována jejich teoretická přenosová rychlost. V tabulce 2 jsou uvedeny jednotlivé režimy s jejich rychlostmi.

Tabulka 2: Přenosové rychlosti EIDE [28]

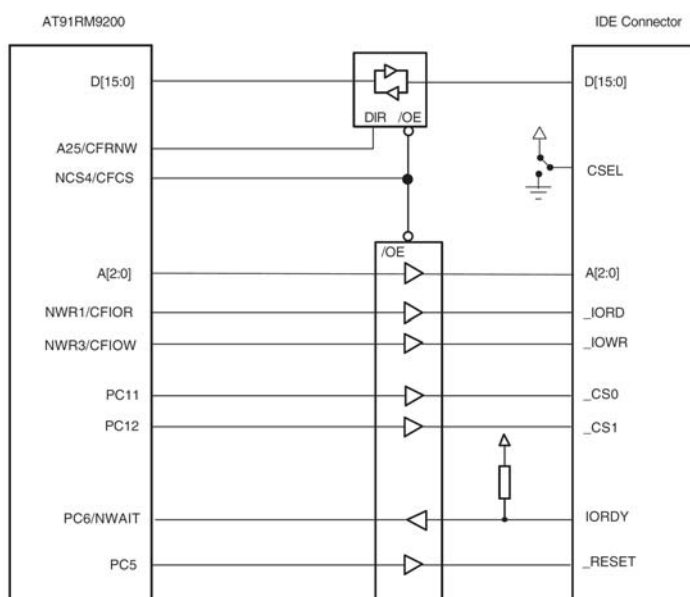
Režim	Název režimu	Maximální přenosová rychlost
<b>PIO</b>	PIO 0	2 - 3 MB/s
	PIO 1	5,22 MB/s
	PIO 2	8,33 MB/s
	PIO 3	11,1 MB/s
	PIO 4	16,6 MB/s
	PIO 5	20 MB/s
<b>DMA</b>	DMA 0	2,08 MB/s
	DMA 1	4,17 MB/s
	DMA 2	8,33 MB/s
	DMA Multiword 0	4,17 MB/s
	DMA Multiword 1	13,3 MB/s
	DMA Multiword 2	16,6 - 22 MB/s

Konektor rozhraní je 40 vývodový, rozmístění signálů v konektoru je uvedeno v tabulce 3. Vývody D0-15 jsou určeny pro přenos dat, A0-2 a CS0-1 se používají k adresaci registrů řadiče disku. Signálem IORDY je indikována připravenost pevného disku přenášet data. Pro řízení operace čtení/zápis jsou určeny linky IORD a IOWR. Výběr požadované operace je proveden logickou úrovní 0. Vývod CSEL slouží k rozlišení stavů disků master a slave pomocí kabelu, v případě, že je tato volba povolena propojkami na konektoru pevného disku. Signál RESET je aktivní v logické úrovni 0. Více o rozhraní je uvedeno ve specifikaci ATA Attachment [29].

Sběrnice EBI obsahuje logické obvody schopné obsluhovat až dvě Compact Flash karty. Logické obvody řídí paměťově mapovaný řadič statických pamětí. Rozhraní pro CF karty lze nastavit do různých režimů přičemž nejzajímavější je pravý IDE mód tzv. True IDE mode, při kterém je komunikace totožná s komunikací počítačových pevných disků s IDE rozhraním. Signály EBI sběrnice odpovídají signálům užívaných v rozhraní IDE, avšak jsou napětově posunutá z důvodu rozdílných napětových úrovní obou rozhraní. Napětově úrovně rozhraní IDE jsou 5 voltové a signály procesoru jsou v úrovních 3,3 V. Propojení rozhraní CF a IDE musí být uskutečněno pomocí logických obvodů zajišťujících posun logických úrovní viz obrázek 10.

Tabulka 3: Rozmístění vývodů IDE konektoru [29]

Vývod	Název	Vývod	Název
1	RESET	2	GND
3	D7	4	D8
5	D6	6	D9
7	D5	8	D10
9	D4	10	D11
11	D3	12	D12
13	D2	14	D13
15	D1	16	D14
17	D0	18	D15
19	GND	20	-
21	DMARQ	22	GND
23	IOWR	24	GND
25	IOR	26	GND
27	IORDY	28	CSEL
29	DMACK	30	GND
31	INTRQ	32	IOCS16
33	A1	34	PDIAG
35	A0	36	A2
37	CS0	38	CS1
39	DASP	40	GND



Obrázek 10: Propojení CF a IDE [30]

### 4.3.6 Fyzická vrstva ethernetu

Mikrokontrolér obsahuje ethernetovou vrstvu MAC kompatibilní se standardem IEEE 802.3. Tato vrstva zajišťuje adresování a kontrolu správnosti dat při přístupu ke komunikačnímu kanálu. Umožňuje komunikaci více koncových stanic nebo síťových uzlů v rámci lokální (LAN) nebo metropolitní (MAN) sítě. Aby bylo možné připojit

mikrokontrolér do počítačové sítě, je nutné propojit vrstvu MAC s fyzickou vrstvou ethernetu. Díky vrstvomému modelu zcela nezávislá.

Fyzická vrstva je často zkracována na vrstvu PHY, je nejnižší vrstvou OSI/ISO modelu a obsahuje obvody, které zajišťují přenos signálu přes fyzické médium na úrovni jednotlivých bitů. V této vrstvě je více definován způsob přenosu dat než jejich obsah.

Pro volbu fyzické vrstvy ethernetu se nabízí možnost použití technologie wifi nebo klasické připojení metalickým vedením 10/100 Mb/s. Jako nejlepší, nejstabilnější a energeticky nejúspornější řešení je použití metalického vedení. Fyzická vrstva lze připojit přes rozhraní MII nebo RMII. Rozhraní RMII komunikuje s mikrokontrolérem pomocí dvou párů linek RxD a TxD, ve stejný okamžik se přenáší dva a dva bity. Maximální teoretická rychlost přenosu dat je 10 nebo 100 Mb/s. Vyšší z rychlostí je možná pouze za předpokladu, že bude čip fyzické vrstvy taktován 50 MHz krystalem.

Komunikace přes rozhraní MII probíhá po 4 párech datových linek RxD a TxD. V jednom hodinovém taktu se přenáší jeden nibble. Při taktu 25 MHz je maximální teoretická rychlost přenosu dat 100 Mb/s.

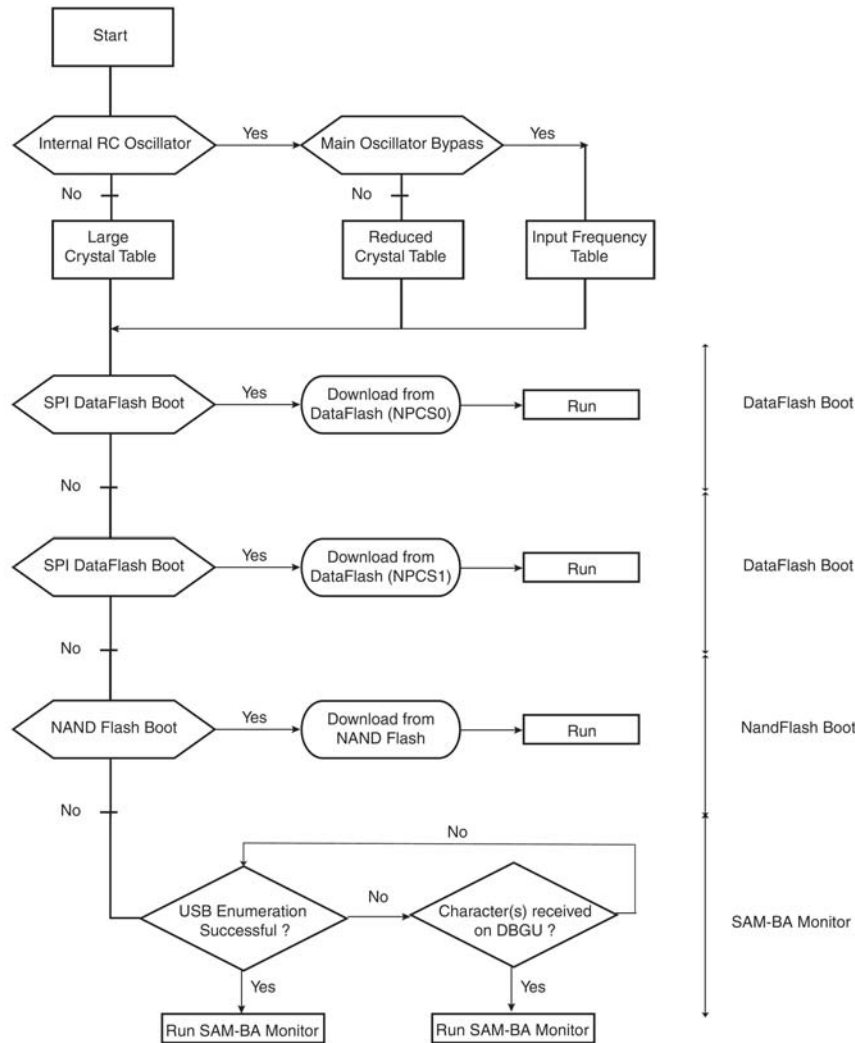
#### ***4.4 Zaváděcí program – Boot Program***

Zaváděcí program integruje různé podprogramy, které mohou přesouvat data mezi různými paměti připojenými k mikrokontroléru.

Vždy po připojení mikrokontroléru k napájecímu napětí je spuštěn zaváděcí program jehož funkcí je obsluha připojených pamětí k mikrokontroléru. O tom jaké typy pamětí bude obsluhovat rozhoduje stav logické úrovně na vývodu mikrokontroléru BMS (Boot Mode Select). Je-li při zapnutí napájení nebo resetu na tomto vývodu logická úroveň 1 je vybrána statická paměť umístěná na sběrnici EBI s připojeným signálem NCS0. Zaváděcí program je ukončen a je prováděn uživatelský program umístěný v této paměti. Funkce je obdobná jako u jiných mikrokontrolérů s připojenou externí pamětí typu ROM.

Při logické úrovni 0 jsou zaváděcím programem volány různé podprogramy, které zajistí správnou komunikaci s připojenými paměti. Nejprve se inicializují bloky oscilátorů do režimu taktování jádra a periférií nízkým hodinovým kmitočtem. Dále se inicializuje sériový port DBGU a naposledy blok USB device. Poté je spuštěn podprogram, který se pokouší o zavedení programu z paměti DataFlash připojené ke sběrnici SPI ovládané signálem NPCS0. Pokud je nalezena platná spouštěcí sekvence příkazů je kód nahrán do vnitřní paměti SRAM. Spouštěcí sekvence obsahuje pevně dané typy instrukcí uložené v počátku paměti [22]. V opačném případě je spuštěn další podprogram snažící se zavést program z paměti DataFlash připojené na signál NPCS1.

Při dalším neúspěchu se spouští podprogram obsluhující sběrnici EBI a pokouší se zavést program z NAND Flash ovládané signálem NCS3/NANDCS. Jakmile je nalezena správná spouštěcí sekvence v libovolné paměti, nahraje se prvních 4 kB dat z paměti do interní SRAM, přemapuje se adresový prostor a uložená data jsou vykonána mikrokontrolérem. Vývojový diagram zaváděcího programu je pro názornost uveden na obrázku 11.



Obrázek 11: Algoritmus bootování [22]

Pokud zaváděcí program sekvenci nenajde ani v NAND Flash paměti, spustí se program SAM-BA Monitor, který je pevně naprogramován v mikrokontroléru a spustí komunikaci sloužící pro nahrávání a čtení dat z připojených pamětí přes rozhraní USB (pokud je připojeno) nebo přes rozhraní sériového portu DBGU.

Podprogramy jsou schopné číst data z pamětí od určitých výrobců. Podprogram Dataflash boot podporuje paměti pouze od jediného výrobce - Atmel. V katalogovém listu [22] v tabulce 13-5 jsou uvedeny všechny kompatibilní typy. Sériová paměť není v projektu využívána, proto zde nebude více problematika jejího použití rozebírána.

Podprogram Nand Flash Boot již takové přísné omezení nemá. Paměti NAND Flash jsou podporovány již od více výrobců. Každá paměť má v registru uložen unikátní 16 bitový identifikátor, který poskytuje informaci o svém výrobcu a velikosti. Z důvodu vyhnutí se problémům s možným kolizemi podprogramu, nebyla paměť od nepodporovaného výrobce nebyla ani vyzkoušena, tudíž nelze konstatovat, zda by fungovala. V tabulce 1 jsou uvedeni všichni podporovaní výrobci s jejich přiřazeným identifikátorem. Dle katalogového listu [22] je možné použít paměti 8 a 16 bitové šířky datové sběrnice v rozmezí celkové velikosti 1Mb – 16Gb.

Tabulka 4: Podporované Nand Flash paměti [22]

<b>Výrobce</b>	<b>Identifikátor</b>
TOSHIBA	0x98
SAMSUNG	0xEC
FUJITSU	0x04
NATIONAL Semiconductor	0x8F
RENESAS	0x07
ST Microelectronics	0x20
MICRON	0x2C

## 5 Programovací prostředky pro vývoj aplikací

### 5.1 Programy pro vývoj softwaru

Vývojové nástroje jsou zejména editory kódu nebo grafická prostředí usnadňující překlad kódu C/C++ pro procesory ARM. Vývojové nástroje existují jak v placených tak i ve verzích volně šiřitelných.

#### 5.1.1 Placené vývojové nástroje

Profesionální nástroje zahrnují snadnou instalaci a určitý programátorský komfort. Obvykle obsahují plnou podporu od výrobce, možnost simulace, vzorové programy a práce s nimi je komfortnější. Často jsou velmi drahé a proto se hodí spíše pro velké firmy. Existují i ve freeware verzích, kde jsou jistá omezení funkčnosti.

##### ***IAR Embedded Workbench:***

Jde o kompletní IDE prostředí určené přímo pro vývoj a ladění programů pro mikrokontroléry. Výsledkem tohoto prostředí je efektivní kód. Podporuje velké množství ARM procesorů.

Jeho výhodou je vysoce optimalizovaný překladač jazyka C/C++, podpora ladění pomocí rozhraní JTAG, velké množství již hotových demo programů a kvalitní nápovědy jak v tištěné tak i v elektronické podobě.

Mezi nevýhody patří jeho vysoká cena.

##### ***KEIL $\mu$ Vision 3:***

Jedná se o velice dobře propracované IDE prostředí obsahující stejně jako IAR projekt manager, editor zdrojového kódu, debugger a simulátor. Podporuje většinu zařízení na trhu. Obsahuje také průvodce vytvořením projektu, ve kterém se ze začátku nastaví daný typ procesoru a tím se nastaví celé prostředí pro konkrétní typ zařízení, tím je rychle připravené k práci s daným zařízením.

Mezi výhody patří kvalitní překladač jazyka C/C++ s možností různých optimalizací kódu, možnost simulací a práci s JTAG.

#### 5.1.2 Volně šiřitelné vývojové nástroje

Největší výhodou těchto nástrojů je nulová pořizovací cena. Obvykle bývá užito volně šiřitelného překladače GNU C/C++.

##### ***Eclipse IDE a Yagarto toolchain:***

Yagarto toolchain je volně šiřitelný nástroj pro operační systémy windows. Primárně je určen pro vývoj aplikací pro mikrokontroléry ARM. Obsahuje překladač

jazyka C/C++, assembler, linker, debugger a utilitu *make*. Pro vývoj aplikací postačuje jen instalace balíku Yagarto toolchain a příkazový řádek popř. textový editor.

Překlad pomocí příkazového řádku není moc komfortní, proto je lepší nainstalovat vývojové prostředí Eclipse IDE, které je také volně šiřitelné.

Nástroj Eclipse primárně vyvinula firma IBM pro jazyk java, ale v dnešní době je tento nástroj multiplatformní a umožňuje vývoj aplikací i pro jazyk C/C++. Prostředí je velice flexibilní a lze jej doplňovat o nové funkce pomocí tzv. plug-in modulů.

Bohužel po instalaci Yagarto toolchain, nebylo možné tímto nástrojem přeložit bootstrap, tudíž není při tvorbě projektu užíván.

### ***WinARM:***

Je stejně jako Yagarto toolchain založen na překladači GNU. Postup instalace a překladu programu je téměř shodný. Navíc obsahuje různé demo aplikace. Pro vývoj programů lze také použít s vývojovým prostředím Eclipse.

Po odinstalování Yagato se nespíše neodstranilo z počítače vše a docházelo tak ke konfliktu mezi nástroji, proto nebyl ani WinARM funkční.

### ***GnuARM:***

Tento nástroj je velice podobný předchozím, jen s tím rozdílem, že pro jeho funkci je potřeba mít nainstalovaný na počítači Linux. Nevýhodou je překlad programu, který se provádí pomocí příkazového řádku příkazem *make*.

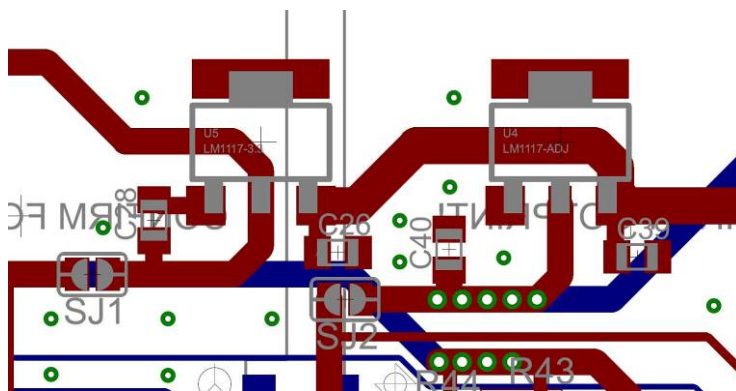
Tento nástroj je sice daleko složitější na instalaci než předchozí, ale funguje bez problémů a jeho používání je pod licencí GNU, proto je použit pro překlad zdrojových kódů v projektu.

## 6 Konstrukce serveru

Deska plošného spoje byla navrhována v editoru Board v prostředí Eagle 6.1.0. Kvůli výsledné ceně zařízení byla navržena dvouvrstvá deska, z tohoto důvodu byl zvolen mikrokontrolér v pouzdře LPFQ. Pro zmenšení rozměrů desky byly použity výhradně součástky SMD, které jsou osazeny z obou stran.

### 6.1 Napájení

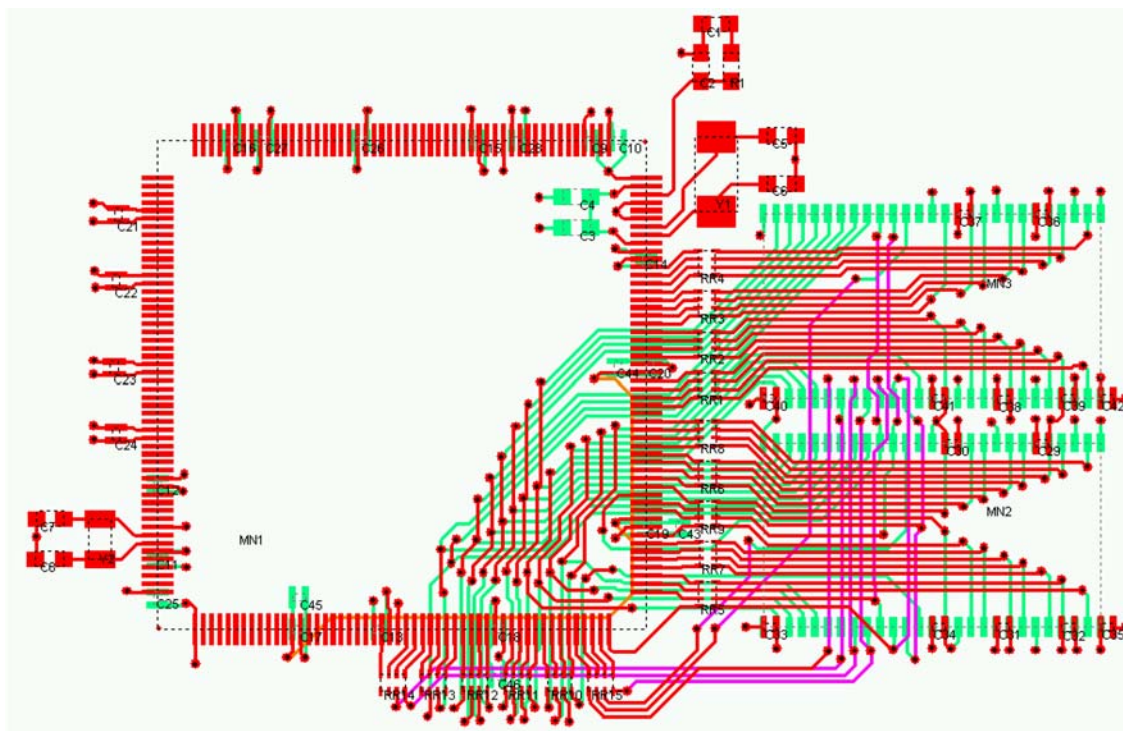
Pro zjednodušení návrhu byl volen k napájení klasický počítačový zdroj se dvěmi výstupními napětími 5 a 12 V. Pro napájení obvodů na desce plošných spojů napětím 3,3 V byl zvolen napěťový regulátor LM1117-3.3 [31]. Napájení jádra mikrokontroléru je možné pouze napětím 1,8 V, proto byl do návrhu ještě zařazen lineární regulátor LM1117-1.8 [31]. Oba jsou připojeny na 5 V větev. Rozmístění regulátorů na DPS viz obrázek 17. Pro možnost měření proudu tekoucí v jednotlivých větvích slouží propojky SJ1 a SJ2.



Obrázek 12: Napěťové regulátory

### 6.2 SDRAM

Vzhledem ke složitosti zapojení paměti RAM, NAND a převodníků úrovní musela být volena šířka signálních vodičů a velikost izolačních mezer 8 mils. Jelikož komunikace mezi mikrokontrolérem a paměťmi je taktována frekvencí 90 MHz, jsou kladeny na desku plošných spojů zvýšené nároky. V aplikačních poznámkách výrobce [32] je uvedeno doporučené zapojení (layout), viz obrázek 12. Jejich součástí je také soubor simulací vybraných signálových cest při komunikaci. Také je zde uveden požadavek na desku plošného spoje, který by měl být složen z 8 vrstev.



Obrázek 13: Doporučené zapojení SDRAM [32]

Při návrhu desky plošných spojů byly signální cesty mezi pamětí RAM a mikrokontrolérem délkově přizpůsobeny viz obrázek 13. Bohužel délkové přizpůsobení nebylo dostačující a komunikace při kmitočtu 90 MHz neprobíhala korektně, avšak snížení taktovacího signálu pamětí pomocí interní děličky na 45 MHz byla komunikace bez výskytu problému. Jelikož byla při snížení pracovní frekvence RAM pamětí také snížena šířka přenosového pásma dat, byla zkoumána příčina problému. Po připojení na osciloskop bylo zjištěno, že na vedení hodinového signálu pro paměti vzniká stojaté vlnění způsobené nepřizpůsobeným vedením vysokofrekvenčního signálu. Proto musela být cesta impedančně přizpůsobena pomocí seriově vloženého rezistoru. V aplikačních poznámkách [32] byla také uvedena rovnice (1) pro výpočet rezistoru pro impedanční přizpůsobení cest. Jde o vzorec výpočtu impedance mikropáskového vedení.

$$Z_0 = -\frac{87}{\sqrt{1,41 + \epsilon_r}} \cdot \ln\left(\frac{5,98 \cdot H}{T + 0,8 \cdot W}\right) \quad [\Omega; -,m,m,m] \quad (1)$$

kde:  $\epsilon_r$  – relativní permitivita substrátu FR4

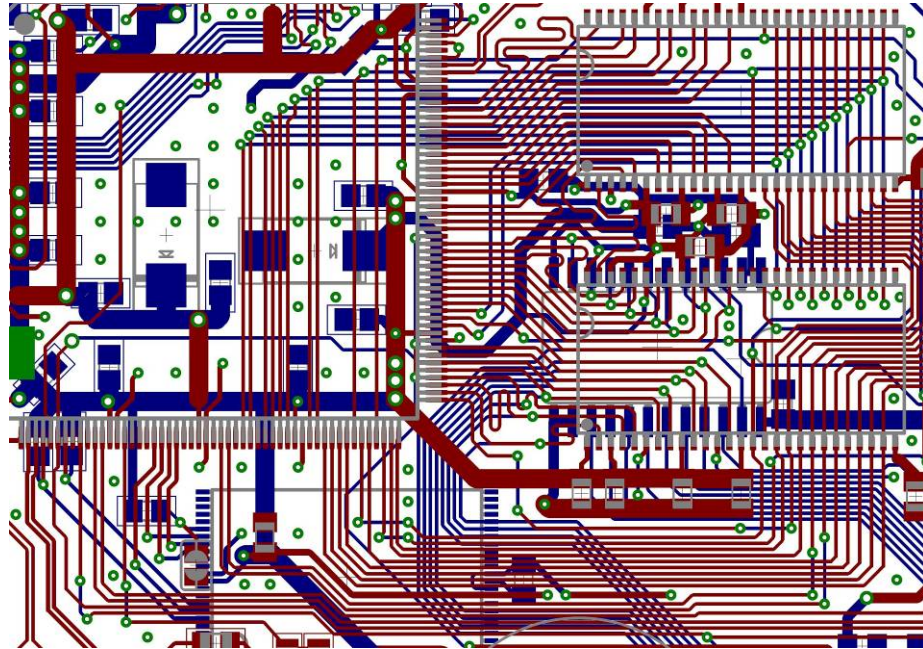
$H$  – tloušťka substrátu

$T$  – tloušťka vodivého motivu

$W$  – tloušťka substrátu FR4

Z konstrukčních a materiálových parametrů byla vypočtena hodnota rezistoru 153  $\Omega$ . Vzorec je primárně určen pro mikropásek, pod kterým je měděná plocha

s nízkou impedancí. Jelikož pod vodičem hodinového kmitočtu není po většinu trasy žádná měděná plocha, nebylo možné tuto hodnotu uvažovat, a proto byla hodnota rezistoru určena experimentálně a to podle časového průběhu na osciloskopu. Výsledná hodnota rezistoru byla 220  $\Omega$ .



Obrázek 14: Délkové přizpůsobení délky signálových cest

Z hlediska zjednodušení návrhu desky, snížení impedance vedení a rušení EMC by bylo vhodné použít vícevrstvou desku s prokládanou zemí, bohužel výroba vícevrstvé desky je přibližně třikrát dražší než dvouvrstvé provedení.

K omezení rušení byla po obou stranách desky rozlita zemní plocha a pro snížení zemní impedance byla v celé ploše propojena množstvím prokůvů. Způsob zapojení většiny periférií k mikrokontroléru vycházel z vývojových kitů firmy Atmel AT91SAM9260-EK [22] a Olimex SAM9-L9260 [33], z důvodu zajištění kompatibility se softwarem.

K procesoru AT91SAM9260 lze připojit téměř libovolnou paměť SDRAM splňující výše uvedené parametry. Pro projekt byly vybrány paměťové moduly od firmy Micron typ MT48LC16M16A2 [34], jelikož byla z hlediska velikosti a ceny výhodnější než ostatní paměti od jiných výrobců. Jedná se o dynamickou paměť určenou pro aplikace s pracovním kmitočtem do 133 MHz, zejména pro použití v osobních počítačích jako paměť RAM. Velikost této paměti je 32 MB, které jsou rozděleny do 4 paměťových bank. Šířka adresové sběrnice je 15 bitů a datové 16 bitů. Pro zvětšení datové propustnosti byly k mikrokontroléru připojeny dvě tyto paměti stejně jako na obrázku 6, vytvoří tak paměť RAM o velikosti datové sběrnice 32 bitů a celková velikost RAM bude 64 MB. Pro lepší názornost je zapojení těchto pamětí zobrazeno na

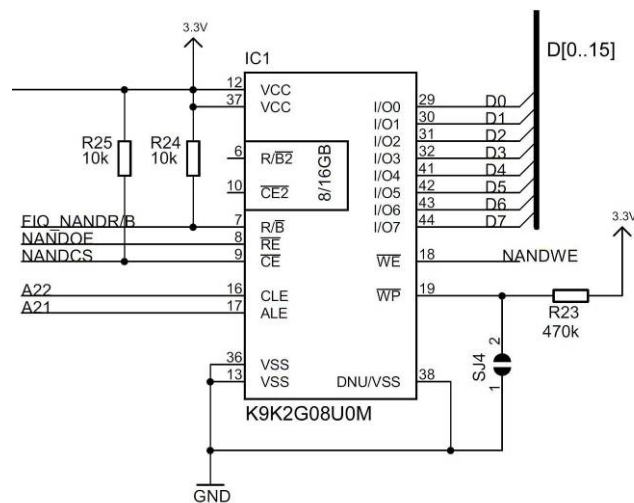
obrázku 3. Za zmínku stojí také paměti od firmy ISSI typ IS42S16320B, které mají 2× větší kapacitu, bohužel 4× vyšší cenu.

V této práci je uvažován nejvyšší možný nastavitelný pracovní kmitočet pamětí, proto je dělička nastavena na dělení dvěma. Při frekvenci signálu 198 MHz je frekvence SDRAM 99 MHz, což splňuje podmínku maximálního taktovacího kmitočtu pamětí udávaného výrobcem 133 MHz [34].

### 6.3 NAND Flash

V tomto projektu byla použita pro uložení dat paměť K9K2G08U0M [35] kapacity 256 MB od firmy Samsung. Šířka její datové sběrnice je 8 bit a velikost paměťového prostoru 256 MB (2 Gb), což napovídá, že je to paměť s velkými bloky. Pro vyzkoušení funkčnosti a snížení nákladů na zařízení byla zakoupena levnější paměť velikosti 32 MB (256 Gb) s malými bloky. Z důvodu zachování kompatibility s byl zvolen modul K9K5608U0M [36] také od firmy Samsung.

Obě paměti byly voleny v pouzdech TSOP48 určených pro povrchovou montáž. Na desce plošných spojů byla vytvořena propojka SJ4 pro možnost zakázání zápisu viz obrázek 15. Před každým programováním zařízení je nutné ji rozpojit. Její funkce je vysvětlena podrobněji v kapitole 4.3.3.



Obrázek 15: Připojení NAND Flash K9K2G08U0M

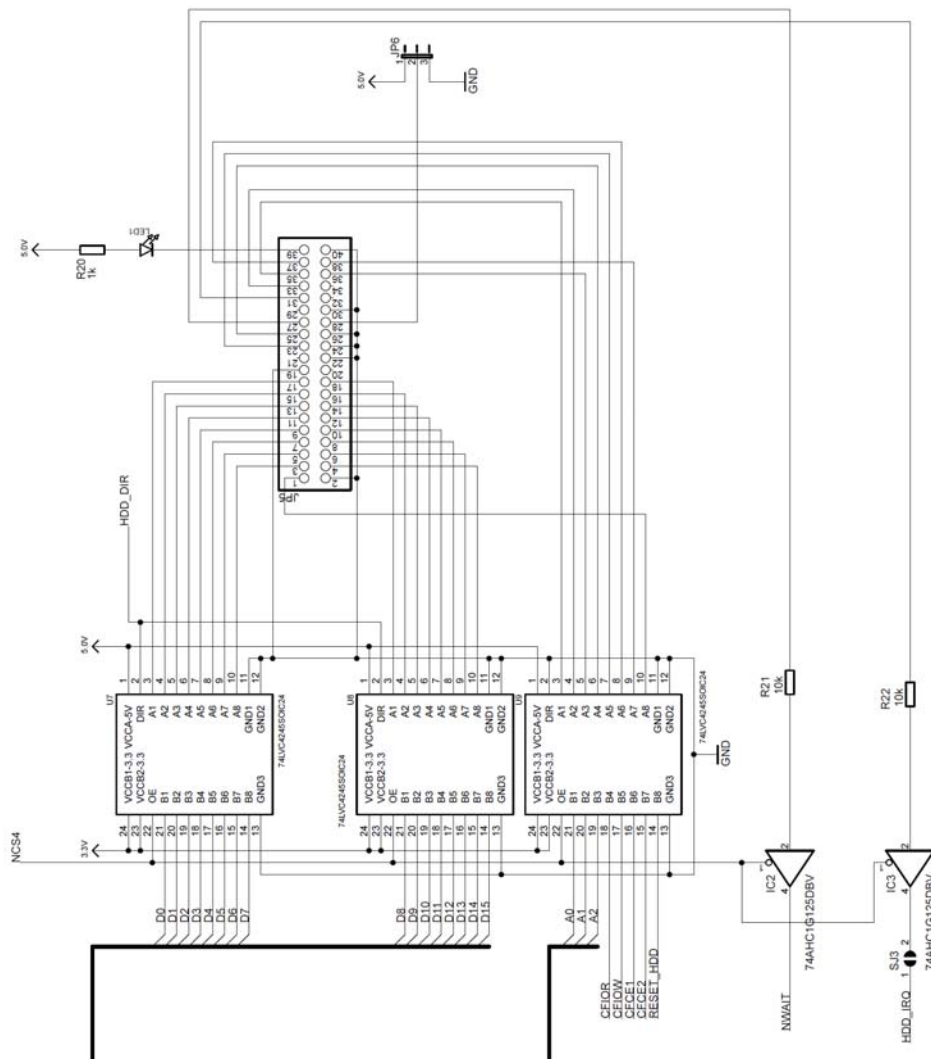
### 6.4 DataFlash

Do návrhu zařízení byla zařazena sériová paměť DataFlash, která byla prvotně určena k prozkoumání možností zavádění operačního systému. Také sloužila jako alternativa při nekompatibilitě zakoupených NAND Flash pamětí. Pro návrh desky plošných spojů byla vybrána paměť, kterou výrobce doporučuje ve svém katalogovém listu [22] AT45DB321 o velikosti 32 Mbit. Tato paměť však nebyla nikdy osazena ani ozkoušena a to z důvodu, že byla nastudována problematika možné nefunkčnosti

některých NAND Flash pamětí a po zprovoznění obou zakoupených typů již nebyla použita z důvodu nižší přenosové rychlosti vůči NAND Flash..

## 6.5 IDE

Pro posun napětových úrovní byly zvoleny 8 bitové logické integrované obvody od firmy Texas Instruments 74LVC4245APW [37] a 74LVC1G125 [38] pro signály NWAIT a HDD\_IRQ. Obvody 74LVC4245APW jsou kompatibilní s logikou TTL. Jsou určeny pro posun logických napětových úrovní z 3,3 V logiky na 5 V. Jejich největší výhodou je možnost obousměrné komunikace. Na základě změny logické úrovně vstupní linky označenou jako DIR, lze rozlišit směr. Při komunikaci rozhraní CF je pomocí linky CFRNW indikován směr datového toku. U obou signálů je pro určení směru použita totožná úroveň, proto lze obě tyto linky spojit přímo k sobě a tím nechat řídit celou komunikaci přímo řadičem pamětí. Připojení konektoru IDE kabelu k logickým obvodům je na obrázku 16.



Obrázek 16: Propojení logických obvodů s konektorem IDE

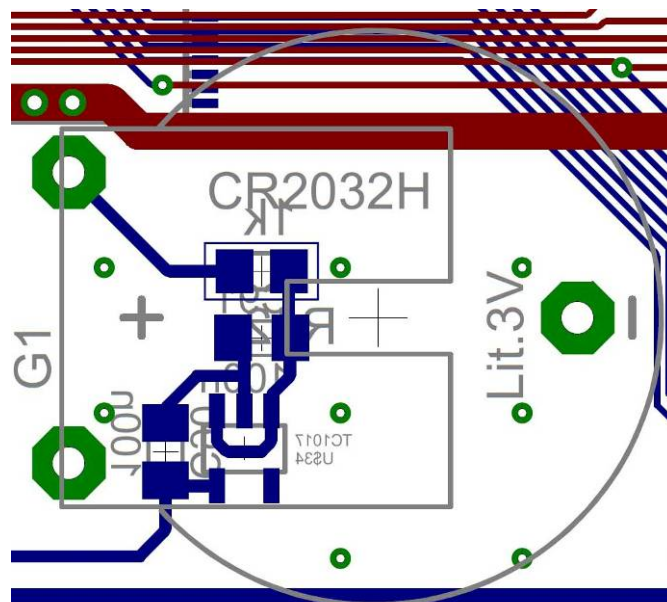
Pro automatické přiřazení funkce připojeného pevného disku nakonfigurovaného do modu Cable Select pomocí propojek disku, byla v zapojení uvažována propojka JP6 patrná na obrázku 15. Vizualní indikaci práce disku umožňuje LED dioda LED1.

## 6.6 Fyzická vrstva ethernetu

Do projektu byl vybrán obvod fyzické vrstvy DP83848C [39] PHYTER od firmy National Semiconductor, u kterého se ke komunikaci užívá rozhraní MII. Rozhraní obvodu neobsahuje datový signál příznaku kolize přenosu dat COL. Avšak při výskytu kolize přenosu je možné identifikovat přesný typ závady pomocí datových registrů fyzické vrstvy, tudíž není vynechání tohoto signálu kritické. Schéma zapojení tohoto obvodu k mikrokontroléru je z důvodu složitosti vyobrazeno v příloze 1.

## 6.7 RTC

RTC (Real-Time Clock), česky obvod reálného času, je obvod zajišťující udržení správné informace o aktuálním čase. Jelikož je tento obvod implementován v mikrokontroléru, byla při návrhu zařízení uvažována baterie, která by zajišťovala udržení informace o čase i po odpojení napájení. Požadavek na velikost napětí pro zálohu je dle katalogového listu 1,8 V. Aby bylo možné připojit téměř libovolnou baterii nebo monočlánek, byl do návrhu zařazen nízkopříkonový lineární regulátor TC1017 [40] s výstupním napětím 1,8V. Návrh pájecích plošek byl volen dle lithiové baterie typ CR2032H [41]. Detail zapojení regulátoru k baterii na DPS je na obrázku 17.



Obrázek 17: Detail připojení baterie k DPS

## **6.8 Sériové linky**

Pro nahrávání a konfiguraci programového vybavení mikrokontroléru byly na DPS vyvedeny konektory pro připojení sériové linky RS232 a USB. Napěťové úrovně signálů z mikrokontroléru jsou v logických úrovních 3,3 V, zatímco ve specifikaci sběrnice RS232 jsou definovány hodnoty v rozmezí -15V až +15V. Proto byly do projektu zařazeny linkové budiče zajišťující převod napěťových úrovní mezi zařízením a osobním počítačem.

Pro kanál DBG byl použit budič ST3232 [42], který umožňuje připojení dvou přijímacích RxD a dvou vysílacích TxD linek. Jelikož rozhraní DBG obsahuje pouze jeden pár, je tento obvod dostačující. Dále byl do obvodu zařazen jeden plnohodnotný tzn. jsou zapojeny i ostatní datové linky. Pro tento kanál UART musel být použit obvod SP3243ECT [43], který umožňuje právě připojení všech linek. Způsob zapojení obvodů je uveden v příloze 1.

Byly také vyvedeny konektory dvou kanálů USB, přičemž jeden slouží pro připojení periférií (USB Host) a druhý pro připojení PC (USB Device) a nahrávání programů do paměti připojených k mikrokontroléru.

## **6.9 Vrstva TOP**

Na této vrstvě se nachází mikrokontrolér, paměti RAM, fyzická vrstva, pájecí plošky pro připojení paměti DataFlash, napájecí a datové konektory, regulátory napětí a převodníky sběrnice RS232. Rozmístění jednotlivých součástek je voleno tak, aby součástky komunikující vysokou rychlostí byly co nejbližší k mikrokontroléru a ostatní s nižší rychlostí dále. Konektory sloužící pro komunikaci s počítačem jsou umístěny v blízkosti jedné strany desky, tak aby byly blízko sebe.

## **6.10 Vrstva BOTTOM**

Na této vrstvě se nacházejí sloty pro SD karty, paměť NAND Flash, převodníky napěťových úrovní. Rozmístění jednotlivých součástek je voleno tak, aby převodníky úrovní a paměť byly co nejbližší mikrokontroléru. Deska plošných spojů je v příloze 1.

## **6.11 Server verze 2**

Po oživení desky plošného spoje verze 1, byly zjištěny nedokonalosti v návrhu. Především se jednalo o absenci impedančního přizpůsobení signálové cesty pro časování paměťových modulů SDRAM, propojky pro rozpojení signálu NANDCS a pull-up rezistorů pro některé signály rozhraní IDE. Dalším nedostatkem byl chybný

návrh datových vodičů pro rozhraní IDE a dostatečný odvod tepla z lineárních regulátorů.

Proto byla navrhována deska plošných spojů verze 2, která má všechny nedostatky odstraněny. Navíc byly z návrhu odebrány součástky, které nebyly pro chod serveru nezbytné či se vůbec nevyužívaly, jako například paměť DataFlash a jeden kanál UART. Kvůli špatné mobilitě napájecího zdroje zahrnuje návrh dva snižující měniče stejnosměrného napětí, což umožňuje napájení zařízení pouze z jediného zdroje napětí. Z důvodu zmenšení výsledné desky plošných spojů, jsou sloty pro standardní velikost SD karet nahrazeny sloty pro karty MicroSD.

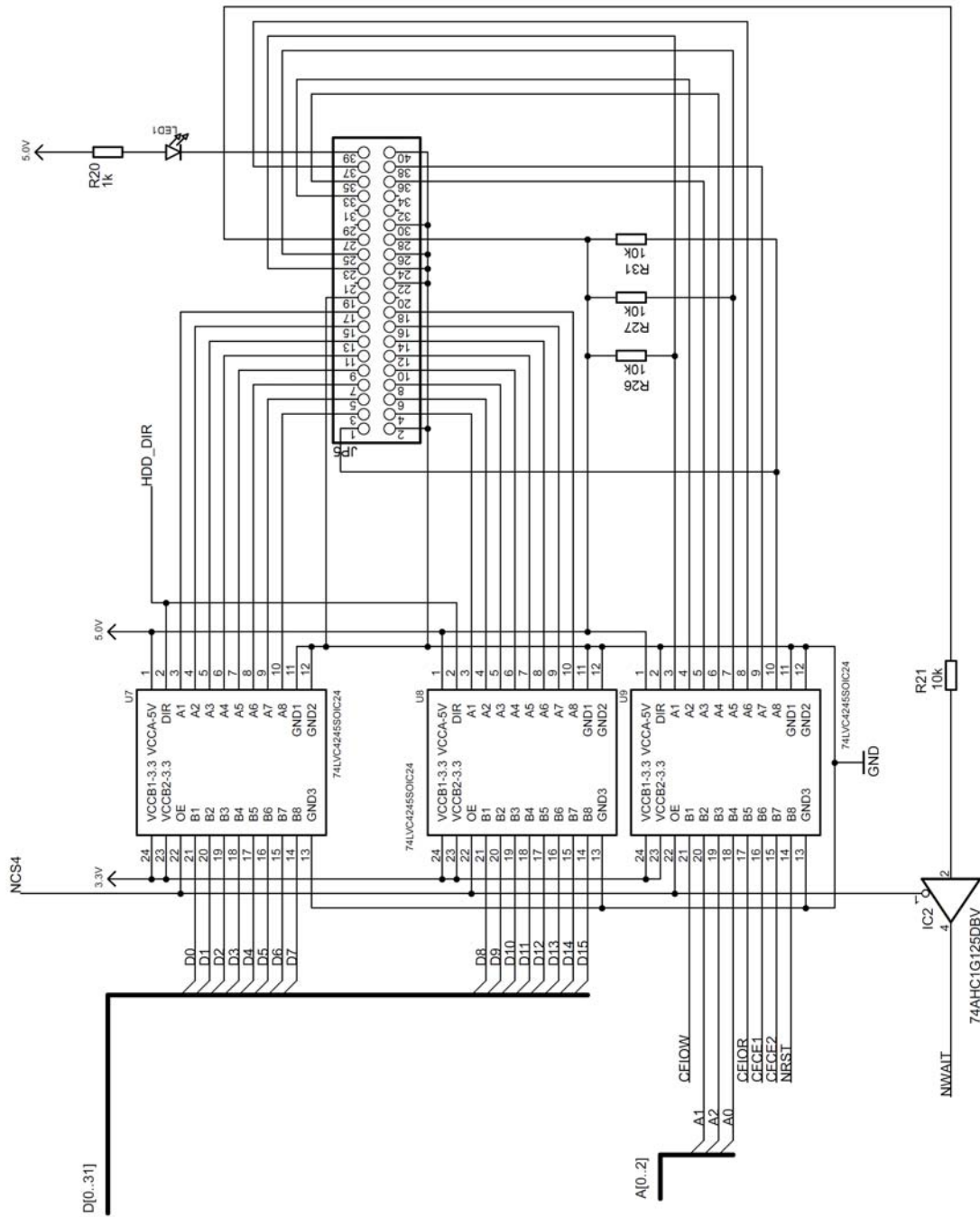
Deska plošného spoje byla navrhována v editoru Board v prostředí Eagle 6.1.0. Celé zapojení vycházelo z verze 1. Z důvodu složitosti návrhu byly ponechány zejména části pro připojení pouzder pamětí a logické obvody pro IDE rozhraní. Kompletní schéma zapojení desky plošných spojů je v příloze 2.

### ***6.11.1 Napájení***

Pro zjednodušení napájení části zařízení jsou navrhovány měniče s pevně daným výstupním napětím. Tyto obvody zajišťují snížení vyššího napájecího napětí na nižší, vhodného pro napájení pevného disku a byly zapojeny podle výrobcem doporučené konfigurace. Výstupní napětí snižujících měničů je 5 V a 12 V. Pro stabilizaci napětí 3,3 V a 1,8 V byly použity stejné obvody jako u DPS verze 1.

### ***6.11.2 IDE***

V návrhu serveru verze 1 je chybně navržena datová část rozhraní. Absence pull-up rezistorů znemožnila správnou funkci. Nefunkčnost byla způsobena vysokou impedancí na výstupech logických obvodů napěťového posunu logických úrovní v době, kdy neprobíhala s diskem žádná komunikace, což způsobilo kolize, při kterých se komunikace rozvázala. Obvod IC3 z verze 1 byl z návrhu odeprán kvůli tomu, že byl přebytečný. Na obrázku 18. je schéma zapojení IDE rozhraní.



Obrázek 18: IDE rozhraní DPS verze 2

## 7 Linux pro ARM

Jelikož je Linux otevřený (open source) počítačový operační systém, začal se používat v upravené verzi i ve vestavěných (embedded) zařízeních jako například mobilní telefony, PDA, routery, NAS...atd. Jádro architektury ARM9 je pro tento operační systém vhodné jelikož poskytuje dostatečný výpočetní výkon pro náročné aplikace vykonávané spolu s operačním systémem. Také tomu přispívá RISCantnost této architektury tj. instrukce vykonávány přímo hardwarem nikoliv mikrokódem [22]. To má za následek dostatečné zvýšení výpočetní kapacity.

Na architektuře ARM můžou fungovat i jiné operační systémy a to Windows CE (vybrána společností Microsoft jako základní platforma), Palm OS, Symbian OS či RISC OS. Z důvodu, že je Linux multiplatformní potřebuje pro své spuštění zavaděče, které jsou naprogramovány pro každou platformu zvlášť.

### 7.1 *Bootstrap*

Jedná se o jednoduchý program, který má za úkol poslat správnou sekvenci příkazů, čímž přinutí mikrokontrolér, aby ho zavedl do vnitřní paměti SRAM a spustil ho. Jinými slovy lze prohlásit, že jde o zavaděč. Tento program vždy začíná v paměti na adrese 0x000000.

Bootstrap má za úkol nastavit bloky oscilátorů a frekvenčních závěsů tak, aby procesor pracoval rychleji. Jeho nezbytnou úlohou je správně nastavit watchdog a přerušovací systém, zkonfigurovat paměťový řadič do základního nastavení, zajistit správný reset všech pamětí popřípadě periférií na desce, nastavit sériové linky a připravit blok DBGU kanálu UART ke komunikaci. V neposlední řadě musí umět zavést podprogram zajišťující zavedení jádra Linuxu tzv. bootloader do paměti RAM a následně jej spustit. V tomto případě jde o program U-Boot.

Velikost bloků dat na paměti NAND Flash byl jedním z hlavních problémů, které se musely v tomto programu řešit. Na CD vývojového kitu [22] pro tento mikrokontrolér byl bootstrap zkompilován pouze pro Nand Flash paměti s velkými bloky. U velikosti 256 MB šlo o přímo podporovaný typ a nenaskytl se žádný problém, ale při použití paměti malých bloků s ní nebyl schopen bootstrap správně komunikovat a proces zavádění okamžitě selhal. Pro tyto typy pamětí nebyl na internetu nalezen již zkompilovaný program, proto musel být pro správnou inicializaci a komunikaci paměti upraven zdrojový kód bootstrapu a následně zkompilován.

Před úpravou zdrojového kódu musel být na počítač nainstalován vývojový software umožňující přeložit program pro mikrokontrolér použitý v tomto projektu. Jelikož bude v zařízení používán Linux, bylo vhodné zvolit vývojový software pracující

pod tímto operačním systémem. Základní zdrojové kódy programu Bootstrap budou v tomto projektu použity stejné jako pro vývojovou desku AT91SAM9260-EK. Zkomprimované zdrojové kódy programu Bootstrap jsou na DVD v adresáři /Bootstrap.

### **7.1.1 Instalace vývojového nástroje**

Pro kompilaci programů určených procesorům ARM se využívají takzvané křížové kompilátory (Cross Compilery). Jedná se o vývojové prostředí nebo program, kterým se překládají (kompilují) programy na jedné platformě například x86 pro platformu jinou třeba ARM. Důvod proč tomu tak je, že samotná kompilace je dosti náročná na výpočetní výkon procesoru a operační paměť. I když by bylo na některých zařízeních dostatek operační paměti, byla by doba potřebná pro úspěšný překlad neúměrně dlouhá.

K instalaci vývojového nástroje byla zvolena distribuce Ubuntu 9.04 Jaunty Jackalope nainstalovaná jako virtuální operační systém v programu VirtualBox. Po instalaci musela být distribuce aktualizována. K nainstalování balíků nutných pro instalaci vývojového softwaru slouží následující příkazy.

```
sudo apt-get update
sudo apt-get dist-upgrade
sudo apt-get install libgmp3-dev libmpfr-dev build-
essential zlib1g-dev libncurses5-dev patch texinfo
libreadline5-dev
```

Přesto, že bylo vyzkoušeno z internetu četné množství návodů na instalaci Cross kompilátoru, byl funkční pouze jediný [44]. Proto byly stáhnuty soubory prostředí a vytvořen instalační skript install.sh umístěný ve složce Cross-Compiler na doprovodném DVD. Tento skript zajistí správné nainstalování Cross kompilátoru do operačního systému. Většina obsahu skriptu vychází z originálního (z části nefunkčního) návodu ze stránek Uwe Hermanna [45] s doplněním konfiguračních příkazů z blogu Nutaksas [44], zbytek byl dopsán ze zkušenosti používání OS Linux.

Překlad zdrojových kódů se provádí pomocí terminálu (příkazový řádek v OS Linux), kde se zadávají příkazy pro Cross compiler. Pro přeložení Bootstrapu pro mikrokontrolér AT91SAM9120 je nutné ze složky zdrojových kódů zadat následující příkazy.

```
cd /board/at91sam9260ek/nandflash/
make
```

Po vykonání těchto příkazů bude vytvořen ve složce bootstrapu soubor bootstrap.bin, který je možné nahrát do zařízení.

V případě, že byl upraven zdrojový kód a kompilace již byla jednou provedena, je nutné při dalším překladu vyčistit přeložené části kódu příkazem *make clean*.

### 7.1.2 Úpravy zdrojového kódu

V případě použití paměti NAND Flash s malými bloky bylo nutné upravit zdrojový kód tak, aby byly tyto paměti podporovány. Ovladače pro NAND Flash paměti již obsahovaly napsané rutiny pro podporu paměti malých bloků, avšak byly pro překlad zakázány z důvodu, že ve vývojovém kitu jsou použity paměti typu velkých bloků. Pro zavedení podpory malých bloků popřípadě Dataflash paměti, musely být provedeny změny v souboru `at91sam9260ek.c` umístěným ve složce bootstrapu v adresářové struktuře `/board/at91sam9260ek/nandflash/`. Změněním direktivy `#undef` za `#define` a naopak, je možné povolení či zakázání funkcí Bootstrapu. Pro povolení podpory malých bloků byla změněna direktiva z `#undef NANDFLASH_SMALL_BLOCKS` na `#define`. Níže je uveden kousek zdrojového kódu s podporou malých bloků.

```
/* ***** */
/* Application Settings */
/* ***** */
#undef CFG_DEBUG
#undef CFG_DATAFLASH

#define CFG_NANDFLASH
#define NANDFLASH_SMALL_BLOCKS

#define CFG_HW_INIT
#define CFG_SDRAM

#endif /* _AT91SAM9260EK_H */
```

V případě, že by ovladače programu bootstrap nepodporovaly připojený typ NAND Flash paměti je nutné ručně vytvořit informace o její vnitřní struktuře s jejím identifikátorem přímo ve zdrojovém kódu ovladače. Změna musela být provedena právě pro zakoupený typ `K9K5608U0M`. Bez úpravy by program nemohl paměť správně zinicilizovat a stal by se nestabilním až zcela nefunkčním. Změna se provádí v adresáři `/include/` v souboru `nand_ids.h` úpravou struktury. V původním souboru ovladače byla vytvořena podpora pro 6 typů různých výrobců. Řádek končící „`K9K5608U0M`“ původní soubor neobsahoval, a proto byl dopsán viz úryvek zdrojového kódu níže.

```
static struct SNandInitInfo NandFlash_InitInfo[] = {
    {0xecda, 0x800, 0x20000, 0x800, 0x40, 0x0, "K9F2G08U0M\0"},
    {0xecaa, 0x800, 0x20000, 0x800, 0x40, 0x0, "K9F2G08R0A\0"},
    {0x2cca, 0x800, 0x20000, 0x800, 0x40, 0x1, "MT29F2G16AAB\0"},
    {0x2cda, 0x800, 0x20000, 0x800, 0x40, 0x0, "MT29F2G08AAC\0"},
```

```
{0x20aa, 0x800, 0x20000, 0x800, 0x40, 0x0, "STMNAND02GR3B\0"},
{0x2caa, 0x800, 0x20000, 0x800, 0x40, 0x0, "MT29F2G08ABD\0"},
{0xec75, 0x800, 0x4000, 0x200, 0x10, 0x0, "K9F5608U0M\0"}
```

Každá z hodnot v řádku obsahuje informaci o vnitřní struktuře paměti. První zleva je uveden identifikátor paměti, počet bloků, velikost bloku, velikost sektoru (datového registru), počet náhradních bajtů, šířka sběrnice (0 = 8 bit, 1 = 16 bit). Kvůli omezení maximální velikosti .bin souboru na 4 kB je doporučeno vymazat podporu pro nevyužité typy.

Jak již byl dříve diskutován problém s vysokou taktovací frekvencí paměti SDRAM, je možné právě v tomto programu nastavit registr děličky kmitočtu tak, aby byla výstupní frekvence nižší. Změny se provádějí ve stejném souboru at91sam9260ek.h, tak jako tomu bylo při povolení podpory pro NAND Flash paměti s malými bloky. Nastavení registru děličky je možné změnou hodnoty AT91C\_PMC\_MDIV\_2 na AT91C\_PMC\_MDIV\_3 v prvním řádku bloku s názvem */\* Switch MCK on PLLA output PCK = PLLA = 2 \* MCK \*/* viz níže modrou barvou. Uvedená změna má za následek snížení taktovacího kmitočtu paměti 4×.

```
/* Switch MCK on PLLA output PCK = PLLA = 2 * MCK */
#define MCKR_SETTINGS      (AT91C_PMC_PRES_CLK | AT91C_PMC_MDIV_3)
#define MCKR_CSS_SETTINGS  (AT91C_PMC_CSS_PLLA_CLK | MCKR_SETTINGS)
```

V tomto souboru lze pro ladění programu pomocí sériového rozhraní UART DBG zapnout funkci odesílání informačních dat direktivou `#define CFG_DEBUG`. Po zapnutí této funkce je po překladu dosti navýšena velikost souboru .bin a je ji nutné hlídat. Při nedodržení stanovených 4 kB program řádně nefunguje a neprovede se nahrání programu U-Boot do paměti RAM.

## 7.2 U-Boot

Program je dílem německé firmy DENX [46]. Jeho funkcí je provedení kompletní inicializace hardware umístěného na desce plošných spojů. Také slouží k výběru média (SD karta, USB klíčenka, ethernet...), ze kterého se bude rozbalovat obraz Linuxu do paměti RAM. Dále se stará o správné rozbalení jádra do paměti RAM, kontrolu správnosti kontrolního součtu CRC souboru Linuxového jádra a jeho následné spuštění.

### 7.2.1 Vývojový nástroj

Pro vývoj programu U-Boot doporučuje firma DENX svůj vývojový software ELDK [47]. Také je možné ke kompilaci použít nástroj pro překlad zdrojových kódů programu Bootstrapu, tak jako v tomto projektu. Pro ovládání kompilátoru je nutné

používat odlišné příkazy. Vytvoření .bin souboru, který je možné nahrát do paměti se provádí pomocí těchto příkazů ze složky se zdrojových kódů.

```
make at91sam9260_config
make CROSS_COMPILE=arm-elf-
```

Po vykonání všech operací, je vytvořen ve složce zdrojových kódů soubor u-boot.bin. Při nahrávání je nutno dát pozor, aby nebyl zaměněn se souborem u-boot, který je bez přípony a má v případě distribuce Junty Jackalope stejnou ikonu.

Po úpravě zdrojových kódů či konfiguračního souboru, popřípadě, že již jednou proběhla kompilace je nutné před příkazem *make at91sam9260\_config* zadat pro vyčištění předkompilovaných částí příkaz *make distclean*.

### 7.2.2 Úpravy zdrojového kódu

Funkce programu U-Boot je nastavována pomocí konfiguračního souboru at91sam9260ek.h umístěného v adresářové struktuře /include/configs/. Neupravená verze U-Bootu je implicitně nastavena tak, aby bylo možné po zkompilování programu nahrát soubor .bin do vývojového kitu AT91SAM9260-EK, stejně jako tomu bylo u programu Bootstrap. V případě, že bude U-Boot použit v tomto projektu, je potřeba změnit některá nastavení a přizpůsobit některé soubory zdrojových kódů.

Ze všeho nejdříve je nutné upravit konfigurační soubor. Jelikož jsou v projektu využity pouze dva kanály UART ze čtyř, musí se zakázat zbylé dva. Proveďte se v sekci */\*Hardware drivers\*/* změnou diraktivy #define za #undef podle následujícího vzoru.

```
/* Hardware drivers */
#define CONFIG_ATMEL_USART 1
#undef CONFIG_USART0
#undef CONFIG_USART1
#undef CONFIG_USART2
#define CONFIG_USART3 1 /* USART 3 is DBGU */
```

V případě, že by se v projektu použila paměť RAM jiné velikosti viz kapitola 6.2, musely by se změnit údaje v sekci SDRAM. Pro paměť 64 MB je nastavení takovéto.

```
/* SDRAM */
#define CONFIG_NR_DRAM_BANKS 1
#define PHYS_SDRAM 0x20000000
#define PHYS_SDRAM_SIZE 0x04000000 /* 64 megs */
```

Protože nebyla na desku plošných spojů osazena paměť DataFlash, je vhodné v sekci DATAFLASH změnit řádek `#define CONFIG_HAS_DATAFLASH 1` na `#undef CONFIG_HAS_DATAFLASH`.

Chceme-li změnit komunikaci přes ethernetové rozhraní RMII na MII, a tím zvýšit přenosovou rychlost. Musí být změněn obsah sekce `/*ETHERNET*/` z původního na tento.

```
/* Ethernet */  
  
#define CONFIG_MACB 1  
#define CONFIG_CMD_MII 1  
#undef CONFIG_RMII  
#define CONFIG_NET_MULTI 1  
#define CONFIG_NET_RETRY_COUNT20  
#define CONFIG_RESET_PHY_R 1
```

Pro určení paměťového zdroje, ze kterého se bude zavádět jádro Linuxu, je třeba provést úpravy pomocí `#undef` a `#define` u následujících příkazů v tomto případě určujících zdroj NAND Flash.

```
#undef CFG_USE_DATAFLASH_CS0  
#undef CFG_USE_DATAFLASH_CS1  
#define CFG_USE_NANDFLASH 1
```

Nastavení konfiguračního souboru je již dokončeno, teď zbývá nastavit informace o rozdělení paměti, aby U-Boot věděl, na které adrese je umístěno jádro operačního systému. Pro vývojový kit AT91SAM9260-EK je implicitně nastaveno dělení NAND Flash paměti na 6 dílů. První díl v rozsahu adres 0x0-0x1F FFF je vymezen programu bootstrap, 0x20 000-0x5F FFF je vymezeno právě pro U-Boot, rozsah 0x60 000-0x9F FFF jsou určeny pro proměnné parametry pro operační systém. Mezi adresami 0xA0 000-0x1F FFFF je prázdné místo (pouze při použití distribuce Ångstrom), které lze samozřejmě změnit nebo zcela vynechat, v případě nedostatku paměťového prostoru. Z důvodu vyvarování se problémům bylo toto nastavení ponecháno dle zdroje [50]. Konečně následuje rozsah 0x200 000-0x3FF FFF vyhrazený pro jádro operačního systému Linux a rozmezí 0x400 000 až po konec paměti patří souborovému systému.

Další související změna souvisí s nastavením proměnných parametrů pro operační systém, podle kterých se bude řídit jádro Linuxu při zavádění souborového systému.

Změnou tohoto rozdělení v konfiguračním souboru se později vyhneme nutnosti nastavování zařízení pomocí seriového portu. Změna se týká celého bloku s názvem `/*CFG_USE_NANDFLASH*/`.

```

/* CFG_USE_NANDFLASH */

/* bootstrap + u-boot + env + linux in nandflash */

#define CFG_ENV_IS_IN_NAND      1

#define CFG_ENV_OFFSET          0x60000

#define CFG_ENV_OFFSET_REDUND   0x80000

#define CFG_ENV_SIZE            0x20000      /* 1 sector = 128 kB */

#define CONFIG_BOOTCOMMAND      "nand read 0x22000000 0x200000 0x200000; bootm"

#define CONFIG_BOOTARGS        "console=ttyS0,115200 " \
                                "root=/dev/mtdblock0 " \
                                "mtdparts=at91_nand:128k(bootstrap)ro," \
                                "256k(uboot)ro,128k(env1)ro," \
                                "128k(env2)ro,2M(linux),-(root) " \
                                "rw rootfstype=jffs2"

```

Kvůli zjednodušení návrhu plošného spoje bylo oproti vývojovému kitu změněno zapojení LED diod. Rozdíl byl jen v připojení na odlišné výstupní piny portů. Aby mohli diody indikovat správné spuštění, musely být upraveny ovladače (soubor led.c v /board/atmel/at91sam9260ek/) diod, názvy portů (vyznačeno modře) na následující hodnoty.

```

#include <asm/arch/gpio.h>

#include <asm/arch/io.h>

#define RED_LED                 AT91_PIN_PC0 /* this is the power led */
#define GREEN_LED               AT91_PIN_PC1 /* this is the user led */

void red_LED_on(void)
{
    at91_set_gpio_value(RED_LED, 1);
}

```

Po zkompilování takto nastaveného U-Bootu nebyla po spuštění nalezena fyzická vrstva ethernetu (PHY). Je to způsobeno tím, že ve vývojovém kitu je použita odlišná PHY, která vyžaduje zásah do ovladačů síťové karty. Program U-Boot již pro ni obsahuje ve verzi 1.3.4 ovladač, avšak nebylo možné jej použít, protože byl napsán pro mikrokontroléry typu Davinci. Pro jeho ovládání byly využívány jeho interní registry,

které mikrokontrolér AT91SAM9260 neobsahuje a celý ovladač by tak musel být kompletně přepsán. Proto byly nastudovány katalogové listy obou fyzických vrstev (DM9161 [48] a DP83848 [39]) a tím bylo zjištěno, že komunikace obou čipů je naprosto shodná, jen se liší v hodnotě ID zařízení po resetu. Čip DM9161 má ID=0 a DP83848 ID=1. U obou čipů lze ID měnit pomocí pull-up rezistorů při resetu, avšak ID=0 nelze u druhého čipu nastavit, jelikož po resetu se nastavuje vždy odlišná hodnota od 0. ID=0 slouží k přepnutí DP83848 do pohotovostního režimu (stand-by). Ovladač U-Bootu bohužel vždy čekal na zařízení s číslem 0, které na sběrnici neexistovalo. Proto musel být upraven stávající ovladač tak, že byl přidán řádek kódu do inicializační funkce, který napevno změnil hodnotu ID zařízení. Kód byl ještě doplněn o vizuální kontrolu komunikace pomocí zablikání LED diod s periodou 100 ms na konektoru ethernetu. Uvedené změny v ovladači jsou uvedeny modře v úryvku zdrojového kódu níže.

```

static int macb_phy_init(struct macb_device *macb)
{
    struct eth_device *netdev = &macb->netdev;
    u32 ncfgr;
    u16 phy_id, status, adv, lpa;
    int media, speed, duplex;
    int i;

    /* Check if the PHY is up to snuff... */
    macb->phy_addr=1;           // Zmena ID = 1
    phy_id = macb_mdio_read(macb, MII_PHYSID1);
    if (phy_id == 0xffff) {
        printf("%s: No PHY present,%d\n", netdev->name, macb->phy_addr);
        return 0;
    }

    macb_mdio_write(macb, MII_LEDCCR, 0x18);    // Blikani
    udelay(100000);
    macb_mdio_write(macb, MII_LEDCCR, 0x00);
    udelay(100000);
    macb_mdio_write(macb, MII_LEDCCR, 0x18);
    udelay(100000);
    macb_mdio_write(macb, MII_LEDCCR, 0x00);
    status = macb_mdio_read(macb, MII_PSCR);
    status|=0x20;                //Konec blikání
  
```

```

macb_mdio_write(macb, MII_PSCR, status);

status = macb_mdio_read(macb, MII_BMSR);

if (!(status & BMSR_LSTATUS)) {
    /* Try to re-negotiate if we don't have link already. */
    macb_phy_reset(macb);
}

```

Po spuštění programu jsou na sériovou linku kanálu DBG vysílána textová data, informující o průběhu chodu U-Bootu. Při připojení zařízení k počítači nakonfigurování přenosu na rychlost 115000 kb/s je možné tyto data zachytit pomocí programu. V prostředí Linux je to program Minicom a v OS Windows Hyperterminal.

Program U-Boot je možné ovládat pomocí jednoduchého textového menu, do kterého se lze přihlásit pomocí stisku libovolné klávesy v momentě, kdy je odpočítáván čas příkazu autoboot. Popis ovládání a nastavení programu U-Boot je přehledně popsán na stránkách výrobce [50]. Náhled inicializace a menu je zobrazeno v příloze 3.

## 7.3 *Jádro OS Linux*

Jak již bylo řečeno, Linux je volně šiřitelný operační systém tzn., že jsou uvolněny jeho zdrojové kódy. Vychází z OS Unix. Vývoj byl zahájen v květnu roku 1991 finským programátorem Linuxem Torvaldsem. Systém byl původně navrhován pouze pro počítačové platformy i386 a i486. Díky uvolnění zdrojových kódů napsaných v jazyce C se rozšířil mezi komunitu programátorů. Díky tomu byly kódy Linuxu rozšiřována podpora i pro jiné platformy. Díky projektu „The ARM Linux Project“ je možné používat tento operační systém na platformě ARM. Linux je šířen v podobě distribucí, které se liší, zjednodušeně řečeno, programovým vybavením v základní instalaci. Pro pohodlnější instalaci nových programů obsahuje každá distribuce tzv. repozitáře, kde jsou uloženy instalační balíčky s programy. Hlavní výhodou repozitářů je v tom, že je-li nutné pro funkci určitého balíčku jiný balíček z repozitáře, jsou pro zajištění funkčnosti stáhnuty a nainstalovány oba. Nevýhodou je časově omezená doba podpory jednotlivých verzí každé distribuce.

Jádro Linuxu bývá v embedded zařízeních nejčastěji uloženo ve statické paměti připojené k mikrokontroléru, v tomto projektu se bude jednat o NAND Flash. K jádru Linuxu bude připojen souborový systém (distribuce Ångstrom), který bude obsahovat nainstalované programy a bude viditelný z operačního systému zařízení.

### 7.3.1 *Vývojový nástroj*

Kvůli omezeným prostředkům embedded systémů jsou z jádra často odstraněny ovladače, které daná platforma nepodporuje. Vývojový kit AT91SAM9260-EK a mikrokontrolér AT91SAM9260 není vybaven přímým rozhraním IDE a je také pro něj

v jádře vynechán ovladač. Pro implementaci ovladače do jádra systému je nutné si vytvořit vlastní kompilaci jádra, která bude již schopná ovládat rozhraní EBI sběrnice.

Pro překlad zdrojových kódů operačního systému Linux je využít křížový kompilátor, avšak musí být jiný než v případě programů Bootstrap a U-Boot. Protože linuxová distribuce Jaunty Jackalope nepodporuje instalaci překladače GCC pro platformu ARM pomocí systému repozitářů, byla zvolena novější distribuce Natty Natahal, u které je tento překladač již podporován. Instalace vývojového softwaru byla provedena pomocí programu Synaptic, kde byl k instalaci označen balík `cpp-4.5-arm-linux-gnueabi` a balík `linux-libc-dev-armel-cross`.

Překlad zdrojových kódů Linuxu se provádí stejně jako u předchozích kompilací pomocí terminálu. Pro přeložení je nutné ze složky zdrojových kódů postupně zadat následující příkazy s ohledem na velikost písma, protože Linux je case sensitiv (citlivý na velikost písmen).

```
make ARCH=arm at91sam9260ek_defconfig
```

```
make ARCH=arm uImage CROSS_COMPILE=arm-linux-gnueabi
```

Po přeložení zdrojových kódů je soubor `uImage` určený k nahrání do paměti mikrokontroleru umístěn adresáři `/arch/arm/boot/`. Po úpravách v konfiguračních nebo zdrojových kódů je nutné kompilaci vyčistit před provedením příkazu `make` příkazem `make distclean`.

### 7.3.2 Úpravy zdrojového kódu

V průběhu tohoto projektu vzniklo nové Linuxové jádro verze 3.2.5, které bohužel neobsahovalo správné konfigurační soubory pro AT91SAM9260. Proto bylo zvoleno k další práci jádro verze 2.6.34, které je novější oproti jádru používaného ve vývojovém kitu (verze 2.6.30).

Konfigurační soubor určený pro vývojový kit, nemá implicitně povoleny ovladače pro rozhraní CF karet a vypnutou podporu IDE disku a souborového formátu EXT3, EXT4 a NTFS. Proto bylo nutné doplnit tento soubor o tuto podporu. Konfigurační soubor `at91sam9160ek_defconfig` se nachází ve složce zdrojových kódů jádra Linux v adresářové struktuře `/arch/arm/configs/`. Pro zapnutí výše uvedené podpory je nutné tento soubor doplnit popřípadě přepsat již zakomentované řádky o následující text.

```
CONFIG_MTD=y  
CONFIG_ATA=y  
CONFIG_ATA_VERBOSE_ERROR=y  
CONFIG_SATA_PMP=y  
CONFIG_ATA_SFF=y
```

```
CONFIG_PATA_AT91=y
CONFIG_EXT3_FS=y
CONFIG_EXT3_DEFAULTS_TO_ORDERED=y
CONFIG_EXT4_FS=y
CONFIG_NTFS_FS=y
CONFIG_NTFS_RW=y
CONFIG_NFS_FS=y
```

Jelikož má tato práce od vývojového kitu určité odlišnosti, zejména v zapojení, je nutné opravit zdrojové kódy ovladačů i zde a tím přiřadit správnou funkci vstupně/výstupním portům. Jedná se především o změny u rozhraní LED diod, ethernetu, SD karet a USB. Také se zde provede nastavení sběrnice EBI tak, aby byla schopná komunikace s pevným diskem. Naštěstí lze tyto úpravy (lépe řečeno přemapování funkce vývodů) provést pouze v jediném souboru definující piny připojených zařízení k mikrokontroléru a to v board\_sam9260ek.c, který je uložený v adresářové struktuře /arch/arm/mach-at91/. Změna spočívá v přepsání jména vývodu, ke kterému je na desce připojena daná periferie.

Pro změnu u LED diod se změní tyto parametry PA6 a PA9 označující porty, ke kterým jsou připojeny diody u vývojového kitu za PC0 a PC1 v definující struktuře viz níže text označený morou barvou.

```
static struct gpio_led ek_leds[] = {
    {
        /* "bottom" led, green, userled1 to be defined */
        .name           = "Power",
        .gpio           = AT91_PIN_PC0,
        .active_low    = 1,
        .default_trigger = "none",
    },
    {
        /* "power" led, yellow */
        .name           = "Active",
        .gpio           = AT91_PIN_PC1,
        .default_trigger = "heartbeat",
    }
};
```

U rozhraní ethernet byla změna oproti kitu od Atmelu pouze v připojení signálu určeném pro přerušovací systém, který byl původně zapojen na vývod PA7. Kvůli

zjednodušení návrhu desky musel být vývod změněn na PB0. Níže je zobrazená struktura, ve které byly změny provedeny. Zde je možné také určit typ komunikace s fyzickou vrstvou a to přes rozhraní MII a RMII (parametr `.is_rmii = 1`).

```
static struct at91_eth_data __initdata ek_macb_data = {
    .phy_irq_pin    = AT91_PIN_PB0,
    .is_rmii = 0,
};
```

K mikrokontroléru lze připojit až dvě SD karty. Ve vývojovém kitu není jedna pozice zapojena a tudíž je obsazeno pouze jedno rozhraní. V případě tohoto projektu byly osazeny obě pozice, a proto bylo nutné povolit podporu pro oba sloty. Změna v souboru byla provedena přidáním informací o druhém slotu v podobě struktury, která byla přidána pod stávající patřící prvnímu slotu do bloku označeného `/*MCI (SD/MMC)*/`. Navíc musela být provedena úprava jména vývodu pro detekci vložení karty (`.det_pin`) a zakázání zápisu (`.wp_pin`) u prvního slotu. Obsah obou struktur je zobrazen níže.

```
/* MCI (SD/MMC)*/
static struct at91_mmc_data __initdata ek_mmc_data = {
    .slot_b        = 1,
    .wire4         = 1,
    .det_pin       = AT91_PIN_PB21,
    .wp_pin        = AT91_PIN_PB20,
    // .vcc_pin= ... not connected
};

static struct at91_mmc_data __initdata ek_mmc_data2 = {
    .slot_b        = 0,
    .wire4         = 1,
    .det_pin       = AT91_PIN_PB31,
    .wp_pin        = AT91_PIN_PB30,
    // .vcc_pin= ... not connected
};
```

Z důvodu odlišné dispozici konektoru USB bylo také změněno připojení signálu detekující zasunutí zařízení z PC5 na PB19. Proto byla upravena struktura bloku `/* USB Device port */` dle následujícího.

```

/* USB Device port*/

static struct at91_udc_data __initdata ek_udc_data = {
    .vbus_pin      = AT91_PIN_PB19,
    .pullup_pin    = 0,           /* pull-up driven by UDC */
};

```

IDE rozhraní musí mít také svou strukturu, která byla do souboru přidána. Největším problémem byl vývod mikrokontroléru, v úryvku kódu označený jako `.irq_pin` s přiřazením k vstupně/výstupnímu signálu PB10, zapojený v konektoru IDE jako signál INTRQ. Protože jde o signál potřebný pouze pro režim komunikace DMA a ovladače jsou psány pro režim PIO, docházelo hned po inicializaci pevného disku k rozvázání komunikace. Tudíž musel být řádek `.irq_pin` zakomentován a signál nevyužit

```

/* IDE (CF True IDE mode)*/

static struct at91_cf_data ek_cf_data = {
    .chipselct = 4,
    // .irq_pin  = AT91_PIN_PB10,
    .rst_pin   = AT91_PIN_PB11,
    .flags     = AT91_CF_TRUE_IDE,
};

```

Samotné struktury nesou pouze informace o připojených perifériích. Pro správné nakonfigurování sběrnic musejí být zavolány funkce, které využijí právě tyto struktury k určení způsobu konfigurace. Tyto funkce jsou volány ihned po spuštění jádra. Jelikož vývojový kit má možnost připojení různých periférií přes implementované sběrnice, jsou pro jejich ovládání napsány další funkce spouštějící se také při spuštění jádra. Pro zrychlení startu zařízení byly tyto nevyužité funkce zakomentovány. Jedná se především o nezapojené rozhraní SPI, ISI (Image Sensor Interface), TWI, I2C a kodeku zvuku AC97 v tomto projektu. Volání jednotlivých funkcí je uvedeno níže v textu. Také muselo být přidáno volání funkce zajišťující konfiguraci EBI sběrnice pro rozhraní IDE v textu označeno modře.

```

static void __init ek_board_init(void)
{
    /* Serial */
    at91_add_device_serial();
}

```

```

/* IDE */
at91_add_device_cf(&ek_cf_data);
/* USB Host */
at91_add_device_usbh(&ek_usbh_data);
/* USB Device */
at91_add_device_udc(&ek_udc_data);
/* SPI */
// at91_add_device_spi(ek_spi_devices, ARRAY_SIZE(ek_spi_devices));
/* NAND */
ek_add_device_nand();
/* Ethernet */
at91_add_device_eth(&ek_macb_data);
/* MMC */
at91_add_device_mmc(0, &ek_mmc_data);
at91_add_device_mmc(0, &ek_mmc_data2);
/* I2C */
// at91_add_device_i2c(ek_i2c_devices, ARRAY_SIZE(ek_i2c_devices));
// at91_add_device_ssc(AT91SAM9260_ID_SSC, ATMEL_SSC_TX);
/* LEDs */
at91_gpio_leds(ek_leds, ARRAY_SIZE(ek_leds));
/* Push Buttons */
// ek_add_device_buttons();
}

```

Tyto úpravy ještě nejsou dostatečné pro správnou funkci IDE rozhraní a je nutné ještě do souboru `at91sam_device.c` v adresáři `/arch/arm/mach-at91/` přidat několik funkcí, které zajistí správnou inicializaci ovladače v jádře Linuxu. Pro lepší přehlednost práce jsou je tento souboru na přiloženém DVD v adresáři `/Linux/Upravy`.

Do jádra byl implementován soubor ovladače rozhraní IDE z nového jádra 3.2.5 z důvodu otestování. Rychlost inicializace pevného disku se tím zlepšila, a proto byl ovladač v jádře již ponechán. Soubor ovladače `pata_at91.c` je umístěn na přiloženém DVD ve složce `/Linux` a stačí jej pouze vyměnit se stejnojmenným souborem v adresáři zdrojových kódů jádra `/drivers/ata/`. Adresář na DVD obsahuje diskutované soubory zdrojových kódů a komprimovaný soubor kódů jádra. Soubor jádra nelze pod operačním systémem Windows řádně rozbalit, a to z důvodu, že OS Windows není

system case sensitive a dochází tak k přepisu souborů se stejným jménem, ale odlišnou velikostí počátečního písmena.

## 7.4 Souborový systém

Samotné jádro systému neobsahuje žádné programy, a není ho možné samostatně používat. Proto musí být k jádru připojen souborový systém obsahující programy zajišťující běh celého systému. Souborový systém je vlastně soubor programů, který si lze libovolně sestavovat. Většinou jsou tyto programy šířeny v podobě zdrojových kódů a pro použití v přístrojích je nutné všechny kompilovat stejně jako tomu bylo u jádra. Přeložení celého souborového systému je často kvůli velkému množství programů časově náročný úkon trvající i několik hodin až dnů. Proto jsou tyto soubory sestavovány často jednotlivci nebo celými týmy a šířeny jako distribuce pod různými jmény.

Pro embedded systémy existuje více distribucí mezi nejznámější patří příklad Android, uClinux, Buildroot, Ånstrom, Open Wrt. Pro tento projekt byla vybrána distribuce Ånstrom, protože je u ní bohatá podpora pomocí repozitářů a tím jsou instalace programů velice snadné. Navíc existuje webový kompilátor [51] schopný integrovat do souborového systému množství programových balíčků a také podporu pro mikrokontroléry různých typů s tím, že za relativně krátkou dobu vygeneruje již hotový souborový systém. Základní distribuce Ånstrom 2011 určená pro AT91SAM9260 má velikost 19,8 MB. V projektu je používána ve verzi JFFS2 to znamená, že je optimalizovaná pro použití v NAND Flash pamětech.

Aby jádro mělo informaci o tom, kde se souborový systém nachází, musí je dostat od programu U-Boot. Jsou to právě výše diskutované proměnné parametry v kapitole 7.2.2. Jádro systému vyžaduje pro souborový systém umístěný v NAND Flash tyto parametry.

```
setenv bootargs mem=64M console=tyS0,115200  
mtdparts=atmel_nand:4M(bootstrap/uboot/kernel)ro,60M(rootfs),-(data)  
root=/dev/mtdblock1 rw rootfstype=jffs2
```

Pro umístění obrazu souborového systému na pevný či ssd disk je nutné, aby byly předány tyto parametry.

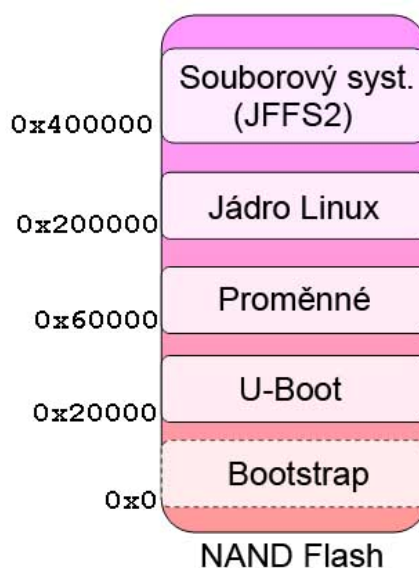
```
setenv bootargs mem=64M console=tyS0,115200 root=/dev/sda1 rw rootfstype=ext2
```

Tyto parametry lze nastavit implicitně ještě před kompilací programu U-Boot nebo je lze změnit přes sériový port kanálu DBG při startu zařízení v menu U-Boot.

## 8 Zavedení programového vybavení do zařízení

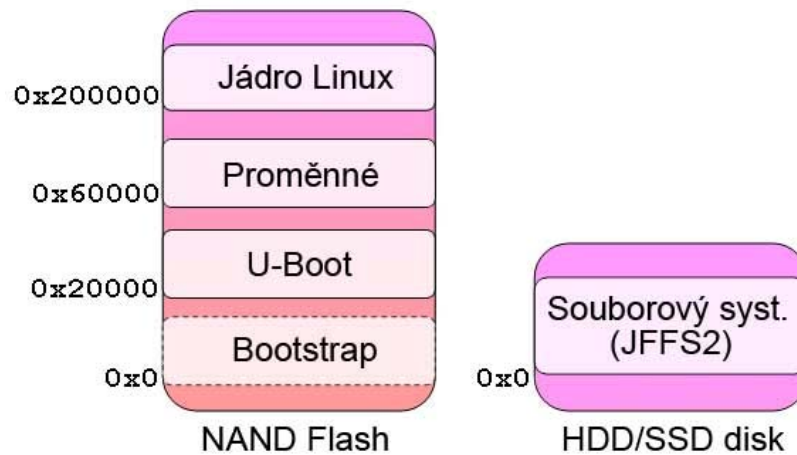
Pro nahrávání programů paměti připojených k mikrokontrolérům firmy Atmel slouží program SAM-BA. Tento program je volně ke stažení ze stránek [www.atmel.com](http://www.atmel.com) ve verzích pro operační systém Windows a Linux. SAM-BA je nástroj pro rychlé ISP (In-System) programování mikrokontrolérů přes rozhraní JTAG, USB a COM. Přes tento program lze přímo přistupovat a ovládat všechny paměti připojené k mikrokontroléru. Pro větší uživatelský komfort jsou už přímo v programu nadefinovány parametry připojených pamětí a testovací rutiny pro vývojové kity od firmy ATMEL. Tento program je při tvorbě projektu využit pod operačním systémem Windows.

Než bude popsán způsob zavedení bylo by vhodné popsat doporučené umístění programů Bootstrap, U-Boot, proměnných parametrů, jádra Linux a souborového systému v paměti. Pro NAND Flash paměť je doporučeno dle zdroje [at91.com](http://at91.com) [49] rozdělení dle obrázku 16. Tomuto rozdělení odpovídá první proměnný parametr.



Obrázek 19: Rozmístění programů v NAND Flash paměti [49]

Pro umístění souborového systému na pevném disku musí být Bootstrap, U-Boot, proměnné parametry a jádro Linux v paměti NAND Flash, protože zaváděcí program nepodporuje zavádění z jiných pamětí než DataFlash a NAND Flash. Pro tento projekt bude rozdělení paměti podle druhého proměnného parametru a tomu odpovídá rozdělení z obrázku 19.



Obrázek 20: Rozmístění programů v NAND Flash a pevném disku

Bylo by zbytečné zde vysvětlovat ovládání programu SAM-BA, když je pro něj na stránkách at91.com k dispozici přehledný manuál [49]. Bude diskutován pouze postup jak zavést souborový systém na pevný disk.

Před připojením zařízení k napájecímu napětí je nutné nainstalovat na osobní počítač program SAM-BA a před jeho spuštěním připojit USB kabel k zařízení do konektoru kanálu USB Device. Po připojení zařízení k napájení se automaticky nainstalují ovladače pro mikrokontrolér. Při spuštění programu SAM-BA je nutné vybrat z nabízených zařízení vývojový kit AT91SAM9260-EK. Poté nahráním všech souborů ze složky /SERVER umístěné na doprovodném DVD do NAND Flash paměti podle adresového dělení z obrázku 18. Po dokončení všech operací je možné se k zařízení připojit pomocí sériového kanálu DBG přes program např. Hyperterminal a přihlásit se do konzole nebo je zde další varianta a to přihlásit se pomocí rozhraní ethernet pomocí protokolu SSH. Uživatelské jméno je při přihlášení ROOT, heslo není vyžadováno (stačí stisknout klávesu ENTER).

Nyní je připraveno zařízení k nahrání souborového systému na pevný disk. Lze provést pomocí USB Flash klíčenky, na kterou se zkopíruje archiv ze složky /JFFS přiloženého DVD. Před samotným rozbalením souborového systému je nutné pevný disk zformátovat na systém ext2. Poté stačí na něj archiv rozbalit čímž je nainstalován souborový systém Linuxu na pevný disk.

Pouze tyto operace nestačí a je potřeba restartovat zařízení s připojeným kanálem DBG a po načtení řádky „Hit any key to stop autoboot“ v terminálu stisknout libovolnou klávesu než vyprší zobrazovaný čas. Tímto je spuštěna konfigurace programu, kterou značí řádek U-Boot>. Zde stačí zadat postupně následující příkazy.

```
setenv bootargs mem=64M console=tyS0,115200 root=/dev/sda1 rw rootfstype=ext2
```

```
saveenv
```

```
reset
```

Po restartu zařízení je nyní využíván souborový systém z připojeného pevného disku.

## 9 Instalace balíků pro Linux

Instalaci softwarových balíků lze provést třemi způsoby. První způsob je časově nejnáročnější. Jedná se o stáhnutí požadovaného programu z FTP serveru repozitáře spolu s jeho závislostmi. Zde je nutné vědět jaké závislosti program ke své funkci potřebuje. Pro serverovou aplikaci je potřeba přibližně 20 závislostí o celkové velikosti přes 20 MB. Bude-li při instalaci chybět jediná závislost a zařízení nebude připojeno k internetu bude celá instalace ukončena. Proto je lepší zvolit druhý způsob tj. mít zařízení připojeno k internetu a pokud možno instalovat pomocí manažeru aplikací, v tomto případě `opkg`. Instalace probíhá zcela automaticky. Třetí způsob je nejpohodlnější a jedná se o využití webového programu „Online builder“ distribuce Ångstrom. Přímou na stránkách distribuce je tak možné sestavit vlastní souborový systém se zvolenými předinstalovanými programovými balíčky.

V projektu je využít „Online builder“, ve kterém byly přeinstalovány serverové aplikace webového serveru s rozšířením PHP, Samba a NTP serveru. Po připojení souborového systému byly aplikace již při startu funkční a nakonfigurované do implicitního nastavení.

Před použitím softwarového manažeru je vhodné aktualizovat jeho databázi závislostí pomocí příkazu „`opkg update`“. Tím bude zajištěna instalace nejnovějších verzí balíků.

### 9.1 Samba server

V případě, že by tato aplikace nebyla v systému k dispozici. Je možné ji nainstalovat při funkčním připojení k internetu jednoduchým příkazem „`opkg install task-nas-server-samba`“.

Funkci aplikace lze nastavit konfiguračním souborem „`samba.conf`“ v adresářové struktuře zařízení `/etc/`. Celé nastavení zde nebude vzhledem ke složitosti programu popisováno a je možné jej najít v manuálu výrobce [52].

### 9.2 Web server s rozšířením jazyka PHP

Samotné nainstalování webového serveru není složité, problém nastává s rozšířením podpory PAH, pro které je vyžadováno množství přídavných knihoven. Byl využit „Online builder“, kde bylo možné zvolit balíček s tímto rozšířením. Takto nastavený balíček byl k dispozici pouze pro program `Lighttpd`.

Další možností je nainstalovat balíčky pomocí `opkg` manažera, avšak nebyl tento způsob vyzkoušen. Konfigurace se provádí konfiguračním souborem `lighttpd.conf` v adresáři `/etc/`.

### **9.3 MySQL server**

Databáze typu SQL již nebyla v nabídce webového programu, a proto byla instalována pomocí manažera. Její nainstalování a následné spuštění bylo provedeno příkazem „*opkg install mysql5-server*“. Databázi nebylo již třeba dále nastavovat.

### **9.4 Server SSH, SFTP a SCP**

Program typu SSH slouží pro připojení k shellu (příkazovému řádku v Linuxu) pomocí počítačové sítě. V základní verzi souborového systému je aplikace již nainstalována. Jedná se o známý Dropbear SSH server. Jelikož je vhodné použít v projektu pro přenos souborů zabezpečený protokol sftp, který podporuje serverová aplikace OpenSSH, je nutné Dropbear odinstalovat z důvodu jejich konfliktu v systému. K odinstalování slouží příkaz „*opkg remove dropbear -force -depends*“. Po provedení operace je možné nainstalovat pomocí příkazu „*opkg install openssh*“ celý programový balík se serverovými aplikacemi typu SSH, SFTP a SCP.

### **9.5 DLNA server**

Pro serverovou službu DLNA v distribuci Ångstrom existuje jediný program jménem uShare. Jeho instalace se provádí příkazem „*opkg install ushare*“. Způsob konfigurace je popsán na stránkách výrobce [53].

### **9.6 NTP server**

Službu síťového času lze nainstalovat pomocí příkazu „*opkg install ntp-utils*“. Tuto aplikaci se v projektu nepodařilo zprovoznit tak, aby fungovala spolehlivě.

### **9.7 DHCP a DNS server**

Jelikož nebyly tyto služby primárním cílem práce, byly pouze nainstalovány, ale nebyla provedena jejich konfigurace. Nainstalování těchto služeb je možné příkazem „*task-nas-server-dnsmasq*“.

## 10 Výsledky měření na zařízení

Měřena byla pouze deska plošných spojů verze 1. K měření proudů a napětí byl použit digitální multimetr Mastech MY68.

### 10.1 Spotřeba zařízení

Měření spotřeby zařízení bylo provedeno v každé napájecí větvi odděleně pomocí propojek SJ1 a SJ2. Při měření minimálních a maximálních hodnot byla uvažována výpočetní zátěž systému. Při zátěži systému byla kopírována data v paměti. Při zapnutí zařízení byl po dobu roztáčení disku zvýšen proudový odběr ze zdroje. První měření probíhalo nejprve bez disku se zavedeným souborovým systémem z NAND Flash. Druhé po plném roztočení pevného disku. Hodnota těchto proudů byla změřena orientačně pomocí multimetru větvích 1,8 V, 3,3 V a 5 V. Výsledek měření je uveden v tabulce 5. Měření bylo provedeno orientačně z důvodu, že naměřené hodnoty odpovídají pouze jedinému pevnému disku IBM Deskstar 46.1 GB, pro jiné disky bude odběr odlišný.

Tabulka 5: Naměřené hodnoty proudů

	Proud [mA]			
	Bez disku		S diskem	
Větev	Zátěž	Bez zátěže	Zátěž	Bez zátěže
1,8 V	210	160	215	170
3,3 V	150	100	160	102
5 V	363	264	760	600
12 V	-	-	600	410

Z naměřených hodnot plyne, že samotné zařízení má zanedbatelný odběr i při zátěži, ale u pevného disku jsou hodnoty proudů při různém zatížení dosti odlišné. Po výpočet maximálních a minimálních hodnot výkonů v tabulce 6 byl použit vzorec 2.

$$P = U \cdot I \quad [W; V, A] \quad (2)$$

kde:  $P$  – výkon

$U$  – napětí

$I$  – proud

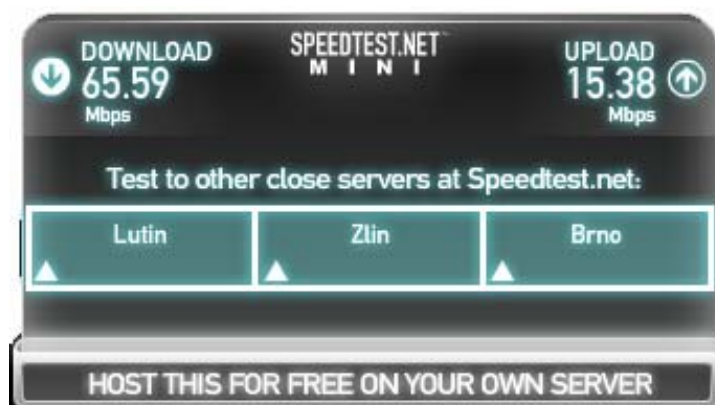
Tabulka 6: Výkon odebíraný ze zdroje

	Výkon [W]			
	Bez disku		S diskem	
Větev	Zátěž	Bez zátěže	Zátěž	Bez zátěže
1,8 V	0,38	0,29	0,39	0,31
3,3 V	0,50	0,33	0,53	0,34
5 V	1,82	1,32	3,8	3
12 V	-	-	7,2	4,92

Z vypočtených hodnot vyplývá maximální odběr zařízení v zátěži přibližně 1,82 W. Největší spotřebu měl pevný disk přibližně kolem 10 W.

## 10.2 Propustnost sítě ethernet

Propustnost sítě byla měřena pouze orientačně a to webovou službou. Měření probíhalo v reálných podmínkách přímým propojením osobního počítače se zařízením pomocí webového měřiče rychlosti speedtestnet mini dostupného ze stránek jako soubor zdrojových kódů [54], který byl zprovozněn serverovou aplikací Lighttpd nainstalovanou v zařízení. Výsledek měření je na obrázku 21. Rychlost uploadu byla přibližně 15,38 Mb/s a downloadu 65,59 Mb/s. měření bylo prováděno celkem 10x, vždy s podobným výsledkem.



Obrázek 21: Měření rychlosti připojení mezi dvěma počítači

## 11 Závěr

Cílem teoretické části práce bylo prozkoumání konkurenčních výrobků na trhu v roce 2012 a seznámit se s datovými úložišti a jejich základními vlastnostmi. Následně byla představena architektura rodiny ARM9 a rozebrány základní vlastnosti jader u velmi rozšířených rodin ARM9v4T a ARM9E.

Třetí kapitola je věnována srovnání mikrokontrolérů pro použití v multimediálních zařízeních od různých výrobců. Sloužila také k diskusi o jejich vybavenosti a možnosti připojení periferních integrovaných obvodů. Část je zaměřena na výběr nejvhodnějšího typu jak z finančního, tak z technologického hlediska.

Pro systém byl vybrán méně výkonný mikrokontrolér AT91SAM9260 s jádrem ARM926E-JS z důvodu snížení technologického požadavku na provedení desky plošných spojů. Dále je část věnována jeho adresovému prostoru a problematice připojení různých paměťových modulů a periférií pomocí vysokorychlostní sběrnice EBI, zejména byla řešena problematika pamětí NAND Flash, které se vyrábějí ve dvou koncepcích, s odlišným protokolem komunikace. Nedílnou součástí teoretické části práce je problematika propojení rozhraní CF a IDE pro připojení pevných počítačových disků. Také je zde uveden popis zaváděcího programu, který se stará o zavedení programového vybavení do paměti SDRAM a jeho následného spuštění. Závěr teoretické části tvoří klasifikace počítačových programů určených pro vývoj aplikací mikrokontrolérů rodiny ARM. Práce měla za úkol osvojit si základní principy používané u technologie ARM9 a z poznatků navrhnout schéma a desku plošných spojů

Šestá kapitola je věnována návrhu desky. Je zde diskutován požadavek na napájecí zdroj a výrobcem doporučené požadavky na provedení plošného spoje. Z finančních důvodů nebyla některá doporučení dodržena, proto musel být řešen výskyt problému u vysokofrekvenčních částí pamětí SDRAM. Uvedený problém byl odstraněn impedančním přizpůsobením vodivé cesty taktovacího signálu. Je zde také popis zapojení periferních obvodů. Cílem kapitoly byl návrh, realizace a oživení desky plošných spojů s následnou diskusí objevených chyb. Konec kapitoly je věnován druhé verzi serveru, která nebyla z časových důvodů zrealizována.

Následující část práce byla věnována nejzákladnějšímu popisu programů nezbytných pro funkci operačního systému Linux. Tato kapitola má přiblížit problematiku vývoje programového vybavení pro embedded zařízení používající operační systém. Je zde uveden popis instalace vývojových nástrojů a úpravy zdrojových kódů programů Bootstrap, U-Boot a jádra Linuxu. Část byla také věnována možnostem kompilace již přednastaveného souborového systému.

V závěru práce jsou uvedeny orientačně změřené hodnoty proudů a přenosové rychlosti webového serveru. Z naměřených hodnot vyplývá, že samotný příkon serveru nepřekračuje 2 W, což je velice příznivá hodnota při reálné přenosové rychlosti stahování 65 Mb/s a nahrávání 15.5 Mb/s. Při použití pevného počítačového disku se příkon zvýšil téměř 6 krát. K projektu nebyl bohužel, z finančních důvodů připojen SSD disk, čímž by se požadavek na spotřebu elektrické energie rapidně snížil. Místo disku je možné použít jen SDHC karty čímž může být spotřeba serveru ještě více snížena.

Podařilo se splnit všechny podmínky zadání práce. Do zařízení byla nainstalována Linuxová distribuce Ängstrom, spuštěna služba Samba, MySQL a webový server s rozšířením PHP. Nad rámec práce byla v zařízení zprovozněna multimediální služba DLNA.

Jelikož v průběhu projektu přestala být Linuxová distribuce Jaunty Jackalope podporována. Na přiloženém DVD jsou k dispozici podklady pro výrobu plošných spojů, zdrojové kódy jednotlivých programů a virtuální obraz disku s nainstalovanými vývojovými aplikacemi. Součástí jsou také vybrané, volně šiřitelné katalogové listy použité v tomto projektu.

Závěrem bych jen dodal, že náklady za materiál nepřesáhly celkovou hodnotu 2 500 Kč bez disku a to jen z důvodu, že nebyl použit vícevrstvý plošný spoj. Tato cena je oproti konkurenci vysoká.

## 12 Literatura

- [1] Velký test NASů II – jednodiskové umí i streamovat na mobil. In: *Pc tuning* [online]. 2011 [cit. 2012-05-16]. Dostupné z: <http://pctuning.tyden.cz/hardware/disky-cd-dvd-br/20752-velky-test-nasu-ii-jednodiskove-umi-i-streamovat-na-mobil>
- [2] ŠÍPEK, Petr. Srovnávací test síťových úložišť (NAS). In: *Extrahardware* [online]. 2012 [cit. 2012-05-16]. Dostupné z: <http://extrahardware.cnews.cz/srovnavaci-test-sitovych-ulozist-nas>
- [3] HIGGINS, Tim. New To The Charts: Seagate BlackArmor NAS 110. In: *Smallnetbuilder* [online]. 2009 [cit. 2012-05-16]. Dostupné z: <http://www.smallnetbuilder.com/nas/nas-reviews/30982-new-to-the-charts-seagate-blackarmor-nas-110>
- [4] KEJDUŠ, Radek. 100TiB NAS monstrum od Synology – vstup do nejvyšší ligy. In: *Pc tuning* [online]. 2011 [cit. 2012-05-16]. Dostupné z: <http://pctuning.tyden.cz/component/content/article/1-aktualni-zpravy/21270-100tib-nas-monstrum-od-synology-vstup-do-nejvyssi-ligy>
- [5] File Transfer Protocol. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2012, 2. únor 2012 [cit. 2012-05-16]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/File\\_Transfer\\_Protocol](http://cs.wikipedia.org/wiki/File_Transfer_Protocol)
- [6] Samba (software). In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2012, 10. únor 2012 [cit. 2012-05-16]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Samba\\_%28software%29](http://cs.wikipedia.org/wiki/Samba_%28software%29)
- [7] ČEVELA, Lubomír. Samba - Tanec s Okny: Samba je když... In: *Root* [online]. 8. únor 2000, 2000 [cit. 2012-05-16]. Dostupné z: <http://www.root.cz/clanky/samba-je-kdyz/>
- [8] Digital Living Network Alliance. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2012, 14. květen 2012 [cit. 2012-05-16]. Dostupné z: [http://en.wikipedia.org/wiki/Digital\\_Living\\_Network\\_Alliance](http://en.wikipedia.org/wiki/Digital_Living_Network_Alliance)
- [9] ARM. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2012 [cit. 2012-05-16]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/ARM>
- [10] NXP Semiconductors. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2012, 4. květen 2012 [cit. 2012-05-16]. Dostupné z: [http://en.wikipedia.org/wiki/NXP\\_Semiconductors](http://en.wikipedia.org/wiki/NXP_Semiconductors)

- [11] NXP SEMICONDUCTORS. *LPC3220/30/40/50: Product datasheet*. 2011, 79 s. Dostupné z: [http://www.nxp.com/documents/data\\_sheet/LPC3220\\_30\\_40\\_50.pdf](http://www.nxp.com/documents/data_sheet/LPC3220_30_40_50.pdf)
- [12] NXP SEMICONDUCTORS. *LH7A404: Preliminary datasheet*. 2007, 75 s. Dostupné z: [http://www.nxp.com/documents/data\\_sheet/LH7A404\\_N.pdf](http://www.nxp.com/documents/data_sheet/LH7A404_N.pdf)
- [13] Marvell Technology Group. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2012, 26. březen 2012 [cit. 2012-05-16]. Dostupné z: [http://en.wikipedia.org/wiki/Marvell\\_Technology\\_Group](http://en.wikipedia.org/wiki/Marvell_Technology_Group)
- [14] Kirkwood series. MARVELL. *Marvell.com* [online]. 2012 [cit. 2012-05-16]. Dostupné z: <http://www.marvell.com//embedded-processors/kirkwood/>
- [15] MARVELL. *Marvell 88F6192 SoC with Sheeva Technology* 2009, 2 s. Dostupné z: [http://www.marvell.com/embedded-processors/kirkwood/assets/88F6192-003\\_ver1.pdf](http://www.marvell.com/embedded-processors/kirkwood/assets/88F6192-003_ver1.pdf)
- [16] MARVELL. *Marvell 88F6192 SoC with Sheeva Technology: Product overview*. 2009, 2 s. Dostupné z: [http://www.marvell.com/embedded-processors/armada-300/assets/armada\\_310.pdf](http://www.marvell.com/embedded-processors/armada-300/assets/armada_310.pdf)
- [17] Press Release. PLX TECHNOLOGY. *PLX Technology* [online]. 2009 [cit. 2012-05-16]. Dostupné z: <http://www.plxtech.com/about/news/pr/2009/0105>
- [18] PLX TECHNOLOGY. *OXE810DSE: Product Brief* [online]. 2009, 2 s. Dostupné z: <http://www.plxtech.com/download/file/726>
- [19] Texas Instruments. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2012 [cit. 2012-05-16]. Dostupné z: [http://en.wikipedia.org/wiki/Texas\\_Instruments](http://en.wikipedia.org/wiki/Texas_Instruments)
- [20] TEXAS INSTRUMENTS. *OMAP-L138 C6-Integra: Datasheet*. 2011, 284 s. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/omap-l138.pdf>
- [21] ATMEL. *AT91RM9200: Summary list*. 2009, 41 s. Dostupné z: <http://www.atmel.com/Images/1768s.pdf>
- [22] *AT91 ARM Thumb Microcontrollers AT91SAM9260*.: Atmel, 2009. 798 s. [cit. 2011-05-02]. Dostupný z WWW: <http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/313405/ATMEL/AT91SAM9260.html>
- [23] ATMEL. *AT91SAM9263: Summary list*. 2009, 51 s. Dostupné z: <http://www.atmel.com/Images/6249s.pdf>
- [24] ATMEL AT91SAM9260B-QU: Mikrokontrolér ARM; PQFP208. *TME Czech Republic* [online]. 2012 [cit. 2012-05-16]. Dostupné z: <http://www.tme.eu/cz/details/at91sam9260b-qu/mikroprocesory-atmel-arm/atmel/#>

- [25] *Technický list Small-Block vs. Large-Block NAND Flash Devices.*: Micron, 2005. 14 s. [cit. 2011-05-02]. Dostupný z WWW: <<http://www.micron.com/~/media/Documents/Products/Technical%20Note/NAND%20Flash/136tn2907.ashx>>.
- [26] *AT91SAM9260-EK Evaluation Board* .: Atmel, 2007. 39 s. Dostupný z WWW: [http://www.atmel.com/dyn/resources/prod\\_documents/doc6234.pdf](http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc6234.pdf)
- [27] *SD Specifications: Part 1 Physical Layer Simplified Specification.*: SD Group, 2010. 153 s. [cit. 2011-05-02]. Dostupný z WWW: <[https://www.sdcard.org/downloads/pls/simplified\\_specs/Part\\_1\\_Physical\\_Layer\\_Simplified\\_Specification\\_Ver\\_3.01\\_Final\\_100518.pdf](https://www.sdcard.org/downloads/pls/simplified_specs/Part_1_Physical_Layer_Simplified_Specification_Ver_3.01_Final_100518.pdf)>.
- [28] PELIKÁN, Jaroslav. Rozhraní pevných disků. FAKULTA INFORMATIKY MU. *Masarykova Univerzita* [online]. 2012 [cit. 2012-05-16]. Dostupné z: <http://www.fi.muni.cz/usr/pelikan/ARCHIT/TEXTY/ROZHRHD.HTML>
- [29] T. MCLEAN, Peter. MAXTOR CORPORATION. *Information Technology: AT Attachment-3 Interface*. 7b. 2008, 182 s. Dostupné z: <http://147.145.44.154/ftp/t13/project/d2008r7b-ATA-3.pdf>
- [30] *Katalogový list Interfacing a Hard Disk Drive to an AT91RM9200 Microcontroller, Application Note.*: Atmel, 2006. 7 s. [cit. 2011-05-02]. Dostupný z WWW: [http://www.atmel.com/dyn/resources/prod\\_documents/doc6023.pdf](http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc6023.pdf)
- [31] *LM1117/LM1117I 800mA Low-Dropout Linear Regulator*. 2006, 23 s. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm1117-n.pdf>
- [32] *Aplikační poznámka Signal Integrity and Power Integrity Analysis around the SDRAM Bus Activity Using an AT91SAM9260 Microcontroller.*: Atmel, 2009. 51 s. Dostupný z WWW: <http://www.atmel.com/Images/doc6386.pdf>
- [33] *SAM9-L9260 development board Users manual.*: Olimex, 2008. 25 s. [cit.2011-05-02]. Dostupný z WWW: <http://www.olimex.com/dev/pdf/ARM/ATMEL/SAM9-L9260.pdf>
- [34] *Synchronous DRAM 256Mb: x4,x8,x16 SDRAM.*: Micron, 2010. 77 s. Dostupný z WWW: <http://www.micron.com/get-document/?documentId=469>
- [35] *K9K2G08U0M Flash Memory*. 2001, 39 s. Dostupné z: <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/37907/SAMSUNG/K9K2G08U0M.html>
- [36] *K9K5608U0M Flash Memory*. 2000, 26 s. Dostupné z: <http://www.datasheets.org.uk/K9K5608U0M-YCB0-datasheet.html>

- [37] *Katalogový list SN74LVC4245A Octal Bus Transceiver and 3.3V to 5V shifter with 3 state outputs.*: Texas Instruments, 2005. 13 s. [cit. 2011-05-02]. Dostupný z WWW: <http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/28540/TI/SN74LVC4245A.html>
- [38] *Katalogový list SN74LVC1G125 single bus buffer gate with 3-state outputs.*: Texas Instruments, 2000. 8 s. [cit. 2011-05-02]. Dostupný z WWW: <http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/28526/TI/SN74LVC1G125.html>
- [39] *Katalogový list DP83848C PHYTER 10/100 Ethernet Physical Layer.*: National Semiconductor, 2005. 82 s. [cit. 2011-05-02]. Dostupný z WWW: <<http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/182822/NSC/DP83848C.html>>.
- [40] *800mA Low-Dropout Linear Regulator.* 2004, 21 s. Dostupné z: <http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/8597/NSC/LM1117.html>
- [41] *NICKEL-METAL HYDRIDE RECHARGEABLE BATTERIES.* 2011, 8 s. Dostupné z: <http://www.gme.cz/dokumentace/540/540-051/dsh.540-051.1.pdf>
- [42] *SP3232-True +3.0V to +5.5V RS-232 Transceivers.* 2011, 18 s. Dostupné z: <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/80640/SIPEX/SP3232.html>
- [43] SIPEX. *Intelligent RS232 Transceivers.* 2003. Dostupné z: <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/80627/SIPEX/SP3243.html>
- [44] Installing Gnuarm ARM Toolchain on Ubuntu 9.04. *NUTAKSAS* [online]. 2009 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: <http://blog.nutaksas.com/2009/05/installing-gnuarm-arm-toolchain-on.html>
- [45] HERMANN, Uwe. Building an ARM cross-toolchain with binutils, gcc, newlib, and gdb from source. [online]. 2009 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: <http://hermannuwe.de/blog/building-an-arm-cross-toolchain-with-binutils-gcc-newlib-and-gdb-from-source>
- [46] Denx Webhome. *DENX Home page* [online]. 2012 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: <http://www.denx.de/en/News/WebHome>
- [47] Denx > DULG >ELDK. *DENX Home page* [online]. 2012 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: <http://www.denx.de/wiki/DULG/ELDK>
- [48] DM9161-DS 10/100 Mbps Fast Ethernet Physical Layer. DAVICOM. *Davicom* [online]. 2012 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: [http://www.davicom.com.tw/userfile/24247/DM9161-DS-F05\\_091008.pdf](http://www.davicom.com.tw/userfile/24247/DM9161-DS-F05_091008.pdf)
- [49] *Linux4sam: Nicolas Ferre* AT91.com, 2011. [cit. 2011-05-02]. Dostupný z WWW: <<http://www.at91.com/linux4sam/bin/view/Linux4SAM/GettingStarted>>.

- [50] The DENX U-Boot and Linux Guide (DULG) for canyonlands. DENX. *DENX* [online]. 2012 [cit. 2012-05-17]. Dostupné z: <http://www.denx.de/wiki/DULG/Manual>
- [51] Narcissus - online image builder. *GeeXboX* [online]. 2012 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: <http://narcissus.angstrom-distribution.org/>
- [52] *The Official Samba 3.5.x HOWTO and Reference Guide*. 2003. Dostupné z: <http://www.samba.org/samba/docs/man/Samba-HOWTO-Collection/>
- [53] A free UPnP A/V & DLNA Media Server for Linux. *GeeXboX* [online]. 2012 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: <http://www.samba.org/samba/docs/man/Samba-HOWTO-Collection/>
- [54] Become a Host. *Speedtestnet* [online]. 2012 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: <http://www.speedtest.net/host.php>

## 13 Seznam obrázků

Obrázek 1: Blokové schéma AT91SAM9260 [22].....	16
Obrázek 2: Rozdělení paměťového prostoru AT91SAM9260 [22] .....	17
Obrázek 3: Blokové schéma EBI [22] .....	18
Obrázek 4: Připojení paměti k EBI [22] .....	19
Obrázek 5: Připojení paměti k EBI, vlevo organizace 2×8b, vpravo 2×16b [22] .....	20
Obrázek 6 : Zapojení SDRAM [22].....	21
Obrázek 7: Připojení NAND flash paměti [26] .....	22
Obrázek 8: Organizace paměti Small block [25].....	23
Obrázek 9: Organizace paměti Large block [25].....	24
Obrázek 10: Propojení CF a IDE [30] .....	26
Obrázek 11: Algoritmus bootování [22].....	28
Obrázek 12: Napěťové regulátory .....	32
Obrázek 13: Doporučené zapojení SDRAM [32].....	33
Obrázek 14: Délkové přizpůsobení délky signálových cest.....	34
Obrázek 15: Připojení NAND Flash K9K2G08U0M.....	35
Obrázek 16: Propojení logických obvodů s konektorem IDE .....	36
Obrázek 17: Detail připojení baterie k DPS .....	37
Obrázek 18: IDE rozhraní DPS verze 2.....	40
Obrázek 19: Rozmístění programů v NAND Flash paměti [49] .....	56
Obrázek 20: Rozmístění programů v NAND Flash a pevném disku.....	57
Obrázek 21: Měření rychlosti připojení mezi dvěma počítači.....	62

## 14 Seznam tabulek

Tabulka 1: Srovnání síťových úložišť [1],[2],[3] .....	8
Tabulka 2: Přenosové rychlosti EIDE [28] .....	25
<b>Tabulka 3: Rozmístění vývodů IDE konektoru [29] .....</b>	<b>26</b>
Tabulka 4: Podporované Nand Flash paměti [22] .....	29
Tabulka 5: Naměřené hodnoty proudů .....	61
Tabulka 6: Výkon odebíraný ze zdroje .....	62

## 15 Seznam symbolů, veličin a zkratek

SoC	System-on-a-Chip
IP	Intellectual Property
DSP	Digital Signal Processor
EBI	External Bus Interface
SDRAM	Synchronous Dynamic Random Access Memory
CF	CompactFlash
IDE	Integrated Drive Electronic
SSD	Solid State Drive
DLNA	Digital Life Network Alliance
MySQL	My Structured Query Language
PHP	Hypertext Preprocessor
CISF	Common Internet File System
LAN	Local Area Network
NAS	Network-attached storage
FTP	File Transfer Protocol
SFTP	Secure File Transfer Protocol
TCP	Transmission Control Protocol
WWW	World Wide Web
NTP	Network Time Protocol
RAID	Redundant Array of Inexpensive Disks
SMB	Server Message Block
USB	Universal Serial Bus
DSP	Digital Signal Processor
MIPS	Million Instruction Per Second
VOIP	Voice over Internet Protocol
SATA	Serial ATA
I2C	Inter-IC-bus
RMII	Reduced Media Independent Interface
MII	Media Independent Interface
GMII	Gigabit Media Independent Interface
BGA	Ball Grid Array
QFP	Quad Flat Package
PQFP	Plastic Quad Flat Package
LQFP	Large Quad Flat Package
TFBGA	Thin Profile Fine Pitch Ball Grid Array
ROM	Read-Only Memory
EPROM	Erasable Programmable Read-Only Memory
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory
GB	Giga Byte
Gb	Giga bit
Gb/s	Giga bit per second
IDE	Integrated Development Environment
EIDE	Enhanced Integrated Development Environment
PATA	Parallel ATA
JTAG	Joint Test Action Group
PIO	Pin Input/Output

DMA	Direct memory access
MAC	Media Access Contro
PHY	Physical Layer
MAN	Metropolitan Area Network
GNU	GNU is Not Unix
EMC	Electromagnetic Compatibility
LED	Light-Emitting Diode
RTC	Real-time clock
DBG	Debug
PDA	Personal Digital Assistant
DPS	Deska Plošných Spojů

## 16 Seznam příloh

Příloha 1	Plošný spoj verze 1
Příloha 2	Plošný spoj verze 2
Příloha 3	Výpis ze sériového kanálu DBG