

# HARDWARE EMULATOR OF SMALL HOME COMPUTER ZX SPECTRUM

**Petr Šimon**

Master Degree Programme (2), FIT BUT

E-mail: xsimon10@stud.fit.vutbr.cz

Supervised by: Richard Růžicka

E-mail: ruzicka@fit.vutbr.cz

**Abstract:** The eight-bit computer ZX Spectrum was created 30 years ago. It was extremely popular in its time and it still has many fans, who develop new applications and games. There are also many new hardware extensions like IDE HDD driver, SD/MMC memory driver etc. The aim of this thesis is the design and development of the ZX Spectrum emulator, which will be based on modern FPGA technology and it will use modern periphery like VGA monitor, SD/MMC memory cards etc.

**Keywords:** ZX Spectrum, Z80, emulator, FPGA, VHDL, FITkit

## 1 ÚVOD

ZX Spectrum je legendární 8-bitový počítač od firmy Sinclair. První počítač ZX Spectrum přišel na trh v roce 1982. Díky své „lidové“ ceně a jednoduchosti ihned zaznamenal obrovský úspěch. Významné jsou především dva modely: ZX Spectrum 48K a dále jeho značně vylepšená verze ZX Spectrum 128K. Jako obrazový výstup se používala klasická analogová televize, načítání a ukládání dat bylo realizováno záznamem zvuku na klasickou magnetofonovou pásku. Součástí počítače byla i vestavěná klávesnice.

I já jsem podlehl kouzlu osmibitových počítačů ZX Spectrum, a proto jsem se rozhodl, že v rámci své diplomové práce navrhnu a sestavím vlastní hardwarový emulátor počítače ZX Spectrum 128K, který bude založen na současných moderních elektronických součástkách.

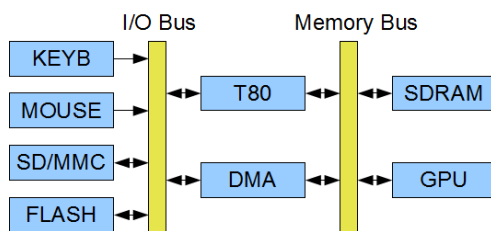
## 2 ARCHITEKTURA POČÍTAČE ZX SPECTRUM 128K

Všechny počítače řady ZX Spectrum používají osmibitový procesor Z80A od firmy Zilog. O vše ostatní se stará speciální zákaznický obvod ULA. Ten zajišťuje generování video-signálu pro televizi, generování hodin pro procesor, přístup do paměti, obnovování paměti, řadič klávesnice, magnetofonu a interního zvukového generátoru a pochopitelně umožňuje přístup CPU k těmto periferiím tak, aby televizní signál nebyl nikdy přerušen a aby nedocházelo k žádným kolizím na sběrnici. Viz [1].

Paměť počítače je rozdělena na dvě části: ROM a RAM. V paměti ROM o velikosti 32KB je uložen interpret jazyka BASIC, editor, obslužné rutiny pro klávesnici, magnetofon apod. Paměť RAM je veliká 128KB. Protože procesor má pouze 16-bitovou adresovou sběrnici (umožňuje adresovat max. 64KB), je nutné k adresování celé paměti použít speciální obvod, který je součástí ULA.

## 3 NÁVRH EMULÁTORU POČÍTAČE ZX SPECTRUM 128K

Celý emulátor realizuji pomocí technologie FPGA. Místo televizoru využívám k zobrazování klasický PC monitor s rozhraním VGA. Magnetofon pro ukládání/načítání dat jsem nahradil pamět'ovou kartou SD/MMC a jako vstup používám PS/2 klávesnici. Blokové schéma emulátoru je na obr. 1.



**Obrázek 1:** Blokové schéma emulátoru

K samotnému vývoji jsem se rozhodl využít vývojový kit FITkit [2], který vznikl na FIT VUT Brno. Kit je pro mou implementaci výhodný, protože obsahuje dostatečně velké a výkonné FPGA, SDRAM paměť o velikosti 8MB, VGA výstup pro monitor a PS/2 vstup pro PC klávesnici a myš.

Na internetu je k dispozici otevřená implementace procesoru Z80 v jazyce VHDL [3], kterou ve své práci využívám. Mým úkolem tedy je navrhnout a implementovat obvod ULA, který se stará o přístup do paměti, vykreslování obrazu na monitor, obsluhu klávesnice a všech ostatních periferií. Dále naprogramovat aplikaci (operační systém), která bude umožňovat načítání a spouštění aplikací z SD/MMC karet.

#### 4 HARDWAROVÉ ŘEŠENÍ EMULÁTORU

Oddělené paměti ROM a RAM jsem sloučil a nahradil je pamětí SDRAM přítomnou na FITkitu. Na začátku adresového prostoru se nachází oblast paměti RAM (128KB), za ní následuje oblast paměti ROM (32KB). Původní obsah ROM s BASICem je uložen ve FLASH paměti, která je součástí FPGA. Po resetu počítače se z FLASH paměti překopíruje obsah ROM do SDRAM paměti do oblasti ROM. Procesor je od SDRAM paměti oddělen speciálním obvodem, který zajišťuje správné mapování výstupní adresy procesoru na adresu paměti SDRAM.

Významnou částí práce je implementace obvodu ULA. Tu zde však nebudu popisovat, protože při implementaci jsem se musel držet přesné specifikace obvodu, kterou čtenář nalezne např. v [1].

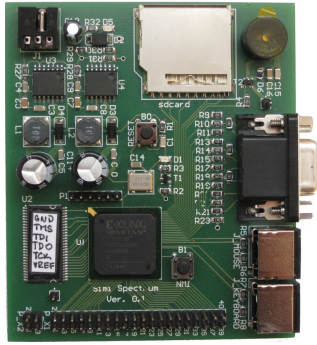
Protože procesor je relativně pomalý a při práci s pamět'ovou kartou se mezi kartou a pamětí přenáší velké objemy dat, vytvořil jsem speciální DMA řadič, který umožňuje jak přesuny bloků dat v rámci paměti, tak i mezi pamětí a I/O periferiemi (např. pamět'ová karta). DMA řadič navíc umožňuje procesoru adresovat celý adresový prostor použité SDRAM (8MB). To je dále využito při spouštění aplikací z karty, viz kap. 5.

Dále jsem naprogramoval řadič SD/MMC karet a také řadič PS/2 myši, která sice nebyla standardní součástí počítačů ZX Spectrum, v pozdějších dobách ale vznikaly různé externí adaptéry pro připojení myši a také mnoho aplikací a her, které ji dokáží využít.

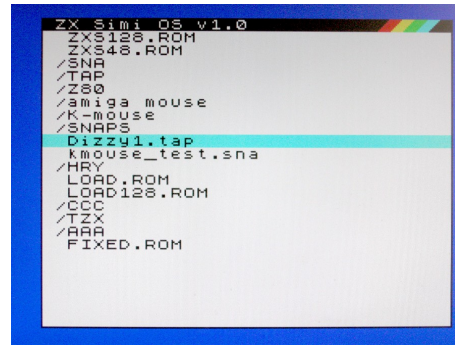
#### 5 OPERAČNÍ SYSTÉM ZX SIMI OS

Pro přístup k pamět'ové kartě a spouštění aplikací bylo nutné implementovat vlastní operační systém ZX Simi OS (obr. 3). Protože jeho velikost přesahuje dostupných 32KB paměti ROM, musí být naprogramován jako „uživatelská aplikace“ uložená v RAM a využívat ke své činnosti obslužné rutiny (klávesnice, kreslení, psaní znaků apod.), které jsou součástí BASICu uloženého v ROM. Vzhledem k tomu, že RAM je obsazena tímto operačním systémem, vznikla potřeba přidat nový adresový prostor RAM (dále označováno ARAM) pro spouštěné aplikace. Ten jsem v paměti SDRAM umístil až za oblast ROM.

Systém v současné chvíli podporuje pamět'ové karty se souborovým systémem FAT32. Aplikace mohou být na kartě uloženy buď ve formátu obrazu paměti (SNA, Z80), nebo jako obraz magnetofono-



Obrázek 2: Plošný spoj



Obrázek 3: Ukázka operačního systému ZX Simi OS

nové pásky (TAP, TZX). Operační systém při spuštění souboru SNA nebo Z80 přenesse pomocí DMA řadiče obraz do oblasti ARAM, nastaví paměťový řadič v FPGA tak, aby procesor pracoval s adresovým prostorem ARAM a nakonec si procesor z obrazu načte obsah všech svých registrů (včetně registru Program Counter), čímž dojde ke spuštění aplikace.

Spouštění obrazů kazet (TAP, TZX) je složitější. V první řadě bylo nutné upravit obslužné rutiny magnetofonu v standardní ROM ZX Spectrum 128K tak, aby se data nevezorkovala z magnetofonového vstupu, ale aby se četla ze speciálního registru DMA řadiče. Při spuštění souboru TAP nebo TZX operační systém pomocí DMA řadiče zkopíruje obraz do volného místa v paměti SDRAM. Poté nastaví DMA řadič tak, aby ukazoval na začátek tohoto obrazu a následně spustí modifikovanou ROM ZX Spectrum 128K. Po zadání příkazu „LOAD“ v BASICu začne upravená rutina číst magnetofonová data z DMA řadiče a zavádět program.

## 6 VÝSLEDNÁ FYZICKÁ REALIZACE

Po úspěšném otestování emulátoru na platformě FITkit jsem se rozhodl vytvořit vlastní plošný spoj, který bude co nejmenší a nejjednodušší. Návrh vychází z platformy FITkit. Kvůli použitému FPGA s BGA pouzdrem bylo nutné použít čtyřvrstvý plošný spoj. Výsledek je na obrázku 2. Z obrázku je vidět, že nejvíce místa na plošném spoji zabírají konektory a stabilizátory napětí. Celý emulátor je ve skutečnosti realizován pouze pomocí FPGA a SDRAM.

Plošný spoj byl také navržen s ohledem na možné další rozšiřování. Z FPGA je na externí konektor na plošném spoji vyvedeno 40 univerzálních I/O pinů, ke kterým je možné připojit libovolné další externí periferie, např. joystick, gamepad, HDD apod.

## 7 ZÁVĚR

V rámci své diplomové práce se mi podařilo navrhnout a implementovat emulátor počítače ZX Spectrum 128K s použitím moderní technologie FPGA. Pro emulátor jsem dále vytvořil vlastní plošný spoj a ověřil na něm funkčnost celého emulátoru ZX Simi. Pro práci s SD/MMC kartami jsem naprogramoval vlastní operační systém ZX Simi OS.

## REFERENCE

- [1] SMITH, Chris. *The ZX Spectrum ULA : How to Design a Microcomputer*. First Edition. United Kingdom : ZX Design and Media, 2010. 300 s. ISBN 978-0-9565071-0-5.
- [2] FITkit. FIT VUT BRNO. [online]. [cit. 2011-12-30]. Dostupné z: <http://merlin.fit.vutbr.cz/FITkit/>
- [3] OpenCores: T80 CPU. [online]. [cit. 2012-03-02]. Dostupné z: <http://opencores.org/project,t80>