

CONSTRUCTION AND CONTROL OF MULTIPURPOSE MILLING MACHINE

Daniel Michalík

Master Degree Programme (2.), FEEC BUT

E-mail: xmicha59@vutbr.cz

Supervised by: Josef Eliáš

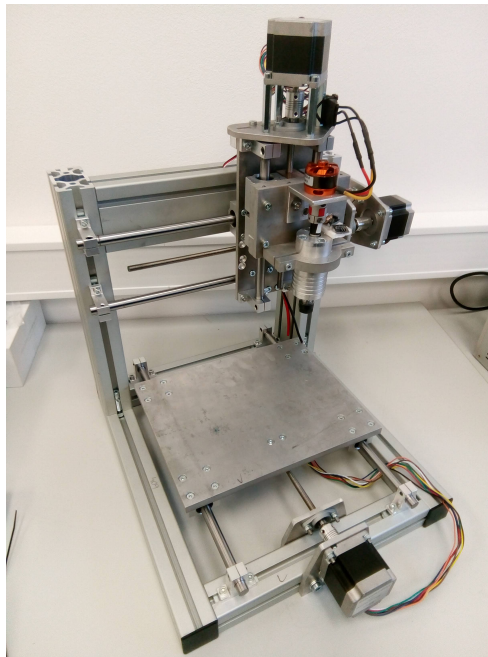
E-mail: xelias10@vutbr.cz

Abstract: This project deals with the design of multipurpose milling machine for production of prototype small components made from soft materials and PCBs. Project contains design of mechanical construction, individual parts of driving machine and graphic user interface.

Keywords: CNC, milling, ZYNQ, FPGA, ARM, RTOS, spindle, router

1 ÚVOD

Tato práce se zabývá návrhem a konstrukcí víceúčelového obráběcího stroje pro prototypování a malé série dílů. Návrh stroje je rozdělen na mechanickou, hardwarovou a řídicí část. V oblasti mechaniky je zvolena konstrukce pro výborné vlastnosti a dobrou dostupnost. Část hardware popisuje volbu jednotlivých elektronických částí v systému. Nejobsáhlejší částí je samotné řízení, které je složeno z tří podčástí: generování signálů pro motory, výpočet trajektorií a řídicí rozhraní pro uživatele. Díky využití řídicího systému na čipu je možné stroj rozšířit prakticky o jakýkoli nástroj jako je pipeta na osazování DPS, nebo třeba dispenzer. Díky těmto vlastnostem je tento stroj určen pro využití v malých dílnách nebo pro vývojové aplikace.

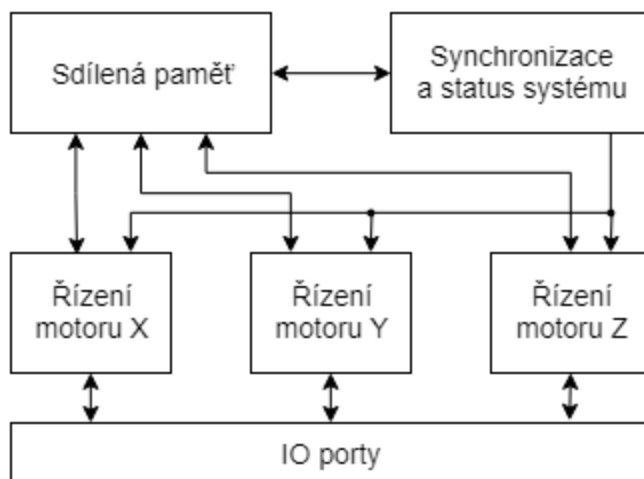


Obrázek 1: Víceúčelový obráběcí stroj

2 ŘÍZENÍ

Celé řízení je navrženo na systému na čipu ZYNQ [1] (dále jen SoC). Jedná se o systém obsahující dvoujádrový procesor ARM a hradlové pole. Tento koncept byl zvolen z důvodu možné škálovatelnosti systému a synchronizaci na nejnižších vrstvách řízení, aby bylo možné jej rozšířit o další nástroje a jejich použití znamenalo jen přidání další řídicí komponenty do nejnižší vrstvy řízení. K tomu slouží u vybraného SoC sběrnice AXI, která umožňuje ovládání vlastních periférií v FPGA pomocí procesorového jádra ARM.

Budiče krokových motorů jsou ovládány pomocí signálů STEP a DIR, které určují směr a úhel otočení hřídele. Tyto signály je nutné generovat synchronně pro všechny motory. Proto je tato část navržena na hradlovém poli. Každý blok řízení motoru představuje jedna periferie připojená na AXI sběrnici. Periferie jsou paměťově mapované. To znamená že na jejich vstupu je sdílená paměť do které lze zapisovat z procesoru a data dále zpracovávat v hradlovém poli. Pro správnou synchronizaci jsou periferie pro motory propojeny SYNC signálem. Po nastavení jednotlivých periférií jsou synchronně spuštěny všechny periferie.

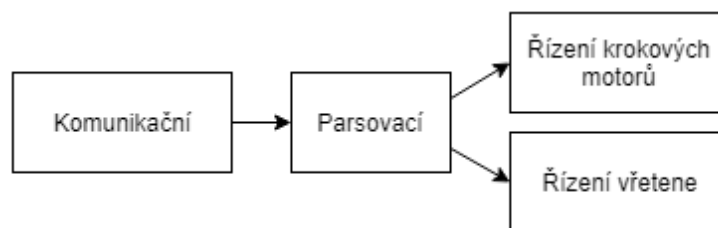


Obrázek 2: Blokový diagram řízení krokovým motorů

Pro první konstrukci je systém navrženy s obráběcím vřetenem. To je tvořeno modelářským motorem a příslušným budičem. Údaj o zpětné vazbě je získán z optického snímače na hřídeli vřetene. Otáčky je nutné udržovat na konstantní rychlosti při obrábění různých druhů materiálu. Z toho důvodu jsou otáčky řízeny pomocí PID regulátoru. Tento blok je realizován obdobně jako řízení krokového motoru tj. paměťově mapovaná AXI periferie.

Výpočetní část je implementována na procesoru ARM. Procesor disponuje matematickým koprocесорem FPU tj. jednotka pro práci s čísli s plovoucí řádovou tečkou. Pro vhodné rozdělení výkonu pro jednotlivé úlohy je použit operační systém reálného času. Komunikace mezi jednotlivými úlohami je realizována s využitím front. Běžící úlohy jsou:

- Komunikační
- Parsovací
- Řízení krokových motorů
- Řízení vřetene



Obrázek 3: Úlohy v systému

Komunikace s vyššími vrstvami probíhá po sériové lince. Jednotlivé příkazy jsou ve formátu řídicí slovo + argumenty. Prefix příkazu určuje zda se jedná o příkaz ovlivňující nastavení jednotlivých částí nebo samotnou část programu. Příkazy pro nastavení jednotlivých částí má prefix *CMD* a část programu má prefixy *G* nebo *M*. Data jsou rozparsována do jednoduché struktury a přeposlány do jednotlivých periférií. Spolehlivost komunikace je ošetřena kontrolním součtem na konci zprávy.

Pro parsování je použit volně dostupný parser GPR[2]. Viz následující příklad (v přírůstkovém režimu): níže uvedený program pro řízení stroje je v jazyce G kód a je nutné ho rozparsovat na jednotlivé příkazy a přepočítat na konkrétní operace na

```

N25 G00 X10 Y10
N26 G01 Z-30 F60
N27 G01 X15 Y15 F100
  
```

Každý řádek v NC programu se nazývá věta. Každá věta má několik slov. Slovo je složeno z adresy (například G) a významu (například 01). Slovo začínající písmenem N označuje číslo řádku. Slovo G00 je lineární posuv maximální rychlostí stroje. G01 je lineární posuv pracovní rychlostí. Následují slova představující souřadnicové argumenty X, Y a Z. Rychlost posuvu je zadána slovem s adresou F v milimetrech za minutu příp. za otáčku.

Jednotlivé textové řetězce jsou rozpoznány a převedeny do numerických hodnot. Následně jsou přepočítány dle konfigurační struktury do hodnot vhodných pro samotné řízení jednotlivých motorů. Konfigurační struktura obsahuje stoupání jednotlivých os, počet kroků motoru na otáčku a mikrokrokování.

Grafické rozhraní slouží pro interakci s uživatelem. Umožňuje samostatně ovládat jednotlivé osy stroje, zadávat program který se má vykonávat a provádět kalibraci. Dále je zde ovládací část pro nástroj který je použit. Pro dispenser lze nastavovat dobu aktivace tlaku. Pro vřeteno lze nastavit otáčky. Grafické rozhraní je program, který komunikuje s procesorem přes sériovou linku. Komunikační část je navržena s ohledem na možnou změnu komunikačního kanálu (například soket). V této části není nutné provádět reálné operace. U této části není nutná krátká doba odezvy, není proto nutné používat reálné operace a samotná aplikace může běžet na jiném stroji například na počítači.

3 MECHANICKÁ ČÁST

Nosná konstrukce celého zařízení je vyrobena z hliníkových profilů a plechů. Jednotlivé osy se pohybují po hlazených tyčích. Pojezd os zajišťují závitové tyče pohybuující mosaznou maticí. Matice jsou vyrobeny s minimální vůlí. Pro obrábění bylo navrženo a vyrobeno vřeteno. Hřídel je uložena v ložiscích s kosoúhlým stykem, která jsou předepnuta pro dosažení minimální vůle[3]. Nástroj je umístěn na přírubě pro snadnou výměnu. Vřeteno lze nahradit držákem pro vakuovou pipetu.

4 HARDWARE

Hardwarová část zařízení je postavena na vývojovém kitu ZYBO Board, který je doplněný externími periferiemi jako jsou drivery pro motory a vřeteno. Ovládání každé osy obsahuje výstupy STEP, DIR, ENABLE a vstup signálu z koncového spínače. Maximální proud driverů je 4A. Krokové motory mají statický moment 1,4 Nm. Pro řízení motoru vřetene byl zvolen RC driver 40A, který je připojen na PWM výstup. Zvolený motor je o výkonu 460W. Zpětná vazba je tvořena reflexní optozávorou.

5 ZÁVĚR

Výsledkem práce by měl být levný lehce modifikovatelný stroj dostupný pro hobby použití. Zdrojové kódy jsou pod otevřenou licencí.

REFERENCE

- [1] ZYNQ 7000 <https://www.xilinx.com/products/silicon-devices/soc/zynq-7000.html>
- [2] G-kód parser <https://github.com/dillonhuff/gpr>
- [3] MAREK, Jiří. *Konstrukce CNC obráběcích strojů*. Praha: MM publishing, 2006. ISBN 12122572.