Předmět: **Projekt řídícího systému hvězdářského dalekohledu**
Datum vzniku / aktualizace dokumentu: **05.10.2001 / 10.06.2002**
Verze dokumentu**: 01** – fonty **Arial CE**
Soubor: **\irc-01.doc**
Zpracoval: **Ing. Luděk KEJZLAR**

Název:

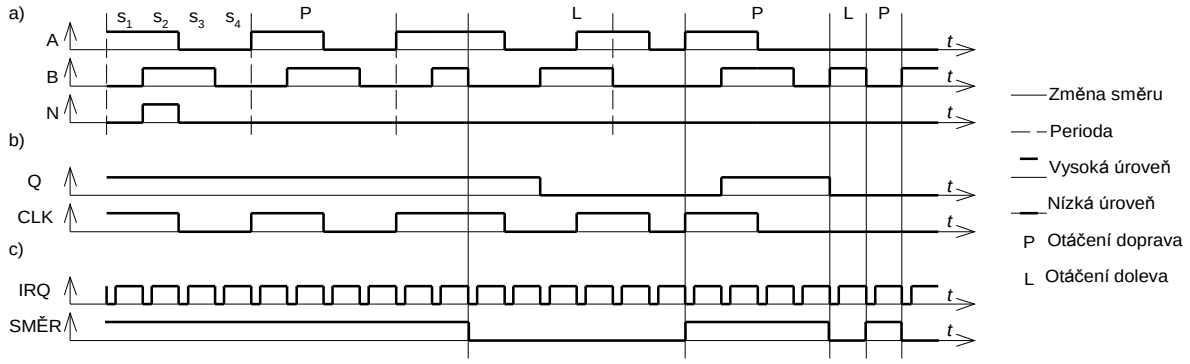
ZPRACOVÁNÍ SIGNÁLU Z OPTOELEKTRONICKÉHO ČIDLA V APLIKACI SNÍMAČE POLOHY ASTRONOMICKÉHO DALEKOHLEDU

1. Inkrementální optoelektronický senzor (IRC)

1.1. Princip

Princip inkrementálního čidla je založen na přerušování světelného paprsku mezi zdrojem a snímačem. K přerušování dochází pohybem kotouče (pravítka) s tmavými ryskami mezi zdrojem a snímačem. Posuv rotoru (pravítka) o krok ***K*** odpovídá jednomu přerušení paprsku a tím vygenerování impulzů výstupního tvarovaného signálu.

V typickém uspořádání je obrazec na rotoru rovnoměrný a skládá se z průhledných a neprůhledných proužků. Nad obrazcem jsou zpravidla upevněny dva snímače (*A* a *B*) vzájemně posunuté o hodnotu ***n * K + K/4*** , čímž se docílí zakódování směru otáčení do vzájemné fáze signálů *A* a *B*. (Posuv snímače může být docílen polohou clony). Fáze může být buď + 90° nebo –90° (+270°). Průběh signálů při otáčení čidla je znázorněn na *Obr. 1*.a. Pootočení o jednu čárku reprezentuje jedna perioda signálu *A* (*B*). Signály *A* a *B* bývají doplněny třetím kanálem *N*, který určuje počáteční polohu rotačního čidla a generuje se na něm pouze jeden impulz za jednu otáčku rotoru. Tento signál lze využít k indikaci nulové polohy čidla a ke kontrole správného počtu impulzů na otáčku.



Obr. 1.a *Výstupní průběhy IRC čidla*

Obr. 1.b *Zpracování klopným obvodem D pro jednoduchou přesnost*

Obr. 1.c *Zpracování čtyřnásobnou přesností (tzv. kvadraturní mód)*

Na Obr. 1.a je jedna perioda signálu ohraničena čárkovanou čarou a čtyři stavy této periody jsou označeny s_1, s_2, s_3 a s_4.

1.2. Problémy IRC čidel

Mezi základní problémy IRC čidel patří elektromagnetické rušení elektronických obvodů čidla. Při tomto rušení mohou vznikat falešné zákmity na výstupech čidla, které mohou být následným zpracováním zpracovány jako změna polohy. Tím dochází k chybě polohy. Je tedy potřeba dbát na správné elektrické propojení čidla a následujících vyhodnocovacích obvodů, správné zemnění a blokování napájení. V náročných aplikacích je možné galvanické oddělení výstupních signálů a napájení čidla.

Dalším problémem je ztráta absolutní polohy čidla při výpadku napájení. Tento problém vyplývá z principu čidla a nelze ho ovlivnit.

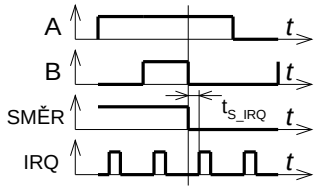
Mezi konstrukční problémy patří odolnost proti prachu, mechanickému namáhání otočného mechanizmu a stárnutí optických obvodů.

1.3. Dekódování signálů z IRC čidla

Teoreticky existují tři možnosti dekódování
- jednonásobná přesnost
- dvounásobná přesnost
- čtyřnásobná přesnost

Prakticky se používá buď jednonásobná přesnost pro jednoduchost zpracování nebo čtyřnásobná přesnost pro možnost čtyřnásobného zpřesnění odečítání polohy.

U obou způsobů zpracování je potřebné zajistit, aby se při změně signálů *A* a *B* nejprve vyhodnotil a případně změnil směr, a teprve poté se vygenerovala aktivní hrana na signálu signalizujícím nastalou změnu signálů *A*, *B*. Pokud bychom toto nedodrželi nastala by při změně směru chyba polohy o jeden impulz, která by se kompenzovala při změně na původní směr (Obr. 2.).



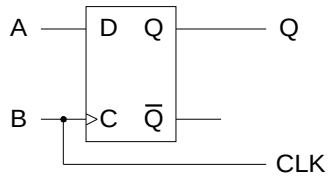
Obr. 2. *Uspořádání a časová následnost signálů z dekodéru*

Je potřeba dbát na to, aby aktivní hrana čítaného signálu nebyla vygenerována současně se hranou změny směru a aby byla zpožděná o čas t_{S_IRQ} , který je dán typem použitého čítače (Obr. 2).

V neposlední řadě je také potřeba mít na zřeteli, že signál z IRC čidla je ve většině případů asynchronní vzhledem k návazným obvodům a měl by být před zpracováním nebo při něm vzorkován, aby nemohlo docházet k neurčitým stavům.

1.3.1. Jednoduchá přesnost

K dekódování směru lze použít jednoduchou logiku například klopný obvod D zapojený podle Obr. 3. Jako hodinový signál pro čítač polohy lze použít jeden ze signálů *A* nebo *B*.

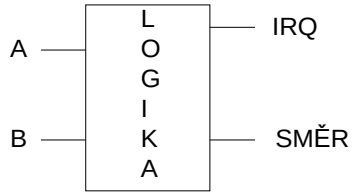


Obr. 3. *Obvod pro převod signálů A a B na signály Směr (Q) a Clk pro jednonásobnou přesnost*

Výstupní signály tohoto obvodu jsou znázorněny na *Obr. 1*. b. Z obrázku je patrno že změna směru je detekována během poloviny periody signálů *A* (*B*). Z obrázku je dále zřejmá neaktivní oblast vyhodnocení polohy a směru čidla.

1.3.2. Čtyřnásobná přesnost

K dekódování směru a odvození hodinového signálu při čtyřnásobné frekvenci je potřeba již složitější logika. Tato logika musí vyrobit hodinový signál, který je rychlejší než signály *A*, *B*. Hodinový signál je součtem derivací signálů *A* a *B*, kde každé změně na signálech *A* a *B* odpovídá impulz signálu *IRQ*. Signál směru musí reagovat také rychleji než v jednonásobném vyhodnocení a měl by se měnit na opačnou hranu nežli je aktivní hrana hodinového signálu.



Obr. 4. *Obvod pro převod signálů A a B na signály SMĚR a IRQ - čtyřnásobná přesnost*

Výsledné průběhy po zpracování takovouto logikou jsou na *Obr. 1*. c.

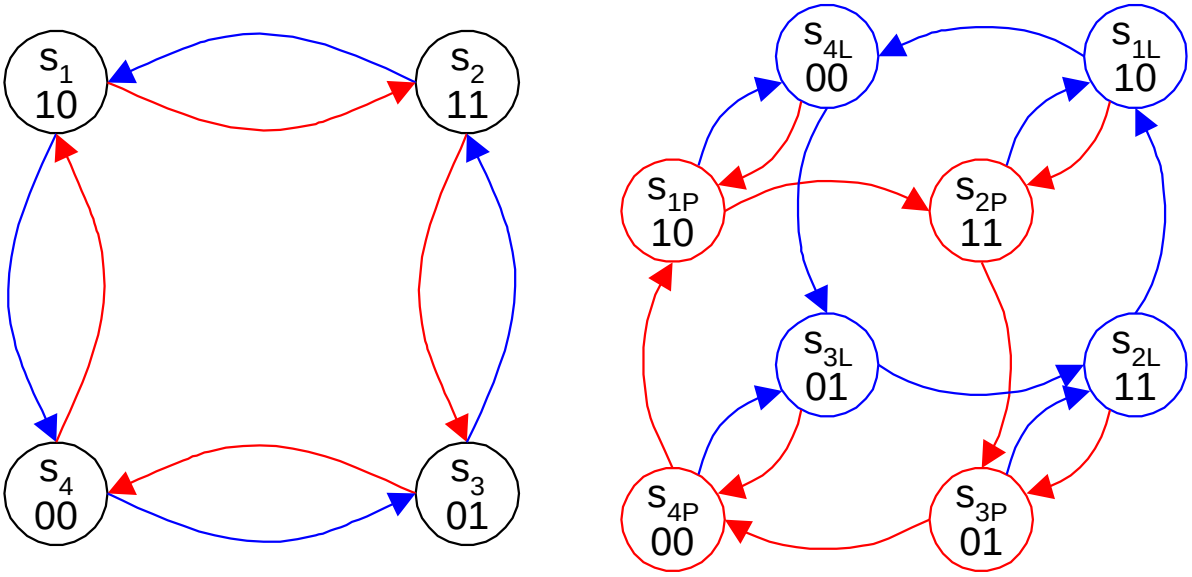
Dekodér tohoto typu lze principielně realizovat více způsoby, například základní logikou, pomocí programovatelných obvodů (GAL ...) nebo mikropočítačem (dále MCU).

1.4. Principy dekodérů

1.4.1. Stavový automat

Stavový automat vychází ze stavového modelu IRC čidla. Dekodér stavový automat vytvoří. Po synchronizaci stavového automatu s IRC čidlem automat kopíruje pohyb čidla a tím v něm udržuje informace o poloze čidla.

Směr otáčení se určuje podle toho kterým směrem jsou tyto stavy procházeny a signál *IRQ* se generuje podle změn stavů. Při jednonásobné přesnosti při přechodu mezi stavy s_1 a s_4, nebo při čtyřnásobné přesnosti mezi libovolnými dvěma stavy s_n a s_{n-1}. Pro tyto účely je možné nakreslit dva stavové modely, oba jsou na Obr. 5. Druhý model má tu výhodu že směr je zakódován přímo ve stavech, které jsou procházeny.



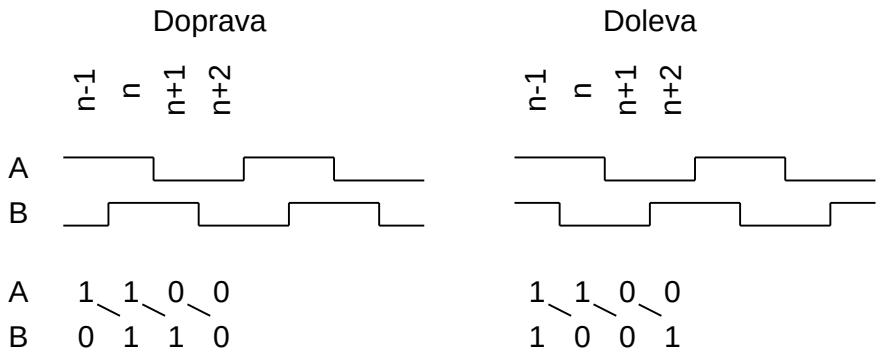
Obr. 5.a *Jednoduchý stavový diagram IRC čidla,* ***5.b*** *složitější stavový diagram IRC čidla*

Na předchozím obrázku jsou barevně odlišeny přechody mezi stavy při otáčení doprava a doleva. V každém stavu je napsána logická hodnota signálů *A* a *B*. Stavy s_{nL} a s_{nP} jsou fyzicky totožné v diagramu jsou rozděleny kvůli rozlišení směru otáčení čidla.

Tento způsob dekódovaní se hodí pro dekódování pevnou, nebo programovatelnou logikou, ale lze ho použít i v mikropočítači. Principielně tento způsob vede na kombinační logiku.

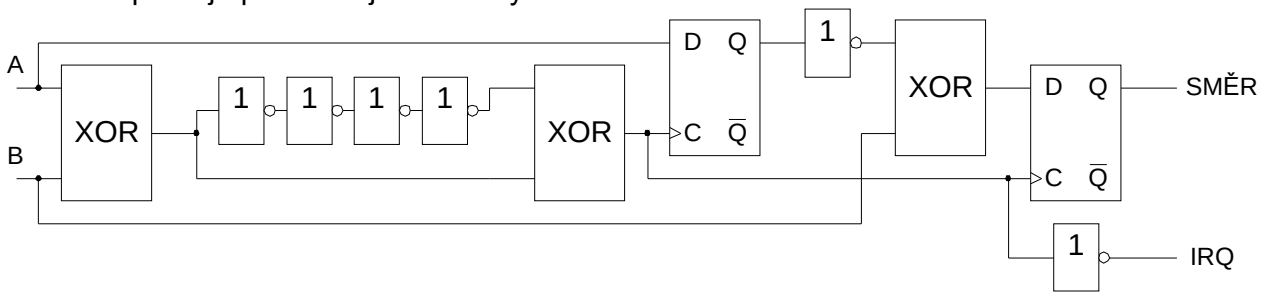
1.4.2.Závislost mezi stavy signálů A a B

Zde se pro dekódování používá závislost mezi fyzickými stavy signálů A a B při otáčení IRC čidla doleva a doprava. Pokud se čidlo točí jedním směrem je *(n-1)* - tý stav vstupu ***A*** stejný jako *n* - tý stav vstupu ***B***. Pokud se čidlo točí druhým směrem, je *(n-1)* - tý stav vstupu ***A*** negací *n* - tého stavů vstupu ***B***. Tato skutečnost dovoluje detekovat změnu směru v 1/4 kroku (tedy okamžitě), což je možné pozorovat na Obr. 6.



Obr. 6. *Ilustrace závislosti mezi stavy signálů*

Tento způsob dekódování se hodí spíše pro dekódování mikropočítačem, ale lze ho použít i pro logiku viz Obr. 7. Výhodou tohoto způsobů je skutečnost že nepoužívá stavový automat a proto je poměrně jednoduchý.



Obr. 7. Obvod pro dekódování signálů IRC čidla v čtyřnásobné přesnosti

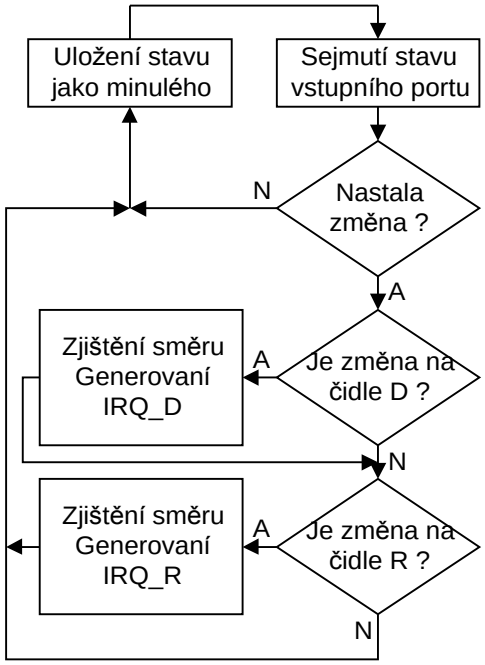
2. DEKODÉR IRC ČIDLA TVOŘENÝ MIKROPOČÍTAČEM

Při návrhu obvodu jsem vycházel z požadavků, aby byl výsledný obvod zároveň dekodérem a čítačem impulzů z čidla. K dalším požadavkům patřila komunikace s nadřízeným systémem, možnost zadání poměru převodu mezi čidlem a otáčeným objektem, čtyřnásobná přesnost dekódování, nutnost obsloužení dvou IRC čidel současně, co možná nejvyšší možná vstupní frekvence signálů čidla a v neposlední řadě i požadavkem možnosti rekonfigurovat obvodové řešení podle dodatečných požadavků. Při návrhu jsem bral v úvahu i konečné použití obvodu jímž je měření polohy astronomického dalekohledu. Tento poslední skutečnost ovlivnila hlavně výběr komunikačního protokolu obvodu. Částečně jsem přihlédl i k ceně obvodu a jeho jednoduché konstrukci a tím i realizovatelnosti.

Z výše uvedených skutečností jsem usoudil že realizace pomocí mikropočítače bude patrně optimálním kompromisem pro všechny uvedené požadavky. Rozhodl jsem se pro použití dvou mikropočítačů, aby byla rychlost zpracování dostatečná. Principielně by se cely systém vešel do jednoho mikropočítače.

2.1. Princip programu dekodéru - mikropočítač 1 - snímač

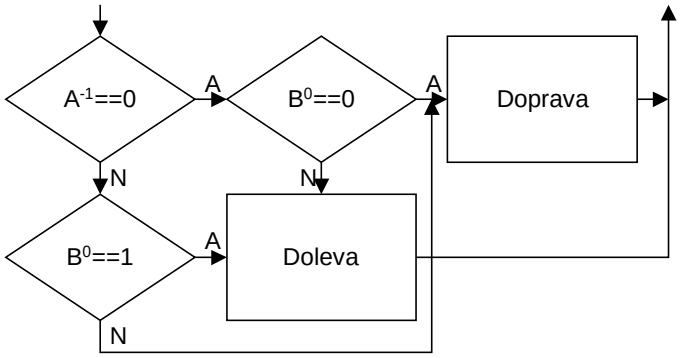
Vyšel jsem z principu popsaného v 1.4.2. a navrhl vývojový diagram na Obr. 8. popisující program, který převádí signál ze dvou IRC čidel na signály *Směr_D, Směr_R, IRQ_D* a *IRQ_R (t.j. směr v osách DE a RA, žádosti snímačů DE a Ra o změny stavu)* .



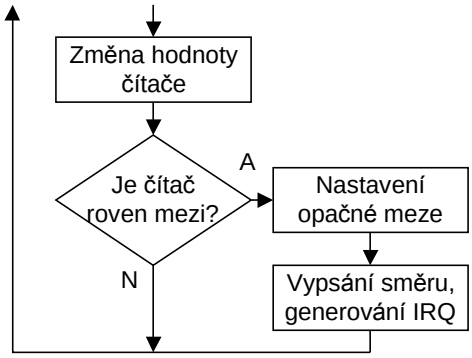
Obr. 8. *Vývojový diagram programu dekodéru*

Program sleduje stav na vstupních pinech mikropočítače a porovnává aktuální stav s předchozím stavem, který si program pamatuje. Pokud se po porovnání dvou stavů zjistí že došlo ke změně, je rozhodnuto na kterém kanále k ní došlo a poté je tato změna dekódována.

Dekódování stavu čidla se provádí podle vývojového diagramu na Obr. 9.a. Zde se rozhodne zda došlo k pootočení čidla doprava nebo doleva a podle toho je vyvolána příslušná reakce. Vývojový diagram této reakce je na Obr. 9.b. Po vyvolání této procedury se nejprve změní hodnota čítače, který realizuje dělící poměr. Velikost dělícího poměru se mění změnou meze čítače. S mezí se čítač posléze porovnává. Pokud je hodnota v čítači menší nežli je hodnota meze, opustí program tuto proceduru. Jinak je do čítače nahrána opačná mez čítače a na příslušné výstupní piny je vypsána hodnota směru pohybu čidla a vygenerován IRQ impulz pro následný čítač v MCU 2.



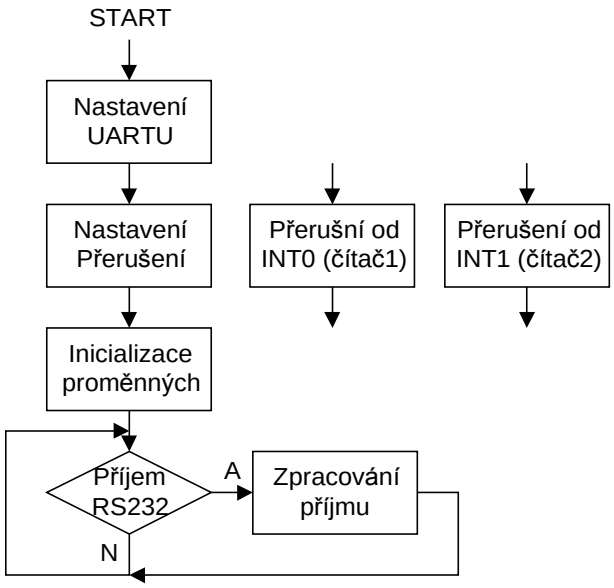
Obr. 9.a *Vývojový diagram dekódování stavu směr*



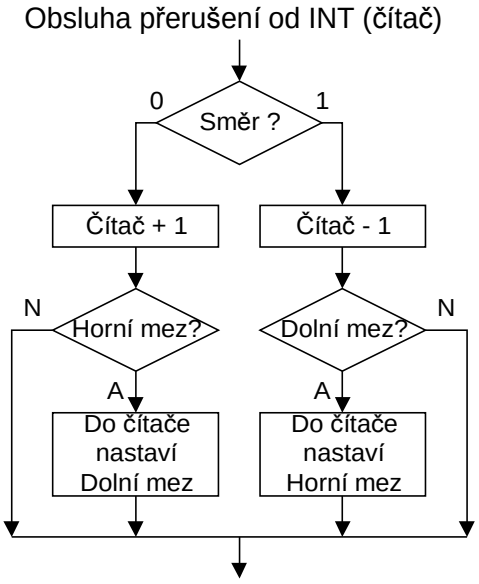
Obr. 9.b *Vývojový diagram na zjištěný*

2.2. Princip obvodu čítače - mikropočítač 2 - čítač

Pro vytvoření dvou nezávislých čítačů jsem se rozhodl použít částečně *HW* vybavení mikropočítače a částečně *SW*. Protože čítač musí být obousměrný (přičítání a odčítání) není možné použít *HW* čítač. Protože běžně dostupná čidla mají maximálně 10000 impulzů rozhodl jsem je pro 16 bitovou délku čítače. Tento čítač umožňuje čítat od 0 do 65535, což dává přesnost přibližně 20 úhlových sec. Tato přesnost pro danou aplikaci postačovala. Změna čítačů na přesnější je možná změnou *SW*, ale dojde tím ke snížení maximální možné čítané frekvence. Vzhledem k návaznosti na použitý komunikační protokol jsem zvolil reprezentaci hodnoty v čítači ve dvojkovém doplňku v rozmezí -32768 ÷ 32767. K této reprezentaci jsem přistoupil také proto, že má čítač nastavitelnou délku a musí se tedy kontroval jestli přetekl nebo podtekl.



Obr. 10.a *Vývojový diagram programu s čítači*



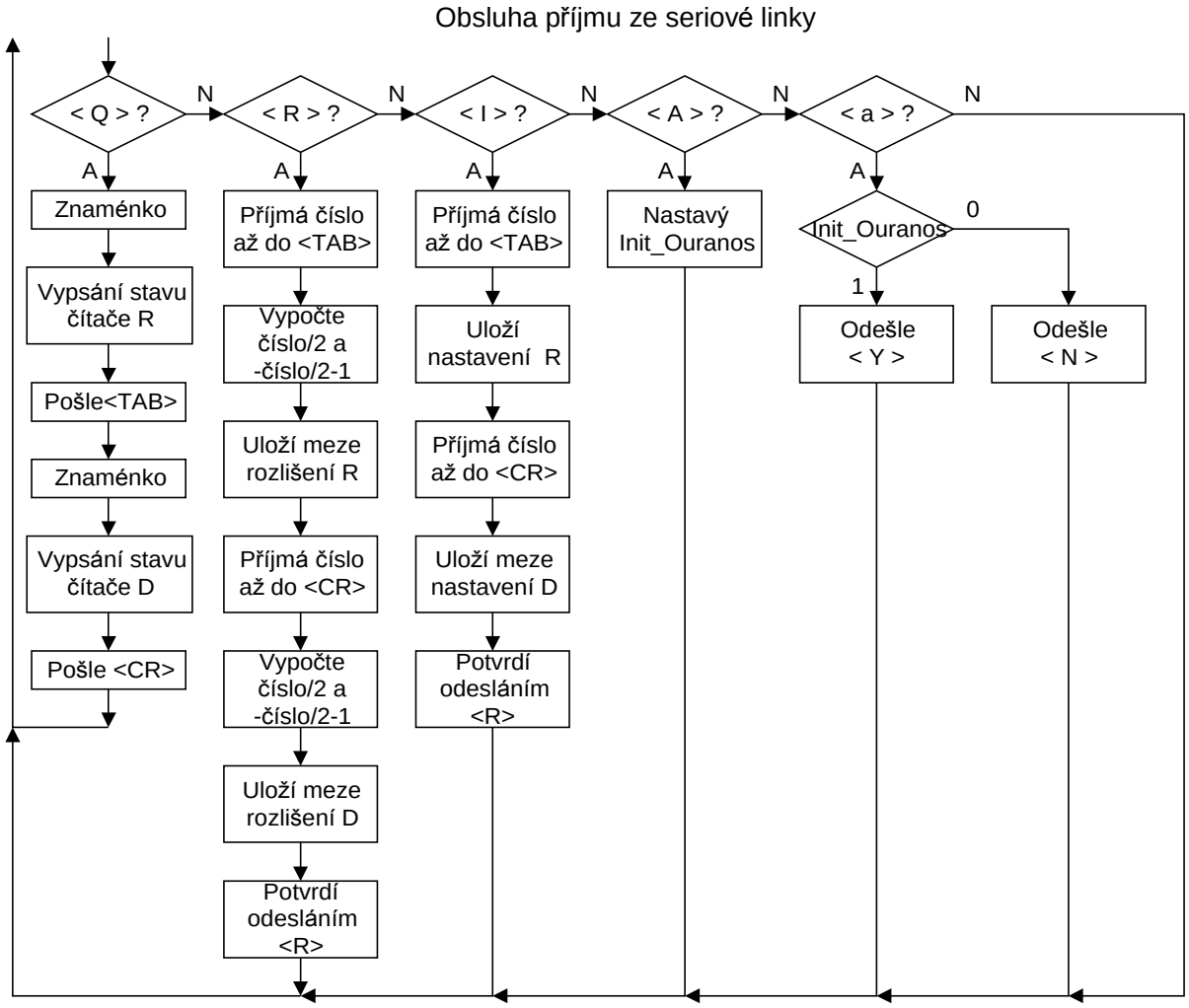
Obr. 10.b *Vývojový diagram čítače*

Vývojový diagram na Obr. 10 znázorňující jak *HW* tak *SW* řešení čítačů. Signál *IRQ* z obvodu dekodéru jsem přivedl na vstup *INT* následujícího obvodu a využil jeho *HW* obvody přerušení, které vyvolají proceduru popsanou na Obr. 10.b. Signál *SMĚR* z dekodéru jsem přivedl na vstupní pin následujícího obvodu, který je testován po vyvolání přerušení a je podle něho rozhodnuto, kterým směrem se čidlo otáčí. Podle směru je čítač buď inkrementován nebo dekrementován. Čítač je ještě doplněn funkcí, která zajistí jeho přetečení podle zadané přesnosti IRC čidla. Po proběhnutí této procedury je obsluha přerušení ukončena.

2.3. Princip komunikace protokolem OURANOS – mikropočítač 2

Pro komunikaci s nadřazeným systémem jsem se rozhodl použít protokol OURANOS a to proto, že je dostatečně jednoduchý, je podporován různými SW produkty tykajícími se astronomie a je volně šířitelný. Komunikace probíhá po RS232 rychlostí přenosu 9600 Baudů, 8 datových bitů BEZ parity a 1 stop bit. Nastavení vychází z nastavení nadřízených programů.

Na Obr. 11. je procedura, která popisuje obsluhu příjmu ze sériové linky, ve které je komunikace implementována. Aby nedocházelo ke změnám hodnoty čítačů během jejich čtení a zápisu, je před těmito operacemi zakázáno přerušení a po nich opět povoleno. Zákaz přerušení je na minimální dobu, takže nedochází ke státě přerušení a tím ztrátě informace.



***Obr. 11**. Vývojový diagram komunikace pomocí protokolu OURANOS*

3. PROGRAMOVÉ VYBAVENÍ SNÍMAČE POLOHY DALEKOHLEDU

Princip uvedený v úvodu této WEB stránky zavazuje autory dát zájemcům k dispozici vyvinuté programy jak v HEX kódu, tak i ve zdrojovém kódu.Tuto zásadu aplikovanou v amatérské astronomii uznáváme a uvádíme:

3.1. Program snímače v HEX kódu pro MCU AT90S1200

3.2. Program čítače v HEX kódu pro MCU AT89C2051

Na požádání autor programu poskytne:

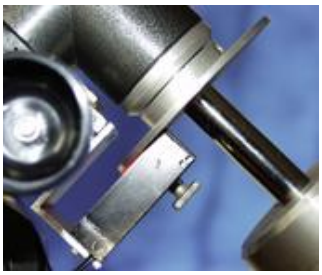
3.3. Program snímače ve zdrojovém kódu pro MCU AT90S1200

3.4. Program čítače ve zdrojovém kódu pro MCU AT89C2051

Uvedené programy jsou volně šiřitelné a jsou určeny pro amatérské využití. Jakékoliv komerční a průmyslové využití musí být potvrzeno předchozím souhlasem autora programu na základě dohody. Případné změny v programech musí být konzultovány s autorem. Jsou-li změny oprávněné, autor zařídí vydání a publikování nové verze – ve prospěch všech dalších zájemců. Jsem si vědom nebezpečí vzniku nekontrolovaných (i pirátských) verzí, přesto se domnívám, že výhody zvoleného postupu převažují nad riziky.

3.5. UMÍSTĚNÍ IRC A IRC-M

Zveřejněné programy odpovídají elektrickému zapojení dle schématu a umístění IRC resp. IRC-M vůči osám dalekohledu dle fotografií:



Obr.12. *vlevo:* ***IRC,*** *vpravo:* ***IRC-M***

Jiné umístění os obou typů IRC **nevyžaduje** jinou verzi programu CITAC, ale stačí v konektoru IRC vzájemně prohodit vývody kanálů ChA a ChB. Byla rovněž vyvinuta nová verze programu SNIMAC - pro volitelný dělící poměr převodu montáže.

Programy jsou označeny názvy:
CITAC-xx (kde xx je číslo verze)
SNIM-yy (kde yy je číslo verze).

Elektrické schéma (168 kB pcx) snímače polohy dalekohledu NAVIGATOR-1 je zveřejněno spolu s popisem HW, rozpiskou použitých součástek a výkresem jednostranného plošného spoje v dokumentu **navigator-1.pdf**

3.5. DOWNLOAD

Pro DOWNLOAD jsou připraveny verze CITAC-26 a SNIM-31.
Balík programů pod názvem **irc-sw-web.zip** obsahuje programy:
CITAC-26.hex
SNIM-31.hex pro dělící poměr 1:1 převodu montáže (např. IRC na osách)

4. DALŠÍ MOŽNOSTI VÝVOJE - DEKODÉR V GALu

Dvojnásobný dekodér v GAL typu 20V10 (možná by kapacitně vyhověl i typ 16V8) bude pravděpodobně použit v další vývojové alternativě snímače polohy dalekohledu.

Do GAL 22V10 by se vešel dekodér a prvních 7 bitů čítače, protože výstupy Q0 a Q1 jsou přímo spodní dva bity čítače. Z výstupu takto koncipovaného dekodéru je pak možné odvést :

- **čtyřnásobnou přesnost / dvounásobnou přesnost,**
- **směr otáčení ve čtyřnásobné přesnosti,**
- **vzorkované signály A a B s frekvencí vzorkování f_{CLK}.**

5. REALIZACE - SCHÉMA - PLOŠNÝ SPOJ

5.1. REALIZAČNÍ ETAPY

Snímač polohy hvězdářského dalekohledu byl realizován ve dvou etapách. První etapa - stavba **FUNKČNÍHO VZORU**, druhá konstrukce **PROTOTYPU.**

Obr. 13. Snímač polohy **NAVIGATOR-1** a senzor **IRC-M**

Obrázek i další dokumenty naznačují, že byla uplatněna kritéria jednoduchosti, snadnosti konstrukce, dostupnosti součástek a malé finanční náročnosti.

5.2. SCHEMA ZAPOJENÍ

Dokument **navigator-1.pdf** (204 kB) obsahuje: **ELEKTRICKÉ SCHÉMA** snímače polohy dalekohledu, **ROZPISKU SOUČÁSTEK** včetně cen, **VÝKRES PS** (jednostranného plošného spoje), popis inkrementálního čidla vyrobeného z myši PC (**IRC-M**) jako náhradu za inkrementální rotační snímač (**IRC**), mechanickou úpravu pro **OTÁČIVÝ POHYB OSY DE** a bohatou **FOTODOKUMENTACI**.

5.3. ZKOUŠKY A VÝSLEDKY DOSAŽENÉ TESTOVÁNÍM PROTOTYPU

Modul NAVIGATOR-1 byl zkoušen ve třech programových konfiguracích:

- **INSTRUKCE PROTOKOLU OURANOS** zadané přes komunikační terminál PC
- Programem **OURANOS UTILITY V 1.3.5** byla potvrzena funkčnost modulu i IRC
- V programu **SKY CHARTS verze 2.74** byly provedeny **provozní zkoušky.**

Ve všech případech modul NAVIGATOR-1 vyhověl předpokládaným požadavkům a fungoval bez zjevných nedostatků. Je však velice obtížné se pokoušet o kvantifikaci dosažených výsledků, neboť tyto jsou závislé i na mnoha vedlejších technických okolnostech.

Objektivně v laboratorních podmínkách byl změřen a lze uvést parametr **rychlost čtení pulzů z IRC**, která dosahovala hodnoty **> 50 kHz** (za určitých okolností až 90 kHz). Tato hodnota umožňuje použít IRC s více než **20000 ryskami /otáčku** bez rizika ztráty kroku při náhlé změně polohy tubusu. Přestože při běžné manuální manipulaci s malými dalekohledy často provádíme (chtěně či nechtěně) velice rychlé změny jejich polohy, při pozorování a pointaci v průběhu dvou měsíců nebyla zaznamenána ztráta pulzů z IRC, nedocházelo ke skluzům v hodnotách RA a DE. Pokud dlouhodobé zkoušky zařízení u více uživatelů ještě objeví nějaké nedostatky, věřím že je vyřešíme.

6. SEZNAM ZKRATEK

IRC - Inkrementální rotační čidlo
IRC-M - Inkrementální čidlo získané z myši pro PC
SW - programové vybavení, (řešení ...)
HW - obvodové vybavení, (řešení ...)

7. SEZNAM LITERATŮRY

*[1] Stanislav Ďaďo, Marcel Kreidl ; **SENZORY a měřící obvody**; ČVUT PRAHA 1996*

[2] Optoelektronické snímače ; LARM a.s ; INCA 1996

ZPĚT