



ПРАКТИЧЕСКИ РЕШЕНИЯ ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА CNC ПОДАВАЩО УСТРОЙСТВО ЗА ЛАМАРИНА

Пенко Митев

Резюме: В настоящия материал се разглеждат проблемите, свързани с изграждането на нискобюджетна система за управление на машина от висок клас (CNC подаващо устройство за ламарина). Основният фокус е върху цялостната синхронизация на отделните устройства и правилната им съвместна работа. Акцентира се върху реално приложените стратегии за изпълнение на задачите, като се вземат под внимание и основните кинематични параметри на системата, от които зависи правилната настройка и функционалност.

Ключови думи: автоматизация, управление, контролер, дисплей, CNC, подаващо устройство, серво задвижване.

1. Въведение

Конструкция на машината - CNC подаващите устройства за ламарина се състоят най-често от XY манипулатор, който подава лист ламарина на преса, като по този начин се формират различни продукти за целите на консервната промишленост, в зависимост от използвания инструмент. Този тип машини се правят напълно автоматизирани чрез допълнителни устройства - ролганг за придвижване на палети с подредени на стек листове, ножичен тип повдигащо устройство, разлистващо устройство за отделяне на един лист, подаващо устройство, базиращо устройство, устройство за отвеждане на готовата продукция.

Система за управление - машината се управлява посредством програмируем логически контролер (PLC), визуализацията се осъществява от чувствителен на допир екран (touch screen), чрез който операторът наблюдава и контролира процеса на работа на машината. Електрическото табло включва допълнително и два броя серво управления, захранване 24VDC, честотни регулатори и комутационна апаратура (контактори, релета и др.)

2. Описание на устройствата

2.1. Електронни устройства

➤ **Програмируем контролер (PLC)** - осъществява цялостното управление на машината - контрол и мониторинг на всички механични устройства. Поради повишените изисквания за бързодействие, машината работи с два отделни PLC контролера. Единият се грижи само за управление на CNC манипулатора, а другият осъществява цялостното управление на всички устройства и синхронизацията им с манипулатора. Управлението на серво задвижванията става посредством метода стъпка / посока (STEP/DIR). Контролерът за управление е снабден с бързи транзисторни изходи (отворен колектор), с възможност за работа до 200 kHz. Контролерите са от среден клас, без функции за последователно изпълнение на позиции.

➤ **Touch екран** - чрез него се осъществява визуализация и контрол на процеса от операторите на машината. В реално време се показват работещите устройства и се изваждат съобщения за грешка ако настъпи аварийна ситуация. Допълнително, могат да се променят настройките на машината, софтуерните ограничения за движение, да се избират и редактират рецепти за различни видове инструменти. Могат да се запаметят до 40 различни рецепти с всички техни параметри.



➤ **Серво управления** - служат за управление на моторите. Както вече беше споменато, управлението става по стъпка и посока (STEP/DIR). Методът е един от най-разпространените сред производителите на серво управления и контролери с възможност за управление по стъпка и посока на стъпкови и серво задвижвания. Настройката на серво управленията става посредством специален софтуер, чрез който могат да се редактират параметрите им, да се прави автоматично разпознаване на част от настройките за конкретния случай, което значително опростява процеса на въвеждане в експлоатация.

2.2. Сензори и актуатори

➤ **Магнитни сензори** - използват се за установяване положението на пневматични цилиндри. На повечето устройства е разположен по един брой, на по-значимата позиция от хода;

➤ **Фото сензори** - използват се за следене на наличието/отсъствието на готовите детайли в устройството за отвеждане на готовата продукция. Ако при движение, даден детайл не се отдели от поансона на пресата или заседне в канала за отвеждане, то е необходимо тя да спре, защото е възможно да направи втори удар върху този детайл, а това износва инструмента.

➤ **Индуктивни сензори** - намират широко приложение в този проект. Следи се нивото на стека с листове и този сигнал е в основата на управлението на ножичното повдигащо устройство. Тоест, когато сигналят от сензора изчезне, ножичното устройство се повдига докато се получи нов сигнал. На работната маса също има разположен индуктивен сензор, който регистрира наличието на лист в зоната на базиращото устройство. Четири броя индуктивни сензори контролират положението на безпрътов пневматичен цилиндър. Две от положенията са крайните му положения, а другите две са междинни положения, свързани с безопасната работа на машината и взаимодействието с другите устройства.

➤ **Сензори за налягане** - използват се за следене налягането в "щипките" на манипулатора. Задава се стойност над която приемаме, че листът е хванат и когато налягането е над тази стойност се получава цифров изход, което гарантира, че листът е хванат успешно. Сензорът продължава да се следи през целия цикъл на подаване към пресата, което ще спомогне да се спре машината, ако листът бъде изпуснат по време на подаването.

➤ **Сензор за двоен лист** - регистрира ако разлистващото устройство е хванало два листа и те се придвижват съвместно към работната маса. Ако настъпи такава ситуация, операторът трябва ръчно да ги премахне и да запусне ново подаване на лист.

3. Задачи и предизвикателства при реализацията на системата за управление

3.1. Правилен избор на размерите на електрическото табло - една от най-важните, но най-трудни задачи. За правилното решение се наложи употребата на CAD система за създаване на 3D модел на разположението на компонентите в таблото. Като се има предвид, че таблата, без значение от производителя, имат стандартни размери, които се увеличават съвместно, то не винаги има подходящ размер за дадения случай, защото стандартните табла са до 1600x1200x300 и след този размер се минава на модулни шкафове, които са гъвкави и могат да се разширяват.

3.2. Избор на PLC

➤ във връзка с бюджета на проекта трябваше да се потърси балансирано решение между цена и качество;

➤ осигуряване на достатъчен брой входове и изходи - това е една от най-важните задачи при изграждането на система за управление на нови машини. Когато една машина се



конструира, за нея се предвиждат определен брой входове(бутони, сензори и др.) и определен брой изходи(лампи, пневматични разпределители, контактори, релета и др.), но когато съоръжението се сглоби, почти винаги се налага допълнително поставяне, например на сензори или пневматични разпределители. Ето защо, когато се оразмерява точният им брой е добре да се добавя 30% свободен ресурс за бъдещо развитие. Тази стойност е доказана от практиката и е балансирана от гледна точка на себестойност. За тази машина бяха предвидени 120 цифрови входа и 80 изхода;

➤ оценка на цикъла на сканиране - обикновено в общата "Автоматика", цикълът на сканиране не е от голямо значение поради сравнително бавния характер на операциите на машината. Поради естеството на този проект, цикълът на сканира е съпоставим като порядък с някои от операциите и се наложи да се търси друго решение за да се използва контролер от среден клас, с който да се реализира система от висок клас.

3.3. Избор на серво управления - това приложение е с високи динамични изисквания. Скоростите и ускоренията са високи и се наложи да се направи проучване на наличните решения на пазара.

3.4. Опроводяване на електрическо табло и разпределителни кутии - поради размерите на машината, не е възможно да се използва само електрическото табло, към което да се свързват сигналите от всички сензори и др. По тази причина се наложи да се разположат 6 разпределителни кутии с различно предназначение, до които стигат множество многожилни проводници, по които минават различните сигнали. Крайните устройства се свързват към тези кутии. По този начин се получава добро разделяне и по-добра възможност за поддръжка на системата. Таблото съдържа над 600 кабелни връзки с различно предназначение и функция.

3.5. Тест на опроводяването - при такива системи е от изключителна важност да се проследи правилното свързване на всеки сигнал. За целта, посредством софтуерния продукт за програмиране се наблюдава статуса на входовете и се задава въздействие на изходите на контролера, като съевременно се проследява и физическото поведение на крайните устройства.

3.6. Структуриране на програмата на подпрограми и реализация - при този проект е изключително важно всяко устройство да е разделено от другите като функция, защото режимът на работа е динамичен и някои от операциите могат да започнат веднага след наличие на всички условия за това. Много от устройствата работят независимо едно от друго и само преходите им между състоянията зависят от състоянията на другите устройства, за да не се стигне до колизионни ситуации. Подпрограми за всяко физическо устройство:

➤ Подпрограма за последователно изпълнение на координати - поради факта, че контролерът за движение също е от среден клас, той не разполага с функции от по-високо ниво за последователно управление до различни XY позиции. Това наложи да се направи подпрограма, която да извършва тази дейност, с всички произтичащи от това контролни функции за правилната ѝ работа и проследяване на грешки.

➤ Изпълнение на рецепти в Touch екрана - свързано е с изискване към машината. Тя трябва да запомня параметрите за различни продукти, което позволява бърза смяна на инструмент и преминаване към нов продукт. Всяка рецепта съдържа около 20 различни параметри.

➤ Алгоритъм за генериране на позиции по различни схеми на обхождане - за да се покрият най-главните случаи на позициониране на машината беше необходимо да се разработят различни схеми на обхождане. По този начин, машината става гъвкава и може да се програмира от самите оператори, посредством задаване само на преместването по X, Y и



броя премествания. Алгоритъмът взема като входни параметри настройките на рецептата от дисплея и генерира координатите на база схемата на обхождане. Това е най-сложната част от програмата, защото всяка схема на обхождане има своите специфики, а трябва да се реализира универсален алгоритъм. Решението му за всички схеми е около 700 реда код на езика C. Контролерът поддържа отделни функционални блокове, които могат да се извикват от основната програма и служат точно за такива сложни пресмятания и други математически операции, които по друг начин не биха били възможни в LADDER програмата.

➤ Синхронизация на два отделни PLC контролера - поради по-високите изисквания от приложението се наложи употребата на два отделни контролера за CNC подавателя. Вторият контролер се грижи само за движението на ХУ манипулатора и всички контролни функции около това движение. Неговият цикъл на сканиране е около 1 ms. Главният контролер се грижи за цялостната работа на машината и всички останали устройства. Той контролира и работата на спомагателния, като му изпраща команди за изпълнение. Неговият цикъл на сканиране е 15-20 ms, което е доста висока стойност за това приложение ако трябваше да управлява и серво задвижванията. От тази гледна точка, разделянето на работата на машината на два контролера е единственият възможен вариант както от функционална, така и от бюджетна гледна точка.

➤ Синхронизация на подаващото устройство с пресата - поради факта, че пресата беше налично съоръжение, със собствен контролер, то синхронизацията с нея се наложи да се извърши посредством размяна на сигнали през solid-state релета, като по този начин машините остават галванично разделени. Това води до известни проблеми, свързани със забавяне на сигналите в двете посоки. Важно условие е манипулаторът да не подава ламарина докато поансона е навлязъл в ламарината, защото така ще се бракува инструментът, който е с висока цена.

➤ Правилен избор на електронна предавка - електронната предавка представлява умножител на импулси. Тя се настройва директно в серво управлението. Например, електронна предавка 4 означава, че на 1 подаден импулс от контролера, сервото ще изпълнява 4 импулса. По този начин се вдига максималната скорост, но е за сметка на минималното преместване.

4. Аналитично пресмятане на необходимите параметри за движение и синхронизация с пресата - поради различния характер на параметрите (напр. брой импулси, честота, механична скорост, брой удари на пресата) се наложи да се разработи математически модел на работата на машината, по който да се пресмятат оптималните параметри за дадените входни условия. Най-общо, параметрите на машината са - скорост на преместване по ХУ, стъпка на преместване по ХУ, брой удари на пресата. На база на тези параметри се изчисляват необходимите времена за работа.

Използвани означения:

- f [Hz] - честота на импулсите на изхода на контролера
- S [mm] - път, който трябва да се измине при дадената стъпка на подавателя
- p [mm] - стъпка на винта
- V [m/min] - линейна скорост без рампа
- t [sec] - общо време за изминаване на път S
- t_m - време за праволинейно равномерно движение
- t_1 [sec] - време за ускорение при трапецовиден закон на движение
- a [m/s²] - ускорение
- e - електронна предавка в серво управленията (умножител)
- n [min⁻¹] - обороти на винта (серво мотора)
- S_1 [mm] - път, изминат по време на ускорението
- q - брой импулси за 1 оборот = 10 000 (от енкодера на мотора)



- Q - общ брой импулси за изминаване на пътя S
- D_e - точност на позициониране при тази електронна предавка и тази стъпка на винта. Не се отчитат механичните хлабини и точността на винта.
- C [min^{-1}] - цикъл (брой удари) на пресата
- C_s [sec] - цикъл на пресата

4.1. Пресмятане на линейната скорост при зададени обороти:

$$V = \frac{n \cdot p}{1000} \left[\frac{m}{\text{min}} \right], \quad V = \frac{2500 \cdot 32}{1000} = 80 \left[\frac{m}{\text{min}} \right]$$

4.2. Общо време за изминаване на пътя S като се добавя времето за ускорение и замънение:

$$t = t_m + 2t_1 [\text{sec}]$$

4.3. Пресмятане на оборотите на винта като функция на броя импулси:

$$n = \frac{f \cdot e}{q} 60 [\text{min}^{-1}], \quad n = \frac{130000 \cdot 3}{10000} 60 = 2340 [\text{min}^{-1}]$$

4.4. Пресмятане на пътя, изминат по време на ускорението:

$$S_1 = \frac{1}{2} a \cdot t^2 [\text{mm}]$$

4.5. Пресмятане на точност на позициониране:

$$D_e = \frac{e \cdot p}{q} [\text{mm}], \quad D_e = \frac{4 \cdot 32}{10000} = 0,0128 [\text{mm}]$$

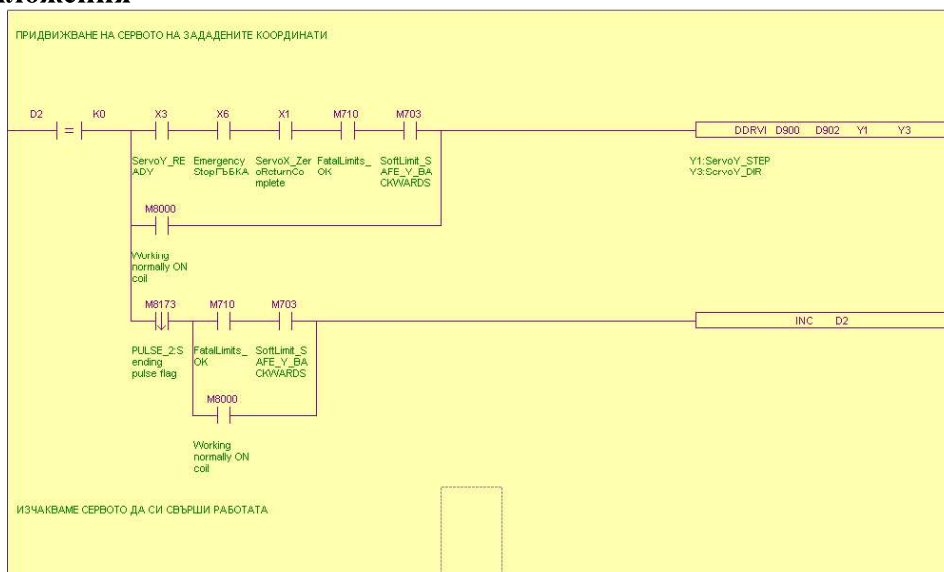
4.6. Пресмятане на необходимия брой импулси за изминаване на път S :

$$Q = \frac{S}{D_e} [\text{брой импулси}], \quad Q = \frac{120}{0,0128} = 9375 [\text{брой импулси}]$$

4.7. Изчисляване на времето за един удар на пресата:

$$C_s = \frac{60}{C} [\text{sec}], \quad C_s = \frac{60}{150} = 0,4 [\text{sec}]$$

5. Приложения



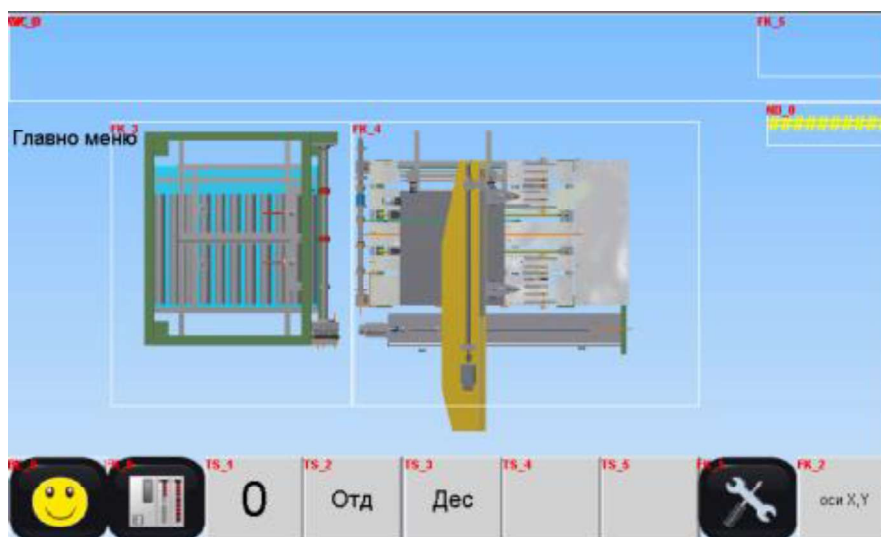
Фиг.1 Фрагмент от LADDER Програмата за XY манипулатора

```

304 /* If the scheme is inverted, now is the time to invert the value */
305 if(val_feeder_scheme_is_inverted == 1){
306     firstRowMoveDir = firstRowMoveDir * (-1);
307 }
308
309 /* Determine the FIRST_HALF_DIR for STAGGERED programs */
310 firstHalfMoveDir = 0;
311 if(sheetIsStaggered == 1){ // if the program is STAGGERED
312     // for most programs the half_STEP is in opposite direction to the FULL_STEP
313     firstHalfMoveDir = firstRowMoveDir * (-1);
314
315     // PROGRAM 7, 3, 4, 9 the FIRST_HALF_DIR is the same as FULL_STEP_DIR
316     if(feeder_program == 7 || feeder_program == 3 || feeder_program == 4){
317         firstHalfMoveDir = firstRowMoveDir;
318     }
319 }
320
321 /* For PROGRAMS 3,4 COUNT_STEPS_X = 1 ALWAYS */
322 isHalfYStep = 0;
323 if(feeder_program == 3 || feeder_program == 4){
324     count_strokes_X = 1; // ALWAYS 1
325     isHalfYStep = 1;
326 }
327
328 /* Calculate the half steps from the steps */
329 halfStep_X = step_X / 2;
330 halfStep_Y = step_Y / 2;
331
332 /* Calculate the real count of position for loops */
333 loopCount_X = count_strokes_X;
334 loopCount_Y = count_strokes_Y;
335
336
337 /* LOOP THROUGH THE Y COORDINATES */
338 i = 1;
339
340 for(i = 1; i <= loopCount_Y + 1; i++){ // SHOULD IT BE +1 ??????
341

```

Фиг. 2 Фрагмент от алгоритма за генериране на импулси на езика С



Фиг. 3 Изглед от главния екран на машината

Редакция на рецепта

Име на рецепта: AE_0 AAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAA

ID на рецепта: ND_1 #####

Схема на обхождане: ND_1 #####

Съпка по X (mm): NE_0 ##### NE_1 #####

Брой съпки по X (mm): NE_2 #####

Съпка по Y (mm): NE_1 ##### NE_5 #####

Брой съпки по Y (mm): NE_3 #####

Размер на листа по X (mm): NE_6 ##### NE_8 #####

Размер на листа по Y (mm): NE_7 ##### NE_9 #####

Брой удари на пресата: NE_10 #####

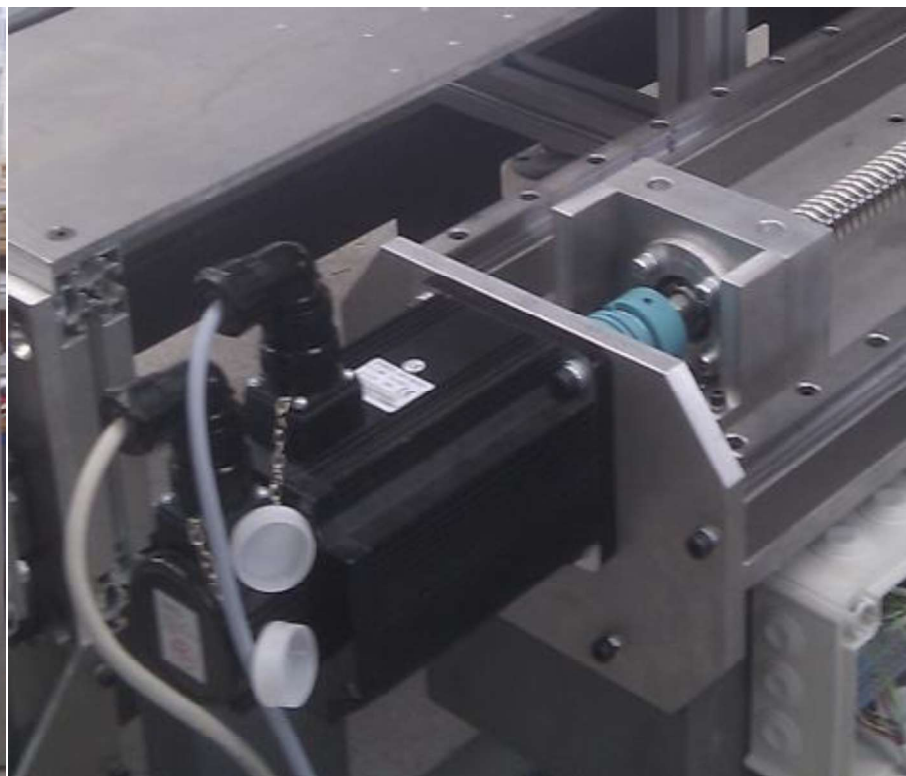
Уск/Закъсн [ms] [PLC]

Позиция [mm]	Скорост [m/min]	Уск/Закъсн [ms]	PLC
Позиция на първи удар:	X: NE_11 ##### NE_12 ##### NE_13 ##### ND_2 #####		
	Y: NE_16 ##### NE_17 ##### NE_18 ##### ND_3 #####		
Трансферна позиция:	X: NE_19 ##### NE_20 ##### NE_21 ##### ND_4 #####		
	Y: NE_22 ##### NE_23 ##### NE_24 ##### ND_5 #####		
Позиция първи удар на преса:	X: NE_25 ##### NE_26 ##### NE_27 ##### ND_6 #####		
	Y: NE_28 ##### NE_29 ##### NE_30 ##### ND_7 #####		
Циклови позиции:	X: поредица NE_32 ##### NE_33 ##### ND_8 #####		
	Y: поредица NE_35 ##### NE_36 ##### ND_9 #####		

Фиг. 4 Изглед от екран "Редакция на рецепта"



а)



б)

Фиг. 5 Изглед от електрическо табло (а) и задвижване на ос Y - серво мотор, съединител и винт (б)



Литература:

1. Hardware & Instruction manuals for XC PLC Controllers. Xinje Company, 2010, China
2. Programmable Logic Controllers, Erickson Kelvin

PRACTICAL SOLUTIONS FOR AUTOMATION OF CNC FEEDER FOR SHEET METAL

Penko Mitev

Abstract: The document presents the issues related to the design and building of a low-cost automation system for a high-demanding application(CNC feeding device for sheet metal). The main focus is the synchronisation of all devices and their reliable mutual simultaneous co-operation. What is emphasized on is the applied practical strategies for task fulfilment in regard to the main kinematic parameters of the system, which the correct parameters setting and machine functionality highly depend on.

Данни автора:

Пенко Вълков Митев, студент в катедра АДП при МФ на Технически Университет – София, Р. България, София, e-mail: penko.mitev@kms-e.com