

## Лабораторна апаратура за моделиране поведението на задвижванията в реконфигурируеми производствени системи (РПС)

доц. д-р Т. А. Гешев, Технически университет – София  
проф. д-р Г. Т. Попов, Технически университет – София

**Резюме:** Представена е една концепция за лабораторна апаратура, предназначена за моделиране и изследване на РПС за механично обработване в машиностроенето. Тя е ориентирана както към изследване на процесите в задвижванията на работни органи, така и към осигуряване на диагностична информация, без да е необходимо разполагане на допълнителни измервателни средства в работната зона. Предложена е и е обоснована структура на модули от тази апаратура, които са ориентирани към задвижването и управлението на РПС за механично обработване. Предложен е интерфейс за връзка между модулите и е обоснована неговата приложимост при пренасяне на данни и синхронизиращи сигнали. На базата на модулите и интерфейса между тях е съставена система за управление на РПС за механично обработване, приложима при РПС с различен брой задвижвани оси.

**Ключови думи:** Реконфигурируеми производствени системи, управление, диагностика, интерфейс.

### 1. Въведение

Към сегашния момент основният проблем в машиностроенето е, че големината на партидите от еднотипни изделия става все по-малка, но при по-широка номенклатура на произвежданите изделия. Във връзка с това в машиностроенето се появила и така наречените **реконфигурируеми производствени системи** (РПС) за механично обработване, които имат за задача да осигурят изпълнението на определен клас технологични операции и бързо да се пренастроят за технологична операция с конкретни параметри.

По отношение на конструкциите на РПС се работи в направленията разработване на механичната конструкция и разработване на средствата за задвижване и управление на изпълнителните механизми на РПС. В основата на тези две направления е модулният подход, т.е. в процеса на реконфигуриране да се заменят модули или взли от различен характер, като механични, електронни или програмни единици. Очевидно е, че средствата за задвижване и управление са тясно свързани както с конструкцията на РПС, така и с особеностите на изпълняваните технологични процеси. Както е известно, в системата за управление на РПС се вграждат измервателни средства и получената от тях информация се използва за управление на работните органи, за диагностика и за визуализация на протичането на технологичния процес.

За подпомагане на дейностите, свързани с проектирането, използването и изследването на РПС тук е предложен лабораторен модел на система за управление, пригоден както за изследване на протичането на самите процеси на механично обработване, така и на процесите, протичащи в задвижванията и системите за тяхното управление. В основата на лабораторния модел е класификацията на типовите движения на работните в РПС [1, 2]. На тази база са предложени типови модули с подходяща конструкция и чрез тяхното използване е изградена лабораторна апаратура. Тя включва действащ макет на реконфигурируема металорежеща машина, който не е обект на настоящия доклад, и собствена система за управление. Предвижда се металорежещата машина да има няколко управлявани оси (координати), например 3 или 4 и за всяка ос (координата) се вградят апаратни и програмни средства за получаване на диагностична информация. Такова решение от една страна ще бъде максимално близко до реална РПС, а от друга – няма да изисква външна измервателна апаратура, която се разполага в работната зона на машината. Обикновено тази апаратура съдържа средства от различни производители и за да може да работи като цяло, изисква допълнителни устройства за съгласуване съвместната работа на използваните средства.

## 2. Концепция за лабораторната апаратура

Концепцията за създаването на тази апаратура е резултат на аналитично обобщаване на особеностите на характерни технологични процеси за механично обработване и средствата за тяхното реализиране в условията на РПС. От [2, 3 и др.] може да се установи, че с цел **изследване** на технологичните процеси при реконфигурируемите металорежещи машини е необходимо в техните работни зони да се поставят допълнителни измервателни средства. От една страна тези средства не са необходими за извършване на конкретен технологичен процес, а от друга същите те обикновено са от различни производители и е необходимо по някакъв начин да се съгласува тяхната съвместна работа. С цел **диагностика** на постоянно извършваните технологични процеси използването на подобен подход създава редица затруднения, свързани с необходимостта от широка гама от такива средства, които също трябва да бъдат сменявани по време на реконфигуриране на РПС.

Положителната страна на изследвания в [3] е, че те изясняват тези параметри на технологичните процеси от които може да се получи информация както за изследователски, така и за диагностични цели. В съответствие с това, за технологичните процеси струговане, свредловане и фрезование това са сили и въртящи моменти, които трябва да се измерват, регистрират и анализират.

Едно анализиране на възможностите за измерване на сили и въртящи моменти показва, че е удобно това да стане чрез измерване на параметрите на режима в които работят съответните двигатели. При стандартните ММ този подход е с ограничена приложимост поради това че от една страна техните работни органи се задвижват от асинхронни електродвигатели (с или без честотно управление на скоростта), а от друга имат сравнително дълги кинематични вериги, които, както е известно, намаляват информационната ценност на параметрите на режима на двигателите. При ММ с ЦПУ и ММ за РПС обикновено се използват колекторни (DC Motor) постоянно токови електродвигатели или постоянно токови електродвигатели с електронна комутация (BLDCM), при които има пряка и ясно изразена връзка между натоварването на двигателя от страна на технологичния процес и електрическите параметри на режима в който той работи. На тази основа при едно подходящо конструирано задвижване и система за неговото управление отпада необходимостта от допълнителни технически средства за измервателни цели, които трябва да се поставят в работната зона на машината с цел изследване и диагностика на технологичните процеси. Като подкрепа за приложимостта на този подход могат да се изтъкнат следните два факта. Първият е, че при реконфигурируемите ММ за всеки работен орган има самостоятелен електродвигател, а вторият, че кинематичната верига на задвижването е много къса и не изкривява (запазва) информацията по отношение връзката между параметрите на технологичния процес и параметрите на режима в който работи двигателя.

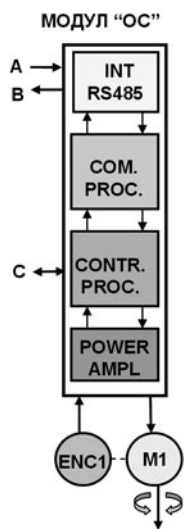
## 3. Структура на лабораторната система

Във връзка с изясненото по-горе и в съответствие с изискванията към хардуерната част, посочени в [4], тук се предлага система за управление на действаща металорежеща машина, която от една страна осигурява получаване на непосредствена информация за протичането на технологичните процеси при механично обработване (чрез рязане), а от друга е изцяло в съответствие с организацията на обмена и преработването на информацията при реални РПС. Системата за управление е с модулна структура, което позволява нейното нарастване с цел изграждане на по-големи РПС. Отделните модули са както следва:

### 3.1 Модул „ОС“

Структурата на този модул е изяснена на фиг. 2. Той е предназначен за цифрово позиционно управление на работни органи, чрез които се осигурява получаване на размерите и взаимното разположение на обработваните повърхнини. Този модул се състои от следните блокове (фиг. 1):

3.1.1. Блок „Управляващ процесор“, означен с „CONTR. PROC“. Той е основен блок в модула и във всеки един момент от време осигурява както скоростта на движение на работния орган в съответствие с режима на изпълнявания технологичен процес, така и неговото текущо положение. Съвместно с енодера ENCx и блока “POWER AMPL” блокът „Управляващ процесор“ осигурява затворена по скорост и положение сервосистема. При започване и завършване на движението този блок допълнително осигурява ускоряването и забавянето на работния орган в съответствие с приетия закон за ускорение и забавяне. За получаване на текущото задание за движение, настройване на сервосистемата и осигуряване на текуща диагностична информация управляващият процесор има пряка двупосочна връзка с комуникационния процесор „COM. PROC.“



Фиг. 1

При изпълнение на съгласувани движения от два или повече работни органа от съществено значение наличието на предварително фиксирани интервали от време, след изтичането на които се оценява достигнатото положение и на тази база се изработва задание за следващото положение и съответстващото му управляващо въздействие към двигателя. За целта тук е прието решение, което е с по-ниска сложност (и съответно възможности), основаващо се на използването на сигнал „C” (съкратено от Clock). Този сигнал представлява непрекъсната във времето поредица от правоъгълни импулси с програмируем период на повторение 0,1-100 ms и коефициент на запълване 50 %. Този сигнал може да се изработи само от един от управляващите процесори, по-точно този, който управлява така наречената „водеща ос”. Назначаването коя ос да е водеща става чрез параметър и може да се променя в реално време за всеки етап от технологичния процес. Също така чрез параметър е осигурено сигналът „C” да се приема от други модули „OC”, които извършват съгласуваното движение с водещата ос. Допълнителна особеност на управляващия процесор е, че в него е създаден стек с обем 128 байта и дълбочина 4 (т.е. 4 блока по 128 байта), съобразен с максималната дължина на командата при CNC машини и особеностите на някои от техните команди. Това решение е продиктувано от технологичните особености при механичното обработване и осигурява непрекъснато движение на работния орган независимо от времето за конкретна изчислителна процедура.

3.1.2. Блок „Усилвател на мощност”, означен с **“POWER AMPL”**. Този блок има две основни предназначения. Първото от тях е да осигури съгласуване между протокола за управление на двигател, използван от управляващия процесор и алгоритъма за управление на конкретния тип електродвигател, използван за задвижване на работния орган. В съответствие с второто си предназначение той е усилвател на мощност, необходим по принцип в подобни задвижвания. Причинта е, че мощността на сигнала от управляващия процесор е не повече от няколко миливата, а мощността на електродвигателя е значително по-голяма – от няколко стотици вата до единици и десетки киловата. В конструкцията на този блок са вградени средства за непосредствено измерване на въртящия момент на двигателя, чиито изходи са свързани към управляващия процесор. На базата на неговата стойност чрез съответни алгоритми се изчислява текущата стойност на подавателна сила, момент, сила и мощност на рязане. Връзката на средствата за измерване на момента на двигателя с управляващия процесор позволява да се създаде и затворена по въртящ момент сервосистема, което в случая се използва пряко за целите на диагностиката.

3.1.3. Блок „Коммуникационен процесор”, означен с **„COM. PROC.”**. Той също има две основни предназначения. Първото от тях е да осигури навременно и достоверно задание за блока „Управляващ процесор”, а второто – да пренесе диагностичната информация от технологичния процес до системата от по-високо ниво.

3.1.4. Блок **“Интерфейс RS485”**, означен с **“INT RS485”** [5, 6]. Той е предназначен за еднотипно свързване на множество компютърни системи с еднакво или различно предназначение и по същество чрез него тук се осигурява интерфейс от тип “Локална мрежа”.

Също така тук е прието този интерфейс да работи в режим пълн дуплекс, с което неговата пропускателна възможност се увеличава два пъти спрямо ситуацията при която работи в режим симплекс или полудуплекс. Основната причина за използването точно на този тип интерфейс е, че при него като хардуер е дефинирано само физическото ниво, т.е. преносната среда. На логическо ниво чрез тази среда може да се пренася всякакъв тип информация. По този интерфейс тук се пренася два вида информация – адрес на модул и числена стойност. Чрез адреса се задава модулът, който трябва да получи нова информация (т.е. получател на информация) или модулът, който трябва да изпрати исканата от него информация (т.е. източник на информация). Числената стойност има две категории – параметър и стойност на същия параметър. Тъй като тази лабораторна система за управление на РПС по същество е предназначена за научни изследвания, в случая не се предвижда ориентиране към конкретен интерфейс на логически ниво. Използва се отворен формат, позволяващ да се осигури интерфейс в съответствие с подходящ за конкретна цел протокол, в т.ч. стандартен или специален.

При използването на интерфейса RS485 трябва да се обърне внимание и на една негова важна особеност, която позволява силно опростено и унифицирано свързване към преносната среда на множество от еднотипни или разнотипни модули. Броят на модулите не е ограничен от логическа гледна точка, но за да бъде работоспособна системата, използваща този интерфейс е необходимо всеки модул, свързан към него да има уникален (единствен в системата) собствен адрес. От физическа гледна точка обаче има ограничения за това,

колко модула са свързани към този интерфейс [5]. Създателите интерфейса са въвели понятието „сектор”, като в топологията на един интерфейс RS485 максималния брой сектори е пет и към един сектор могат да бъдат свързани до 30 модула. По отношение на общата дължина на интерфейса също има ограничение. При стандартната скорост от 9600 bps който и да е от секторите не трябва да бъде с дължина, по-голяма от 1200 м. При по-високи скорости тази дължина се намалява, като степента на намаляване силно зависи от параметрите на преносната среда. По време на обмен на информация по този интерфейс устройството-изпращач първо предава адреса на устройството-приемник и непосредствено след тях предава командите или данните, които са предназначени за устройството-приемник.

### 3.2. Модул „PLC”

Структурата на този модул е изяснена на фиг. 2. По същество той е самостоятелен програмируем контролер (PLC) и има 16 цифрови входа и 16 цифрови изхода. В структурата на модула са включени следните блокове:

3.2.1. Блок, съдържащ цялата апаратна част за реализиране на 16 цифрови входа. На фиг. 2 този блок е означен с „16 INP”. Входовете са с номинално напрежение 24 V DC и са изолирани с оптрони от управлявания обект. При задействане на вход, токът, който се консумира от него е около 10 mA, което е в съответствие с действащите към момента нормативни документи.

3.2.2. Блок, съдържащ цялата апаратна част за реализиране на 16 цифрови изхода. На фиг. 2 този блок е означен с „16 OUT”. Изходите са с номинално напрежение 24 V DC и са изолирани с оптрони от управлявания обект. При задействане на изход, токът, който се осигурява от него е 50 mA номинална стойност и 100 mA максимална стойност (лимитира се чрез възстановяеми безконтактни предпазители). Този ток е достатъчен за непосредствено свързване на междинни релета (електромеханични или твърдотелни) с работен ток през техните контакти до 10 A и работно напрежение до 380 V. По правило, от съображения за защита от шумове, тези релета се разполагат извън електронната част на PLC.

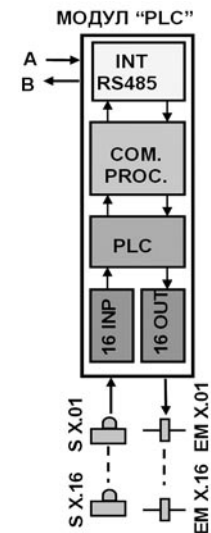
3.2.3. Блок „Програмируем контролер”. На фиг. 2 той е означен с „PLC”. По същество този блок е специализиран компютър, който извършва всички действия в PLC. Важна особеност е, че в този компютър има достатъчна по обем памет, в която се съхраняват копия на всички цифрови входове на РПС, независимо от тяхното физическо (териториално) разположение. От една страна това е направено с цел да се реализира разпределена система за управление, а от друга – за защита от загуба на информация за състоянието на входовете при случайни смущения в работата на някой PLC на РПС. За получаване на текущото задание за управление, настройване на РПС и осигуряване на текуща диагностична информация блокът PLC има пряка двупосочна връзка с комуникационния процесор „COM. PROC.”

3.2.4. Блок „Комуникационен процесор”. На фиг. 1 той е означен с „COM. PROC.” и има същите функции както блока със същото название в модул ‘OC’. Разликата спрямо него е в алгоритъма, по който този блок обслужва блока PLC.

3.2.5. Блок “Интерфейс RS485”. На фиг. 1 той е означен с “INT RS485” и има същото предназначение и начин на функциониране както блока със същото название в модули ‘OC’.

### 3.3. Модул “Операторски пулт”

Структурата на този модул е изяснена на фиг. 3. По същество той представлява специализиран операторски пулт, ориентиран към работа в локална мрежа. За общуване с човека-оператор този модул съдържа дисплей, клавиатура и малък брой превключватели, които са свързани към специализиран компютър. На фиг. 4 тези средства са означени чрез общ блок с наименование „LOCAL OPERATOR’S PULT”. Понеже от една страна този блок не е натоварен с интензивно пренасяне на информация в реално време, а от друга с него работи човек, комуникационният и основният процесори са обединени конструктивно в един процесор. Този блок е предназначен за ръчно намесване в работата на РПС и дублира в голяма степен управлението на РПС чрез интерфейса RS 485. Може да се създаде впечатление, че този блок не е необходим, но реално той е много

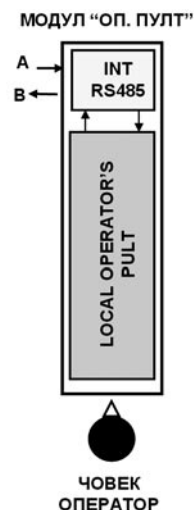


Фиг. 2

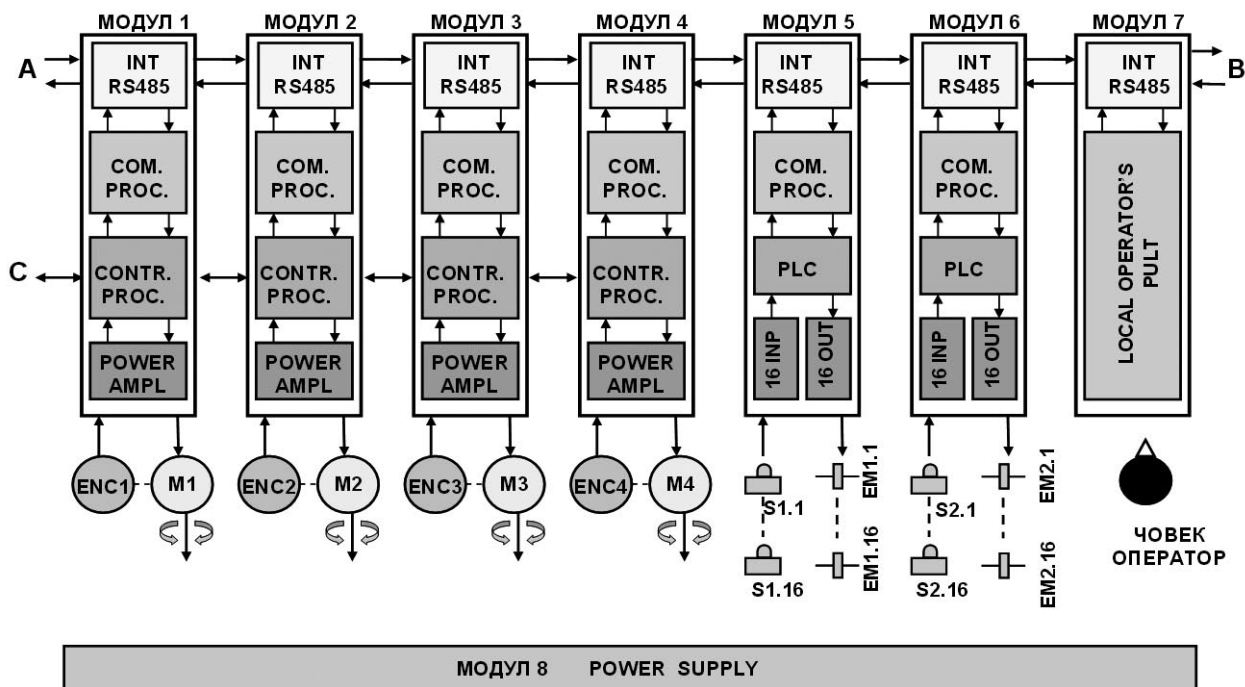


удобен при първоначално въвеждане на системата в експлоатация, излизане от аварийни състояния, извършване на диагностични процедури на механичната част, ръчно въвеждане на необходимата информация за конфигуриране на системата, наблюдаване на желани от оператора параметри по време на работа, ръчно променяне на параметри по време на технологичен процес с цел уточняване на режими на рязане и др.

На базата на така предложените модули е съставена структура на лабораторна система за управление и диагностика на РПС, която е изяснена на фиг. 4. В нея са включени съответен брой от предложените вече модули. От модул „ОС” са включени 4 броя (модул 1 – модул 4), от модул „PLC” са включени 2 броя (модул 5 и модул 6) и от модул „Операторски пулт” е включен един брой. По количество и вид те са съобразени с конкретна и налична ММ, която не е обект на този доклад.



Фиг. 3



Фиг. 4

В структурата на фиг. 4 е включен още един модул, който не разгледан досега. На фиг. 4 той е означен с „Модул 8 Power supply” и съдържа съвкупност от захранващи източници. Те са необходими за работата на лабораторната система и най-общо могат да се групират като захранващи източници за процесорната част, за програмируемия контролер и за двигателите, задвижващи работните органи. В действителност той е с доста сложна конструкция, защото от една страна има специфични изисквания към всеки от посочените захранващи източници, а от друга – към ограничаване на електрическите и електромагнитните смущения, получени от работата на лабораторната система и възпрепятстване на пренасянето им към енергийната мрежа.

#### 4. Изводи

1. Създадена е концепция за лабораторна апаратура за моделиране и изследване на РПС за механично обработване, която е ориентирана както към изследване на процесите в задвижванията на работни органи, така и към осигуряване на допълнителна диагностична информация, без да е необходимо разполагане на допълнителни измервателни средства в работната зона.

2. В съответствие със създадената концепция е предложена структура на система за управление на РПС за механично обработване, която е изградена на модулен принцип и е приложима за управление на РПС с различен брой задвижвани оси.
3. Предложена е и е обоснована структурата на отделните модули, която е ориентирана към задвижването и управлението на РПС за механично обработване.
4. Предложен е интерфейс за връзка между модулите и е обоснована неговата приложимост в условията на РПС, които позволява пренасяне на два типа информация – данни и синхронизиращи сигнали.

**Благодарност:** В настоящата разработка са представени резултати, постигнати в рамките на изследователски проект ВУ-ТН-208/06 „Създаване на методология за управление и диагностика на реконфигуриращи се производствени системи”, финансиран от НФНИ при МОН, на който авторите изказват своята благодарност.

## Литература

1. Попов Г., Т. Гешев, Г. Стамболов, Х. Карамисhev. Изграждане на кинематиката и управлението на реконфигурираща се производствена система. Научна конференция „АМТЕХ ‘03”, Сб. доклади „Машиностроителна техника и технологии, No3, 2003, стр. 158-161
2. Карамисhev Хр., И. Бачкова, Г. Попов, Т. Гешев, IEC-61499 базирано управление на подавателните движения в реконфигурируеми производствени системи, Международна конференция “Автоматика и информатика ‘2007”, 3-5.10, София, стр.4-7.
3. Георгиев В., С. Лилов – Апаратни и програмни средства за получаване на диагностична информация от технологични процеси за интелигентно компютърно управление на ММ с ЦПУ, доклад пред Международна научна конференция САИ’07, София, 3-6 октомври 2007, Сб. С доклади, т. 2, стр. V25-V27.
4. IEC 61499-1, Function Blocks for Industrial-Process Measurement and Control Systems – Part 1: Architecture, 2003.
5. National Semiconductor. Application Note 979. The Practical Limits of RS-485. March 1995
6. Maxim/Dallas Semiconductor. Application note 723. Selecting and Using RS-232, RS-422, and RS-485 Serial Data Standards, 2003.