

## ЛАБОРАТОРЕН СТЕНД ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА ЕЛЕКТРОЗАДВИЖВАНИЯ С ПРОГРАМИРУЕМ ЛОГИЧЕСКИ КОНТРОЛЕР S7-200

Васил Димитров

[vdimitroff@abv.bg](mailto:vdimitroff@abv.bg)

Висше транспортно училище "Тодор Каблешков",  
1574 София, ул. "Гео Милев" № 158

БЪЛГАРИЯ

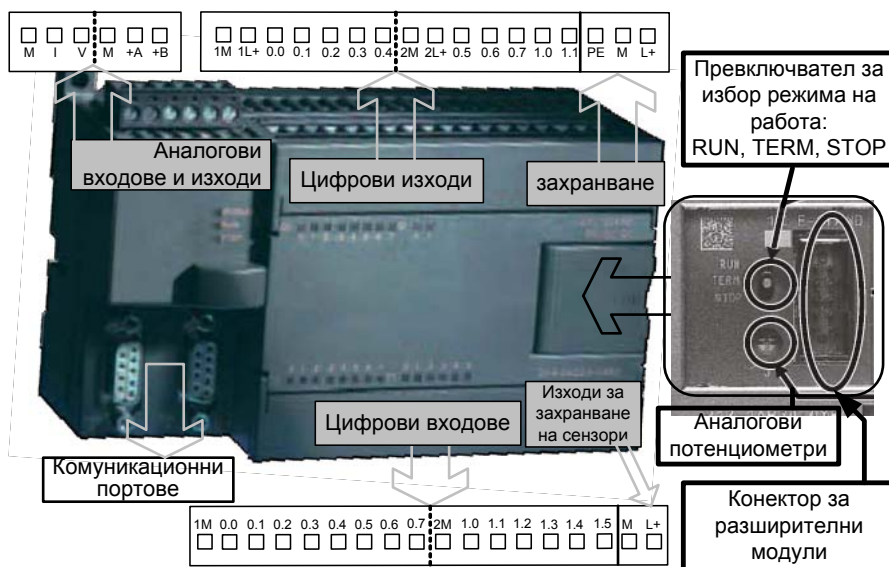
**Резюме:** Докладът представя фамилията програмируеми логически контролери S7-200 и техните възможности за управление на електрозадвижвания в най-различни области. Контролерът S7-200 следи входовете и променя изходите като контролирани от управляваща програма, която може да включва Булева логика, комплексни математически операции, използване на таймери, броячи и комуникация с други интелигентни устройства. Компактният дизайн, гъвкавата конфигурация и Windows-базираното програмиране с мощен набор инструкции се съчетават, за да създадат S7-200 като отлично решение за управление на голям брой приложения.

**Ключови думи:** програмируем логически контролер, автоматизация на електрозадвижвания

### ВЪВЕДЕНИЕ

Програмируемите логически контролери (programmable logic controller – PLC) от серията Simatic S7-200, разработени от

фирмата Siemens, могат да управляват и контролират широк клас механизми и агрегати в съответствие с нуждите на автоматизацията.



фиг. 1 – общ вид на PLC от серията Simatic S7-200  
VII-1

Подобно на всички устройства от този тип, предлагани от различни производители, те представляват съвкупност от микропроцесор (CPU), интегриран захранващ модул, вградена памет за програми и потребителски данни, входен и изходен блок с възможност за работа с аналогови и цифрови сигнали (фиг. 1).

В работен режим циклично се изпълнява въведената програма, като по този начин се реализират поставените изисквания и критерии за автоматизирането на даден процес, производство и др. (напр. повишаване на производителността, безопасността, количеството и скоростта на производството) [3].

## ОПИСАНИЕ НА ФАМИЛИЯТА S7-200

Серията програмируеми логически контролери SIMATIC S7-200 включва следните модели: CPU 221, 222, 224, 224XP, 224XPSi, 226 [4]. Те се различават по броя комуникационни портове, аналогови и цифрови входове и изходи, по възможностите за включване на разширителни модули, по размера на вградената памет, по максимално-допустимата честота на входните и изходните импулси и на вградените таймери и броячи, по броя на използваните инструкции (табл. 1). За всеки модел има разработен вариант с променливо (120 – 240VAC) или постоянно (24VDC-15%; +20%) захранващо напрежение.

Таблица 1

Параметри и особености на S7-200	CPU 221	CPU 222	CPU 224	CPU 224XP CPU 224XPSi	CPU 226
размери (mm)	90 x 80 x 62	90 x 80 x 62	120.5 x 80 x 62	140 x 80 x 62	190 x 80 x 62
комуникационни портове	1x RS-485	1x RS-485	1x RS-485	2x RS-485	2x RS-485
локални аналогови входове и изходи	-	-	-	2 вх./ 1 изх.	-
локални цифрови входове	6 (до 30 kHz)	8 (до 30 kHz)	14 (до 30 kHz)	11 до 30 kHz и 3 до 200 kHz	24 (до 30 kHz)
локални цифрови изходи	4	6	10	10	16
от тях импулсни (DC)	2 (до 20 kHz)	2 (до 20 kHz)	2 (до 20 kHz)	2 (до 100 kHz)	2 (до 20 kHz)
разширителни модули	0	2	7	7	7
аналогови потенциометри	1	1	2	2	2
памет за програми	4096 В (байта)	4096 В (байта)	12288 В (байта)	16384 В (байта)	24576 В (байта)
памет за данни	2048 В (байта)	2048 В (байта)	8192 В (байта)	10240 В (байта)	10240 В (байта)
променлива памет (V)	2048 В	2048 В	8192 В	10240 В	10240 В
локална памет (L)	64 В	64 В	64 В	64 В	64 В
памет-битове (маркери - M)	32 В	32 В	32 В	32 В	32 В
специална памет (SM)	180 В	300 В	550 В	550 В	550 В
таймери	256: 4 (1 ms) + 16 (10 ms) + 236 (100 ms)				
броячи	256 (поддържани със супер кондензатори или батерия)				
високо-честотни броячи:					
една фаза	4 (до 30 kHz)	4 (до 30 kHz)	6 (до 30 kHz)	4 (до 30 kHz) и 2 (до 200 kHz)	6 (до 30 kHz)
две фази	2 (до 20 kHz)	2 (до 20 kHz)	4 (до 20 kHz)	3 (до 20 kHz) и 1 (до 100 kHz)	4 (до 20 kHz)
часовник реално време	допълнителна карта		вграден	вграден	вграден

PLC S7-200 224XP е оптималният вариант (съобразно възможностите на локалните входове и изходи) на фамилията Simatic при решаване на задачи за автоматизация в различни области и особено за електрозадвижвания. Моделът с постоянно-токово захранване CPU 224XP DC/DC/DC притежава 14 цифрови входа (I0.0-I0.7 и I1.0-I1.5) и 10 цифрови изхода (Q0.0-Q0.7 и Q1.0-Q1.1) с оптично галванично разделяне (с оптронни двойки) – допустимо напрежение

500V за 1 min. Стойностите на напреженията и токовете при цифровите входове и изходи са систематизирани в таблица 2. Цифровите изходи са реализирани с еднополярен MOS-транзистор за  $U_H = 24VDC$ . За увеличаване на мощността могат да се свързват паралелно по два и повече изхода от една група, като максималният сумарен ток на група е 3,75A.

Контролерът предлага много добри експлоатационни характеристики в реално време с възможност за измерване на бързоизменящи

Таблица 2

		сигнал "0"	Сигнал "1"
ВХОДОВЕ	стандартни (I0.0–I0.2, I0.6–I1.5)	0-5V / 1mA	15-30V; 35V за 0,5s.
	импулсни (I0.3–I0.5)	0-1V/ 1mA	4-5V/ 8mA
ИЗХОДИ	стандартни (Q0.2-Q1.1)	0,1V I<10µA	20,4-28,8V I <sub>H</sub> =0,75A
	импулсни (Q0.0 - Q0.1)	0,1V I<10µA	5V I <sub>H</sub> =0,75A

се величини: двата високо-честотни брояча, определени за импулсните входове, при активиране имат възможност да броят импулси с честота до 200 kHz. По този начин чрез свързване към енкодер с резолюция 2000 имп./об. се създават предпоставки за измерване на скорост до 6000 об./мин., както и на съответния ъгъл на завъртане и изминат път.

На импулсните изходи има възможност да се програмират два режима: широчинно-импулсна модулация (ШИМ, PWM) и импулсна поредица с честота до 100 kHz и коефициент на запълване 0,5% (РТО). Ако изходът е настроен на режим PWM (ШИМ), то продължителността на цикъла е фиксирана, а се конфигурира програмно ширината на импулсите (коефициентът на запълване). Ако изходът е настроен на режим РТО, има възможност програмно да се задават посоката и граничните стойности на преместването (времето, за което се получава импулсна поредица на съответния изход) [1].

Двата аналогови входа са еднопроводни (изводи М и А+ или В+ на фиг. 1), с диапазон на изменение на напрежението  $\pm 10V$ , входното съпротивление е най-малко 100кΩ. Форматът на думата при аналого-цифровото преобразуване е от -32000 до +32000 (пълен диапазон). Напрежението, съответстващо на младшия бит, е 4,88 mV. Времето на аналого-цифровото преобразуване е 125 ms, тип Sigma Delta. Аналоговият изход е за 0-10V (изводи М и V) или за 0-20 mA (изводи М и I). Форматът на думата при цифрово-аналоговото преобразуване е от 0 до +32000 (пълен диапазон) или от 0 до +32767 (пълен обхват), 12-битова резолюция. Напрежението, съответстващо на младшия бит, е 2,44mV, а токът – 4,88µA. Времето за установяване на изхода е до 50µs при напреженов изход и до 100µs при токов изход.

В паметта на CPU е предвидена област за фиксиран набор от входно-изходни адреси, като освен локалните входове и изходи могат да се добавят допълнителни входни и изходни точки чрез свързване на седем разширителни модула [4].

PLC S7-200 224XP разполага с два комуникационни порта RS-485 за връзка с компютър, дисплей, модем, амплитудно-честотен преобразувател и други устройства в зависимост от изградената система за автоматизация. Те могат да се използват и за свързване в мрежа на контролери, информационни панели и устройства за комуникация. S7-200 224XP има възможност да бъде разширен с интелигентни допълнителни модули за връзка към PROFIBUS DP, Industrial Ethernet мрежи или AS-Interface (Actuator Sensor Interface, AS-i).

### ПРИНЦИП НА ДЕЙСТВИЕ НА S7-200

Софтуерният пакет STEP 7-Micro/WIN позволява на потребителя по лесен и бърз начин да програмира SIMATIC S7-200 и впоследствие да редактира и усъвършенства въведената програма съобразно нуждите на съответното управление и контрол. В работен режим (RUN mode) PLC S7-200 изпълнява циклично задачи в следната последователност от стъпки: 1-прочитане на входовете; 2-изпълнение на управляващата логика в програмата; 3-обмен на данни с устройствата, свързани към комуникационните портове; 4-само-диагностика на CPU; 5-запис на изходите.

Обикновено цикълът е с продължителност между 3 и 10ms в зависимост от броя и типа на използваните инструкции. Скоростта на изпълнение на булевите операции е най-много 0,22 µs за инструкция.

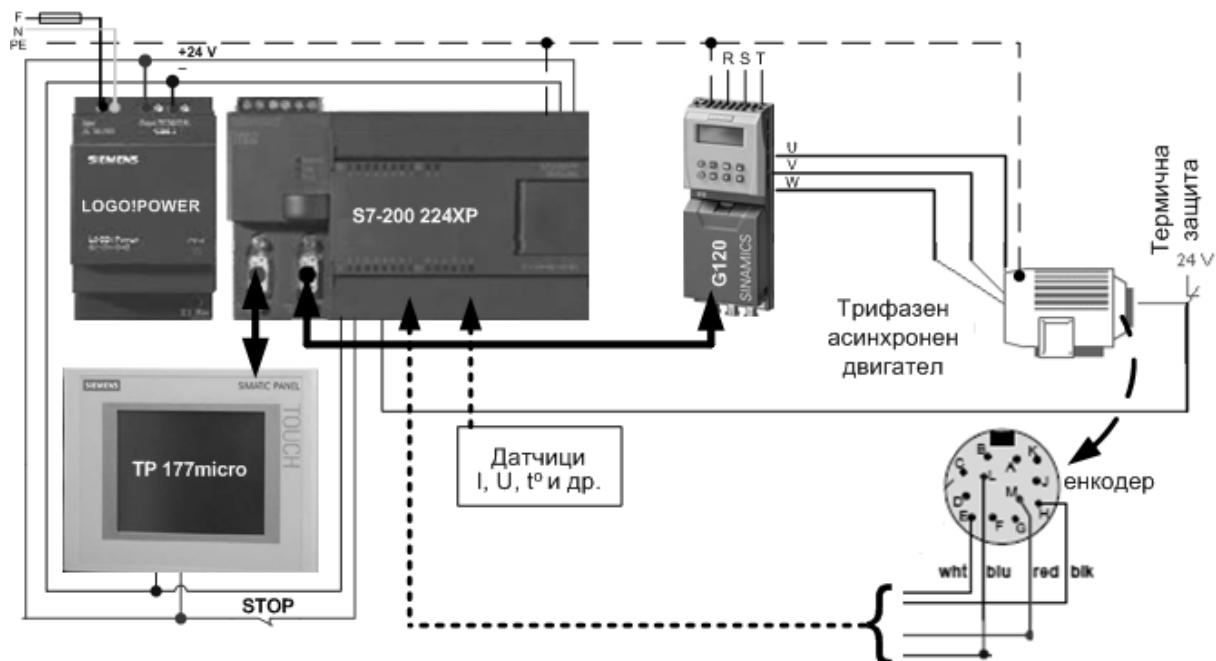
През първата фаза S7-200 копира състоянието на физическите входове във входен регистър на образа на процеса. Промяната на входен сигнал по време на даден цикъл се предава към входния регистър в следващия цикъл. Информацията се запомня в таблицата на състоянието на входовете и се използва при изпълнение на управляващата програма. Закъснението при отчитане на промяната на входния сигнал зависи от продължителността на цикъла. Аналоговите входове се обновяват във всеки цикъл с последните резултати от АЦП.

По време на втората фаза от цикъла S7-200 изпълнява инструкциите, заложи в програмата и съхранява стойности в различни (предварително дефинирани) области от паметта. По време на третата фаза S7-200 обработва всички съобщения, получени от комуникационните портове или интелигентните входно-изходни модули. При самодиагностиката на CPU (стъпка 4) S7-200 проверява за правилното протичане на операциите в самия процесор и за състоянието на разширителните модули. В края на цикъла се обновява състоянието на изходите. При изпълнение на инструкциите по време на фаза 2 последователно се променят стойностите за всеки изход и се записват в таблицата на състоянията на изходите. В последната стъпка на цикъла информацията от изходния регистър се прехвърля едновременно към всички физически изходи, като закъснението при обновяване на състоянието им зависи от

продължителността на стъпки 2-5 от цикъла. Използването на незабавни инструкции дава възможност за бърз достъп до входовете и изходите – както по време на главната програма, така и при изпълнение на прекъсвания. Аналоговите изходи се обновяват незабавно, независимо от цикъла.

### СТЕНД ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА ЕЛЕКТРОЗАДВИЖВАНЕ С PLC S7-200 224XP

Затворена система за автоматично управление на електрозадвижване може да бъде реализирана по схема (фиг. 2), която включва PLC S7-200 CPU 224XP, стабилизирани токоизправител LOGO!Power, входно-изходен информационен панел TP177 micro, амплитудно - честотен преобразувател Sinamics G120, асинхронен двигател с монтиран на вала ротационен пулсов енкодер.



Фиг. 2 – Затворена система за управление на инверторно асинхронно задвижване с PLC

Изграждането на лабораторен стенд по схемата на фиг.2 актуализира и разширява перспективите за обучение на студентите в областта на електрозадвижванията от съвременен тип. Създава се възможност за провеждане на лабораторни упражнения в няколко аспекта:

I. Изследване на система асинхронен двигател – амплитудно-честотен преобразувател, като може да се реализира управление по параметрична V-f характеристика (линейна

или квадратична) или векторно – програмирането се извършва чрез оперативния панел на преобразувателя (BOP) [2];

II. Управление на асинхронно електрозадвижване с PLC S7-200 224XP: с помощта на STEP7 Micro/WIN има възможност да се реализира програмно П-, ПИ- или ПИД-регулатор по скорост, път, ъгъл на завъртане, като се използва информацията от енкодера. Регулаторът в затворената система за автоматично управление има за цел да

поддържа стойността на контролираната величина (process variable PV) равна на зададената стойност (set point SP), т.е. грешката ( $e=SP-PV$ ) трябва да е 0. Принципът на ПИД-управлението е базиран на следното равенство, което изразява изхода  $M(t)$  като функция на пропорционална, интегрална и диференциална съставка:

$$(1) M(t) = K_c \cdot e + K_c \cdot \int_0^t e \cdot dt + M_{нач} + K_c \cdot \frac{\partial e}{\partial t},$$

където:

$M(t)$  – изходна контролирана величина;

$e$  – грешка - разлика между зададената и действителната стойност на  $M(t)$ ;

$K_c$  – коефициент на усилване на регулатора;

$M_{нач}$  – началната стойност на контролираната величина.

За да се реализира управляващата функция (1) от микропроцесора, е необходимо да се изпълни квантоване на непрекъснатата функция в съответствие с периодическите измервания на стойностите на грешката с последващо изчисление на регулиращото въздействие. Уравнението на управляващата функция, което се решава във всеки момент на квантоване, се представя като сума от стойности, измерени и запаметени при всеки цикъл на проверка на входовете:

$$(2) M_n = K_c \cdot e_n + K_I \cdot e_n + MX + K_D \cdot (e_n - e_{n-1}),$$

където:

$M_n$  – изчислената стойност на изходната величина по време на квантоване  $n$ ;

$e_n$  и  $e_{n-1}$  – изчислените стойности на грешката по време на квантованията  $n$  и  $n-1$ ;

$K_I$  – коефициент на пропорционалност на интегралната съставка;

$MX$  – предишната стойност на интегралната съставка (изчислена при квантоване  $n-1$ ):

$$(3) MX = K_I \cdot \sum_1^{n-1} e_x + M_{нач};$$

$K_D$  – коефициент на пропорционалност на диференциалната съставка.

Контролерът използва модифицираната форма на израза (2), която се явява сума от трите съставки на регулиращото въздействие в момента на квантоване  $n$ :

$$(4) M_n = MP_n + MI_n + MD_n.$$

При всеки цикъл микропроцесорът изчислява съставките по следните формули, залегнали в управляващата програма:

$$(5) MP_n = K_c \cdot (SP_n - PV_n);$$

$$(6) MI_n = K_c \cdot \frac{T_s}{T_I} \cdot (SP_n - PV_n) + MX;$$

$$(7) MD_n = K_c \cdot \frac{T_D}{T_s} \cdot (PV_{n-1} - PV_n),$$

където:  $T_s$  – период на квантоване на контура на регулиране (времето на един цикъл);

$T_I$  – интегрална времеконстанта (отразява влиянието на интегралната съставка върху изчислението на изходната стойност);

$T_D$  – диференциална времеконстанта.

Изразът (7) е модифициран при предположението, че зададената стойност е постоянна ( $SP_n = SP_{n-1}$ ), като по този начин се избягва стъпалното рязко изменение на регулиращото въздействие при изменение на зададението.

С помощта на TP177micro могат да бъдат въведени и съхранени в паметта на PLC всички първоначални данни (за инициализация на регулатора, за диагностика, параметризация и др.). На дисплея се наблюдават в реално време стойностите на необходимите променливи (ток, напрежение, скорост, изминат път и др.), предварително програмирани чрез софтуерния продукт WinCC flexible. Информация за променливите може да постъпва както от съответни датчици, свързани към входовете на S7-200 (напр. енкодер, датчик на ток, напрежение, температура и др.), така и от Sinamics G120. Чрез въвеждане на различни стойности на коефициентите на регулатора (от клавиатура, изобразявана на дисплея на TP177 micro) могат да се конфигурират различните варианти на закона за регулиране: при  $T_D=0.0$  се елиминира действието на диференциалната съставка (ПИ-регулатор); ако  $T_I=INF$  (infinity-безкрайност) може да се елиминира и интегралната съставка (П-регулатор).

III. Инсталирането на софтуерния продукт S7-200 PC Access дава възможност за зареждане в паметта на PLC на желана регулировъчна характеристика (механична, скоростна, тягова и др.). Управляващата програма трябва да е така разработена в STEP 7-Micro/WIN, че контролерът да извършва регулиране на задвижването по тази характеристика, като

следи в реално време стойностите на всички необходими за изчисленията величини. Чрез подходящо настройване на програмен П-, ПИ- или ПИД-регулатор може да се постигне ограничение на хистерезиса и максималната стойност на отклонението на регулируемата величина от желаната характеристика, както и намаляване влиянието на смущаващите въздействия и максимално бързодействие при преходните процеси, което е особено важно при тяговите задвижвания.

#### **ЛИТЕРАТУРА:**

- [1] SIMATIC S7-200 - Programmable Controller, System Manual, Siemens, 2008.
- [2] SINAMICS G120 - Function Manual, Siemens, 2007.
- [3] Closed-Loop Positioning Control with standard Drives, Siemens, 2008.
- [4] Products for Totally Integrated Automation and Micro Automation, Siemens, Catalog ST 70, 2009.

## **LABORATORY STAND FOR CONTROL ON ELECTRICAL DRIVES WITH A PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER S7-200**

**Vasil Dimitrov**

*Todor Kableshkov Higher School of Transport  
158 Geo Milev str, 1574 Sofia  
BULGARIA*

**Key words:** *Programmable logic controller, Electrical drives automation.*

**Abstract:** *This paper presents S7-200 series of programmable logic controllers (PLCs) and their possibilities to control a wide variety of electrical drives. The S7-200 monitors inputs and changes outputs as controlled by the user program, which can include Boolean logic, counting, timing, complex math operations, and communications with other intelligent devices. The compact design, flexible configuration, Windows-based programming and powerful instruction set combine to make the S7-200 a perfect solution for controlling a great number of applications.*