

# ПОДХОД ЗА УПРАВЛЕНИЕ И ПРОГРАМНО ОСИГУРЯВАНЕ НА СИСТЕМИ ЗА ЗАХРАНВАНЕ НА ДЕТАЙЛИ ЗА ОПТИМАЛНА РАБОТОСПОСОБНОСТ И ПРОИЗВОДИТЕЛНОСТ

ПЕНКО МИТЕВ

Технически Университет София, филиал Пловдив  
penkomitev@tu-plovdiv.bg

Център за компетентност „Интелигентни, мехатронни, еко- и енергоспестяващи системи и технологии“

**Резюме:** Докладът представя подход за избор и програмиране на системи за управление на автоматизирани хранващи устройства. Разработен е функционален блок *FB\_VibratoryBowlFeeder* на езика *Structured Text (ST)*, позволяващ гъвкаво управление на вибробункери чрез параметризация. Извършено е експериментално сравнение между контролери *Siemens S7-1515 PN* и *S7-1214C DC/DC/DC*, при което е установено, че и двата са подходящи за такива приложения, но *1515* осигурява около 4–5 пъти по-висока скорост на изпълнение. Предложеният метод повишава ефективността, надеждността и възможността за повторно използване на софтуерните модули.

**Ключови думи:** автоматизация, хранващи системи, програмируем контролер

## APPROACH FOR CONTROL AND PROGRAMMING OF AUTOMATED FEEDING SYSTEMS FOR OPTIMAL OPERABILITY AND PRODUCTIVITY

PENKO MITEV

Technical University of Sofia, branch Plovdiv  
penkomitev@gmail.com

Center of competence "Smart mechatronic, eco- and energy-saving systems and technologies"

**Abstract:** The paper presents an approach for selecting and programming control systems for automated feeding devices. A functional block *FB\_VibratoryBowlFeeder*, written in *Structured Text (ST)*, has been developed to enable flexible control of vibratory bowl feeders through parameterization. An experimental comparison between *Siemens S7-1515 PN* and *S7-1214C DC/DC/DC* controllers shows that both are suitable for such applications, with the *1515* providing approximately 4–5 times higher execution speed. The proposed method enhances efficiency, reliability, and reusability of software modules.

**Keywords:** automation, feeding systems, programmable controller

### 1. Въведение

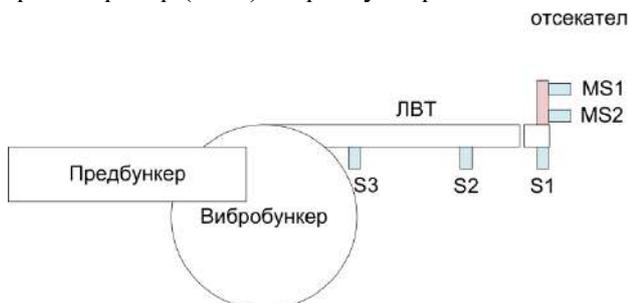
Системите за хранване и ориентиране на детайли са неизменна част от Индустрия 4.0. Те осигуряват ориентиране и подаване на детайли, в необходима ориентация, до входните точки на монтажни и технологични машини [1,2]. Хранващите системи могат да бъдат изградени от най-различни видове устройства, но общото помежду им е функцията – да ориентират и подават детайли, с необходимата производителност. Основните параметри са

производителност, надеждност, ремонтпригодност, както и оценка на средата, в която трябва да работят. Основните видове устройства, които участват в системите за хранване са [3,4]:

- Вибробункер
- Линеен вибрационен транспортър
- Предбункер
- Центробежен ориентатор
- Барабанно хранващо устройство

- Стъпален елеватор

Всички тези устройства работят чрез електрическо или пневматично захранване, а в редки случаи има и други видове енергийни източници. За да се гарантира правилната работа, когато в една система участват повече устройства, те трябва да се синхронизират и да работят съвместно. Обикновено се използва система за управление с програмируем логически контролер (ПЛК), която управлява устройствата на база зададени параметри и показания от сензори. На фиг. 1 е показана схема на класическа захранваща система, изградена от вибробункер, линейен вибрационен транспортър (ЛВТ) и предбункер.



**Фиг. 1** Концептуална схема на класическа захранваща система

## 2. Анализ на проблема

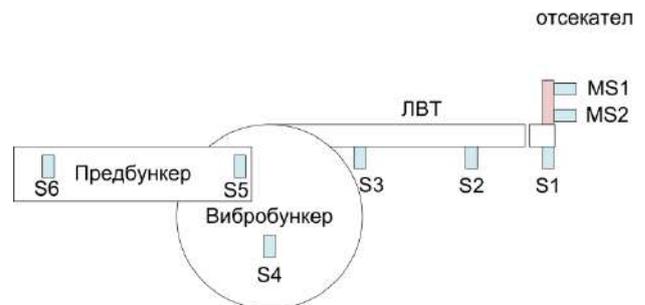
В Индустрия 4.0 основният акцент при проектирането на машиностроителна техника пада върху производителност, гъвкавост, пренастройваемост и възможност за отдалечен мониторинг и контрол.

Системите за захранване и ориентиране са разнообразни. Тяхната роля е да ориентират детайла до точно определено, желано състояние и да го подадат към друга система, като най-често това е монтажна или технологична машина. Дори в условията на Индустрия 4.0 и интелигентните фабрики с работещи на три смени работи, потребността от автоматизация на потока на детайлите не е изчезнала. За тяхната надеждна работа е важно качеството на детайлите [1].

Системата от фиг. 1 е базова, като може да се премахне отсекателя, ако той не е необходим. За разширяването ѝ следва да се добавят още няколко сигнала. Това е необходимо, ако ще се интегрира предбункер. Алтернативно може да се извършва ръчно зареждане от оператор, но операцията е монотонна и изисква неговата концентрация. Препоръчва се винаги когато е налице свободно пространство да се интегрира предбункерно устройство, което автоматично да

подава количество детайли към ориентиращото устройство.

На фиг. 2 е показана допълнената система с още няколко сензора. S4 – сензор за количество детайли във вибробункера, S5 и S6 са сензори за количеството детайли в двата края на предбункерното устройство.



**Фиг. 2** Разширена захранваща система, с допълнителни сигнали

И двете системи следва да се управляват от ПЛК. Ако системата позволява трябва да има и цветен панел (Touch), за да се настройват параметри. В противен случай, твърдо заредените стойности могат да се окажат неправилни при външни въздействия върху системата.

Основната задача е да се създадат универсални софтуерни функции, които да могат да се използват в различни задачи, само с промяна на параметрите и да се комбинират, в зависимост от инсталираните устройства.

## 3. Разработка на система за управление

Преди да се разработи една система за управление задължително трябва да се опише нейната функция към датата на планиране. Системите за управление винаги търпят изменения, разширяване, бъдещо развитие на проекта. Затова е от изключителна важност да са обезпечени с допълнителен ресурс. В контекста на системите за захранване, обикновено не са налице бързи процеси и времеемки обработки, всякакъв тип ПЛК се справя със задачата. Основните параметри на една система за управление са показани в Таблица 1. Броят входове и изходи и възможностите за комуникация са първите параметри, за които трябва да се вземат решения. В зависимост от перспективите за бъдещо развитие на системата е добре да се помисли и за възможностите за разширяване. Не на последно място трябва да се обърне внимание и на икономическите параметри.

Таблица 1. Основни критерии за избор на ПЛК

Критерий	Типична стойност
Брой входове и изходи	В зависимост от проекта
Комуникационни протоколи	PROFINET, EtherCAT, Ethernet/IP, ModBus RTU/TCP
Възможност за разширяване	с различен брой модули, отляво и отдясно на ПЛК
Бърздействие	< 10 ms за обикновени процеси
Тип захранване	24VDC / 230VAC
Надеждност и безопасност	MTBF > 100 000 h
Поддръжка и обслужване	Наличие на документация, сервиз
Цена	200 – 2000 евро
Условия на доставка и складови наличности	Налични или до 2-3 седмици от поръчка

Значение има и дали съоръжението е обект на серийно или единично производство, защото тогава следва да се оптимизират цената и условията на доставка. Една от практиките е да се държи на склад, в случай на спешна поръчка. Препоръката е да се избират само реномирани марки контролери като SIEMENS, Schneider Electric, Allen-Bradley, Xinje и др.

Надеждността на една система за управление се определя от качеството на електрическата система и на софтуерната част. Комутационната апаратура също трябва да е от реномирани марки, а когато това е възможно да е свързана с допълнителни сигнали към ПЛК, за да има сигнали от автоматичните прекъсвачи, контактори и др.

За целите на настоящата разработка е наличен ПЛК SIEMENS S7-1515 PN, от фамилията S7-1500 контролери. Това е прекалено бърз контролер, който е излишен. За този тип разработка се препоръчва използването на S7-1214 DC/DC/DC от серията S7-1200, които са ценово оптимизирани. В Таблица 2 са поместени основните параметри на двата програмируеми контролера. Те показват, че техническите им характеристики, производителност и скорост на обработка са съвсем различни. Наличният се използва за средни по сложност и сложни системи, докато другият е за всякакви приложения с малък брой входове и изходи и не повече от 100 входа / 100 изхода.

И двата контролера имат системи за автоматично следене на грешки [5]. Корпусите са от устойчива пластмаса, която е подходяща за индустриална среда [6,7].

Таблица 2. Основни параметри на S7-1515 и 1214C

Параметър	CPU 1515-2 PN	1214C DC/DC/DC
Тип контролер	Модулен PLC от среден/висок клас	Компактен PLC от базов/среден клас
Захранване	24 V DC	24 V DC
Вградени входове/изходи	Няма вградени — използва външни I/O модули	14 цифрови входа (24 V DC) 10 цифрови изхода (24 V DC) 2 аналогови входа (0–10 V)
Памет (RAM/Data)	500 kB програма / 3 MB данни	≈ 150 kB общо (програма + данни)
Време на цикъл (Scan Time)	до 0.5–1 ms (висока производителност)	около 2–4 ms (средна производителност)
Процесор	32-bit, висока мощност, многозадачност	32-bit, едоядрен, по-ниска мощност
Комуникации	2 × PROFINET (вграден switch) + Ethernet порт Поддържа EtherNet/IP, Modbus TCP, OPC UA	1 × PROFINET порт Поддържа Modbus TCP/RTU
Разширяемост	До 32 I/O модула, технологични модули (PTP, AI, Motion, Failsafe)	До 8 разширителни модула (SM, CM, SB)
Fail-safe вариант	CPU 1515F-2 PN/DP	CPU 1214FC DC/DC/DC
Диагностика и дисплей	Вграден цветен дисплей, детайлна диагностика	LED индикации за I/O и статус
IP защита	IP20 (в шкаф за управление)	IP20
Работна температура	0 ... +60 °C	0 ... +55 °C
Типични приложения	Комплексни автоматизирани линии, роботика, мрежови системи	Отделни машини, станции, малки автоматизации

Съвместим с TIA Portal	Да (пълна поддръжка)	Да (пълна поддръжка)
Цена (ориентир)	~ 3500 – 4500 лв (само CPU)	~ 950 – 1200 лв (с вградени I/O)
Предимства	Висока производителност, разширяемост, комуникации, надеждност	Компактен, евтин, лесен за интеграция, идеален за по-прости машини
Недостатъци	По-висока цена, по-големи размери, изисква отделни I/O модули	Ограничена памет и комуникации, по-бавен цикъл

Наличният за експериментите в настоящия материал ПЛК е показан на фиг. 3.



Фиг. 3 Програмируем контролер Siemens S7-1515 PN-2

```

1 // *** FB_VibratoryBowl Feeder 0.1 ***
2 // Author: Penko Mitev
3 // Date: 04.07.2025
4
5 // --- Check if a command is sent via some channel ---
6 #hasStartCommand :=
7 #BowlFeeder.Flags.flgStartFromCode
8 OR #BowlFeeder.Flags.flgStartBySubroutines
9 OR #BowlFeeder.Flags.flgStartFromHMI
10 OR #BowlFeeder.Flags.flgStartForce;
11
12 #hasStopCommand := #BowlFeeder.Flags.flgStopFromCode;
13
14 // --- Enable check ---
15 IF #BowlFeeder.Flags.flgEnable THEN
16
17 // --- FULL detection (MAX sensor ON for OnDelay) ---
18 IF #BowlFeeder.Settings.MAXSensorInstalled
19 AND #BowlFeeder.Signals.Inputs.maxSensor
20 AND #hasStartCommand
21 AND #isFull = FALSE
22 THEN
23 #tmrFullDelay(IN := TRUE,
24 FT := #BowlFeeder.Settings.Times.MAX_OnDelay);
25
26 IF #tmrFullDelay.Q THEN
27 #isFull := TRUE; // Latch FULL state
28 RESET_TIMER(#tmrFullDelay);
29 END_IF;
30 ELSE
31 RESET_TIMER(#tmrFullDelay);
32 END_IF;
33
34 // --- EMPTY detection (MAX sensor OFF for OffDelay) ---
35 IF #BowlFeeder.Settings.MAXSensorInstalled
36 AND NOT #BowlFeeder.Signals.Inputs.maxSensor
37 AND #hasStartCommand

```

Фиг. 4 Фрагмент от изпълним код на предложени функционален блок FB\_VibratoryBowlFeeder

На фиг. 4 е показан фрагмент от функционалния блок FB\_VibratoryBowlFeeder, който е създаден за целите на управление на вибробункери. Основните достойнства на този блок са:

- Възможност за дефиниране на сензор за максимум, сензор за минимум, сензор за количество.
- Индивидуално задаване на интервалите на задействане Твкл, Тизкл с цел преизползване на функционалността за различни системи.
- Предоставени статус битове, които могат да се четат от останалата част от програмата

#### 4. Експериментално изследване

За целите на експерименталното изследване е използван вибробункер, който се управлява от създадения блок. Основно предимство е възможността кодът от един функционален блок да е общ, да изпълнява едно и също, като само аргументите са различни. Това позволява много бързо мултиплициране и пуск в експлоатация на устройства от сходен тип [8].

На фиг. 5 е показано параметрирането и извикването на инстанцията на блока, предназначен за вибробункера. Удобството на блока е, че всяка функция е избираема, което позволява сериозна гъвкавост.

```

1 // --- Manual / project-specific settings (always predefined, etc.) ---
2 // Adjust settings directly in the SW before calling the routine!
3
4 // sensor enable
5 "ML_STI_VIBRATORY_DEVICES".U01_1_BowlFeeder.Flags.flgEnable := TRUE;
6
7 // AUTOMATIC CHECKS
8 "ML_STI_VIBRATORY_DEVICES".U01_1_BowlFeeder.Flags.flgStartBySubroutines :=
9 "ML_STI_FLAGS".flgStartStart OR "ML_STI_FLAGS".flgAutoInletCycle OR "ML_STI_FLAGS".flgStartTopUp;
10
11
12 // sensor enabled
13 "ML_STI_VIBRATORY_DEVICES".U01_1_BowlFeeder.Settings.MAXSensorInstalled := TRUE;
14
15 // sensor addresses
16 "ML_STI_VIBRATORY_DEVICES".U01_1_BowlFeeder.Signals.Inputs.maxSensor := "M111_ML_STI_LinearFeeder_004";
17
18 // times
19 "ML_STI_VIBRATORY_DEVICES".U01_1_BowlFeeder.Settings.Times.MAX_OnDelay := 180;
20 "ML_STI_VIBRATORY_DEVICES".U01_1_BowlFeeder.Settings.Times.MAX_OffDelay := 75;
21
22 // NOT flag
23 "ML_STI_VIBRATORY_DEVICES".U01_1_BowlFeeder.Flags.flgStartForce := "ML_STI_FLAGS".flgInletRequestBowlFeeder;
24
25 // --- Call Bowl Feeder FB ---
26 FB_VibratoryBowlFeeder_FB(
27   BowlFeeder := "ML_STI_VIBRATORY_DEVICES".U01_1_BowlFeeder,
28   @StartCall := "M11_V111",
29   @ForceInletFeeder => "ML_STI_VIBRATORY_DEVICES".U01_1_LinearFeeder.Flags.flgStartForce;
30 );

```

Фиг. 5 Извикване на блока FB\_VibratoryBowlFeeder

Подходът позволява да се работи с множество устройства, като и двата контролера могат да се справят да поддържат десетки вибробункери. Разликата в скоростта на изпълнение ще бъде 4 – 5 пъти, в полза на модела 1515.

Изпълнимият код на функционалния блок е около 70 реда и е написан на езика

Structured Text (ST). Инициализацията и извикването е още около 24 реда, но това е повтореният елемент, за всяко устройство. В случай, че ПЛК нямаше поддръжка на функционални блокове, то тогава кодът щеше да бъде повторен за всяко устройство по отделно и промените ще са трудно изпълними, защото трябва да се прехвърлят многократно [9].

## 5. Изводи

Разработеният подход за избор на компоненти и структуриране на управлението позволява обективна и оптимизирана оценка при проектиране на автоматизирани хранващи системи.

Използването на функционални блокове с параметризация осигурява модулност, лесна поддръжка и по-висока ефективност на програмирането.

Контролерът **S7-1214C** е икономично решение за малки и средни системи, докато **S7-1515 PN** е подходящ при по-големи, мрежови и приложения с по-високи изисквания за бързодействие.

Разликата в скоростта на изпълнение между двата контролера е значителна, но за повечето хранващи системи тя не оказва критично влияние върху работата.

Унифицираният блок **FB\_VibratoryBowlFeeder** може да се прилага в различни проекти с минимални промени, като осигурява стандартизация и намаляване на риска от грешки.

Прилагането на многокритериална оценка при избора на компоненти подобрява надеждността и производителността на цялата система.

## 6. Благодарности

Това изследване е финансирано от Европейския фонд за регионално развитие в рамките на ОП „Научни изследвания, иновации и дигитализация за интелигентна трансформация“ 2021-2027 г., Проект № BG16RFPR002-1.014-0005 Център за компетентност „Интелигентни мехатронни, еко- и енергоспестяващи системи и технологии“.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Paneva M., Panev P., Stoimenov N. *Review of Systems and Technologies for Automated Counting of Animals*. AIP Conf. Proc. 13th Int. Sci. Conf. “TechSys 2024”, 2025, 3274: 020003. <https://doi.org/10.1063/5.0258733>
2. Panev P., Chivarov N., Paneva M. *Construction of Stands for a Robotic Palletizer*. AIP Conf. Proc. 13th Int. Sci. Conf. “TechSys 2024”, 2025, 3274: 050008. <https://doi.org/10.1063/5.0258740>
3. Dimitrova R., Nikolov S., Tsolov S., Dimitrov S. *Methodology for Designing Low-Cost Robots with Parallel Kinematics*. Eng. Res. Express, 2025, 7(1): 015214. <https://doi.org/10.1088/2631-8695/ada5a8>
4. Malakov I., Zaharinov V., Nikolov S., Dimitrova R., Stambolov G. *Determining the Influence of Model Parameters on the Choosing of an Optimal Size Range of Pneumatically Actuated Linear Modules for Sprayer Robots*. Annals of DAAAM & Proceedings of the International DAAAM Symposium, 2022, pp. 105–114. <https://doi.org/10.2507/33rd.daaam.proceedings.016>
5. Dichev D., Diakov D., Zhelezarov I., Ormanova M., Dicheva R., Kupriyanov O. *A Method for Correction of Dynamic Errors when Measuring Flat Surfaces*. Sensors, 24(16), 2024. <https://doi.org/10.3390/s24165154>
6. Bakardzhiev V., Sabev S., Chukalov K. *Study of Influence of Printing Speed and Layer Height on Dimensional Accuracy of 3D-Printed Carbon Fiber-Reinforced Polyamide Parts*. Eng. Proc., 2025, 104(1): 8. <https://doi.org/10.3390/engproc2025104008>
7. Bakardzhiev V., Sabev S., Chukalov K. *Investigation on Hardness Shore D of 3D Printed Parts of ABS*. Scientific Technical Union of Mechanical Engineering Industry 4.0, 2025, Vol. II, pp. 227–228, ISSN 2535-003X.
8. Shakev N., Ahmed-Shieva S., Kakanakov N., Nikolov V. *Collaborative Robots as an Engineering Tool for the Transition of the Food Industry to Industry 5.0*. Eng. Proc., 2025, 100(1): 57. <https://doi.org/10.3390/engproc2025100057>
9. Hrishev R., Shakev N. *Using of Digital Twin Technology on the Stages of Implementation of ERP Systems*. Proc. TechSys 2024, Technical University of Sofia, 2024