

COMPARATIVE ANALYSIS OF CONTROL SYSTEMS FOR A LABORATORY CONVEYOR BELT MODEL BASED ON ARDUINO UNO AND ARDUINO OPTA PLC

Volodya Dzharov

University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, 1700 Sofia; E-mail: volodya.dzharov@mgu.bg
Acad. Emil Djakov Institute of Electronics, Bulgarian Academy of Sciences, 1784 Sofia; E-mail: volodyadzharov@gmail.com

ABSTRACT. The paper presents a comparative analysis of two control systems for a laboratory conveyor belt model, implemented respectively with the *Arduino Uno* microcontroller platform and the *Arduino Opta* programmable logic controller. Two functionally equivalent systems were developed, implementing identical algorithms for electric drive control, sensor signal processing, and emergency interlocking. An experimental comparison was carried out in terms of dynamic characteristics, reliability, communication capabilities, and applicability in laboratory and industrial conditions. The obtained results show that *Arduino Uno* is an effective and cost-efficient solution for laboratory research and education, whereas *Arduino Opta* provides higher functional reliability and greater opportunities for integration into industrial automation systems.

Key words: Arduino Uno, Arduino Opta, conveyor belt, laboratory test bench, electric drive

СРАВНИТЕЛЕН АНАЛИЗ НА СИСТЕМИ ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА ЛАБОРАТОРЕН МОДЕЛ НА ГУМЕНО-ТРАНСПОРТНА ЛЕНТА, БАЗИРАНИ НА ARDUINO UNO И PLC ARDUINO OPTA

Володя Джаров

Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София
Институт по електроника „Акад. Емил Джаков“, Българска академия на науките, 1784 София

РЕЗЮМЕ. В статията е представен сравнителен анализ на две системи за управление на лабораторен модел на гумено-транспортна лента, реализирани съответно с микроконтролерната платформа *Arduino Uno* и програмируеия логически контролер *Arduino Opta*. Разработени са две функционално еквивалентни системи, реализиращи идентични алгоритми за управление на електрозадвижването, обработка на сигналите от датчиците и аварийни блокировки. Извършено е експериментално сравнение по отношение на динамичните характеристики, надеждността, комуникационните възможности и приложимостта в лабораторни и индустриални условия. Получените резултати показват, че *Arduino Uno* представлява ефективно и икономично решение за лабораторни изследвания и обучение, докато *Arduino Opta* осигурява по-висока функционална надеждност и възможности за интеграция в индустриални системи за автоматизация.

Ключови думи: : Arduino Uno, Arduino Opta, гумено-транспортна лента, лабораторен стенд, електрозадвижване.

Въведение

В предходно изследване (Dzharov, 2025) е разработена система за аварийно управление на лабораторен модел на гумено-транспортна лента чрез програмируем логически контролер *Arduino Opta*, в която са реализирани функции за мониторинг на технологичния процес, обработка на сигналите от датчиците и аварийно спиране на електрозадвижването.

Лентовите транспортъори са сред най-широко използваните средства за непрекъснат транспорт на насипни и късови материали в минната, металургичната и преработвателната промишленост. Поради това тяхното моделиране, управление и оптимизация са предмет на интензивни научни изследвания (Antoniak, 2007; Antoniak, n.d.; Bajda & Hardygóra, 2019; Guo et al., 2022; Salawu et al., 2020).

В практиката на инженерното образование все по-голям интерес представлява разработването на лабораторни стендове, базирани на нискобюджетни микроконтролерни платформи, което поставя въпроса за възможностите на *Arduino Uno* като алтернатива на индустриалните PLC контролери при реализиране на системи за управление.

Разработването на съвременни системи за електрозадвижване, изградени върху различни типове електрически машини и управляващи структури, е обект на активни научни изследвания. Анализът на архитектурата на електрозадвижванията и принципите за тяхното управление представлява важна основа при проектирането

на ефективни системи за автоматизация (Костов & Александров, 2024; Zabchev & Alexandrov, 2025).

Arduino Uno се използва широко в учебния процес благодарение на ниската си цена, лесното програмиране и големия набор от свободно достъпни библиотеки. От друга страна, *Arduino Opta* представлява индустриален програмируем логически контролер, разработен за приложения, изискващи висока надеждност, съвместимост със стандарта IEC 61131-3, Ethernet комуникация, Modbus TCP/RTU и интеграция със SCADA системи. Това обуславя необходимостта от сравнително изследване на двете платформи при управление на един и същ лабораторен модел.

Основната цел на настоящото изследване е да бъде извършен сравнителен анализ на *Arduino Uno* и PLC *Arduino Opta* при управление на лабораторен модел на гумено-транспортна лента, като се оценят техните функционални възможности, технически характеристики, надеждност и приложимост в лабораторни и индустриални условия.

За реализиране на поставената цел са решени следните задачи:

- разработване на система за управление с *Arduino Uno*;
- използване на съществуващия лабораторен модел с *Arduino Opta*;
- реализиране на идентични алгоритми за управление;
- експериментално сравнение на работата на двете системи;

- анализ на предимствата и ограниченията на всяка платформа.

1. Архитектура на лабораторния стенд и реализиране на управление с Arduino Uno

Лабораторният стенд е разработен с цел експериментално изследване на алгоритми за управление на гумено-транспортни ленти и позволява реализиране на различни режими на работа, включително пускане, спиране, регулиране на скоростта и контрол на технологичните параметри. Конструктивно стендът представлява умален модел на промишлена транспортна система, състоящ се от постояннотоково електрозадвижване, транспортна лента, задвижващ механизъм, опъваща станция, ролкоопори, система от датчици и управляващ модул. Общият изглед на лабораторния стенд е представен на фиг. 1.



Фиг. 1. Лабораторен модел на гумено-транспортна лента и основни функционални възли

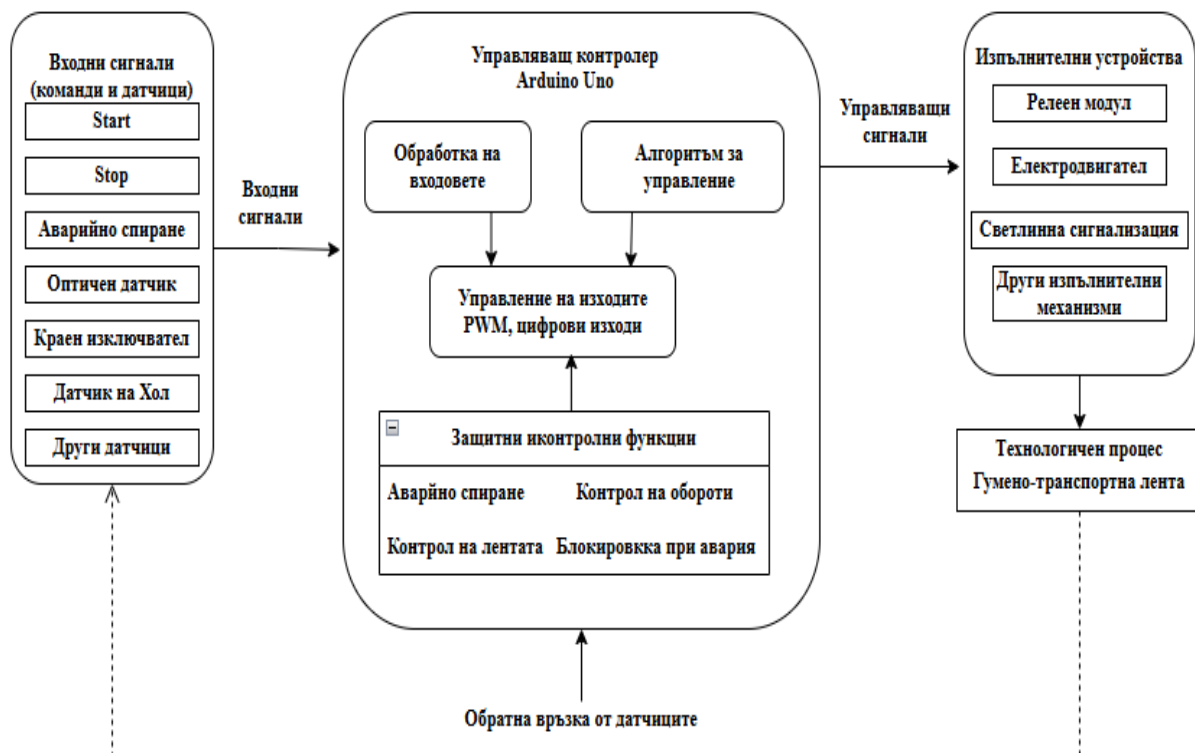
Лабораторният модел е изграден така, че да възпроизвежда основните функционални характеристики на промишлените лентови транспортьори при значително намалени габаритни размери. Управляващият модул осигурява обработката на входните сигнали от бутоните за управление и датчиците, както и формирането на управляващи сигнали към електрозадвижването.

Задвижващият механизъм се състои от постояннотоков електродвигател с редуктор, който осигурява необходимия въртящ момент за движение на транспортната лента. Опъващата станция поддържа необходимото натягане на лентата, а ролкоопорите осигуряват нейното устойчиво движение по трасето.

Лабораторният стенд е проектиран така, че да позволява лесна подмяна на управляващата платформа, без да се променя механичната конструкция или изпълнителните механизми. Това дава възможност при еднакви експериментални условия да бъдат сравнени различни системи за управление, като единствената променлива величина е използваната управляваща платформа. В настоящото изследване това позволява обективно сравнение между Arduino Uno и PLC Arduino Opta при реализиране на идентични алгоритми за управление.

За реализиране на разработената система за управление като централен управляващ модул е използвана платката Arduino Uno, базирана на микроконтролера ATmega328P с тактова честота 16 MHz. Контролерът обработва сигналите от командните бутони и измервателните датчици, изпълнява алгоритмите за управление и формира управляващи въздействия към изпълнителните устройства.

Управлението на постояннотоковия двигател се реализира чрез широчинно-импулсна модулация (PWM), което позволява плавно регулиране на скоростта на транспортната лента. Този подход осигурява стабилна работа на електрозадвижването, подобрява качеството на регулиране и създава предпоставки за намаляване на енергопотреблението на транспортната система (Bajda & Hardygóra, 2019, 2021); (Palmero-González et al., 2025).



Фиг. 2. Архитектура на системата за управление на лабораторния модел на гумено-транспортна лента, базирана на Arduino Uno

За по-ясно представяне на взаимодействието между входните устройства, управляващия контролер и изпълнителните механизми е разработена функционална блокова диаграма на системата за управление. Тя илюстрира потока на информацията от входните сигнали, обработката им в Arduino Uno и формирането на управляващите въздействия към изпълнителните устройства. Блоквата диаграма на разработената система е представена на фиг. 2. Тя показва взаимодействието между входните устройства, управляващия контролер и изпълнителните механизми. Всички входни сигнали от командните бутони и датчиците постъпват към Arduino Uno, където се обработват съгласно разработения алгоритъм за управление. Въз основа на резултатите от обработката контролерът формира управляващи сигнали към постояннооточковия електродвигател, релейния модул и останалите изпълнителни устройства. Наред с основния алгоритъм са реализирани защитни и контролни функции, включващи аварийно спиране, контрол на оборотите, наблюдение на състоянието на транспортната лента и блокировка при възникване на аварийни ситуации. Реализираната обратна връзка от измервателните датчици осигурява непрекъснат мониторинг на технологичния процес и повишава надеждността на системата за управление.

След реализиране на системата за управление с Arduino Uno беше извършено сравнение с разработената по-рано система, базирана на PLC Arduino Opta (Dzharov, 2025). За осигуряване на обективна оценка и коректност на експерименталните резултати и при двете реализации е използван един и същ лабораторен стенд, като са запазени без промяна датчиците, изпълнителните механизми и алгоритъмът за управление. По този начин единствената независима променлива в проведеното изследване е типът на използвания управляващ контролер.

За реализиране на управлението са дефинирани идентични входни и изходни сигнали, осигуряващи връзката между контролера, измервателните датчици и изпълнителните устройства. Входните сигнали включват командите за пускане, спиране и аварийно спиране, както и сигналите от датчиците за контрол на движението и състоянието на транспортната лента. Изходните сигнали управляват електрозадвигването, светлинната сигнализация и останалите изпълнителни механизми.

Таблица 1. Съпоставка на входно-изходните сигнали при Arduino Uno и Arduino Opta

Функция	Arduino Opta	Arduino Uno
START бутон	DI1	D2
STOP бутон	DI2	D3
Аварийен стоп	DI3	D4
Оптичен датчик	DI4	D5
Краен изключвател	DI5	D6
Датчик на Хол	DI6	D7
PWM управление на двигателя	A0/PWM	D9 (PWM)
Светлинна сигнализация	DO1	D10
Управление на реле	Relay 1	D11 + релейен модул

От данните, представени в табл. 1, се вижда, че двете системи използват еднакъв набор от входни и изходни сигнали, което гарантира идентични условия при провеждане на експерименталните изследвания. Това позволява различията в получените резултати да бъдат свързани единствено с особеностите на използваните управляващи платформи, а не с изменения в периферните устройства или алгоритъма за управление.

Съпоставката на входно-изходните сигнали показва, че и двете хардуерни платформи разполагат с необходимите ресурси за реализиране на разработената система за управление. Основните различия са свързани с конструктивното изпълнение на изходните вериги, комуникационните възможности и пригодността за работа в индустриална среда. Arduino Opta разполага с вградени релейни изходи и индустриални комуникационни интерфейси, докато при Arduino Uno е необходимо използването на външен релейен модул за управление на изпълнителните механизми.

Въпреки тези конструктивни различия, разработената система за управление с Arduino Uno реализира същите основни функционални възможности като системата, базирана на PLC Arduino Opta. Това позволява да бъде направена обективна оценка на приложимостта на нискобюджетните микроконтролерни платформи при управление на лабораторни електрозадвигвания.

След извършения сравнителен анализ на използваните хардуерни платформи е разработен математически модел на постояннооточковото електрозадвигване, използвано в лабораторния модел на гумено-транспортната лента. Моделът служи като основа при синтеза на алгоритъма за управление, настройката на PID регулатора и анализа на динамичните характеристики на системата. Освен при проектирането на системи за управление, математическите модели на постояннооточковите двигатели намират приложение и при диагностиката на електрически машини, като чрез анализ на параметрите на котвената верига и роторните намотки може да се оцени техническото състояние на електрозадвигването и да се открият възникващи неизправности (Zabchev & Alexandrov, 2025).

Електрическото равновесие на котвената верига се описва със зависимостта:

$$U_a = R_a i_a + L_a \frac{di_a}{dt} + e \quad (1)$$

където:

- U_a – напрежение на котвата;
- R_a – съпротивление на котвената намотка;
- L_a – индуктивност на котвената намотка;
- i_a – ток на котвата;
- e – противоелектродвижещо напрежение.

Противоелектродвижещото напрежение се определя от:

$$e = K_e \omega \quad (2)$$

където:

- K_e – константа на двигателя;
- ω – ъглова скорост.

Механичното уравнение на двигателя има вида:

$$J \frac{dw}{dt} = M_e - M_c \quad (3)$$

където:

- J – момент на инерция;
- M_e – електромагнитен момент;
- M_c – товарен момент.

Електромагнитният момент се определя чрез:

$$M_e = K_t i_a \quad (4)$$

където:

- K_t – моментна константа на двигателя.

При пренебрегване на индуктивността на котвената намотка ($L_a \approx 0$) математическият модел може да бъде представен чрез предавателна функция от първи ред:

$$G(s) = \frac{k}{Ts+1} \quad (5)$$

където:

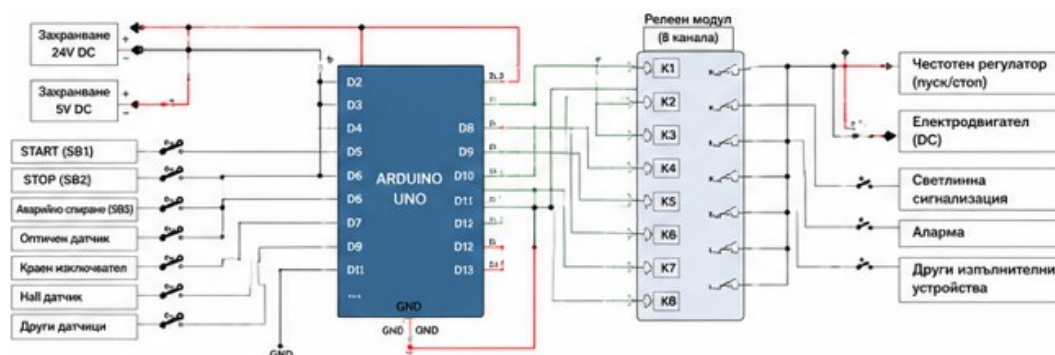
- K – коефициент на усилване;

- T – електромеханична времеконстанта на системата.

Полученият математически модел е използван при разработването на функционалната структура на системата за управление и при синтеза на PID регулатора. Въз основа на него е изградена блокова схема, която описва взаимодействието между входните устройства, управляващия контролер, изпълнителните механизми и защитните функции. Чрез тази структура се осъществява обработка на сигналите от измервателните датчици, изпълнение на алгоритъма за управление и формиране на управляващи въздействия към електрозадвижването и останалите изпълнителни устройства.

Използването на един и същ математически модел и идентична структура на управление при двете платформи гарантира, че различията в експерименталните резултати се дължат единствено на особеностите на използваните управляващи устройства, а не на различия в алгоритъма за управление.

След определяне на функционалната структура и входно-изходните сигнали е разработена електрическата схема на системата за управление с Arduino Uno (Фиг.3).



Фиг. 3. Електрическа схема на системата за управление с Arduino Uno

От електрическата схема на фиг. 3 се вижда, че Arduino Uno осъществява обмен на информация с входните устройства чрез цифровите входове, а управлението на изпълнителните механизми се реализира посредством осемканален релеен модул. Командните бутони START, STOP и аварийно спиране, както и сигналите от оптичния датчик, крайния изключвател и Hall датчика, се използват за формиране на логическите условия в алгоритъма за управление. Изходните сигнали управляват честотния регулатор, постояннотоковия електродвигател, светлинната сигнализация, алармената индикация и останалите изпълнителни устройства. Предложената схема осигурява надеждно функциониране на лабораторния модел и позволява реализиране на всички предвидени режими на работа.

За анализ на динамичните характеристики на електрозадвижването и за синтез на PID регулатора е разработен математически модел на използвания постояннотоков двигател.

2. PID управление на постояннотоковия двигател

За осигуряване на плавно регулиране и стабилизиране на скоростта на транспортната лента е разработен

пропорционално-интегрално-диференциален (PID) регулатор. Основната задача на регулатора е да минимизира грешката между зададената и действителната скорост на постояннотоковия двигател, като осигури бърз преходен процес, минимално пререгулиране и висока устойчивост при промяна на натоварването.

В разработената система зададената скорост се определя от оператора, а действителната скорост се измерва чрез Hall датчик, монтиран към задвижващия механизъм. Получената информация се обработва от микроконтролера Arduino Uno, който изчислява управляващото въздействие съгласно PID алгоритъма и формира PWM сигнал за управление на постояннотоковия двигател.

PID регулаторът се описва със зависимостта:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (6)$$

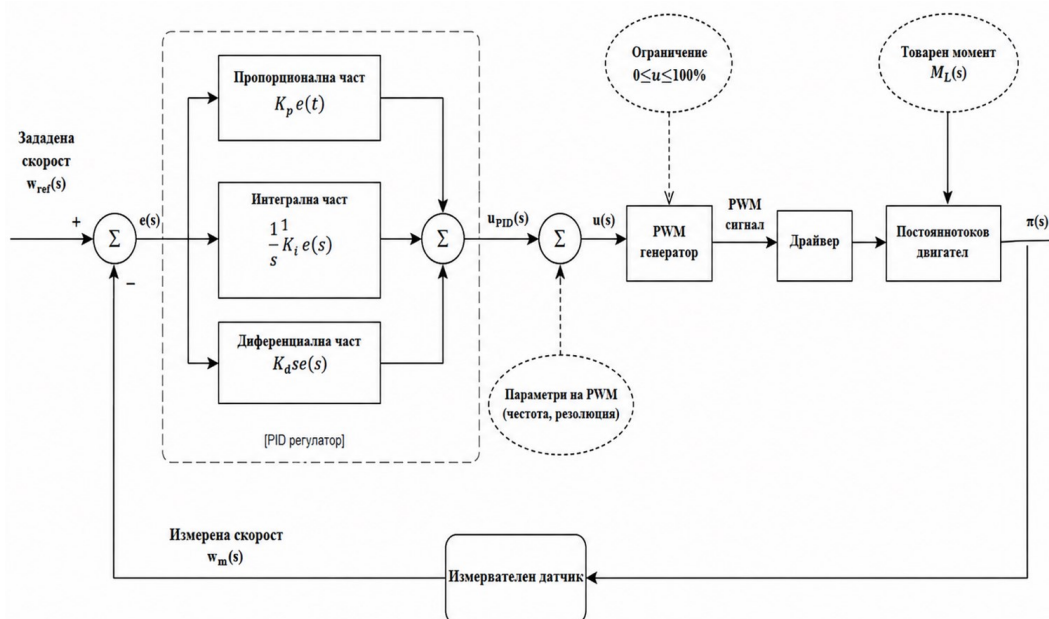
където:

- $e(t)$ – грешка между зададената и измерената скорост;
- K_p – пропорционален коефициент;
- K_i – интегрален коефициент;
- K_d – диференциален коефициент.

Пропорционалната съставка осигурява бърза реакция на системата към измененията на зададената стойност, интегралната съставка елиминира статичната грешка, а диференциалната съставка подобрява динамичните характеристики, като намалява пререгулирането и

повишава устойчивостта на системата при преходните процеси.

За по-ясно представяне на принципа на регулиране е разработена структурна схема на системата за управление с PID регулатор, представена на фиг. 4.



Фиг. 4. Структурна схема на PID управление на постояннотоковия двигател

От структурната схема се вижда, че системата използва отрицателна обратна връзка по скорост. Измерената стойност от Hall датчика непрекъснато се сравнява със зададената стойност, като полученият сигнал за грешка постъпва към PID регулатора. Въз основа на изчисленото управляващо въздействие Arduino Uno формира PWM сигнал, чрез който се регулира скоростта на постояннотоковия двигател. По този начин се компенсират измененията в натоварването и се осигурява поддържане на постоянна скорост на транспортната лента.

PID алгоритмът е реализиран в програмната среда Arduino IDE, като структурата и принципът на регулиране са идентични с използваните при системата, базирана на PLC Arduino Opta (Dzharov, 2025). Използването на един и същ алгоритъм за управление при двете хардуерни платформи гарантира, че установените различия в експерименталните резултати се дължат единствено на особеностите на използваните управляващи устройства, а не на различия в алгоритма за регулиране.

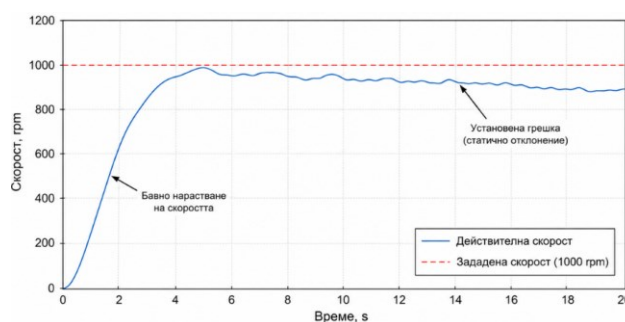
По този начин се създават еднакви условия за експериментално сравнение на динамичните характеристики, качеството на регулиране и функционалните възможности на системите, реализирани с Arduino Uno и PLC Arduino Opta.

3. Експериментални резултати и анализ

За оценка на работата на разработената система за управление са проведени експериментални изследвания върху лабораторния модел на гумено-транспортната лента. Целта на изпитванията е да се оцени влиянието на PID регулатора върху динамичните характеристики на електрозадвижването и да се извърши сравнителен анализ

между системите за управление, реализирани с Arduino Uno и PLC Arduino Opta.

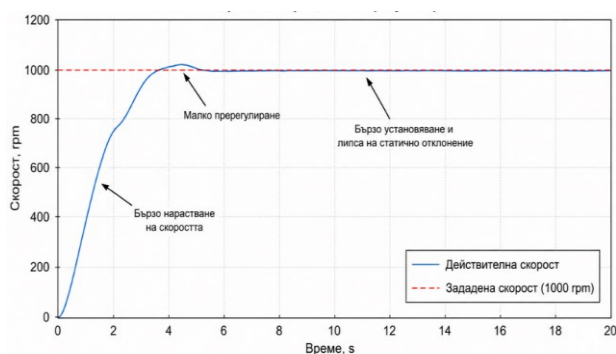
Първоначално е изследван преходният процес при управление без обратна връзка по скорост. В този режим коефициентът на запълване на PWM сигнала се задава предварително, без автоматична корекция спрямо действителната скорост на двигателя. Полученият преходен процес е представен на фиг. 5.



Фиг. 5. Преходен процес на системата за управление без PID регулатор

От представените резултати се установява, че при управление без PID регулатор скоростта на постояннотоковия двигател достига зададената стойност сравнително бавно, като се наблюдава статична грешка и значително време за установяване. Липсата на обратна връзка не позволява автоматично компенсиране на измененията в натоварването, вследствие на което скоростта се изменя под въздействието на външни смущения. Получените резултати показват, че управлението само чрез предварително зададен PWM сигнал не осигурява необходимата точност и устойчивост при регулиране на скоростта.

За подобряване на динамичните характеристики на системата е реализиран PID регулатор, който използва информацията от Hall датчика за непрекъснато измерване на скоростта и автоматично регулиране на коефициента на запълване на PWM сигнала. Полученият преходен процес е представен на фиг. 6.



Фиг. 6. Преходен процес на системата за управление с PID регулатор

От фиг. 6 се вижда, че използването на PID регулатор значително подобрява динамичните характеристики на системата. Скоростта достига зададената стойност за по-кратко време, пререгулирането е ограничено до приблизително 5%, а след кратък преходен процес системата се установява без съществени колебания. Получените резултати потвърждават, че PID регулаторът осигурява висока устойчивост, минимална установена грешка и ефективно компенсиране на измененията в натоварването.

За количествена оценка на разработената система е извършено сравнение между управлението без PID регулатор, управлението с PID регулатор, реализирано с Arduino Uno, и разработената в предходно изследване система с PLC Arduino Opta (Dzharov, 2025). Основните експериментално определени показатели са представени в табл. 2.

Таблица 2. Сравнителен анализ на динамичните и техническите характеристики на системите за управление с Arduino Uno и PLC Arduino Opta

Показател	Без PID (Arduino Uno)	С PID (Arduino Uno)	Arduino Opta [1]
Време за установяване	≈ 2.5 s	≈ 0.8 s	≈ 0.8 s
Пререгулиране	няма контрол	≈ 5 %	≈ 5 %
Установена грешка	по-голяма	≈ 0 %	≈ 0 %
Устойчивост при натоварване	ниска	висока	висока
Управление чрез PWM	Да	Да	Да
Използван контролер	Arduino Uno	Arduino Uno	Arduino Opta
Аналогови входове	6	6	8
Цифрови входове/изходи	14	14	8 DI / 4 Relay DO
Подходящ за промишлена среда	Не	Не	Да
Цена	ниска	ниска	висока

Анализът на резултатите, представени в табл. 2, показва, че внедряването на PID регулатора води до съществено подобрене на качеството на регулиране независимо от използваната хардуерна платформа. Времето за установяване намалява от приблизително 2,5 s до около 0,8 s, установената грешка практически се елиминира, а устойчивостта на системата при изменение на натоварването значително се повишава.

Сравнението между Arduino Uno и PLC Arduino Opta показва, че при използване на идентичен алгоритъм за управление и еднакви условия на експеримента двете платформи осигуряват практически еднакви динамични характеристики. Основните различия се проявяват в конструктивното изпълнение, комуникационните възможности и пригодността за работа в индустриална среда. Arduino Opta разполага с вградени релейни изходи, индустриални комуникационни интерфейси и поддръжка на стандарта IEC 61131-3, което го прави по-подходящ за промишлени приложения. От своя страна Arduino Uno представлява икономично и ефективно решение за лабораторни изследвания, учебни цели и разработване на прототипи, като същевременно осигурява показатели за качество на регулиране, съпоставими с тези на PLC Arduino Opta.

Заклучение

В настоящата статия е разработена и експериментално изследвана система за управление на лабораторен модел на гумено-транспортна лента, базирана на микроконтролерната платформа Arduino Uno. Реализирано е PWM управление на постояннотоков двигател с PID регулатор, осигуряващ стабилно регулиране на скоростта и подобрени динамични характеристики.

Проведените експериментални изследвания показват, че използването на PID регулатор води до намаляване на времето за установяване, ограничаване на пререгулирането и практически елиминиране на установената грешка. Получените резултати потвърждават ефективността на предложения алгоритъм за управление.

Извършеният сравнителен анализ показва, че при използване на идентичен алгоритъм за управление Arduino Uno осигурява динамични показатели, съпоставими с тези на PLC Arduino Opta. Основните различия между двете платформи са свързани с комуникационните възможности, конструктивното изпълнение и приложимостта им в индустриална среда. Arduino Uno представлява ефективно и икономично решение за лабораторни изследвания и обучение, докато Arduino Opta е по-подходящ за промишлени приложения.

Като бъдещо направление на изследването се предвижда интегриране на SCADA система за мониторинг и архивиране на технологичните параметри, както и разработване на адаптивни алгоритми за управление на електрозадвижването.

Благодарности: Настоящото изследване е финансирано по договор МЕМФ № 184-30.03.2026 г., със средства от държавния бюджет за присъщата научна дейност на държавните висши училища.

Литература

- Antoniak, J. (2007). *Przenośniki taśmowe w górnictwie podziemnym i odkrywkowym* (3rd ed.). Wydawnictwo Politechniki Śląskiej. ISBN 978-83-7335-396-1.
- Antoniak, J. (n.d.). *Urządzenia i systemy transportu podziemnego w kopalniach*. Śląsk Publishers. ISBN 9321607098.
- Bajda, M., & Hardygóra, M. (2019). Laboratory tests of operational durability and energy-efficiency of conveyor belts. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 261, 012002. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/261/1/012002>
- Bajda, M., & Hardygóra, M. (2021). Analysis of the influence of the type of belt on the energy consumption of transport processes in a belt conveyor. *Energies*, 14, 6180.
- Bugaric, U., Tanasijević, M., Polovina, D., Ignjatović, D., & Jovančić, P. (2014). Reliability of rubber conveyor belts as a part of the overburden removal system—Case study: Tamnava-East Field Open Cast Mine. *Technical Gazette*, 21, 925–932.
- Dzharov, V. (2025). Emergency mode of control of rubber belt conveyors via PLC system Arduino Opta. *International Journal of Recent Technology and Applied Science*, 7(2), 104–116. <https://doi.org/10.36079/lamintang.ijortas-0702.914>
- Guo, X., Liu, X., Zhou, H., Stanislawski, R., Królczyk, G., & Li, Z. (2022). Belt tear detection for coal mining conveyors. *Micromachines*, 13(3), 449. <https://doi.org/10.3390/mi13030449>
- Jonak, J., & Gajewski, J. (2006). Operating diagnostics and monitoring issues of selected mining belt conveyors. *Eksploatacja i Niezawodność*, 4, 74–78.
- Kostov, G., & Александров, Р. (2024). Структура на система на електрозадвигване с превключваем реактивен двигател. *Годишник на МГУ „Св. Иван Рилски“*, 67, 228–235. <https://doi.org/10.5281/zenodo.13762846>
- Krol, R., Kawalec, W., & Gladysiewicz, L. (2017). An effective conveyor belt for underground transportation systems. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 95, 042047.
- Palmero-González, M. A., Batuecas, E., Fernández-Torrijos, M., & Marugán-Cruz, C. (2025). Environmental comparison of dry and hybrid condensing systems in concentrating solar power tower plants. *Energy Conversion and Management*, 340, 119978. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2025.119978>
- Rzeszowska, A., Jurdziak, L., Błazej, R., & Lewandowicz, P. (2025). Analysis of uncertainty in conveyor belt condition assessment using time-based indicators. *Applied Sciences*, 15, 7939. <https://doi.org/10.3390/app15147939>
- Salawu, G., Bright, G., & Onunka, C. (2020). Modelling and simulation of a conveyor belt system for optimal productivity. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 11(1), 115–121.
- Zabchev, A., & Alexandrov, R. (2025). Determination of the resistances in the rotor's coils of a mine locomotive motor. *Sustainable Extraction and Processing of Raw Materials Journal*, 6. <https://doi.org/10.58903/dw18921671>
- Шейретов, Х. (2016). Изследване влиянието на различни фактори върху натоварването на ролките на лентови транспортъори. *Годишник на Минно-геоложкия университет „Св. Иван Рилски“*, 59, III.