

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

**Пупена О.М., Ельперін І.В.**

**ПРОГРАМУВАННЯ ПРОМИСЛОВИХ  
КОНТРОЛЕРІВ  
У СЕРЕДОВИЩІ UNITY PRO**

Навчальний посібник



Київ 2017

УДК 004.415:681.51(075.8)  
ББК 32.965.я73  
П88

*Копіювання, сканування, запис на електронні носії і тому подібне, будь-якої частини посібника без дозволу видавництва заборонено*

#### **Автори:**

*О. М. Пупена* – канд. техн. наук, доцент кафедри інтегрованих автоматизованих систем управління Національного університету харчових технологій;  
*І. В. Ельперін* – канд. техн. наук, доц., проф. кафедри інтегрованих автоматизованих систем управління Національного університету харчових технологій

#### **Рецензенти:**

*А. І. Жученко* – д-р техн. наук, проф. Націон. технічного ун-ту України «КП»;  
*О. І. Стасюк* – д-р техн. наук, проф. Державного економіко-технологічний ун-ту;  
*Б. М. Гончаренко* – д-р техн. наук, проф. Націон. ун-ту харчових технологій

*Рекомендовано до друку Міністерством освіти і науки,  
молоді та спорту України (Лист №1/11-4363 від 26.02.2013 р.)*

**Пупена О.М., Ельперін І.В.**

П88

**Програмування промислових контролерів у середовищі Unity Pro:**  
Навч. посібник. — К.: Видавництво Ліра-К, 2017. — 376 с.  
ISBN 978-966-2609-48-6

У навчальному посібнику розглянуті питання розробки та налагодження прикладного програмного забезпечення у програмному середовищі UNITY PRO для промислових контролерів нового покоління фірми Schneider Electric. Особливістю даного посібника є наявність великої кількості прикладів розв'язку завдань, пов'язаних як із вибором апаратних засобів, так і розробкою прикладного програмного забезпечення. Також особливої уваги заслуговують спеціально розроблені імітаційні моделі, які можуть бути використані для перевірки роботи програм користувача. Вбудований у UNITY PRO імітатор ПЛК дає можливість отримати практичні навички налагодження програм користувача без наявного контролера.

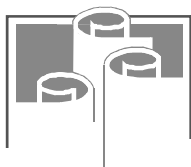
В електронному вигляді представлений перший розділ посібника з кольоровими рисунками, а також лабораторний практикум, що включає 7 лабораторних робіт. Ці матеріали доступні на сайті видавництва «Ліра-К».

Навчальний посібник може бути використаний при вивченні курсів циклу професійної і практичної підготовки рівня бакалавра та спеціаліста, а також при виконанні курсового і дипломного проектування для студентів напряму «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». Посібник також буде корисний для спеціалістів, котрі працюють у галузі промислової автоматизації.

**УДК 004.415:681.51(075.8)  
ББК 32.965.я73**

ISBN 978-966-2609-48-6

© О.М. Пупена, І.В. Ельперін, 2013  
© «Видавництво Ліра-К», 2013



## ЗМІСТ

---

Вступ . . . . .	8
<b>1. ОСНОВИ РОБОТИ З UNITY PRO . . . . .</b>	<b>11</b>
1.1. Загальні поняття . . . . .	11
1.2. Функціональна структура ПЛК . . . . .	13
1.3. Операційні режими роботи ПЛК . . . . .	14
1.4. Області пам'яті ПЛК та адресація каналів вводу/виводу . . . . .	15
1.5. Розробка, компіляція та завантаження проекту UNITY PRO . . . . .	17
1.6. Конфігурування апаратної частини ПЛК . . . . .	18
1.7. Створення змінних та екземплярів функціональних блоків . . . . .	20
1.8. Створення програми користувача . . . . .	22
1.9. Мови програмування . . . . .	23
1.10. Налаштування програми користувача . . . . .	25
1.11. Приклад створення проекту з використанням ПЛК M340 та мови LD . . . . .	27
1.12. Приклад створення проекту з використанням ПЛК TSX Premium та мови FBD . . . . .	35
1.13. Приклад використання мови ST . . . . .	43
1.14. Приклад використання мови SFC . . . . .	45
<i>Контрольні запитання до розділу . . . . .</i>	<i>46</i>
<b>2. АПАРАТНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОНТРОЛЕРІВ MODICON . . . . .</b>	<b>48</b>
2.1. Апаратне забезпечення контролерів Modicon M340 . . . . .	48
2.1.1. Фізична структура Modicon M340 . . . . .	48
2.1.2. Процесорні модулі . . . . .	51
2.1.3. Структура пам'яті . . . . .	53
2.1.4. Модулі дискретних входів/виходів . . . . .	54
2.1.5. Модулі аналогових входів/виходів . . . . .	63
2.1.6. Вибір модулів живлення . . . . .	70
2.1.7. Приклад компонування контролера M340 . . . . .	73
2.2. Апаратне забезпечення контролерів TSX Premium . . . . .	78
2.2.1. Фізична структура TSX Premium . . . . .	78
2.2.2. Принципи розміщення й адресації модулів у контролері . . . . .	82
2.2.3. Процесорні модулі . . . . .	83
2.2.4. Структура пам'яті . . . . .	88

2.2.5. Модулі дискретних входів/виходів . . . . .	90
2.2.6. Модулі аналогових входів/виходів . . . . .	99
2.2.7. Модулі живлення . . . . .	105
<i>Контрольні запитання до розділу . . . . .</i>	<i>106</i>

### **3. ПРОГРАМУВАННЯ КОНТРОЛЕРІВ MODICON**

<b>У СЕРЕДОВИЩІ UNITY PRO . . . . .</b>	<b>109</b>
3.1. Середовище UNITY PRO . . . . .	109
3.2. Проект UNITY PRO . . . . .	111
3.3. Програма користувача . . . . .	112
3.3.1. Задачі . . . . .	112
3.3.2. Секції . . . . .	116
3.3.3. Підпрограми . . . . .	117
3.4. Робота з даними . . . . .	118
3.4.1. Типи даних . . . . .	118
3.4.2. Змінні . . . . .	120
3.4.3. Структурні типи даних користувача . . . . .	123
3.4.4. Области внутрішніх даних (%M та %MW) і констант (%KW) . . . . .	124
3.4.5. Области системних даних (%S та %SW) . . . . .	126
3.4.6. Дані каналів вводу/виводу та змінні IODDT . . . . .	129
3.5. Функції, процедури та функціональні блоки . . . . .	134
3.5.1. Використання FFB . . . . .	134
3.5.2. Створення функціональних блоків користувача (DFB) . . . . .	136
3.6. Стандартна бібліотека FFB . . . . .	138
3.6.1. Огляд бібліотеки . . . . .	138
3.6.2. Математичні функції . . . . .	139
3.6.3. Функції порівняння . . . . .	141
3.6.4. Логічні блоки . . . . .	142
3.6.5. Статистичні функції . . . . .	144
3.6.6. Таймери та лічильники . . . . .	145
3.6.7. Функції перетворення типів . . . . .	148
3.7. Програмування на мові FBD (Function Block Diagram) . . . . .	149
3.7.1. Основні правила програм на FBD . . . . .	149
3.7.2. Редактор FBD . . . . .	151
3.8. Програмування на мові LD (Ladder Diagram) . . . . .	152
3.8.1. Основи LD . . . . .	152
3.8.2. Елементи дискретного управління . . . . .	153
3.8.3. Робота з числовими змінними та FFB . . . . .	157
3.8.4. Редактор LD . . . . .	158
3.9. Програмування на мові ST (Structured Text) . . . . .	158
3.9.1. Основи ST . . . . .	158
3.9.2. Організація розгалуження . . . . .	163
3.9.3. Організація циклів . . . . .	165

3.9.4. Виклик підпрограм та FFB . . . . .	166
3.9.5. Редактор ST . . . . .	170
3.10. Програмування на мові SFC (Sequential Function Charts) . . . . .	171
3.10.1. Основи SFC . . . . .	171
3.10.2. Кроки та дії . . . . .	172
3.10.3. Переходи . . . . .	175
3.10.4. Відгалуження . . . . .	176
3.10.5. Макрокроки . . . . .	178
3.10.6. Часові налаштування та контроль за виконанням кроків . . . . .	179
3.10.7. Управління виконанням мережі SFC . . . . .	180
3.10.8. Редактор SFC . . . . .	182
<i>Контрольні запитання до розділу</i> . . . . .	184
<b>4. НАЛАГОДЖЕННЯ ПРОГРАМ КОРИСТУВАЧА ТА ДІАГНОСТИКА ПЛК</b> . . . . .	188
4.1. Операційні режими роботи ПЛК . . . . .	188
4.2. Робота UNITY PRO в режимі онлайн . . . . .	190
4.2.1. Налаштування зв'язку . . . . .	190
4.2.2. Можливості UNITY PRO в режимі онлайн . . . . .	193
4.2.3. Імітатор ПЛК . . . . .	195
4.3. Налаштування програми користувача . . . . .	196
4.3.1. Використання анімаційних засобів редакторів . . . . .	196
4.3.2. Використання анімаційних таблиць . . . . .	198
4.3.3. Використання операторських екранів . . . . .	198
4.4. Використання імітаційних моделей . . . . .	201
4.4.1. Призначення імітаційного моделювання в ПЛК . . . . .	201
4.4.2. Варіанти структури програм UNITY PRO з імітацією . . . . .	202
4.4.3. Генератор випадкових чисел . . . . .	205
4.4.4. Імітаційне моделювання на основі рішення диференціальних рівнянь явним методом Ейлера . . . . .	207
4.4.5. Імітація рівня . . . . .	208
4.4.6. Імітація температури в ємності . . . . .	210
4.4.7. Імітація температури у теплообміннику . . . . .	214
4.4.8. Реалізація аперіодичної ланки (першого порядку) . . . . .	216
4.4.9. Реалізація транспортного запізнення . . . . .	217
4.4.10. Імітація роботи регулюючого органу з виконавчим механізмом . . . . .	219
4.5. Діагностика роботи ПЛК . . . . .	222
4.5.1. Загальні принципи діагностики роботи ПЛК . . . . .	222
4.5.2. Апаратні засоби діагностики ПЛК . . . . .	223
4.5.3. Діагностичні засоби середовища UNITY PRO . . . . .	224
4.5.4. Програмні засоби діагностики . . . . .	228
<i>Контрольні запитання до розділу</i> . . . . .	230

<b>5. ПРИКЛАДИ РЕАЛІЗАЦІЇ АЛГОРИТМІВ УПРАВЛІННЯ</b> . . . . .	233
5.1. Приклади задач на формування, використання та підрахунок імпульсів . . . . .	233
5.1.1. Генерація імпульсів тривалістю 1 цикл із заданою періодичністю . . . . .	233
5.1.2. Генерація імпульсів із заданими періодичністю і тривалістю . . . . .	235
5.1.3. Лічильник мотогодин . . . . .	236
5.1.4. Аварійна сигналізація . . . . .	238
5.2. Приклади задач на роботу з витратомірами та лічильниками речовини . . . . .	241
5.2.1. Інтегрування загального об'єму за показами витратоміра . . . . .	241
5.2.2. Інтегрування за сигналом із лічильника . . . . .	243
5.2.3. Розрахунок витрати за показами лічильника . . . . .	244
5.3. Приклади роботи з годинником реального часу та зі змінними часових типів . . . . .	245
5.4. Приклади роботи зі структурами, масивами і циклами . . . . .	247
5.5. Приклади роботи з підпрограмами та функціональними блоками користувача . . . . .	250
5.6. Приклади створення і використання кусочно-лінійних функцій . . . . .	255
5.6.1. Реалізація кусочно-лінійної функції . . . . .	256
5.6.2. Програма розрахунку об'єму рідини в резервуарі неправильної форми за датчиком рівня . . . . .	258
5.6.3. Програмний задатчик . . . . .	259
5.7. Приклад імітаційної моделі . . . . .	263
5.8. Приклад використання мови FBD . . . . .	273
5.9. Приклад використання мови SFC . . . . .	277
<b>6. РЕАЛІЗАЦІЯ КОНТУРІВ РЕГУЛЮВАННЯ В UNITY PRO</b> . . . . .	289
6.1. Загальні принципи використання бібліотечних FFB для побудови контурів регулювання . . . . .	289
6.1.1. Структура контурів регулювання . . . . .	289
6.1.2. Режим слідкування (Tracking) . . . . .	290
6.1.3. Режими Ручний/Автомат (Manual/Automatic) . . . . .	291
6.1.4. Періодичність виклику FFB та контроль за помилками . . . . .	292
6.2. Реалізація законів регулювання (сімейство Controller) . . . . .	293
6.2.1. Огляд блоків сімейства Controller . . . . .	293
6.2.2. SAMPLETM . . . . .	293
6.2.3. ПІ-регулятор PI_V . . . . .	294
6.2.4. ПІД-регулятор PIDFF . . . . .	298
6.2.5. Режими абсолютного та інкрементального розрахунку роботи PI_V/PIDFF . . . . .	303
6.2.6. Двохпозиційний регулятор STEP2 . . . . .	305
6.2.7. Трьохпозиційний регулятор STEP3 . . . . .	307

---

6.3. Обробка вхідних даних контурів регулювання . . . . .	309
6.3.1. Гістерезис HYST (сімейство Measurement) . . . . .	309
6.3.2. Індикатор меж INDLIM (сімейство Measurement) . . . . .	310
6.3.3. Кусочно-лінійна інтерполяція LOOKUP_TABLE1 (сімейство Measurement) . . . . .	311
6.3.4. Зона нечутливості DEAD_ZONE (сімейство Measurement) . . . . .	313
6.3.5. Запис змінної SAH (сімейство Measurement) . . . . .	314
6.3.6. Фільтр ковзного середнього AVGMV (сімейство Measurement) . . . . .	314
6.3.7. Фільтр ковзного середнього з коректором AVGMV_K (сімейство Measurement) . . . . .	315
6.3.8. Розрахунок витрати із перепаду тиску K_SQRT (сімейство Mathematics) та MFLOW (сімейство Conditioning) . . . . .	316
6.3.9. Зважене множення/ділення MULDIV_W (сімейство Mathematics) . . . . .	318
6.3.10. Зважена сума SUM_W (сімейство Mathematics) . . . . .	318
6.4. Обробка вихідних даних контурів регулювання (сімейство Output Processing) . . . . .	319
6.4.1. Блок управління реверсивним двигуном (SERVO) . . . . .	319
6.4.2. Управління виконавчими механізмами з використанням широотно-імпульсного перетворення PWM1 . . . . .	324
6.4.3. Блок ручного управління MS . . . . .	327
6.5. Організація управління уставками (сімейство Setpoint Management) . . . . .	331
6.5.1. Перемикач уставок SP_SEL . . . . .	331
6.5.2. Зміна уставки з постійною швидкістю (RAMP) . . . . .	332
6.5.3. Задатчик співвідношення (RATIO) . . . . .	334
6.6. Блоки додаткової обробки . . . . .	335
6.6.1. SCALING (сімейство Conditioning) . . . . .	335
6.6.2. Ланка транспортного запізнювання DTIME (сімейство Conditioning) . . . . .	337
6.6.3. Блок інтегрування INTEGRATOR (сімейство Conditioning) . . . . .	338
6.6.4. Аперіодична ланка LAG_FILTER (сімейство Conditioning) . . . . .	339
6.7. Цілочисельне регулювання (сімейство CLC_INT) . . . . .	340
6.7.1. Огляд процедур цілочисельного регулювання . . . . .	340
6.7.2. Процедура PID_INT . . . . .	341
6.7.3. Процедура SERVO_INT . . . . .	344
6.7.4. Процедура PWM_INT . . . . .	347
6.8. Приклади . . . . .	348
6.8.1. Стабілізаційне регулювання . . . . .	348
6.8.2. Каскадне регулювання . . . . .	351
6.8.3. Регулювання з використанням виконавчих механізмів типу реверсивний двигун . . . . .	358
<i>Контрольні запитання до розділу</i> . . . . .	365
<i>Література</i> . . . . .	368