

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

**О.М. Пупена, І.В. Ельперін,
Н.М. Луцька, А.П. Ладанюк**

**ПРОМИСЛОВІ МЕРЕЖІ
ТА ІНТЕГРАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ
В АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМАХ**

Навчальний посібник

*Рекомендовано
Міністерством освіти і науки України
Як навчальний посібник для студентів
вищих навчальних закладів*



Київ-2015

Автори:

**О.М. Пупена, І.В. Ельперін,
Н.М. Луцька, А.П. Ладанюк**

*Гриф надано Міністерством освіти і науки України
як навчальний посібник для студентів, які навчаються за напрямом
«Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
(Лист № 1/11-8266 від 30.08.2010 р.)*

П 88 Промислові мережі та інтеграційні технології в автоматизованих системах: Навчальний посібник. — К. : Вид-во «Ліра-К», 2015. — 552 с.
ISBN 978–966–2174–13–7

У навчальному посібнику розглянуті принципи функціонування промислових мереж та інтеграційних технологій, що використовуються в інтегрованих автоматизованих системах.

Посібник складається з чотирьох частини. У першій частині висвітлюються загальні питання про місце мережних технологій в інтегрованих автоматизованих системах, фундаментальні принципи функціонування всіх промислових мереж, короткий огляд найбільш популярних в Україні промислових мереж, детально описані особливості реалізації фізичного рівня промислових мереж а також функціонування модемного та бездротового зв'язку. У другій частині детально висвітлюються принципи функціонування та особливості проектування промислових мереж AS-I, MODBUS, PROFIBUS, CAN, CANOPEN та мереж на базі Industrial Ethernet, а також описані стандартні технології управління електроприводами через промислові мережі. Третя частина присвячена відкритим технологіям міжпрограмної взаємодії DDE/NetDDE, COM/DCOM, WEB, OPC, ODBC, OLEDB, та показано їх використання в інтегрованих автоматизованих системах. Остання частина присвячена проектуванню інтегрованих автоматизованих систем, що базуються на використанні промислових мереж та технологій міжпрограмної взаємодії. Весь теоретичний матеріал закріплюється робочими прикладами та питаннями для самостійного контролю.

Навчальний посібник може бути використаний при вивченні курсів циклу професійної і практичної підготовки рівня бакалавра, спеціаліста та при виконанні курсового і дипломного проектування для студентів напряму «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». Посібник також рекомендується для молодих спеціалістів, що працюють в області промислової автоматизації.

**УДК 681.51
ББК 32.973.202**

ISBN 978–966–2174–13–7

© Пупена О. М., Ельперін І. В.,
Луцька Н. М., Ладанюк А. П., 2011
© Видавництво «Ліра-К», 2011



Зміст

Вступ	10
1. МІСЦЕ ТА РОЛЬ МЕРЕЖНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В ІНТЕГРОВАНИХ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ	14
1.1. Інтегровані автоматизовані системи управління	14
1.2. Функціональна інтеграція	17
1.3. Інформаційна інтеграція	18
1.4. Технічна та програмна інтеграція	18
1.4.1. Засоби людино-машинного інтерфейсу	19
1.4.2. Контролери	20
1.4.3. Периферійні засоби: перетворювачі та виконавчі механізми	22
1.4.4. Програматори/конфігуратори	23
1.4.5. Програмно-технічні засоби рівня АСУП	24
1.5. Обчислювальні мережі в ієрархії ІАСУ	26
2. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОМИСЛОВИХ МЕРЕЖ	28
2.1. Властивості промислових мереж	28
2.1.1. Визначення промислової мережі та їх градація	28
2.1.2. Функціональне призначення промислових мереж	29
2.1.3. Обмін даними	31
2.1.4. Загальні вимоги до промислових мереж	34
2.2. Історія розвитку та стандартизації промислових мереж	38
2.3. Промислові мережі в контексті моделі ISO OSI	41
2.4. Основні робочі характеристики промислових мереж	46
2.4.1. Прикладні сервіси, інтерфейс прикладного рівня	47
2.4.2. Забезпечення каналом зв'язку між вузлами та методи доступу	53
2.4.3. Формування кадру та контроль за помилками	61
2.4.4. Топологія мережі та сегментація	62
2.4.5. Фізичні інтерфейси передачі даних	64
2.4.6. Маршрутизація	66
2.4.7. Транспортування даних	70
2.4.8. Підсумкова таблиця з основними робочими характеристиками	71
2.5. Короткий огляд промислових мереж	73
2.5.1. Мережі MODBUS RTU/ASCII та MODBUS TCP/IP	73
2.5.2. Мережа World-FIP	75
2.5.3. Мережа Foundation Fieldbus (FF)	79
2.5.4. CAN та CANOpen	87
2.5.5. Мережа LonWorks	90

2.5.6. Мережі PROFIBUS	98
2.5.7. HART-протокол	101
2.5.8. Мережа AS-i	105
2.5.9. Мережа INTERBUS	106
2.5.10. Мережі CIP: DeviceNet, ControlNet, Ethernet/IP та CompoNet	115
2.5.11. Мережі CC-Link	130
2.6. Вибір промислової мережі	136
3. РЕАЛІЗАЦІЯ ФІЗИЧНОГО РІВНЯ	141
3.1. Організація каналу зв'язку	141
3.2. Використання металевих кабелів	144
3.2.1. Фізичні властивості кабельної лінії передачі	145
3.2.2. Електричні характеристики кабельної лінії передачі	149
3.2.3. Відбиття сигналів та способи їх подолання	152
3.2.4. Типи електричних кабелів	153
3.2.5. Електричні шуми, завади та боротьба з ними	153
3.2.6. Заземлення екранів кабелів	156
3.2.7. Основні рекомендації до вибору, прокладки та монтажу електричних кабелів для промислових мереж	159
3.3. Передача напругою та струмом	161
3.3.1. Використання напруги	161
3.3.2. Використання струму	162
3.4. Використання оптоволоконного кабелю	162
3.5. Використання бездротового зв'язку	164
3.6. Кодування інформації	165
3.6.1. Безпосередній спосіб передачі цифрових даних	165
3.6.2. Модуляція несучої (carrier modulation)	167
3.7. Синхронна та асинхронна передача	168
3.7.1. Необхідність синхронізації	168
3.7.2. Символьна передача	169
3.7.3. Використання схем UART	170
3.8. Стандартні послідовні інтерфейси	171
3.9. Інтерфейс RS-232	171
3.9.1. Електричні характеристики	172
3.9.2. Типи роз'ємів	173
3.9.3. Призначення ліній інтерфейсу RS-232 C	174
3.9.4. Управління потоком даних	175
3.10. Інтерфейс RS-422A (EIA-422A)	177
3.11. Інтерфейс RS-485 (EIA/TIA-485)	179
3.11.1. Схеми з'єднання	180
3.11.2. Схеми узгодження	181
3.11.3. Забезпечення захисного зміщення	182
3.12. Інтерфейс «струмова петля» 20 мА (Current Loop, ІРПС)	183
3.13. Порівняльна характеристика стандартних послідовних інтерфейсів	186
3.14. Використання адаптерів-перетворювачів інтерфейсів	187
3.14.1. Типи адаптерів-перетворювачів	187

3.14.2. Управління адаптерами RS-232<->RS-485 з боку RS-232	188
3.14.3. Автоматичне управління адаптером RS-232<->RS-485	189
4. ТЕХНОЛОГІЇ МОДЕМНОГО ТА БЕЗДРОТОВОГО ЗВ'ЯЗКУ	192
4.1. Символьний спосіб обміну	192
4.1.1. Способи кодування символів	193
4.1.2. Принципи символьного обміну ASCII	195
4.2. Модемний обмін	197
4.3. Бездротовий спосіб обміну	202
4.3.1. Питання стандартизації	203
4.3.2. Класифікація бездротових способів обміну	204
4.3.3. Стандарти IEEE 802.15	205
4.3.4. Стандарт IEEE 802.11	206
4.3.5. Стандарт IEEE 802.16	208
4.3.6. Технології бездротового зв'язку в промисловості	209
4.4. Особливості бездротових модемів з використанням мобільного зв'язку	215
4.4.1. Коротка характеристика мобільного зв'язку в Україні	215
4.4.2. Основні стандарти мобільного зв'язку	215
5. ІНТЕРФЕЙС AS-i	222
5.1. Загальні відомості	222
5.2. Реалізація фізичного рівня	223
5.3. Принципи функціонування	226
5.4. Етапи роботи шини AS-i	229
5.5. Формат кадру AS-i	230
5.6. Швидкість відновлення даних	233
5.7. Профілювання Ведучих та Ведених	233
5.8. Автоматична адресація	234
5.9. AS-i V2.1 та V3	235
5.10. AS-i профілі	236
6. МЕРЕЖІ MODBUS	238
6.1. Мережі MODBUS у контексті моделі OSI	238
6.2. Реалізація MODBUS на прикладному рівні	239
6.2.1. Формат MODBUS PDU	239
6.2.2. Формат основних функцій	240
6.2.3. Адресна модель MODBUS та доступ до даних	245
6.3. MODBUS Serial	248
6.3.1. Канальний рівень	249
6.3.2. MODBUS RTU	250
6.3.3. MODBUS ASCII	251
6.3.4. Реалізація фізичного рівня для MODBUS Serial	257
6.4. MODBUS TCP/IP	263
6.4.1. Комунікаційна архітектура MODBUS TCP/IP	263
6.4.2. Особливості реалізації протоколу	264
6.5. Рекомендації до проектування мереж MODBUS RTU/ASCII та MODBUS TCP/IP	271

6.5.1. Послідовність розробки мереж MODBUS RTU/ASCII	272
6.5.2. Перенесення клієнтських запитів у мережах MODBUS RTU/ASCII	274
6.5.3. Послідовність розробки мереж MODBUS TCP/IP	276
7. МЕРЕЖІ PROFIBUS	278
7.1. Мережі PROFIBUS у контексті моделі ISO та MEK	278
7.2. Реалізація фізичного рівня PROFIBUS DP	280
7.3. Реалізація фізичного рівня PROFIBUS PA (MBP)	287
7.4. Реалізація каналного рівня	290
7.5. Базові функції обміну даними між вузлами в PROFIBUS DP (DP-V0)	291
7.5.1. Функція циклічного обміну даними процесу	292
7.5.2. Функції (сервіси) базових типів вузлів	293
7.5.3. Структура DP-циклу	294
7.5.4. Конфігурування та ініціалізація мережі	295
7.6. Розширені функції обміну даними між вузлами в PROFIBUS DP (DP-V1, DP-V2)	303
7.6.1. Версії DP-V1 та DP-V2	303
7.6.2. Ациклічний обмін даними процесу	304
7.6.3. Широкомовний обмін даними процесу	304
7.6.4. Ізохронний режим	304
7.7. Профілі в PROFIBUS DP	305
7.7.1. Технічна структура PROFIBUS	305
7.7.2. Загальні прикладні профілі	307
7.7.3. Специфічні прикладні профілі	309
7.7.4. Використання GSD для інтеграції пристроїв у мережу	310
8. CAN ПРОТОКОЛ	313
8.1. CAN-стандарти та їх опис у контексті моделі OSI	314
8.2. Організація каналного рівня	315
8.2.1. Комунікаційні сервіси	315
8.2.2. Формати кадрів обміну даними	316
8.2.3. Обробка помилок та боротьба з дефектами	318
8.3. Реалізація фізичного рівня	321
8.4. CAN-сумісні стандарти	322
8.4.1. Стандарт ISO 11898	322
8.4.2. Протоколи прикладного рівня для мереж CAN	325
8.5. Реалізація CAN	325
9. CANOpen	329
9.1. CANOpen у контексті моделі OSI	329
9.2. Особливості реалізації фізичного рівня	330
9.3. Базові принципи функціонування	339
9.3.1. Модель обміну	339
9.3.2. Комунікаційні сервіси	340
9.3.3. Основи функціонування сервісу PDO	341
9.3.4. Базові концепції конфігурування та адміністрування мережі (NMT-Сервіси)	346
9.3.5. Схема розподілення Ідентифікаторів за замовченням	354

9.4. Робота зі Словником Об'єктів	362
9.4.1. Структура словника об'єктів	362
9.4.2. Основи функціонування сервісу SDO	364
9.4.3. Типи передачі POO та об'єкт SYNC	365
9.4.4. Об'єкт Time Stamp	368
9.4.5. Об'єкт Emergency	368
9.4.6. Діагностичні сервіси NodeGuard та Heartbeat	369
9.5. Специфікації профілів пристроїв CANOpen	370
9.5.1. Профілі пристроїв у CANOpen	370
9.5.2. Профіль модулів вводу/виводу	371
10. ПРОМИСЛОВИЙ ETHERNET	377
10.1. Мережі Ethernet	378
10.1.1. Загальні поняття	378
10.1.2. Структура кадру	382
10.2. Протоколи рівня IP	384
10.2.1. Протокол IP	384
10.2.2. Протокол ARP	384
10.2.3. Протоколи BOOTP та DHCP	385
10.2.4. Протоколи IGMP та IGMP-snooping	387
10.2.5. Методика NAT-трансляції	388
10.3. Протоколи транспортного рівня	389
10.3.1. Протоколи UDP та TCP	389
10.3.2. Модель сокетів	390
10.4. Промисловий Ethernet	392
10.4.1. Кабельні системи промислового виконання	392
10.4.2. Real Time Ethernet	393
10.4.3. Рішення RTE над TCP/IP	396
10.4.4. Рішення RTE над Ethernet	398
10.4.5. Рішення RTE з модифікацією Ethernet	401
11. КОМУНІКАЦІЙНА АРХІТЕКТУРА ДЛЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ	407
11.1. Способи інтеграції пристроїв PDS в автоматизовані системи управління	407
11.1.1. Класичний підхід	407
11.1.2. Переваги використання промислових мереж	407
11.1.3. Проблеми використання промислових мереж	408
11.2. Стандарт на універсальний інтерфейс PDS	408
11.2.1. Загальні підходи до стандартизації інтерфейсу PDS	408
11.2.2. Функціональні елементи Логічного Приводу	411
11.2.3. Прикладні режими PDS	415
11.2.4. Структура стандартів IEC 61800-7	419
11.3. Профіль PROFIdrive	420
11.3.1. Функціональні елементи PROFIdrive	420
11.3.2. Загальний автомат станів для приводів PROFIdrive	421
11.3.3. Операційна робота приводів PROFIdrive в режимі управління швидкістю	423

11.4. Профіль CiA402	429
11.4.1. Функціональні елементи CiA402	429
11.4.2. Операційна робота приводів CiA402 в режимі управління швидкістю	433
12. ВІДКРИТІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОГРАМНОЇ ІНТЕГРАЦІЇ В СЕРЕДОВИЩІ WINDOWS	438
12.1. Проблеми програмної інтеграції в інтегрованих автоматизованих системах	438
12.2. Функціонування ОС Windows	439
12.2.1. Основи функціонування	439
12.2.2. Архітектура Windows	441
12.3. Інтерфейс програми користувача до ОС Windows	442
12.3.1. Win32 API	442
12.3.2. Проблеми доступу до даних іншого Процесу	445
12.4. Технології DDE та NetDDE	446
12.4.1. Локальний обмін через DDE	446
12.4.2. Обмін через NetDDE в мережі	447
12.5. Технології COM/DCOM	449
12.5.1. Доступ до Процесів через COM	449
12.5.2. Використання OLE та ActiveX	452
12.6. Web Технології	454
13. ТЕХНОЛОГІЯ OPC	457
13.1. Загальні концепції	457
13.1.1. Передумови виникнення	457
13.1.2. Стандарти OPC	459
13.1.3. Функціонування OPC з точки зору інтегратора	461
13.2. Принципи функціонування OPC DA	466
13.2.1. OPC модель взаємодії	466
13.2.1. Механізми читання та запису даних процесу	468
13.2.3. Ідентифікатори ItemID	470
13.2.4. Робота OPC Клієнта з віддаленими OPC Серверами	474
13.3. Типи OPC DA інтерфейсів	475
13.3.1. Загальний огляд типів інтерфейсів	475
13.3.2. Об'єктна модель інтерфейсу OPC Automation	476
13.3.3. Синтаксис основних методів, властивостей та подій об'єктів бібліотеки OPCAutomation	478
13.4. Область застосування технології OPC	483
14. СТАНДАРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ ДОСТУПУ ДО БАЗ ДАНИХ	486
14.1 Проблеми доступу до баз даних	486
14.2. Мова SQL	487
14.3. ODBC та DAO	488
14.4. OLE DB, ADO та ADO.NET	491

15. ПРОЕКТУВАННЯ ІНТЕГРОВАНІХ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ	495
15.1. Загальні підходи до проектування автоматизованих систем	495
15.1.1. ІАС як клас автоматизованих систем	495
15.1.2. Стадії створення автоматизованих систем	495
15.1.3. Розробка документації на стадіях створення автоматизованих систем	500
15.2. Загальні підходи до проектування інтегрованих автоматизованих систем	507
15.2.1. Життєвий цикл ІАС	507
15.2.2. Дослідження об'єкта та формування вимог до ІАС	510
15.2.3. Розробка концепції ІАС	511
15.2.4. Технічне завдання на ІАС та АС	511
15.2.5. Технічний проєкт ІАС	513
15.2.6. Робоча документація та введення в дію	515
15.3. Розробка структурних схем ІАС	515
15.3.1. Зміст структурних схем	515
15.3.2. Використання графової моделі інформаційних потоків (С2Г)	518
15.3.3. Використання блочної моделі інформаційних потоків (С2Б)	523
15.4. Розробка документів інформаційного забезпечення ІАС	525
15.4.1. Комплектність документів інформаційного забезпечення	525
15.4.2. Використання схеми мережних інформаційних потоків (СП)	526
15.4.3. Використання схеми інформаційних потоків у мережах MODBUS RTU	532
15.4.4. Використання схеми інформаційних потоків у мережах на базі Ethernet	533
15.4.5. Використання схеми інформаційних потоків при проектуванні мереж PROFIBUS	540
15.4.6. Використання схеми інформаційних потоків при проектуванні мереж CANOpen	542
Література	546