

УДК 621.3.049.77

Кровиков Михаил Михайлович, магистрант, 2 курс направления «Конструирование и технология электронных средств», Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники», г. Зеленоград

Бритков Олег Михайлович, кандидат технических наук, доцент института нано- и микросистемной техники, Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники», г. Зеленоград

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КЛАСТЕРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ МАГНЕТРОННОГО НАПЫЛЕНИЯ «ОРАТОРИЯ-36»

Аннотация

В статье рассмотрена модернизация системы управления кластерного оборудования магнетронного напыления «Электроника ТМ-1203» (Оратория-36), применяемого в производстве микроэлектронных изделий. Выполнен анализ существующей системы управления на базе блоков «ОРИОН», выявлены основные проблемы эксплуатации устаревшего оборудования. Предложено конструктивное решение в виде унифицированной выдвижной панели модернизации, устанавливаемой в штатный корпус блока «ОРИОН-4». Разработанная система обеспечивает сохранение существующей кабельной архитектуры и возможность интеграции современных средств автоматизации без изменения конструкции технологической установки.

Abstract

The article discusses modernization of the control system for the “Oratoria-36” cluster magnetron sputtering equipment used in microelectronics manufacturing. The existing ORION-based control system was analyzed and the main operational

problems of obsolete equipment were identified. A structural solution based on a unified sliding modernization panel installed into the standard ORION-4 housing is proposed. The developed system preserves the existing cable architecture and enables integration of modern automation equipment without modification of the technological installation design.

Ключевые слова: магнетронное напыление, система управления, промышленная автоматизация, модернизация оборудования, микроэлектроника, Modbus TCP/IP.

Keywords: magnetron sputtering, control system, industrial automation, equipment modernization, microelectronics, Modbus TCP/IP.

ВВЕДЕНИЕ

Современное производство микроэлектронных изделий предъявляет высокие требования к стабильности работы технологического оборудования и систем управления технологическими процессами. Надежность функционирования управляющих модулей напрямую влияет на качество контроля и управления формируемых покрытий, производительность оборудования и качество продукции.

На ряде отечественных предприятий продолжает эксплуатироваться оборудование, разработанное в 1990-х годах. Несмотря на сохранение работоспособности механических и вакуумных узлов, системы управления данного оборудования морально и физически устарели. Основными проблемами являются дефицит комплектующих, отсутствие технической поддержки, сложность диагностики и высокая вероятность отказов управляющих плат [1].

К такому оборудованию относится установка магнетронного напыления «Оратория-36», предназначенная для нанесения тонкопленочных покрытий на кремниевые пластины диаметром 150 мм [2]. Установка показана на рисунке 1. Управление установкой осуществляется при помощи блоков управления типа «ОРИОН-4» и «ОРИОН-5», взаимодействующих с блоками управления исполнительными механизмами посредством советских аналоговых, дискретных и оптронных плат управления.



Рисунок 1 – Оборудование «Электроника ТМ-1203 (Оратория-36)» [1]

Полная замена шкафов управления и перекоммутация кабельной системы являются трудоёмкими и экономически нецелесообразными решениями, поскольку технологическая часть установки сохраняет работоспособность [1]. В связи с этим возникает задача модернизации системы управления с сохранением существующей конструкции оборудования и кабельной архитектуры.

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Система управления установки «Оратория-36» построена на базе блоков управления семейства «ОРИОН» (рисунок 2), разработанных в 1980-х годах. Управление технологическими модулями осуществляется через платы управления данных блоков, которые в свою очередь получают команды от головной ЭВМ



Рисунок 2 – Блок управления модулем [1]

«Оратория-36» имеет линейный тип кластерного агрегата. В состав оборудования входят следующие модули [2]:

Шлюзовые модули: 2 модуля для загрузки выгрузки пластин. В них происходит погрузка и выгрузка кассет и перемещение их к транспортному модулю.

Транспортный модуль: данный модуль является связующим в системе. В нем происходит перемещение каретки с пластинами между шлюзами и технологическими модулями.

Модуль высокочастотной очистки: предназначен для предварительной высокочастотной очистки пластин от органических загрязнений. В каждом технологическом рецепте пластина проходит этот модуль перед обработкой;

Модули магнетронного напыления: технологические модули напыления пластин при помощи магнетронно-распылительной системы, состоящей из вращающейся системы с тремя мишенями.

С точки зрения системы управления, оборудование управляется 5-ю БУ: «ОРИОН-4» управляет шлюзами, транспортным модулем и вакуумной системой, четыре БУ «ОРИОН-5» управляют каждым технологическим модулем и модулем ВЧ-очистки. Существующая система использует стандартные сигналы управления 24 В и 0–10 В, что позволяет выполнить замену устаревших контроллеров на современные аналоги без изменения исполнительной части оборудования [3].

Основными недостатками существующей системы являются:

- физический износ управляющих плат в виду длительной эксплуатации;
- многократные ремонты оборудования с участием ручной перепайки;
- отсутствие современной диагностики в качестве программного контроля системы управления;
- невозможность интеграции в современные производственные сети и подключения оборудования к MES-системе производства;
- отсутствие резервирования и удалённого мониторинга;
- высокий риск полной остановки технологического оборудования при отказе управляющих узлов.

При выходе из строя одной установки производительность участка снижается на 50-70% при загрузке 10-11 тыс. пластин в месяц, а отказ двух установок приводит к невозможности выпуска продукции на производственной линии [1].

РАЗРАБОТКА МОДЕРНИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Для решения поставленной задачи была разработана модернизированная система управления на базе современных программируемых логических

контроллеров и распределённой системы ввода-вывода. Она представлена на рисунке 3.

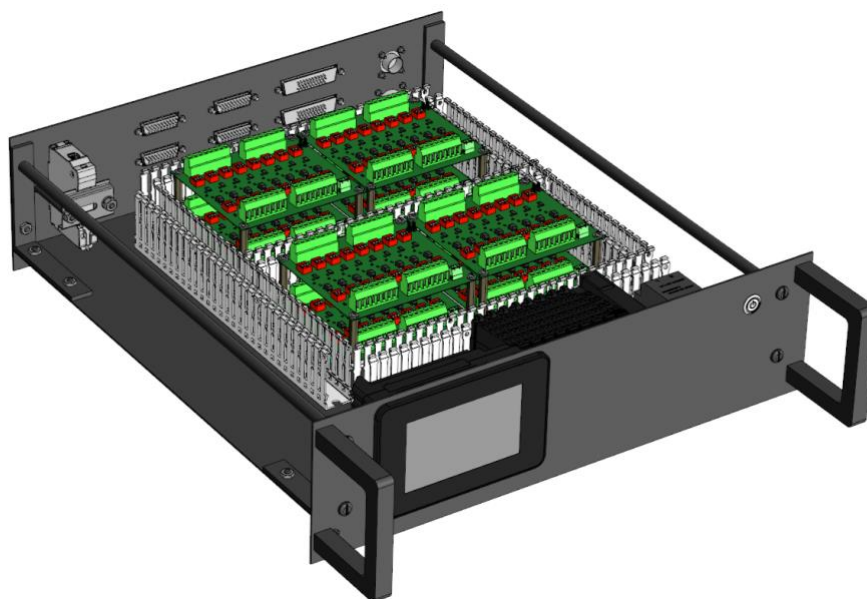


Рисунок 3 – 3D-модель разработанного модуля [1]

Основной задачей модернизации являлось сохранение штатного корпуса блоков «ОРИОН-4», сохранение существующих жгутов и кабельных соединений и принципов взаимодействия исполнительных механизмов. Также для наладки сохранена возможности ручного режима работы оборудования при помощи подключения пульта управления к блокам исполнительных механизмов.

Предлагаемое решение основано на применении унифицированной выдвижной панели, размещаемой внутри корпуса блока управления на место «ОРИОН-5». На лицевой панели устанавливаются программируемый логический контроллер (ПЛК) с сенсорной панелью с кнопкой включения питания +24В:

На нижней несущей панели расположены современные модули ввода-вывода, работающих с аналоговыми и дискретными сигналами. На замену штатного модуля обмена оптронного разработана система плат оптронной

развязки (рисунок 4), которая обеспечивает гальваническую развязку входов и выходов ИУ с модулями ввода-вывода. Также присутствует вся необходимая инфраструктура для безопасного обеспечения питания и соединения с промышленной сетью.

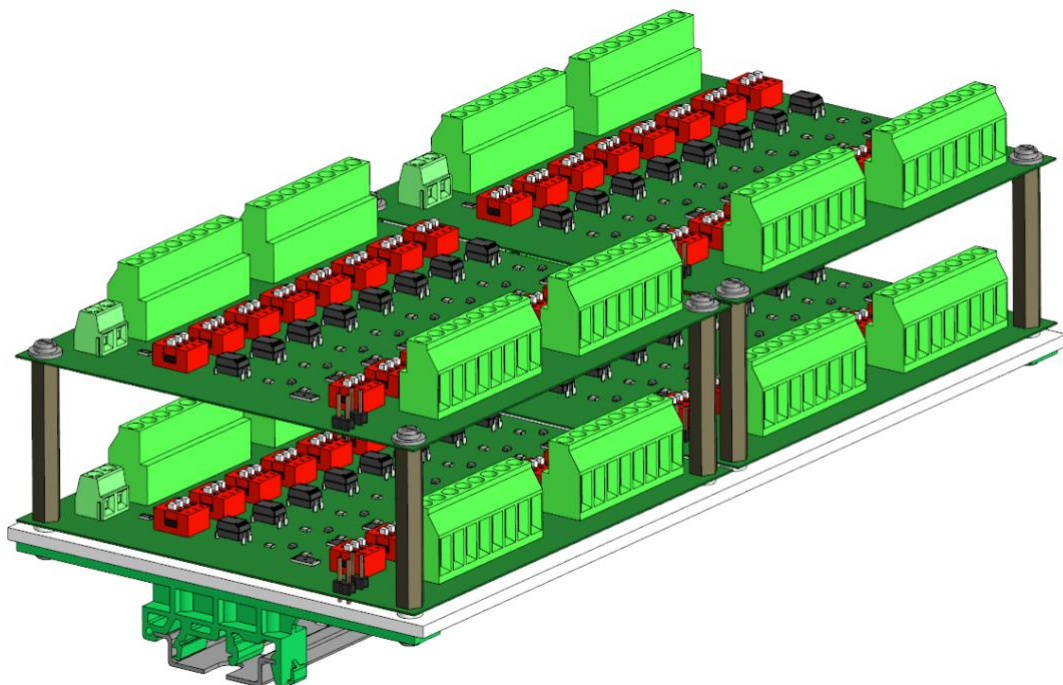


Рисунок 4 – Двухуровневая конструкция оптронных плат [1]

Для обмена данными между компонентами системы используется промышленная сеть Ethernet с поддержкой протокола Modbus TCP/IP. Такое решение обеспечивает возможность интеграции оборудования в автоматизированную систему управления производством верхнего уровня, в т.ч. по стандартному для микроэлектронной автоматизации протоколу SECS-GEM [5].

Современное программное обеспечение позволяет с большей точностью и скоростью задавать, контролировать, обрабатывать и хранить данные о работе оборудования. Полностью переписана работа оператора с HMI на современный и удобный интерфейс по стандарту от Rockwell Automation [3].

Внедрена работа с базами данных для надежного и удобного хранения информации о рецептах, пользователях, логов и пр. (рисунок 5).

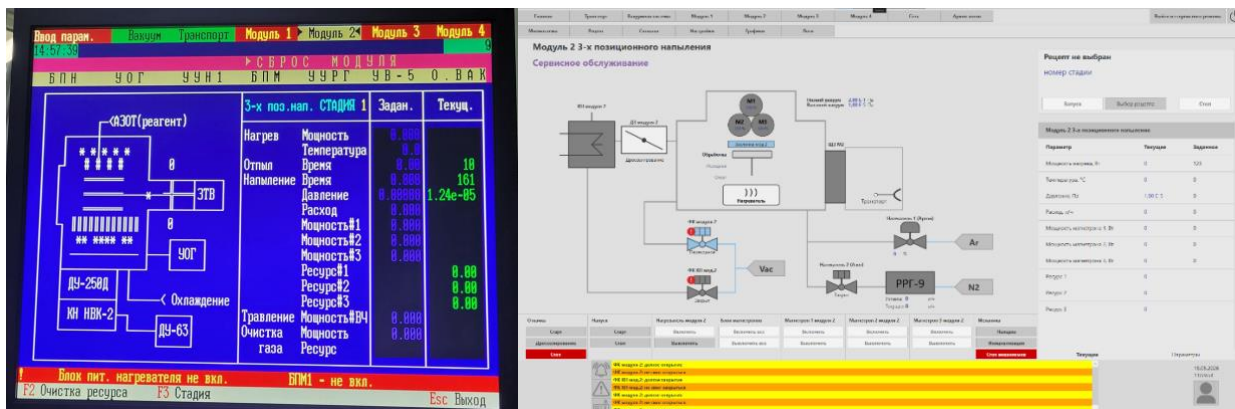


Рисунок 5 – Сравнение пользовательского интерфейса [1]

Для подключения внешних устройств применяются существующие разъёмы установки, что позволяет сохранить штатную кабельную архитектуру и снизить объём монтажных работ при модернизации (рисунок 6).

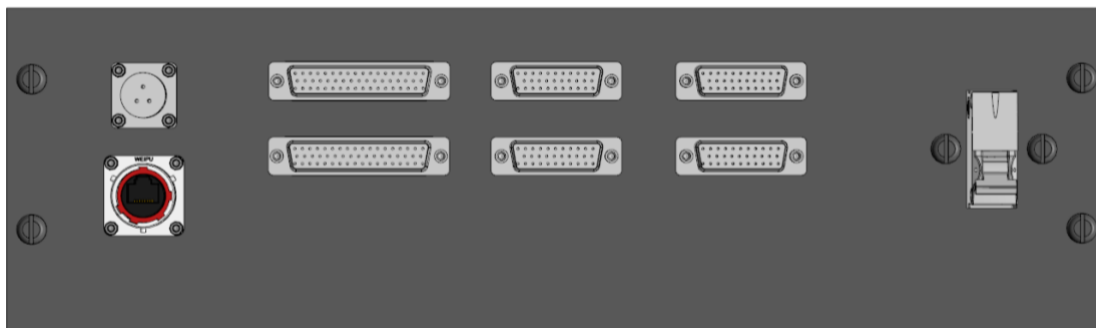


Рисунок 6 – Задняя панель разъемов [1]

Для анализа надежности работы системы, выполнен расчет на надежность комплекса плат оптронной развязки. Основным фактором отказов является ручная пайка DIP-компонентов.

$$\text{Суммарная интенсивность отказов комплекта} = 92,60 \cdot 10^{-6} \text{ [ч}^{-1}\text{]}.$$

Среднее время безотказной работы комплекта из четырёх плат = 10799 часов > 2 года.

ПРЕИМУЩЕСТВА РАЗРАБОТАННОГО РЕШЕНИЯ

Разработанная система модернизации обладает следующими преимуществами:

- сохранение существующей конструкции оборудования с модульной заменой проблемных компонентов;
- отсутствие необходимости полной перекоммутации системы;
- повышение ремонтпригодности за счет внедрения современной компонентной базы и снижение времени технического обслуживания;
- возможность интеграции в современные производственные сети и подключение оборудования к MES-системе предприятия;
- возможность дальнейшего масштабирования системы;
- современное программное обеспечение повышает качество контроля техпроцесса и удобство работы операторам.

Предложенный подход позволяет значительно снизить стоимость модернизации по сравнению с полной заменой оборудования. По подсчетам предприятия, стоимость современной зарубежной или отечественной установке аналогичного типа обошлось бы около 130 млн. руб., в то время как точечная модернизация проблемных блоков оценивается в стоимость около 2,5 млн. руб.

ПУСКОНАЛАДОЧНЫЕ РАБОТЫ ПО ВНЕДРЕНИЮ МОДУЛЯ

Разработанный модуль управления обеспечил приём и обработку всех дискретных и аналоговых входных сигналов исполнительных устройств

технологического модуля напыления (позиция 3), включая сигналы с уровнями логики +5 В и +12 В.

Обеспечена выдача выходных управляющих сигналов на вакуумную систему, блок питания нагревателя, блок управления приводами и магнетронную распылительную систему.

Зафиксирована возможность поддержания заданного давления в рабочей камере посредством управления электрическими натекателями, регулятором расхода газа и дроссельной заслонкой. Зарегистрирован поджиг плазмы при запуске тестового рецепта (рисунок 7).



Рисунок 7 – Зафиксированный поджиг плазмы (фиолетовое свечение) [1]

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы выполнена разработка модернизированной системы управления кластерного оборудования магнетронного напыления «Оратория-36». Проведён анализ существующей системы управления и выявлены основные проблемы эксплуатации оборудования на базе блоков «ОРИОН».

Предложено конструктивное решение в виде унифицированной для данного типа БУ выдвижной панели, обеспечивающей интеграцию современных средств автоматизации без изменения конструкции технологической установки и существующей кабельной архитектуры.

Разработанная система позволяет повысить надёжность и ремонтпригодность оборудования, обеспечить возможность удалённого мониторинга и интеграции в современные производственные системы предприятия.

Литература

1. Кровиков М. М. Разработка системы управления кластерного оборудования «Оратория-36 : выпускная квалификационная работа. – Москва : НИУ МИЭТ, 2026. – 103 с.
2. Установка напылительная четырехпозиционная Электроника ТМ-1203 : техническое описание и инструкция по эксплуатации. – 1997.– Дата обращения: 21.03.2026.
3. Rockwell Automation [Электронный ресурс]. Руководство по разработке HMI. – Режим доступа: https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/wp/proces-wp023_-en-p.pdf. – Дата обращения: 22.03.2026.
4. Schneider Electric. Industrial Automation Handbook. – 2020. – 412 p.
5. Agileo Automation. GEM Introduction : [сайт]. – 2023. – URL: <https://secsgem.eu> (дата обращения: 21.05.2026).

Literature

1. Krovikov, M. M. Development of a Control System for Cluster Equipment “Oratoria-36”: Final Qualifying Work. – Moscow : National Research University of Electronic Technology (MIET), 2026. – 103 p.
2. Four-Position Sputtering System Elektronika TM-1203: Technical Description and Operating Instructions. – 1997. – Accessed: 21.03.2026.
3. Rockwell Automation [Electronic resource]. HMI Development Guide. – Access mode: https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/wp/proces-wp023_-en-p.pdf. – Accessed: 22.03.2026.
4. Schneider Electric. Industrial Automation Handbook. – 2020. – 412 p.
5. Agileo Automation. GEM Introduction : [сайт]. – 2023. – URL: <https://secsgem.eu> (дата обращения: 21.05.2026).