

# АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫМИ ПРОФИЛЯМИ ПАЙКИ

ВЛАДИМИР ЛАНИН, vlanin@bsuir.by, ЕВГЕНИЙ ЛИТВИН

Рассмотрены характеристики программируемых контроллеров для управления температурными профилями пайки электронных модулей с поверхностным монтажом. Предложен автоматизированный стенд для управления высокочастотным инвертором и установлены оптимальные технологические параметры индукционного нагрева.

## ВВЕДЕНИЕ

Пайка – один из древнейших способов соединения материалов известных человечеству. Ее начали применять еще несколько тысяч лет назад в Риме, Египте и Китае и использовали для изготовления украшений, домашней утвари. Основным преимуществом пайки является возможность формирования паяного шва ниже температуры плавления соединяемых материалов. С увеличением спроса на паяные соединения, развивалась и технология. Изобретались различные нагреватели, способствующие ускорению процесса и упрочнению паяных соединений.

С развитием приборостроения, радиоэлектроники, автомобилестроения и авиастроения резко повысились объемы паяных соединений. Наиболее популярным нагревателем для пайки до сих пор является паяльник, применяемый при лужении и пайке для нагрева деталей, флюса, расплавления припоя и внесения его в место контакта соединяемых деталей. За время его существования предложено множество его усовершенствований: контроль температуры жала, сменные жала, паяльные станции. Появились импульсные и индукционные паяльники, что позволило значительно сократить время пайки.

Однако с приходом поверхностного монтажа, с уменьшением размеров компонентов до почти невидимых глазу, пайка паяльников вытеснена из серийного производства электронных модулей. Появились высокопроизводительные бесконтактные технологии пайки – нагрев горячим воздухом, индукционный, лазерный и электронно-лучевой нагрев.

Индукционный метод бесконтактного нагрева электропроводящих материалов токами высокой частоты широко применяется в технологии

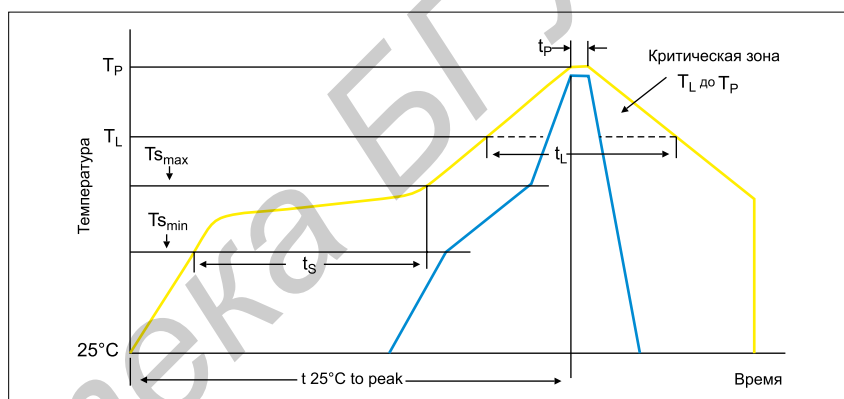


Рис. 1. Рекомендуемый термопрофиль пайки электронных модулей

пайки. Основными его преимуществами являются высокоскоростной разогрев электропроводящего материала, возможность нагрева в атмосфере защитного газа, отсутствие загрязнения заготовки, локальность и избирательность нагрева.

Питание индукционных нагревателей осуществляется мощными высокочастотными (ВЧ) генераторами – инверторами. Важнейшие преимущества инверторов – это резкое уменьшение массогабаритных параметров транс-

форматоров, а также увеличение КПД преобразователей до 100% за счет быстродействующих полупроводниковых ключей. Тем самым удастся получить необходимые большие мощности для питания индукторов.

Управляя инвертором можно задавать необходимый режим пайки, выдерживая определенную температуру в течении заданного времени. Управление ВЧ-инвертором может осуществляться посредством изменения питающего напряжения силового

Таблица 1. Параметры термопрофилей пайки электронных модулей

Параметры термопрофиля	Эвтектический припой Sn-Pb	Бесвисинцовый припой
Средняя скорость подъема температуры	3°C/c max	3°C/c max
Предварительный нагрев		
Температура минимальная, °C	100	150
Температура максимальная, °C	150	200
Время, с	60–120	60–180
Температура плавления, $T_L$ , °C	183	217
Время $t_L$ , с	60–150	60–150
Пиковая температура, $T_p$ , °C	235	260
Время достижения пиковой температуры, с	10–30	20–40
Скорость охлаждения	6°C/c max	6°C/c max
Время охлаждения до 25°C	6 мин max	6 мин max
Количество допустимых циклов оплавления	3	3



а)



б)

Рис. 2. Контроллеры Siemens SIMATIC S7-400 (а) и Wago 750-8202(б)

модуля. При использовании систем управления на основе промышленных контроллеров можно автоматизировать управление термическим циклом процесса пайки при заданных параметрах (см. табл. 1, рис. 1) [1].

#### ВЫБОР КОНТРОЛЛЕРА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ТЕРМОПРОФИЛЕМ ПАЙКИ

В автоматизированных системах управления технологическими установками широко применяются микроконтроллеры, промышленные компьютеры и программируемые логические контроллеры (ПЛК). В отличие от микроконтроллеров с ограниченным количеством входов и выходов, ПЛК имеют модульную структуру: главный модуль с необходимыми интерфейсами и входами питания, большое разнообразие дополнительных модулей, осуществляющих прием, обработку и выдачу различных цифровых и аналоговых сигналов. Количество этих модулей для одного ПЛК ограничено (от 16 до 256 в зависимости от модели), однако существует ряд решений для увеличения их количества (установка промежуточных блоков питания и усилителей сигналов) [2].

В настоящее время производится огромное разнообразие ПЛК, различающихся как фирмой изготовителем, так и поддержкой машинных протоколов. Наиболее известны: Siemens, Wago, Beckhoff, Omron, Mitsubishi. Вне зависимости от особенностей их конструкций и функционала применяют общий стандарт языков программирования ПЛК IEC61131-3, в котором используют 6 основных языков – 4 графических и 2 текстовых.

Модульный программируемый контроллер Siemens SIMATIC S7-400 (см. рис. 2а) предназначен для решения сложных задач автоматического управления, имеет широкий спектр модулей для максимальной адаптации к требованиям решаемых задач. ПЛК S7-400 [3] включают в свой состав:

- модуль центрального процессора CPU, при необходимости используют мультипроцессорные конфигурации, включающие до 4 центральных процессоров, выполняющих параллельную обработку информации;
- сигнальные модули SM, предназначенные для ввода и вывода дискретных и аналоговых сигналов;
- коммуникационные процессоры CP для организации сетевого обмена данными через Industrial Ethernet, PROFINET, PROFIBUS или PtP интерфейс;
- интеллектуальные модули FM для решения задач позиционирования, автоматического регулирования и управления.

Основное преимущество данного контроллера заключается в возможности комплектоваться различными типами центральных процессоров, которые отличаются вычислительными возможностями, объемами памяти, быстродействием, количеством встроенных интерфейсов. Для программирования и конфигурирования контроллеров S7-400 используется пакет STEP 7, весь спектр инструментальных средств проектирования и программное обеспечение Runtime.

Контроллер Wago 750-8202 (см. рис. 2б) представляет собой компактный ПЛК, полностью совместимый

с модульной системой WAGO-I/O. Кроме сетевых и полевых интерфейсов, контроллер поддерживает все дискретные, аналоговые и специальные модули, входящие в серии 750/753. Два ETHERNET порта и встроенный коммутатор позволяют объединять контроллеры в сеть по линейной топологии без дополнительных устройств. Встроенный web-сервер предоставляет пользователю возможности конфигурирования и информации о состоянии PFC 200 [4].

Данный контроллер использует процессор ARM Cortex A с тактовой частотой 600 МГц, энергонезависимой памятью объемом 128 Кбайт и оперативной памятью 256 Мбайт. В качестве интерфейса связи серийный порт, переключаемый между RS232 и RS485, может быть заменен на разъем CAN или Profibus.

Beckhoff CX9000 (см. рис. 3а) является компактным, устанавливаемым на DIN-рейку контроллером шины Ethernet с процессором Intel® IXP420 с технологией XScale, имеющим тактовую частоту 266 МГц. Модуль связи с системой ввода/вывода интегрирован в процессорный модуль. CX9000 выпускается в двух версиях: одна для подключения модулей шины K-bus, а другая для подключения модулей EtherCAT шины E-bus. CX9000 включает в себя процессор, внутреннюю флэш-память, ОЗУ, а также энергонезависимую память NOVRAM [5].

Два разъема интерфейса Ethernet (разъемы RJ 45) также являются частью базовой конфигурации. Эти интерфейсы соединены внутренним переключателем, что позволяет создавать топологию последовательного соединения устройств Ethernet без дополнительных переключателей. В качестве

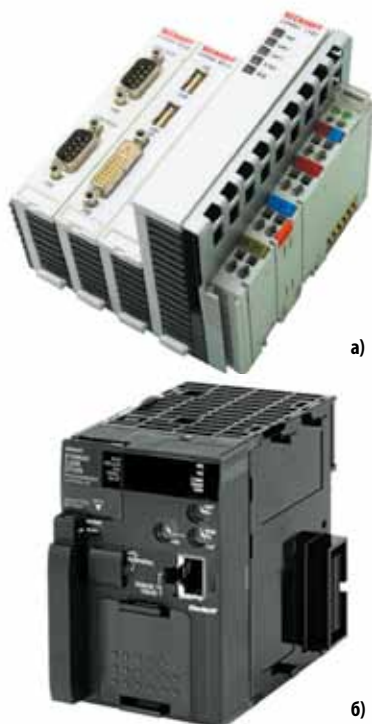


Рис. 3. Контроллеры Beckhoff CX9000 (а) и Omron CJ2M (б)

дополнительной опции предлагает модуль для подключения флеш-накопителя типа Compact Flash типа I или II. Операционная система контроллера CX9000 – Microsoft Windows CE. ПО TwinCAT превращает контроллер CX9000 в мощный ПЛК и контроллер системы позиционирования, которая может работать с или без визуализации. Опция CX9000 – N010 позволяет подключать панели управления Beckhoff или стандартные мониторы с интерфейсом DVI или VGA через DVI и USB-разъемы. Устройства типа принтера, сканера, мыши, клавиатуры, и т. д. могут быть подключены через интерфейс USB 2.0. Модуль CX9000-N031 предлагает два дополнительных последовательных интерфейса RS485 с максимальной скоростью передачи 115 Кбод.

Серия контроллеров CJ2M (см. рис. 26) подходит для применения в автоматизированных технологических линиях и другом оборудовании промышленного назначения. Подключение к контроллеру возможно через встроенный порт USB или предоставляемый на выбор порт Ethernet/последовательный порт RS-232C/422/485 [6]. Емкость памяти программ варьируется в широких пределах: от 5 К до 60 К шагов. Специальная память для функциональных блоков гарантирует эффективное выполнение программных модулей.

Контроллеры MELSEC System Q (см. рис. 4) являются самыми мощными и высокопроизводительными ПЛК Mitsubishi с модульной структурой

и мультипроцессорной технологией. По своим возможностям они превосходят хорошо известные компактные ПЛК блочного типа серии FX, а также контроллеры модульного типа серии L. Модульная структура контроллера позволяет подобрать оптимальное сочетание процессорных модулей, модулей коммуникации, специальных модулей и модулей ввода/вывода в соответствии с конкретными требованиями.

В зависимости от выбранного типа процессорного модуля CPU адресное пространство контроллера может составлять до 4096 локальных (до 8192 удаленных) точек ввода/вывода. CPU и модули устанавливаются в базовом шасси, которое имеет внутреннюю шину для обеспечения связи между отдельными модулями и CPU. Модуль источника питания также установлен в базовом шасси. Базовые шасси доступны в 4 различных версиях с количеством посадочных мест модулей от 3 до 12. Базовые шасси могут быть дополнены шасси расширения, обеспечивающим добавочные посадочные места. Емкость RAM, ROM, FLASH может быть выбрана до 32 Мб. Имеется возможность многопроцессорного режима, в котором установленные ЦПУ (до 4-х) могут выполнять независимые задачи или могут разделить свои ресурсы на выполнение одной большой задачи.

Сравнительная характеристика рассмотренных выше контроллеров дана в таблице 2.

У каждого из рассмотренных выше контроллеров есть свои достоинства и недостатки. У Siemens SIMATIC S7-400 и Mitsubishi MELSEC System Q представлена большая линейка процессоров под разные задачи, однако собственная среда разработки и особенности конструкции требуют большого опыта в работе с данными контроллерами. Контроллер Omron CJ2M хорошо подойдет для решения небольших задач, однако в крупных проектах проявится недостаток в небольшом количестве подключаемых модулей и мощности главного процессорного блока. Серия контроллеров Wago 750–8202 характеризуется высокой мощностью процессорного блока, большим количеством различных модулей и поддержкой среды разработки Codesys, распространенной среди разработчиков систем автоматизации. К недостаткам стоит отнести высокую стоимость процессорного блока и модулей.

Контроллер Beckhoff CX9000 выделяется наличием большого количества одновременно подключаемых интерфейсов связи (COM, USB, DVI, Ethernet), большим объемом энергонезависимой и оперативной памяти, простотой в обслуживании и средней ценой.



Рис. 4. Контроллер Mitsubishi MELSEC System Q

Таблица 2. Сравнительная характеристика контроллеров

Тип контроллера	Тактовая частота процессора, МГц	Оперативная память, МБ	Flash память, МБ	Поддержка SD-карт	Количество подключаемых модулей
Siemens SIMATIC S7-400	16–60	0,15–16	0,15–16	+	128
Wago 750-8202	600	256	256	+	64
Beckhoff CX9000	266	64–128	16–32	–	64
Omron CJ2M	25	0,32–1	0,32–1	–	40
Mitsubishi MELSEC System Q	5-32	0,032–0,256	1–32	–	64

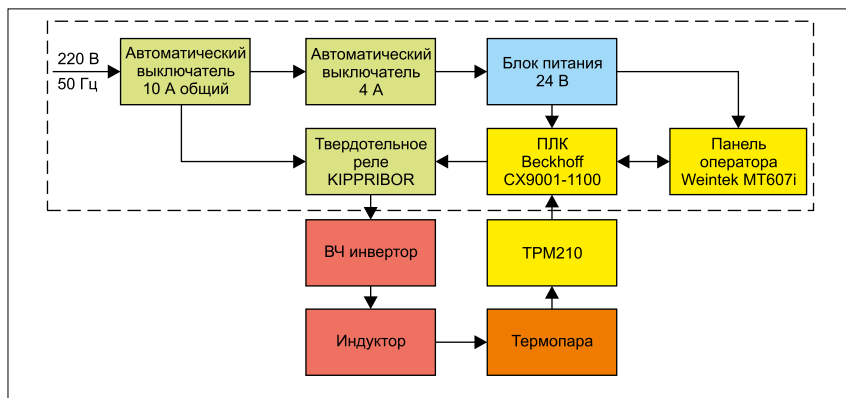


Рис. 5. Схема автоматизированного стенда



Рис. 6. Панель оператора Weintek MT607i

### АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ СТЕНД УПРАВЛЕНИЯ ВЧ-ИНВЕРТОРОМ

Для автоматизированного стенда управления ВЧ-инвертором использованы программируемый логический контроллер Beckhoff CX9000 и панель оператора Weintek MT607i (см. рис. 5).

Твердотельное реле серии HD2522.10U применено для непрерывного регулирования напряжения нагрузки от 0 до 230 В пропорционально входному сигналу управления. Максимально допустимые рабочие токи составляют 20 А. Одноканальный модуль аналогового выхода KL4001 управляется контроллером по шине К-BUS. Задавая значение переменной от 0 до 32767, на выходе модуля регулируется напряжение от 0 до 10 В. Автоматические выключатели ETI ETIMAT 6 C10 2P и ETI ETIMAT 6 C4 2P ограничивают ток потребления в 10 А и 4 А соответственно по двум подключенным полюсам.

На передней панели установлена панель оператора Weintek MT607i, на которой можно выбрать необходимый режим нагрева, величину питающего напряжения инвертора, наблюдать термограмму и текущие показатели термопары (см. рис. 6). Данная панель представляет собой 7-дюймовый сенсорный резистивный экран разрешением 800x480 пикселей в паре с процессором ARM RISC, тактовой частотой 400 МГц, 64 Мб оперативной памяти и 128 Мб встроенной flash памяти. В качестве интерфейсов связи выступают два COM порта, переключаемые между RS232 и RS485, два USB порта (USB 1.1 и USB 2.0), слот для SD карт, Ethernet и линейный аудио-выход [7].

Принцип работы стенда следующий: сетевое напряжение через автоматические выключатели попадает на блок питания, преобразующий сетевое напряжение в напряжение питания 24 В для панели оператора и контроллера. Контроллер с помощью модуля аналогового выхода управляет силовым

модулем, изменяя напряжение питания ВЧ-инвертора от 0 до 230 В.

Показания термопары считываются цифровым измерителем-регулятором температуры TPM210, передаются на контроллер и отображаются на панели оператора промышленного компьютера в виде графика. Изменяя напряжение питания инвертора, регулируют скорость нагрева детали в индукторе, подключенном к высокочастотному инвертору. Так же возможна регулировка частоты управляющих импульсов от 60 до 300 кГц.

Для управления ВЧ инвертором необходимо разработать программные средства для контроллера Beckhoff CX9001-1100 и панели оператора Weintek MT607i. Программирование кон-

троллера осуществляется программным обеспечением TwinCAT 2. Для конфигурирования контроллера используется TwinCAT System Manager. TwinCAT PLC Control необходима для создания и отладки программы контроллера. Для создания программы с визуальным отображением информации для оператора используется InduSoft Web Studio 6.1. Передача информации между контроллером, панелью оператора и измерителем TPM210 производится с помощью протокола Modbus RTU по интерфейсу RS485.

Подключив ко входу термопару, наблюдают текущее значение температуры датчика на индикаторе. Это значение измеряется и передается в сеть MODBUS-RTU по интерфейсу RS-485.

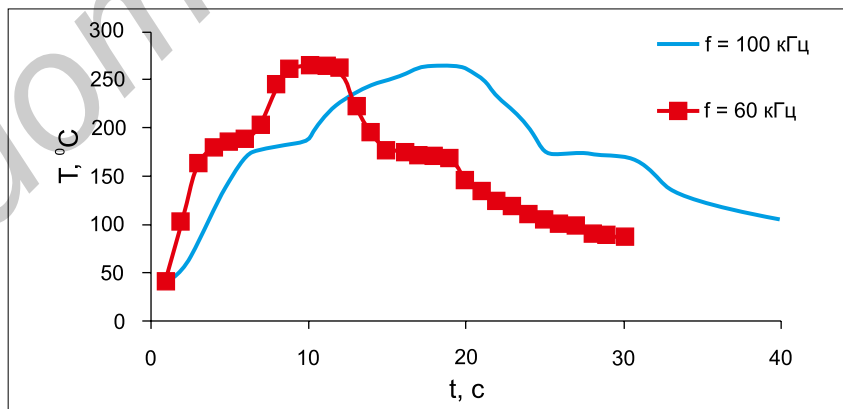


Рис. 7. Термограмма индукционного нагрева на разных частотах

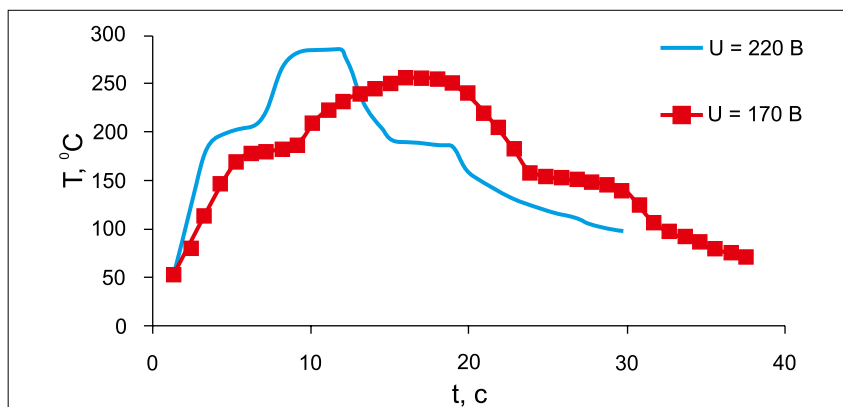


Рис. 8. Термограмма индукционного нагрева при разном напряжении

Таким образом записывают измерения на персональном компьютере с помощью преобразователя OWEN RS585-USB либо на любом другом устройстве, поддерживающем данные протокол и физический интерфейс.

#### ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ВЧ-ИНВЕРТОРА

Термопрофили ВЧ нагрева деталей на двух частотах 60 и 100 кГц приведены на рисунке 7. Как видно из графиков, скорость нагрева выше на более низкой частоте, что связано с глубиной проникновения вихревых токов. При разнице частот в 40 кГц, максимальная скорость при 60 кГц составила около 50°C/с, а при частоте 100 кГц – около 30°C/с. На участке предварительно нагрева от 150 до 200°C скорость нагрева автоматически снижалась до 8–10°C/с.

Скорость нагрева на начальном участке зависит также от питающего

напряжения (см. рис. 8). При напряжении питания ВЧ инвертора 170 В, скорость нагрева уменьшилась почти в 2 раза, относительно сетевого напряжения питания. При этом реализуется более плавный нагрев паяльной пасты на контактных площадках с установленными компонентами.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложен автоматизированный стенд управления ВЧ-инверторами на базе программируемых логических контроллеров с заданными температурными профилями пайки элементов поверхностного монтажа. На основании термограмм выбран оптимальный режим нагрева ВЧ-инвертором с необходимой скоростью и максимальной пиковой температурой. Оптимальные условия индукционного нагрева: напряжение питания 250 В, частота 60 кГц, ток в обмотке индуктора 5–6А,

время нагрева 8–10 с до температуры 300–350°C. ◻

#### ЛИТЕРАТУРА

1. IPC/JEDEC J-STD-020D.1. Joint Industry Standard. [www.adestotech.com](http://www.adestotech.com).
2. Денисенко В. В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием. М.: Горячая линия – Телеком. 2009.
3. <http://abn.by/Product/Controller/Siemens/S7-400>.
4. <http://www.wago-klemmy.ru/catalog/automation/controllers/750-8202>.
5. <http://www.beckhoff-automation.ru>.
6. <https://industrial.omron.ru>.
7. Ланин В. Л., Литвин Е. А., Васильев А. С. Высокочастотный инвертор для индукционного преобразователя на магнитопроводе // Современные средства связи. Труды XIX Международной научн.-технич. конф. 14–15 октября 2015, Минск, ВГК.

## НОВОСТИ РЫНКА

### | НОВАЯ SMD МОНТАЖНАЯ ПЛАТФОРМА ADVANTIS V ПРИНОСИТ СОВЕРШЕНСТВО ТЕХНОЛОГИЙ СБОРКИ ПЕЧАТНОГО УЗЛА И АБСОЛЮТНУЮ МАСШТАБИРУЕМОСТЬ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЛИНИЙ В СРЕДНИЙ ЦЕНОВОЙ КЛАСС |

Известный американский производитель оборудования для автоматизации процессов в электронной индустрии Universal Instruments Corp. презентует новую монтажную платформу продвинутого среднего класса на выставке 2017 IPC APX EXPO, которая проходит 14–16 февраля 2017 г. в городе Сан-Диего, США.

Новая платформа носит название AdVantis V («Эдвентис Ви») и использует многие уникальные технологии производителя, ранее внедренные во флагманской монтажной платформе Fuzion («Фьюжн»). Семейство AdVantis V будет являться уже 4-м поколением семейства AdVantis от Universal Instruments.

Первое поколение станков «Эдвентис» было анонсировано производителем в США в 2003 году, а в 2004 первый станок этого типа был поставлен российскому производителю. С тех пор это оборудование пользуется широкой популярностью в нашей стране.

«Создавая нашу новейшую платформу, – говорит г-н Glenn Фаррис, вице-президент Universal Instruments по маркетингу, – мы стремились предоставить нашим заказчикам бескомпромиссное по возможностям решение. Семейство AdVantis V, которое начинается с достаточно разумной цены, как приобретения, так и владения, обладает мощным потенциалом развития, и дает производству всю функциональность, которая им нужна сегодня, с возможностью решать технологические задачи, которые потребуются завтра. Это – умное вложение в свой производственный бизнес, которое подходит уникальным и разнородным потребностям каждого конкретного производителя».

На сегодня официальный релиз семейства AdVantis V начинается с 3-х базовых конфигураций:

- высокопроизводительная платформа AdvantisV2-60, оснащенная 2-мя турельными монтажными головами FZ30;
- среднепроизводительная платформа AdvantisV1-30, оснащенная одной турельной монтажной головой FZ30;
- многофункциональная прецизионная платформа AdvantisV1-07, оснащенная рядной монтажной головой FZ7.

Таким образом, AdVantis V обеспечивает производительность до 66 500 компонентов в час, и работает с компонентами от чипов 01005 до компонентов неправильной формы размером до 150 мм, и высотой до 25 мм.

Как и старшая платформа семейства Fuzion, AdVantis V имеет много нужных в производстве программных опций, и также может управляться с единого сервера управления линией (СУЛ) от Universal Instruments.

[www.clever.ru](http://www.clever.ru)

### | КОМПАНИЯ AUTOTRONIK ПРЕДСТАВЛЯЕТ НОВЫЙ АКТИВНЫЙ ПИТАТЕЛЬ ДЛЯ ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ В РОССЫПИ |

Питатель представляет паллету с двенадцатью ячейками и виброприводом. С помощью машинного зрения и программы распознавания монтажный автомат автоматически способен различать компоненты в россыпи и выбирать из нее правильно лежащие компоненты. Перевернутые и лежащие на боку компоненты переворачиваются питателем автоматически. Весь процесс распознавания, захвата, ориентации и монтажа компонента на поверхность печатной платы происходит полностью в автоматическом режиме.

[www.clever.ru](http://www.clever.ru)