

# Обзор технологий зондового контроля кристаллов на пластине

Р. Малышев<sup>1</sup>, А. Пузанов, к. т. н.<sup>2</sup>

УДК 621.3.08 | ВАК 2.2.4

Наиболее раннее обнаружение дефектов в процессе производства микроэлектроники критически важно с точки зрения снижения себестоимости и повышения качества выпускаемой продукции. Решить задачу раннего выявления дефекта позволяет межоперационный контроль на производстве, в том числе с применением метода зондового контроля неразделенных кристаллов на пластине. Зондовый контроль, кроме того, играет важную роль в сокращении производственных затрат. В связи с планами по расширению выпуска микроэлектроники в России сегодня остро стоит вопрос обеспечения производств соответствующей оснасткой для зондового контроля. В статье представлен обзор российских технологий и методов зондового контроля кристаллов на пластине.

## ВВЕДЕНИЕ

Зондовая плата (probe card, или устройство контактное фиксированное – УКФ) – это высокотехнологичное устройство, используемое для электрических испытаний микросхем на полупроводниковой пластине во время процесса тестирования при их производстве. Зондовая плата применяется совместно с зондовой установкой и служит соединяющим звеном между выводами микросхемы и измерителем [1].

По сути, зондовая плата – это электромеханический интерфейс, который позволяет проверять функционирование чипа, когда он еще находится на пластине и до того, как его установят в корпус (рис. 1). Технологии зондового контроля различаются конструктивным исполнением зондовых карт, но в целом сводятся к следующему: зондовые щупы соприкасаются с контактными площадками или выступами кристалла, а зондовая плата обеспечивает его электрическое подключение к тестовому или иному типу оборудования, который проверяет функциональность чипа (рис. 2). Тип проверки зависит от требований к конечному продукту и технологических возможностей предприятия [2].

Каждый тип зондовой платы можно охарактеризовать набором механических и электрических параметров. Для получения надежных результатов испытаний требуется тщательное согласование этих параметров



Рис. 1.  
Варианты зондовых плат



Рис. 2.  
Оборудование для зондового тестирования

<sup>1</sup> ООО «Совтест АТЕ», главный конструктор, malyroman@sovtest-ate.com.

<sup>2</sup> Ковровская государственная технологическая академия им. В. А. Дегтярева, доцент кафедры ГПАИГП и приборостроения, puzanov@dksta.ru.

с используемым тестовым оборудованием и тестируемым устройством (устройствами).

Зондовая плата является ключевым элементом для реализации взаимосвязи между кристаллами на пластине и контрольно-измерительным оборудованием в процессе контроля параметров микросистемных изделий. Особенности современных систем на кристалле, такие как значительное количество выводов, малый шаг между контактными площадками, высокие рабочие частоты и точность измерений параметров, предъявляют высокие требования к контрольно-измерительному оборудованию и оснастке, в том числе к зондовой плате [3]. Один из наиболее важных параметров, плоскостность игл зондовой группы, играет ключевую роль в обеспечении надежной взаимосвязи пластины и оборудования.

### МЕТОДЫ ЗОНДОВОГО КОНТРОЛЯ ПРЕДЫДУЩИХ ПОКОЛЕНИЙ

До недавнего времени наиболее широко распространенной технологией зондового контроля была блейд-технология или технология зондовых карт с ножевыми пробниками (blade – лезвие). Этот метод отличается относительно низкой стоимостью и пригодностью для проведения прецизионных измерений. Технология блейд-карт (рис. 3) была разработана для приложений с плотностью кристаллов на пластине от низкой до средней и количеством точек тестирования от малого до среднего (обычно не более 80 кристаллов на пластине). Технология применима для тестирования кристаллов с низкой утечкой, высокой рабочей частотой и при высоких температурах. Наиболее часто используют блейд-карты с низкими утечками. На рис. 4 показана блейд-карта, совместимая с системами параметрического тестирования Keithley серии S600. На рынке доступно множество различных типов и конфигураций керамических блейд-карт.

Каждый зонд блейд-карты крепится на отдельном L-образном лезвии, как правило, изготовленном из керамики. Лезвия-щупы припаиваются к контактным площадкам на верхней части печатной платы.

В зависимости от приложения и характеристик тестового сигнала применяют три основных типа лезвий: стандартное, микрополосковое и радиальное микрополосковое (рис. 5).

Стандартные зонды с керамическим лезвием используются в приложениях, не требующих тракта сигнала с контролируемым импедансом. Радиальные микрополосковые зонды предназначены для приложений, требующих среду с контролируемым импедансом, где линия

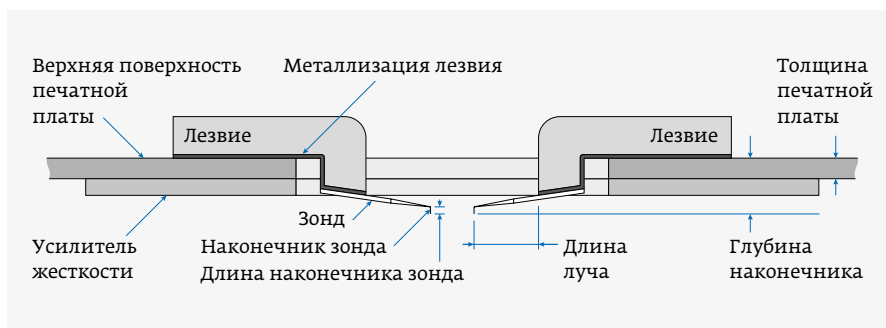


Рис. 3. Блейд-карта с прикрепленными лезвиями

передачи сигнала соединяется непосредственно с печатной платой. Микрополосковые лезвийные зонды используются для среды с контролируемым импедансом, где путь передачи сигнала соединяется непосредственно с коаксиальным кабелем или другими типами линий передачи. Микрополосковые и радиальные микрополосковые зонды с керамическими лезвиями хорошо подходят для высокоскоростных измерений. Среда с контролируемым импедансом для таких пробников поддерживает частоты выше 3 ГГц.

Для зондового контроля в приложениях с высокой плотностью кристаллов и большим количеством точек



Рис. 4. Зондовая карта с низкими утечками системы параметрического тестирования Keithley серии S600



Рис. 5. Типы керамических лезвий (слева направо): стандартное, микрополосковое, радиальное микрополосковое

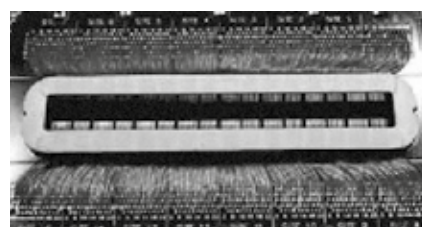


Рис. 6. Плата с эпоксидными кольцами для тестирования кристаллов памяти

тестирования применяют также технологию эпоксидных колец. В некоторых пользовательских зондовых платах с несколькими тестируемыми устройствами количество пробников может достигать 2 тыс. (рис. 6). Благодаря уменьшению стоимости карт с эпоксидными кольцами и снижению утечек этот метод зондового контроля достаточно часто встречается при параметрическом тестировании [1].

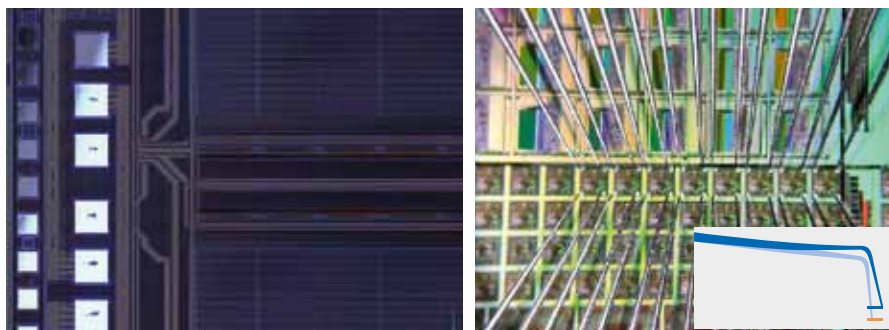


Рис. 7. Зондовые карты, изготовленные по кантилеверной технологии

### СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ЗОНДОВОГО КОНТРОЛЯ

Наиболее широко используемая технология изготовления зондовых карт сегодня – кантилеверная технология (cantilever probe card). Эта технология активно развивается в России с целью улучшения характеристик и замещения используемых импортных материалов российскими аналогами. На сегодня кантилеверная технология перекрывает более 90% потребностей российских производителей микроэлектроники.

Благодаря Г-образной форме зонда кантилеверные зондовые карты (рис. 7) обеспечивают, при нажатии на контактную площадку кристалла, небольшой сдвиг (так называемый «скраб») кончика зонда по поверхности контактной площадки [4]. Соответственно, такая технология предъявляет особые требования к геометрии и материалу зонда, а также, как указывалось выше, к плоскостности контактной группы для обеспечения допустимого и повторяющегося «задира» на контактных площадках (рис. 8). Разновысотность зондов при этом должна быть в пределах единиц микрон [5].

Актуальной технологией получения сверхтонких наконечников зондов из вольфрамовой или платиноиридиевой проволоки является метод электрохимического травления вследствие его простоты и дешевизны [6]. Этот способ позволяет получать иглы зондов с радиусом порядка 10 Å и углом при вершине конуса.

При выборе материала для наконечника зондов следует учитывать следующие соображения [2, 7].

1. С точки зрения повышения температуры в процессе тестирования наиболее предпочтительны для слоя металлизации консоли алюминий и медь. В меньшей степени для этого подходит вольфрам. При меньшем электрическом сопротивлении меньше генерация теплоты и меньше погрешность фиксации электрических параметров и механическая деформация.
2. Величины изгибающего момента (и соответственно напряжения изгиба) наименьшие у слоя из алюминия и золота, наибольшие – из вольфрама.
3. С уменьшением толщины консольной балки кантилевера увеличивается температура нагрева.

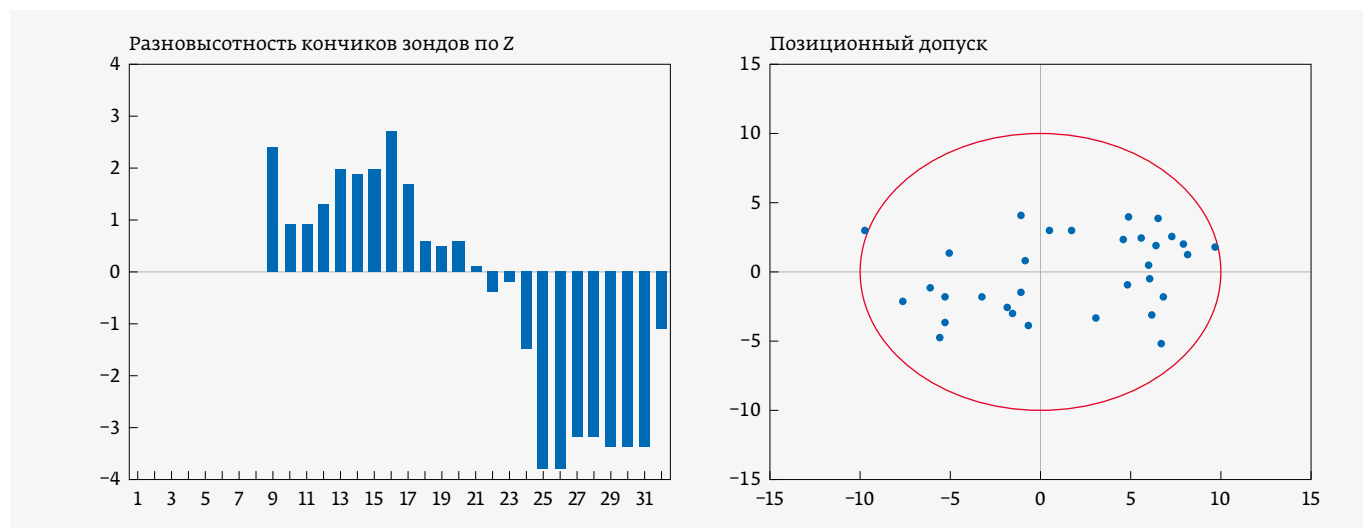
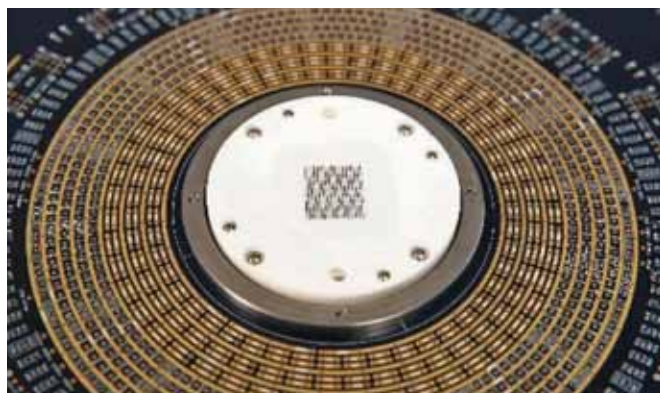
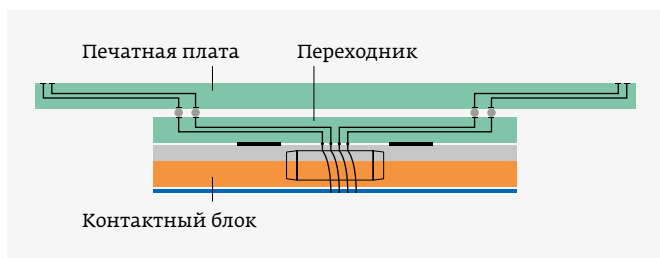


Рис. 8. Технологические параметры, контролируемые зондами



**Рис. 9.** Зондовая плата с вертикальными зондами с многослойным переходником

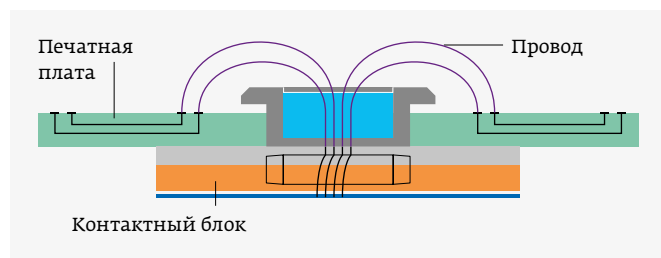
Особенно резко эта тенденция выражена для вольфрама, что объясняется существенно большим, чем у других металлов, модулем упругости.

4. Увеличение толщины консольной балки кантилевера повышает величину изгибающего момента, особенно для вольфрама.
5. Средние значения напряжений в слое SiO<sub>2</sub> всегда положительны и для консольных балок кантилевера из Al, Au и Cu практически одинаковы и не зависят от толщины.

Перспективная технология на сегодняшний день – вертикальные зонды. Эта технология позволяет преодолеть ряд недостатков кантилеверных зондовых карт, а именно сложность доступа к кристаллу (например, для BGA-чипов), необходимость параллельного контроля множества кристаллов, ограничение максимальной рабочей частоты.

Вертикальные зондовые карты реализуют двумя способами: по стандартной технологии с многослойным переходником и по упрощенной технологии с переходником, распаянным проводом вручную (рис. 9, 10).

При использовании специально разработанного многослойного переходника, отвечающего требованиям высокочастотных сигналов, можно достичь максимальной рабочей частоты сигналов 500 МГц. Более экономичное решение – вместо переходника используется распайка проводом, что значительно снижает стоимость зондовой карты, при этом рабочая частота ограничена 100 МГц.



**Рис. 10.** Зондовая плата с вертикальными зондами с переходником, распаянным проводом

Вертикальные зондовые карты разделяют на категории в зависимости от шага между контактами (менее 60 мкм, 60–100 мкм, более 100 мкм), а также по назначению микросхем: память, микропроцессоры, СМК и др. [2].

Особое внимание следует уделять применению вертикальных зондовых карт в технологии перевернутого кристалла (flip-chip). Разработчики высокочастотных плат должны учитывать геометрические особенности физической компоновки кристалла. От длины травления, ширины, толщины, интервалов и размещения сквозных отверстий зависят характеристики чипа. Изменение высоты и размеров контактной площадки существенно влияют на надежность сборки по технологии flip-chip, что требует внедрения эффективных и надежных методов тестирования с помощью вертикальных зондовых карт.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применяемые технологии зондовых карт должны соответствовать уровню развития микроэлектроники, требованиям к точности измерений и характеристикам тестируемых чипов, в частности их рабочей частоте и быстродействию. Проектирование оборудования для тестирования высокочастотных и высокоскоростных устройств является результатом совместной работы разработчика устройств, инженера по производственным испытаниям и специалиста по проектированию зондовых карт [4].

Рынок российского тестового оборудования формировался под влиянием западных производителей микроэлектроники с одной стороны и отечественных

традиций замкнутых производств, свойственных военной, авиакосмической, атомной и других отраслям, выпускающим уникальную специфическую продукцию и соответствующее тестовое оборудование.

Сегодня на рынке актуализировались тренды регионализации и заморозки отношений с зарубежными поставщиками. Поэтому особенно актуальным становится вопрос не только импортозамещения, но и универсализации схемных, конструкторских и технологических решений, в частности, в области зондового контроля. Следует также отметить, что и в зарубежном секторе существует тенденция к переходу от фирменных решений для собственного производства к использованию решений специализированных компаний [3].

В рамках статьи стоит отметить опыт группы компаний «Совтест АТЕ». На базе собственного предприятия в г. Зеленоград компания почти на 100% локализовала технологию производства зондовых плат, включая все основные операции: разработку печатной платы, изготовление и юстировку контактного блока, сборку печатной платы, изготовление механических деталей, сборку и контроль параметров зондовой платы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Powell J.** Probe Card Metrology «Challenges and Solutions». – COMPAS-2017, China 12–14.03.2017.
2. Global Vertical MEMS Probe Cards Market Research Report 2022. – <https://www.marketgrowthreports.com/global-vertical-mems-probe-cards-market-210598843>.
3. **Yi J.** Architecting Test Solutions for the Next Generation of Compute. – [https://www.swtest.org/swtw\\_library/2022proc/pdf/M00\\_02\\_Yi\\_SWTest\\_2022\\_KeynoteF.pdf](https://www.swtest.org/swtw_library/2022proc/pdf/M00_02_Yi_SWTest_2022_KeynoteF.pdf).
4. **Wang F., Cheng R., Li X.** MEMS Vertical Probe Cards With Ultra Densely Arrayed Metal Probes for Wafer-Level IC Testing. – Journal of Microelectromechanical Systems. Vol. 18, № 4, August 2009, PP. 933–941.
5. **Le X. L., Choa S. H.** Design of New Au-NiCo MEMS Vertical Probe for Fine-Pitch Wafer-Level Probing. – Crystals. 2021. 11. 485.
6. **Алексейчук А. В.** Исследование процесса изготовления кантилевера с улучшенными характеристиками для сканирующей зондовой микроскопии. Диссертация на соискание уч. степени кандидат технических наук. 05.27.06. – М., 2007. С. 126.
7. **Дремов В. В.** Развитие и применение методов сканирующей зондовой микроскопии для исследования свойств точечных контактов. Диссертация на соискание уч. Степени кандидата физико-математических наук. 05.27.01. – Черноголовка, 2001. С. 111.
8. <https://sovtest-ate.com/equipment/testirovanie-i-diagnostika/>

## КНИГИ ИЗДАТЕЛЬСТВА «ТЕХНОСФЕРА»



Цена 840 руб.

# ЭТАЛОНЫ И СТАНДАРТНЫЕ ОБРАЗЦЫ В ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКЕ. ЭЛЕКТРОРАДИОИЗМЕРЕНИЯ

Лукашкин В. Г., Булатов М. Ф.

*Издание осуществлено при финансовой поддержке Федерального агентства по печати и массовым коммуникациям в рамках Федеральной целевой программы «Культура России (2012–2018 годы)»*

В книге рассмотрены общие вопросы метрологического обеспечения и единицы физических величин. Изложены основные задачи технических средств метрологического обеспечения в области электрорадиоизмерений. Даны оценки погрешности и неопределенности первичных и рабочих эталонов.

Книга может быть полезна студентам и аспирантам при выборе и обосновании эталонной базы в области электрорадиоизмерений, а также специалистам, занимающимся вопросами разработки, производства и оценки качества средств измерений, контроля и испытаний.

М.: ТЕХНОСФЕРА,  
2018. – 402 с.,  
ISBN 978-5-94836-512-1

### КАК ЗАКАЗАТЬ НАШИ КНИГИ?

✉ 125319, Москва, а/я 91; ☎ +7 495 234-0110; 📠 +7 495 956-3346; [knigi@technosphaera.ru](mailto:knigi@technosphaera.ru), [sales@technosphaera.ru](mailto:sales@technosphaera.ru)



# SOVTEST

ВАШ ПАРТНЕР ПО КАЧЕСТВУ

## КОНТРОЛЬНО- ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ КОМПЛЕКСЫ FTT-17

Электротермотренировка  
(ЭТТ) и испытания  
на надёжность электронно-  
компонентой базы

### Комплексы FTT-17 — это:

- выявление изделий со скрытыми дефектами;
- проведение испытаний на безотказность;
- задание тепловых режимов испытаний;
- задание электрических режимов и контроль выходных параметров изделия;
- цифровой тест на частотах от 20 МГц;
- функциональное и параметрическое тестирование ЭКБ;
- сигнализация о превышении допустимых параметров тестирования;
- гибкость и универсальность (нестандартные решения).



Платы загрузки ИМС (кассеты) в комплексы ЭТТ



Стойка для хранения плат загрузки ИМС (кассет)



А Россия, 305000, г. Курск, ул. Володарского, 49 А

Т +7 (4712) 54-54-17 W [sovtest-ate.com](http://sovtest-ate.com) E [info@sovtest-ate.com](mailto:info@sovtest-ate.com)

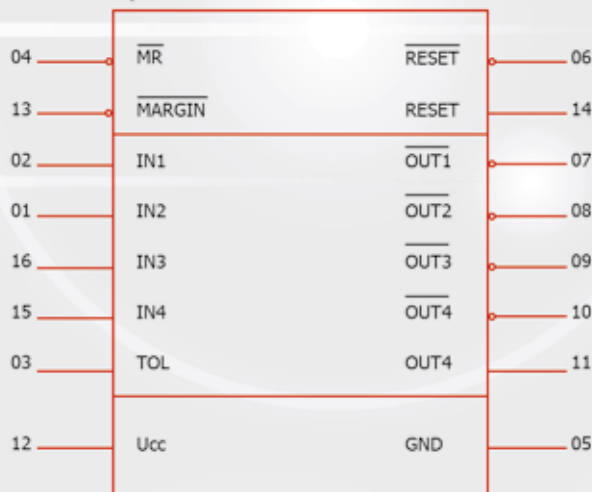
## МИКРОСХЕМА ЧЕТЫРЕХКАНАЛЬНОГО СУПЕРВИЗОРА ПИТАНИЯ 5322CX035

ОАО «ИНТЕГРАЛ» – управляющая компания холдинга «ИНТЕГРАЛ» освоило в серийном производстве микросхему 5322CX035 четырехканального супервизора питания без сторожевого таймера для контроля уровня напряжения источника питания с номиналом напряжения 3,3 В, контроля уровня напряжения источника питания с номиналом напряжения 5,0 В и контроля двух независимых источников питания с различными номиналами напряжения. Микросхема предназначена для применения в аппаратуре, устойчивой к специальным внешним воздействующим факторам. Микросхема изготавливается в малогабаритном металлокерамическом корпусе типа МК 5119.16-А и функционирует при температуре от  $-60$  до  $+125$  °С. Функциональные аналоги микросхемы 5322CX035 – микросхемы MAX6709GUB и MAX6709HUB компании Maxim Integrated. Технические условия – АЕНВ.431350.475-02 ТУ.

Таблица 1. Основные параметры и функциональные особенности микросхемы

Наименование параметра	Норма параметра
Напряжение питания, Ucc, В	$2,0 \div 5,5$
Пороговые напряжения контроля источника питания фиксированного канала на входе IN1, UПОР1, В	$4,5 \div 4,75$ или $4,25 \div 4,5$
Пороговые напряжения контроля источника питания фиксированного канала на входе IN2, UПОР2, В	$3,0 \div 3,15$ или $2,85 \div 3,0$
Настраиваемое пороговое напряжение на входах IN3 и IN4, UПОРН, В	$0,984 \div 1,016$
Длительность сигнала сброса, мс	$140 \div 280$

Рис. 1. Условное графическое обозначение микросхемы

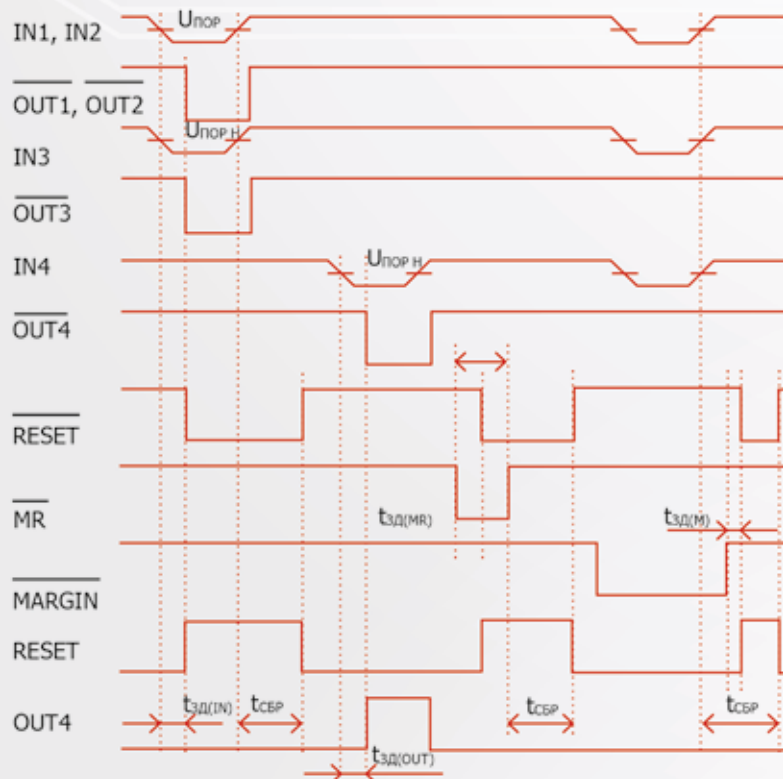


По фиксированному каналу IN1 осуществляется контроль уровня напряжения источника питания номиналом 5,0 В, по фиксированному каналу IN2 контроль уровня напряжения источника питания номиналом 3,3 В. Два настраиваемых канала IN3 и IN4 предназначены для контроля уровней напряжения двух независимых источников питания с номиналами от 1,0 до 24 В. Каждый канал микросхемы (по входам IN1, IN2, IN3, IN4) имеет свой независимый компаратор. Фиксированные каналы IN1, IN2 контроля напряжений питания 5,0 и 3,3 В имеют встроенные резистивные делители напряжения, выходы которых сравниваются на соответствующем компараторе с опорным напряжением, вырабатываемым внутренним источником опорного напряжения. К настраиваемым каналам по входам IN3 и IN4 предполагается подключение внешних резистивных делителей напряжения для формирования входных пороговых напряжений  $U_{ПОР\ ВХ} \geq 1,016$  В (немного выше 1,016 В). Настраиваемые каналы позволяют контролировать уровни напряжения источников питания, превышающее напряжение питания микросхемы.

Микросхема обладает следующими функциональными возможностями:

- формирование сигналов «сброс» RESET и RESET при контроле уровня напряжения 5,0 В на входе IN1 и при контроле уровня напряжения 3,3 В на входе IN2;
- формирование сигналов «сброс» RESET и RESET при контроле уровня напряжения на настраиваемом канале на входе IN3;
- формирование сигналов «сброс» RESET и RESET от внешней кнопки по входу MR (функция «сброс от внешней кнопки»);
- формирование сигналов ошибки по выходам OUT1 ÷ OUT4 при контроле уровней напряжений источников питания на входах IN1 ÷ IN4.

Рис. 2. Временная диаграмма работы микросхемы



#### Функция контроля напряжения источников питания по каналам IN1, IN2

Микросхема контролирует уровень напряжения источника питания с номиналом 5,0 В по фиксированному каналу на входе IN1 и уровень напряжения источника питания с номиналом 3,3 В по фиксированному каналу на входе IN2. На входы аналоговых компараторов через внутренние резистивные делители напряжения поступают сигналы с входов IN1 и IN2, на вторые входы компараторов поступает опорное напряжение, вырабатываемое внутренним источником опорного напряжения. В случае возникновения сбоя, т.е. ситуации, когда уровни напряжения на входах IN1 или IN2 опускаются ниже уровня порогового напряжения  $U_{пор1}$  или  $U_{пор2}$ , вырабатывается внутренний сигнал, переводящий сигналы ошибки и «сброс» на выходах OUT1, OUT2, RESET и RESET в активное состояние. Сигнал RESET переходит в состояние активного высокого уровня, сигналы OUT1, OUT2 и RESET – в состояние активного низкого уровня. Сигналы OUT1, OUT2, RESET и RESET будут оставаться в активном состоянии до тех пор, пока уровни напряжения входов IN1 или IN2 остаются ниже порогового уровня напряжения сброса  $U_{пор1}$  или  $U_{пор2}$ . После возвращения уровней напряжения на входах IN1 или IN2 в устойчивое состояние сигналы OUT1 и OUT2 переходят в состояние высокого уровня, а сигналы RESET и RESET остаются активными не менее 140 мс, позволяя источнику питания и процессору стабилизироваться.

#### Функция контроля напряжения источника питания по настраиваемому каналу IN3

Для задания входного настраиваемого порогового напряжения используется внешний резистивный делитель напряжения, подключаемый ко входу IN3. Напряжение на выходе резистивного делителя  $U_{пор\ вх}$  должно быть немного выше 1,016 В. Вход IN3 соединен с входом компаратора, на второй вход которого подается опорное напряжение, вырабатываемое внутренним источником опорного напряжения. В случае возникновения сбоя, т.е. ситуации, когда уровень напряжения  $U_{пор\ вх}$  на входе IN3 опускается ниже уровня порогового напряжения,  $U_{порн}$  вырабатывается внутренний сигнал ошибки питания, переводящий сигналы ошибки и сброса на выходах OUT3, RESET и RESET в активное состояние. Сигнал RESET переходит в состояние активного высокого уровня, а сигналы OUT3 и RESET – в состояние активного низкого уровня. Сигналы OUT3, RESET и RESET будут оставаться в активном состоянии до тех пор, пока уровень напряжения  $U_{пор\ вх}$  на входе IN3 остаются ниже порогового уровня напряжения  $U_{порн}$ . После возвращения напряжения на входе IN3 в устойчивое состояние сигнал OUT3 переходит в состояние высокого уровня, а сигналы сброса RESET и RESET остаются активными не менее 140 мс, позволяя источнику питания и процессору стабилизироваться.

#### Функция мониторинга состояния источников питания

Микросхема имеет два аналоговых входа IN3 и IN4 (далее входы IN) для контроля уровней напряжения двух внешних источников питания с номиналами напряжения от 1,0 до 24 В. Для задания входных настраиваемых пороговых напряжений  $U_{пор\ вх}$  используются внешние резистивные делители напряжения, подключаемые к входам IN. Входное пороговое напряжение на выходах внешних резистивных делителей  $U_{пор\ вх}$  должно быть немного выше 1,016 В. В случае возникновения сбоя, т.е. когда уровень напряжения  $U_{пор\ вх}$  на определенном входе IN опускается ниже порогового уровня,  $U_{порн}$  микросхема формирует на соответствующем выходе OUT сигнал активного низкого уровня. Напряжение на выходе OUT будет оставаться в состоянии низкого уровня до тех пор, пока уровень напряжения  $U_{пор\ вх}$  на соответствующем входе IN остается ниже уровня порогового напряжения  $U_{порн}$ . После возвращения напряжения по входу IN в устойчивое состояние сигнал OUT переходит в состояние высокого уровня. Микросхема 5322CX035 включена в Перечень ЭКБ 02.