

Некоторые перспективы рынка приборов силовой электроники

М. Макушин¹

УДК 621.37 | ВАК 2.2.2

Рынок приборов для силовой электроники в целом демонстрирует устойчивые, но невысокие темпы роста. Его можно считать достаточно устоявшимся. Новые технологии, в частности на основе применения GaN и SiC, хотя и демонстрируют быстрое развитие, но их доля еще относительно невелика. Как и на многих других рынках сектора высоких технологий большую активность проявляют китайские фирмы.

Рынок приборов для силовой электроники состоит из рынков мощных полупроводниковых приборов, модулей и ИС. Его общий объем по итогам 2020 года составил 38,9 млрд долл., а в 2026 году может

превысить 51,1 млрд долл. Основными факторами развития данных секторов являются такие рынки их конечного потребления, как авиакосмические системы, автомобильная электроника, потребительская электроника, приводы промышленных электромоторов и электромоторов электромобилей/гибридных электромобилей, телекоммуникационные системы, системы «зеленой энергетики». В различных сегментах рынков мощных полупроводниковых приборов, модулей и ИС наблюдается неоднородная динамика роста, определяемая конъюнктурой рынков конечного потребления.

В настоящее время на рынке приборов для силовой электроники доминируют фирмы США, ЕС, Японии и Тайваня, но они сталкиваются с возрастающей конкуренцией китайских фирм. На собственном китайском рынке активность местных производителей еще выше.

Наиболее динамично развивающимися секторами рынка приборов силовой электроники являются изделия, реализованные по GaN- и SiC-технологиям, – их продажи, по прогнозам Yole Développement (Лион, Франция), в 2025 году увеличатся до 0,78 млрд и 3,39 млрд долл. соответственно. Среднегодовые темпы прироста в сложных процентах (CAGR) за 2020–2025 годы ожидаются на уровне 78 и 38% [1]. Тем не менее, они по-прежнему будут занимать не более 10% рынка приборов силовой электроники в целом.

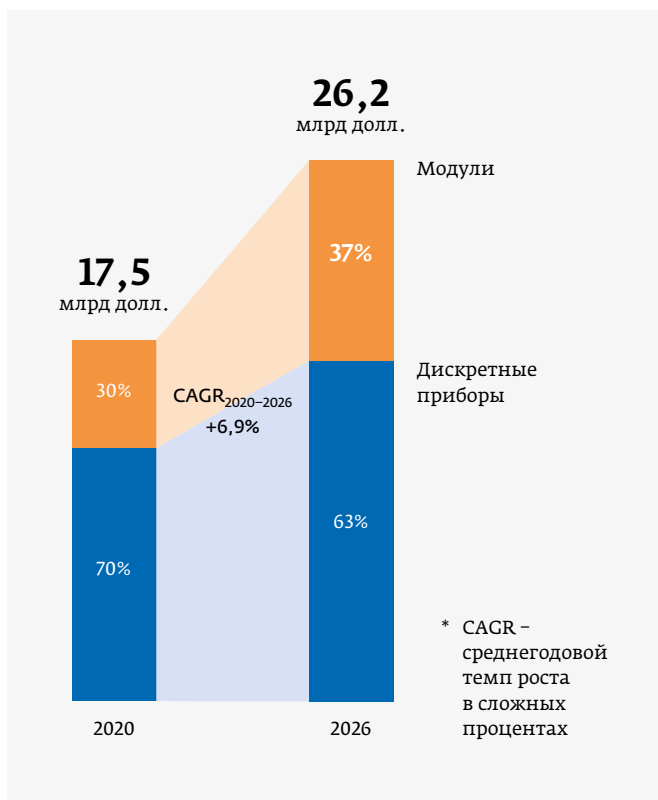


Рис. 1. Прогноз изменения соотношения мощных полупроводниковых дискретных приборов и модулей в 2020–2026 годах (включая мощные кремниевые, GaN и SiC полупроводниковые приборы, исключая мощные ИС)

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РЫНКА МОЩНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ И МОДУЛЕЙ

По данным Yole Développement, рынок мощных полупроводниковых приборов и модулей в 2026 году достигнет 26 млрд долл. по сравнению с 17,5 млрд долл. в 2020 году, а CAGR за 2020–2026 годы составят 6,9%. Доля мощных модулей увеличится с 30 до 37% (10 млрд долл.), а дискретных компонентов (мощные полупроводниковые приборы) сократится с 70 до 63% (16 млрд долл.) (рис. 1).

Рост продаж дискретных компонентов обусловлен спросом поставщиков автомобильной электроники,

¹ «Военные науки и оборонная промышленность» БРЭ, редакция, научный редактор.

приводов промышленных электродвигателей, телекоммуникационных систем. Отмечается опережающий рост продаж GaN МОП-транзисторов по сравнению с кремниевыми МОП-транзисторами (CAGR=3,8%).

Большая часть спроса на силовые модули придется на поставщиков электромобилей, промышленных электродвигателей и бытовой техники. CAGR модулей на биполярных транзисторах с изолированным затвором (IGBT) составит 7,8% [2].

Yole Developpement также опубликовала в конце 2021 года отдельный прогноз по рынку мощных (силовых) модулей – их продажи в 2026 году достигнут 9,5 млрд долл., а CAGR за 2020–2026 годы составит 10,5%. В 2020 году самым крупным сектором рынка силовых модулей были приводы электродвигателей для электромобилей/гибридных электромобилей (EV/HEV) – с продажами в 1,6 млрд долл. В 2026 году этот показатель вырастет до 3,6 млрд долл. Стоимость услуг по корпусированию силовых модулей в 2026 году дойдет до 3,5 млрд долл. при CAGR=12,5%. В настоящее время стоимость сырья в конечной стоимости силовых модулей составляет 33%, а общая стоимость сырья в 2026 году составит 3,5 млрд долл.

Сейчас стандартом для систем EV/HEV являются силовые модули на основе кремния. Однако популярность на автомобильном рынке набирают силовые модули на основе SiC, так как они могут работать при более высоких температурах и частотах переключения при меньших размерах. Отмечается, что все большую конкуренцию известным поставщикам оказывают китайские производители [3].

Наращивание мощностей

Рост спроса на мощные полупроводниковые приборы и модули происходит в условиях сохраняющегося дефицита на ряд типов изделий на рынке полупроводниковых приборов в целом. Дефицит в цепочке поставок мощных полупроводниковых приборов и приборов на составных (сложных) полупроводниках стимулирует их производителей расширять производственные мощности. По данным Международной организации поставщиков полупроводникового оборудования и материалов (SEMI), общая установленная мощность таких производств в 2023 году впервые превысит 10 млн

пластин/месяц (в эквиваленте 200-мм пластин) и достигнет 10,24 млн пластин/месяц. В 2024 году этот показатель увеличится до 10,6 млн пластин/месяц (рис. 2).

Наибольшая доля установленных мощностей по обработке пластин и выпуску мощных полупроводниковых приборов и приборов на сложных полупроводниках в 2023 году придется на КНР – 33%, за ней будут следовать Япония (17%), Европа и Ближний Восток (16%) и Тайвань (11%).

SEMI отмечает, что в целом на 2 млн пластин/месяц с 2021 по 2024 год нарастят свои мощности 63 фирмы. При этом на Infineon, Hua Hong Semiconductor, STMicroelectronics и Silan Microelectronics придется прирост в 700 тыс. пластин/месяц [4].

Корпорация Toshiba также предпринимает усилия по наращиванию своих производственных мощностей. Она уже расширила существующие мощности по обработке 200-мм пластин, а также перенесла начало производства мощных приборов на 300-мм пластинах на существующих предприятиях с I половины 2023 финансового года (далее фин. г) на II половину 2022 финансового года. Кроме того, Toshiba намерена построить новый завод по обработке 300-мм пластин и производству мощных полупроводниковых приборов в префектуре Исикава.

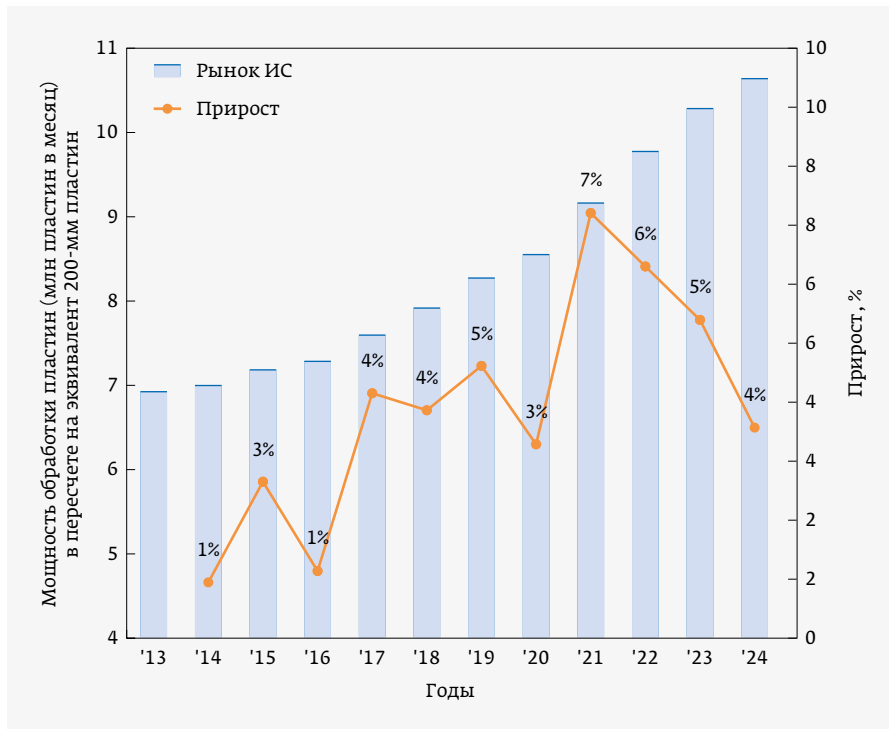


Рис. 2. Динамика и прогноз наращивания мощностей по производству мощных полупроводниковых приборов и приборов на сложных (составных) полупроводниковых материалах до 2024 года (вероятность создания новых мощностей более 50%, исключая мощности по обработке эпитаксиальных пластин)

Начало производства 1-й очереди – 2024 фин. г. Она увеличит мощности Toshiba по производству силовых приборов в 2,5 раза по сравнению с 2021 фин. г. [5].

Надо отметить, что все большие объемы мощных полупроводниковых приборов изготавливаются на пластинах диаметром 300 мм – в целях достижения эффекта масштаба^{*} и непосредственного снижения себестоимости выпускаемой продукции (в зависимости от сложности формируемого кристалла при переходе с обработки 200-мм пластин на обработку 300-мм при одинаковых проектных нормах удельные издержки на его формирование могут сократиться до 30%, а при снижении проектных норм – до 39% и более, в основном благодаря увеличению числа кристаллов на пластине [6]). Так, например, корпорация Renesas модернизирует закрытый в 2014 году завод (г. Кай, префектура Яманаси) по обработке 150-мм и 200-мм пластин и выпуску мощных полупроводниковых приборов для автомобильной промышленности, площадь чистых комнат которого до закрытия составляла 18 тыс. м². После модернизации, цена которой составила 90 млрд иен, и пуска в строй в 2024 году, завод будет изготавливать мощные полупроводниковые приборы на 300-мм пластинах. Основная продукция – IGBT и мощные МОП полевые транзисторы (MOSFET). Причина модернизации и повторно открытия – рост популярности электромобилей.

Пуск этого завода позволит Renesas удвоить мощности по производству мощных полупроводниковых приборов. Одновременно Renesas продолжит укреплять связи с поставщиками услуг аутсорсингового производства мощных приборов – для обеспечения надежности поставок и улучшению поддержки клиентов [7].

Пример Renesas касается кремниевых пластин. Но переход на обработку пластин большего диаметра также осуществляют поставщики SiC и GaN мощных полупроводниковых приборов. Для этого изготовители пластин начинают производство пластин большего диаметра. Так, фирма Soitec в марте 2022 года начала строить новый завод Bernin 4 (коммуна Бернен, Франция) для производства SiC-пластин диаметром 150 и 200 мм по технологии SmartSiC. Его ввод в эксплуатацию намечен на вторую половину 2023 года. Ранее Soitec выпускала SmartSiC-пластины диаметром 150 мм, теперь впервые выпущены (на действующих мощностях) 200-мм SmartSiC-пластины, что позволит увеличить выпуск SiC ИС и снизить их удельную стоимость, вывести разработку пластин SmartSiC на новый уровень и удовлетворить растущий спрос поставщиков автомобильной электроники. Технология SmartSiC предусматривает нанесение очень тонкого слоя высококачественного SiC на пластину

поликристаллического SiC с очень низким удельным сопротивлением, что позволяет значительно повысить производительность приборов силовой электроники и энергоэффективность электромобилей [8].

В целом же, по данным ресурса TrendForce, спрос автомобильной промышленности на 150-мм на SiC-пластины со сформированными мощными полупроводниковыми приборами в 2025 году достигнет 1,69 млн шт. Это произойдет благодаря росту распространения электромобилей и их перехода к высоковольтной (800 В) архитектуре. Появление 800-В архитектуры зарядки электромобилей приведет к замене кремниевых IGBT-модулей на SiC мощные приборы, которые станут стандартным компонентом в большинстве приводов с регулируемой частотой (VFD). Крупные автопроизводители уже продают электромобили с 800-В архитектурой зарядки (Porsche Taycan, Audi Q6 e-tron, Hyundai Ioniq 5 и т. д.).

Хотя ряд поставщиков (например Soitec, Wolfspeed) добились значительного прогресса в разработке 200-мм SiC-пластин, для перехода на них требуется время. Ожидается, что 150-мм SiC-пластины будут доминировать еще лет пять. При этом мощные SiC-приборы будут все шире использоваться в автомобилях и электромобилях [9].

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РЫНКА МОЩНЫХ ИС

Мощные ИС используются практически во всех электрических и электронных системах, от потребительских до аэрокосмических, и каждый из типов этих систем предъявляет специфические требования. Основное предназначение мощных ИС – управление, контроль и мониторинг режима электропитания / уровня заряда. Число мощных ИС в изделиях каждого типа систем зависит от сложности системы и со временем увеличивается (рис. 3). К основным видам мощных ИС относятся: многоканальные ИС управления режимом электропитания (PMIC), переключающие стабилизаторы постоянного тока (DC-DC switching regulators), ИС управления режимом электропитания аккумуляторных батарей (BMIC), линейные регуляторы, супервизоры электропитания, секвенсоры мощности, источники опорного напряжения и многое другое.

Развитие и диспропорции рынка

По данным Yole Développement, объем рынка мощных ИС в 2026 году превысит 25,5 млрд долл., а CAGR за период 2020–2026 годов составит 3%. Этот показатель не показывает, что сегменты рынка мощных ИС существенно различаются по темпам роста. Интересно, что рынок мощных ИС в течение последних двух лет продемонстрировал устойчивость, несмотря на пандемию COVID-19: продажи в период с 2019 по 2020 год выросли почти на 1,5%.

* Economies of Scale – экономия, обусловленная ростом масштабов производства.

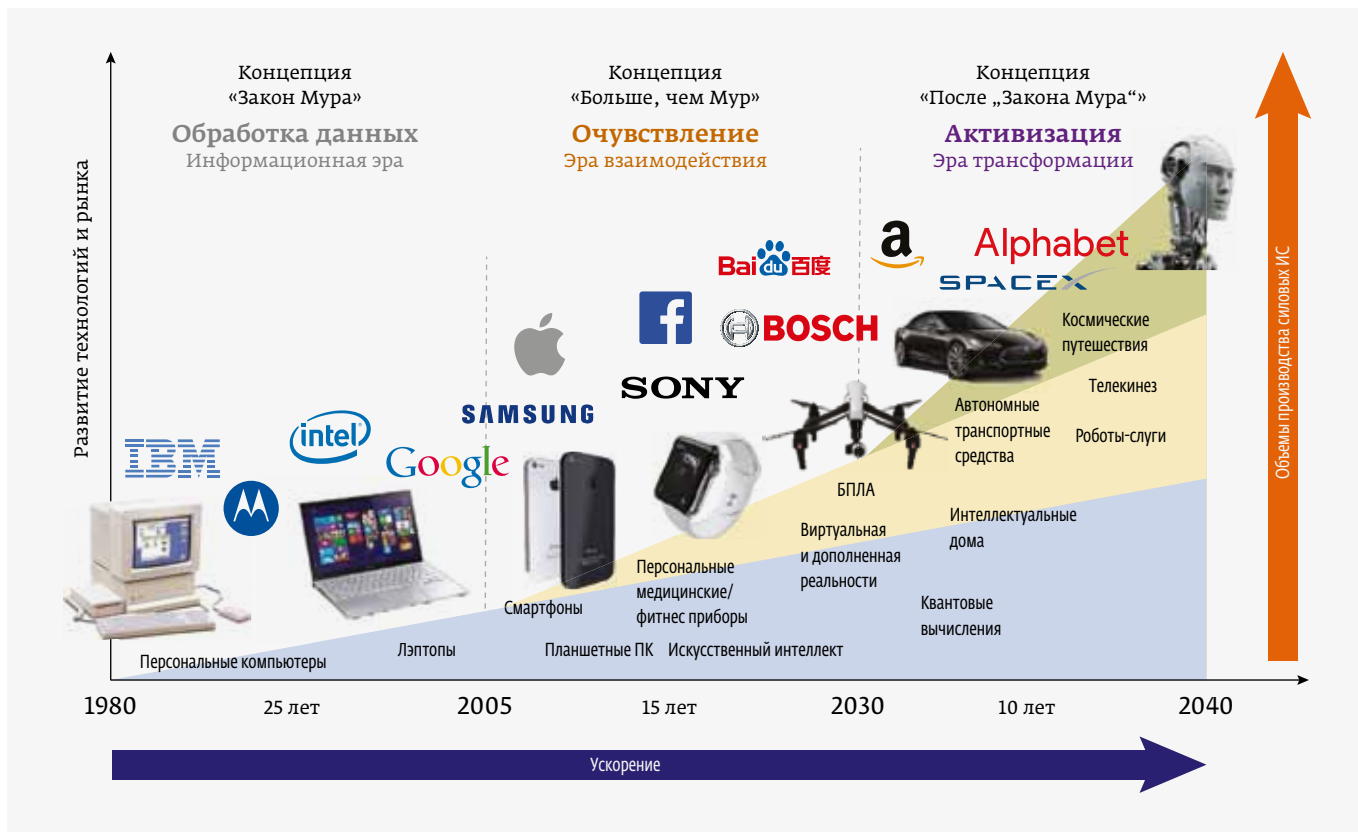


Рис. 3. Мировая маршрутная карта развития технологий мощных ИС в период 1980–2040 годов

В структуре рынка мощных ИС доминируют многоканальные PMIC, переключающие стабилизаторы постоянного тока, ВМИС и линейные регуляторы на них приходится около 70% продаж (рис. 4).

Многоканальные PMIC. Это крупнейший сегмент рынка мощных ИС, в 2020 году объем продаж многоканальных PMIC превысил 4,5 млрд долл. и, как ожидается, в 2026 году достигнет примерно 5,3 млрд долл. при CAGR за прогнозируемый период в 2,6%. В компонентах этого типа в одном корпусе объединяются несколько переключающих стабилизаторов постоянного тока и линейных регуляторов. Поэтому они в основном используются в приложениях, чувствительных к форм-фактору (таких как смартфоны и перспективные системы помощи водителю – ADAS), для питания нескольких независимых нагрузок с различными требованиями к напряжению и току. В 2020 году на долю многоканальных PMIC пришлось 21% рынка мощных ИС. На этом сегменте рынка, охватывающем большую часть производителей смартфонов, доминируют такие игроки, как Apple, Qualcomm, Intel и Samsung SLSI.

Переключающие стабилизаторы постоянного тока. Эти приборы являются вторым по величине сегментом рынка мощных ИС – их доля в 2020 году составляла около 17% (более 3,7 млрд долл.). Прогнозируется, что

в 2026 году емкость этого сектора вырастет до 4,5 млрд долл., а CAGR_{2020–2026} составит 2,9%. Существует несколько типов переключающих стабилизаторов постоянного

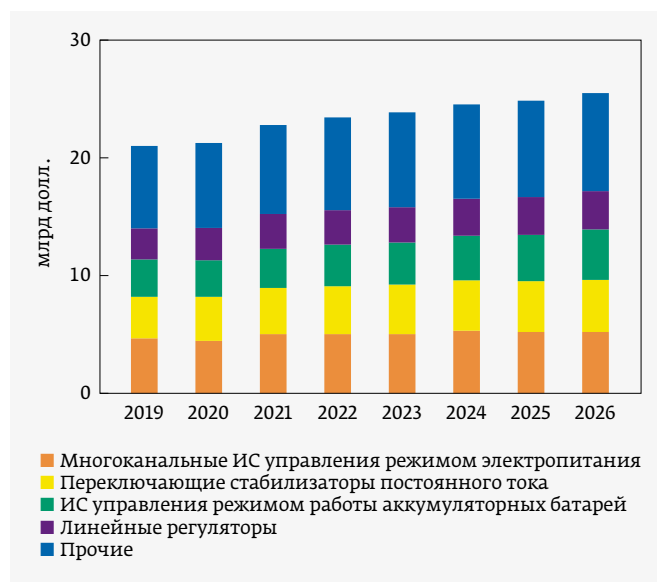


Рис. 4. Мировая маршрутная карта развития технологий мощных ИС в период 1980–2040 годов

тока. Наиболее часто используются (в основном для понижения входного напряжения до требуемого выходного напряжения) понижающие преобразователи. Переключающие стабилизаторы постоянного тока используются практически во всех областях применения, где отношение между доступным напряжением и требуемым напряжением достигает больших значений.

ИС управления режимом электропитания аккумуляторных батарей (ВМІС). Данный сегмент рынка мощных ИС отличается наибольшими темпами роста. Это обусловлено электрификацией транспорта и растущим использованием силового и медицинского оборудования с питанием от аккумуляторных батарей. В 2020 году на этот сегмент приходилось 14% рынка мощных ИС.

Линейные регуляторы. Эти приборы в основном используются для питания устройств с очень низкими требованиями к напряжению и отличаются большой чувствительностью к шумовым помехам. На этот сегмент в 2020 году пришлось 13% рынка мощных ИС.

Специалисты Yole Développement ожидают, что лидером на рынках переключающих стабилизаторов постоянного тока, ВМІС и линейных регуляторов останется корпорация Texas Instruments. Данное предположение основано на том, что корпорация предлагает наиболее широкий ассортимент продукции. Однако у Texas Instruments появился непосредственный конкурент, как на рынках переключающих стабилизаторов постоянного тока, так и на рынках линейных

регуляторов, – корпорация Analog Devices (благодаря поглощению Maxim Integrated).

Различия в динамике развития рынка мощных ИС проявляются и в другом разрезе – по конечному потреблению. Здесь диссимметрией роста отличаются две основные группы: мобильная и потребительская электроника с одной стороны, автомобильная электроника – с другой.

Мобильная и потребительская электроника: крупнейшие потребители мощных ИС с низкой динамикой рынка

Крупнейшими сегментами рынка мощных ИС по конечному потреблению являются изделия мобильной и потребительской электроники. Здесь мощные ИС интегрируются в мобильные телефоны, потребительскую технику, носимые и развлекательные устройства (рис. 5). По данным Yole Développement, емкость этого рынка вырастет с 10,7 млрд долл. в 2020 году до более чем 11,6 млрд долл. в 2026 году, а CAGR в течение прогнозируемого периода составит 1,4%. Низкие темпы роста объясняются тем, что это хорошо известный и уже устоявшийся рынок – в основном за счет массового производства, такого как смартфоны. При этом суммарная доля сегментов мощных ИС для мобильных устройств и потребительской электроники в структуре рынка мощных ИС в целом снизится с 50% в 2020 году до 45% к 2026 году из-за сильного давления цен.

В целях сохранения конкурентоспособности поставщики мощных ИС вынуждены поддерживать средние продажные цены (СПЦ) на как можно более низком уровне, сохраняя при этом качество на «разумном» уровне. В 2020 году на рынке мощных ИС мобильных устройств и потребительской электроники доминировали многоканальные PMIC и переключающие стабилизаторы постоянного тока с долями рынка 42 и 16% соответственно. Лидером в этих двух сегментах, как ожидается, останется корпорация Qualcomm – благодаря высокому спросу на многоканальные PMIC со стороны поставщиков смартфонов. Двумя другими лидерами пока остаются корпорации Dialog Semiconductor и Texas Instruments. Однако, после решения корпорации Apple, крупнейшего клиента Dialog Semiconductor, полностью производить PMIC собственными силами,

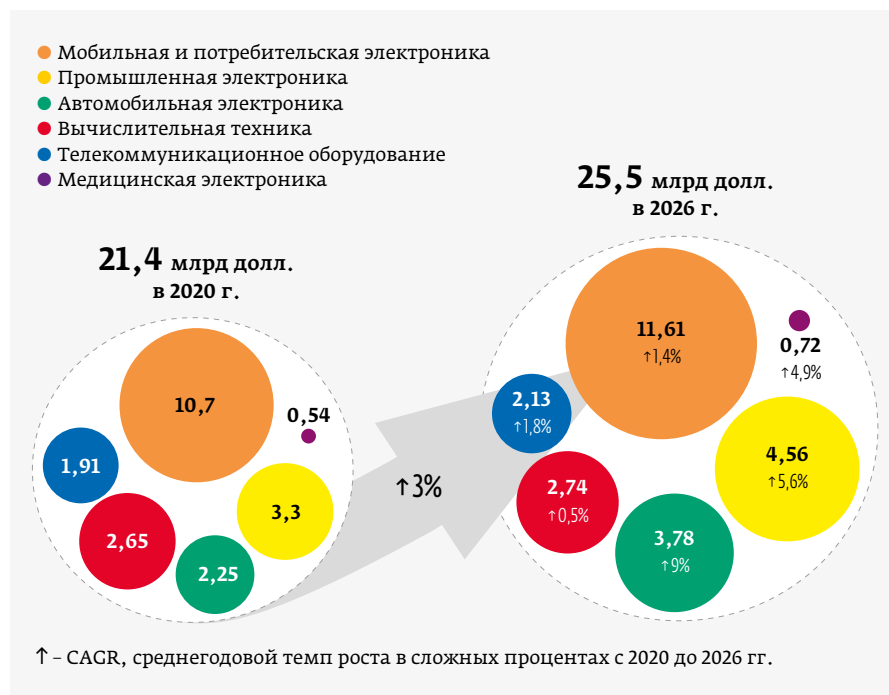


Рис. 5. Прогноз динамики структуры рынка мощных ИС по конечному применению в период 2020–2026 годов

последняя изменила стратегию и была приобретена корпорацией Renesas. Благодаря этому Renesas рассчитывает унаследовать в качестве клиентов таких поставщиков смартфонов, как Samsung, Xiaomi, Oppo и Panasonic, что позволит ей укрепить позиции на данном рынке.

Движущие факторы развития автомобильного сегмента мощных ИС

Наиболее перспективным рынком для мощных ИС является автомобильная промышленность. Ожидается, что этот сегмент мощных ИС для автомобильной электроники вырастет с примерно 2,25 млрд. долл. в 2020 году до более чем 3,7 млрд долл. в 2026 году, при этом CAGR в течение прогнозируемого периода достигнет 9%. Мощные ИС используются в основном в ADAS, автомобильных информационно-развлекательных системах, системах кабины автомобиля и системах обеспечения удобств, а также в системах трансмиссии. Высокий рост потребления ИС в автомобильной электронике объясняется двумя основными тенденциями: электрификацией транспорта и расширением использования автономных транспортных средств. Электрификация транспорта связана с экологическими соображениями и, в частности, существующим пониманием и соглашениями относительно необходимости снижения углеродного следа* промышленности (сокращение выбросов CO₂). Поскольку транспорт является наиболее загрязняющим фактором, электрификация этого сегмента значительно сократит выбросы CO₂. Ожидается, что к 2026 году доля легковых и легких коммерческих электромобилей (гибридных и полностью электрических транспортных средств) составит почти 47% рынка. Электромобилям требуются большие объемы ВМІС для управления потоками энергии в аккумуляторах электромобилей. По данным Yole Développement, рынок ВМІС для автомобильной промышленности вырастет с 1 млрд долл. в 2020 году до примерно 2 млрд долл. в 2026 году. В результате доля продаж ВМІС в структуре продаж автомобильных мощных ИС увеличится с 45% в 2020 году до 52% в 2026 году.

Еще одним фактором, определяющим развитие рынка автомобильных мощных ИС, является тенденция расширения использования автономного транспорта. Современные транспортные средства все чаще оснащаются сложными и чувствительными функциональными системами, такими как ADAS и информационно-развлекательные системы. В них мощные ИС

используются в качестве интерфейса для эффективного обеспечения и контроля режима электропитания. Ожидается, что в ближайшие годы число подобных систем и систем со схожими функциями значительно вырастет благодаря тенденции к повышению уровня автоматизации современных автомобилей. Ведущими поставщиками мощных ИС на данный момент выступают корпорации Analog Devices, Qualcomm и Texas Instruments, обладающие устойчивыми позициями как в сегменте многоканальных РМІС, так и в сегменте ВМІС.

Развитие мощностей по обработке 300-мм пластин как одно из следствий пандемии COVID-19 и дефицита ИС

В последние годы полупроводниковая промышленность подверглась негативному воздействию ряда факторов, в том числе пандемии COVID-19 и дефицита ИС. Поэтому производители мощных ИС инвестируют значительные средства в увеличение мощностей по обработке пластин за счет расширения или строительства новых производственных линий. Относительно инвестиций в мощности по обработке пластин диаметром 300 мм нужно отметить, что причины, побуждающие к этому, у разных игроков отличаются. Например, корпорация Texas Instruments осуществляет инвестиции в мощности по обработке 300-мм пластин с целью увеличения числа формируемых на пластине кристаллов ИС и повышения выхода годных за счет использования более совершенного оборудования. Тем самым повышаются эффективность производства и конкурентоспособность корпорации. С другой стороны, такие компании, как Infineon, расширяют мощности по обработке 300-мм пластин для увеличения объемов производства и удовлетворения быстро растущего спроса на полупроводниковые приборы со стороны различных клиентов, а не только со стороны потребителей мощных ИС. Еще одна причина, объясняющая рост инвестиций в мощности по обработке 300-мм пластин – потребность в наращивании собственного производства для улучшения контролируемости цепочек поставок.

Среди производящих мощные ИС традиционных полупроводниковых фирм полного цикла (IDM – разработка, проектирование и производство ИС), осуществляющих инвестиции в заводы по обработке 300-мм пластин, наиболее агрессивную политику проводит корпорация Texas Instruments. Это подтверждается многомиллиардными инвестициями в ее мощности, расположенные в городах Ричардсон и Шерман (оба в шт. Техас). В настоящее время около 20% общего объема потребляемых корпорацией пластин обрабатывается сторонними фирмами (в основном это логические и встраиваемые ИС), а руководство Texas Instruments теперь стремится к полному самообеспечению.

* Carbon Footprint – «углеродный след», выброс в атмосферу CO₂, связанный с деятельностью отдельного человека или организации: например, в результате поездки на автомобиле, полета на самолете, производства товаров.

Таблица 1. Бизнес-модели основных игроков мирового рынка мощных ИС

Бизнес-модель	Фирмы
Интегрированные производители (IDM)	Analog Devices (США), Asahi Kasei Microdevices (Япония), Infineon (ФРГ), NXP (Нидерланды), On Semiconductor (США), Renesas (Япония), Ricoh (Япония), Sky Works (США), Texas Instruments (США), Torex Semiconductor (Япония), UPI Semiconductor (Тайвань), Vishay (США)
Кремниевые заводы	ASMC (КНР), HН Grace (КНР), Globalfoundries (США), SMIC (КНР), Newport/Nexperia (КНР), TSMC (Тайвань), Samsung (Ю. Корея), Powerchip (Тайвань), Xfab (ФРГ), VIS (Тайвань)
Fabless/fablite	Empower Semiconductors (США), LX Semicon (Ю. Корея), Marwell (США), Monolithic Power Systems (США), Samsung SLSI (Ю. Корея), Silicon Mitus (Ю. Корея)

Примечание: почти все перечисленные IDM используют или предлагают услуги кремниевого завода.

Игроки рынка мощных ИС: бизнес-модели и стратегии в области цепочек поставок

На рынке мощных ИС в основном доминируют три бизнес-модели (табл. 1): IDM, кремниевые заводы (foundries, контрактное производство ИС) и fabless-фирмы (только проектирование ИС). IDM контролируют всю свою цепочку поставок – формируют кристаллы мощных ИС и корпусируют их собственными силами. Правда на некоторых этапах могут использоваться субподрядчики, но это в основном характерно для устройств с низкой добавленной стоимостью. Такие IDM, как Texas Instruments и Analog Devices, контролируют большую часть процесса создания собственных мощных ИС – от проектирования до комплектного устройства. С другой стороны, несколько кремниевых заводов по производству мощных микросхем в основном специализируются на стандартных изделиях, готовых устройствах с силовыми микросхемами. Сегодня в бизнесе кремниевых заводов доминируют азиатские игроки, такие как TSMC (Тайвань) и SMIC (КНР). Однако ожидается, что в ближайшие годы зависимость от азиатских кремниевых заводов будет сокращаться из-за давления правительств западных стран. Причем в случае SMIC используется ограничение доступа к передовым технологиям и оборудованию, а также запреты на приобретение продукции этой фирмы. Случай с TSMC иной – Белый дом побуждает ее переносить современные производства на территорию США, как предоставляя различные стимулы, так и провоцируя обострение вокруг Тайваня.

Fabless-фирмы, такие как Qualcomm, только проектируют свои компоненты, их производством и корпусированием занимаются сторонние фирмы. В рамках этой бизнес-модели существуют два производственных процесса: производство «под ключ» и двухэтапное производство.

Производство «под ключ»: fabless-фирмы заключают контракт с кремниевым заводом на полную сборку, корпусирование и тестирование спроектированной ею мощной ИС.

Двухэтапное производство: fabless-фирма выкупает у кремниевого завода произведенные им по ее проекту кристаллы или пластины со сформированными кристаллами мощных ИС и заключает контракты с третьей стороной на последующие производственные услуги.

Помимо перечисленных выше трех основных бизнес-моделей все более популярной становится четвертая – fablite (главным образом в Китае). Это стратегия «легких (облегченных) активов», используемая IDM, существующая в двух вариантах.

Вариант 1 (более ранний, «исторический»): на уровне топологий до 90–65 нм предусматривает продолжение производства на собственных мощностях только новейших ИС (с высокой добавленной стоимостью) по наиболее передовым процессам; производство ИС со средним и меньшим уровнем добавленной стоимости передается сторонним фирмам в рамках использования модели fabless-foundry. При переходе на топологии 45 нм и менее предусматривает продолжение функционирования своих наиболее передовых и экономически эффективных производств, отказ от строительства собственных заводов под топологии порядка 45 нм и менее в пользу использования на уровне этих топологий модели fabless-foundry. Является промежуточным этапом при переходе от IDM к fabless-фирме (пример – ADM).

Вариант 2 (более «современный», хотя и появился более 10 лет назад). При переходе на топологии 45–32 нм и менее оставляются только новейшие опытно-экспериментальные мощности для отработки перспективных технологий (например, FD SOI – полностью обедненный «кремний-на-изоляторе»), а серийное производство отдается на кремниевые заводы или свободные мощности IDM (пример – STMicroelectronics). Эта развивающаяся бизнес-модель сочетает в себе преимущества IDM и fabless-фирм. В частности, на рынке мощных ИС ее использует китайская корпорация Silergy.

Поскольку рынок мощных ИС сильно зависит от издержек производства, а технологии быстро развиваются,

Таблица 2. Основные игроки рынка мощных ИС КНР

Бизнес-модель	Фирмы
Интегрированные производители (IDM)	SiEn, HDSC
Кремниевые заводы	SMIC, HH Grace.
Fabless	Chipown, Dongke Semiconductor, Etek Microelectronics, FNK Semiconductor, Fudan Microelectronics, Nanjing Micro One Electronics, Qynano, RYCHIP Semiconductor, SC Micro, Southchip
Fablite	Silergy

Примечание: штаб-квартиры всех перечисленных фирм расположены в КНР, за исключением фирмы Qynano, чья штаб-квартира расположена в Швеции

не у всех участников хватает средств продолжать существование. Этим обусловлен активизировавшийся в последние годы процесс слияний/поглощений. Действительно, для поддержания устойчивого роста, укрепления позиций на рынке или просто сохранения конкурентоспособности поставщики мощных ИС придерживаются различных стратегий. Некоторые инвестируют в другие фирмы или приобретают их, чтобы расширить свой охват рынка и расширить или диверсифицировать свой портфель изделий. Другие, чтобы оставаться технологически конкурентоспособными, покупают или лицензируют технологии у независимых фирм для расширения своих технических возможностей, внедрения новых изделий или улучшения существующих. Так, например, покупка корпорацией Renesas корпорации Dialog Semiconductor в 2021 году принесла первой портфель интеллектуальной собственности (включая СФ-блоки^{*}), знания в области высокоинтегрированных и энергоэффективных цифро-аналоговых ИС и укрепило ее позиции на рынках автомобильной, потребительской и промышленной электроники. С другой стороны, поглотив корпорацию Maxim Integrated, корпорация Analog Devices получила завод по обработке 200-мм пластин, что позволило сократить использование аутсорсинга.

Ситуация на рынке мощных ИС КНР

Самым крупным национальным / региональным рынком мощных ИС на сегодня является рынок КНР. Тем не менее, в 2020 году доля местных поставщиков на этом рынке составляла лишь 12%. Сегодня здесь лидируют международные корпорации, такие как Texas Instruments и Analog Devices. Однако местные производители (табл. 2), такие как SG Micro, Silergy и Silan, CR Micro и Zpeak, постепенно

расширяют контролируемую долю. Увеличение доли рынка китайских поставщиков обусловлено тремя основными причинами. Первая заключается в повышении технологического уровня таких китайских производителей конечных электронных систем, как Huawei, Xiaomi и Oppo. Соответственно растет их заинтересованность в развитой и устойчивой цепочке поставок, состоящей из национальных производителей. Вторая – это обострение торговых, технологических и политических противоречий между США и КНР. Это принуждает китайское правительство к снижению технологической зависимости от западных стран, в том числе за счет стимулирования создания более надежных национальных цепочек поставок. Последняя, но не менее важная причина – это эффект пандемии COVID-19. Нарушение глобальных цепочек поставок из-за нее побудило многих производителей переориентироваться на местные цепочки поставок. Несомненно, развитие рынка мощных ИС КНР склоняется в сторону местных производителей, но для их выхода на уровень конкурентоспособности по отношению к ведущими зарубежным поставщикам потребуется время [10].

Китайские фирмы также активно ведут разработку GaN и SiC мощных полупроводниковых приборов и модулей. Так, GaN Systems и Huzhou GSR Semiconductor в марте с. г. провели первое промышленное испытание GaN источников питания для инфраструктуры интернет-центров обработки данных (Интернет-ЦОД). Их энергоэффективность при нагрузке 50% достигает 98%, что на 4% выше, чем у традиционных источников питания на основе кремния. Это может снизить общее энергопотребление IDC на 10%. В сочетании с заменой традиционных ИБП и источников питания систем охлаждения Интернет-ЦОД снижение энергопотребления достигнет 20%.

В соответствии с «XIV пятилетним планом развития цифровой экономики КНР» внедрению GaN-технологии в системах электроснабжения ЦОД уделяется большое внимание. В 2020 году энергопотребление ЦОД в КНР превысило 200 млрд кВт·ч, или около 2% от общего

* Semiconductor IP – совокупность разработок фирмы в области создания библиотек стандартных/заказных элементов и инфраструктуры их поддержки. В России именуется сложно-функциональными (СФ) блоками.

энергопотребления страны. Это соответствует 135 млн тонн выбросов CO₂ (около 1,14% выбросов страны). Для ЦОД крайне важно повысить энергоэффективность, поскольку КНР стремится достичь углеродной нейтральности к 2060 году. При этом в КНР планируется создание 8 национальных хабов и 10 крупных кластеров ЦОД [1].

* * *

Динамика развития рынков мощных полупроводниковых приборов, модулей и ИС для силовой электроники во многом будет зависеть от темпов развития рынков электромобилей и гибридных автомобилей, а также «зеленой энергетики». Это потенциально высокые рынки, но используемые на них технологии пока не вполне конкурентоспособны с традиционными. Среди производителей наибольшую активность проявляют китайские фирмы. Здесь, как и на рынке полупроводниковых приборов в целом, увеличивается значение модели fabless-foundry в ущерб традиционной бизнес-модели IDM.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Макушин М.** Мощные полупроводниковые приборы и перспективы SiC-технологии // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 2021. № 8 (00209). С. 70-79.
2. **Manners D.** Power electronics market to be worth \$26bn in 2026 // Electronics Weekly. 2021. 6th December.
3. **Manners D.** Power module packaging market on a 12.5% CAGR 2020-6. Electronics Weekly. 2021. 29th November.
4. Power and Compound Fab Capacity Projected to Top Record 10 Million Wafers Per Month in 2023, SEMI Reports // Semiconductor Digest. 2021. October 14.
5. Toshiba to Expand Power Semiconductor Production Capacity With 300-Millimeter Wafer Fabrication Facility // Semiconductor Digest. 2022. February 4.
6. **Макушин М.** Заводы по обработке пластин диаметром 300 мм: мифы и реальность // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 2005. № 8. С. 82-86.
7. **Bush S.** Renesas builds 300mm line for electric vehicle power semiconductors // Electronics Weekly. 2022. 17th May.
8. Soitec On Track to Enlarge Silicon Carbide Product Portfolio with First 200mm SmartSiC Engineered Substrate // Solid State Technology. 2022. May 4.
9. **Manners D.** SiC soars on EV demand. Electronics Weekly. 2021. 2nd December.
10. **Villamor A., Ly A.** Power ICs: A \$21B Market Evident in All Applications // Semiconductor Digest. June 2022. PP. 23-27
11. GaN Systems and GSR Semiconductor Demonstrate Massive Benefits of GaN in Enhancing Data Center Efficiency and Profitability // Semiconductor Digest. 2022. March 29.

КНИГИ ИЗДАТЕЛЬСТВА «ТЕХНОСФЕРА»



ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СЕНСОРНЫЕ СИСТЕМЫ

Под ред. Джерарда К. М. Мейджера

При поддержке ОАО «Авангард»

Перевод с англ. под ред. д. т. н., проф. В.А. Шубарева

М.: ТЕХНОСФЕРА,
2011. — 464 с.,
ISBN 978-5-94836-299-1

Цена 975 руб.

Книга посвящена направлению развития электроники – сенсорике, или, как принято в отечественной терминологии, микросистемотехнике. Содержание книги отражает теоретические и практические достижения в области сенсорики и сенсорных систем, уровень которых позволяет квалифицировать их как интеллектуальные.

Изложенный теоретический и практический материал станет основой для разработчиков микроэлектронной аппаратуры, а также будет полезен преподавателям, аспирантам и студентам технических университетов.

КАК ЗАКАЗАТЬ НАШИ КНИГИ?

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



ГРУППА КОМПАНИЙ

ЭЛЕКТРОННОЕ СПЕЦИАЛЬНОЕ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

АО НПП ЭСТО (Группа компаний ЭСТО) - объединение ведущих российских предприятий, специализирующихся на разработках, производстве, модернизации, продаже и сервисном обслуживании специального технологического оборудования.

Направления деятельности группы «ЭСТО»

Разработка и производство технологического оборудования (лазерное, вакуумное, сборочное, нестандартное) и внедрение технологий

Организация поставок как отдельных единиц зарубежного технологического оборудования, так и комплексных законченных технологий «под ключ»

Комплексная и частичная модернизация российского и зарубежного технологического оборудования любой сложности

Сервисное обслуживание российского и зарубежного технологического оборудования

Проектирование и строительство производств микроэлектроники

Обучение специалистов заказчика

Технологический аудит производства

Группа компаний ЭСТО более 20 лет производит оборудование для микроэлектроники в собственном инженерно-производственном комплексе метражом в 5000 кв.м в г. Зеленограде

Акционерное общество
«Научно-производственное
предприятие «Электронное
специальное технологическое
оборудование»

124460, Москва, Зеленоград,
просп. Георгиевский, д. 5, стр. 1
тел.: (499) 729-77-51,
(499) 479-12-39
info@nppesto.ru
www.nppesto.ru



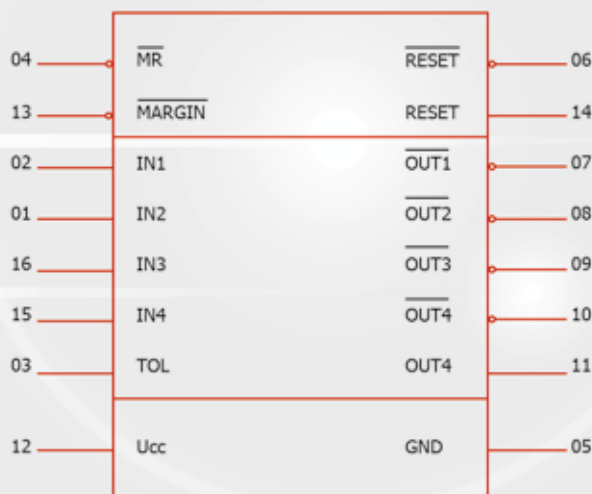
ИМС ЧЕТЫРЕХКАНАЛЬНОГО СУПЕРВИЗОРА ПИТАНИЯ 5322CX025

ОАО «ИНТЕГРАЛ» - управляющая компания холдинга «ИНТЕГРАЛ» освоило в серийном производстве микросхему 5322CX025 четырехканального супервизора питания без сторожевого таймера для контроля уровня напряжения источника питания с номиналом напряжения 3,3 В и контроля уровней напряжения трех независимых источников питания с номиналами от 1,0 до 24В. Микросхема изготавливается в металлокерамическом корпусе типа МК 5119.16-А. Функциональные аналоги ИМС 5322CX025 – ИМС MAX6714CUB и MAX6714DUB.

Таблица 1. Основные параметры и функциональные особенности микросхемы

Наименование параметра	Норма параметра
Напряжение питания, Ucc, В	2,0 ÷ 5,5
Пороговые напряжения контроля источника питания на фиксированном канале на входе IN2, Uпор1 и Uпор2, В	3,0 ÷ 3,15 или 2,85 ÷ 3,0
Настраиваемое пороговое напряжение на входах IN1, IN3 и IN4, Uпорн, В	0,984 ÷ 1,016
Длительность сигнала сброса, мс	140 ÷ 280

Рис. 1. Условное графическое обозначение микросхемы



Основные функции микросхемы

По фиксированному каналу IN2 осуществляется контроль уровня напряжения источника питания номиналом 3,3 В, допуск отклонения контролируемого уровня напряжения от номинального 5 или 10%. Вход TOL определяет допуск отклонения контролируемого уровня напряжения от номинального фиксированного канала IN2:

- 5% при подключении входа TOL к общему выводу GND;
- 10% при подключении входа TOL к выводу Ucc.

Три настраиваемых канала по входам IN1, IN3 и IN4 предназначены для контроля уровней напряжения трех независимых источников питания с номиналами напряжения от 1,0 до 24 В.

Каждый канал микросхемы (по входам IN1, IN2, IN3, IN4) имеет свой независимый компаратор. Фиксированный канал IN2 контроля уровня напряжения питания 3,3 В имеет встроенный резистивный делитель, напряжение выхода которого сравнивается компаратором с опорным напряжением, вырабатываемым внутренним источником опорного напряжения.

К настраиваемым каналам по входам IN1, IN3, 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.

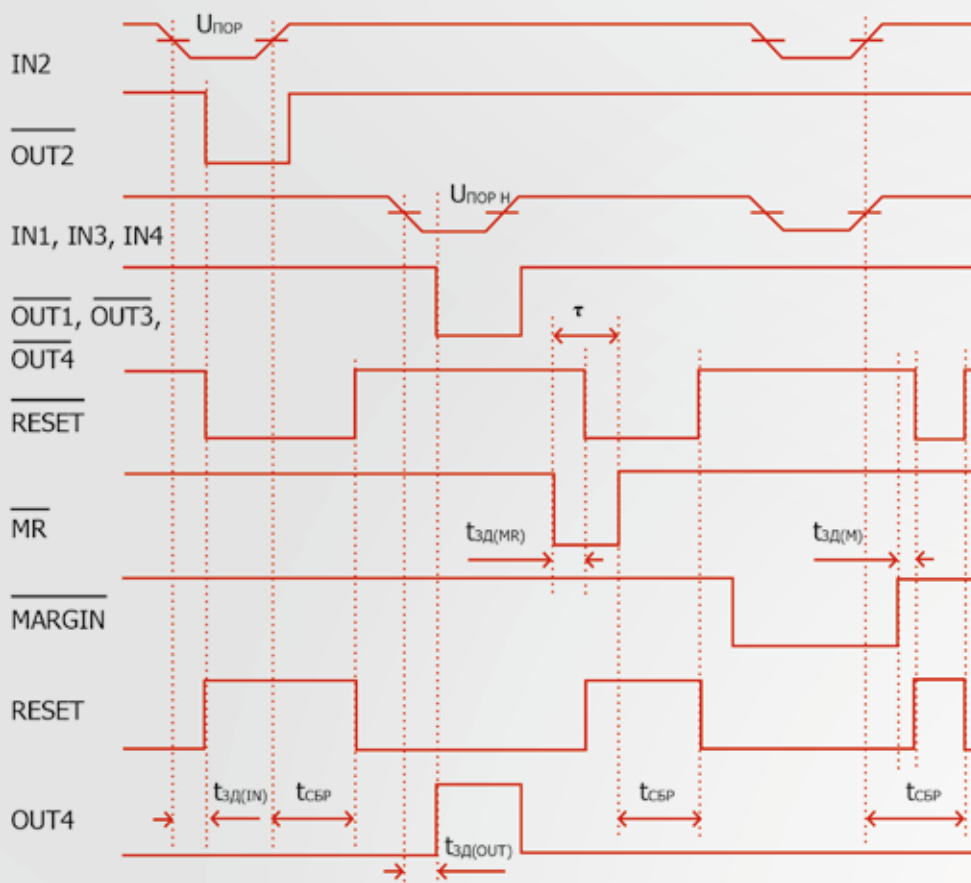
Микросхема обладает следующими функциональными возможностями:

- формирование сигналов сброс \overline{RESET} и RESET при контроле уровня напряжения питания 3,3В на входе IN2;
- формирование сигналов сброс \overline{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.

Функция контроля уровня напряжения источника питания с номиналом 3,3 В

С входа IN2 через внутренний резистивный делитель напряжения поступает сигнал на вход аналогового компаратора, на второй вход компаратора поступает опорное напряжение, вырабатываемое внутренним источником опорного напряжения. В случае возникновения сбоя, т.е. ситуации, когда уровень напряжения на входе IN2 опускается ниже уровня порогового напряжения $U_{\text{пор1}}$ (TOL подключен к GND) или $U_{\text{пор2}}$ (TOL подключен к Ucc), вырабатывается внутренний сигнал ошибки питания, переводящий сигналы «сброс» RESET и RESET в активные состояния. Сигнал RESET переходит в состояние высокого уровня, сигнал RESET – в состояние низкого уровня. Сигналы RESET и RESET будут оставаться в активных состояниях до тех пор, пока уровень напряжения на входе IN2 остается ниже порогового уровня напряжения сброса ($U_{\text{пор1}}$ или $U_{\text{пор2}}$). После возвращения уровня напряжения источника на входе IN2 в устойчивое состояние сигналы RESET и RESET остаются активными не менее 140 мс, позволяя источнику питания и процессору стабилизироваться.

Рис. 2. Временная диаграмма работы микросхемы



Функция мониторинга состояния уровней напряжений трех источников питания

Микросхема имеет три аналоговых входа IN (IN1, IN3 и IN4) для контроля уровней напряжений трех внешних источников питания с номиналами напряжения от 1,0 до 24В. Для задания входных настраиваемых пороговых напряжений используются внешние резистивные делители напряжения, подключаемые к входам IN. Входное пороговое напряжение на выходах внешних резистивных делителей рассчитывается по формуле $U_{\text{пор вх}} = U_{\text{порн}} \times ((R1 / R2) + 1)$ и должно быть немного выше 1,016 В. Входы IN соединены с входами соответствующих компараторов, на вторые входы которых подается опорное напряжение, вырабатываемое внутренним источником опорного напряжения. При обнаружении падения уровня напряжения на определенном входе IN ниже порогового уровня напряжения $U_{\text{порн}}$, микросхема формирует импульс на соответствующем выходе OUT активного низкого уровня (для входа IN4 формируется еще сигнал активного высокого уровня на выходе OUT4). Напряжение на выходе OUT будет оставаться в состоянии низкого уровня до тех пор, пока значение напряжения на соответствующем входе IN остается ниже порогового напряжения $U_{\text{порн}}$. После возвращения напряжения по входу IN в устойчивое состояние сигнал OUT переходит в состояние высокого уровня.

Функция – «сброс от внешней кнопки»

Микросхема имеет вход ручного сброса MR от внешней кнопки. При подаче на вход MR импульса активного низкого уровня, формируются сигналы «сброс» RESET и RESET. Сигналы «сброс» остаются в активных состояниях не менее 140 мс после того, как MR переключится обратно из низкого уровня в высокий (с момента отжатия кнопки).

Микросхема 5322CX025 имеет стойкость к воздействию специальных факторов 7.И, 7.С и 7.К по ГОСТ РВ 20.39.414.2 с характеристиками 7.И₁ – 3Ус; 7.И₆ – 4Ус; 7.И₇ – 4×4Ус; 7.С₁ – 10×1Ус, 7.С₄ – 2×5Ус, 7.К₁ – 2К; 7.К₄ – 1К, 7.К₉ (7.К₁₀) – является стойкой, 7.К₁₁(7.К₁₂) – 60 МэВ×см²/мг по катастрофическим отказам и тиристорному эффекту. Микросхема 5322CX025 включена в перечень ЭКБ 02.