

Zynq UltraScale+ – адаптируемая интеллектуальная платформа для промышленного Интернета вещей

Д. Садеков¹, В. Ежов

УДК 621.3.049.774 | ВАК 05.27.01

Промышленный Интернет вещей (Industrial Internet of Things – IIoT) сегодня оказывает влияние на все ключевые секторы экономики: производство, энергетику, транспорт, городское хозяйство, медицину, другие отрасли. IIoT позволяет компаниям собирать, агрегировать и анализировать данные с датчиков и периферийных устройств, чтобы повысить эффективность работы машин, оборудования, производительность предприятия в целом. Компания Xilinx предлагает гибкое решение, сочетающее в себе программируемость, оптимизированное аппаратное обеспечение, обработку данных в режиме реального времени, широкие коммуникационные возможности и безопасность – комплекс требований, предъявляемых к IIoT-системе. Полностью программируемая СнК Zynq UltraScale+ позволяет создать эффективную платформу для построения IIoT-системы, которая обеспечивает максимальную окупаемость инвестиций и минимальные затраты в течение всего срока эксплуатации промышленной системы.

Промышленный Интернет вещей (IIoT) представляет собой многомерную сеть взаимодействующих между собой периферийных устройств, облачных приложений, датчиков, алгоритмов, коммуникационных протоколов, человеко-машинных интерфейсов (HMI) и других элементов. Все эти элементы должны выполнять критичные задачи надежно и точно по графику. Еще одно ключевое требование – продолжительный срок службы – рассматривается как условие обеспечения рентабельности для поставщика систем и клиента.

Соблюдение этих требований возможно при наличии в IIoT-системе встраиваемого решения, которое обеспечит детерминированные коммуникации и управление в режиме реального времени подсистем на границе сети, в непосредственной близости от инфраструктуры промышленной среды, например контроллеров движения, реле защиты, программируемых логических контроллеров и подобных систем. Когда речь идет о критичных промышленных подсистемах, которые работают в масштабе в сотни микросекунд и менее, расположены в удаленных местах

и функционируют десятки лет, полагаться исключительно на многоядерный встраиваемый процессор невозможно. Более того, столь недалекновидный подход может привести к проблемам, связанным с синхронизацией, недостаточной производительностью и трудностями масштабирования системы. На периферии IIoT-сети требуется значительно более высокая степень свободы и гибкости, что можно обеспечить путем применения программируемого аппаратного решения и прикладного ПО, исполняемого на встроенных процессорных ядрах. Такой подход гарантирует оптимальное управление детерминизмом, задержками, производительностью и загрузкой различных подсистем.

Кроме того, нужна процессорная система, оснащенная такими функциями, как аппаратная виртуализация, которая позволяет системным архитекторам инкорпорировать гостевые операционные системы и обеспечивает высокие уровни автономности и изоляции, где это требуется. Необходима также функция защиты памяти (проверка четности или, что предпочтительнее, коды исправления ошибок). Дополнительное полезное свойство таких систем – разгрузка процессоров от рутинных операций, например, передача инкрементных вычислений на специализированные

¹ Холдинг «Золотой Шар», менеджер по развитию, тел.: +7 495 234-01-10, sadekov@zolshar.ru.

аппаратные блоки, что сокращает цикл процессорной подсистемы.

Крайне важно, чтобы IIoT-система была чрезвычайно гибкой, масштабируемой, способной эффективно обслуживать все аппаратные и программные компоненты. Идеальное решение для IIoT-платформы – полностью программируемая система на кристалле, которая поддерживает аппаратное конфигурирование и программирование с помощью ПО. При выборе IIoT-платформы, способной адаптироваться к изменениям в течение длительного времени, следует рассматривать три ключевые прикладные области – коммуникационные возможности, кибербезопасность и граничные вычисления.

Что касается коммуникационных возможностей, то большое значение для построения IIoT-системы имеет использование сетевых протоколов, которые обеспечивают управления критичными ко времени потоками. В частности, речь идет о протоколе чувствительных ко времени сетей (Time-sensitive networking – TSN). TSN обеспечивает унифицированный сетевой протокол как на границе сети, так и по всей цепочке IIoT-устройств, поскольку поддерживаются различные уровни запланированного трафика (scheduled traffic). Однако поскольку TSN относится к развивающимся стандартам, попытка добавить поддержку TSN к существующему IIoT-контроллеру, который управляет данными в режиме реального времени на основе только программного подхода, может привести к непредсказуемым проблемам синхронизации в сети. Вероятно также снижение скорости отклика на прерывания, времени доступа к памяти и т. д. TSN требует формы учета времени, не предусмотренной современными контроллерами. Поэтому оптимальное решение – интегрирование программируемого TSN-контроллера в конечную точку IIoT-сети, чтобы обеспечить трафик с жесткой синхронизацией по времени.

На основе разработанных компанией Xilinx полностью совместимых со стандартами TSN-блоков можно предложить оптимальное сетевое решение для конечных точек IIoT-сети. По сравнению с реализацией на заказных чипах и ИС специального назначения программируемые решения от Xilinx позволяют разработчику вносить изменения в IIoT-проект, при этом минимизируется влияние на критичную синхронизацию по мере развития стандарта TSN.

Следует учитывать также, что в IIoT-сфере существует необходимость поддержки устаревших протоколов, использовавшихся ранее при развертывании IIoT-сети. Большинство современных СнК не предлагает поддержки значительной части этих протоколов. Кроме того, количество сетевых интерфейсов может превышать ограниченные возможности СнК по числу

портов ввода-вывода. В отличие от этого, полностью программируемые СнК от Xilinx обеспечивают создание системы, способной адаптироваться к требованиям заказчика, в частности, поддерживать устаревшие протоколы и доступность необходимого количества портов ввода-вывода. Таким образом, используя как устаревшие протоколы, так и новые технологии, например TSN, решения Xilinx обеспечивают необходимые коммуникационные возможности, причем изначально детерминированные на этапе создания проекта.

Еще один аспект создания надежной IIoT-системы – обеспечение кибербезопасности. При расширении сети до границ аналогового и цифрового мира возникает необходимость в защите данных, как только они попадают в цифровой домен. Это требует обеспечения безопасных операций загрузки, защищенного исполнения программ с помощью аппаратной изоляции, защиты операционных систем, ПО и коммуникаций. Поставщики и пользователи IIoT-систем должны располагать программными и аппаратными средствами, которые снижают риски нарушения безопасности данных. Такие известные программные способы защиты, как криптографические алгоритмы, защищенные протоколы передачи данных (например, TLS), сертификаты безопасности и гипервизоры, рекомендуется сочетать с другим криптографическим функционалом, реализуемым в программируемых устройствах.

Наряду с коммуникационными возможностями и безопасностью ключевую роль в построении эффективной, масштабируемой IIoT-системы играют граничные вычисления. В настоящее время в IIoT-сфере наблюдается тренд преимущественного перехода от облачных к граничным вычислениям, который определяется рядом факторов, в частности, высокой стоимостью передачи огромных массивов данных в облако, а также проблемами обеспечения безопасности и надежности. Поэтому для интеллектуального встраиваемого контроллера важно найти баланс между локальной обработкой критичных ко времени данных на границе сети и передачей менее чувствительных данных в сжатом формате в облако. Программируемые устройства в IIoT-системе позволяют применить функционал оптимизации к данным во время их потоковой передачи, что обеспечивает наиболее эффективную их обработку по сравнению с использованием сложных транзакций памяти, которые увеличивают время отклика системы. Огромные преимущества очевидны, если принимать во внимание, что в промышленных системах необходимо передавать одновременно сотни и даже тысячи потоков данных с множества датчиков.

Полностью программируемые СнК обеспечивают самый широкий охват IIoT-приложений в одном устройстве. Например, возможным сценарием

использования программируемых СМК в IIoT может быть сочетание таких приложений, как управление двигателем, машинное зрение, сетевые коммуникации, функциональная и кибербезопасность, аналитика на границах сети и машинное обучение. Пользователи могут реализовать практически любые необходимые в IIoT-системе алгоритмы в программируемых СМК, оснащенных даже сравнительно небольшими логическими ресурсами.

Разработчикам IIoT-систем нужно решение, сочетающее большую вычислительную мощность и способность к программной и аппаратной программируемости, что позволит быстро изменять конфигурацию системы при масштабировании или адаптации к новым требованиям и стандартам. Кроме того, система должна обеспечивать необходимый уровень защиты данных и интеллектуальной собственности.

Перечисленным требованиям полностью отвечает программируемая платформа Zynq UltraScale+ от Xilinx. Эта многопроцессорная система-на-кристалле (СМК) сочетает в себе возможность обработки данных на мощном процессоре и программируемость ПЛИС. Выпускаемая по 16-нм технологии FinFET компании TSMC превосходит предыдущее поколение Zynq по производительности на ватт мощности в пять раз.

СМК Zynq UltraScale+ построена на основе гетерогенной многопроцессорной системы, то есть содержит процессоры с различными архитектурами, оптимизированными для выполнения соответствующих задач, что позволяет добиться большей эффективности в использовании вычислительных ресурсов. В состав процессорной системы входит модуль общего применения (Application Processing Unit – APU) на основе 2- или 4-ядерного 64-разрядного процессора ARM Cortex-A53 с архитектурой ARMv8-A с тактовой частотой до 1,5 ГГц и модуль реального времени (Real-Time Processing Unit – RPU) на базе 2-ядерного 32-разрядного процессора реального времени ARM Cortex-R5 с архитектурой ARMv7-R с тактовой частотой до 600 МГц.

В семействе Zynq UltraScale+ представлены три отдельные платформы, которые различаются набором вычислительных и программируемых ресурсов:

- Zynq UltraScale+ серии CG содержит 2-ядерный процессор Cortex-A53 и 2-ядерный Cortex-R5. Семейство оптимизировано для задач управления электроприводами, промышленного Интернета вещей, работы с датчиками;
- Zynq UltraScale+ серии EG содержит 4-ядерный Cortex-A53, 2-ядерный Cortex-R5, графический процессор ARM Mali-400MP2. Эти устройства оптимизированы для построения беспроводных и проводных коммуникаций, облачных вычислений, аэрокосмических и оборонных приложений;

- Zynq UltraScale+ серии EV содержит 4-ядерный Cortex-A53, 2-ядерный Cortex-R5, графический процессор ARM Mali-400MP2, а также видекодек H.265. Серия предназначена для обработки видео высокого разрешения, мультимедиа, ADAS-систем.

Остановимся подробнее на серии CG, оптимизированной для IIoT-приложений (рис. 1).

В состав семейства СМК Zynq UltraScale+ CG наряду с процессорной системой входит программируемая логика, содержащая до 600 тыс. системных логических элементов, до 548 тыс. триггеров, до 274 тыс. LUT. Процессорная система оснащена встроенной RAM объемом 256 Кбайт, защищенной кодами с исправлением ошибок (ECC). Программируемые ресурсы предусматривают до 8,8 Мбит распределенной RAM, до 912 2-портовых блоков BRAM (Block RAM) суммарным объемом до 32 Мбит, 2-портовые 72-разрядные блоки UltraRAM объемом 288 Кбит каждый с коррекцией ошибок (ECC).

Подсистема цифровой обработки сигнала содержит до 2520 DSP-блоков с умножителями размерности 27×18, 48-разрядные сумматоры/аккумуляторы и 27-разрядные предварительные сумматоры.

Программируемые блоки ввода-вывода поддерживают LVCMOS-, LVDS- и SSTL-сигналы. Максимальное количество высокопроизводительных портов ввода-вывода с поддержкой напряжения питания от 1 до 1,8 В достигает 208, а портов ввода-вывода высокой плотности с поддержкой напряжения питания 1,2–3,3 В – 120.

Микросхемы содержат 6-портовые 32/64-разрядные контроллеры внешней динамической памяти DDR4, LPDDR4, DDR3, DDR3L, LPDDR3 с ECC, а также интерфейсы статической памяти Quad-SPI, NAND и eMMC. В состав высокоскоростной периферии входят интерфейсы PCIe Gen 1/2, USB3.0, SATA 3.1, Display Port 1.2a. СМК предусматривает широкий набор интерфейсов общего назначения: USB2.0, SD/SDIO, UART, CAN2.0-A/B, I2C, SPI, GPIO, 1-Гбит/с Ethernet.

За безопасность и защиту данных отвечают блоки шифрования RSA, AES, SHA, а также доверенная зона ARM TrustZone. Модуль конфигурирования и защиты поддерживает режим безопасной загрузки процессорной системы. В состав СМК входит 8-канальный DMA-контроллер. Для высокоскоростной последовательной передачи данных предназначены 16,3-Гбит/с трансиверы (до 24 шт.).

В СМК Zynq UltraScale+ серии CG включены также блок управления системной памятью (SMMU), блок защиты памяти от Xilinx (XMPU), системный монитор для контроля напряжения питания и температуры кристалла, содержащий 10-разрядный АЦП с частотой выборки 200 Квыб/с, оснащенный до 17 внешними входами. Микросхема поддерживает технологию тестирования JTAG в соответствии с IEEE Std 1149.1.

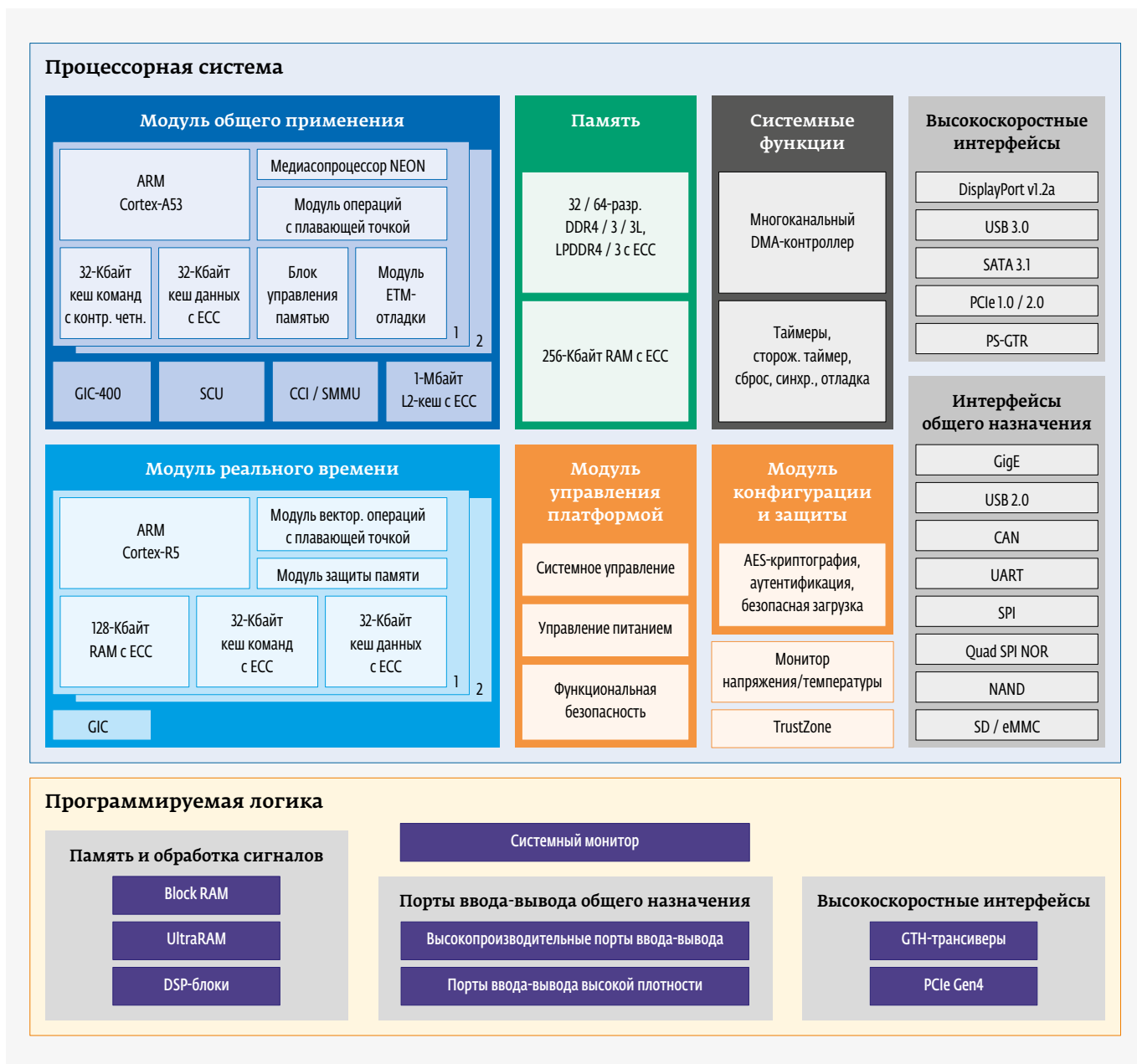


Рис. 1. Блок-схема программируемой SoC Zynq UltraScale+ серии CG

* * *

Благодаря полной (программной и аппаратной) программируемости и масштабируемости платформа Zynq UltraScale+ обеспечивает возможность оперативного внесения изменений и модернизации IIoT-системы в соответствии со стандартами и требованиями заказчика. Поставщики и их клиенты могут снизить общие затраты при долгосрочной эксплуатации системы. Интеграция многочисленных функций IIoT-системы в одном высокопроизводительном устройстве с низким энергопотреблением обеспечивает разработчикам гибкость проектного решения,

а также оптимальный выбор аппаратных и программных средств ее реализации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Zynq UltraScale+ MPSoC Overview // www.xilinx.com
2. **Mehta N.** Pushing Performance and Integration with the UltraScale+ Portfolio. White Paper // www.xilinx.com
3. **Khona Ch.** Key Attributes of an Intelligent IIoT Edge Platform. White Paper // www.xilinx.com
4. **Hansen L.** Unleash the Unparalleled Power and Flexibility of Zynq UltraScale+ MPSoCs. White Paper // www.xilinx.com

Полевой р-канальный транзистор категории качества «ВП» 2ПЕ116А9

Предприятием ОАО «ИНТЕГРАЛ» — управляющая компания холдинга «ИНТЕГРАЛ» освоено в серийном производстве выпуск транзистора 2ПЕ116А9. Транзистор кремниевый эпитаксиально-планарный полевой с изолированным затвором, с обогащенным р-каналом и встроенным обратносмещенным диодом предназначен для использования в источниках вторичного электропитания и другой преобразовательной аппаратуре специального назначения.

Транзистор изготавливается в малогабаритном металлокерамическом корпусе КТ-99-1 и функционирует при температуре от -60 до 125 °С. Наиболее близкими аналогами по электрическим параметрам транзистора 2ПЕ116А9 являются транзисторы TP0610K компании Vishay и BSS83P компании Infineon Technologies AG. Технические условия — АЕЯР.432140.830 ТУ.

Таблица 1. Значения электрических параметров транзистора при приемке и поставке

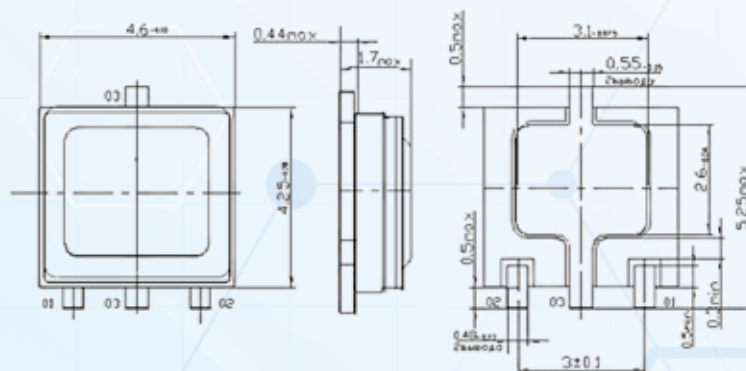
Наименование параметра, единица измерения, режим измерения	Буквенное обозначение параметра	Норма параметра		Температура среды, °С
		не менее	не более	
Сопротивление сток-исток в открытом состоянии, Ом $U_{зи} = -10$ В; $I_c = -0,5$ А; $t_{и} \leq 2$ мс; $Q \geq 50$	$R_{си\ отк}$	–	1,2	25 ± 10
		–	1,4	-60 ± 3
		–	2,4	125 ± 5
		–	2,8	
Начальный ток стока, мкА $U_{си} = -60$ В; $U_{зи} = 0$	$I_{с\ нач}$	–	$ -10 $	25 ± 10
		–	$ -250 $	125 ± 5
		–	$ -250 $	-60 ± 3
Пороговое напряжение, В $I_c = -0,25$ мА; $U_{си} = U_{зи}$	$U_{зи\ пор}$	$ -1,0 $	$ -2,0 $	25 ± 10
		$ -1,25 $	$ -2,75 $	-60 ± 3
		$ -0,5 $	$ -1,75 $	125 ± 5
Крутизна характеристики, А/В $I_c = -0,45$ А; $U_{си} \geq -3,0 $ В; $t_{и} \leq 2$ мс; $Q > 50$	S	0,24	–	25 ± 10
Ток утечки затвора, нА $U_{зи} = \pm 10$ В; $U_{си} = 0$	$I_{з\ ут}$	–	$ \pm 100 $	25 ± 10
		–	$ \pm 3,0 $	-60 ± 3
Ток утечки затвора, мкА $U_{зи} = \pm 10$ В; $U_{си} = 0$	$I_{з\ ут}$	–	$ \pm 3,0 $	125 ± 5
		–	4,0	25 ± 10
Постоянное прямое напряжение диода, В $U_{зи} = 0$; $I_c = 0,45$ А; $t_{и} \leq 2$ мс; $Q > 50$	$U_{пр}$	–	4,0	125 ± 5
		–	4,0	-60 ± 3
		–	4,0	

Таблица 2. Предельно допустимые электрические режимы эксплуатации

Наименование параметра, единица измерения, режим и условия измерений	Буквенное обозначение параметра	Норма параметра
Максимально допустимый постоянный ток стока при температуре окружающей среды от -60 до +25 °С (с теплоотводом), А	I_{Cmax}	-1,00
Максимально допустимый постоянный ток стока при температуре окружающей среды +125°С (с теплоотводом) ¹ , А	I_{Cmax}	-0,52
Максимально допустимый импульсный ток стока, А ($t_n \leq 2$ мс, $Q > 50$)	$I_{C(и) max}$	-2,0
Максимально допустимый постоянный прямой ток диода, А	$I_{пр.max}$	-1,0
Максимально допустимое напряжение сток-исток, В	$U_{СИ.max}$	-60
Максимально допустимое напряжение затвор-исток, В	$U_{ЗИ.max}$	±10
Максимально допустимая постоянная рассеиваемая мощность при температуре окружающей среды от -60 до +25 °С (с теплоотводом) ² , Вт	P_{max}	3,0
Максимально допустимая постоянная рассеиваемая мощность при температуре корпуса +125 °С, Вт	P_{max}	1,67
Максимально допустимая температура перехода, °С	$T_{пер.max}$	150
Тепловое сопротивление переход – окружающая среда (с теплоотводом), °С/Вт	$R_{\Theta пер-окр}$	40
Тепловое сопротивление переход-корпус, °С/Вт	$R_{\Theta пер-окр}$	15

¹ В диапазоне температур от 25 до 125 °С максимально допустимый постоянный ток стока изменяется линейно.
² В диапазоне температур корпуса от 25 до 125 °С максимально допустимая рассеиваемая мощность определяется по формуле $P_{max} = (T_{пер.max} - T_{кор}) / R_{\Theta пер-окр}$

Рис. 1. Общий вид, габаритные, установочные и присоединительные размеры транзистора в корпусе КТ-99-1



Транзистор 2ПЕ116А9 является стойким к воздействию специальных факторов 7.И, 7.С и 7.К по ГОСТ РВ 20.39.414.2 с характеристиками 7.И₁ – 4У_с; 7.И₆ – 4У_с; 7.И₇ – 2×4У_с; 7.С₁ – 4У_с, 7.С₄ – 4У_с, 7.К₁ – 2К; 7.К₄ – 1К, 7.К₉ (7.К₁₀) – является стойкой, 7.К₁₁ (7.К₁₂) – 15 МэВ см²/мг по катастрофическим отказам. Безопасные электрические режимы транзистора при воздействии фактора 7.К с характеристиками 7.К₁₁ (7.К₁₂):

- для ЛПЭ 60 МэВ×см²/мг при |U_{СИ}| ≤ 35 В;
- для ЛПЭ 40 МэВ×см²/мг при |U_{СИ}| ≤ 55 В;
- для ЛПЭ 15 МэВ×см²/мг при |U_{СИ}| ≤ 60 В.

Транзистор 2ПЕ116А9 включен в Перечень ЭКБ 03.



ОАО «ИНТЕГРАЛ»

управляющая компания холдинга «ИНТЕГРАЛ» Республика Беларусь

www.integral.by

тел./факс: (+375-17) 398 72 03

тел.: (+375-17) 298 97 43

E-mail: ATitov@integral.by