

Особенности действующих навигационных спутниковых систем и изделий микроэлектроники для приёма их сигналов

Юрий Петропавловский (petropavlovski@inbox.ru)

В статье рассматриваются особенности глобальных и региональных навигационных спутниковых систем Galileo, Beidou, QZSS, Navic и приводится номенклатура многосистемных навигационных модулей и микросхем с поддержкой ГЛОНАСС.

Основой приёмников сигналов навигационных спутниковых систем (НСС) являются специализированные модули, микросхемы и их наборы, выпускаемые зарубежными и отечественными производителями. Поскольку существует несколько глобальных (ГНСС) и региональных НСС, многие современные микросхемы для спутниковой навигации являются многосистемными. Прежде чем рассматривать данные микросхемы и решения на их основе, коротко остановимся на особенностях самих НСС.

Сегодня в мире действуют три ГНСС (GPS, ГЛОНАСС, Galileo) и три региональные НСС (Beidou, QZSS, Navic). Получившая наибольшее распространение ГНСС GPS в ряде регионов столкнулась с серьёзной конкуренцией со стороны других систем. Частоты излучаемых спутниками сигналов, типы сигналов и модуляции действующих НСС приведены в таблице 1. Следует отметить, что совместное использование различных НСС потенциально может повысить точность определения координат до невероятных значений, измеряемых сантиметрами. Однако для получения нужных точностей при совместном использовании НСС недостаточно желания пользователей – необходимы усилия и со стороны разработчиков самих НСС (ГНСС).

Особенности GPS и ГЛОНАСС, а также вопросы их совместного использования требуют отдельного рассмотрения, в статье же речь пойдёт о других системах.

Galileo – ГНСС, разработанная Европейским Союзом и Европейским космическим агентством (ЕКА), однако проект осуществлялся при непосредственном участии РФ: большинство спутников Galileo выводилось на орбиту российскими «Союзами». 24 мая 2016 года с космодрома Куру (Гвианский космический центр) был произведён успешный пуск ракеты-носителя «Союз-СТ-Б» с разгонным блоком «Фрегат-МТ» и двумя космическими аппаратами (КА) Galileo FOC M5 (Galileo).

Идея переноса пусков «Союзов» с Байконура на Куру возникла ещё в 1999 году, когда состоялся первый запуск «Союза», осуществлённый российско-французским предприятием «Старсем». С Куру данная ракета-носитель (РН) могла бы поднять в 2,5–3 раза большую полезную нагрузку за счёт близости точки запуска к экватору. В 2002 году ЕКА окончательно одобрило идею, и в ноябре 2003 года Россия и Франция подписали соответствующее соглашение. Строительство российской стартовой площадки и стартового сбросного комплекса на кос-

модроме Куру во Французской Гвиане началось в 2007 году, в 2008 году из Санкт-Петербурга отправилось первое судно с оборудованием для стартового комплекса. Первый пуск «Союза-СТ-Б» состоялся в октябре 2011 года.

Первый опытный КА GIOVE-A для системы Galileo был запущен РН «Союз-ФГ» с Байконура 28 декабря 2005 года; в 2008 году также с Байконура был выведен на орбиту КА GIOVE-B. В дальнейшем запуски производились РН «Союз-СТ-Б» с разгонным блоком «Фрегат-МТ» с космодрома Куру вплоть до 2016 года. Последние три пуска обеспечивали РН «Ариан-5».

ГНСС Galileo официально введена в эксплуатацию в декабре 2016 года, однако в начале 2017 года выяснилось, что на спутниках системы вышли из строя 10 атомных часов. Это не вывело из строя ГНСС в целом, но привело к необходимости нарастить орбитальную группировку. Последние четыре КА, запущенные в июле 2018 года, будут введены в эксплуатацию к началу 2019 года. На рисунке 1 показан монтаж КА Galileo на РН. Всего в орбитальной группировке Galileo должно находиться 27 КА на трёх круговых гелиоцентрических орбитах под углом 56° к экватору высотой 23 222 км и пери-



Рис. 1. Монтаж КА Galileo на РН

Таблица 1. Основные характеристики сигналов НСС

НСС	Частоты сигналов, МГц	Типы модуляции	Типы сигналов
GPS	1575,42; 1227,6; 1176,45	BPSK; BOC; TMBOC	C/A, P, M, L2C, L5I, L5Q
ГЛОНАСС	1600,995; 1248,06; 1202,025	BPSK; BOC	L10Cd, L10Cp, L20Cp, L30Cd, L30Cp
Galileo	1575,42; 1272,75; 1191,79	BOC, MBOC, AltBOC	E1A, E2B, E1C, E6A, E6B, E6C, E5A, E5b
Beidou	1575,42; 1191,79; 1268,52	BOC, MBOC, AltBOC, QPSK	B1-CD, B1-CP, B1D, B2aD, B2aP, B2bD, B3
QZSS	1575,42; 1227,6; 1176,45; 1278,75	BPSK, BOC	C/A, L1CD, L1CP, L2C, L5I, L5Q, LEX
Navic	1176,45; 2492,028	BPSK; BOC	SPS, RS

одом обращения вокруг земли 14 ч 4 мин 42 с.

Первые микросхемы с возможностью приёма сигналов Galileo были разработаны задолго до запуска в эксплуатацию самой системы. Например, в 2008 году компания SiGe Semiconductor Inc (США) выпустила GPS/Galileo приёмник SE4120L (см. рис. 2). Также микросхемы с поддержкой Galileo выпускают европейские компании STM, u-Blox, GNS и другие.

В ГНСС GPS и Galileo используется кодовое разделение сигналов; центральные частоты сигналов в диапазонах L1/E1 совпадают (1575,42 МГц), однако тип сигналов и модуляции различны. Спутники GPS излучают сигналы с бинарной фазовой манипуляцией BPSK (Binary Phase Shift Keying), предназначенные для открытого (гражданского) использования, а спутники ГНСС Galileo излучают сигналы с бинарной фазовой манипуляцией с цифровой поднесущей BOC (Binary Offset Carrier). Соответствующие спектральные характеристики сигналов приведены на рисунке 3. Выбор типа ГНСС в микросхеме SE4120 осуществляется программным способом. Микросхемы с поддержкой трёх ГНСС (GPS, ГЛОНАСС и Galileo) выпускают компании Maxim, Connectes и др.

В 2018 году к «Роскосмосу» обратилась Государственная комиссия по китайской навигационной системе с предложением объединить российскую ГЛОНАСС с китайской Beidou. Целью интеграции является создание единой системы мониторинга на пространстве государств Шанхайской организации сотрудничества (ШОС), а впоследствии и БРИКС. Совместное использование потребителями обеих систем предполагает размещение наземных корректирующих станций на территории стран-партнёров и получение корректирующей информации через сотовые сети связи в реальном времени. При реализации совместной системы число используемых КА достигнет 50–60, что обеспечит точность позиционирования до 10 см даже в условиях плотной городской застройки. При такой точности, например, сразу открываются новые возможности для высокоточных приложений (беспилотные автомобили и летательные аппараты и др.). Другим немаловажным достоинством совместной ГНСС является независи-

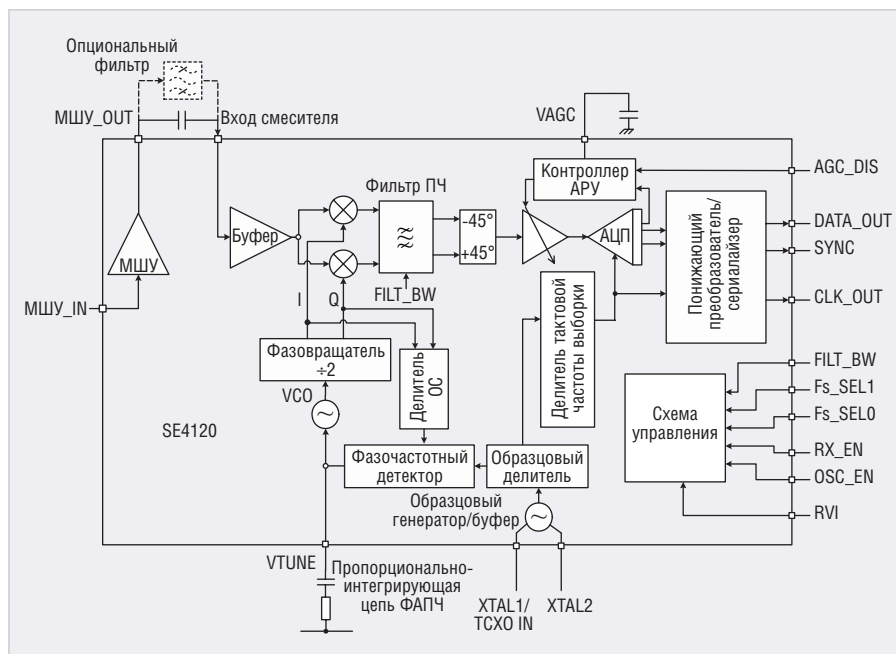


Рис. 2. Структурная схема модуля SE4120

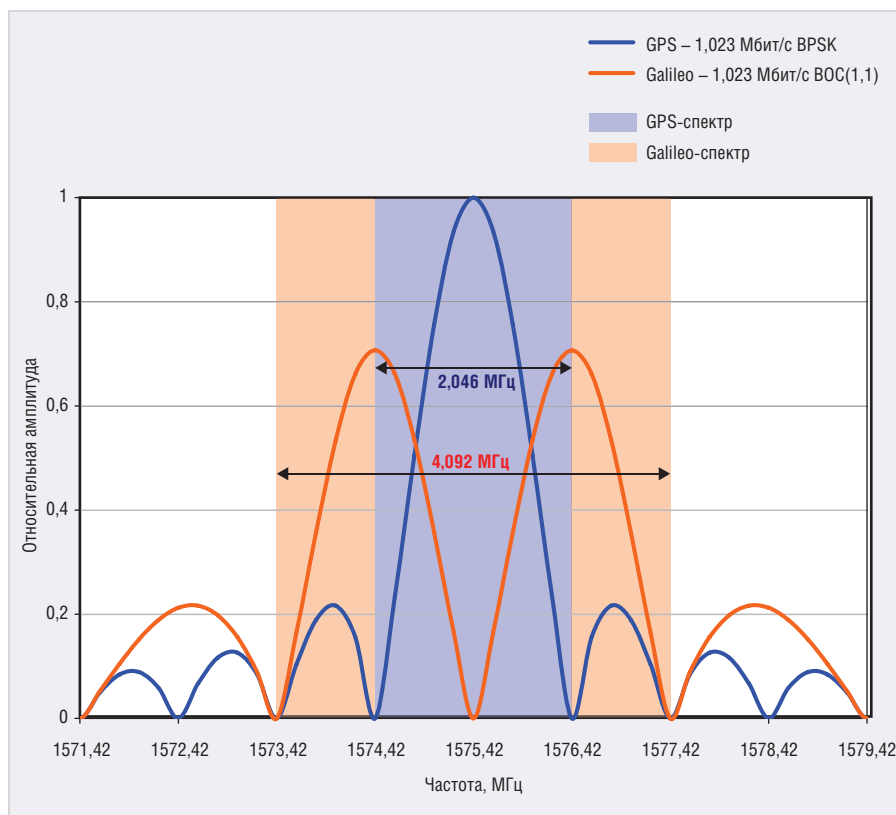


Рис. 3. Спектры сигналов НСС

мость от американской GPS, владельцем которой является Министерство обороны США.

Орбитальная группировка ГНСС Beidou состоит из КА, находящихся на орбитах 3 типов: геостационарных с высотой 35 786 км, наклонных геосинхронных также на высоте 35 786 км и средних круговых на высоте 21 521 км. Последние два спутника системы были выведены на орбиту 25 августа 2018 года.

К 2020 году система из региональной превратится в глобальную.

Одним из основных разработчиков и производителей изделий микроэлектроники для Beidou является китайская компания Hangzhou ZhongKe Microelectronics CO., Ltd. В каталоге компании 2018 года представлены изделия для приёмников сигналов НСС следующих категорий: ВЧ-микросхемы ATGR201/101; сигнальные микросхе-



Рис. 4. Навигационный модуль ATGM331C

мы ATGM3303; навигационные модули ATGM330B, ATGM331C1, ATGM332D; однокристалльные навигационные системы ATGS01. В ассортименте компании есть и другие микросхемы для приёмников сигналов НСС: АЦП/ЦАП, схемы ФАПЧ, демодуляторы, контроллеры ЖК-дисплеев и др. На рисунке 4 показан внешний вид навигационного модуля ATGM331C.

Микросхемы и модули компании выпускаются в исполнениях, обеспечивающих работу с сигналами одной или нескольких НСС. Например, различные исполнения современного навигационного модуля ATGM336H-5N предназначены для работы с сигналами Beidou, GPS, Beidou/GPS, GPS/ГЛОНАСС, Beidou/GPS/ГЛОНАСС (исполнение ATGM336H-5N-7X). Модуль построен на основе микросхемы AT6558 и имеет размеры 10,1×9,7×2,4 мм. Дополнительно в него интегрированы ПАВ-фильтр ПЧ, маломощный усилитель ВЧ, образцовый генератор ТСХО и резонатор микропроцессора управления (см. рис. 5). Основные характеристики и особенности ATGM336H-5N:

- поддержка технологии быстрого старта навигационных приёмников A-GNSS позволяет существенно ускорить определение местоположения за счёт использования дополнительной информации, получаемой через сети сотовой связи или Интернет;
- чувствительность -148 дБм в режиме захвата и -162 дБм в режиме слежения;
- точность позиционирования 2,5 м;
- время первой фиксации позиции 32 с;
- малое энергопотребление 25 мА/3,3 В.

Области применения модуля, рекомендованные изготовителем: навигационные устройства средств передвижения, сотовые телефоны, смартфоны, планшетные ПК, портативные приборы, встраиваемое навигационное оборудование. На осно-

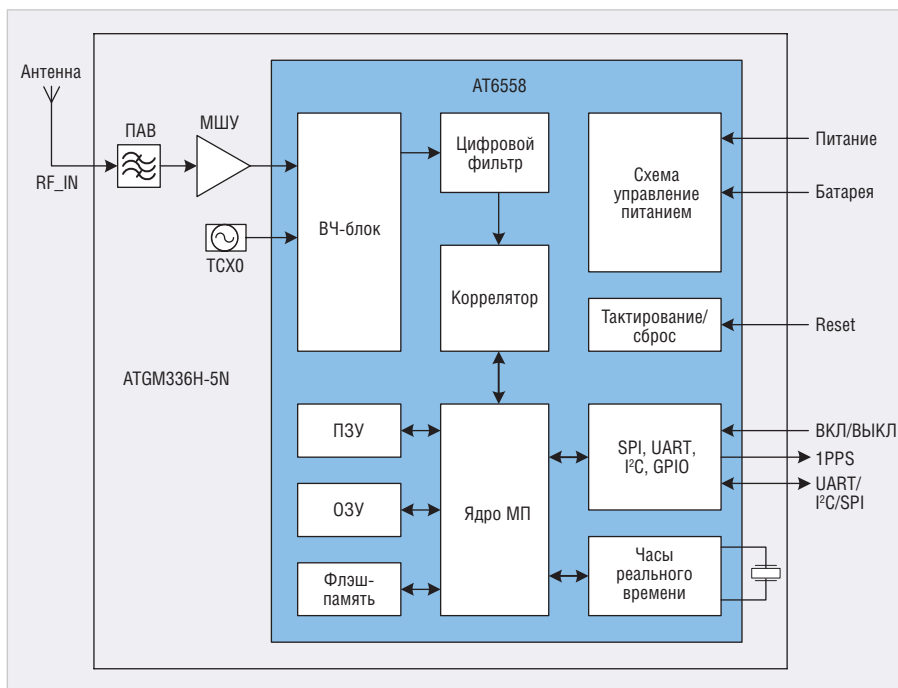


Рис. 5. Структурная схема модуля ATGM336H-5N

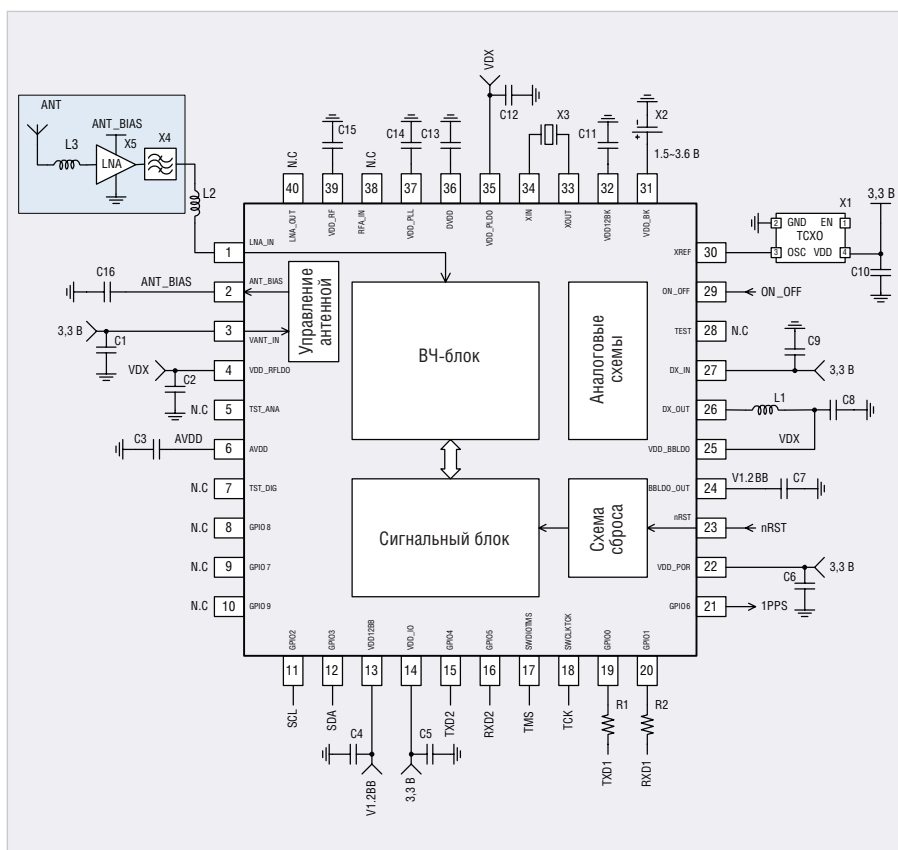


Рис. 6. Включение микросхемы AT6558

ве однокристалльной микросхемы AT6558 выполнены и навигационные модули ATGM3311C-5NB (размеры 22,4×17×2,4 мм), ATGM332D-5N (16×12,2×2,4 мм). Навигационные приложения можно выполнять и на самой микросхеме AT6558. Пример включения микросхемы приведён на рисунке 6.

QZSS – японская региональная НСС для предоставления услуг навигации в Азиатско-Тихоокеанском регионе. Космическая группировка системы состоит из КА, находящихся на орбитах двух типов: квазизенитных (высоты 32 000–40 000 км) и геостационарных (35 786 км). К настоящему времени функционируют семь КА. Навигаци-

онные сигналы системы доступны на Дальнем Востоке и в Восточной Сибири, а также в КНР, Австралии и Океании.

Три частоты передатчиков QZSS совпадают с соответствующими частотами GPS, что может приводить к ошибкам некоторых навигационных устройств GPS в районах действия системы. Например, в начале 2018 года ООО «Навтелком» разослало своим клиентам информационное письмо о возможных ошибках позиционирования устройств «СИГНАЛ S-25xx» и «SMART S-23xx», в которых используются навигационные модули SIM68m компании Simcom и L76 компании Quectel на основе чипсетов MT3333 фирмы MediaTek. Письмо информировало потребителей о возможных ошибках в определении координат в зонах Восточной Европы и Азии (от 70° западной до 160° восточной долготы) вследствие воздействия сигналов одного из спутников QZSS, введённого в эксплуатацию в сентябре 2017 года. Проблема была решена обновлением ПО модулей Simcom и Quectel.

Поддержку приёма сигналов QZSS, кроме японских компаний, обеспечивают и другие производители: Globalstar, Qualcomm, GlobalTop, Maestro, OriginGPS, NTLab, Quectel, Simcom и др. В качестве примера рассмотрим особенности навигационных модулей GV-8720 компании Furuno (Япония). Структурная схема модуля приведена на рисунке 7. Его основным компонентом является одна из новейших микросхем Furuno eRideOPUS 7 (см. рис. 8), выполненная в корпусе BGA64 с габаритами 7×7 мм. Основные характеристики и особенности GV-8720:

- приём сигналов GPS, ГЛОНАСС, QZSS;
- наличие гироскопа для измерения угловой скорости, акселерометра для измерения ускорения, выхода импульсов, пропорциональных скорости объекта, сигнала прямого и обратного направлений движения;
- поддержка систем дифференциальной коррекции SBAS, WAAS (США), EGNOS (ЕКА), MSAS (Япония), GAGAN (Индия);
- число каналов – 26;
- точность определения координат с системой GPS – 2,5 м; с ГЛОНАСС и SBAS – 2 м;
- высокая чувствительность –165 дБм (GPS), –157 дБм (ГЛОНАСС), –146 дБм (QZSS);

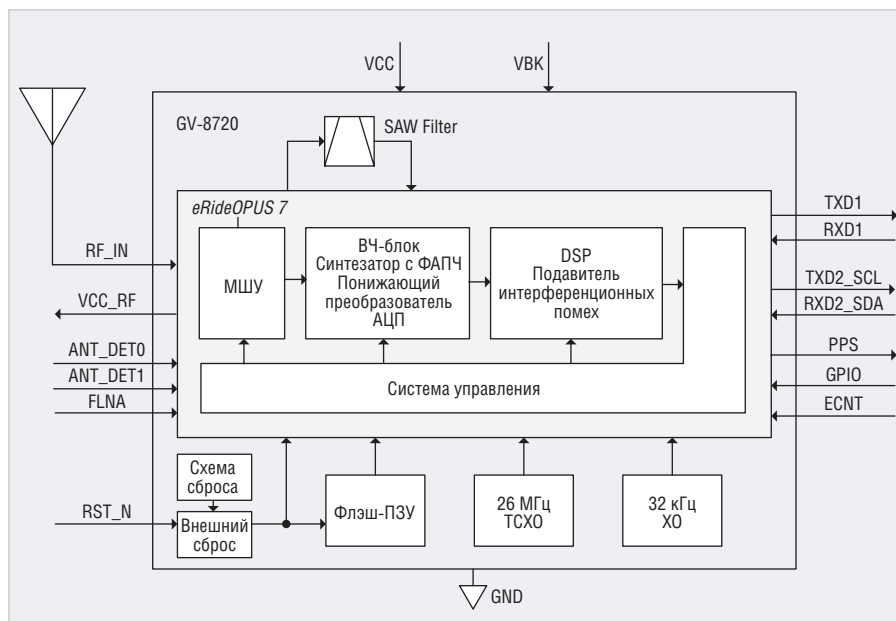


Рис. 7. Структура модуля GV-8720



Рис. 8. Микросхема eRideOPUS 7

- малое энергопотребление 60 мА /3,3 В;
- габариты 15×12×2,6 мм.

Navic (ранее IRNSS) – индийская региональная НСС, обеспечивающая услугами клиентов, находящихся в регионе Индийского океана. Границы обслуживания проходят примерно в 1500 км от побережья полуострова Индостан. Первый КА IRNSS-1a выведен на орбиту в июле 2013 года, к настоящему времени орбитальная группировка системы состоит из 8 КА на геостационарных и геосинхронных орбитах.

Разработкой концепций построения навигационных устройств для Navic занимаются Центр космических приложений SAC и Индийская организация космических исследований ISRO. Различными индийскими компаниями были разработаны как полнофункциональные навигационные устройства, так и наборы микросхем для них. Например, компания ACCORD Software & Systems Pvt. Ltd (Индия) выпускает многосистемные навига-



Рис. 9. Навигационный модуль Navika-251

ционные приёмники, в том числе для жёстких условий эксплуатации, портативные навигационные устройства GPS, IRNSS, ГЛОНАСС, имитаторы сигналов ГНСС и другие измерительные приборы для навигационных приложений. В каталоге компании 2018 года представлены и навигационные модули, например Navika-251 (GPS, ГЛОНАСС, SBAS) (см. рис. 9), Navika-450 (IRNSS), Navika-550 (IRNSS, GPS, SBAS).

Для иллюстрации возможностей НСС Navic приведём особенности односистемного модуля Navika-450 класса High Performance:

- слежение за 13 каналами диапазона L5 НСС Navic (центральная частота 1175,46 МГц);
- чувствительность в режиме слежения –160 дБм, в режиме захвата –145 дБм;
- время первой выдачи координат из выключенного состояния 75 с;
- точность определения координат 20 м;
- точность определения скорости 0,5 м/с;

Таблица 2. Многосистемные НСС-модули с поддержкой ГЛОНАСС

Производитель	Модуль НСС	Совместимость
Advantech (Тайвань)	EWM-G108H	GPS, ГЛОНАСС, Galileo, QZSS
Connectec Electronics (Тайвань)	Ct-G551	GPS, ГЛОНАСС, Galileo
Furuno Electronic (Япония)	GN-8720, ePV7010B	GPS, ГЛОНАСС, Galileo, QZSS
	GF-870xxx, GV8720	GPS, ГЛОНАСС, QZSS
GlobalSat Technology Corporation (Тайвань)	MT-5110, MT-08, MT-5305, MT-5631	GPS, ГЛОНАСС, Beidou
GlobaTop Technology (Тайвань)	Titan X1	GPS, ГЛОНАСС, QZSS
GNS GMBH (Германия)	GNS2301	GPS, ГЛОНАСС, Galileo, Beidou
	GNS801, GNS902, GNS3301	GPS, ГЛОНАСС
Hangzhou ZhongKe Microelectronics (Китай)	AT6558, ATGM331C, ATGM332D, ATGM336H-5N	GPS, ГЛОНАСС, Beidou
Inventek Systems (США)	ISM3333	GPS, ГЛОНАСС, Galileo, Beidou
Linx Technologies (США)	RXM-GNNS-GN-x	GPS, ГЛОНАСС, Galileo, Beidou
	RXN-GNSS-TM	GPS, ГЛОНАСС, Galileo, QZSS
Maestro Wireless Solution (Китай)	A5100-A, A5135-H	GPS, ГЛОНАСС, QZSS
Maxim Integrated Products (США)	MAX2769C	GPS, ГЛОНАСС, Galileo, Beidou
	MAX2769	GPS, ГЛОНАСС, Galileo
Media Tek (Тайвань)	MT3333	GPS, ГЛОНАСС, Galileo, Beidou
Accord Software & Systems (Индия)	Navika-150/250/251	GPS, ГЛОНАСС
NTLab (Беларусь)	NT1065, NT2024	Все НСС
	NT1012, NT1019, NT1026	GPS, ГЛОНАСС, Galileo, QZSS
	NT1002	GPS, ГЛОНАСС
OriginGP+ Ltd (Израиль)	ORG1510MK-04	все, кроме Navic
	ORG1510-01/02	GPS, ГЛОНАСС, QZSS
Qualcomm Technologies (США)	WGR7640	GPS, ГЛОНАСС, Beidou
Quectel Wireless Solutions (Китай)	L76	все, кроме Navic
	L96	GPS, ГЛОНАСС, Galileo, Beidou
	L26, L76-L	GPS, ГЛОНАСС, Galileo, QZSS
Simcom Wireless (Китай)	SIM68V/R/M	GPS, ГЛОНАСС, Galileo, QZSS
	SIM68E	GPS, ГЛОНАСС
Skaylab M&C Technology (Китай)	SKG12D/17D	GPS, ГЛОНАСС, Galileo, QZSS
	SKG09D	GPS, ГЛОНАСС, QZSS
SkayTraq Technology (Тайвань)	S1216F8-GL, Venus827	GPS, ГЛОНАСС, QZSS
SparkFun Electronics (США)	XA1110	GPS, ГЛОНАСС
STMicromicroelectronics (Швейцария)	Teseo-LIV3F, STA8089, STA8090	все, кроме Navic
	STA8088	GPS, ГЛОНАСС, Galileo, QZSS
u-Blox AG (Швейцария)	CAM-M8, MAX-M8, NEO-M8	GPS, ГЛОНАСС, Galileo, Beidou
	UBX-G7020	GPS, ГЛОНАСС, QZSS
Wi2Wi (США)	W2SG0021	все, кроме Navic

● интерфейс UART, скорость потока данных 15 200 бод.

Навигационные модули и микросхемы разрабатывают и производят как крупные корпорации (STM, Qualcomm, MediaTek, Maxim), так и десятки компаний с более узкой специализацией, в том числе и российские (только ГЛОНАСС). В таблице 2 представлена информация о некоторых действующих на 2018 год компаниях, имеющих отношение к разработке и производству изделий микроэлектроники для навигационных приложений (в таблице включены только модули и микросхемы с поддержкой ГНСС ГЛОНАСС).

В качестве ключевых компонентов многих навигационных модулей различных производителей используются микросхемы MT3333 компании MediaTek и SiRF Star IV/V компании SiRF Technology, Inc., причём во многих решениях компоненты MediaTek и SiRF используются совместно.

Однокристалльная многосистемная микросхема MT3333 на основе микропроцессора ARM7EJ-S с встроенной NOR флэш-памятью разработана в 2016 году. Её структурная схема приведена на рисунке 10. Основные параметры и особенности микросхемы:

- встроенный малошумящий усилитель ВЧ (LNA) для работы с различными антеннами;
- поддержка ГНСС GPS, ГЛОНАСС, Galileo, Beidou, QZSS, систем дифференциальной коррекции SBAS, WAAS, EGNOS, GAGAN, MSAS, DGPS и технологии A-GNSS быстрого старта навигационных приёмников компании u-Blox;
- 12 встроенных многотоновых активных подавителей интерференции;
- встроенная система питания, обеспечивающая экстремально низкое энергопотребление порядка 27 мВт в режиме слежения с системами GPS+ГЛОНАСС; в системе питания используются импульсные преобразователи напряжения 1,8 В и стабилизаторы LDO 1,1 В; входное напряжение питания 2,8...4,3 В;
- использование передового программного обеспечения, в том числе EPO™, EASY™, LOCUS™;
- интерфейсы: 3×UART, SPI, I²C, GPIO;
- чувствительность в режиме слежения -165 дБм, в режиме захвата -148 дБм;
- корпус VFBGA;
- габариты 4,3×4,3 мм.

Похожими характеристиками обладает и чипсет SiRF Star V.

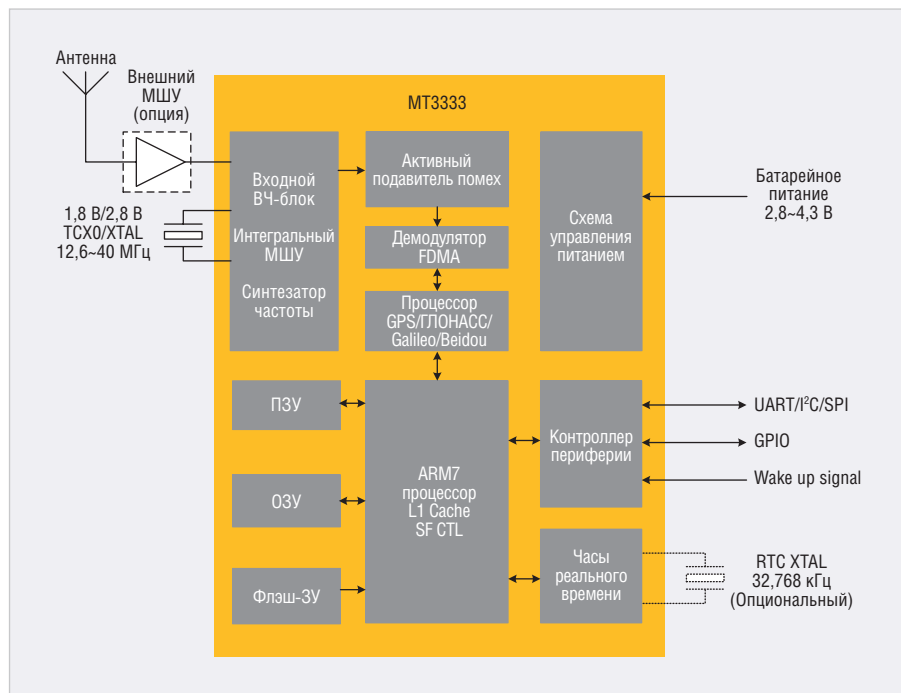


Рис. 10. Структурная схема микросхемы MT3333



VI МЕЖДУНАРОДНЫЙ
ПРОМЫШЛЕННЫЙ ФОРУМ

НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ
ИСПЫТАНИЯ • ДИАГНОСТИКА



МОСКВА • ЦВК ЭКСПОЦЕНТР
4 - 6 МАРТА 2019

WWW.EXPO.RONKTD.RU

- НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ •
- ДЕФЕКТОМЕТРИЯ •
- МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ •
- ИСПЫТАНИЯ •
- ДИАГНОСТИКА •
- ОЦЕНКА РИСКА •
- ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РЕСУРСА •



ОРГАНИЗАТОР:
РОССИЙСКОЕ ОБЩЕСТВО ПО НЕРАЗРУШАЮЩЕМУ
КОНТРОЛЮ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКЕ



Реклама