

Новый быстродействующий 16-разрядный АЦП компании «Миландр»

А. Гуменюк, к. т. н.¹

УДК 621.38 | ВАК 05.27.01

Представлен новый 16-разрядный быстродействующий аналого-цифровой преобразователь в линейке компании «Миландр» – 5101НВ045. Он имеет соотношение сигнал / шум 75 дБ и диапазон, свободный от гармоник, 90 дБ при частоте выборки 80 Мвыб / с.

Одной из тенденций последних десятилетий является быстрое развитие цифровых электронных систем. Необходимы и средства, обеспечивающие их связь с внешним миром, – аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи (АЦП и ЦАП).

Быстродействующими принято называть преобразователи, скорость дискретизации которых превышает 10 млн выборок в секунду (Мвыб / с). Широкая область применения таких преобразователей включает медицинское и измерительное оборудование, телекоммуникации, автомобильную электронику, видеосистемы и прочее.

Стремительное развитие беспроводных устройств сопряжено с необходимостью постоянно увеличивать их производительность, расширять полосу обработки и одновременно снижать себестоимость. Для этого требуется, чтобы преобразователи развивали все большие скорости, были способны обрабатывать еще более высокочастотные сигналы и, расходуя меньше энергии, обладали при этом превосходными характеристиками.

Заметной тенденцией в развитии беспроводных технологий является смещение АЦП как можно ближе к приемной антенне. Такой подход позволяет уменьшить количество аналоговых блоков в радиотракте и повысить гибкость системы благодаря тому, что выполнение большинства операций производится в цифровом виде. Подобные методы прямого преобразования сигналов в тракте промежуточной или даже высокой частоты без предварительного сдвига в основную полосу частот требуют высокоскоростных широкополосных АЦП. Динамический диапазон этих АЦП также должен быть достаточно широким для регистрации слабых сигналов на фоне сильных помех, поскольку основная селективность обеспечивается цифровыми средствами. Типовые параметры АЦП в таких приложениях: соотношение сигнал / шум (SNR) – 70–80 дБ, диапазон, свободный от гармоник (SFDR), – 85–95 дБ при скоростях дискретизации 80–300 Мвыб / с и рассеиваемой мощности менее 1 Вт [1].

Преобразователи такого класса производятся на сегодняшний день в мире только тремя компаниями: Analog Devices, Texas Instruments и Maxim Integrated. Монополизированность этого сегмента не просто позволяет производителям поддерживать относительно высокие цены на свои микросхемы, но зачастую и вовсе ограничивает доступ к ним российских потребителей. Возможное слияние Analog Devices и Maxim Integrated [2] способно лишь усугубить сложившуюся ситуацию. В связи с этим существует потребность в быстродействующих АЦП высокой точности российского производства. Между тем из доступных на сегодняшний день микросхем быстродействующих отечественных АЦП можно отметить две: 5112НВ035 разработки ДЦ «Союз» (14-разрядный, 25–50 Мвыб / с, SNR 64 дБ, SFDR 80 дБ) [3] и 5101НВ015 производства «Миландр» (14-разрядный, 125 Мвыб / с, SNR 69,5 дБ, SFDR 81 дБ) [4].

К сожалению, характеристики этих микросхем «не дотягивают» до указанных выше требований к АЦП в составе современных радиоприемных устройств с прямым преобразованием. Существенно больший динамический диапазон и линейность требуется от АЦП и во многих других приложениях, таких как программно-определяемые радиосистемы, радиолокация, устройства РЭБ и прочее.

Новый 16-разрядный быстродействующий АЦП 5101НВ045 компании «Миландр» [5] удовлетворит часть требований разработчиков аппаратуры данного типа. Этот АЦП, выполненный по технологии 0,18 мкм, имеет соотношение сигнал / шум 75 дБ и диапазон, свободный от гармоник, 90 дБ при частоте выборки 80 Мвыб / с.

СТРУКТУРА МИКРОСХЕМЫ АЦП

Микросхема 5101НВ045 представляет собой одноканальный АЦП конвейерного типа с разрядностью 16 бит. В отличие от упомянутых микросхем 5112НВ035 и 5101НВ015, максимальная частота выборки 80 Мвыб / с достигается без использования интерливинга. Это означает, что в выходном спектре данного АЦП не будут присутствовать искажения, характерные для преобразователей с интерливингом [6].

¹ Компания «Миландр», отдел разработки радиочастотных ИС и преобразователей, ведущий инженер, gumenuk.anton@milandr.ru.

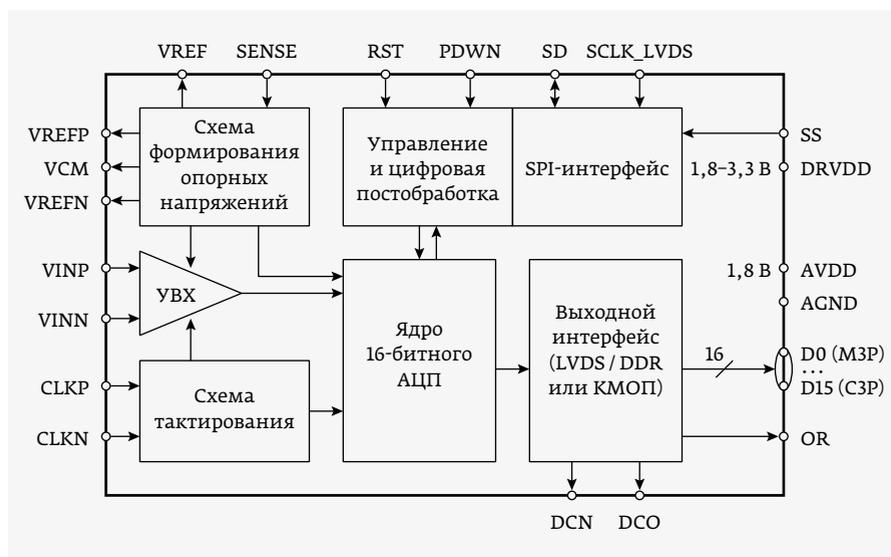


Рис. 1. Структура микросхемы АЦП 5101NB045

Функциональная схема устройства представлена на рис. 1. Входной аналоговый дифференциальный сигнал подается через выводы VINP/VINN на входное устройство выборки-хранения (УВХ) и далее обрабатывается ядром 16-разрядного АЦП.

Система цифровой постобработки получает цифровой эквивалент обрабатываемой выборки и осуществляет цифровую коррекцию и суммирование результатов преобразования каждого каскада. Еще одним отличием нового АЦП от 5101NB015 является то, что теперь не требуется калибровать микросхему перед началом работы или периодически прерывать для этого нормальную работу. Все цифровые коэффициенты калибровки уже записаны во внутреннюю память при производстве микросхемы.

Входной тактирующий дифференциальный сигнал через выводы CLKP/CLKN поступает на внутреннюю схему тактирования, в состав которой входит отключаемая схема коррекции скважности, а также делитель частоты с коэффициентом от 1 до 8. Наличие делителя позволяет тактировать микросхему частотой до 480–500 МГц, что облегчает подбор генератора с низким фазовым шумом, который зачастую необходим при применении данного АЦП.

Схема формирования опорных напряжений допускает использование как внутреннего, так и внешнего опорного напряжения, определяющего величину шкалы преобразования. Используя внешний источник опорного напряжения 1,25 В, можно увеличить соотношение сигнал/шум на выходе АЦП до 76,5 дБ при незначительном ухудшении SFDR. Также существует возможность программирования опорного напряжения с помощью внешних резисторов подстройки или через последовательный интерфейс.

Преобразователь может работать с одним источником питания 1,8 В. Однако для совместимости с отечественными ПЛИС интерфейсная часть микросхемы может питаться от отдельного источника напряжения номиналом от 1,8 до 3,3 В. Поэтому АЦП поддерживает следующие стандартные режимы вывода цифровых отсчетов: LVDS/DDR (с двойной скоростью) и параллельный КМОП 1,8/2,5/3,3 В.

Через последовательный интерфейс SPI осуществляется программирование различных режимов микросхемы. Уровни сигналов последовательного интерфейса совпадают с уровнями используемого выходного интерфейса, то есть 1,8, 2,5 или 3,3 В.

Микросхема 5101NB045 выпускается в 52-выводном металлокерамическом корпусе типа 5152.52-1.

ХАРАКТЕРИСТИКИ МИКРОСХЕМЫ

Представленный АЦП обладает хорошей статической линейностью: интегральная нелинейность – менее $\pm 3,5$ единиц младшего значащего разряда (МЗР) 16-битного кода и дифференциальная нелинейность – от $-0,8$ до $+0,6$ МЗР. Зависимости интегральной и дифференциальной нелинейностей от выходного кода, измеренные в типовых условиях, показаны на рис. 2 и 3.

Помимо этого, АЦП демонстрирует хорошую линейность на относительно невысоких частотах входного сигнала. На рис. 4 и 5 представлены спектры на выходе АЦП 5101NB045, измеренные при частоте тактирования 80 Мвыб/с и частоте входного сигнала 10 и 75 МГц соответственно. Выходной спектр при входном сигнале 10 МГц

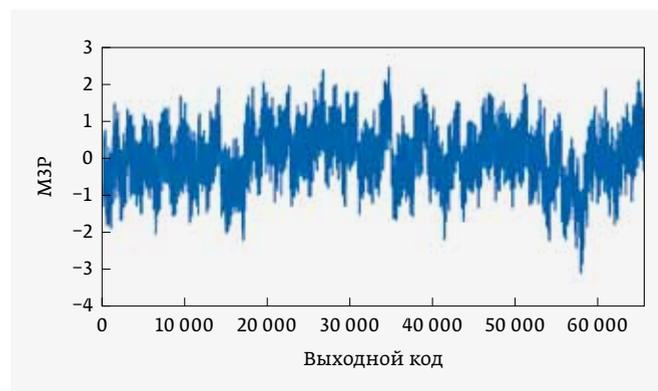


Рис. 2. Интегральная нелинейность АЦП при частоте дискретизации 80 Мвыб/с

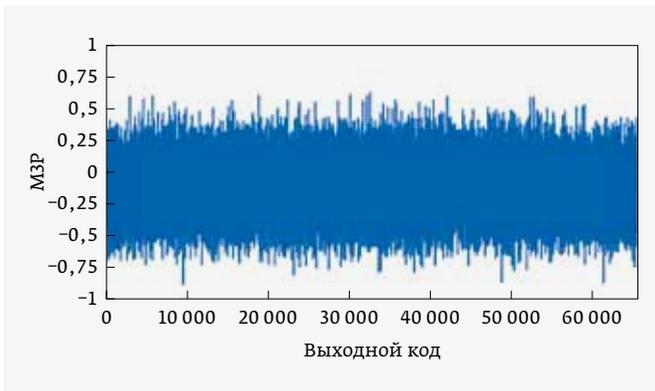


Рис. 3. Дифференциальная нелинейность АЦП при частоте дискретизации 80 Мвыб/с

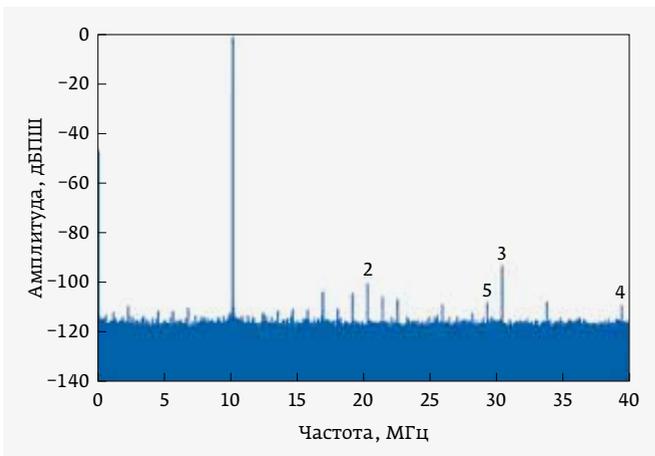


Рис. 4. Типовой спектр на выходе АЦП при частоте входного сигнала 10,1 МГц и частоте дискретизации 80 Мвыб/с

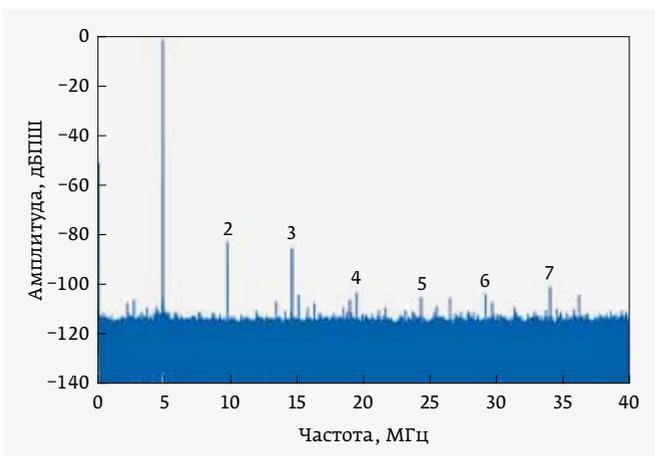


Рис. 5. Типовой спектр на выходе АЦП при частоте входного сигнала 75,1 МГц и частоте дискретизации 80 Мвыб/с

выглядит довольно «чистым» – среди искажений доминируют только третья и вторая гармоники. Диапазон, свободный от гармоник (SFDR), здесь превышает 90 дБ. Столь высокий уровень SFDR сохраняется во всем поддерживаемом диапазоне частот дискретизации – от 10 до 80 Мвыб/с (кривая синего цвета на рис. 6).

К сожалению, поддерживать столь высокий уровень линейности на высоких частотах входного сигнала этот АЦП не может. Уже при частоте 75 МГц уровень второй и третьей гармоник возрастает, что ограничивает SFDR величиной, чуть большей 81 дБ (см. рис. 5). Также видно (зеленая кривая на рис. 6), что диапазон, свободный от гармоник, достаточно сильно зависит от частоты тактирования и может снижаться до 75 дБ.

Основные характеристики нового АЦП, измеренные в типовых условиях, сведены в табл. 1.

Таблица 1. Параметры АЦП 5101НВ045 в типовых условиях

Разрядность, бит	N	16
Напряжение питания, В	V_{dd}	1,8
Полная шкала, В (п-п)	V_{FS}	2
Частота преобразования, МГц	f_s	80
Соотношение сигнал / шум, дБПШ (при $f_{IN} = 10/75$ МГц)	SNR	75,0/72,4
Динамический диапазон, свободный от гармоник, дБн (при $f_{IN} = 10/75$ МГц)	SFDR	90/81
Интермодуляционные искажения 3-го порядка, дБн (при $f_{IN} \approx 10/75$ МГц)	IMD3	-93/-81
Интермодуляционные искажения 2-го порядка, дБн (при $f_{IN} \approx 10/75$ МГц)	IMD2	-102/-76
Интегральная нелинейность, МЗР	INL	$\pm 3,5$
Дифференциальная нелинейность, МЗР	DNL	-0,8... 0,6
Спектральная плотность мощности шума, дБПШ/Гц (при $f_{IN} = 10$ МГц, $f_s = 80$ МГц)	NSD	-154
Джиттер, пс	T_j	0,35
Полоса пропускания по уровню -3 дБ, МГц	BW	580
Рассеиваемая мощность с выходным интерфейсом, Вт	P_{sup}	0,59

СРАВНЕНИЕ НОВОГО АЦП 5101НВ045 С ИМПОРТНЫМИ АНАЛОГАМИ

Представленная микросхема АЦП по уровню достигнутых параметров, в первую очередь динамическому диапазону и линейности, не имеет аналогов российского производства. Однако ее полезно сравнить с лучшими образцами гражданской продукции, выпускаемой за рубежом. Сравнение АЦП 5101НВ045 с импортными аналогами, ближайшим из которых считается микросхема AD9265 фирмы Analog Devices, приведено в табл. 2.

Новый АЦП проигрывает зарубежным аналогам в уровне SFDR и SNR на высоких частотах входного сигнала. Последнее связано с относительно большой величиной собственного джиттера 5101НВ045 – около 0,35 пс. Также этому АЦП желательно добавить возможность включения дизеринга, которая есть, например, в AD9265. Эта опция позволила бы максимизировать линейность АЦП для сигналов небольшой амплитуды. Отмеченные недостатки планируется устранить в следующих разработках.

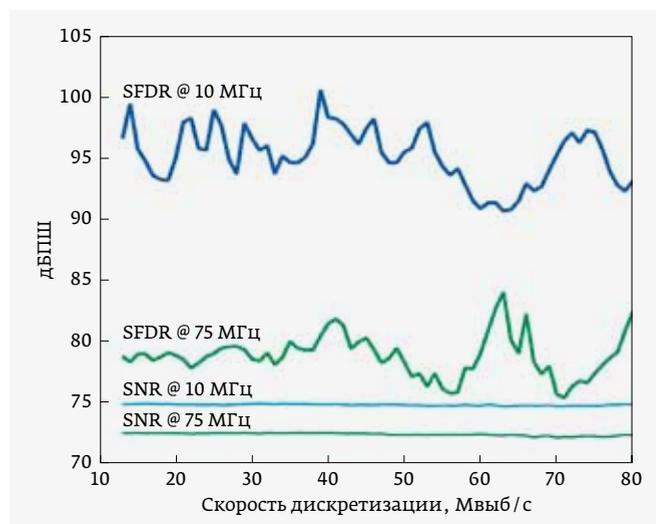


Рис. 6. Зависимость основных характеристик АЦП от частоты дискретизации при частоте входного сигнала 10 и 75 МГц и амплитуде -1 дБПШ

Таблица 2. Сравнение нового АЦП с зарубежными аналогами

	5101НВ045	AD9265	ADS5481	ADS5562	MAX19586	AD9266	LTC2163
Производитель	Миландр	ADI	TI	TI	Maxim	ADI	Linear T. (ADI)
Разрядность, бит	16	16	16	16	16	16	16
Скорость, Мвыб/с	80	80	80	80	80	80	80
Интерливинг	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет
Входной буфер	Нет	Нет	Да	Нет	Да	Нет	Нет
Один источник питания	Да (1,8 В)	Да (1,8 В)	Нет (5 и 3 В)	Да (3,3 В)	Нет (1,8 и 3,3 В)	Да (1,8 В)	Да (1,8 В)
Дизеринг	Нет	Да	Да	Нет	Нет	Нет	Нет
Делитель тактовой частоты	Да	Да	Нет	Нет	Нет	Да	Нет
Входной размах	2 В (п-п)	2 В (п-п)	3 В (п-п)	3,56 В (п-п)	2,56 В (п-п)	2 В (п-п)	2 В (п-п)
SFDR @ 10 MHz	тип 90 >88	тип 88	тип 98	тип 85 >75	тип 96	тип 94	тип 90
SFDR @ 70 MHz	тип 81 >74	>92	тип 93	н/д	тип 84 >80	тип 93	тип 89 >82
SNR @ 10 MHz	тип 75 >74	тип 80	тип 81	83,8 >79	тип 80	тип 77,6	тип 77,1
SNR @ 70 MHz	тип 72,5 >71,2	>78,7	тип 80,1	н/д	тип 79,2 >77,5	тип 76,6	тип 76,9 >75,3
Потребляемая мощность	590 мВт	308 мВт	2,15 Вт	865 мВт	1,11 Вт	124 мВт	188 мВт
Совместимость одновременно с 1,8/2,5/3,3 В ПЛИС	Да	Нет	Нет	Нет	Нет	Да	Нет

* * *

Представлена микросхема нового быстродействующего 16-битного АЦП компании «Миландр» – 5101НВ045. Преобразователь достигает соотношения сигнал / шум 75 дБПШ и диапазона, свободного от гармоник 90 дБн при частоте выборки 80 Мвыб / с и входном синусоидальном сигнале амплитуды –1 дБПШ частотой 10 МГц. Достоинства и недостатки данного АЦП резюмированы в табл. 3. Микросхемы 5101НВ045 предположительно будут доступны для заказа во второй половине 2021 года, но макетные образцы можно заказывать уже сейчас.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Walden R. H.** Analog-to-Digital converter survey and analysis // IEEE J. Sel. Areas Commun. V. 17. No. 4. PP. 539–550. Apr. 1999.
2. <https://www.bloomberg.com/news/articles/2020-07-13/analog-devices-is-said-near-deal-to-buy-maxim-for-17-billion>
3. https://dcsoyuz.ru/files/ADC/5112НВ035/specifikacija_5112nv035_ver2.0.pdf
4. https://ic.milandr.ru/products/atps_i_tsap/5101nv015/#docs_tab
5. <https://www.milandr.ru/>

Таблица 3. Достоинства и недостатки нового АЦП

Достоинства	Недостатки
Простая архитектура без интерливинга	Деградация SFDR и его зависимость от частоты тактирования на высоких частотах входного сигнала
Простота использования: не требует калибровки	Относительно высокий собственный джиттер
Хорошая статическая линейность	
Хорошая линейность при невысоких частотах входного сигнала	
Поддержка ПЛИС с КМОП-уровнями 1, 8/2, 5/3, 3 В	

6. **Razavi B.** Design Considerations for Interleaved ADCs // IEEE J. Solid-State Circuits. V. 48. No. 8. PP. 1806–1817. Aug. 2013.

НОВЫЕ КНИГИ ИЗДАТЕЛЬСТВА «ТЕХНОСФЕРА»



Цена 1960 руб.

ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СУБМИКРОННЫХ МИКРОСХЕМ

Белоус А. И., Красников Г. Я., Солодуха В. А.

М.: ТЕХНОСФЕРА, 2020. – 782 с., ISBN 978-5-94836-603-6

В объеме 14 глав одной книги детально и последовательно рассмотрен весь комплекс взаимосвязанных теоретических и практических аспектов сквозного проектирования и организации производства кремниевых субмикронных микросхем: теоретические основы работы полевых и биполярных транзисторов, методы и особенности конструктивно-схематического проектирования, базовые схмотехнические и системотехнические решения биполярных, КМОП-, БикМОП- и КНИ-микросхем, методы и средства повышения их радиационной стойкости, стандартные библиотеки проектирования и типовые маршруты проектирования.

Впервые в отечественной научно-технической литературе здесь приведены методы логического проектирования КМОП-микросхем с пониженным энергопотреблением, а также основные принципы и методы проектирования кибербезопасных микросхем и систем-на-кристалле.

Отражены современные методы и средства управления качеством изготовления субмикронных микросхем, современные технологии корпусирования микросхем, систем-на-кристалле и систем в корпусе.

Отдельная глава посвящена анализу состояния и тенденций развития современной микроэлектроники, включая методологический анализ существующих проблем и новых угроз.

Книга ориентирована на широкий круг читателей: студентов и преподавателей технических университетов, а также инженеров и менеджеров, специализирующихся в области разработки и организации производства субмикронных микросхем.

КАК ЗАКАЗАТЬ НАШИ КНИГИ?

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

СВЧ радары

для индустриального
применения

МАРС-1А1/10

Применим в качестве устройства для определения дистанции до объекта и его линейной скорости.

- Минимальная дальность обнаружения — 1,2 м
- Максимальная дальность обнаружения — 180 м
- Число одновременно обнаруживаемых целей — 16
- Обнаружение объектов на относительных скоростях — -300...+200 км/ч
- Навигационный модуль ГЛОНАСС — ПРО-04 АО «НИИМА «Прогресс»
- Ширина ДН по азимуту — $\pm 7,5^\circ$
- Диапазон рабочих температур — -40 ... +85°C
- Напряжение питания — от 9 В до 32 В
- Габаритный размер — 130 x 105 x 45 мм



МАРС-2А1/10

Радар функционирует в режимах дальнего и ближнего действия. Переключение режимов осуществляется автоматически. Увеличение дальности обнаружения (переход в режим дальнего действия) обеспечивается сужением сектора обзора и уменьшением ширины лучей диаграммы направленности (ДН) приемной антенны.

- Минимальная дальность обнаружения — 1,2 м
- Максимальная дальность обнаружения автомобиля — 200 м
- Число одновременно обнаруживаемых целей — 32
- Обнаружение объектов на относительных скоростях — -400...+200 км/ч
- Ширина ДН по азимуту — $\pm 6^\circ, \pm 60^\circ$
- Диапазон рабочих температур — -40 ... +85°C
- Напряжение питания — от 9 В до 32 В
- Габаритный размер — 197 x 104 x 39 мм



ИНДУСТРИАЛЬНЫЕ СФЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ СВЧ МОДУЛЕЙ



Радио-высотомеры



Системы безопасности и контроля



Дорожные системы



Системы измерения скорости объектов



Автомобильные радары



Промышленные датчики



124498, г. Москва, Зеленоград, Георгиевский пр-т, д. 5
Тел.: +7 (495) 981-54-33 • Факс: +7 (495) 981-54-36
rea@milandr.ru • WWW.MILANDR.RU

Техническая поддержка:
forum.milandr.ru • support@milandr.ru
+7 (495) 221-13-55 • www.support.milandr.ru