DOI: 10.22184/1992-4178.2020.199.8.94.96

Использование техники фазовых компенсаций для изменения формы и спектра сигналов

УДК 621.317 | ВАК 05.11.08

А. Пивак, к. т. н.[1], А. Репин, к. т. н.[2]

В настоящее время широкое применение для формирования сигналов с требуемыми формой и спектром находят цифро-аналоговые преобразователи (ЦАП). Однако, существующие сегодня методы по улучшению динамического диапазона ЦАП, такие как предыскажения или добавление шумовых сигналов [1], ограничены частотами до нескольких гигагерц. Использование квадратурных модуляторов позволяет перенести преимущества ЦАП и на сверхвысокие частоты (СВЧ), но только в ограниченной полосе частот, например для генерации модулированных сигналов. Задачи же, требующие сверхширокиx полос частот, такие как генерация видеоимпульсов или сигналов СВЧ с минимальными гармоническими искажениями, в основном решаются с помощью аналоговой техники. В статье приведено описание техники фазовых компенсаций, позволяющей решать такие задачи путем объединения цифрового и аналогового подходов.

Техника фазовых компенсаций основана на применении СВЧ фазокогерентных сигналов с регулируемым фазовым сдвигом между ними. Данные сигналы используются в различных устройствах, например в системах связи MIMO или пеленгаторных системах.

Компенсационные техники с применением данных сигналов используются и в измерительных задачах, например для расширения динамических диапазонов путем подавления несущей (при измерениях фазовых шумов на фазовом детекторе, измерениях интермодуляции и т. д.) и снижения уровня нежелательных гармонических составляющих нелинейных искажений [2]. Тем не менее эти сценарии являются относительно узкополосными. Тогда как генерация видеоимпульсов с коротким фронтом или сигналов СВЧ с минимальными фазовыми искажениями может требовать полос частот в десятки гигагерц.

Для таких задач предлагается использовать гармонические фазокогерентные сигналы с регулируемым фазовым сдвигом, получаемые от стандартных измерительных приборов. При традиционном «аналоговом» подходе данные задачи решаются с помощью диодов и фильтров, которые обладают своими недостатками. В частности, для фильтров можно отметить зависимость подавления от ширины рабочей полосы частот. При этом необходимые аксессуары могут быть недоступны на конкретном рабочем месте в силу специфичности задачи. Тогда как универсальные приборы уже находятся под рукой.

Гармонические фазокогерентные сигналы с регулируемым фазовым сдвигом от измерительных приборов можно получить двумя способами. Первый способ – с помощью векторных генераторов сигналов, в которых формирование фазокогерентных сигналов достигается за счет связи по общему гетеродину, а регулировка фазы обеспечивается с помощью квадратурного модулятора и ЦАП векторного генератора.

Второй способ формирования гармонических фазокогерентных сигналов с регулируемым фазовым сдвигом возможен с помощью многоканальных генераторов, которые используют ЦАП как элемент прямого синтеза или в петле ФАПЧ. Примером данной реализации является векторный анализатор цепей (ВАЦ) R&S®ZNA, в котором по такому принципу работают встроенные источники сигналов. При этом ВАЦ содержит встроенные приемники, что позволяет производить настройку фазовых соотношений без дополнительных приборов.

Наличие фазокогерентных сигналов позволяет применять технику фазовых компенсаций для снижения уровня гармонических составляющих нелинейных устройств.

Впервые метод фазовой компенсации гармонических составляющих нашел практическое применение в радиопередающих устройствах с использованием ламп

[1] ООО «РОДЕ и ШВАРЦ РУС», руководитель группы технической поддержки, Alexey.Pivak@rohde-schwarz.com.

[2] ООО «РОДЕ и ШВАРЦ РУС», инженер технической поддержки, Alexander.Repin@rohde-schwarz.com.

бегущей волны [3]. Сравнительно недавно были представлены теоретические исследования [2, 4, 5] и результаты применения данного метода для подавления гармонических составляющих в усилителе мощности декаметрового диапазона [6].

Метод заключается в добавлении на выход нелинейного устройства сигнала с той же частотой и амплитудой, но противоположной по фазе гармонической составляющей нелинейных искажений.

Рассмотрим реализацию техники фазовых компенсаций второй гармоники нелинейных искажений с помощью векторного генератора сигналов R&S®SMW200A.

Для этого требуется прибор R&S®SMW200A, оснащенный аппаратной опцией формирования фазокогерентных сигналов R&S®SMW-B90. Данная опция предусматривает наличие выхода сигнала гетеродина и обеспечивает фазовую когерентность сигналов гетеродина на гетеродинном выходе и в сигнальном тракте генератора.

В диапазоне рабочих частот векторного генератора сигналов от 6,5 до 13 ГГц частота гетеродина на гетеродинном выходе генератора в два раза меньше частоты гетеродина в сигнальном тракте. В данном случае гетеродинный выход может служить в качестве основного канала формирования сигнала. Для компенсации второй гармоники, возникающей в нелинейном тракте гетеродина, можно использовать сигнальный тракт векторного генератора сигналов (рис. 1).

С помощью установки уровня выходного сигнала генератора задается уровень сигнала компенсации второй гармоники, равный ее уровню. В настройках фазового сдвига квадратурного модулятора задается фаза, противоположная фазе второй гармоники на выходе гетеродина.

Благодаря фазовой когерентности сигналов гетеродина на гетеродинном выходе и в сигнальном тракте генератора, на выходе сигнального тракта формируется гармонический сигнал, противоположный по фазе второй гармонике сигнала гетеродина на гетеродинном выходе генератора. В сумматоре происходит компенсация второй гармоники сигнала основного канала.

Техника фазовой компенсации может быть также реализована с помощью векторного анализатора цепей R&S®ZNA. Традиционно ВАЦ используются для измерения S-параметров пассивных устройств. Современные ВАЦ позволяют измерять параметры активных устройств, такие как коэффициент шума и коэффициент усиления усилителей, интермодуляционные искажения, уровень гармоник активных устройств [7].

При измерениях уровня гармоник собственный уровень гармонических составляющих ВАЦ –40 дБ может оказаться недостаточным для проведения измерений. Уменьшить уровень собственных гармоник ВАЦ можно за счет фильтрации, например, с применением фильтров гармоник на основе ЖИГ в составе блока расширения ВАЦ R&S®ZVAX24. Диапазон работы фильтров при этом ограничен и составляет от 1 до 23 ГГц. В то время как, благодаря наличию фазовой когерентности генераторов ВАЦ R&S®ZNA, эту задачу можно решить, применив технику фазовых компенсаций в широком диапазоне частот.

В данном случае используются два внутренних фазокогерентных генератора и два порта ВАЦ, один из которых служит для формирования основного сигнала с присутствующими нелинейными искажениями в виде второй гармоники, другой – для формирования сигнала компенсации. С помощью настройки уровня и фазы сигнала компенсации обеспечивается подавление второй гармоники основного сигнала на выходе сумматора, подключенного к портам ВАЦ.

Результаты экспериментальных исследований подавления уровня второй гармоники нелинейных искажений с применением векторного генератора сигналов R&S®SMW200A и ВАЦ R&S®ZNA приведены в табл. 1. Уровень второй гармоники на гетеродинном выходе векторного генератора сигналов до применения техники фазовой компенсации составляет –24,7 дБ относительно несущей. В то время как основной выход генератора имеет уровень гармонических составляющих не более –55 дБ для моделей прибора с верхней граничной рабочей частотой от 12 ГГц. Различие в уровнях подавления между приборами связано с более высокой разрешающей способностью

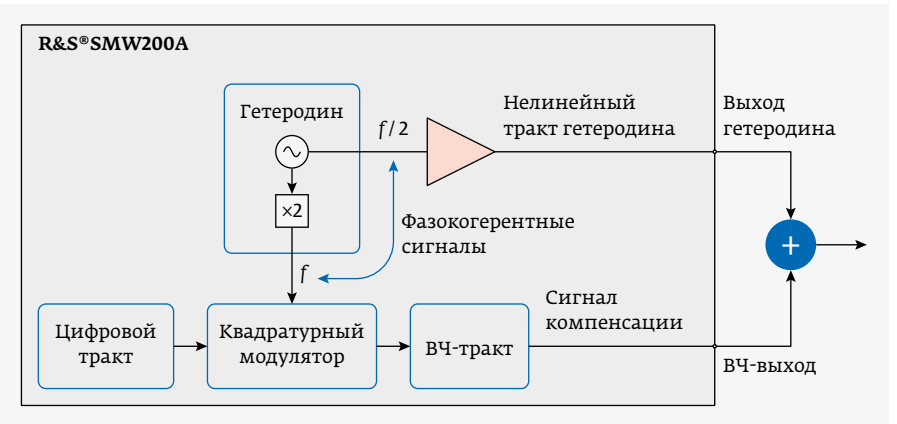


Рис. 1. Функциональная схема формирования сигнала с компенсацией второй гармоники нелинейных искажений с помощью векторного генератора сигналов R&S®SMW200A

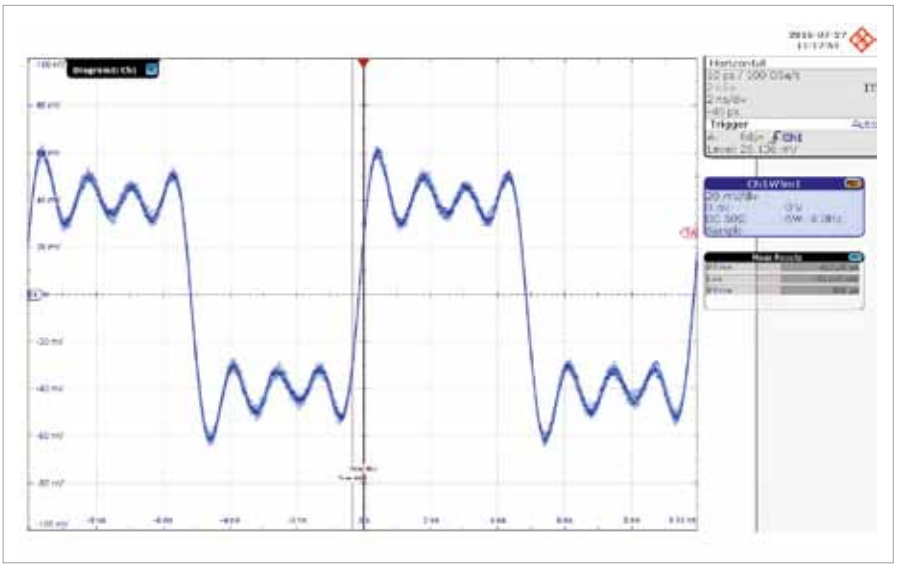


Рис. 2. Осциллограмма видеосигнала, сформированного с помощью четырехпортового ВАЦ R&S®ZNA

элементов настройки амплитуды и фазы фазокогерентных сигналов в генераторе по сравнению с ВАЦ.

Кроме техники фазовых компенсаций, наличие нескольких встроенных в ВАЦ R&S®ZNA фазокогерентных источников сигналов при суммировании позволяет создавать видеосигнал типа «псевдомеандр» с полосой до 67 ГГц.

Известно, что любой периодически изменяющийся во времени сигнал можно представить в виде ряда Фурье. Аналитическая форма записи сигнала «меандр» имеет вид:

$$s(t)=\frac{4A}{\pi}\left(\sin(\omega t)+\frac{1}{3}\sin(3\omega t)+\frac{1}{5}\sin(5\omega t)+\ldots+\frac{1}{n}\sin(n\omega t)\right),$$

где A – амплитуда прямоугольных импульсов, n – целое, нечетное.

В данном случае разложение сигнала «меандр» в ряд Фурье представляет собой ряд гармоник, где четные составляющие равны нулю. При ограниченном числе нечетных гармоник и правильном подборе их амплитуд и фаз можно сформировать сигнал типа «псевдомеандр».

Так, объединив пять фазокогерентных источников сигналов четырехпортового ВАЦ R&S®ZNA (четыре основных генератора портов и опциональный выход сигнала гетеродина) с помощью широкополосного сумматора, можно создавать гармоники 1, 3, 5, 7 и 9, образующие сигнал типа «псевдомеандр».

На рис. 2 представлена временная диаграмма сигнала типа «псевдомеандр», полученная экспериментальным путем с помощью ВАЦ R&S®ZNA.

Таким образом, применение СВЧ фазокогерентных сигналов, получаемых от стандартных измерительных приборов, позволяет решать задачи генерации широкополосных видеосигналов и СВЧ-сигналов с минимальными гармоническими искажениями.

Таблица 1. Результаты применения техники фазовых компенсаций

Прибор	Уровень второй гармоники относительно основной, дБ	
	исходный	после применения техники фазовых компенсаций
R&S®SMW200A	–24,7	–87,5
R&S®ZNA	–43,6	–75,8

ЛИТЕРАТУРА

1. **Kuleshov V. N., Repin A. V.** Theoretical Approach to the DAC Glitch Spurious Signal Reduction in DDFS // Proceedings 1998 International Symposium on Acoustoelectronics, Frequency Control and Signal Generation. St. Petersburg, 1998. PP. 134–139.
2. **Кащенко И. Е.** Линеаризация радиопередающих устройств декаметрового диапазона радиоволн с помощью цифровых предыскажений и инжекции гармоник / Диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук: 05.12.04. – Омск, 2018. 142 с.
3. **Hamilton J. J., Zavadil D.** Harmonically-enhanced two-octave TWTA // Microwave J. 1972. V. 15. PP. 24–25.
4. **Wohlbier J. G., Booske J. H., Dobson I.** On the Physics of harmonic injection in a traveling wave tube // IEEE Transactions on Plasma Science. 2004. V. 32. № 3. PP. 1073–1085.
5. **Singh A., Scharer J. E., Booske J. H., Wohlbier J. G.** Second- and third-order signal predistortion for nonlinear distortion suppression in a TWT // IEEE Transactions on electron devices. 2005. V. 52. № 5. PP. 709–717.
6. **Kashchenko I.** The Harmonic Injection Technique for Short-Wave HF Power Amplifier // XI International IEEE Scientific and Technical Conference «Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines». 2017.
7. **Пивак А., Репин А.** Измерение параметров усилителей, смесителей и дифференциальных устройств с помощью векторного анализатора цепей // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 2018. № 5. С. 120–127.

ОБНОВЛЕННАЯ СЕРИЯ УСТАНОВОК ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОГО НАПЫЛЕНИЯ ТОНКИХ ПЛЕНОК В СВЕРХВЫСОКОМ ВАКУУМЕ В ГЕОМЕТРИИ «LIFT-OFF»

SemiTEq

ОТ ЗАМЫСЛА ДО ВОПЛОЩЕНИЯ

Максимальный размер обрабатываемых подложек – Ø200 мм или 150x150 мм для стеклянных и керамических пластин

Возможность оптимизации расхода материала за счет изменения расстояния «испаритель-подложка» в пределах 350÷500 мм

STE EB71

Стандартное исполнение

STE EB71M

Исполнение с опцией резистивного испарения в шлюзовой камере

ЗАО «НТО»
пр. Энгельса, 27
Санкт-Петербург, 194156, Россия
Тел.: +7 812 601 06 05,
Факс: +7 812 313 54 29
sales@semiteq.ru

www.semiteq.ru

ИНТЕГРАЛ

ИМС категории качества «ВП»
ПЗУ информационной емкостью 4 Мбит 1676РТ015

Микросхема 1676РТ015 – ПЗУ однократно электрически программируемая емкостью 4 Мбит с организацией накопителя 512К×8 бит. Микросхема предназначена для применения в высоконадёжных высокопроизводительных вычислительных системах обработки информации и системах управления специального назначения с ограниченными энергетическими и весогабаритными характеристиками с номинальным напряжением 3,3 В.

Микросхема изготавливается в металлокерамическом корпусе типа 5134.64-6 и функционирует при температуре среды от –60 до +125 °С. Технические условия – **АЕНВ.431210.533 ТУ.**

Таблица 1. Электрические параметры микросхемы при приемке и поставке (при U_{CC} = 3,0 ÷ 3,6 В)

Наименование параметра, единица измерения, режим измерения	Буквенное обозначение параметра	Норма параметра		Температура среды, °С
		не менее	не более	
Выходное напряжение низкого уровня, В при I_{OL} = 2,0 мА	U_{OL}	–	0,4	25 ± 10, –60, 125
Выходное напряжение высокого уровня, В при I_{OH} = |–2,0| мА	U_{OH}	U_{CC} – 0,8	–	
Ток утечки низкого уровня на входе, мкА	I_{ILL}	–	|–10|	
Ток утечки высокого уровня на входе, мкА	I_{ILH}	–	10	
Ток утечки низкого уровня на выходе, мкА	I_{OLL}	–	|–20|	
Ток утечки высокого уровня на выходе, мкА	I_{OLH}	–	20	
Ток потребления в режиме хранения, мкА	I_{CCS}	–	100	
Динамический ток потребления, мА при f = 4 МГц	I_{OCC}	–	60	
Время выбора, нс	t_{CS}	–	150	
Время выборки разрешения выхода, нс	$t_{A(OE)}$	–	60	
Коэффициент программируемости	N_{PR}	0,6	–	

Таблица 2. Предельно допустимые электрические режимы эксплуатации микросхемы

Наименование параметра режима, единица измерения	Буквенное обозначение параметра	Предельно допустимый режим	
		Норма	
		не менее	не более
Напряжение питания, В	U_{CC}	3,0	3,6
Входное напряжение низкого уровня, В	U_{IL}	0	0,2×U_{CC}
Входное напряжение высокого уровня, В	U_{IH}	0,8×U_{CC}	U_{CC}
Входной ток низкого уровня, мкА	I_{IL}	–	|±10|
Выходной ток высокого уровня, мА	I_{OH}	–	|–2,0|
Выходной ток низкого уровня, мА	I_{OL}	–	2,0
Длительность фронта / спада входного сигнала, нс	t_{LH} / t_{HL}	–	10

Таблица 3. Таблица истинности работы микросхемы

Режим работы	Логические состояния на выводах							
	$\overline{CS}$	$\overline{OE}$	PR	CLK	PCOR	CROW	CCOL	DIO0 – DIO7
Хранение	H	X	L	L	L	L	L	Z
Считывание	L	H	L	L	L	L	L	Z*
	L	L	L	L	L	L	L	D0 – D7

Примечания

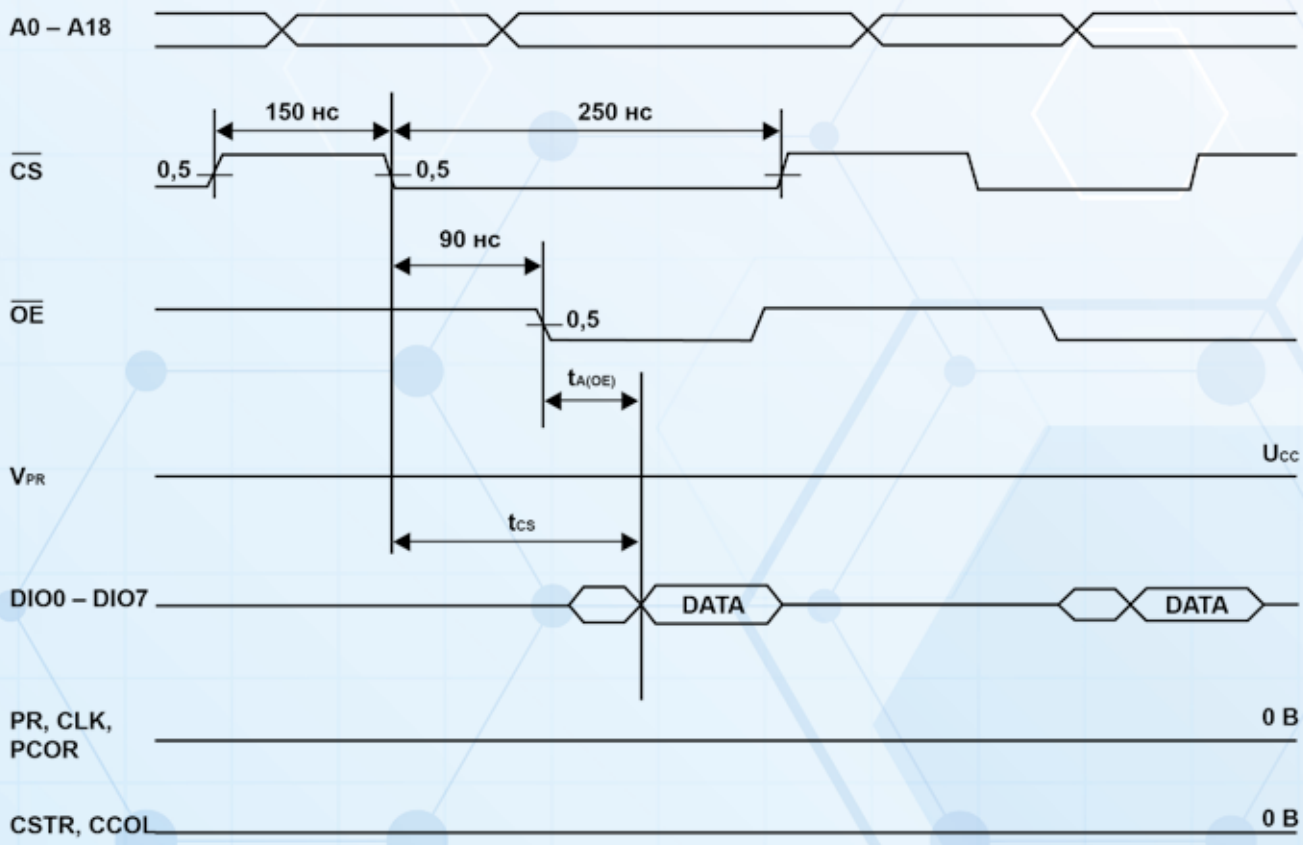
1. H – высокий уровень напряжения;
L – низкий уровень напряжения;
X – любой уровень напряжения (низкий или высокий);
Z – состояние «Выключено» на выходе (высокое выходное сопротивление);
D0 – D7 – выходное напряжение низкого или высокого уровня, соответствующее информации в ячейке.

2. В режимах хранения и считывания вывод VPR должен быть подключен к выводу питания VCC.

3. После перехода сигнала из состояния уровня «логической 1» в состояние уровня «логического 0» данные на адресных входах A0 – A18 защелкиваются в адресном регистре, при этом фиксируется состояние на выходах данных DIO0 – DIO7. Для считывания данных по другому адресу необходимо перевести сигнал из состояния с уровнем «логического 0» в состояние с уровнем «логической 1», установить нужную комбинацию адресов на адресных входах и перевести сигнал $\overline{CS}$ в состояние с уровнем «логического 0».

** Состояние считывания без вывода данных при сохранении состояния «Выключено» на выходах.*

Рис. 1. Временная диаграмма работы микросхемы в режиме считывания



ИНТЕГРАЛ

Таблица 4. Назначение выводов

Номер вывода	Обозначение вывода	Назначение вывода
01	GND	Общий вывод
02–07	A11 – A06	Входы адреса
08–09	A1 – A0	Входы адреса
10	PCOR	Вход сигнала «Разрешение коррекции ошибок программирования»
11–22	NC	Не используются
23	NT(CROW) *	Вход сигнала «Выбор дополнительных строк»
24	NT(CCOL) *	Вход сигнала «Выбор дополнительных столбцов»
25	V_{PR}	Вывод питания от источника напряжения для программирования
26	$\overline{OE}$	Вход разрешения выхода
27	$\overline{CS}$	Вход выбора микросхемы
28–31	DIO0 - DIO3	Выходы информации / Входы данных
32	V_{CC}	Вывод питания от источника напряжения
33	GND	Общий вывод
34–37	DIO4 – DIO7	Выходы информации / Входы данных
38–41	A5 – A2	Входы адреса
42–54	NC	Не используются
55	PR	Вход сигнала «Разрешение программирования»
56	CLK	Вход тактирования в режиме страничной записи
57–63	A18 – A12	Входы адреса
64	V_{CC}	Вывод питания от источника напряжения

Планируемая стойкость микросхемы 1676РТ015 к воздействию специальных факторов 7.И, 7.К и 7.С по ГОСТ РВ 20.39.414.2 с характеристиками 7.$И_1$ – 4Ус; 7.$И_6$ – 4Ус; 7.$И_7$ – 5Ус; 7.$К_1$ – 2К; 7.$К_4$ – 1К, 7.$К_9$(7.$К_{10}$) – стойкая, 7.$К_{11}$(7.$К_{12}$) – до уровня 60 МэВ см^2/мг по катастрофическим отказам и тиристорному эффекту.

Планируемый срок начала освоения микросхемы 1676РТ015 в серийном производстве – 1 кв. 2021 года.

Заинтересованным в применении микросхемы 1676РТ015 предприятиям предоставляются образцы микросхемы для проведения их опробирования.

ОАО «ИНТЕГРАЛ»
управляющая компания холдинга «ИНТЕГРАЛ» Республика Беларусь
тел./факс: (+375-17) 398 72 03
тел.: (+375-17) 298 97 43
E-mail: ATitov@integral.by
www.integral.by

ВОЗМОЖНОСТИ развит

РОССИЙСКАЯ НЕДЕЛЯ ВЫСОКИХ ТЕХНОЛОГИЙ

МИНПРОМТОРГ РОССИИ

ufi Approved Event

ТОРГОВО-ПРОМЫШЛЕННАЯ ПАЛАТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

услуги

НАВИТЕХ · NAVITECH

СФЕРА

XIV МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАВИГАЦИОННЫЙ ФОРУМ

www.glonass-forum.ru

12-я международная выставка

НАВИТЕХ

www.navitech-expo.ru

ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР» МОСКВА

2-6 ноября 2020

Реклама 12+

Организатор форума

ГЛОНАСС/ГНСС Форум

Соорганизаторы форума

НП "ГЛОНАСС" Федеральный сетевой оператор

Автонет

При поддержке

РОСКОСМОС

Организатор выставки и спонсор форума

ЭКСПОЦЕНТР МОСКВА

Оператор форума

ПроКонф