

Обзор ВЧ / СВЧ-компонентов Analog Devices: основные категории устройств и области применения

Д. Садеков¹

УДК 621.37 | ВАК 05.27.01

Analog Devices, одна из ведущих мировых компаний в области ВЧ/СВЧ-компонентов и проектирования систем на их основе, предлагает самую широкую в отрасли номенклатуру продуктов для создания ВЧ/СВЧ-устройств, работающих на частотах до 100 ГГц. Микросхемы и высокоинтегрированные решения Analog Devices, которые производятся на основе самых современных технологий, таких как GaAs, GaN, SiGe, кремний-на-изоляторе, КМОП и БиКМОП, предназначены для применения в системах связи, контрольно-измерительной аппаратуре, промышленных системах, аэрокосмическом и военном оборудовании. В статье представлен обзор основных групп ВЧ/СВЧ-компонентов, выпускаемых Analog Devices, ключевые особенности новинок, выпущенных на рынок за последнее время, перспективные области применения этих изделий.

Линейка ВЧ/СВЧ-компонентов Analog Devices насчитывает более 1000 продуктов – от микросхем и систем на кристалле до многокристальных микромодулей. Компания поставляет практически все основные функциональные блоки для построения цепи преобразования ВЧ/СВЧ-сигналов в цифровую форму от антенны до входа АЦП/ЦАП или процессора. Эти продукты поддерживаются полным набором средств разработки, включая бесплатные инструменты проектирования, платформы для быстрого прототипирования, комплекты исходных проектов. В категорию ВЧ/СВЧ-компонентов Analog Devices входят около десятка групп изделий: ВЧ-усилители, аттенюаторы, детекторы, приемопередатчики, перестраиваемые фильтры, цифровые синтезаторы сигналов, смесители, модуляторы / демодуляторы и др. Рассмотрим подробнее основные группы устройств.

Линейка **ВЧ-усилителей** включает в себя более 400 наименований устройств, в том числе усилителей мощности, усилительных блоков, маломощных усилителей, усилителей промежуточной частоты, драйверов и дифференциальных усилителей. Данные компоненты обладают повышенной линейностью, малой величиной коэффициента шума, предлагаются с различными вариантами фиксированного коэффициента усиления.

Усилители мощности выпускаются на основе нитрид-галлиевой (GaN) и арсенид-галлиевой (GaAs) технологии и охватывают диапазон частот от килогерц до 95 ГГц.

Помимо компонентов для поверхностного монтажа и компонентов в исполнении без корпуса (кристаллов), в ассортимент входят также модули усилителей мощности на основе технологии GaN с выходной мощностью более 8 кВт. Многие из усилителей мощности имеют широкую полосу пропускания и могут применяться в контрольно-измерительном оборудовании и устройствах военного назначения. В ассортименте также имеется ряд узкополосных усилителей, способных работать как в телекоммуникационном, так и спутниковом оборудовании связи.

В категории усилителей мощности Analog Devices сегодня предлагает около 90 наименований, в табл. 1 представлены новинки из этой группы изделий.

Пример новой разработки Analog Devices в линейке ВЧ-усилителей мощности – ADPA7002, широкополосный GaAs-усилитель с распределенными параметрами на основе pHEMT-транзисторов, который работает в диапазоне частот от 18 до 44 ГГц. Усилитель обеспечивает выходную мощность в режиме насыщения 30 дБм на частоте 32 ГГц при напряжении питания 5 В. В ADPA7002 встроен термокомпенсированный детектор мощности, а ВЧ-входы и выходы внутренне согласованы на 50 Ом, что облегчает интеграцию компонента в систему. Усилитель предлагается как в виде кристалла, так и в 16-выводном керамическом корпусе для поверхностного монтажа с радиатором, который обеспечивает низкое тепловое сопротивление. ADPA7002 подходит для применения в контрольно-измерительной аппаратуре и коммуникационном оборудовании.

Еще одна новинка – ADCA3990. Это удвоитель мощности, который обеспечивает чрезвычайно высокий уровень

¹ Холдинг «Золотой Шар», менеджер по развитию, тел.: +7495 234-01-10 (доб. 260), sadekov@zolshar.ru.

выходной ВЧ-мощности – до 76,8 дБм в комбинированном режиме. Усилитель представляет собой гибридную сборку в стандартном 8-выводном корпусе SOT-115J, в которую интегрирован GaAs-кристалл на основе pHEMT-транзисторов и GaN-кристалл. Для оптимального выбора уровня искажений и потребляемой мощности предусмотрена возможность внешней регулировки напряжения питания. ADCA3990 предназначен для применения в коммуникационной инфраструктуре кабельного ТВ.

Линейка **маломощных усилителей** компании Analog Devices охватывает частотный диапазон от 0 до 95 ГГц. Эти компоненты имеют различные коэффициенты усиления и полосы пропускания с коэффициентом шума до 0,7 дБ. Большинство МШУ имеют топологию самосмещения и внутренне согласованы на 50 Ом. Они используются в различных приложениях, включая телекоммуникационное оборудование, контрольно-измерительную аппаратуру.

В категории **дифференциальных усилителей** Analog Devices представлено около 100 компонентов. Они обеспечивают прецизионные статические характеристики, имеют высокий коэффициент подавления синфазного сигнала и пульсаций по питанию. Полностью дифференциальные усилители позволяют преобразовывать несимметричные или дифференциальные входные сигналы в соответствующие дифференциальные выходные сигналы. Они

обеспечивают низкий уровень искажений при подключении в качестве драйвера прецизионных и быстродействующих АЦП. Дифференциальные выходы позволяют удвоить размах выходного сигнала стандартных усилителей, что позволяет получить максимальный размах сигнала при низком напряжении питания. Кроме драйверов АЦП, дифференциальные усилители Analog Devices находят применение в качестве широкополосных I/Q-усилителей в коммуникационном оборудовании, быстродействующих системах сбора данных, автоматизированном тестовом оборудовании и др.

Еще одна категория ВЧ/СВЧ-устройств Analog Devices – **аттенюаторы и регулируемые усилители**. В эту группу входят аттенюаторы с фиксированным ослаблением, аттенюаторы с цифровым управлением и аттенюаторы, управляемые напряжением. Они применяются для проектирования ВЧ- и ПЧ-каскадов в связанном оборудовании.

Широкополосные аттенюаторы с цифровым управлением Analog Devices выпускаются в недорогих безвыводных корпусах для поверхностного монтажа, отличаются высоким коэффициентом подавления помех и подходят для применения в широком спектре ВЧ- и ПЧ-систем. Одной из новинок в этой категории является ADRF5740 – 4-битный аттенюатор с цифровым управлением с диапазоном регулировки ослабления 22 дБ с шагом 2 дБ. Созданный на базе технологии кремний на изоляторе аттенюатор

Таблица 1. Новинки в линейке ВЧ-усилителей мощности Analog Devices

Наименование компонента	Диапазон частот, ГГц	Коэффициент усиления, дБ (тип.)	OP1dB, дБм (тип.)	OIP3, дБм (тип.)	Выходная мощность (нас.), дБм (тип.)	Напряжение питания, В	Тип корпуса
ADPA1105	0,9–1,6	34,5	–	–	46	50	32-LFCSP
ADPA9002	0–10	15,5	28	40,5	31	12	32-LFCSP
ADPA7002-Die	20–44	15	31	41	28,5	5	Бескорп.
ADPA7002AENZ	18–44	17	28	38	29,5	5	16-LCC
ADPA7005-Die	20–44	17	31	41	32	5	Бескорп.
ADPA7005AENZ	18–44	15,5	31	40	32	5	18-LCC
ADPA7006-Die	18–44	22,5	26	34	27	5	Бескорп.
ADPA7006AENZ	18–44	23	29	37,5	29	5	16-LCC
ADPA7007-Die	18–44	21,5	31	41	32	5	Бескорп.
ADPA7007AENZ	20–44	21,5	30	42,5	31,5	5	18-LCC
ADCA3990	0,045–1,218	24,5	–	–	–	34	8-SOT-115J (модуль)
ADCA3992	0,045–1,218	26	–	–	–	34	8-SOT-115J (модуль)
ADTR1107	6–18	17	23,9	30,9	25,3	5	24-LGA

работает в диапазоне частот от 10 МГц до 60 ГГц с коэффициентом вносимых потерь менее 3,3 дБ и точностью ослабления $\pm(0,2+7\%$ от состояния ослабления) на частоте 55 ГГц. ADRF5740 требует для работы биполярное напряжение питания +3,3 и -3,3 В, поставляется в компактном 16-выводном корпусе LGA и работает в диапазоне температур от -40 до 105 °С. Основные области применения ADRF5740: инфраструктура сотовой связи 5G, контрольно-измерительная аппаратура, промышленные сканеры, наземные станции спутниковой связи узкой направленности.

Analog Devices выпускает также широкий ассортимент **ВЧ-детекторов мощности**, в который входят логарифмические усилители, детекторы среднеквадратического значения TruePwr, детекторы пиков/огibaющей и логарифмические видеоусилители последовательного обнаружения (SDLVA). ВЧ-детекторы мощности от Analog Devices с динамическим диапазоном до 100 дБ используются в таких приложениях, как измерение мощности трактов передачи/приема, защита входов, измерение обратных потерь, обнаружение ВЧ-импульсов, радары, высокоточные средства измерения ВЧ-мощности в составе контрольно-измерительной аппаратуры, оборудования анализа материалов и медицинских приборов.

Среди новинок в этой группе продуктов – широкополосный детектор огибающей ADL6012, работающий в диапазоне частот от 2 до 67 ГГц. Сочетание 500-МГц полосы детектирования и малого времени нарастания сигнала (всего 0,6 нс) делает это устройство подходящим для широкого спектра приложений, включая системы отслеживания огибающей, импульсные приемники РЛС, детекторы импульсов высокого разрешения, контрольно-измерительную СВЧ-аппаратуру. ADL6012 детектирует на ВЧ-входе независимо сигналы отрицательной и положительной полярности. Квазидифференциальный выход устройства согласован на 100 Ом, допустимая емкостная нагрузка на каждом выходе достигает 2 пФ. Предусмотрена возможность сдвига уровня на выходе с помощью подачи напряжения на внешний вывод микросхемы, что упрощает сопряжение детектора с быстродействующими АЦП. ADL6012 работает в диапазоне температур от -55 до 125 °С и доступен в компактном 10-выводном корпусе LFCSP. Напряжение питания микросхемы составляет от 3,15 до 5,25 В.

Генераторы прямого цифрового синтеза Analog Devices, номенклатура которых превышает 30 микросхем, содержат встроенные компараторы, ОЗУ, ФАПЧ, смесители и регистры. Они обеспечивают быстрый сбор данных, высокоточную фазовую и частотную модуляцию, высокое разрешение установки частоты. Эти устройства представляют собой идеальное решение для синтеза сигналов в приложениях, в которых требуется точное и быстрое управление частотой и фазой, в том числе в системах связи, испытательном оборудовании и радарх.

В категорию интегрированных **приемников, передатчиков и приемопередатчиков** входят около 100 микросхем для построения приемных и передающих устройств беспроводных систем связи и широкополосных трансиверов. Это полнофункциональные высокоинтегрированные системы на кристалле, включающие в себя ВЧ-тракт и схемы аналого-цифровой обработки. Приемопередатчики Analog Devices могут быть использованы для беспроводных систем связи малой дальности и широкополосных систем связи 3G/4G/5G. Их применение позволяет значительно сократить количество компонентов в системе, снизить стоимость и энергопотребление. Новинки в категории интегрированных приемопередатчиков представлены в табл. 2.

Одна из последних разработок компании – интегрированный 4-канальный перестраиваемый ВЧ-приемопередатчик ADRV9026. ИС содержит четыре независимо управляемых передатчика, выделенные входы приемника тракта наблюдения для мониторинга каждого канала передатчика, четыре независимо управляемых приемника, встроенные синтезаторы и функционал цифровой обработки сигналов, что делает этот компонент полноценным приемопередатчиком. Устройство предназначено для создания оборудования инфраструктуры сотовой связи, в частности базовых станций малых сот, макросистем 3G/4G/5G, а также базовых MIMO-станций.

Подсистема приема ADRV9026 состоит из четырех независимых широкополосных приемников прямого преобразования с широким динамическим диапазоном. Четыре независимых передатчика используют модулятор прямого преобразования, что обеспечивает низкий уровень шума при малом энергопотреблении.

Полноценная подсистема приемопередатчика включает в себя блок автоматического и ручного управления затуханием, блок коррекции смещения нуля, блок квадратурной коррекции ошибок, а также цифровую фильтрацию, что устраняет необходимость в этих функциях при работе с основной полосой частот в цифровой области. Устройство содержит также АЦП, ЦАП и линии ввода-вывода (GPIO), благодаря которым можно реализовать различные варианты цифрового управления.

ADRV9026 включает в себя пять блоков ФАПЧ. Два блока ФАПЧ обеспечивают синтез ВЧ-сигнала с дробным коэффициентом для трактов сигналов передатчика и приемника. Третий интегрированный блок ФАПЧ поддерживает режим работы местного гетеродина для приемника тракта наблюдения. Четвертый блок генерирует тактовые сигналы, необходимые для преобразователей и цифровых схем, а пятый формирует тактовые сигналы для последовательного интерфейса передачи данных. Генераторы, управляемые напряжением (ГУН), и компоненты контурного фильтра интегрированы в приемопередатчик и настраиваются посредством цифрового интерфейса управления.

Последовательный интерфейс передачи данных состоит из четырех каналов сериализатора и четырех каналов десериализатора. Интерфейс поддерживает стандарты JESD204В и JESD204С со скоростью передачи данных до 16 Гбит/с. ADRV9026 питается напрямую от стабилизаторов с напряжением 1,0, 1,3 и 1,8 В и управляется через стандартный интерфейс SPI. В устройстве предусмотрены комплексные режимы отключения питания, чтобы минимизировать энергопотребление при нормальном режиме работы. ADRV9026 поставляется в 289-выводном корпусе CSPBGA размером 14×14 мм.

Analog Devices предлагает также квадратурные **модуляторы и демодуляторы**, в том числе с интегрированным гетеродином, работающие на частотах до 9 ГГц

и обладающие широкими возможностями конфигурирования. Одно из новых устройств в этой группе – ADRF6821. Это радиочастотная ИС приемника DPD с интегрированными синтезатором ФАПЧ с дробным коэффициентом деления и ГУН, работающая в диапазоне частот от 450 до 2800 МГц. В состав ИС входит квадратурный демодулятор, цифровой шаговый аттенуатор, линейные усилители ПЧ, синтезатор ФАПЧ с дробным коэффициентом деления и многоядерный ГУН с низким фазовым шумом. Микросхема идеально подходит для применения в подсистемах цифрового внесения предсказаний (DPD) систем связи.

Программируемый аттенуатор обеспечивает оптимальный уровень дифференциального РЧ-сигнала на входе демодулятора с повышенной линейностью.

Таблица 2. Новинки в линейке интегрированных приемопередатчиков Analog Devices

Наименование компонента	Диапазон частот, ГГц	Напряжение питания, В	Потребляемая мощность, Вт (тип.)	Разрешение, бит	Коэффициент шума, дБ (тип.)	Коэффициент усиления, дБ (макс.)	Выходная мощность, дБм (тип.)	Тип корпуса	Примечание
ADRV9026	0,650–6	1–1,8	5	10	14	30	6,1	289-CSPBGA	4-кан. ВЧ-приемопередатчик с трактом наблюдения
ADRV9008-1	0,075–6	1,3–3,3	3,5	14	14	30	–	196-CSPBGA	2-кан. ВЧ-приемник
ADRV9008-2	0,075–6	1,3–3,3	3,5	14	14	30	7	196-CSPBGA	2-кан. ВЧ-передатчик и приемник наблюдения
ADRV9009	0,075–6	1,3–3,3	3,5	14	14	30	7	196-CSPBGA	2-кан. ВЧ-передатчик, приемник и приемник наблюдения
AD9375	0,3–6	1,3–3,3	2,7	12	12	30	7	196-CSPBGA	2-кан. РЧ-трансивер с трактом наблюдения
AD9371	0,3–6	1,3–3,3	–	12	12	30	7	196-CSPBGA	2-кан. радиотрансивер с трактом наблюдения
ADF7030-1	0,169–0,960	2,2–3,6	–	–	–	–	13	40-LFCSP, 48-LQFP	Радиотрансивер субгигагерцового диапазона
ADF7030	0,1694–0,1696	2,2–3,6	–	–	–	–	13	40-LFCSP	Радиотрансивер ISM-диапазона
AD9363	0,325–3,8	1,3–3,3	–	–	2,5	74,5	7	144-CSPBGA	Конфигурируемый радиотрансивер

Аттенюатор обладает диапазоном регулировки 15 дБ с шагом 1 дБ. ADRF6821 поддерживает работу с двумя альтернативными вариантами формирования входного дифференциального сигнала гетеродина: при помощи внутреннего синтезатора ФАПЧ с дробным коэффициентом деления и ГУН, либо при помощи внешнего источника с низким фазовым шумом.

ADRF6821 производится по усовершенствованной кремниво-германиевой (SiGe) БИКМОП-технологии, предлагается в 56-выводном корпусе LFCSР с открытой теплоотводящей площадкой.

Еще одна группа СВЧ-компонентов – **синтезаторы частот с ФАПЧ**. В нее входит более 100 наименований устройств генерации и распределения тактовых сигналов, характеризующихся малым джиттером. В ассортимент входят синтезаторы с ФАПЧ, устройства с дробным и целочисленным коэффициентами деления, а также микросхемы со встроенным ГУН. Они имеют наилучшие в отрасли параметры быстродействия, фазового шума и степени интеграции. Линейка этих микросхем обеспечивает синтез сигналов в диапазоне частот от 5 МГц до 32 ГГц.

Analog Devices предлагает самую большую в отрасли линейку **смесителей и перемножителей** частоты для построения высококачественных систем диапазонов ВЧ, СВЧ и миллиметровых длин волн. К этой группе относится более 180 микросхем, рассчитанных на диапазон частот от 450 МГц до 44 ГГц, в том числе квадратурные смесители и смесители с подавлением зеркальной составляющей, квадратурные преобразователи с понижением частоты/приемники, квадратурные преобразователи с повышением частоты/передатчики, РЧ-смесители с интегрированным гетеродином, смесители с одиночной, двойной и тройной балансировкой, смесители субгармоник.

Один из новых продуктов в этой группе – ADRF6650, который представляет собой высокоинтегрированный широкополосный преобразователь с понижением частоты, включающий в себя сдвоенные смесители, цифровые переключаемые аттенюаторы, цифровые усилители с регулируемым усилением, ФАПЧ и ГУН. Кроме того, в ADRF6650 интегрированы два ВЧ-балуна, элементы управления последовательным усилением (SGC) и входы быстрого включения для работы в дуплексном режиме с временным разделением каналов (TDD). Микросхема ориентирована на применение в инфраструктуре систем сотовой связи.

Встроенные в микросхему ВЧ-балуны обеспечивают поддержку ВЧ-входов, согласованных на 50 Ом. Интегрированный пассивный смеситель обеспечивает строго линейное преобразование с понижением частоты в полосе ПЧ 200 МГц. В ADRF6650 используются широкополосные усилители-ограничители с местным гетеродином с выходным сигналом прямоугольной формы, что обеспечивает широкий диапазон частот от 450 до 2700 МГц.

ADRF6650 производится по SiGe БИКМОП-технологии, выпускается в 56-выводном корпусе LFCSР размером 8×8 мм. Рабочие характеристики специфицированы для диапазона рабочих температур от –40 до 105 °С.

В категорию **высокочастотных ключей** Analog Devices входят широкополосные КМОП-ключи и мультиплексоры с интегрированными драйверами, выполненными по технологии ТТЛ. Это обеспечивает более компактное и недорогое решение по сравнению с большинством компонентов, выполненных по технологии GaAs. Линейка ВЧ-ключей включает в себя устройства типа SPST (однополюсный на одно положение), SPDT (однополюсный на два положения) и SP4T (однополюсный на четыре положения) в отражающем и поглощающем вариантах. Эти компоненты предназначены для широкого спектра задач, где требуется коммутация сигналов с малыми уровнями мощности (до 16 дБм), в том числе для коммутации антенн, фильтров и многодиапазонных тюнеров.

Еще одна категория ВЧ/СВЧ-компонентов – **перестраиваемые фильтры**, включая перестраиваемые полосовые фильтры, программируемые усилители-фильтры полосы модулирующих частот, перестраиваемые фильтры нижних частот. На основе этих компонентов можно создавать решения для систем связи, контрольно-измерительной аппаратуры, оборудования медицинского и оборонного назначения.

Перестраиваемые полосовые фильтры помогают упростить проектное решение благодаря небольшому количеству внешних компонентов и их универсальности, обеспечиваемой настройкой параметров усиления и ширины полосы пропускания. Программируемые настройки смещения этих устройств позволяют оптимизировать соотношение между характеристиками и рассеиваемой мощностью. Линейка усилителей-фильтров с переменным коэффициентом усиления включает в себя компоненты с линейной управляющей характеристикой и компоненты с шаговой цифровой регулировкой (с шагом до 0,25 дБ).

Области применения перестраиваемых фильтров: программно-определяемые радиосистемы, фильтрация гармоник и субгармоник для цепей гетеродина, контрольно-измерительное оборудование, ВЧ-системы фильтрации.

Кроме рассмотренных в статье, в номенклатуру ВЧ/СВЧ-компонентов Analog Devices входят также аналоговые входные интерфейсы систем связи, фазовращатели и векторные модуляторы, тактовые генераторы и схемы синхронизации, интегрированные модульные приемники семейства μ Module и ряд других устройств.

Если вас заинтересовала продукция компании Analog Devices, обращайтесь в холдинг «Золотой Шар» (www.zolshar.ru).

2021

Чудеса случаются!
с Рождеством и Новым годом!

КБТЭМ
ПЛАНАР



ПРОЕКТИРОВАНИЕ



ГЕНЕРАЦИЯ
ИЗОБРАЖЕНИЙ



КОНТРОЛЬ
ФОТОШАБЛОНОВ



РЕМОНТ
ФОТОШАБЛОНОВ



ФОТОЛИТОГРАФИЯ



КОНТРОЛЬ
ПЛАСТИН



СБОРКА ИЗДЕЛИЙ
МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ

БЕЗМАСОЧНАЯ ЛИТОГРАФИЯ

- Многоканальные лазерные генераторы изображений
- Проектная норма 0,35, 0,6 мкм
- Высокая точность совмещения
- Ø200, 150, 100 мм



ГЕНЕРАТОРЫ ИЗОБРАЖЕНИЙ

- Диапазон UV, DUV
- Проектная норма 90, 130 нм
- 16/32-лучевая архитектура
- Фазосдвигающие шаблоны
- Быстрая переналадка пластина — шаблон



КОНТРОЛЬ ФОТОШАБЛОНОВ

- Проектная норма 90, 130, 250 нм
- Твердотельный лазер
- Контроль методом D2DB, D2D
- Высокая производительность
- Контроль неплоскостности



РЕМОНТ ФОТОШАБЛОНОВ

- Фемтосекундный лазер
- 0,15/ 0,3/ 0,5 мкм min элемент
- Размер шаблона до 9"х9"
- Ремонт копированием
- Ремонт через пелликл
- Прозрачные / непрозрачные дефекты



КОНТАКТНАЯ ЛИТОГРАФИЯ

- Ручная и автоматизированная загрузка
- Двусторонняя литография
- Высокая точность совмещения
- Низкий уровень генерации дефектов
- Высокая энергоэффективность



СТЕПЕРЫ

- Проектная норма 0,35, 0,8 мкм
- Автоматический масштаб
- Двустороннее совмещение
- Ø200, 150, 100 мм
- Твердотельный источник света



КОНТРОЛЬ ТОПОЛОГИИ

- Контроль привносимых дефектов пластин без топологии
- Автоматический микро и макро контроль дефектов пластин с топологией
- Высокая производительность



АВТОМАТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ И ИЗМЕРЕНИЕ

- Контроль микроразмеров
- Контроль неплоскостности
- Контроль координат
- Контроль толщин
- Контроль рассовмещения



ЗОНДОВЫЙ КОНТРОЛЬ

- Ø200, 150, 100 мм
- ± 4мкм погрешность контактирования
- Ручное / полуавтоматическое / автоматическое оборудование



РАЗДЕЛЕНИЕ ПЛАСТИН И ПОДЛОЖЕК

- Ø300, 200, 150, 100 мм
- 2 независимые зоны разделения в одной установке
- 2,4 кВт мощность электрошпинделя
- Полуавтоматическое / автоматическое оборудование



Создаем традиции будущего!

Республика Беларусь
220033, г. Минск
Партизанский пр-т, 2

тел: (+375 17) 226 09 82
(+375 17) 223 22 26
факс: (+375 17) 226 12 05

office@kbtem-omo.by
kbtem.omo@gmail.com
www.planar.by

