

Константин Староверов

НОВОЕ ПОКОЛЕНИЕ MOSFET-ТРАНЗИСТОРОВ



Статья посвящена **MOSFET-транзисторам** производства компании **Texas Instruments**, выполненным по новой технологии **NexFET**. Эта технология существенно улучшает характеристики транзисторов и открывает широкие возможности по совершенствованию низковольтных сильноточных DC/DC-преобразователей.



Низковольтные MOSFET-транзисторы — одни из самых востребованных силовых полупроводниковых приборов. Благодаря малым потерям, простоте управления и отличному быстродействию, они незаменимы в каскадах преобразования и распределения постоянного напряжения компьютерной техники, телекоммуникационного и промышленного оборудования, а также портативной электронной техники. Известными новаторами в области производства низковольтных MOSFET-транзисторов являются компании **International Rectifier**, **NXP**, **STMicroelectronics**, **Fairchild Semiconductor** и **Vishay**. Конкуренцию данным компаниям теперь также составляет **Texas Instruments**, которая после поглощения в начале этого года компании **CICLON Semiconductor Device** обладает ассортиментом MOSFET-транзисторов, выполненных по инновационной технологии **NexFET**. Прежде компания **Texas Instruments** была известна, среди прочего, как поставщик интегральных схем ШИМ-контроллеров и драйверов. Теперь же, после добавления к выпускаемому ассортименту MOSFET-транзисторов, компания готова предложить полный комплект активных компонентов, необходимых для построения современного DC/DC-преобразователя (см. рисунок 1).

Как известно, для изготовления MOSFET-транзисторов применяются две распространенных технологии: планарная и Trench. Первые планарные MOSFET-транзисторы были разработаны в Японии в начале 1970-х годов. Несколько позже, в 1976 году, компания **Siliconix** (в настоящее время собственность **Vishay**) представила первые в мире мощные MOSFET-транзисторы

MOSPOWER, которые отличались от планарных вертикальным протеканием тока и наличием паза в структуре кристалла. Последняя особенность дала название технологии изготовления подобных транзисторов — Trench. Благодаря малой занимаемой кристаллом площади (что способствует повышению плотности мощности) и малому сопротивлению открытого канала $R_{DS(ON)}$ (что помогает снижению потерь), Trench-транзисторы полностью вытеснили планарные транзисторы из силовых коммутационных каскадов. Однако первые Trench-транзисторы обладали достаточно большим зарядом затвора (QG). Это приводило к повышенным потерям при коммутации и долгое время сдерживало возможности реализации высокоэффективных преобразователей напряжения, компактность размеров которых достигается за счет использования высоких частот преобразования (сотни килогерц — единицы мегагерц). Для преодоления данного недостатка большинство производителей выбрали путь оптимизации структуры и технологии изготовления MOSFET-транзисторов. В отличие от

них, будучи еще самостоятельной, компания **CICLON Semiconductor Device** избрала иной путь. Она разработала абсолютно новую структуру MOSFET-транзисторов (см. рисунок 2), которые теперь входят в ассортимент продукции **Texas Instruments** под брендом **NexFET**. Новая технология уникальным образом сочетает преимущества планарных транзисторов и вертикального протекания тока. В результате они обладают как малым сопротивлением открытого канала, так и очень малым зарядом затвора. Эти особенности позволяют создавать более высококачественные преобразователи напряжения с высоким КПД преобразования в широком диапазоне нагрузок, малыми размерами и возможностью работы с малым заполнением импульсов. Кроме того, технология **NexFET** позволяет создавать одинаково высококачественные как n-канальные MOSFET-транзисторы, так и p-канальные.

Ассортимент транзисторов **NexFET** приведен в таблице 1. Здесь представлены p- и n-канальные транзисторы в корпусах двух типов (см. рисунок 3).

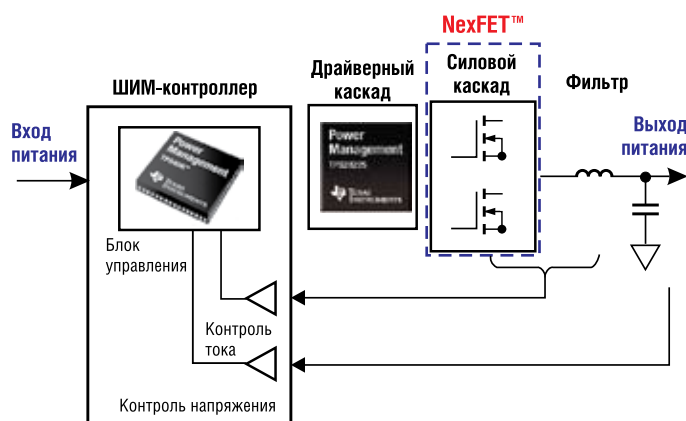


Рис. 1. Компоненты TI для построения DC/DC-преобразователей

Таблица 1. Ассортимент и основные характеристики транзисторов NexFET

Наименование	Канал	ID (T _c =25°C), А	V _{DS} , В	V _{GS} , В	Типичное R _{DS(ON)} , мОм					Типичное Q _G , нКл (V _{GS} = 4,5 В)	Типич- ное Q _{GD} , нКл	R _{θJC} , °C/Вт	R _{θJA} , °C/Вт
					V _{GS} =10 В	4,5 В	2,5 В	1,8 В	1,5 В				
Одиночные транзисторы (в корпусе WLP 1x1)													
CSD23201W10	P	2,2	12	5	—	66,0	77,0	—	110,0	1,9	0,4	245	125
Одиночные транзисторы (в корпусе WLP 1x1.5)													
CSD25301W1015	P	2,2	20	8	—	62,0	80,0	—	175,0	2,0	0,32	270	105
Сдвоенные транзисторы с общим истоком (в корпусе WLP 1x1.5)													
CSD75301W1015	P	1,2	20	8	—	80,0	101,0	150,0	—	1,5	0,3	136	93
Одиночные транзисторы (в корпусе QFN 3x3)													
CSD16411Q3	N	60	25	16	8	12	—	—	—	2,9	0,7	2,7	58
CSD16409Q3	N	60	25	16	6,2	9,5	—	—	—	4,0	1,0	3,5	59
CSD16406Q3	N	60	25	16	4,2	5,9	—	—	—	5,8	1,5	2,7	58
CSD16323Q3	N	60	25	10	—	4,4	—	—	—	6,2	1,1	2,7	58
CSD25401Q3	P	60	20	12	—	8,7	13,5	—	—	8,8	2,1	2,8	57
Одиночные транзисторы (в корпусе QFN 5x6)													
CSD16412Q5A	N	52	25	16	9,0	13,0	—	—	—	2,8	0,7	3,7	53
CSD16410Q5A	N	59	25	16	6,8	9,6	—	—	—	3,9	1,1	3,8	52
CSD16404Q5A	N	81	25	16	4,1	5,7	—	—	—	6,5	1,7	3,3	52
CSD16413Q5A	N	100	25	16	3,1	4,1	—	—	—	9,0	2,5	2,6	51
CSD16403Q5A	N	100	25	16	2,2	2,9	—	—	—	13,3	3,5	1,8	51
CSD16407Q5	N	100	25	16	1,8	2,5	—	—	—	13,3	3,5	1,1	51
CSD16414Q5	N	100	25	16	1,5	2,1	—	—	—	16,6	4,4	1,1	50
CSD16401Q5	N	100	25	16	1,3	1,8	—	—	—	21,0	5,2	1,1	50
CSD16322Q5	N	97	25	10	—	4,6	—	—	—	6,8	1,3	2,4	50
CSD16321Q5	N	100	25	10	—	2,1	—	—	—	14	2,5	1,1	48
CSD16325Q5	N	100	25	10	—	1,7	—	—	—	18	3,5	1	50

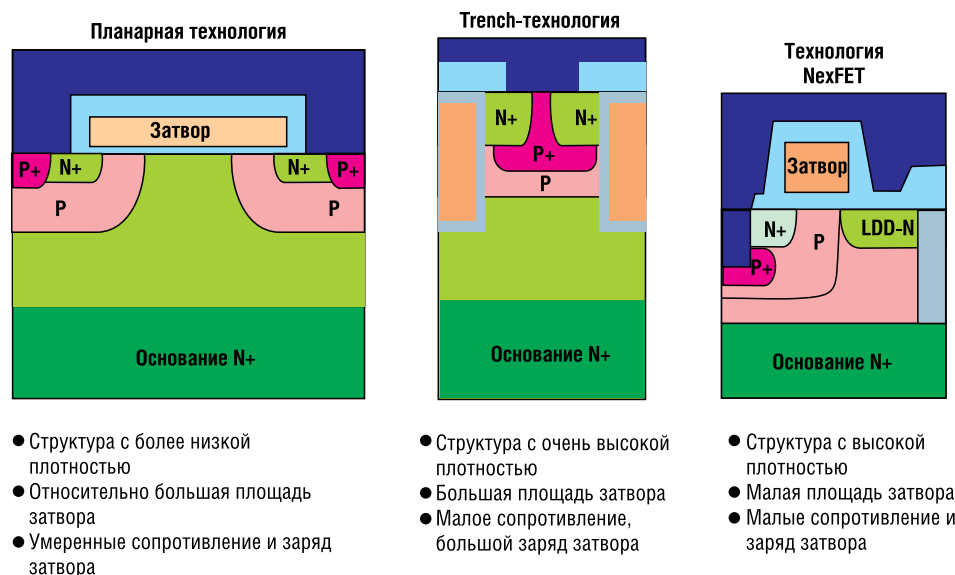


Рис. 2. Эволюция структуры мощных MOSFET-транзисторов

P-канальные транзисторы, как известно, предназначены для построения коммутаторов, включенных в разрыв положительной линии питания. В современной электронике такие устройства находят широкое применение в каскадах коммутации и защиты батарейного источника, в зарядных устройствах, а также в каскадах коммутации нагрузок общего назначения. На основе p-канальных транзисторов также воз-

можна реализация простых понижающих DC/DC-преобразователей и линейных стабилизаторов напряжения. В ассортименте NexFET имеется всего четыре p-канальных транзистора. Чтобы оценить преимущества технологии NexFET для построения p-канальных транзисторов, обратимся к сравнению с лучшими конкурирующими решениями. Так, например, ближайшие аналоги транзистора **CSD23201W10**, которые

при напряжении управления затвором 4,5 В обладают близким к 66 мОм сопротивлением открытого канала, в том числе **IRLML6402** (International Rectifier) и **Si8401DB** (Vishay), характеризуются зарядом затвора 8 и 11 нКл соответственно. Помимо существенно улучшенных рабочих характеристик, транзисторы NexFET также отличаются меньшей занимаемой площадью (например, занимаемая площадь упомянутого Si8401DB составляет $1,6 \times 1,6 = 2,56$ мм² против 1 мм² транзистора CSD23201W10). Если же выбрать за основу для сравнения типоразмер корпуса, то транзисторы NexFET будут превосходить конкурентов не только по заряду затвора, но и по сопротивлению канала. В частности, транзистор Si8461DB (Vishay) в корпусе MICRO FOOT 1x1 при напряжении управления затвором 4,5 В характеризуется сопротивлением открытого канала 100 мОм и зарядом затвора 9,5 нКл (против 66 мОм и 1,9 нКл CSD23201W10 соответственно). Более серьезный конкурент для CSD23201W10 был представлен компанией Fairchild в августе текущего года. Данный транзистор (**FDZ371PZ**) размещен в корпусе аналогичного CSD23201W10 типоразмера 1x1 мм и характеризуется более низким $R_{DS(ON)}$ (55 мОм). Тем не менее, по параметру Q_G (12 нКл) FDZ371PZ суще-

Таблица 2. Сравнение п-канальных транзисторов NexFET с аналогичными новинками других производителей

Наименование конкурента (дата анонсирования)	Производитель (технология)	Описание	Аналог NexFET	Описание
IRFH3707 (7 мая 2009 г.)	International Rectifier (Trench HEXFET)	Корпус: QFN (3x3 мм) $R_{DS(ON)} = 14,5 \text{ мОм}$ $Q_G = 5,4 \text{ нКл}$	CSD16411Q3	Корпус: QFN (3x3 мм) $R_{DS(ON)} = 12 \text{ мОм}$ $Q_G = 2,9 \text{ нКл}$
STL150N3LLH6 (26 марта 2009 г.)	STMicroelectronics (STripFET™ VI DeepGATE™)	Корпус: PowerFLAT (5x6 мм) $R_{DS(ON)} = 2,5 \text{ мОм}$ $Q_G = 40 \text{ нКл}$	CSD16407Q5	Корпус: QFN (5x6 мм) $R_{DS(ON)} = 2,5 \text{ мОм}$ $Q_G = 13,3 \text{ нКл}$
FDMS7650 (3 сентября 2009 г.)	Fairchild (PowerTrench®)	Корпус: Power 56 (5x6 мм) $R_{DS(ON)} = 1,1 \text{ мОм}$ $Q_G = 63 \text{ нКл}$	CSD16321Q5	Корпус: QFN (5x6 мм) $R_{DS(ON)} = 1,7 \text{ мОм}$ $Q_G = 18 \text{ нКл}$

ственно отстает от своего конкурента. В ассортименте NexFET также имеет-ся один сдвоенный р-канальный тран-зистор, который предоставляет воз-можность дальнейшей миниатюризации каскадов с многоканальной коммута-цией напряжений. Замыкает линейку р-канальных приборов сильноточный транзистор **CSD25401Q3**. Если взять за основу для сравнения типоразмер корпуса этого транзистора (3x3 мм), то выяснится, что он не имеет аналогов. Например, если обратиться к каталогу International Rectifier, то окажется, что даже в типоразмере 3x6,4 мм лучший транзистор (**IRF7701**) характеризуется $R_{DS(ON)} = 11 \text{ мОм}$ и $Q_G = 69 \text{ нКл}$ (против 8,7 мОм и 8,8 нКл CSD25401Q3). Таким образом, превосходство р-канальных транзисторов NexFET по комплексному показателю качества $R_{DS(ON)} \cdot Q_G$ можно ожидать в пределах 4...10 раз.

В группе п-канальных транзисторов NexFET представлены изделия в двух типоразмерах корпуса QFN. Здесь также можно выделить две подгруп-пы: **CSD163xx** и **CSD164xx**. Транзи-сторы CSD163xx отличаются тем, что они оптимизированы для напряжения управления затвором 5 В. Целевыми обла-стями применения всех данных тран-зисторов являются понижающие низ-ковольтные DC/DC-преобразователи, в том числе – с каскадом синхронного выпрямления. Такие преобразователи широко применяются для построения локализованных к нагрузке импульс-ных стабилизаторов напряжения (POL-стабилизаторы) в компьютерной технике и телекоммуникационном обо-рудовании. Транзисторы NexFET обла-дают значениями $R_{DS(ON)}$ на уров-не лучших промышленных аналогов и при этом существенно превосходят их по значениям Q_G (см. таблицу 2). Дан-ное превосходство открывает широкие возможности совершенствования по-нижающих DC/DC-преобразователей. Во-первых, частота преобразования, которая совместно с Q_G определяет по-тери от коммутации, может быть повы-шена как минимум вдвое без ухудше-ния КПД преобразования. Убедиться в этом поможет рисунок 4, где срав-

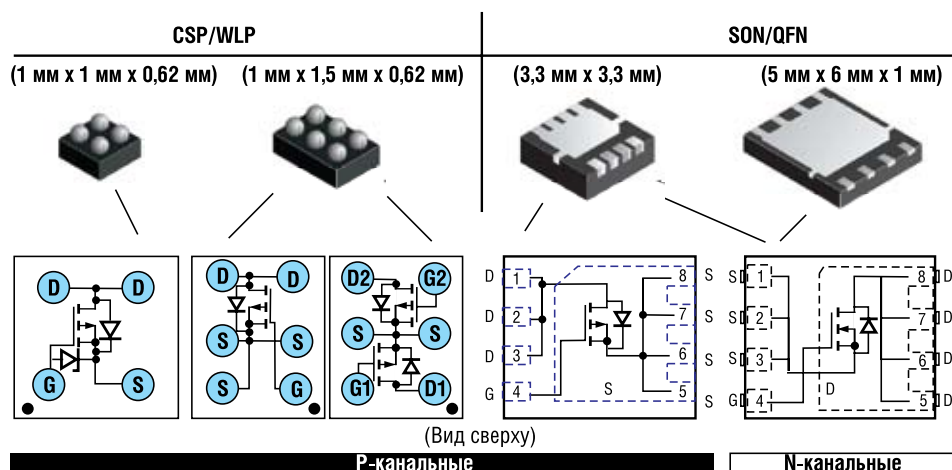
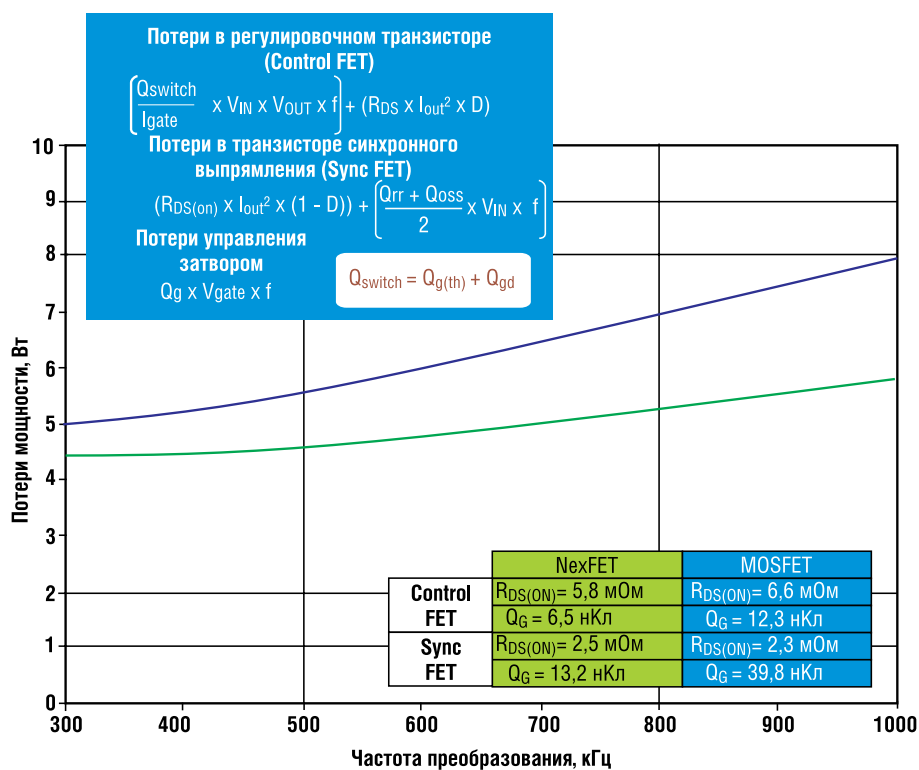


Рис. 3. Внешний вид и расположение выводов транзисторов NexFET

Рис. 4. Сравнение потерь мощности ($V_{вх} = 12 \text{ В}$, $V_{вых} = 1,3 \text{ В}$, $I_{вых} = 25 \text{ А}$, $L_{вых} = 0,3 \text{ мкГн}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$)

ниваются суммарные потери мощно-сти транзисторов NexFET и обычных MOSFET-транзисторов, которые рабо-тают в одинаковых условиях в составе понижающего DC/DC-преобразователя

с синхронным выпрямлением. В свою очередь, рост частоты преобразования способствует существенному сниже-нию размеров выходного LC-фильтра и стоимости образующих его компо-

нентов. Во-вторых, простой заменой транзистора на NexFET без изменения частоты преобразования можно добиться снижения потерь и, как следствие, повышения КПД преобразования во всем диапазоне нагрузок. И, наконец, в-третьих, благодаря более эффективной работе, транзисторы NexFET подвержены меньшему нагреву, благодаря чему упрощается управление тепловыми режимами конечного изделия и повышается его надежность.

Заключение

Транзисторы NexFET обладают значениями $R_{DS(ON)}$, которые близки к лучшим промышленным аналогам, но при этом существенно превосходят их по значениям Q_G . Данное превосходство можно назвать настоящим прорывом в улучшении рабочих характеристик MOSFET-транзисторов, который позволит существенным образом улучшить эксплуатационные характеристики каскадов преобразования напряжения, в том числе занимаемую ими площадь, тепловые режимы, эффективность преобразования, надежность и др. По ожиданиям производителя, транзисторы NexFET позволяют уверенно преодолеть уровень частоты преобразования в 1 МГц при работе с силовой нагрузкой и с малым заполнением импульсов.

Еще один прорыв, связанный с технологией NexFET, заключается в возможности изготовлении комплементарных пар транзисторов с равными высокими рабочими характеристиками (прежде р-канальные транзисторы обладали несколько худшими рабочими характеристиками по сравнению с п-канальными из одной комплементарной пары).

В будущем на основе технологии NexFET компания TI планирует создать завершенные решения DC-DC-преобразователей. Компания также планирует оптимизировать линейку ШИМ-контроллеров с учетом совместной работы с транзисторами NexFET [1].

Более детальная информация по транзисторам NexFET доступна по ссылке www.ti.com/mosfet.

Литература

1. Texas Instruments & CICLON Semiconductor: A powerful combination// Brochure, lit. num. SLIY003, Texas Instruments, 2009 – 2 p.

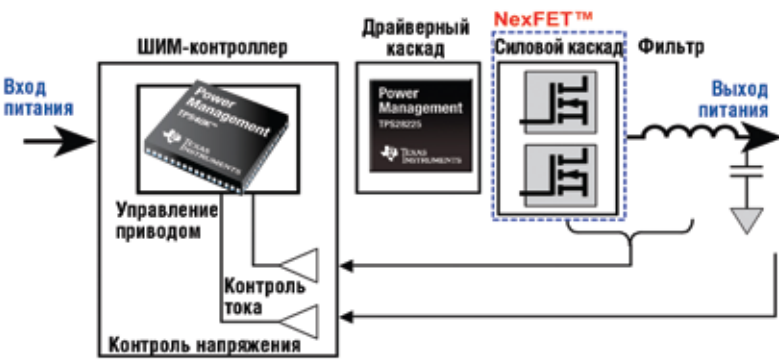
Получение технической информации,
заказ образцов, поставка –
e-mail: power.vesti@compel.ru

IGBT-модули с суммарной индуктивностью выводов 15 нГ

Компания **SEMIKRON** представила новейшее поколение низкоиндуктивных 1200 В модулей SEMITRANS IGBT, предназначенных для использования в преобразователях мощностью 20...300 кВт. Теперь эти модули будут комплектоваться чипами V-IGBT (Fuji), аналогичными по своим характеристикам кристаллам Trench 4. Новые IGBT отличаются более плавной характеристикой переключения и пониженными динамическими потерями, что позволяет повысить эффективность преобразования. Кристаллы V-IGBT будут устанавливаться в трех типоразмерах модулей трех различных конфигураций, предназначенных для использования в восьми диапазонах мощности. Диапазон рабочих токов силовых ключей составляет 150...600 А. Суммарная индуктивность выводов SEMITRANS 3 и 4 снижена до величины 15 нГн. При типовой скорости переключения IGBT, равной 5000 А/мкс, амплитуда коммутационных перенапряжений составляет всего 75 В. Для силовых ключей аналогичного класса, доступных на рынке, эта величина находится в пределах 90...125 В. Новые модули будут выпускаться в базовых конфигурациях, необходимых для проектирования промышленных преобразователей: одиночные ключи, полумосты и чопперы. Напряжение изоляции компонентов нового семейства SEMITRANS составляет 4000 В, они комплектуются 4 типами кристаллов IGBT: IGBT2, IGBT2 fast, IGBT3, IGBT4. Модули SEMITRANS имеют 3 класса рабочего напряжения: 600 В, 1200 В и 1700 В, они производятся в 3 типоразмерах корпусов стандартов 34 мм и 62 мм. Выпускается также 6-ключевой SEMITRANS 6 по схеме 3-фазного инвертора, SEMITRANS 5 для построения 3-уровневого инвертора с интегрированным токовым шунтом. В разработке находится SEMITRANS 9 с напряжением изоляции 9 кВ для железнодорожных применений.



N-канальные MOSFET-транзисторы



Наименование	VDS (В)	RDS(on) (мОм)	N-канал	QG (нК)	Корпус
CSD16301Q2	25	24.0@VGS=4.5V	Yes	1.7	6SON
CSD16321Q5	25	2.1@VGS=4.5V	Yes	14	8SON
CSD16322Q5	25	4.6@VGS=4.5V	Yes	6.8	8SON
CSD16323Q3	25	4.4@VGS=4.5V	Yes	6.2	8SON
CSD16325Q5	25	1.7@VGS=4.5V	Yes	18	8SON

Москва
Тел.: (495) 995-0901
Факс: (495) 995-0902

Санкт-Петербург
Тел.: (812) 327-9404
Факс: (812) 327-9403


www.compel.ru