

DC/DC-модули мощностью до 15 Вт для бортового питания на 27 и 100 В

Владимир Котов, Евгений Цевелюк, Владимир Токарев (vvtokarev55@gmail.com)

В статье рассмотрены основные типы DC/DC-преобразователей для систем вторичного электропитания аппаратуры космической силовой электроники, а также представлены основные электрические характеристики DC/DC-модулей на 5 и 15 Вт, разработанных компанией «Микроника» для аппаратуры с бортовым питанием на 27 и 100 В.

ВВЕДЕНИЕ

Для питания электронной аппаратуры от сети постоянного тока в основном используются DC/DC-преобразователи

в виде модулей в корпусе. Они применяются в различных схемах управления и автоматики, устройствах вычислительной техники, устройствах свя-

зи и др., используются в аппаратуре как гражданского, так и специального назначения, в частности в космической технике.

Хотя эффективность (КПД) является одной из важных технических характеристик преобразователя, но такими же важными показателями преобразователя, используемого в космической технике, являются его способность функционировать без ухудшения технических параметров в условиях радиационных воздействий в течение всего срока службы и способность работать безотказно при воздействии тяжёлых заряженных частиц и протонов.

- высокую надёжность: наработка на отказ не менее 150 000 часов, срок службы не менее 25 лет;
- стойкость к воздействию дестабилизирующих излучений (ДИ) космического пространства:
 - к накопленной дозе (ТІД) – не менее 80–300 крад;
 - к воздействию тяжёлых заряженных частиц (ТЗЧ) – пороговое значение линейных потерь энергии не ниже 60 МэВ·см²/мг;
- работу в расширенном диапазоне температур (от –60 до +125°С);
- работу в условиях вакуума и невесомости (отсутствие конвективного теплообмена).

Основные виды DC/DC-преобразователей

В процессе разработки DC/DC-преобразователя первым шагом является выбор его структуры (топологии). Обычно её выбирают исходя из требуемой выходной мощности, но выбор также может определяться диапазоном входных/выходных напряжений и даже имеющейся в распоряжении разработчика элементной базой. В общем случае однотактная обратная структура (см. рис. 1а) наиболее подходит для маломощных, до 10 Вт, устройств, однотактная прямая структура (см. рис. 1б) обычно применяется в преобразователях с

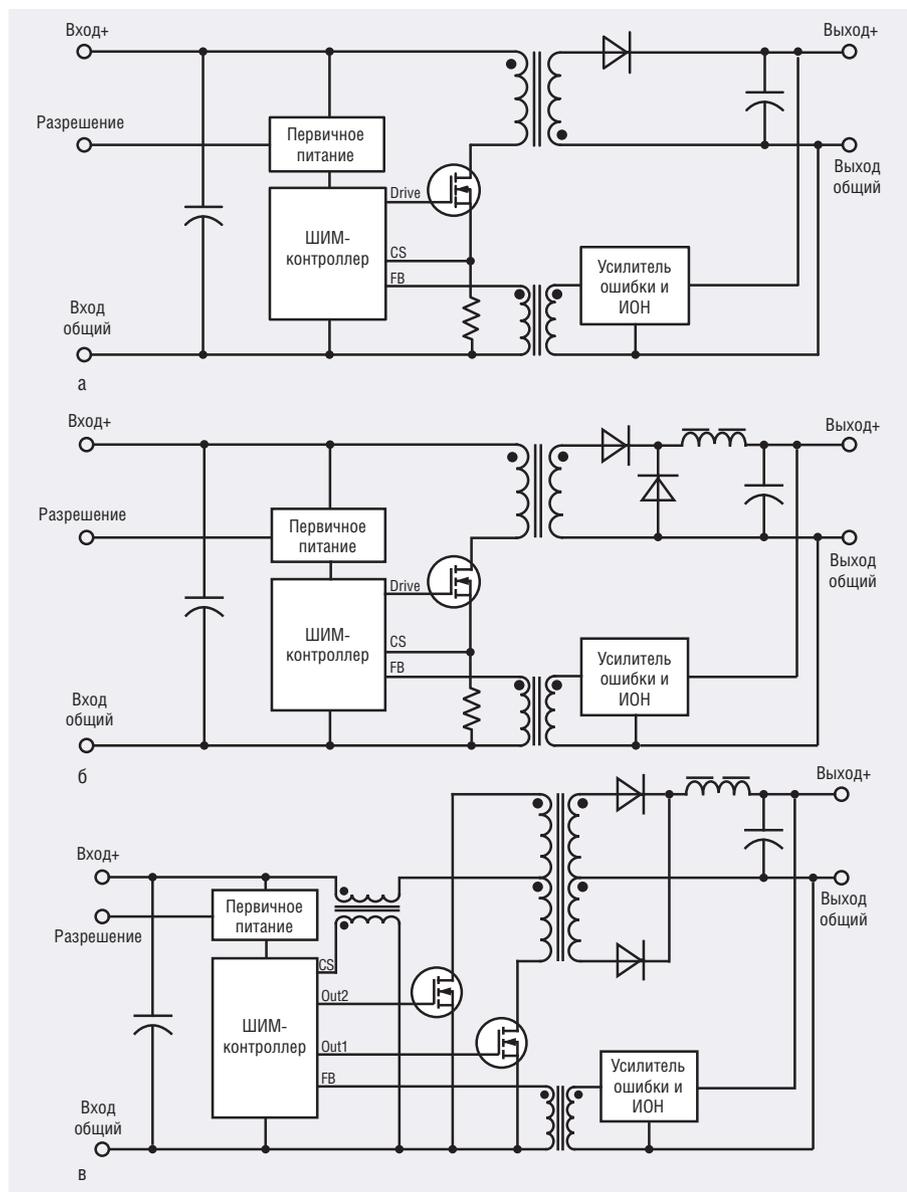


Рис. 1. Блок-схема преобразователя напряжения: а) однотактного обратного; б) однотактного прямого с резонансным размагничиванием магнитопровода трансформатора; в) двухтактного прямого

мощностями до 40 Вт, а двухтактные структуры (см. рис. 1в) – в более мощных преобразователях.

Основное достоинство обратных преобразователей – очень простая схемотехническая реализация. Такие преобразователи, как правило, применяются при относительно небольших нагрузках, поскольку им свойственны большие токовые пульсации и пиковые токи, а также пульсации напряжения. Отношение пикового значения тока к среднему току нагрузки в прямоходовых преобразователях существенно ниже, чем в обратных, поэтому им отдают предпочтение при больших выходных токах. Двухтактные прямоходовые преобразователи позволяют получить более высокую эффективность преобразования энергии по сравнению с однотактными схемами, однако для этих преобразователей необходимо обеспечить высокую синхронность фаз работы силовых ключей.

Компанией «Микроника» (г. Минск, Республика Беларусь) были разработаны импульсные преобразователи мощностью 5 и 15 Вт на номинальное входное напряжение 27 и 100 В, как одноканальные, так и двухканальные, универсальная демоплата которых представлена на рисунке 2. Преобразователи, предназначенные для систем питания на 27 В, характеризуются диапазоном входных напряжений от 18 до 40 В, а преобразователи на входное напряжение 100 В – диапазоном входных напряжений от 65 до 125 В.

Комплект ИМС для DC/DC-преобразователей

В специализированных DC/DC-модулях систем вторичного электропитания и другой преобразовательной аппаратуре специального назначения в настоящее время в основном используются следующие типы ИМС:

- ШИМ-контроллеры;
- ОУ и компараторы;
- прецизионные регулируемые стабилизаторы.

Основные электрические параметры ИМС данных классов, используемых в DC/DC-модулях, приведены в таблицах 1–3.

СКТБ «Микроника» в настоящее время осуществляет разработку ИМС данных типов для DC/DC-модулей, предназначенных для космической и специальной аппаратуры, с использованием КНИ (кремний на изоляторе) биполяр-

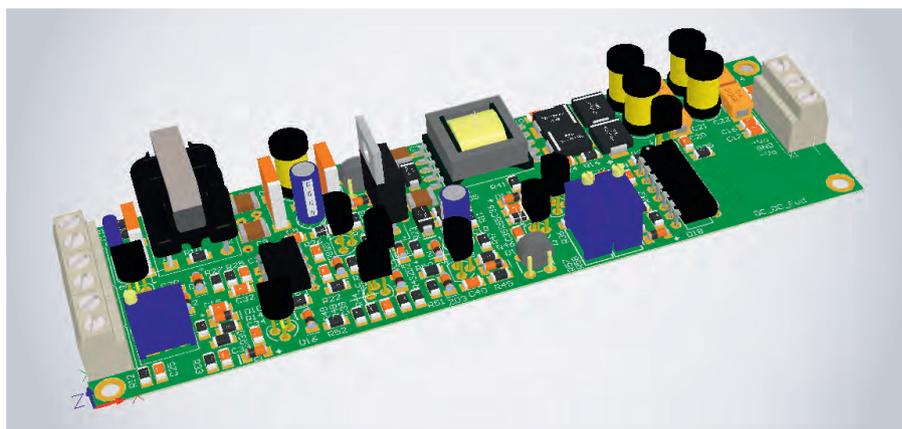


Рис. 2. Модель универсальной демоплаты DC/DC-преобразователя

Таблица 1. Основные электрические параметры ИМС ШИМ-контроллеров

Параметр	Единица измерения	Норма	
		Min	Max
Напряжение питания	В	–	30
Опорное напряжение	В	4,95...5,05	5,05...5,15
Нестабильность опорного напряжения по температуре	мВ/°С	–	0,4
Входное напряжение смещения усилителя ошибки	мВ	–	10
Напряжение обратной связи	В	2,45	2,55
Точность генератора частоты	кГц	47...360	57...440
Ток потребления	мА	–	17...33

Таблица 2. Основные электрические параметры ИМС счетверённых операционных усилителей

Параметр	Единица измерения	Норма	
		Min	Max
Напряжение питания	В	3...4	14...32
Входное напряжение смещения	мкВ	–	700...5 000
Входной ток смещения	нА	–	30...35
Входной ток	нА	–	100...150
Ток потребления	мА	–	2,9...3,0

Таблица 3. Основные электрические параметры ИМС программируемых стабилизаторов

Параметр	Единица измерения	Норма	
		Min	Max
Напряжение катода	В	2,5	36
Опорное напряжение	В	2,49...2,495	2,505...2,51
Нестабильность опорного напряжения по температуре	мВ	–	15...20
Минимальный рабочий ток катода	мА	–	0,4...1,0

ного техпроцесса со следующей стойкостью к ДИ: поглощённая доза гамма-облучения не ниже 100 крад и устойчивость к воздействию ТЗЧ не ниже 60 МэВ·см²/мг. Стойкость к ДИ достигается как технологическими, так и схемотехническими методами – использованием специализированных схемотехнических решений блоков ИМС.

DC/DC-преобразователь на 5 Вт с входным напряжением 27 В

Для преобразователя мощностью 5 Вт с входным напряжением 27 В выбрана

топология обратного импульсного преобразователя, так как её основное достоинство – очень простая схемотехническая реализация. В связи с тем что преобразователям данного типа свойственны большие токовые пульсации и пиковые токи, а также пульсации напряжения, к силовому ключу и компонентам фильтра на выходе предъявляются повышенные требования. Модуль оснащён функцией защиты от пониженного напряжения питания, входом дистанционного включения/выключения. Номинальная частота коммутации силового ключа

Таблица 4. Основные параметры преобразователя на 5 Вт с входным напряжением 27 В

Параметр	Результат измерений	Норма	Параметры аналога ARE2805S
Нестабильность выходного напряжения при плавном изменении входного напряжения, Regline	0,26% ($I_{\text{вых}}=0$ А); 0,04% ($I_{\text{вых}}=1$ А)	не более $\pm 0,5\%$	$\pm 0,5\%$
Нестабильность выходного напряжения при плавном изменении выходного тока, Reload	0,23 %	не более $\pm 1,0\%$	$\pm 1,0\%$
Пульсация выходного напряжения (от пика до пика), $U_{\text{пуль}}$	40 мВ	не более 50 мВ	50 мВ
Ток потребления в режиме холостого хода, $I_{\text{пот.хх}}$	15,4 мА	не более 50 мА	20 мА
Ток начала срабатывания защиты, $I_{\text{сраб}}$	1,27 А	не более $1,4 \cdot I_{\text{вых-ном}}$	1,05–1,45 А
Переходное отклонение выходного напряжения, $\Delta U_{\text{пер}}$	$\pm 1\%$ (± 40 мВ) ($I_{\text{вых}}=0,1 \rightarrow 1$ А)	не более $\pm 10\%$	$\pm 6\%$ (± 300 мВ) ($I_{\text{вых}}=0,5 \rightarrow 1$ А)

Таблица 5. Справочные зависимости преобразователя на 5 Вт с входным напряжением 27 В при $U_{\text{вх}} = 18-40$ В, $U_{\text{вых}} = 5$ В

$U_{\text{вх}}$, В	$I_{\text{вых}} = 0$ мА		$I_{\text{вых}} = 100$ мА		$I_{\text{вых}} = 500$ мА		$I_{\text{вых}} = 1000$ мА		Эффективность, % на токе 1 А
	$I_{\text{вх}}$, мА	$U_{\text{вых}}$, В	$I_{\text{вх}}$, мА	$U_{\text{вых}}$, В	$I_{\text{вх}}$, мА	$U_{\text{вых}}$, В	$I_{\text{вх}}$, мА	$U_{\text{вых}}$, В	
18	17,2	5,015	55,1	5,007	210	5,004	423	5,002	65,7
22	15,6	5,009	47	5,007	170	5,005	340	5,002	66,9
27	15,4	5,012	40,6	5,008	141	5,005	273	5,001	67,9
32	16,5	5,009	36,9	5,008	120	5,005	229	5,001	68,3
40	17,5	5,022	34,1	5,008	101	5,005	186	5	67,2

Таблица 6. Основные параметры преобразователя на 5 и 15 Вт с входным напряжением 100 В

Параметр	5 Вт		15 Вт		Норма
	Результат измерений	Аналог ARE1005S	Результат измерений	Аналог LA 100-S	
Нестабильность выходного напряжения при плавном изменении входного напряжения, Regline	0,08%	$\pm 0,5\%$	0,06%	$\pm 0,5\%$	не более $\pm 0,5\%$
Нестабильность выходного напряжения при плавном изменении выходного тока, Reload	0,06%	$\pm 1,0\%$	0,3%	$\pm 1,0\%$	не более $\pm 1,0\%$
Пульсация выходного напряжения (от пика до пика), $U_{\text{пуль}}$	45 мВ	50 мВ	39 мВ	50 мВ	не более 50 мВ
Ток потребления в режиме холостого хода, $I_{\text{пот.хх}}$	3,9 мА	8 мА	11,6 мА	-	не более 50 мА
Ток начала срабатывания защиты, $I_{\text{сраб}}$, А	1,39 А	1,05–2,0 А	1,73 А	1,05–2,0 А	не более $1,4 \cdot I_{\text{вых-ном}}$
Переходное отклонение выходного напряжения, $\Delta U_{\text{пер}}$	$\pm 1,4\%$	$\pm 6\%$	$\pm 1,0\%$	$\pm 6\%$	не более $\pm 10\%$

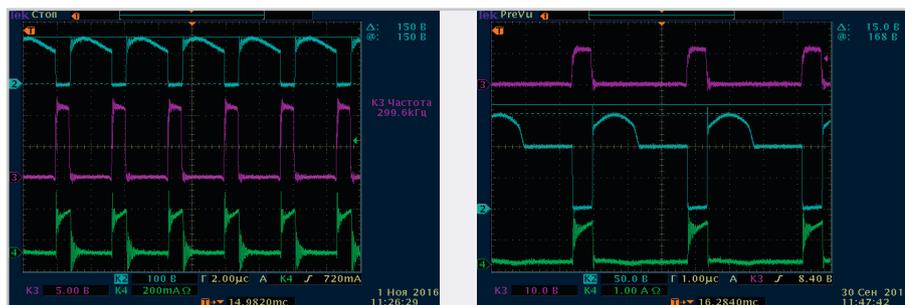


Рис. 4. Эпюры напряжений и токов преобразователя при $U_{\text{вх}} = 100$ В, $U_{\text{вых}} = 5$ В, 5 Вт (слева), $U_{\text{вых}} = \pm 5$ В и 15 Вт (справа)

преобразователя составляет 300 кГц, что позволяет снизить габариты трансформаторов. Встроенный внутренний помехоподавляющий фильтр на входе уменьшает кондуктивные помехи на входных шинах питания, а двухзвен-

ный фильтр на выходе преобразователя уменьшает пульсации выходного напряжения. Электрическая развязка первичной и вторичной цепи осуществляется с применением трансформатора, в цепи контура обратной связи для



Рис. 3. Эпюры напряжений и токов преобразователя при $U_{\text{вх}} = 27$ В, $U_{\text{вых}} = 5$ В, 5 Вт

стабилизации выходного напряжения также применяется трансформатор, а не опторазвязка, как в преобразователях общего назначения, поскольку оптрон не обеспечивает стабильных характеристик и долговечности при широких температурных изменениях и при работе в условиях ДИ космического пространства. Напряжение основного канала стабилизируется контуром обратной связи и обеспечивает суммарную нестабильность выходного напряжения менее 1%.

Основные электрические параметры разработанного преобразователя мощностью 5 Вт с входным напряжением 27 В и выходным напряжением 5 В приведены в таблице 4, эпюры напряжений и токов представлены на рисунке 3 [1], справочные зависимости разработанного преобразователя приведены в таблице 5.

DC/DC-ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ НА 5 И 15 Вт С ВХОДНЫМ НАПЯЖЕНИЕМ 100 В

Для преобразователей мощностью 5 и 15 Вт с входным напряжением 100 В используется топология однотактного прямоходового импульсного DC/DC-преобразователя с резонансным размагничиванием магнитопровода трансформатора. Эти модули также оснащены функцией защиты от пониженного напряжения питания, входом дистанционного включения/выключения и, как в предыдущем случае, в них используется трансформатор для обеспечения стабильной работы контура обратной связи в условиях ДИ космического пространства.

Основные электрические параметры разработанных преобразователей мощностью 5 и 15 Вт с входным напряжением 100 В и выходным напряжением 5 В приведены в таблице 6, эпюры напря-

жений и токов представлены на рисунке 4 [2], справочные зависимости разработанных преобразователей приведены в таблице 7.

MOSFET-ТРАНЗИСТОРЫ ДЛЯ DC/DC-ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

N-канальные полевые транзисторы с изолированным затвором (MOSFET) являются одними из основных ключевых элементов в электронных преобразовательных системах [3], включая системы бортового питания. Основными преимуществами MOSFET по сравнению с другими ключевыми элементами являются высокое быстродействие и низкая потребляемая мощность в цепи управления. В разработанных DC/DC-преобразователях с входным напряжением 27 и 100 В используются 200- и 500-вольтовые транзисторы типа КП7114А, КП7116В1, КП7116Б1, КП7116А1, разработанные совместно с ООО «Тандем Электроника» (г. Воронеж, официальный представитель СКТБ «Микроника» в РФ) [4].

Основные электрические параметры этих транзисторов приведены в таблице 8.

СКТБ «Микроника» обладает технологиями и конструкцией как транзисторов данного типа (4-е поколение), так и n- и р-канальных транзисторов 5-го и 7-го поколений, позволяющими получить требуемые электрические параметры и стойкость к ДИ космического пространства: TID не менее 100 крад, воздействие ТЗЧ не ниже 65 МэВ·см²/мг.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье рассмотрены основные типы DC/DC-преобразователей для систем вторичного электропитания аппаратуры космической силовой электроники, представлены основные электрические характеристики

Таблица 7. Справочные зависимости преобразователей на 5 и 15 Вт с входным напряжением 100 В при $U_{вх} = 65-125 В$, $U_{вых} = 5 В$

5 Вт 100 В / 5 В DC/DC-преобразователь									
$U_{вх}$, В	$I_{вх} = 0$ мА		$I_{вх} = 100$ мА		$I_{вх} = 500$ мА		$I_{вх} = 1000$ мА		Эффективность, % на токе 1 А
	$I_{вх}$, мА	$U_{вых}$, В	$I_{вх}$, мА	$U_{вых}$, В	$I_{вх}$, мА	$U_{вых}$, В	$I_{вх}$, мА	$U_{вых}$, В	
65	2,4	5,127	17,56	5,005	52,48	5,004	97,15	5,003	79,2
80	3,0	5,141	15,99	5,006	44,41	5,004	80,27	5,003	77,9
100	3,9	5,080	15,01	5,006	38,09	5,004	66,50	5,003	75,2
110	4,2	5,027	14,70	5,006	35,72	5,004	61,6	5,003	73,8
125	6,2	5,006	14,48	5,007	33,18	5,004	55,9	5,004	71,6
15 Вт 100 В / ±5 В DC/DC-преобразователь									
$U_{вх}$, В	$I_{вх} = 0$ мА		$I_{вх} = 150$ мА		$I_{вх} = 1000$ мА		$I_{вх} = 1500$ мА		Эффективность, % на токе 3 А
	$I_{вх}$, мА	$U_{вых}$, В	$I_{вх}$, мА	$U_{вых}$, В	$I_{вх}$, мА	$U_{вых}$, В	$I_{вх}$, мА	$U_{вых}$, В	
60	13,1	±5,018	47,0	±5,010	213	±5,003	326	±5,002	76,7
80	11,5	±5,017	40,0	±5,012	163	±5,006	241	±5,004	77,9
100	11,6	±5,017	35,5	±5,013	134	±5,006	195	±5,003	77,0
110	11,8	±5,015	34,1	±5,013	124	±5,006	179	±5,002	76,2
125	12,2	±5,016	33,1	±5,013	112	±5,006	160	±5,003	75,0

Таблица 8. Основные электрические параметры MOSFET-транзисторов, используемых в DC/DC-преобразователях на 27 и 100 В

Параметр, единица измерения	КП7114А	КП7116В1	КП7116Б1	КП7116А1
Минимальное пробивное напряжение сток – исток, $U_{ск.проб}$, В	200	500	500	500
Максимальный ток стока, I_c , А	20	20	14	8,8
Максимальное сопротивление сток – исток, $R_{ск.отк}$, Ом	0,18	0,27	0,40	0,85
Пороговое напряжение, $U_{зи.пор}$, В	2,0...4,0			
Минимальная крутизна, S, А/В	8	6	4	0,7

DC/DC-модулей на 5 и 15 Вт, разработанных компанией «Микроника» для аппаратуры с бортовым питанием на 27 и 100 В. Полученные электрические параметры DC/DC-преобразователей соответствуют лучшим зарубежным аналогам IR и Microsemi.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рабочий отчёт компании «Микроника» о разработке 5 Вт DC/DC-преобразователя с входным напряжением 27 В, июль 2016.

2. Рабочий отчёт компании «Микроника» о разработке 5 и 15 Вт DC/DC-преобразователя с входным напряжением 100 В, ноябрь 2016.
3. Силовые полупроводниковые приборы: пер. с англ. / под ред. В.В. Токарева. Первое издание. – Воронеж: Изд. ТОО МП «Элист», 1995.
4. Сайт официального представителя фирмы Микроника в РФ ООО «Тандем Электроника»: <http://te.vrn.ru/index.html>.



НОВОСТИ МИРА

ARM УВЕЛИЧИВАЕТ ШТАТ И ДОЛЮ ИТ-СПЕЦИАЛИСТОВ ПОСЛЕ ПРОДАЖИ КОМПАНИИ

После приобретения ARM Holdings японским телекоммуникационным гигантом SoftBank весь штат и доля ИТ-специалистов в нём у британской компании начали расти в соответствии с договорённостью. Согласно отчёту, опубликованному SoftBank спустя год после закрытия сделки по продаже ARM (5 сентября 2016 г.), за это время количество сотрудников ARM в Великобритании увеличилось на 24% и достиг-

ло 2 173 человек. За пределами Соединённого Королевства численность персонала компании возросла с 2 651 до 3 330 работников.

Компания SoftBank купила ARM примерно за \$32 млрд. Это крупнейшая сделка по продаже британской технологической компании. О ней объявили в июле 2016 года, через несколько недель после того, как Великобритания проголосовала за выход из Евросоюза.

По условиям соглашения SoftBank сохранит штаб-квартиру ARM, удвоит британский штат компании и увеличит число служащих за рубе-

жом на 1 700 человек. Также японская корпорация пообещала сохранить долю технических специалистов в штате на уровне не менее 76,7% с целью не допустить распространения низкооплачиваемых рабочих мест на предприятиях.

Эти меры направлены на ослабление политической реакции на сделку, вызвавшую волну критики, в том числе со стороны соучредителя ARM Германа Хаузера, который назвал продажу компании одним из самых «печальных и нежелательных последствий» Brexit.

Financial Times