



Infineon оснащает гибридный автомобиль

Андрей Самоделов

Компания Infineon, один из лидеров на мировом рынке силовой электроники, ведет разработку и продвижение компонентов для гибридных электрических транспортных средств — (H)EV (Hybrid Electric Vehicles). Инновационные решения Infineon позволяют удовлетворить практически все потребности силовой электроники в этой новой, бурно развивающейся отрасли автомобилестроения. В данной статье рассмотрены основные узлы силовых цепей гибридного автомобиля и решения Infineon, предназначенные для использования в них.

Концепция E-Mobility, в соответствии с которой компания Infineon изготавливает свои силовые продукты, охватывает все три этапа энергообеспечения: получение, передачу/распределение и потребление электроэнергии.

Топологии (H)EV

Для того чтобы обычный автомобиль превратить в гибридный, в него устанавливают один или несколько дополнительных электродвигателей и высоковольтный аккумулятор. Для передачи электроэнергии от аккумулятора к электродвигателю (во время движения) или от электродвигателя к аккумулятору (во время торможения) необходим ряд дополнительных блоков, включая преобразователи напряжения и зарядные устройства.

В зависимости от электрической мощности и степени сохраняемости энер-

гии существует несколько топологий (H)EV. Их можно разделить на пять основных категорий:

1. Micro Hybrid — «микригибрид».

Предназначена исключительно для снижения расхода топлива и выбросов CO₂ рядового автомобиля с минимумом переделок и представляет собой совсем простой «довесок» в виде несложной Smart Electronic Start/Stop System (SES), в которой блок управления двигателем воздействует на модифицированный стартер. Ее функция – глушить автомобиль при остановках или движении накатом и мгновенно заводить при малейшей надобности.

2. Mild Hybrid — «умеренный гибрид».

Между двигателем и коробкой передач (там, где у машины с механикой находится сцепление, а у автомата — гидротрансформатор) устанавли-

вается электромотор-генератор. Традиционно система оснащается 42-В аккумулятором и имеет малую мощность. Этот тип конструкции, по сути, нельзя даже назвать гибридом, так как электромотор не используется в качестве движущей силы.

3. Full Hybrid — «полный гибрид».

Система с большой аккумуляторной батареей и по крайней мере одним мощным электромотором, использующая в качестве источника движущей силы или только двигатель внутреннего сгорания, или только электромотор, или оба одновременно.

4. Plug-in Hybrid — «опционально-бензиновые» с возможностью подключения к электросети.

Основной движущей силой является электромотор, но имеется возможность использовать и двигатель внутреннего сгорания.

5. Pure electric — «полностью электрические» автомобили, или электро-мобили.

На рис. 1 представлена обобщенная блок-схема архитектуры силовой части гибридного автомобиля, а в таблице 1 — основные функциональные особенности (H)EV-топологий.

Для топологий Mild Hybrid и Full Hybrid возможны две модификации:

1. Последовательный гибрид.

Питание главного инвертера осуществляется или от высоковольтной батареи, или от генератора, который расположен на одном валу с двигателем внутреннего сгорания. Передача на ведущий мост осуществляется только от электродвигателя.

2. Параллельный гибрид.

Двигатель внутреннего сгорания и электродвигатель расположены на одном валу. Передача на ведущий мост осуществляется как от двигателя

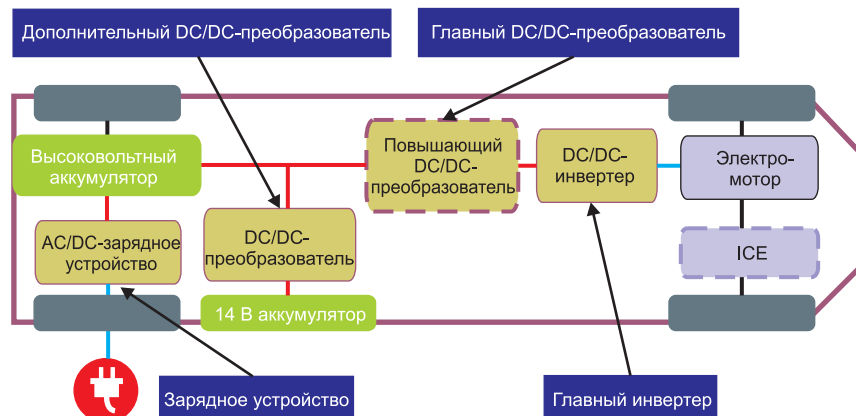
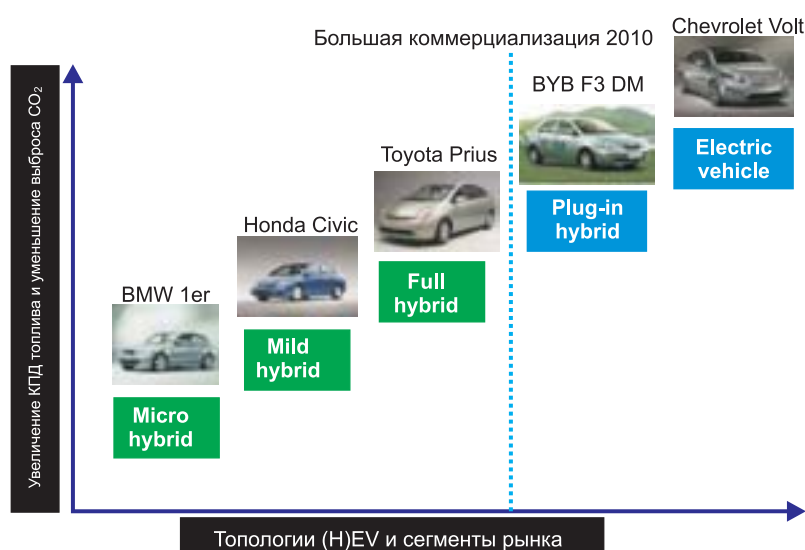
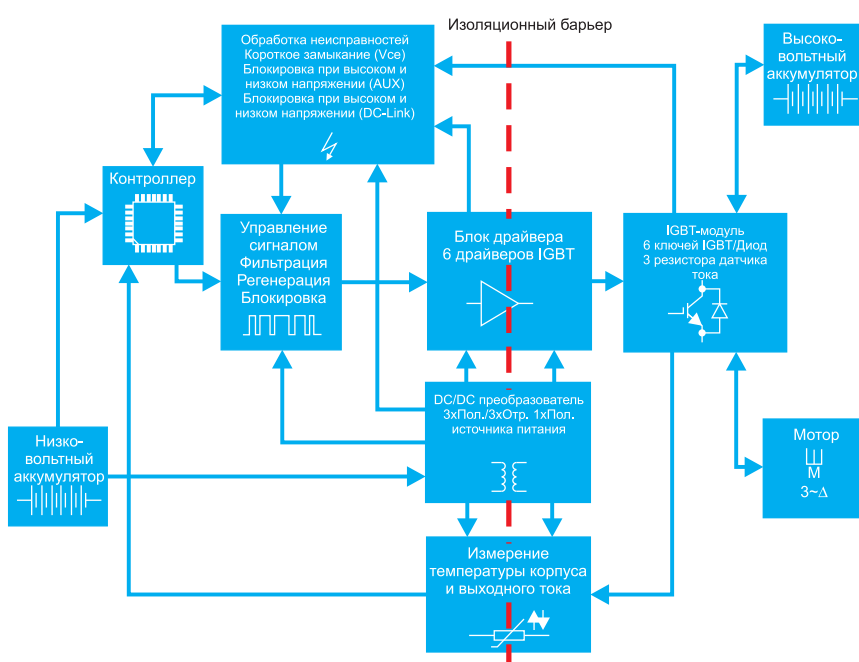


Рис. 1. Обобщенная блок-схема архитектуры силовой части (H)EV

Таблица 1. Функциональные особенности (H)EV-топологий

Функции	Micro hybrid	Mild hybrid	Full hybrid	Plug-in hybrid	Электромобили
Старт/Стоп	✓	✓	✓	✓	✓
Регенеративное торможение	✓	✓	✓	✓	✓
Функция форсирования двигателя		✓	✓	✓	✓
Электрический привод для движения по городу			✓	✓	✓
Электрический привод для дальних поездок				✓	✓
Подзарядка от инфраструктуры				✓	✓
Сохраняемость энергии, %	5–10	10–25	25–40	50–100	100
Электрическая мощность, кВт	1–5	5–20	30–80	70–100	30–100


Рис. 2. Примеры использования гибридных технологий в автомобилях

Рис. 3. Блок-схема главного инвертера (H)EV

внутреннего сгорания, так и от электродвигателя.

Примеры использования гибридных технологий каждой из пяти категорий в реально существующих автомобилях приведены на рис. 2.

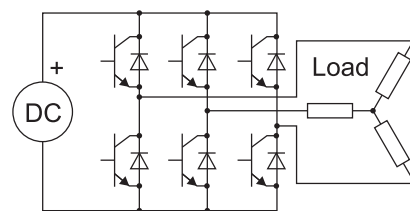
В архитектуре силовой электрической системы (H)EV можно выделить следующие функциональные блоки:

- главный инвертер;
- главный DC/DC-преобразователь;
- дополнительный DC/DC-преобразователь;
- зарядное устройство для аккумулятора.

Рассмотрим схемотехнические особенности реализации каждого из блоков и специфику используемых компонентов для представленной на рис. 1 архитектуры системы.

Главный инвертер

Главный инвертер служит для преобразования высокого постоянного напряжения, получаемого от высоковольтного аккумулятора или от низковольтного аккумулятора (с помощью дополнительного DC/DC-преобразователя), в трехфазное напряжение переменного тока для управления основным электродвигателем автомобиля. Электронная блок-схема главного инвертера (H)EV показана на рис. 3. Силовая часть устройства строится по стандартной схеме трехфазного полумоста (рис. 4) с возможностью широтно-импульсной модуляции (ШИМ) для управления мощностью двигателя. Силовая часть, как правило, отделена от остальной системы схемой гальванической развязки (красная пунктирная линия на рис. 3). Это способствует повышению безопасности (так как высоковольтная часть оказывается изолированной от схемы управления) и увеличению помехозащищенности всех систем автомобиля.


Рис. 4. Силовая часть главного инвертера (H)EV

Основными компонентами главного инвертера гибридного автомобиля являются микросхемы драйверов IGBT/MOSFET-ключей и силовые IGBT-модули.

Микросхемы драйверов силовых IGBT/MOSFET-ключей

Для использования в качестве драйверов/изоляторов, управляющих IGBT/MOSFET-ключами, компания Infineon выпускает микросхемы 1ED020112-FA/1ED020112FTA. Компоненты оформлены в корпусе SO-20 (300 mil) и имеют автомобильный температурный диапазон. Параметры микросхем приведены в таблице 2. В настоящее время компания Infineon готовит к выпуску новый двухканальный драйвер 2EDxxx.

Силовые модули HybridPACK™1

Infineon выпускает силовые модули для главного инвертера в двух модификациях:

- HybridPACK™1 — для Mild-Hybrid;
- HybridPACK™2 — для Full-Hybrid приложений.

HybridPACK™1 (рис. 5) представляют собой силовые модули на мощность до 20 кВт. Их «сердцем» являются Trench Field Stop IGBT-ключи с рабочим напряжением 650 В и максимальным током 400 А. Модули снабжены медным основанием-радиатором для принудительного воздушного охлаждения и работоспособны в расширенном автомобильном температурном диапазоне. Высокая удельная мощность достигнута за счет инновационной конструкции и тщательного подбора материалов, из которых изготовлены устройства.

К ключевым особенностям модулей HybridPACK™1 относятся:

- конфигурация SixPack;
- IGBT³-технология (650 В/400 А);



Рис. 5. Внешний вид модуля HybridPACK™1

Таблица 2. Параметры микросхем 1ED020112-FA/1ED020112FTA

Тип выхода	Rail-to-rail
Пиковый выходной ток, А	± 2
Детектирование порога V _{cesat} , В	9
Регулируемое двухуровневое выключение, В	10 или 12 (1ED020112FTA)
Подавление эффекта Миллера	Активное
Номинальное напряжение питания, В	0/+15 или -8/+15
Минимальное напряжение положительного источника питания (UVLO), В	10,6
Входной управляющий логический уровень, В	5 (КМОП)

- расширенный температурный диапазон:
 - T_{jop} = 150 °С,
 - T_{jmax} = 175 °С;
- использование твердосплавной Al₂O₃ керамики;
- продуманный внутренний монтаж модуля;
- размер 113×139 мм².

Основными преимуществами модулей этого типа являются: компактная конструкция; высокая эффективность преобразования; возможность адаптации к пользовательским требованиям по надежности.

Модули HybridPACK™2

Данные устройства представляют собой силовые модули для Full-Hybrid-приложений и отличаются от модулей HybridPACK™1 большей мощностью (до 80 кВт), большим максимальным током (до 800 А) и наличием медного основания со штыревым радиатором для непосредственного жидкостного охлаждения.

Ключевые особенности модулей HybridPACK™2:

- конфигурация SixPack с 3 резисторами датчиков тока в едином модуле;
- IGBT³-технология (650 В/800 А);
- подобранные силовые ключи;
- расширенный температурный диапазон:
 - T_{jop} = 150 °С,
 - T_{jmax} = 175 °С;
- использование твердосплавной Al₂O₃ керамики;
- медный штыревой радиатор для непосредственного водяного охлаждения.

Существенным преимуществом модуля HybridPACK™2 является наличие законченного набора Hybrid-Kit для разработки главного инвертера, который позволяет уменьшить время разработки и выхода на рынок готового изделия. Он представляет собой законченный вариант главного инвертера для (H)EV-приложений на мощность до 80 кВт. В набор разработчика входят:

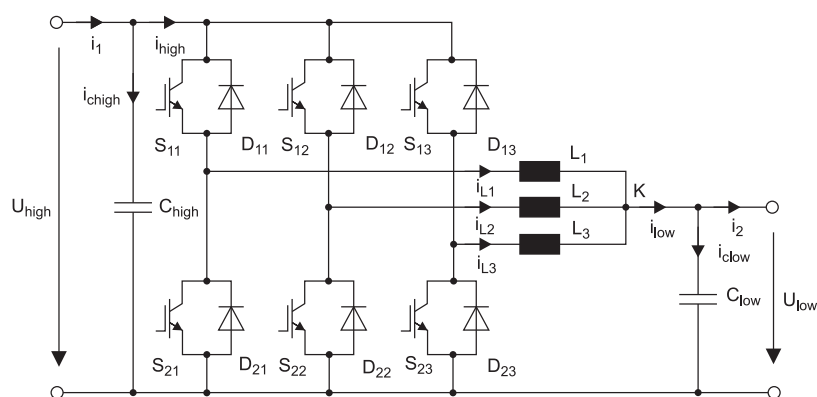
- IGBT-модуль HybridPACK™2 (650 В/800 А);
- ИС драйвера 1ED020112-FA:
 - гальваническая изоляция, основанная на трансформаторах без сердечников,
 - возможность управлять напряжением до 1200 В при токе до 2 А,
 - детектирование V_{cesat};
- 32-разрядный микроконтроллер TC1767 семейства TriCore, представитель семейства продуктов Audo Future;
- кодирующие устройства и квадратные энкодеры (с преобразователем аналогового сигнала в цифровой), дающие возможность работы с различными интерфейсами электродвигателей.

Для обеспечения высокого уровня надежности при работе в жестких условиях автомобильных приложений все силовые модули проходят многостороннее тестирование.

Главный повышающий DC/DC-преобразователь

Этот узел автомобиля является двунаправленным промежуточным звеном между высоковольтной батареей и высоковольтными цепями постоянного тока. Он преобразует напряжение высоковольтной батареи (200...400 В) в напряжение для питания силовых цепей главного инвертера (500...650 В) и обеспечивает мощность 6...100 кВт при частоте преобразования >20 кГц. Преобразователь, как правило, имеет жидкостное охлаждение и не содержит гальванической развязки.

Основой модуля является многофазный двухквadrантный преобразователь (рис. 6). Увеличение количества фаз преобразователя приводит к уменьшению размера, веса и стоимости устройства. Многофазный двухквadrантный преобразователь имеет ряд преимуществ по сравнению с однофазным. К ним от-



● Рис. 6. Упрощенная схема многофазного 2-квadrантного преобразователя

носятся снижение пульсаций тока и излучения электромагнитных помех вследствие управления со сдвигом по времени; более высокие динамические характеристики благодаря применению дросселей с меньшей индуктивностью; более высокий возможный КПД. В то же время к недостаткам можно отнести большее количество компонентов и более сложное управление.

Дополнительный DC/DC-преобразователь

Этот узел служит для поддержания 14 В силовой сети и зарядки высоковольтного аккумулятора. Преобразователь может быть как однонаправленный, так и двунаправленный и имеет полную гальваническую изоляцию. Диапазон мощностей составляет 1...3 кВт, часто-

та преобразования — более 100 кГц. Модуль может иметь как воздушное, так и жидкостное принудительное охлаждение.

Диапазоны напряжений дополнительного DC/DC-преобразователя приведены в таблице 3. При разработке этого устройства возможно использование различных топологий, примеры которых демонстрирует таблица 4.

Дискретные силовые ключи

Дискретные силовые ключи, используемые для построения преобразователей, должны удовлетворять ряду требований, предъявляемых к хорошему коммутатору. Часть этих требований перечислена ниже:

- высокая эффективность;



● Рис. 7. Дискретные ключи CoolMOS™

- низкий уровень электромагнитных помех;
- управляемое переключение;
- высокая надежность;
- высокая степень контроля за процессом;
- низкое значение $R_{ds(on)} \cdot A$;
- прочность, стойкость к переключениям;
- низкая стоимость.

Перечисленным требованиям полностью соответствует серия транзисторов CoolMOS™ (рис. 7) компании Infineon, специально предназначенных для использования в автомобильных приложениях в качестве активных силовых элементов коммутаторов.

Модули Easy 1B/2B

Для дополнительного DC/DC-преобразователя прекрасно подойдут готовые IGBT-модули Infineon EasyPACK™ (рис. 8) без несущей панели, с быстрым, надежным и дешевым методом монтажа, которые содержат один (Easy 1B) или два (Easy 2B) двухфазных полумоста. Структурная схема модулей изображена на рис. 9.

Непаяные контакты изделий изготовлены по технологии PressFIT, обеспечи-



● Рис. 8. Внешний вид модуля EasyPACK™

Таблица 3. Диапазоны напряжений дополнительного DC/DC-преобразователя

С высоковольтной стороны	Mild Hybrid	80...225 В
	Full Hybrid	200...400 В (650 В)
С низковольтной стороны	Номинальное напряжение	9...16 В
	Полный рабочий диапазон напряжения	6...26,5 В

Таблица 4. Примеры топологий дополнительного DC/DC-преобразователя

Тип	Упрощенная схема
Полный мост с переключением в момент перехода напряжения через ноль	
Одиночный активный мост	
Удвоитель тока на диодах	
Двойной активный мост	
Удвоитель тока на MOSFET	

вающей быструю и надежную сборку и позволяющей легко монтировать модули, гарантируя надежное электрическое соединение.

Зарядное устройство для аккумулятора

В зависимости от необходимой мощности зарядные устройства могут быть бортовыми и внешними. Это обусловлено в первую очередь ограничениями на объем и вес бортового оборудования. Основные характеристики этих изделий приведены в таблице 5. Блок-схема AC/DC-преобразователя на 1-3 фазы, используемого в зарядных устройствах, приведена на рис. 10.

Заключение

Продукция компании Infineon занимает лидирующее положение на рынке решений управления гибридными двигателями (№1 в промышленных, №2 — в автомобильных). Высокая на-

Таблица 5. Основные характеристики бортовых и настенных зарядных устройств

Тип зарядного устройства	Номинальная мощность	Примечание
Бортовое	<ul style="list-style-type: none"> • 3,6 кВт, однофазная сеть • 11 кВт, трехфазная сеть • 22 кВт, трехфазная сеть 	<ul style="list-style-type: none"> • Наиболее предпочтительные бортовые зарядные устройства мощностью 40 кВт отсутствуют вследствие ограничений по габаритам и весу • При подключении автомобиля к инфраструктуре можно использовать стандартные предохранители и разъемы для цепей переменного тока
Внешнее	<ul style="list-style-type: none"> • 22 кВт • 40 кВт 	<ul style="list-style-type: none"> • Зарядка постоянным током, специальные технологии производства кабеля и разъема, необходимые для подключения автомобиля к инфраструктуре • Влияние на силовые линии инфраструктуры не уточняется

дежность обеспечивается за счет более чем 40 лет постоянного контроля за системами в широкой области применения. Инновационные продукты, технологии и готовые решения целиком покрывают всю цепочку блоков систем управления: от микроконтроллеров до силовых модулей. Компания Infineon предлагает полный набор решений для (H)EV-приложений,

включая: датчики; 8-, 16- и 32-разрядные микроконтроллеры; приемопередатчики CAN, LIN и FlexRay; силовые IGBT-модули HybridPACK™1, HybridPACK™2, EasyPACK™; микросхемы логических драйверов; силовые ключи CoolMOS™, OptiMOS™. Компания прилагает постоянные усилия к выпуску продукции высочайшего качества с полным отсутствием дефектов.

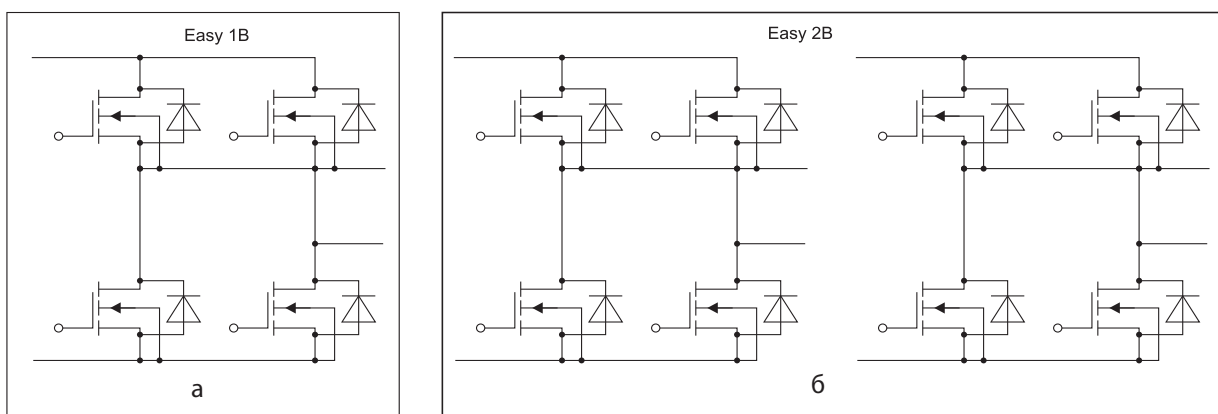


Рис. 9. Структурная схема модулей: а) Easy 1B, б) Easy 2B

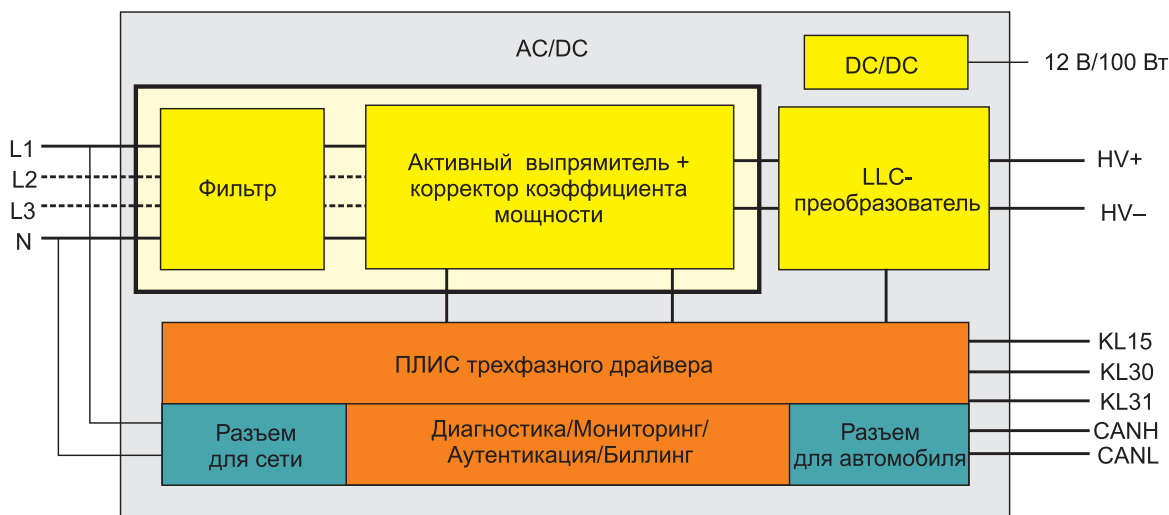


Рис. 10. Блок-схема AC/DC-преобразователя на 1-3 фазы