

# Новая серия IGBT от Infineon Technologies

## для резонансных инверторов

**Дискретные IGBT-транзисторы, благодаря присущей им высокой эффективности, являются наиболее предпочтительными коммутационными элементами импульсных источников питания для современных инверторных индукционных нагревателей, предназначенных для приготовления пищи. Поскольку затраты на энергию продолжают расти, а потребительский спрос на все более компактную бытовую технику, предназначенную для приготовления пищи, увеличивается, соответственно, для удовлетворения потребностей рынка должна эволюционировать и технология используемых в ней IGBT-транзисторов. В статье продемонстрирован эффект от внедрения транзисторов, выполненных по новой технологии, которые полностью отвечают техническим и экономическим задачам этого требовательного к соотношению цена/качество сегмента рынка.**

**Джузеппе ДеФалько  
(Giuseppe DeFalco)**

**Перевод:  
Владимир Рентюк**

Основной принцип индукционного нагрева был открыт английским физиком Майклом Фарадеем в 1831 г. и получил дальнейшее развитие в работах Генриха Ленца<sup>1</sup>. Во время экспериментов с магнетизмом и электромагнитными полями было обнаружено, что при переключении магнитных полей в сердечнике выделяется тепло. В соответствии с этим базовым принципом, в индукционных плитах используют магнитное поле для непосредственного нагрева посуды и, следовательно, помещенной в нее пищи. Популярность такого метода приготовления возрастает благодаря его большей энергоэффективности, чем у газовых плит, так как при использовании индукционного нагрева нагревается только сама посуда, а не воздух. Кроме того, такое приготовление пищи является и более экологичным, так как в еду не попадают продукты сгорания природного газа. Этот метод является также наиболее быстрым и легко управляемым, поскольку для изменения уровня нагрева должна изменяться только сила тока для генерируемого магнитного поля.

Та же индукционная технология в настоящее время используется в рисоварках. Она позволяет более эффективно и равномерно распределять тепло, чем этого можно достичь со стандартным нагревательным элементом, а также выполнять практически мгновенное и точное изменение температуры. Не менее важное преимущество индукционного метода приготовления пищи заключается в том, что варочная поверхность полностью герметична, поэтому ее легче очищать и мыть, что делает такую

панель более эстетичной, а сам процесс приготовления пищи более гигиеничным, чем это предлагают другие технологии.

По мере того как индукционные устройства для приготовления пищи становятся все более популярными, возрастают и потребительские ожидания, что приводит к большим проблемам для их разработчиков и дизайнеров. Эффективность — это, безусловно, ключевая проблема для многих потребителей, которая обусловлена растущими во всем мире затратами на энергию и ужесточением правил по эффективности ее использования. Но разработчики и дизайнеры также должны заботиться и о безопасности использования таких изделий и их надежности.

Чтобы расширить ассортимент продукции, многие производители предлагают потребителям расширенные функции, такие как включение и управление через локальную сеть Wi-Fi. Хотя потребители положительно оценивают эти дополнительные удобства, однако по-прежнему более важными критериями при выборе индукционного устройства для кулинарии являются его непосредственные возможности именно по приготовлению пищи и цена.

Основа индукционной плиты, можно сказать, ее сердце, — биполярный транзистор с изолированным затвором (IGBT), который играет роль силового ключа в преобразователе мощности. Таким образом, IGBT является ключевым элементом, определяющим эффективность (КПД), размер и надежность системы управления и, соответственно, стоимость конечного продукта.

Очевидно, что для разработчиков индукционной плиты оптимальный выбор IGBT имеет решающее значение. В большинстве случаев разработчики будут сосредоточены на параметрах, связанных с пере-

<sup>1</sup> Эмилий (Генрих) Христианович Ленц — российский физик немецкого происхождения, является одним из основоположников электротехники. С его именем связано открытие закона, определяющего тепловые действия тока, и закона, определяющего направление индукционного тока. — Прим. перев.

ключением транзистора. Это максимальный ток коллектора ( $I_C$ ) и максимальное напряжение «коллектор–эмиттер» ( $V_{CE}$ ), которые необходимы, чтобы гарантировать, что IGBT способен обеспечить требуемую мощность. Обычно для индукционных варочных панелей она находится в пределах до 2100 Вт. Также важны и такие параметры, как напряжение насыщения «коллектор–эмиттер» (падение напряжения на транзисторе во включенном состоянии)  $V_{CEsat}$  и рассеивание энергии при выключении  $E_{off}$  за один цикл. Оба этих параметра являются критическими для достижения высокой эффективности работы такого устройства.

Также не менее важен выбор наиболее оптимальной топологии для схемы преобразования, поскольку конструкция такого изделия бытового назначения должна быть простой, надежной и одновременно энергоэффективной. Одной из самых популярных топологий, используемых для реализации индукционной технологии приготовления пищи, является параллельный резонансный инвертор типа SEPR (Single Ended Parallel Resonant Inverter), несмотря на относительно ограниченный уровень его мощности (рис. 1).

Основа этой топологии — параллельный колебательный контур, состоящий из катушки индуктивности и конденсатора, а также комбинация IGBT, диода и небольшого конденсатора, который улучшает характеристики инвертора с точки зрения генерации электромагнитных помех и вместе с диодом обеспечивает путь для похождения резонансного тока катушки индуктивности. Инвертор, как правило, питается непосредственно от напряжения питающей сети, которое выпрямляется, но не подвергается значительной фильтрации. Это позволяет уменьшить реактивную мощность и достичь значения коэффициента мощности, близкого к единице.

Типичные рабочие частоты инвертора находятся в диапазоне 20–60 кГц, что позволяет полностью избежать негативного эффекта от их восприятия человеческим ухом. Частота коммутации управляется плавным пуском, работающим на более высоких частотах, а максимальная мощность отбирается перемещением в нижнюю часть частотного диапазона. Если смотреть в общем плане, то схемотехническая реализация устройства индукционной бытовой техники для приготовления пищи значительно проще, чем, например, приводы электродвигателей, так как здесь нет необходимости в обеспечении функционирования в условиях жесткой коммутации, нет требования по устойчивости к высоким токам короткого замыкания, нет нужды в каких-либо специальных типах корпусирования силовых элементов.

Топологии коммутации с плавным переключением значительно уменьшают потери на коммутацию IGBT за счет использования режимов переключения по нулевому напряжению (Zero-Voltage-Switching, ZVS) или по нулевому значению тока (Zero-Current-Switching, ZCS). Поскольку динамические потери здесь оказываются незначительными, общий КПД такой системы повышается.

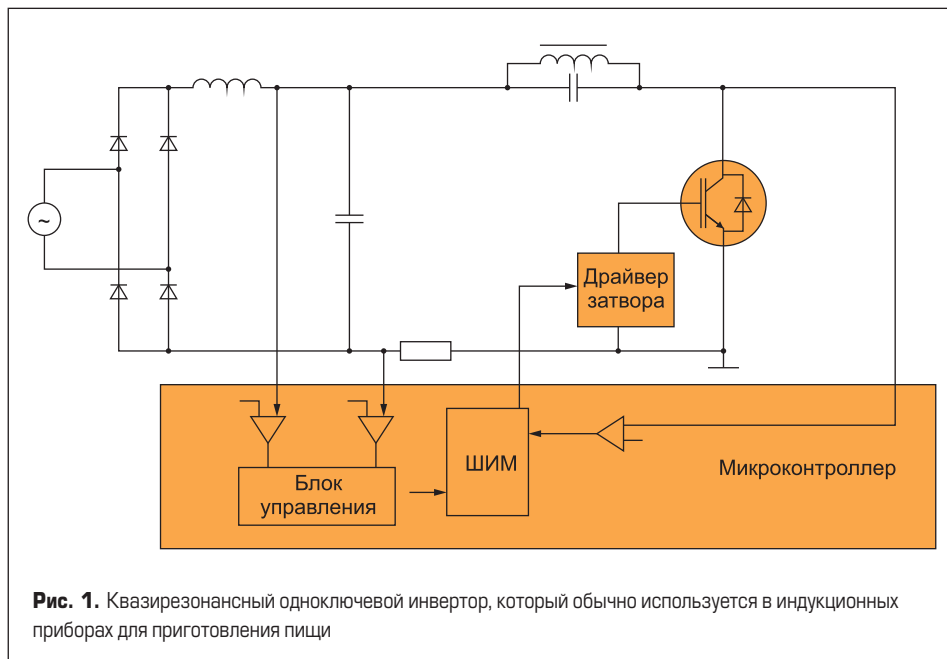


Рис. 1. Квазирезонансный одноключевой инвертор, который обычно используется в индукционных приборах для приготовления пищи

### RC-E серия IGBT

Одной из серий IGBT с обратной проводимостью, которые были недавно выведены на рынок, является RC-E от компании Infineon Technologies AG. Серия RC-E выполнена на базе той же технологии, что и ведущее дискретное семейство RC-H, при этом новые IGBT были оптимизированы по стоимости и выполнены с учетом особенностей использования именно в резонансных инверторах, включая инверторы индукционных варочных панелей низкого и среднего уровня мощности.

В настоящее время компания Infineon в составе серии RC-E предлагает два устройства — IHW15N120E1 и IHW25N120E1, рассчитанные на ток 15 и 25 А соответственно и рабочее напряжение 1200 В. Как и другие IGBT с обратной проводимостью от Infineon, приборы серии RC-E включают в себя монолитный, интегрированный непосредственно в самом IGBT диод с обратной проводимостью, тем самым для устройств, требующих мягкого переключе-

ния, устраняется необходимость в использовании отдельного диода (обычно он размещен совместно в корпусе IGBT-модуля). Это делает серию RC-E очень простой и надежной в использовании.

Комбинируя FS-слой (Field Stop layer, обеспечивает резкий спад напряженности поля) с конструкцией затвора технологии Trench (пазовая конструкция затвора), IGBT серии RC-E имеют значительно улучшенное напряжение насыщения и потребляют очень мало энергии при выключении. Их более тонкие подложки увеличивают эффективность в части проводимости и скорости переключения по сравнению с более ранними NPT-технологиями. По сравнению с комбинированными диодными решениями, IGBT серии RC-E предлагают увеличенную плотность мощности, и поскольку диод и IGBT размещены на одном и том же кристалле, эти диоды рассчитаны на полный номинальный ток транзистора (рис. 2).

Отличаясь более низкими значениями  $E_{off}$ ,  $V_{CE}$ ,  $R_{th}$  и  $V_{ce(sat)}$  IGBT серии RC-E оптимизированы для обеспечения низких потерь переключения и проводимости. Таким образом, достигаются

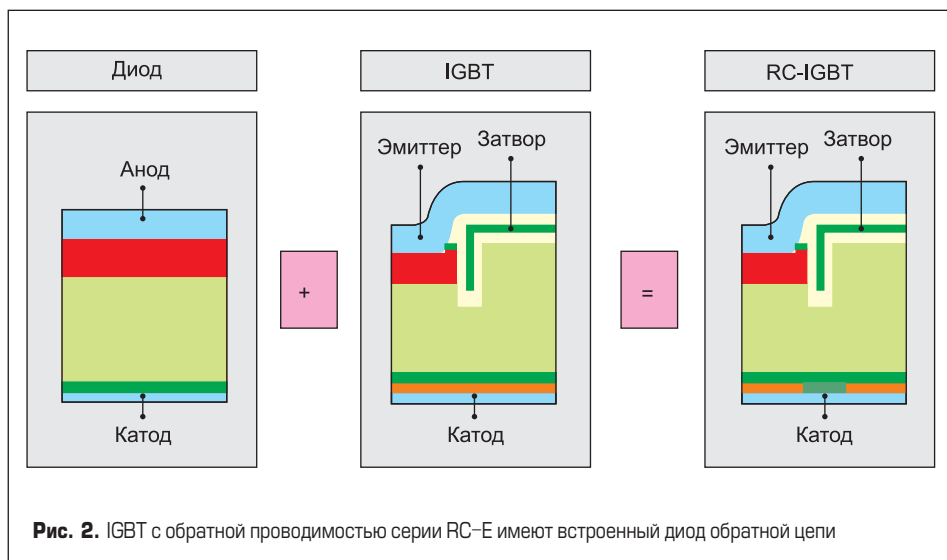
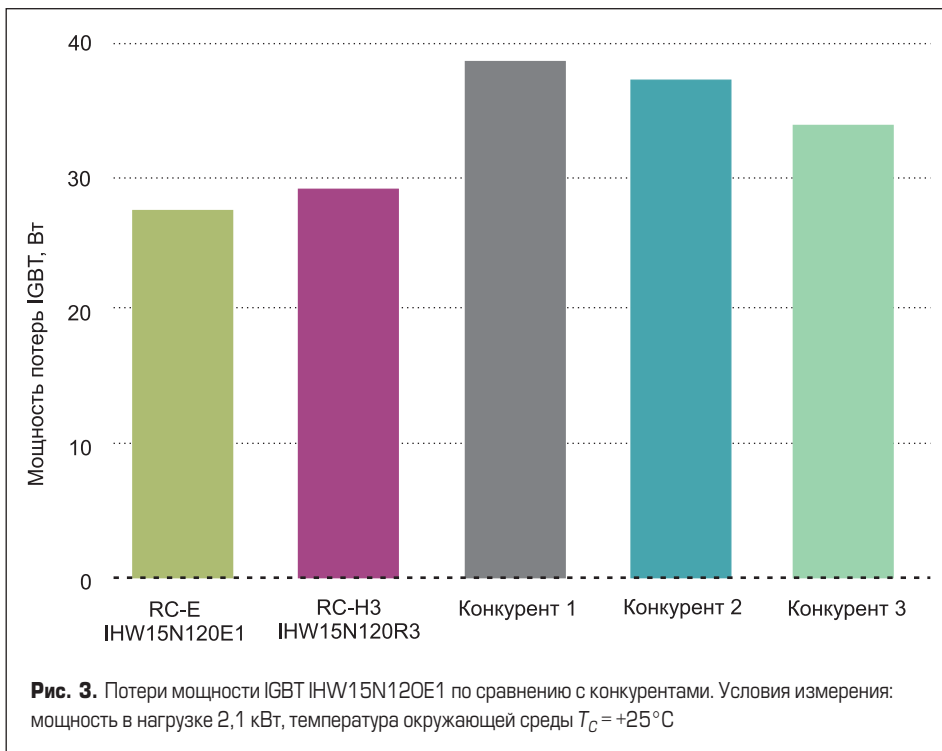


Рис. 2. IGBT с обратной проводимостью серии RC-E имеют встроенный диод обратной цепи



результаты, очень похожие на те, которые характерны для IGBT серии RC-H3, причем в широком диапазоне мощностей. Предлагаемые устройства серии RC-E выдерживают наиболее часто встречающееся блокирующее напряжение (1200 В) и, как уже говорилось, специально оптимизированы для переключения в полосе рабочих частот в диапазоне 18–40 кГц. В части потерь мощности IGBT семейства RC-E являются лидерами на рынке, по этому показателю они существенно опережают приборы своих ближайших конкурентов (рис. 3). Этот более низкий уровень потерь мощности позволяет проектировщикам легко достигать основных целей, которые ставятся при проектировании устройств для индукционного приготовления пищи.

Более низкие потери означают, что во время приготовления пищи потребляется меньше энергии, что приводит к снижению эксплуатационных расходов для потребителей. При меньшем количестве генерируемого тепла IGBT серии RC-E будут работать при более низкой собственной температуре, что, в свою очередь,

приведет к повышению надежности конечного изделия. Поскольку для данного уровня мощности индукционной варочной поверхности потребуются меньшее охлаждение транзисторов, блоки управления конечных продуктов становятся меньше, и, следовательно, по мере уменьшения размеров радиаторов — меньше и по стоимости. Кроме того, это способствует повышению КПД и увеличению срока службы IGBT. Поскольку серия RC-E выпускается в стандартном корпусе типа TO-247, то замена или модернизация существующих конструкций не вызывает особой сложности (рис. 4). Это позволяет разработчикам улучшать технические характеристики и снижает затраты, усилия и риски на модернизацию уже существующих продуктов.

Полный диапазон дискретных IGBT для бытовых приборов индукционного приготовления пищи, предлагаемых Infineon Technologies, состоит из нескольких серий. RC-H5 наилучшим образом подходит для высокочастотного рабочего диапазона (>30 кГц) и имеет самые низкие потери, что обеспечивает максимальный КПД.



Во многих индукционных приложениях для приготовления пищи не требуются микросхемы драйвера. Но для тех случаев, когда это требуется, предлагается серия RC-E, которая прекрасно сопрягается с драйвером IRS44273L от International Rectifier. Этот низковольтный неинвертирующий драйвер управления затвором имеет токовый буфер и может использоваться для управления как МОП-транзисторами, так и приборами технологии IGBT. Драйвер выполнен по КМОП-технологиям, которые обеспечивают быстрое переключение и защиту от блокировки, а входы драйвера совместимы с логическими уровнями КМОП (CMOS) или ТТЛШ (LSTTL).

Тем не менее именно серия E1 (RC-E) характеризуется наилучшим соотношением цена/качество для всех типов устройств, предназначенных для индукционного нагрева при приготовлении пищи. Версия на ток 15 А оптимально подходит для моделей с пониженной мощностью (до 1800 Вт). Серия RC-E — это хороший выбор, когда цена и производительность являются ключевыми требованиями для конечного продукта.