

## ВЫБОР МЕЖДУ МНОГИМИ ДИСКРЕТНЫМИ ПРИБОРАМИ И МОЩНЫМИ СИЛОВЫМИ МОДУЛЯМИ

### Введение

Во многих схемах применяются МОП ПТ или БТИЗ, работающие на токах в диапазоне от десятков до сотен ампер. Корпуса фирмы IR, перекрывающие диапазон, показаны на рис. 1. Дискретные корпуса типа TO-220 и TO-247 содержат один МОП ПТ, один БТИЗ или БТИЗ с быстро-восстанавливаемым диодом (Co-Pack). Корпус TO-247 допускает значение максимального тока 70А; конструкция этого корпуса при длительной работе с полной нагрузкой обеспечивает типичные токи в диапазоне 10 – 20А. Дискретные корпуса TO-220 и TO-247 изготавливаются в больших количествах и обладают низкой стоимостью/ампер. Изолированные мощные силовые модули в основном состоят из полумоста, преобразователя или одиночной конструкции ключа. Диапазон токов таких модулей находится в пределах от 25А для 1200В полумостовой схемы в корпусе Int-a-pak до 600А для 600В ключа в вдвоенном корпусе Double Int-a-pak. Привлекательные свойства мощных силовых модулей заключаются в их электрической изоляции, легкости монтажа на теплоотвод и легкости объединения с другими схемами для получения объединенных систем. Они также не нуждаются в необходимости распараллеливания для токов в несколько сотен ампер. Стоимость силовых модулей в пересчете на ампер выше, чем для дискретных компонентов в рамках стоимости основных ПП компонентов, но этот аргумент в рамках стоимости конечной системы не является главным.

Рис. 1 иллюстрирует область перекрытия диапазонов токов, потребляемых как дискретными приборами, так и силовыми модулями. Вне этого диапазона дискретные приборы часто более эффективны по критерию стоимости, чем системы вследствие их меньшей стоимости/ампер. Корпуса TO-220 и TO-247 Co-paks создают дополнительную привлекательность для инверторных схем, так как они уменьшают требуемое число компонентов на 50 % по сравнению с применением дискретных БТИЗ с отдельными диодами. Область, в которой дискретные приборы могут являться альтернативой мощным силовым модулям, может быть расширена при распараллеливании дискретных приборов. Набор дискретных приборов имеет преимущество в стоимости перед мощными силовыми модулями вследствие более низкой стоимости на ампер полупроводниковых компонентов. В то же время разумное повышение стоимости будет зависеть от конструктивных требований конкретных применений и того, как эти требования будут влиять на полную стоимость системы.

Данная статья представляет общие рекомендации, которые помогут сделать выбор между набором дискретных приборов и мощным модулем в конкретных ситуациях проектирования. Для детального ознакомления с вопросами распараллеливания читатель должен ознакомиться с другой, более специальной литературой фирмы IR.

### Стоимость модуля как функция диапазона токов

Как показано на рис. 1, данные корпуса модулей перекрывают свою область диапазонов токов. Приведенные корпуса модулей с большим диапазоном токов часто содержат кристаллы значительно большей площади, чем необходимо по условиям применения, как говорится, быть полностью нагруженными. Тот же самый модуль с малым диапазоном токов потребляет меньше, чем может обеспечить кристалл, и является частично нагруженным.

На рис. 2 показано, что полностью нагруженный на 200А 600В полумостовой корпус Int-a-pak имеет тот же самый размер кристалла, как восемь корпусов TO-247 Co-Packs. И наоборот, частично нагруженный на 50А 600В полумост в корпусе Int-a-Pak эквивалентен кристаллу только двух корпусов TO-247.

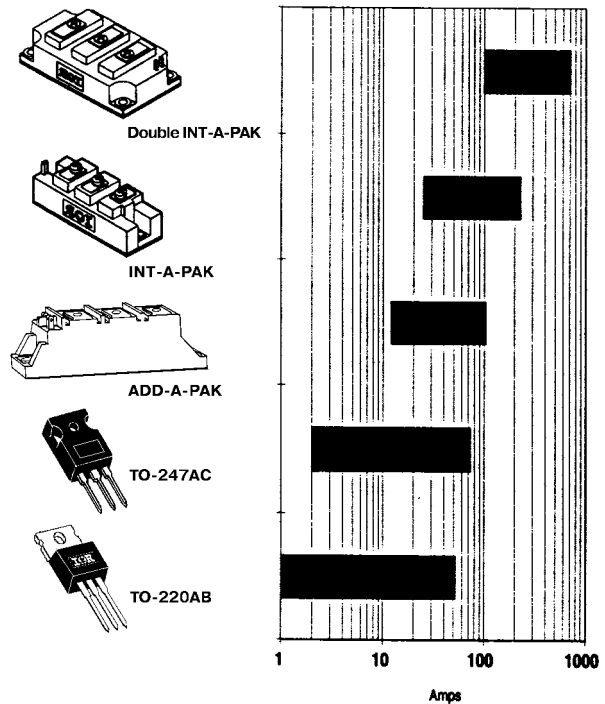


Рис. 1. Распределение корпусов по токам нагрузки

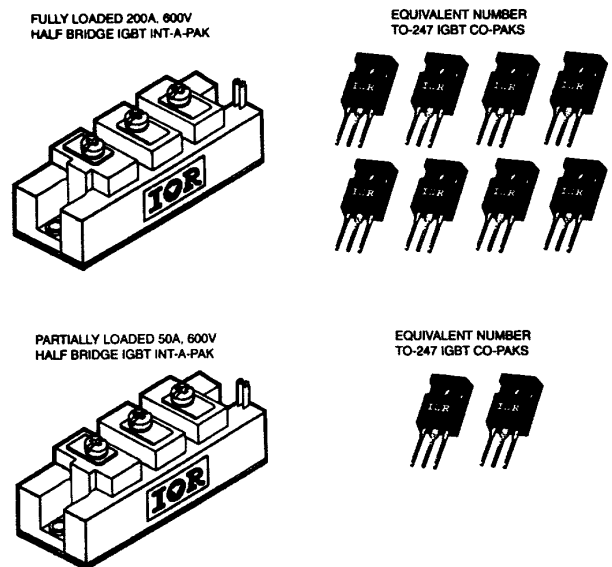


Рис. 2. Соответствие нагрузочной способности модуля и дискретных приборов

Так как стоимость корпуса модуля постоянно независимо от того, сколько кристаллов размещено в нем, полностью нагруженный модуль будет иметь относительно меньшую стоимость по сравнению с частично нагруженным.

### Стоимость модуля по сравнению с дискретными элементами

Простота конструкции дискретного корпуса наряду с большими объемами производства позволяют утверждать, что стоимость/ампер схемы на дискретных элементах всегда будет меньше стоимости силовотокowego модуля. Стоимость/ампер полностью нагруженного модуля может составлять 150% и более стоимости эквивалентного числа дискретных компонентов. Это преимущество теряется в значительной степени из-за необходимости для пользователя приобретать дополнительную оснастку, используемую при распараллеливании и приобретать навыки при работе с дискретными компонентами. Этот фактор зависит от конкретных требований к конструкции.

### Электрические соединения

Основное различие между дискретными элементами и мощными модулями состоит в способе выполнения электрических соединений с корпусом. Дискретные корпуса TO-220 или TO-247 сконструированы для пайки в печатные платы. Максимальный постоянный рабочий ток, который может выдерживать паяное соединение, менее 100А. Это приводит к естественному предельному количеству дискретных компонентов, которые могут соединяться параллельно. Силовотокowe модули, наоборот, имеют винтовые выводы: они сконструированы для подсоединения кабеля или шин, как показано на рис. 3(а). Мощные модули могут также монтироваться непосредственно в отверстия на печатной плате, как показано на рис. 3(б). Этот вид соединений очень удобен при рабочих токах менее 100А.

### Уравнивание температуры перехода дискретных приборов

Требования при параллельном соединении дискретных приборов сводятся к уменьшению потерь мощности и, что более важно, к одинаковому уровню температуры переходов всех приборов. Некоторый разбаланс потерь неизбежен вследствие различия электрических характеристик приборов. Изменения в характеристиках отдельных приборов приводят к необходимости уменьшения диапазона тока, в типичном случае на 20%. Даже при таком снижении диапазона тока должно быть точное тепловое распределение для уравнивания температуры переходов отдельных приборов.

Необходимость хорошей тепловой связи между отдельными дискретными приборами противоречит требованию электрической изоляции прокладки, размещаемой непосредственно на охлаждаемой поверхности корпусов TO-220 или TO-247.

Это обстоятельство создает тепловой барьер между отдельными дискретными приборами и приводит к изменению температуры отдельных переходов. По этой причине электрически изолированные корпуса Full-Ipak TO-220 и TO-247 не вполне отвечают требованиям параллельного включения. Параллельно соединенные дискретные приборы могут быть размещены на общем теплоотводе. При необходимости выполнения требований электрической изоляции дискретные приборы могут размещаться на общем теплоотводе для обеспечения теплового баланса переходов. Теплоотвод также выполняет роль механического носителя дискретных приборов в процессе сборки. Изолирующий барьер размещается между силовой шиной и главным теплоотводом, как это показано на рис. 4.

### Разбаланс за счет топологии схемы

Разбаланс внешней схемы за счет несимметричной топологии может вызвать значительные потери в параллельно соединенных дискретных приборах.

Наиболее серьезное влияние несимметричная топология оказывает на ток, разбалансированный в процессе переключения, и вследствие этого на потери переключения. В наибольшей степени чувствительны к случайному разбалансу отдельные индуктивности в схеме с общим эмиттером, как это показано на рис. 5.

Если потери переключения относительно малы по сравнению с потерями проводимости, можно выполнить точный расчет потерь от разбаланса и симметричность топологии не будет столь критичной. Все будет зависеть от требований к конкретно применяемой конструкции.

(A) BUSBAR CONNECTION



(B) PCB CONNECTION

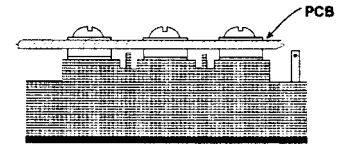


Рис. 3. Способы присоединения модуля INTA-Pak

Это преимущество теряется в значительной степени из-за необходимости для пользователя приобретать дополнительную оснастку, используемую при распараллеливании и приобретать навыки при работе с дискретными компонентами. Этот фактор зависит от конкретных требований к конструкции.

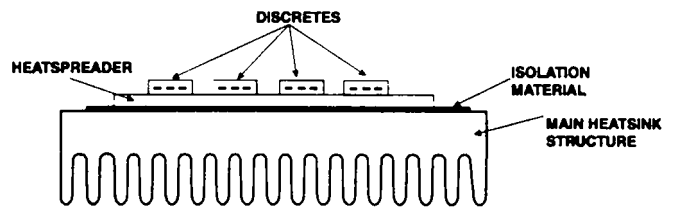


Рис. 4. Применение теплоотвода для теплового контакта дискретных корпусов

При необходимости выполнения требований электрической изоляции дискретные приборы могут размещаться на общем теплоотводе для обеспечения теплового баланса переходов. Теплоотвод также выполняет роль механического носителя дискретных приборов в процессе сборки. Изолирующий барьер размещается между силовой шиной и главным теплоотводом, как это показано на рис. 4.

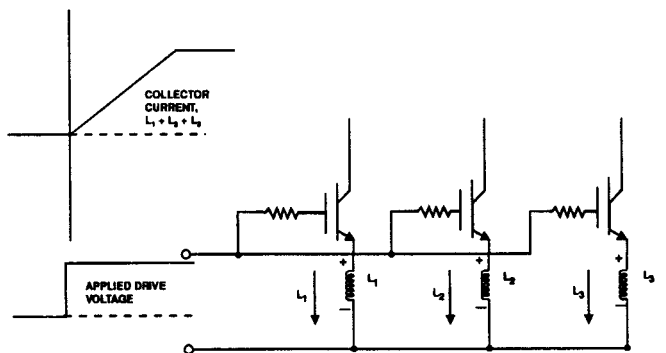


Рис. 5. Эквивалентные индуктивности в схеме на БТИЗ с общим эмиттером

Потери при переключении будут меньше в схемах с относительно малой рабочей частотой и/или низким напряжением. Простой пример линейного расположения дискретных приборов показан на рис. 6(а), где несмотря на отсутствие электрической симметрии, функционирование для данного случая будет вполне удовлетворительным.

При значительных потерях при переключении необходимо повышенное внимание к топологии. Идеальная симметричная топология показана на рис. 6(б) в отношении баланса отдельных индуктивностей схем с общим эмиттером и равных потерь при переключении.

На рис. 7 и 8 для МОП ПТ ГС и БТИЗ соответственно показаны типичные границы напряжения переключения и средней частоты переключения, которым соответствуют потери переключения 15% и 30% от полных потерь в тяжелых условиях работы.

**Примечание**

Напомним, что средняя частота переключения в синусоидальном ШИМ инверторе представляет собой половину частоты ШИМ выхода. Следовательно, для схемы подобного вида средняя частота переключения должна быть умножена на два для получения частоты на ШИМ выходе. Топология вообще не является сверхкритичным фактором при потерях переключения, меньших 15%. С повышением потерь переключения выше этого уровня влияние топологии увеличивается.

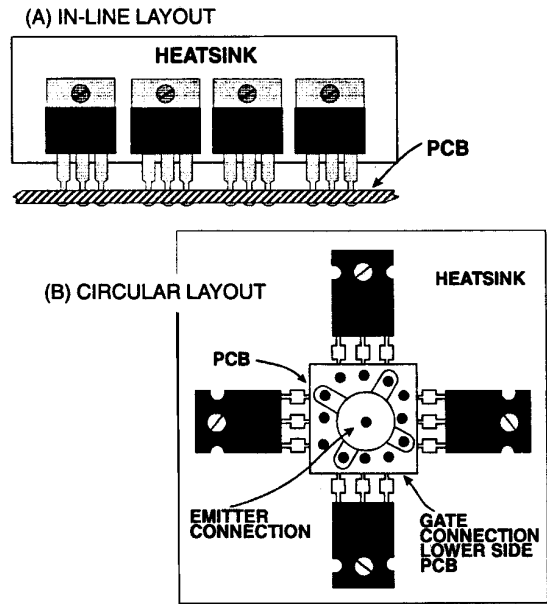


Рис. 6. Различные топологии монтажа дискретных приборов

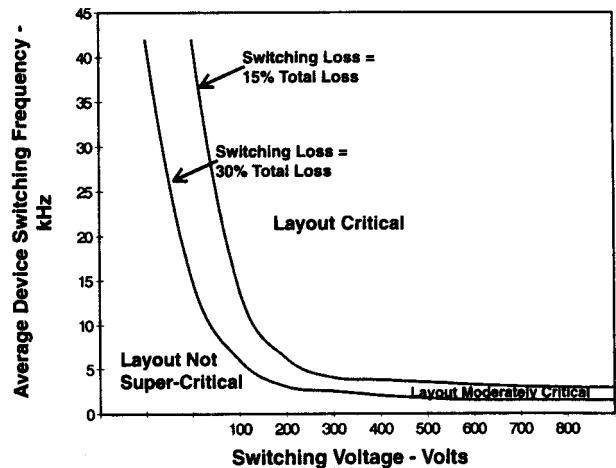
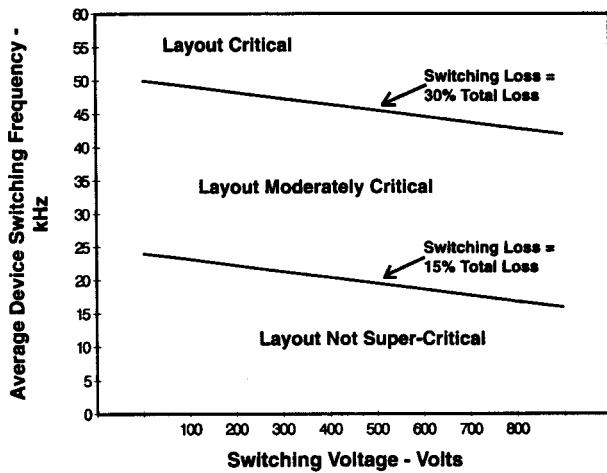


Рис. 7. Критерии переключения встроенного диода

На рис. 7 показано, что если внутренний диод плохо коммутруется, как в случае синусоидальных ШИМ инверторов, рабочая область для некритичной топологии ограничивается работой при низком напряжении, т.к. потери переключения при восстановлении внутреннего встроенного диода значительно возрастают при увеличении напряжения.

Рис. 7 и 8 следует рассматривать только в виде общего обзора областей легкой или менее легкой работы для параллельно включенных дискретных приборов, основанной на критериях топологии.

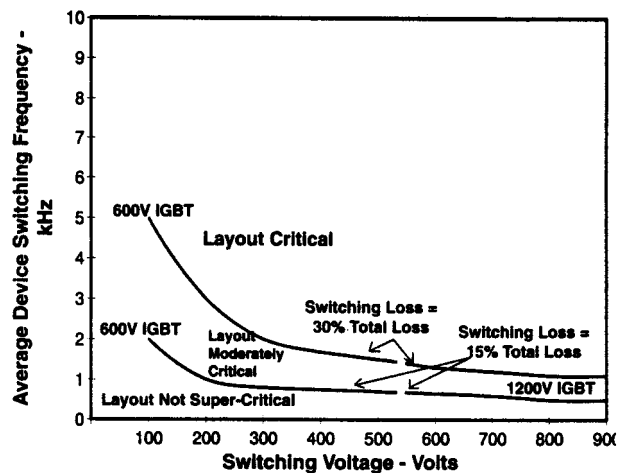
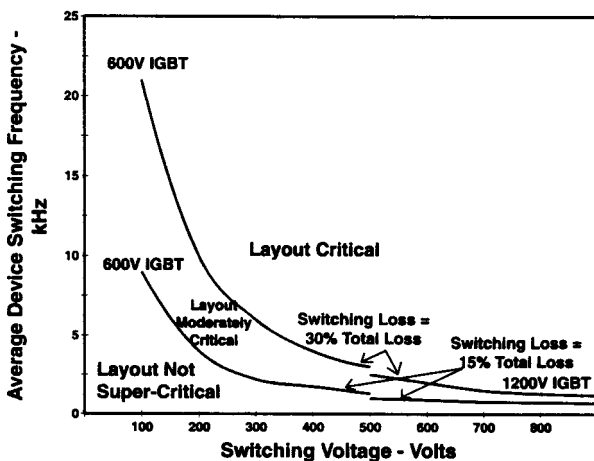


Рис. 8. Критерии потерь при переключении БТИЗ

Таблицы 1 и 2 содержит эту информацию применительно к типовым схемам. Простое несимметричное линейное расположение корпусов TO-247 Co-paks показано на рис. 6(a), с другой стороны, при той же самой площади кристалла полностью нагруженный корпус Int-a-pak потребует немного меньшей площади теплоотвода. Экономия площади теплоотвода становится более значимой при сравнении линейно расположенных корпусов Co-Packs по сравнению с частично нагруженным корпусом Int-a-pak.

<b>Table 1</b> <b>Design Situations for Multiple Discretes</b> <b>For Which Layout is not Super-critical</b>	
<b>Design Conditions</b>	<b>Typical Circuits</b>
Operating frequency of HEXFET or IGBT is low	Line frequency inverter Line frequency ACswitch
Operating voltage of HEXFET or IGBT at switching instant is low	Inverters operating from battery voltage below 100 V  Zero-voltage-switching resonant inverters
Operating current of HEXFET or IGBT at switching instant is low	Zero-current-switching resonant inverters
HEXFET internal diode is not hard-commutated	Forward, flyback, bridge inverters

<b>Table 2</b> <b>Design Situations for Multiple Discretes</b> <b>For Which Layout is Critical</b>	
<b>Design Conditions</b>	<b>Typical Circuits</b>
Operating frequency and voltage of HEXFET are high, internal diode is hard-commutated	PWM inverter
Operating frequency and voltage of IGBT are high	PWM Inverter Buck Converter Boost Converter

<b>Table 3</b> <b>Summary</b>	
<b>Factors that favor multiple discretes</b>	<b>Factors that favor high current module</b>
A few discretes in parallel are needed	Beyond the capability of a few discretes in parallel
Current is below rating of fully loaded module	Fully loaded module is needed
High volume manufacturing geared to handling discretes	Low-to-medium volume manufacturing
Design time not critical	Important to minimize design time
Electrical isolation not required	Electrical isolation is required
Design will use printed circuit board	High-current cable-lug or busbar connections needed
Operating voltage and/or frequency is low	High operating voltage and frequency
<b>Typical Applications</b>	
Line frequency inverters Low-voltage PWM inverters for UPS Line-frequency AC switches/breakers Electric vehicle controllers Resonant power supplies Resonant HF welders HEXFET switching power supplies	PWM AC motor drives Line voltage PWM inverters for UPS High current power factor correction

**Выводы**

В таблице 3 приведены основные факторы влияния на выбор между использованием дискретных приборов или мощных модулей с типичными применениями, которые потенциально подходят к каждому требованию при проектировании.