### DONALD A. DAPKUS II

DT-94-6

### ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ РАБОТА БТИЗ

Параллельное включение мощных МОП ПТ чрезвычайно удобно вследствие их положительного температурного коэффициента. БТИЗ, являясь комбинацией МОП и БИП транзисторов, не может быть описан простым образом, так как имеет или отрицательный или положительный температурный коэффициент.

Температурный коэффициент зависит от технологии изготовления БТИЗ. Даже при одинаковой технологии, он меняется в зависимости от плотности тока.

Следующие несколько простых рекомендаций принесут вам успех в проектировании схем с параллельно включенными БТИЗ. Предметом настоящей памятки конструктору являются:

- 1. Обсуждение общих условий параллельной работы БТИЗ.
- 2. Обсуждение влияния теплового контакта на ток и разбаланс температуры.

3. Обсуждение одного метода отбора приборов для получения лучшей отдачи и сравнение результатов, полученных для быстродействующего БТИЗ фирмы IR на 600В.

4. Сравнение результатов, полученных на сверхбыстром 600В БТИЗ фирмы IR.

5. Обсуждение схем на многих (более двух) параллельных БТИЗ. Подробная информация . содержится в разделе 8 перечня литературы.

#### Условия

Параллельное соединение приборов не является простой задачей. К условиям, которые должны соблюдаться при параллельном включении, относятся: схема, топология, разбаланс токов и температурное рассогласование между приборами. Параллельное соединение помогает уменьшить потери проводимости и в переходе для случая теплового сопротивления. Однако, потери переключения остаются теми же или даже могут возрастать. Если они оказываются определяющими, то параллельное включение достигает лишь частичного успеха.

Удешевление за счет применения маломощных приборов при параллельном включении не должно приниматься во внимание без анализа возможного риска. Экспериментальные результаты должны быть получены на экстремальных режимах работы.

#### Схема

Приводим следующий перечень условий для предупреждения возникновения паразитных колебаний в любой схеме с мощным МОП ПТ;

1. Убедитесь в том. что затвор БТИЗ или МОП ПТ подключается к устойчивому источнику напряжения с возможно малым импедансом.

2. Подключите к каждому прибору при параллельном соединении по меньшей мере 10 Ом резистор в цепь затвора; разместите резистор как можно ближе к рабочему выводу затвора в корпусе.

3. В схемах управления затвором возбуждение может вызываться зенеровскими диодами. Не ставьте их непосредственно в цепь затвор-эмиттер/исток для защиты цепи управления от напряжения на затворе, вместо этого, при необходимости, поместите их до резистора в цепи затвора.

4. Возбуждение также может вызываться емкостями в схемах управления затвором. Не размещайте их непосредственно в цепь затвор-эмиттер/исток управления временем переключения, вместо этого увеличьте резистор изоляции затвора. Емкости замедляют время переключения, и поэтому, время переключения увеличивает рассогласование между приборами.

#### Требования к топологии

Важность топологии размещения элементов возрастает с увеличением тока и частоты. Необходимо приложить значительные усилия по минимизации абсолютных значений паразитных индуктивностей. Плохая топология размещения элементов может приводить к чрезмерному напряжению, плохому переключению и низкой нагрузочной способности.

Размещение элементов схемы должно быть плотным, компактным, по возможности симметричным. При увеличении рабочей частоты и/или тока необходимо применение блокирующих емкостей для отвода паразитной индуктивности схемы. Особая важность состоит в том, что паразитная индуктивность в цепи управления затвором заряжается. Это приводит к подаче на затвор БТИЗ напряжения, отличающегося от расчетного.

#### Зависимость рассогласованности токов от температуры

При параллельном соединении приборов первое, что следует иметь в виду, это то, как оно сказывается на полном токе. Но так как полупроводниковые приборы более чувствительны к температуре, чем к току, то на самом деле задача сводится к определению того, насколько близко они связаны с диапазоном температуры перехода и насколько влияет на общую схему диапазон температуры одного прибора. Так как температура перехода прямо коррелируется с надежностью, этот вопрос должен быть приоритетным для проектировщика.

#### Рассогласование токов

Рассмотрим два различных БТИЗ, у каждого из которых Vce(on) для любого заданного уровня тока будет слегка отличаться. Когда эти два БТИЗ включены параллельно, напряжение во включенном состоянии Vce(on) в обоих приборах устанавливается одинаковым. Следовательно, для данного тока нагрузки один БТИЗ будет проводить больший ток, чем другой, создавая разбаланс токов. До тех пор, пока ток остается ниже максимального значения, указанного в справочных данных, разбаланс токов не имеет критической важности. При малых, токах он может составлять 75 – 100 %.

# International

#### Разбаланс температуры

Так как падение напряжения в обоих приборах одинаково; прибор проводящий больший ток, имеет более высокую температуру, которая может превысить максимальное значение температуры перехода, равное 150°C.

Наряду с вопросами надежности этот фактор должен изначально быть в центре внимания разработчика с точки зрения разбаланса температуры.

#### Тепловое согласование и другие факторы равновесия

Тепловой контакт является ключом к уменьшению разбаланса температуры. Если тепловой контакт между двумя приборами хороший, разница в их температурах не может быть значительной. Другим фактором, уменьшающим разбаланс тока, является температурный коэффициент падения напряжения.

БТИЗ с более низким падением напряжения имеет более низкий температурный коэффициент. При увеличении тока и температуры его падение напряжения изменяется мало в то время, как падение напряжения в БТИЗ, который проводит малый ток, значительно уменьшается, приводя к уравниванию величин тока и температуры между ними.

Третий механизм уравнивания определяется одной характеристикой динамического сопротивления приборов. Это приводит к двум разным значениям падения напряжения при повышенных токах.

Хороший тепловой контакт приборов не может вызвать значительный разбаланс тока. Это показано на рисунках в следующем разделе, отмечающих различие разбалансов токов в БТИЗ, помещенных на двух раздельных и общем теплоотводах.

Однако более важным показателем, оказывающим значительное влияние, является рассогласование температуры. Во всяком случае рисунки в следующем разделе показывают, что максимальный ток ограничивается более нагретым прибором при превышении максимальной температуры перехода 150°С. (См. [1], раздел VII!. ВЗ для более полной информации.

#### Отбор 600 В быстродействующего БТИЗ фирмы IR

Подбор приборов является эффективным методом уменьшения явлений, изначально связанных с параллельным соединением, и уверенности в том, что БТИЗ работоспособен в пределах значений справочных данных.

Как один из критериев отбора падение напряжения в каждом БТИЗ измеряется при определенном уровне тока.

Измерения, которые мы назвали метод диода (рис. 1), заключаются в том, что затвор соединяется с коллектором и напряжение подается через этот комбинированный вывод и эмиттер. Напряжение увеличивается до получения необходимого тока в БТИЗ. Это измерение должно выполняться на импульсном питании для исключения саморазогрева прибора. Считывается напряжение, требуемое для получения заданного тока. Это измерение не учитывает не только изменения в Vce(on), но также и порогового напряжения и gfs. Это напряжение в режиме диода является подходящим критерием для отбора БТИЗ в целях параллельного соединения. Отбор только по Vce(on) более пригоден для БТИЗ, не работающих в ключевом режиме.



Рис. 1. Схема подключения при изменении напряжениядиода методом диода

В следующих двух разделах будет выполнена проверка различных пар БТИЗ для

сравнения теплового и токового рассогласования в зависимости от изменения напряжения в БТИЗ. полученного в режиме диода. Применяя эту стратегию отбора приборов, мы тем самым вводим метод определения качества совместной работы параллельно включенных БТИЗ в типичных полумостовых схемах. Наконец, для моделирования проводимости и потерь при переключении была использована энергетическая модель БТИЗ.

Пять приборов из каждой выборки, используя три выборки, были проверены и расставлены по порядку значения напряжения проводимости. Используя эту информацию, можно получить рабочую точку БТИЗ при параллельном соединении. Получены графики процента рассогласования токов в зависимости от полного тока для сравнения работы в различных комбинациях БТИЗ. Эти графики показывают, каким может быть допустимым рассогласование постоянного тока для данного полного тока,

конкретной пары БТИЗ. Построены графики двух видов для приборов на отдельных теплоотводах и для приборов с общим теплоотводом. Кроме этого построены графики температуры переходов для повышенной температуры двух переходов в зависимости от полного тока. На этих графиках приведены три кривые:

1) полное соответствие приборов при отсутствии рассогласования;

2) несоответствие приборов на величину  $\Delta V$  диода, но размещенных на одном теплоотводе;

3) несоответствие приборов на величину ∆V диода, но размещенных на раздельных теплоотводах.

На рис. 2 приведен процентный разбаланс тока при различных уровнях тока для двух приборов IRGPC50F с крайними параметрами выборки: один для наименьшего Vce(on), а другой для наибольшего значения Vce(on) из всех измеренных приборов. Значени ΔV диода для этой пары приборов составило 0,69B.



Рис. 2. Зависимость разбаланса тока от полного тока, прибор IRGPC 50 F с ∆V диода = 0,69В

# International

Рабочие режимы: два прибора размещались или на одном теплоотводе с RQsa равным 2°С/W или на раздельных теплоотводах с ROsa равным 4°С/W при температуре окружающей среды 45°С. Как показывает рис. 2, при малых тока один БТИЗ потребляет весь ток. При увеличении тока рассогласование возникает в результате действия трех механизмов, которые мы отметили выше, для нижней кривой (тот же теплоотвод, поэтому хорошая тепловая связь) и только две относятся к току для верхней кривой (раздельный теплоотвод).

Рис. З отмечает более высокую температуру перехода двух запараллеленых БТИЗ для трех различных случаев:

- полное соответствие приборов;
- эти же два прибора размещены на одном теплоотводе;

- эти же приборы размещены на отдельных теплоотводах. Рисунок является сильнейшим аргументом в пользу размещения отдельных приборов на одном теплоотводе:



Рис. 3. Зависимость температуры перехода от полного тока, прибор IRGPC 50F с ∆V диода = 0,69B

при токе в 20А для двух наихудших случаев БТИЗ температура перехода находилась в пределах 2,5°С от идеального случая полностью согласованных приборов.

В то же время при размещении этих же приборов на отдельных теплоотводах температура перехода одного прибора на 16°C превышала температуру другого. Отметим также, что максимально допустимый ток уменьшился с 35А до 31А. Все это относится только к приборам, размещаемым на отдельных теплоотводах. Два прибора на рис. 2 и 3 имеют наибольшие различия в ∆V диода из всех 15 проверенных. Разница в напряжении ∆V диода составляла 0,69В и замерена на токе 20А; для двух приборов с разницей 0,33В при 20А; графики приведены на рис. 4 и 5.



Рис. 4. Зависимость разбаланса тока от полного тока, прибор IRGPC 50F с ∆V диода = 0,33B



Рис. 5. Зависимость температуры перехода от полного тока, прибор IRGPC 50F с ∆V диода = 0,33 В

Эти приборы при размещении на отдельных теплоотводах ограничивали максимальный ток до 33А, в то время как на общем теплоотводе они могли работать до 35А. В то же время на 20А температура переходов двух БТИЗ находилась в пределах 1,5°С идеального случая полностью совместимых и размещенных на одном теплоотводе.

Следующие два графика показывают наличие корреляции между рассогласованием токов и температурой перехода и измерениями ΔV диода. На основе двух этих графиков возможно предсказать работоспособность запараллеленой пары БТИЗ на основании разницы в их напряжениях

Режим диода. Рис. 7 подтверждает важность размещения приборов на одном теплоотводе. Рис. 8 иллюстрирует уменьшение входного тока в полумостовой схеме в зависимости от предельной температуры перехода в не связанных между собой приборах. Режим работы схемы тот же, что и в предыдущем примере, но вместо фиксированного тока зафиксирована температура перехода при 125°С. Ни один БТИЗ не превысил температуру 125°С. График построен в виде зависимости выходного тока от частоты переключения. Заметно небольшое или полное отсутствие ухудшения работы при одинаковых условиях функционирования. Кривые на рис. 8 рассчитаны в предположении, что два прибора помещены на один теплоотвод. Случай раздельных теплоотводов не рассматривался, так как он полностью совпадает с ранее изложенным. Выходной ток должен быть значительно уменьшен, если приборы размещены на раздельных теплоотводах.







Рис. 7. Зависимость температуры перехода от ∆V диода прибора IRGPC 50F

#### Отбор сверхбыстродействующих БТИЗ на 600В



Рис. 8. График зависимости тока от частоты для трех пар приборов IRGPC 50Fc ∆Vдиода = 0,00, 0,33, 0,69B

Метод, рассмотренный в предыдущем разделе, не может применяться в случаях, когда расчетная долговечность изделия оказывает значительное влияние на поведение прибора. Для этих приборов должна использоваться простая схема Vce(on). Следующие рисунки описывают результаты, полученные для различных пар запараллеленых сверхбыстродействующих БТИЗ. На рис. 9 приведен процент рассогласования при различных уровнях тока для двух приборов IRGPC50U с крайними характеристиками: наименьший и наибольший ∆Vce(on) на выборке по 15 приборов из трех партий. Значение Vce(on) замерялось на токе 30А и составило для этих приборов 0,55В. Режимы работы: два прибора помещены на общий теплоотвод с RΘsa – 2°C/Вт при температуре окружающей среды 45°C.

45

В то время как доля тока на рис. 9 может становиться недопустимой, как обсуждено в предыдущем разделе, более важным фактором является температура перехода, которая показана на рис. 10. Верхняя кривая на рис. 10 относится к двум приборам на рис. 9, в то время как нижняя кривая относится к идентичным (т. е. ∆Vce(on) равно нулю. ) Для любого тока разница для неидентичных приборов составляет несколько градусов Цельсия.



Рис. 9. Зависимость разбаланса тока от полного тока, прибор IRGPC 50U с DVce(on) -0, 55B



Рис. 10. Зависимость температуры перехода от полного тока, прибор IRGPC 50U с DVce(on) = 0,55B

Для сравнения идентичных приборов два вышеприведенных рисунка были повторены на двух приборах с ∆Vce(oп) = 0,36В. Измеренном на токе 30А. Рис. 11 показывает процент разбаланса тока при различных уровнях тока для двух неидентичных приборов IRGPC50U. Режим работы тот же самый, как на двух предыдущих рисунках. На рис. 12 приведена зависимость температуры перехода оттока. Верхняя кривая на рис. 12 выполнена для приборов на рис. 11, в то время как нижняя кривая построена для двух идентичных приборов (т. е. ∆Vce(on) равно нулю.)



Рис. 11. Зависимость разбаланса тока от полного тока, прибор IFIGPC 50 = U с  $\Delta$ Vce(on) = 0,36B



Рис. 12. Зависимость температуры перехода от полного тока, прибор IRGPC 50U с ∆Vce(оп) = 0,36B



Рис. 13. Зависимость температуры перехода от DVce(оп), прибор IRGPC50U



Рис. 13 показывает большую температуру двух переходов для параллельной комбинации нескольких различных пар приборов IRGPC50U при увеличении ΔVce(оп). Эти графики демонстрируют, почему критически важно, то что запараллеленые приборы должны размещаться на общем теплоотводе.

График на рис. 14 показывает зависимость тока от частоты переключения для пары запараллеленых приборов IRGPC50U, функционирующих в типовой полумостовой схеме с 50% фиксированным рабочим циклом. Приборы размещены на общем теплоотводе с тепловым сопротивлением 2°C/Вт, при температуре окружающей среды 45°C. Ни на одном из приборов температуре не давали повышаться выше 125°C. Верхняя кривая для идентичных приборов, следующая кривая – для приборов, показанных на рис. 11 и 12, в то время как нижняя кривая – для приборов, показанных на рис. 9 и 10.

Как уже показано на рис. 8 для приборов IRGPC50F, выходной ток полумоста, представленный на рис. 12 для двух приборов IRGPC50U, незначительно уменьшается за счет разницы в Vce(on) для двух БТИЗ, если и только если они помещены на одном теплоотводе, который обеспечивает хорошую тепловую связь.

#### Параллельное соединение многих приборов

Предыдущее обсуждение ограничивалось двумя запараллелеными приборами – единственным случаем, который может быть описан простым аналитическим аппаратом. Это обстоятельство, однако, не ограничивает общность выводов, так как в любой группе параллельно соединенных приборов найдутся два с экстремальными значениями падения напряжения. Эти приборы также должны иметь экстремальные ключевые характеристики.

Рекомендации настоящей памятки конструктору, особенно по критериям отбора, будут применимы к этим двум приборам с экстремальными характеристиками, в то время как характеристики других приборов будут располагаться между экстремальными значениями.

#### Заключение

В БТИЗ, соединенных параллельно. требования к топологии, управлению затвором и теплоотводу являются более важными, чем к изменению тока. Критически равноценным параметром является температура перехода, так как она непосредственно связана с долговечностью и надежностью приборов.

Если запараллеленые БТИЗ помещены на одном теплоотводе, будет обеспечена хорошая тепловая связь. Эта связь проявляется в допустимом тепловом разбалансе почти во всех условиях применения. Представлены два способа отбора приборов для целей переключения, но это не является необходимым до тех пор, пока БТИЗ будут применяться в пределах максимального диапазона тока, т. е. слегка меньше его или в его пределах.