

**Параллельное и последовательное
соединение силовых
полупроводниковых приборов
(СПП)**

Максимальные токи и блокирующие напряжения выпускаемых СПП ограничены, и часто однотипные СПП приходится соединять в группы для увеличения мощности разрабатываемого оборудования. Основные типы соединений при этом следующие:

Параллельное - используется при необходимости увеличения максимального тока;

Последовательное - используется при необходимости увеличения максимального блокирующего напряжения;

Смешанное - параллельное + последовательное.

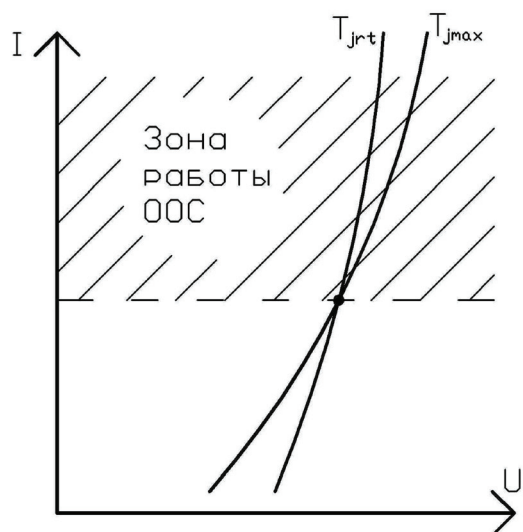
Соединяя тиристоры или диоды параллельно, необходимо стремиться к равному распределению тока нагрузки по приборам. Нужно обеспечить идентичность условий работы СПП и равенство вольтамперных характеристик, учитывая технологический разброс параметров.

Для решения этой задачи необходимо следующее:

последовательно с каждым полупроводниковым прибором устанавливать индуктивные или омические делители тока;

осуществлять подбор полупроводниковых приборов по статическим потерям в рабочей точке (по значению U_{TM}/U_{FM} на рабочем токе). Следует заметить, что всегда существует определенный технологический разброс параметров СПП.

при проектировании преобразователей, имеющих параллельное соединение полупроводниковых приборов, рекомендуется выбирать рабочие токи, находящиеся выше точки инверсии вольтамперной характеристики СПП. В этом случае выравнивание токов в параллельных ветвях будет происходить автоматически, так как в области ВАХ, лежащей выше точки инверсии, действует отрицательная обратная связь, то есть при увеличении температуры р-п перехода увеличивается его сопротивление и уменьшается прямой ток, что приводит к снижению температуры р-п перехода;



для минимизации влияния времени включения отдельных тиристоров и - как следствие - неравномерного распределения тока по ветвям в первоначальный момент времени, необходимо применять мощные импульсы управления с крутым фронтом, что приводит к уменьшению времени задержки включения тиристора и минимизации влияния этого эффекта на распределение тока по параллельным ветвям;

в схемах, где применяются мощные высоковольтные тиристоры; тиристоры, выполненные на кристаллах больших диаметров (более 56 мм), а также при наличии больших индуктивностей в силовой части, которые ограничивают скорость изменения силового тока, необходимо дополнительно учитывать время распространения включенного состояния тиристора. Это связано с тем, что мощные тиристоры в первоначальный момент времени включаются в ограниченной области вблизи управляющего электрода, после этого за ограниченное время происходит продольное распространение включенного состояния;

конструктивное расположение параллельных ветвей должно обеспечивать равенство сопротивлений токоведущих шин, включая предохранители;

для всех приборов, входящих в параллельное соединение, условия охлаждения должны быть одинаковы.

Соединяя тиристоры или диоды последовательно, необходимо стремиться к равному распределению блокирующего (прямого и(или) обратного) напряжения как в стационарном состоянии, так и в динамических режимах, а именно - при включении тиристоров и при восстановлении блокирующих свойств во время выключения тиристора или диода. Причины неравномерного распределения блокирующих напряжений могут быть следующие:

Различия утечек в последовательно соединенных приборах вследствие естественного технологического разброса и (или) различных рабочих температур вследствие, например, различных условий охлаждения (к сведению: в среднем изменение температуры на 8°C приводит к изменению утечек в два раза). Перенапряжение возникает на приборах, имеющих меньшее значение тока утечки;

Разброс времени включения отдельных тиристоров, соединенных последовательно в ветви, ведет к перераспределению напряжения между включившимися ранее и включающимися с запозданием тиристорами. Перенапряжение возникает на тиристорах, включающихся с опозданием;

Разброс величин заряда обратного восстановления в последовательно соединенных приборах приводит к тому, что в момент восстановления такие приборы принимают обратное напряжение в различное время. Перенапряжение возникает на тиристорах, имеющих меньший заряд обратного восстановления.

Существуют следующие способы выравнивания распределения блокирующих напряжений:

Для снижения влияния неравномерности токов утечки последовательно

включенных СПП используют включение шунтирующих высокоомных резисторов параллельно каждому полупроводниковому прибору (диоду или тиристор). Чем выше требование к выравниванию напряжения в этом режиме, тем меньше должны быть значения шунтирующих резисторов;

Для уменьшения неравномерности распределения блокирующих напряжений, которое возникает из-за разброса значений зарядов обратного восстановления СПП, применяются снабберные RC-цепи, включенные параллельно каждому полупроводниковому прибору. Чем больше значение снабберной емкости, включенной параллельно прибору, тем меньше неравномерности распределения блокирующих напряжений. Однако увеличение емкости - это не всегда рациональный способ, поэтому необходимо подбирать приборы для последовательного соединения по заряду обратного восстановления. Как правило, разброс зарядов принимают равным 5% или 10%.

Для уменьшения разброса времени включения СПП применяют мощные импульсы управления с крутым фронтом, что приводит к уменьшению времени задержки включения тиристора и минимизации влияния этого эффекта на распределение напряжения. Наличие снабберных RC-цепей параллельно каждому прибору оказывает положительное воздействие, так как до момента включения к тиристорам прикладывалось некоторое прямое напряжение, до которого также были заряжены снабберные конденсаторы. Это напряжение в первый момент времени после включения тиристора прикладывается к нему и обеспечивает равномерность распределения напряжения.

Большой спектр мощных преобразователей содержат в себе СПП, включенные параллельно и (или) последовательно. При их проектировании, обслуживании и ремонте важно учитывать вышеназванные требования и особенности групповых включений приборов. Это позволит максимально использовать ресурс СПП, разрабатывать и изготавливать надежное и долговечное оборудование.