

«АДИП»: диагностика

СИЛОВЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ

Надежность преобразователей электрической энергии при эксплуатации в большой степени определяется качеством силовых полупроводниковых приборов (СПП), а также качеством реализации силовой схемы. Исходное качество СПП должны обеспечивать их изготовители, а качество реализации силовой схемы преобразователя обеспечивается при комплектовании его СПП и настройке.

**Николай Беспалов,
к. т. н.
Александр Мускатиньев,
к. т. н.**

oxbos@alfaritm.ru

Параметры критериев качества СПП

Исходное качество СПП должно проверяться по определенным критериям. Стандартом определен список параметров критериев годности СПП [1]:

- 1) для силовых диодов (СД) — повторяющийся импульсный обратный ток I_{RRM} и импульсное прямое напряжение U_{FM} ;
- 2) для силовых тиристоров (СТ) — повторяющийся импульсный обратный ток I_{RRM} , повторяющийся импульсный ток в закрытом состоянии I_{DRM} , импульсное напряжение в открытом состоянии U_{TM} и отпирающий ток управляющего электрода I_{GT} .

Аппаратура для диагностики качества СПП

Проблема обеспечения требуемой надежности преобразователей может быть успешно решена только при применении объективных методик диагностики качества СПП, реализация которой невозможна без специальной диагностической аппаратуры. Потребители СПП такой специальной аппаратурой практически не обеспечены ввиду отсутствия ее серийного изготовления в России. Такая диагностическая аппаратура выпускается за рубежом, например, фирмой LEM (Швейцария), однако стоимость ее очень высока. В связи с этим потребители СПП для диагностики качества, например, по параметрам состояния низкой проводимости, вынуждены применять при входном контроле мегомметры, которые предназначены для измерения сопротивления изоляции. Необходимо сразу отметить, что это неверный путь для диагностики качества СПП. Это обусловлено, прежде всего, отсутствием при этом единого критерия качества СПП по значениям сопротивлений СПП в состоянии низкой проводимости. Другие критерии годности СПП потребители практически не применяют.

Для диагностики СПП по критериям годности нами разработан комплекс автоматизированной аппаратуры серии «АДИП». Комплекс «АДИП» предназначен для измерения параметров СПП, рассчитанных на токи от 10 до 5000 А и напряжения от 100 до 6000 В. При разработке комплекса применены способы формирования испытательных сигналов напряжения и тока, которые обеспечивают выполнение требований стандартов [1] и публикации МЭК 147-2.

Комплекс «АДИП» состоит из устройств для измерения статических параметров СПП в закрытом (обратном) и в открытом состоянии, динамических параметров СТ при включении, а также параметров цепи управления СТ. На рис. 1 приведена фотография одного из вариантов конструктивного исполнения комплекса «АДИП». На рис. 2 приведена фотография одного из вариантов устройства «АДИП-2». Комплекс включает более пяти устройств.



Рис. 1



Рис. 2

Устройство «АДИП-1» применяется для измерения статических параметров в закрытом и обратном состояниях всех типов СПП. Устройство позволяет измерять токи $I_{DRM(RRM)}$ СПП в пределах от 100 мкА до 100 мА и определять класс СПП по напряжению в пределах от 3 до 60 В. Устройство снабжено двумя цепями быстродействующей защиты СТ от пробоя со временем срабатывания не более 1 мкс.

Устройство «АДИП-2» предназначено для измерения импульсных напряжений $U_{TM(FM)}$ всех современных типов СТ и СД. Устройство позволяет формировать через СПП испытательные импульсы тока в открытом (прямом) состоянии с амплитудой $I_{TM(FM)}$ в пределах от 10 А до 15 кА длительностью 1–5 мс и измерять напряжение $U_{TM(FM)}$ в пределах 0,5–10 В.

Устройство «АДИП-3» применяется для измерения времени задержки t_{gd} и времени включения t_{gt} всех известных типов СТ в пределах 0,5–30 мкс.

Устройство «АДИП-4» служит для измерения параметров цепи управления СТ: отпирающего тока I_{GT} в пределах 10–1000 мА и отпирающего напряжения U_{GT} в пределах 0,5–10 В.

Устройство «АДИП-5» необходимо для измерения заряда обратного восстановления Q_{rr} и времени обратного восстановления t_{rr} СПП.

Все приборы серии «АДИП» обладают цифровой индикацией измеряемых параметров, просты в обращении и имеют малые габариты и массу.

Обеспечение входного контроля параметров СПП

Входной контроль должен осуществляться по критериям годности [1]. Для этого необходимо применять устройства «АДИП-1», «АДИП-2» и «АДИП-4».

Обеспечение диагностики СПП при изготовлении преобразователей

В преобразовательных установках большой мощности, используемых в промышленности и на электрическом транспорте, применяется групповое соединение силовых полупроводниковых приборов (СПП). Наиболее эффективным способом, обеспечивающим равномерную загрузку СПП в статических и динамических режимах их работы, является подбор этих приборов с минимальным разбросом определенных параметров. Потребность в подборе существует не только на этапе изготовления преобразовательных установок, но и в процессе их эксплуатации и доводки.

Низкочастотные преобразователи с групповым соединением СПП

При последовательном соединении СПП для более равномерного распределения напряжений необходимо осуществлять подбор СПП по значениям токов $I_{DRM(RRM)}$. Их величины должны быть одного порядка при за-

данном напряжении класса в холодном состоянии. В противном случае невозможно добиться хорошего распределения напряжений между двумя СПП. Перед такой операцией следует устранить возможность появления токов утечек по поверхности СПП.

Более точный результат подбора двух идентичных приборов по характеристикам низкой проводимости может дать их нагрев до рабочей температуры преобразователя. Токи через прибор могут в этом случае существенно возрасти, что подтверждается результатами измерения тока через параллельные типа, приведенными в таблице.

Измерение токов $I_{DRM(RRM)}$ может быть осуществлено с помощью прибора «АДИП-1». В инструкции по эксплуатации прибора представлена методика подбора СПП для последовательного соединения.

В случае параллельного соединения СПП возникает проблема равномерного распределения тока между ними. Если в преобразователе не предусмотрены принудительные меры распределения тока через параллельные ветви, то вследствие разброса вольт-амперных характеристик СПП токи в ветвях могут различаться на 20–50%. В этом случае единственным решением проблемы является подбор СПП по импульсным напряжениям $U_{TM(FM)}$. Желательно, чтобы разброс значений $U_{TM(FM)}$ не превышал 0,02 В. Такая операция для СПП любых типов может быть осуществлена с помощью устройства «АДИП-2». Результаты подбора могут быть достоверными только при обеспечении необходимого усилия сжатия специальными прессами для СПП прижимной конструкции. Численное значение усилия сжатия регламентируется техническими условиями завода-изготовителя СПП.

Высокочастотные преобразователи с групповым соединением СПП

Для обеспечения надежности высокочастотных преобразователей с последовательным соединением СТ в ряде случаев подбор по токам в состоянии низкой проводимости оказывается недостаточным. При включении последовательной цепи СТ в преобразователе при одновременной подаче управляющих импульсов первым включается тиристор с малым временем задержки. Остальные оказываются под воздействием дополнительного импульса напряжения с повышенным значением скорости нарастания du/dt , которое может быть снижено с помощью параллельных демпфирующих RC-цепей. Однако более эффективный способ заключается в подборе СТ с близкими по значениям времени задержки включения с помощью аппаратуры «АДИП-3». С помощью этого устройства возможно также оценить время включения тиристора, величина которого может характеризовать коммутационные электрические потери в СТ при включении с повышенными значениями скорости нарастания di_T/dt в открытом состоянии.

При выключении последовательной цепи СТ распределение напряжений между закры-

Таблица

Тип СПП	Ток утечки или обратный ток при напряжении класса (мА)	
	Tj = 25 °C	Tj = 125 °C
Д161-320	0,25	12
Д171-400	0,5	28
ДЛ171-320	0,3	15
Д133-630	2,2	22
Д143-800	3	20
Д243-1000	1,5	28
ДЛ153-2000	2,4	18
Т161-160	0,5	8
Т161-200	0,8	6,5
Т171-250	0,12	15
Т132-320	2	8
Т253-800	4	25
Т353-1000	3	19

вающимися приборами в динамическом режиме может оказаться неравномерным, что связано с различным значением накопленного заряда. Тиристор, закрывшийся первым в последовательной цепи, оказывается под повышенным напряжением из-за протекания обратных токов других тиристортов. Длительность такого процесса тем выше, чем больше накопленный заряд Q_{rr} в тиристорной структуре. Ослабить это явление можно также включением параллельных демпфирующих RC-цепочек, но наиболее эффективный способ — подбор СТ по заряду обратного восстановления Q_{rr} на аппаратуре «АДИП-5».

В настоящее время устройства типа «АДИП» используются для контроля параметров СПП в московском, новосибирском и в самарском метрополитене, на Западно-Сибирской железной дороге, на Ижевском и Череповецком металлургических комбинатах, а также во Всероссийском научно-исследовательском институте электровозостроения, на Новочеркасском электровозостроительном заводе, в ЗАО «Протон-Электротекс» и других предприятиях России, эксплуатирующих электрические преобразователи на основе СПП.

Использование аппаратуры «АДИП» для технической диагностики параметров СПП позволяет объективно осуществлять подбор приборов на всех стадиях контроля и отбраковывать потенциально ненадежные приборы. Это обеспечивает уменьшение числа их отказов и повышение надежности преобразователей, что обуславливает повышение общего уровня качества преобразователей, а также сокращение сроков их доводки за счет уточнения критериев технической диагностики и требований к параметрам СПП.

Литература

- ГОСТ 24461 — 80 (СТ. СЭВ 1656 — 79). Приборы полупроводниковые силовые. Методы измерений и испытаний. М.: Издательство стандартов. 1981.