

## Результаты испытаний опытной партии “холодных” диодов для протонного ускорителя HERA<sup>1</sup>

О. Курнаев, В. Сычев, О. Веселов, Е. Суслов  
ГНЦ РФ Институт физики высоких энергий, Протвино, Россия  
Р. Бахер, К.Х. Месс  
ДЕЗИ, Гамбург

### Введение

В настоящее время на ускорителе HERA для защиты сверхпроводящих магнитов при переходе в нормальную фазу [1] используются диоды DS 1508 02A01, подключенные параллельно обмоткам сверхпроводящих магнитов. 422 диодные сборки (по два диода последовательно) используются для шунтирования дипольных магнитов и 224 диодные сборки (с одним диодом) — для квадрупольных магнитов. По причинам эксплуатационного характера решено изготовить дополнительно около 300 сборок. Поскольку вышеупомянутые диоды не выпускаются серийно, фирма ABB (Швейцария) представила на испытание вновь разработанные и близкие по параметрам к DS 1508 диоды. Опытная партия этих диодов в количестве 50 штук была подвергнута детальным испытаниям, включая испытания на перегрузку.

Кольцевой электромагнит протонного ускорителя HERA состоит из 422 дипольных магнитов и 224 квадрупольных магнитов. Все магниты соединены последовательно. Номинальный ток возбуждения составляет 5027 А. Система защиты от перехода сверхпроводящих электромагнитов в нормальную фазу основана на использовании поглощающих резисторов, нагревателей и шунтирующих диодов. При переходе магнита в нормальную фазу ток автоматически перехватывается диодом как только падение напряжения на магните превысит порог открытия диода. Защитные диоды смонтированы внутри гелиевого криостата для того, чтобы снизить сопротивление шунтирования и исключить токовые выводы из жидкого гелия на комнатную температуру. При обнаружении перехода какого-либо магнита в нормальную фазу выключается источник питания, включается нагреватель перешедшего магнита и затем размыкаются ключи, шунтирующие поглощающие резисторы, включенные последовательно в общую цепь питания. Постоянная времени спада тока составляет около 18 секунд. Через поврежденный магнит ток всей цепи не протекает. При этом в шунтирующем диоде выделяется около 200 кДж энергии.

### Конструкция диодной сборки

Конструкция диодной сборки [2] для дипольных магнитов показана на рис.1. Четыре изолированные шпильки (4) и две тарельчатые пружины (8) из бериллиевой бронзы прижимают медные блоки (10,11) к диодам (14). Центрирование прижимного усилия обеспечивается штифтами (7) и стальными блоками (9,18). Стеклотекстолитовые крышки (2) служат корпусной изоляцией для всей конструкции. Усилие

<sup>1</sup>Работа выполнена в рамках Соглашения ДЕЗИ-ИФВЭ

сжатия диодов должно быть в пределах 18-20 kN и достигается с помощью специального гидропресса с указателем усилия. Квадрупольные сборки отличаются наличием только одного диода и соответственно отсутствием центрального медного блока (11).

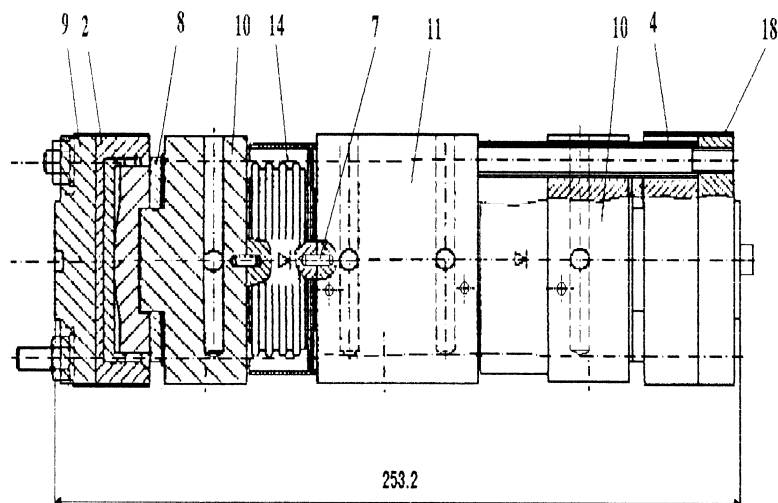


Рис. 1: Конструкция диодной сборки для дипольных магнитов.

### Процедура испытания диодных сборок

До погружения диодной сборки в испытательный криостат измеряются прямое падение напряжения и обратный ток каждого диода. Обратный ток должен составлять не более 0,5 мА при напряжении 300 В. После охлаждения диодной сборки до гелиевой температуры пропускается импульс тока амплитудой 800 А для проверки всей цепи и измерительной аппаратуры. После этого подается номинальный импульс тока нарастающий до 6400 А за время 0,3 сек и экспоненциально спадающий с постоянной времени 25 сек. Это испытание повторяется 10 раз с записью результатов каждого испытания.

Записываются следующие данные: кривая тока через диоды, температура медного блока, к которому прижаты диоды, падение напряжения на каждом диоде. После циклирования током в холодном состоянии вновь измеряется обратный ток диодов. Критерием годности принимается величина обратного тока не более 30 мА при напряжении 300 В для дипольных сборок и 100 В для квадрупольных сборок. Испытания на перегрузку заключаются в последовательном увеличении постоянной времени спада тока и последующей проверки диодов обратным напряжением, как указано выше.

### Результаты испытаний

После измерения обратной ветви характеристик диодов было смонтировано 25 дипольных сборок, которые затем были подвергнуты испытаниям по номинальному нагрузочному циклу. Типичные данные номинального цикла испытаний показаны на рис.2. Температура сборки в конце импульса тока не превышает 190 К. Падение напряжения в прямом направлении при гелиевой температуре на каждом диоде составляет в среднем 2,4 В в момент подачи тока и затем, по мере разогрева диода, спадает до величины менее 1 В. Несколько диодных сборок были подвергнуты перегрузочным

испытаниям. Постоянная времени спада тока увеличивалась последовательными шагами с 25 до 250 секунд.

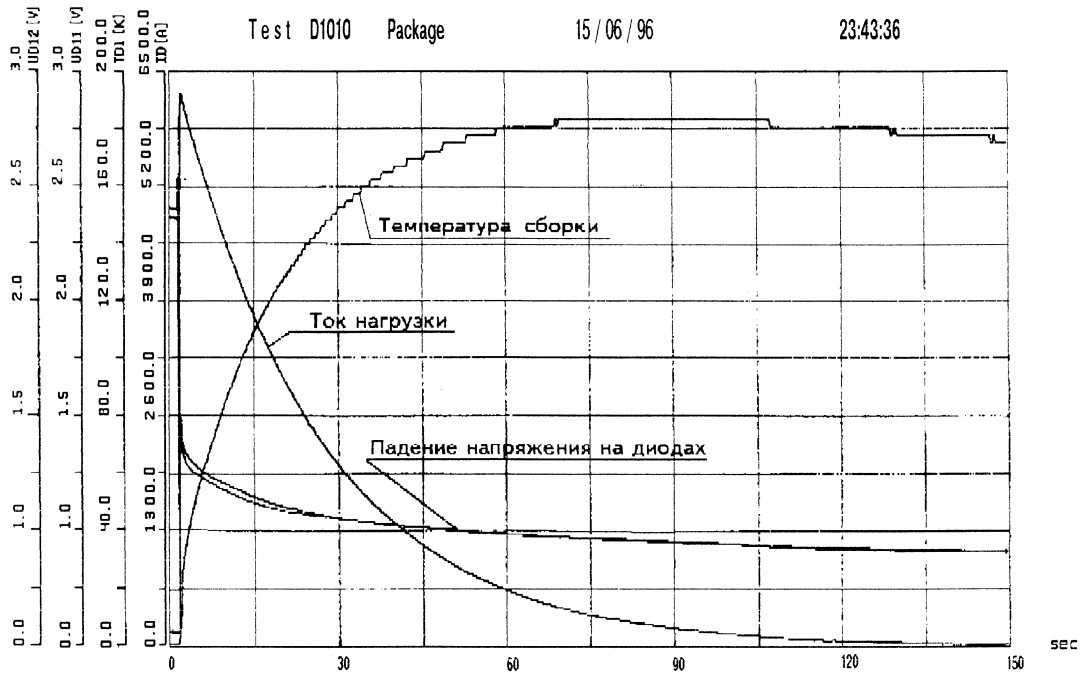


Рис. 2: Номинальный цикл испытания диодной сборки.

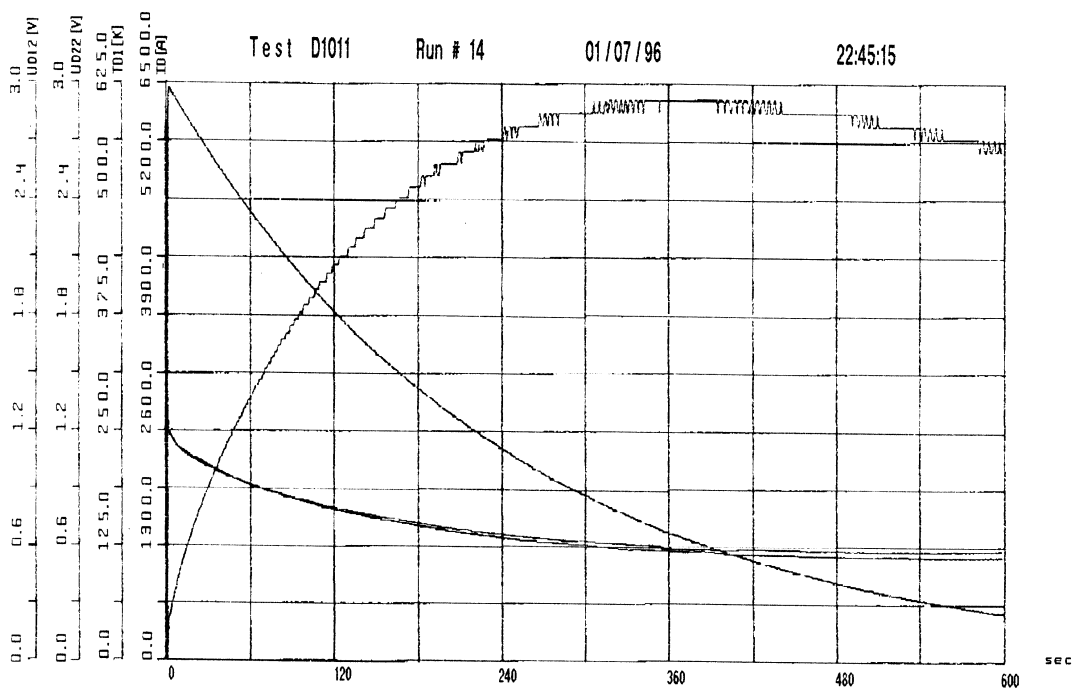


Рис. 3: Перегрузочный цикл испытания диодной сборки.

Данные перегрузочного цикла с постоянной времени спада тока 250 секунд представлены на рис.3. Температура сборки достигала при этом 600 К (327 °С), что тем не менее не приводило к повреждению диодов. Отличием новой партии диодов от применяемых ранее является более высокое значение обратных токов. Так у 50 % диодов ток при обратном напряжении 300 В превышал принятый ранее критерий отбора —  $I_{обр} < 0,5$  мА. С целью снижения количества отбракованных диодов этот порог был пересмотрен в сторону увеличения.

В реальных условиях работы на ускорителе допустимая величина обратного тока шунтирующих диодов ограничивается в основном двумя факторами: тепловыделением в гелий в режиме вывода энергии из кольцевого магнита и разбалансом датчика перехода магнита в нормальную фазу. С учетом этих факторов было установлено, что порог отбора диодов по обратному току может быть увеличен до 5 мА как в теплом, так и в холодном состоянии.

### **Список литературы**

- [1] К.Н.Месс. “Quench Protection for HERA”. Proceedings of the 1987 IEEE particle Accelerator Conference, Washington, 1474.
- [2] L.Z.Lin, К.Н.Месс, E.Schuld. “The Quench Protection Diodes for Superconducting Magnets for HERA.”