

сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
Дубна

941/84

13/11-84

9-83-762

Л.М.Барабанова, Л.С.Барабаш, В.А.Тимохин,
В.В.Чалышев, В.С.Швецов

ТИРИСТОРНЫЙ КОММУТАТОР
ДЛЯ СХЕМ ФОРМИРОВАНИЯ
ИМПУЛЬСНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

1983

ВВЕДЕНИЕ

Коммутатор тока в известных схемах формирования импульсных магнитных полей/1,2/ является одним из наиболее важных элементов, зачастую определяющим основные параметры и технико-экономические показатели установки.

Использование в качестве коммутаторов вентильных устройств, состоящих из современных тиристоров и диодов, соединенных в параллельно-последовательные блоки, позволяет успешно решать важную для физического эксперимента задачу - формирование магнитных полей со сложным временным и пространственным распределением. С помощью этих устройств выполняются также требования, налагаемые на коммутатор условиями современного эксперимента:

- высокое рабочее напряжение;
- большой импульсный ток;
- быстрое действие, долговечность, надежность;
- отсутствие термостабилизации, сведение до минимума ухода в период эксплуатации;
- возможность простого регулирования рабочего напряжения /импульсного тока/ в широких пределах;
- сведение до минимума временных нестабильностей и переходных процессов с целью обеспечения синхронной работы с электрофизической аппаратурой;
- экономичность, т.е. малые потери мощности на коммутаторе, небольшая потребляемая мощность в цепи управления;
- доступность автоматизации, например, работа на линии с ЭВМ;
- произвольное расположение коммутатора в пространстве и др.

К настоящему времени накоплен большой опыт создания коммутаторов, отвечающих большинству перечисленных выше требований/3,4/.

В данной работе описываются принцип построения, конструктивные особенности и основные параметры разработанного в ОНМУ коммутатора для схем формирования импульсных магнитных полей безжелезными магнитами компрессора электронно-ионных колец.

1. ПРИНЦИП ПОСТРОЕНИЯ

В основу принципа построения тиристорного /или диодного/ коммутатора на базе тиристоров обычного /таблеточного/ исполнения типа Т-500 /В-500/ положена модульная система, позволяющая достаточно просто скомпоновать коммутатор требуемых рабочих параметров - напряжения, тока, частоты срабатывания.

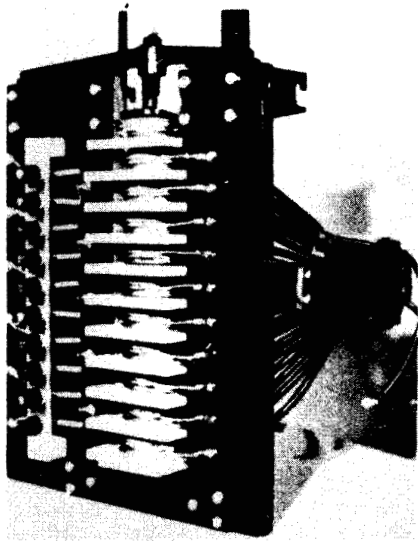


Рис. 1

Модуль /рис.1/ представляет собой конструктивную группу, состоящую из десяти силовых полупроводниковых приборов - тиристоров или диодов с системами обеспечения прижимного усилия, охлаждения, запуска, контроля, защиты, узлами подключения и установочными элементами.

Три модуля объединяются в блок и монтируются в каркасе стандартной стойки "Вишня". Из блоков, при их параллельно-последовательном соединении, составляется коммутатор. Количество блоков в одном коммутаторе определяется конкретными условиями их работы. Пример компоновки коммутаторов приведен на рис.2 /лицевая сторона/ и рис.3 /тыльная сторона/, где видна ошиновка коммутаторов/.

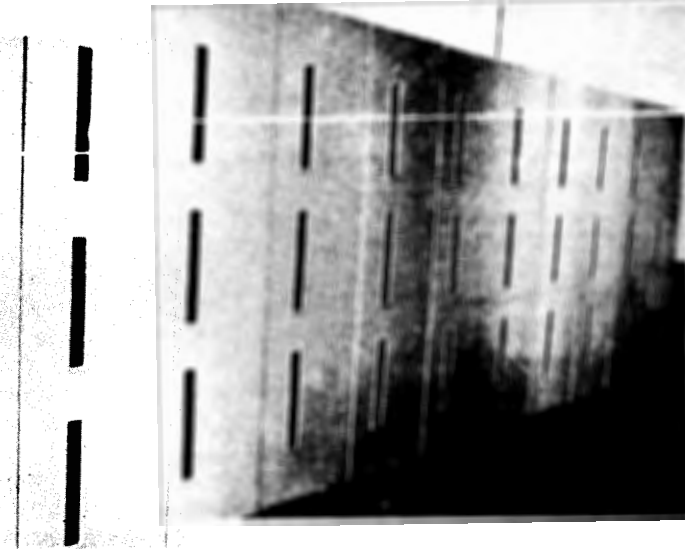


Рис. 2

Конструкция модуля позволяет использовать любые типы силовых тиристоров или диодов таблеточного исполнения без дополнительной наладки. Важным преимуществом конструкции в условиях высоких напряжений является ее симметрия относительно анода и катода коммутатора.

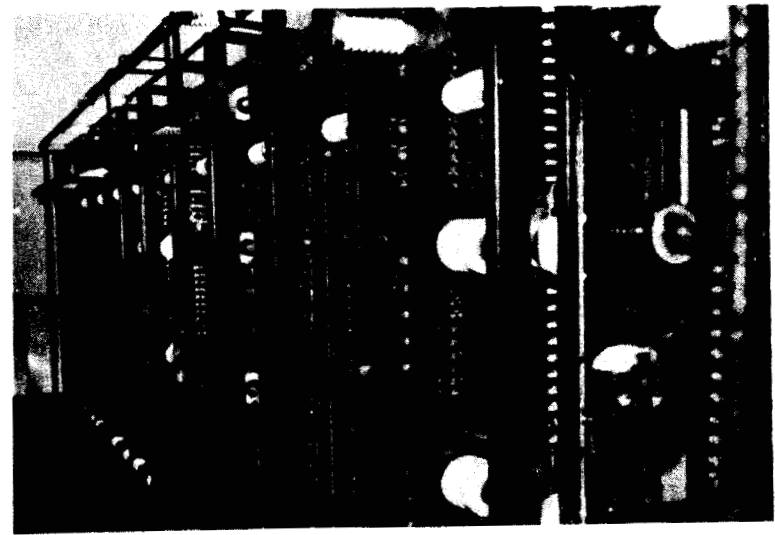


Рис. 3

2. ПРИНЦИПАЛЬНАЯ СХЕМА

Поскольку основной компоновочной единицей коммутатора является модуль, рассмотрим его принципиальную схему /рис.4/, где: $T_1 \div T_{10}$ - тиристоры, $B_1 \div B_{10}$ - симметричные ограничители напряжения, $R_1 \div R_{10}$ - выравнивающие сопротивления, $\Lambda_1 \div \Lambda_{10}$ - элементы световой индикации, Тр. - импульсный трансформатор запуска тиристоров.

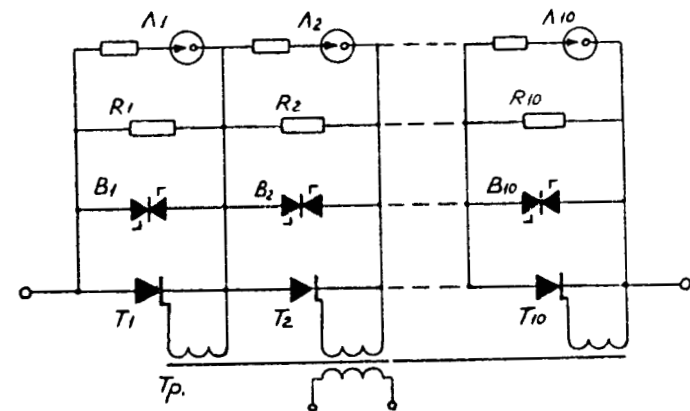


Рис. 4

Коммутатор, составленный из таких модулей, может содержать от десятков до сотен вентилях и должен функционировать как единое целое. Это основное требование выполняется в первую очередь индивидуальным подбором вентилях по их параметрам, а также схемным путем, т.е. введением в схему коммутатора дополнительных элементов, обеспечивающих тождественность тех или иных параметров.

Для силовых диодов и тиристоров параметры подразделяются на несколько групп: по напряжению, току, сопротивлению, мощности потерь, коммутационным явлениям; температурные и тепловые. В соответствии со стандартами СЭВ силовой диод характеризуется пятнадцатью основными параметрами, силовой тиристор - двадцатью восемью. Очевидно, что создать составной коммутатор из элементов, тождественных по всем параметрам, невозможно. Задача существенно облегчается тем, что основные параметры вентилях тесно взаимосвязаны между собой и зависят от условий и режимов работы.

Стабилизация напряжения на отдельных тиристорах в импульсном режиме /процесс открывания-закрывания/ и их защита от коммутационных перенапряжений осуществляются симметричными ограничителями напряжения. Класс по напряжению ограничителей должен быть ниже или равен классу по напряжению соответствующих тиристоров.

Для оценки влияния на параметры схем питания исследовались некоторые характеристики ограничителей 12-го класса по напряжению. Схема замещения прибора при напряжениях, меньших напряжения лавинообразования, приведена на рис.5. где: $R_{ут}$ - сопротивление утечки прибора, C_d - динамическая емкость, R_d - динамическое сопротивление.

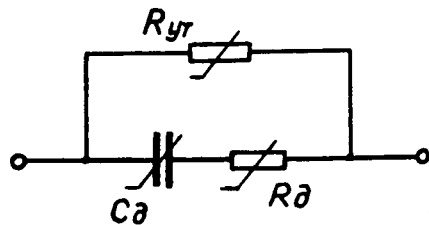


Рис.5

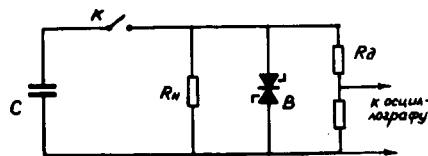


Рис.6

При напряжении 1 кВ сопротивление утечки составляет $R_{ут} \approx 10 \text{ МОм}$; $C_d \approx 10^3 \text{ пФ}$ и $R_d \approx 5 \cdot 10^2 \text{ Ом}$. Импульсные испытания в режиме лавинообразования проводились при напряжении, в два раза превышающем класс прибора по схеме, приведенной на рис.6 / $C = 4700 \text{ пФ}$; $R_H = 1 \cdot 10^3 \text{ Ом}$ /. Осциллограммы напряжений на нагрузке без ограничителя /кривая 1/ и с ним /кривая 2/ приведены на рис.7.

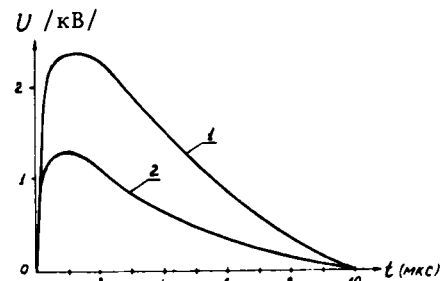


Рис.7

Амплитудное значение тока, протекающего через прибор, достигало 250 А; коммутруемая энергия при длительности импульса тока $T_{и} \approx 10 \text{ мкс}$ составляла 6 Дж.

Характеристики импульса в режиме лавинного пробоя - форма напряжения /рис.7, кривая 2/, длительность, амплитудное значение тока - соответствуют условиям работы этих приборов при защите тиристоров от коммутационных перенапряжений в рабочих схемах питания.

В статическом режиме выравнивание напряжения на элементах модуля осуществляется активными сопротивлениями $R_1 \approx R_{10}$ /рис.4/ типа ТВО-20/5/.

Визуальная индикация состояния тиристоров и симметричных ограничителей напряжения в рабочем режиме осуществляется по свечению неоновых лампочек Л1 ÷ Л10, включенных параллельно полупроводниковым приборам. Уменьшение яркости свечения лампочек свидетельствует об уменьшении сопротивления полупроводниковых элементов, отсутствие свечения - о выходе их из строя. Блоки коммутаторов комплектуются тиристорами преимущественно 20 класса по напряжению и диодами 20 ÷ 28 класса. Запас надежности по напряжению составляет соответственно, для тиристорных коммутаторов 2, для диодных - /2 ÷ 2,8/ при рабочем напряжении 30 кВ. Основные параметры одного блока тиристорного коммутатора приведены в таблице.

Таблица

1	Рабочее напряжение /кВ/	30
2	Амплитудное значение тока /кА/	6
3	Длительность импульса тока /мс/	1,2 ÷ 2,8
4	Частота срабатывания /Гц/	0,1 ÷ 50
5	Интервал регулирования по напряжению /кВ/	1,5 ÷ 30
6	Масса блока /кг/	80
7	Охлаждение - при частоте срабатывания больше 0,1 Гц	водяное

Примечание: длительность импульса тока в схеме первой ступени - 12 мс при токе 2,5 кА.

На частотах срабатывания 10; 20; 50 Гц коммутаторы эксплуатировались в режиме чередования рабочего цикла /1 ÷ 5/ · 10⁴ им-

пульсов и паузы /15±20/ мин; количество срабатывания на этих частотах при испытаниях составило 10^7 импульсов.

3. КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ

Все элементы модуля монтируются на стеклотекстолитовой плате размерами 45×36×2 см. Необходимое прижимное усилие вентиля к радиаторам осуществляется винтовой парой: траверс - шарнирный упор. Применение шарнирного упора способствует равномерному распределению прижимного усилия по площади таблеток вентиля.

Теплоотвод от вентиля осуществляется радиаторами водяного охлаждения специальной конструкции, где предусмотрены элементы юстировки радиаторов относительно платы и вентиля относительно радиаторов. На радиаторах имеются установочные кронштейны для монтажа ограничителей напряжения. Сигнальные лампочки расположены на лицевой стороне платы; импульсный трансформатор запуска тиристоров, шланги системы водяного охлаждения, ограничители напряжения и выравнивающие резисторы - на тыльной стороне.

Модули устанавливаются и фиксируются в каркасе стойки "Вишня" на высоковольтных изоляторах при помощи кронштейнов с фигурными пазами.

Основные преимущества данной конструкции:

- большая мощность коммутатора, достигаемая эффективным двусторонним охлаждением вентиля как со стороны анода, так и катода;

- компактность и простота в изготовлении;
- технологичность в производстве.

4. СХЕМА УПРАВЛЕНИЯ КОММУТАТОРАМИ

Требования к схеме управления составными тиристорными коммутаторами сводятся к учету следующих обстоятельств/6/:

1/ Скорость нарастания тока управляющего импульса должна быть достаточно высокой ($dJ_{\text{зап.}}/dt$). В противном случае возникают расхождения в моментах включения отдельных тиристоров и, как следствие этого, перенапряжения на них и выход из строя.

2/ Длительность импульса запуска должна быть достаточной для одновременного включения всех тиристоров коммутатора.

3/ Амплитудное значение тока импульса запуска должно быть выше номинального паспортного значения для обеспечения синхронного срабатывания тиристоров.

Схема блока запуска, применяемая в системе импульсного питания катушек компрессора ускорителя тяжелых ионов, показана на рис.8.

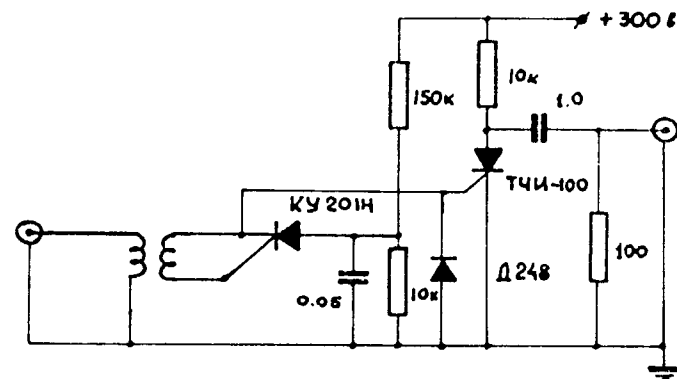
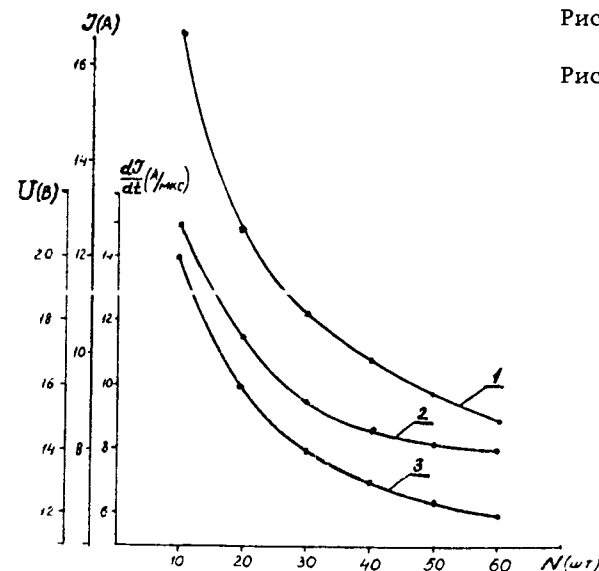


Рис. 8

Рис. 9



На рис.9 приведены нагрузочные характеристики блока запуска, выполненного по этой схеме. Кривая 1 - зависимость амплитуды тока импульса запуска от числа тиристоров в коммутаторе N; кривая 2 - зависимость $dJ_{\text{зап.}}/dt$ от N; кривая 3 - зависимость амплитуды напряжения импульса запуска от N.

Видно, что схема удовлетворяет всем перечисленным требованиям, если одним блоком запуска управляются одновременно не более 60 тиристоров; время открывания тиристоров типа Т-500/6/ составляет при этом не более 1,5 мкс.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Тиристорные /диодные/ коммутаторы, разработанные в Отделе новых методов ускорения и изготовленные Опытным производством ОИЯИ для схем питания импульсных катушек компрессора электронно-ионных колец и соленоида ведущего поля ускоряющей секции, к настоящему времени эксплуатируются более семи лет; их отличают высокие эксплуатационные качества и соответствие тем высоким требованиям, которые сформулированы во введении к данной работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дашук П.Н. Техника больших импульсных токов и магнитных полей. /Под ред. В.С.Комелькова/. Атомиздат, М., 1970.
2. Ситник Н.Х., Шурупов Г.Н. Силовые кремниевые вентильные блоки. "Энергия", М., 1972.
3. Гельцель М.Ю. и др. Разработка систем питания для магнитных импульсных безжелезных ускорителей. Труды Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Москва, 9-16 октября 1968 г. ВИНТИ, М., 1970, т.1.
4. Praeg Walter F. IEEE Trans. Nucl. Sci., 1971, vol.18, No.3, p.871.
5. Барабаш Л.С. и др. ОИЯИ, Р9-7773, Дубна, 1974.
6. Вишневский А.И. и др. Силовые ионные и полупроводниковые приборы. "Высшая школа", М., 1975.

Рукопись поступила в издательский отдел
14 ноября 1983 года.

Барабанова Л.М. и др.

9-83-762

Тиристорный коммутатор для схем формирования импульсных магнитных полей

Описывается принцип построения, конструктивные особенности и основные параметры тиристорного /диодного/ коммутатора для схем формирования импульсных магнитных полей безжелезными магнитами. Приведены данные по схеме блока управления коммутатором.

Работа выполнена в Отделе новых методов ускорения ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1983

Barabanova L.M. et al.

9-83-762

Thyristor Commutator for Schemes of Formation of Impulse Magnetic Fields

The principle of design and constructive peculiarities and the main parameters of thyristor (diode) commutator for schemes of formation of impulse magnetic fields by non-iron magnets is described. The data on the scheme of monitor unit of the commutator are given.

The investigation has been performed at the Department of New Acceleration Methods, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1983

Перевод О.С.Виноградовой