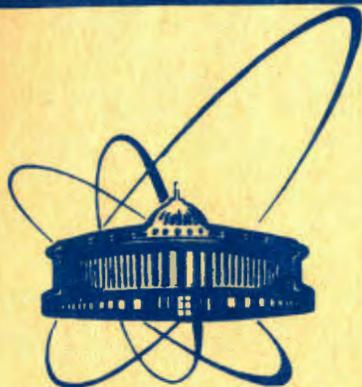


9/IV-84



сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

1797/84

9-84-2

В. А. Тимохин

ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ РАБОТА
ТИРИСТОРНЫХ КОММУТАТОРОВ
НА ИНДУКТИВНУЮ НАГРУЗКУ

1984

ВВЕДЕНИЕ

Схемы импульсного питания катушек четвертой ступени компрессора и соленоидов предварительного ускорения электронно-ионных колец содержат несколько тиристорных коммутаторов, каждый из которых коммутирует часть конденсаторной батареи на нагрузку^{1/}, либо всю батарею на соответствующие части нагрузки, то есть имеет место параллельная работа коммутаторов.

Поскольку существует разброс по времени открывания тиристор-ов даже в пределах одной классификационной группы по этому параметру, то всегда реально существует такой разброс в составных коммутаторах. Если один из коммутаторов открывается несколько раньше других, то разность потенциалов на них резко уменьшается на величину падения напряжения на сопротивлении нагрузки, и условия открывания закрытых коммутаторов ухудшаются. Увеличивается разброс по времени открывания, который, как известно, зависит от величины приложенного в прямом направлении напряжения. Неодновременная коммутация составных частей накопительной батареи может привести к недопустимым изменениям формы тока в нагрузке и некоторых характеристик формируемого магнитного поля. Для обеспечения процесса синхронного открывания коммутаторов при их параллельном включении необходимо создавать такие условия, чтобы после открывания коммутатора в одной из параллельных ветвей напряжение на остальных неоткрывшихся коммутаторах оставалось некоторое время неизменным или изменялось сравнительно медленно. Такие условия можно осуществить при использовании кабеля в качестве линии задержки. В этом случае при открывании одного или нескольких коммутаторов напряжение на других изменится только по прошествии промежутка времени, необходимого для распространения электромагнитной волны по кабелю от открывшегося коммутатора до находящихся в закрытом состоянии. За этот промежуток времени закрытые коммутаторы должны успеть открыться. В схемах импульсного питания^{2/} связь коммутаторов и нагрузки осуществляется кабелем типа КПВ 1/75 длиной $80 \div 100$ м, который одновременно выполняет функцию линии задержки и частично способствует синхронизации. Увеличение длины отрезков силового кабеля для обеспечения гарантированной синхронизации нецелесообразно из экономических и энергетических соображений.

В работе рассматривается способ задержки изменения напряжения на коммутаторах, находящихся в закрытом состоянии, который основан на шунтировании их вспомогательными конденсаторами и использовании небольших дросселей насыщения.

АНАЛИЗ СХЕМЫ

Схема замещения для импульсного питания катушек четвертой ступени приведена на рис. 1, где $C_{01}, C_{02}, L_{01}, L_{02}$ - емкости и эквивалентные индуктивности секций конденсаторов накопительной батареи; L_{T1}, L_{T2} - индуктивности коммутаторов; L_H - индуктивность нагрузки; C_1, C_2, L_1, L_2 - емкости и индуктивности шунтирующих конденсаторов. Емкости C_{01} и C_1 предварительно заряжены до напряжения U_{01} , C_{02} и C_2 - до напряжения U_{02} . Анализ схемы проводился по методике, предложенной в [3, 4]:

Влияние величины нагрузки на процесс синхронизации работы коммутаторов при открывании одного из них, например T_1 в момент времени $t = 0$, оценивается по относительному изменению напряжения на закрытом коммутаторе T_2 :

$$\frac{\Delta U_{T2}}{U_{02}} = \frac{U_{01}}{U_{02}} \cdot \frac{L_2}{L_{T1} + L_{01} + L_{02} + L_2 + \frac{L_{T1}}{L_1} (L_{01} + L_{02} + L_2) + \frac{L_2 + L_{02}}{L_H} (L_{T1} + L_{01} + \frac{L_{T1} L_{01}}{L_1})} \quad /2/$$

$$\Delta U_{T2} = U_{02} - U_{T2}$$

Напряжение распределяется пропорционально индуктивностям; поэтому величина индуктивности нагрузки может оказать существенное влияние на условия работы коммутаторов. Чем меньше индуктивность нагрузки по сравнению с собственной индуктивностью контуров, тем меньше изменение напряжения на закрытом коммутаторе и лучше условия синхронной работы. В схемах питания катушек компрессора индуктивности нагрузок значительно больше собственной индуктивности контуров.

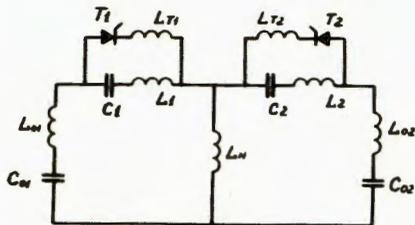
При $L_H \rightarrow \infty$ изменение напряжения на закрытом коммутаторе составит

$$\frac{\Delta U_{T2}}{U_{02}} = \frac{U_{01}}{U_{02}} \cdot \frac{L_2}{L_{T1} + L_{01} + L_{02} + L_2 + L_{T1}/L_1 (L_{01} + L_{02} + L_2)} \quad /2/$$

Если условия синхронизации будут выполняться при $L_H \rightarrow \infty$, то при конечной величине L_H эти условия улучшатся. Схема для анализа условий работы коммутаторов упрощается, если предположить отсутствие нагрузки ($L_H \rightarrow \infty$).

Относительное изменение напряжения на закрытом коммутаторе T_2 для любого момента времени определяется выражением [3]:

Рис. 1



$$\frac{\Delta U_{T2}}{U_0} = \frac{U_0 - U_{T2}}{U_0} = \frac{L_1 C_1 L_2 C_2}{a} \left[1 + \frac{t^2}{2} \left(\frac{1}{L_2 C_2} + \frac{1}{L_1 C_1} - \frac{\beta}{a} \right) \right], \quad /3/$$

где

$$a = (L_3 L_1 + L_{T1} L_1 + L_{T1} L_3) C_3 C_1; \quad L_3 = L_{01} + L_{02} + L_2;$$

$$\beta = L_3 C_3 + L_1 C_1 + L_{T1} C_1 + L_{T1} C_3; \quad C_3 = \frac{C_{01} C_{02} C_2}{C_{01} C_{02} + C_{01} C_2 + C_{02} C_2}$$

$$\text{при } U_{01} = U_{02} = U_0; \quad C_3 \approx C_2.$$

В случае произвольного числа идентичных параллельных ветвей это изменение имеет следующий вид [4]:

$$\frac{\Delta U_T}{U_0} = \frac{n_1}{n} \cdot \frac{1}{L_T + \frac{n_1}{n} L + L_0 \left(1 + \frac{L_T}{L} \right)} \cdot \left[L + \frac{t^2}{2C} \cdot \frac{L_0 \left(1 + 2 \frac{L_T}{L} \right) + L_T}{L_T + \frac{n_1}{n} L + L_0 \left(1 + \frac{L_T}{L} \right)} \right], \quad /4/$$

где n - общее число коммутаторов в ветвях; n_1 - число одновременно открывшихся коммутаторов; $L_1 = L_2 = \dots = L$; $L_{T1} = L_{T2} = \dots = L_T$; $L_{01} = L_{02} = \dots = L_0$; $C_1 = C_2 = \dots = C$.

Из [4] следует, что с ростом числа открывшихся коммутаторов относительное изменение напряжения на неоткрывшихся коммутаторах возрастает. При больших n и $n_1/n \rightarrow 1$ в наихудших условиях по открыванию оказывается последний неоткрывшийся коммутатор. Уменьшить относительное изменение напряжения на закрытых коммутаторах можно в результате:

- 1/ увеличения индуктивности секций конденсаторных батарей L_0 ;
- 2/ увеличения индуктивности коммутаторов L_T ;
- 3/ уменьшения индуктивности шунтирующих конденсаторов.

Для схем питания компрессора наиболее подходящим является увеличение индуктивности коммутаторов L_T , так как для уменьшения скорости нарастания тока разряда шунтирующей емкости, протекающего через открывающийся коммутатор, в их общую цепь последовательно с коммутатором включается ограничивающий дроссель насыщения с характерным временем $t_{нас.} = 1$ мкс. Индуктивность дросселя до входа в состояние насыщения $L_{др.} \approx 0,5 \cdot 10^{-8}$ Гн, а в насыщенном состоянии $L_{др. нас.} \approx 10 \cdot 10^{-6}$ Гн.

Тогда до момента насыщения дросселя $L_T + L_{др.} = L_{T1} \gg L_0, L$ и выражение [4] примет вид

$$\frac{\Delta U_{T1}}{U_0} = \frac{n_1}{n} \cdot \frac{1}{L_{T1} \left(1 + L_0/L \right)} \cdot \left[L + \frac{t^2}{2C} \cdot \frac{1 + 2L_0/L}{1 + L_0/L} \right], \quad /5/$$

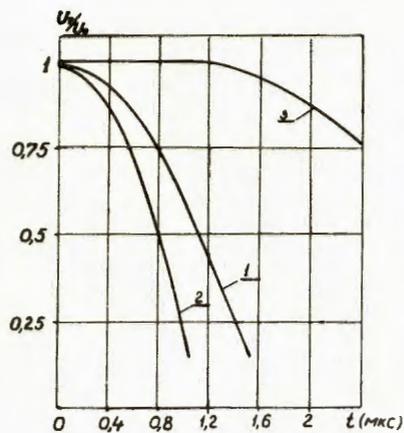


Рис. 2

а после насыщения вид /4/ сохраняется, но в L_T надо учитывать вклад от $L_{др.нас.}$

Расчетные зависимости изменения напряжения на неоткрытых коммутаторах, полученные на основании /4/ при $L_{др.} = 0$ и /5/ с учетом индуктивности дросселя для различных значений C при $n_1/n = 4/5$, приведены на рис.2.

Кривая 1 построена для $n_1/n = 4/5$, $C = 0,1 \cdot 10^{-6}$ ф, $L_{др.} = 0$; 2 - для $n_1/n = 4/5$, $C = 0,05 \cdot 10^{-6}$ ф, $L_{др.} = 0$; 3 - для $n_1/n = 4/5$, $C = 0,05 \cdot 10^{-6}$ ф, $L_{др.} = 0,5 \cdot 10^{-8}$ Гн при $0 \leq t \leq 1$ мкс и $L_{др.} = 10 \cdot 10^{-8}$ Гн при $t > 1$ мкс.

Индуктивность коммутатора определялась экспериментально; она равна $L_T \approx 1,2 \cdot 10^{-6}$ Гн. Значение индуктивности секций накопительных конденсаторов $L_0 = 2,5 \cdot 10^{-6}$ Гн получено расчетным путем на основании паспортных данных конденсаторов типа ИС5-200 /6/ с учетом схемы их включения. В качестве шунтирующих при расчете и опытной проверке выбраны конденсаторы типа ИМН100-0,1 /паспортное значение их индуктивности $L = 0,22 \cdot 10^{-6}$ Гн/ и конденсаторы генераторов импульсного напряжения ГИН-400 /6/.

Для проверки возможности параллельной работы коммутаторов в схеме с принятыми параметрами достаточно убедиться в возможности открывания последнего коммутатора, находящегося в наихудших условиях.

На рис.3 приведена осциллограмма переходного процесса включения тиристорного коммутатора, разработанного для схем формирования импульсных магнитных полей компрессора электронно-ионных колец /5/. Она представляет собой зависимость изменения напряжения на коммутаторе от времени при заданных параметрах схемы /1/; начальное напряжение $U_0 = 28 \cdot 10^3$ В, развертка по горизонтали $0,2 \cdot 10^{-6}$ с/деление.

На рис.4 совмещены характеристика переходного процесса, представленного на рис.3, - кривая 1 и кривые изменения напряжения на последнем коммутаторе /рис.2/. Поскольку длительность этапа задержки характеристики переходного процесса включения коммутатора ($0 \leq t \leq t_{зад.}$) практически постоянна для всех коммутаторов при фиксированных режимах системы питания и параметрах запускающих импульсов /5/, а напряжение, приложенное к коммутаторам в течение этого промежутка времени, также практически не меняется, анализ параллельной работы коммутаторов проводится без учета этапа задержки. Неизменным сохраняется в течение этого этапа и напряжение на шунтирующих конденсаторах. Поэтому для кривых

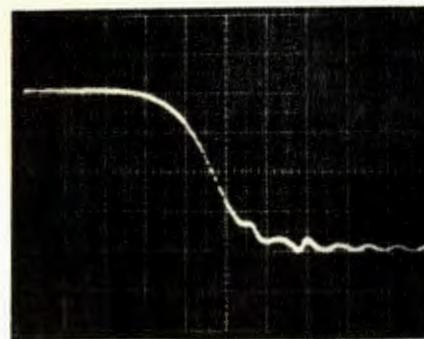


Рис. 3

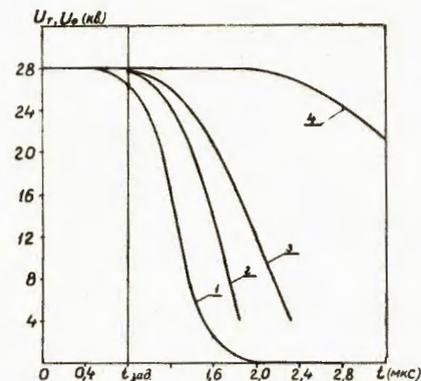


Рис. 4

2, 3, 4, полученных расчетным путем, момент времени $t = 0$ совмещен на рис.4 с моментом окончания этапа задержки $t_{зад.}$ При иных обстоятельствах, не оговоренных выше, этап задержки переходной характеристики включения коммутатора необходимо учитывать. Если кривые изменения напряжения на неоткрытых коммутаторах проходят правее и выше переходной характеристики - они находятся в благоприятных условиях для открывания и параллельной работы. Область левее и ниже кривой 1 на рис. 4 - область неблагоприятных условий.

Величину шунтирующих емкостей при заданном числе параллельно включенных коммутаторов нужно выбирать так, чтобы кривая изменения напряжения на последнем закрытом коммутаторе располагалась справа от кривой 1, характеризующей переходный процесс включения

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Возможность синхронизации параллельно включенных тиристорных коммутаторов при шунтировании их емкостями и применении дросселей насыщения с малыми характерными временами проверена на системе импульсного питания катушек компрессора коллективного ускорителя. Разброс по времени открывания коммутаторов не превышал 1,5 мкс.

Таким образом, шунтирующие конденсаторы, величина емкости которых выбирается по методике, разработанной для схем с искровыми разрядниками /3,4/ при совместной работе с небольшими дросселями насыщения, обеспечивают гарантированную синхронизацию параллельно включенных тиристорных коммутаторов.

При этом повышается надежность схем питания и увеличивается срок службы тиристорных коммутаторов, так как удается избежать их перегрузок ударными токами. Обеспечивается стабильность

амплитуды и формы тока в нагрузке, формирующей импульсное магнитное поле.

ЛИТЕРАТУРА

1. Барабаш Л.С. и др. ОИЯИ, 9-83-772, Дубна, 1983.
2. Барабаш Л.С. и др. ОИЯИ, Р9-8759, Дубна, 1975.
3. Кичаева Г.С., Шкуропат П.И. Известия вузов. Энергетика, 1961, №2, с. 34.
4. Дашук П.Н. и др. Техника больших импульсных токов и магнитных полей. Атомиздат, М., 1970.
5. Барабанова Л.М. и др. ОИЯИ, 9-83-762, Дубна, 1983.
6. Электротехнический справочник. /под общ. ред. Грудинского П.Г. и др./, "Энергия", М., 1974, т. 1, с. 371.

Рукопись поступила в издательский отдел
9 января 1984 года.

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

	Труды VI Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1978 /2 тома/	7 р. 40 к.
	Труды VII Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 1980 /2 тома/	8 р. 00 к.
Д11-80-13	Труды рабочего совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике, Дубна, 1979	3 р. 50 к.
Д4-80-271	Труды Международной конференции по проблемам нескольких тел в ядерной физике. Дубна, 1979.	3 р. 00 к.
Д4-80-385	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1980.	5 р. 00 к.
Д2-81-543	Труды VI Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1981	2 р. 50 к.
Д10,11-81-622	Труды Международного совещания по проблемам математического моделирования в ядерно-физических исследованиях. Дубна, 1980	2 р. 50 к.
Д1,2-81-728	Труды VI Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 60 к.
Д17-81-758	Труды II Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1981.	5 р. 40 к.
Д1,2-82-27	Труды Международного симпозиума по поляризационным явлениям в физике высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 20 к.
Р18-82-117	Труды IV совещания по использованию новых ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач. Дубна, 1981.	3 р. 80 к.
Д2-82-568	Труды совещания по исследованиям в области релятивистской ядерной физики. Дубна, 1982.	1 р. 75 к.
Д9-82-664	Труды совещания по коллективным методам ускорения. Дубна, 1982.	3 р. 30 к.
Д3,4-82-704	Труды IV Международной школы по нейтронной физике. Дубна, 1982.	5 р. 00 к.
Д2,4-83-179	Труды XV Международной школы молодых ученых по физике высоких энергий. Дубна, 1982.	4 р. 80 к.
	Труды УШ Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Протвино, 1982 /2 тома/	11 р. 40 к.
Д11-83-511	Труды совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1982.	2 р. 50 к.
Д7-83-644	Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Алушта, 1983.	6 р. 55 к.
Д2,13-83-689	Труды рабочего совещания по проблемам излучения и детектирования гравитационных волн. Дубна, 1983.	2 р. 00 к.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу:
101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79
Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований

**ТЕМАТИЧЕСКИЕ КАТЕГОРИИ ПУБЛИКАЦИЙ
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ**

Индекс	Тематика
1.	Экспериментальная физика высоких энергий
2.	Теоретическая физика высоких энергий
3.	Экспериментальная нейтронная физика
4.	Теоретическая физика низких энергий
5.	Математика
6.	Ядерная спектроскопия и радиохимия
7.	Физика тяжелых ионов
8.	Криогеника
9.	Ускорители
10.	Автоматизация обработки экспериментальных данных
11.	Вычислительная математика и техника
12.	Химия
13.	Техника физического эксперимента
14.	Исследования твердых тел и жидкостей ядерными методами
15.	Экспериментальная физика ядерных реакций при низких энергиях
16.	Дозиметрия и физика защиты
17.	Теория конденсированного состояния
18.	Использование результатов и методов фундаментальных физических исследований в смежных областях науки и техники
19.	Биофизика

Тимохин В.А. 9-84-2
Параллельная работа тиристорных коммутаторов на индуктивную нагрузку

Рассматривается способ синхронизации параллельно включенных тиристорных коммутаторов в схемах импульсного питания катушек компрессора коллективного ускорителя. На основе анализа эквивалентной схемы при заданных значениях ее основных параметров производится выбор величин емкостей, шунтирующих коммутаторы для обеспечения их синхронной работы при совместном включении с дросселями насыщения. Реализация этого способа синхронизации повышает надежность важнейшего звена схем импульсного питания - тиристорного коммутатора, так как устраняется его перегрузка недопустимым ударным током. Обеспечивается стабильность формы и амплитуды тока в индуктивной нагрузке.

Работа выполнена в Отделе новых методов ускорения ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1984

Перевод О.С.Виноградовой

Timokhin V.A. 9-84-2
Parallel Operation of Thyristor Commutators for Inductive Loading

The method of synchronization is considered of the thyristor commutators connected in parallel in the pulsed supply circuits of the compressor coils of the collective accelerator. The analysis of an equivalent circuit has been made. The values of capacitances have been selected shunting the commutators for their synchronous operation when the saturation throttles are also on. The implementation of this method of synchronization increases the reliability of the thyristor commutators as its overload with impermissible shock current is removed. The stability of current shape and amplitude in the inductive coils is provided.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research, Dubna 1984